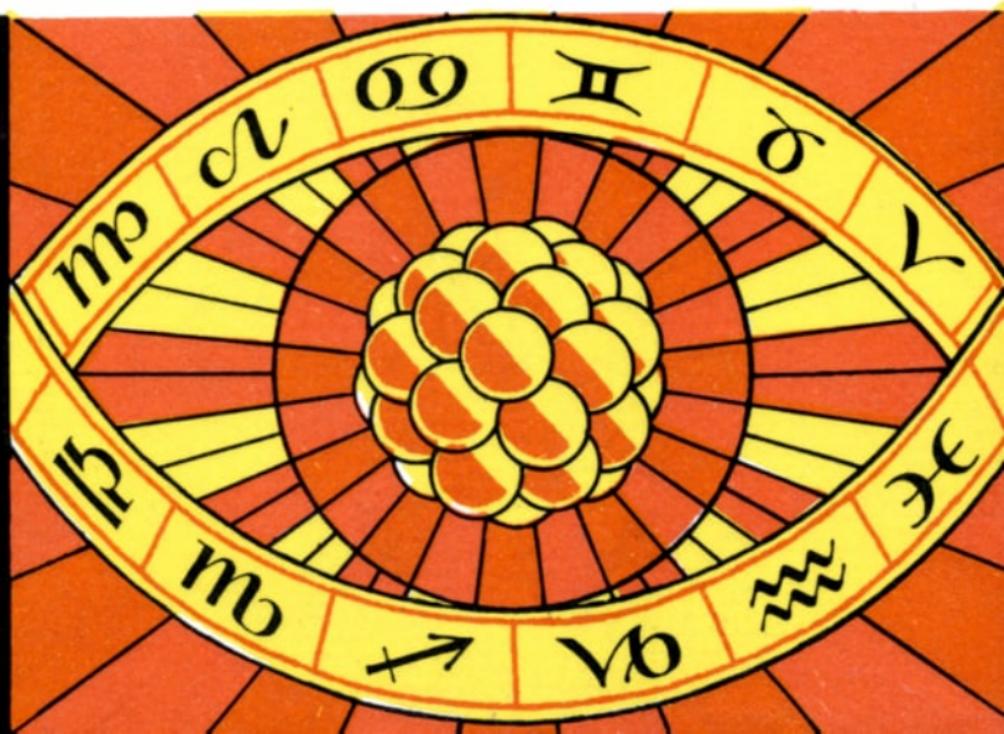


Irina  
Radunskaja  
„Verrückte“  
Ideen

Populär-  
Wissenschaftliche  
**PWL**  
Literatur

Verlag Mir  
Moskau





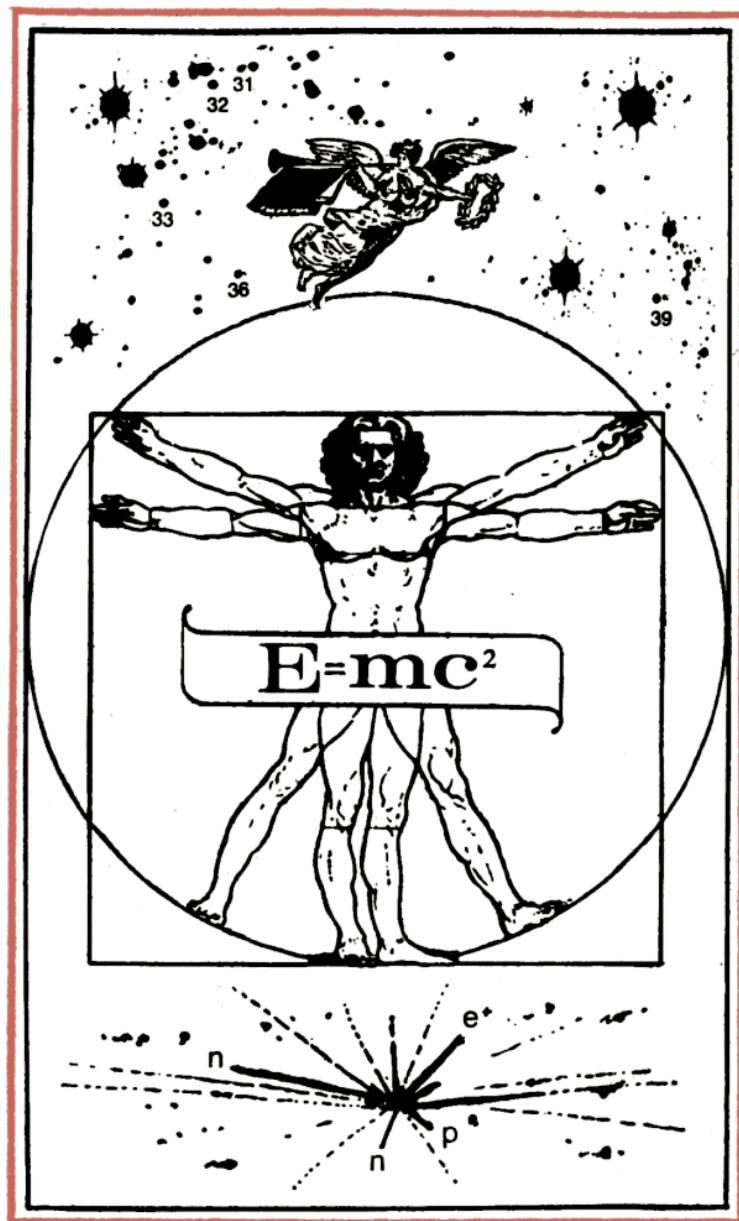
PWL

Über die Physik  
kann man unendlich  
viel berichten.  
Aber der Verfasser  
dieses Buches  
setzte sich  
das Ziel,  
die Vielfalt  
dieser wundervollen  
Wissenschaft  
in einem relativ  
kleinen Umfang  
exakt und spannend  
darzulegen.



**VERLAG MIR**

**MOSKAU**



IRINA

RADUNSKAJA

„Verrückte“  
Ideen

Übersetzt  
von Boris Pestmal

VERLAG MIR MOSKAU

1977



ИРИНА РАДУНСКАЯ

«БЕЗУМНЫЕ»

ИДЕИ

Издательство ЦК ВЛКСМ

«Молодая гвардия»

Москва



© 1977 Verlag Mir, Moskau

Best.-Nr. 298 091-6

EVP 8.80 M

„Wir haben hier eine ganz  
verrückte Theorie vor uns.  
Die Frage ist nur, ob sie verrückt  
genug ist, um richtig zu sein.“

*Niels Bohr*



# **STATT EINER EINLEITUNG**

**Lichtblick oder Irrtum?** Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts glaubten viele Wissenschaftler, daß nun alles — oder fast alles — über die sie umgebende Welt bekannt war. Die Intuition Galileis, der Scharfsinn Newtons hatten den menschlichen Verstand von dem Gespinst befreit, das aus den falschen Behauptungen der mittelalterlichen Scholastiker gewoben worden war. Ein regelrechtes System menschlichen Wissens bot Erklärungen für alle Erscheinungen und Vorgänge. Von der fundamentalen Wissenschaft über die anorganische Welt — der Physik — waren alle grundsätzlichen Gesetze, so glaubte man, festgelegt, die alle Seiten der materiellen Existenz im Weltall umfaßten. Dieses imposante Gebäude, klassische Physik genannt, barg, wie es schien, die Lösungen für alle entdeckten oder auch noch nicht entdeckten Geheimnisse der Natur in sich.

Um die Wende zum zwanzigsten Jahrhundert wurde diese allgemeine Selbstzufriedenheit jedoch auf eine ernste Probe gestellt. Was war geschehen?

Die klassische Physik vermochte eine Reihe von neu entdeckten Tatsachen nicht zu erklären. Ein einfacher erwärmter Körper gab ihr Rätsel auf. Jeder Schüler weiß, daß man einen ins Feuer gesteckten Körper bis zur Rot- und sogar Weißglut erhitzen kann. Eine beliebige Substanz beginnt zu leuchten, sofern sie beim Erhitzen nicht zerstört wird. Und je höher ihre Temperatur ist, desto helleres Licht strahlt sie aus. Aber als die Wissenschaftler zu erklären versuchten, weshalb die Farbe der Strahlung nicht

von den Eigenschaften der Stoffe abhängt, versagten die bisherigen Formeln. Es gab keine eindeutige Antwort.

Alle Versuche, mathematisch zu beschreiben, wie die Energie eines erwärmten Körpers in den leeren Raum ausgestrahlt wird, endeten mit einer Enttäuschung. Die Gleichungen ergaben nichts, was der Wirklichkeit nahe kam. Aus allen Berechnungen ging hervor: Die Wärme entweicht so rasch in den umgebenden Raum, daß der gesamte Brennstoffvorrat der Erde nicht ausreichen würde, eine Kanne Wasser zum Kochen zu bringen! Dies steht natürlich in Widerspruch zur Praxis.

Die Praxis, der oberste Richter der Wissenschaft, wies alle Versuche, auf der Grundlage der bisherigen Erkenntnisse eine Theorie der Strahlung aufzubauen, als unzulänglich zurück. Die klassische Thermodynamik und Elektrodynamik waren imstande gewesen, komplizierte Naturprozesse zu beschreiben, mit deren Hilfe man das Funktionieren aller damals bekannten Maschinen erklären konnte — vor der scheinbar ganz einfachen neuen Aufgabe gerieten sie in Verwirrung.

Mit diesem Problem setzte sich auch der Berliner Professor Max Planck auseinander, der sich bereits einen Namen durch seine Arbeiten auf dem Gebiet der Thermodynamik gemacht hatte. Aber auch er ließ sich dabei zunächst von der gewohnten Voraussetzung leiten: Energie geht von einem erwärmten Körper in den umgebenden Raum ebenso kontinuierlich über, wie das Wasser eines Flusses in den Ozean fließt.

Die ersten Bemühungen Plancks führten deshalb

zu entmutigenden Schlußfolgerungen. Ja, in der Tat, ein erwärmer Körper sendet Strahlen aller Farben aus: rote, grüne, violette. Die violetten Strahlen sind sehr „gierig“, sie entreißen dem Körper die meiste Energie und tragen sie mit sich davon. Und trotzdem sind sie nicht die unersättlichsten. Die ultravioletten Strahlen und solche von noch kürzerer Wellenlänge, die jenseits des ultravioletten Bereiches im Spektrum der elektromagnetischen Strahlung liegen, müßten — nach den Formeln zu urteilen — alle Körper in der Natur, ja das ganze Weltall bis zum absoluten Nullpunkt abkühlen!

So schienen die Berechnungen Plancks eine furchtbare Konsequenz zu bestätigen: Der Welt steht der „Wärmetod“ bevor.

Aber in der Realität fanden die Physiker nicht das geringste Anzeichen für ein so trauriges Ende. Es war nun ihre Aufgabe, auch die Theorie von dem absurden Irrtum zu befreien. Mit diesem Problem rang damals nicht nur Max Planck. Viele Wissenschaftler wollten sich nicht mit der Ohnmacht der von ihnen geschaffenen Formeln abfinden.

Nicht ohne Grund wird der Name Max Planck heute mit Ehrfurcht genannt. Planck befreite die Physik vom Gespenst einer „ultravioletten Katastrophe“.

„Nach einigen Wochen der angestrengtesten Arbeit meines Lebens wurde das Dunkel, in dem ich tappte, durch einen Blitz erhellt, und vor mir eröffneten sich überraschende Aussichten“, sagte Max Planck darüber einige Jahre später, als er den Nobelpreis entgegennahm.

Der Blitz, von dem er sprach, erleuchtete das gesamte Wissenschaftsgebiet über die Eigenschaften der Materie. Das geschah im Jahre 1900. Bei der Betrachtung des Prozesses des Energieaustausches zwischen einem erwärmten Körper und der Umgebung nahm Planck an, daß dieser Austausch nicht stetig, sondern stoßweise in kleinen Portionen erfolge. Er beschrieb diesen Vorgang mathematisch und gelangte zu einer Formel, die mit der Energieverteilung im Spektrum der Sonne und anderer erwärmter Körper übereinstimmte.

So ging in die Wissenschaft die Vorstellung von der kleinsten elementaren Einheit der Energie, vom Energiequant, ein.

Man sagt, Planck sei zufällig auf seine Entdeckung gestoßen; auf die Idee, die Unstetigkeit, die Sprunghaftigkeit, in die Deutung des Prozesses der Wärmeenergieübertragung mit Hilfe der experimentellen Mathematik einzuführen, sei er bei seinen Bemühungen verfallen, die Berechnungen mit den Experimenten in Einklang zu bringen.

Aber Planck selbst widerlegte diese Version. Als ein glühender Verehrer des großen Physikers Boltzmann habe er diesem seine Arbeit gezeigt. Sie sei im Geiste der klassischen Vorstellungen über die Kontinuität der Wärme- und der elektrodynamischen Prozesse ausgeführt gewesen. Die Antwort des berühmten Gelehrten habe Planck verblüfft. Boltzmann, einer der hervorragendsten Vertreter der klassischen Physik, habe es für unmöglich gehalten, eine in allem richtige Theorie der Strahlung aufzubauen, ohne in sie ein

noch unbekanntes Element — die Unstetigkeit (Diskretheit) — einzuführen.

Zweifellos hat Boltzmanns Hinweis Planck auf die richtige Fährte zu seiner großen Entdeckung gebracht. Obgleich bei ihrer Entstehung auch der Zufall mitspielte, stellte sie doch in bedeutendem Maße einen gesetzmäßigen dialektischen Sprung in der Erkenntnis dar.

Als sich Planck in das Wesen seiner Formel und in die Möglichkeiten hineindachte, die sich durch die Einführung des Energiequants eröffneten, begriff er, daß er eine Theorie zu entwickeln unternommen hatte, die selbst die Grundfesten der bisherigen Naturdeutung zu erschüttern vermochte. Schien es nicht so, als habe er einen „Geist aus der Flasche“ losgelassen, der nun nicht mehr zu bändigen war? Er fühlte, daß er nicht einmal das Ausmaß des künftigen Umschwunges einschätzen konnte, aber instinktiv vermutete er, daß seine Arbeit eine Lawine auslöste, die das Fundament der damaligen Physik erschütterte. Die weitere Entwicklung der Wissenschaft zeigte, wie sehr seine Vorahnung zutraf.

Als Mensch mit konservativen Ansichten zögerte Planck, seine Entdeckung zu veröffentlichen. Ihre Bedeutung einschätzend, sagte er sich, sie sei entweder völlig falsch oder aber in ihren Maßstäben nur mit den Entdeckungen Newtons vergleichbar. Plancks Kollegen vertraten vorwiegend den ersten Standpunkt. Einige von ihnen drohten sogar, sich von der Physik „loszusagen“, falls die „aufrührerische Plancksche Theorie“ nicht zu den Akten gelegt würde.

Im Herbst des Jahres 1900 besuchte der Physiker Rubens Max Planck. Er zeigte ihm seine außerordentlich genauen Messungen der Energieverteilung im Spektrum eines erwärmten schwarzen Körpers. Die Meßergebnisse stimmten mit der Planckschen Formel überein. Das beseitigte alle Zweifel, und Planck veröffentlichte nun seine Formel, die in das Fundament der klassischen Physik einen Riß brachte.

Von Geburt an erwies sich das Quant als ein launenhaftes Kind. Planck hatte es als Energiequant in die Berechnung eingeführt — in der endgültigen Formel trat es jedoch in Form eines Wirkungsquantums auf, einer Größe, die das Produkt der Energie und der Zeit darstellt. Die Ursache dieser Transformation blieb unklar. Planck und nach ihm auch andere Gelehrte fanden sich allmählich mit der Unstetigkeit (Quantelung) der Energie ab; aber die Unstetigkeit der mechanischen Wirkung blieb lange Zeit unbegreiflich.

Plancks Arbeit fand zunächst keine Resonanz. Fünf Jahre lang schlief das neugeborene Quant in seiner Wiege. Es bedurfte eines Genies, das diesen Säugling zum Herkules machte.

**Ein neuer Herkules.** Die ersten Jahre unseres Jahrhunderts vergingen. Ein noch unbekannter Physiker, ein Anfänger, der mit Mühe und Not eine Stelle im Patentamt erhalten hatte, dachte zu dieser Zeit unentwegt über die Geheimnisse des lichtelektrischen Effektes nach. Er hieß Albert Einstein.

Der russische Physiker Stoletow und der deut-

sche Physiker Hertz erforschten damals eingehend, wie das Licht Elektronen von der Oberfläche fester Körper freisetzt. Es wurden alle Einzelheiten dieser Erscheinung, des sogenannten Photoeffekts, bestimmt. Aber niemand konnte begreifen, weshalb die Energie der emittierten Elektronen nicht von der Helligkeit der einfallenden Strahlen abhängt, sondern offensichtlich durch deren Farbe bedingt wird. Von der allgemein anerkannten Wellentheorie des Lichtes ausgehend, war zu erwarten, daß die Energie der durch die Lichtwelle herausgeschlagenen Elektronen von der Stärke des elektrischen Feldes der Lichtwelle abhängt, die auf die Stelle trifft, an der sich das Elektron befindet. Jedoch wird die Feldstärke durch die Helligkeit, nicht aber durch die Farbe bestimmt.

Auch konnte niemand die Existenz der roten „Grenze“ des lichtelektrischen Effekts erklären, jene erstaunliche Tatsache, daß für jedes Element im Spektrum des Sonnenlichtes eine individuelle Grenze vorhanden ist. Die zur roten Seite der Grenze liegenden Strahlen rufen niemals den lichtelektrischen Effekt hervor, während die Wellen zur violetten Seite hin Elektronen leicht aus der Oberfläche des Stoffes herauslösen.

Dies war um so erstaunlicher, als das Vorhandensein einer Farbgrenze der Wellentheorie des Lichtes, die fast 300 Jahre lang in der Wissenschaft geherrscht hatte, widersprach.

Vom Standpunkt der Wellentheorie aus durfte es überhaupt keine rote Grenze geben. Eine Lichtwelle beliebiger Länge müßte imstande sein, ein Elektron aus den verschiedenartigsten Mate-

rialien herauszulösen. Man brauchte nur etwas länger zu warten oder helleres Licht zu verwenden. In Übereinstimmung mit der Wellentheorie konnte man eine „Anhäufung“ der Lichtwirkung erwarten. Helles Licht müßte rascher zur Freisetzung des Elektrons führen. Aber weder grenzenlose Geduld der Experimentatoren noch die hellsten Lichtquellen vermochten jene rote Grenze zu überwinden. Auch hier sprach die Praxis gegen die klassische Theorie vom Licht.

Das Rätsel löste Albert Einstein. Er kam zu dem Schluß, daß Plancks Quantentheorie, die zur Erklärung des Mechanismus des Wärmeenergieaustausches zwischen elektromagnetischem Feld und stofflicher Substanz entwickelt worden war, bedeutend erweitert werden mußte. Er stellte fest, daß die Energie der elektromagnetischen Strahlung, also auch die der Lichtwellen, stets in Form von bestimmten Portionen — der Quanten — vorhanden ist.

So hob Einstein das Quant aus seiner Wiege heraus und demonstrierte vor aller Welt dessen erstaunliche Möglichkeiten. Er stellte das Lichtquant (Photon) als objektive Realität dar, die im Raum zwischen Lichtquelle und Empfänger existiert, keineswegs als eine formale Größe, die nur bei der Beschreibung des Energieaustausches in Erscheinung tritt. Dies gestattete ihm sofort, eine logische Theorie des lichtelektrischen Effekts zu schaffen. Damit untermauerte er auch die damals noch unsichere Plancksche Formel. Tatsächlich, wenn das Licht nicht nur in Quanten emittiert und absorbiert wird, sondern sich auch in Form von Quanten — bestimmten Por-

tionen elektromagnetischer Energie — ausbreitet, dann ergeben sich die Gesetze des lichtelektrischen Effekts gewissermaßen von selbst. Man muß nur die natürliche Voraussetzung machen, daß Photon und Elektron miteinander in Wechselwirkung treten.

Die Energie jedes einzelnen Photons hängt nur von der Frequenz der Lichtwellen ab, d. h. von seiner „Farbe“. Dem roten Licht entspricht eine fast zweimal kleinere Frequenz als dem violetten; das bedeutet, daß die Energie des Photons der roten Strahlung fast zweimal kleiner als die des „violetten“ Photons ist.

Da die Elektronen in einem festen Körper mit einer Kraft festgehalten werden, die für die jeweilige Substanz charakteristisch ist, kann die Energie eines „roten“ Photons möglicherweise zur Überwindung dieser Kraft und zum Auslösen des Elektrons nicht ausreichen, während ein violettes Photon dies leicht vermag. So ergibt sich eine für jede Substanz charakteristische rote Grenze. Ebenso unmittelbar erklärt sich auch die Unabhängigkeit der Energie des aus der Oberfläche eines Stoffes austretenden Elektrons von der Intensität der Lichtstrahlen, die dem Elektron eine erhöhte Beweglichkeit gegeben haben. Denn die Energie des Elektrons beträgt jetzt nur noch die Differenz zwischen der Energie des Photons und jener Energie, die zum Herauslösen des Elektrons aufgewendet werden mußte. Die Helligkeit des Lichtes, d. h. die Anzahl der Quanten, die je Sekunde auf einen Quadratzentimeter der Körperoberfläche auftreffen, hat hierbei keinen Einfluß. Denn die Lichtquanten treffen unab-

hängig voneinander auf, und jedes einzelne regt ein Elektron an oder auch nicht. Sie können nicht aufeinander warten, um mit vereinten Kräften ein Elektron auszulösen. Deshalb hängt der Photoeffekt weder von der Intensität des Lichtes noch von der Belichtungsdauer ab. So mit verlor auch die Plancksche Hypothese vom quantenhaften Charakter der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischem Feld und dem Elementarteilchen ihren geheimnisvollen Nimbus. Vor Einstein hatte sich diese Hypothese nur darauf gestützt, daß die auf ihrer Grundlage abgeleitete Formel mit der Praxis übereinstimmte. Sie hatte ja auch die Vorstellung über eine ultraviolette Katastrophe ad absurdum geführt. Jedoch es blieb unklar, wie sich die Welle — ein vollkommen kontinuierlicher Vorgang — im Prozeß der Wechselwirkung mit schwingenden Elementarteilchen in Quanten unterteilt. Jetzt aber, nachdem es sich herausgestellt hat, daß die elektromagnetische Strahlung stets in Form von Quanten existiert, konnte man sich nur noch schwer vorstellen, daß sie nicht korpuskulare Eigenschaften aufwies.

Die Quantentheorie des Lichtes, die das Rätsel des Photoeffektes mit Erfolg gelöst hatte, war aber nicht allmächtig. Im Gegenteil, bei den Versuchen, eine Reihe allgemein bekannter Erscheinungen zu beschreiben, erwies sie sich als hilflos. Zum Beispiel konnte sie nicht erklären, wie die hellen Farben in einer Erdölhaut auf der Wasseroberfläche zustandekommen oder warum es eine Vergrößerungsgrenze bei Mikroskop und Teleskop gibt. Die Wellentheorie des Lichtes

aber, die im Falle des Photoeffektes machtlos war, wurde mit diesen Fragen ohne weiteres fertig. Aus diesem Grunde stieß die Quantentheorie des Lichtes auf lange anhaltendes Mißtrauen. Auch Planck, der geistige Vater des Quants, akzeptierte sie nicht. Noch im Jahre 1912 schrieben Planck und andere große deutsche Physiker, als sie den bereits berühmten Albert Einstein zur Aufnahme in die Preußische Akademie der Wissenschaften vorschlugen, man dürfe ihm die Lichtquantenhypothese nicht vorwerfen!

Einstein selbst maß diesem Widerspruch keinerlei besondere Bedeutung bei. Im Gegenteil, er hielt ihn für ganz natürlich, spiegelte er doch den komplizierten, vielseitigen (wir würden sagen: dialektischen) Charakter der Natur des Lichtes wider. Nach seiner Meinung trat hiermit der reale Doppelcharakter des Lichtes hervor. Die Plancksche Konstante spielte aber eine bedeutende Rolle bei der Vereinigung des Wellen- und des Quantenbildes. Sie illustrierte geradezu den Dualismus von Welle und Teilchen. Wie wir noch sehen werden, schuf der französische Physiker Louis de Broglie, indem er diese Ideen Einsteins auf die Mikroteilchen übertrug, die Grundlagen der Wellenmechanik, einen der Ecksteine im Fundament der modernen Quantenphysik.

Bei der Entwicklung der Theorie des lichtelektrischen Effekts und der Hypothese von den Lichtquanten trat die Besonderheit des Einsteinschen Genius hervor: Er vermochte es, an Stelle von Teilhypthesen, die einzelne, konkrete

Fragen beantworteten, revolutionäre Lösungen zu finden, die eine Vielzahl von komplizierten und mannigfaltigen Problemen gleichzeitig klärten.

Diese Eigenschaft Einsteins zeigte sich in ihrem vollen Glanz im Hauptwerk seines Lebens: in der Relativitätstheorie, die in der modernen Wissenschaft eine Revolution herbeiführte.

**Der große Wirrkopf Äther.** Das Entstehen einer neuen Weltauffassung war vom Bersten des zusammenstürzenden Gebäudes der klassischen Physik begleitet.

In das Fundament dieses imposanten Bauwerkes war neben den Newtonschen Gesetzen auch die Wellentheorie des Lichtes eingegangen. Der niederländische Physiker und Mathematiker Christian Huygens, ein älterer Zeitgenosse Newtons, hatte sie geschaffen, und sie basierte im wesentlichen auf der Vorstellung von einer weitgehenden Analogie des Lichtes mit den Schallwellen. Sie hatte den Menschen zwei Jahrhunderte lang gedient, und fast niemand hatte ihre Mängel bemerkt...

Augustin Jean Fresnel, ein französischer Ingenieur des Brücken- und Straßendienstes, seit 1823 Mitglied der Akademie, führte bedeutende theoretische und experimentelle Untersuchungen über das Wesen des Lichts durch.

Fresnel kam zu dem Schluß, daß es unmöglich ist, eine Reihe von Erscheinungen zu erklären, sofern man von einer strengen Analogie des Lichtes und des Schalls ausging. Er sah sich zu der Annahme gezwungen, das Licht bestehe nicht

aus Longitudinalwellen (Längswellen), die den Schallwellen in der Luft ähnlich sind, wie Huygens vermutet hatte, sondern aus Transversalwellen (Querwellen), die senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung verlaufen. Nach seiner Meinung konnten diese Schwingungen im Weltraum nur durch ein besonderes Medium, das die Eigenarten eines festen Körpers besaß, übertragen werden. Licht wurde also noch immer als mechanischer Schwingungsvorgang betrachtet.

So wurde Äther, eine feine, das ganze Weltall und die Räume zwischen den Molekülen der Körper erfüllende Substanz, deren Querschwingungen eben Licht seien, für lange Zeit als Träger der elektromagnetischen Erscheinungen aufgefaßt. Es wurde auch vorausgesetzt, daß Äther alle transparenten Körper durchdringe, die an und für sich an der Übertragung des Lichtes keinen Anteil hätten. Diese Lehre, nach der sich das Licht in einem masselosen Medium fortpflanze, beherrschte lange Zeit die Wissenschaft. War es nun für die Physiker möglich, nachdem sie in den „Besitz“ des Äthers gelangt waren, weiterhin einen Vergleich zwischen Licht- und Schallwellen anzustellen? Wie es sich zeigte, vermochten sie das. Man mußte nur an das Merkwürdige glauben. Der Äther war eben durchsichtig wie Luft, aber hart ... wie Stein.

Freilich konnten die Festkörperteilchen, durch Elastizitätskräfte gebunden, nicht nur quer zur Richtung des Schalls, sondern auch entlang dieser Richtung schwingen. Deswegen treten in festen Körpern zwei Arten von Schallwellen — Transversal- und Longitudinalwellen — auf. Fres-

nel nahm nun an, daß Lichtwellen nur den Transversalwellen in Festkörpern analog sind. Die Longitudinalwellen ließ er außer acht.

Die auf diese Weise vervollkommnete Wellentheorie des Lichtes erklärte vortrefflich alle der damaligen Wissenschaft bekannten Tatsachen, von denen ein Teil in Widerspruch zu der die Huygenssche Wellentheorie beherrschenden Vorstellung von den Longitudinalwellen stand, die durch Verdichtungen und Verdünnungen des übertragenden Mediums hervorgerufen werden.

Aber auch die neue Lichttheorie enthielt einige wunde Punkte. Niemand konnte die Longitudinalwellen im Äther entdecken oder auch beweisen, daß es sie nicht gab. Man mußte daher auf Treu und Glauben hinnehmen, daß solche Wellen im Äther überhaupt nicht existieren. Falls sie dennoch existierten, traten sie mit gewöhnlichen Körpern nicht in Wechselwirkung. Man konnte sie deshalb also nicht beobachten. Außerdem zwang die große Lichtgeschwindigkeit zu der Annahme, der Äther müsse außerordentlich elastisch sein. Seine Teilchen mußten ja mit ungeheuer hoher Frequenz im Takt mit der Lichtwelle schwingen. Eben aus diesem Grunde mußten die Physiker annehmen, der Äther sei fast hunderttausendmal elastischer als Stahl. Gleichzeitig mußte der Äther aber auch Körperlosigkeit wie ein Spukgebilde besitzen; man konnte ja ungehindert durch ihn hindurchgehen, und auch er mußte alle festen Körper, ja die unterschiedlichsten Stoffe, ohne eine Spur zu hinterlassen, passieren.

Die neue Lichttheorie stieß auf noch andere

Schwierigkeiten. Es mußte speziell erklärt werden, was mit dem Äther an der Grenze zweier durchsichtiger Körper mit unterschiedlichen Brechungszahlen geschieht, zum Beispiel an einer Aquariumglaswand, die das Wasser von der Luft trennt. Die Lichtgeschwindigkeit in Luft, Glas und Wasser ist ja verschieden. Durchsichtige Stoffe müßten also mit dem Äther irgendwie in Wechselwirkung stehen, indem sie durch ihre Anwesenheit dessen ungeheure Elastizität veränderten. Anders waren die unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeiten in allen möglichen durchsichtigen Medien nicht zu erklären. Es mußte weiterhin gedeutet werden, auf welche Weise undurchsichtige Körper die Lichtwellen zurückhalten. Erstaunlich war es doch hierbei, daß der Äther, der als Lichtwellenträger auftrat, seine Anwesenheit in keinem der Versuche offenbarte. Er war nicht nachzuweisen, und er erinnerte dadurch an das Phlogiston (Feuerluft) — eine andere unwägbare Substanz, die lange Zeit von den Gelehrten anerkannt worden war.

All dies zwang die Wissenschaftler, den Äther als ein außerordentliches Medium zu betrachten, das äußerst widerspruchsvolle Eigenschaften besaß.

Die Wellentheorie des Lichtes, die durch Fresnel vervollkommen und in exakten mathematischen Formeln erfaßt worden war, erklärte alle der damaligen Wissenschaft bekannten optischen Erscheinungen. Sie sagte sogar Erscheinungen voraus, die unglaublich und unmöglich erschienen. Die Gegner Fresnels wiesen darauf hin, daß man auf der Grundlage seiner Theorie fol-

genden unwahrscheinlichen Versuch durchführen könnte: Wenn man das Licht einer Kerze durch die Öffnung einer Blende auf einen dahinter aufgestellten Schirm fallen ließe und diesen dabei bewege, dann könnte man beobachten, daß das Zentrum des Schirmes abwechselnd erhellt und verdunkelt werde, je nachdem wie weit es von der Blendenöffnung entfernt sei. Dies aber widerspreche der gesamten jahrhundertealten Erfahrung der Menschheit. Jeder vernünftige Mensch müsse eine solche Weissagung für unsinnig halten. Wodurch könne schon das Licht hinter der Blendenöffnung gedämpft werden? Diese Folgerung aus der Theorie Fresnels wurde als entscheidendes Argument gegen den Wellencharakter des Lichtes vorgebracht. Aber der französische Physiker D. François J. Arago führte ein solches Experiment durch, und jeder, der sich dafür interessierte, konnte auf einem Schirm, der sich längs zur Achse der Versuchsanordnung bewegte, beobachten, wie Helligkeit und Dunkelheit aufeinanderfolgten. Die Mitteilung darüber, die Arago in der Französischen Akademie der Wissenschaften machte, erschütterte viele ihrer Mitglieder. Es war ein Triumph der Fresnelschen Wellentheorie.

**Ein Schritt zur Abstraktion.** Nach langer und mühevoller Arbeit in den Jahren von 1860 bis 1875 schuf James Clerk Maxwell eine Theorie, in der die elektrischen und magnetischen Kräfte der Natur im Begriff des einheitlichen elektromagnetischen Feldes vereinigt waren, das sowohl das sichtbare Licht als auch die unsichtbaren Ultra-

violett- und Infrarotstrahlen in sich einbezog. Maxwell faßte im Jahre 1873 alles, was über Elektrizität und Magnetismus bekannt war, in vier erstaunlich einfachen Gleichungen zusammen, aus denen sich die Gesamtheit der Erscheinungen der klassischen Elektrodynamik und Wellenoptik ableiten läßt. Aus diesen Gleichungen geht hervor, daß das Licht nichts anderes als elektromagnetische Wellen darstellt, die sich im leeren Raum ebenso leicht ausbreiten wie in durchsichtigen Körpern. Außerdem folgt aus den Gleichungen, daß diese elektromagnetischen Wellen für sich allein existieren können. Sie sind eine Realität, die den Menschen früher unbekannt war und die nun vor den Gelehrten plötzlich wie ein mächtiger Gebirgskamm aus dem sich verflüchtigenden Nebel aufgetaucht war. Man kann sich vorstellen, welche Verwirrung diese Konzeption auslöste. Ihr ketzerisches Wesen bestand vor allem darin, daß sie sich — den jahrhundertealten Traditionen und Idealen zuwider — nicht auf mechanische Bewegungen und Kräfte gründete. Die veränderlichen Größen, die im mathematischen Apparat Maxwells die elektromagnetischen Felder darstellen, konnten ihrem Wesen nach nicht mehr durch irgendwelche gewohnten Modelle vor Augen geführt werden. Sie erschienen darum den Zeitgenossen als äußerst abstrakte Begriffe. Seit Descartes galt nur das als konkret und real, was sich „mittels Figuren und Bewegungen“ darstellen bzw. beschreiben ließ. Die großen Schwierigkeiten für das Begreifen der Maxwellschen Gleichungen und seiner gesamten

Theorie bestanden vor allem darin, daß die in sie eingehende Stärke des elektrischen und magnetischen Feldes sich einer unmittelbaren Wahrnehmung entzog. Man konnte diese Felder in Form von Vektoren unter einem bestimmten Winkel zueinander zwar auf dem Papier darstellen, man vermochte aber noch nicht, sich ihren physikalischen Sinn vorzustellen. Diese Größen besaßen weder Umrisse noch Form oder Masse, sie konnten mit nichts Bekanntem verglichen werden. Freilich existierten auch damals schon Geräte, die auf Kräfte reagierten, die durch elektromagnetische Felder hervorgerufen werden. Man konnte mit Sicherheit sagen, daß die Stärke eines Feldes größer oder kleiner als die eines anderen ist. Die Feldstärken selbst stellten aber eine so seltsame Größe dar, daß man sie sich schwer veranschaulichen konnte.

Die den Physikern bekannten Naturgesetze erklärten die Bewegung von Teilchen, Flüssigkeitsströmen oder elastischen Festkörpern recht gut. Aber Maxwell benutzte für die Beschreibung elektromagnetischer Felder das Symbol, eine mathematische Abstraktion! Zu jenen Zeiten — fast blander Unsinn! Wie sollten die im Geiste klassischer Vorstellungen erzogenen Gelehrten eine solche Abstraktion erfassen? Sie waren gewohnt, alles auf der Welt mit Hilfe anschaulicher mechanischer Modelle darzustellen. Wie konnten sie an irgendeine Welt elektromagnetischer Felder glauben, die einfach existierte und keiner der bisher üblichen Veranschaulichungshilfen bedurfte?

Nur wenige der Physiker verspürten Lust, sich

über diese „verrückte“ Theorie den Kopf zu zerbrechen.

So kam es, daß noch zwanzig Jahre nach der Aufstellung der neuen Theorie nur wenige Physiker ihren Sinn verstanden. Den meisten blieb sie fremd. Noch immer waren sie nicht imstande, irgendeine Erscheinung anders als in Form eines konkreten mechanischen Modells zu verstehen. Maxwell selbst betätigte sich als erforderlicher Schöpfer von Modellen des elektromagnetischen Feldes. In einem dieser Modelle werden sechseckige „Molekularwirbel“ durch „Leitädchen“ in Bewegung gesetzt. Dies zeigt, daß er sich selbst lange Zeit nicht darüber im klaren war, daß er eine neue Wissenschaft geschaffen hatte, die sich nicht auf die Newtonsche Dynamik zu stützen brauchte. Die in sie eingegangenen Größen sind ebenso fundamental wie Kräfte und Bewegungen selbst. Noch sieben Jahre nach der Ausarbeitung seiner Theorie schrieb Maxwell: „Ich werde alles daran setzen, um die Wechselbeziehungen zwischen der mathematischen Form dieser Theorie und der mathematischen Form der fundamentalen Wissenschaft von der Dynamik so klar wie nur möglich darzustellen, damit wir uns einigermaßen für die Auswahl jener dynamischen Modelle vorbereiten, mit deren Hilfe wir die elektromagnetischen Erscheinungen illustrieren und zu erklären suchen.“

Die Tatsache, daß selbst Maxwell sich nicht von mechanischen Modellen zu lösen vermochte, ist wohl das Kurioseste an dieser Geschichte. Da er sich außerstande sah, einem „anschaulichen Modell“ zu entsagen, fand er es in den elastischen

„Kraftröhrchen“ Faradays, indem er sie in anschauliche Bilder der Kraftlinien elektromagnetischer Felder umwandelte, die uns ja auch heute noch als Veranschaulichungshilfen dienen. Heute gestatten uns moderne Geräte, die realen Größen — die in die Maxwellschen Gleichungen eingehenden Feldstärken — exakt zu messen. All dies sowie die langjährige Praxis, die inzwischen nicht nur Generationen von Wissenschaftlern, sondern auch Generationen von Schülern durchliefen, macht uns Heutigen die Maxwellschen Gleichungen nicht weniger verständlich als die Gleichungen der Mechanik. Und es fällt uns oft schwer zu verstehen, welche anstrengende Denkarbeit noch vor nicht einmal zehn Jahrzehnten erforderlich war, um diese Gleichungen zu beherrschen.

Die Maxwellsche Theorie stellte in der Wissenschaft die erste Etappe der nichtmechanischen Physik dar, die erste Stufe einer grandiosen Pyramide immer komplizierter werdender Abstraktionen. Wir werden sehen, daß die Schwierigkeiten, die nun einmal mit der geistigen Verarbeitung neuer Abstraktionen verbunden sind, erneut auftraten, als die Ära der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik anbrach.

Die Maxwellschen Gleichungen beschrieben nicht nur bekannte Erscheinungen, sondern sie sagten auch neue voraus, die erst später entdeckt wurden, darunter die Existenz der elektrischen Induktion und der Radiowellen. Nur eines fehlte ihnen: Es gab in diesen Gleichungen keinerlei Bezug auf den Lichtäther und seine erstaunlichen Eigenschaften.

Der Äther blieb zwar im Schlepptau der Theorie Maxwells. Das aber hinderte sie nicht daran, die Entwicklung der Wissenschaft voranzutreiben. Für einige Gelehrte wurde der Begriff Äther einfach zum Synonym für „leerer Raum“. Und obwohl Heinrich Hertz zwölf Jahre später die durch die Maxwellsche Theorie vorausgesagten elektromagnetischen Wellen sehr kurzer Wellenlänge experimentell nachwies, blieben viele Traditionen der mechanistischen Betrachtung erhalten. Viele Physiker versuchten weiterhin hartnäckig, der Maxwellschen Theorie die Stellen der gewohnten anschaulichkeit unterzuschieben. Einige hielten die elektromagnetischen Felder Maxwells für besondere Spannungen des Äthers, ebenso wie sie früher das Licht als Querwellen im Äther betrachtet hatten. Andere aber bevorzugten es, indem sie den Äther weiterhin als eine Realität ansahen, seine einander widersprechenden Eigenschaften zu übersehen, wobei sie ihn in die Kategorie der unerkennbaren, unwägbaren Substanzen einordneten.

**Erste Verliebtheit.** Zu dieser Zeit des Umbruchs trat Hendrik Antoon Lorentz in die Wissenschaft ein. An der Universität Leiden erhielt er im Jahre 1871 (mit 18 Jahren!) das Doktordiplom mit Auszeichnung. Durch Zufall stieß er auf die Maxwellsche Theorie, als er in der Bibliothek des physikalischen Labors Briefe mit unveröffentlichten Arbeiten Maxwells entdeckte.

Diese Arbeiten hatte in Leiden fast niemand gelesen, weil in ihnen neue, ungewöhnliche Ideen entwickelt worden waren. Da sie in komplizierte

mathematische Berechnungen gekleidet waren, hatten die meisten Leidener Physiker damals kein Verständnis dafür. Dem jungen Studenten Lorentz dagegen waren sie eine Offenbarung. Er geriet für immer unter den Einfluß der Ideen des großen englischen Gelehrten.

Lorentz begann seine Habilitationsschrift zu schreiben, in der er das Problem der Reflexion und Brechung des Lichtes in Übereinstimmung mit der elektromagnetischen Theorie löste. Der erst zweiundzwanzigjährige Lorentz bewies, wie einfach durch die Maxwellsche Theorie alle Rätsel der Lichtreflexion und -brechung gelöst werden konnten. Bei der mechanistischen Vorstellung von einem elastischen Äther hatte man neben den Lichtwellen noch die nicht nachweisbaren Longitudinalschwingungen des Äthers zu Hilfe nehmen müssen, um sich einigermaßen zu rechtfinden, ohne allerdings das Rätsel lösen zu können. Die Lichttheorie Maxwells brauchte diese illusorischen Longitudinalwellen nicht.

In der Folge entwickelte Lorentz die Maxwellsche Lichttheorie bedeutend weiter, indem er neben den elektromagnetischen Feldern auch Teilchen mit elektrischer Ladung — Elektronen — in sie einführte. So gingen die Elemente der Atomistik in die Maxwellsche Lichttheorie ein.

Nach der neuen Theorie sind in den grenzenlosen Ozean elektromagnetischer Felder Ladungen eingestreut, deren Kombinationen alle existierenden Körper bilden. Elektromagnetische Felder — Spannungen des Äthers — durchdringen alles. Für sie bleiben die Maxwellschen Gleichungen gültig. Die Wechselwirkungen zwischen diesen Fel-

dern und Ladungen gestalten die Vielfalt der Welt. Diese Lehre war ein großer Schritt nach vorn, zugleich aber auch eine gewisse Rückkehr zum Alten. Lorentz selbst schrieb 1895 darüber: „In der von mir aufgestellten Hypothese gibt es in gewissem Sinne eine Rückkehr zur alten Theorie der Elektrizität.“

Doch anders konnte Lorentz nicht vorgehen. Er glaubte fest daran, daß die elektromagnetischen Wellen die besondere Spannung des Äthers seien, und er mußte darum erklären, wie sie entstehen. So nahm er an, daß die Ätherwellen mit den in den festen Körpern enthaltenen Elektronen eine Wechselwirkung eingehen. Dabei rufen die elektromagnetischen Wellen die Bewegungen der Elektronen hervor, während die Bewegungen der Elektronen ihrerseits die elektromagnetischen Wellen verursachen. Somit ging die Elektronentheorie von Lorentz von Vorstellungen aus, die Maxwell selbst bereits aufgegeben hatte. Dafür ermöglichte sie die Bestimmung der Brechungsin-  
dizes transparenter Körper und vieler anderer Größen, deren Errechnung die Maxwellsche Theorie nicht zuließ und die deshalb nur als experimentell bestimmbarer Charakteristiken angenommen werden mußten.

Mit Hilfe seiner Theorie konnte Lorentz eine Reihe scharfsinniger Vermutungen anstellen. So sagte er die eigenartige Aufspaltung einer Spektrallinie in mehrere, sehr dicht benachbarte Linien voraus, wenn die strahlenden Atome der Einwirkung eines Magnetfeldes ausgesetzt sind. Diese Erscheinung konnte dann auch bald darauf von seinem Landsmann und Freund Pieter

Zeeman nachgewiesen werden. Lorentz vermochte auch das bekannte Experiment von Fizeau zu erklären, der 1857 entdeckt hatte, daß eine strömende Flüssigkeit das Licht mitführt. Die Phasengeschwindigkeit des Lichts in strömendem Wasser ist größer als in stehendem. So ist es, wenn das Licht in der Strömungsrichtung mitgeführt wird. In entgegengesetzter Richtung aber ist seine Geschwindigkeit kleiner. Dies schien zunächst unbegreiflich zu sein, bis Lorentz diese seltsame Erscheinung als eine Einwirkung der Elektronen des bewegten Wassers erklären konnte.

**Ätherschwelle.** Die elektromagnetische Theorie und ihre verbesserte Variante — die Elektronentheorie — errangen einen Sieg nach dem anderen. Mit ihrer Hilfe gelang es, alle damals bekannten Naturerscheinungen zu deuten. Auf ihrer Grundlage entwickelte sich die Elektrotechnik. Darüber hinaus sagte die Theorie noch unbekannte Erscheinungen voraus, und diese Voraussagen gingen glänzend in Erfüllung.

Versetzen wir uns noch einmal um etwa neunzig Jahre zurück. Zu jener Zeit zweifelten die Physiker keinesfalls daran, daß das Meer des lichttragenden, alle Körper durchdringenden Äthers das ganze Weltall füllte. Der Äther sollte überall sein. Das Licht selbst wurde als eine sich wellenartig ausbreitende periodische Änderung des elektrischen und magnetischen Polarisationszustandes des Äthers angesehen.

Aus der elektromagnetischen Lichttheorie ging nun hervor, daß man durch die Beobachtung der

Lichtausbreitung feststellen konnte, ob sich das Labor im Äthermeer, das als unbeweglich, unveränderlich und homogen galt, fortbewegt. Da aber niemand seit der Zeit Galileis an der Relativität mechanischer Bewegungen zweifelte, konnte man mit gleicher Berechtigung auch von der Bewegung des Äthers relativ zum Labor, also vom Ätherwind, sprechen.

Einer der geschicktesten Experimentatoren jener Zeit, der amerikanische Physiker Albert Abraham Michelson, entschloß sich daher, zu überprüfen, ob es in Übereinstimmung mit den Aussagen der Theorie möglich ist, die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit der der Erdball auf seiner Bahn um die Sonne das Äthermeer durcheilt.

Dabei trat die Frage auf, wie die Geschwindigkeit des Ätherwindes, also die Geschwindigkeit der Erde im Weltraum, zu ermitteln ist. Es war klar, daß man sich dafür die Lichtwellen zunutze machen mußte, da ja der Äther nur als Lichtwellenträger in Erscheinung trat.

Die Theorie sagte voraus, daß die Lichtgeschwindigkeit in Richtung der Erdbahn und senkrecht zu ihr verschieden sein mußte, wobei diese Differenz umso größer werden würde, je schneller sich die Erde auf ihrer Bahn bewegte. Bei den Werten für die Erdgeschwindigkeit, die nach den damaligen astronomischen Beobachtungen bekannt waren, mußte die zu erwartende Differenz der Geschwindigkeiten in diesen beiden Richtungen sehr klein, aber doch meßbar sein.

Michelson baute deshalb ein spezielles Gerät, das Spiegel-Interferometer, in dem der Licht-

strahl mit Hilfe eines halbdurchlässigen Spiegels in zwei Teilstrahlen zerlegt wurde, die senkrecht zueinander auseinanderliefen. Diese Strahlen wurden am Ende ihres Ganges von Spiegeln reflektiert. Sie kehrten zum halbdurchlässigen Spiegel zurück, der sie wieder zu einem Lichtstrahl vereinigte. Bei der Beobachtung des wiedervereinigten Strahls kam ein System von dunklen und hellen Streifen zum Vorschein.

Die Lage dieser Streifen hing von der Länge des Ganges beider Teilstrahlen und von der Lichtgeschwindigkeit jedes Teilstrahls ab. Bei dem Versuch orientierte man einen Teilstrahl in Richtung der Erdbahn und den zweiten senkrecht dazu. Die Lage dunkler und heller Streifen am Geräteausgang wurde dabei fixiert. Dann wurde das Gerät so gedreht, daß nicht der erste, sondern der zweite Teilstrahl in Richtung der Erdbahn verlief; die Lage der dunklen und hellen Streifen wurde erneut fixiert.

Michelson erwartete, daß die Streifen dabei verschoben würden, da sich die Erdbewegung auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit des ersten und des zweiten Teilstrahles verschieden auswirken mußte. Es sollte ja festgestellt werden, daß die Lichtgeschwindigkeit von der Geschwindigkeit abhänge, mit der sich der Beobachter durch den als ruhend angenommenen Äther fortbewegt. Aber die zu erwartende Verschiebung blieb aus. Dies war völlig überraschend und brachte die Gelehrten in Verlegenheit.

Der Versuch wurde zum ersten Male im Jahre 1881 angestellt und mehrmals zu verschiedenen Jahreszeiten, also an verschiedenen Orten der

Bahn der Erde um die Sonne, mit immer zunehmender Genauigkeit wiederholt. Es gelang aber nicht, eine Veränderung der Lichtgeschwindigkeit zu ermitteln, und auf diese Weise die Bewegung der Erde gegen den hypothetischen Äther im Weltraum zu messen. Die Forscher wiederholten den Versuch unentwegt, aber ohne Erfolg. Die Lichtgeschwindigkeit machte keine Anstalten, sich zu ändern.

Der negative Ausgang des Michelson-Experiments beeindruckte die Zeitgenossen stark. Es war dringend notwendig, mit dieser Tatsache fertig zu werden. Eine erste Deutungsmöglichkeit bestand in der Absage der absoluten Unbeweglichkeit des Äthers. Es genügte anzunehmen, daß die sich bewegenden Körper den Äther mitführen, und schon war es nicht möglich, die Geschwindigkeit des Körpers relativ zum Äther überhaupt zu messen. Das war aber eine allzu gekünstelte Hypothese. Der Äther verwandelte sich auf diese Weise aus einem festen Körper in eine seltsame Sülze, die eine ungeheure Elastizität und eine unbegrenzte Zähigkeit in sich vereinigen mußte. Sterne und Planeten müßten Ätherschweife hinter sich herziehen. Auch alle anderen bewegten Körper hätten entsprechend ihrer Größe Ätherschweife besitzen müssen.

Die Wissenschaft konnte sich mit einer so eigenartigen Hypothese, die zur Erklärung einer einzelnen Tatsache erfunden wurde, nicht zufriedengeben. Man hätte ja nun auch noch erklären müssen, wie die Ätherströmungen, die durch die Bewegung verschiedener Körper verursacht werden, in Wechselwirkung treten, wie sich die

Lichtwellen im sich bewegenden Äther und in den Zonen ausbreiten, wo die Ätherströmungen, allmählich abflauend, in das unbewegliche Äthermeer übergehen.

Es wurde auch die Auffassung geäußert, daß der Ätherwind in der Erdnähe so schwach sei, daß Michelson und seine Nachfolger ihn einfach nicht nachweisen konnten.

Natürlich konnte man den Äther einfach außer acht lassen, ihn einfach negieren, da er auf keine Weise in die Gleichungen der Elektronentheorie des Lichtes einging. Das aber schien völlig unmöglich zu sein. Keiner wagte, diesen Ausweg zu akzeptieren. Der Äther existierte, und man mußte bloß das Ausbleiben des Ätherwindes erklären.

**Zwei Reitter.** Der irische Physiker Fitzgerald stellte eine noch feinere Hypothese auf. Er nahm an, daß die Bewegung gegen den unbeweglichen Lichtäther alle in die Bewegungsrichtung fallenden Längen verkürze, und zwar um so stärker, je größer ihre Geschwindigkeit gegenüber dem Äther ist. Dabei verkürzen sich auch die Maßstäbe, so daß es unmöglich ist, diese Kontraktion (innerhalb eines irdischen Laboratoriums, wenn es sich um die Erde handelt) zu bemerken. Mit allen irdischen Maßen verformt sich auch das Michelson-Interferometer. Infolge der Universalität der Formänderung aller Körper und Maßstäbe bleibt diese Kontraktion unbemerkt. Das negative Ergebnis des Michelson-Versuchs sei darauf zurückzuführen.

Die Kontraktionshypothese wurde also, eben-

falls wie die Hypothese von der Mitführung des Äthers, speziell zur Erklärung des negativen Ausgangs des Michelson-Experimentes aufgestellt. Der Michelson-Versuch drohte, die elektromagnetische Lichttheorie von Maxwell, die von der Vorstellung des unbeweglichen Äthers ausging, umzustürzen. Auch Lorentz, der diese Lehre gefährdet sah, die er für die Ausarbeitung einer Elektronentheorie benötigte, zerbrach sich den Kopf über eine ganze Serie von Modellen, die die Kontraktion der Planeten, die das angenommene Äthermeer durchheilen, erklären sollten.

Die Elektronentheorie von Lorentz brauchte allerdings ebenso wie die Maxwellsche Theorie den mechanischen Äther eigentlich nicht. Der Begriff des Äthers blieb zwar in ihr erhalten, war aber nur noch ein Synonym für den absoluten, grenzenlosen Raum, den schon Newton in die Wissenschaft eingeführt hatte. Deswegen ergab sich aus der Theorie von Lorentz auch die Möglichkeit, die Bewegung eines Körpers im unbeweglichen Raum — dem Äther — nachzuweisen.

In der eleganten, aber außerordentlich kunstvollen Fitzgerald-Hypothese erblickte Lorentz die Bestätigung für die Existenz des Äthers. Aus ihr ließ sich ableiten, daß der Äther auf Körper einwirkte. Leider gestattete diese Wirkung nicht, diese Bewegung zu messen. Aber was machte das schon aus? Der Äther wirkte auf alle Gegenstände gleichermaßen ein, unabhängig von ihren individuellen Eigenschaften; er wirkte auf universelle Weise, wie es auch einer solchen alles durchdringenden, eigenartigen Substanz gebührte. Lorentz analysierte die Fitzgerald-Hypothese sehr

aufmerksam, und er ermittelte schließlich die Umrechnungsbeziehungen zwischen den Raum- und Zeitkoordinaten zweier gleichförmig zueinander bewegter physikalischer Bezugssysteme. Aus ihnen ging hervor, daß bei einem Körper, der sich gegenüber dem Beobachter bewegt, alle in die Bewegungsrichtung fallenden Längen gekürzt erscheinen und daß es notwendig ist, auch eine besondere, von der Geschwindigkeit abhängende Zeit einzuführen. Nur auf unserer Erde, wo alle Bewegungen, verglichen mit der Lichtgeschwindigkeit, ziemlich langsam sind, ist die Zeit eine praktisch eindeutige Größe.

Dieses Ergebnis war so ungewöhnlich und unerwartet, daß Lorentz es einfach für einen mathematischen Ansatz hielt, der seines Erachtens keineswegs in die Rechte der absoluten Zeit eingriff, die Newton zusammen mit dem Begriff des absoluten Raumes in die Wissenschaft eingeführt hatte.

So im Banne von alten Traditionen stehend, begriff Lorentz die sich vor ihm eröffnenden, durch seine Formeln erschlossenen Möglichkeiten nicht. Er legte sie im Geist klassischer Vorstellungen Newtons und der Vorstellung vom Weltäther aus.

Lorentz erwies sich als unfähig, eine wissenschaftliche Umwälzung herbeizuführen. Zwar hatte er Einstein den Weg geebnet. Doch er erhob nie Anspruch auf eine Priorität in dieser Frage. Er gab immer zu, daß er das, was Einstein verstand, nicht zu begreifen vermocht hatte, und er propagierte eifrig dessen Theorie.

**Revolution in der Physik.** Nach einer tiefgreifenden Analyse der Versuchsdaten, die im Verlauf von mehr als zwanzig Jahrhunderten durch die Physiker angesammelt worden waren, gelangte Albert Einstein, damals mit fünfundzwanzig Jahren Beamter des Patentamtes von Bern, zu der Annahme, daß die Lichtgeschwindigkeit unter allen Bedingungen konstant ist.

Bei einer solchen Voraussetzung war der negative Ausgang des Michelson-Versuchs verständlicherweise unvermeidlich.

Einstein verstand auch, daß beliebige Erscheinungen und Prozesse in sich gleichförmig fortbewegenden Körpern völlig gleich ablaufen. Physikalisch ist kein Unterschied zwischen zwei Systemen feststellbar, die sich gegeneinander mit konstanter Geschwindigkeit bewegen. Es gibt deshalb kein absolutes Bezugssystem. Dadurch dehnte er das Relativitätsprinzip Galileis, nach dem Bewegungen verschiedener Körper gegeneinander in einem abgeschlossenen Raum unabhängig davon sind, ob sich der Raum selbst bewegt — ein Prinzip, das vorher nur für die Mechanik galt —, auf die gesamte Physik aus; eben dieses Prinzip veranlaßt den in einem Eisenbahnwagen sitzenden Fahrgäst anzunehmen, daß sein Zug abgefahren ist, obwohl sich nur ein Zug auf dem Nebengleis in Bewegung gesetzt hat.

Durch die zwei Voraussetzungen — von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und von der Universalität des Relativitätsprinzips — löste Einstein nicht nur das Rätsel des Michelson-Versuches, sondern er eröffnete damit auch eine

neue Ära in der Physik. Aus diesen Voraussetzungen entstand die Relativitätstheorie: zuerst ihr einfacher Teil — die spezielle Relativitätstheorie, die die Versuche erklärte, die in gleichförmig sich bewegenden Laboratorien durchgeführt werden — und danach der allgemeine Teil, der die beschleunigten Bewegungen und die Gravitationskräfte mit einschloß.

Aber diese Theorie führte zu Schlußfolgerungen, die den Zeitgenossen als unsinnig erschienen, denn die Abmessungen der Körper, ihre Masse in Beziehung zur Geschwindigkeit und selbst der Ablauf der Zeit büßten ihren absoluten Charakter ein.

Bereits Galilei wurde sich darüber klar, daß es mit Hilfe mechanischer Experimente unmöglich sei, die Bewegung einer Kutsche, in der man sich befindet, nachzuweisen, wenn sie sich gleichförmig und geradlinig bei geschlossenen Fenstern fortbewegt und wenn die die Kutsche abbremsende Reibung sehr gering ist. Einstein war der Ansicht, daß ein derartiger Nachweis weder mittels mechanischer Geräte noch durch irgendwelche anderen Experimente, auch nicht auf optischem Wege, zu realisieren sei. Dies bedeutete, daß in allen Körpern, die sich gleichmäßig und geradlinig unter gleichen Bedingungen fortbewegen, alle Vorgänge völlig gleich vor sich gehen. Dadurch ist die Möglichkeit zur Einschätzung einer gleichmäßigen und geradlinigen Bewegung an und für sich ausgeschlossen. Nach der Auffassung Einsteins ist für eine solche Einschätzung immer ein zweiter Körper erforderlich, gegenüber dem sich der erste bewegt. Nur unsere

relative Bewegung gegenüber anderen Körpern können wir beobachten.

Eine gleichmäßige Bewegung besitzt keinen absoluten Charakter, sie ist ihrem Wesen nach relativ. Dieser Gedanke klingt keinesfalls paradox.

Er geht naturgemäß aus jahrhundertelanger Erfahrung der Menschheit hervor. Wir empfinden unbeschleunigte Bewegungen — Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit — nie, wir nehmen nur Stöße, d. h. nur Beschleunigungen (auch Drehungen) wahr. Nur sie sind absolut, d. h. ohne äußeren Bezugskörper nachweisbar.

Die Verknüpfung des Prinzips der Relativität der Bewegung mit der Tatsache der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit brachte viele Überraschungen mit sich. Es stellte sich heraus, daß die bisherigen Gesetze der Physik, richtig und einleuchtend bei kleinen Geschwindigkeiten, bei Geschwindigkeiten, die sich der Lichtgeschwindigkeit näherten, falsch bzw. nur Näherungen waren. Ohne auf die Effekte der Relativitätstheorie einzugehen und ohne sie zu erklären, sollen einige von ihnen angeführt werden, um ihre scheinbare Paradoxie hervorzuheben.

Wenn zum Beispiel zwei Raketen einander entgegenfliegen und die in ihnen installierten Geräte anzeigen, daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 240 000 km/sec einander nähern, so werden die Geräte auf der Erde ganz andere Werte angeben. Sie werden für jede Rakete eine Geschwindigkeit von 150 000 km/sec angeben, nicht aber von 120 000, wie dies auf den ersten Blick scheint und wie sich aus dem Relativitätsprinzip

Galileis ohne Berücksichtigung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ergeben würde. Das einfache Gesetz der Zusammensetzung von Geschwindigkeiten verliert seine Gültigkeit; es wird durch ein komplizierteres ersetzt. Wenn sogar jede der Raketen mit einer Geschwindigkeit von über 150 km/sek (nach den Messungen von der Erde aus) der anderen entgegenfliegt, wird ihre relative Geschwindigkeit kleiner sein als die Summe dieser Geschwindigkeiten, d. h. kleiner als die Lichtgeschwindigkeit, die eine für massereiche Körper nicht erreichbare Grenzgeschwindigkeit bildet. Keine realen Prozesse, auch nicht Funksignale, können sich schneller ausbreiten.

Aber damit ist die Sache nicht abgetan.

Auf den irdischen Geräten wird abzulesen sein, daß sich die Maßstäbe bei beiden Raketen verkürzt haben und ein „Raketenmeter“ nur 85 irdische Zentimeter enthält. Gleichzeitig werden die Geräte in den beiden Raketen anzeigen, daß sich der Metermaßstab auf der Erde zusammengezogen hat und auch nur 85 „Raketenzentimeter“ faßt. Darüber hinaus werden die Geräte in der Rakete fixieren, daß sich das Meter in der anderen Rakete stärker als das irdische verkürzt hat und daß es nur 60 Zentimeter des Meters jener Rakete aufweist, in der die Messung stattfindet.

Das Gleiche wird mit den Uhren passieren. Die irdische Uhr wird zeigen, daß die Uhren in den beiden Raketen zurückbleiben und nur 51 Minuten während einer irdischen Stunde laufen. Die Uhr in der einen Rakete wird aber zeigen, daß

auch die irdische Uhr nachgeht und nur 51 Minuten in einer „Raketenstunde“ läuft. Die Uhr der anderen Rakete wird noch stärker in ihrem Gang zurückbleiben und nur 36 Minuten während „ein und derselben“ Stunde durchlaufen.

Die Ereignisse, die bei der Betrachtung von der Erde aus als gleichzeitig erscheinen, werden für die Passagiere der Raketen ungleichzeitig ablaufen.

Diese Schlüsse erscheinen paradox. Sie ergeben sich zwangsläufig aus der Tatsache, daß ein Kosmonaut, der sich im Zustand der Schwerelosigkeit in einer geschlossenen Rakete aufhält, die zu den Sternen fliegt, ihre Bewegung nicht wahrnimmt und diese Bewegung mit keinem Experiment nachweisen kann. Nur durch die Beobachtung äußerer Erscheinungen nach dem Öffnen der Jalousien vor den Sichtfenstern wird der Kosmonaut die unendliche Vielfalt der Welt sehen können, wobei das, was er sehen wird und was seine Geräte messen werden, von der Geschwindigkeit der Rakete gegenüber den anderen Körpern des ihn umgebenden Weltraums abhängen wird.

Dies bedeutet, daß die Passagiere zweier kosmischer Raketen, die sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten fortbewegen, die Umwelt verschieden wahrnehmen würden. Die Sterne würden ihnen in der Farbe und Form unterschiedlich erscheinen, d. h. völlig anders im Vergleich mit dem, was man von der Erde aus sieht. Die Ereignisse an verschiedenen Punkten des Weltraumes werden von der Besatzung einer Rakete zu einer

anderen Zeit wahrgenommen werden als von der zweiten, sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fortbewegenden Rakete.

Aus den Arbeiten Einsteins folgt, daß in einer Rakete, die mit einer Geschwindigkeit fliegt, die der Lichtgeschwindigkeit nahekommt, die Zeit ihren Lauf merklich verlangsamt. Beispielsweise können in einem in einer solchen Rakete verbrachten Jahr auf der Erde Hunderte Jahre vergangen sein.

Gewiß erhebt sich die Frage, weshalb sich die Zeit in der Rakete, nicht aber auf der Erde „dehnt?“ Ihre Bewegungen sind doch relativ zueinander und, vom Standpunkt der Theorie aus, gleich.

So scheint es nur auf den ersten Blick. In Wirklichkeit sind die Bewegungen der Rakete und der Erde nur zu der Zeit gleichgestellt, solange die Raketentriebwerke abgeschaltet sind und die Rakete sich gleichförmig in einer freien Flugbahn bewegt. Ein Paradoxon entsteht erst dann, wenn das Weltraumschiff wieder zur Erde gelangt und es möglich ist, die Uhren zu vergleichen. Vorher muß man aber die Triebwerke zünden, um die Rakete auf den Rückflug umzusteuern und auf der Erde zu landen. Bei der Arbeit der Triebwerke erfährt die Rakete eine Beschleunigung, nicht aber die Erde. Während dieser Zeit sind sie nicht gleichgestellt, und der Lauf der Zeit in der Rakete ändert sich.

Bis dahin stand es außer allem Zweifel, daß die Zeit einheitlich und der Zeitablauf auf der Erde und auf den fernen Fixsternen völlig gleich sei. Aus der Relativitätstheorie aber folgt, daß die

Zeit nicht nur auf den sich schnell bewegenden Körpern, sondern sogar auf der Erde selbst ungleichmäßig abläuft, daß man verschiedene Zeiten ablesen kann, wenn man gleiche, hinreichend genaue Uhren auf der Oberfläche der Erde, in großer Tiefe und auf einem sehr hohen Berg anordnet.

Freilich konnte dieses Experiment zu Lebzeiten Einsteins nicht angestellt werden, da keine ausreichend genaue Uhr zur Nachprüfung dieser Behauptung vorhanden war. Eine solche Uhr ist erst heutzutage gebaut worden, und nun ergab sich die Möglichkeit, den Grundsatz der Relativitätstheorie Einsteins auf der Erde nachzuprüfen, der bisher nur durch die Beobachtung von Spektren der „Weißen Zwerge“, ferner Sterne, bestätigt worden war.

Albert Einstein führte durch seine Relativitätstheorie die dialektische Methode in die Physik ein. Er bewies, daß Raum, Masse und Zeit relativ sind.

Dies bedeutet jedoch nicht, daß „alles in der Welt relativ“ ist, wie man manchmal die Relativitätstheorie etwas vulgär auslegt. In der Theorie Einsteins gibt es auch absolute Begriffe: Lichtgeschwindigkeit und andere Größen, die unter beliebigen Bedingungen ihren absoluten Wert beibehalten. Einstein verstand, daß viele Begriffe, die vor ihm als absolut galten, in Wirklichkeit relativ sind. Aber gerade das, was für relativ gehalten wurde, erwies sich als absolut. Deswegen scheint auch die Benennung „Relativitätstheorie“ unpassend zu sein.

Anfangs waren die Folgerungen der Relativitäts-

theorie selbst für die Fachgenossen des großen Gelehrten erschreckend und entmutigend. Aber bald wurden Einsteins Verdienste von allen vorbehaltlos anerkannt.

„Einstein vermochte das ganze Gebäude der klassischen Physik umzubauen und zu verallgemeinern“, schrieb Niels Bohr, „und dadurch unserm Weltbild die Einheitlichkeit zu verleihen, die alles, was zu erwarten war, übertrifft.“

**Ein kleines Weltall.** Es erwies sich jedoch, daß die den Wissenschaftlern bekannten Naturgesetze nicht nur bei sehr großen Geschwindigkeiten Schiffbruch erleiden. Auch im Bereich verschwindend kleiner Abmessungen sind sie ungültig. Die Wissenschaftler konnten sich davon überzeugen, als sie in die Welt der kleinsten Teilchen — der Atome und Moleküle — eindrangen.

Schon im Altertum vermutete man, daß sich die ganze Vielfalt der Welt aus einer geringen Zahl kleinster Teilchen herausgebildet hatte.

Man nahm an, daß die Eigenschaften der Körper von der Form und Größe der Atome und von deren Kombinationen abhängen. Wärme und Trockenheit, meinte man, entstehen aus Unterschieden in Form, Lage und Anordnung der Atome. Sie werden von den spitzesten und dünnsten Atomen hervorgerufen, die stumpfen und dicken erzeugen Nässe und Kälte. Auf die gleiche Weise erzeugen die einen Licht und Helligkeit und die anderen Dämmerung und Dunkelheit.

Demokrit schrieb den Atomen zwei Eigenschaf-

ten zu: „Raumerfüllung“ und „Undurchdringlichkeit“, Epikur fügte zu ihrer Gestalt und Größe auch noch ihre Masse als dritte Eigenschaft hinzu.

Die Hypothesen antiker Denker konnten jedoch im Laufe von Jahrhunderten weder bestätigt noch verworfen werden. Die Lehre von den Atomen wurde von vielen Gelehrten einmal begeistert aufgenommen, ein anderes Mal nicht beachtet. Selbst Ende des vorigen und am Anfang unseres Jahrhunderts gab es viele Zweifler. Ein bekannter zeitgenössischer Wissenschaftler meinte einmal, daß „einer der Gründe, die das Interesse an den Atomen verminderten, die Unbestimmtheit der Kenntnisse ihrer Abmessungen und ihrer Anzahl in der Volumeneinheit gewesen sein könnte“.

Das Erstaunlichste dabei ist jedoch, daß die ersten experimentellen Bestätigungen der Existenz von Atomen nicht immer ernst genommen wurden. Selbst dann, als die Physiker gelernt hatten, mit Hilfe des elektrischen Stromes Lösungen in ihre Bestandteile zu zerlegen, d. h., als sie die Elektrolyse durchführten und sich von der realen Existenz von Atomen der Elektrizität überzeugen konnten, verhielt sich ein so scharfsinniger Wissenschaftler wie Maxwell dieser Tatsache gegenüber wie zu einer zeitweiligen Erscheinung. Im Jahre 1873 schrieb er: „Es ist äußerst unwahrscheinlich, daß wir in der Zukunft, wenn wir zu einem Verständnis der wirklichen Natur der Elektrolyse kommen, in irgendeiner Weise die Theorie molekularer Ladungen aufrechterhalten, da wir dann schon eine zuverlässige Grund-

lage für die Ausarbeitung einer wirklichen Theorie elektrischer Ströme haben und somit von solchen vergänglichen Hypothesen unabhängig sein werden.“

Aus den „vergänglichen“ Hypothesen wurde jedoch das Fundament der modernen Physik.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entfaltete sich der Sturmangriff auf das Atom. Der englische Physiker Ernest Rutherford entdeckte bei der experimentellen Untersuchung des Durchganges von Alphastrahlen durch Stoffe den Atomkern, und viele Wissenschaftler vertieften sich in die bis dahin unbekannte Mikrowelt. Mit ihrem kühnen Verstand in das verborgene Heiligtum der Natur eindringend, versuchten sie natürlich, auch hier die schon bewährten Gesetze der Makrowelt anzuwenden, bekannte Begriffe, Vorstellungen und Analogien zu benutzen.

Das erste Atommodell, vorgeschlagen von Rutherford: im Zentrum der positive Kern, um den Elektronen kreisen, besaß eine offensichtliche Analogie zum Bild des Weltalls. Es ist ein Sonnensystem im Kleinen, in dem der Kern die Rolle des Zentralgestirns spielt und die Elektronen die der Planeten.

Die Ähnlichkeit erwies sich jedoch als rein äußerlich. Ohne besondere Schwierigkeiten kann man die Bewegung der Gestirne berechnen, ihre genaue Position in der Vergangenheit angeben und ihre Position in der Zukunft voraussagen. Als jedoch die Physiker versuchten, die gleiche Operation mit dem winzigen „Planetensystem“ des Atoms durchzuführen, blieb dieses Vorhaben ohne Resultat. Die Gleichungen sagten aus: Ein

solches Atom kann nicht existieren. Es ist instabil.

Verwirrt und erstaunt überprüften die Wissenschaftler ihre Berechnungen. Sie suchten nach Fehlern und Ungenauigkeiten, wiederholten alles. Die Gleichungen blieben unerbittlich: Die Gesetze der Physik ließen die Existenz solcher Atome nicht zu. Schuld daran war das Elektron.

**Protokoll des Unerklärlichen.** Ein winziges, unsichtbares Teilchen mit negativer elektrischer Ladung widersprach den scheinbar unerschütterlichen Gesetzen der großen Welt. Wollte man diesen Gesetzen Glauben schenken, so mußte das Elektron, wie jeder andere elektrisch geladene Körper, bei der Umkreisung des Kerns seine Energie in Form von Strahlung abgeben. War die Energie verausgabt, mußte das negativ geladene Elektron sich an den Kern annähern, vom positiv geladenen Kern angezogen werden und auf ihn herunterfallen. In Wirklichkeit geschieht das jedoch nie.

Einen zeitweiligen Ausweg aus dieser Sackgasse wies der damals noch unbekannte fünfundzwanzigjährige dänische Physiker Niels Bohr. Er nahm an, daß im Atom stabile Bahnen existieren, auf denen die Elektronen bei ihrer Bewegung nicht ausstrahlen, somit keine Energie verlieren und sich nicht an den Kern annähern. Das aber stand in direktem Widerspruch zur klassischen Physik. Das Bohrsche Postulat beruhte jedoch auf der Tatsache der Existenz der Atome.

Ein Postulat ist leider noch keine Erklärung,

vielmehr ein „Protokoll über ein unerklärliches Verhalten“. Es ist eine Feststellung unter dem Druck der Verhältnisse.

Niels Bohr vereinigte das auf der klassischen Physik beruhende Atommodell Rutherfords nunmehr mit der Quantenhypothese Max Plancks und mit den aus der Beobachtung optischer Spektren bereits seit langem bekannten Gesetzmäßigkeiten.

Bohr vermutete, daß die stabilen Elektronenbahnen im Atom mit einem genau definierten Energievorrat verbunden sind. Um von einer Umlaufbahn auf eine andere zu gelangen, muß das Elektron ein Lichtquant absorbieren oder abstrahlen.

Damit führte Bohr das Lichtquant — dieses geheimnisvolle, zu jener Zeit noch nicht allgemein anerkannte geistige Kind Einsteins — in das Atommodell ein. Die Elektronenbahnen erinnerten weiterhin an die Umlaufbahnen der Planeten. Während es aber in der jahrhundertealten Geschichte der Astronomie nicht gelang, herauszufinden, wodurch die Radien dieser Bahnen bestimmt sind (die Keplerschen Gesetze fixieren lediglich das Verhältnis ihrer Radien), verband Bohr sofort die Gesetzmäßigkeiten der Elektronenbahnen mit dem Energiezustand des jeweiligen Elektrons, und die Quantenzahlen stimmten mit den Zahlen überein, die in experimentell erhaltenen Formeln stehen, die die Frequenzen in den Linien- und Bandenspektren der Atome deuten.

Die geniale, wenn auch widersprüchliche Verbindung der Idee der Quantensprünge mit den

Gleichungen der klassischen Mechanik, die kategorisch keinerlei Sprünge zulassen, gestattete Bohr den Aufbau eines stabilen Modells des Wasserstoffatoms und seine Verbindung mit den bislang unverständlichen Gesetzmäßigkeiten der Spektrallinien. Das machte auf seine Zeitgenossen einen tiefen Eindruck, einen weitaus stärkeren als die Entdeckung der „planetaren“ Struktur des Atoms selbst.

Das Bohrsche Atom konnte jedoch weder vom physikalischen noch vom philosophischen Standpunkt aus als Lösung des Problems betrachtet werden.

Eine Kleinigkeit blieb unklar. Warum strahlt denn das Elektron im Widerspruch zur klassischen Elektrodynamik nicht aus, wenn es sich auf der Bohrschen Bahn bewegt? Erst beim Übergang von einem Zustand höherer Energie in einen Zustand niederer Energie, also auf eine Bahn mit kleinerem Durchmesser, wird Licht emittiert. Worin besteht der Mechanismus des Übergangs von Bahn zu Bahn, und auf welche Weise wird im Prozeß dieses Übergangs ein Lichtquant gebildet oder absorbiert? Die Grundfrage, warum das Atom stabil ist, blieb offen. Aber mit Hilfe des Bohrschen Atommodells war es fortan möglich, die Spektren einfacher Atome zahlenmäßig genau zu deuten. Bei komplizierten Atomen traten Abweichungen von experimentellen Zahlenwerten auf. Dennoch bedient man sich auch heute noch gern des Bohrschen Atommodells, da es im Gegensatz zu den neuesten Erkenntnissen der Wellenmechanik sehr anschaulich ist.

Das Elektron blieb aber nicht nur innerhalb des Atoms ein eigenwilliges Teilchen. Vom Standpunkt der Physiker, die gewohnt waren, an eine gesetzmäßige Ordnung in der physikalischen Welt zu glauben, verhielt es sich auch im freien Raum irgendwie anormal. Bei einer Betrachtung des Elektrons als geladenes Teilchen konnten die Physiker nicht einmal über seine Bahn außerhalb des Atoms Rückschlüsse ziehen.

Hier also ist eine Substanz, aus der ein Elektron herausgelöst wurde, hier der Spalt, durch den es geflogen ist. Wo aber, an welcher Stelle stößt es auf die photographische Platte, die auf seinem Weg angebracht worden ist? Eine Voraussage, wo das Pünktchen — die Spur dieses Aufpralls — erscheinen wird, ist nicht möglich.

Bis zum heutigen Tag ist es den Physikern noch nicht gelungen, Masse und Form des Elektrons exakt zu bestimmen. Es ist lediglich bekannt, daß sein Radius mindestens eine Million Mal kleiner als der Atomradius ist. Allerdings darf man es auch nicht als einen Punkt ohne Abmessungen betrachten. In diesem Falle wäre seine Energie unendlich groß, was nicht der Wirklichkeit entspricht.

Auf solche Schwierigkeiten war die klassische Physik nicht gestoßen. Die Mikrowelt gehorchte eben nicht den Gesetzen der Makrowelt. Der theoretische Apparat der klassischen Physik mußte an dieser Stelle kapitulieren. Ihre Methoden konnten den Wissenschaftlern nicht helfen, sich im atomaren Bereich zurechtzufinden. Sie konnte selbst auf eine so dringende Frage, was der Atom-

kern und die Elektronen eigentlich sind, keine Antwort geben.

Am klarsten und deutlichsten wurde die Situation damals von Wladimir Iljitsch Lenin charakterisiert, als er das Elektron als ebenso unerschöpflich wie das Atom bezeichnete. Die unmittelbare Schlußfolgerung daraus war, daß die Kerne und die Elektronen nicht die Bausteine sind, aus denen die Welt letztlich aufgebaut ist. Heißt das, daß diese Bausteine aus noch kleineren Teilchen bestehen?

**Ausbruch der Leidenschaft.** Wissenschaftler unterscheiden sich von anderen Leuten möglicherweise nur dadurch, daß sie das Wort „Warum“ besonders schätzen.

Einer derjenigen, die durch unermüdliches For-schen den Schleier lüften half, den die Natur über ihre Geheimnisse breitet, ist der französi-sche Physiker Louis-Victor de Broglie.

Im Laboratorium seines Bruders Maurice de Broglie begann er an Problemen der Röntgenstrahlung und des Photoeffekts zu arbeiten. Später, nachdem er 1919 aus der Armee zurückgekehrt war, verfiel er völlig dem Zauber der Einstein-schen Lichtquantentheorie. Ihn begeisterte gerade das, was den deutschen Gelehrten verdächtig erschien. Einstein hatte auch gar nicht die Ab-sicht, die Ursachen einer Färbung auf dünnen Filmen, zum Beispiel die regenbogenartige Färbung des auf Wasser gegossenen Erdöls sowie andere Interferenzerscheinungen mit Hilfe von Quanten zu erklären. Mit der Annahme, daß Licht ausschließlich aus Partikeln besteht, kann

man derartige Erscheinungen nämlich nicht deuten. Der Schöpfer der Lichtquantentheorie überließ diese Aufgabe der Wellenmechanik. Geht man vom wellenartigen Charakter des Lichts aus, läßt sich eine sehr einfache Erklärung finden. Die Einseitigkeit einer jeden dieser Theorien schreckte Einstein jedoch nicht von einer tiefgehenden Analyse ihrer Konsequenzen ab. Er betrachtete den Doppelcharakter des Lichts als eine Gesetzmäßigkeit. Licht erscheint unter bestimmten Bedingungen als kontinuierliche Welle und unter anderen Bedingungen als ein Strom von Quanten, die später die Bezeichnung Photonen — Lichtpartikeln — erhielten.

Mit dieser Art des Herangehens an das Wesen des Lichts stand Einstein jedoch allein da. Selbst später, nach der Ausarbeitung der Relativitätstheorie, als er mit Newton verglichen, ja in seiner Bedeutung auf eine Stufe gestellt wurde, blieb seine Quantentheorie des Lichts vergessen.

Bohr nutzte sie zur Schaffung seiner Atomtheorie, aber auch dies trug nicht zu ihrer Anerkennung bei. Einstein selbst, mit immer schwierigeren Aufgaben beschäftigt, die während seiner Hauptarbeit auftraten, kehrte zu diesen frühen Arbeiten seiner wissenschaftlichen Laufbahn nicht zurück.

Erst Louis de Broglie griff die Einsteinschen Ideen auf. Schon in früher Jugend war er von der Analogie der Gleichungen, die einerseits die Fortpflanzung von Wellen und andererseits das Verhalten komplizierter mechanischer Systeme

beschreiben, tief beeindruckt. Das seltsame Auftauchen ganzer Zahlen in den Regeln, die es gestatten, die Orbitale des Wasserstoffatoms zu berechnen, brachte ihn auf den Gedanken, daß diese Regeln mit den Gesetzen der Wellenbewegung, in denen regelmäßig einfache ganze Zahlen auftauchen, in einer gewissen Beziehung standen.

Geleitet von den Ideen Einsteins, insbesondere von dessen Überlegungen über die Beziehungen zwischen Masse und Energie, die aus der Relativitätstheorie resultieren, vollbrachte de Broglie sein Werk. Während Einstein die elektromagnetischen Wellen mit den Lichtteilchen verbunden hatte, brachte de Broglie die Bewegung von Teilchen mit der Fortpflanzung von Wellen, die er Materiewellen nannte, in eine direkte Beziehung.

Im Jahre 1923 erschienen in den „Berichten der Französischen Akademie der Wissenschaften“ drei Artikel, drei Meisterwerke, in denen die Grundprinzipien der neuen Wellenmechanik dargelegt waren. Zum ersten Mal wurde eine einfache Deutung der bisher unerklärlichen Quantenstabilität der Elektronenbewegung im Atom gegeben, die von Bohr vorausgeahnt worden war. Es wurde gezeigt, wie die Erscheinungen der Interferenz und der Diffraction, die ein Monopol der Wellentheorie darstellten, mit der Existenz von Lichtteilchen — Photonen — in Zusammenhang gebracht werden konnten, eine Tatsache, die zum Zusammenbruch der Newtonschen Korpuskulartheorie des Lichts führte. De Broglie gab die erste Herleitung der Planckschen Gleichung.

Und schließlich gelang es ihm auch, die Beziehung zwischen den Bewegungsgesetzen von Teilchen und dem bekannten Fermatschen Prinzip aufzuzeigen, das sich auf die Fortpflanzung von Wellen bezieht.

Ein weiteres Jahr benötigte de Broglie für die Abfassung seiner Habilitationsschrift, in der die Gedanken der Wellenmechanik weiterentwickelt und so fein geschliffen wurden, daß die Jury der berühmten Sorbonne, in der so bekannte Koryphäen der französischen Wissenschaft wie Paul Langevin und Jean Perrin vertreten waren, sie ohne zu zögern als „Brillant erster Größe“ bewertete.

**Der mathematische Fleischwolf.** Der fünfundzwanzigjährige Göttinger Wissenschaftler Werner Heisenberg veröffentlichte im Jahre 1925 seine Quantenmechanik, die wegen ihrer mathematischen Formulierung Matrizenmechanik genannt wird.

Heisenberg betrachtete die Physik offensichtlich als ein spannendes Aufgabenbuch, in dem man beim Durchblättern immer interessantere, wenn auch immer schwierigere Aufgaben findet. In einer Aufgabensammlung werden selbstverständlich nur die Bedingungen dargelegt — die Lösung muß erst gefunden werden. Die Kontrolle übernimmt der oberste Richter — Ihre Majestät, die Erfahrung. Ist die Lösung gefunden, so kommt sie aus dem großen Aufgabenbuch der Natur in die Lehrbücher und Aufgabensammlungen der Studenten und vielleicht auch der Schulkinder.

Die einfachen Aufgaben waren längst gelöst. Für die neuen erwiesen sich die klassischen Lösungsmethoden als unbrauchbar. Und nun war jeder auf sich allein gestellt. Alles hing von Mut, Scharfsinn und Ausdauer ab. Und vielleicht half eine „verrückte“ Idee weiter?

Konnte man nicht ein Rezept finden, mit dessen Hilfe sich die Bedingungen der Aufgabe in ihre Lösung verwandeln ließen? Lohnt es sich überhaupt, über die Zwischenschritte nachzudenken, wenn die Lösungen dann ohnehin experimentell bestätigt werden konnten? Die Sieger richtet man nicht. Ist es denn wirklich notwendig, den Lösungsweg Schritt für Schritt zu durchdenken, den Mechanismus der „Maschine“ zu analysieren, die Funktion ihrer „mathematischen Zahnräder“ zu verfolgen?

Die Matrizenmechanik Heisenbergs stellte die Verwirklichung einer solchen Idee dar. Die Ausgangsbedingungen der Aufgabe werden mit Hilfe mathematischer Symbole niedergelegt, die eine Tabelle — die Matrix — bilden. Danach wird die Matrix nach speziell ausgearbeiteten Regeln umgeformt. Und ... an der Mündung dieses mathematischen Fleischwolfs erscheint die richtige Lösung.

In gewissem Sinne befreite die Matrizenmechanik den Theoretiker von der Notwendigkeit, zu denken. Tatsächlich bestand die Hauptarbeit in der Erschließung ungewohnter mathematischer Methoden. Das Weitere verlief erstaunlich einfach. Die Bedingungen der nächsten Aufgabe waren in der symbolischen Matrizenform aufzuschreiben (das kostete natürlich einiges Kopfzerbrechen).

Von dort an konnte man jedoch nach ausgearbeiteten Regeln verfahren. Am Ende dieser fast mechanischen Arbeit entstand die Lösung. Die Erfahrung half, sie im Formelwald auch zu finden. In den Urwald der Mikrowelt war auf diese Weise eine weitere Schneise geschlagen.

**Die dritte Attacke.** Im Frühjahr 1926 legte ein junger österreichischer Physiker, Erwin Schrödinger, seinem Kollegen de Broglie Aufsätze vor, die er unter dem Einfluß seiner Arbeiten geschrieben hatte.

De Broglie war begeistert. Dickicht und Hindernisse auf dem Weg zur Wahrheit waren beseitigt. Schrödinger gelangte zu einer bemerkenswerten Gleichung, die heute unter dem Namen Wellengleichung oder Schrödinger-Gleichung bekannt ist. Wenn gleichzeitig viele Teilchen an einem Prozeß beteiligt sind, wird die ihre Bewegung beschreibende Welle äußerst kompliziert. Sie läßt sich in den Grenzen des gewöhnlichen dreidimensionalen Raumes nicht mehr unterbringen. Zu ihrer Beschreibung muß man sich einen Raum mit vielen Dimensionen vorstellen.

Auf diese Weise drang der abstrakte vieldimensionale Raum, der bislang eine Domäne der klassischen Physik war, tief in die Physik der Mikrowelt ein.

Das Erstaunlichste dabei war, daß die Charakteristika der von Schrödinger erhaltenen mehrdimensionalen Welle mit den Elementen der Heisenbergschen Matrizen, die sich bei der Lösung der entsprechenden Aufgabe ergeben, zusammenfielen.

Schrödinger wies damit nach, daß seine aus de Broglies Wellenmechanik heraus entwickelte Quantenmechanik zu den gleichen Aussagen führte wie Heisenbergs Matrizenmechanik. Ebenfalls stellte er fest, daß die bei der Erarbeitung einer Atomtheorie auftretenden Fragen in vieler Hinsicht den rein mechanischen Problemen der Schwingung einer Membrane ähnlich sind. Eine beherrschende Rolle spielen in diesem und jenem Fall die Reihen kleiner ganzer Zahlen, die in das Atommodell dank der Intuition Bohrs eingeführt worden und von der Mechanik und Akustik her längst bekannt waren.

Nach der Vorstellung Schrödingers werden die Bohrschen Quantenzahlen einfach durch die Zahl der de-Broglie-Wellen des Elektrons bestimmt, die auf seine Umlaufbahn passen.

Im Ergebnis der Arbeiten de Broglies, Heisenbergs und Schrödingers wurde so die neue Quantenmechanik geboren, eine erstaunliche, nicht leicht verständliche, mit mathematischem Zündstoff geladene Waffe für weitere Feldzüge in die Mikrowelt. Sie vermochte alle Widersprüche zwischen Wellen- und Teilchenbild zum Verschwinden zu bringen und das physikalische Weltbild völlig neu zu gestalten.

Ein Jahr später, im Frühjahr 1927, machten Clinton Joseph Davisson und Lester Halbert Germer, zwei amerikanische Physiker, die sich mit Fragen der technischen Nutzung der Elektronik beschäftigten, völlig unerwartet eine bedeutende physikalische Entdeckung. Zufällig, ohne dieses Ziel gehabt zu haben, entdeckten sie Interferenzen von Elektronen. Beim Durchgang

eines Elektronenbündels durch ein Kristall ergeben sich auf der photographischen Platte die gleichen Bilder wie auch beim Durchgang von Röntgenstrahlen. Nach der bisherigen Theorie wäre eine diffuse Streuung zu erwarten gewesen. Statt dessen trat eine Häufung an bestimmten Stellen auf. Es entstanden Beugungsbilder, deren Richtung von der Geschwindigkeit des Elektronenstrahls abhing. Die Welleneigenschaften der Elektronen, von der Theorie vorausgesagt, waren durch das Experiment bestätigt worden. Es begann ein Triumphzug der neuen Theorie. Es war allerdings ein eigenartiger Triumphzug. Die Theorie knackte immer härtere Nüsse, die ihr von den Experimentatoren zugeworfen wurden, war jedoch nicht in der Lage, auf einige scheinbar einfache Fragen Auskunft zu geben. Wenn die Lage des Elektrons zum Beispiel genau bekannt war, erwies es sich als unmöglich, seine Geschwindigkeit zu bestimmen und umgekehrt. Das schien der Tribut dafür zu sein, daß den Teilchen Welleneigenschaften zugeschrieben wurden. Die Ursache dieses eigenartigen Verhaltens blieb unklar.

**Der Kopenhagener „Schmelzriegel“.** Zu dieser Zeit wurde Kopenhagen, wo sich junge Naturwissenschaftler aus vielen Ländern in zwangloser Atmosphäre um Niels Bohr zusammenfanden, zu einem der aktivsten Zentren der Weiterentwicklung der theoretischen Physik. Im Herbst des Jahres 1926 kam der Österreicher Erwin Schrödinger, der einige Zeit versucht hatte, ohne Quantensprünge auszukommen und die

Elektronen als Teilchen im Atom völlig durch dreidimensionale Wellen zu ersetzen, nach Kopenhagen, um im Schmelzriegel der Diskussion seine Arbeiten billigen zu lassen. Als Ergebnis wurde festgestellt, daß es auf diesem Wege nicht nur unmöglich war, ohne Widersprüchlichkeiten eine Theorie des Atoms aufzubauen, sondern daß es auch nicht gelingen konnte, das Plancksche Gesetz der Strahlung eines schwarzen Körpers zu erklären.

Schrödinger gab aber nicht ohne weiteres auf. Die Kopenhagener Diskussion tobte viele Monate lang. Bis in die späte Nacht hinein wurde gestritten. Manche Hoffnung endete mit einer Enttäuschung. Aber dieses Ringen um Erkenntnis war einer der besten „Schmelzriegel“ wissenschaftlichen Schöpfertums. „Und wenn ich am Ende solcher Diskussionen noch allein einen kurzen Spaziergang im benachbarten Park unternahm“, erinnerte sich Werner Heisenberg, „stellte ich mir wieder und wieder die Frage, ob die Natur wirklich so absurd sein könne, wie sie uns in diesen Atomexperimenten erschien.“

Immer aufs neue wurden die Ergebnisse Bohrs, Kramers' und Slaters diskutiert, die schon 1924 versucht hatten, die Widersprüche zwischen dem Wellen- und dem Teilchenbild zu beseitigen. Sie betrachteten die elektromagnetischen Wellen nicht als reale Felder, sondern als Wellen der Wahrscheinlichkeit, die angeben, wo ein Lichtquant — ein Photon — am ehesten auftauchen muß. Dieser vereinfachte Standpunkt erwies sich jedoch als falsch. Er enthielt zum Beispiel die Möglichkeit der Verletzung des Energiesatzes bei

Elementarakten. Das aber war ein Verstoß gegen unumstößliche Naturgesetze.

Das Gesetz der Erhaltung der Energie konnte nicht verletzt werden. Die Beziehungen zwischen dem Wellen- und dem Teilchenbild mußten komplizierter sein. Die Idee der Wahrscheinlichkeitsinterpretation drang deshalb immer wieder an die Oberfläche des Kopenhagener „Schmelztiegels“.

Unter Benutzung der Ideen Schrödingers nahm Max Born an, daß die Wahrscheinlichkeitswelle keine dreidimensionale Welle analog den Radiowellen, dem Licht oder den elastischen Wellen ist, sondern eine Schrödingerwelle im mehrdimensionalen Raum. Sie ist keine Materiewelle, kein materieller Ersatz des Elektrons, Photons oder eines anderen Teilchens, sondern ein abstraktes mathematisches Abbild, das mit diesen Teilchen eng verknüpft ist. Born nahm an, daß das Quadrat der Amplitude (der Höhe) dieser unsichtbaren, nichtmateriellen Welle die Wahrscheinlichkeit ausdrückt, mit der sich ein Teilchen an einer bestimmten Stelle im Raum aufhält. Sich diese Welle als irgend etwas Materielles vorzustellen, ist unmöglich und auch nicht notwendig. Sie gestattet jedoch in verblüffender Weise, die Theorie mit dem Experiment in Übereinstimmung zu bringen.

Diese Deutung führte nicht zu einer Verletzung des Gesetzes der Erhaltung der Energie. Viele Unklarheiten blieben jedoch erhalten: Wie soll man zum Beispiel eine so grundlegende und augenscheinlich einfache Größe wie die Geschwindigkeit des Teilchens bestimmen?

**Ein hoher Preis.** Den Ausweg aus dieser Lage wies erneut Heisenberg. Bei seinem Streben nach einer formalen Harmonie der Theorie und nach vielen Überlegungen über die philosophischen Aspekte des Problems formulierte er die berühmte Unschärfebeziehung. Dieses Unbestimmtheitsprinzip ist, im Grunde genommen, äußerst einfach: Es ist nicht möglich, den Ort, an dem sich ein Elektron befindet, und seine Bewegungsgröße gleichzeitig mit beliebiger Genauigkeit zu bestimmen. Das Produkt der Unbestimmtheiten von Ort und Impuls kann nicht kleiner als eine bestimmte Größe sein, die eng mit dem Planckschen Wirkungsquantum zusammenhängt. Je genauer man die eine Größe anzugeben vermag, desto unschärfer ist also die andere.

Heisenberg gab keine mathematische Analyse der Herkunft dieser Beziehung. Er leitete sie aus einem einfachen Gedankenexperiment ab und zeigte, daß sie im Experiment immer Gültigkeit besitzt. Er demonstrierte die neuen Möglichkeiten, die sich eröffnen, wenn man diese Relation als Grundgesetz der Mikrowelt anerkennt.

Die neue Beziehung, in den Rang des Unschärfeprinzips erhoben, gestattete es, der Quantenmechanik eine formale Vollendung zu geben und sie von inneren Widersprüchen zu befreien. Durch sie wird das Teilchenbild des Elektrons so eingeschränkt, daß stets noch Platz für das Wellenbild bleibt. Es stellte sich allerdings heraus, daß diese Vorteile mit einem hohen Preis bezahlt werden. Die Quantenmechanik war gezwungen, auf eine detaillierte, anschauliche Beschreibung des Prozesses zu verzichten.

Die Anschaulichkeit, die jahrhundertelang den Wissenschaftlern bei ihren Expeditionen durch das Gestüpp des Unbekannten hilfreich zur Hand gestanden hatte, war verschwunden. Man konnte nun nicht einmal mehr gedanklich die Bahn des Elektrons verfolgen: Dazu muß man ja gleichzeitig seine Lage und seine Geschwindigkeit kennen; das aber erklärte die Theorie als unmöglich. Die Theorie hatte selbst auf die Möglichkeit verzichtet, die Erscheinungen der Mikrowelt einer eingehenden Analyse zu unterwerfen. Vom gewohnten Grundstock der Ereignisse blieben einzelne Glieder übrig, lediglich mit nichtmateriellen mathematischen Formeln verknüpft. Man konnte nur die Wahrscheinlichkeit ausrechnen, mit der auf die gegebene Ursache eine bestimmte Folge eintritt.

Der Zufall drang auf diese Weise in die Wissenschaft ein, jedoch nicht der Zufall der klassischen Physik, der eigentlich nur das Ergebnis des Verzichts auf zu umfangreiche Rechnungen bei äußerst komplizierten Aufgaben darstellte, sondern eine neuartige Zufälligkeit, die einen prinzipiellen Charakter erlangte. Es stellten sich neue, der Wahrscheinlichkeit unterworfenen Gesetzmäßigkeiten heraus, von denen die Mikrowelt beherrscht wurde.

Es erwies sich, daß die Natur so eingerichtet ist, daß nicht immer nur einfache, mechanisch determinierte Beziehungen wirken. In der Natur wirken auch Zufallsprozesse.

Dies war die berühmte Kopenhagener Interpretation der Vorgänge in der Mikrowelt. Sie war das Ergebnis eines erbitterten Meinungsstreites

und angestrengter schöpferischer Arbeit vieler Wissenschaftler.

Ihre Grundsätze sind inzwischen im Laufe neuer umfangreicher Forschungen vervollkommen und präzisiert worden.

**Die duale Lösung.** Den Gelehrten der älteren Generation — Lorentz, Einstein, Planck und anderen, die spontan materialistische Positionen einnahmen — erschien die Kopenhagener Interpretation als unannehmbar.

Sie waren der Meinung, daß die klassische Kausalität ein unabdingbares Element der Natur sei und daß jede physikalische Theorie fähig sein müsse, die Beziehungen zwischen Ursache und Folge eindeutig zu beschreiben.

Der hervorragende französische Physiker Paul Langevin zum Beispiel bezeichnete das Gerede vom Zusammenbruch des Determinismus als „intellektuelle Unzucht“. Keiner zweifelte daran, daß Teilchen und Felder im Raum existieren und daß die Bewegung der Teilchen eine Bewegung von einem Ort des Raumes zu einem anderen ist. Würde das Teilchen seinen Weg im Raum färben, müßten wir eine Spur sehen; die Punkte, in denen es sich aufgehalten hat, müßten zu einer ununterbrochenen Linie zusammenfließen. Die Kopenhagener Interpretation ersetzte diese Linie durch eine dicke Schnur, in der Mitte dunkel und zum Rand hin heller werdend. Auf der Achse dieser Schnur liegt die wahrscheinliche Bahn. Das Teilchen kann jedoch beliebig weit von ihr entfernt und danach wieder

in der Nähe der Achse zu finden sein. Die auf der Wahrscheinlichkeit beruhende Interpretation gestattete es nicht, die genauen Werte der Lage des Teilchens und seiner Geschwindigkeit gleichzeitig vorauszusagen. Der Begriff einer definierten Bahn war durch eine „Wolke der Wahrscheinlichkeit“ ersetzt.

Gegen eine solche Interpretation wandte sich auch de Broglie, der die Aufgabe der Physik in der ausführlichen Beschreibung der Erscheinungen der Mikrowelt sah und keine Abkehr vom klassischen Determinismus zuließ. Schrödinger hielt ebenfalls diese Schwierigkeiten für einen Nachteil der Theorie.

Ungeachtet seiner beharrlichen Bemühungen gelang es de Broglie jedoch nicht, einen mathematischen Apparat zu schaffen, der es gestattete, den Lauf der Ereignisse in der Mikrowelt in allen Einzelheiten zu verfolgen.

Er ging davon aus, daß in einer zukünftigen Theorie die Begriffe Welle und Teilchen ihren gewohnten Charakter bewahren müssen. Das Teilchen ist, einem bildhaften Ausdruck Einsteins nach, als Buckel — eine gewisse Besonderheit — auf dem Rücken der Welle zu betrachten.

Wie aber sollte man diese Idee beweisen?

Unter großen Anstrengungen gelangte de Broglie zu dem, was er „Dualitätstheorie“ nannte. Der Kern dieser Theorie besteht darin, daß die Gleichungen der Wellenmechanik zwei Lösungen zulassen müssen — eine, die über eine „Besonderheit“ verfügt, soll das existierende Teilchen darstellen, die andere, völlig „glatte“, soll lediglich die der Wahrscheinlichkeit gemäße Be-

schreibung der Ortsveränderung der Teilchenwolke sein.

Seine mathematische Untermauerung dieser Theorie befriedigte de Broglie jedoch nicht, so daß er nach der Veröffentlichung eines programmatischen Artikels diese Theorie nicht weiterentwickelte, sondern zu einer „vorsichtigeren“ Theorie der Pilotwelle überging, entsprechend derer die Welle, die man in den Lösungen der quantenmechanischen Gleichungen erhält, der Bewegung der Teilchen „den Weg zeigt“.

Hierbei trennte er sich von der Einbeziehung der Teilchen in die Welle, behielt aber, der Dualität Korpuskel—Welle entsprechend, den intuitiven Begriff des punktförmigen Teilchens bei, das sich in Übereinstimmung mit den Gesetzen der Kausalität im Raum bewegt.

**Der große Streit.** So war der Stand der Dinge 1927, als die bedeutendsten Physiker in Brüssel zu einer Konferenz zusammentrafen.

Der den Vorsitz führende greise Nestor der Physiker, Professor Lorentz, bekräftigte in der Eröffnungsrede seine Überzeugung von der Gültigkeit des klassischen Kausalitätsprinzips und von der Notwendigkeit, physikalische Erscheinungen im Rahmen von Raum und Zeit zu beschreiben. Er stellte fest, das Elektron sei ein Teilchen, das sich im gegebenen Moment in einem bestimmten Punkt des Raumes befindet. Wenn sich das Teilchen im nächsten Moment irgendwo anders befindet, so müsse seine Bahnbewegung eine Linie im Raum darstellen. Das Bild, das man sich von

den Erscheinungen mache, müsse völlig exakt und definiert sein.

Lorentz, einer der letzten Vertreter der klassischen Physik, war offensichtlich über die übermäßigen Abstraktionen der neuen Quantentheorie beunruhigt. Der Wunsch, in der Wissenschaft die Bildlichkeit und Anschaulichkeit klassischer Vorstellungen zu erhalten, war sein Testament an die neue Generation von Physikern.

Der Brüsseler Kongreß wurde zur Arena der angespanntesten Diskussion, die die Geschichte der Wissenschaft kannte.

Bohr legte einen neuen Standpunkt dar, der von ihm zusammen mit Heisenberg und anderen Teilnehmern der „Kopenhagener Schule“ ausgearbeitet worden war. Sein Wesen lief darauf hinaus, daß man auf eine detaillierte Beschreibung des Verhaltens der Mikroteilchen zu jedem Zeitpunkt verzichten solle. Man müsse die Versuche, sich ihre Bahnbewegung vorzustellen, aufgeben und sich mit der Berechnung der Beobachtungswahrscheinlichkeit dieses oder jenes Ereignisses, dieses oder jenes Versuchsergebnisses zufriedengeben.

Bohr formulierte ein neues Prinzip, das er Komplementaritätsprinzip nannte. Es legte fest, daß die Objekte der Mikrowelt in den einen Fällen wie Teilchen auftreten und sich in den anderen wie Wellen verhalten und daß es unmöglich ist, sowohl ihre Teilcheneigenschaften als auch ihre Welleneigenschaften gleichzeitig exakt festzustellen. Das eine schließt das andere aus, ergibt jedoch erst gemeinsam eine vollständige Beschreibung der Natur der Teilchen.

Auf diesem Standpunkt beharrte Bohr. Einstein widersprach heftig. Er war gegen die auf der Wahrscheinlichkeit beruhende Interpretation und bestand auf der vollständigen Beibehaltung des Kausalitätsprinzips, auf der Notwendigkeit der Vereinigung der Dualität in einer einheitlichen physikalischen Theorie.

Bohr parierte geistreich die Einwände Einsteins. Das Hauptargument jedoch bestand im Fehlen einer „exakten Theorie der Mikrowelt“, obgleich die auf der Unschärferelation beruhende Quantenmechanik Erfolg auf Erfolg errang. Einstein und die anderen Opponenten konnten lediglich Einwände erheben, konnten schwache Stellen der Bohrschen Interpretation aufdecken; etwas Besseres konnten sie jedoch nicht vorschlagen. Nach und nach stellte sich die Mehrheit der Wissenschaftler auf den Standpunkt Bohrs. Seine Interpretation der Quantenmechanik, die die Bezeichnung „Kopenhagener“ erhielt, triumphierte.

Selbstverständlich bemühten sich Einstein und viele andere Physiker auch in dieser Periode, ihre Einwände zu präzisieren, sie waren jedoch außerstande, irgend etwas zu schaffen, was die auf der Wahrscheinlichkeit beruhende Interpretation ersetzen konnte.

In gewissem Sinne war ihr Bemühen eine Verteidigung gegen die aktiv angreifende Kopenhagener Interpretation. Einen Gegenstoß zu führen, versuchte lediglich de Broglie. Aus Brüssel nach Paris zurückgekehrt, rekonstruierte er in ruhiger Atmosphäre den Verlauf der Diskussion auf dem Kongreß. Er gab endgültig zu, daß die Einwände

gegen die Theorie der Pilotwelle unwiderlegbar waren. Kann doch die Welle, die als Träger der Wahrscheinlichkeit betrachtet wird, tatsächlich nur die wahrscheinliche Lage der Bahn und nicht den wirklichen Weg des Teilchens bestimmen, selbst wenn ein solcher existieren sollte. Jedoch daran, daß eine Bahnbewegung als wirklicher Weg des Teilchens existiert, zweifelte de Broglie nicht. Mehr als das — er war davon überzeugt, daß ihn die Dualitätstheorie aufzeigen konnte. Entmutigt durch die mathematischen Schwierigkeiten schrieb er jedoch: „Ich habe von den Versuchen einer deterministischen Deutung der Wellenmechanik völlig Abstand genommen und mich vollständig der Konzeption Bohrs und Heisenbergs angeschlossen.“

Beharrlich kämpften die sowjetischen Physiker A. D. Alexandrow, D. I. Blochinzew, W. A. Fok und viele andere gegen die Kopenhagener Interpretation. Sie wiesen die Mängel dieser Interpretation nach. Aber auch sie hatten bei der Lösung aktueller physikalischer und technischer Fragen mehr Erfolg als bei einer tiefgehenden Begründung der Quantentheorie. Es gelang ihnen vorerst auch nicht, eine in sich geschlossene Theorie mit dem entsprechenden mathematischen Apparat zu schaffen, die allen ihren Forderungen genügte.

**Fortsetzung folgt.** Die weitere Entwicklung der Quantenphysik, ihre verblüffenden Erfolge in der Theorie der Atome und Moleküle sowie vieles anderes, wovon in diesem Buch erzählt werden wird, vollzog sich auf der Grundlage der Theorie

der quantenmechanischen Wahrscheinlichkeiten. Viele waren von ihr nicht befriedigt, etwas Beseres gab es jedoch nicht. Sie half, immer schwierigere Aufgaben zu lösen, führte die Physiker immer tiefer in die Geheimnisse der Mikrowelt hinein. Das Problem der Elementarteilchen jedoch stellt die Forscher heute immer wieder vor die Frage nach der Struktur der Quantenphysik.

Immer mehr Angaben zeugen davon, daß es unmöglich ist, sich mit Hilfe der existierenden Theorien im Bereich der Elementarteilchen zuretzufinden. Eine neue Revolution in der Physik ist notwendig. Neues Gedankenmaterial wird benötigt.

Arbeiten zur Schaffung einer neuen Theorie der Mikrowelt werden in der UdSSR, in den USA, in England, Frankreich, Japan und in anderen Staaten geführt. Die gewaltigen mathematischen Schwierigkeiten gestatten es jedoch noch nicht, zu behaupten, daß sie bald mit Erfolg beendigt sein werden.

Es ist durchaus möglich, daß neben den zwei grundlegenden Konstanten — der Lichtgeschwindigkeit und der Planckschen Konstante — eine dritte Konstante, zum Beispiel die elementare Länge, eingeführt wird, eine Größe, die dem Durchmesser des Atomkerns nahekommt.

Vielleicht muß auch eine neue Theorie auf einer geradezu „verrückten“ Idee beruhen, die bis jetzt noch niemand gedacht hat. Die Wissenschaftler werden zweifellos noch viele Male etwas entdecken und sich auch viele Male irren. Die Entwicklung der Wissenschaft hat keine Gren-

zen. Leichte Wege gibt es in ihr nicht. Man kann hier auch die Worte de Broglies anführen. „Jeder Erfolg unseres Wissens stellt mehr Probleme auf, als er löst.“ Auch auf dem Gebiet der Kernphysik gestattet uns jedes neu entdeckte Land, die Existenz riesiger, noch unbekannter Kontinente zu vermuten.

\* \* \*

...Auf der Grundlage der klassischen Physik wurde damit zu Beginn unseres Jahrhunderts die neue Physik geboren. Keinesfalls sei damit gesagt, daß alles das, was früher von den Wissenschaftlern geschaffen worden war, abgelehnt und durch neue Gesichtspunkte, neue Deutungen ersetzt wurde. Die klassische Physik, die den Menschen über viele Naturerscheinungen die Augen geöffnet hatte, vermochte nicht in den Bereich hoher Geschwindigkeiten und verschwindend kleiner Teilchen mit Erfolg einzudringen. Dazu bedurfte es der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik.

Das bedeutete aber auf keinen Fall, daß das von der Wissenschaft Geschaffene nicht mehr gültig war. In fast jeder Theorie ist ein rationaler Kern enthalten, und fast jede Theorie löst irgendeinen Teil des Problems. Diese Lösung geht dann in die Grundlagen einer verbesserten Theorie ein. Die klassische Physik allerdings kam mit der Strahlungsintensivität heißer Körper nicht zu Rande. Indem Planck den Begriff der Unstetigkeit in die klassische Thermodynamik einführte, konnte er eine voll-

ständige Strahlungstheorie ausarbeiten, die für alle Wellenlängen die Energieabgabe richtig wiedergibt, und das Gespenst des „ultravioletten Todes“ löste sich von selbst auf. Jawohl, die klassische Physik war nicht imstande, das Phänomen des lichtelektrischen Effekts zu erklären. Indem er das diskrete Wesen des Lichts begriff, vermochte erst Albert Einstein diesen lichtelektrischen Effekt zu deuten.

Natürlich ist die Quantentheorie nicht allmächtig. Sie hat zwar den Prozeß der Strahlung eines erhitzen Körpers und den lichtelektrischen Effekt erklärt. Mit vielen Rätseln der Mikrowelt kommt sie aber bis heute noch nicht zurecht. Einstein hielt das für nicht allzu tragisch, sondern er bezeichnete es als einen durchaus natürlichen, dem dualen Charakter der Materie entsprechenden Umstand. Deshalb war auch die Huygens'sche Lichttheorie nicht völlig falsch, obwohl sie auf der fehlerhaften Annahme der Ähnlichkeit der Lichtwellen und der akustischen Wellen beruhte. Die Irrtümer Huygens' veranlaßten Fresnel, einen Ausweg im Äther zu suchen, als dessen Transversalschwingungen er das Licht betrachtete. Da jedoch das Licht tatsächlich (als eine Seite seines Wesens) eine Welle ist, sind die Formeln von Huygens und Fresnel auch heute noch gültig.

Die Widersprüche, die sich in einer Reihe von Fällen aus ihren Theorien ergeben, beunruhigten natürlich die Wissenschaftler. Es kam die Zeit, als einer von ihnen — Maxwell — begriff, daß nicht die Huygensschen Längswellen und auch nicht die Fresnelschen transversalen Ätherwel-

len das Licht sind. Was wir als Licht bezeichnen, sind selbständige existierende elektromagnetische Wellen, Wellen eines völlig selbständigen elektromagnetischen Feldes. Und weil Traditionen und wissenschaftliche Denkgewohnheiten eine außerordentliche Beständigkeit besitzen, konnten sich viele Wissenschaftler lange nicht von einer mechanistischen Weltanschauung trennen. Ohne es zu wollen, ging Lorentz einen Schritt zurück, indem er die abstrakten Maxwell'schen elektromagnetischen Wellen mit den Elektronen — Atomen der Elektrizität — verband. Andererseits war das aber auch ein Schritt vorwärts, da erstmals die Idee des Atomismus in die Lehre von den elektrischen Erscheinungen eingeführt wurde. Das hatte noch andere positive Folgen. Da das elektromagnetische Feld tatsächlich sowohl Welle als auch Teilchen ist, half die Lorentzsche Elektronentheorie, vor allem ihr mathematischer Apparat, die Größen zu berechnen (zum Beispiel den Brechungsindex durchsichtiger Körper), die die reine Wellentheorie Maxwell's dem Experiment entnehmen mußte. So also vollzieht sich die Entwicklung des menschlichen Wissens: Die Erfahrungen von Generationen verbinden sich mit einer neuartigen Betrachtungsweise der Probleme.

Der Streit um die kühne Idee Maxwell's, der Wunsch, um jeden Preis den allgegenwärtigen Äther zu erhalten, bereiteten den Boden für die Entstehung der Relativitätstheorie vor. Sowohl die Fresnelsche Theorie der Transversalschwingungen des Äthers als auch die Maxwell'sche Theorie ließen die Möglichkeiten offen, die Ge-

schwindigkeit von Körpern im Äther zu bestimmen. Experimentell wurde das von Michelson widerlegt. Nach einer ganzen Serie von Versuchen überzeugte er sich davon, daß das unmöglich ist. Um diese Tatsache jedoch mit den bestehenden Anschauungen zu verbinden, erdachten Fitzgerald und Lorentz eine Hypothese. Einstein dagegen unternahm einen entscheidenden Schritt. Er ließ den „ketzerischen“ Gedanken zu, daß im Vakuum die Lichtgeschwindigkeit immer konstant ist.

Ausgehend von dieser Annahme und der alten Relativitätstheorie Gallileis, der behauptete, daß es unmöglich sei, in sich gleichförmig bewegenden Körpern ihre absolute Geschwindigkeit festzustellen, ohne sie mit der Geschwindigkeit irgendeines anderen Körpers zu vergleichen, schlußfolgerte Einstein, daß bei Geschwindigkeiten vergleichbar mit der des Lichts, die Begriffe von Zeit und Masse zu relativen Begriffen werden und daß die bei geringeren Geschwindigkeiten wirkenden physikalischen Gesetze für Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit nicht anwendbar sind.

Die Gesetze der klassischen Physik wurden also nicht verworfen. Dort, wo sie sich als hilflos erwiesen, wurden neue Ideen geboren, die das Fundament der heutigen Physik bilden. Am gründlichsten wurde das Fundament der Physik der Mikrowelt erneuert. Hier erlitt die klassische Physik bedeutende Niederlagen. Während sie in der Makrowelt mit ihren Erkenntnissen mehr oder weniger auskommt, hat sie in den Angelegenheiten der Mikrowelt kaum ein Mit-

spracherecht. Sie ist zum Beispiel völlig unfähig, die Gesetze der Elementarteilchen zu erklären. Auf dieser Grundlage entstand schließlich eine Reihe von Theorien und Methoden (oft formaler Natur), mit deren Hilfe die Wissenschaftler versuchen, den Aufbau des Atomkerns und der Mikroteilchen zu begreifen. Eine endgültige Theorie der Elementarteilchen gibt es jedoch bis heute nicht. Auf diesem Gebiet wird mit größter Intensität geforscht.

Im Folgenden berichten wir über einige „verrückte“ Ideen, über einige bemerkenswerte Entdeckungen, die die Menschheit nach 1927 bewegten. Sie stützen sich auf drei Säulen: die Quantentheorie, die Relativitätstheorie und das immer genauere Experiment.



**VOM HIMMEL  
AUF DIE ERDE**

**Das Rätsel des blauen Himmelslichtes.** Warum ist der Himmel blau?...

Es gibt wohl keinen Menschen, der darüber nicht wenigstens einmal im Leben nachgedacht hätte.

Die Ursache der Himmelsfarbe zu klären, bemühten sich schon mittelalterliche Denker. Einige von ihnen nahmen an, daß das Blau die natürliche Farbe der Luft oder irgendwelcher ihrer gasförmigen Bestandteile sei. Andere dachten, die wirkliche Farbe des Himmels sei schwarz — so, wie er nachts aussieht. Am Tage „vereinige“ sich die schwarze Farbe des Himmels mit der weißen der Sonnenstrahlen, und es entstehe das Himmelsblau.

Die Gesetze der Farbmischung wurden schließlich vor 300 Jahren von Isaac Newton entdeckt. Da alle früheren Theorien das Phänomen Farbe nicht zu erklären vermochten, suchte er das Problem auf neue Weise zu lösen.

Erstens, behauptete er, ergebe die Mischung von weiß und schwarz niemals blau. Zweitens sei das Blau keinesfalls die natürliche Farbe der Luft. Wenn das so wäre, würden Sonne und Mond beim Untergang nicht rot aussehen, sondern blau.

Wäre aber die Luft gefärbt, dann würde eine dicke Luftsicht wie gefärbtes Glas wirken. Und wenn man durch gefärbtes Glas blickt, erscheinen alle Gegenstände in der gleichen Farbe wie das Glas. Warum also leuchten ferne Schneegipfel in rosafarbenem Schimmer und nicht blau? Im Streit mit seinen Vorgängern konnte Newton beweisen, daß Luft keine Farbe besitzt.

Das Rätsel der Himmelsbläue konnte er jedoch nicht lösen. Auch das Regenbogenphänomen, eine der schönsten Naturerscheinungen, fesselte seine Aufmerksamkeit. Warum entsteht er plötzlich? Und warum entwindet er dann ebenso rasch wieder? Schon frühere Forscher hatten zahlreiche Experimente durchgeführt, um dem Geheimnis der Regenbogenfarben auf die Spur zu kommen. Newton, der sich bemühte, die materielle Herkunft jeder Erscheinung zu ergründen, fand auch die Ursache des Regenbogens, indem er die Forschungen Descartes' an der Stelle weiterführte, wo dieser sie abgebrochen hatte. Mit Hilfe des Prismas bewies er, daß ein Regenbogen das Resultat der Lichtbrechung in den Regentropfen ist. Nachdem er dies erkannt hatte, konnte er die Form des Regenbogens berechnen und die Reihenfolge der Regenbogenfarben erklären. Seine Theorie konnte allerdings das Entstehen des doppelten Regenbogens noch nicht begründen. Das gelang erst dreihundert Jahre später mit Hilfe einer äußerst komplizierten Theorie.

Newton nahm jedoch irrigerweise an, daß die blaue Farbe des Himmels und die Farbe der Regenbogen durch die gleiche Ursache hervorgerufen werden. Der Regenbogen leuchtet tatsächlich auf, wenn die Sonnenstrahlen durch einen Schwarm von Regentropfen hindurchtreten. Die Himmelsbläue ist jedoch nicht nur bei Regen zu sehen. Im Gegenteil, gerade bei klarem Wetter, wenn nicht das geringste Anzeichen für Regen besteht, ist der Himmel tiefblau. Wie konnte dies der große Gelehrte übersehen? New-

ton meinte, daß winzige Wasserbläschen, die nach seiner Theorie nur den blauen Teil des Regenbogens hervorrufen, bei jedem Wetter in der Luft schweben.

**Die erste Lösung.** Es vergingen fast 200 Jahre, bis ein anderer englischer Gelehrter, John William Rayleigh, diese Frage wieder aufgriff.

Rayleigh beschäftigte sich mit der Optik. Menschen, die ihr ganzes Leben der Erforschung des Lichtes gewidmet haben, verbringen viel Zeit in der Dunkelheit. Fremdes Licht stört die Versuche, und deshalb sind die Fenster eines optischen Laboratoriums fast ständig mit schwarzen, undurchdringlichen Vorhängen verschlossen. Rayleigh blieb in seinem dunklen Laboratorium stundenlang allein mit den aus den Geräten austretenden Lichtstrahlen. In den Strahlen tanzten Staubteilchen. Sie waren hell beleuchtet und hoben sich deshalb deutlich vom dunklen Hintergrund ab. Ob der Gelehrte, in tiefes Nachdenken versunken, ihre tanzenden Bewegungen verfolgte?

Vielleicht haben gerade diese in den Lichtstrahlen tanzenden Staubpartikeln Rayleigh auf einen neuen Gedanken über die Farbe des Himmels gebracht.

Daß sich das Licht geradlinig ausbreitet, kann man feststellen, wenn man Sonnenstrahlen beobachtet, die durch einen Spalt in das Innere eines dunklen Raumes dringen. Warum aber sieht man diese Sonnenstrahlen, wenn man von der Seite auf sie schaut?

Genau so sehen wir das Licht eines himmelwärts

gerichteten Scheinwerfers. Das aber heißt: Ein Teil des Lichts wird auf irgendeine Art und Weise abgelenkt und gelangt in unser Auge. Wodurch wird es gezwungen, von der Bahn abzuweichen? Es stellte sich heraus, daß dafür die Staubteilchen verantwortlich sind, mit denen die Luft gesättigt ist. In unser Auge gelangen auch Strahlen, die von Staubteilchen gestreut worden sind. Strahlen, die auf ein derartiges Hindernis treffen, weichen von ihrer Bahn ab und breiten sich auf einer Geraden von dem streuenden Teilchen bis zu unserem Auge aus. War auf diese Weise auch das blaue Himmelslicht, das Morgen- und Abendrot und der hellblaue Dunstschleier der Atmosphäre zu erklären? Feinste Teilchen, Gasmoleküle der Luft, streuen das Sonnenlicht, wenn die Abmessungen kleiner sind als die Wellenlänge des Lichts, und zwar um so stärker, je kürzer seine Wellenlänge ist, erklärte Rayleigh im Jahre 1881. Da die violetten Strahlen im sichtbaren Sonnenspektrum die geringste Wellenlänge besitzen, werden sie auch stärker gestreut als das langwellige rote Licht. Auf diese Weise erhält der Himmel für den Beobachter auf der Erde seine blaue Farbe. Der mathematischen Berechnung der Lichtstreuung Rayleighs entsprachen die Farbe der Sonne und die der Schneegipfel. Sie bestätigten die Theorie des Gelehrten. Bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, wenn das Sonnenlicht also für einen Beobachter auf der Erde die mächtigste Luftsicht durchläuft, werden die violetten und blauen Strahlen, so besagen die Gesetze der Rayleigh-Streuung, am stärksten abgelenkt. Sie

gelangen darum nicht in das Auge des Betrachters. Der Beobachter sieht in der Hauptsache die roten Strahlen, die wesentlich weniger gestreut werden. Deshalb erscheint uns die Sonne beim Auf- und Untergang gelb bis rot. Aus dem gleichen Grunde sehen auch die schneedeckten Gipfel ferner Berge rosa aus.

Wenn wir in den klaren Himmel schauen, am besten senkrecht zur Richtung der Sonne, dann sehen wir die blauen Strahlen, die durch die Streuung von den geraden Bahnen abgelenkt werden und in unser Auge gelangen. Auch der Dunstschleier, den wir manchmal am Horizont sehen, erscheint uns deshalb bläulich.

Können aber auch Staubteilchen in der Luft das Licht streuen?

Jeder kann beobachten, daß in einiger Entfernung von der Stadt, wo die Luft viel weniger Staub enthält, das Blau des Himmels besonders rein und tief ist. Dies bedeutet jedoch, daß die Staubteilchen wirklich nicht die Streuteilchen sind. Außerdem sind die in der Luft vorhandenen Staubpartikeln viel größer als die Wellenlänge des Lichts, und Berechnungen überzeugten bereits Rayleigh davon, daß ihre starke Ansammlung das Blau des Himmels nicht verstärkt, sondern — im Gegenteil — abschwächt. Die Streuung des Lichts an großen Teilchen hängt nur in unbedeutendem Maße von der Wellenlänge ab und ruft deshalb keine Veränderung seiner Farbe hervor.

Bei der Streuung des Lichts an größeren Teilchen bleiben das gestreute Licht und das durchgehende Licht weiß. Deshalb verleiht das Auftreten

von großen Teilchen in der Luft dem Himmel eine weißliche Färbung, und die Ansammlung einer bedeutenden Menge großer Tröpfchen ist für die weiße Farbe der Wolken und des Nebels verantwortlich. Das kann an einer gewöhnlichen Zigarette überprüft werden. Der Rauch, der aus ihr auf der Mundstückseite austritt, erscheint uns stets weiß, und der Rauch, der von ihrem brennenden Ende aufsteigt, besitzt eine bläuliche Farbe.

Die feinsten Rauchteilchen, die vom brennenden Ende der Zigarette aufsteigen, besitzen Abmessungen, die kleiner sind als die Wellenlänge des Lichts. Sie lenken nach der Rayleigh-Streuung hauptsächlich das violette und blaue Licht ab. Beim Durchtritt durch die engen Kanäle in der Tabakmasse ballen sich die Rauchteilchen zusammen (koagulieren) und vereinigen sich dadurch zu größeren Klümpchen. Die Abmessungen vieler von ihnen werden größer als die Wellenlänge des Lichts, und sie streuen alle Wellen des Lichts ungefähr gleich, so daß uns der Tabaksrauch weiß erscheint. Die Färbung des Himmels kann also durch nichts anderes bedingt sein als durch die Moleküle der Luft.

Im Jahre 1906 wurde diese Theorie Rayleighs von dem amerikanischen Astrophysiker Charles Greely Abbot bestätigt, der in der Sternwarte auf dem Mount Wilson das blaue Leuchten des Himmels erforschte. Bei der Auswertung der Meßergebnisse der Himmelshelligkeit auf der Basis der Gesetze der Rayleigh-Streuung berechnete Abbot die Anzahl der Moleküle, die in jedem Kubikzentimeter Luft enthalten sind. Es

ergab sich eine grandiose Zahl! Bei einer Aufteilung dieser Moleküle auf alle Bewohner des Erdballs würde jeder von ihnen über 10 Milliarden Luftmoleküle erhalten. Kurz gesagt, Abbot stellte fest, daß in jedem Kubikzentimeter Luft der Atmosphäre bei normaler Temperatur und normalem Druck 27 Milliarden Mal eine Milliarde Moleküle enthalten sind.

Die Anzahl der Moleküle im Kubikzentimeter Gas kann nach verschiedenen Verfahren auf der Basis von völlig unterschiedlichen und voneinander unabhängigen Erscheinungen bestimmt werden. Sie alle ergeben fast übereinstimmende Resultate und liefern eine Zahl, die als Loschmidttsche Zahl bekannt ist.

Die bei der Messung der Himmelshelle von Abbot gefundene Zahl kam mit großer Genauigkeit der Loschmidttschen Zahl nahe. Abbot hatte bei den Berechnungen die Streuungstheorie von Rayleigh verwendet und überzeugend gezeigt, daß diese Theorie richtig ist, daß die molekulare Lichtstreuung tatsächlich existiert.

Es schien, als wäre die Rayleigh-Streuung überzeugend durch das Experiment bestätigt. Alle Gelehrten hielten sie für fehlerfrei. Sie wurde überall anerkannt und in alle Optiklehrbücher aufgenommen. Man konnte beruhigt aufatmen: Endlich war die Erklärung für die einfache und doch rätselhafte Erscheinung der Himmelsbläue gefunden worden.

Um so verwunderlicher war es, daß 1907 auf den Seiten eines bekannten wissenschaftlichen Journals erneut die Frage aufgeworfen wurde: „Warum ist der Himmel blau?“

**Der Streit.** Wer wagte es, die allgemein anerkannte Rayleighsche Theorie anzuzweifeln? So seltsam es auch klingen mag, es war einer der heißesten Verehrer und Bewunderer Rayleighs. Niemand schätzte Rayleigh höher, verstand ihn besser, kannte seine Arbeiten so gut, interessierte sich so für sein wissenschaftliches Schaffen wie der junge russische Physiker Leonid Issaakowitsch Mandelstam.

„Die Denkweise Leonid Issaakowitschs“, so erinnerte sich später ein anderer sowjetischer Wissenschaftler, das Akademiemitglied N. D. Papaleksi, „hatte vieles mit Rayleigh gemeinsam. Es ist kein Zufall, daß die Bahnen ihres wissenschaftlichen Schöpfertums parallel liefen und sich mehrmals überschnitten.“

Auch dieses Mal, in der Frage nach der Herkunft der blauen Himmelsfarbe, kreuzten sie sich. Vorher hatte sich Mandelstam in der Hauptsache mit der Radiotechnik beschäftigt. Zu Anfang unseres Jahrhunderts war dies ein völlig neues Gebiet der Wissenschaft, und in ihm kannten sich nur wenige aus. Seit der Entdeckung A. S. Popows (1895) waren nur einige Jahre vergangen, und es gab hier eine Vielzahl von Problemen. In kurzer Zeit führte Mandelstam mehrere wichtige Arbeiten auf dem Gebiet der elektromagnetischen Schwingungen in Verbindung mit radio-technischen Einrichtungen aus. 1902 verteidigte er seine Dissertation, und mit dreiundzwanzig Jahren erhielt er den akademischen Grad eines Doktors der Naturphilosophie an der Straßburger Universität.

Als sich Mandelstam mit den Fragen der Erre-

gung von Radiowellen beschäftigte, studierte er die Arbeiten Rayleighs, der eine anerkannte Autorität auf dem Gebiet der Untersuchung von Schwingungsvorgängen war. Und der junge Doktor stieß dabei unbeabsichtigt auf das Problem der Himmelsfärbung. Mandelstam erkannte nicht nur die „Unzulänglichkeit“ der allgemein anerkannten Theorie der molekularen Streuung Rayleighs, sondern legte auch den Grundstein für Untersuchungen, die zu einer der wichtigsten Entdeckungen der Physik des 20. Jahrhunderts führten.

Als sich Mandelstam mit der Rayleigh-Theorie bekannt machte, überraschte sie ihn mit ihrer Unvollständigkeit und ihren inneren Widersprüchen, die, wie der junge Physiker verwundert feststellte, der alte und erfahrene Rayleigh nicht bemerkt hatte. Besonders deutlich zeigte sich die Unvollständigkeit der Rayleighschen Theorie bei der Analyse einer anderen Theorie, die von Planck zur Erklärung der Abschwächung des Lichts bei seinem Durchgang durch ein optisch homogenes, durchsichtiges Medium aufgestellt worden war.

In dieser Theorie war als Ausgangspunkt angenommen worden, daß die Moleküle des Stoffes, durch den das Licht hindurchgeht, selbst die Quellen der sekundären Wellen sind. Zur Erzeugung dieser sekundären Wellen, so behauptete Planck, wird ein Teil der Energie der durchlaufenden Welle verbraucht und diese dabei abgeschwächt. Wie man leicht erkennt, beruht diese Theorie auf der Rayleighschen Theorie der molekularen Streuung.

Am einfachsten kann man sich das Wesen der Sache am Beispiel der Wellen auf der Wasser-oberfläche klarmachen. Wenn eine Welle auf unbewegliche oder schwimmende Gegenstände (Plähle, Holzstämme, Boote usw.) trifft, so gehen von diesen Gegenständen nach allen Seiten kleine Wellen aus. Das ist nicht anders als eine Streuung. Ein Teil der Energie der einfallenden Welle wird zur Erzeugung der sekundären Wellen verbraucht, die dem gestreuten Licht in der Optik analog sind. Dabei wird die primäre Welle abgeschwächt, sie wird gedämpft.

Die schwimmenden Gegenstände können viel kleiner sein als die Länge der über das Wasser laufenden Welle. Sogar die kleinen Körnchen rufen sekundäre Wellen hervor. Natürlich werden mit der Verringerung der Abmessungen der Teilchen die durch sie erzeugten sekundären Wellen immer schwächer, sie entziehen jedoch trotzdem der Hauptwelle Energie.

Ungefähr so stellte sich Planck den Prozeß der Abschwächung einer Lichtwelle bei ihrem Durchgang durch Gas vor. Die Rolle der Körnchen spielten dabei in seiner Theorie die Gasmoleküle.

Für diese Theorie Max Plancks interessierte sich Mandelstam. Den Gedankengang Mandelstams kann man ebenfalls mit Hilfe des Beispiels der Wasserwellen erklären. Die auf der Oberfläche schwimmenden Gegenstände, auch die kleinen Körnchen, sind also die Quellen der sekundären Wellen. Was geschieht, wenn man diese Körnchen so dicht aufschüttet, daß sie die ganze Was-

seroberfläche bedecken? Es zeigt sich, daß die einzelnen sekundären Wellen, die durch die Vielzahl der Körnchen hervorgerufen werden, sich so summieren, daß sie die Teile der Wellen vollständig löschen, die zur Seite und zurück laufen. Die Streuung hört auf. Es verbleibt nur die sich nach vorn ausbreitende Welle. Sie pflanzt sich fort und wird dabei nicht abgeschwächt. Als einziges Ergebnis der Anwesenheit einer solchen Masse von Körnchen erweist sich eine gewisse Abnahme der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der primären Welle. Besonders wichtig ist, daß dies nicht davon abhängt, ob die Körnchen unbeweglich sind oder sich auf der Wasseroberfläche bewegen. Die Gesamtheit der Körnchen wirkt einfach als „Belastung“ auf der Wasseroberfläche und verändert die Dichte der obersten Schicht.

Mandelstam führte die mathematische Berechnung auch für den Fall aus, daß die Molekülzahl in der Luft so groß ist, daß sogar auf einer so kleinen Strecke wie der Lichtwellenlänge eine sehr große Anzahl von Molekülen vorhanden ist. Es erwies sich, daß dabei die sekundären Lichtwellen, die durch die einzelnen, sich chaotisch bewegenden Moleküle hervorgerufen werden, genauso wie die Wellen in dem Beispiel mit den Körnchen summiert werden. Das heißt, in diesem Falle breitet sich eine Lichtwelle ohne Streuung und Abschwächung, jedoch mit etwas verringerter Geschwindigkeit aus. Dadurch wurde die Theorie von Rayleigh, der annahm, daß die Bewegung der Streuteilchen in allen Fällen die Streuung der Wellen gewährleistet, und folg-

lich auch die auf ihr beruhende Plancksche Theorie widerlegt.

Damit stand fest, daß das Fundament der Streuungstheorie auf Sand gebaut war.

**Übereinstimmung.** Wie verhält es sich jedoch mit der Bestimmung der Loschmidtschen Zahl aus den Messungen der Himmelsbläue? Die Versuche hatten doch die Rayleighsche Streuungstheorie bestätigt!

„Diese Übereinstimmung muß als Zufall angesehen werden“, schrieb Mandelstam im Jahre 1907 in seiner Arbeit „Über optisch homogene und inhomogene Medien“.

Mandelstam bewies, daß die ungeordnete Bewegung der Moleküle das Gas nicht homogen machen kann. Im Gegenteil, im realen Gas sind immer kleinste Dichteunterschiede vorhanden, die durch die chaotische Wärmebewegung der Moleküle entstehen. Gerade diese rufen die Streuung des Lichtes hervor, da sie die optische Homogenität der Luft stören. In der gleichen Arbeit führte Mandelstam aus:

„Wenn ein Medium optisch inhomogen ist, so wird das einfallende Licht im allgemeinen auch nach den Seiten gestreut.“

Da die Ausmaße der Ungleichmäßigkeiten, die im Ergebnis der chaotischen Bewegung der Moleküle entstehen, geringer sind als die Lichtwellenlängen, werden in der Hauptsache die Wellen gestreut, die dem violetten und blauen Teil des Spektrums entsprechen. Und gerade dies ruft die blaue Farbe des Himmels hervor.

So wurde das Rätsel des blauen Himmels end-

gültig gelöst. Der theoretische Teil wurde von Rayleigh ausgearbeitet. Die physikalische Natur der „Streuer“ deckte Mandelstam auf. Das große Verdienst Mandelstams besteht darin, daß er bewies, daß die Annahme einer völligen Homogenität des Gases mit dem Fakt der Lichtstreuung in ihm unvereinbar ist. Er begriff, daß das Blau des Himmels beweist, daß die Homogenität der Gase nur scheinbar vorhanden ist. Genauer gesagt, die Gase erscheinen als homogen nur bei der Untersuchung mit „groben“ Geräten wie Barometer, Waage oder anderen Einrichtungen, auf die zugleich viele Milliarden Moleküle einwirken. Ein Lichtstrahl nimmt jedoch eine unvergleichlich geringere Anzahl Moleküle der Größenordnung von nur einigen Zehntausend wahr. Und dies reicht aus, um mit Sicherheit behaupten zu können, daß die Dichte des Gases ständig geringen örtlichen Veränderungen ausgesetzt ist. Deshalb erweist sich auch das mit unseren „groben“ Methoden als homogen festgestellte Medium in Wirklichkeit als nicht homogen. Vom „Standpunkt des Lichts“ ist es „trübe“, und deshalb streut es das Licht. Diese durch die molekulare Struktur der Materie bedingten statistischen Schwankungen um den Gleichgewichtszustand, z. B. die durch die Wärmebewegung der Moleküle verursachten zufälligen örtlichen Änderungen der Eigenschaften eines Stoffes, werden heute von der sogenannten Schwankungstheorie oder Fluktuationstheorie erklärt. Mit dem Erkennen der Dichteschwankungen in der Luft und der von ihnen bewirkten Lichtstreuung bahnte Mandelstam den Weg für

eine neue Methode der Untersuchung der Materie — für die Fluktuationstheorie, eine statistische Methode, die später von Marian Smoluchowski, Hendrik Antoon Lorentz, Albert Einstein und von ihm selbst zu einem neuen großen Gebiet der Physik — der statistischen Physik (Statistik) — weiterentwickelt wurde.

**Das Himmelslicht muß flimmern!** Nun war das Geheimnis des blauen Himmelslichts enträtselt. Die Untersuchung der Streuung des Lichts wurde jedoch nicht eingestellt. Als Mandelstam seine Aufmerksamkeit auf die fast unmerkliche Schwankung der Lichtdichte richtete und das Blau des Himmels mit der Fluktuationsstreuung des Lichts erklärte, erkannte er mit dem geschärften Gefühl eines nun schon erfahreneren Forschers eine neue, noch feinere Besonderheit dieses Prozesses.

Die Ungleichmäigkeiten der Luft wurden durch die zufälligen Schwankungen ihrer Dichte hervorgerufen. Die Größe dieser zufälligen Ungleichmäigkeiten, die Dichte der Anhäufungen, ändert sich mit der Zeit. Deshalb, so schloß der Gelehrte, muß sich auch die Intensität, die Stärke des gestreuten Lichts, in der Zeit ändern. Denn je dichter die Molekulanhäufungen sind, desto intensiver ist an ihnen die Lichtstreuung. Da diese Anhäufungen chaotisch entstehen und verschwinden, muß der Himmel schlechtweg „flimmen!“ Die Stärke seines Leuchtens und seine Farbe müssen sich ständig (jedoch sehr schwach) ändern. Hat nun schon jemand, irgendwann ein-

mal, ein solches Flimmern bemerkt? Natürlich nicht.

Dieser Effekt ist so fein, daß man ihn mit bloßem Auge nicht sehen kann.

Kein Wissenschaftler hatte bisher eine derartige Veränderung des Himmelslichts nachweisen können. Auch Mandelstam selbst konnte die Schlußfolgerungen seiner Theorie nicht überprüfen. Die Ausführung der komplizierten Versuche wurde zuerst durch die kärglichen Mittel im zaristischen Rußland und dann durch die Schwierigkeiten in den ersten Jahren nach der Revolution, durch die ausländische Intervention und den Bürgerkrieg verhindert.

Im Jahre 1925 erhielt Mandelstam einen Lehrstuhl an der Moskauer Universität. Hier begegnete er dem großen Gelehrten und geschickten Experimentator Grigori Samuilowitsch Landsberg. Durch eine tiefe Freundschaft und gemeinsame wissenschaftliche Interessen verbunden, setzten sie zusammen den Angriff auf die Geheimnisse fort, die in den schwachen Strahlen des Streulichts verborgen waren.

Die optischen Laboratorien der Universität waren in jenen Jahren noch sehr arm an Apparaturen. An der Universität gab es kein Gerät, das in der Lage war, das Flimmern des Himmels oder die feinen Unterschiede in der Frequenz des einfallenden und des gestreuten Lichts festzustellen, die — wie theoretisch vorausgesagt — das Ergebnis dieser Erscheinung waren.

Das konnte die Forscher aber nicht entmutigen. Sie gaben den Gedanken auf, den Himmel unter Laborbedingungen zu imitieren. Dies würde den

ohnehin schon empfindlichen Versuch nur noch mehr komplizieren. Sie beschlossen, nicht die Streuung des weißen — zusammengesetzten — Lichts zu studieren, sondern die Streuung von Strahlen mit einer streng begrenzten Frequenz zu untersuchen. Da sie die Frequenz des einfäl- lenden Lichts genau kannten, würde es leichter sein, die benachbarten Frequenzen zu finden, die bei der Streuung entstehen müßten.

Außerdem wies die Theorie darauf hin, daß es leichter sein mußte, die Beobachtungen an Fest- körpern vorzunehmen, da in ihnen die Moleküle viel dichter als in Gasen angeordnet sind und die Streuung mit der Dichte des Stoffes zunimmt. Es begann die mühselige Suche nach geeigneten Materialien. Schließlich fiel die Wahl auf Quarz- kristalle, weil große, durchsichtige Quarzkristalle leichter zu beschaffen sind als beliebige an- dere.

Zwei Jahre zogen sich die Vorbereitungsversuche hin, wurden die reinsten Kristalle ausgesucht, wurde die Methodik verbessert, wurden die An- zeichen ermittelt, nach denen es zweifelsfrei möglich war, die Streuung an den Quarzmolekülen von der Streuung an zufälligen Einschlüs- sen, Ungleichmäßigkeiten des Kristalls und Ver- unreinigungen zu unterscheiden.

**Scharfsinn und Arbeit.** Da die Wissenschaftler über keine leistungsfähige Apparatur für die Spektralanalyse verfügten, wählten sie einen raf- finierten Umweg, der es ihnen ermöglichte, die vorhandenen Geräte zu benutzen.

Die Hauptschwierigkeit bei dieser Arbeit bestand darin, daß das durch die Molekularstreuung erzeugte schwache Licht von dem um vieles stärkeren Licht überlagert wurde, das durch die kleinen Verunreinigungen und andere Defekte der verwendeten Kristalle gestreut wurde. Die Forscher beschlossen, den Umstand auszunutzen, daß das gestreute Licht, das durch Defekte des Kristalls und durch Reflexionen von den verschiedenen Teilen der Anlage erzeugt wird, in der Frequenz genau mit dem einfallenden Licht zusammenfällt. Für sie war ja sowieso nur das Licht mit der in Übereinstimmung mit der Theorie Mandelstams veränderten Frequenz von Interesse. Folglich bestand die Aufgabe darin, auf den Hintergrund dieses um vieles helleren Lichtes das Licht mit der veränderten Frequenz zu finden, das durch die Molekularstreuung erzeugt wird.

Damit das gestreute Licht eine für die Registrierung ausreichende Stärke besaß, beschlossen die Gelehrten, das Quarz mit dem leistungsstärksten der für sie zugänglichen Beleuchtungsgeräte, mit einer Quecksilberdampflampe, zu bestrahlen.

Das im Kristall gestreute Licht muß also aus zwei Teilen bestehen: aus einem schwachen Licht mit veränderter Frequenz, das durch die molekulare Streuung bedingt ist (die Untersuchung dieses Teiles war das Ziel der Forscher), und aus bedeutend stärkerem Licht mit unveränderter Frequenz, das durch andere Ursachen entsteht (dieser Teil war nicht erwünscht, er erschwerte die Untersuchungen).

Die Idee der Methode bestach durch ihre Einfachheit: Das Licht mit unveränderter Frequenz muß absorbiert werden, und in den Spektralapparat darf nur Licht mit veränderter Frequenz gelangen. Der Frequenzunterschied betrug jedoch nur einige Tausendstel Prozent. In keinem Laboratorium der Welt gab es ein Filter, das in der Lage war, so dicht beieinanderliegende Frequenzen zu trennen. Es wurde trotzdem ein Ausweg gefunden.

Das gestreute Licht wurde durch ein Gefäß mit Quecksilberdämpfen geleitet. Dadurch blieb das ganze „unerwünschte“ Licht im Gefäß ohne merkliche Abschwächung. Die Experimentatoren nutzten dabei eine schon bekannte Tatsache aus.

Ein Atom vermag, wie die Quantenphysik besagt, nur Lichtwellen von genau bestimmten Frequenzen auszustrahlen. Dabei ist dieses Atom auch in der Lage, Licht zu absorbieren, und zwar nur Lichtwellen der Frequenzen, die es selbst ausstrahlen kann.

In der Quecksilberdampflampe wird das Licht von den Quecksilberdämpfen ausgestrahlt, die durch die im Inneren der Lampe ablaufenden Entladungen zum Leuchten gebracht werden. Wenn man dieses Licht durch ein Gefäß leitet, das ebenfalls Quecksilberdämpfe enthält, so wird es fast vollständig absorbiert. Es tritt das von der Theorie Vorausgesagte ein: Die Quecksilberatome im Gefäß absorbieren das von den Quecksilberatomen in der Lampe ausgestrahlte Licht. Das Licht anderer Quellen, zum Beispiel einer Neonlampe, durchläuft die Quecksilberdämpfe

ohne „Beschädigung“. Für dieses Licht „zeigen“ die Atome keinerlei „Interesse“. Auch der Teil des Lichts der Quecksilberdampflampe, der im Quarz unter Änderung der Wellenlänge gestreut wurde, wird nicht absorbiert. Diesen Umstand nutzten Mandelstam und Landsberg aus.

**Eine seltsame Entdeckung.** Im Jahre 1927 begannen die entscheidenden Versuche.

Die Wissenschaftler beleuchteten ein Quarzkristall mit dem Licht einer Quecksilberdampflampe, werteten die Versuchsergebnisse aus und ... wunderten sich.

Die Versuchsergebnisse waren unerwartet und ungewöhnlich. Die Wissenschaftler fanden in keiner Beziehung das, was sie erwartet hatten und was von der Theorie vorausgesagt worden war. Sie entdeckten eine völlig neue Erscheinung. Welche jedoch? Lag vielleicht ein Fehler vor? Im Streulicht wurden nicht die erwarteten Frequenzen, sondern viel höhere und viel niedrigere gefunden. Im Spektrum des gestreuten Lichts erschien eine neue Kombination von Frequenzen, die im Licht, das auf das Quarz einfiel, nicht vorhanden waren. Ihr Auftreten mit den optischen Ungleichmäßigkeiten im Quarz zu erklären, war einfach unmöglich.

Es begann eine sorgfältige Überprüfung. Die Versuche wurden so sorgfältig wie nur möglich ausgeführt. Sie waren so scharfsinnig, vollkommen und erfindungsreich angelegt, daß man von ihnen nur begeistert sein konnte.

„Leonid Issaakowitsch Mandelstam löste schwie-

rige technische Aufgaben manchmal so elegant und genial einfach, daß unwillkürlich bei jedem von uns die Frage entstand: Warum bin ich da nicht früher darauf gekommen?“ berichtete einer der Mitarbeiter.

Die verschiedenenartigen Kontrollversuche bestätigten fortwährend, daß kein Fehler vorlag. Auf den Photographien des Streulichtspektrums waren ständig schwache und trotzdem vollkommen klare Linien vorhanden, die das Vorhandensein von „überzähligen“ Frequenzen im Streulicht anzeigen.

Viele Monate suchten die Wissenschaftler eine Erklärung für diese Erscheinung. Woher kamen die „fremden“ Frequenzen im Streulicht?

Eines Tages stieß Mandelstam auf eine erstaunliche Vermutung. Sie erwies sich als eine bewundernswerte Entdeckung. Auch heute noch gilt sie als eine der wichtigsten Entdeckungen des 20. Jahrhunderts.

Mandelstam und Landsberg waren sich jedoch darin einig, daß diese Entdeckung erst nach einer soliden Überprüfung, nach einem erschöpfenden Ergründen des Wesens der Erscheinung veröffentlicht werden durfte.

Die abschließenden Versuche liefen an...

**Mit Hilfe der Sonne.** Am 31. März 1928 erschien die fällige Nummer der englischen Zeitschrift „Nature“ (Die Natur).

Am 16. Februar 1928 hatten die indischen Wissenschaftler Ch. V. Raman und K. S. Krischnan aus Kalkutta an diese Zeitschrift ein Telegramm

mit einer kurzen Beschreibung ihrer Entdeckung geschickt.

In der Zeitschrift „Nature“ wurden in jenen Jahren Berichte aus aller Welt über die verschiedenartigsten Entdeckungen veröffentlicht. Nicht jede dieser Mitteilungen zog das Interesse der Wissenschaftler auf sich. Als jedoch die Nummer mit dem Bericht der indischen Wissenschaftler erschien, erregte sie bei vielen Physikern großes Aufsehen. Schon die Überschrift erweckte Beachtung: „Ein neuer Typ von Sekundärstrahlung“. Kurze Zeit vor den beschriebenen Ereignissen hatten sich Raman und Krischnan an eine interessante Aufgabe gewagt. Noch hatten sich die Gemüter nicht wieder beruhigt, nachdem der amerikanische Physiker Compton 1923 festgestellt hatte, daß ein Teil der Röntgenstrahlen beim Durchgang durch feste Stoffe in einem bestimmten Winkel zum einfallenden Strahl gestreut wird und daß dabei seine Wellenlänge eine Vergrößerung erfährt. In der Sprache der Optik kann man sagen, daß die Röntgenstrahlen, die mit den Molekülen des Stoffes zusammenstoßen, ihre „Farbe“ verändern.

Diese Erscheinung ließ sich leicht mit den Gesetzen der Quantenphysik erklären. Deshalb war die Entdeckung Comptons einer der entscheidenden Beweise für die Richtigkeit der jungen Quantentheorie.

Etwas Ähnliches, jedoch schon im Bereich der Optik, von der man damals kaum noch sensationelle „Neuigkeiten“ erwartete, versuchten die indischen Wissenschaftler festzustellen. Sie wollten Licht durch einen Stoff leiten und prüfen,

wie seine Strahlen an den Molekülen des Stoffes gestreut werden und ob sich dabei ihre Wellenlänge ändert.

Offensichtlich hatten sich die indischen Wissenschaftler die gleiche Aufgabe gestellt wie die sowjetischen. Sie hatten jedoch verschiedene Ziele. In Kalkutta wurde die optische Analogie des Compton-Effektes gesucht, in Moskau die experimentelle Bestätigung der Mandelstamschen Voraussage, daß sich die Frequenz bei der Lichtstreuung infolge Dichteschwankung ändere.

Raman und Krischnan hatten ein kompliziertes Experiment geplant, da der zu erwartende Effekt äußerst klein sein mußte. Für den Versuch wurde eine sehr helle Lichtquelle benötigt. Deshalb beschlossen sie, die Sonne auszunutzen und ihre Strahlen mit Hilfe eines Teleskops zu bündeln, dessen Objektiv einen Durchmesser von achtzehn Zentimetern besaß. Das gebündelte Licht richteten die Wissenschaftler durch Prisma auf Gefäße, in denen sich Flüssigkeiten und Gase befanden, die sorgfältig von Staub und anderen Verunreinigungen befreit worden waren.

Es war aussichtslos, die zu erwartende geringe Änderung der Wellenlänge des Streulichts unter Benutzung des weißen Sonnenlichts, das praktisch alle möglichen Wellenlängen enthält, festzustellen. Deshalb beschlossen die Wissenschaftler, Lichtfilter zu verwenden. Sie setzten vor das Objektiv ein blau-violettes Filter und beobachteten das Streulicht durch ein grün-gelbes Filter. Sie nahmen an, daß der Lichtteil, den das erste Filter durchläßt, im zweiten „steckenbleibt“, denn das gelb-grüne Filter absorbiert

die blau-violetten Strahlen, die vom ersten Filter durchgelassen werden. Beide müssen, wenn sie hintereinander stehen, das gesamte eingeschaltete Licht absorbieren. Gelangten in das Auge des Beobachters irgendwelche Strahlen, konnte man mit Bestimmtheit sagen, daß sie im einfallenden Licht nicht vorhanden, sondern im zu untersuchenden Stoff entstanden waren.

**Wie Kolumbus.** Und wirklich, Raman und Krishnan fanden im Streulicht Strahlen, die das zweite Filter passiert hatten. Sie ermittelten „zusätzliche“ Frequenzen. Das konnte im Prinzip ein „optischer“ Compton-Effekt sein, d. h. bei der Streuung an den Molekülen des Stoffes, der sich in den Gefäßen befand, konnte das blau-violette Licht seine Farbe geändert haben und gelb-grün geworden sein. Das mußte jedoch erst noch bewiesen werden. Es konnte auch andere Gründe geben, die für das gelb-grüne Licht verantwortlich waren. Es konnte zum Beispiel durch die Lumineszenz entstanden sein — ein schwaches Leuchten, das häufig in Flüssigkeiten und festen Körpern unter der Wirkung von höherfrequenter, also energiereicher Strahlung auftritt. Klar war eins: Dieses Licht entstand neu, es war nicht im einfallenden Licht enthalten.

Die Wissenschaftler wiederholten ihre Versuche mit sechs verschiedenen Flüssigkeiten und zwei Arten von Dämpfen. Sie überzeugten sich davon, daß weder Lumineszenz noch andere Ursachen hier eine Rolle spielten.

Die Tatsache, daß sich die Wellenlänge des sichtbaren Lichts bei seiner Streuung in einem Stoff

verändert, schien für Raman und Krischnan bewiesen. Ihr Forschen hatte anscheinend zu einem erfolgreichen Ende geführt. Sie hatten die „optische Analogie“ des Compton-Effekts gefunden.

Um die Versuche zum Abschluß zu bringen und damit die Schlußfolgerungen ausreichend beweiskräftig zu gestalten, mußte jedoch noch einige Arbeit bewältigt werden. Es war unzureichend, nur die Änderung der Wellenlänge festzustellen. Die Größe dieser Änderung mußte gemessen werden. Die erste Aufgabe war mit Hilfe des Lichtfilters bewältigt worden. Bei der zweiten Aufgabe verwendeten die Wissenschaftler ein Spektroskop — ein Gerät, mit dessen Hilfe die Wellenlänge des zu untersuchenden Lichts gemessen werden konnte. Mit ihm begannen sie den zweiten, nicht weniger komplizierten und mühseligen Teil der Versuche. Ihre Erwartungen erfüllten sich. Die Ergebnisse bestätigten erneut die Schlußfolgerungen aus dem ersten Teil der Arbeit. Die Wellenlänge war jedoch unerwartet groß, viel größer, als vermutet. Die Forscher ließen sich aber davon nicht stören.

Sie meinten, das gefunden zu haben, was sie suchten. Am 23. März 1928 schickten sie nach London ein Telegramm mit einem Bericht, der den Titel trug: „Die optische Analogie des Compton-Effektes“. Die Wissenschaftler schrieben: „Damit ist die optische Analogie zum Compton-Effekt, mit Ausnahme der Tatsache, daß eine viel größere Änderung der Wellenlänge auftritt, offensichtlich.“

Merken Sie sich bitte gut: „viel größere...“

**Der Tanz der Atome.** Die Arbeit Ramans und Krischnans wurde von den Wissenschaftlern mit Beifall aufgenommen. Alle waren von ihrer Experimentierkunst begeistert. Für seine Entdeckung erhielt Raman 1930 den Nobelpreis.

Dem Brief der indischen Wissenschaftler war eine Photographie des Spektrums beigelegt, das die Linien enthielt, die die Frequenzen des einfal-lenden Lichtes und des Streulichtes darstellten. Diese Aufnahme illustrierte — nach der Mei-nung Ramans und Krischnans — deutlich genug ihre Entdeckung.

Als Mandelstam und Landsberg dieses Material in den Händen hielten, erblickten sie eine fast genaue Kopie ihrer eigenen photographischen Aufnahmen. Und als sie sich mit deren Inter-pretation vertraut gemacht hatten, erkannten sie sofort, daß sich Raman und Krischnan irrten. Nein, die indischen Wissenschaftler hatten nicht die für das sichtbare Licht gültige Entsprechung des Compton-Effektes gefunden, sondern eine völlig andere Erscheinung entdeckt, gerade die, welche die sowjetischen Wissenschaftler schon viele Jahre untersuchten...

Mandelstam und Landsberg beendeten die Kon-trollversuche und zogen die letzten entscheiden-den Schlüsse.

Am 6. Mai 1928 veröffentlichten sie einen Arti-kel, dem eine Photographie des Spektrums bei-gefügt war.

Nach einer kurzen Schilderung der Vorgeschichte des Problems gaben die Wissenschaftler eine ge-naue Auslegung der von ihnen entdeckten Er-scheinung.

Was war das nun für eine Erscheinung, die so viele Wissenschaftler zwang, sich den Kopf darüber zu zerbrechen?

Die tiefe Intuition und der scharfe analytische Verstand eines Forschers ließen Mandelstam sofort erkennen, daß die gefundene Frequenzänderung des Streulichts nicht durch die zwischenmolekularen Kräfte hervorgerufen sein konnte, die die zufälligen Dichteschwankungen der Luft ausgleichen. Dem Wissenschaftler war klar, daß sich die Ursache dafür im Innern der Moleküle selbst verbirgt, daß diese Erscheinung durch Schwingungen der Atome, die das Molekül bilden, und durch die Rotationen der Atome herbeigeführt wird. Solche Schwingungen erfolgen mit viel höherer Frequenz als die, die Entstehen und Schwinden der zufälligen Ungleichmäßigkeiten des Mediums begleiten. Und diese Schwingungen der Atome in den Molekülen wirken sich auf das Streulicht so aus, als ob die Atome es markieren, in ihm ihre Spuren zurücklassen, es mit zusätzlichen Frequenzen chiffrieren.

Das war eine kühne Vermutung, ein verwegener Angriff auf das Bollwerk der kleinsten Festung der Natur — auf das Molekül. Und diese Erkundung erbrachte wertvollste Angaben über seinen inneren Aufbau.

**Hand in Hand.** Bei dem Versuch, eine geringe Veränderung der Frequenz des Streulichts festzustellen, die durch zwischenmolekulare Kräfte hervorgerufen wird, gelang es also, eine größere, durch zwischenatomare Kräfte verursachte Frequenzänderung zu entdecken.

Zur Erklärung der neuen Erscheinung, die die Bezeichnung Raman-Effekt erhielt, war es ausreichend, die Theorie der molekularen Streuung, die von Mandelstam geschaffen worden war, mit Angaben über den Einfluß der Schwingungen der Atome im Innern der Moleküle zu ergänzen. Die neue Erscheinung war im Ergebnis der Weiterentwicklung einer von Leonid Issaakowitsch Mandelstam im Jahre 1918 formulierten Idee entdeckt worden. „Ja, nicht umsonst“, so sagte das Akademiemitglied Sergej Iwanowitsch Wawilow, „beschenkte die Natur Leonid Issaakowitsch mit einem ungewöhnlichen, scharfen Verstand, der sofort das Hauptsächliche bemerkte und es als das Wesentliche begriff, worüber die meisten hinweg sahen. So erkannte er in den Dichteschwankungen die Ursache für die Lichtstreuung, so entstand die Idee von der Änderung des Streuspektrums, die zur Grundlage der Entdeckung des Raman-Effektes wurde.“

Später wurde aus dieser Entdeckung ungeheurer Nutzen gezogen, sie fand wertvolle praktische Verwendung.

Bei ihrer Entdeckung dagegen galt sie nur als ein sehr wertvoller wissenschaftlicher Beitrag für die Schatzkammer der Wissenschaft.

Was jedoch taten Raman und Krischnan? Wie verhielten sie sich zur Entdeckung der sowjetischen Wissenschaftler und zu ihrer eigenen? Begriffen sie, was sie entdeckt hatten?

Die Antwort auf diese Frage ist im nächsten Brief Ramans und Krischnans enthalten, den sie neun Tage nach der Veröffentlichung des Artikels der sowjetischen Wissenschaftler der

Presse übergaben. Ja, sie verstanden, daß die von ihnen beobachtete Erscheinung kein Compton-Effekt war.

Nach der Veröffentlichung der Briefe von Raman und Krischnan sowie der Artikel Mandelstams und Landsbergs wurde den Wissenschaftlern der ganzen Welt klar, daß ein und dieselbe Erscheinung unabhängig voneinander und praktisch gleichzeitig in Moskau und Kalkutta gefunden und untersucht worden war. Die Moskauer Physiker hatten sie an Quarzkristallen studiert, die indischen an Flüssigkeiten und Gasen.

Diese Parallelität war natürlich kein Zufall. Sie demonstriert die Aktualität des Problems, seine große wissenschaftliche Bedeutung. Und es ist auch nicht verwunderlich, daß die französischen Wissenschaftler Rocard und Cabannes unabhängig voneinander Ende April 1928 Ergebnisse erzielten, die den Schlußfolgerungen Mandelstams und Ramans nahekamen. Kurze Zeit später erinnerten sich die Wissenschaftler daran, daß der tschechische Physiker Adolf Gustav Smekal die gleiche Erscheinung schon 1923 theoretisch vorausgesagt hatte. Unmittelbar nach der Arbeit Smekals erschienen dann auch die theoretischen Erörterungen Heisenbergs und Schrödingers.

Offensichtlich nur mit unzureichender wissenschaftlicher Information kann man die Tatsache erklären, daß die Forscher vieler Länder an der Lösung ein und derselben Aufgabe arbeiteten, ohne voneinander zu wissen.

**Siebenunddreißig Jahre danach.** Die Untersuchungen des Raman-Effektes eröffneten nicht nur

ein neues Kapitel in der Wissenschaft über das Licht. Sie lieferten zugleich eine mächtige Waffe für die Technik. Die Industrie erhielt ein ausgezeichnetes Verfahren zur Untersuchung der Eigenschaften von Stoffen.

Das liegt daran, daß die Frequenzen des Raman-Effektes gewissermaßen Markierungen bilden, die die Moleküle des Mediums, von dem das Licht gestreut wird, dem Licht aufprägen. Diese Markierungen sind in verschiedenen Stoffen nicht gleich. Es sind Molekülspektren, die durch den Raman-Effekt aus dem ultraroten Spektralgebiet in das sichtbare oder ultraviolette Gebiet verschoben worden sind, so daß sie besser beobachtet werden können. Gerade diese Tatsache gab dem Akademiemitglied Mandelstam das Recht, den Raman-Effekt die „Sprache der Moleküle“ zu nennen. Demjenigen, der es versteht, diese „Spuren“ der Moleküle zu lesen, die Zusammensetzung des Lichtes zu bestimmen, berichten die Moleküle über Geheimnisse ihres Aufbaus.

Auf dem Negativ einer photographischen Aufnahme des Raman-Spektrums ist nichts außer Linien verschiedener Schwärzung vorhanden. Ein Fachmann berechnet jedoch nach dieser Photographie die Frequenzen der innermolekularen Schwingungen, die im Streulicht nach seinem Durchgang durch den Stoff erscheinen. Die Aufnahme berichtet über viele bis dahin unsichtbare Seiten des Innenlebens der Moleküle: über ihren Aufbau, über die Kräfte, die die Atome zu Molekülen binden, über die gegenseitigen Bewegungen der Atome.

Nachdem die Physiker es gelernt hatten, die Raman-Spektren zu entziffern, verstanden sie die eigenartige „Lichtsprache“, in der die Moleküle über sich erzählen. So ermöglichte es die neue Entdeckung, tiefer in den inneren Aufbau der Moleküle einzudringen.

In unseren Tagen benutzen die Physiker den Raman-Effekt zum Studium des Aufbaus von Flüssigkeiten, Gasen, Kristallen und glasartigen Stoffen. Die Chemiker bestimmen mit dieser Methode die Struktur von verschiedenen Verbindungen.

Untersuchungsmethoden von Stoffen, die den Raman-Effekt ausnutzen, wurden von Mitarbeitern des Laboratoriums des Physikalischen Lebedew-Instituts der Akademie der Wissenschaften der UdSSR entwickelt, das Akademiemitglied G. S. Landsberg leitete.

Diese Methoden gestatten es, unter Bedingungen eines Betriebslabors schnell und genau die quantitative und qualitative Analyse von Flugzeugbenzinen, Krackprodukten, Erdölverarbeitungserzeugnissen und vielen anderen komplizierten organischen Verbindungen vorzunehmen. Dazu genügt es, den zu untersuchenden Stoff mit monochromatischen Lichtbündeln zu beleuchten und mit dem Spektrographen die Zusammensetzung des seitlich zur Durchstrahlungsrichtung auftretenden Streulichts zu bestimmen. Wie es scheint, eine einfache Sache! Bevor jedoch diese Methode wirklich einfach und schnell gehabt werden konnte, mußten die Wissenschaftler sehr viel Mühe aufwenden, um eine genaue und hochempfindliche Apparatur zu schaffen. Und das hat folgende Ursachen.

Von der Gesamtmenge der Lichtenergie, die in den zu untersuchenden Stoff gelangt, bildet nur ein winzig kleiner Teil — etwa der Zehnmilliardste — das Streulicht. Der Raman-Effekt erreicht selten mehr als zwei bis drei Prozent dieses Wertes. Deshalb blieb er offensichtlich auch so lange unbemerkt. Die ersten unter Anwendung des Raman-Effekts angefertigten Aufnahmen erforderten immerhin Belichtungszeiten von einigen zehn Stunden.

Die in der Sowjetunion geschaffenen modernen Apparaturen ermöglichen die photographische Aufnahme der Raman-Spektren reiner Stoffe im Verlauf von einigen Minuten und manchmal sogar Sekunden! Für die Analyse von komplizierten Gemischen, in denen einzelne Stoffe mit einem Anteil von einigen Prozent vertreten sind, sind in der Regel Belichtungszeiten ausreichend, die eine Stunde nicht übersteigen.

Es sind siebenunddreißig Jahre vergangen, seitdem die auf Fotoplatten aufgezeichnete „Sprache“ der Moleküle, von Mandelstam, Landsberg, Raman, Smekal und Krischnan entdeckt, entziffert und verstanden wurde. Überall in der Welt wurde in dieser Zeit beharrlich daran gearbeitet, ein „Wörterbuch“ der Sprache der Moleküle zu schaffen, das die Physiker den Katalog von Frequenzen des Raman-Effektes nennen. Wenn dieser Katalog fertig ist, wird das Entschlüsseln der Spektrogramme viel leichter sein, und der Raman-Effekt wird in der Wissenschaft und Technik noch intensiver ausgenutzt werden.

**WETTLAUF  
MIT DEM LICHT**

**In der Dunkelheit.** Das Auge, das sich vom Gerät losriß, sah nur Dunkelheit. In absoluter Dunkelheit arbeiteten Tag für Tag junge, begeisterungsfähige Forscher, die die Natur des Lichts studierten. Das Licht im Dunkeln studieren! Was kann noch unsinniger sein als das? Und trotzdem begaben sich zu Anfang der dreißiger Jahre die Wissenschaftler im Gebäude der Akademie der Wissenschaften am Ufer der Newa in vollständig abgedunkelte Räume. Tatsächlich saßen sie in absoluter Dunkelheit und taten zunächst nichts. Sie bereiteten sich vor. Bereiteten ihre Augen vor. Erst nach einer Stunde tasteten sie sich an die vorher eingestellten Geräte und begannen mit der Arbeit.

Ein Versuch begann. Sie schauten und sahen, was für die übrigen Menschen völlig unsichtbar ist. Sie erblickten ein so schwaches Leuchten, daß es nicht einmal von einem der damals existierenden Geräte festgestellt werden konnte.

Es waren die Mitarbeiter und Schüler S. I. Wawilows. Ihr Lehrer hatte nachgewiesen, daß das menschliche Auge nach einstündigem Aufenthalt in der Dunkelheit in der Lage ist, die kleinsten Lichtportionen zu sehen, die in der Größenordnung einiger Dutzend Lichtquanten liegen.

Die sowjetischen Physiker studierten beharrlich die Lumineszenz, die seltsame Fähigkeit einiger Stoffe, von selbst ein schwaches, geheimnisvolles Licht auszustrahlen.

Dieses Selbstleuchten bestimmter Substanzen kennen nicht nur die Wissenschaftler. Jeder erin-

nert sich an die Leuchtkäfer, die, aufleuchtend und wieder verlöschend, durch das nächtliche Laubwerk geistern. Und wer in einer Sommernacht an einem südlichen Meer war, kann bestimmt den Silberschleier nicht vergessen, der den Körper eines Schwimmers, das Unterwasserteil eines Bootes umspülte. Und die mit dem Ruder geschlagenen Spritzerkaskaden verwandelten sich in ein Feuerwerk.

Im Dunkeln leuchten Zeiger und Ziffern von Uhren, Flugzeuggeräten... Porträts und Landschaften, mit Leuchtfarben gemalt... Warum aber leuchten sie? Welche unsichtbare Hand zündet den Stoff „von innen her“ an?

Dieses Geheimnis lüfteten Professor Wawilow und seine Schüler.

**Seltsames Leuchten.** Im Jahre 1932, in der Zeit, als der junge Physiker Pawel Alexejewitsch Tscherenkov das Leuchten von Uranylsalzlösungen unter der Wirkung der Gammastrahlen des Radiums untersuchte, waren noch viele Seiten der Lumineszenzerscheinung unklar. Jede neue Beobachtung hatte ihren Wert. Die Hauptsache war jedoch die Entdeckung bisher unbekannter Gesetzmäßigkeiten.

Wenn Tscherenkov morgens ins Labor kam und die Augen an die Dunkelheit gewöhnte, durchdachte er den nächsten Versuch: Wie wird sich das Leuchten einer bekannten Lösung verändern, wenn ihr noch Salz zugesetzt wird? Was wird, wenn man die Lösung mit Wasser verdünnt? Die Stärke des Leuchtens muß sich dabei verändern. Von besonderer Wichtigkeit schien es nun zu

sein, das Gesetz über die Abhängigkeit der Stärke des Leuchtens von der Konzentration des „Leuchstoffes“ zu finden.

Das Experiment begann.

Bei einer Abschwächung der Strahlung mußten Maßnahmen getroffen werden, damit der Versuch fehlerfrei blieb. Denn unter der Wirkung der radioaktiven Strahlung konnten auch die Wände des Gefäßes leuchten, in das die Lösung gefüllt war. Die Lösung auszugießen und das Leuchten der Wände des leeren Gefäßes zu untersuchen, war unmöglich. Die Bedingungen des Lichtübergangs aus dem Glas in die Luft unterscheiden sich stark von den Bedingungen des Lichtübergangs aus dem Glas in die Lösung.

Der Entschluß war gefaßt. Die Lösung mußte gegen reines Wasser ausgetauscht werden. In allen optischen Eigenschaften, außer natürlich in der Lumineszenzfähigkeit, unterscheidet sich Wasser sehr wenig von der schwachen Salzlösung. Doch der Versuch brachte eine Überraschung. Obwohl sich im Gefäß destilliertes Wasser befand, trat das Leuchten auch in diesem Falle auf.

Was bedeutete das? War die Versuchsanordnung mangelhaft oder das Ergebnis ein Fehler infolge Überanstrengung der Augen, also eine Sinnestäuschung? Oder war das destillierte Wasser nicht rein genug?

Alles begann von vorn. Tscherenkov nahm sorgfältig gereinigtes Wasser und wechselte das Glasgefäß gegen ein Platingefäß aus. Geduldig saß er in der Dunkelheit, bis sich die Augen an sie gewöhnt hatten. Dann begann der erneute Ver-

such. Er führte zum gleichen Ergebnis. In der Lösung befand sich nicht eine Spur von Uransalz. Das Leuchten blieb jedoch bestehen. Was war geschehen?

**Temperament kontra Tatsache.** Es verging Tag um Tag. Gerüchte über die seltsamen Versuche Tscherenkows durchheilten das Institut. Die Kollegen begegneten ihm bald mit der teilnahmsvollen, bald mit der scherhaften Frage: „Leuchtet es immer noch?“

Junge und alte Physiker kamen zu Tscherenkow in das Laboratorium, um mit eigenen Augen das seltsame Leuchten zu sehen, das bis dahin noch niemand bemerkt hatte. Man kam, um Ratschläge zu geben, gemeinsam zu überlegen.

Tscherenkow konnte keine Ruhe finden. Stößen Wissenschaftler bei Versuchsergebnissen auf Unerwartetes, denken sie gewöhnlich zuletzt daran, daß ihnen diese Absonderlichkeiten den Leninpreis oder den Nobelpreis einbringen könnten. Zuerst sucht ein Experimentator stets einen möglichen Fehler. Und er wird einen Versuch, der einen unerwarteten, nicht erklärbaren Ausgang nimmt, so lange wiederholen, bis er sich davon überzeugt hat, daß seine Ergebnisse nicht durch einen Fehler entstanden sind, sondern eine bisher unbekannte Gesetzmäßigkeit enthalten.

Es vergingen Wochen und Monate. Tscherenkow schlug sich immer noch mit dem Rätsel des unverständlichen, hartnäckigen Leuchtens herum. Was tun? Wie soll es weitergehen?

Es sind auf diesem Gebiet viele Wege möglich.

Ihre Auswahl hängt von der Individualität des Wissenschaftlers, von seinem Gesichtskreis, seiner Intuition, aber auch von seinem Temperament ab. Viele rieten Tscherenkov, mit diesem „Unsinn“ aufzuhören, sich auszuruhen, sich mit anderen Dingen zu beschäftigen.

Tscherenkov brauchte jedoch vor allen Dingen Klarheit. Er mußte wissen, warum sein Versuch nicht gelungen war, wodurch das unerwartete, unerklärte Leuchten hervorgerufen wurde. Warum leuchtete das destillierte Wasser? Die bisherigen Erkenntnisse besagten, daß es nicht lumineszieren kann. Trotzdem... Er konnte nichts sagen, solange er sich nicht davon überzeugt hatte, daß das Wasser tatsächlich rein war. Vielleicht lag es auch am Glas? Vielleicht löste sich das Glas, wenn auch nur schwach, im Wasser und erzeugte dieses Leuchten?

Tscherenkov trocknete sein Gerät sorgfältig und goß eine andere Flüssigkeit hinein. Das gleiche Ergebnis trat zutage.

Weg mit dem Glas. Er nahm einen Tiegel aus reinstem Platin. Unter seinem Boden brachte er eine Ampulle mit einer im Vergleich zu früheren viel größeren Radiummenge an. Die Gammastrahlen von 104 Milligramm Radium gelangten durch den Boden des Tiegels in die Flüssigkeit. Von oben war auf die Flüssigkeit das Objektiv des Gerätes gerichtet. Die Flüssigkeit war äußerst rein, das Leuchten fast gar nicht abgeschwächt. Jetzt erst war Tscherenkov davon überzeugt: Das helle Leuchten der konzentrierten Lösungen — das ist Lumineszenz. Das schwache Leuchten der reinen Flüssigkeiten hat an-

dere Ursachen. Er setzte seine Untersuchungen fort.

Und dann berichtete der junge Wissenschaftler über seine Arbeit. Sechzehn reinste Flüssigkeiten, destilliertes Wasser, verschiedene Alkohole, Toluol und andere, wurden verwendet. In allen von ihnen konnte er ein schwaches Leuchten unter der Einwirkung der Gammastrahlen feststellen. Im Gegensatz zu den bisherigen Erkenntnissen breitete sich dieses Leuchten nicht wie das Licht einer Lampe nach allen Seiten aus, sondern war nur in einem engen Kegel längs der Gammastrahlen sichtbar.

Die Stärke des Leuchtens war in allen diesen Flüssigkeiten fast gleich. Am stärksten trat sie in Tetrachlorkohlenstoff, schwächer in Isobutylalkohol zutage. Der Unterschied war jedoch nicht groß — alles in allem 25 Prozent. Tscherenkov hatte zu allen Lösungen Silbernitrat, Kaliumjodid und andere Stoffe zugesetzt, die jede Lumineszenz zum Erlöschen bringen müssen. Keinerlei Ergebnis — das Leuchten hörte nicht auf. Er erhitzte die Flüssigkeiten. Auf Leuchstoffe besitzt dies eine starke Wirkung, weil auf diese Weise die Anregung stärker wird. Aber die Stärke des Leuchtens veränderte sich in diesem Falle nicht. Jetzt konnte er die Hand dafür ins Feuer legen, daß die beobachtete Erscheinung keine Lumineszenz war.

Im Jahre 1934, nach zwei Jahren sorgfältiger Untersuchung, erschien in den „Berichten der Akademie der Wissenschaften der UdSSR“ ein Artikel Tscherenkows über die Entdeckung einer neuen Art von Leuchten...

Heute kann jeder Besucher der Ausstellung der Errungenschaften der Volkswirtschaft der UdSSR die Tscherenkov-Strahlung sehen. Hier leuchtet unter einer fünf Meter starken Wasserschicht ein Versuchsreaktor. Das bläuliche Leuchten, das ihn umgibt, ist die Tscherenkov-Strahlung, die im Wasser durch die starke radioaktive Strahlung des Reaktors erzeugt wird.

**Was sieht er!** Die neue Entdeckung fand nicht ohne Schwierigkeiten Eingang in die Wissenschaft. Viele Wissenschaftler, darunter auch sehr bekannte, zweifelten sie an. Sie meinten, daß die Versuche nicht „sauber“ genug ausgeführt worden seien.

Zu dieser Zeit stand bereits fest, daß die Lumineszenz nicht durch die Gammastrahlung, sondern durch Elektronen hervorgerufen wird, die unter ihrer Wirkung in der Flüssigkeit freigesetzt werden. Die Elektronen erregen die Atome der Flüssigkeit. Daraufhin entstehen Lichtstrahlen. Das ist der Entstehungsmechanismus der Lumineszenz, behaupteten die Spezialisten, und auf diesem Gebiet gebe es nichts mehr auszutüfteln.

Tscherenkov stritt sich nicht darüber. Er arbeitete. Er setzte die Versuche fort. Und Versuche sind beweiskräftiger als Worte.

Dadurch, daß er sein Gerät in einem Magnetfeld aufstellte, bewies Tscherenkov, daß auch „sein“ Leuchten durch Elektronen hervorgerufen wird, die durch die Gammastrahlen des Radiums aus den Atomen der Flüssigkeit herausgeschlagen wurden.

„Na, sehen Sie doch selbst! Das ist eine typische Lumineszenz“, sagten seine „Gegner“. „Warum sind Sie so halsstarrig?“

„Nein, das ist keine Lumineszenz“, wiederholte Tscherenkov beharrlich.

Bei einem seiner nächsten Versuche erhielt er ein kegelförmiges Leuchten von reinen Flüssigkeiten unter der Wirkung von Betastrahlen, d. h. von schnellen Elektronen, die beim radioaktiven Zerfall freigesetzt werden.

Mit einer ganzen Kaskade von Experimenten trat Tscherenkov nun den Beweis an, daß das von ihm entdeckte Leuchten keine Lumineszenz ist.

Ihn unterstützte sein wissenschaftlicher Leiter, das Akademiemitglied Wawilow, einer der größten Spezialisten auf dem Gebiet der Lumineszenz. S. I. Wawilow sprach die Vermutung aus, daß das Leuchten durch die scharfe Abbremfung der Elektronen in der Flüssigkeit hervorgerufen werden kann, eine Erscheinung, die den Physikern bereits bekannt war. Die weiteren Beobachtungen bestätigten diese Annahme jedoch nicht.

„Manchmal weigern sich die Tatsachen, die theoretische Auslegung zu bestätigen, die man ihnen geben möchte“, sagte einmal bei einem bestimmten Anlaß der französische Wissenschaftler Louis de Broglie. Wann würde das kleine Kollektiv um Wawilow das Rätsel lösen? Tscherenkov experimentierte unentwegt weiter.

Fast drei Jahre vergingen bei der Durchführung der sorgfältigen Untersuchungen. Durch eine Verstärkung der Gammastrahlungsquelle bis auf

794 Milligramm Radium erreichte Tscherenkov eine Steigerung der Helligkeit des Effektes. Er konnte das geheimnisvolle Leuchten photographieren. Jedoch auch jetzt konnten keinerlei Versuche die Natur des Leuchtens klären, ihre Herkunft ermitteln, den Mechanismus ihrer Entstehung erklären. Es war nur zuverlässig bewiesen, daß das Leuchten durch Elektronen hervorgerufen wird, die sich in der reinen, zur Lumineszenz unfähigen Flüssigkeit bewegen.

In dieser Situation mußte die Theorie den nächsten Schritt vollziehen.

Und dabei hatte Tscherenkov Glück. Seine Versuche zogen die Aufmerksamkeit zweier Physiker auf sich, die heute zu den hervorragendsten Physikern unserer Zeit zählen. Einer von ihnen war Ilja Michailowitsch Frank, heute korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Träger des Leninordens und Nobelpreisträger. Er fühlte sich im gleichen Maße zum Experiment wie zur Theorie hingezogen. Der andere war Igor Jewgenjewitsch Tamm, heute Akademiemitglied, Staatspreisträger und Nobelpreisträger. Ilja Frank hielt das Trio zusammen, wurde zum Bindeglied zwischen den beiden „Polen“ — dem „reinen“ Experimentator Tscherenkov und dem „reinen“ Theoretiker Tamm. Schon damals versprach Igor Jewgenjewitsch das zu werden, was er als Akademiemitglied Tamm später für die moderne Physik wurde — ein Pionier. Er wurde zum Haupt des Trios.

Die drei jungen Forscher wußten damals noch

nicht, daß ihre Freundschaft sie für viele Jahre verbinden würde.

Als Objekt für das erstmalige gemeinsame Handeln wählte das heute berühmte Trio das Tscherenkov-Leuchten.

**Die Druckwelle des Lichts.** Ein Kutter zer-schneidet die glatte Wasseroberfläche, und nach beiden Seiten eilen von ihm, ähnlich wie ein Kranichflugkeil, zwei Wellen weg. Wenn zwei Kutter nahe beieinander mit gleicher Geschwindigkeit fahren würden, könnte man sehen, daß sie gleiche Wellen erzeugen. Führe einer schneller als der andere, dann liefern die von ihm gebildeten Wellen unter einem spitzeren Winkel auseinander.

Wenn sich die Geschwindigkeit des Kutters verringert, so vergrößert sich der Winkel, unter dem die Bugwellen auseinanderlaufen. Ist seine Geschwindigkeit kleiner als die Geschwindigkeit der Wellen auf der Wasseroberfläche, dann verschwinden die Bugwellen ganz.

Den Entstehungsmechanismus der Bugwelle zu verstehen, ist nicht schwer. Werfen wir einen Stein ins Wasser, sehen wir, daß von seiner Aufschlagstelle nach allen Seiten Wellenkreise auseinanderlaufen. Sooft wir auch einen Stein an die gleiche Stelle werfen, es entsteht nichts, was einer Bugwelle ähnlich wäre. Nur die runden Wellenkreise werden einer hinter dem anderen von der Aufschlagstelle weglauen. Wenn man jedoch die Steine von einem Lastkraftwagen aus wirft, der am Ufer mit einer höheren Geschwindigkeit fährt, als die Wellen über die Wasser-

oberfläche laufen, dann ändert sich das Bild. Die Wellenkreise, die durch den Aufschlag der einzelnen Steine entstehen, überlagern sich und bilden eine Welle, die einer Bugwelle ähnlich ist. Die einzelnen Wellenkreise summieren sich zu einem Ganzen und bilden dabei zwei große Wellen, die unter einem Winkel auseinanderlaufen, dessen Größe von der Geschwindigkeit des Lastkraftwagens abhängt. In den übrigen Richtungen löschen sich die einzelnen Wellenkreise gegenseitig.

Lassen wir den Lastkraftwagen sehr langsam am Ufer entlang fahren und wiederholen wir den Versuch. Jetzt können sich die einzelnen Kreise nicht überschneiden. Alle Wellen breiten sich mit der gleichen Geschwindigkeit aus, und folglich können sich die Kreise nicht einholen und auf diese Weise „summieren“. Sie laufen so auseinander, daß die Wellenkreise, die durch Aufschlagen der ersten Steine entstehen, immer außerhalb der anderen bleiben.

Genauso sieht die Sache bei der Bewegung eines Kutters aus. Dadurch, daß der Kutter mit dem Bug das Wasser durchpflügt, entstehen Wellen. Hat er eine Geschwindigkeit, die größer ist als die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen, entstehen durch die „Summierung“ der Wellen Bugwellen.

Bug- bzw. Kopfwellen bilden sich nicht nur auf der Wasseroberfläche, sondern auch in jedem anderen Fall, wenn sich ein Körper schneller bewegt als die von ihm hervorgerufenen Wellen. Kugeln und Geschosse, deren Geschwindigkeit größer ist als die Schallgeschwindigkeit in der

Luft, bilden eine Kopfwelle, die sich in Form eines engen Kegels hinter ihnen herzieht. Derartige Wellen entstehen auch hinter einem mit Überschallgeschwindigkeit fliegenden Flugzeug. Um am Flugzeug vorbeizukommen, müssen sich die Luftteilchen verdichten. Diese Eigenschaft, von einer Erwärmung begleitet, verleiht der „Verdichtungswelle“ besondere Eigenschaften. Im Verlauf der Entstehung einer solchen Welle wird ihre Front immer steiler, der Verdichtungsstoß vergrößert sich immer mehr. Infolgedessen erhält die Kopfwelle in der Luft die Besonderheiten einer Druckwelle, wie sie bei einer Explosion entsteht.

In der Anfangszeit des Überschallflugs wunderten sich viele über Explosionen, die besonders häufig bei klarem Wetter zu hören waren. Es wurden die verschiedensten Gerüchte über die Herkunft dieser geheimnisvollen Explosionen verbreitet. Man dachte an Flugzeugunglücke, Explosionen und vieles andere.

Heute wissen alle, daß diese mächtigen Schläge durch die Druckstörungen beim Überschallflug hervorgerufen werden.

Kehren wir jedoch zur geheimnisvollen Tscherenkov-Strahlung zurück.

Die von Tscherenkov entdeckte Strahlung ist nämlich nichts anderes als eine Druckwelle des Lichts.

**Wie ein Tennisschläger.** Sie können natürlich erwidern, daß das Flugzeug oder Geschoß schneller als der Schall fliegen müssen, wenn eine Verdichtungsstoß-Kopfwelle entstehen soll. Müß-

te das Elektron nicht schneller als das Licht fliegen, damit sich eine Licht-Druckwelle bilden kann? Wie aber soll das möglich sein? Hat doch Einstein schon vor mehr als einem halben Jahrhundert bewiesen, daß kein Körper und kein Elementarteilchen sich mit einer Geschwindigkeit bewegen können, die die Geschwindigkeit des Lichts im luftleeren Raum übertrifft.

Gerade diese letzte Festlegung deutet auf die Lösung unseres Problems hin. Das Licht breitet sich in Stoffen langsamer aus als in luftleerem Raum — und in einigen Stoffen sogar wesentlich langsamer. Deshalb hindert nichts das Elektron daran, die Lichtwelle einzuholen, wenn seine Geschwindigkeit größer ist als die Ausbreitungs geschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen in der jeweiligen Flüssigkeit (Phasengeschwindigkeit des Lichts). Und dabei kann eine Licht-Druckwelle — die Tscherenkow-Strahlung — entstehen.

Die Theorie, die das Entstehen der Tscherenkow-Strahlung erklärt, wurde von Tamm und Frank im Jahre 1937 aufgestellt. Sie bewiesen unwiderleglich, daß Tscherenkow tatsächlich eine vollständig neue Form der Lichtstrahlung entdeckt hatte.

Wenn eine Flüssigkeit, und wenn es auch nur destilliertes Wasser ist, mit Gammastrahlen bestrahlt wird, schlagen diese Strahlen aus den Atomen der Flüssigkeit Elektronen heraus. Da nun die Elektronen, winzige Teilchen, sehr leicht sind, wirkt der Schlag des Gammaquants auf sie wie der Schlag eines Tennisschlägers auf den Ball. Deshalb fliegen die Elektronen aus den

Atomen mit ungeheurer Geschwindigkeit heraus.

Das sich durch die Flüssigkeit bewegende Elektron tritt in eine starke Wechselwirkung mit den Atomen, die sich in der Nähe seiner Bahn befinden. Die Elektronen dieser Atome beginnen ebenfalls zu strahlen. Infolgedessen entstehen im Stoff Lichtwellen, die von dem fliegenden Elektron nach allen Seiten ausgehen.

Wenn das Elektron langsamer als die Phasengeschwindigkeit des Lichts ist, löschen sich die Lichtwellen, die von den verschiedenen Abschnitten seiner Bahn ausgehen, gegenseitig, und wir sehen keine Lichtwellen, genauso wie wir keine Bugwelle bei einem Schiff sehen, das sich mit sehr geringer Geschwindigkeit bewegt. Anders sieht es dagegen aus, wenn die Geschwindigkeit des Elektrons größer ist als die Lichtgeschwindigkeit im jeweiligen Körper (Phasengeschwindigkeit). In diesem Falle werden die Lichtwellen, die vom Elektron bei seiner Bewegung im Stoff gebildet werden, summiert. Sie bilden dadurch eine kegelförmig auseinanderlaufende Lichtwelle. Es sind also Lichtstrahlen, die sich hauptsächlich in einem bestimmten Winkel zur Einfallsrichtung der Teilchen ausbreiten.

Den leuchtenden „Schweif“ des Elektrons — oder genauer: der Elektronen — erblickte Tscherenkov bei seinen Experimenten. Wenn sich das Licht, das von den Elektronen ausgesandt wird, wie bei der Lumineszenz gleichmäßig verteilen würde, wäre es wahrscheinlich nicht so bald gefunden worden. Die kegelförmige Verteilung des Lichtes in der Bewegungsrichtung der Elek-

tronen — das war es, was die Aufmerksamkeit Tscherenkows anzog, was die Gedanken auf die besondere Natur dieses Leuchtens lenkte, die in die Geschichte der Wissenschaft als Tscherenkow-Strahlung einging.

So erklärten Tamm und Frank die seltsame Form des Leuchtens. Und ihre Theorie entsprach allen Versuchen Tscherenkows, die er in fünf Jahren unermüdlicher Arbeit ausgeführt hatte.

Die Beharrlichkeit Tscherenkows hatte gesiegt. Er war davon überzeugt, daß er auf der Schwelle des Unbekannten stand. Die mathematischen Berechnungen bestätigten es. Schließlich überzeugten sich alle von der Richtigkeit der neuen Entdeckung.

**Die Bekanntschaft vertieft sich weiter.** Tscherenkow jedoch setzte die Arbeit in der bisherigen Richtung fort, auch nachdem die Theoretiker alles auf seinen Platz gerückt, das Experiment mit der Theorie in Übereinstimmung gebracht hatten.

Er reinigte und wechselte weiter die Tiegel, quälte sich mit einer Menge von Kolben und Gefäßen ab. Er war mit Leib und Seele bei seinem Leuchten.

Tscherenkow verstand, daß die Arbeit mit der neuartigen Strahlung gerade erst begonnen hatte. Das, was er erreicht hatte, war nur eine erste Bekanntschaft mit dem „leuchtenden“ Teilchen, dem Elektron. Die Wissenschaft kennt jedoch außer den Elektronen — negativ elektrisch geladenen Teilchen — viele positiv elektrisch geladene Teilchen. Das sind sowohl Mesonen als

auch Protonen, die Bausteine sämtlicher Atomkerne.

Der Forscher vermutete, daß auch die positiv geladenen Teilchen, wenn ihre Geschwindigkeit ausreichend hoch ist, in der Lage sind, „Lichtsignale“ zu geben.

Und wenn dies so wäre, ergäben sich daraus so viele praktische Möglichkeiten, daß...

...Eines Tages — es war schon nach dem Großen Vaterländischen Krieg (der Krieg hatte für lange Zeit die Untersuchungen unterbrochen) — nahmen Tscherenkows Mitarbeiter ein becherähnliches Gefäß, gossen eine Flüssigkeit hinein und verschlossen es. Danach begaben sie sich zu einem Teilchenbeschleuniger. Dort setzten sie den Becher einem Protonenstrom aus, der im Beschleuniger entstand, und begannen zu beobachten. Im Becher glomm ein schwaches Leuchten auf. Die Wissenschaftler verstärkten den Teilchenstrom. Das Leuchten wurde heller. Sie maßen seine Stärke und den Winkel, unter dem es zu sehen war, sorgfältig aus und begannen, nachdem sie ihre Notizbücher aufgeschlagen hatten, irgendwelche Berechnungen.

Das Bedienungspersonal des Beschleunigers beobachtete sie aufmerksam. Nach einiger Zeit nannten die Besucher genau die Geschwindigkeit und die Energie der Protonen. Sie hatten dies bedeutend schneller bestimmt, als es bis dahin möglich war. Dabei irrten sie sich weniger als um 0,1 Prozent. Die Besucher behaupteten, daß sie mit dem gleichen Verfahren die Geschwindigkeit beliebiger anderer Teilchen messen könnten.

Um die Wirkungsweise des Gerätes zu erklären, benutzten sie einen anschaulichen Vergleich. Sie behaupteten, daß der Kapitän eines Schiffes in der Lage sei, bei einem Ausfall der üblichen Geräte zur Geschwindigkeitsmessung die Geschwindigkeit durch Messung des Winkels zu bestimmen, unter dem die Spitzen der Bugwelle auseinanderlaufen.

In der Tat: In dem Becher mit der Flüssigkeit war eine Tscherenkov-Strahlung entstanden, die den Wissenschaftlern half, die Geschwindigkeit und Energie der Protonen zu bestimmen. Der Becher erhielt die Bezeichnung Tscherenkov-Zähler. Er wurde in die Liste der wichtigsten physikalischen Geräte aufgenommen.

Dabei ist zu bemerken, daß sich zu dieser Zeit die Arbeit mit den Tscherenkov-Zählern noch weiter vereinfachte. Es wurden Photosekundäremissionsvervielfacher entwickelt, Bauteile, die sehr lichtempfindlich sind und sogar Portionen aus einigen wenigen Lichtquanten feststellen. Um die Tscherenkov-Strahlung zu beobachten, brauchten die Wissenschaftler nun nicht mehr stundenlang im Dunkeln zu sitzen. Elektronische Spezialgeräte führen automatisch das Zählen der Photonen der Tscherenkov-Strahlung aus und bemerken dabei noch das, was selbst das geübteste Auge nicht feststellen kann.

Tscherenkov-Zähler wurden sehr rasch in der ganzen Welt eingeführt. Mit ihnen wurde einer der größten amerikanischen Beschleuniger — das Bevatron in Berkeley — ausgerüstet, der Teilchen mit einer Energie von 6,4 Milliarden Elek-

tronenvolt (GeV) liefert. Bald wurde mit ihrer Hilfe eine bedeutende Entdeckung gemacht. Unter den bekannten Teilchen wurden zwei neue gefunden, die noch niemand in der Welt kannte: das Antiproton und das Antineutron.

Tscherenkov-Zähler wurden zu einem wichtigen Hilfsmittel bei den Untersuchungen, die in dem von sowjetischen Wissenschaftlern in Dubna erbauten Beschleuniger — dem Synchrophasotron für 10 Milliarden Elektronenvolt — durchgeführt werden. Ende 1967 wurde im Institut für Hochenergiephysik in Serpuchow bei Moskau ein Protonenbeschleuniger mit einer Kreisbahn von 1500 m in Betrieb genommen, der eine Protonen-Endenergie von über 70 Milliarden Elektronenvolt erreicht.

**Die Trägen nicht bemerken!** Es erwies sich, daß die Tscherenkov-Zähler nicht nur in der Lage sind, die Geschwindigkeit und Energie von schnellen geladenen Teilchen festzustellen, sie konnten auch mit hoher Genauigkeit die Richtung angeben, aus der diese Teilchen anflogen. Die Tscherenkov-Strahlung hat die Form eines sehr spitzen Kegels mit einem Winkel von höchstens einem Grad. Und dieser Kegel „schaut“ in die Flugrichtung der Teilchen.

Was für ein noch bequemeres und genaueres Gerät hätten sich die Wissenschaftler für die Untersuchung der Teilchen wünschen können, die aus den Weiten des Kosmos zur Erde gelangen? Sollte die Anflugrichtung der Teilchen bestimmt werden, mußten früher komplizierte und sperrige Anlagen zusammengestellt werden. Eine dieser

Anlagen bestand aus einem ganzen Satz von Zählgeräten, die hintereinander angeordnet waren, und außerdem noch aus einer elektronischen Spezialschaltung.

Und eine solche Anlage konnte ein einziger Tscherenkov-Zähler ersetzen!

Sollten die Wissenschaftler eine derartige Erfindung nicht ausnutzen? Schon 1951 entdeckten sie die Tscherenkov-Strahlung von Mü-Mesonen, besonderen Kernteilchen, die in den kosmischen Strahlen enthalten sind, und ein Jahr später die von „kosmischen“ Protonen.

Damit waren jedoch die bedeutenden Möglichkeiten der Tscherenkov-Zähler noch nicht erschöpft.

Die Natur der Entstehung der Licht-Druckwelle bedingte eine weitere wichtige Eigenheit der Tscherenkov-Zähler. So „sahen“ sie die einen Teilchen gut, während sie andere nicht bemerkten. Sie waren „wählerisch“ in ihren Beziehungen zu den kosmischen Eindringlingen. Die Zähler besaßen, wie die Wissenschaftler sagen würden, einen Schwelleneffekt. Es schien, als könnten sie wichtige Teilchen unbemerkt durchlassen. Dieser Mangel erwies sich jedoch als ein Vorteil. Er besteht darin, daß der Tscherenkov-Zähler nur langsame Teilchen „nicht bemerken will“. Die Teilchen, deren Geschwindigkeit in dem Stoff, aus dem der Zähler hergestellt ist, geringer als die Phasengeschwindigkeit des Lichtes ist, erzeugen in ihm keine Tscherenkov-Strahlung, und der Zähler registriert sie nicht. Einfach großartig! Die Wissenschaftler erkannten, daß man mit Hilfe von Zählern aus verschie-

denen Stoffen die Größe der „Schwellengeschwindigkeit“ ändern konnte. Auf diese Weise kann man die Geschwindigkeit der kosmischen Teilchen bestimmen, deren Energie so groß ist, daß sie mit anderen Geräten nicht gemessen werden kann.

**Mit der Kanone auf Spatzen.** Dank dieser bemerkenswerten Besonderheiten wurden Tscherenkov-Zähler schon in Raketen und in den ersten sowjetischen künstlichen Erdtrabanten eingebaut. Und sie halfen nicht nur, die „Korona“ der Erde, drei Gürtel von geladenen Teilchen, die die Erde umgeben, festzustellen, sondern auch das Geheimnis der Zusammensetzung der kosmischen Strahlen zu enträtseln.

Mit diesem Problem beschäftigten sich die Wissenschaftler seit langem erfolglos. Wie konnte man die kosmischen Teilchen bestimmen? Wie konnte man erfahren, welche Elementarteilchen zu uns aus dem Kosmos gelangen und woher sie stammen?

Hier half eine einmalige Eigenschaft der Tscherenkov-Zähler. Sie erwiesen sich als fähig, nicht nur die Geschwindigkeit, Energie und Flugrichtung des jeweiligen Teilchens zu bestimmen, sondern auch seine Ladung zu messen. Es stellte sich heraus: Je größer die Ladung des Teilchens ist, desto heller ist der es begleitende „Schweif“, desto größer ist der Teil seiner Energie, der auf jedem Zentimeter seines Weges in sichtbares Licht übergeht, um so heller ist die von ihm erzeugte Tscherenkov-Strahlung. Auf diese Art und Weise zeigen die Helligkeit und Stärke des Leuch-

tens sowie die Schärfe des „Lichtkegels“ genau und eindeutig an, daß ein Teilchen in den Zähler gelangt ist, um welches Elementarteilchen es sich handelt. So erfuhren die Wissenschaftler, daß zur kosmischen Strahlung Kerne des Wasserstoffs, Heliums, Eisens und vieler anderer Elemente gehören, die auf der Erde vorhanden sind.

Mit Hilfe der Tscherenkov-Zähler wurde der Beweis erbracht, daß sowohl die Erde als auch die fernen Welten, von denen die kosmischen Gesandten zu uns gelangten, aus ein und denselben Elementen bestehen, daß die chemische Zusammensetzung des Weltalls überall gleich ist.

Zur Erforschung des kosmischen Raums mit Hilfe von Raumflugkörpern müssen Tscherenkov-Zähler mit sehr geringen Abmessungen hergestellt werden. In dem Institut jedoch, in dem Tscherenkov arbeitet, steht ein riesiger Behälter, in den man nur hineinschauen kann, wenn man ein Stockwerk hoch gestiegen ist. Dieser Behälter, der größte Tscherenkov-Zähler der Welt, enthält hundert Tonnen Wasser.

Die Konstrukteure mußten den Behälter so groß bemessen, damit ein kosmisches Teilchen, das durch ihn hindurchfliegt, seine ganze Energie in Tscherenkov-Strahlung umzusetzen vermag. Erst dann ist es möglich, durch Messung der Leuchtintensität mit einem Sekundärelektronenvervielfacher, die volle Energie des in den Behälter eingeflogenen Teilchens zu bestimmen.

**Das zweite Leben der Entdeckung.** Um die Entdeckung Tscherenkows entbrannte auch nach

ihrer offiziellen Anerkennung immer wieder heftiger Meinungsstreit vor allem im Hinblick auf ihren praktischen Nutzen. In den Diskussionen wurden interessante Ideen geboren. Eine davon sprach Professor Mandelstam bei der Erörterung der Habilitationsschrift Tscherenkows aus. Er nahm an, daß es zur Beobachtung des Tscherenkow-Effekts gar nicht notwendig sei, die Elektronen durch den Stoff zu schicken, in dem sie ziemlich schnell durch die Atome, mit denen sie zusammenstoßen, abgebremst werden. Nach seiner Meinung müßte es ausreichen, das Bündel schneller Elektronen nicht durch den Stoff zu schicken, sondern dicht an seiner Oberfläche vorbei. Man könnte sogar versuchen, die Elektronen durch einen engen Kanal in einen festen Körper „einzuspritzen“.

Die Elektronen, die dicht an seiner Oberfläche vorbeifliegen, werden in den Atomen des Stoffes elektromagnetische Wellen erregen. Wenn die Elektronen schneller sind als diese Wellen, muß im Stoff eine Tscherenkow-Druckwelle entstehen.

Die Elektronen fliegen im luftleeren Raum, und deshalb können sie natürlich nicht schneller sein als das Licht. Es reicht jedoch aus, daß sie schneller fliegen, als sich die elektromagnetische Welle im Dielektrikum ausbreitet. In diesem Falle werden sich die Wellen, die im Dielektrikum unter der Einwirkung des vorbeifliegenden Elektrons entstehen, zu einer Tscherenkow-Welle summieren, die sich im Innern des Dielektrikums ausbreitet — und danach...

Und danach können die so erzeugten elektroma-

gnetischen Wellen in den Raum ausgestrahlt werden.

Der Gedanke des verstorbenen Akademiemitglieds Mandelstam war nicht nur eine vorzügliche Illustration des Entstehungsmechanismus der Tscherenkow-Strahlung. Er verwies auf praktische Möglichkeiten größter Bedeutung.

Später beschloß der theoretische Physiker Professor Witali Lasarewitsch Ginsburg, den Gedanken Mandelstams weiterzuentwickeln.

Er studierte sorgfältig die Tscherenkow-Strahlung in festen Körpern und kam zu der Schlußfolgerung, daß es möglich sein mußte, sehr kurze Wellen, Millimeter- und sogar Submillimeterwellen zu erzeugen. Für die Hochfrequenztechnik, die ständig um immer kürzere Wellenlängen ringt, kämen solche Generatoren wie gerufen.

Nach diesem Verfahren können besonders starke Hochfrequenzwellen erzeugt werden, wenn nicht ein durchgehender Elektronenstrom, sondern zu kleinen „Klumpen“ gruppierte Elektronen verwendet werden.

Es zeigte sich, daß dies nicht das einzige Verfahren zur Erzeugung von Hochfrequenzwellen mit Hilfe des Tscherenkow-Effektes ist. Wie wir wissen, genügt es, die Geschwindigkeit der elektromagnetischen Welle im jeweiligen Stoff bis auf eine Größe zu verringern, die kleiner ist als die Geschwindigkeit des Elektrons — und die Tscherenkow-Strahlung setzt ein.

Die Geschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen kann jedoch nicht nur bei ihrem Hindurchschicken durch ein Dielektrikum verring-

gert werden. In vielen Fällen werden die Zentimeter- und Millimeterwellen mit Hilfe von speziellen Metallrohren — Wellenleitern — weitergegeben. Bringt man im Innern des Rohrs eine Reihe von Blenden an, so verringert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle beträchtlich.

Wenn man ein Rohr mit geeigneten Abmessungen und entsprechenden Blenden auswählt, die Luft aus ihm herauspumpt und durch das Rohr einen Strahl von schnellen, zu kleinen Klumpen gruppierten Elektronen leitet, kann eine starke Tscherenkov-Strahlung im Millimeterwellen-Bereich erzeugt werden.

So hat der Effekt, der von einem sowjetischen Wissenschaftler entdeckt wurde, bereits in der Technik Anwendung gefunden.

Die sowjetischen Wissenschaftler I. J. Tamm, I. M. Frank und P. A. Tscherenkov wurden 1958 für die Entdeckung und Deutung des Tscherenkov-Effektes mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.



# **SPUREN IM NEBEL**

**Wer entkleidet die Atome!** Heute gibt es wohl kaum noch einen Menschen, der nichts über kosmische Strahlen gehört hätte. Zu Anfang des Jahrhunderts wußte niemand etwas von ihnen.

Es entstanden jedoch schon früher Gerüchte über geheimnisvolle Strahlen, „unvollständige“ Atome, die man angeblich in der Luft gefunden hatte.

Das waren seltsame Entdeckungen. Unter den „vollwertigen“ Atomen wurden in der Luft Atome gefunden, die Elektronen „verloren“ hatten.

Damals war der Eindruck von den unsichtbaren Strahlen Becquerels noch frisch, die im Jahre 1896 entdeckt worden waren. Die wunderbare und lehrreiche Geschichte dieser Entdeckung wurde lange unter den Wissenschaftlern diskutiert.

Der französische Physiker Henri Becquerel untersuchte die Lumineszenz von Uranylsalzen, die in der Dunkelheit hell leuchteten, wenn man sie vorher Sonnenstrahlen ausgesetzt hatte. Becquerel nahm an, daß die Sonne diese Salze dazu zwingt, zusammen mit dem sichtbaren Licht Röntgenstrahlen auszusenden. Es gelang ihm, bei seinen Versuchen zu zeigen, daß die Uranylsalze eine Fotoplatte belichten, die durch schwarzes, undurchsichtiges Papier geschützt ist. Das schien eine wichtige Entdeckung zu sein, und am 24. Februar 1896 berichtete Becquerel darüber an die Pariser Akademie der Wissenschaften.

Um die Natur der neuentdeckten Erscheinung genauer zu bestimmen, bereitete Becquerel eine

neue Serie Fotoplatten für die Versuche vor. Er legte auf jede, nachdem er sie in schwarzes Papier gewickelt hatte, eine mit Uranylsalz bedeckte Platte. Die Natur erschwerte jedoch die Absichten des Wissenschaftlers. Die Sonne verschwand, und lange Zeit war trübes, winterliches Wetter.

Becquerel war ein erfahrener Experimentator. Er überhastete nichts. Bevor er die Versuche begann, beschloß er, zu überprüfen, ob die Platten während ihrer langen Aufbewahrung im Tisch nicht verdorben waren.

Als er einige von ihnen entwickelte, sah er zu seinem größten Erstaunen, daß sie Schwärzungen aufwiesen, obwohl die Uranylsalze nicht von der Sonne bestrahlt worden waren und folglich auch nicht lumineszieren konnten.

Ja, Becquerel war ein echter Forscher. Er ging nicht achtlos an dem seltsamen Vorfall vorbei, begründete ihn nicht mit der schlechten Qualität der Fotoplatten. Der Wissenschaftler untersuchte alle Umstände sorgfältig und stellte fest, daß das Uranerz von selbst unsichtbare Strahlen aussendet, die durch nichttransparente Körper hindurchgehen. So führte die Verbindung von Zufall, scharfer Beobachtungsgabe, logischem Denken und der Experimentierkunst eines Wissenschaftlers zur Entdeckung der Radioaktivität.

Die Radioaktivität wurde zur Mode. Mit ihr versuchte man alle' unverständlichen Erscheinungen zu erklären. Als die Wissenschaftler die ständige Anwesenheit von Atomen in der Luft feststellten, die ein oder mehrere Elektronen verloren hatten, machten sie dafür vor allen Dingen

die Radioaktivität verantwortlich. Und das um so mehr, als sie eine geringe Menge radioaktiver Stoffe im Boden, im Wasser und in der Luft feststellten.

Auf eben diese natürlichen radioaktiven Verunreinigungen fiel vor allen Dingen der Verdacht. Sie senden Strahlen aus, die von den Luftatomen Elektronen abreißen. Sie sind auch die Ursache dafür, daß zusammen mit den neutralen Atomen in der Luft negativ geladene Elektronen und elektrisch geladene Atome — Ionen — angetroffen werden.

Deshalb also ist die Luft der Atmosphäre leicht ionisiert, sagten die meisten Gelehrten, von denen viele an Becquerels Stelle schlicht und einfach die belichteten Fotoplatten in den Müllkästen geworfen hätten.

Für sie war alles klar. Es gab keine Geheimnisse, die Radioaktivität war entdeckt, was sollte man sich noch damit beschäftigen...

Und die Skeptiker sahen mit Verwunderung, daß einige wenige Enthusiasten ihre gewohnten Arbeitszimmer verließen und Reisen zu verschiedenen Orten der Erde unternahmen, um die Ursache der sie interessierenden Erscheinung zu finden.

Und was ergab sich?

Die seltsame Ionisierung der Luft war eine Tatsache.

Es stellte sich heraus, daß über dem offenen Meer die Luftionisierung nur wenig geringer ist als über dem Festland, daß sie auf hohen Bergen aber merklich stärker ist als im Flachland. Dabei entstanden jedoch neue Fragen. Welche Rolle

spielt die Radioaktivität des Bodens und des Wassers? Wird die Ionisation durch die Radioaktivität der Luft verursacht? Nein, die Messungen und Berechnungen zeigten zweifelsfrei, daß sie zu gering ist, um die beobachtete Ionisierung hervorzurufen. Das heißt also, beharrten die Forscher, es mußte eine neue, noch unbekannte Ursache für die geheimnisvollen Ionisationsprozesse gefunden werden.

Und das Suchen ging weiter. Jedoch noch lange Zeit hatten alle Versuche, den „Ionisationsfaktor“ festzustellen oder den Ionisationsmechanismus aufzuklären, der in den Bergen stärker wirkte als in der Ebene, keinen Erfolg. Das Rätsel schien unlösbar.

Damals gerade sprach der österreichische Wissenschaftler Viktor Franz Heß die scheinbar paradoxe Vermutung aus, daß die Ursache für die Ionisation der Atmosphäre außerhalb der Erde gesucht werden müsse. Die Ursache sei eine Strahlung, die aus dem Kosmos eindringt. Was diese Strahlung darstellt, woher sie kommt, woraus sie besteht, welchen Charakter sie hat, welche Folgen sie, außer der Ionisierung der Luft, hervorruft — auf alle diese Fragen konnten damals, im ersten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts, weder Heß noch andere Wissenschaftler eine Antwort geben. Ja, und wie hätten sie auch darauf antworten können, da die Experimentiertechnik noch äußerst unvollkommen war. Das „Jahrhundert der Elektronik“ begann gerade erst...

**Die gefundene Welt.** Wenn man eine Suppe kostet, ist es unmöglich, irgendwelche Angaben über ihre chemische Zusammensetzung, über das Vorhandensein von Vitaminen und Fermenten zu machen. Die Zunge ist ein zu unvollkommenes Instrument für eine derartige Analyse.

Die ersten Experimente mit der unbekannten Strahlung wurden mit Hilfe von sehr primitiven Geräten ausgeführt. Zur damaligen Zeit war die schärfste Waffe für derartige Experimente ein hermetisches Glasgefäß, in dem zwei an Schmetterlingsflügel erinnernde Metallblättchen „flatterten“. Sie waren an einer Metallstange aufgehängt, die durch den Stopfen des Gefäßes hindurchging. Wenn das Gefäß an eine Spannungsquelle geriet, übertrug der Metallstab die Ladung sofort an die Blättchen weiter. Diese spreizten sich, da sie nun elektrisch gleich geladen waren, weit auseinander, und zwar um so stärker, je stärker ihre Ladung war. Anhand des Ausschlags der Blättchen bestimmten die Wissenschaftler, natürlich nur grob angenähert, den Ionisationsgrad des Mediums, das das Gefäß umgab.

Unter Mitnahme dieses einfachen Strahlenmeßgerätes bestiegen die ersten „Enthusiasten der Höhenstrahlung“, wie sie damals genannt wurden, möglichst hohe Berge. Sie versenkten die Geräte aber auch in kristallisch reine Bergseen oder stiegen mit ihnen unter die Erde in tiefe Schächte hinab. Wissenschaftler reisten zum eiskalten Polarmeer oder fuhren längs des Äquators um die Erde. Sie stiegen sogar mit Ballons auf, was damals nicht wenig Mut verlangte, oder sie be-

stiegen, wenn es nicht anders ging, hohe Türme. Sie operierten überall dort mit den feinfühligen Blättchen, metallisierten Quarzfäden, wo nach ihren Berechnungen keine natürlichen radioaktiven Verunreinigungen waren, die auf die Ionisierung der Luft Einfluß hätten haben können.

Wenn es ihnen um den Preis großer Anstrengungen gelang, ein genaues Experiment auszuführen (genau in den Grenzen der sehr geringen technischen Möglichkeiten der damaligen Zeit), so führte die Gegensätzlichkeit der Angaben, die von verschiedenen Forschern zusammengetragen wurden, die Widersprüchlichkeit ihrer Schlußfolgerungen über das Wesen der Entdeckung, zu neuen Irrtümern.

Die Unterschiedlichkeit der Meßergebnisse rief ein immer mehr anwachsendes Interesse für die neue Erscheinung hervor. Und es muß gesagt werden, daß die Erfolge sehr bescheiden, die Ergebnisse wenig effektiv waren und deshalb zu Anfang fast unbemerkt blieben. Um die beträchtlichen Abweichungen der Meßergebnisse voneinander jedoch entwickelten sich heftige Diskussionen. Welche Aufregung rief zum Beispiel die Hypothese des amerikanischen Forschers Robert Andrews Millikan hervor, die sich später als Irrtum erwies!

Millikan hatte das Glück, die Stärke der neuen Strahlung richtig zu bestimmen. Als er sich jedoch bemühte, die Natur der Erscheinung zu verstehen, kam er zu dem Schluß, die kosmische Strahlung sei dem Licht ähnlich. Sie unterscheide sich vom Licht nur dadurch, daß sie nicht von der Oberfläche der Sonne und der Sterne

ausgesandt werde, sondern daß sie in ihrem Innern entstehe. Er dachte, daß im Innern der Sterne die Atomkerne durch so kolossale Drücke zusammengepreßt und zu so unvorstellbaren Temperaturen erhitzt sind, daß sie vollständig in die Quanten einer starken, durchdringenden Strahlung, die den Gammastrahlen des Radiums ähnlich ist, umgeformt werden.

Später erwies sich jedoch, daß Millikan eine wesentliche Frage übersehen hatte. Wenn alles so wäre, wie er es annahm, könnten weder die Sonne noch die Sterne existieren. Sie wären nicht stabil.

Im Laufe der Zeit wurde festgestellt, daß die kosmischen Strahlen überhaupt keine elektromagnetische Strahlung darstellen und weder dem Licht noch den Röntgen- oder Gammastrahlen ähnlich sind. Was dann?..

Im Bereich der Physik der kosmischen Strahlung war zu Beginn der zwanziger Jahre alles neu und unerforscht, alles befand sich wie bisher an der Grenze von Vermutungen und kühnen Hypothesen. Nicht von ungefähr dauerte nach den ersten Untersuchungen der Streit über die Existenz der kosmischen Strahlen noch zehn Jahre an. In dieser Zeit kritisierte die Mehrheit der Wissenschaftler in der Welt die Vermutung von Heß sehr scharf oder übergang sie mit Schweigen und zog es vor, sich mit ergiebigeren wissenschaftlichen Problemen zu beschäftigen. Nur wenige bemühten sich, das eigentliche Problem zu erkennen und zu lösen.

Wen von ihnen soll man nennen? Myssowski und Verigo in der UdSSR, Heß in Österreich, Kol-

hörster und Regener in Deutschland und einige andere. Ja, sie waren völlig von dem Rätsel der außerirdischen Strahlung in Anspruch genommen. Nur sie ahnten hinter der geringen Anzahl von wenig verständlichen Fakten die Möglichkeit einer Antwort auf die kompliziertesten Rätsel des Kosmos. Sie wollten um jeden Preis den Ariadnefaden finden, das Knäuel der kosmischen Probleme entwirren.

Die Erforschung der Höhenstrahlung war jedoch unter den wissenschaftlichen Problemen des ersten Viertels des 20. Jahrhunderts nur eine zweitrangige Aufgabe: Der Anfang unseres Jahrhunderts brachte den Physikern viele glänzende Siege. Nacheinander sprangen unter dem Ansturm der kühnen Gedanken und Ideen die Tore zum Unbekannten auf. Die Wände des herrlichen und scheinbar unumstößlichen Gebäudes der klassischen Physik bekamen Risse und stürzten ein... Am Firmament der Wissenschaft leuchteten die Namen Planck, Einstein und der anderen Schöpfer der modernen Physik auf, die die Begriffe des Menschen von Energie, Raum, Zeit und Masse veränderten. Anstelle der bisherigen mechanistischen Ansichten über die Natur traten neue Ideen über die Diskontinuität der elektromagnetischen Energie, über die Teilchen des Lichts, über die Wechselwirkung zwischen Masse und Energie, über den Zusammenhang zwischen Raum und Zeit und die Teilbarkeit der Atome in noch kleinere Elementarteilchen... Es zerbrachen die gewohnten Vorstellungen. Die Wissenschaftler gewöhnten sich nun daran, die Welt mit anderen Augen zu sehen.

Es ist verständlich, daß die neuen Ideen ihren Einfluß auf neu entstehende Bereiche der Physik ausübten und sich unter einem neuen Blickwinkel kreuzten. Die neuen Ansichten konnten nicht ohne Wirkung auf die Behandlung der unverständlichen Erscheinung der Höhenstrahlung und die Methodik ihrer Analyse bleiben.

Mit neuen Ideen bereicherte der junge sowjetische Wissenschaftler Dmitri Wladimirowitsch Skobelzyn den neuen Wissensbereich.

Skobelzyn entstammt einer Gelehrtenfamilie, in der die besten Traditionen der russischen Wissenschaftler lebendig waren. Sie war in politischem Sinne revolutionär eingestellt. Deshalb fürchtete sich Skobelzyn auch nicht, mit veralteten Anschauungen und Methoden zu brechen. Das wurde möglicherweise zur Voraussetzung für seine bemerkenswerten Erfolge in der damals gerade erst entstehenden Wissenschaft über die kosmischen Strahlen.

**Spuren im Nebel.** Es begann das zweite Viertel des 20. Jahrhunderts. Der vierunddreißigjährige Skobelzyn machte keinen Bogen um die damals überall diskutierten Arbeiten des berühmten Wissenschaftlers Arthur Holly Compton, der die Wechselwirkung von Röntgenstrahlen mit stofflichen Substanzen untersuchte. Und tatsächlich, die Versuche Comptons waren so anziehend, daß sie die schärfste Aufmerksamkeit erregen, die Vorstellungskraft eines echten Wissenschaftlers wecken mußten.

Der amerikanische Physiker hatte beim Studium der Streuung von Röntgenstrahlen die Möglich-

keit, sich von dem Charakter der Beziehungen, die in der Mikrowelt herrschen, mit eigenen Augen zu überzeugen.

Es prallt ein Gammaquant, ähnlich einer unsichtbaren Billardkugel, mit Lichtgeschwindigkeit auf ein Elektron, die zweite Kugel, und setzt es in Bewegung. Bei dem Zusammenstoß gibt das Photon an das Elektron einen Teil seiner Energie ab und setzt seinen Weg unter einem Winkel fort, der durch den beim Zusammenprall erlittenen Energieverlust bestimmt wird. Es ändert sich dadurch die Wellenlänge des einfallenden Röntgenstrahls.

Wieviel jedoch gibt das Quant ab, wieviel behält es für sich? Es war klar, daß die Größe der übertragenen Energie sowohl von der Anfangsenergie des Röntgenlichtquantes als auch von der Richtung abhängt, in der das Elektron fliegt.

Compton konnte jedoch auf keinem Wege die Energie genau messen, die das Elektron im einzelnen Akt des Zusammenwirkens erhält. Weder er noch die anderen Wissenschaftler, die sich mit dieser Aufgabe herumschlügen, konnten eine so kleine Energieportion zuverlässig einschätzen. Dieses Ziel stellte sich Skobelzyn. Er beschloß, die Comptonsche Theorie im direkten Versuch zu überprüfen.

Er wollte die Größe einzelner Energieatome messen und die Annahme über die diskontinuierliche Natur der elektromagnetischen Energie zuverlässig bestätigen. Elektronen sind unsichtbar. Der Wissenschaftler wollte jedoch den ganzen Vorgang mit eigenen Augen sehen. Wie das verwirklichen?

Skobelzyn beschloß, dazu ein sehr scharfsinnig ausgedachtes Gerät zu verwenden, das in der Lage war, das Unsichtbare sichtbar zu machen. Die Beschreibung seiner Wirkungsweise klingt paradox: Im Gerät wird Nebel gebildet, der „sehen“ hilft. In ihrer modernen Ausführung zusammen mit dem automatischen Steuerungssystem erinnert die Wilson-Kammer (so heißt das Gerät) an ein geladenes Gewehr, das beim Drücken des Abzugshahnes losgeht. Als Abzugshahn dient ein unsichtbares Teilchen, das eine elektrische Ladung trägt. Bei seinem Eindringen in die Wilson-Kammer, die mit einem Gemisch von Argon mit Wasser- und Alkoholdämpfen gefüllt ist, zerschlägt es auf seinem Weg die ihm begegnenden Moleküle und bildet dabei Ionen. Diese richten sich in einer unsichtbaren Kette entlang des Weges des Teilchens aus. Auf diesen Ionen setzen sich Wassertröpfchen ab und zeichnen dadurch eine deutliche Nebelspur des unsichtbaren Teilchens.

So löste D. W. Skobelzyn den ersten Teil der Aufgabe: Er sah die Spur des Elektrons. Irgend etwas über die Wechselwirkung des Elektrons mit dem elektromagnetischen Feld zu sagen, vermochte der Wissenschaftler vorerst noch nicht.

Bei der Durchsicht einer Vielzahl von Verfahren zur Messung der Wechselwirkung von solchen für das Auge unsichtbaren Objekten wie Elektron und einzelnes Energiequant ist es möglich, daß sich Skobelzyn an das interessante Spiel erinnerte, das man chinesisches Billard nennt: In einer geneigten Tafel sind kleine runde Aus-

höhlungen angebracht. Der Spieler muß eine Kugel, indem er sie anstößt, vom unteren Teil der Tafel her in eine Kuhle bringen. Die Kugel durchläuft bei ihrer Bewegung über die Platte Kurven. Je langsamer sie ihre Bewegung beginnt, desto gebogener ist ihre Bahn. Wenn man die Kugel stark anstößt, wenn man ihr also eine große Anfangsenergie verleiht, läuft sie auf einer flacheren Bahn. Ein spezielles Hindernis erlaubt jedoch nicht, sie auf geradem Weg in eine der Aushöhlungen zu stoßen. Die Kraft, die die Kugelbahn krümmt, ist die Erdanziehungskraft. Wenn die Tafel des chinesischen Billards waagerecht liegt, ist dieses Spiel unmöglich. Die Kugeln würden sich dann, wie beim gewöhnlichen Billard, auf geraden Bahnen bewegen und nicht in die Aushöhlungen gelangen.

Wenn man jedoch die Kugeln aus Eisen herstellt und in der Nähe der Tafel einen starken Magneten anbringt, erhält das Spiel erneut einen Sinn. Jetzt wird das Magnetfeld, das das Schwerkraft ersetzt, die Bahnen der Kugeln krümmen.

Ein dem Sinn nach sehr ähnlicher Versuch wurde von Skobelzyn ausgedacht. Er beschloß, im Magnetfeld... die Wilson-Kammer anzubringen, anstelle der Kugeln Elektronen zu verwenden und die Rolle des „Stoßers“ den Quanten der Gammastrahlung anzuvertrauen.

Und so ging er auch vor. Er nahm einen ausreichend starken Magneten, brachte zwischen seinen Polen die Wilson-Kammer an und schickte durch sie die Gammastrahlen des Radiums hindurch. Die Strahlen, die auf ihrem Weg mit den Atomen des Stoffes zusammenkamen, der das Gerät füllte,

schlugen aus ihnen Elektronen heraus. Je größer die Energie der Strahlen war, desto größer wurde die Geschwindigkeit der Elektronen und desto weniger wurde ihre Bahn unter der Wirkung des Magnetfeldes gekrümmmt.

Jetzt hatte der Wissenschaftler die Möglichkeit, anhand der Bahnkrümmung der Elektronen, deren Spuren erkennbar waren, und nach den Winkeln, unter denen sie aus den Atomen herausflogen, nicht nur die Energie der Elektronen, sondern auch die Energie der Quanten der zu untersuchenden Strahlen zu bestimmen.

Das war ein scharfsinniges und genaues Verfahren zur Messung der Energie nicht nur der Elektronen, sondern von beliebigen geladenen Mikroteilchen. Die Nachricht darüber durcheinigte die ganze wissenschaftliche Welt.

Compton schrieb dem jungen sowjetischen Wissenschaftler einen Brief, in dem er ihn zur Erfindung der neuen Methode und zu den für die Wissenschaft wichtigen Versuchsergebnissen beglückwünschte.

Die neue Methode fand breite Verwendung in der Praxis von physikalischen Laboratorien. Sie gab den Wissenschaftlern ein Verfahren in die Hände, bei dem es mit Hilfe der Spurkrümmung des Elektrons oder eines anderen geladenen Teilchens möglich war, nicht nur das Vorzeichen der Ladung, sondern auch die Energie des Teilchens zu bestimmen. Dadurch war es möglich, es zu erkennen.

Die Methode Skobelzyns half den Wissenschaftlern, sich mit einer ganzen Reihe von Mikroteilchen bekannt zu machen. Das geschah jedoch

später. Zunächst stand Skobelzyns Methode am Anfang der neuen Wissenschaft von den kosmischen Strahlen.

**Der unsichtbare Schauer.** Eines Tages, als Skobelzyn einen Versuch mit Hilfe der Wilson-Kammer durchführte, sah er ein Teilchen, das einige hunderttausendmal schneller als eine Kugel oder ein Geschoß flog. Dmitri Wladimirowitsch fand die Spur eines geladenen Teilchens, dessen Bahn entgegen allen bisherigen Beobachtungen nicht durch das in der Kammer wirkende Magnetfeld gekrümmt wurde.

„So kann sich nur ein Teilchen mit sehr hoher Energie aufführen“, dachte der Wissenschaftler. „Sogar das Magnetfeld vermag nicht, es aus der Bahn abzulenken. Woher mag es nur stammen?“

Seine Messungen zeigten, daß nicht eine einzige der bekannten irdischen radioaktiven Quellen in der Lage war, ein Teilchen mit so hoher Energie auszusenden. Skobelzyn kam zu dem Schluß, daß die von ihm beobachtete Erscheinung außerirdischer Herkunft sein mußte. Die Spuren führten in den Kosmos...

Allmählich verstanden Skobelzyn und die Wissenschaftler, die nach der Ursache für die Ionisierung der Luft forschten, daß die von ihnen beobachteten Erscheinungen identisch sind, daß die vermuteten kosmischen Strahlen keine elektromagnetische Strahlung bisher unbekannten Typs darstellen, sondern einen Strom von geladenen Teilchen. Deshalb nennt man sie auch heute Teilchen der kosmischen Strahlung.

Seit dem denkwürdigen Tag, als das erste kosmische Teilchen in das Gerät Skobelzyns flog, geriet der Wissenschaftler in den Bann der kosmischen Strahlen. Er verlegte sein Tätigkeitsbereich in das Gebiet der Physik der Elementarteilchen.

So wurde der Grundstein für die sowjetische Schule von Spezialisten in der Wissenschaft von den Elementarteilchen gelegt.

Es begann die systematische Untersuchung der kosmischen Teilchen. Durch Beobachtung von Hunderten, Tausenden schnellen kosmischen Teilchen in der Wilson-Kammer, durch das Studium ihrer Spuren, durch die Bestimmung ihrer Masse, Energie, Ladung und anderer Daten erfuhren die Wissenschaftler, daß die Mehrheit der kosmischen Teilchen Wasserstoffkerne, also Protonen, sind. Der geringere Teil sind Kerne anderer Elemente. Die Wissenschaftler überzeugten sich davon, daß die kosmischen Teilchen gar nicht so selten sind. Bevor sie jedoch die Erdoberfläche erreichen, erfolgen in der Atmosphäre Milliarden Zusammenstöße zwischen ihnen und den Luftatomen. Dabei werden zahllose Verbindungen zwischen kosmischen Teilchen und den elektromagnetischen Feldern der Atome geschaffen und gelöst.

Das kosmische Teilchen erleidet nach seinem Eindringen in die Erdatmosphäre eine Reihe von erstaunlichen Umwandlungen. Wenn es zum Beispiel mit dem Kern eines Stickstoffatoms oder Sauerstoffatoms zusammenstößt, kann es diesen zertrümmern und neue Teilchen erzeugen, denen es einen Teil seiner Energie übergibt. Diese neuen

Teilchen können ihrerseits weitere Kerne zerschlagen. So vergrößert sich mit der Annäherung an die Erdoberfläche allmählich die Anzahl der Teilchen. Es entsteht eine Lawine, die von der Wucht dieser eigenartigen Kettenreaktion hervorgerufen wird.

Die am weitesten blickenden Wissenschaftler verstanden, daß in der Enträtselung der Eigenarten der kosmischen Teilchen die Antwort nicht nur auf „kosmische Probleme, sondern auch auf rein „irdische“ Fragen enthalten ist. So ist in ihnen zum Beispiel die Möglichkeit verborgen, den Zugang zu den Geheimnissen des Atomkerns zu finden. Konnte man die kosmischen Teilchen nicht auf experimentellem Weg dazu bringen, Atomkerne zu zerstören?

Aus dem Kosmos gelangen Teilchen mit riesiger Energie zur Erde. Derartige Geschosse konnten auf der Erde damals noch nicht hergestellt werden. Sollte man die kosmischen Teilchen nicht als eigenartigen Hammer verwenden, der die Atome zertrümmert, oder als mikroskopische Bombe, die den Kern des Atoms sprengt?

Beim Eindringen der primären kosmischen Teilchen in die Atmosphäre entstehen viele verschiedenartige Teilchen, und unter ihnen können unbekannte sein. Außerdem verfügen die kosmischen Teilchen über eine so riesige Energie, daß sie beim Eindringen in die Erdatmosphäre nicht nur Elektronen von den ihnen begegnenden Atomen „abreißen“, sondern auch die Kerne einiger von ihnen zu Bruchstücken zerschlagen. Und vermochte man die sich bei so hohen Energien vollziehenden Kernprozesse und elektromagneti-

schen Wechselwirkungen zu analysieren, so mußte es schließlich möglich sein, die Struktur der Materie, ihrer elementaren Teilchen zu erkennen.

Um jedoch alle neu entstandenen Teilchen „zu wägen“, ihre Masse, Energie und Geschwindigkeit zu bestimmen, mußten die Wissenschaftler nicht weniger findig sein als ihre Kollegen, die die Aufgabe lösten, die Massen der Erde und der anderen Planeten zu ermitteln.

Die Experimentiertechnik entwickelte sich weiter. Der Wilson-Kammer kamen andere Geräte zu Hilfe: automatische Anlagen mit Ionisationskammern, in denen die kosmischen Teilchen eine elektrische Entladung verschiedener Stärke hervorriefen; Fotoemulsionen, in denen es möglich war, anhand der Schwärzung der Silberkörnchen fast alle an der mikroskopischen Katastrophe Beteiligten zu ermitteln; Tscherenkow-Zähler und verschiedene Kombinationen dieser Bauteile mit hochfrequenztechnischen Schaltungen.

Es gelang den Wissenschaftlern, das kosmische Teilchen selbst „zu sehen“, seine Masse, Geschwindigkeit und Energie zu messen. Es kam schließlich der Tag, an dem die Wissenschaftler sahen, wie ein kosmisches Teilchen, während es den Kern eines getroffenen Atoms zerschlug, ein Positron erzeugte, ein von niemandem bis dahin gesehenes Teilchen.

**Der widerspenstige Flaschengeist.** Mit dem „Krümelchen“ Positron brach in die Welt gewohnter

Vorstellungen die Welt der Antiteilchen ein, die geheimnisvolle Antiwelt.

Der englische Physiker Paul Adrien Maurice Dirac interessierte sich über alle Maßen für das Elektron. Er untersuchte es aber nicht in der Wilson-Kammer, er versuchte nicht, seinen Zusammenprall mit einem Quant der Gammastrahlung zu belauern — und das nicht etwa deshalb, weil es noch keine Wilson-Kammer gegeben oder weil er die Arbeiten Skobelzyns nicht gekannt hätte. Dirac war einfach „reiner“ Theoretiker. Alle Versuche mit dem Elektron führte er „im Geiste“ oder auf dem Papier aus.

Zu dieser Zeit wußten die Wissenschaftler sehr wenig über die Beziehungen zwischen Elektron und elektromagnetischem Feld und nichts über seinen inneren Aufbau. Sie können bis heute nicht genau sagen, was es darstellt. Ist es ein punktförmiges Teilchen oder ein kompliziertes Objekt, das über bestimmte Abmessungen verfügt? Besitzt das Elektron Masse oder stellt es, wie der bekannte englische Wissenschaftler Joseph John Thomson annahm, einfach eine Verdichtung des elektrischen Feldes dar? Über das Elektron sprachen die Wissenschaftler nur in Fragen. Warum zerfällt es zum Beispiel nicht durch die Abstoßung der einzelnen Teile seiner Ladung? Denn gleichnamig geladene Körper müssen sich abstoßen — dieses Gesetz der klassischen Physik ist noch nicht verworfen. Welche Kräfte hindern das Elektron am Zerfall?

Unverständlich blieben den Physikern auch die Bewegungsgesetze des Elektrons sowohl im Atom des Stoffes als auch im freien Raum.

Noch im zweiten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts schien alles klar zu sein. Der Aufbau des Atoms, dem Sonnensystem ähnlich, war leicht zu verstehen: Um den zentralen Kern bewegen sich, wie die Planeten um die Sonne, auf elliptischen Bahnen die Elektronen. Kaum jedoch hatte das zweite Viertel unseres Jahrhunderts angefangen, so war von dieser Klarheit keine Spur übriggeblieben. Die Elektronenbahnen, die Niels Bohr erdacht hatte, erwiesen sich als Fiktionen. Und obwohl man noch von ihnen sprach und sie als Modellvorstellungen weiter verwendete, wußten die Physiker, daß sie nur relativ aufzufassen waren, daß diese Bezeichnung eigentlich nur den Teil der Umgebung des Kerns angibt, in der sich das Elektron gerade befindet.

Kann man ein Elektron photographieren? Sogar der schnellste Verschluß eines Fotoapparates ermöglicht keine „Momentaufnahme“. Wenn man einen solchen Versuch ausführen könnte, so würde auf der Fotoplatte eine Nebelwolke erscheinen, die den Kern umgibt. Das Elektron würde sich in jedem Punkt dieser „Wolke“ befinden. Zu welchem Zeitpunkt im jeweiligen Moment und wie lange es sich dort aufhält, könnte nicht bestimmt werden.

Das Elektron glitt also aus den scharfsinnigsten mathematischen Konstruktionen heraus, und es war unmöglich, festzulegen, wo und mit welcher Geschwindigkeit es sich im jeweiligen Moment bewegt.

War hier irgendeine Teufelei im Spiel? Wenn die Rede von der Bewegung eines gewöhnlichen Steins gewesen wäre, hätte man darüber ein gan-

zes Poem in Formeln schreiben können. Das Elektron ordnete sich jedoch nicht einer einzigen Formel unter. Es befand sich fortwährend im Widerspruch zu dem umgebenden Medium.

Dirac bemühte sich mit Ausdauer, das natürliche Bewegungsgesetz des Elektrons — wenigstens seine Gleichung für die Bewegung im freien Raum — zu Papier zu bringen.

Eine solche Gleichung fand er schließlich auch. Das war im Jahre 1928. So seltsam es jedoch auch klingen mag, zuerst freuten sich weder er noch andere Wissenschaftler über diesen Fund. Die Probleme waren dadurch nicht klarer geworden. Im Gegenteil...

**Negative Fische.** Die Gleichung Diracs führte sich wie ein widerspenstiger Geist auf, den man unvorsichtigerweise aus der Flasche gelassen hatte. Das, was die Wissenschaftler aus dieser Gleichung herauslasen, erschien ihnen — gelinde gesagt — als ein Mißverständnis. Gleichberechtigt mit dem real existierenden negativ geladenen Elektron nahm in ihr ein „positiv“ geladenes Elektron seinen Platz ein. War das etwa kein Paradoxon?

Ein solches Teilchen hatte in der Natur überhaupt noch niemand gefunden. Während das gewöhnliche Elektron von einem negativ geladenen Körper abgestoßen wird, mußte das neue, von Dirac berechnete Teilchen von ihm angezogen werden. Wenn das „alte“ Elektron im Magnetfeld nach der einen Seite abbog, so mußte das „neue“ nach der anderen Seite abweichen. Aus der Gleichung ergab sich ein bisher unbe-

kanntes, seltsames, positives Elektron. Aber da niemand dieses theoretisch „entdeckte“ Teilchen damals experimentell nachzuweisen vermochte, war es nicht verwunderlich, daß Dirac selbst nach einer plausiblen Erklärung dieser seltsamen Erscheinung längere Zeit suchte. Ein Physiker sagte einmal darüber: „Einige Jahre lang bestand eine Art stillschweigendes Übereinkommen, über diese unangenehmen Lösungen der relativistischen Gleichung Diracs nicht zu sprechen.“

Bald jedoch beseitigte Dirac selbst alle Zweifel. Er erinnerte sich plötzlich an eine Aufgabe, die er als Student gelöst hatte... Vielleicht ist diese Geschichte aber auch nur eine Legende. Jedoch ältere Physiker erzählen gern davon, wie Dirac alle Studenten und Professoren beim Weihnachtswettbewerb, der alljährlich von der Cambridge mathematischen Studentengesellschaft organisiert wird, in Erstaunen versetzte. Den Teilnehmern war, so schien es, eine einfache Aufgabe gestellt worden. Sie wäre wahrscheinlich schon lange von den Teilnehmern des Wettbewerbes und von Dirac selbst vergessen worden, wenn sie nicht zur Entdeckung der „Antiwelt“ geführt hätte. Und hier ist die Aufgabe:

Drei Fischer mußten, von einem Unwetter überrascht, mit ihrem Fang auf einer unbewohnten Insel anlegen, um den Morgen zu erwarten. Gegen Mitternacht ließ der Sturm nach, und einer der Fischer beschloß, das Eiland zu verlassen und dabei sein Drittel vom Fang mitzunehmen. Er wollte die übrigen nicht wecken. Als er die Beute in drei gleiche Teile teilte, blieb ein Fisch

übrig. Nachdem er ihn in das Meer geworfen und sein Drittel ins Boot gebracht hatte, verließ er die Schlafenden. Bald danach erwachte der zweite Fischer, der nichts davon ahnte, daß einer seiner Kameraden schon weggefahren war, und er begann, erneut den Fang zu teilen. Wie der erste Fischer teilte auch er die Fische in drei gleiche Teile auf, und auch bei ihm blieb ein Fisch übrig, den er ins Meer warf. Dann fuhr er mit seinem Anteil davon. Dasselbe tat der dritte Fischer, der wenig später wach wurde. Er teilte die verbliebenen Fische wiederum in drei gleiche Teile auf, und auch er hatte einen Fisch übrig.

Von den Teilnehmern des Wettbewerbs wurde verlangt, die Anzahl der Fische zu finden, die den Bedingungen dieser Aufgabe entsprechen würde.

Wie groß aber war das Erstaunen der Jurymitglieder, als sie die Antwort des Studenten Dirac lassen. Nach seiner Lösung hatten die Fischer minus zwei Fische gefangen! Das war eine formale Antwort, und trotzdem eine richtige.

Es ist möglich, daß sich Dirac an diese „negativen“ Fische erinnerte, als ihm die unerbittlichen Gesetze der Natur jenes bisher ungesehene Teilchen „unterschoben“. In seinen Berechnungen hatte sich gezeigt, daß es einen unbesetzten negativen Energiezustand, ein „Loch inmitten einer Umgebung negativer Energie“, geben mußte. Ein solches „Loch“ mußte aber die Existenz eines Anteilchens bedeuten. Dirac stellte seinen seltsamen Fund der wissenschaftlichen Welt vor und erklärte mit Überzeugung, daß „Elektronen

mit positiver Energie“ genauso real seien wie Elektronen mit negativ elektrischer Ladung. Es sind Teilchen, die in allen Beziehungen den Elektronen ähnlich sind, jedoch eine positive Ladung tragen. Er nannte sie Positronen.

Mehr noch — der Wissenschaftler verblüffte seine Kollegen mit der Annahme, daß alle Teilchen paarweise in der Natur existieren und daß jedem geladenen Teilchen sein Antiteilchen mit der gleichen Masse, jedoch mit einer Ladung von entgegengesetztem Vorzeichen entspricht. Wenn das Paar Elektron—Positron existiert, so muß es auch das Gegenstück für das Proton geben. Wenn Wasserstoffatome existieren, so müssen auch Atome des Antiwasserstoffs auftreten. Folglich muß in der Natur neben der Materie die Antimaterie vorhanden sein.

Die Gleichung Diracs stieß die Wissenschaftler auf den Weg von erstaunlichen Entdeckungen.

**Kaskade der Sensationen.** Der Eindruck, den die phänomenale Entdeckung Diracs hervorgerufen hatte, war noch frisch, allen waren die Jahre des Schweigens noch in Erinnerung, mit dem die Physiker dezent die Gleichung Diracs umgangen hatten, als der amerikanische Wissenschaftler Carl David Anderson erstmals die Spur eines positiv geladenen Elektrons sah, das beim Durchgang der kosmischen Strahlung durch die Wilson-Kammer entstand. Seine Bahn wurde im Magnetfeld in der Richtung gekrümmt, die der Bahn des gewöhnlichen Elektrons entgegengesetzt war. Alle übrigen Kennzeichen waren

gleich. Zweifellos, das war das Positron, dessen Existenz Dirac so genial vorausgesagt hatte. Das war 1932. Das Auftreten des Positrons wurde zu einer Weltsensation, zum „Schlager“ des vierten Jahrzehnts unseres Jahrhunderts. Die Tore zur Antiwelt waren geöffnet. Die Physiker stürzten sich darauf, um Neues zu entdecken. Sie entfalteten eine fiebrige Suche nach Teilchen und Antiteilchen.

Eine Jagd nach kosmischen Teilchen begann. Die Forscher beugten sich noch tiefer über ihre Geräte. Sie sahen noch aufmerksamer als bisher die Nebelkammeraufnahmen durch, die mit dicken und dünnen, gerade noch sichtbaren und unterscheidbaren Linien — den Spuren der kosmischen Teilchen und der Trümmer der zerschlagenen Atome — übersät waren. Die Physiker vollbrachten Wunder an Beobachtungsgabe, als sie sich in den Wirrwarr der nur für sie lesbaren Spuren vertieften. Und schließlich — das war im Jahre 1937 — fanden Anderson und Neddermeyer ein weiteres, bis dahin unbekanntes Teilchen. Es bewegte sich schneller als das Proton, jedoch langsamer als das Elektron. Es war leichter als das erste, jedoch schwerer als das zweite. So wurde es auch benannt — „Meson“, was „das Dazwischenliegende“ bedeutet.

Auch das Meson wurde wie das Positron eigentlich durch die Feder eines theoretischen Physikers in die Wissenschaft eingeführt. Der japanische Wissenschaftler Hideki Yukawa war 1935 bei der Ausarbeitung einer Theorie des Kerns gezwungen, ein besonderes Feld der Kernkräfte einzuführen, dessen Quanten nach seinen Be-

rechnungen besondere Teilchen sein mußten, deren Masse ungefähr 200 Elektronenmassen beträgt, also etwa zehnmal kleiner als die Masse des Protons ist.

Es war schon lange kein Geheimnis mehr, daß nicht nur das Atom selbst, sondern auch sein Kern teilbar ist. Traf ein kosmisches Teilchen auf einen Kern, zerschlug es diesen, so daß er in die Kerne leichterer Atome und in einzelne Protonen und Neutronen auseinanderflog. Die Protonen riefen in keiner Weise besonderes Interesse hervor. Das waren die seit langem bekannten Kerne von Wasserstoffatomen, aus denen die Natur die Kerne der schweren Elemente zusammengefügt hat. Die Neutronen, neutrale, nicht geladene Teilchen, waren den Wissenschaftlern ebenfalls schon bekannt. Ein Buch mit sieben Siegeln war jedoch die Frage, wie sich Protonen und Neutronen zu einem so festen Gebilde wie dem Atomkern verbinden können. Was ist er eigentlich — der Atomkern? Was verbindet ihn zu einem Ganzen? Welche Natur besitzen die Kernkräfte, die die elektrischen Abstoßungskräfte der positiv geladenen Protonen überwinden?

Yukawa antwortete auf diese Frage einfach und genial. Er behauptete... Übrigens stellen Sie sich folgendes Bild vor. Im Gehen werfen sich zwei Personen ständig einen Ball zu. Deshalb können sie sich nicht weiter als bis auf einen bestimmten Abstand voneinander entfernen. Wenn man die beiden von weitem sieht, ist der Ball nicht zu erkennen, und man kann annehmen, daß sie freundschaftlich nebeneinander ge-

hen. Dennoch scheinen sie durch eigenartige Anziehungskräfte aneinander „gefesselt“ zu sein.

„Ähnliche Anziehungskräfte wirken auf die Protonen und Neutronen im Atomkern ein“, erklärte Yukawa. Sie können unablässig Billionen Jahre lang „Ball spielen“ und sich gegenseitig Mesonen zuwerfen, bis irgend ein Geschoß von der Art eines kosmischen Teilchens diese angenehme Beschäftigung unterbricht. Dann jedoch lassen die Protonen und Neutronen den „Ball“ fallen, spritzen aus dem Kern heraus, und dieser „stirbt“. Dabei können auch die Mesonen festgestellt werden.

Es gelang den Wissenschaftlern, diese dramatische Situation in ihren Geräten zu schaffen und zu beobachten. Sie wurden Augenzeuge einer Vorstellung, die hinter den Kulissen der Mikrowelt ablief. Es war nun möglich, die Akteure dieses eigenartigen Vorganges zu identifizieren. So schlossen sie mit dem Meson Bekannschaft.

**Einer mit drei Gesichtern.** Bald jedoch stellte es sich heraus, daß Andersons und Neddermeyers Mesonen, deren Masse gleich 207 Elektronenmassen ist, nicht die Mesonen Yukawas waren. Es sind andere Teilchen. Es wurde ermittelt, daß sie nicht an der Bildung des Kerns teilnehmen und daß sie mit ihren Eigenschaften eher an Elektronen erinnern. Im Unterschied zu den Elektronen sind diese Mesonen (heute nennt man sie Mü-Mesonen) nicht stabil. Innerhalb des millionsten Teils einer Sekunde zerfallen sie in ein

Elektron und zwei Neutrinos, die eine Energie enthalten, die ungefähr 200 Elektronenmassen entspricht.

Was ist dann das von Yukawa vorausgesagte Meson? Ein Fehler, ein Irrtum des Wissenschaftlers? Oder war es, wie das Positron Diracs, zu zeitig „erschienen“ und den experimentellen Möglichkeiten vorausgeeilt? Tatsächlich, das von Yukawa theoretisch gefundene Meson wurde erst im Jahre 1947 von dem englischen Wissenschaftler Cecil Frank Powell in höheren Schichten der Atmosphäre mit Hilfe einer neuen Experimentiermethode entdeckt.

Dieses neue „Fenster zur Natur“, für dessen Entdeckung Powell im Jahre 1950 den Nobelpreis erhielt, war eine dicke photographische Emulsion, in deren Innerem nach dem Entwickeln die Spuren der kosmischen Teilchen selbst und auch der Teilchen auftraten, die sie aus den Kernen der zur Fotoemulsion gehörenden Atome herausgeschlagen hatten.

Die auf diesem Wege 1947 entdeckten Teilchen besaßen eine Masse, die der von Yukawa berechneten nahe kam.

Es erwies sich, daß dieses Meson, es wurde Pi-Meson ( $\pi$ -Meson) genannt, in drei Arten existiert. Zwei von ihnen, die geladen sind (positiv und negativ), sind 273mal schwerer als ein Elektron. Die dritte Art ist neutral, ihre Masse beträgt 264 Elektronenmassen. Sie nehmen tatsächlich an der Bildung von Verbindungen zwischen den Kernteilchen — den Protonen und Neutronen — teil, sie sind die wichtigsten Quanten des Kernkraftfeldes.

Diese Teilchen sind noch unstabiler als die Mü-Mesonen ( $\mu$ -Mesonen). Die geladenen  $\pi$ -Mesonen leben nur den hundertmillionsten Teil einer Sekunde und zerfallen danach in ein  $\mu$ -Meson und ein Neutrino. Das neutrale  $\pi$ -Meson lebt eine noch hundertmillionenmal kürzere Zeit. Gerade deshalb wurde das  $\pi$ -Meson, das Kernmeson Yukawas, später entdeckt als das  $\mu$ -Meson, das die Wissenschaftler für einige Zeit auf die falsche Spur gebracht hatte.

Auf die Entdeckung des ersten Mesons folgte bald die weiterer, anderer Elementarteilchen. Das Scherzwort Professor Wawilows „Jede Saison bringt ein neues Meson“ wurde populär.

Die Wissenschaftler hatten mit Hilfe der kosmischen Strahlen einen neuen Weg zur Untersuchung des Aufbaus des Atomkerns gefunden.

**Auf dem „Dach der Welt“.** In der Nähe der höchsten Gipfel des östlichen Pamirs, siebzehn Kilometer vom See Rang-Kul entfernt, liegt das große Gebäude der Pamirstation des Physikalischen Institutes der Akademie der Wissenschaften der UdSSR. Die Bedienung der verschiedenartigsten Geräte fordert von den Wissenschaftlern die umfassendste Ausbildung. Sie müssen sich nicht nur in der Wissenschaft von den kosmischen Strahlen auskennen, sondern auch in der Optik, Hochfrequenztechnik, Elektronik und im Photographieren. Über das Territorium der Expedition sind Dutzende von Laborhäuschen verstreut.

Die einen von ihnen erinnern an Werkstätten,

in denen Rundfunkempfänger und Fernsehapparate repariert werden. Auf den Tischen und auf dem Fußboden türmen sich alle möglichen halbzerlegten Geräte. Das ist das Reich der Elektroniker.

In anderen Häuschen „zaubern“ im Dunkeln die Fotospezialisten, die Platten mit den Aufnahmen der Spuren kosmischer Teilchen entwickeln.

Einige Labors werden von Automaten beherrscht, die in ihren Abmessungen Bücherschränken nicht nachstehen. Auf ihren Vorderseiten blinken rote Lämpchen. Die Platte mit den Lämpchen und einer funktechnischen Einrichtung bildet zusammen mit speziellen Zählern eine Anlage, die zum Einfangen von „Tropfen“ der Höhenstrahlsschauer dient und den Weg der Teilchen zeigt. Da leuchtet das fünfte Lämpchen auf. Ein Teilchen hat den fünften Zähler durchlaufen. Dann spricht der zehnte, dritte, achte an... So wird mit Hilfe dieses Hodoskops die Bahn der Teilchen in den Schauern verfolgt. In einigen sowjetischen Anlagen dieser Art werden Tausende von Zählern verwendet. Die blinkenden Lämpchen kann man natürlich nicht ohne Hilfsmittel ablesen. Und das ist auch gar nicht erforderlich. Der Wechsel der „hodoskopischen Bilder“ wird auf einem Film fixiert, der danach in einem Moskauer Laboratorium ausgewertet wird.

**Eine ungenießbare Sülze.** Im Laboratorium des Physikalischen Lebedew-Instituts der Akademie der Wissenschaften der UdSSR kommen die Versuchsergebnisse der Pamirexpedition und an-

derer Expeditionen von Physikern zusammen.

Hierher werden Stapel von Fotoplatten und ganze Fäßchen mit „Sülze“ der Fotoemulsion geliefert, die mit Ballons und Flugzeugen in große Höhen gebracht worden war.

Um die Energie eines Schauers zu bestimmen, muß die entwickelte Fotoemulsion genau ausgewertet werden. Mit einer solchen Aufgabe fertig zu werden, übersteigt oft die Kräfte der Wissenschaftler eines Landes. Dann vereinigen die Kosmosforscher ihre Anstrengungen. Die Emulsion wird zerteilt und in verschiedene Länder geschickt. Nicht wenig Zeit haben auch sowjetische Wissenschaftler dazu verwendet, die bei ihnen aus England, Ungarn, Polen und anderen Ländern ankommenden Stücke, nachdem sie sie in dünne Blättchen zerschnitten hatten, auf die Spuren von mikrokosmischen Katastrophen zu durchforschen.

Das Laboratorium für Elementarteilchen leitet einer der vielen Schüler Skobelzyns, Professor Nikolai Alexejewitsch Dobrotin. In einem Zimmer, das einem medizinischen Laboratorium ähnlich ist, befindet sich eine ganze Reihe von Tischen mit Mikroskopen und Kästen mit Proben.

Wenn Sie in ein Mikroskop schauen, werden Sie eine Vielzahl von dunklen Körnchen sehen. Die einen verschmelzen zu einer durchgehenden Linie, die anderen sind völlig ungeordnet durcheinandergewürfelt.

Bei einer feineren Einstellung des Objektivs treten die Spuren der Teilchen klar hervor.

Wenn Sie Spuren sehen, die aus einem Punkt nach verschiedenen Seiten auseinanderführen, können Sie sagen, daß Sie Glück gehabt haben. Sie haben einen „Stern“ gefunden, das Ergebnis eines direkten Aufpralls eines kosmischen Teilchens auf einen Atomkern der Emulsion. Schauen Sie sich den „Stern“ genauer an! Die kurze, dicke Spur kann nur von einem schweren und langsamem Teilchen stammen. Das kann ein Proton gewesen sein. Die lange, punktierte Spur gehört einem leichten und schnellen Teilchen, wahrscheinlich einem Elektron. Der Laborant muß die Länge der Spur sowie den Winkel messen, unter dem die Bruchstücke des Kerns und die neu entstandenen Teilchen auseinandergeflogen sind. Dies ermöglicht es, die Masse, Energie und Geschwindigkeit des Teilchens, des Schuldigen an der „Kernkatastrophe“, zu berechnen. So viel „Explosionen“ gefunden wurden, soviel Berechnungen sind auch erforderlich. Eine lange und mühselige Arbeit!

Im Jahre 1947 schloß das Verzeichnis der Elementarteilchen, das zu Beginn des Jahrhunderts nur aus dem Elektron, dem Proton und dem Lichtquant, dem Photon, bestand, mit der Ziffer „14“ ab. Heute sind mehr als 35 verhältnismäßig stabile Elementarteilchen bekannt. Ende der vierziger Jahre gab es schon keinen Physiker mehr, der an der Zweckmäßigkeit der neuen wissenschaftlichen Richtung gezweifelt hätte. So kühn, so fruchtbar hatte sie ihre Existenzberechtigung nachgewiesen. Mehr noch, es wurde klar, daß sie eine der bedeutendsten Richtungen der modernen Physik war, daß sie

einen wichtigen Zugang zum Reich des Atomkerns zu erschließen vermochte.

**Der Schauer in der Falle.** Die kosmischen Teilchen eröffneten vor den Wissenschaftlern neue, komplizierte, widerspruchsvolle, aber auch interessante Seiten im Leben der Mikrowelt. Ihre Wirkung in der Atmosphäre war schon ein zur Hälfte aufgeschlagenes Buch. Die Wissenschaftler lasen mit Erfolg darin. Es war bereits klar, daß die kosmischen Teilchen über eine gewaltige Energie verfügen. Ihre Stöße auf die Atome der Luft können sich in den Maßstäben der Mikrowelt mit Atombombenwürfen messen. Durch ein kosmisches Teilchen entstehen manchmal ganze Teilchenschauer, die über große Zerstörungskräfte verfügen.

Über sich selbst berichteten die kosmischen Teilchen jedoch sehr widerwillig. Den Physikern gelang es nicht, irgendwelche Angaben über die primären Teilchen selbst zu erlangen. Es sind die Teilchen, die die Kettenreaktionen in den Schauern hervorrufen.

Konnte man nicht ganz einfach die Energie des Primärteilchens, das ein solches „Feuerwerk“ erzeugt hatte, dadurch ermitteln, daß man die Gesamtenergie der Teilchen des Schauers feststellte? Aber vor den Forschern stand plötzlich eine unerwartete Schwierigkeit. In Höhe des Meeresspiegels erreicht die Zahl der sekundären Teilchen Millionen, und sie hätten auf einer Fläche von einigen Kilometern eingefangen werden müssen. Es ist klar, daß dieser Weg in die Sackgasse führen mußte. Zähler mit derartigen

Abmessungen zu bauen, ist technisch nicht möglich. Sogar auf den Berggipfeln, wo sich die „Kettenreaktion“ noch nicht in vollem Ausmaß entwickelt hat, beträgt die Anzahl der Teilchen, die zu einem Schauer gehören, Hunderttausende.

Wie sollte man mit ihnen fertig werden? Mit welchen Geräten sie einfangen? Wie den ersten Zusammenstoß aufnehmen?

Mußten die Geräte aber nicht bis an die Schwelle der Erdatmosphäre gebracht werden, um einen der ersten Zusammenstöße zu registrieren? Dort jedoch wären sie auf eine neue Schwierigkeit gestoßen. Es erwies sich, daß die Anzahl der primären kosmischen Teilchen sehr klein ist. Deshalb ist es in großen Höhen, wo sich der Schauer noch nicht ausreichend „entwickelt“ hat, fast unmöglich, ein kosmisches Teilchen einzufangen. Hier müßte man bei der Arbeit mit Geräten von kleinen Abmessungen auf ein Teilchen immerhin etwa 100 Jahre warten. Oder es wären Anlagen mit Abmessungen von einigen Kilometern erforderlich, um in kurzer Zeit wenigstens ein primäres Teilchen einzufangen.

Somit war es erforderlich, eine komplizierte Anlage zu schaffen, sie so hoch wie möglich zu bringen und sie dort so lange wie möglich zu lassen.

Es ist interessant, daß der Gedanke über die Notwendigkeit, die kosmischen Teilchen in den oberen Schichten der Atmosphäre und noch weiter oben zu studieren, viel früher entstand, als man ihn beweisen konnte. Auch die Technik der Luftfahrt war lange Zeit nicht in der Lage,

die Entwicklung der Physik der kosmischen Strahlen entscheidend zu fördern.

Das kosmische Zeitalter begann erst 1957, als „Sputnik 1“ die Erde umkreiste. Die Physik der kosmischen Strahlen kämpfte jedoch schon früher mit allen Kräften um „Höhe“. In den Bergen, mit Flugzeugen und Ballons lief eine intensive Arbeit zum Einfangen von kosmischen Teilchen. Natürlich waren alle davon überzeugt, daß man der Wahrheit um so näher kam, je weiter man nach „oben“, den geheimnisvollen Unbekannten entgegen, vordrang.

Noch in den dreißiger Jahren waren die Versuche, in immer größere Höhe zu gelangen, mit kaum lösbarer Schwierigkeiten verbunden. Ein Pionier bei der Erforschung der kosmischen Strahlen in der Stratosphäre war der schweizerische Professor Auguste Piccard. In den Jahren 1931 und 1932 unternahm er Ballonaufstiege bis in 16 940 m Höhe. Der sowjetische Stratosphärenballon „SSSR 1“ übertraf ihn um 2,5 km. Unter beträchtlichen Schwierigkeiten wurde die Gipfelhöhe bei derartigen Flügen bis auf 20 km gebracht. Die Länder und Wissenschaftler standen im Wettbewerb um die „Überwindung“ der Höhe, wobei es auch um die Vergrößerung der Masse der Apparaturen und der Aufenthaltszeit in der Höhe ging. Heute werden Ballonstarts bis in Höhen von 40 km erfolgreich ausgeführt.

Die Meisterung der Höhen gewährleistete jedoch noch nicht die Lösung der Aufgaben, die sich die Wissenschaftler gestellt hatten. Nach wie vor konnte nichts über die Zusammensetzung

der kosmischen Primärstrahlung gesagt werden. Die Untersuchungen waren zu kurzzeitig. Die Apparaturen waren zu unvollkommen, da es unmöglich war, große Lasten in die Höhe zu bringen. Niemandem von denen, die sich in der Stratosphäre aufhielten, gelang es, ein Teilchen der Primärstrahlung „einzufangen“. Auch die Pilotballons, die mit Geräten in große Höhen gelangten, konnten nichts daran ändern. Häufig verschwanden die Apparaturen zusammen mit den Pilotballons spurlos.

Neue Wege in der Erforschung der kosmischen Teilchen eröffnete der sowjetische Wissenschaftler S. N. Wernow, der eine Fernverbindung mit den Geräten ausarbeitete, die in den Pilotballons untergebracht waren. Er erreichte es, komplizierte Apparaturen mit einer Masse bis 12 kg in die Stratosphäre zu schicken. Für die Mitte der dreißiger Jahre war dies ein bedeutender Erfolg.

Die Nachrichten, die von den Automaten Wernows aus der Stratosphäre gesendet wurden, enthielten Angaben darüber, daß fast alle Teilchen der Primärstrahlung, die auf die Erde einfallen, Kerne von Wasserstoffatomen, Protonen und nur wenige von ihnen Kerne anderer Elemente sind.

Welche Kerne aber sind es? Spiegelt die Zusammensetzung der kosmischen Strahlung den chemischen Aufbau von irgendwelchen Himmelskörpern — den „Eltern“ der kosmischen Teilchen — wider, oder ist der Gehalt an Kernen verschiedener Elemente für den Aufbau des ganzen Weltalls charakteristisch?

Erst im Jahre 1948, als es gelang, auf eine Höhe von etwa 30 km einen Stapel von Kernemulsionsplatten zu befördern und die Spuren der Teilchen zu untersuchen, die in die Emulsion eingedrungen waren, wurde festgestellt, daß in der Höhenstrahlung außer Protonen auch schwerere Kerne vorhanden sind.

Was sind das für Elemente, und welche Beziehung haben sie zu den kosmischen Strahlen?

Das Problem der chemischen Zusammensetzung der kosmischen Strahlen blieb noch lange unzugänglich.

**Wie alt bist du, Weltall!** Mit dem Jahre 1957 begann in der Erforschungsgeschichte der kosmischen Teilchen ein neues Kapitel. Künstliche Erdtrabanten und interplanetare Raumflugkörper ermöglichen seitdem Experimente sowohl in einer Höhe von hundert Kilometern als auch Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Jetzt konnte die Versuchsdauer mehrere Monate erreichen. Was für ein gewaltiges Tatsachenmaterial konnte gesammelt werden.

In den Kosmos wurden Tscherenkov-Zähler gesandt, die die Aufgabe hatten, Licht in die chemische Struktur der kosmischen Strahlen zu bringen.

Eine der jungen Schülerinnen des Professors Skobelzyn berichtete über die Auswertung dieser Meßergebnisse: „Als wir uns mit den Anzeigen der Geräte, die im Kosmos waren, vertraut gemacht und die notwendigen Berechnungen ausgeführt hatten, überzeugten wir uns davon, daß sich im Bestand der Primärstrahlung vor allen

Dingen Wasserstoffkerne befinden. Sie bilden die absolute Mehrheit, etwa 90 Prozent. An zweiter Stelle befinden sich die Heliumkerne — sie erreichen 9 Prozent. Das übrige Prozent wird durch die Kerne schwererer Elemente ergänzt: Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Eisen, Nickel. Außerdem fanden wir auch eine verschwindend geringe Menge der leichten Elemente: Lithium, Beryllium und Bor. Ihre genaue Menge ist jedoch noch unbekannt. Die schwersten unter den zuverlässig fixierten Kernen sind die Kerne von Kobalt, Eisen und Nickel. Ob sich unter den kosmischen Teilchen noch schwerere Kerne befinden, ist noch nicht bekannt. Die Lösung dieser Frage ist eine Aufgabe der nahen Zukunft.“

So überzeugten sich die Wissenschaftler davon, daß in der kosmischen Strahlung die Atomkerne der gleichen Elemente angetroffen werden, die sowohl auf der Erde als auch auf der Sonne und auf den Sternen vorhanden sind. Sie überzeugten sich davon, daß die chemische Zusammensetzung des Weltalls gleich ist.

Beim Studium der kosmischen Teilchen stellten sich die Wissenschaftler mehrmals die Frage: Wieviel Zeit ist vergangen, seit sich die kosmischen Teilchen auf ihre Reise gemacht haben?

Auf den ersten Blick erscheint diese Frage vermassen. Wie kann ein Mensch darauf antworten?

Es war die Frage nach dem Alter des Weltalls. Denn in Abhängigkeit davon, wie lange die kosmischen Teilchen den Weltraum durchheilen, än-

dert sich ihre Zusammensetzung. Die Teilchen prallen aufeinander, die schwereren Kerne werden in leichtere gespalten. Da nun die Zusammensetzung der kosmischen Strahlen das übliche Verhältnis der verschiedenen Stoffe in der Natur widerspiegelt, könnten die Wissenschaftler nach der Veränderung der Zusammensetzung der kosmischen Strahlen, die auf der Erde ankommen, nach der Anzahl der leichten Elementen in ihnen die Zeit berechnen, die sie durch den Weltraum „gewandert“ waren. Die astronomischen Beobachtungen ergaben ein Alter von annähernd einigen Dutzend Milliarden Jahren für die Galaxis.

**Die Korona der Erde.** Die Untersuchungen, die mit den Raumflugkörpern durchgeführt wurden, halfen auch die Welt der kosmischen Teilchen zu erforschen, zu erkennen, wo und in welchen Mengen sich diese Teilchen rund um die Erde befinden.

Die sowjetischen Wissenschaftler S. N. Wernow und A. J. Tschudakow und der amerikanische Wissenschaftler James A. van Allen machten eine Entdeckung, die weitgehend die bisherigen Anschauungen über die Gesetzmäßigkeiten änderte, denen die Höhenstrahlung unterworfen ist. Vor allen Dingen stellte es sich heraus, daß das Magnetfeld der Erde eine gigantische, aus zwei Bögen bestehende Falle für kosmische Teilchen bildet. Es erwies sich, daß eine große Zahl Elektronen und Protonen im Inneren dieser Fallen entlang der Feldlinien des Erdmagnetfeldes pendelt und dadurch weder die Möglich-

keit hat, die Erdoberfläche zu erreichen, noch sich in den interstellaren Raum zu entfernen. Wie sind sie in diese Falle, in diese Strahlungsschale, geraten? Die Wissenschaftler geben eine unerwartete Erklärung für dieses Rätsel: Die Teilchen, die mit den in die Raumsonden eingebauten Geräten festgestellt wurden, konnten nicht in das Innere des unteren Gürtels der Falle eintreten, und sie sind auch nicht in ihn hineingelangt — sie sind in seinen Grenzen entstanden. Unter der Wirkung der Primärstrahlung wird die Atmosphäre der Erde zu einer Quelle von Neutronen, und für diese ist das Magnetfeld kein Hindernis. Da sie keine elektrische Ladung besitzen, können die Neutronen ungehindert in das Innere der Magnetfalle eindringen, wo ein Teil von ihnen zerfällt. Dabei entstehen aus den Neutronen Protonen und Elektronen, die fast keine Chance haben, sich aus der Falle zu befreien.

Im inneren Gürtel haben die Protonen die Vorrherrschaft, im äußeren Gürtel befinden sich in der Hauptsache Elektronen. Es wird angenommen, daß sie in ihn während der Perioden der erhöhten Sonnenaktivität eindringen, wenn sich das Magnetfeld der Erde unter dem Einfluß der Ströme von geladenen Teilchen, die von der Sonne kommen, ändert. Dabei wird der Eingang in die Falle etwas geöffnet, und die Teilchen können durch den abgeschwächten Vorhang der magnetischen Kräfte hindurch in den Gürtel eindringen. Nach der Verringerung der Sonnenaktivität kehrt das Magnetfeld der Erde in den gewöhnlichen Zustand zurück, und die

in die Falle eingedrungenen Teilchen werden wie in einem Speicher oder wie in einer Schale festgehalten.

Vor einigen Jahren gelang es dem sowjetischen Wissenschaftler K. I. Gringaus, einen dritten Strahlungsgürtel festzustellen, der noch weiter von der Erde entfernt ist. Seine höchste Strahlungintensität liegt in einer Entfernung zwischen 50 000 und 75 000 km. Heute besitzen die Wissenschaftler erschöpfende Angaben über Lage und Mächtigkeit dieser Gürtel von kosmischen Teilchen, die die Erde umgeben. Es erwies sich, daß die größte Intensität des äußeren Feldes in einer Höhe von 20 000 km über der Erdoberfläche auftritt. Dabei erreicht die Mächtigkeit der Schicht den größten Wert im Bereich des Erdäquators und ihren kleinsten Wert in den Polbereichen. Ein Raumflugkörper, der den inneren Strahlungsgürtel kreuzt, wird einem Bombardement dieser Teilchen ausgesetzt, die eine lebensgefährliche Strahlung erzeugen. Heute wissen die Konstrukteure von Raumfahrzeugen, daß sie sich über den Schutz der Kosmonauten vor dieser Strahlung Gedanken machen und die Bahn so auswählen müssen, daß sie auf einem weniger gefährlichen Weg verläuft. Die Wissenschaftler setzen die Erforschung der kosmischen Strahlen fort. Sie besitzen bereits den Schlüssel zu vielen Geheimnissen der kosmischen Teilchen. Sie wissen über diese kosmischen Wanderer alles, was über sie bisher zu erfahren war.

Wo aber entstehen die kosmischen Strahlen? Woher gelangen sie in einem endlosen Strom zur Erde?



**DURCH DEN TOD GEBOREN**

**Auf den Spuren einer Katastrophe.** Vor über neunhundert Jahren — man schrieb das Jahr 1054 — leuchtete im Sternbild Stier ein neuer Stern auf. Seine Helligkeit war so groß, daß man den Stern sogar am Tage sah. Die alten chinesischen und japanischen Chroniken beschreiben diese ungewöhnliche Erscheinung ausführlich. Sie betonen, daß der „Sternen-Gast“ dreimal heller als die Venus war. Ungefähr nach einem halben Jahr begann der Stern zu verlöschen und verschwand.

Die bedeutende Erscheinung mußte in der ganzen Welt zu sehen gewesen sein. Es ist interessant, daß an der Wand einer der Höhlenwohnungen der alten Bewohner Amerikas eine primitive, jedoch bemerkenswerte Zeichnung gefunden wurde. Auf ihr ist ein Stern in der Nähe des Mondes so dargestellt, wie diese Supernova bei ihrem Aufleuchten zu sehen war.

Am 4. Oktober 1957 eröffneten die Sowjetmenschen die kosmische Ära, indem sie den ersten künstlichen Erdtrabanten in den Himmel starteten. Es begann der planmäßige Angriff auf die Geheimnisse des Kosmos. Es fielen die letzten Schleier des Geheimnisses um das uralte Rätsel, das das unbekannte Teilchen auf die Erde brachte, das einst zufällig in das Gerät D. W. Skobelzyns eingeflogen war.

Dieses Teilchen und ihm ähnliche brachten den Menschen wichtige Nachrichten über die noch nicht betretenen Wege der kosmischen Weiten, über die Geschichte der Geburt und des Sterbens anderer Welten, über die gigantischen Kräfte, die im Atomkern verborgen sind. Sie

berichteten auch über das Los des alten Sterns, der, nachdem er plötzlich aufgeleuchtet hatte, verschwand und dabei, so schien es, keine Spur hinterließ.

**Der Schlüssel zum Geheimnis.** Wir nähern uns der phantastischsten Etappe der Erforschung der kosmischen Teilchen. Vorbereitet haben sich zwei sowjetische Wissenschaftler: der theoretische Physiker Witali Lasarewitsch Ginsburg und der Astrophysiker I. S. Schkłowski, die eine in der ganzen Welt anerkannte Theorie über die Herkunft der kosmischen Teilchen schufen.

Wie mühselig auch die Untersuchungen der Höhenstrahlschauer waren — es waren Erscheinungen, die zwar nicht gleich neben den Menschen, jedoch auf alle Fälle nicht weit von ihnen entfernt auftraten. Die Wissenschaftler „sahen“ mit Hilfe der Geräte, „fühlten“ gleichsam den Gegenstand ihrer Untersuchungen. Solange die Physiker die kosmischen Strahlen in ihrem Zugänglichkeitsbereich studierten, standen sie auf dem realen Boden des Experiments. Wenn sie ihre Theorie nicht sofort durch den Versuch überprüfen konnten, so hofften sie jedoch auf jeden Fall, dies früher oder später nachzuholen.

Als jedoch die Frage nach der Herkunft der kosmischen Teilchen auf der Tagesordnung stand, mußten sich die Wissenschaftler in eine Welt vertiefen, die für unmittelbare Eingriffe unzugänglich war.

Wie wir sehen werden, kann der Flug der Phantasie, der kühne Gedankengang des Forschers

auch neue, bisher unzugängliche Bereiche des Kosmos erschließen.

So begann Ginsburg, ein junger Physiker, der durch seine tiefgründigen und scharfsinnigen theoretischen Arbeiten auf dem Gebiet des Kernaufbaus und der Radioastronomie bekannt war, eine Theorie über die Herkunft der kosmischen Teilchen zu entwickeln.

Und Schklowski, der sich manchmal mit Hypothesen beschäftigte, die völlig ungewöhnlich zu sein schienen (wer hat zum Beispiel nicht schon über die Theorie von der künstlichen Herkunft der Marstrabanten debattiert?), interessierte sich für das Geheimnis des Sterns, von dem die uralte Chronik berichtet.

Schklowski ahnte, daß das Aufleuchten des uralten Sterns nicht einfach ein Beispiel für das „Atmen“ des Kosmos, sondern der Schlüssel zum Verständnis eines völlig neuen Komplexes von Erscheinungen sein mußte. Er vertiefte sich in die alten chinesischen und japanischen Chroniken. In den Aufzeichnungen der unbekannten Astronomen, in ihren farbenreichen und dabei naiven Schilderungen grandioser kosmischer Katastrophen suchte er die Bestätigung für seine Idee.

Das Rätsel bestand darin, daß der Stern, der aus dem Blickfeld der alten Astronomen verschwand, in direkter Beziehung zur Herkunft der kosmischen Strahlung, zu dem Geheimnis stehen mußte, das die Gedanken der Forscher erregte. Überlegungen und Berechnungen sagten dem Wissenschaftler, daß sich der Stern, der plötzlich hell aufglühte und vielleicht auseinan-

derbarst, in einen Gasnebel verwandelt haben mußte, der von einem „Spinngewebe“ von Magnetfeldern umgeben ist. Seine Teilchen flo- gen nach allen Seiten mit großer Geschwindig- keit auseinander. Die Elektronen waren nicht in der Lage, sich aus der Gefangenschaft der Magnetfelder des Nebels freizumachen, verblie- ben als Wanderer in ihnen und sandten dabei Radio- und Lichtstrahlen aus. Die Protonen je- doch überwanden die Kraft der Magnetfelder und wurden zu kosmischen Weltreisenden. Sie müssen deshalb auch die Mehrheit der Teilchen bilden, die wir Teilchen der kosmischen Pri- märstrahlen nennen.

**Beim Blättern in Chroniken.** Nachdem die Wissenschafter diese Antwort von der Theorie er- halten hatten, schauten sie auf den Himmel. Tatsächlich, genau in dem Gebiet, das von den alten Chroniken angegeben wird, leuchtete ein gerade noch erkennbarer Nebel, der in der Form an eine Krabbe erinnerte.

Schkłowski versuchte, den krabbenförmigen Nebel mit dem uralten Stern der Chronik in Zu- sammenhang zu bringen. War seine Theorie richtig, hatte tatsächlich in fernen Jahrhunder- ten das stattgefunden, was ihm die Überlegun- gen sagten, muß der krabbenförmige Nebel die Quelle einer starken Radiostrahlung sein.

Zu dieser Zeit gewann eine neue Wissenschaft — die Radioastronomie — an Gewicht. Sie ver- sprach dem die Enträtselung vieler Geheimnisse des Weltalls, der die Chiffre der Radiowellen beherrschte, die auf der Erde aus den verschie-

denen Winkeln des Kosmos ankommen. Auch das Rätsel des uralten Sterns löste die Radioastronomie.

Schklowski berichtet darüber: „Der Gedanke, daß der krabbenförmige Nebel eine starke Quelle von Radiostrahlung sein konnte, entstand bei mir schon im Jahre 1948. 1949 wurde auf meine Bitte hin auf der Krim der Versuch gemacht, seine Radiostrahlung festzustellen. Aber mit dem damals vorhandenen Radioteleskop konnten Beobachtungen nur dann ausgeführt werden, wenn die Radiostrahlungsquelle über dem Meer aufging. Unglücklicherweise war die Aufgangsstelle des Nebels durch Berge verdeckt, ein paar Grad reichten nicht bis zum Azimut.“

Im gleichen Jahr stellten australische Forscher zufällig eine sehr starke Radiostrahlung des krabbenförmigen Nebels fest.

Beim Studium der Beobachtungen der Radioastronomen klärten die Wissenschaftler das Schicksal des uralten Sterns endgültig. Tatsächlich hatte sich vor etwa 6000 Jahren eine gigantische Katastrophe ereignet. Ein für das Auge unsichtbares Sternchen leuchtete plötzlich hell auf, zerbarst und verwandelte sich in einen schwachen Nebel, der heute mit gewöhnlichen Fernrohren gut zu erkennen ist. Fünftausend Jahre lang war das Licht vom Katastrophenort zur Erde unterwegs, und als es diese im Jahre 1054 erreichte, kündete es von diesem fernen Ereignis. Zu dieser Zeit konnten die Menschen jedoch noch nicht seine Botschaft verstehen. Glücklicherweise senden die „Explosionsprodukt-

te“ des Sterns neben dem Licht auch Radiowellen aus, die unseren Vorfahren unzugänglich waren, jetzt jedoch von den Wissenschaftlern entschlüsselt worden sind. Diese Radiowellen brachten uns dann auch die Nachricht von dem untergegangenen Himmelskörper.

Nicht alle waren von dieser Theorie der Astrophysiker überzeugt. Denn die Astrophysiker, so scherzen die „irdischen“ Physiker, irren sich häufig, zweifeln jedoch niemals. Unklar waren einige Feinheiten der Erscheinung, die jedoch 1954 durch Arbeiten sowjetischer Radioastronomen geklärt wurden. Zwei Jahre später wurden sie von amerikanischen Wissenschaftlern bestätigt, die die Beobachtungen mit dem größten optischen Teleskop überprüften.

**Durch die Jahrhunderte.** „Ist etwa nur dieser ehemalige Stern die Quelle der kosmischen Teilchen?“ fragten sich die Forscher. Um dies zu überprüfen, führte Ginsburg eine Berechnung durch. Ausgehend von der wahrscheinlichen Stärke der Radiostrahlung des krabbenförmigen Nebels, errechnete er die Anzahl der Elektronen, die in der Gefangenschaft der mächtigen Magnetfalle dieses Nebels hin und her wandern müssen. Da bei der Explosion ungefähr die gleiche Anzahl Elektronen und Protonen entstehen muß, war es nicht schwer, ihre Zahl mit der Anzahl der kosmischen Teilchen zu vergleichen, die im Kosmos festgestellt wurden. Es erwies sich, daß die Ergebnisse der Berechnung nicht mit den experimentellen Daten zusammenfallen.

Warum? Es gab nur eine Antwort: Nicht nur dieser uralte Stern ist der Lieferant von kosmischen Teilchen. Es muß noch andere geben.

Und Schkłowski studierte noch andere historische Berichte über das Aufleuchten von Novae und Supernovae — so benannte man die Sterne, die die kosmischen Teilchen erzeugen.

So hieß es in einer uralten Chronik: „In der Periode Tai-Che, im vierten Jahr, im zweiten Mond war ein ungewöhnlicher Stern neben der Westwand des Blauen Palastes zu sehen. Im siebten Mond verschwand er.“

Obwohl die alten Beobachter uns eine nur sehr ungenaue Adresse hinterlassen haben, fanden die Wissenschaftler den Ort der Katastrophe.

Die Astronomen richteten ihre Teleskope auf die Stelle, die ihnen die Radioastronomen genannt hatten. Sie sahen dann auch einen kleinen Nebelschwaden. Bei der Beobachtung durch ein blaues Lichtfilter erinnerte er an die Form eines Bogens. In den roten Strahlen wurden noch Reste von Nebel gefunden. Es war eine sehr schwache Lichtquelle, der den Astronomen heute bekannte Nebel im Sternbild Kassiopeia.

Die Radioastronomen fanden ein ganz anderes Bild. In den Radiostrahlen erschien der Nebel Kassiopeia blendend hell. Hier mußte vor langer Zeit eine Supernova erschienen sein. Ihr Aufleuchten war vor 1600 Jahren, im 369. Jahr unserer Zeitrechnung, im vierten Jahr der Periode Tai-Che nach der alten chinesischen Zeitrechnung, von der Erde aus zu sehen.

So begann die Identifizierung der heute sichtbaren Nebel mit den Sternen, die irgendwann

einmal aufgeleuchtet hatten und dann verlöschten waren.

Schkłowski, der diese jahrhundertealten Rätsel, die Detektivaufgaben gleichkamen, mitlösen half, berichtet darüber: „Die Erfolge der neuesten Wissenschaft, der Radioastronomie, die sich auf die modernsten Errungenschaften der Radiophysik, Elektronik, theoretischen Physik und Astrophysik stützt, sind auf das engste mit den Texten der Chroniken verbunden, die von den Astronomen des Altertums in China aufgezeichnet wurden. Das Werk dieser Menschen wurde nach einem Jahrtausend belebt und ist als wertvoller Schatz in den Fonds der Wissenschaft in der Mitte des 20. Jahrhunderts eingegangen.“

**Klingende Galaxien.** Aber auch die Supernovae erwiesen sich nicht als die einzigen Lieferanten von kosmischen Teilchen. Es wurde noch eine Form der kosmischen Quellen gefunden, die kosmische Teilchen aussendet — die Radiogalaxien.

Zu ihnen rechnen die Wissenschaftler ein außerordentlich interessantes Objekt — den Nebel, der im Sternbild Schwan zu sehen ist und der weit außerhalb der Grenzen unserer Galaxis liegt. Dieses Objekt erwies sich als eine starke Radioquelle. Die „Helligkeit“ der Quelle Schwan-A in Radiostrahlen ist ungefähr 500mal größer als die Helligkeit der „ruhigen“ Sonne. Die Stärke seiner Radiostrahlung übersteigt die Leistung der stärksten Rundfunkstationen um so viele Male, wie die Energie der Sonnenstrahlung die Energie übertrifft, die eine brennende

Kerze abgibt, die im Vergleich zu den gewöhnlichen Kerzen noch um das Zehntausendfache abgeschwächt wurde.

Berücksichtigen Sie jedoch, daß das Sternbild Schwan sich in einer märchenhaften Entfernung von der Erde befindet. Das Licht braucht von ihm bis zur Erde 650 Millionen Jahre. Und der Strom seiner Radiostrahlung ist stärker als die Radiostrahlung der Sonne, die von uns acht Lichtminuten entfernt ist.

Beim aufmerksamen Studium des Sternbildes Schwan stellten die Wissenschaftler zu ihrem Erstaunen in ihm zwei sehr schwache Zwerg-Galaxien fest, die sich scheinbar aneinander anschmiegen. Dieses Objekt war so interessant und rätselhaft, daß es viele Wissenschaftler „entzweite“.

Nachdem die Physiker diese „überleistungsstarke“ Quelle von Radiostrahlen entdeckt hatten, dachten sie natürlich über deren Ursache nach. In den Supernovae sind die Radiowellen das Ergebnis einer Explosion. Aber in der Radiogalaxis im Sternbild Schwan schien das anders zu sein. Professor Walter Baade, ein amerikanischer Astronom, der als erster dieses Objekt beobachtete, veröffentlichte eine seltsame Vermutung. Das war eine in so hohem Maße originelle, unerwartete Hypothese, daß sie viele Wissenschaftler überzeugte und lange Zeit als allgemein anerkannt galt. „Das sind zweifellos zwei zusammengeprallte Galaxien!“ behauptete er. Und wenn auch im Kosmos mit seinen unendlichen Räumen der Zusammenstoß zweier Galaxien genauso unwahrscheinlich ist wie der

Zusammenstoß von zwei Vögeln in der Luft, waren die Radiowellen der Radiogalaxis im Sternbild Schwan nach der Meinung Baades im Ergebnis einer solchen Katastrophe entstanden.

Das war eine sehr effektvolle Hypothese, die sofort viele Anhänger fand.

Dennoch gelangte der bedeutende sowjetische Astrophysiker Ambarzumjan durch eine Reihe von Überlegungen zu der Schlußfolgerung, daß die zwei Kerne im Nebel Schwan bei weitem nicht das Resultat eines Zusammenstoßes von Galaxien sind. Im Gegenteil, so schloß er, hier sehen wir den seltenen Fall der Teilung einer Galaxis — den Zerfall eines gewaltigen Sternsystems in zwei Teile.

**Die Farbe der Jugend.** Bald fand Ambarzumjan einen Beweis, der eindeutig den eigenen Standpunkt bestätigte. Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, so überlegte er, des Zusammenstoßes von zwei Galaxien der Abmessungen, wie sie die beiden Kerne des Nebels Schwan-A besitzen? Dieser Nebel ist im astronomischen Sinne ein sehr kleines Objekt, eine äußerst kleine Galaxis. Im Weltall gibt es gigantische Supergalaxien, die hinsichtlich der Zahl der in ihnen enthaltenen Sterne und in den Ausmaßen beide Teile der Galaxis, die wir im Sternbild Schwan sehen, um viele Male übertreffen.

Die Wissenschaftler haben niemals den Zusammenstoß solcher Giganten beobachtet, obwohl der Zusammenstoß großer Objekte viel wahr-

scheinlicher ist als das Aufeinanderprallen von zwei kleinen. Das bedeutet, daß der Zusammenstoß von zwei kleinen Galaxien praktisch unwahrscheinlich ist.

Der zweite Beweis ergab sich aus den genauesten Beobachtungen der Astronomen der Sternwarte Bjurakan der Akademie der Wissenschaften der Armenischen Unionsrepublik, die von Professor Ambarzumjan geleitet wird. Sie erkannten, daß in einigen Fällen vom Zentrum einer gigantischen Galaxis ein „Strahl“ ausgeht, der in einer Zwerg-Galaxis von blauer Farbe endet. Während für die „alten“ Galaxien die gelbe oder rote Farbe charakteristisch ist, gilt die blaue Farbe als das Kennzeichen für die Jugend von kosmischen Objekten. Offensichtlich handelte es sich um das Auswerfen einer jungen Tochter-Galaxis aus einer großen Mutter-Galaxis. Natürlich muß der verbindende Strahl — „die Nabelschnur“ — mit der Zeit verschwinden und dadurch der „Tochter“ die Möglichkeit zu einem selbständigen Leben geben. Solche Kleinst-Galaxien wurden neben vielen Giganten gefunden.

Warum soll die Galaxis Schwan-A eine Ausnahme sein? Zweifellos ist das Vorhandensein von zwei Kernen das Anzeichen für eine Teilung, für einen aktiven Prozeß der Sternenbildung.

Wie ist aber die Radiostrahlung zu erklären, die bei diesem Prozeß in einem mächtigen Strom entsteht?

Von Zeit zu Zeit blasen sich die alten Galaxien scheinbar auf. Sie zeigen die Tendenz zur Teilung und werfen mächtige Gaswolken aus, die

freie Elektronen enthalten. Sie sind auch die Ursache für die Radiostrahlung. Wo Elektronen sind, gibt es natürlich auch schnelle Protonen.

Die bedeutenden Arbeiten der armenischen Astronomen bestätigten nicht nur den neuen Standpunkt in bezug auf die Entstehung von Sternen, sie stürzten nicht nur die alte Theorie, die sich schon im 19. Jahrhundert eingebürgert hatte und die behauptete, daß die Sternentwicklung von der Ausdehnung zur Verdichtung, von weniger dichten zu dichteren Körpern verlaufe. Die neuen Erkenntnisse besagten, daß die Zentren der alten Galaxien die Geburtsorte der neuen Galaxien sind. Sie verworfen die Theorie vom „Zusammenstoß der Galaxien“ und dienten als Basis für die moderne Theorie der Evolution des Weltalls.

Für die Wissenschaftler, die sich mit dem Problem der Herkunft der kosmischen Teilchen beschäftigten, wurde aus diesen Arbeiten klar, daß die Prozesse, die die kosmischen Teilchen hervorbringen, nicht nur bei den Explosionen der Supernovae, sondern auch bei der Teilung der Radiogalaxien auftreten, daß die kosmischen Teilchen nicht nur beim Tod von Sternenwelten, sondern auch bei ihrer Geburt entstehen.

**Die Freigiebigkeit der Supernovae.** Die Natur ist sehr verschwenderisch mit den kosmischen Teilchen. Es muß mindestens noch eine Quelle von kosmischen Teilchen in unserem Sonnensystem erwähnt werden. Freilich wurde sie früher gefunden, als die Hypothese über das Aufleuch-

ten der Supernovae entstand. Diese Quelle ist unsere Sonne. In den Perioden der erhöhten Aktivität, wenn ihre Oberfläche sich furcht und feurige Protuberanzen bildet, wirft die Sonne eine große Anzahl von kosmischen Teilchen aus. Während des Internationalen Geophysikalischen Jahres (1957—1958) gelang es festzustellen, daß dies im Mittel einmal im Monat geschieht.

In dieser Zeit wirken auf der Sonne Explosionsprozesse. Die aus ihrem Schoß ausgeworfenen Teilchen werden durch Magnetfelder beschleunigt und weit über die Grenzen des sonnennahen Raumes hinaus „ausgeschüttet“. Manchmal wird das ganze Sonnensystem zu einer gigantischen Falle von kosmischen Teilchen. Und diese Ansammlungen sind bei weitem nicht so harmlos, wie dies auf den ersten Blick scheint.

Erst die Raumsonden halfen, den Gefährlichkeitsgrad dieses intensiven Teilchenstromes für Kosmonauten zu bestimmen und Schutzmaßnahmen zu entwickeln.

Quellen von Radiostrahlung und folglich auch von kosmischen Teilchen wurden sogar im Kern unserer Galaxis und in vielen anderen Sternhaufen gefunden.

„Wir haben so viele Quellen von kosmischen Teilchen gefunden“, sagte W. Ginsburg, „daß man schon raten muß, wo sie nicht entstehen.“

Trotzdem erwiesen sich die Supernovae — die „kosmischen Vulkane“ — als die Hauptlieferanten von Materiebausteinen für das Weltall.

Um sich davon zu überzeugen, mußte Ginsburg

folgende, nicht einfache Aufgabe lösen. Es galt zu errechnen, wieviel kosmische Teilchen im Ergebnis des Aufleuchtens der Supernovae in 400 Millionen Jahren — dem mittleren „Alter“ der kosmischen Teilchen — entstehen. Das Ergebnis der Berechnung war überwältigend.

In dieser Zeit mußten ungefähr soviel kosmische Teilchen entstanden sein, wie auch in Wirklichkeit beobachtet werden. Und das bedeutet zweifellos: Das Aufleuchten einer Supernova vermag den kosmischen Teilchenstrom ständig zu erneuern. Alle übrigen Quellen — die Sterne, junge Galaxien und andere — liefern zusammengenommen nur einen kleinen Beitrag zum ewigen Kreislauf der kosmischen Wanderer.

So entwarfen Ambarzumjan, Ginsburg und Schklowski das Bild von Ereignissen, die im Verlauf von vielen Jahrhunderten in einer Entfernung von Hunderttausenden Lichtjahren abliefen.

**1054 und 1954.** Wer hätte vermutet, daß die Ereignisse dieser Jahre, zwischen denen Jahrhunderte liegen, so enge Beziehungen zueinander haben? Viele unserer fernen Vorfahren beachteten jene grandiose und rätselhafte Naturerscheinung im Jahre 1054 nicht. Erst unsere Zeitgenossen, die mit der ganzen Macht der modernen Wissenschaft ausgerüstet sind, konnten diese Erscheinung identifizieren und eines der schwierigsten Rätsel der Natur lösen.

**Wie Atome gekocht werden.** Das Geheimnis der Herkunft der kosmischen Strahlen zu verstehen — das heißt die Prozesse erkennen, die bei

der Geburt und dem Tod der Sternenwelten ablaufen.

Es braucht nicht gesagt werden, daß dies interessant und wichtig ist. Diese Aufgabe hat jedoch auch andere Seiten, die noch aktueller sind,

Als sich die Wissenschaftler die Prozesse vor Augen führten, die bei der Explosion der Sterne ablaufen müssen, verstanden sie plötzlich: Ja, gerade bei den Explosionen der Supernovae werden alle chemischen Elemente „gekocht“, die schwerer sind als Helium. Kupfer, Eisen, Blei, überhaupt alle Elemente des Periodensystems von Mendelejew — alle Stoffe, aus denen unsere Erde und das ganze Weltall besteht.

Wenn diese seltenen kosmischen Explosionen nicht stattfänden, würde die Welt in der Hauptsache aus den Atomen von Wasserstoff und Helium bestehen.

Vor gar nicht allzu langer Zeit hatten jedoch viele einen ganz anderen Standpunkt. Noch 1957 dachten einige anders. Und einer der angesehensten Spezialisten für kosmische Teilchen schrieb: „Nach der Feststellung der schweren Kerne in den kosmischen Strahlen wird selten noch jemand die Vorstellung über den Explosionscharakter der Herkunft der kosmischen Teilchen im Weltall anerkennen: Es wäre auch sehr komisch, wenn bei diesen Prozessen die schweren Kerne als etwas Ganzes bestehen blieben und als Zugabe noch kolossale Energie erhalten würden.“

So ändern sich in unseren Tagen bei der stürmischen Entwicklung der Wissenschaft die An-

sichten, so schnell werden viele Vorstellungen hinweggefegt.

Das Verstehen der Prozesse, die bei der Bildung von Himmelskörpern und Galaxien ablaufen, liefert den Schlüssel zur Enträtselung vieler Probleme des Aufbaus der Materie. Diese Prozesse lassen sich häufig nur unter Schwierigkeiten auf der Basis der bekannten Gesetze der theoretischen Physik erklären. Akademiemitglied Ambarzumjan sagte, daß dies wahrscheinlich damit verbunden ist, daß in diesen Prozessen viele Eigenschaften der Stoffe eine dominierende Rolle spielen, die sich bei physikalischen Versuchen in irdischen Laboratorien nicht zeigen. Deshalb kann man davon überzeugt sein, daß das aufmerksame Studium der physikalischen Erscheinungen, die sich in den entfernten Bereichen des Kosmos abspielen, dazu beitragen wird, unser Wissen über die physikalischen Eigenschaften und Entwicklungsgesetze der Materie weiter zu vertiefen.

So berühren die Wissenschaftler beim Nachdenken über die Entstehung der kosmischen Teilchen unwillkürlich die Probleme der Entstehung des ganzen Weltalls, der ganzen uns umgebenden Welt.

**Das ungelöste Kreuzworträtsel.** Das Problem der Herkunft der kosmischen Teilchen kreuzte sich unerwartet mit noch einem sehr wichtigen Problem.

Nach der Enträtselung des Geheimnisses der Entstehung der kosmischen Teilchen, und wir sind dem nahe, wird es möglich sein, auch auf

der Erde die Prozesse zu erzeugen, die Teilchen mit so hoher Energie hervorbringen.

Die Zeit ist vorbei, in der die Physiker, die von einer Beschießung der Kerne mit kosmischen Teilchen träumten, für Phantasten gehalten wurden (wie dies in den dreißiger Jahren der Fall war).

Heute bauen die Wissenschaftler zum Studium der Eigenschaften und der Struktur der Materie auf der Erde Quellen von „künstlichen kosmischen Teilchen“ — sogenannte Beschleuniger. Zu den größten gehören das Synchrophasotron in Dubna und das Protonensynchrotron von Serpuchow. Von ihnen zu einem „natürlichen“ Beschleuniger ist es jedoch noch weit.

Auf der Basis der bekannten Prinzipien Beschleuniger mit kosmischer Leistung zu schaffen ist jedoch unmöglich. Eine Anlage, die einen Strom von Teilchen liefern würde, die den kosmischen ähnlich sind, müßte einen Magneten von ungefähr 20 km Länge besitzen. Die Eisenmasse dieses Magneten betrüge Hunderttausende Tonnen! Wenn sich die Wissenschaftler vornehmen würden, ein so phantastisches Projekt zu verwirklichen, wären für seine Ausführung Dutzende von Jahren erforderlich. Allein für die „Speisung“ des Beschleunigers müßte ein mächtiges Kraftwerk errichtet werden.

Deshalb sind, um die Energie der künstlichen kosmischen Teilchen bis auf die Größen zu steigern, die in der Natur auftreten, prinzipiell neue Methoden ihrer Beschleunigung erforderlich.

Sowjetische Wissenschaftler arbeiten neue Aufbauprinzipien der Beschleuniger aus, die die Energie der beschleunigten Teilchen der kosmischen Teilchen annähern müssen. Dabei werden Spezialmagneten mit einer Masse von „nur“ 10 000 bis 20 000 Tonnen verwendet. Für die Steuerung des Beschleunigungsprozesses muß ein kybernetisches System eingesetzt werden, zu dem eine elektronische Rechenmaschine gehört. Vorläufig benutzen die Physiker noch in großem Maße die Teilchen, die aus den Tiefen des Weltalls kommen. Nach ihrer Entstehung bei „kosmischen Katastrophen“ durchdringen diese schnellen Teilchen den gesamten Welt Raum. Strömen sie dabei gleichmäßig wie ein Regen oder gelangen sie in Schwärmen zu uns?

Die Wissenschaftler studieren die Bewegungsgesetze der kosmischen Teilchen auf der Erde, in den oberen Schichten der Atmosphäre und im Weltall.

Schon mit dem zweiten künstlichen Erdtrabanten flogen winzige, zigarrenförmige Geräte in den Weltraum. Diese Zählrohre bestimmten nicht, welches Teilchen in sie eingedrungen war. Nein, sie zählten sie sorgfältig.

Respektvoll nimmt man das dünne Zählrohr in die Hand. Seine metallische Oberfläche ist gerippt, damit es vor Beschädigungen geschützt ist. Die elektrischen Impulse gelangen aus den Zählern in eine Spezialschaltung, von der sie gezählt werden. Das Zählergebnis wird über Funk zur Erde gesendet.

Diese Miniaturzähler arbeiten in den Raumflug-

körpern zuverlässig. Sie helfen, die Veränderung der Intensität der kosmischen Strahlung festzustellen. Die Resultate kann man mit verschiedenen astronomischen Erscheinungen, mit verschiedenen Theorien über die Bewegungsgesetze der unsichtbaren Teilchen vergleichen und daraus neue Erkenntnisse ableiten. Die Daten zeigen, daß im Weltall riesige Reservoire wandern, die mit Teilchen gefüllt sind. Diese gigantischen Anhäufungen von Teilchen werden von den Magnetfeldern formiert, die im Weltraum pulsieren. Dieser Mechanismus — so alt wie die Welt selbst — enthält den Schlüssel zum Verständnis der Arbeit des „kosmischen Beschleunigers“.

DER DOPPELGÄNGER  
DES MONDES

**Ein Cocktail oder ein Käselaib?** Vor vierhundert Jahren sagte der französische Schriftsteller Rabelais im Scherz, daß viele den Mond als einen Laib grünen Käses ansehen. So verwunderlich es auch ist, sogar noch in unseren Tagen entstanden die seltsamsten Vorstellungen von dem Mond... Über keinen anderen Himmelskörper haben sich so viele widersprüchliche Meinungen gebildet wie über unseren uralten, erkalteten Trabanten.

Der amerikanische Forscher Gordon MacDonald kam vor noch nicht allzu langer Zeit nach der Beobachtung der Mondbewegung zu dem Schluß, daß seine Dichte um die Hälfte kleiner als die Erddichte sei, und er sprach den Gedanken aus, daß der Mond hohl sein müsse. Ein anderer amerikanischer Forscher erklärte die geringe Dichte des Mondes damit, daß seine oberflächennahe Substanz eine große Menge Eis und Wasser enthalte. Er meinte, der Mond sei eine Art „Cocktail mit gefrorenen Früchten“! Es gab sogar Forscher, die im Ernst behaupteten, daß der Mond ein gewaltiges „Brötchen“ sei, allerdings nicht mit Rosinen, sondern mit Metall- und Steinmeteoriten gefüllt.

William Pickering behauptete, nachdem er fünf Jahre lang, von 1919 bis 1924, den Mond von Jamaika aus beobachtet hatte, daß die sich auf dem Boden der Krater bewegenden Flecke Insektenschwärme seien, die sich von den Mondpflanzen ernährten.

Es gab eine Vielzahl ähnlicher „Theorien“. Übrigens ist ihre Entstehung bis zu einem gewissen Grade erklärlich. War doch fast alles, was die

Wissenschaftler über den Mond wußten, lange Zeit nur auf dem Wege „über das Licht“ bekannt geworden. Dies jedoch ist reflektiertes Sonnenlicht, und erst in letzter Zeit haben die eigenen infraroten Strahlen des Mondes dazu Ergänzungen geliefert.

Vielleicht gibt es auf dem Mond wirklich noch tätige Vulkane. Auf eine solche Möglichkeit weisen die Beobachtungen des sowjetischen Astronomen N. Kosyrew hin, der am 4. November 1955 am Zentralberg im Ringgebirge Alphonsus offensichtlich durch Bodenspalten, Hohlräume oder Vulkanschlote austretende Gase beobachteten und durch photographische Aufnahmen beweisen konnte. Ähnliche Beobachtungen konnten später auch im Gebiet der Ringgebirge Aristarch und Herodot gemacht werden.

**Staub.** Zu Beginn der Erforschung der Radiostrahlung des Mondes verfügten die Astronomen nur über einen absolut zuverlässigen Kennwert des Mondes — über die Temperatur seiner Oberfläche. Sie wurde schon in den dreißiger Jahren von den Astrophysikern Petit und Nicholson mit einer einfachen, scharfsinnigen und sehr genauen Methode gemessen. Unter Zugrundelegung der Meßwerte der infraroten Strahlen stellten die Wissenschaftler fest, daß die in der Mitte des Mondtages nahe dem Mondäquator bis auf plus 116 Grad Celsius erhitzte Oberfläche unseres Trabanten in der Mondnacht einer Kälte von minus 173 Grad Celsius ausgesetzt ist. Die Temperaturdifferenzen des Mondes sind also groß. Im Jahre 1939 wiederholte Petit seine Unter-

suchungen, jedoch schon während einer Mondfinsternis, als die Erde den Mond vollständig vor der Sonne verdeckte. Es stellte sich heraus, daß innerhalb einer Stunde die Temperatur des Mondes von plus 116 Grad Celsius bis auf minus 100 Grad Celsius fiel.

Deshalb erwarteten die Radioastronomen Piddington und Minnet, als sie 1949 ihre Geräte auf den Mond richteten, eine nicht geringere Änderung seiner „Radiostrahlung“ festzustellen. Und was zeigten die Geräte an? Beim Wechsel vom Mondtag zur Mondnacht änderte sich die Radiostrahlung fast gar nicht...

Nach den Messungen der Radioastronomen zu urteilen, war die Temperatur des Mondes also fast keiner Änderung unterworfen. Das erregte die Wissenschaftler sehr: Wie soll man den Unterschied in den Meßwerten der infraroten Strahlung und der Radiostrahlen erklären? Wie soll man so widersprüchliche Daten miteinander in Übereinstimmung bringen?

Es drängte sich die einzige richtige Schlußfolgerung auf: Die Radiowellen wurden nicht von der Mondoberfläche selbst, deren Temperatur starken Schwankungen unterworfen ist, sondern durch eine tiefere Bodenschicht ausgestrahlt, in der eine konstante Temperatur besteht. Dieser Gedanke wurde durch die allen bekannte Tatsache untermauert, daß den Sommer und Winter auf der Erde faktisch nur die Oberflächenschicht des Bodens „spürt“ und sich die Temperatur in einer Tiefe von einigen Metern nur wenig ändert.

Sobald jedoch die erste Frage gelöst war, ergab

sich die nächste. Woraus besteht die Oberflächenschicht des Mondes, die wie ein Pelz die darunterliegenden Schichten vor krassen Temperaturschwankungen schützt?

Es wurde errechnet, daß die Wärmeleitfähigkeit des Mondbodens fast tausendmal geringer sein muß als die der irdischen Böden. Ein solches Material wäre der uralte Traum aller Bauleute, Wärmetechniker und Kältespezialisten. Auf der Erde gibt es nichts Derartiges. Und die Wissenschaftler zweifelten mit Recht daran, daß eine so ideale Wärmeisolation auf dem Mond existierte. Es ist unwahrscheinlich, daß ein so gewaltiger Unterschied zwischen den Mondgesteinchen und den irdischen Gesteinen besteht.

Bald jedoch gelang es, die mögliche Ursache für diesen Unterschied aufzuspüren. Bei den Untersuchungen war der Umstand nicht berücksichtigt worden, daß sich die Materie auf dem Mond in fast vollständiger Leere, im Vakuum, befindet. Denn dort gibt es keine Atmosphäre. Befänden sich die irdischen Gesteine auf dem Mond, wären ihre Poren leer, und sie würden ihre Wärmeleitfähigkeit stark verringern. Versuche haben allerdings gezeigt, daß die Wärmeleitfähigkeit der irdischen Gesteine im luftleeren Raum hundertmal größer bleibt als die Wärmeleitfähigkeit der Mondgesteine.

Welches irdische Material, so rätselten die Wissenschaftler, kann man mit dem Oberflächematerial des Mondes vergleichen? Wahrscheinlich nur Staub. Da sich die Staubkörnchen nur an wenigen Punkten miteinander berühren, sind sie auch schlechte Wärmeleiter. Wenn man noch

die Luft aus den Räumen zwischen ihnen absaugt, dann wird die Wärmeübertragung durch die Staubschicht verschwindend gering.

Der Staub als Oberflächenschicht des Mondes „gefiel“ fast allen, auch den Anhängern der Meteoritenhypothese, die behauptet, daß die staubförmige Mondhülle durch die ständige Bombardierung mit Meteoriten entstanden sei. Ständig fallen auf den Erdtrabanten Milliarden großer und kleiner Meteoriten als unsichtbarer Regen mit einer um Dutzende Male größeren Geschwindigkeit, als sie Kugeln oder Geschosse aufweisen. Die Anhänger dieser Hypothese versichern übrigens, daß das gleiche Los die Erde heimsuchen würde, wenn sie nicht durch ihre Atmosphäre eingehüllt wäre.

Auch die Anhänger der Vulkantheorie konnten die Entstehung einer Staubschicht erklären. Nach ihrer Meinung hatte die frühere stürmische Tätigkeit der Mondvulkane eine ausreichende Menge Staub und ihm ähnliche Asche hervorbringen können. Auf dem Mond gibt es kein Wasser, das diese Ablagerungen wegspülen würde. Es gibt auch keinen Wind, der sie verwehen würde. Mit der Zeit konnten also Staub und Asche die ganze Mondoberfläche bedecken.

**Der schwarze Mond.** Das jedoch waren zunächst nur Vermutungen, durch Berechnungen und Versuche auf der Erde bekräftigte Annahmen, die den Anspruch auf den Rang einer Hypothese erhoben. Den Nachweis für ihre Richtigkeit konnten nur objektive Messungen erbringen. Un-

sere Radioastronomen beschlossen, den Mond in der Tiefe „abzutasten“ und das Temperaturniveau in verschiedenen Schichten des Mondbodens zu messen. Sie sahen dies als den Schlüssel zum Geheimnis der Mondmaterie an. Diese umfangreichen Untersuchungen der Mondoberfläche waren zugleich auch eine Vorbereitung für die Entsendung von Raumflugkörpern und automatischen Geräten auf die Mondoberfläche.

Die Aufgabe schien nicht kompliziert zu sein. Es war notwendig, die Radiostrahlung des Mondes in verschiedenen Wellenlängenbereichen zu messen. Die kurzen Wellen stammen aus der oberen Bodenschicht, die längeren kommen aus der Tiefe (Piddington und Minnet hatten nur Radiowellen einer Länge, nämlich von 1,25 cm, eingefangen). Bei einer Untersuchung in verschiedenen Radiofrequenzbereichen kann man in unterschiedliche Tiefen „hineinloten“.

In der Nähe von Gorki, am steilen Ufer der Wolga, begann unter der Leitung von Wsewolod Sergejewitsch Troizki, eines der führenden sowjetischen Radioastronomen, der Bau von Radioteleskopen, die für die Wellenlängen 0,4 cm, 1,6 cm und 3,2 cm berechnet waren. In Moskau wurde unter der Leitung von A. I. Salomonowitsch im Physikalischen Lebedew-Institut der Akademie der Wissenschaften der UdSSR ein gewaltiges Radioteleskop für den Empfang von Radiowellen mit 0,8 cm Wellenlänge errichtet. Eines der „Millimeter“-Radioteleskope begann im Jahre 1959 zu arbeiten.

Die Arbeiten wurden schnell und energisch vorangetrieben. Aber schon die ersten Ergebnisse

führten infolge Widersprüchlichkeit die Radioastronomen in eine Sackgasse. Die einen Beobachtungen bestätigten, daß der Mond einen „Pelz“ besitzt, die anderen widerlegten dies vollkommen. Es gab außerdem Streuungen bei der Bestimmung der Temperatur der Oberflächenschichten.

Die Forscher wiederholten immer wieder die Messungen, prüften die Arbeit der Apparatur. Schließlich kamen sie zu einer einheitlichen Meinung: Die Meßfehler waren zu groß. In den Spiegel eines Radioteleskops fällt ja nicht nur Radiostrahlung vom Mond, sondern auch die sogenannte kosmische Hintergrundstrahlung ein, Radiowellen, die aus der Tiefe des Weltalls ankommen. In die Antenne gelangten aber auch die Radiowellen, die von der Erdoberfläche ausgestrahlt werden.

Wie sollte man jedoch die Mond-Radiostrahlung von ihrer „Verpackung“, von der störenden Strahlung trennen, wenn weder die eine noch die andere genau bekannt war? Die „parasitäre“ Radiostrahlung wurde unvermeidlich den schwachen Radiowellen beigefügt, die vom Mond kamen. War es überhaupt möglich, sie voneinander zu trennen?

„Die Strahlung des Mondes vom Hintergrund der äußeren Störungen und von den inneren Geräuschen der Apparaturen abzutrennen, ist genauso schwierig, wie das Rauschen eines einzelnen Baumes aus dem Lärm des Waldes bei starkem Wind herauszuhören“, so umriß W. S. Troizki die Schwierigkeit der Aufgabe. „Deshalb erreichten die Meßfehler 20 Prozent.

Wir konnten uns aber nicht einmal eine Fehlerrate von ein bis zwei Prozent erlauben.“

Nach zehn Jahren schwerer, mühseliger und anstrengender Arbeit griffen die Radioastronomen zu einem verzweifelten Mittel.

„Wenn noch ein Mond existieren würde...“, blitzte bei ihnen eines Tages ein Gedanke auf. Und wenn die Radiostrahlung dieses anderen Mondes genau bekannt wäre, dann müßte es möglich sein, die bekannte Radiostrahlung des „neuen“ Mondes mit der unbekannten des „alten“, des echten Mondes, zu vergleichen („die Verpackung“ wäre ja bei ihnen gleich) und sie auf diese Weise zu bestimmen.

Die Forscher in Gorki realisierten ihren Plan: Sie schufen auf der Erde einen künstlichen Mond. Er sollte die Messungen korrigieren helfen, die vom natürlichen Mond aufgenommen wurden.

Bei Sudak auf der Krim befinden sich auf einem hohen Felsen, der direkt an der Meeresküste steht, die bizarren Ruinen uralter Befestigungen. Wände, aus großen Steinblöcken gefügt, enge Durchgänge, steile Treppen sind die Reste einer Festung, die von den Genuesern, die aus Italien an die Küste der Krim kamen, errichtet worden war.

Mitte 1962 hielten auf dem Berg neben den Ruinen mehrere Lastkraftwagen. Eine Gruppe entlud einen Haufen sperriger Kisten und begann vorsichtig, den höchsten Festungsturm zu besteigen. Bald erhob sich über dem Turm eine schwarze Scheibe mit einem Durchmesser von 5 m. Das war der künstliche Mond Nr. 1.

Er war zur Messung der Radiostrahlung auf den Wellen 1,6 cm und 3,2 cm vorgesehen. Näher zum Meer wurde in einem Abstand von 200 m zum Radioteleskop der künstliche Mond Nr. 2 aufgestellt, der zur Arbeit auf der Wellenlänge von 10 cm bestimmt war.

Nach dem Aufbau der Apparatur begannen die Wissenschaftler mit den Beobachtungen. Zuerst wurde das Radioteleskop auf den künstlichen Mond gerichtet. Es nahm die von ihm kommende Radiostrahlung auf und gab ein Signal in den Empfänger. Der Selbstschreiber notierte dieses Signal sofort. Danach wurde der Spiegel des Radioteleskops auf den echten Mond gerichtet. Das Gerät notierte auch dessen Signal. Anschließend wurde die ganze Prozedur wiederholt — viele Male täglich, mehrere Monate lang.

**Eine Gleichung mit vielen Unbekannten.** Die Wissenschaftler hofften, durch Vergleich der Strahlung des echten Mondes und seines „Doppelgängers“ die Energie der Mondradiostrahlung — ohne „Verpackung“ — zu erfahren. Diese Methode sollte eine Art Gleichung mit zwei Unbekannten lösen helfen, worin „x“ die Radiostrahlung des Mondes und „y“ den kosmischen und irdischen „Hintergrund“ der Radiostrahlung bedeuteten. Das Signal vom künstlichen Mond war bekannt, und — was die Hauptsache darstellte — es war ebenfalls bekannt, daß die Störungen beim Empfang der Signale des künstlichen und des echten Mondes fast gleich sind. Durch Vergleich beider Signale können

die Störungen genau berücksichtigt werden, so daß die dem Mond eigene Radiostrahlung genau zu ermitteln ist. Es verging nur wenig Zeit, bis die so einfach erklärbare Methode Anwendung fand. Mehrere künstliche Monde wurden ausprobiert. Das waren sowohl einfache Scheiben aus Aluminium- oder Stahlblech mit Durchmessern von 30 bis 40 m, die am Hang einer Schlucht ausgelegt wurden. Verwendet wurden auch tiefschwarze Scheiben, die aus speziellen Materialien hergestellt und an Stangen oder Türmen angebracht worden waren.

Monatelang drehten die Forscher ihre Radioteleskope zwischen dem künstlichen und dem echten Mond hin und her — ergebnislos.

Eine sorgfältige Analyse zeigte, daß ein metallischer Doppelgänger des Mondes ungeeignet war. Neben der bekannten eigenen Strahlung reflektiert er wie ein Spiegel auch die Radiostrahlung, die von der Erdoberfläche ausgeht. Deshalb hängen die Meßergebnisse stark davon ab, welcher Abschnitt der Erde durch den „Spiegel“ reflektiert und von den Meßgeräten registriert wird. Auf einen metallischen Körper mußte also verzichtet werden. Aber auch der schwarze „Mond“ gewährleistete keine eindeutigen Ergebnisse.

Lange Zeit schien die Aufgabe unlösbar. Erst nach dem Vergleich einer großen Anzahl von Beobachtungen gelang es, festzustellen, daß die Mißerfolge auf die Beugung von Radiowellen am Rande des künstlichen „Mondes“ zurückzuführen waren. Anfangs hatten die Forscher angenommen, daß in die Antenne nur der Teil

der Radiostrahlung der Erde und des kosmischen „Hintergrunds“ gelangt, der von der Scheibe nicht abgelenkt wird. Sie berücksichtigten nicht, daß ein Teil der Strahlen die Scheibe „umgeht“ und ebenfalls in die Antenne gelangt. Man könnte das mit einer Meeresswelle vergleichen, die durch einen in den Grund gerammten Pfahl „zerteilt“ wird, ihn „umgeht“, sich wieder schließt und fast ohne Veränderungen weiterläuft. So stießen die Wissenschaftler auf unvorhergesehene Schwierigkeiten. Zu Anfang, als nur der Versuch mit dem „Doppelgänger“ des Mondes ausgedacht war, nahmen sie an, daß sie eine einfache Gleichung mit zwei Unbekannten lösen mußten. Es erwies sich aber, daß das „y“ gleich mehrere unbekannte Größen enthielt. Wo war der Ausweg?

Zur Klärung des Einflusses der Beugung, zur Bestimmung des Anteils, den sie in die Gesamt-radiostrahlung einbringt, dachten sich die For-scher ein sehr scharfsinniges Verfahren aus. Sie beschlossen, die große, schwarze Fläche der Scheibe mit einer Öffnung zu versehen.

Die Physiker hatten sich schon im vorigen Jahr-hundert davon überzeugt, daß elektromagneti-sche Wellen sowohl vom Rand einer Scheibe als auch vom Rand einer Öffnung eine gleiche Beugung erfahren. Auch Radiowellen, die aus dem Kosmos oder von der Erdoberfläche kom-men, werden von ihnen auf gleiche Weise ge-beugt.

Es wurde ein neuer, komplizierter Versuch vor-bereitet. Sollte er gelingen, mußte eine undurch-sichtige Wand aufgestellt werden, die so groß

war, daß die Radiowellen, die an ihrem oberen Rand gebeugt werden, nicht in die Antenne des Radioteleskops gelangten.

Das Radioteleskop wurde auf den „künstlichen“ Mond, eine schwarze Scheibe, gerichtet und die erste Messung vorgenommen. Dann wurde die schwarze Scheibe entfernt und die zweite Messung ausgeführt. Danach wurde die schwarze Wand mit einer Öffnung, die der Scheibe gleich war, am gleichen Ort aufgestellt. Erneut wurde die Strahlung gemessen. Nun wurde die Öffnung mit der schwarzen Scheibe verschlossen und die vierte Messung ausgeführt. Hierbei erfuhren die Wissenschaftler die Größe des irdischen „Hintergrunds“. Bei dem ersten Versuch hatten sie die Größe der Beugung, beim zweiten die des kosmischen Hintergrunds ermittelt. Der dritte Versuch war dem Wesen nach ein Kontrollversuch.

Somit gelang es, durch den Vergleich der vier Messungen alle Störungen zu erfassen. Zur Kontrolle wurde diese Prozedur wiederholt. Dabei wurden der künstliche Mond und die schwarze Hilfswand, um die Störungen von der Erde merklich zu verändern, an andere Stellen gebracht. So gelang es, durch das Vergleichen der Signale von der schwarzen Scheibe, von der Öffnung in der schwarzen Fläche und von der durchgehenden schwarzen Fläche mit den Signalen des Mondes und von Abschnitten des Himmels in der Nähe des Mondes die störende Wirkung der Erde und des kosmischen Hintergrundes auf die Meßergebnisse genau zu berücksichtigen.

Auf diesem Wege wurden allmählich die künstlichen „Monde“ geeicht, und sie konnten schließlich zur genauen Messung der Radiostrahlung des echten Mondes beitragen.

**Der Mond muß erhitzt werden.** Alles wäre einfacher gewesen, wenn man den Doppelgänger auf einer Linie mit dem Mond hätte anordnen können. Dann hätte die ganze Arbeit darin bestanden, zunächst die Radiostrahlung des Mondes zu messen (die Scheibe hätte man vorher entfernen müssen). Danach wäre die Scheibe wieder an ihren Standort gebracht und ihre Radiostrahlung gemessen worden. In diesem Falle wären alle Störungen identisch gewesen und die Aufgabe hätte darin bestanden, wirklich nur eine Gleichung mit zwei Unbekannten zu lösen. Aber die Theorie erlaubt es nicht, die Scheibe dicht bei der Antenne anzuordnen. Sie jedoch starr über eine Entfernung von mehreren hundert Metern mit dem Teleskop zu verbinden und dann zusammen mit der Antenne zu drehen, um dem Mond zu folgen, noch dazu über das ganze Himmelsgewölbe — das wäre verständlicherweise technisch zu aufwendig. Aber auch dann, wenn es gelingen sollte, den künstlichen und den natürlichen Mond auf einer Linie — vom Radioteleskop aus — zu halten, hätte die Beugung der Strahlung trotzdem einen nicht vermeidbaren Meßfehler ergeben. Aus all diesen Gründen mußte der künstliche Mond an einer bestimmten Stelle auf der Erde angebracht werden. Über mehrere Monate sich er-

streckende Messungen konnten zur Berechnung der mittleren Größe der Störungen führen.

Die Forscher in Gorki ersannen eine Methode, um den mühsamen und zeitraubenden Vorarbeiten — dem Anbringen und Entfernen der Scheibe und der Wand — zu entgehen. Erhitzte man den künstlichen Mond, dann mußten sich die Messungen stark vereinfachen. Zunächst würde die Radiostrahlung der kalten und danach die der erhitzten Scheibe gemessen. Die Störungen — die irdischen und die kosmischen — wären dabei gleich, und die Radiostrahlung vom „kalten“ und vom „erhitzten Mond“ bekannt. So wäre es ohne besondere Schwierigkeiten möglich, die Größe der parasitären Radiostrahlung zu erfahren.

Die Einfachheit ist aber auch hier nur scheinbar. Die Scheibe muß auf der gesamten Oberfläche gleichmäßig erwärmt werden. Wie aber konnte dies gelingen? Sollte man elektrische Spiralen in die ganze Scheibe einbauen? Es ist unwahrscheinlich, daß dies eine gleichmäßige Erwärmung gewährleistet hätte. Das Problem, den künstlichen Mond zu erwärmen, ist ungelöst. Der Versuch wurde nicht ausgeführt.

Die Wissenschaftler mußten sich wohl oder übel auf die mehrfachen Operationen mit der Scheibe, dem Loch und der massiven Wand einrichten.

Bei den Messungen erwies es sich, daß bei der Arbeit auf den kürzesten Wellenlängen die Erdatmosphäre stark stört. Die schwache Radiostrahlung des Mondes auf diesen Wellenlängen wird vom Wasserdampf absorbiert. Es ge-

lingt nicht, die Reststrahlung mit der notwendigen Genauigkeit auf dem Hintergrund der Störungen abzutrennen. Die Radioteleskope mußten deshalb auf die Hänge des Elbrus gebracht werden. In 3200 m Höhe fand man einen dafür geeigneten Platz. Es zeigte sich jedoch, daß auch diese Höhe unzureichend ist. Die For- scher fuhren deshalb zum Pamir, wo die Luft trockener als in der Sahara ist. Und hier gelang es ihnen endlich, in einer Höhe von 4200 m die Beobachtungen auszuführen.

Durch die Messung der Radiostrahlung, die von verschiedenen Schichten der Mondoberfläche ausgestrahlt wird, bestimmten die Wissenschaftler mit großer Genauigkeit viele Kennwerte der Mondmaterie — ihre Dichte, die Wärmeleitfähigkeit, die Leitfähigkeit für elektrischen Strom, und sie konnten sogar seine mineralogische Zusammensetzung und Struktur einschätzen. Jetzt wurde klar, daß es einen „Pelz“, der den Boden des Mondes bedeckt, nicht gibt. Die Oberflächenschicht unseres Trabanten ist ziemlich gleichmäßig und ändert bis in eine Tiefe von anderthalb Metern ihre Eigenschaften nicht wesentlich. Berechnungen zeigten, daß die Dichte der oberen Schichten der Mondgesteine fast zweimal geringer ist als die Dichte von Wasser. Folglich kann dies kein gewöhnlicher Staub und erst recht kein Granit oder Gneis sein.

Bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Mondbodens hatten sich die Wissenschaftler früher geirrt. Nach den neuen Berechnungen ist sie 50mal größer als der seltsam niedrige Wert, der früher ausgerechnet worden war (trotzdem

ist sie 30- bis 40mal niedriger als die Wärmeleitfähigkeit eines beliebigen irdischen Gesteins). Mit der Wärmeleitfähigkeit von Staub im Vakuum hat sie nichts gemeinsam.

Nach der Meinung der Radioastronomen aus Gorki mußte die Mondoberfläche eher Bimsstein oder Schaumbeton ähnlich sein, einem festen, aber sehr porösen Stoff. Die Festigkeit des porösen Mondbodens ist so hoch, daß sich seine Eigenschaften bis in eine Tiefe von 20 m nicht ändern.

Unlängst wurde in der Sowjetunion etwas Ähnliches auf künstlichem Wege hergestellt. Vulkanisches Gestein wurde geschmolzen und mit Spezialzusätzen vermischt, die eine stürmische Gasentwicklung hervorriefen. Auf diese Weise schufen die Ingenieure ein neues Baumaterial. Im festen Zustand ist es eine sehr leichte und feste Masse, ein ausgezeichneter Wärmeisolator. Wenn man die Gase, die seine Poren füllen, absaugt, so nähert sich seine Wärmeleitfähigkeit, die sich dabei beträchtlich verringert, der Wärmeleitfähigkeit des Mondbodens.

„Wenn man auf der Basis von Fakten der Phantasie ein wenig freien Lauf läßt“, sagte Wsewolod Sergejewitsch Troizki, „muß man sich die Mondoberfläche einer trostlosen Wüste ähnlich vorstellen — wie ein erstarrtes Meer bei gewöhnlichem Seegang der Stärke 1,5 bis 2. Wenn man nach der Ähnlichkeit der Reflexion von Radiowellen durch die Meeres- und die Mondoberfläche urteilt, sieht der unebene Mondboden tatsächlich so aus. Es ist möglich, daß die eintönige Landschaft irgendwo am Fuße der Berge und

neben den Kratern durch eine Anhäufung von Steinen und Trümmern belebt wird.“

„Auf alle Fälle werden künftige automatische Mondfahrzeuge und Kosmonauten nicht in einem Staubozean untergehen“, fügte er hinzu, „sie werden als Stütze einen leicht knirschenden, aber festen Boden haben.“

So erfuhren die Wissenschaftler bei der Erforschung der Radiostrahlung das Aussehen der Mondoberfläche und die physikalischen Eigenschaften der Oberflächenschicht. Wollte man jedoch damals die Frage beantworten, was das Mondgestein darstellt, mußte seine chemische Zusammensetzung bekannt sein. Wie sollte man das von der Erde aus bestimmen?

**Das Laboratorium auf den Vulkanen.** Die chemischen Eigenschaften des Mondgesteins konnten annähernd durch das Studium seiner optischen Eigenschaften und ihren Vergleich mit den optischen Eigenschaften von irdischen Gesteinen bestimmt werden. Arbeiten auf diesem Gebiet wurden in Charkow unter Leitung N. P. Barabaschows und in Leningrad unter Leitung W. W. Scharonows und N. N. Sytinskajas durchgeführt.

Die Charkower gingen davon aus, daß die Mondoberfläche eine äußerst dunkle Farbe besitzt. Nach einem Wort Professor Kosyrews besteht der Mond aus „Gesteinen, die das Licht genauso wenig reflektieren wie ein frisch gepflügtes Feld“. Und die Charkower Wissenschaftler nahmen auch an, daß die Mondoberfläche aus Tuff besteht, einem eigenartigen vulkanischen Aus-

wurfmaterial, das auf der Erde unter der Einwirkung von Luft und Wasser die verschiedenartigsten Formen annimmt.

Die Leningrader Wissenschaftler beriefen sich darauf, daß die von den Vulkanen ausgeworfenen Stoffe — braunrote, dunkelbraune und schwarze Schlacken — ebenfalls eine meist dunkle Färbung besitzen. Sie reflektieren genau wie die Mondgesteine das Licht sehr schlecht.

„Wir behaupten nicht, daß die Mondoberfläche mit vulkanischer Schlacke bedeckt ist“, sagte das Haupt der Leningrader Schule, der bekannte Mondforscher W. W. Scharonow, „die Idee vom Vorhandensein schlackenförmiger Materie vulkanischer Herkunft auf dem Mond ist jedoch durchaus begründet.“

Um ihre Annahmen zu überprüfen, beschlossen die Leningrader Astronomen, tätige Vulkane zu untersuchen. Professor Scharonow, der Astronom und Alpinist N. B. Diwari und der Ingenieur A. W. Blasunow machten sich unter Mitnahme von fotometrischen Spezialgeräten auf den Weg in eines der wenigen Gebiete mit aktivem Vulkanismus — nach Kamtschatka. Sie beschlossen, die Untersuchungen an den Hängen tätiger Vulkane, am Awatschinsker und Kljutschewsker Vulkan, durchzuführen. Das Ziel der Wissenschaftler war ein Vergleich der Landschaft von irdischen vulkanischen Bezirken mit dem, was die Astronomen auf dem Mond sahen. Und so berichtete Scharonow über diese Expedition.

„Das regnerische Klima Kamtschatkas störte die Arbeit sehr. Das lag daran, daß die Reflexions-

fähigkeit eines beliebigen Materials im trockenen und im nassen Zustand verschieden ist. Natürlich waren zum Vergleich mit dem wasserlosen Mond, wo der Boden ständig völlig trocken ist, nur Angaben brauchbar, die bei trockenem Wetter erzielt wurden. Außerdem erforderte die Methodik der Messungen selbst einen wolkenlosen Himmel und Beleuchtung mit Sonnenlicht. Trotzdem gelang es uns, umfassendes Material zu sammeln. Es wurde durch die Untersuchung der Proben im Laboratorium noch ergänzt.“

Die Auswertung des Materials erfolgte vor allem im Hinblick auf die inzwischen erfolgreich durchgeführten Landungen von automatischen Sonden auf der Oberfläche unseres Erdtrabanten. Sie bereiteten die direkten Untersuchungen des Mondgesteins vor.

Damals schrieb Scharonow in einem Aufsatz: „Die sogenannte vulkanische Asche wird wahrscheinlich nicht in irgendwelchen merklichen Mengen auf dem Mond vorhanden sein. Erstens besitzt die Asche eine verhältnismäßig helle Farbe, zweitens ist dieses Material locker, es ist leicht schüttbar und kann deshalb keine Decke mit der porösen und zerklüfteten Struktur liefern, die wir auf der Mondoberfläche antreffen müssen.“

**Lunit.** Die Wissenschaftler aus Gorki nahmen an, daß die optische Methode im gegebenen Fall nicht zuverlässig war. Wollte man ihr vertrauen, müßten Sande verschiedener Farbe oder weißer und schwarzer Bimsstein, die eine verschiedene Reflexionsfähigkeit besitzen, sehr unterschied-

lich in ihrer chemischen Zusammensetzung sein. Das ist natürlich nicht der Fall. Ihre Zusammensetzung ist im wesentlichen gleich, und die Färbung hängt von im ganzen verschwindend geringen Beimengungen ab, die keinen Einfluß auf die übrigen Eigenschaften haben.

Sollte man die irdischen Gesteine und das Mondgestein nach ihrer Wärmeleitfähigkeit vergleichen? Auch das war unsicher. Die Radioastronomen vermochten die Wärmeleitfähigkeit des Mondgesteins sehr genau zu messen. Aber sie hing ja nicht nur von der chemischen Zusammensetzung, sondern in der Hauptsache von der Struktur, vom Grad der Porösität ab.

Auch Dichtemessungen hätten aus den gleichen Gründen nicht zu exakten Ergebnissen geführt.

Gab es überhaupt irgendeine Möglichkeit zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Mondmaterie von der Erde aus? Professor Troizki nahm an, daß ein solches Merkmal der Vergleich des Dämpfungsgrades einer Radiowelle bei ihrem Durchgang durch irdische Stoffe und durch Mondmaterie sein kann. Als ein Kriterium gilt nicht die Dämpfung selbst, nicht der Energieverlust der Radiostrahlung, sondern eine besondere Zahl, die diesen Verlust charakterisiert. Ihre Größe bestimmten die Forscher nach den Beobachtungen der Radiostrahlung des Mondes. Um festzustellen, welches irdische Gestein den gleichen Kennwert besitzt, mußten Tausende Proben durchgesehen und untersucht werden. Aus den Steinbrüchen und Museen Armeniens wurden die verschiedenartigsten Mineralien so-

wie Meteoriten und Tektite gesammelt. Sie wurden gegenübergestellt, verglichen und mit Radiowellen verschiedener Wellenlängen untersucht.

Nach zwei Jahren Arbeit überzeugten sich die Wissenschaftler aus Gorki endgültig davon, daß die Mondmaterie in ihrer chemischen Zusammensetzung weder Tuff noch Schlacke ähnlich sein konnte. Am nächsten steht sie zum Granit, Diorit, Liperit, Gabbro, Nephelin-Selenit.

Wie Professor Troizki feststellte, „kann man schon mit ausreichender Bestimmtheit sagen, daß die oberen Gesteine des Mondes 60 bis 65 Prozent Siliziumoxid (das Mineral Quarz), 15 bis 20 Prozent Aluminiumoxid (das Mineral Korund) enthalten. Die übrigen 20 Prozent werden von Kalium-, Natrium-, Kalzium-, Eisen- und Magnesiumoxiden gebildet. Folglich besitzen die Mondgesteine eine den irdischen Gesteinen ähnliche chemische Zusammensetzung. Auf Grund der Besonderheiten auf dem Mond — das Fehlen von Wasser und Luft, durch die Einwirkung der scharfen Temperaturschwankungen — befinden sich diese Gesteine in einem für die Erde ungewohnten Zustand.“

Besonders interessant ist, daß alle Beobachtungen dafür sprechen, daß im Mittel die Eigenschaften des Stoffes auf der ganzen Mondoberfläche fast gleich sind. Jetzt kann man mit Bestimmtheit sagen, daß es auf dem Mond keine Staubmeere gibt.“

So haben die Radioastronomen die Mondmaterie schon aus der Ferne im wahrsten Sinne des Wortes wie am Labortisch erforscht, noch bevor das

erste Stück Mondmaterie auf die Erde geholt worden war.

Die Wissenschaftler haben auch darüber gestritten, wie man die Mondmaterie nennen soll. Ist doch ihr Schicksal dem Schicksal des Sonnenstoffes, des Heliums, ähnlich. Nachdem es erstmalig im Spektrum der Sonnenprotuberanzen entdeckt worden war, gaben ihm die Menschen einen Namen, der von „helios“ (griechisch Sonne) abgeleitet ist. Erst später wurde das Helium auch auf der Erde gefunden. Die Mondmaterie ist mit ihren physikalischen Eigenschaften ein echtes Produkt des Mondes, und sein Name muß das natürlich zum Ausdruck bringen. Die Wissenschaftler schrieben einen regelrechten Wettbewerb aus, um ihrem Kind einen Namen zu geben. Es siegte das Wort „Lunit“. So nannten die Wissenschaftler aus Gorki die damals noch unzugängliche Mondmaterie.

Damit waren die Arbeiten zur Erforschung des Mondes „aus der Ferne“ aber noch nicht abgeschlossen. Die Radioastronomen beschlossen, den Mond weiter in der Tiefe zu sondieren, die Ausstrahlungen der tiefer gelegenen Schichten seines Bodens zu untersuchen. Durch Vergleich der radioastronomischen Beobachtungen auf verschiedenen Wellenlängen kamen sie zu der überraschenden Feststellung: Der Kern des Mondes ist heiß. So heiß, wie wahrscheinlich auch der Kern unserer Erde!

Welche andere Schlußfolgerung hätte man denn ziehen können, wenn sich die Temperatur in einer Tiefe von 20 m um 25 Grad Celsius höher als an der Oberfläche erwies. Nach den Berech-

nungen erreicht sie in 50 bis 60 km Tiefe 1000 Grad Celsius.

Wenn der Mond nur von der Sonne erwärmt würde, könnte es in seiner Tiefe nicht wärmer sein als an der Oberfläche. Folglich wird der Mond von seinem Kern erwärmt. Das bewies endgültig, daß der Mond auf keinen Fall ein völlig abgekühlter Planet genannt werden darf.

Und was besonders interessant ist. Der Wärmestrom, der vom Kern des Mondes über jeden Zentimeter zu seiner Oberfläche strömt, ist gleich dem unseres Planeten. Für die Kosmogonie besitzt dieser Fakt große Bedeutung.

Die Radioastronomen fanden beim Studium des Mondes eine weitere Bestätigung für die Theorie von der Entstehung der Planeten, die von dem bekannten sowjetischen Wissenschaftler Otto Juljewitsch Schmidt geschaffen wurde.

Nach dieser Theorie entstanden alle Planeten und ihre Trabanten durch die Konzentrierung von kalter Meteoritenmaterie, also aus einer Meteoritenwolke, die vor sehr langer Zeit verhältnismäßig gleichmäßig die Umgebung der Sonne ausfüllte.

Im Laufe der Zeit erwärmt sich durch den radioaktiven Zerfall die Materie, die in den Himmelskörpern konzentriert wurde. Der Erwärmungsgrad hängt — bei gleichen Bedingungen — von den Abmessungen der Planeten ab.

Wahrscheinlich besitzt der Mond keinen flüssigen Kern. Dies wird auch dadurch bestätigt, daß ihm ein merkliches Magnetfeld fehlt.

Die Arbeit der sowjetischen Astronomen und Radioastronomen zur Erforschung des Mondes

läuft auf vollen Touren. Besonders große Möglichkeiten eröffnet die Raumfahrttechnik, die in der Lage ist, komplizierte Geräte in die Umgebung des Mondes und auf seine Oberfläche zu transportieren.



**WIE DURCH KOHLENSACKE  
HINDURCH**

**Das Rätsel der Milchstraße.** Nachdem die Erde der Sonne den Rücken zugekehrt hatte, versank sie in tiefen Schlaf. Die Sonne hörte auf, die Augen der Sterne zu blenden, und sie schauten auf die Erde. Diesen Augenblick erwarteten die Astronomen. In den Beobachtungsräumen ihrer Sternwarten wurde es lebendig. Die Phantasie führte die Forscher im Handumdrehen zu den fernen Sternenwelten, von wo das Licht, der schnellste aller Reisenden, Hunderte, Tausende und Millionen Jahre bis zur Erde braucht...

Dies geschieht seit jener denkwürdigen Nacht des Jahres 1609, als Galilei sein Teleskop auf den Himmel richtete, jeden Tag. Damals auch wurde das Geheimnis des schwachen Perlmuttschimmers entdeckt, das den Himmel wie ein Gürtel überspannt. Der gespenstige Bogen, den die Mexikaner poetisch „die kleine weiße Schwester des vielfarbigen Bogens“ nennen, der Held von unzähligen Legenden und Sagen stellte sich Galilei als Reigen von schwach leuchtenden Sternen vor, die über den Samt des Nachthimmels wie Tautropfen oder Milchspritzer verstreut sind.

Wie ein gigantisches Karussell dreht sich die Milchstraße im Weltraum. Vor einem Jahrhundert nahm der bedeutende englische Astronom William Herschel an, daß sich auch unsere Sonne mit ihrem Trabanten Erde in der Nähe ihrer Achse befindet. Und die Milchstraße drehe sich wie verzaubert gerade um sie.

Wie sich aber später herausstellte, irrte sich Herschel. Als die Wissenschaftler den wirklichen Platz der Sonne in der Galaxis bestimmten (ir-

gendwo auf einem Drittel ihres Radius), konnten sie mit nichts den „freigewordenen“ Platz besetzen.

**Der eigensinnige Tintenklecks.** Nachdem sich Sir James Jeans vom Teleskop losgerissen hatte, gab er sich traurigen Überlegungen hin. Der englische Forscher war ein blendender Astronom und Schriftsteller; aber wie manche bürgerliche Wissenschaftler gehörte er zu den Anhängern der reaktionären bürgerlichen Philosophie seiner Zeit, und er war Pessimist.

„Welchen Sinn“, so überlegte er, „hat unser vergängliches Wissen? Was bedeutet es, wenn es sogar zu den nächsten Sternen so weit ist, daß es unmöglich ist, das dort Vorsichgehende in dem Augenblick zu beobachten, in dem wir auf sie schauen. Welches Alter haben die Nachrichten, die das Licht überbringt, das vor Jahrtausenden seine Reise angetreten hat, als die Erde noch von keinerlei Zivilisation träumte? Als sie, mit Urwäldern bedeckt und mit wilden Tieren besiedelt, keinen Ackerbau kannte und Menschen gehörte, die mit Fellen wilder Tiere bekleidet waren und mit Streitkeulen und Steinen bewaffnet waren. Solange das Licht vom nächsten Sternhaufen zu uns läuft, konnte auf der Erde die ganze geschriebene Geschichte ablaufen. Sechshundert Generationen Menschen wurden geboren, lebten ihre Zeit und starben, Staaten blühten auf, verfielen, brannten im Feuer von Revolutionen und führten schreckliche Kriege, eine Kultur wurde durch die andere abgelöst, die Menschen entwickelten die

Technik, errichteten das imposante Gebäude der Wissenschaft...“

Jeans lächelte bitter. Kann der Mensch etwa das Unermeßliche ermessen? Die Seele des Weltalls, seine Geheimnisse erahnen, wenn unsere Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft lediglich ein Augenblick in der Geschichte des Weltalls sind? Er war mit Blaise Pascal einverstanden, dem interessantesten Gelehrten des 17. Jahrhunderts, dem Genie und Tollkopf, Philosophen und Mystiker, der das Wesen einer beliebigen Sache zu erkennen vermochte und trotzdem bekannte: „Das ewige Schweigen der unendlichen Räume erschreckt mich.“

Es gab aber auch einen anderen Pascal, der noch nicht vor den Rätseln der Unendlichkeit erschauerte. Im Alter von 12 Jahren hatte er die Prinzipien der euklidischen Geometrie selbstständig entdeckt, mit sechzehn schrieb er ein Traktat über Kegelschnitte, mit vierundzwanzig veröffentlichte er einen Bericht über „neue Versuche bezüglich der Leere“. Er war der Urheber der ersten Rechenmaschine. Von ihm stammen auch die prophetischen und stolzen Worte. „Der Mensch — das ist nur ein Schilfrohr, das schwächste Geschöpf der Natur, aber ein denkendes Schilfrohr. Wenn das Weltall den Menschen vernichten würde, er wäre trotzdem edler als die Kraft, die ihn umbringt, weil er weiß, daß er stirbt. Das Weltall weiß von alledem nichts.“

Auch Jeans wurde durch seine Zweifel nicht daran gehindert, sein ganzes Leben dem Studium des Kosmos zu widmen. Die Visionen der Sternen-

unendlichkeit zogen ihn an wie ein Magnet. Das Leben der Sterne war so geheimnisvoll und erregend, daß Jeans sich immer wieder ihrem Studium zuwandte.

Vor seinem geistigen Auge schwammen runde oder auch wie ein Ei abgeflachte Nebel, ja sogar wie ein Bienen Schwarm durcheinanderwirbelnde Sternenhaufen vorbei. Sie erzählten ihm die Geschichte des Weltalls. Das schwache Leuchten berichtete über den Aufbau der Sterne, ihre Masse, ihre innere Struktur. Der Wissenschaftler studierte angestrengt die Photographien gigantischer Sternenwelten — Galaxien, die irgendwie einander ähnlich und doch unähnlich waren.

Besonders quälte Jeans und auch die anderen Astronomen das Rätsel, wo das Zentrum der Galaxis zu finden ist. Was befindet sich im Herzen der Milchstraße, dort, wo Herschel früher die Sonne hingesetzt hatte?

Als man Jeans die Frage stellte, was der Kern unserer Galaxis verbirgt, runzelte er unwillkürlich die Stirn:

„Das weiß ich nicht. Ein unwahrscheinlich großes Stück dunkler, undurchsichtiger Materie verdeckt das Herz der Milchstraße vor uns. Wahrscheinlich wird aus diesem Grund die zentrale Sonne des Weltalls immer für die Augen des Menschengeschlechts verschlossen bleiben. Es kann sein, daß es eine solche Sonne in Wirklichkeit nicht gibt, daß sie in der Natur nicht vorhanden ist. Es kann sein, daß der Platz hinter dem schwarzen, undurchsichtigen Vorhang von einem außerordentlichen und gewaltigen Haufen gewöhnlicher Sterne eingenommen wird. Übri-

gens haben diese Überlegungen schon sehr den Charakter einer Raterei, denn wir können nicht wissen, womit der Raum hinter dem schwarzen Vorhang ausgefüllt ist. Wir können jedoch überzeugt sein, daß dieser Platz von einer kolossalen Materiemenge eingenommen ist, die sowohl die Größe des kosmischen Jahres bestimmt als auch die Bewegung aller Sterne der Milchstraße lenkt.“

Das war im Jahre 1930 gesagt worden. Noch zwanzig Jahre später war die Frage nach dem Zentrum der Galaxis unbeantwortet.

**Der Fleck ist ausgelöscht.** Jura Parijski rannte Hals über Kopf in die zweite Etage des radioastronomischen Blocks der Sternwarte Pulkowo. Er hielt ein Stück eines gerade erst aus dem Selbstschreiber gezogenen Streifens in der Hand und drang in das Zimmer Professor Chaikins ein, ohne anzuklopfen.

„Semjon Emanuilowitsch“, stieß er hervor, „sehen Sie hier!“

Zwei Köpfe beugten sich eilig über das Blatt. Wenn über ihre Schultern ein Mensch geschaut hätte, der sich in ihrer Wissenschaft nicht auskennt, er hätte auf dem Papierstreifen nur eine gebogene Linie gesehen...

Für die beiden Wissenschaftler aber — den jungen Aspiranten, der gerade erst seinen Weg in der Wissenschaft begonnen hatte, und seinen angesehenen Mentor — war das die Frucht der angestrengten Arbeit eines ganzen Kollektivs. Ihre Hoffnungen gingen in Erfüllung. Die Romantik des wissenschaftlichen Suchens feierte

einen Triumph. Ein Geheimnis, das unentwirrbar zu sein schien, war entschleiert.

„Ich beglückwünsche Sie!“ sagte mit Erregung der Professor, „das Zentrum der Galaxis ist entdeckt.“

Das war im Frühling des Jahres 1959...

„Wissen Sie noch, Juri Nikolajewitsch“, sagte Chaikin, „was Jeans, Shapley und andere geschrieben haben? Sie schöpften ihre Angaben nur aus dem Licht und gerieten deshalb unwillkürlich in eine aussichtslose Lage. Wie Gewitterwolken die Sonne zu verdunkeln vermögen, so ist auch das Licht des Zentrums der Galaxis, das sich durch eine erhöhte Sternendichte auszeichnet, nicht in der Lage, die gigantischen Wolken aus interstellarer Materie zu durchdringen, die vor ihm lagern. Das Licht geht in den Tiefen dieser „Kohlensäcke“ unter. Es ist möglich, daß sich diese Wolken mit der Zeit zerstreuen oder daß die Erde sie überholt. Wann jedoch — ist ungewiß. Wenn dies bald geschieht, dann nur in astronomischem Maßstab. Erst Infrarotaufnahmen und Radiobeobachtungen vermochten, diese gewaltigen, dunklen, für sichtbares Licht undurchdringlichen Schleier zu lüften.“

Beide stellten sich unwillkürlich den Weg vor, auf dem das Zentrum der Galaxis angegangen wurde. Alles begann damit, daß sie beschlossen, die infraroten Strahlen um Hilfe zu bitten, die es gestatten, in der Dunkelheit durch Nebel und Rauchvorhänge hindurchzusehen. Was wäre... wenn?

Schon 1948 photographierten die sowjetischen

Wissenschaftler A. A. Kalinjuk, W. I. Krasowski und W. B. Nikonow infrarote Strahlen, die durch die Massen des interstellaren Gases und Staubes hindurchdrangen. Auf der verschwommenen Photographie konnten sie mit großer Mühe eine große Sternenwolke erkennen... Schlußfolgerungen daraus zu ziehen, war noch zu zeitig...

Der Anstoß war jedoch gegeben. Es wurde offensichtlich, daß es notwendig war, eine Begegnung, wenn schon nicht mit dem Licht, so doch mit anderen Wellen zu suchen, für die es kein Hindernis gibt.

Vor ungefähr drei Jahrzehnten drang in die Astronomie eine neue Methode ein. Die Wissenschaftler stellten fest, daß dort, wo weder blaues, noch gelbes, noch rotes Licht hindurchdringt, der Weg für die Radiostrahlen frei ist. Sie passieren auch ungehindert die dunklen, interstellaren Materiewolken.

Die Radioastronomie wurde geboren. Mit ihrer Hilfe konnten viele bisher unlösbare Probleme geklärt werden. Die Radiowellen zeigten den Wissenschaftlern auch den Weg zum Zentrum unserer Sternenwelt.

Aber auch auf diesem Weg wurde den Wissenschaftlern eine Enttäuschung bereitet. Die richtigen Methoden des Suchens konnten nicht sofort gefunden werden.

Die amerikanischen Forscher Karl G. Janski und Grote Reber erhielten damals eine Abbildung des Kerns der Galaxis mit Hilfe von Radiowellen des Meterbereichs, die sie enttäuschte. Legen Sie vor einem Blinden viele kleine Gegen-

stände auf den Tisch und bitten Sie ihn, diese zu beschreiben. Er wird sie nicht alle mit der Handfläche bedecken, sondern anfangen, jeden Gegenstand einzeln zu befühlen.

Zu Anfang versuchten die Radioastronomen, den unsichtbaren kosmischen Gegenstand gleichsam wie mit einer breiten Handfläche, nämlich mit dem ganzen „Spektrum“ der Radiowellen des Meterbereiches „zu bedecken“. Ihre „Eindrücke“ waren verschwommen. Sie erhielten lediglich eine allgemeine Vorstellung über den Kern, die ihnen nichts sagte. Die ersten Radioteleskope waren zu unvollkommen. Eine der wichtigsten Aufgaben war deshalb die Schaffung einer Apparatur mit scharfem „Blick“ und feinem „Gehör“. Die Wissenschaftler nahmen an, daß die Radioteleskope größtmögliche Abmessungen haben müßten. Doch bald gerieten sie in eine Sackgasse. Die großen, sperrigen „Ohren“ bogen sich unter der Last des eigenen Gewichts. Sie „stöhnten“ unter jedem Windhauch und „hörten“ trotzdem schlecht.

**Das achte Weltwunder.** Der Gedanke, ein empfindliches und scharfes Gerät, einen „Aufklärer des Weltalls“, zu schaffen, verfolgte Chaikin schon lange. Er dachte darüber schon nach, als er an Bord des Dieselmotorschiffes „Alexander Gribojedow“ zusammen mit einer Gruppe der ersten Radioastronomen zu der Küste des fernen Brasiliens fuhr, um eine Sonnenfinsternis mit Hilfe der Radiostrahlen zu untersuchen, als er auf der Krim den Berg Koschka bestieg, um einen geeigneten Platz für das künftige radio-

astronomische Observatorium auszuwählen. Und er sann darüber nach, als er in Moskau arbeitete, im Physikalischen Lebedew-Institut, wo die ersten groben Konturen des originellen, bisher unbekannten Gerätes entstanden.

Nun war dieses Radioteleskop in der Sternwarte Pulkowo bei Leningrad geschaffen. Beim Blick auf das Wunderwerk wird man unwillkürlich an die uralte Legende erinnert, wie Archimedes bei der Verteidigung seiner Heimatstadt die feindliche Flotte verbrannte, indem er Dutzenden Kriegern befahl, mit Hilfe ihrer blendenden Schilde die Sonne auf ein und denselben Punkt eines feindlichen Schiffes zu spiegeln.

Neunzig „Schilde“, Reflektorplatten der Abmessung  $3 \times 1,5$  m, die das Radioteleskop darstellen, haben sich wie zur Parade ausgerichtet und bilden einen Halbkreis von 130 m Länge. Alle Schilde werden, aufeinander abgestimmt, auf ein kosmisches Objekt gerichtet. Wie ein Schwamm saugt das Radioteleskop sogar äußerst schwache kosmische Radiostrahlung auf. Wie ein Zeigestab tastet es kleine Abschnitte des Himmelsgewölbes ab. Es macht ihm nichts aus, den Mond in 25 Teile zu zerschneiden und jeden Teil der Reihe nach einzeln zu untersuchen.

Dieses wunderbare Radioteleskop, das von S. E. Chaikin und seinem nächsten Mitarbeiter N. L. Kaidanowski geschaffen wurde, half auch Jura Parijski, das zu erreichen, was die Kräfte aller Astronomen früherer Zeiten überstiegen hatte.

Professor Chaikin tritt häufig an das Fenster des Arbeitszimmers, um im Durcheinander des All-

tags wenigstens von weitem zuzuschauen, wie sein „Liebling“ — das gigantische Radioteleskop — arbeitet. Vor den Augen eröffnet sich das gewohnte Panorama. Hier erinnert ihn jedes Eisengerüst, jedes durchbrochene Gestell an die frohe und schwere Arbeit zur Verwirklichung seiner Idee. In den Strahlen der Sonne erinnert Pulkowo an eine verzauberte Stadt. Still ist es auf den leeren, von schwarzen Asphaltbändern durchschnittenen Plätzen, die dicht mit Gras bewachsen sind. Einsam und menschenleer erscheinen die eigenartigen Türmchen der Teleskope, die an orientalische Minarette erinnern. Die silbernen Kuppeln und schneeweissen Wände verleihen ihnen eine besondere Leichtigkeit, Luftigkeit. Manchmal bewegt sich eine der Kuppeln wie von selbst auseinander, und aus dem Innern blickt das Auge eines gewaltigen Fernrohrs hervor.

Selten wird die Stille der Zauberstadt durch Lachen oder Gespräche in bekannten und unbekannten Sprachen unterbrochen. Dann ist es eine Gruppe von Mitarbeitern oder Studenten, die in Pulkowo ein Praktikum absolvieren, oder es sind ausländische Touristen, die in Massen eine Pilgerfahrt zum astronomischen „Mekka“ in Pulkowo abschließen, um, wie viele im Spaß sagen, auf das „achte Weltwunder“ zu schauen.

Was soll man sagen — oft kommt dem Wissenschaftler der Gedanke, daß dieses Land wirklich heilig ist. Der Boden der Pulkowoer Höhen ist mit dem Blut der Leningrader getränkt, die ihre Stadt vor dem faschistischen Überfall heldhaft verteidigten. Hier wurde im orkanarti-

gen, nicht für eine Sekunde unterbrochenen Feuer des Großen Vaterländischen Krieges das Recht der sowjetischen Menschen auf ein friedliches Leben verteidigt.

Es ist nicht verwunderlich, daß die Wissenschaftler, die nach dem Krieg zu einem völlig zerstörten Platz kamen und das neue Pulkowo schöner als das alte aufbauten, nun auch die ersten sein wollten in den Reihen jener Wissenschaftler, die die „Zitadelle Kosmos“ stürmen...

**Im Innern des Kohlensackes.** Die scharfgekrümmte Kurve, die Jura Parijski mit dem Radioteleskop erhalten hatte, beeilte sich nicht, den Wissenschaftlern ihr Geheimnis preiszugeben. An der einen Stelle hat das Gerät eine flache Linie aufgezeichnet. Hier suchte das Auge des Radioteleskops noch weit weg vom Zentrum der Galaxis. Die Radiostrahlung war gleichmäßig wie das Wasser eines ruhigen Flusses.

Näher, näher zum Kern... Die Kurve sprang hoch — das Teleskop blickte direkt in das Herz der Milchstraße. Wie ein Blutstrahl aus einer offenen Arterie strömte die Radiostrahlung aus dem für das Auge unsichtbaren Kern unserer Welt.

Das Teleskop richtete seinen „Blick“ etwas weiter nach der Seite — die Kurve beruhigte sich, fiel, und noch weiter — wieder gleichmäßiger Atem der Radiowellen.

Woher kommt diese Urgewalt der Radiostrahlung im Schoß der Galaxis? Was geht dort vor sich?

Um dies zu verstehen, mußten die Physik und die Mathematik zu Rate gezogen werden.

Ein gigantisches Feuer im Zentrum unserer Sternenwelt, unserer kosmischen Heimat. Um sein Brennen aufrechtzuerhalten, warf die Natur eine Unmenge siedender Sterne hinein. Wolken ionisierten Gases durchdringen die unsichtbare Flamme. In dieser Hitze (Parijski errechnete, daß die Temperatur dort mindestens 10 000 Grad Celsius beträgt) kann kein Atom „am Leben“ bleiben. Unter Ausstoß von Energieströmen werden sie in Ionen und Elektronen gespalten und bilden dabei das uns bekannte Elektronen-Ionen-Plasma. Anhäufungen von Kernen, vom Sturm der im Feuer tosenden Urgewalt erfaßt, werden ständig in den Weltraum hinausgeschleudert.

Scharen von Elektronen, die sich im Maschennetz der Magnetfelder verirrt haben, wandern rund um das Feuer. Sie senden auch das Licht, das in der Tiefe der dunklen, interstellaren Materiewolken „verschluckt“ wird, und die Radiowellen aus, die durch die riesigen „Vorhänge“ zur Erde vordringen.

Das „Feuer“ ist so groß, daß in ihm das ganze Gebiet Platz finden würde, das von der Sonne und den uns naheliegenden Sternen eingenommen wird. Um dieses Feuer quer zu durchlaufen, brauchte das Licht zwanzig Jahre. Und trotzdem sind die Radioastronomen der Meinung, daß sie einen sehr kleinen Kern gefunden haben, klein im Vergleich zu den Abmessungen der Galaxis: Der Kern ist 2000mal kleiner als die Entfernung von ihrem Zentrum bis zu den äußeren Enden der Spiralen.

**Ein Zufall?** Praktischen Nutzen kann man aus dieser großen Entdeckung natürlich vorläufig nicht ziehen. Für das Studium des Weltalls jedoch, für das Erkennen der Gesetze der Entstehung der Welt ist sie von nicht überschätzbarem Wert. Bei der Bekanntschaft mit verschiedenen Seiten des Lebens des Kosmos ziehen die Wissenschaftler Vergleiche. Sie analysieren und stellen Daten gegenüber. Aus Hypothesen entstehen Theorien, und Theorien führen zu grundlegendem, objektivem Wissen.

Die einen Galaxien wurden gerade geboren, die anderen sind schon alt. Durch ihr Studium in verschiedenen Stadien der Evolution kann man Schlußfolgerungen über die möglichen Varianten ihrer Geburt und Entwicklung ziehen. Nach der Strahlung der Sterne kann man über ihre Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft urteilen.

Dadurch, daß die Wissenschaftler Licht in das Geheimnis der Milchstraße gebracht haben, näherten sie sich der Lösung der heiligen Rätsel der „Weltschöpfung“, erhielten sie einen Schlüssel zur Lösung des Problems über die Herkunft der Sterne in unserer Galaxis.

Besonders interessant ist dabei, daß die Entdeckung der sowjetischen Wissenschaftler in vielem mit Untersuchungen des Amerikaners Baade und des Mexikaners Mjunk übereinstimmen, die den Kern des Andromedanebels untersucht haben. Das ist die uns nächstgelegene Galaxis. Sie ist mit bloßem Auge als Nebelfleck im Sternbild Andromeda wahrnehmbar. Sie ist in vielem unserer Galaxis ähnlich. Baade beobachtete das

Zentrum des Andromedanebels im sichtbaren Licht. Der Weg zu ihm ist frei von Staubhindernissen. Ein starkes Teleskop ermöglichte es dem Wissenschaftler, im Zentrum dieses Sternsystems eine Wolke festzustellen, die aus vielen einzelnen Sternen besteht. Es ist das gleiche Bild wie im Zentrum unserer Galaxis.

Mjunk führte seine Untersuchungen des Spektrums der Strahlung aus dem Gebiet um den Kern des Andromedanebels durch und stellte fest, daß aus dem Kern ständig erhitzte Gase ausströmen. Sie führen eine gewaltige Menge Materie in der Größenordnung einer Sonnenmasse im Jahr mit sich.

Ist es nicht wunderbar, daß eine analoge Erscheinung im Kern unserer Galaxis gefunden wurde? Die Wissenschaftler schlußfolgerten daraus, daß aus den Kernen der Galaxien unablässig erhitzte Gase ausströmen und gleichzeitig in ihnen gewaltige Explosionen stattfinden, die Elektronenströme hoher Energie hervorbringen.

Akademiemitglied Ambarzumjan kommentiert diese Entdeckungen so: „Die Beobachtungen erhärten immer mehr den Gedanken, daß die Kerne die Bildungszentren neuer Bestandteile der Galaxien sind. Klar ist ebenfalls, daß für den Ablauf der Prozesse, die wir jetzt mit den Kernen der Galaxien in Verbindung bringen, Bedingungen erforderlich sind, die sich stark von denen unterscheiden, die im uns umgebenden kosmischen Raum herrschen. Gerade deshalb ist die weitere Erforschung der Natur der Kerne der Galaxien eine der interessantesten Richtungen der modernen Astrophysik.“

Hier gibt jede neue Entdeckung, die auf eine Frage antwortet, eine neue Frage auf. Die Beobachtungen des Kerns des Andromedanebels haben vieles geklärt, sie haben aber auch veranlaßt, über vieles nachzudenken.

Und was besonders überraschend ist: Die Abmessungen des Kerns des Andromedanebels stimmen seltsam genau mit den Abmessungen überein, die Parijski für den Kern der Milchstraße gefunden hat... Zufall? Natürlich nicht. Offensichtlich eine Gesetzmäßigkeit. Die Sterne, Sternhaufen und Galaxien entwickeln sich nicht chaotisch, nicht willkürlich, sondern nach strengen Gesetzen der Weltentstehung. Sie aufzuklären — das ist keine hoffnungslose Aufgabe, wie es früher in der idealistischen Weltanschauung verstrickte Wissenschaftler annahmen. Wie jede Erscheinung ist auch die Entwicklung des Weltalls erkennbar. Und was nicht heute erkannt wird, erkennen wir morgen — wenn nicht wir, dann unsere Nachkommen.

Recht hatte der, der einst feststellte, daß an Rätseln niemals Mangel sein wird — mindestens solange Menschen existieren, die fähig sind, über sie nachzudenken.

**DER WEG**

**ZU DEN WEISSEN ZWERGEN**

**Das Wunder des Britischen Museums.** Hastig ergriff er das Rohr, schüttete ein sorgfältig verrührtes Gemisch hinein, gab etwas Wasser dazu, verkorkte es und begann es zu erhitzen. Drei Jahre lang hat er diesen Versuch vorbereitet, die Zusammensetzung des Gemisches bestimmt, die Technik durchdacht. Jetzt war er am Ziel.

Eine Explosion ertönte, die Fensterscheiben und ein Teil der Apparatur ging in Scherben, aber der Experimentator aus einer Erzählung des bekannten Schriftstellers Herbert G. Wells betrachtete berauscht die Früchte seines unsinnigen Versuchs — ein Pulver, das funkeln Diamantkörner enthielt...

Wells, der wunderbare englische Phantast, war vierzehn Jahre alt, als durch sein Land und danach um die Welt die sensationelle Meldung flog, der Wissenschaftler Henney habe herausgefunden, wie man Diamanten macht.

Dieses Ereignis beflügelte auch die Phantasie des jungen Herbert Wells so stark, daß sie ihn noch nach vielen Jahren veranlaßte, eine Erzählung über einen Menschen zu schreiben, der Diamanten zu machen verstand.

Die Technik des Experimentes von Henney war recht primitiv. Er vermischt verschiedene Kohlenwasserstoffe mit Knochenöl und füllte dieses Gemisch in ein Rohr, das nach dem Prinzip des Geschützrohrs ausgebildet war. Danach schweißte er das offene Ende des Rohrs zu und erhielt es im Verlauf von 14 Stunden bis zur Rotglut.

Der Held des Schriftstellers Wells ging, nachdem er die Technik vervollkommen hatte, annähernd

genau so vor, aber er kühlte seine Mischung dann im Verlauf von zwei Jahren ab, weil er hoffte, daß auf diese Weise kleine Kristalle wachsen. Und als er das Feuer ausgelöscht, den Zylinder aus dem Herd genommen und auseinanderge-  
schraubt hatte, fand er im Inneren einige kleine und drei große Diamanten.

Und das ist der ganze Unterschied zwischen dem tatsächlichen und dem durch den Schriftsteller ausgedachten Experiment — wenn man davon absieht, daß den Wissenschaftler das Streben nach der Eroberung neuer Gipfel der Wissenschaft leitete und den Wellsschen Romanhelden die Gier nach Reichtum. Deshalb verbarg der erdichtete Diamantenjäger sein Geheimnis. Er hatte Angst, daß Diamanten nun so billig werden könnten wie Kohle. Henney aber veröffentlichte eine Beschreibung seiner verheißungsvollen Versuche.

Freilich ähnelten seine Hinweise sehr den Ratschlägen der Alchimisten, die danach strebten, Metall in Gold umzuwandeln. Raimond Lullus war, wie die Überlieferung berichtet, der Lösung dieser Aufgabe nahe und gab folgenden einfachen Ratschlag:

„Sie nehmen den Leib eines Pferdes, welches verdaut ist (ich will sagen: einen sehr guten Pferdemist), und stellen in ihn ein Gefäß für die Destillation, und Sie werden ohne Kosten und Aufwand ein Feuer ohne Feuer haben und den ewigen Kreislauf der Quintessenz.“

Dieses Wunderrezept beflügelte die Träume nicht nur einer Generation von Phantasten. Aber es führte keinen auf die Spur des Steins der Wei-

sen. Später konnte jeder auch vom „Rezept“ Henneys Gebrauch machen und, wenn er es wollte, seinen Versuch wiederholen. Als dann der berühmte französische Chemiker Henri Moissan im Jahre 1894 seine Experimente zur Erzeugung von Diamanten bekanntgab, begannen viele Forscher in der ganzen Welt, seine Versuche, die angeblich zu Erfolgen geführt hatten, zu wiederholen: Mit Zuckerkohle gesättigtes Eisen wurde auf 3000 Grad Celsius erhitzt und schnell abgekühlt. Dabei sollten sich kleine Diamantkristalle bilden. Jedoch vergingen mehrere Jahrzehnte, und keinem Wissenschaftler gelang es, auf diesem Wege künstliche Diamanten zu gewinnen. Obwohl der Versuch durch seine Einfachheit fesselte, führte er zu keinem Erfolg. Wie Henney seinen Diamanten erhalten hatte, bleibt ein Geheimnis. Es wird erzählt, der Gelehrte habe erst beim einundachtzigsten Versuch Erfolg gehabt: Er konnte einmal ein Häuflein harter, funkender Minerale künstlich herstellen.

Die zwölf kleinen Kristalle Henneys, die in den Flammen des Ofens und vielleicht auch im Wirbel seiner Träume entstanden waren, umgaben ihren Schöpfer mit dem Nimbus des Ruhms. Sie werden unter der Bezeichnung „Künstliche Diamanten Henneys“ im Britischen Museum aufbewahrt.

Und tatsächlich sind es echte Diamanten. Eine sorgfältige Untersuchung dieser Kristalle, die im Jahre 1943 mit Hilfe von Röntgenstrahlen durchgeführt wurde, bestätigte mit Zuverlässigkeit, daß elf von zwölf Kristallen Diamanten

sind. Aber ob sie wirklich auf künstlichem Wege hergestellt worden sind, ist nicht nachweisbar. Bisher ist es noch keinem Wissenschaftler gelungen, durch Wiederholung der Versuche Henneys und nach seiner Methode Diamanten herzustellen. Die Diamanten des Britischen Museums bewahren bis heute das Rätsel ihrer Herkunft...

**Diamantenfieber.** Vor langer Zeit war ein Kaufmann, der Afrika bereiste und auf seinem Planwagen kaum das Elfenbein unterbringen konnte, das ihm die Eingeborenen im Austausch gegen Glasperlen, billige Stoffe und Klappern gebracht hatten, in einem der Dörfer auf Kinder gestoßen, die sorglos mit auffallend glänzenden, durchsichtigen Steinchen spielten. Der geriebene Händler begriff sofort, daß die Kinder mit Millionen um sich warfen.

Es waren die ersten Diamanten, die ein Europäer in Afrika erblickte. Aus diesem Erdteil stammten später mehr als 90 Prozent der erlesenen Edelsteine, die jemals auf den Weltmarkt kamen. Sie waren die Vorboten für neue Nöte, die über den Kongo und andere Länder von „Diamantenafrika“ hereinbrachen. Das war gegen Ende des 18. Jahrhunderts.

In Scharen fielen Abenteurer ins Land ein, vom Diamantenfieber gepackt, das dem Goldfieber glich, das Kalifornien, Klondike im Nordwesten Kanadas und Australien ergriff.

Sie teilten die Diamantenfelder in kleine, quadratische Parzellen auf, wodurch die Gegend das Aussehen eines gigantischen Schachbrettes er-

hielt. Die Diamantensucher warfen sich, wie von einer Tollheit befallen, auf die wertvolle Erde, rissen sie auf, siebten sie, und der glühend heiße Wind trieb Wolken von heißem Sand und Staub gegen den Himmel. Die Gruben wurden immer tiefer, die Haufen tauber Erde immer höher, und das Geflecht der Seile, an denen sich in ununterbrochenem Strom Säcke mit Sand bewegten, wurde ständig dichter und gab dem Fundort das Aussehen eines Affenstalls unter einem Metallgitter.

Die Eingeborenen waren zuerst über den Strom der zerlumpten und ausgehungerten Glücksritter erstaunt, aber dann wurden viele von ihnen in den verderblichen Strudel der Gewinnsucht hineingezogen.

Die Förderung der Naturdiamanten war unwahrscheinlich schwer und wurde von einer gewissenlosen Ausbeutung der eingeborenen Bevölkerung begleitet. Der bekannte französische Reisende und Schriftsteller Louis Bussenar beschreibt das grausame und wahnwitzige Glücksspiel bei der Förderung der Diamanten wie folgt: „Auf dem Grund tiefer Gruben arbeiten mit dem Fleiß von Ameisen zerlumpte Menschen. Sie buddeln, graben und sieben die zerkleinerte Erde. Ihre schwarzen, weißen oder gelben Gesichter sind mit Dreck, Staub und Schweiß bedeckt. Der lederne Sack eilt nach oben. Möglicherweise steckt in ihm ein ganzes Vermögen. Von Zeit zu Zeit gibt es einen Einsturz, oder ein Stein reißt sich los, oder eine Schubkarre stürzt in die Tiefe. Dann ertönt ein Schrei des Schreckens und des Schmerzes, und wenn der lederne Eimer wieder

an die Oberfläche kommt, dann liegt in ihm ein verstümmelter menschlicher Körper. Was hat das für einen Sinn? Die Hauptsache — Diamanten! Der Tod eines Menschen ist ein unbedeutendes Ereignis.“

Weder Tod noch Krankheit haben hier Bedeutung. Diese Besessenen haben längst das Gefühl für menschliche Maße verloren. Irgendwer hat schon ein ganzes Vermögen irgendwo in der Erde oder unter dem Zelt versteckt, aber er geht barfuß, in Lumpen, isst Zwieback. Jedoch nachts betrachtet er wie im Fieber seine Schätze. Heimlich begeistert er sich am Spiel der blauen, grünen und gelben Funken, die der wunderbare und verführerische Stein „erzeugt“. Und kühl berechnet er seinen Reichtum.

Stellen Sie sich vor, wie die Nachricht von der Herstellung künstlicher Diamanten durch Henri Moissan die Diamantenjäger erschüttern mußte! Wozu hinter die „sieben Berge“ reisen, wozu glühenden Staub schlucken und Schätze oder auch den Tod in glühender Erde suchen, wenn man durch einfache Manipulationen bei sich zu Hause Reichtum erwerben konnte. Die neue Methode der „Diamantengewinnung“ zog nicht weniger „Dürstende“ auf ihre Seite als die alte. Darunter waren echte Wissenschaftler und auch Scharlatane. Damals befiehl selbst die wissenschaftliche Welt eine Art „Diamantenblindheit“. Und viele Menschen verschlangen sensationelle Meldungen über den gerade erreichten Erfolg bei der Herstellung künstlicher Diamanten. Aber alles war vergebens...

Die Gewinnung von Diamanten auf künstlichem Wege, die anfangs äußerst einfach erschien,

brachte den Wissenschaftlern Jahre komplizierter und mühevoller Überlegungen. Die Enthusiasten der künstlichen Kristalle legten einen schweren Weg zurück. Auch sie nahmen mehr als einmal nachdenklich Diamanten zur Hand, ergötzten sich am Spiel ihrer Regenbogenfarben. Aber im Glanz der Edelsteine erschien ihnen nicht der Glanz des Luxus. Ihr Blick suchte in der glänzenden Tiefe des Diamanten die Eigenheiten eines Stoffes zu erfassen, der dem Kohlenstoff ähnlich ist. Lavoisier hatte 1788 bewiesen, daß der Diamant aus kristallisiertem Kohlenstoff besteht. Wenn es nun nicht gelang, aus Kohlenstoff Diamanten herzustellen, sollte man nicht lieber einmal probieren, ob man einen Diamanten aus dem Graphit herstellen konnte, der ja eine Modifikation des Kohlenstoffs ist. „Diamanten und Graphit?“ fragten manche zweifelnd. Ein in allen Farben des Regenbogens schimmernder Stein und einfacher Graphit? Was gibt es zwischen ihnen Gemeinsames? Der eine Stoff strahlt Licht aus, spielt und schimmert dabei in erstaunlichen Schattierungen. Der andere schluckt gierig alle Strahlen und verbirgt sie in seinem Inneren aus Kohlenstoff. Was kann gegensätzlicher sein als die Verkörperung der Farbe und die der Eintönigkeit?

**Explosionsrohre.** Die Wissenschaftler hatten längst herausgefunden, daß die Natur sowohl Graphit als auch Diamanten aus ein und denselben Atomen des Kohlenstoffs „formt“. Sie wußten, daß es durch einfaches Erhitzen leicht

möglich ist, Diamanten zu Kohlendioxid zu verbrennen. Im Jahre 1947 gelang es auch, Diamanten unter hohem Druck und bei Temperaturen von mehr als 2000 Grad Celsius in Graphit umzuwandeln. Gerade das veranlaßte viele, anzunehmen, daß eine umgekehrte Umformung gleichfalls einfach sei. Aber keinerlei Anstrengungen halfen. Wie man den Graphit auch erhitze, wie man ihn auch unter Druck setzte — Diamanten konnte man aus ihm nicht herstellen.

„Wie gelingt es nur der Natur, dies zu tun?“ stöhnten die Erfolglosen. Was mag in den unterirdischen Werkstätten vorgehen, wo fast alle von den Menschen verwendeten Stoffe hergestellt werden?

Darüber kann man raten, streiten, nachdenken, aber überprüfen kann man seine Vermutungen bis heute noch nicht. Und darin besteht das Paradoxon unserer Zeit: Es gelang dem Menschen eher, in den Kosmos zu fliegen, als auch nur 10 Kilometer in die Tiefe der Erde vorzudringen. Die Menschen lernten es wesentlich früher jedoch, Prozesse auszulösen, die auf den Sternen ablaufen, als sich ihnen zu nähern. Kernreaktionen in Miniaturausführung wurden auf der Erde nachgeahmt.

Die Suche nach einem Weg zur Herstellung künstlicher Diamanten führte zu dem Experiment, im Laboratorium Bedingungen zu schaffen, wie sie im Inneren der Erde herrschen.

Durch Wälder und Sumpfe, an reißenden Flüssen entlang und an hohen Gebirgshängen vorbei führte die Diamantenjäger die rote Spur des Pirops — ein sicheres Zeichen für die Nähe von Dia-

mantenfeldern. Erfahrene Sucher wußten, daß dann irgendwo auch der Kimberlit — bläuliches, ultrabasisches magmatisches Gestein — an die Oberfläche tritt. Irgendwann waren in diesem Gestein in Südafrika in der Nähe der Stadt Kimberli zum ersten Mal Diamanten gefunden worden. Fortan gab diese Stadt dem wertvollen Gestein auch ihren Namen.

Wie es sich zeigte, bildet das Kimberlit eigenartige „Sprengrohre“ in anderen Gesteinen. Sie sind gigantischen Brunnen ähnlich, die allerdings nicht mit Wasser, sondern mit wertvollem Diamantgestein angefüllt sind. Bis heute ist die Tiefe dieser „Brunnen“ nicht bekannt, aber manchmal gelingt es, sie über mehrere Kilometer hinweg zu verfolgen.

Das Rätsel der unterirdischen „Sprengungen“, durch welche die wertvollen Diamantenkörner gebildet wurden, führte die Gelehrten zu einer interessanten Schlußfolgerung. Ob sich die Diamanten aus Kohlenstoff bildeten, der sich in gelöster Form im geschmolzenen Kimberlit befand? Bei hohen Temperaturen und sehr hohen Drücken konnte er durchaus in Form von Diamanten kristallisieren. Anschließend wurde dann dieses Diamantgestein durch einen Durchbruch an die Erdoberfläche gehoben. Derartige „Diamantenschlote“ wurden seiner Zeit auch in Südafrika, Amerika und Australien gefunden. Solcherart ist auch die Fundgrube „Mir“, die sich in Sibirien befindet.

Das ist auch der Grund dafür, daß fast alle, die künstliche Diamanten herstellen wollten, vor allen Dingen eine schon von der Natur „über-

prüfte“ Methode ausnutzten, die Explosion. Eine Ausnahme machte wahrscheinlich nur der Franzose Henri Moissan. Er wußte, daß Diamanten in Meteoriten — Splittern weit entfernter Sternenwelten — enthalten sind. Er hatte auch davon gehört, daß Diamanten nicht in allen Meteoriten vorkamen, sondern nur in denen, die fast nur aus reinem Eisen bestanden. Und so entschloß sich Moissan, den Versuch zu unternehmen, künstliche Diamantenmeteoriten zu schaffen. Er schmolz Eisen, warf Kohlenstoff hinein und kühlte dieses Gemisch nach einiger Zeit in flüssigem Blei ab. Moissan erklärte, er habe Erfolg gehabt. Aber auch er war der Meinung, daß bei der Umwandlung des Kohlenstoffs in Diamantkristalle der „Kontraktionsdruck“ eine Rolle gespielt habe, der bei der Abkühlung des erstarrenden Eisens auftrete. So sehr sich jedoch auch andere Gelehrte mühten, es gelang ihnen nicht, diesen Versuch Moissans in der Weise zu wiederholen, daß sich Diamanten bildeten.

Im besten Fall erhielt man glänzende Steinchen. Am häufigsten jedoch endeten die umfangreichen Experimente mit Staub und Asche. Diese Versuche, so ergebnislos sie auch lange Zeit waren, erwiesen sich für die Wissenschaft jedoch als äußerst wertvoll. Sie trugen dazu bei, die Physik der hohen und extrem hohen Drücke zu schaffen.

**Von der Abkühlung zur Kompression.** In den dreißiger Jahren unseres Jahrhunderts begannen die Physiker und Chemiker, der Erforschung der

**Eigenschaften der Stoffe bei sehr niedrigen Temperaturen besondere Aufmerksamkeit zu widmen.**

Es erschien äußerst verlockend, in das Innere von Stoffen zu blicken, die durch „Kälte“ gefesselt sind, wenn ihre gewöhnlich beweglichen „lebensvollen“ Atome und Moleküle gleichsam „Winterschlaf“ halten. Dann wirken die Atome und Moleküle weniger aufeinander ein, es ist leichter, sie „zu betrachten“, bequemer, sie zu untersuchen.

Die Wissenschaftler, die die Physik der tiefen Temperaturen zu ihrem Spezialgebiet erwählten, erinnern möglicherweise ... an Unterwasserforscher, die die Geheimnisse des Meeresgrundes zu enthüllen suchen. Es ist nicht sinnvoll, bei starkem Wellengang auf den Meeresgrund hinabzusteigen. Den Forscher würden Sand, Schlamm und Teile von Wasserpflanzen stören. Das Wasser wäre trüb. Er wählt deshalb einen ruhigen Tag aus, wenn das Wasser durchsichtig ist und jede Bewegung der Wasserpflanzen klar sichtbar, das Verhalten der Tiere leicht zu beobachten ist.

Für die Jäger nach den Geheimnissen, die in der Tiefe der Stoffe verborgen sind, ist ebenfalls das „Wetter“ in dieser eigenartigen Welt wichtig. Je höher die Temperatur ist, desto lebhafter bewegen sich die Atome und Moleküle, aus denen der Körper besteht. In dieser intensiven, allgemeinen Bewegung verliert sich ein atomarer Baustein dieses Stoffes. Sein Verhalten wird außerdem sehr von der Wärmebewegung aller atomaren Bausteine beeinflußt.

Im Gegensatz dazu verhalten sich bei tiefen Temperaturen die Stoffe ganz anders.

Das erste sowjetische Laboratorium zum Studium der Physik tiefster Temperaturen wurde in Char-kow gegründet. Es wurde zum Anziehungspunkt für viele talentierte junge Physiker. Unter ihnen war auch Leonid Fjodorowitsch Weretschagin, heute Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR.

„Die Hauptschwierigkeit, der das Kollektiv des Laboratoriums gegenüberstand“, erinnert sich Leonid Fjodorowitsch, „war das Problem der Erzeugung tiefster Temperaturen. Uns interessierte natürlich die tiefste Temperatur, die in der Natur vorkommt. Das sind minus 273 Grad Celsius oder der absolute Nullpunkt nach der Einteilung von Kelvin. Es ist sehr schwierig, eine solche Temperatur zu erhalten. Dazu müssen riesige Kältemaschinen gebaut werden.“

Eines Tages hatten wir eine neue Idee. Ein Körper verringert bei Abkühlung sein Volumen. Bei sehr tiefen Temperaturen ziehen sich die Stoffe besonders stark zusammen. Die Kälte wirkt auf sie genau so wie hoher Druck. Wir überlegten uns folgendes: Einen Stoff abzukühlen ist schwierig und kompliziert. Ist es nicht bequemer, die Abkühlung durch Kompression zu ersetzen?“

Und Leonid Fjodorowitsch erzählt von einem der allerersten Versuche.

„Im Behälter befindet sich Sauerstoff, ein farbloses Gas. Dann wird der Behälter einer Abkühlung unterworfen. Der stark unterkühlte Sauerstoff verwandelt sich in eine hellblaue Flüs-

sigkeit. Die Geschwindigkeit der chaotischen Bewegung der Moleküle verringert sich, das Gas erstarrt. Wenn das Gefäß geschüttelt wird, entsteht der Eindruck, als sei in ihm gefärbtes Wasser.“

Jahrelang verwendeten die Wissenschaftler für die Herstellung flüssigen Sauerstoffs und anderer Gase spezielle, komplizierte Geräte. Brachte man den Sauerstoff nun in eine Anlage, in der er „zusammengedrückt“ wurde, färbte er sich bei entsprechend hohem Druck blau, und er verwandelte sich in eine Flüssigkeit.

Die ersten Versuche zur Anwendung von hohem Druck anstelle tiefer Temperaturen zum Studium der Stoffeigenschaften bestätigten, welche großartigen Möglichkeiten diese neue Methode eröffnete. Professor Weretschagin leistete auf diesem Gebiet der Physik hoher Drücke eine unwahrscheinlich große Arbeit. Nacheinander untersuchte er mit der neuen Methode die unterschiedlichsten Stoffe: Flüssigkeiten, Gase, feste Körper. Von den Versuchen des jungen Physikers begann man bald in vielen Forschungsinstituten zu sprechen. Er wurde gebeten, die Ergebnisse seiner Untersuchungen in Moskau vorzutragen. Den Vortrag des Charkowers hörte auch das Akademiemitglied Selinski, und auch er begann, sich für die Arbeit mit „hohen Drücken“ zu begeistern. Professor Selinski, den man zu „den Klassikern“ der organischen Chemie zählt, begriff, daß es zum Studium der Stoffe notwendig war, physikalische und chemische Methoden zu verbinden. Er erkannte, daß die Einführung physikalischer Methoden der Untersuchung und Ein-

wirkung auf die Stoffe der Schlüssel für die weitere Entwicklung der Chemie in der Zukunft war. „Natürlich ist es durchaus nicht notwendig“, pflegte er zu sagen, „daß Chemiker Physiker und Physiker Chemiker werden. Aber sie sollen sich einander ergänzen und — aufeinander abgestimmt — den schweren Weg gehen, der in die Welt der Atome und Moleküle führt.“

Selinski gründete in dem von ihm geleiteten Institut für organische Chemie der Akademie der Wissenschaften der UdSSR ein Laboratorium für hohe Drücke, mit dessen Leitung er den jungen Wissenschaftler aus Charkow beauftragte. So wurde in der Sowjetunion das erste Laboratorium für hohe Drücke geschaffen, das dann im Jahre 1958 in das Institut für Physik der hohen Drücke der Akademie der Wissenschaften der UdSSR umgewandelt wurde.

**Heißes Eis.** Als die Wissenschaftler begannen, in die Tiefe der Stoffe einzudringen, die von allen Seiten unter hohem Druck standen, eröffnete sich ihnen eine Welt der erstaunlichsten Umwandlungen. Unter ihren Augen verschwanden bekannte Stoffe. Es entstanden neue, mit anderen Eigenschaften und anderem Charakter.

Die Forscher untersuchten gelben Phosphor, der sich in einen schwarzen Stoff mit neuen physikalischen Eigenschaften umwandelte. Dieser Stoff besaß einen metallischen Glanz und leitete gut den elektrischen Strom.

Die chemische Analyse bewies jedoch, daß der schwarze Stoff aus den gleichen Phosphoratomen besteht wie auch der gelbe. Im Ergebnis

der Komprimierung war also ein neuer Stoff, der schwarze Phosphor, entstanden.

Die Gelehrten setzten Eis unter Druck und stellten mit Erstaunen fest, daß das uns bekannte Eis nur eine der sieben seiner Abarten ist. Eine der Formen, die unter hohem Druck entstanden war, konnte sogar bei Kälte aufgetaut werden. Eine andere, die mit einem Druck von vierztausend Atmosphären komprimiert worden war, konnte auch in siedendem Wasser nicht geschmolzen werden.

So ist also der Ausdruck „kalt wie Eis“ nicht besonders geeignet, diesen Tatbestand wiederzugeben. Außer „kaltem“ Eis, so seltsam es klingen mag, existiert gleichwertig auch „heißes Eis“.

Erstaunt waren die Forscher jedoch, als sich unter hohem Druck graues Zinn — ein Halbleiter — in weißes Zinn — ein Metall — verwandelte. Als das gleiche auch mit Tellur geschah, wurde klar, daß diese Umwandlung nicht zufällig erfolgte, sondern daß es hier eine vorerst noch verborgene Gesetzmäßigkeit gab.

Es begann eine Serie von Überraschungen. Eine Reihe von Metallen benahm sich unter hohem Druck mehr als seltsam. Einige von ihnen wurden plötzlich spröde wie Glas, andere weich wie Gummi oder — umgekehrt — hart wie Diamant. Ein Stück Kalium zum Beispiel verringerte seine Abmessungen unter einem Druck von 100 000 Atmosphären fast um das Dreifache, Rubidium hingegen um das Doppelte.

Unter normalen Bedingungen ist Zäsimum Hunderte Male nachgiebiger als Diamant. Ein Kör-

per aus Zäsim kann seine Abmessungen um ungefähr das Dreihundertfache mehr verringern als dieser Kristall. Bei einem Druck von 30 000 Atmosphären jedoch wird Zäsim plötzlich so widerstandsfähig, daß es dem Diamanten nur noch wenig nachsteht. Seine Elastizität verringert sich um das Tausendfache.

Bei einem Druck von 100 000 Atmosphären läßt sich das Metall Barium am leichtesten komprimieren, es ist jedoch gleichfalls nur um etwa das Zehnfache weniger widerstandsfähig als Diamant.

Je höher der bei den Untersuchungen erreichte Druck war, desto stärker wurden die Stoffe zusammengedrückt, desto geringer wurde der Abstand der Atome in ihnen und desto größer wurde auch die Zahl der neuen, unerwarteten Erscheinungen.

**Weiße Zwerge.** Besonders rätselhaft erschien es, daß mit dem Anwachsen des Druckes das Verhalten der unterschiedlichsten Elemente einander immer ähnlicher wurde.

„Worin besteht die Ursache dieser ungewöhnlichen Erscheinung?“ fragten sich die Forscher. Auf welche Weise bewirkt der Druck eine Veränderung der Eigenschaften bei den unterschiedlichsten Stoffen? Wie macht er Halbleiter zu Metallen, weiche Metalle so widerstandsfähig, daß sie mit Diamanten verglichen werden können?

Um diese Rätsel zu lösen, durchleuchteten die Wissenschaftler die untersuchten Stoffe mit Rönt-

genstrahlen, so wie ein Arzt den Körper eines Kranken durchleuchtet.

Mit Hilfe der Röntgenstrahlen überzeugten sich die Forscher mit eigenen Augen von der ungewöhnlichen Kraft der Einwirkung des hohen Druckes. Er ist in der Lage, die Atome der Stoffe gewaltsam so einander zu nähern, sie so anzuordnen, daß jeder freie Raum zwischen ihnen verschwindet. Derartige Bedingungen existieren nur auf den Sternen. Auf der Erde erreichten die Wissenschaftler bisher keine derartigen. Bei kosmischen Drücken verwandeln sich die Moleküle in einen fest zusammengepreßten Klumpen Atome. Bei Drücken von Hunderten Millionen Atmosphären beginnt der Übergang in den ungewöhnlichen Zustand der Materie, in dem die Atome gleichsam „zerdrückt“ erscheinen.

Wer hörte noch nichts von den seltsamen „weißen Zwergen“, Sternen, deren gasförmige Materie eine außerordentlich hohe mittlere Dichte besitzt. Gewiß herrschen hier extreme physikalische Verhältnisse. Dadurch wurde die Sternmaterie so zusammengedrückt, daß die Mehrzahl der Atomkerne, entkleidet, befreit von ihren Elektronenhüllen, zu einem gigantischen Klumpen zusammengefügt wurden. Die Atomkerne müssen also sehr dicht gepackt sein. Ein Fingerhut eines solchen Stoffes besitzt eine so große Masse, daß ihn nicht einmal eine Lokomotive wegziehen könnte.

Die Wissenschaftler sind jedoch davon überzeugt, daß auch dies noch nicht die Grenze der Kompressibilität der Materie darstellt. Es ist möglich, die Materie so zusammenzupressen, daß auch

die Atomkerne deformiert werden. Die Kernteilchen — Neutronen und Protonen — zerdrücken die Hülle der Nachbar teilchen und dringen in diese ein, wobei deren Struktur zerstört oder verändert wird. Aus solcher „entblößten“ Materie müssen die „Hypersterne“ bestehen, wenn sie überhaupt existieren. In diesem Zustand der Materie sind sogar die noch nicht erforschten „Kernteilchen“ der Protonen und Neutronen entblößt und aneinandergepreßt. Ein Fingerhut eines derartigen Stoffes würde Dutzende Milliarden Tonnen wiegen.

Vor einigen Jahren entstand eine überraschende Hypothese in bezug auf das Verhalten der Materie von derartig stark komprimierten Sternen. Der wissenschaftliche Mitarbeiter des Physikalischen Instituts der Akademie der Wissenschaften der UdSSR D. Kirshnitz kam durch mathematische Berechnungen zu der Aussage, daß bei Temperaturen von einigen Millionen Grad Celsius in den Sternen der komprimierte Stoff, aus denen manche Sterne bestehen, durchaus kein glühendes Gas, sondern Kristall darstelle.

Diese Annahme erscheint einfach paradox. Bei den Temperaturen auf den Sternen bewegen sich nämlich die Atome mit riesigen Geschwindigkeiten. Ihre Geschwindigkeit beträgt etwa 100 km/sek (das ist zehnmal mehr als die Geschwindigkeit einer kosmischen Rakete) und gestattet es den Atomen nicht, an einer Stelle zu bleiben. Wie können sie sich also zu einem Kristallgitter zusammenfügen? Welche Kräfte können die Bewegung der Atome ordnen?

D. Kirshnitz bewies, nachdem er die gefundene

Gleichung analysiert hatte, daß der im Zentrum der Sterne herrschende extrem hohe Druck förmlich Wunder vollbringt. Bei sehr hoher Dichte der Stoffe entstehen Kräfte, die in der Lage sind, die Atome „anzuhalten“ sie in einem System anzugeordnen, das für kristalline Festkörper charakteristisch ist.

Gerade in den Mittelpunkten der „weißen Zwerge“ herrscht der für die Kristallisation erforderliche kolossale Druck, und deshalb besteht ihr glühendes Inneres, nach Meinung des Wissenschaftlers, aus Kristallen. Die Hypothese D. Kirshnitz' stellt die Wissenschaftler vor vorerst unlösbare Fragen über das eigenartige Verhalten der Materie unter der Einwirkung sehr hoher Drücke.

Dies ereignet sich bei „Grenzdrücken“, die in der Natur existieren. Aber auch bei den Drücken, die in Laboratorien erreicht werden können, entspricht das Verhalten der Stoffe nicht dem üblichen.

**Wie Soldaten in einer Ordnung.** Besonders verwunderte die Wissenschaftler das Verhalten kristalliner Festkörper, die unter hohem Druck standen. Wenn sich komprimiertes Gas in Flüssigkeit, komprimierte Flüssigkeit in feste Körper verwandelt, wie wirkt dann hoher Druck auf die Kristallgitter? Mehr als einmal stellten sich die Physiker diese Frage. Beim Durchleuchten eines kristallinen Körpers — Chlorrubidium — mit Röntgenstrahlen erblickten sie ein ungewöhnliches Bild.

Chlorrubidium ist eine der am weitesten ver-

breiteten anorganischen Verbindungen, die in ihren Eigenschaften an Kochsalz erinnert. Die Atome des Chlors und des Rubidiums sind in den Molekülen der Verbindung in einem Gitter angeordnet, das man mit einer Bienenwabe vergleichen kann.

Zeichnen Sie einen Kubus. An den Schnittpunkten seiner Kanten, in den Ecken und in der Mitte der Flächen zeichnen Sie jeweils kleine Kreise ein. Diese Plätze werden vom Rubidium besetzt. In der Mitte der Kanten und im Mittelpunkt des Kubus werden kleinere Kreise, die Chloratome, angeordnet. Diese Darstellung entspricht der Anordnung der Atome im Kristallgitter des Chlorrubidiums bei normalem Luftdruck. Die Kristallographen sagen in diesem Fall, die Atome des Chlors und des Rubidiums bilden ein kubisch-flächenzentriertes Gitter.

Stellen Sie sich nun vor, daß auf diesen winzigen Kubus ein Hammer fällt und ihn mit einer Kraft von 5000 Atmosphären zusammendrückt. Sie zweifeln natürlich nicht daran, daß dieser Kubus „erdrückt“, vernichtet wird, daß von ihm „nicht einmal ein nasser Fleck“ zurückbleibt! Jedoch...

...In vergangenen Jahrhunderten stellten die Heerführer, die sich auf einen Kampf vorbereiteten, ihre Armee in einer strengen Ordnung auf, die den Forderungen der Manövrier- und Kampffähigkeit am besten entsprach. Auch die Atome in Festkörpern besetzen — jedes für sich — einen bestimmten Platz, vergleichbar mit Soldaten in einer Schlachtordnung, und verleihen auf diese Weise dem Kristallgitter ein eigen-

artiges Muster. Dabei stellt sich heraus, daß dieser maschengitterähnliche Aufbau der Moleküle in einem festen Körper außergewöhnlich stabil ist. Auch bei sehr hohen Drücken laufen die Soldaten-Atome nicht auseinander. Unter dem Druck des „Gegners“ gruppieren sie sich diszipliniert um und beziehen eine noch „verteidigungsfähigere“ Position.

Genau das geschah auch mit den Atomen in den Molekülen des Chlorrubidiums, die wir einer solch harten Prüfung unterzogen. Unter dem ungeheuren Druck gruppierten sie sich schnell um. Sie gingen in eine Lage über, die vom Standpunkt des vorhandenen Volumens „ökonomischer“ war. Sie bildeten ein neues Gitter, auch ein kubisches, aber schon nicht mehr mit Atomen im Mittelpunkt jeder Fläche. Dafür tauchte im Zentrum eines jeden Kubus, der von acht Rubidiumatomen gebildet wurde, ein zusätzliches Rubidiumatom auf. Auch die Chloratome ordneten sich auf entsprechende Weise an. Diesen Typ der Struktur nennt man raumzentriertes Gitter. Es entsteht eine dichtere „Packung“. Die neue „Konstruktion“ erwies sich stabiler als die ursprüngliche.

**Das Ziel ist erreicht.** Die Röntgenstrahlen, mit deren Hilfe die Struktur des Kristallgitters des Chlorrubidiums und anderer Stoffe untersucht wurde, lüfteten auch das Geheimnis des Diamanten. Sie enthüllten schließlich, worin der Unterschied zwischen Diamant und Graphit besteht. Es zeigte sich, daß die Atome des Kohlenstoffs im Graphit Flächen in Form regelmäßiger Sechs-

ecke bilden. Sie erinnern an Betonplatten, mit denen die Startbahnen moderner Flugplätze belegt sind. Die Atome benachbarter Flächen sind nur schwach miteinander verbunden. Im Graphitgitter sind die Atome so angeordnet, daß nur jeweils drei den gleichen Abstand voneinander haben, das vierte ist weiter entfernt.

Im Diamanten bilden die Kohlenstoffatome ein nach allen Richtungen fest miteinander verbundenes Raumgitter, in dem alle Atome den gleichen Abstand voneinander haben.

Die Wissenschaftler überzeugten sich davon, daß durch die Umgruppierung der Kohlenstoffatome in eine stabilere Form ein Diamant entsteht.

Die „Diamantenjäger“ mußten also die Anordnung der Atome im Graphit so ändern, daß sie der eines Diamanten entsprach. Dazu war es erforderlich, die Atome im Kristallgitter des Graphits durch extrem hohen Druck in die dichte Lage zu zwingen, in der sie ein Diamantgitter bilden.

Die Suche nach künstlichen Diamanten wurde zielstrebig fortgesetzt. Der bekannte amerikanische Physiker P. W. Bridgman setzte Graphit einem sehr hohen Druck aus. Er erhöhte den Druck bis zu einem für irdische Verhältnisse grandiosen Wert — bis auf 400 000 Atmosphären. Da er diese Versuche jedoch bei Zimmertemperatur durchführte, lieferten sie nicht das gewünschte Ergebnis.

Der sowjetische Gelehrte O. I. Lejpunski wies durch theoretische Untersuchungen nach, daß man Graphit nur bei gleichzeitiger Einwirkung von hohem Druck und hoher Temperatur in

Diamanten umwandeln kann. Nach seinen Berechnungen darf die Temperatur nicht niedriger als 2000 Grad Kelvin und der Druck nicht geringer als 60 000 Atmosphären sein.

Daraufhin versuchten ausländische Wissenschaftler, auf diesem Wege Diamanten herzustellen. Graphit wurde in Autoklaven bis zu einer Temperatur von 3000 Grad Kelvin erhitzt, wobei ein Druck von 120 000 Atmosphären herrschte. Aber sie erreichten nichts. Nach ihrer Meinung dauerte der Versuch nicht lange genug, und der Graphit konnte sich nicht zu Diamanten umkristallisieren.

Je mehr sich die Gelehrten mit dem Problem der Herstellung künstlicher Diamanten beschäftigten, desto häufiger tauchten auch Gedanken auf, daß es unter Laborbedingungen niemals gelingen würde; sie zu erzeugen. Die Forschungen wurden jedoch fortgesetzt.

Besonders aktiv wurde die Suche nach einem Weg zur Herstellung künstlicher Diamanten in den USA betrieben. Dort gibt es keine natürlichen Diamantenfelder wie in der Sowjetunion, Südafrika, Indien und Brasilien. Der Bedarf der Industrie an Diamanten ist aber sehr groß.

Diamantenbohrer, Meißel, Fräser für das Bohren härtester Gesteine, Werkzeuge zum Abziehen von Schleifscheiben, Endstücke für Härtemeßgeräte und Geräte zur Bestimmung der Oberflächengüte, Sägen zum Schneiden von Granit und Marmor, Lager für Präzisionsgeräte und Uhren — das ist ein bei weitem nicht vollständiger Querschnitt der Anwendung von Diaman-

ten in der Technik. Aus diesem Grunde galt die Suche nach künstlichen Diamanten als eine der zentralen Aufgaben der Wissenschaft.

Mehr als vier Jahre lang arbeitete eine Gruppe von Wissenschaftlern der „General Electric Company“ an der Entwicklung einer Apparatur, mit der es möglich war, für 6 bis 8 Stunden einen Druck von über 100 000 Atmosphären und eine Temperatur von 2300 Grad Kelvin aufrechtzuerhalten. Unter der Einwirkung der drei Faktoren — Druck, Temperatur und Zeit — gelang es ihnen, künstliche Diamanten bis zu einem oder mehreren Millimetern Länge zu erhalten. Die Röntgenanalyse bestätigte die vollständige Identität dieser Diamanten mit den natürlichen.

Mehr als einhundertmal wurden die Versuche zur Herstellung künstlicher Diamanten wiederholt, und jedesmal mit positivem Ergebnis.

In der Sowjetunion wurde die erste Serie künstlicher Diamanten vom Ukrainischen Forschungsinstitut für synthetische superfeste Materialien und Werkzeuge als Geschenk an den XXII. Parteitag der KPdSU hergestellt. In den Laboratorien Bedingungen zu schaffen, die denen im Inneren der Erde ähnlich sind, ist ein großer Sieg des Menschen.

Synthetische Diamanten werden in der Industrie heute zu vielen Zwecken eingesetzt. Schleifscheiben aus synthetischen Diamanten liegen in bezug auf ihre Arbeitsfähigkeit 30 bis 60 Prozent über denen aus natürlichen Diamanten. Eine Höchstdruck-Anlage für die Diamantsynthese, bei der heute Diamanten „nach Maß“

gezüchtet werden können, wurde im Moskauer Lebedew-Institut errichtet. Sie hat die Ausmaße eines zehnstöckigen Gebäudes.

**Härter als Diamant.** Die ersten künstlichen Diamanten waren von gelber Farbe. Noch hatte sich die Aufregung über diese technische Leistung nicht gelegt, da fügten die Wissenschaftler den gelben Diamantkristallen noch schwarze und dunkelrote künstliche Kristalle hinzu. Das waren aber schon keine Diamanten mehr, sondern auf analogem Weg hergestellte Muster eines neuen Materials. Es hatte, genau wie Diamant, ein Kristallgitter in Form eines Kubus, bestand jedoch nicht aus Kohlenstoffatomen, sondern aus Atomen von Bor und Stickstoff. Das neue Material erhielt die Bezeichnung Borazon.

Borazon ist noch härter als Diamant. Es hinterläßt nicht nur Ritz an Diamanten, sondern ist auch gegenüber der Einwirkung von hohen Temperaturen widerstandsfähiger. Während sich Diamant schon bei etwa 1060 Grad Celsius an der Luft entzündet, behält Borazon auch bei 2500 Grad Celsius noch alle seine bemerkenswerten Eigenschaften bei. Borazon ist auch gegen Oxidation beständig.

Vorläufig sind die Borazonkristalle nicht größer als Sandkörner. Aber wahrscheinlich muß man nicht mehr lange warten, bis die Industrie neue, widerstandsfähige Meißel, Fräser und andere Schneidwerkzeuge aus künstlichen Borazonkristallen erhält.

Die Wissenschaftler nehmen an, daß Borazon und Diamant die ersten Glieder einer ganzen

Kette von Materialien mit ähnlichen Eigenschaften sind.

Die Herstellung künstlicher Materialien, die dem Borazon ähnlich sind, ist der größte Triumph der Methode der wissenschaftlichen Voraussicht. Dies eröffnet der technischen Entwicklung völlig neue Horizonte. Wenn die Menschen bisher nur die Materialien ausnutzten, die ihnen die Natur bot, oder auch die Natur nachahmten, indem sie in ihren Laboratorien auf künstlichem Wege schon bekannte Stoffe herstellten, so beschritten sie jetzt einen neuen Weg. Dieser Weg bestand in der Herstellung von bisher unbekannten Materialien mit vorbestimmten Eigenschaften, die durch die Anforderungen der Technik diktiert werden.

Man kann viele Gebiete der Technik nennen, wo der Fortschritt noch wegen des Fehlens geeigneter Materialien gehemmt wird. Der erste Schritt ist jedoch getan. Die Ausnutzung hoher Drücke half den Wissenschaftlern, sich in den physikalischen Eigenschaften der Stoffe und im Verhalten der kleinsten Bauteile, der Atome, aus denen sie bestehen, zu orientieren. Außerdem lernten sie es, die Eigenschaften der Stoffe vorzubestimmen, die aus den durch hohen Druck zerstörten Ausgangsmaterialien entstehen. Der Mensch ist jetzt in der Lage, diesen Prozeß bewußt zu lenken und die für den zukünftigen Werkstoff erforderlichen Eigenschaften festzulegen.

Ein neues Gebiet der Physik — die Physik der hohen und höchsten Drücke — entstand. Dieses neue Gebiet der Wissenschaft eröffnete der Tech-

nik ungeahnte Horizonte und gestattete es den Wissenschaftlern, mit der Natur zu wetteifern.

In der Sowjetunion entstand die Physik der hohen Drücke erst in den dreißiger Jahren, aber bis heute erreichte sie schon Ergebnisse, die in ihrer Bedeutung weit über die synthetische Herstellung künstlicher Mineralien und Edelsteine hinausgehen.

Die sowjetischen Wissenschaftler erkannten bei der Lösung des „Diamantenproblems“ eine völlig neue Perspektive. Sie hing mit der Lösung der äußerst komplizierten Aufgabe zusammen, einen Autoklaven zu schaffen, der bei einem Innendruck von 100 000 Atmosphären nicht zerstört wird und der sich bei einer Temperatur von mehreren tausend Grad Celsius nicht verbrennt.

Alle Versuche, einen solchen Apparat zu schaffen, waren lange Zeit ergebnislos.

Es vergingen einige Jahre, bis die Wissenschaftler eine Lösung fanden, die auf den ersten Blick seltsam erscheint, sich jedoch als die einzige richtige erwies.

**Ein Topf für Grütze.** Im Volksmund heißt es: „Um Grütze zu kochen, muß man einen Topf haben.“ Glas kann man zum Beispiel nicht in einem gewöhnlichen Ofen schmelzen. Hierzu baut man spezielle Anlagen aus Schamotte, die eine Temperatur bis zu 1500 Grad Celsius aushalten, bei der die eingebrachte Masse schmilzt.

Wie aber soll man einen „Ofen“ konstruieren, in dem sowohl eine riesige Temperatur als auch ein kolossaler Druck herrschen? Ohne derartige

„Öfen“ kann man jedoch keine Diamanten und auch keine anderen, ihm ähnlichen Werkstoffe herstellen.

Bei der Lösung dieses schwierigsten Problems half den Wissenschaftlern der Druck selbst.

Erinnern wir uns zunächst einmal an Glastränen. Das sind feine, in Form eines Kommas erstarrte Glaströpfchen, die sich irgendwann einmal großer Beliebtheit erfreuten. Sie sehen aus wie kleine Kaulquappen mit einem dünnen Schwanz. Es scheint, daß sie sofort zerbrechen, wenn man sie berührt. Aber nichts der gleichen geschieht. Man kann ihren verdickten Teil sogar mit einem Hammer anschlagen, und die Glasträne bleibt unversehrt.

Diese Gebilde haben allerdings auch eine „Achillesferse“, einen schwachen Punkt. Es genügt bloß, die Oberfläche einzuritzen oder den „Schwanz“ abzubrechen und die Glasträne zerstört im Nu. Das geschieht mit einer solchen Wucht, daß ein Wasserglas, in dem sich dieser Vorgang abspielt, explosionsartig zerspringt.

Was geht hier vor? Was sind das für seltsame Glasbomben? Das Geheimnis liegt in der Art der Herstellung dieser Glastränen. Die mittelalterlichen Glasbläser ließen heiße Tropfen flüssigen Glases in ein Faß mit Wasser fallen. Dadurch wurden die Glastränen sofort bei ihrer Entstehung „gehärtet“. Durch das schnelle Eintauchen in kaltes Wasser kühlte sich die Oberfläche des Glastropfens schneller ab als das Innere. Die Glasträne wurde wie durch einen Handschuh oder einen Panzer zusammengepreßt, wodurch sie so außerordentlich fest wurde. Nur

scharfe Gegenstände konnten die Oberfläche des Panzers beschädigen.

Wie Sie sehen, Glas bleibt Glas. Es erhielt durch die besondere „Behandlung“ nur eine ihm sonst nicht eigene Festigkeit.

**Den Gewohnheiten vertrauen!** Die Wissenschaftler, die mit hohen Drücken und hohen Temperaturen arbeiten wollten, verstanden, daß sie — wie ein Glasbläser — eine besondere Methode finden mußten. Sie mußten ein einfaches und kluges Verfahren zur Erhöhung der Festigkeit von Metallen finden.

Dazu war es erforderlich, Anlagen zu schaffen, in denen die gleichen Bedingungen wie im Erdinneren herrschten.

Auch die hochfesten Materialien, die von der Industrie hergestellt werden, können nicht den sehr hohen Beanspruchungen widerstehen, wenn an den Gefäßwänden Drücke von mehr als 30 000 Atmosphären auftreten.

Die Forscher dachten darüber nach, ob es denn richtig ist, den bisherigen Erfahrungen zu vertrauen und an gewohnten Begriffen festzuhalten?

Wir haben uns längst damit abgefunden, daß einige Werkstoffe spröde sind, andere sich hingegen leicht biegen lassen, elastisch sind. Marmor gilt von alters her als ein festes, aber sprödes Material, während Stahl fest und biesam ist. Diese Eigenschaften sind aber „nicht auf ewig“ mit diesen Materialien verbunden.

Eines Tages stellte das Akademiemitglied Professor A. F. Joffe, als er eine Platte aus Steinsalz

in Wasser tauchte, fest, daß er diese spröde Platte einfach biegen konnte. Das spröde Kristall hatte unerwartet plastische Eigenschaften angenommen.

Kurz vor dem zweiten Weltkrieg untersuchte der amerikanische Wissenschaftler Bridgman Grauguß, der sich in einer Flüssigkeit befand, die unter einem Druck von etwa 30 000 Atmosphären stand. Dabei wurde dieses spröde Material gleichfalls elastisch. Proben aus Beryllium, Tonerde und Kalkstein bogen sich bei derartigen Versuchen, ohne zu zerbrechen, und bewiesen eine bemerkenswerte Elastizität.

Versuche mit Stahl verblüfften die Wissenschaftler ebenfalls. Gewöhnlich wird ein Stahlstück zerstört, wenn man es unter normalem Atmosphärendruck um das Zwei- bis Dreifache dehnt. Bei einem Druck von 25 000 Atmosphären kann man das Stahlstück um das Dreihundertfache dehnen, ohne daß es zerreißt. Derartige Versuche wurden mit unterschiedlichen Stahlsorten durchgeführt. Die Resultate waren verschieden, ihr Charakter jedoch war gleich: Festigkeit und Elastizität erhöhten sich sehr.

So wurden jahrhundertealte Vorstellungen erschüttert.

**Zwei Seiten einer Medaille.** Es war während des zweiten Weltkrieges. Die amerikanischen Wissenschaftler, so berichtet Bridgman, waren damals vollständig in die Lösung militärischer Probleme eingeschaltet worden. Unter anderem ging es um das Problem, für Panzerwagen eine

bessere Panzerung zu schaffen. Die bisher von Bridgman durchgeführten Untersuchungen der Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften von Metallen boten dafür offensichtlich die entsprechenden Voraussetzungen.

So kehrte Bridgman wieder zu seinen Experimenten zurück, die er vor dem Krieg durchgeführt hatte.

Das Problem der Festigkeit beschäftigte auch viele andere Wissenschaftler.

Schon vor längerer Zeit war festgestellt worden, daß in der Praxis die Festigkeit von Metallen aus irgendeinem Grunde immer niedriger ist, als theoretisch vorausgesagt worden war. Die tatsächliche Zerreißfestigkeit war Hunderte, manchmal sogar Tausende Male geringer, als aus den Berechnungen zu erwarten war. Warum wohl unterschied sich die Theorie so stark von der Praxis? Womit erklärt sich dieser unbefriedigende Umstand? Die Theoretiker quälten mit diesen Fragen die Praktiker, die Praktiker machten den Theoretikern die Hölle heiß.

Eine Klärung dieses Problems schien nicht allzu schwierig zu sein. Man kann sagen, daß in normalen Metallen jedes hundertste Atom des Kristallgitters nicht an seinem Platz sitzt. Auf diese Weise wurde, wie es sich zeigte, die Festigkeit des Metalls „untergraben“. Ist das aber nicht seltsam? Kann denn ein Gebäude durch ein vom Wind herausgerissen Sandkörnchen oder durch einen herausgefallenen Ziegel zerstört werden?

Die Defekte in einem Metallstück sind jedoch nicht ein für allemal an ein und dieselbe Stelle

gebunden. Sie „wandern“, verändern ihre Lage und vereinigen sich willkürlich. Hierbei entstehen Mikrorisse und andere Störungen der Metallstruktur. Unter der Wirkung von Belastungen vergrößern sich diese Risse, so daß das Material unbrauchbar wird.

Winzige Defekte machen die Werkstoffe Dutzende Male empfindlicher, als nach den üblichen Berechnungen zu erwarten war.

„Aus diesem Grunde sind also auch die Panzerungen so wenig widerstandsfähig“, stellten die Wissenschaftler fest. Deshalb genügten auch die Materialeigenschaften moderner Geräte und Konstruktionen nicht immer den Anforderungen. Wo man nach den theoretischen Berechnungen mit einem Draht hätte auskommen können, mußte man ein Seil verwenden. Anstelle eines dünnen Bleches mußte eine dicke Platte angebracht werden, anstelle einer leichten Konstruktion wurden schwere Träger benötigt. Wieviel Metall wurde umsonst ausgegeben, wie wurde die Konstruktion moderner Werkzeugmaschinen „erschwert“! Auf diese Art und Weise beschleunigten die Erfordernisse des Krieges die Arbeiten der Wissenschaftler zur Untersuchung des Einflusses von Druck auf die Festigkeit von Stahl. Sie führten dann unter anderem ja auch zur Herstellung künstlicher Diamanten.

In der gleichen Zeit beschleunigten die Anforderungen des Bauwesens und der Industrie auch die Arbeiten der sowjetischen Gelehrten, die nicht nur zur Herstellung künstlicher Diamanten, sondern auch zu einem weitaus bedeutsameren Sieg führten.

**Die Standhaftigkeit der Brotkrume.** Nachdem der positive Einfluß der Flüssigkeiten auf die Eigenschaften der Metalle erkannt worden war, bauten die Wissenschaftler einen Apparat zur Erzeugung sehr hoher Drücke aus einfachen Werkstoffen und stellten ihn dann in eine Flüssigkeit, die ihrerseits wieder unter einem Druck von 20 000 bis 30 000 Atmosphären stand. Ist das nicht überraschend?

Damit die Wände eines sich neigenden Hauses nicht einstürzen, stützt man sie durch Balken. Auch die Wände des Gefäßes wurden von allen Seiten von der Flüssigkeit gleichsam gestützt. Von innen standen die Wände unter einem Druck von 100 000 Atmosphären und von außen unter einem Druck von 30 000 Atmosphären. Das heißt, daß sich die Wände faktisch unter einem Überdruck von 70 000 Atmosphären befanden. Trotzdem wurde das Gerät nicht zerstört.

Es zeigte sich, daß unter hohem Druck in den Metallen eine eigenartige Verdichtung erfolgt. Risse und Vertiefungen verschwinden, Poren ziehen sich zusammen, Unebenheiten werden geglättet. Unter diesem Bedingungen „gesundet“ das Metall. Mehr noch, das Wasser heilt nicht nur die inneren Wunden des Metalls. Es „beleckt“ auch Verletzungen und Risse an der Oberfläche, wodurch ebenfalls die Festigkeit des Materials merklich gesteigert wird. Damit kann man auch die Elastizität des Steinsalzes bei den Versuchen von Joffe und die erstaunlichen Resultate der Versuche Bridgmans erklären.

Auf diese Umstände richtete sich die besondere Aufmerksamkeit der sowjetischen Wissenschaft-

ler. Sie begriffen, daß die Verbesserung der Eigenschaften von Metallen in Flüssigkeiten nicht der Schlüssel zur Herstellung künstlicher Diamanten, sondern, und das ist viel wichtiger, auch der Schlüssel für eine „zweite Geburt“ der Metalle ist. Dies eröffnete der Technik ungeahnte Möglichkeiten.

Akademiemitglied Weretschagin berichtete darüber: „Als bekannt wurde, welche Veränderungen in Werkstoffen bei deren Eintauchen in Flüssigkeiten vorgehen, die sich unter hohem Druck befinden, begannen wir von neuartigen Möglichkeiten zu träumen. Was alles bedeutete diese Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Metallen und Legierungen für unsere Industrie? Ist es möglich, so überlegten wir, für Hüttenwerke Walzstraßen zu schaffen, die vollständig von Flüssigkeit umgeben sind, die sich unter hohem Druck befindet? Bei der Herstellung von Metallflächen auf solchen Walzstraßen würde man Metalle mit erhöhter Festigkeit erhalten, was wiederum heißt, daß sich die Möglichkeiten bei der Konstruktion von Maschinen, Geräten und Apparaten spürbar erweitern würden. Bei gleicher Festigkeit würde sich die Masse der Erzeugnisse verringern, würden riesige Mengen Metall eingespart.“

Das Kollektiv unseres Laboratoriums schuf eine derartige Anlage. Diese Walzstraße befindet sich in einem riesigen Behälter, der mit einer unter hohem Druck stehenden Flüssigkeit angefüllt ist. Die Anlage arbeitet natürlich automatisch. Der Operateur befindet sich in einem speziellen

Raum und verfolgt die Anzeigen der Kontrollinstrumente.“

Die sowjetischen Wissenschaftler beschlossen, nicht nur Metallbleche unter Wasser zu bearbeiten, sondern auch aus Metallen verschiedene superfeste Teile und Drähte herzustellen.

Wer schon einmal in einem Hüttenwerk war, hat wahrscheinlich auch gesehen, wie Draht gezogen wird. Mit viel Lärm dreht sich eine riesige Spule, von der der Draht abgewickelt und auf eine andere Spule aufgewickelt wird. Dies geschieht einige Male. Beim Umwickeln von einer Spule auf die andere durchläuft der Draht die Öffnung einer Ziehdüse — eines Metallkalibers. Die Ziehdüse hat auf der einen Seite eine größere, auf der anderen eine kleinere Öffnung. Indem der Draht durch den sich verengenden Kanal der Ziehdüse gezogen wird, erfährt er eine Streckung. Er wird dünner. Der Draht wird auf den gewünschten Durchmesser gebracht, indem er mehrere Ziehdüsen durchläuft. Dieses Ziehen ist eine der verbreitesten Methoden zur Herstellung von Draht. Bei diesem Prozeß wird der Draht so hart und fest, daß er leicht bricht. Damit er weicher, elastischer wird, erwärmt man ihn. Das ist aber nicht sehr sinnvoll, weil der Draht beim Erhitzen die Festigkeit wieder verliert, die ihm beim Ziehen verliehen wurde.

Im Institut für hohe Drücke wurde eine Anlage für die Herstellung von festen und gleichzeitig auch elastischen Drähten geschaffen. Bei dieser Anlage wird der Draht durch eine kleine Öffnung in eine Flüssigkeit ausgedrückt, die unter einem Druck von 8000 Atmosphären steht. Draht,

der auf diese Weise hergestellt wurde, muß nicht mehr gegläht werden — er ist auch so fest und elas-tisch. Er ist doppelt so fest wie Draht, der durch Ziehen hergestellt wurde. Mit dieser Anlage kann man nicht nur Draht, sondern nach einer rela-tiv einfachen Auswechselung von einzelnen Tei-ten auch Zahnräder, Rohre und Formteile er-zeugen.

Die Wissenschaftler haben das „Diamantenpro-blem“ scharfsinnig abgewandelt. Sie lernten es, gewöhnlichen Werkstoffen eine ihnen bisher nicht eigene hohe Festigkeit zu verleihen. Mit ihrer Hilfe erhielt man nicht nur künstliche Kristal-le, sondern es wurde auch eine neue Technologie geschaffen, die eine revolutionierende Wirkung auf die Technik ausübte.



AUF DEN SPUREN

DER ZINNPEST

**Wer ist der Übeltäter?** Einen seltsamen Fall, der sich vor über 150 Jahren in einem der Lager für Militäruniformen in Petersburg zutrug, könnte man vielleicht für den Anfang dieser Geschichte halten.

Obwohl das Magazin streng bewacht wurde, waren viele neue Soldatenmäntel, die Zinnknöpfe hatten, mit irgendeinem grauen, unangenehmen Pulver besudelt worden. Die Knöpfe waren auf rätselhafte Weise verschwunden.

Der Urheber dieses „Sabotageakts“ konnte nicht gefunden werden, obwohl sich nicht nur der Untersuchungsrichter, sondern auch die Petersburger Akademie der Wissenschaften mit dieser Frage befaßte. Der Missetat dieser Zinnpest war mehr als nur eine ihrer Sitzungen gewidmet. Das Geheimnis um die Zinnknöpfe ließ den ergrauten Wissenschaftlern lange Zeit keine Ruhe und untergrub ein wenig das Prestige der damaligen Wissenschaft.

Danach gab es noch einige bemerkenswerte, rätselhafte Ereignisse, die, wie es schien, in keinem Zusammenhang miteinander standen. Am Anfang unseres Jahrhunderts richteten die Expeditionsschiffe Robert Scotts ihren Kurs auf die Antarktis. Sie näherten sich mehr und mehr dem geheimnisvollen Erdteil. Als schließlich die Vorbereitungen zur Landung beginnen konnten, fand die Reise auf eine völlig unerwartete Weise eine Unterbrechung. Es geschah etwas, was noch niemals auf der Welt einem Schiff passiert war: Die Brennstoffbehälter zerfielen. Von den Fugen fiel das Lötzinn als Pulver ab. Die Kunde von diesem Ereignis erreichte auch die hohen wis-

senschaftlichen Gremien. Sie rief erbitterte Streitgespräche hervor. Eine Erklärung für die Ursache der rätselhaften Erscheinung wurde damals jedoch nicht gefunden.

Die Zinnpest verursachte eine Panik. Sie „spazierte“ durch die mit Zinnbarren gefüllten Lagerhallen der Zinngruben, und anstelle der bekannten Barren silberweiß glänzenden Metalls befanden sich in ihnen Haufen eines schmutzigen grauen, pulverförmigen Stoffes, und niemand wußte, woher das kam.

Die „Infektion“ war wählerisch. Sie besuchte nicht alle Lager, sondern beschränkte sich auf jene, die im Winter in aller Eile errichtet und längere Zeit großer Kälte ausgesetzt worden waren.

In allen diesen Fällen war das Opfer dieser seltsamen „Metamorphose“ das Zinn.

**Auf der Sonne entdeckt.** Im Jahre 1868 wurde die Existenz eines neuen chemischen Elements erstmalig nachgewiesen. Es hinterließ eine leuchtend gelbe Spur im Sonnenspektrum. Zwei Astronomen fanden sie zu gleicher Zeit — der Franzose Jules Janssen, der von Indien aus die Sonnenfinsternis jenes Jahres beobachtete, und der Engländer Norman Lockyer, der die gleiche Entdeckung in England machte.

Jeder von ihnen benachrichtigte sofort die Pariser Akademie der Wissenschaften über diese ungewöhnlichen Spuren. Und beide Briefe kamen am 25. Oktober 1868 an. Beide berichteten, unabhängig voneinander, über die Entdeckung eines auf der Sonne vorhandenen Elements.

Lockyer gab ihm den Namen der Sonne „Helium“. Das Helium wurde auf diese Weise in einer Entfernung von 150 Millionen Kilometern gefunden, und es vergingen fast 25 Jahre, bis der englische Wissenschaftler John William Rayleigh in seinem Laboratorium das Helium in einen Kolben eingeschlossen hatte. Der Gelehrte ahnte jedoch anfangs nicht, wer sein Gefangener war.

Rayleigh hatte es unternommen, das spezifische Gewicht der Gase zu messen, die den Chemikern damals bekannt waren. Es mußte dem Durcheinander ein Ende bereitet werden, das durch die groben Näherungsmessungen entstanden war. Rayleigh bestimmte sorgfältig die Werte für Wasserstoff, danach für Sauerstoff, und schließlich untersuchte er die Dichte des Stickstoffs, den er aus der Luft gewann. Die Masse der Gase bestimmte er sehr genau, bis zur vierten Stelle hinter dem Komma. Um sich von der Richtigkeit seiner Messungen zu überzeugen, prüfte Rayleigh dann noch einmal das spezifische Gewicht derselben Gase, die aber auf andere Art und Weise gewonnen worden waren.

So bestimmte er das spezifische Gewicht von Wasserstoff und Sauerstoff, ohne daß Abweichungen von seinen ersten Messungen auftraten. Dann machte er sich an Stickstoff. Aber dieses Mal gewann er ihn nicht aus der Luft, sondern aus Ammoniak.

Und hier geriet die Arbeit ins Stocken. Aus unbestimmten Gründen war ein Liter Stickstoff, der aus Ammoniak gewonnen wurde, leichter als ein Liter Stickstoff aus der atmosphärischen Luft. Der Unterschied war sehr gering. Er be-

trug 2 Milligramm. Trotzdem machte diese Differenz Rayleigh sehr zu schaffen. Sooft er auch die Wägungen wiederholte, ein Liter Stickstoff aus der atmosphärischen Luft unterschied sich stets durch diese geringfügige Differenz vom Stickstoff, der aus einer seiner Verbindungen stammte. Der „Luft-Stickstoff“ war am schwersten!

Rayleigh berichtete über diese Eigenart des Stickstoffs in einer wissenschaftlichen Zeitschrift. Sein Londoner Kollege, Professor William Ramsay, begann deshalb wie manche andere Forscher nach einer Erklärung für die anomale Masse des aus der Luft gewonnenen Stickstoffs zu suchen. Er kam schließlich zu der Schlußfolgerung: „Der aus der Luft entnommene Stickstoff enthält irgendein anderes, noch unbekanntes Gas.“ Aber welches?

Es vergingen Monate. Rayleigh und Ramsay unternahmen, jeder für sich, verschiedene komplizierte Versuche. Schließlich fanden die Wissenschaftler im „Luft-Stickstoff“ das Gas Argon. So wurde die weitverbreitete Auffassung erschüttert, daß die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft durch vielfältige Untersuchungen bereits bestens bekannt sei. Es dauerte dann auch gar nicht mehr lange, und Krypton wurde ebenfalls als „Beimischung“ nachgewiesen.

Im Jahre 1895 erfuhr Professor Ramsay von einem fast vergessenen Aufsatz eines Geologen, worin von einem „seltsamen“ Gas die Rede war, das von dem Uranmineral „Cleveit“ ausgeschieden werde, wenn man es in Schwefelsäure erwärme. Ramsay fand dann auch in eini-

gen Kubikzentimetern des abgesonderten Gases den „Sonnenstoff“ — das Helium.

Später sagte der Forscher einmal mit dem ihm eigenen Humor: „Die Entdeckung des Heliums erinnert mich an das Finden der Brille, die ein alter Professor auf dem Teppich, auf dem Tisch, unter den Zeitungen sucht, bis er merkt, daß er sie doch auf der Nase hat.“

So erfuhren die Menschen zum ersten Male vom Helium, dessen Aussagen später Licht in das Geheimnis der Zinnpest bringen sollten.

**Ein Gas mit Doppelgesicht.** Helium erwies sich als geruch- und farbloses Gas, das reaktionsträge ist. Es ist das leichteste Element aus der Gruppe der Edelgase. Seiner „Nützlichkeit“ verdankt es eine breite Palette von Anwendungen. Man füllte mit ihm lenkbare Luftschiffe, verwandte es auch in der Metallurgie und in der Medizin. Aber das Gas hat auch, auf den ersten Blick durch nichts Besonderes zu bemerken, ein zweites Gesicht.

Die Seltsamkeiten beginnen sofort, wenn man das Helium abkühlt. Die Wissenschaftler hatten sich daran gewöhnt, daß sich Gase beim Abkühlen mehr und mehr verdichten, sich schließlich in Flüssigkeiten und danach, während sie gefrieren, in einen festen, kristallinen Körper umwandeln. Es war bekannt, daß sich Sauerstoff bei minus 183 Grad Celsius verflüssigte, Stickstoff bei minus 196 Grad Celsius, Wasserstoff bei etwa minus 253 Grad Celsius. Aber Helium verhielt sich völlig anders.

Viele versuchten, es abzukühlen. Der kritische

Punkt des Sauerstoffs, der des Stickstoffs und der des Wasserstoffs waren bereits überschritten. Aber das Helium machte keinerlei Anstalten, sich zu verflüssigen. Es blieb beharrlich ein Gas.

Erst im Jahre 1908 gelang es dem niederländischen Physiker und Chemiker Heike Kamerlingh-Onnes, das — wie es schien — Unwahrscheinliche wahrzumachen: Er zwang das Helium, sich in eine Flüssigkeit zu verwandeln. Und das geschah bei einer Temperatur von minus 269 Grad Celsius! Eine solche niedrige Temperatur war noch nie künstlich erzeugt worden.

Bei einer solchen Temperatur sind alle anderen Gase bereits fest wie ein Stück Eis. Aber Helium verwandelte sich erst hier in eine klare Flüssigkeit, die an Selterswasser erinnert.

Helium kristallisierte sogar in der Nähe des absoluten Nullpunktes nicht — bei minus 273,15 Grad Celsius, der niedrigsten Temperatur, die in der Natur möglich ist. Damit forderte es die gesamte klassische Physik heraus, die proklamierte, daß keinerlei Bewegungen bei einer so tiefen Temperatur möglich seien. Alles muß erstarren! Aber warum blieb Helium flüssig? Das bedeutete doch, daß sich seine Atome bewegten, daß sie sich nicht dem „Gesetz der ewigen Ruhe“ unterordneten. Nur wenn man tiefgekühltes Helium einem Druck von mehr als 25 Atmosphären aussetzt, geht es in den festen Zustand über. Die Wissenschaftler hatten noch nicht aufgehört, sich über das seltsame Verhalten des Edelgases zu wundern, als eine neue Sensation ihre Aufmerksamkeit erregte. Kamerlingh-Onnes beschloß,

nachdem er Helium verflüssigt hatte, zu untersuchen, auf welche Weise sich bei tiefer Temperatur der elektrische Widerstand verschiedener Metalle verringert. Dabei entdeckte er im Jahre 1911, daß unter extrem tiefen Temperaturen (bei 4 Grad Kelvin) der elektrische Widerstand des Quecksilbers verschwindet. Man kann sich leicht vorstellen, wie argwöhnisch er auf das Gerät blickte, das diese Größe registrierte; wie er sich, während er seine Arbeit prüfte, vergewisserte, daß das Gerät unversehrt war und exakt das Verschwinden des elektrischen Widerstandes im Quecksilber feststellte. Bei weiteren Forschungen zeigte es sich, daß sich noch weitere neunzehn reine Metalle im Bereich tiefer Temperaturen auf die gleiche Art und Weise verhalten. Die Wissenschaftler gaben dieser Erscheinung die Bezeichnung „Supraleitfähigkeit“.

**Die weiße Krähe.** Sowohl die unverständliche Metamorphose des Zinns als auch das „unedle“ Verhalten eines der Edelgase, aber auch der „Verrat“ der neunzehn Metalle brachte die wissenschaftliche Welt in Aufruhr. Waren das zufällige Einzelerscheinungen, die durch nichts miteinander verbunden waren? Oder waren es äußere Anzeichen eines noch nicht verstandenen Prinzips? All das widersprach, wie es schien, den grundlegenden, unerschütterlichen Prinzipien der Wissenschaft. Die Forscher befanden sich in einer schwierigeren Situation als ein Knirps vor den Würfeln eines Baukastens, die in keiner Weise zu einem Bild zusammengesetzt werden können. Sie mußten die einzelnen, voneinander

isolierten Erscheinungen in einen Zusammenhang bringen. Aber ein Muster, eine Kopie des „Bildes“ hatten sie nicht. Indessen offenbarten alle Versuche mit Helium die dunklen Seiten seines Charakters. Es stellte sich heraus, daß das flüssige Helium unter den Bedingungen der tiefen Temperaturen begann, die Wärme eine Milliarde Mal schneller zu leiten als bei Zimmertemperatur. Es hatte den Anschein, als ob sich die Wärme in ihm ohne jeglichen Widerstand ausbreite. Während Helium bei 2,2 Grad Kelvin seine größte Dichte aufweist, dehnt es sich bei weiterer Abkühlung wieder aus.

Helium wurde eine Million Mal beweglicher und weniger zäh. Als die Forscher flüssiges Helium auf eine glatte, tiefgekühlte Oberfläche tropften, beobachteten sie mit Erstaunen, wie schnell es in ein feinstes Häutchen zerfloß. Führte man den gleichen Versuch mit einer beliebigen anderen Flüssigkeit durch, erblickte man nichts Vergleichbares. Der Tropfen erstarrte sofort.

Und das war noch nicht einmal das Erstaunlichste. Es war eine Sensation, als das flüssige Helium mit ungewöhnlicher Geschwindigkeit durch enge Kapillaren strömte und sogar an Gefäßwänden emporkroch. Das ist unmöglich! meinten manche. Wo war die Reibung, die Viskosität? Es gab keinen Strömungswiderstand. Je enger die Kapillaren waren, desto mehr schien die Viskosität zu schwinden.

Und noch mehr staunte man, als man die Meinung des sowjetischen Wissenschaftlers Pjotr Leondowitsch Kapiza hörte: Flüssiges Helium hat in der Nähe des absoluten Nullpunktes überhaupt

keine Viskosität. Es ist eine „superfluide“ Flüssigkeit.

So hörte die Welt im Jahre 1938 zum ersten Mal das seltsame Wort „Suprafluidität“. Die Suprafluidigkeit war entdeckt.

Die Schlußfolgerung P. L. Kapizas war das Ergebnis langer und genauer Experimente, die Bilanz vieler Überlegungen. Weshalb besitzt flüssiges Helium eine so ungewöhnlich große Wärmeleitfähigkeit. Wie gewöhnlich wird die Wärme von der Flüssigkeit übertragen. Ihre Schichten vermischen sich, und die weniger warmen erwärmen sich durch die wärmeren. So geht es immer in allen Flüssigkeiten vor sich. Aber in flüssigem Helium vollzieht sich das alles blitzschnell. Eine Schicht reibt sich jedoch immer auf der anderen, und das hätte eigentlich eine schnelle Vermischung stören müssen. Nur dann, wenn es keine Viskosität mehr gab, konnte diese Vermischung rasch und ungehindert erfolgen.

Und Kapiza unterstützte seine Vermutung durch ein glänzendes Experiment. Er ließ flüssiges Helium durch feinste Spalten und Kapillaren hindurchströmen. Eine gewöhnliche, viskose Flüssigkeit ginge durch diese Kapillaren sicherlich auch hindurch, brauchte dafür aber viele Milliarden Jahre. Helium jedoch, das bis auf 2 Grad über dem absoluten Nullpunkt abgekühlt war, sickerte buchstäblich vor den Augen durch das Röhrchen hindurch. Es gab keinen Reibungswiderstand. Flüssigkeit ohne Viskosität! Das war eine der erstaunlichsten Entdeckungen unseres Jahrhunderts. Wie würde sich eine solche Flüssigkeit zu einem fremden Körper verhalten, der

in sie eingetaucht wird? Würde sie ihm einen Widerstand entgegensetzen? Oder nicht?

Und der Experimentator beeilte sich, folgenden Versuch aufzubauen: Er ließ in das flüssige Helium ein sich bewegendes Pendel (die Kapizasche Spinne) hinein. Eine Flüssigkeit ohne Reibung, ohne Zähigkeit würde es nicht zum Halten bringen. Aber was war das? Das Unverständliche geschah: Das Pendel verlangsamte seine Bewegungen, hielt an... Das flüssige Helium verhielt sich wie die gewöhnlichste Flüssigkeit.

Wie sollte das zu verstehen sein? In dem einen Fall (mit den Kapillaren) besaß das flüssige Helium keine Viskosität, in dem anderen (mit dem Pendel) war die Zähigkeit vorhanden. Alles ging so vor sich, als gäbe es in ihr gleichzeitig zwei Flüssigkeiten.

Tatsächlich war das auch so. Der sowjetische Physiker, Nobelpreisträger Lew Dawidowitsch Landau beschrieb dieses Verhalten des flüssigen Heliums mit den Worten: „...ein Teil der Flüssigkeit wird sich wie eine normale viskose Flüssigkeit verhalten, die sich bei Bewegung „anklemmt“... Der übrige Teil der Masse wird sich jedoch wie eine Supraflüssigkeit verhalten, die keinerlei Viskosität aufweist.“

So zeigte das Helium, daß sich das uns bei normalen Temperaturen bekannte Leben der Stoffe im Gebiet tiefster Temperaturen völlig anderen Gesetzen unterordnet. Hier werden Beziehungen zwischen Atomen und Molekülen durch die Gesetze der Mikrowelt diktiert, die nicht der klassischen Physik unterstellt ist. Das bewiesen zwei weltbekannte sowjetische Physiker, Aka-

demiemitglied Professor Kapiza durch eine Reihe überzeugender Versuche und Akademiemitglied Professor Landau durch eine Serie logischer und mathematischer Systeme, die er im Jahre 1940 in Form der Theorie der Supraleitfähigkeit formulierte. Sie schenkten der Welt die Einsicht in das Geheimnis der Physik der tiefsten Temperaturen...

**Wohin führten die Spuren?** Seit dieser Zeit änderte sich die Lage in der Physik der tiefsten Temperaturen beträchtlich. Die Wissenschaftler erfuhren das Hauptsächliche — die Gesetze, die im „Reich der Kälte“ herrschen. Es blieb jetzt noch übrig, die „Normen“ des Verhaltens zu klären, die die Gesetze der Mikrowelt — die Quantengesetze — den verschiedenen Stoffen diktieren.

Etwa in den dreißiger Jahren verlagerte sich die „Hauptstadt der Kälte“ von Leiden in den Niederlanden, wo sich das erste Laboratorium befand, das zu jener Zeit extrem tiefe Temperaturen meisterte, in die Sowjetunion. Um Kapiza und Landau scharte sich eine Gruppe junger Wissenschaftler, deren Arbeiten auf diesem neuen Gebiet der Physik führend wurden. Und wenn sich früher die Forscher nur auf den grauen Spuren der Zinnpest und den „gelben Spuren“ des Heliums bewegten, trieb man nun die Forschungen gleichzeitig in viele Richtungen voran. Die Front der Untersuchungen erstreckt sich heute von Moskau bis Leningrad, von Charkow bis Tbilissi, von Suchumi bis Swerdlowsk. Der Ring um das Geheimnis der Kälte wurde

allmählich enger. Die Wissenschaftler beobachteten nicht mehr zufällige, unvorhergesehene Erscheinungen. Sie setzten alles daran, Ergebnisse zu erhalten, die durch die Theorie der Supraflüssigkeit vorausgesagt wurden.

Ein Teil von ihnen fuhr fort, sich auf den Spuren des Heliums zu bewegen.

Das Mitglied der Akademie der Wissenschaften der Georgischen SSR E. L. Andronikaschwili studierte die Eigenschaften des rotierenden Heliums. Helium blieb sich selbst treu. Es rotiert eben nicht so wie alle anderen Flüssigkeiten. Wenn man es stark im Kreise dreht, beginnt es bereits sich nicht mehr wie eine Flüssigkeit, sondern wie ein elastischer Körper zu verhalten. Die einzelnen Schichten werden zu elastischen Geflechten, die sich infolge der Rotation versteifen. Der Wissenschaftler suchte beharrlich nach einer Lösung dieses regelrechten Tricks der Flüssigkeit, der nur zu erklären ist, wenn man annimmt, daß die gesamte Masse ein bestimmtes Quantensystem bildet, eine Art „kondensierte Quantenflüssigkeit“.

Das korrespondierende Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR A. I. Schalnikow „färbte“ flüssiges Helium, um die Wechselwirkung zwischen dem normalen und dem supraflüssigen Teil zu studieren, mit Elektronen. Aus ihrer Bewegung hoffte er, die Beziehung dieser beiden besonderen Phasen des flüssigen Heliums zu beobachten.

Der Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften W. P. Peschkow entdeckte einen „zweiten Schall“ im Helium, der durch die

Theorie Landaus vorausgesagt worden war. Es erwies sich, daß außer dem gewöhnlichen Schall, der Verdichtungswellen darstellt, im supraflüssigen Helium nichtabklingende Temperaturwellen möglich sind, die „Schall zweiter Art“ genannt werden.

Was würden Sie sagen, wenn man entdeckte, daß sich das Wasser im Teekessel sogar bei stärkstem Feuer nicht erwärmt? Der Teekessel selbst ist glühend, aber das Wasser in ihm noch kalt. Etwas Ähnliches entdeckte P. L. Kapiza bereits in den Tagen der ersten Versuche mit dem Helium.

Diese seltsame Erscheinung zu erklären, gelang erst in jüngerer Zeit einem Schüler Professor Landaus, dem Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften I. M. Chalatnikow. Flüssiges Helium erwärmt sich überhaupt nicht so wie Wasser im Teekessel, sondern durch die Berührung mit den Gefäßwänden. Jene Temperaturwellen, die aus den Wänden des Gefäßes bei deren Erwärmung austreten, gelangen fast ungedämpft durch das unter 2,2 Grad Kelvin abgekühlte Helium, das aus einer normal- und einer superflüssigen Komponente besteht. Bei stärkerer Abkühlung verringert sich der Anteil der normalflüssigen Komponente des Heliums I immer mehr, so daß bei 1 Grad Kelvin in der Supraflüssigkeit praktisch 99 Prozent Helium II vorhanden sind.

So enthüllen die Wissenschaftler Schritt für Schritt die Geheimnisse des ungewöhnlichen Charakters des Heliums.

Viele interessante Erscheinungen auf dem Ge-

biet der tiefen Temperaturen sagten Moskauer Physiker, die Mitglieder der Akademie der Wissenschaften der UdSSR N. E. Aleksejewski, I. J. Pomerantschuk, die korrespondierenden Mitglieder der A.d.W. der UdSSR J. M. Lifschitz, A. A. Abrikossow und andere, voraus.

Sie bestätigten sie experimentell. Aber auch mit diesen Arbeiten sind die Untersuchungen aller merkwürdigen und vielseitigen Erscheinungen, die mit der Superfluidität des Heliums verbunden sind, noch lange nicht abgeschlossen.

**Eine Herausforderung der Physik.** Die Spur der neunzehn Metalle, die sich als Supraleiter erwiesen, führte die Wissenschaftler dorthin, wo hin auch die Spur des Heliums zeigte. Der Grund für die Suprafluidität des Heliums und die Supraleitfähigkeit der Metalle erwies sich als der gleiche.

Jeder hat schon einmal beobachtet, wie Wasser durch Sand hindurchsickert. So stellt sich auch die Bewegung der Elektronen dar, die zwischen den Atomen eines gewöhnlichen Metalls „hindurchsickern“. Die Elektronen werden durch die Atome gebremst, die sich selbst in einer Wärmebewegung befinden und fortwährend pendeln. Bei diesen Zusammenstößen verlieren die Elektronen ihre Energie, die ihnen von einer Spannungsquelle verliehen worden war.

Die Metallatome erhalten eine zusätzliche Energie, „schaukeln“ sich noch mehr „auf“ und stören noch stärker den Durchgang des elektrischen Stromes. Steigt die Temperatur, wird der Widerstand also größer. Das ist der Mechanismus

des elektrischen Widerstandes der Metalle. Für die Wissenschaftler war das nichts Neues — diese Erscheinung war schon lange bekannt. Aber bei sehr tiefen Temperaturen zeigten einige Metalle ein besonderes Verhalten. Die Fähigkeit der Metalle, dem elektrischen Strom Widerstand zu leisten, verschwindet. Was geht in ihnen vor?

Wird ein Metall abgekühlt, so nimmt die Wärmebewegung der Atome ab. Sie „stören“ den elektrischen Strom weniger. Bei sehr niedrigen Temperaturen „stören“ sie ihn fast überhaupt nicht.

Aber eine solche „Abkühlung“ des elektrischen Widerstandes kann nicht zur Supraleitfähigkeit führen. Die Wärmebewegung nimmt — entsprechend den Gesetzen der klassischen Physik — zusammen mit der Temperatur stetig ab und nähert sich Null beim absoluten Nullpunkt. Die Quantentheorie zeigte, daß sogar beim absoluten Nullpunkt die Bewegung innerhalb des Stoffes nicht ganz aufhört. Es bleibt die sogenannte Nullschwingung der Atome und Elementarteilchen bestehen. Die Metalle behalten einen konstanten „Restwiderstand“.

Ein Versuch mit supraleitenden Metallen zeigt, daß ihr Widerstand bei sinkender Temperatur anfangs wie bei allen Metallen kontinuierlich abfällt. Aber bei einer bestimmten Temperatur, die für das gegebene Metall charakteristisch ist, fällt der Widerstand plötzlich sprunghaft auf Null ab. Diese „Sprungtemperatur“ beträgt zum Beispiel für Blei 7,22 Grad Kelvin, für Aluminium 1,2 Grad und für Zinn 3,73 Grad.

Dabei geht eine eigenartige Erscheinung vor sich. In der Nähe des absoluten Nullpunktes, wenn die Wärmeschwingungen der Atome sehr geschwächt sind, beginnen die Elektronen sich eigenartig zu verhalten. Zwischen ihnen entsteht plötzlich eine Anziehungskraft! Die Elektronen, negativ geladene Teilchen, müßten sich eigentlich gegenseitig abstoßen. Jedoch sie streben plötzlich aufeinander zu. Sie verbinden sich bei weiterer Abkühlung immer stärker untereinander und vereinigen sich schließlich zu einem einmütigen, geordneten Kollektiv. Wie einzelne Wassertropfen sich zu einem mächtigen Strom vereinigen, so verschmelzen auch die einzelnen Elektronen im Metall in der Nähe des absoluten Nullpunktes zu einem Elektronenstrom, der frei im Inneren der Metalle ohne jeglichen Widerstand fließt. Es tritt der Zustand der Supraleitfähigkeit ein...

Eine anschauliche Darstellung dieses Phänomens zu geben, ist kaum möglich. Man muß es zu umschreiben versuchen.

Ein solcher Zustand der Elektronen ist labil. Erwärmst man das Metall erneut, so beginnen die Atome stärker zu schwingen und zerschlagen erneut die „Supraflüssigkeit“ in einzelne Tröpfchen — Elektronen, die sich dann mühsam den Weg durch das Metall bahnen und dabei ihre ganze Energie verausgaben...

Folglich hat das seltsame Verhalten des Heliums und der Metalle bei tiefen Temperaturen gemeinsame Ursachen. Die Erscheinungen der Suprfluidität und der Supraleitfähigkeit sind ihrem Mechanismus nach sehr ähnlich und ordnen sich

ein und denselben Quantengesetzen unter. Ebenso wie die „Supraflüssigkeit“ bei sehr tiefen Temperaturen ohne jegliche Reibung durch die feinsten Spalten und Kapillaren hindurchgeht, so geht auch die Elektronen-„Flüssigkeit“ im Metall — der elektrische Strom — ungehindert, reibungslos durch die Atome und Moleküle des Metalls hindurch. Noch im Jahre 1958 konstatierte der niederländische Physiker H. Kasimir mit Bedauern: „In der heutigen Zeit bleibt die Erklärung der Erscheinung der Supraleitfähigkeit eine Herausforderung an den theoretischen Physiker.“

Aber diese Herausforderung hatten die Physiker bereits angenommen. Über das Problem der Supraleitfähigkeit dachten viele Wissenschaftler nach. Zu ihnen gehörten die Amerikaner Bardeen, Cooper und Schrieffer. Die sowjetische Gruppe im Kampf mit dem Geheimnis der Supraleitfähigkeit leitete der Mathematiker, Akademiemitglied Nikolai Nikolajewitsch Bogoliubow.

Das ein halbes Jahrhundert alte Rätsel der Supraleitung erlebte schließlich seine letzten Stunden. Aber es gab sein Geheimnis nicht ohne letzten Kampf preis.

**Formeln in der Verteidigung.** Noch im Jahre 1950 entwarf der Engländer Frolich den Weg zur Lösung des Problems der Supraleitung. Er begriff einige Gründe für das eigentümliche Verhalten der Elektronen im Metall in der Nähe des absoluten Nullpunktes und stelle eine grund-

legende Gleichung auf, aber ... lösen konnte er sie nicht.

Seine Aufgabenstellung war richtig; jedoch angesichts der außerordentlichen mathematischen Schwierigkeiten wurde er mit der Aufgabe nicht fertig, obwohl er — man muß ihm Gerechtigkeit widerfahren lassen — eine Reihe richtiger Hypothesen zum Wesen der mathematischen Schwierigkeiten geäußert hatte.

Die Wissenschaftler standen vor der schwierigen Aufgabe, die Gleichung Frolichs zu enträtseln, weil sie versprach, die Vorstellungen über die Supraleitung aufzuklären. An dieser Aufgabe arbeiteten viele.

Eine wichtige physikalische Idee zum Wesen der mathematischen Schwierigkeiten in der Gleichung Frolichs äußerten australische Wissenschaftler. Danach begann sich eine Gruppe amerikanischer Wissenschaftler an dieser Arbeit zu beteiligen.

An der Aufgabe Frolichs bissen sich viele die Zähne aus.

Das erinnert etwas an die Geschichte mit der berühmten dreizehnten Aufgabe David Hilberts. Der bekannte deutsche Mathematiker löste viele Aufgaben, die man für unlösbar gehalten hatte, aber eine seiner eigenen, die die Unglückszahl 13 trug, konnte er nicht bewältigen. Viele Mathematiker versuchten sich an ihr, doch erfolglos. Die Aufgabe wurde im Jahr 1904 gestellt. Es verging ein halbes Jahrhundert, und die Lösung hatte sich noch nicht ergeben. Manche meinten schon im Scherz: „Der alte Hilbert hätte die Unglückszahl lieber auslassen sollen!“

Damit hätte er die Arbeit denen erleichtert, die eine Antwort auf seine Aufgabe Nr. 13 zu finden versuchen.“

Die „unglückliche“ Aufgabe löste schließlich Wladja Arnold, ein Student des vierten Studienjahres der Moskauer Universität, heute habilitierter Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften, ein Schüler des berühmten Mathematikers A. N. Kolmogorow.

Die Aufgabe Hilberts erschien rein abstrakt. Sie war einfach ein Kuriosum, eine mathematische „Nuß“, an der man sich „die Zähne aussäubern konnte“.

Ganz anders verhielt sich die Sache mit der Aufgabe der Supraleitung. Sie zu lösen, war eine wichtige Aufgabe nicht nur der Wissenschaft, sondern auch der Technik.

Deshalb wurde das Problem der Supraleitung bedeutend schneller gelöst als das oben erwähnte mathematische „Rätsel“, und zwar von Professor Nikolai Nikolajewitsch Bogoljubow und einer Gruppe von Mitarbeitern sowie von den amerikanischen Wissenschaftlern Cooper, Bardeen und Schrieffer. Sie entwickelten eine Theorie, die das komplizierte Verhalten der Elektronen in abgekühlten Metallen genau beschreibt.

Die Darstellung der Supraleitung zeigt sich der Darstellung der Suprafluidität sehr ähnlich. Deshalb benutzten die Wissenschaftler die Theorie der Suprafluidität als Fundament zum Aufbau der Theorie der Supraleitung. Für die Aufdeckung des Geheimnisses der Supraleitfähigkeit erhielt das Akademiemitglied Professor

N. N. Bogoljubow im Jahre 1958 den Lenin-preis.

**Die Enthüllung.** Und die Spur der Zinnpest? Verliert sie sich nicht im Wirrwarr vieler anderer, die noch unlängst die unberührten Weiten des „Reichs der Kälte“ durchzogen? Wenn man sie heraussucht und ihr folgt, führt sie nach Charkow, in eines der ältesten Laboratorien für Tieftemperaturen, das vom Mitglied der Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen SSR Professor B. G. Lasarew geleitet wird. Er und seine Mitarbeiter W. I. Chotkewitsch, I. A. Gindin und J. D. Starodubzew stießen ebenfalls in ihren Untersuchungen auf das alte Rätsel des Zinns.

Bei Untersuchungen des Verhaltens der Metalle bei tiefen Temperaturen stießen die Forscher auf interessante Erscheinungen. Was geschieht, wenn Wasser gefriert? Natürlich verwandelt es sich in Eis. Es kann sogar der Eindruck entstehen, daß beim weiteren Abkühlen das Eis auch Eis bleibt. Doch gleicht ein Eis dem anderen nicht. Den Wissenschaftlern sind schon fast ein Dutzend verschiedener Arten Eis bekannt, die sich durch ihre Struktur voneinander unterscheiden.

Die Forscher kühlten nicht nur Wasser ab, sondern auch solche Metalle wie Lithium, Natrium, Wismut, Beryllium, Quecksilber und Zäsim. Und sie erhielten etwas Überraschendes. Die Röntgenstrukturanalyse stellte in ihnen eine neue Struktur fest.

Was war geschehen? Zweifelsohne hatten es die Wissenschaftler immer mit den gleichen Aus-

gangsstoffen zu tun: Es waren ein und dieselben Metalle. Aber bei tiefen Temperaturen veränderte sich ihre Struktur genauso wie die des gewöhnlichen Wassers.

Die Charkower entdeckten auch das Geheimnis des Zinns. Es unterliegt ebenfalls einer Umwandlung, die man als Tieftemperaturpolymorphie bezeichnet. Bei einer bestimmten Temperatur verwandelt sich das weiße Zinn in ein graues, pulverförmiges Material, dem ähnlich, das man vor anderthalb Jahrhunderten in einem Petersburger Magazin entdeckte. Es war auch Zinn, aber es hatte seine Struktur verändert. Diese Umwandlung kann auch bei höheren Temperaturen erfolgen, wenn man das Metall „schreckt“. Schlag oder Erschütterung beschleunigt die Umwandlung. So ist klar, daß die Brennstoftanks auf den Expeditionsschiffen Robert Scotts aus demselben Grund zerfielen. Deshalb lötet man heute niemals fernmeldetechnische Geräte, die Erschütterungen ausgesetzt sind, mit reinem Zinn.

Dennoch gab das Zinn sein Geheimnis nicht vollständig preis. Während andere unterkühlte Metalle ihre metallischen Eigenschaften bewahren, verhält sich Zinn völlig unerwartet. Es verwandelt sich in einen Halbleiter... Das ist ein rätselhafter Fall.

Unerklärlich bleibt auch anderes. In den meisten Fällen wird die Struktur der abgekühlten Metalle „ökonomischer“, Atome und Moleküle werden dichter gepackt. Von diesem erstaunlichen Fakt konnten sich die Wissenschaftler mehrfach überzeugen. Tiefe Temperaturen wir-

ken auf Metalle ebenso wie hohe Drücke.

Dieser Regel unterliegen Lithium, Natrium und viele andere Metalle. Zinn aber nicht. Es benimmt sich genau umgekehrt. Die gleichmäßigen weißen Stäbchen quellen auf und verwandeln sich in eine lockere Substanz.

Warum verhält es sich gerade so? Warum versucht es bei Abkühlung und Deformierung mehr Raum einzunehmen? Eine Antwort auf diese Frage gibt es noch nicht.

Lohnt es sich überhaupt darüber nachzudenken? Möglicherweise ist das überhaupt nicht so wichtig?

Nicht doch, auch die Umwandlung des Zinns in einen Halbleiter und die Vergrößerung seines Volumens beim Abkühlen ist kein Zufall. Es ist zweifellos das Ergebnis irgendeiner unbekannten Gesetzmäßigkeit. Und die Gelehrten beschäftigen sich mit ihrer Aufklärung, weil das für das Beherrschende Verhaltens der Metalle, für das Schaffen von Materialien mit im voraus bestimmten Eigenschaften unerlässlich ist.

Bei der Durchführung der Versuche mit abgekühlten Metallen entdeckten die Charkower Wissenschaftler eine ganz kuriose Erscheinung, die selbst die erfahrensten Theoretiker anfangs nicht zu erklären wagten.

Die Versuchsresultate wiesen immer wieder darauf hin, daß ein Metallstück völlig andere Eigenschaften besitzen kann als das gleiche Metall in Filmform.

Auf den ersten Blick scheint so etwas einfach absurd zu sein, allen Erfahrungen im Umgang mit Metallen widersprechend. Dennoch...

**Nicht nach den Regeln.** Wie ein Gärtner die Sämlinge, so brachten die Physiker Wismut- und Beryllium-, Natrium- und Kaliumatome auf eine mit flüssigem Helium gekühlte Scheibe. Sie verrichteten dies ohne Hast, eines nach dem anderen. Nur so konnte man einen wirklich hauchdünnen Film erhalten.

Während der Untersuchungen der Eigenschaften eines Berylliumfilms erhielten die Wissenschaftler bei der Messung mit elektrischem Strom einen nicht vorhergesehenen Effekt. Der Film beugte sich dem Strom widerstandslos.

In unserer Zeit verbirgt sich hinter dieser Erscheinung schon nichts Rätselhaftes mehr. Sehr überrascht war Kamerlingh-Onnes am Anfang unseres Jahrhunderts, als er an Quecksilber, das auf die Temperatur des flüssigen Heliums abgekühlt worden war, das völlige Fehlen des elektrischen Widerstandes feststellte. Die Erscheinung der Supraleitung blieb einige Jahrzehnte unerklärlich. Doch inzwischen wurde mit den Arbeiten der sowjetischen und ausländischen Physiker eine tadellose Theorie dieser seltsamen Erscheinung entwickelt. Heute kennen die Wissenschaftler die metallischen Supraleiter, sie sagen ihre Eigenschaften voraus und bestimmen mögliche Wege für deren Anwendung in der Praxis.

Um so interessanter war der „Fehler“ mit dem Beryllium, das man zu den Metallen zählte, die unter keinen Umständen supraleitend sind. Wie sehr man auch das Beryllium abkühlte — das ihm charakteristische Kristallgitter verhinderte die Stromleitung.

Doch plötzlich gab ein Stück Berylliumfilm Rätsel auf. Freilich war den Wissenschaftlern bereits vorher ein Metall bekannt geworden, das, in einer dünnen Schicht angeordnet, entgegen den Regeln supraleitend wurde. Es war das Wismut. Jedoch galt es seit langem als einzige Ausnahme von der allgemeinen Regel.

Und jetzt auch Beryllium? Das wäre ja schon keine Ausnahme mehr. Dies bedeutet, daß sich Wismut und Beryllium, Vertreter einer Gruppe der chemischen Elemente, nicht den bekannten Normen unterwerfen.

Was zwingt sie, ihre Eigenschaften zu verändern? Besteht hier vielleicht eine Verbindung mit der Erscheinung der Polymorphie, die ja unter verschiedenen thermodynamischen Bedingungen eintritt und vielleicht auch in ähnlicher Weise Modifikationen bewirkt, wenn man die Metallatome zu einem hauchdünnen Film anordnet? Kann es dann geschehen, daß bei der Kondensation der Wismut- und Berylliumatome auf der abgekühlten Scheibe ein „künstliches“ Gitter gebildet wird, das zur Supraleitung neigt?

Auf die Berechtigung dieser Vermutungen deutete ein einfacher Versuch hin. Als die Forscher den Film mehrmals erwärmten und danach wieder abkühlten, verlor er nach und nach die Eigenschaften eines Supraleiters. Weil er dabei keiner Deformation unterlag, kehrten seine Atome möglicherweise allmählich in ihre gewöhnliche Anordnung zurück. Es bildete sich wieder eine Gitterstruktur, die nicht zur Supraleitung neigte.

Verbirgt sich nicht in dem, was die Charkower Wissenschaftler bemerkten, die Möglichkeit, die Eigenschaften von Metallen zielgerichtet zu verändern? Wenn ein und dasselbe Metall in Abhängigkeit davon, in welcher Gestalt es auftritt, verschiedene Eigenschaften hervorzubringen vermag, wenn man verschiedenartige Gitterstrukturen „erzwingen“ kann, dann bedeutet das für die Technik der Zukunft hervorragende Möglichkeiten zur Beherrschung der Stoffeigenschaften.

**Versöhnte Feinde.** Nicht nur Beryllium und Wismut, sondern auch Eisen zählte zu den Metallen, die absolut keine Supraleitfähigkeit zeigten. Noch vor nicht allzu langer Zeit konnte man unter keinen Bedingungen supraleitendes Eisen erhalten. Doch das konnte die Wissenschaftler nicht verwundern. Es hatte einen triftigen Grund. Supraleitfähigkeit und Magnetismus sind Erzfeinde. Sie vertragen sich einfach nicht. Magnetische Feldlinien „umgehen“ den Supraleiter. Davon überzeugt ein elementarer Versuch. Wenn sich in einem Magnetfeld ein Leiterstück im supraleitenden Zustand befindet, umgeht das Magnetfeld das Leiterstück wie eine Welle einen Baumstamm. Wenn man jedoch sehr beharrlich ist und, indem man die Stärke des Magnetfeldes vergrößert, danach strebt, es in das Innere des Leiters „hineinzuzwingen“, gelangt es wirklich dorthin, jedoch ... der Zustand der Supraleitung geht dabei im Leiter verloren. So erscheint die Unvereinbarkeit eines starken Magnetfeldes mit dem Zustand der Supraleitung

als eine der Besonderheiten tiefer Temperaturen.

Deshalb kann Eisen als magnetisches Material niemals supraleitend werden. Es sei denn, das Eisen wäre nicht magnetisch... Aber wo gäbe es nichtmagnetisches Eisen?

Es ist bekannt, daß Ferromagnetismus nur im Kristallverband eines Stoffes auftritt. Wird diese Gitterstruktur zerstört, verändert sich auch das Metall. Schon der französische Physiker und Chemiker Pierre Curie bemerkte: Eisen, das über eine bestimmte Temperatur erwärmt wird, verliert seine magnetischen Eigenschaften. Die Temperatur, bei der die ferromagnetischen Eigenschaften eines Körpers verschwinden, nennt man Curie-Punkt. Er liegt für Eisen bei 770 Grad Celsius, für Nickel bei 356 Grad Celsius. Aber nichtmagnetisches Eisen im kalten Zustand? Kann so etwas möglich sein? Ist supraleitendes Eisen nicht überhaupt paradox?

Und dennoch erhielten es die Wissenschaftler — der Natur zum Trotz. Es wurde im Leningrader physikalisch-technischen Institut der Akademie der Wissenschaften der UdSSR im Laboratorium für Tieftemperaturen gewonnen.

Anfangs ging es nicht ohne Zweifel ab. Das kann kaum möglich sein, sagten viele Wissenschaftler, als sie die Veröffentlichungen über die Darstellung supraleitenden Eisens lasen.

Längst haben sich die Menschen an die bemerkenswerte Eigenschaft des Eisens gewöhnt, ein Magnetfeld um sich zu bilden und sich ihm zu unterwerfen. Die Kompaßnadel, die den magnetischen Feldlinien der Erde folgt, zeigt mit der

einen Spitze nach Norden. So ähnelt auch jedes Eisenatom einer solchen Nadel, die sich in die magnetische Nordsüdrichtung einstellt.

Im Eisenkörper kann man auf größere Bereiche stoßen, in denen viele kleine „Magneten“ — die atomaren magnetischen Momente oder atomaren Dipole — in strenger Ordnung ausgerichtet sind. Auch sie richten sich nach dem erdmagnetischen Feld aus. Die Magnetkräfte der einheitlich orientierten Dipole fallen zusammen, und in diesem Bereich entsteht ein außerordentlich starkes Magnetfeld. In jedem Stück Eisen sind sie in Massen vorhanden. Es gibt Bereiche, in denen alle kleinen „Magnete“ einträchtig in eine ganz andere Richtung „schauen“.

Über den gesamten Eisenkörper sind solche Magnetbereiche mit verschiedenartiger Orientierung verteilt. Die Magnetfelder im Inneren der einzelnen Bereiche sind sehr stark. Da sie aber zueinander völlig unsystematisch orientiert sind, gleichen sie sich im Mittel aus, und es treten deshalb keine Feldlinien aus der Oberfläche des Metalls nach außen. Gerade deshalb wird das Eisenstück, so sehr man es auch abkühlt, nicht zum Supraleiter: Die Supraleitfähigkeit wird durch die starken Magnetfelder, die in den einzelnen Bereichen immer existieren, gestört.

Jedoch die theoretischen Physiker, denen es absolut nichts ausmacht, von dem Eisenstück in ihrer Phantasie nur ein Krümelchen, eine hauchdünne Schicht oder sogar bloß eine Handvoll Atome übrigzulassen und sie danach mit Hilfe von Formeln und Gleichungen zu „bieten“, um in ihr Wesen selbst einzudringen, ent-

lockten auch diesmal dem Eisen das Geheimnis seiner Supraleitfähigkeit.

Sie schlußfolgerten beispielsweise so: Die winzigen atomaren Dipole sind im Eisenstück nicht „starr“ angeordnet. Unter dem Einfluß verschiedener Kräfte verdrehen sie sich frei gegeneinander. Aber ausrichten kann man sie in einem Metallstück sehr schwer. Sie wirken gemeinsam als Kollektiv, als „Bereich“ den äußeren Einflüssen entgegen.

Aber wenn man die Atome vorsichtig, eins nach dem anderen, auf eine sehr kalte Oberfläche „klebt“? Dann sind sie doch fest an ihren Plätzen angefroren und können ihre schwachen Magnetfelder nicht einheitlich orientieren. Könnte man nicht auf diese Weise einige Atomschichten magnetfreien Eisens erhalten?

Um die Atome so an der Platte anzufrieren, daß sie sich nicht verdrehen können, muß man die Platte bis auf die Temperatur des flüssigen Heliums abkühlen. Wenn die Schicht dadurch unmagnetisch wird, kann sie bei dieser Temperatur auch bestimmt supraleitend werden.

Eine Hintertür zur „Versöhnung“ des Ferromagnetismus mit der Supraleitfähigkeit war gefunden. Es verblieb nur noch die Durchführung eines exakten und sehr komplizierten Experiments: Es galt supraleitendes Eisen nicht nur auf dem Papier, sondern auch im praktischen Versuch darzustellen. Den Leningrader Wissenschaftlern, die einen einzigartigen Versuchsaufbau entwickelten, glückte es. So konnte erstmalig supraleitendes Eisen hergestellt werden.

Die Versuche, das gleiche Resultat beim Abküh-

len einer dünnen Eisenschicht, die auf eine warme Platte aufgetragen wurde, zu erhalten, waren nicht von Erfolg gekrönt.

Sogar beim Auftragen des Films auf eine kalte Oberfläche zeigte sich, daß das hinreichend langsam und vorsichtig erfolgen muß. Bis jetzt ist es den Wissenschaftlern noch nicht gelungen, die physikalischen Eigenschaften der erhaltenen Filme genau zu erforschen. Wird die Temperatur erhöht, werden diese Filme zerstört, wobei sie sich schuppenförmig von der Glasplatte abheben. Vermutlich bildet sich wirklich beim Auftragen der Eisenatome auf eine kalte Oberfläche eine neue, bisher unbekannte Abart metallischen Eisens, in der keine Bereiche spontaner Magnetisierung entstehen, die das Auftreten des supraleitenden Zustandes verhindern.

Die Untersuchung von Metallfilmen hat nicht nur wissenschaftliches Interesse. Diese Filme können hervorragend als Werkstoff für die Entwicklung von Mikrominiaturbausteinen für kybernetische Maschinen dienen.

Stellen Sie sich einen winzigen Ring aus einem Supraleiterfilm vor. Ein im Film erregter Strom wird beliebig lange durch den Ring fließen, ohne seine Größe zu verändern, und auch im „Gedächtnis“ behalten, welches Signal das Erscheinen dieses Stroms hervorrief. Eine solche Speicherzelle ist entschieden kompakter, billiger und ökonomischer als die komplizierten Speicherelemente aus Elektronenröhren, Magnettrommeln und Kondensatoren, die in Rechenmaschinen verwendet werden. Diese Speicherzellen sind noch kleiner und vollkommener als Speicherele-

mente aus supraleitendem Draht (Kryotron). So wurde zum Beispiel berechnet, daß ein Speicherblock, der mit supraleitenden Filmringen bestückt ist und einen Raum von einem Kubikmillimeter einnimmt, neun Millionen Speicherzellen enthält. Und das ist der direkte Weg, unsere modernen Maschinen-Dinosaurier in Zwerge zu verwandeln.

Schon jetzt verwenden die Wissenschaftler für Speicherzwecke Dünnschichten aus Blei, Zinn und Niob. Dennoch wird eine breite Palette von Forschungen durchgeführt, um weitere Dünnschichten aus anderen Metallen und Legierungen zu finden, die noch zuverlässigere, billigere, in der Herstellung einfachere Speicherelemente ergeben.

**Der Vorteil der Kälte.** Der Weg auf den Spuren der Zinnpest führte nicht ins Leere. Er geleitete uns ins „Reich der Kälte“. Der Reisende begann sich umzuschauen, sich einzugewöhnen, sich mit neuen Zuständen bekanntzumachen und zu grübeln: Können sie nicht nützlich sein? Es zeigte sich, daß sie uns dienen und helfen können. Viele brennenden Probleme der Technik können sie lösen.

Sogar Luft, ganz gewöhnliche Luft wird im „Reich der Kälte“ zu etwas anderem. Sie überläßt uns freiwillig ihren Sauerstoff. Im Jahre 1946 arbeitete Kapiza ein sehr effektives und leicht beherrschbares Verfahren zur Gewinnung von Luftsauerstoff in großen Mengen — Dutzende von Tonnen in einer Stunde — aus. Heutzutage wird Sauerstoff für das Autogenschweißen, für

das Frischen der Hochöfen, beim Thomas- und Bessemerverfahren und zu vielen anderen Zwecken verwendet.

Auch der Wasserstoff, der sich bei tiefen Temperaturen verflüssigt, läßt sich durch Abkühlen viel leichter von seinem schweren Isotop, dem Deuterium, trennen. Unter normalen Bedingungen ist Deuterium sehr schwierig zu gewinnen, doch die Kernkraftwerke benötigen es in großen Mengen.

Viele chemische Verbindungen, die unter normalen Bedingungen sehr aktiv und gefährlich sind, kann man sicher aufbewahren, indem man sie in Stücke — Radikale — „zerlegt“ und danach „einfriert“. Wenn man sie wieder erwärmt, vereinigen sie sich aufs neue. Diese „konservierten“ Radikale verlieren ihre Eigenschaften genauso wenig wie tiefgefrorene Früchte ihre Vitamine.

Als die Kernphysik ein leichtes Teilchen benötigte, fiel die Wahl der Wissenschaftler auf den Kern des Heliumisotops. Im Unterschied zum gewöhnlichen Helium, das als „Helium-4“ bezeichnet wird, nennt man es „Helium-3“. Im natürlichen Helium ist es nur in so geringen Spuren enthalten, daß man 20 Tonnen normalen Heliums verarbeiten muß, um nur 1 Gramm des Isotops zu erhalten. Und dieser Prozeß ist langwierig und kompliziert. Deshalb ist „Helium-3“ das teuerste Gas der Welt.

Als die Charkower Wissenschaftler die Supraflüssigkeit des Heliums untersuchten, fanden sie ein leichteres Verfahren zur Gewinnung von „Helium-3“, das, so ergab es sich, nicht über die

Eigenschaft der Supraflüssigkeit verfügt. Und darauf setzten sie. Die Wissenschaftler kühlten Helium ab. Dabei geht es in den Zustand der Supraflüssigkeit über, jedoch sein Isotop nicht. Während die superfluide Phase „Helium-4“ durch ein hochfeines Filter am Boden des Gefäßes hindurchsickert, verbleibt das Isotop im Gefäß.

Die Ingenieure verwendeten tiefe Temperaturen zum Aufbau hochwirksamer Vakuumanlagen und ersetzten die bisherigen sperrigen Anordnungen. In ihnen nutzt man die Eigenschaft der Kohle aus, bei tiefen Temperaturen Sauerstoff in großen Mengen zu absorbieren. Aus den neuen Anlagen wird die „Luft“ nicht herausgepumpt, sondern ihre Atome „kleben“ einfach an abgekühlter Holzkohle an wie die Fliegen an einem Leimring. Mit der Kohle wird also auch die „Luft“ entfernt, so daß ein Vakuum entsteht.

Doch ganz besonders verwogene Träume bei den Wissenschaftlern weckte die Erscheinung der Supraleitfähigkeit. Wie sollte auch das Fehlen des elektrischen Widerstandes in Metallen nicht die Phantasie anregen? Könnte man doch Kabel aus Supraleitern von Stadt zu Stadt legen und gewaltige Leistungen ohne jeden Verlust übertragen. Oder es wäre möglich, zum Beispiel aus einem solchen Leiter eine Spule zu wickeln und Hochleistungsmagnetfelder zu erhalten. Und wie billig und bequem wäre das!

Stellen Sie sich vor, die Wissenschaftler würden den supraleitenden Zustand bei normaler Temperatur erhalten (wobei er noch starke Magnetfelder aushalten müßte), und sie würden supra-

leitende elektrische Leiter entwickeln. Wenn das gelänge, gäbe es in der Elektrotechnik eine Revolution. Die riesige Leistung des Kuibyschewer Wasserkraftwerkes könnte dann zum Beispiel nach Moskau oder zum Ural auf dünnen Telefondrähten übertragen werden. Die wertvolle elektrische Energie würde nicht unnütz für die Erwärmung der Leitungen vergeudet werden.

Bis jetzt jedoch ist das ein Traum. Der Zustand der Supraleitfähigkeit tritt nur bei sehr tiefen Temperaturen auf. Unter normalen Bedingungen verschwindet er, und es verschwinden auch alle seine Vorteile und zauberhaften Eigenschaften. Die Hochspannungsleitungen über Tausende Kilometer hinweg in Wannen mit flüssigem Helium zu verlegen, ist ein utopisches und lächerliches Vorhaben. Die Ausgaben für den Aufbau und den Betrieb eines solchen aufwendigen Systems würden den ganzen Gewinn der ökonomischen Energieübertragung verschlingen. Jedoch der Wunschtraum, überstarke Magneten zu schaffen, wurde inzwischen in die Wirklichkeit umgesetzt. Supraleitende Metalle gestatten es, phantastische Elektromagneten zu entwickeln, die gewaltige Magnetfelder ohne Verlust an Elektroenergie aufzubauen. In dieser Beziehung erinnern sie an Dauermagneten aus gehärtetem Stahl oder Speziallegierungen. Um ein Stahlstück zu magnetisieren, muß man es in das Innere einer Leiter- spule bringen und kurzzeitig durch die Spule Strom fließen lassen. Der Stahl wird magnetisiert und behält seine magnetischen Eigenschaften auch nach dem Abschalten des Stromes in der Wicklung.

Wenn ein kreisförmiger elektrischer Strom in einem massiven Supraleiterstück oder in einer kurzgeschlossenen Wicklung aus supraleitendem Draht erregt wird, wird dieser Strom, weil ihm kein elektrischer Widerstand entgegenwirkt, auch nach dem Abschalten der Spannungsquelle weiterfließen. Aber solange der Strom fließt, wirkt auch das ihn umgebende Magnetfeld. So arbeitet ein „Dauermagnet“ mit einem Supraleiter. Ein in einer supraleitenden Spule induzierter Strom würde noch nach Jahren unvermindert fließen. Er wirkt als Magnet, solange der Zustand der Supraleitung erhalten bleibt. Einige Legierungen bleiben noch bei Temperaturen von 20 Grad Kelvin supraleitend.

Wenn die Magnetwicklung aus Blei oder Zinn besteht, ist das erreichbare Magnetfeld nicht besonders stark. Mit einer Niobwicklung kann man ein zehnmal stärkeres Magnetfeld aufbauen. Die modernsten supraleitenden Magneten bestehen aus einer Verbindung von Niob mit Zinn oder Zirkonium. Sie bleibt bis minus 255 Grad Celsius supraleitend, und ein Magnet mit einer derartigen Spule in flüssigem Helium hat eine Feldstärke von Zehntausenden Oerstedt.

Nach der Meinung von P. L. Kapiza bergen die tiefen Temperaturen viele neue Erwartungen für die Hochfrequenztechnik in sich. Er führt ein einfaches und überzeugendes Beispiel an. Ein Funkempfänger mit speziellen Elementen, von denen einige bis auf die Temperatur von flüssigem Helium abgekühlt sind, entwickelt eine so hohe Empfindlichkeit, als hätte sich die Leistung der Sendestation verhundertfacht. Natür-

lich ist eine solche Veränderung wesentlich leichter durchzuführen, als die Leistung des Senders um ein Vielfaches zu vergrößern.

**Quasiteilchen.** Jedoch der beeindruckendste Fund im „Reich des absoluten Nullpunktes“ sind die Quasiteilchen. Was läßt sich über sie berichten? Über Protonen, Neutronen, Elektronen und andere Elementarteilchen zu erzählen, ist leicht. Sie gibt es, sie existieren. Jedes hat seine eigene Gestalt, seine Biographie, zu jedem gibt es eine Beschreibung, in der Aufenthaltsort und Wirkungsweise angegeben sind.

Aber das, was die Wissenschaftler mit dem rätselhaften Begriff „Quasiteilchen“ bezeichneten, sind keine Teilchen im gewöhnlichen Sinn. Es sind eher Erscheinungen, jedoch sehr spezifischer Art. Ja, es sind keine wirklichen Teilchen, doch sie üben auf die sie umgebende Mikrowelt einen Einfluß aus, als wären sie reale Teilchen. Ganz genau wie echte Teilchen beteiligen sie sich am „Leben“ der Mikrowelt, wirken gegeneinander und miteinander. Und gleichzeitig ... existieren sie nicht. Sie leben nur auf dem Papier. Doch ohne sie sind die Wissenschaftler nicht in der Lage, mit den komplizierten Gesetzen, die in der Mikrowelt herrschen, fertig zu werden. Um die modernen Theorien aufzubauen zu können, um die Wechselwirkungen zwischen Gitterschwingungen und Elektronen oder elektromagnetischer Strahlung zu erklären, mußten die Physiker neben den real existierenden Teilchen auch Quasiteilchen zu Hilfe nehmen.

Unter ihnen ist das Polaron eines der interessantesten. Dieses „Quasiteilchen“ mit erstaunlichen Eigenschaften wurde 1946 geboren. Es entstammt der Feder des Kiewer theoretischen Physikers Professor S. I. Pekar.

So wie dem Menschen an einem sonnigen Tag sein Schatten folgt, folgt dem Elektron im Innern eines Kristallgitters eine Polarisationswolke, die durch die elektrische Ladung des Elektrons hervorgerufen wird.

Während benachbarte Elektronen infolge der Abstoßung gleichnamiger Ladungen zurückgedrängt werden, werden die benachbarten „Atomrümpfe“ angezogen. Sie werden „polarisiert“, als würden sie mit den Elektronen durch unsichtbare Fäden verbunden. Doch auch an dem Elektron geht diese Verbindung mit den umgebenden Atomen nicht ohne Auswirkung vorüber: Es verhält sich, als würde es schwerer, seine Masse „vergrößert“ sich auf das Sechsfache.

Diese „Kombination“ eines Elektrons mit dem umgebenden Polarisationszustand nennt man Polaron. Es ist eigentlich eine Deformation.

In der Theorie zeigte sich eine solche Kombination eines Elektrons mit seiner Polarisationswolke vollkommen klar, begründet und real existent. Doch wie sie auffinden, mit welchen Mitteln ihre Existenz bestätigen?

Das Polaron wurde zum Objekt der konzentrierten Aufmerksamkeit der Physiker. Es erschienen Dutzende von Abhandlungen, die diesem Quasiteilchen gewidmet waren. Jedoch in der Mehrzahl waren es theoretische Überlegungen, weil es keinem Experimentalphysiker geglückt war,

das Polaron unmittelbar in der Bewegung zu beobachten.

Manchmal erschien dieses Unterfangen einfach unsinnig. Lohnt es sich überhaupt, diesem „Quasiteilchen“, diesem Phantom nachzujagen?

Doch die Leningrader Wissenschaftler zeigten sich hartnäckig. Sie beschlossen, von den schon bekannten Dingen auszugehen. Fakt ist, daß die Masse des Polarons sechsmal größer erscheint als die Masse des gewöhnlichen Elektrons. Wenn es möglich wäre, das eine und das andere unmittelbar zu wägen, wäre damit der beste Beweis für die Richtigkeit der Theorie erbracht. Doch eine „Wolke“ läßt sich nicht wägen. Deshalb beschlossen die Physiker, einen Versuch durchzuführen, bei dem die Masse des Elektrons und des Polarons auf indirektem Wege in Erscheinung tritt. Bald danach wurde ein solcher Versuch auch realisiert.

Wenn man Metallkörnchen in ein starkes Magnetfeld bringt und mit Hochfrequenzwellen auf sie einwirkt, beginnen sich die Elektronen im Metall auf Kreisbahnen zu bewegen, wobei sie die Energie für diese Bewegung den Hochfrequenzwellen entziehen. Die Elektronen werden mit einem bestimmten Rhythmus im Kreis „tanzen“. Aber wenn anstelle der Elektronen Polaronen auftreten? Sie sind schwerer und werden offensichtlich auf andere Weise „tanzen“.

Mit diesem Versuch wollten die Wissenschaftler das Polaron „auf die Probe stellen“. Doch bevor man das Experiment in Angriff nehmen konnte, mußte man erst einen störenden Umstand beseitigen: die Wärmebewegung der Atome im Kri-

stall, weil sie ja die Polarisationswolke, die das Elektron begleitet, zerstört. Die Tieftemperaturtechnik half, das Hindernis wegzuräumen. Nachdem die Materialprobe stark abgekühlt war, begann der Versuch, bei dem erstmalig die unverkennbare Erscheinung sich bewegender Polaronen aufgespürt werden sollte.

**Man muß es beweisen können.** Der Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften N. M. Rejnow ging in Begleitung junger Physiker, des Theoretikers A. I. Gubanow und des Experimentators N. I. Kriwko, auf die Jagd nach dem Polaron. Als „Jagdgelände“ wählten sie den gut bekannten Kupferoxydulkristall und als Waffen die gewaltige Technik der Dezimeterwellen und riesiger Magnetfelder. Um die Jagd zu erleichtern, beschlossen sie, diese unter extremen „arktischen“ Bedingungen durchzuführen. Sie versenkten den Kupferoxydulkristall in flüssiges Helium. Man kann sich vorstellen, mit welcher Erregung die Wissenschaftler den Versuch in Angriff nahmen. Der Kupferoxydulkristall befand sich in einem speziellen Gerät, einem Kryostat, der flüssiges Helium enthält. Die Bewegungen der Atome im Kristall wurden schwächer, sie „froren ein“. Kriwko schaltete den Hochfrequenzgenerator ein. Die hochfrequenten Wellen durchdrangen den Kristall mühe-los, ohne von ihm geschwächt zu werden. Danach schaltete er den Strom für die Wicklung des gewaltigen Elektromagneten ein und vergrößerte langsam seine Stärke. Allmählich wuchs

das Magnetfeld auf 1000, 2000, 3000 Oerstedt.

Aufmerksam verfolgten die Wissenschaftler die Geräte, darauf gefaßt, den Moment einzufangen, in dem die hochfrequente Strahlung plötzlich stark nachließ. Das bedeutete, daß die Elektronen im Kristall zu tanzen begannen und die für die Bewegung benötigte Energie den Hochfrequenzwellen entzogen. Die Magnetfeldstärke erreichte bereits 3500 Oerstedt, und noch war keine Absorption der Hochfrequenzwellen im Kristall zu beobachten. Ein uneingeweihter Beobachter, der nur die durch die Elektronenbewegung ausgelöste Absorption kennt, weiß, daß sie etwa bei 2500 Oerstedt zu beobachten sein muß. Er wäre sicherlich längst in Erregung geraten. Die Wissenschaftler verringerten den Strom in der Wicklung des Elektromagneten wieder, und das Magnetfeld sank auf Null ab. Es war nur ein Kontrollversuch: Bei einer Temperatur von 4,2 Grad über dem absoluten Nullpunkt gibt es im Kupferoxydulkristall zu wenig freie Elektronen, als daß man eine Energieabsorption durch sie beobachten, ihren „Tanz“ bemerken könnte.

Die Wissenschaftler schalteten eine starke Lampe ein und richteten deren Licht mit einem Linsensystem durch die gläsernen Gefäßwände und durch das flüssige Helium auf den Kupferoxydulkristall. Die Lichtstrahlen schlugen aus den Atomen des Kristalls Elektronen heraus, die in eine ungeordnete Bewegung gerieten. Die Theorie besagte, daß dabei auch die geheimnisvollen Polaronen entstehen mußten.

Die Gespräche verstummt. Alle waren gespannt. Aufs neue wuchs der Strom in der Wicklung des Elektromagneten allmählich... Als das Feld 2350 Oerstedt erreichte, zeigten die Meßgeräte plötzlich eine starke Absorption der Hochfrequenzstrahlen an. Gubanow machte schnell eine Überschlagsrechnung. Ihm war klar, daß dafür die vom Licht herausgeschlagenen Elektronen verantwortlich waren, die zu „tanzen“ begannen.

Der Strom in der Wicklung des Elektromagneten wuchs weiter. Jetzt wurden auch die Wissenschaftler unruhig. Der Zeiger des Amperemeters, der den Strom anzeigte, bewegte sich langsam nach rechts. Der Strom wurde größer und größer. Jedoch der Zeiger des Meßgerätes, das die Absorption der Hochfrequenzwellen anzeigte, stand unbeweglich, die Absorption hatte aufgehört.

Langsam verging die Zeit, langsam wuchs das Magnetfeld — 4000 Oerstedt, 5000... 10 000. Warum zeigte sich keine Absorption? 15 000 Oerstedt... 16 000... 17... 18... 19... Achtung! Hier, so sagte die Theorie, war sie zu erwarten. Gab es im Kupferoxydul Polaronen, dann mußte die Absorption jetzt eintreten. 19 500 Oerstedt... Das Meßgerät zeigte etwas an! Die Absorption der Hochfrequenzwellen wuchs merklich an, vergrößerte sich ständig und fiel, nachdem sie bei 19 600 Oerstedt ein Maximum erreicht hatte, wieder ab.

So wurde erstmalig ein bewegliches Polaron mit einer Masse, die sechsmal größer als die des Elektrons ist, entdeckt. Doch die Theorie for-

derte die Fortsetzung des Versuches. Und wirklich wurde bei 21 600 Oerstedt noch ein Absorptionsmaximum festgestellt, das einem Polaron entspricht, dessen Masse nicht sechsmal, sondern 6,6mal größer als die Elektronenmasse ist.

Obwohl die Wissenschaftler die Stromstärke noch weiter vergrößerten und eine Magnetfeldstärke gewaltiger Größe, 30 000 Oerstedt, erreichten, wurden keine weiteren Absorptionsmaxima beobachtet.

Die zwei Absorptionsmaxima, die während des Versuches zu beobachten waren, wurden durch zwei Arten von Polaronen hervorgerufen. Eines von ihnen wurde durch Elektronen gebildet, das andere, wenn es auch paradox erscheint, durch das Fehlen von Elektronen oder, wie es die Wissenschaftler nennen, durch Fehlstellen. In Übereinstimmung mit der Vorhersage der Theorie unterschieden sich die Massen der beiden Polaronenarten etwas voneinander.

Auf diese Weise wurde im Physikalisch-technischen Institut in Leningrad erstmals ein sich bewegendes Polaron beobachtet, ein Teilchen, das eigentlich nur eine Erscheinung ist und sich bislang vor den Experimentalphysikern verborgen gehalten hatte. Schon vorher hatte man mit einem etwas anderen Verfahren, jedoch auch mit Hilfe eines genauen und komplizierten Experimentes unter den Bedingungen tiefer Temperaturen die Eigenschaften eines anderen, nicht weniger eigenartigen Quasiteilchens untersucht.

Es ist vom Exciton die Rede, dessen Eigenschaf-

ten der sowjetische Physiker Jakow Iljitsch Frenkel voraussagte. Er vermutete und belegte durch theoretische Berechnungen, daß die Atome und Ionen im Kristallgitter, wenn genügend energiereiche Lichtquanten eingestrahlt werden, in einigen Fällen in einen besonderen, angeregten Zustand übergehen. Wenn ein Atom Licht absorbiert hat, kann es, ähnlich wie ein geladenes Gewehr oder ein gespannter Bogen, die überschüssige Energie lange Zeit speichern. Mehr noch, der Atomaufbau, der die Gitterstruktur bildet, kann, ähnlich wie bei einer Eimerkette, diese Energie von einem zum anderen weiterreichen. Genauso wird im Inneren eines Kristalls der überschüssige Energievorrat von einem Gitterpunkt zum anderen übergeben. Das erfolgt in Form von aneinandergebundenen Paaren von Elektronen und Löchern, die sich als Ganzes durch den Kristall bewegen. Man nennt dieses Quasiteilchen Exciton.

Wenngleich die Wissenschaftler dem Polaron fast 15 Jahre hinterherjagten, kostete ihnen die experimentelle Suche nach dem Exciton nicht viel weniger Zeit. Auch hier war der Stein des Anstoßes erstens der Fakt, daß es unmöglich war, das Exciton auf direktem Wege zu „erkennen“, und zum zweiten störte wiederum die Wärmebewegung der Atome im Kristall, die den normalen Verlauf der Übergabe des Excitons von Atom zu Atom behinderte, ihn komplizierte und die Untersuchung der Einzelheiten erschwerte.

Erst mit einem komplizierten Experiment unter den Bedingungen tiefster Temperaturen, wenn

die Atome „gefrieren“, bewiesen die Wissenschaftler, daß auch das Exciton ein realer Zustand des Atoms ist.

**Keine Ruhe.** Die Forscher, die dem Geheimnis der Kälte nachspüren, müssen nicht zum Nordpol oder in die Antarktis reisen. Dort würden sie ja auch nur wenige Stufen auf der Temperaturskala hinabklettern. Um das Wesen der Kälte zu erforschen, lernten die Wissenschaftler zu allererst, tiefe Temperaturen in den Laboratorien zu erzeugen. Heutzutage vermögen die Forscher nicht nur die niedrigsten Temperaturen, die in der Natur auf der Erde anzutreffen sind (minus 85,7 Grad Celsius), künstlich darzustellen, sondern sie stießen inzwischen bis an eine Grenze vor, die nur ein tausendstel Grad vom absoluten Nullpunkt entfernt ist. .

Kann man den absoluten Nullpunkt überhaupt erreichen? Kann man den Stoffen ihre gesamte Wärmeenergie entziehen? Die Wissenschaft verneint diese Frage. Dem absoluten Nullpunkt der Temperatur kann man nur beliebig nahekommen, doch ihn zu erreichen ist unmöglich. Der Grund dafür ist die der Materie eigene, unabdingbare innere Bewegung. Diese innere Bewegung ist mit dem inneren Energievorrat verbunden, den man nicht vernichten kann, ohne den Aufbau der Moleküle, Atome und kleinsten Elementarteilchen zu zerstören. Selbst im völlig leeren Raum ist immer Energie elektromagnetischer Felder vorhanden, die sich nicht beseitigen läßt. Infolge der ständigen Wechselwirkung, die zwischen Teilchen und Feldern und zwischen den

einzelnen Teilchen besteht, werden diese Energievorräte in Wärmeenergie überführt, so daß das Erreichen einer absoluten Unbeweglichkeit und des absoluten Temperaturnullpunktes verhindert wird.

Zum absoluten Nullpunkt zu gelangen ist unmöglich. Doch auf dem Wege zu ihm begegneten die Wissenschaftler einer ganzen Reihe unerwarteter, verblüffender Fakten. Zweifellos liegen noch viele bedeutende Entdeckungen in den leider nur wenig erforschten Weiten dieses Gebietes.

In den letzten Jahrzehnten fiel nicht nur eine Festung im Reich der tiefen Temperaturen, das etwa bei der normalen Siedetemperatur des flüssigen Sauerstoffs, bei minus 183 Grad Celsius oder 90 Grad Kelvin beginnt. Ein ganzes Wissenschaftsgebiet, die Tieftemperaturphysik, wurde gebildet und aufgeboten, um Neuland zu erobern.

In den letzten Jahren wurden wir Zeugen der Geburt eines weiteren Gebietes, der Physik der tiefsten Temperaturen. So nennen die Wissenschaftler den Bereich, der in der Nähe des absoluten Nullpunktes liegt.

Viele Laboratorien der Sowjetunion fühlen sich in der Nähe des „absoluten Kältepols“ schon wie zu Hause. Hier lassen sich besonders bequem Feinheiten der Kernstruktur, Kräfte, die zur Vereinigung der Atome in bizarren Kristallgitteraufbauten führen, und viele Erscheinungen untersuchen, was sonst durch die zu hohe Wärmeenergie in den Stoffen sehr erschwert ist.

Ist eine neue Erscheinung entdeckt, dann beein-

len sich die Experimentatoren häufig nicht mit den Schlußfolgerungen, sondern sie warten ungeduldig darauf, was die Theorie dazu sagt. Manchmal ist es auch anders. Die Theorie sagt einen neuen Effekt, eine neue Erscheinung, irgendeine unerwartete Eigenschaft eines bekannten Stoffes voraus. Doch das Experiment ist derart kompliziert, daß viel Zeit vergeht, bis die Formeln durch den Versuch bestätigt werden.

Eine komplizierte Theorie und die höchste Präzision der Experimentiertechnik sind die Besonderheiten dieses Gebietes der Physik. Es bereichert nicht nur unsere Erkenntnisse über die Natur der Stoffe, sondern zeigt auch praktische Ergebnisse.

Die Jagd nach den Geheimnissen tiefer und tiefster Temperaturen ist in vollem Gange. Noch sind nicht alle Rätsel bis zum Ende gelöst, viele sind noch Streitobjekte der Spezialisten, doch versprechen alle, dem Menschen zum Nutzen zu gereichen.

**OHNE DEN „DÄMON“**

**Unterscheiden sich die Moleküle?** Welche absurdie Frage, werden Sie denken. Natürlich unterscheiden sich Wassermoleküle von denen des Alkohols. Obwohl man mit bloßem Auge Moleküle nicht unterscheiden kann, lassen sich Wasser und Alkohol auf vielfältige Art und Weise auseinanderhalten.

Unterscheiden sich aber zwei Moleküle ein und desselben Stoffes voneinander, zum Beispiel zwei Wassermoleküle? Auch diese Frage treibt uns noch nicht in die Enge.

„Es kann sein“, sagen Sie, „außer gewöhnlichem Wasser  $H_2O$  gibt es noch schweres Wasser  $D_2O$ , und ihre Moleküle unterscheiden sich nicht nur in ihrer Dichte.“

Doch wie werden Sie auf die Frage antworten: Können sich zwei gewöhnliche Wassermoleküle, die aus einem gewöhnlichen Sauerstoffatom und zwei gewöhnlichen Wasserstoffatomen bestehen, voneinander unterscheiden?

Ein Chemiker wird diese Frage zweifellos verneinen und hinzufügen, daß es keine chemischen Reaktionen gibt und geben kann, bei denen sich diese Moleküle unterschiedlich verhalten.

Vom Standpunkt der Physiker sieht die Sache nicht ganz so aus. Die Physiker wissen, daß sich sogar vollständig übereinstimmende Moleküle in ihren Energien unterscheiden können — zum Beispiel die Moleküle des Wassers, des Eises und des Dampfes. Die Moleküle des Wasserdampfes, die ihre Energie an die Laufschaufern einer Dampfturbine abgegeben haben und nun in einen Kondensator gelangen, verwandeln sich dort in flüssiges Wasser. Die Wassermole-

küle ihrerseits verfügen über einen größeren Energievorrat als die gleichen Moleküle im festen Zustand, in Eisform.

**Die Suche nach dem „Dämon“.** Wasserdampf moleküle von Wassermolekülen zu trennen, bereitet keinerlei Schwierigkeiten. Dazu muß man nur Wasser erhitzen und teilweise in Dampf verwandeln, und die Aufgabe ist gelöst. Dabei muß man jedoch unbedingt Energie für die Erwärmung aufwenden. Kann man aber nicht vielleicht ohne diesen Aufwand auskommen oder sogar größere Energiemengen erhalten, als man zum „Herstellungsprozeß“ benötigt?

Welche verlockende Perspektive! Man füllt gewöhnliches Wasser in einen Kessel, ein „Mechanismus“ sucht die Moleküle heraus, die im Ergebnis der statistisch ungeordneten Wärmebewegung eine größere Geschwindigkeit besitzen und schickt sie in die Wärmekraftmaschine. Nachdem sie dort ihre Arbeit getan haben, kehren die Moleküle wieder in den Kessel zurück. Unter dem Kessel brennt kein Feuer, er behält Zimmertemperatur. Alles macht der „Mechanismus“, und dabei noch ohne Energieaufwand.

„Unsinn!“, sagen Sie. „Das wäre ein Perpetuum mobile, und das läßt sich nicht realisieren.“

Ja, das wäre ein Perpetuum mobile — und dabei kein so einfaches, mechanisches, das im Jahre 1755 die Pariser Akademie der Wissenschaften ein für alle mal ablehnte, eine Maschine, die ständig Energie abgibt, ohne Energie aufzunehmen, sondern ein Perpetuum mobile zweier-

ter Art, das Wärme ausnutzt und eine der aufgenommenen Wärmemenge entsprechende mechanische Arbeit leistet.

Stellen Sie sich folgende Einrichtung vor: Ein mit Gas gefülltes Gefäß ist in zwei Teile geteilt. Die Trennwand besitzt eine Öffnung mit Schieber. Gegen diesen Schieber stoßen sich chaotisch die Gasmoleküle. Falls irgendein Mechanismus den Schieber für einen Augenblick öffnet, wenn ein Gasmolekül an ihn von links anstößt, und es in den rechten Teil des Gefäßes durchläuft, dabei aber alle von rechts nach links fliegenden Moleküle zurückhält, so wird sich der größte Teil der Moleküle im rechten Teil des Gefäßes allmählich ansammeln. Der Gasdruck wird darin höher als in der linken Gefäßhälfte. Ließe man das Gas von rechts nach links durch ein spezielles Rohr, in dem eine kleine Turbine montiert ist, zurückströmen, so könnte man dadurch eine gewisse Menge Energie gewinnen. Durch mehrmaliges Wiederholen dieses Vorganges würde man ein Perpetuum mobile zweiter Art erhalten.

Daß es unmöglich ist, ein Perpetuum mobile zweiter Art zu bauen, wurde im vergangenen Jahrhundert durch die Physiker Rudolf Clausius und William Thomson bewiesen. Das hier angeführte Beispiel erdachte der große englische Physiker James Clark Maxwell, um den Beweis offensichtlich zu demonstrieren: Einen solchen Mechanismus, wie er im Beispiel erwähnt wurde, kann man nicht aufbauen. Die Moleküle werden von einer Seite zur anderen genauso häufig überwechseln wie umgekehrt. Ein vorstellbarer,

jedoch nicht zu realisierender Mechanismus, der die Moleküle so sortiert, daß man ihnen ihre Energie entziehen kann, heißt seither der „Dämon Maxwell's“.

**Die „Teufelei“ mit dem Lämpchen.** Der „Dämon Maxwell's“ erblickte im Jahre 1871 das Licht der Welt. Er hatte ein langes Leben. Obwohl Maxwell meinte, seine „Schöpfung“ selbst „beerdigt“ zu haben, indem er nachwies, daß sie niemals arbeiten kann, beschäftigte der heimtückische „Dämon“ dennoch einige Generationen von Wissenschaftlern.

Sobald auch nur irgendwer anfing, über den Sinn des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik nachzugrübeln, erschien ihm der „Maxwellsche Dämon“. War aus diesem Hauptsatz abzuleiten, daß diese für ein abgeschlossenes thermodynamisches System geltende Gesetzmäßigkeit auch auf das Weltall übertragbar war? Würde sich die Energie immer mehr verteilen, so daß dem Weltall schließlich der Wärmetod bevorsteht, wenn alle Wärme verbraucht ist?

Der polnische Physiker Professor Marian Smoluchowski am Lehrstuhl für theoretische Physik der Lwower Universität betonte im Jahre 1912 als erster den bedeutungsvollen Einfluß der ungeordneten Wärmebewegung der Moleküle auf die Wirkung des „Maxwellschen Dämons“. Er erkannte, daß die ungeordneten molekularen Stöße zu einem zufälligen Öffnen und Schließen des von Maxwell erdachten „Mechanismus“ füh-

ren und dadurch ein Verletzen der Naturgesetze „verhindern“.

Das Rätsel Maxwells diente immerhin als ein Ansporn zur Arbeit, die zu einem der Steine im Fundament einer neuen Wissenschaft — der Kybernetik — wurde. Im Jahre 1929 zeigte der amerikanische Physiker Leo Szilard, daß der „Dämon“, wenn er das Molekül gleichzeitig „bemerken“ und „regeln“ will, auch Information über die Bewegung der einzelnen Moleküle erhalten und rechtzeitig verwenden muß.

Es vergingen noch fast 20 Jahre, bis der Beweis glückte, daß der „Dämon“ die einzelnen Moleküle nicht gleichzeitig sehen kann, wenn man ihn nicht mit einem Lämpchen oder einem anderen Gerät für das rechtzeitige Erkennen der Moleküle ausrüstet.

Wie Sie sehen, kann er ohne Licht nicht auskommen. Aber eine Lampe erfordert Energieaufwand. Wiederum gelang es nicht, den zweiten Grundsatz der Thermodynamik zu umgehen. Um jedoch allgemein zu beweisen, daß der „Dämon“ die für seine Wirkung erforderlichen Informationen nicht ohne Energieaufwand erhalten kann, war eine gewaltige Arbeit notwendig, die erst in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts zum Abschluß gebracht werden konnte.

... Dachten vielleicht der junge Aspirant Nikolai Gennadijewitsch Bassow und der etwas ältere Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften Alexander Michailowitsch Prochorow auch an den „Dämon Maxwells“?

Es ist nicht bekannt. Sie waren von einer sehr interessanten Erscheinung gefesselt, die, so könn-

te es scheinen, in keinerlei Zusammenhang zu unseren Fragen und zum „Dämon Maxwells“ steht.

**Am Scheideweg.** Ungefähr fünf Jahre vorher, kurz nach der Erfindung des Synchrotron-Beschleunigers für geladene Teilchen, nahm sich Prochorow vor, zu klären, ob sich das bemerkenswerte neue Gerät nicht zur Erzeugung von Hochfrequenzwellen eignet. Natürlich war das Synchrotron geschaffen worden, um Elektronen fast bis zur Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen, und ganz und gar nicht dazu, um die von ihnen erzeugten Hochfrequenzwellen zu benutzen. Doch wer weiß... Das Radio wurde ja auch als Kommunikationsmittel erfunden und die ihm zugrundeliegende Theorie entwickelte sich dann zu einem allumfassenden Gebiet der Technik.

Nachdem ihn eine schwere Verwundung von der Front des Vaterländischen Krieges in die wissenschaftliche Arbeit zurückgezwungen hatte, blieb Alexander Prochorow ein Aufklärer in der Wissenschaft. Er vertauschte den schweren Alltag der Kampfaufklärung gegen die nicht leichteren Tage der wissenschaftlichen Suche und entwickelte dabei eine erstaunliche Beharrlichkeit.

Etwa ein Jahr nach der Arbeitsaufnahme am Synchrotron schloß sich Prochorow der Student Nikolai Gennadijewitsch Bassow als Praktikant an. Auch auf seinem Leben hatte der Krieg schwere Schatten hinterlassen. Bassow war an die Front gegangen, nachdem er eine Feldscher-

ausbildung abgeschlossen hatte. Er hatte Verwundete gerettet, bei Flussübergängen Nebelwände gesetzt und an der Entseuchung der Werke mitgearbeitet, in denen die Faschisten Giftstoffe hergestellt hatten. Schwer vergiftet war er in ein Hospital eingeliefert worden.

Und nun war er Student der theoretischen Physik. Er beendete das Studium am technisch-physikalischen Institut um ein Jahr vorfristig, nachdem er die Diplomarbeit, die zur Hälfte aus einem Experiment bestand, abgeschlossen hatte. Hier zeigte sich erstmals seine wissenschaftliche „Handschrift“: Theoretiker der Ausbildung und den Neigungen nach, erwies sich Bassow als ein ausgezeichneter Kenner und Liebhaber der experimentellen Arbeit.

Die erste Etappe der gemeinsamen Arbeit der jungen Wissenschaftler brachte nicht viel Neues. Sie kamen zu der Schlußfolgerung, daß man aus dem Synchrotron keine gute „Elektronenröhre“ machen kann.

Die Bestimmung der richtigen Richtung ist auch die Grundlage für eine zutreffende Entscheidung sowohl in der Politik als auch in der Wissenschaft. Die erfolgversprechendsten Wege in der Wissenschaft liegen an den Grenzen der verschiedenen Gebiete, an den Trennlinien neuer Abschnitte der Wissenschaft und Technik. Eine dieser Richtungen ist die Hochfrequenzspektroskopie, eine Wissenschaft, die sich in den Nachkriegsjahren entwickelt hat. Sie gestattet es, die Abstände zwischen den Energieniveaus von Atomen und Molekülen auch in Frequenzbereichen zu messen, die im Gebiet der Millimeter-,

Zentimeter- und Radiowellen liegen. Das war das Arbeitsgebiet, auf das unsere Freunde am besten vorbereitet waren. Prochorow, ein Hochfrequenzphysiker, wurde im „Kessel“ des Physikalischen Institutes der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, in dem ständig die Diskussionen über Fragen der Theorie der Elementarteilchen, der Atomkerne und der kosmischen Strahlen brodelten, tüchtig „garkocht“. Bas sow dagegen, von der Ausbildung her ein Theoretiker, beherrschte die Zentimeterwellentechnik und ging mit Hohlleitern und Resonatoren genauso gut um, wie ein Radiobastler mit einem Detektorempfänger.

Somit nahmen sie sich der Hochfrequenzspektroskopie an. Sie begannen, verschiedene Gase mit hochfrequenter Strahlung zu „durchleuchten“. Sie untersuchten die Spektrallinien im Hochfrequenzgebiet und enträtselten den Aufbau und die Eigenschaften der Moleküle. Sie erzählten darüber: „Es war eine spannende, aber langwierige Arbeit. Sie lässt sich mit der Lösung eines guten Kreuzworträtsels vergleichen. Dabei ist es schwer zu sagen, was an dieser Arbeit komplizierter ist, die Berechnungen oder der Versuch. Anfangs weiß man nicht, wie man beginnen soll, und dann kann man sich nicht davon losreißen.“

Bei diesen Forschungen klärten die Wissenschaftler die Absorptionsfähigkeit der Atome und Moleküle.

Und hierbei begegneten die jungen Wissenschaftler, obwohl sie das selbst nicht vermutet hatten, dem „Dämon Maxwells“.

**Strahlen in Gefangenschaft.** Alles begann damit, daß die Spezialisten beim Aufbau von Funkortungsgeräten auf einen geheimnisvollen Umstand stießen.

Der vom Funkortungsgerät auf Zielsuche ausgesandte Hochfrequenzstrahl mit einer Wellenlänge von 1,3 Zentimetern „verlor“ sich im Raum. Es schien so, als ob irgendwer im Strahlengang eine unsichtbare Falle aufgestellt hatte und der Großteil der Hochfrequenzstrahlung in ihr eingefangen wurde.

Die Ursache dieser Erscheinung war unklar. Offensichtlich war nur, daß die Anwendung von hochfrequenter Strahlung mit einer Wellenlänge von etwa 1,3 Zentimetern wegen der starken Absorption für die Funkortung unmöglich ist.

Die seltsame Erscheinung erweckte das Interesse der Wissenschaftler. Die Suche nach dem Rätsel begann.

Beim Durchstrahlen von verdünnten Gasen mit Hochfrequenzstrahlen überzeugten sich die Wissenschaftler davon, daß viele Gase Kurzwellen stark absorbieren. Doch nicht alle. Stickstoff und Sauerstoff zum Beispiel lassen Hochfrequenzstrahlen mit einer Wellenlänge von 1,3 Zentimetern ungehindert durch, während Wasserdampf sie absorbiert. Verschiedene Gase absorbieren nicht jede durchgehende Hochfrequenzstrahlung, sondern nur die einer bestimmten Wellenlänge. Die übrigen lassen sie ungehindert durch.

Es entstand der Eindruck, daß die Moleküle irgendwie auf diese Wellen abgestimmt sind und deshalb nur sie absorbieren. Durch diese Eigen-

schaft erinnerten die Moleküle an einen Radioempfänger. Wie wir wissen, besitzt auch der Radioempfänger die Fähigkeit, die Signale eines Senders von den Signalen der übrigen zu trennen. Und die Moleküle empfangen ähnlich wie die Radioempfänger nur die Wellen, auf die sie „abgestimmt sind“.

Es war dieselbe Absorptionserscheinung von hochfrequenter Strahlung einer bestimmten Wellenlänge durch Gase, die die Wissenschaftler auf den Gedanken brachte, Hochfrequenzstrahlen zur Analyse verschiedenartiger Gemische zu verwenden.

An dieser Arbeit beteiligten sich Bassow und Prochorow. Und dabei stellten sie sich folgende Frage: Wenn Moleküle fähig sind, Strahlung hoher Frequenz zu absorbieren, bedeutet das nicht, daß sie auch welche aussenden können? Sind die Moleküle, die ihren Energievorrat auf Kosten der Hochfrequenzstrahlung auffüllen, in der Lage, ihn dann auch in Form von Strahlung hoher Frequenz wieder abzugeben?

Lange Zeit sah es so aus, als sei diese Aufgabe unlösbar. Sogar die Wege, auf denen man hoffen konnte, zu diesem Ziel zu gelangen, waren unbekannt.

**Kosmisches Billard.** Im Jahre 1945 äußerte der holländische Astrophysiker van de Hulst die Vermutung, daß die Wasserstoffatome, die sich im interstellaren Raum befinden, Strahlung mit einer Wellenlänge von etwa 21 Zentimetern aussenden. Das war nichts Erdachtes, Erfun-

denes, sondern das Resultat seiner strengen mathematischen Berechnungen.

Auch auf dem Weg der mathematischen Analyse ergab sich noch eine scheinbar paradoxe Zahl, die den Charakter dieser Strahlung betraf. Der sowjetische Wissenschaftler I. S. Schklowski berechnete, daß jedes im interstellaren Raum fliegende Wasserstoffatom nur einmal im Verlauf von 10 Millionen Jahren hochfrequente Strahlung abgeben kann.

Wir werden nicht alle Einwände und den Streit in Erinnerung rufen, den die Prognose der kosmischen Strahlung des Wasserstoffs auslöste.

Wir nennen nur das Wichtigste. Es war klar, daß die von den einzelnen Atomen ausgestrahlte Energie sehr klein ist. Scheinbar gab es keine Möglichkeit, sie zu erfassen, selbst mit noch so empfindlichen Radioteleskopen nicht. Die Ausmaße unserer Galaxis retteten die Situation. Sie sind so gewaltig, daß sich die Strahlung der Atome, die sich, wenn man das so ausdrücken will, in „Strahlensichtweite“ befinden, zu einer bemerkenswerten Größe addiert. Und so glückte es auch, die Emissionslinien im Radiofrequenzgebiet mit modernen, empfindlichen Geräten festzustellen.

Somit wurde die Prognose van de Hulst glänzend bestätigt. Jetzt empfangen die Radioastronomen systematisch aus den Weiten des Weltalls Radiostrahlung mit einer Wellenlänge von 21 Zentimetern.

Die Entdeckung der Strahlung des interstellaren Wasserstoffs war eine wissenschaftliche Sen-

sation. Und oft mußte der noch weit von der Begeisterung für den Molekulargenerator entfernte Prochorow, der Vorlesungen über Physik hält, auf die Fragen der Studenten antworten. Häufig ließ er sich von den zu behandelnden Themen ablenken. Dann erzählte er vom unruhigen, launenhaften Schicksal der winzigen Teilchen, die durch gigantische kosmische Katastrophen auf die ewige Reise geschickt wurden.

Prochorow skizzierte das Bild der unendlichen Weiten des Weltraums, in dem gleichzeitig mit gigantischen Himmelskörpern die Pünktchen der Wasserstoffatome einmal aufleuchten, ein anderes Mal verlöschen. Er erzählte, daß das Atom, nachdem es einen Teil seiner Energie für die Radiostrahlung verbraucht hat, nicht 10 Millionen Jahre wartet, bis es wieder derartige Strahlung abgibt. Es kann in die Möglichkeit versetzt werden, auszustrahlen, wenn es mit einem anderen Atom zusammenstößt und ihm einen Teil der Energie entzieht. So ist es auch beim Zusammenstoß von Billardkugeln, wenn eine Kugel die Bewegung der anderen verlangsamt oder beschleunigt, indem sie ihr Energie entzieht oder übergibt.

Die Wasserstoffatome können auf ihrem Weg auch einem elektromagnetischen Feld begegnen und ihre Energievorräte auf dessen Kosten aufzufüllen. So schöpfen auch die Sandkörnchen aus dem Wirbelwind, der sie erfaßt hat, neue Kräfte.

Und wenn das Wasserstoffatom die Zusatzenergie erhalten hat, kann es sofort oder nach einiger Zeit aufs neue ein „Signal“ ausstrahlen.

„Was ist daran so verwunderlich?“ bemerkte der Wissenschaftler. Sogar in einem so verdünnten Gas, in dem wie beim interstellaren Wasserstoff fast auf jeden Kubikzentimeter ein Atom fällt, treffen sie sich alle untereinander. Sie sind auch gegen die äußeren Einflüsse nicht abgeschirmt. Von Zeit zu Zeit stoßen sie miteinander zusammen, auf sie wirken Licht und andere Arten elektromagnetischer Energie. Deshalb unterscheiden sich sogar die nach ihrer Struktur völlig gleichartigen Wasserstoffatome durch ihre Energien.

Professor Prochorow lenkte die Aufmerksamkeit der Studenten auf die Naturgesetze, die die Atome zu dem Streben zwingen, sich „zu beruhigen“, sich vom Energieüberschuß zu trennen, zu einem Zustand mit dem geringsten Energievorrat zu streben.

Die zukünftigen Physiker begriffen, daß dieser Zustand für die Atome als Grundzustand am stabilsten ist. In diesem Zustand der „Beruhigung“ (was durchaus nicht heißt, daß das Atom unbeweglich ist. So etwas gibt es in der Natur nicht) kann das Atom sehr lange verweilen, solange es nicht durch andere Atome „angeregt“ oder von elektromagnetischer Wellen bestrahlt wird, solange es nicht äußeren Einwirkungen unterworfen wird, solange ihm nicht ein „Mitbruder“ unterwegs einen Teil seiner Energie aufbürdet. Was bleibt dann unserem Atom anderes übrig, als sich den Umständen zu fügen und die „Last“ der Zusatzenergie auf seine Schultern zu laden, bis es schließlich die Energie in Form von elektromagnetischen Wellen ausstrahlt?

len oder einem begegnenden Atom übergeben kann.

„Aber welches Schicksal hat die Energie, die das Atom ‚verloren‘ hat?“ unterbrach ein ungeduldiger Student den Vortrag des Gelehrten. „Was geschieht weiter mit dem Energiequant, das auf diese Weise entstand?“

„Am wenigsten wahrscheinlich ist,“ antwortete Alexander Michailowitsch, „daß es ihm gelingt, lange unversehrt im Kosmos herumzureisen. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird es auf ein ‚entkräftetes‘ Atom stoßen, das die Energie sofort aufschluckt und dadurch selbst in den Zustand der ‚Erregung‘ kommt — mit dem Ergebnis, daß sich weiter alles in der gleichen Reihenfolge wiederholt.“

„Und was wird mit unserem ersten Atom?“

„Wahrscheinlich füllt es bei der ersten besten Gelegenheit seine Energie auf und erhält eine neue Möglichkeit auszustrahlen.“

**Verlockende Idee.** So oder ähnlich erzählte Prochorow vor seinen Studenten. Er war sehr groß und ging leicht gebückt durch die Bankreihen, die Schritte beschleunigend, immer mehr sich begeisternd, und mit Verwunderung bemerkte er, daß seine Gedanken parallel zu seiner Erzählung ein eigenes Gespräch führten und in diesem Ideenkreis einen Angriffspunkt für ihr noch unklares Ziel suchten. So reift das Korn, das auf einen fruchtbaren Boden fällt...

Das Atom ist ein origineller natürlicher Hochfrequenzgenerator!.. An diesen Gedanken mußte man sich gewöhnen. Sind doch mit dem Be-

griff eines hochfrequenztechnischen Gerätes gewaltige Kästen verbunden, die mit Elektronenröhren, Spulen, Widerständen, Kondensatoren und Stromversorgungseinheiten vollgestopft sind.

Und hier ein unsichtbares Körnchen Materiel! Jedoch mit ungewöhnlichen Eigenschaften! Elektronenröhren altern, werden unbrauchbar. Das Atom dagegen ist ewig, es altert nicht und verbraucht sich nicht. Wenn es gegen äußere Einflüsse abgeschirmt wird, verändert es niemals die ausgestrahlte Wellenlänge. Das ist der Generator, das stabilste und in seiner Arbeitsweise unveränderliche Gerät, von der Natur selbst geschaffen. Und welche Arbeit kosten die Versuche, unveränderliche oder, wie man es fachgerecht nennt, stabile Hochfrequenzgeneratoren zu entwickeln!

Das Atom in der Rolle eines Hochfrequenzsenders — das war eine verlockende Idee...

Es muß betont werden, daß sie nicht nur Prochorow in den Sinn kam. Als sich die Wissenschaftler davon überzeugt hatten, daß die hochfrequente Wellen ausstrahlenden kosmischen Wasserstoffatome kein Hirngespinst sind, träumte mancher davon, diese Atome als reale Hochfrequenzgeneratoren für praktische Zwecke anzuwenden. Einige Physiker diskutierten darüber, wie man die 21-Zentimeter-Strahlung des Wasserstoffs im Laboratorium erzeugen könnte.

Wenn man nun wirklich in einem Gefäß soviel Wasserstoffatome zusammenfaßt, daß ihre Strahlung eine besondere Größe hat? Könnte

man vielleicht auf diesem Weg einen „irdischen“ atomaren Hochfrequenzgenerator bauen?

Leider geht das nicht. Gegen dieses Vorhaben „protestiert“ die eigensinnige Natur. Das in einem Gefäß eingeschlossene Gas wäre nicht so verdünnt wie im interplanetaren Raum. Die Wasserstoffatome würden ständig zusammenstoßen und an die Gefäßwände anstoßen. Im Ergebnis dessen würde — unabhängig vom Anfangszustand — die Zahl der absorbierenden Atome größer als die Zahl der ausstrahlenden. Außerdem würden sich die Wasserstoffatome infolge der Zusammenstöße unweigerlich zu Molekülen vereinigen. Und die Natur gab den Wasserstoffmolekülen eine Struktur, auf Grund deren sie nicht in der Lage sind, Strahlung hoher Frequenz abzugeben.

Auf diese Weise verlieren die Wasserstoffatome, nachdem sie sich zu Molekülen vereinigt haben, ihre bemerkenswerte Eigenschaft.

Man muß bemerken, daß die Wissenschaftler diesen Versuch nicht durchführten. Die Unsinzigkeit seines Aufbaus war klar. Dafür sagten die Theoretiker voraus, daß die Moleküle anderer Stoffe Hochfrequenzgeneratoren sein können.

**Futter auf billigere Art.** Übrigens ist dieser Gedanke nicht neu. Bereits Einstein stellte fest, daß die Moleküle, wenn sie in ein elektromagnetisches Feld gelangen, in der Lage sind, nicht

nur Energie in Form von Quanten zu „verspeisen“, sondern die absorbierte Energie unter Einwirkung eines äußeren Feldes auch abzusondern. Doch was hat man davon? Die Energie eines einzelnen Quants ist so winzig klein, daß ihr die Praxis keine Aufmerksamkeit schenkt.

Kann man vielleicht mit einem einzigen elektrischen Lämpchen eine ganze Stadt beleuchten? Nur Tausende gleichzeitig strahlender Lampen können diese Aufgabe erfüllen.

Wenn man die Moleküle zwingen könnte, mit einem Mal aufzuleuchten! Das war so begeisternd, daß es um die vielen, vielen Stunden, die diesem Gedanken gewidmet wurden, nicht schade war. Oft kleideten sich diese Gedanken in Formeln und Gleichungen. Häufig widersprachen sie sich und brachten die Wissenschaftler, die sie niedergeschrieben hatten, fast zur Verzweiflung. Aber manchmal stimmten die Formeln auch plötzlich überein, ermutigten die Köpfe, die sie ausgedacht hatten und erweckten neue Hoffnungen.

Die Gleichungen bestätigten, daß Moleküle Strahlung hoher Frequenz mit einer solchen Konstanz abgeben können, wie sie kein bisher geschaffenes Gerät abzugeben vermag. Da die Moleküle niemals altern und ihre Hochfrequenzstrahlung auf einer streng fixierten Wellenlänge abgeben, ist das Molekül gleichsam die vollendete und „ewige“ Radiostation der Natur. Mit einem Wort gesagt: Wenn man Moleküle zwingt, gemeinsam Hochfrequenzstrahlen auszusenden, dann werden sie über außerordentlich wertvolle Eigen-

schaften verfügen. Dafür lohnte es sich zu kämpfen.

Bassow und Prochorow befanden sich in der Lage jener Leute, die zwar wissen, daß die Saiten einer Geige zauberhaft klingen, aber noch nicht begriffen haben, wie man ihnen die nötigen Laute entlockt.

Manchmal nahmen die Gedanken so reale Umrisse an, daß es schien, als sagten die Moleküle selbst den Wissenschaftlern: „Um den Menschen unsere Energie abzugeben, müssen wir über Energievorrat verfügen. Aber wir sind ja ganz verschiedenartig. Unter uns gibt es völlig erschöpfte und mehr schwache als starke.“

Wirklich! Im Straßengewimmel erblickt man energische Menschen, die kräftig einherschreiten, andere, die einfach spazierengehen, und alte Leute, die sogar einen ebenen Weg nur mit Mühe bewältigen. So ist es auch mit den Molekülen in einem Stoff. Chemisch sind sie gleichartig, sind sie alle Moleküle ein und desselben Stoffes, aber sie besitzen unterschiedliche Energie. Damit alle Moleküle energiereich werden, muß man ihnen „Mut“ einflößen!

Sollte man die Moleküle also mit Energie versorgen, damit sie sie dann wieder abgeben? Nun, ganz so einfach ist es nicht! Um Gänsefett zu bekommen, füttert man die Gänse durchaus nicht mit Fett. Dazu gibt es viel billigeres Futter. Um von den Molekülen Hochfrequenzstrahlung zu gewinnen, muß man sie bestimmt nicht mit genauso wertvoller Hochfrequenzstrahlung „füttern“. Dafür läßt sich einfacher „Futter“ finden. Man kann sie beleuchten, er-

wärmen oder auf andere Weise mit Energie versehen. Der Sinn besteht darin, mit „billigen“ Mitteln Hochfrequenzstrahlen mit hochwertigen Eigenschaften zu gewinnen. Und nach Ansicht der Hochfrequenztechniker besteht eines der grundlegenden Qualitätsmerkmale der Hochfrequenzstrahlung in ihrer Stabilität, der Konstanz der ausgestrahlten Frequenz.

„Und was ist, wenn wir einen anderen Weg gehen? Was ist, wenn wir die Moleküle, die über unterschiedliche Energie verfügen, trennen?“, geisterten die Vermutungen in den Köpfen der jungen Forscher.

So luden sie sich eine Aufgabe auf die Schultern, der nicht einmal der „Dämon Maxwells“ gewachsen war.

**NH<sub>3</sub>.** Alles weitere in dieser Erzählung wird mit Ammoniak verbunden sein. Es ist ein farbloses, stechend riechendes Gas. Für die Hochfrequenzspektroskopie ist Ammoniak genauso wichtig wie der Hebel in der Mechanik. Ammoniakmoleküle absorbieren elektromagnetische Strahlung im Zentimeterwellenbereich weitaus stärker als alle anderen Moleküle. Deshalb sind diese Moleküle sehr gründlich untersucht worden. Fast alle neuen Ideen in der Hochfrequenzspektroskopie wurden mit Hilfe der Ammoniakmoleküle überprüft. Die Physiker kennen ihren Aufbau so gut, als hätten sie sie mit Lineal und Zirkel ausgemessen. Das Ammoniakmolekül ist einfach und elegant. Im Vergleich zu den gewaltigen Formen einiger anderer Moleküle ist es sehr übersichtlich aufgebaut: Ein Atom Stick-

stoff und drei Atome Wasserstoff. Das ist alles.

Stellen Sie sich eine kleine dreiseitige Pyramide vor. In den drei unteren Ecken befindet sich jeweils ein Wasserstoffatom. Der Abstand zwischen den Stickstoffatomen und jedem der Wasserstoffatome beträgt etwa einen zehnmillionstel Millimeter. Der Winkel an der Spitze der Pyramide ist ebenfalls gut bekannt; er beträgt 106 Grad und 47 Minuten.

Nüchterne Zahlen! Bedenken Sie aber, daß das, was so genau ausgemessen ist, niemals die Hand eines Menschen berührt hat, ja nie ein Auge erblickte!

Die sich in einem Gefäß befindenden Ammoniakmoleküle drehen sich wie Kreisel. Je schneller sich das Molekül dreht, desto aktiver, kräftiger erscheint es und über einen um so größeren Energievorrat verfügt es. Aber wer versorgt es mit dieser Energie? Seine Brüder. Sie eilen so sehr, laufen so wild durcheinander nach verschiedenen Seiten, daß es kein Wunder ist, daß sie sich gegenseitig anstoßen. Während das eine entkräftet stehenbleibt, beginnt sich das andere noch schneller zu drehen.

Übrigens gibt es auch Begegnungen mit elektromagnetischen Wellen, mit denen das Molekül Energie tauschen kann. Wenn das Ammoniakmolekül zum Beispiel in ein Hochfrequenzfeld mit einer Wellenlänge von 0,5 Millimetern gelangt, absorbiert es einen Teil der Energie dieser elektromagnetischen Strahlung und beschleunigt dadurch seine Drehung.

Aber auch der umgekehrte Prozeß ist möglich:

Die Hochfrequenzstrahlung kann die Drehung des Moleküls abbremsen, ihm einen Teil seiner Energie entziehen und dadurch die eigenen Energiereserven ergänzen.

Und wie wichtig gerade dieser Fall ist, wie nahe wir dabei dem heißersehnten Traum der Wissenschaftler sind, einen molekularen Hochfrequenzgenerator aufzubauen, wird aus dem Weiteren klar.

Erinnern Sie sich? Der Prozeß der Wechselwirkung zwischen den Quanten des elektromagnetischen Feldes und einem Molekül unterliegt besonderen Gesetzen. Jedes Molekül kann nicht mit beliebigen Frequenzen, sondern nur mit einigen zusammenwirken, die bestimmte Wellenlängen besitzen.

Indem die Wissenschaftler die Wechselwirkung der hochfrequenten elektromagnetischen Strahlung mit den Ammoniakmolekülen beobachteten und dabei feststellten, wie die Moleküle aus einer Vielzahl bestimmte Frequenzen auswählten, gelang es ihnen, die Eigenschaften der unsichtbaren Ammoniakmoleküle zu erkennen. Es gelang ihnen, einiges über die Gesetze ihres Aufbaus zu erfahren. Es zu zwingen, elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von 0,5 Millimetern auszusenden, gelang jedoch nicht. Die Stärke der Ausstrahlung erwies sich als zu gering, als daß man sie feststellen konnte.

**Die unsichtbare Pyramide.** Die Physiker bestimmten nicht nur die Form des Ammoniakmoleküls und maßen nicht nur die Größe dieser

winzigen Pyramide, sondern stellten auch fest, daß es in keiner Weise einem festen Körper ähnlich ist.

Das Stickstoffatom und die drei Wasserstoffatome, die in dieses Molekül eingehen, halten sich durch die gegenseitig wirkenden elektrischen Kräfte auf ihren Plätzen. Wenn sich diese Atome zu einem Molekül vereinigen, teilen sie ihr Eigentum. Die Elektronen, die früher den Wasserstoffatomen gehörten, werden „vergesellschaftet“. Im Ammoniakmolekül gehören diese Elektronen gleichzeitig den Wasserstoffatomen und dem Stickstoffatom. Diese Elektronen binden gleichsam die Kerne der vier Atome mit unsichtbaren Fesseln.

Der Kampf zweier entgegengerichteter Kräfte im Molekül kommt nicht zum Stillstand. Die elektrischen Kräfte, mit denen die Elektronen die Atomkerne binden, treffen auf die Gegenwirkung anderer unsichtbarer Kräfte. Die positiven Ladungen der Kerne stoßen sich gegenseitig ab und erlauben den Kernen nicht, sich dichter zu nähern. Man kann sich das so vorstellen, als ob zwischen den Kernen unsichtbare Federn gezogen sind, so daß sich die Kerne verhalten, als wären sie in einem Aufbau von Druck- und Zugfedern befestigt.

Doch die Körper, die durch die Federn gehalten werden, sind nicht starr befestigt. Sie können um ihren Befestigungspunkt schwingen. So verhält es sich auch mit den Atomen, die in das Molekül eingehen. Sie können auch um ihre Gleichgewichtslage schwingen. Weit auseinandergehen können sie nicht, weil die Elektronen

sie untereinander binden. Sich sehr nähern können sie auch nicht, weil sich die gleichnamigen Ladungen der Kerne abstoßen.

Auf diese Weise schwingen alle Kerne in größerem oder geringerem Maße um ihre Gleichgewichtslage.

Und wenn wir das Ammoniakmolekül sehen könnten, dann würden sich die Atome als Nebelflecken darstellen, deren Größen von den Amplituden ihrer Schwingungen abhängen.

Und wenn wir genau hinsähen, würden wir bemerken, daß sich die Größen der Nebelfleckchen plötzlich verändern. Einmal vergrößern sie sich, dann wieder verkleinern sie sich. Das bedeutet, daß die Schwingungen einmal stärker, ein anderes Mal schwächer werden. Heißt das, daß man nicht nur die Kreisel-Energie, sondern auch die Schwingungsenergie des Ammoniakmoleküls verändern kann?

Ja, auch die Veränderung der Schwingungsenergie kann sowohl durch das Zusammentreffen mit anderen Molekülen als auch durch die Absorption oder Ausstrahlung von elektromagnetischen Wellen hervorgerufen werden. Nur sind diese Wellen schon nicht mehr im Hochfrequenzbereich. Sie gehören in das Gebiet des infraroten Lichtes.

Das war wiederum nicht das, was unsere Wissenschaftler suchten. Sie wollten einen Quantengenerator bauen und keine Infrarotstrahlenquelle finden. Doch wenn damit die Besonderheiten der geheimnisvollen Pyramide geendet hätten, wäre sie nicht zur Helden unserer Erzählung geworden.

Darüber, was an ihr die Aufmerksamkeit fes-

selte, warum an sie so viele Hoffnungen geknüpft wurden, berichtet das Weitere.

**Wie ein Handschuh.** Wenn wir die Fähigkeit erwerben könnten, in die Mikrowelt des Ammoniakmoleküls hineinzublicken, würde sich uns ein erstaunliches Bild darbieten. Das Molekül verändert manchmal unerwartet sein Aussehen. Es krempelt sich plötzlich um wie ein Handschuh, den man „links macht“. Das Stickstoffatom zeigt sich unerwartet nicht über dem Dreieck der Wasserstoffatome, sondern liegt unter ihm. Danach, ebenso plötzlich, kehrt alles in die Ausgangslage zurück, das Stickstoffatom erscheint am alten Platz. Wir sehen gleichsam das Molekül und sein Spiegelbild.

Das wiederholt sich mehrmals. Das Erstaunlichste dabei ist, daß diese Umordnung keineswegs im Ergebnis einer Drehung des Moleküls vor sich geht. Alles geschieht so, als wenn das Stickstoffatom zwischen den Wasserstoffatomen hindurchspringen würde. Weil jedoch das Stickstoffatom mehr als viermal schwerer ist als drei Wasserstoffatome zusammengenommen, ist es richtiger zu sagen, daß sich das Dreieck mit den Wasserstoffatomen in seinen Spitzen einmal auf der einen, ein anderes Mal auf der anderen Seite des Stickstoffatoms zeigt.

Als Inversion bezeichneten die Wissenschaftler diese Erscheinung. Und es ergab sich, daß ein solcher Übergang nur in Molekülen möglich ist. In einem größeren Körper ist er unmöglich, d. h. er kann nicht von selbst vor sich gehen. Als im Zusammenhang damit Zweifel aufka-

men, wies Prochorow auf das Modell des Ammoniakmoleküls hin. „Man kann es“, so sagte er, „aus drei kleinen und einer großen Kugel herstellen, die man mit Federn so verbindet, daß sie eine Pyramide bilden. Um eine Inversion durchzuführen, das heißt, eine Kugel durch die drei übrigen hindurchzudrücken, müßte man irgendeine Kraft aufbieten. So leicht lassen sich die Federn nicht zusammendrücken. Wenn es schon gelingt, dann nimmt die Kugel eine neue Gleichgewichtslage an und wird keinesfalls danach streben, in die alte Lage zurückzukehren. Für die Rückkehr wäre allerdings die gleiche Arbeit nochmals durchzuführen.“

Derartige Übergänge existieren im Molekül verhältnismäßig häufig und ohne jeden sichtbaren Grund. Dabei erfolgen sie spontan, ohne äußerliche Einwirkung.“

Hier kommen wir zur Hauptsache. Diese Inversion erweist sich als Ursache dafür, daß das Ammoniakmolekül fähig ist, noch eine Art von elektromagnetischen Wellen zu erzeugen — außer denen, über die wir bereits gesprochen haben. Diese elektromagnetische Strahlung hat eine Wellenlänge von 1,25 Zentimetern und liegt in dem für die Arbeit bequemen Bereich, was die Wissenschaftler befriedigte. Das war genau das, was sie gesucht hatten...

...Was denn, ist das das Ende der Suche und unserer Geschichte? Nicht doch! Es ist der Anfang neuer Schwierigkeiten. Es ist eine Antwort, die die nächste Frage aufwirft. Diese Etappe war nur Ausgangspunkt für den Aufbau von Quantengeneratoren.

**Neue Schwierigkeiten.** Wenn die Ammoniakmoleküle frei im leeren Raum fliegen würden, ohne einander zu stoßen und ohne mit elektromagnetischen Wellen zusammenzuwirken, würden sie mit der Zeit den „erwünschten“ Übergang in den Zustand mit geringerer Energie vollziehen. Dieses Streben erscheint ja als ein Gesetz für alle Moleküle. Und auch die Ammoniakmoleküle stellen hierbei keine Ausnahme dar.

Aber die Moleküle stoßen einander, wirken mit elektromagnetischen Wellen zusammen, absorbieren dabei Energie oder geben Energie ab. Deshalb gibt es unter ihnen Moleküle mit geringem und großem Energievorrat. Jedoch sind die ersten immer in der Überzahl. Deshalb ist keines der Gase im gewöhnlichen Zustand in der Lage, elektromagnetische Wellen hoher Frequenz auszustrahlen: Molekülempfänger gibt es in ihm bedeutend mehr als Molekülsender. Und gerade hier liegt der Stein des Anstoßes.

Wie kann man ein Gas in einen solchen Zustand bringen, daß es mehr „Molekülsender“ gibt als „Molekülempfänger“? Kann man es so einrichten, daß mehr Moleküle vorharden sind, die einen Energieüberschuß abgeben wollen, als Moleküle, die danach streben, Energie zu absorbieren? Läßt das sich etwa erreichen, ohne daß man das Gas erwärmt, ohne daß man von außen Energie zuführt?

Ich kann mir vorstellen, daß bei diesen Gesprächen der „Dämon Maxwell“ unsichtbar und hämisch grinsend dabei war...

Ich stelle mir auch den Augenblick vor, als den Wissenschaftlern eine glänzende Idee kam: Muß man denn ausgerechnet so an die Mole-

küle herangehen? Ist es nicht vielleicht besser, die einen von den anderen, die schwachen von den starken einfach zu trennen, damit sie sich nicht gegenseitig stören? Und jetzt ließ der Dämon sicherlich den Kopf hängen ..

Heute läßt sich nicht mehr feststellen, wer von den beiden, Bassow oder Prochorow, als erster gesagt hatte: „Ich hab's“. Wichtig ist, daß diese Idee das ganze Problem rettete. Der Gedanke konnte ja die Brücke sein zwischen Möglichen und Unmöglichen, zwischen Traum und Wirklichkeit, zwischen Theorie und Praxis.

Von nun an vertrauten Bassow und Prochorow auf diesen Weg. Einen anderen gab es bis dahin nicht.

Doch wie konnte man die Idee realisieren? Sortieren kann man Äpfel: nach der Farbe, nach der Größe, nach der Reife; Hunde nach der Fellfarbe, dem Wuchs; Geldstücke nach ihrem Wert. Aufteilen kann man beliebige, sichtbare Gegenstände. Doch wie ist das mit unsichtbaren, untereinander absolut ähnlichen Molekülen anzustellen? Wie lassen sich die schwachen auf die eine, die starken auf die andere Seite bringen? Wenn man darüber nachdenkt, erscheint die Aufgabe einfach phantastisch, unsinnig. Was tun?

Doch wie sonderbar das auch scheinen mag, dieser Teil der Arbeit erwies sich durchaus nicht als der schwerste. Die Lösung lag auf der Hand.

**Ohne Dämon.** Im Mai 1952, auf der Allunionskonferenz über Hochfrequenzspektroskopie be-

richtete Bassow über das Verfahren, das sie anzuwenden gedachten, um die Moleküle, die bereit sind, Energie abzustrahlen, von denen zu trennen, die sie absorbieren. Er war erregt, als er auf dem Podium stand, und blätterte mit seinen sonst bei der Arbeit festen und ruhigen Händen, die jetzt aber etwas unsicher waren, in den Seiten des Vortrages, den er zusammen mit Prochorow ausgearbeitet hatte.

Lange vor dieser Prüfung in der Öffentlichkeit hatten die Forscher ihre Argumente überprüft. Sie hatten alle Zweifel durchdacht und sich überlegt, wie sie die Fragen der Physiker beantworten, die Zweifel zerstreuen könnten.

Viele der bekanntesten Physiker der Gegenwart hörten Bassow zu, lauschten mit gesteigerter Aufmerksamkeit.

Zahlreiche bedeutende Entdeckungen und Erfindungen erscheinen, nachdem sie gemacht worden sind, als sehr einfach. Wenn man von ihnen erfährt, kommt einem unwillkürlich der Gedanke: Warum war man nicht schon früher darauf gekommen? Die Hauptsache war ja schon lange bekannt. So dachten die Zeitgenossen der Brüder Tscherepanow, die die Dampfmaschine auf einen Wagen stellten und das Schwungrad mit den Rädern vereinigten. So denken auch viele von uns, wenn sie von neuen Ergebnissen in Wissenschaft und Technik erfahren. Und so dachte gewiß nicht nur einer der Wissenschaftler, die dem jungen Physiker zuhörten. Er berichtete über alles, was wichtig war, bemühte sich, Zweifel zu überwinden und Bedenken zu zerstreuen.

Das Verfahren zum „Sortieren“ von Molekülen mit unterschiedlicher Energie war aus den Arbeiten des deutschen Physikers Otto Stern bekannt und wurde bereits in einigen Laboratorien angewendet. Die Physiker nutzten den Umstand, daß sich viele Moleküle und Atome wie winzige Magneten verhalten. Dabei ist ihr Verhalten im Magnetfeld eng mit der inneren Energie des Atoms oder Moleküls verbunden. Schwache Moleküle besitzen auch geringe magnetische Fähigkeiten. Starke, die über große Energiereserven verfügen, haben auch eine viel größere Magnetstärke.

Stern schlug deshalb vor, einen Strahl von Silberatomen so durch ein starkes Magnetfeld zu schicken, daß sie die magnetischen Feldlinien schneiden. Er organisierte auf diese Weise eine „natürliche Auslese“, die die Atome durchlaufen müssen. Damit sie sich nicht gegenseitig stören, beschloß er, sie durch einen engen Schlitz der Reihe nach ins Leere zu schicken. So konnten sie fliegen, ohne miteinander anzustoßen.

Nachdem die Versuchsanlage aufgebaut worden war, konnten die Forscher mit eigenen Augen ein Bild des Kampfes zwischen den Silberatomen und den Kräften des Magnetfeldes beobachten. Der Strudel des Magnetfeldes riß sie mit sich fort wie die Brandung die Schwimmer. Starke Schwimmer hebt es gewöhnlich ans Ufer, aber schwache zieht es in den Abgrund. So rechneten auch die elementaren Magnetkräfte auf ihre Weise mit den Silberatomen ab. Die schwächeren von ihnen zog es in den Bereich des

starken Magnetfeldes, die stärkeren wurden aus diesem Bereich herausgestoßen. Das Feld sortierte die Atome. Es erwies sich als origineller Weichensteller, der die Atome mit unterschiedlichem Energievorrat auf verschiedene Wege schickt.

Mit der Zeit ermittelte man, daß das Aussondern auch für Moleküle möglich ist, die über keine bemerkenswerten magnetischen Eigenschaften verfügen, jedoch in einem gewissen Verhältnis als elektrisches Analogon zur Magnetnadel erscheinen.

Es gibt eine große Anzahl von Molekülen, man nennt sie Dipole, die so gebaut sind, daß die in sie eingehenden positiven und negativen Ladungen im Raum etwas verschoben sind. Solche Moleküle kann man mit kleinen Stäbchen vergleichen, deren eines Ende eine positive und das andere eine negative Ladung besitzt. In den Physikstunden zeigt man oft den Versuch mit elektrisierten Stäbchen, die aus Holundermark gemacht sind.

Wenn der Molekularstrahl, das heißt der „Strom“ sich gegenseitig nicht anstoßender Dipolmoleküle, so durch die Platten eines elektrischen Kondensators geschickt wird, daß die Moleküle entlang der Platten fliegen und das Feld schneiden, und wenn man den Platten eine geeignete Form gibt, dann zerfällt der Strahl in Abhängigkeit von der Energie der Moleküle in eine Reihe von Teilstrahlen.

So lernten die Physiker, indem sie die Eigenschaften der Moleküle und die Eigenschaften elektrischer und magnetischer Felder ausnutz-

ten, das zu tun, was Maxwell als über die Grenzen der menschlichen Möglichkeiten hinausgehend betrachtet hatte. Sie lernten, Moleküle zu „sortieren“. Jetzt gelang es ihnen, aus einem Gefäß mit Molekülen genau diejenigen auszuwählen, die über bestimmte energetische Eigenschaften verfügen, zum Beispiel diejenigen, deren Energie größer ist als die der übrigen. Die Physiker verwendeten schon mehrmals diese Möglichkeit zur Untersuchung der Struktur der Moleküle, Atome und Atomkerne.

**Umsonst gibt es nichts.** Und so war der erste Teil des Weges geebnet. Ihn gingen auch die Moskauer Physiker. Sie beschlossen, einen Strahl von Ammoniakmolekülen durch einen Kondensator mit einer speziellen Form, die ein starkes elektrisches Feld ergibt, zu schicken. Unter dem Einfluß dieses Feldes zerfällt der Strahl in einige Teilstrahlen. In jedem von ihnen fliegen Moleküle mit verschiedenen Energievorräten. Jetzt kann man mit Hilfe einer Blende den Strahl abteilen, in dem die gewünschten Moleküle fliegen, die Moleküle, die ein hohes Energieniveau besitzen und bereit sind, einen Teil der Energie auszustrahlen, wenn sie in dafür geeignete Bedingungen gelangen.

Es könnte die Frage auftreten: Stellt dieses Ausblenden aller in einer Richtung fliegenden Teilchen, das zur Trennung der energiereichereren Moleküle von den energieärmeren führt, nicht eine Herausforderung des zweiten Gesetzes der Thermodynamik dar? Gerieten nicht Bassow und Prochorow mit ihrer Arbeit in die Gesell-

schaft der „Gesetzesverletzer“? Oder irrite sich Maxwell? Glückte es etwa doch, das zu realisieren, was er als unmöglich angesehen hatte? Nein, so ist es nicht.

Es ist so, daß der Kondensator, der auf den ersten Blick genauso gewaltig ist wie der „Maxwellsche Dämon“, die Moleküle nicht aus dem Gefäß aussucht, in dem sie durcheinanderwimmeln. Die Moleküle wirbeln nicht wild um den Kondensator herum, wie das unter natürlichen Bedingungen der Fall ist, sondern sie wurden vorher in ein bestimmtes Gefäß gezwungen. Man setzte sie unter großen Druck, und erst dann ließ man sie der Reihe nach durch die Blende aus dem Gefäß heraus, führte sie direkt an der „Nase“ des Kondensators vorbei, und ihm blieb nichts anderes übrig, als sie zu „erkennen“.

Um das Gas zusammenzudrücken, mußte Energie aufgewendet werden. Ohne Energieaufwand hätte das nur ein „Dämon“ machen können. Die Erfinder des Perpetuum mobile zweiter Art hatten bekanntlich Derartiges erreichen wollen.

Bassow und Prochorow strebten keineswegs danach, als sie die Molekültrennung vollzogen, Energie zu gewinnen, schon gar nicht umsonst. Aber sie erhielten ein nicht weniger wertvolles Resultat, einen Molekularstrahl, der in der Lage ist, Strahlung hoher Frequenz auszusenden, einen Strahl, in dem die „Molekülsender“ getrennt sind von den „Mitessern“, den „Molekülempfängern“, die nur dazu geeignet sind, Energie zu absorbieren.

Damit verstießen Bassow und Prochorow nicht

gegen die Gesetze der Natur. Sie gewannen keine Energie aus dem Nichts. Sie kamen zu ihrem Ziel, indem sie Energie aufwendeten und die Naturgesetze ausnutzten.

Und das Ziel war keinesfalls das Aussondern. Das war nur eine Zwischenetappe. Einen Molekularstrahl zu erhalten, der überschüssige Energie besitzt, war noch lange nicht alles. Es war nötig, daß die Moleküle diese Energie in Form von elektromagnetischen Wellen hoher Frequenz abstrahlten. Die Moleküle jedoch, die frei in diesem Strahl flogen, strebten durchaus nicht danach, ihre überflüssige Energie sofort auszusenden. Unter diesen Bedingungen konnten sie ein Jahr fliegen, bis auch nur die Hälfte von ihnen diese hochfrequente Strahlung abgab. Aber in dieser Zeit hätten die Moleküle Hunderte Millionen Kilometer durchflogen.

In einem Gefäß mit akzeptablen Abmessungen beträgt die Flugzeit der Moleküle etwa eine zehntausendstel oder höchstens eine tausendstel Sekunde. Deshalb schaffte es in dieser Zeit nur eines aus einer Milliarde durchfliegender Moleküle, elektromagnetische Wellen hoher Frequenz auszustrahlen.

Es ist klar, daß die Hochfrequenzleistung, die von einer so winzigen Anzahl von Molekülen ausgestrahlt wird, derart gering ist, daß sie unmöglich festzustellen ist. Wie kann man dann die Moleküle zwingen, innerhalb des kleinen Gerätes auszustrahlen? Verständlicherweise war das kein leichtes Problem.

War es überhaupt allgemein lösbar? War es nicht genauso hoffnungslos, wie der Versuch,

einen „galaktischen“ Generator mit Wasserstoffatomen technisch zu bewältigen?

Wir werden nicht orakeln. Sehen wir, wie Basow und Prochorow mit dem Problem fertig geworden sind.

**Das Hochfrequenzfaß.** „Wo ist der Ausweg?“ mögen Sie sich gefragt haben. Wie konnte man die Moleküle zwingen, den Energieüberschuß, den sie besitzen, auszustrahlen, ohne daß man sich einer zusätzlichen Hochfrequenzquelle bedienen mußte?

Wie wir sehen, stellte die Natur immer neue und neue Hindernisse den Forschern in den Weg. Doch wenn die Natur unerschöpflich ist, dann ist auch der menschliche Erfindergeist unerschöpflich.

Man muß, so beschlossen die Forscher, solche Bedingungen schaffen, daß die Moleküle sich gegenseitig zwingen, auszustrahlen. Man muß einen Prozeß auslösen, den man mit einer Kettenreaktion vergleichen kann, wie das zum Beispiel bei einem Verbrennungsprozeß der Fall ist. Ein Teilchen des Brennstoffes entflammt, entzündet die anderen, und nun leuchtet die Flamme auf. Die Flamme wird so lange brennen, wie man Brennstoff zugibt.

Wir werden es deshalb so machen, sagten sie sich, daß ein Molekül, das Energie ausstrahlt, auch die übrigen Moleküle zum Ausstrahlen zwingt. Damit sind alle genötigt, sich an diesem Prozeß zu beteiligen.

Das kann man jedoch nicht im freien Raum durchführen, sondern man muß die Moleküle

nötigen, durch eine „Höhle“ in einem Metallstück, seiner Form nach ein metallisches Faß, hindurchzufliegen.

Rufen Sie in ein leeres Faß hinein! Es „antwortet“ Ihnen mit einem schallenden Baß. Ein leeres Faß „wählt“ aus einem „gemischten“ Schall, zum Beispiel aus einem Geräusch, hauptsächlich die Baßtöne aus und verstärkt sie, weil die in dem Faß eingeschlossene Luft zu intensiven Schwingungen gerade bei diesen Tönen fähig ist.

Eine metallische Schachtel wird auf die Hochfrequenzwellen beispielsweise genauso widerhallen, wie ein leeres Faß oder eine Orgelpfeife auf den Schall. Diese Metallhöhle nennen die Hochfrequenzingenieure Hohlraumresonator. Jeder Hohlraumresonator reagiert nur auf Strahlung einer ganz bestimmten Wellenlänge, weil er entsprechend dimensioniert ist. Wenn eine solche Strahlung in ihn gelangt, dann verstärkt sich das Feld im Inneren des Resonators. Dadurch ist die allseitig geschlossene Metallhöhle in der Lage, entschieden größere Vorräte elektromagnetischer Energie zu speichern.

Sogar dann, wenn in den Resonator keine elektromagnetische Energie von außen einfällt, existiert in ihm immer ein schwaches elektromagnetisches Feld, das sogar bei Zimmertemperatur durch die Wärmestrahlung der Resonatorwände aufgebaut wird.

Wenn man die Moleküle irgendeines Gases, die sich auf einem höheren Energieniveau befinden, zwingt, durch den Resonator hindurchzufliegen, dann gelangen sie unter den Einfluß des schwa-

chen elektromagnetischen Feldes, das durch die Wärmestrahlung der erwärmten Wände aufgebaut wird. Obwohl das Feld schwach ist, zwingt es dennoch die Moleküle, ihre Energie in bedeutend kürzerer Zeit auszustrahlen als im freien Raum. Viele von ihnen schaffen es, die Strahlung während der Zeit des Durchfluges im Resonator abzugeben, und die Strahlungsenergie verbleibt in seinem Inneren. Auf diese Weise speichert der Resonator immer mehr Energie, die von den durch ihn hindurchfliegenden Molekülen ausgestrahlt wurde.

Infolgedessen wächst das elektromagnetische Feld im Inneren des Resonators immer mehr, und das führt zu einem immer stärkeren Einfluß des Feldes auf die neuen Moleküle, die durch den Resonator hindurchfliegen.

Wenn die Energie, die durch den Molekularstrahl in jeder Sekunde in den Resonator hineingetragen wird, größer ist als die gewöhnlichen Energieverluste im Resonator und in den mit ihm verbundenen Aufbauten, dann wird der Wachstumsprozeß des Resonatorfeldes der Selbsterregung eines gewöhnlichen Röhrengenerators ganz ähnlich. Das Wachstum des Feldes setzt sich solange fort, bis genau die Hälfte der Moleküle, die in jeder Sekunde in den Resonator hineinfliegen, ihre Energie in Form von Hochfrequenz in ihm ausstrahlen wird.

So trennten die Wissenschaftler nicht nur die gewünschten Moleküle von den unerwünschten ab, sondern sie zwangen sie auch, ihre Energie im Inneren des Hohlraumresonators abzustrahlen. Auf diese Weise wurde der erste Quanten-

generator, ein molekularer Hochfrequenzgenerator, geschaffen.

**Wozu?** Somit war ein Molekularverstärker aufgebaut. Die Moleküle gaben ihre Energie in Form von Hochfrequenzenergie ab.

Doch was war das für eine Energie, welche Leistung hatte das neue Gerät? Sie erwies sich als sehr klein. Zum Beispiel strahlt eine moderne Radiostation elektromagnetische Wellen hoher Frequenz mit einer Leistung von Hunderten Kilowatt aus. Um eine Taschenlampe zum Aufleuchten zu bringen, braucht man insgesamt eine Leistung von einem Watt. Die Leistung des Molekulargenerators ist jedoch eine Milliarde Mal kleiner.

Wer benötigt schon einen solchen Generator mit der Leistung von Mückenflügeln?

Doch der Wert des neuen Gerätes liegt keinesfalls in seiner Leistung. Es erhebt auch keinen Anspruch, andere Strahlungsquellen zu ersetzen. Seine bedeutende Besonderheit liegt in etwas ganz anderem. Es ist dort unersetzbar, wo höchste Stabilität in der Arbeit und Frequenzkonstanz der Schwingungen nötig sind. Und in diesem Punkt gibt es nichts Vergleichbares. Zwei solcher Geräte, die unabhängig voneinander gebaut und in Betrieb genommen worden waren, strahlten so konstante Wellen hoher Frequenz aus, daß sich ihre Wellenlängen zueinander um weniger als ein Zehnmilliardstel unterschieden. Die Forscher sind davon überzeugt, daß diese Genauigkeit noch um das Hundertfache gesteigert werden könnte!

Mit Hilfe eines Molekulargenerators kann eine Uhr gebaut werden, die praktisch nie reguliert und auch nie mit den astronomischen Beobachtungen verglichen werden muß.

Nach tausend Jahren würde sie von der astronomischen Zeit höchstens eine Sekunde abweichen.

Natürlich ist eine solche Uhr im alltäglichen Leben nicht erforderlich, aber eine Reihe von Gebieten in Wissenschaft und Technik sind an einer Erhöhung der Genauigkeit der Zeitmessung äußerst interessiert. Das betrifft in erster Linie einige Bereiche der Hochfrequenztechnik, die Steuerung von Schiffen, Flugzeugen und Raumflugkörpern sowie die Astronomie.

Wenn ein Pilot im Blindflug fliegt, dann kann er weder die natürlichen Orientierungshilfen auf der Erde noch die Sterne benutzen. Er orientiert sich mit Hilfe der Funkanlage, indem er zum Beispiel die Zahl der Hochfrequenzwellen bestimmt, die zwischen der Funkstation und dem Ort, an dem er sich befindet, liegen. Doch aus einer Reihe von Gründen, die mit der Besonderheit der Ausbreitung von Hochfrequenzwellen zusammenhängen, sind in einigen Fällen nur sehr lange Wellen geeignet. Dabei braucht man zur genauen Bestimmung des Abstandes die Möglichkeit, kleine Teile der Wellenlänge abzumessen. Aber das ist nur dann möglich, wenn sowohl die Funkstation auf der Erde als auch das Steuerungsgerät außerordentlich stabile Generatoren, zum Beispiel Molekulargeneratoren, besitzen.

Die Wissenschaftler streben auch deshalb da-

nach, die Genauigkeit der Uhren zu erhöhen, um einen ungewöhnlichen Versuch durchzuführen. Aus der Relativitätstheorie Albert Einsteins läßt sich ableiten, daß die Zeit auf der Erde, auf der Sonne und anderen Sternen nicht gleich abläuft.

Die Theorie besagt, daß selbst auf der Erde die Zeit nicht überall gleich verläuft. Zum Beispiel muß eine Uhr, die sich in einem tiefen Schacht befindet, ein Zehntausendmilliardstel langsamer gehen als die gleiche Uhr, die auf einen hohen Berg gebracht worden ist.

Wenn man die Uhr in einem Raumflugkörper anordnet, der die Erde in einer Entfernung von 42 000 Kilometern umkreist, dann vergrößert sich der Unterschied um das fast Sechshundertfache. Dieser Unterschied ist nicht groß, aber die Möglichkeit der Vervollkommenung des Molekulargenerators erweckt die Hoffnung, ihn auszumessen.

Der Quantengenerator löst noch ein wichtiges Problem: Er erlaubt es, das Eichmaß der Länge und der Zeit zu vereinigen. Er gestattet es, ein natürliches Etalon der Zeit zu schaffen, indem man die Sekunde mit der Periode der elektromagnetischen Wellen, die der Molekulargenerator ausstrahlt, verbindet. Wenn man als „Etolon“ der Länge die Wellenlänge des Molekulargenerators und als „Etolon“ der Frequenz die Frequenz seiner Schwingungen nimmt, dann ergibt es sich, daß als „Etolon“ der Länge und der Frequenz ein und derselbe physikalische Prozeß dient, die Ausstrahlung der Moleküle im Molekulargenerator. Und die Frequenz der

Schwingungen ist eine Größe, die der Periode umgekehrt proportional ist. Deshalb kann als Einheit der Zeit die Periodendauer des Molekulargenerators genommen werden.

Dieses ungewöhnliche Etalon erscheint als unveränderliches Zeitmaß. Und außerdem ist es leicht zu reproduzieren. Es kann in einer beliebigen Stadt aufgebaut werden und garantiert eine streng konstante Zeiteinheit, ohne daß ein Vergleich mit anderen Etalons erforderlich ist. Diese „Etalon-Uhr“ ist eine Atomuhr, deren Prinzip also auf der unveränderlichen Eigenschwingungszahl bestimmter Atome oder Moleküle beruht. Sie ist unabhängig von der Bewegung der Himmelskörper.

**Aus dem Kosmos ins Labor.** Die Wissenschaftler gaben sich natürlich mit nur einem Typ dieses vielversprechenden Gerätes nicht zufrieden. Auf der Suche nach noch geeigneteren und gefügigeren Molekülen begannen sie eine ganze Reihe anderer Stoffe zu untersuchen. Darunter waren sogar Moleküle eines gefährlichen Giftes, der Blausäure, und Moleküle einfachen Wassers, Formaldehyd-Moleküle und viele andere. Molekulargeneratoren tauchten in vielen Ländern auf — wie Pilze nach dem Regen.

Und jetzt schloß sich der Kreis. Die Gedanken der Wissenschaftler kehrten zum Ausgangspunkt der Überlegungen zurück. Erneut entstand der Traum vom ... Wasserstoffgenerator.

Für diesen Gedanken entbrannte besonders einer der erfahrensten Forscher auf dem Gebiete der

Atom- und Molekularstrahlen, der amerikanische Professor Norman F. Ramsey. Er war der Ansicht, daß die Zeit gekommen war, die Radiostrahlung des kosmischen Wasserstoffs im Laboratorium zu erzeugen. Vom Standpunkt der Erkenntnisse aus, die er mit Molekulargeneratoren erhalten hatte, war ihm klar, daß es dazu notwendig war, einen geordneten Strahl von Wasserstoffatomen zu erzeugen, eine Methode zu finden, um die Atome dieses Strahls, die sich durch den Vorrat an innerer Energie unterscheiden, zu sortieren und die „ausgewählten“ Atome in einen Resonator zu schicken, wo sie die überschüssige Energie in Form von Radiowellen abstrahlen müssen.

Unter irdischen Bedingungen existiert freier Wasserstoff nur in Form von Molekülen, die aus zwei Atomen bestehen. Deshalb war es die erste Aufgabe, atomaren Wasserstoff zu erhalten. Ungeachtet dessen, daß die Chemiker viele Reaktionen kennen, deren Elementarvorgänge zur Freisetzung des Wasserstoffatoms führen, konnte die Chemie hier nicht der Sache dienlich sein: Die Wasserstoffatome treffen schnell wieder aufeinander und vereinigen sich erneut zu Molekülen.

Man mußte sich an die Physik wenden. Eine der bequemsten Methoden war die Anwendung der elektrischen Entladung. Wenn man eine elektrische Entladung in verdünntem, gasförmigem Wasserstoff unterhält, kann man die Bedingungen so gestalten, daß die elektrischen Kräfte die Wasserstoffmoleküle in einzelne Atome zerreißen. Nachdem diese erste Aufgabe gelöst wor-

den war, mußte nun ein Strahl von Wasserstoffatomen geschaffen werden.

Diese Aufgabe erwies sich als nicht schwierig. Es reichte aus, das Entladungsgefäß mittels dünner Kapillaren mit einem Raum zu verbinden, in dem starke Pumpen ein hohes Vakuum unterhielten, und aus den Röhrchen begann ein Strahl von Wasserstoffatomen ins Vakuum zu fliegen. Natürlich waren in diesem Strahl auch „Sender“-Atome und „Empfänger“-Atome vorhanden, dabei, wie immer, mehr von den letzteren.

Der dritte Schritt war die Auslese. Aber die Atome sind bekanntlich elektrisch neutral. Deshalb ist es nicht möglich, die Atome mit Hilfe elektrischer Felder zu sortieren.

Zum Glück besitzen die Wasserstoffatome die Eigenschaften kleiner Magneten.

Der Kern des Wasserstoffatoms — ein Proton — und das Elektron, das sich um ihn dreht, sind selbst Elementarmagneten. Dabei ist der „Elektron-Magnet“ fast zweitausendmal stärker als der „Proton-Magnet“. Die aus zwei solchen kleinen Magneten gebildeten „Wasserstoff-Magnete“ können von zweierlei Art sein. Bei der einen sind „Elektron-Magnet“ und „Proton-Magnet“ gleich gerichtet, und ihre Wirkung addiert sich deshalb, bei der anderen Art sind sie entgegengesetzt gerichtet, und ihre elektrische Wirkung subtrahiert sich. Letztlich bilden die Wasserstoffatome zwei Sorten, die sich durch ihr Verhalten im Magnetfeld unterscheiden.

Das wurde zum Sortieren der Wasserstoffatome ausgenutzt. In der Achse eines inhomogenen

Magnetfeldes, das in seinen Eigenschaften an das Feld des elektrischen Kondensators eines Molekulargenerators erinnert, sammeln sich die Wasserstoffatome an, die Radiowellen abzustrahlen vermögen, die Atome aber, die dem Feld Energie entziehen wollen, werden zur Seite geschleudert.

Jetzt war es noch erforderlich, in die Bahn des ausgesonderten Strahls einen räumlichen Resonator zu stellen, der auf eine Wellenlänge von 21 cm abgestimmt war, und die „kosmische Radioemission“ mußte im Laboratorium entstehen. Jedoch...

**Kein leichter Sieg.** Die Natur erlaubt dem For- scher keine leichten Siege, und ein erfahrener Wissenschaftler kann nicht darauf hoffen, daß ihm der Sieg geschenkt wird. Die Berechnung zeigte, daß der beste Resonator nicht gut genug war, damit der stärkste Wasserstoff-Atomstrahl, den man praktisch erhalten konnte, die Ver- luste im Resonator überwand und in ihm eine Kettenreaktion zur Erzeugung von Radiowellen hervorrief. Wasserstoffatome sind 17mal leichter als Ammoniakmoleküle und fliegen deshalb bei gleicher Temperatur viermal schneller. Außer- dem ist ihre magnetische Energie viel kleiner als die elektrische Energie der Ammoniakmo- lekülen.

Aber wenn der beste Atomstrahl den besten Resonator nicht anregen kann, führt eine solche Lösung der Aufgabe natürlich in eine regelrechte Sackgasse. Die „Mauer“ in dieser Sackgasse war die Rückwand des Resonators, auf die die Was-

serstoffatome aufprallten, ohne daß sie Zeit fanden, ihren Energieüberschuß ans Feld des Resonators abzugeben.

Am einfachsten erschien es, diese Wand wegzunehmen und den Resonator in einen langen Wellenleiter zu verwandeln, den die Atome entlangfliegen können, solange sie sich nicht von ihrer Überschußenergie getrennt haben. Aber wiederum zeigten die Berechnungen der Astrophysiker, daß dafür die Ausmaße eines Laboratoriums nicht ausreichten.

Aber die „Sackgasse“ mußte unbedingt verschwinden, ohne die Wand des Resonators zu entfernen. Das war keine fixe Idee, sondern das Resultat einer tiefgehenden physikalischen Analyse.

Das Schlimmste bestand darin, daß das Atom, indem es auf die Wand auftrifft, ihr seine Überschußenergie abgibt und von ihr als „Empfänger“ von Radiowellen zurückgeworfen wird. Konnte man nicht den Wänden des Resonators solche Eigenschaften geben, daß sie den auftreffenden Wasserstoffatomen die Überschußenergie nicht abnahmen? In diesem Falle würden die Atome innerhalb des Resonators lange genug umherirren, daß sie in ihm ihre Überschußenergie „ableuchten“ können.

Ist das nicht eine „verrückte“ Idee? Die Wand hört vom Standpunkt der Wechselwirkung mit der inneren Energie eines Atoms auf, Wand zu sein, während sie im echten Sinne des Wortes Wand bleibt!

Es zeigte sich, daß man solche Wände schaffen konnte. Dazu mußte man sie mit irgendeinem

Stoff überziehen, dessen Moleküle zu den Wasserstoffatomen in sehr schwacher Wechselwirkung stehen. Langes Suchen zeigte, daß solche Stoffe existieren, und als beste von ihnen erwiesen sich spezielle Paraffinsorten sowie das Polytetrafluoräthylen, auch unter der Bezeichnung Teflon bekannt. Die Atome des Wasserstoffs können mehrere zehntausendmal mit der Oberfläche dieser Stoffe zusammenstoßen, ohne daß sie ihnen ihre innere Energie übergeben oder die Fähigkeit verlieren, diese Energie in Form von Radiowellen abzustrahlen.

Die Berechnung zeigte, daß die Verweilzeit des Atoms im Resonator mit geschützten Wänden dafür ausreichte, daß das Atom die Radiowelle abstrahlte, solange es nicht zufällig in die Öffnung geriet, durch die es vorher in den Resonator eingetreten war, und jenen wieder verließ. Das bestimmte auch die Größe der Öffnung. War sie zu groß, verließ das Atom den Resonator, ohne daß es seine Überschußenergie „abgeleuchtet“ hatte, und nahm sie wieder mit zurück. Wenn die Öffnung zu klein war, dann flog das Atom auch nach dem Ableuchten innerhalb des Resonators als „Empfänger“ herum und konnte eine Menge der Energie absorbieren, die schon von anderen Atomen oder ihm selbst abgestrahlt worden war. Eine zu kleine Öffnung erschwerte auch die „Speisung“ des Resonators mit dem Strahl angeregter Atome.

So konnten die Wände in originelle Spiegel umgewandelt werden, die die Wasserstoffatome zurückwarfen, ohne deren innere Energie zu verändern. Die Atome flogen im Resonator drei

bis vier Sekunden umher und strahlten während dieser Zeit in ihm ihre Energie ab.

Aber war denn das wirklich ein Ausweg aus der Sackgasse? Denn die Atome, die chaotisch zwischen den Wänden umherirren, sind kein Strahl mehr, sondern ein Gas. Doch einen Radiowellenlengenerator auf der Grundlage eines Gases zu schaffen, das war genau das, was bisher als unmöglich galt.

Tatsächlich ist es unmöglich, einen Generator auf der Grundlage eines gewöhnlichen Gases zu schaffen, in dem es mehr „Empfänger“-Atome als „Sender“-Atome gibt. Aber in dem neuartigen Resonator befand sich ein außergewöhnliches Gas. Dieses Gas bestand in der Hauptsache aus „Sender“-Atomen, die in den Resonator in Form eines Atomstrahls hineingeflogen waren. Ein Atom verbrachte im Resonator nur einige Sekunden, strahlte in ihm seine Energie ab und verließ ihn, in einen „Empfänger“ verwandelt, schnell wieder. Natürlich flog ein gewisser Teil der Atome weg, bevor sie abstrahlen konnten, aber diese unvermeidlichen Verluste waren gering. Der Versuch bestätigte die Berechnungen. Der Generator begann zu arbeiten. Zwar war seine Leistung verschwindend klein, der millionste Teil eines Millionstel Watt. Das war ungefähr hundertmal weniger als die Leistung eines Molekulargenerators auf der Basis von Ammoniak. Aber dafür war die Frequenzstabilität des neuen Quantengenerators ungefähr hundertmal besser.

Jetzt „streitet“ der „Wasserstoffgenerator“ mit dem „Ammoniakgenerator“ um das Recht, als

neues Frequenznormal zu gelten, als neues Eichmaß der Zeiteinheit, der Sekunde.

**Ohne Rauschen.** Quantengeräte können nicht nur Radiowellen erzeugen, sondern sie auch verstärken. Tatsächlich, wenn man in einen räumlichen Resonator einige aktive Moleküle weniger hineinläßt, als zum Entstehen einer Erzeugung notwendig sind, dann kommt auch keine zustande. Dann ist der Apparat fähig, als Verstärker zu arbeiten.

Wenn in einen solchen Verstärker, der mit einer Antenne ausgerüstet ist, von außen her eine schwache Radiowelle der gleichen Frequenz, wie sie auch von den Ammoniakmolekülen abgestrahlt wird, einfällt, veranlaßt sie diese, ihre Energie abzugeben. Dadurch wird die äußere Radiowelle, indem sie auf Kosten der Energie der Ammoniakmoleküle aufgefüllt wurde, verstärkt.

Hören Sie sich einen gewöhnlichen Rundfunkempfänger an, wenn er gerade keinen Sender empfängt! Es scheint, als ob er „atmet“. Man hört das „Atmen“ der Elektronenröhren. Vor diesem Hintergrund ist es nicht ganz leicht, die schwache Übertragung eines fernen Senders zu vernehmen.

Im Molekularverstärker rauscht nichts. Das Gefäß, in dem die Moleküle strahlen, ist von der Außenwelt isoliert, wie ein Rundfunkstudio, aus dem eine Sendung übertragen wird. Auch die „Darsteller“, die Ammoniakmoleküle, rauschen nicht. Deshalb ist ein solches Gerät in

der Lage, sehr schwache Radiosignale zu empfangen.

Besonders große Perspektiven haben Verstärker, die als Arbeitsmedium weder Ammoniakmoleküle noch Wasserstoffatome benutzen, sondern gewisse paramagnetische Kristalle. Das sind Kristalle, in denen Ionen paramagnetischer Stoffe enthalten sind, z. B. Chromionen. Solche Ionen sind kleinen Magneten ähnlich und sind bestrebt, sich in die Richtung eines magnetischen Feldes einzustellen. Diese Lage entspricht für sie einem Energieminimum. Aber ein Teil der Ionen ist unter dem Einfluß der Wärmebewegung auf andere Richtungen eingestellt und besitzt deshalb überschüssige Energie.

Bringt man einen normalen Kristall in einem räumlichen Resonator unter, der mit flüssigem Helium bis auf eine Temperatur von etwa minus 270 Grad Celsius abgekühlt ist, und bestrahlt ihn mit elektromagnetischen Wellen geeigneter Frequenz, so kann man den Gleichgewichtszustand stören und die Mehrheit der Ionen gegen das Magnetfeld orientieren, d. h. ihnen überschüssige Energie verleihen. In diesem Zustand hat der Kristall die Eigenschaft, elektromagnetische Wellen auszusenden, ähnlich dem sortierten Strahl von aktiven Ammoniakmolekülen.

Jener Umstand, daß der ganze Prozeß bei einer Temperatur nahe dem absoluten Nullpunkt vor sich geht, macht einen solchen Verstärker praktisch rauschfrei. Die Empfindlichkeit eines Empfängers, der mit einem derartigen Verstärker ausgerüstet ist, ist einige hundertmal größer als bei der üblichen Verwendung von kristalli-

nen Transistorverstärkern oder von Elektronenröhren.

Dank der Eigenschaft, daß Molekularverstärker ein sehr feines „Gehör“ haben, sind sie in der Lage, sogar schwächste Strahlungen, die aus der Tiefe des Weltalls zur Erde gelangen, zu empfangen. Aus diesen Signalen erlangen die Menschen Informationen über den Aufbau ferner Nebel und die Zusammensetzung der Atmosphäre von Planeten. Durch das Auffangen der Atomstrahlung des interstellaren Wasserstoffs helfen die Molekularverstärker, seine Verteilung im Weltraum und seine Bewegungsgesetze zu erforschen, was von sehr großer Bedeutung für die Kosmogonie ist. Molekularverstärker dienen auch dazu, die Planeten zu orten.

Als die Wissenschaftler Versuche unternahmen, die Planeten im Radarverfahren zu orten, benutzten sie die gewaltigsten Funkmeßgeräte. Aber die Empfänger dieser Radaranlagen arbeiteten mit Elektronenröhren, und das Eigenrauschen der Röhren verschluckte das schwache Funkecho, das aus den kosmischen Weiten an kam. Sogar Elektronenrechner, die zur Bearbeitung der erhaltenen Signale herangezogen wurden, ergaben äußerst ungenaue Resultate.

Die Lage änderte sich, als die Empfänger der Radargeräte mit rauscharmen, paramagnetischen Verstärkern versehen wurden. Ihre Empfindlichkeit wuchs sofort um mehr als das Zehnfache.

Dadurch konnten sowjetische Wissenschaftler unter Leitung des Akademiemitgliedes W. A. Kotelnikow auf der Grundlage von Signalen, die von der Venus reflektiert worden waren, höchst

genaue Werte der astronomischen Einheit — des Maßstabes kosmischer Entfernungen — erhalten. Ohne genaue Kenntnis dieses Wertes kann man die Bahnen interplanetarer Raketen nicht berechnen.

Die große Empfindlichkeit des Planetenradars gestattete es der Gruppe Kotelnikows, erstmalig die Funkortung der Planeten Merkur und Jupiter durchzuführen und eine kosmische Funkverbindung zur Venus zu verwirklichen.

Bei der Funkortung des Mars erhielten die sowjetischen Wissenschaftler, indem sie ebenfalls paramagnetische Verstärker verwendeten, vollständigere Ergebnisse.

Die Anwendung von Quantengeräten in Wissenschaft und Technik eröffnet viele andere vortreffliche Perspektiven. Die Quantenelektronik wurde zu einem bedeutenden Zweig der Wissenschaft.

Man kann nicht von allem auf einmal erzählen. Nach und nach wird das Leben selbst darüber berichten.



**GARIN  
HATTE  
UNRECHT**

**Ein Forscher namens Fabrikant.** Walentin Alex- androwitsch Fabrikant verteidigte im Jahre 1939 seine Habilitationsschrift mit glänzendem Erfolg. In dieser Schrift, die ein Jahr später veröffentlicht wurde, war ein kleiner Abschnitt dem Beweis gewidmet, daß eine erstaunliche Erscheinung, die bisher nur in der Strahlung der Gestirne beobachtet worden war, im Laboratorium nachgebildet werden kann.

Das war ein rein theoretischer Teil der Arbeit. Fabrikant führte in dieser Zeit keine entsprechenden Versuche durch. Es begann der Große Vaterländische Krieg.

Im Vergleich zu den dramatischen Ereignissen dieser Jahre erschien die Entdeckung Fabrikants unaktuell. Sie wurde für lange Zeit vergessen.

Niemand vermutete damals, daß die neue Entdeckung dazu bestimmt war, das „Zeitalter der kosmischen Flüge“ näherzubringen.

**Das Rätsel der Kometenschweife.** Wer weiß, wann der Mensch das erste Mal am Himmel einen Kometen erblickte, einen geschweiften Stern, eine der seltensten und wunderlichsten Erscheinungen? Das Auftauchen eines neuen Kometen zählt bis heute zu den größten Ereignissen in der Wissenschaft: Die Natur der Kometen ist doch noch nicht völlig geklärt.

Jedesmal, wenn am Himmel ein Schweifstern erschien, gab es unter den Gelehrten ein und dieselbe verlegene Frage: Warum ist der Schweif des Kometen immer von der Sonne weg gerichtet? Es war schon lange geklärt, woraus der Komet selbst und woraus sein Schweif be-

steht, aber der seltsame Umstand, daß er sich, der Anziehungskraft zuwider, von der Sonne abwendet, fand keine Erklärung.

Dann jedoch tauchte bei den Wissenschaftlern eine Lösung auf, halb Vermutung, halb Gewißheit: Das Sonnenlicht ist zweifellos materiell und in der Lage, auf getroffene Gegenstände eine mechanische Wirkung auszuüben. Diese erstaunliche Hypothese wurde durch die berühmten Versuche des russischen Physikers P. N. Lebedew unterstützt, der den Strahlungsdruck unter Laborbedingungen untersucht hatte. Und die Wissenschaftler begriffen die wahren Ursachen des seltsamen Benehmens der geschweiften Sterne: Das Sonnenlicht stößt die Atome und Staubteilchen, aus denen der Kometenschweif besteht, stärker ab, als sie die Sonnenanziehungskraft anzuziehen vermag. Immer neue und neue Kometen beobachtend, konnte man sich davon überzeugen, daß Entstehung und Entwicklung des Kometenschweifes tatsächlich dem Strahlungsdruck des von der Sonne kommenden Lichtes zuzuschreiben sind.

Obgleich die Wissenschaftler die mechanische Wirkung des Lichts entdeckt hatten, entstand nicht einmal der Gedanke an seine praktische Ausnutzung. Ein solcher Gedanke schien einfach absurd. Während sie die längsten Kometenschweife beeinflußten, waren die Sonnenstrahlen nicht einmal in der Lage, die Haare auf dem Kopf eines Menschen zu bewegen. Von welcher praktischen Ausnutzung des Lichtdrucks konnte denn die Rede sein?

Trotzdem... Die moderne Technik geriet bei ei-

nigen Fragen einfach in eine Sackgasse. Aber sie könnte aus ihr tatsächlich mit Hilfe des Drucks der Lichtwellen herauskommen!

Hier ein Beispiel: Wie könnte der Mensch innerhalb seines kurzen Lebens zu Sternen gelangen, die Hunderte und Tausende Lichtjahre von der Erde entfernt sind? Dorthin könnte ihn nur eine superschnelle Rakete bringen. Aber kein chemischer Brennstoff ist in der Lage, eine Rakete auf eine Geschwindigkeit zu beschleunigen, die für Flüge über die Grenzen des Sonnensystems hinaus notwendig ist. Das können nur elektromagnetische Wellen.

Die Berechnungen zeigen: Wenn man einen starken Strahl elektromagnetischer Wellen erzeugt, dann kann seine Rückstoßkraft eine Rakete wesentlich stärker beschleunigen als ein beliebiger anderer Antrieb. Theoretisch kann man sich auf diese Weise sogar der Grenzgeschwindigkeit, der Geschwindigkeit des Lichts, nähern. Allerdings gibt es auf dem Weg zur Schaffung solcher Raketen, die man Photonenraketen nennt, noch so viele Schwierigkeiten, daß diese Aufgabe vorläufig nur auf dem Papier zu lösen ist.

**Durch Licht gestützt.** In letzter Zeit, buchstäblich in unseren Tagen, dachten sich die Wissenschaftler aber noch eine andere Arbeit für die Lichtwellen aus. Diese Arbeit ist erstaunlich, auf den ersten Blick einfach unwahrscheinlich.

Um unseren Planeten kreisen viele künstliche Satelliten. Sie erkunden das Wetter, erforschen

die Ionosphäre und das Schwerefeld der Erde, oder sie dienen anderen Zwecken. Ihre Bahnen verlaufen in verhältnismäßig niedrigen Höhen. Infolge der Reibung in den obersten Schichten der Atmosphäre verlieren diese künstlichen Erdtrabanten schnell an Geschwindigkeit, sie sinken tiefer und verglühen in der Atmosphäre. Ihre Lebensdauer ist begrenzt, aber, da für sie große Mittel aufgewendet werden, erwartet man von ihnen einen langen Dienst.

Und nun wurde die verlockende Idee geboren: Wie wäre es, wenn man versuchte, die Satelliten auf ihren Bahnen zu halten, indem man sie von der Erde aus stützt ... mit Lichtstrahlen? Könnten doch, so dachten sich die Wissenschaftler, die Strahlen spezieller starker Lichtquellen, die sich auf der Erde befinden, mit den Sputniks genauso verfahren wie die Sonnenstrahlen mit dem Kometenschweif.

Man stellte vorläufige Berechnungen an und überzeugte sich, daß die Aufgabe nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch real ist. Es ist verhältnismäßig wenig Strahlungsdruck dafür nötig, weil auch die Reibung eines Satelliten in den äußerst dünnen, obersten Schichten der Atmosphäre gering ist.

Jedoch führten diese Berechnungen zu einem entmutigenden Ergebnis. Es zeigte sich, daß diese Aufgabe sogar die Kräfte leistungsstarker Scheinwerfer übersteigt. Sie sind nicht in der Lage, die für diese Zwecke nötigen Lichtbündel zu liefern. Jeder hat sicherlich schon einmal beobachtet, daß der Strahl eines Scheinwerfers, der anfangs einen Durchmesser von 1 bis 2 Metern

hat, sich allmählich verbreitert, so daß in einer Entfernung von einigen Kilometern die Fläche des Lichtflecks Hunderte Quadratmeter ausmacht. In einer Höhe schließlich, in der sich die Forschungssatelliten bewegen, verteilen sich die Lichtwellen, die vom Scheinwerfer ausgestrahlt werden, auf eine so große Fläche, daß ihr Druck, der schon in der Nähe des Scheinwerfers relativ gering ist, sich nur als verschwindend klein herausstellt.

Die Optik zeigt, daß zur Verringerung der Divergenz des Scheinwerfer-Lichtstrahls die Fläche der Lichtquelle verringert werden muß. Aber das ist mit einer Verringerung seiner Leistung verbunden, weil die Eigenschaften der uns bekannten Materialien keine Erhöhung der Temperatur der Lichtquelle gestatten. Dadurch befindet sich die klassische Lichttechnik in einem Teufelskreis. Und die Wissenschaftler sahen ein, daß die Lösung der gestellten Aufgabe mit den üblichen Methoden unmöglich war.

Ein Ausweg aus dieser Sackgasse wurde durch eine Verbindung von Methoden der Funktechnik, Quantenmechanik und Optik gefunden. Im Grenzgebiet dieser Wissenschaften entstand die Quanten-Radiophysik, die es gestattet, prinzipiell neue Licht- und Radioquellen zu schaffen.

Es zeigte sich, daß weder Scheinwerfer noch schon bekannte Quantengeneratoren, ja nicht einmal die blendende Sonne die notwendigen starken Bündel elektromagnetischer Wellen liefern konnten, wohl aber die ... Atome und Moleküle.

Sowohl auf der Sonne als auch in einem Scheinwerfer und in einer elektrischen Glühlampe wird das Licht durch eine Temperaturstrahlung erzeugt. Es besteht aus elektromagnetischen Wellen, die von Atomen ausgehen, die ungeregelte Bewegungen ausführen. Diese unabhängigen Wellen kann man nicht zu einem engen, starken Strahl vereinigen. Zur Schaffung eines „gebündelten“ Strahls muß man die Atome veranlassen, die Lichtwellen nicht ungeordnet, sondern „zusammenhängend“ (kohärent) auszustrahlen.

Auf die Möglichkeit einer solchen koordinierten Abstrahlung hatte schon Einstein hingewiesen, und sie war tatsächlich von den Astronomen bei einigen Himmelskörpern schon beobachtet worden.

Als Walentin Alexandrowitsch Fabrikant seine Habilitationsschrift vorbereitete, schuf er die Grundlagen zur künstlichen Erzeugung einer solchen kohärenten Strahlung von Atomen und Molekülen. Und obwohl ihn der Krieg daran hinderte, entsprechende Versuche durchzuführen, trug seine Theorie einen wichtigen Teil zum Fundament der neuen Wissenschaft, der Quantenradiophysik oder Quantenelektronik bei.

Erst nachdem das Land die Wunden geheilt hatte, die ihm im Krieg zugefügt worden waren, kehrte Fabrikant zu seiner Entdeckung zurück und formulierte sie zusammen mit seinen Mitarbeitern in so exakter Form, daß sie für diese Erfindung große Anerkennung fanden.

**Ideen liegen in der Luft.** Das war im Jahre 1951. Seitdem vergingen viele Jahre, und es ist jetzt schwer festzustellen, warum sich Fabrikant nur mit der Anmeldung seiner Erfindung begnügte, ohne sie in einer Veröffentlichung seinen Fachkollegen vorzustellen.

Aber man sagt nicht ohne Grund, daß Ideen in der Luft liegen. Schon im Jahre 1952 berichteten die jungen sowjetischen Physiker N. G. Bassow und A. M. Prochorow auf einer wissenschaftlichen Konferenz über ihre Arbeiten, deren Ergebnisse sich mit denen Walentin Fabrikants berührten. Sie erhärteten die Möglichkeit, ein Gerät zu schaffen, das von ihnen „Molekulargenerator und Radiowellenverstärker“ genannt wurde. Und kurze Zeit später begann dann auch ihr Molekulargenerator zu arbeiten.

Es war ein hervorragendes Gerät. Es strahlte so konstante Radiowellen aus, wie sie noch von keinem Generator abgegeben worden waren.

Die jungen Wissenschaftler fanden, daß es möglich ist, die Atome und Moleküle zu veranlassen, den Uhrzeiger „zu drehen“, und sie verwandelten die Strahlung des Molekulargenerators in Impulse, die mit ungewöhnlicher Genauigkeit aufeinanderfolgten. Mit diesen Impulsen steuerten sie eine gewöhnliche elektrische Uhr. So wurde eine einmalige Uhr geschaffen, deren Lauf praktisch keiner Regulierung und keines Vergleiches mit astronomischen Beobachtungen bedarf. Eine solche Uhr irrt sich auch nach einem ununterbrochenen jahrhundertelangem Lauf nicht um eine Sekunde.

„Im Herbst reifen die Äpfel in allen Gärten“, sagt ein russisches Sprichwort. Wie sich später herausstellte, mühten sich im fernen Amerika, weder von den Arbeiten der sowjetischen Forscher noch voneinander etwas ahnend, zwei Gruppen von Wissenschaftlern um die Lösung des gleichen Problems. An der Columbia-Universität leitete diese Arbeiten der junge Professor Charles Townes und an der Universität von Maryland J. Weber.

Townes veröffentlichte mit seinen Mitarbeitern als erster eine kurze Notiz über einen von ihnen gebauten Radiowellen-Molekulargenerator, der auch als Verstärker arbeiten konnte. Sie gaben ihrem Kind den Namen „Maser“, abgeleitet von den ersten Buchstaben der englischen Worte microwave amplification by stimulated emission of radiation (Mikrowellenverstärkung durch induzierte Emission von Strahlung). Das kurze und klangvolle Wort Maser, das an das neue Prinzip erinnert, ging allmählich ins Lexikon der Wissenschaft ein.

Zweifellos versetzte die erste Veröffentlichung von Townes über die Schaffung des neuen Gerätes sowohl Weber in Maryland als auch Fabrikant, sowie Bassow und Prochorow in Moskau in Aufregung. Aber das ist das Schicksal der Wissenschaftler: Viele streben dem Ziel entgegen, aber nur einer kann der erste sein.

Fabrikant hatte vor Jahren das allgemeine Prinzip vorgeschlagen. Im Moskauer physikalischen Institut und an der Columbia-Universität von New York fanden die Wissenschaftler, die nichts von dieser Idee wußten, nicht nur selbständig

zu ihr hin, sondern sie bauten sogar Geräte, die einander wie Zwillinge ähnelten.

Im Jahre 1954 beschrieben Bassow und Prochorow eine andere Methode zur Realisierung dieses Prinzips. Sie fanden, daß man ein System von Atomen oder Molekülen veranlassen kann, Radiowellen zu verstärken oder zu erzeugen, wenn man diese Atome und Moleküle mit kürzeren Radiowellen bestrahlt oder mit hellem Licht geeigneter Wellenlänge beleuchtet. In kurzer Zeit arbeitete ein amerikanischer Gelehrter diese Methode speziell zur Verstärkung von Radiowellen mittels besonderer Kristalle aus, die in flüssiges Helium eingetaucht waren.

Danach kehrte der „Stafettenstab“ nach Moskau zurück, wo Fabrikant noch eine Methode vorschlug, die es gestattete, auf der Grundlage der von ihm entdeckten Erscheinung eine Gaszelle zu bauen, die schon keine Radiowellen mehr, sondern sichtbares und infrarotes Licht verstärkte.

Noch zwei weitere Wege zur Verstärkung und Erzeugung von Licht- und Infrarotstrahlen fanden Forschungsgruppen unter Bassows Leitung. Und schließlich wurden in den USA die ersten Modelle der Licht- und Infrarotverstärker geschaffen, in denen Kristalle des Rubins, der vorher von Prochorow eingehend untersucht worden war, und Kristalle des weniger bekannten Minerals Fluorit, das vorher Feofilow in Leningrad erforscht hatte, Verwendung fanden.

Auf diese Weise entwickelten die Wissenschaftler ein Verfahren, das es gestattet, Licht zu

erzeugen, das besondere Eigenschaften aufweist.

**Friedliche Strahlen.** So wurden die erstaunlichen, noch nie dagewesenen Lichtquellen geboren, denen die Physiker den Namen „Laser“ gaben. Auch dieses Wort ist eine aus der englischen Bezeichnung gebildete Kurzform für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Lichtverstärkung durch induzierte Emission von Strahlung). Lasergeräte liefern sehr starke Lichtbündel.

„Wollte man von einem Glühlampenfaden einen Lichtstrahl der gleichen Helligkeit wie beim Quantengenerator erhalten, müßte man ihn auf eine Temperatur von 10 Milliarden Grad erhitzen“, sagte Professor Bassow. Mit anderen Worten: Man müßte eine Lichtquelle haben, die eine Million Mal heißer als die Sonne ist.

Lasergeräte sind jedoch den sperrigen Scheinwerfern und den turmhohen Leuchtfeuern nicht ähnlich. Man bringt sie auf der Handfläche unter. So stellte das Herz des ersten Lasergenerators einen kleinen Zylinder künstlichen Rubins von fünf Millimetern Durchmesser und einigen Zentimetern Länge dar.

Und diese leistungsfähigen Lichtquellen werden nicht auf ungeheure Temperaturen erhitzt. Sie sind völlig kalt und deshalb besonders bequem zu handhaben. Sie geben so schmale Lichtstrahlen ab, daß man ohne Übertreibung von „Lichtnadeln“ sprechen kann.

Die Divergenz der Lichtwellenbündel in diesen Geräten wird bei richtiger Ausführung im End-

effekt nur von deren Abmessungen bestimmt. Aber im Unterschied zu gewöhnlichen Geräten, bei denen man zur Verkleinerung des Strahldurchmessers die Abmessungen der Lichtquelle verringern muß (wobei sich gleichzeitig die erreichbare Leistung verringert), ist in den neuen Apparaten die Divergenz um so geringer, je größer der Querschnitt der Quelle ist. Das gestattet es, gleichzeitig Richtschärfe und Leistung des Lichtbündels zu vergrößern.

Die ersten Modelle dieser Lichtquellen, die auf neuen Prinzipien fußen, bestätigten die Erwartungen der Wissenschaftler. Eine Quelle, in der Rubin- oder Fluoritkristalle benutzt werden, gibt einen Lichtstrahl in Form eines Kegels mit einem Öffnungswinkel von ungefähr einem Zehntel Grad ab. Aber die „Lichtnadel“ kann noch spitzer sein. Denn die Divergenz des Lichtstrahls wird in diesen Geräten durch die dem Kristall beigemengten Verunreinigungen bedingt und übersteigt noch etwa hundertfach die theoretische Grenze. Diese Grenze wurde in Lichtquellen, bei denen als Arbeitsmedium ein Gemisch geeigneter Gase verwendet wird, praktisch erreicht.

Wenn man mit Hilfe eines einfachen optischen Systems das Licht einer solchen Quelle auf den Mond richtet, dann wird auf dessen Oberfläche ein Fleck von nur drei Kilometer Durchmesser beleuchtet. Verständlicherweise drängte sich schon damals der Gedanke auf, den Mond auf diese Weise zu orten, denn dadurch würde es möglich, alle Feinheiten seines Reliefs von der Erde aus zu betrachten. Mit Hilfe des auf dem

ersten beweglichen Mondlaboratorium „Lunochod 1“ angebrachten Laserreflektors ist das inzwischen auf sehr eindrucksvolle Weise auch geschehen.

Die mittlere Leistung des Lichtstrahls, der von den ersten Ausführungen abgegeben wurde, war noch gering. Sie überstieg nicht die Leistung einer starken Glühlampe. Aber während die elektrische Lampe ihr Licht nach allen Seiten ausstrahlt, geben es die neuen Quellen als fast nicht divergierenden Strahl ab, so daß die ausgestrahlte Energie auf eine kleine Fläche konzentriert werden kann.

Die Vergrößerung der Leistung der neuen Lichtquellen ist ein rein technisches Problem. Es fordert nicht die Anwendung neuer Prinzipien. Man kann sogar ganz einfach vorgehen und Lichtstrahlen von einigen leistungsschwachen Quellen vereinigen. Das gestattet die Schaffung eines Systems, das in der Lage ist, von der Erdoberfläche aus künstliche Satelliten auf ihren Bahnen zu stützen. Aber damit sind die Möglichkeiten der neuen Geräte noch lange nicht erschöpft.

Unter Ausnutzung der Energie, die von den neuen Quellen ausgestrahlt wird, kann man sehr hohe Temperaturen erreichen. Man macht das fast genau so, wie man an einem sonnigen Tage mit Hilfe eines Vergrößerungsglasses Muster in Holz einbrennen kann. Eine einfache Linse mit einer Brennweite von einem Zentimeter kann das Licht eines Lasers in einen Punkt von einem Hundertstel Zentimeter Durchmesser zusammenführen. Dabei erreicht die Energie-

dichte 100 000 Kilowatt je Quadratzentimeter. Das ist tausendmal mehr, als man erhalten kann, wenn man das Sonnenlicht mittels Linsen oder Spiegeln auf einen Punkt richtet.

Ohne zu ahnen, daß er vom Laser sprach, schrieb Alexei Tolstoi in seinem Zukunftsroman „Geheimnisvolle Strahlen“:

„Der erste Schlag des Strahls aus dem Hyperboloiden traf den Fabrikschornstein, er schwankte, brach in der Mitte durch und stürzte zusammen... Man sah das gesamte Werk, das sich über viele Kilometer erstreckte. Die Hälfte seiner Gebäude loderte wie Kartenhäuser. Der Strahl tanzte wie toll inmitten dieser Zerstörung.“

Sicher begeistert dieses Bild einige amerikanische Militaristen, die vorschlagen, „Rubin-Blitze“ als Waffe einzusetzen. Vor noch nicht allzu langer Zeit berichtete eine amerikanische Zeitschrift, indem sie für das „Laser-Geschäft“ Reklame machte, darüber, was von imperialistischen Kräften unternommen wird, um den Laser in eine tödliche Waffe zu verwandeln. Hier ein Auszug aus dieser Zeitschrift:

**Todesstrahlen.** In äußerst geheimen Laboratorien in allen Teilen der Vereinigten Staaten unternimmt man gewaltige Anstrengungen, um den Laser in eine neue Art „wissenschaftlich-phantastische“ Waffe zu verwandeln.

Das Licht, das von einem Laser abgegeben wird, kann man theoretisch hinreichend gefährlich machen, um es als „todbringende Strahlen“ zu benutzen, oder hinreichend stark, damit es als

völlig neues Mittel zur Vernichtung von Raketen-sprengköpfen im Kosmos dienen kann.

Der dichte Vorhang der Geheimhaltung umgibt diese Anstrengungen. Jahr für Jahr werden Millionen Dollar für die Schaffung einer Laserwaffe ausgegeben. Genaue Ziffern werden geheim gehalten.

Trotzdem ist jetzt folgendes bekannt: Bereits vor einigen Jahren erreichten die Wissenschaftler große Erfolge bei der „Verstärkung“ der Laser, die jetzt gewaltige Energien in kurzen Impulsen abgeben können. Die Vergrößerung der Leistung der Strahlen stellt eines der Schlüsselprobleme bei der Schaffung einer effektiven Strahlungswaffe dar. Wir berichten kurz über die Hauptrichtungen bei der Entwicklung einer Laserwaffe.

*A n t i r a k e t e n s t r a h l e n .* Zerstörende Strahlen, die mit Lichtgeschwindigkeit von der Erde (oder von einem Satelliten) ausgesandt werden und den Himmel abtasten. Sie müssen in der Lage sein, Raketen mit Sprengköpfen während des Fluges zu vernichten oder Flugzeuge vom Kurs abzubringen.

*S t r a h l e n k a n o n e n .* Als Waffe für Landstreitkräfte kann die „Strahlenkanone“ verwendet werden als ein Kampfmittel, das in der Lage ist, den Gegner zu lähmen oder zu blenden. Ein Wissenschaftler erlitt eine ernsthafte Schädigung der Augen, weil er, eine Meile von der Lichtquelle entfernt, versehentlich in einen Laserstrahl geriet. Jetzt wird die Frage erforscht, ob leistungsstärkere Laser den menschlichen Körper vernichten können.

### *Strahlen von Umlaufbahnen.*

Wenn man schädliche Strahlen mit Hilfe eines Lasers von einem Satelliten aus zur Erde richtet, kann man ganze Gebiete vernichten. Zur Zeit plant man Untersuchungen, um den Einfluß von Röntgen- und Gammastrahlen, die man konzentriert aus einer Höhe von vielen Meilen ausstrahlt, auf den Menschen zu studieren.

### *Strahlen zum Kampf gegen künstliche Erdsatelliten.*

Sich auf Umlaufbahnen bewegende Satelliten betrachtet man als leichte Ziele für zerstörende Strahlen, die sie vom Kurs abbringen oder außer Betrieb setzen können.

In den USA verläuft die Arbeit an Lasern sozusagen in drei Richtungen. Es gibt Wissenschaftler, für die nur die wissenschaftlichen Ergebnisse des Fortschritts in der Quantenelektronik interessant sind. Andere begeistert der Gedanke, eine superstarke Waffe zu erhalten. Wieder andere aber, und deren sind nicht wenige, sind nur an der „finanziellen“ Seite der Sache interessiert. Einer dieser Experten sagte besorgt: „Alle Laser-Ideen sind phantastisch. Viele von ihnen erweisen sich als unrealisierbar, aber wenn sich auch nur eine von ihnen realisieren ließe, brächte sie einen riesigen Haufen Geld.“

Diese Tendenzen offenbarten sich sogar bei der Auslegung des Wortes „Maser“. Einst war diese Bezeichnung aus den Anfangsbuchstaben eines Satzes gebildet worden, der das Wesen des neuen Gerätes angab (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Unlängst erhielt dieses Wort in amerikanischen Gelehrten-

kreisen verschiedene „freie“ Interpretationen. Einige von ihnen sind: „Militärische Anwendungen liegen scheinbar in weiter Ferne“ (Military Application Seem Extremely Remote); „Methode zur Geldbeschaffung für teuere Forschungen“ (Money Acquirement Scheme for Expensive Research); „Mittel zur Erlangung der Unterstützung für teuere Forschungen“ (Means of Acquisition Support for Expensive Research).

**Es gewinnen alle.** In der Sowjetunion werden die neuen Lichtquellen sehr breite Anwendung finden, und das nicht nur zur Stützung von Sputniks auf ihren Bahnen.

Wenn man den Lichtstrahl eines Lasers auf einen Punkt vom Durchmesser eines Bruchteils eines Mikrons konzentriert, kann man einen gewaltigen Strahlungsdruck von Hunderttausenden Atmosphären erhalten. Und schon heute schlägt ein solcher Strahl in einer Millionstel Sekunde ein Loch in eine millimeterdicke Stahlplatte. Das ist ein hervorragendes Instrument zur genauen Metallbearbeitung. Die „Lichtnadel“, die ungeheure Temperaturen und millionenfache Drücke zu entwickeln vermag, ist ein hervorragendes Werkzeug zur Bearbeitung hitzebeständiger Materialien.

Die Wissenschaftler können nicht einmal alle sich eröffnenden Anwendungsmöglichkeiten für dieses Werkzeug voraussehen. Es genügt zu sagen, daß zwei sich kreuzende Lichtstrahlen dieser Dichte unbedingt in Wechselwirkung treten. Aber wie? Darauf zu antworten, ist zur Zeit unmöglich. Das ist eine Erscheinung, deren

Ergebnisse sogar theoretisch noch nicht völlig geklärt sind.

Besonders aussichtsreich ist die Anwendung von Lichtquellen und -verstärkern für superweite kosmische Funkverbindungen, wobei das Wichtigste die Erzielung eines schmalen Strahlenbündels ist. Nur auf diese Weise kann man eine Verbindung über riesige Entfernung aufrechterhalten, wofür die Funkwellen schon ungeeignet sind.

Für Nachrichtenverbindungen unter irdischen Bedingungen ist das sichtbare Licht nicht geeignet, weil es von der Atmosphäre stark gedämpft wird, besonders bei schlechtem Wetter. Hierfür wird infrarotes Licht verwendet, das teilweise gut durch Nebel und Regen hindurchdringt. Nachrichtenverbindungen, die mit Infrarotlicht arbeiten, können gleichzeitig bis zu hunderttausend Fernsehprogramme oder viele Millionen Telefongespräche übertragen.

Auch die Astronomen benötigen Licht- und Infrarotverstärker. Um äußerst ferne, dem Auge unsichtbare Sterne und Nebel zu entdecken, müssen die Astronomen den Himmel mit gewaltigen Teleskopen stundenlang fotografieren. Die weitere Vergrößerung der Teleskope und der Empfindlichkeit der Fotoplatten stößt auf so große Schwierigkeiten, daß man auf diesem Wege keine baldigen Fortschritte erwarten kann. Die neuen Verstärker gestatten es, noch entferntere Welten mittels kleinerer Teleskope und wesentlich kürzerer Belichtungszeiten zu erforschen. Der Blick des Menschen dringt immer weiter in die Tiefen des Weltalls und noch tiefer ins

**Innere der Stoffe.** Es wurden schon Infrarotmikroskope gebaut, die es möglich machen, in viele Körper, die für gewöhnliches Licht undurchdringlich sind, hineinzuschauen.

Laser können auch den Grund von Meeren und Ozeanen „abtasten“, können eine Nachrichtenverbindung unter Wasser ermöglichen (denn Funkwellen breiten sich unter Wasser nicht aus). Lasergeneratoren eröffnen ein breites Feld für Fortschritte auf vielen Gebieten der Technik und der Industrie. Zum Beispiel zeichnen sich verlockende Wege zur Steuerung chemischer Reaktionen ab. Mit Hilfe hinreichend starker Strahlen von elektromagnetischen Wellen kann man bestimmte Moleküle zu starken Schwingungen anregen, ohne dabei auf andere einzuwirken. Weil eine Anregung die chemische Aktivität erhöht, können Moleküle, die von Lichtwellen zusätzliche Energie erhalten haben, in Reaktionen treten, die unter normalen Bedingungen nicht ablaufen. Dadurch kann man in komplizierten Vielkomponentengemischen gewünschte Reaktionen hervorrufen, ihren Verlauf steuern und schließlich neue chemische Verbindungen erhalten.

Die Schaffung des Lasers gab den Anstoß zu vielen Ideen. Man arbeitet schon Projekte aus zur Anwendung hochintensiver Lichtstrahlen für die Anregung thermonuklearer Reaktionen, zur Beschleunigung von Elementarteilchen bis zu supergroßen Energien, die auch mit Hilfe der gewaltigsten modernen Beschleuniger nicht erreichbar wären. Es gibt auch noch andere bemerkenswerte Projekte. Aber ihre Verwirkli-

chung ist zur Zeit noch eine Sache der Zukunft. Die Wissenschaftler haben noch viele Hindernisse zur Realisierung dieser Möglichkeiten zu überwinden.

An der Schaffung und Anwendung von Apparaten der Quantenelektronik arbeiten Tausende Wissenschaftler und Hunderte Laboratorien. Eine Hauptrolle bei diesen Arbeiten spielten Bassow, Prochorow und Townes. Ihre Verdienste hat die schwedische Akademie der Wissenschaften mit der Verleihung des Nobelpreises im Jahre 1964 gewürdigt.

Wie wird der wissenschaftliche Stafettenlauf weitergehen? Wer wird der Erste sein? In diesem Wettbewerb wird es keine Besiegten geben. Der Held des Romans von A. Tolstoi Garin hatte unrecht. Es gewinnen alle!

**WO IST  
DIE ANTIMATERIE  
ZU SUCHEN?**

**Die Welt im Spiegel.** Sie waren einige junge Physiker, die Hoffnung der italienischen Wissenschaft, die der Faschismus in die Welt hinaustrieb. Der älteste von ihnen, der bekannte Enrico Fermi, „Vater“ Fermi, ging nach Amerika und stellte alle seine Kraft zur Entwicklung des ersten Atomreaktors und der ersten Atombombe zur Verfügung.

Der jüngste von ihnen schien verschwunden zu sein... „Seit dem Verschwinden der Familie Pontecorvo sind mehr als drei Jahre vergangen. Niemand hörte von ihnen auch nur ein Wort. Niemand hat sie mehr gesehen. Ihre Verwandten versichern, daß ihnen nichts über sie bekannt ist... Und bedenken Sie nur: So etwas passiert mitten im zwanzigsten Jahrhundert!“ Das schrieb im Jahre 1958 Laura Fermi über den jüngsten Emigranten, über den talentierten, hübschen Bruno Pontecorvo, den Sportenthusiasten, den glänzenden Physiker.

Die italienischen Emigranten-Forscher versichern heute, daß sie alles über ihn gewußt haben, nur nicht, daß er und seine Frau, die Schwedin Marianne Nordblom, Kommunisten sind. Deshalb konnten sie es nicht verstehen, daß ihr fröhlicher und, wie es schien, immer sorgloser Freund im Jahre 1955 in die Sowjetunion ging.

Bruno Pontecorvo machte indessen kein Geheimnis aus seiner politischen Überzeugung. Er verheimlichte nicht, daß er seit 1936 Antifaschist war und daß er für die friedliche Anwendung der Atomenergie arbeiten wollte.

Seit diesem Ereignis vergingen viele Jahre. In

der Nähe von Moskau, in Dubna, im Vereinigten Institut für Kernforschung arbeitet ein bekanntes Kollektiv von Physikern verschiedener Nationalitäten. Unter ihnen ist Bruno Pontecorvo, dessen Talent sich in seiner ganzen Größe entfaltete. Der italienische Wissenschaftler ist ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und Verfasser vieler hervorragender wissenschaftlicher Arbeiten.

Eine der eigentümlichsten unter ihnen, eine von denen, worin sich die Erfahrungen eines reifen Geistes und die Inspiration eines Künstlers, Verstand und Phantasie vereinigen, enthält eine Hypothese, die erneut die rätselhafte Geschichte von Welt und Antiwelt beleuchtet.

Zur Aufstellung dieser Hypothese trugen der Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften J. A. Smorodinski und andere sowjetische und ausländische Wissenschaftler bei.

...Symmetrie des Weltalls — das ist eine der beeindruckendsten Vorstellungen der modernen Wissenschaft. Die Bewegung nach rechts und nach links, nach oben und nach unten, die Links- und Rechtsdrehung einer Schraube, Positives und Negatives — jede Kategorie in unserer Welt hat ihr Entgegengesetztes.

Der Gedanke, daß „links“ und „rechts“ gleichberechtigt sind, daß die Symmetrie zwischen Links und Rechts das Gleiche ist wie die Symmetrie einander entsprechender Spiegelbilder (denn bei der Abbildung im Spiegel verwandelt sich die rechte Hand in die linke), geht noch auf Leibnitz zurück. Seitdem sind die Wissenschaftler davon überzeugt, daß physikalische

Gesetze weder links noch rechts bevorzugen. Die Symmetrie der räumlichen Abbildung sagt aus: Wenn ein bestimmtes Teilchen existiert, dann existiert auch unbedingt ein Teilchen, das eine Spiegelung des ersten darstellt. Wenn ein bestimmter physikalischer Prozeß zustande kommt, dann ist ein anderer Prozeß, der dessen Spiegelbild entspricht, ebenfalls physikalisch möglich.

Es ist also nicht verwunderlich, daß die Menschen zu der Überzeugung kamen, daß in der Welt alles symmetrisch sei.

Und das nicht nur in der Welt, die uns umgibt, sondern auch im ganzen Weltall. (In Verbindung damit begannen einige Wissenschaftler sich sogar den Kopf über die Frage zu zerbrechen: Wenn einmal eine Funkverbindung mit Bewohnern ferner Welten zustande kommt, wie soll man ihnen dann mitteilen, welches Gewinde wir „rechts“ nennen und welches „links“? Es gibt kein Experiment, aus dem sich ein objektiver Vorrang des Linken vor dem Rechten oder des Rechten vor dem Linken ergeben würde.)

In der Welt der Elementarteilchen herrschte jedoch in dieser Beziehung völlige Anarchie. Die Welt der winzigsten Materieklümpchen konnte lange Zeit ohne Symmetrie auskommen. In ihr herrschten nur Teilchen. Existiert denn überhaupt ein „Spiegelbild“ eines Elektrons, Protons oder Neutrons? Und müssen sie denn existieren?

**Wie, was und warum!** Manche Forscher betrachten als Ziel ihres Lebens die Entdeckung neuer Fakten. Sie fragen zum Beispiel, wie ein Atom aufgebaut ist, und wenn sie feststellen, daß rund um einen positiv geladenen Atomkern Elektronen kreisen, betrachten sie ihre Aufgabe als gelöst.

Aber es gibt auch einen anderen Wissenschaftlertyp. Für ihn lautet die wichtigste Frage: „Warum?“ Er findet keine Ruhe, bevor er nicht herausgefunden hat, aufgrund welcher Ursache der Atomkern immer positiv ist, das Elektron aber eine negative Ladung hat. Die Geschichte der Wissenschaft zeigt, daß Versuche, auf die Frage „Warum?“ zu antworten, oft zu einem radikalen Bruch mit festen Ansichten führt, zu einer echten Umwälzung der Ideen. Das geschah auch beim Angriff auf die Antiwelt.

Einer der Schöpfer der Quantenmechanik, Paul Dirac, hatte versucht, sie mit der Relativitätstheorie zu vereinigen. Indem er die Elektronentheorie ausarbeitete, kam er zu dem scheinbar absurdem Schluß, daß das Elektron eine negative Energie besitzen kann, daß es sich in einigen Fällen entgegen einer auf es wirkenden Kraft bewegen muß.

Um nicht in Widerspruch mit dem Energieerhaltungssatz zu geraten, mußte Dirac ein neues Elementarteilchen in die Theorie einführen, das in allen Eigenschaften mit dem Elektron übereinstimmt, aber eine positive Ladung hat. Das war im Jahre 1930.

Fortan bewegte das neue „Teilchen“, das aus einer Gleichung geboren worden war, das Den-

ken der Physiker und rief heiße Diskussionen hervor. Warum hat eigentlich das Elektron eine negative Ladung? Warum soll es nicht auch ein elektrisch positives Elektron geben, ein Positron?

Und schließlich im Jahre 1932 sah Anderson, als er die Spuren kosmischer Teilchen auf Fotoplatten untersuchte, auf einer von ihnen zwei bemerkenswerte Spuren. Sie gingen von einem Punkt aus und waren vollkommen gleichartig. Aber die eine krümmte sich nach rechts, die andere in entgegengesetzter Richtung. Die eine Spur gehörte unzweifelhaft zu einem Elektron. Die andere konnte nur die Spur eines Positrons sein. So war erstmalig die Entstehung von Teilchen und Antiteilchen, von Elektron und Positron, nachgewiesen worden.

Es war eine sehr erregende Tatsache. Bis zu dieser Zeit hatte man die Elementarteilchen für ewig existent gehalten und ihre Zahl in der Welt für unveränderlich. Jetzt zeigte sich, daß Elementarteilchen erzeugt werden und „sterben“ können. Ihre Erzeugung und ihr Untergang sind strengen Gesetzen unterworfen. Unter geeigneten Bedingungen kann sich ein Lichtquant in ein Elektron-Positron-Paar verwandeln, und ein solches Teilchenpaar kann verschwinden, indem es sich in ein Lichtquant verwandelt.

### **Gleichberechtigung mit ungleichem Recht.**

Die weitere Entwicklung der Physik zwang, neue Antiteilchen in die Theorie einzuführen, z. B. das Antiproton — ein Teilchen, das dem Proton vollkommen analog ist, aber eine negative

Ladung besitzt. Einige Jahre später wurde auch dieses Teilchen mit Hilfe starker Beschleuniger gefunden. Danach war zur Präzisierung der Theorie ein weiteres Teilchen nötig, das Antineutron, ein neutrales Teilchen, das sich vom Neutron durch entgegengesetzte magnetische Eigenschaften unterscheidet.

Die stürmische Entwicklung der Physik führte noch zur Entdeckung einer ganzen Reihe neuer Antiteilchen, und schließlich wurde ein allgemeines Gesetz gefunden, das die Existenz der Antiteilchen bestimmt.

Scheinbar ging alles in Ordnung. Soweit es die Theorie erforderte, wurde für jedes Teilchen ein entsprechendes Antiteilchen gefunden. Aber jede Antwort bringt eine neue Frage hervor: Warum bestehen eigentlich alle uns bekannten Körper aus gewöhnlichen Teilchen? Warum finden wir keine Antiatome, die aus Antiprotonen, Antineutronen und Positronen bestehen? Wenn Materie und Antimaterie tatsächlich existieren, warum finden wir dann rings um uns immer nur Materie (nicht im philosophischen Sinne aufzufassen, sondern nur im physikalischen, als Gegensatz zu Antimaterie — d. Ü.)?

Wo ist denn die Antimaterie, wo die Antiwelt?

Und obwohl die moderne Physik der Meinung ist, daß Teilchen und Antiteilchen völlig gleichberechtigt sind, gibt sie auf diese Frage vorläufig keine Antwort.

Hier geraten die Wissenschaftler in eine fast ausweglose Lage. Die Existenz von Antimaterie ist offensichtlich. Aber was kann man denn über

die Antiwelt sagen? Vielleicht liegt sie irgendwo hinter den Grenzen der Sichtbarkeit und unterscheidet sich von unserer Welt ebenso, wie sich das Spiegelbild eines Menschen von ihm selbst unterscheidet? Existiert vielleicht wirklich eine jede Einbildungskraft erschütternde, sagenhafte „verkehrte Welt“, eine Welt, die aus Antiwasserstoff und anderen Antielementen besteht?

Ob dem so ist, läßt sich zur Zeit nicht überprüfen.

Es ist nur bekannt, daß beim Zusammentreffen eines Teilchens mit einem Antiteilchen beide verschwinden, wobei sie sich in eine andere Erscheinungsform der Materie verwandeln. Sie „zerstrahlen“. Man nennt diesen Vorgang „Annihilation“. Daher können in unserer Welt, die mit gewöhnlichen Teilchen angefüllt ist, die Antiteilchen nicht lange leben.

Die Frage, warum unsere Welt nicht symmetrisch ist, warum in ihr die Materie gegenüber der Antimaterie überwiegt, bleibt bis heute offen. So weiß bis heute auch kein Wissenschaftler, warum dieses Mißverhältnis zwischen der Menge der Materie und der Antimaterie in unserem Weltall besteht...

Der französische Gelehrte Blaise Pascal hatte einst, vielleicht im Scherz, vielleicht ganz ernsthaft, bemerkt: „Wäre die Nase der Kleopatra kürzer gewesen, sähe die Welt heute ganz anders aus!“

Unsinn, nicht wahr? Das hieße ja, hätte Kleopatra oder eine andere Schönheit eine andere Nase gehabt, so hätte Newton nicht die Gravi-

tationstheorie geschaffen und Einstein nicht die Relativitätstheorie; auf der Erde könnten Ebbe und Flut verschwinden, und die Sonne würde aufhören zu scheinen. Unsinn natürlich...

Allein, wenn man die Äußerung Pascals nicht so wörtlich auffaßt, nicht ganz so direkt, kann man in ihr einen vernünftigen Sinn entdecken. In der Welt geht tatsächlich nichts spurlos vorüber. Alles, was vor sich geht, wirkt so oder so auf seine Umgebung ein, hinterläßt eine große oder kleine, merkliche oder nicht sofort sichtbare Spur. Alles, was in der Natur passiert, prägt das Antlitz der Erde und der ganzen Welt.

Und es ist nicht verwunderlich, daß uns immer wieder die Frage beschäftigt: Welche Ursachen haben dazu geführt, daß unsere Welt so ist, wie wir sie heute sehen?

Warum gibt es um uns herum nur Materie in Form von gewöhnlichen Teilchen, und niemand sah je einen Stern, geschweige denn eine Galaxis aus Antiteilchen?

**Kann man dem Zufall trauen?** Einige Wissenschaftler, die keinen anderen Weg zur Lösung des Antimaterieproblems wissen, sind der Meinung, daß im Laufe der Entwicklung der Welt in unserem Bereich des Weltalls sich zufällig mehr Teilchen als Antiteilchen angesammelt hätten. Den Anhängern „Seiner Majestät, des Zufalls“ bleibt nur noch, anzunehmen, daß irgendwo an einer anderen Stelle des Weltalls ebenso zufällig eine Antiwelt mit einer Vorherrschaft der Antiteilchen entstanden sei. Und im Mittel

ist dank der Symmetrie die Zahl der Teilchen und Antiteilchen, die Menge von Materie und Antimaterie, im gesamten Weltall gleich.

Dieser Standpunkt versöhnte viele. Aber leider trifft er auf mindestens zwei große Schwierigkeiten, die es den Wissenschaftlern nicht gestatten, sich mit dieser Erklärung zufriedenzugeben. Die eine Schwierigkeit erinnert daran, daß es immerhin bis heute noch niemandem gelang, im gesamten sichtbaren Bereich des Weltalls eine Antiwelt zu beobachten. In der Menge der kosmischen Teilchen, die aus den Tiefen des Weltalls zur Erde gelangen, wurden bisher keine Antiteilchen gefunden. Wenn in unserer Welt, die aus gewöhnlicher Materie besteht, eine Menge Antimaterie auftauchen würde, würde sie sich sofort „verflüchtigen“, würde sie sofort zerstrahlen, indem sie mit der gewöhnlichen Materie in Wechselwirkung tritt. Aber sie würden auf eine sehr bemerkenswerte Weise verschwinden. Wenn sich irgendwo im Kosmos Welt und Antiwelt trafen, hätte dies eine Explosion zur Folge, die von den Wissenschaftlern nicht unbemerkt bleiben könnte.

Deshalb beobachteten die Forscher mit großer Aufmerksamkeit besonders solche Objekte, die starke Licht- oder Radiostrahlen aussenden. Und siehe da, eines Tages — das war Anfang der fünfziger Jahre — fanden die Astronomen eine äußerst starke Radioquelle. Sie befand sich im Sternbild Schwan. Außerdem konnte man durch starke Teleskope zwei besonders helle Flecken sehen. Einzelne Wissenschaftler schlossen daraus, daß das zwei frontal zusammen-

stoßende Galaxien seien. Ihr Zusammenstoß habe auch den Ausbruch der starken Radiostrahlung verursacht. Andere, die sich an dieses eindrucksvolle Beispiel klammerten, fanden, daß es sich nicht einfach um zwei Galaxien handele, sondern um eine Galaxis und eine Antigalaxis! Das einzige Gegenargument war, daß dieses Objekt nur starke Radiowellen ausstrahlt, während seine Strahlung im optischen Bereich sehr schwach ist. Wären zwei Antiwelten aufeinandergeprallt, hätte die Strahlung über das gesamte Spektrum kräftig sein müssen.

Die zweite Schwierigkeit bestand in folgendem: Berechnungen haben gezeigt, daß die mittlere Dichte der Materie im Weltraum sehr gering ist. Die Sterne sind im Weltall sehr weit voneinander entfernt. Ein Wissenschaftler sagte einmal: „Wenn man in ganz Europa nur drei Bienen leben läßt, wird die Luft Europas dennoch stärker von Bienen erfüllt sein als der Raum von Sternen.“ Und das interstellare Gas, die Planeten, Meteoriten, der „Staub“ — alles das zusammen hat eine so verschwindend geringe Dichte, daß es diese „Leere“ kaum merklich auffüllt.

Indem sie die gesamte Masse der bekannten Materie bei ihren Berechnungen gleichmäßig im Raum verteilt, erhielten die Wissenschaftler eine äußerst kleine Größe. Und alle Erfahrungen der Physiker zeigen, daß in der Natur große Abweichungen vom Mittelwert wenig wahrscheinlich sind. Wie konnte es dann geschehen, daß vor dem Hintergrund einer fast vollständigen Leere, auf der Grundlage einer verschwindend geringen durchschnittlichen Dichte der Materie

im Weltraum plötzlich gewaltige Eruptionen entstanden und die Materie sich zu solchen großen Klumpen, wie sie die Sterne darstellen, zusammenballen konnte?

Alles das kann man kaum dem Zufall zuschreiben. Wenn man annimmt, daß die Sterne und Galaxien in unserem Weltraum nur zufällige Abweichungen von einer bestimmten mittleren, sehr dünnen Verteilung der Materie im All sind, dann kann man schwer voraussetzen, daß diese Abweichungen so groß sind. Eine so große, zufällige Abweichung wäre sehr unwahrscheinlich. Sterne entstehen also nicht zufällig, sondern gesetzmäßig, wenngleich die Gesetzmäßigkeiten ihrer Entstehung und Entwicklung noch lange nicht bekannt sind.

**Ein nicht gefangener Dieb.** Also ist die Vorherrschaft der gewöhnlichen Materie über die Antimaterie im Weltall nicht zufällig. Überlegungen über dieses Rätsel führten Pontecorvo und Smorodinski zu einer erstaunlichen Hypothese. Sie und eine Reihe anderer Forscher stellten sich die Möglichkeit vor, daß irgendwann, in einem früheren Stadium der Entwicklung des Weltalls, die Dichte der Materie in der Natur viel größer war, als wir sie jetzt beobachten können. Dann wäre keine so große Diskrepanz zwischen der „Leere“ und den Sternen festzustellen.

Aber auf Kosten welcher Substanz war denn die Dichte der Materie größer? Was ist das für ein rätselhafter Stoff, über den bisher niemand etwas gewußt hat, und was ist mit ihm geschehen? Die Wissenschaftler hätten auf diese Frage nie

antworten können, wenn sich nicht vor vier Jahrzehnten ein auf den ersten Blick scheinbar unwichtiger Vorfall ereignet hätte. Als sie die spontane Emission von Elektronen durch den Atomkern ( $\beta$ -Zerfall) beobachteten, entdeckten die Forscher mit Erstaunen, daß die Elektronen aus dem Kern weniger Energie entnahmen, als nötig war. Ein gewisser Teil der Energie ging irgendwie verloren.

Der unerschütterliche Energieerhaltungssatz besagt, daß Energie nicht aus dem Nichts entstehen und nicht spurlos verschwinden kann. Wo hin aber ist die Energie beim Beta-Zerfall verschwunden? In Nichts! sagten die Instrumente, weil sie außer den Elektronen und den sie emittierenden Kernen nichts weiter bemerkten.

Vielleicht ist der Energieerhaltungssatz falsch, vielleicht muß man sich von ihm lossagen? Einige Wissenschaftler erwogen das ernsthaft. Aber wie kann man auf ein Gesetz verzichten, auf dem die gesamte moderne Wissenschaft beruht? So einfach war das nicht.

Die Mehrheit war sich natürlich darüber im klaren, daß man die grundlegenden Naturgesetze nicht verletzen kann. Vielleicht war irgend etwas bei der Durchführung des Experiments nicht in Ordnung? Oder bei seiner Ausdeutung?..

Aber die Versuchsergebnisse waren genau und völlig sicher. Alle Überprüfungen führten zu dem Ergebnis, daß entweder die Erhaltungssätze verletzt worden waren oder ... oder, so erklärte im Jahre 1931 der bekannte österreichische theoretische Physiker Wolfgang Pauli, an der Reaktion noch ein Teilchen teilnimmt, das

unbemerkt bleibt. Es „stiehlt“ sowohl die überschüssige Energie als auch den Impuls, der dann bei den Teilchen, die von den Instrumenten registriert werden, fehlt.

So kamen die Wissenschaftler einem rätselhaften, „unsichtbaren“ Teilchen auf die Spur, das Fermi zwei Jahre später mit dem zärtlichen Namen „Neutrino“ benannte, was ungefähr soviel wie „neutrales Kleinchen“ bedeutet. Seit dieser Zeit hat sich das Neutrino endgültig die Existenzberechtigung erworben. Von der Feder eines theoretischen Physikers in die Wissenschaft eingeführt, erwies es sich im folgenden als notwendig zur Erklärung vieler Prozesse, die im Mikrokosmos vor sich gehen. Indem sie nicht nur den Beta-Zerfall, sondern auch andere Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen beobachteten, überzeugten sich die Experimentalphysiker oft von einem „Energieverlust“. Aber nun beunruhigte sie das nicht mehr. Sie wußten von der Existenz des Neutrinos, des „nicht gefangenen Energiediebs“.

Einige Zeit später konnten sich die Wissenschaftler davon überzeugen, daß auch das Neutrino seinen Antipoden hat, das Antineutrino. Aber das Neutrino ist ein neutrales Teilchen, es trägt keine elektrische Ladung. Deshalb unterscheidet sich sein Partner, das Antineutrino, nicht durch die Ladung (es ist auch neutral), sondern durch eine andere Eigenschaft. Wenn man das Neutrino mit einer Schraube mit Linksgewinde vergleicht, dann ist das Antineutrino eine typische „Schraube“ mit Rechtsgewinde. Wir vergleichen sie deshalb mit einer Schraube, weil beide Teil-

chen sich so benehmen, als ob sie sich ununterbrochen drehen, und zwar in verschiedenen Richtungen.

Diese wunderlichen Teilchen, Neutrino und Antineutrino, wählten Pontecorvo und Smorodinski als Führer in die Vergangenheit der Welt aus. Sie setzten voraus, daß in fernen Zeiten, die sich nur die Phantasie vorstellen kann, die Welt symmetrisch war. Der wesentliche Teil der Materie bestand aus Neutrinos und Antineutrinos hoher Energie. Zu dieser Zeit war die Materiedichte sehr hoch. Unter diesen Bedingungen war es nicht unmöglich, daß sich zufällig eine große Menge von Protonen, Neutronen und anderer Teilchen bildete, die nicht durch eine entsprechende Menge Antimaterie ausgeglichen war. Unter dem wesentlichen Übergewicht von Neutrinos und Antineutrinos, die unter sich im Gleichgewicht standen, störten diese unkompenzierten Protonen und Neutronen die Symmetrie von Materie und Antimaterie nicht wesentlich.

Wenn aber in einem frühen Stadium der Entwicklung des Weltalls eine riesige und ungefähr gleiche Menge von Neutrinos und Antineutrinos existierte, argumentierten die Wissenschaftler, dann muß ihre Zahl im Weltraum auch jetzt noch fast gleich und sehr groß sein. Denn sie konnten nicht einfach verschwinden, und Kernreaktionen, die Lieferanten dieser Teilchen, vollzogen sich ständig. Das heißt, die Zahl der Neutrinos und Antineutrinos wuchs unentwegt. Deshalb mußten sie sich allmählich im Weltall ansammeln, indem sie es mit einem unfaßbaren

und unsichtbaren „Weltäther“ erfüllten. Indem er den Hintergrund bildet und der Gesamtmasse nach alle anderen Materieformen übersteigt, müßte der „Neutrino-Antineutrino-Äther“ auch in unserer Zeit das ganze Weltall „beherrschen“, wobei er ein einzigartiges Beispiel für die „Koexistenz“ von Materie und Antimaterie darstellen würde. Bei einer solchen Sachlage brauchten die Wissenschaftler auf der Suche nach der Antiwelt nicht „weit zu gehen“. Die Antimaterie wäre in Hülle und Fülle um uns herum und in uns selbst.

Es wäre wahrscheinlich auch alles so, wenn sich das Weltall nicht „ausdehnen“ würde. Aber das All weitet sich unentwegt aus. Das setzte der sowjetische Mathematiker Alexander Alexandrowitsch Friedman voraus, und die Astronomen unterstützten seine Lehre. Die festgestellte Verschiebung von Spektrallinien nach dem roten Ende des Spektrums zu läßt sich so deuten, daß sich ferne Sternsysteme mit riesigen Geschwindigkeiten von uns entfernen, und zwar um so schneller, je weiter sie von uns entfernt sind.

Dem gleichen Schicksal sind auch die Neutrinos und Antineutrinos unterworfen. Bei der Expansion des Weltalls verteilt sich auch ihre Masse auf einen sich immer mehr vergrößernden Raum. Deshalb ist heute in unserem Teil des Weltraums das Bild der symmetrischen Welt wesentlich verzerrt. Es ist möglich, daß in unseren Tagen bei uns nur noch ein verschwindender Teil der früheren Dichte der Neutrino-masse übrig geblieben ist.

**Rasende Teilchen.** Aber unterbrechen wir unsere Erzählung und fragen wir die Wissenschaftler: Warum haben wir die Rolle des Neutrinos bei der Entwicklung des Weltalls erst jetzt kennengelernt? Wenn es so viele Neutrinos und Antineutrinos gab, mehr als die ganze übrige Materie, warum haben wir davon nicht schon früher erfahren?

Und wir hören eine fast unwahrscheinliche Antwort: Ebendeshalb, weil es einfach unmöglich ist, auf diese Teilchen zu stoßen! Sie haben keine elektrische Ladung und beachten daher elektrische „Lockmittel“ überhaupt nicht. Man kann sie unmöglich wägen — sie besitzen fast keine Masse! Jedenfalls ist ihre Masse so klein, daß sie vorläufig auf keine Art und Weise meßbar ist. Und außerdem hat das Neutrino, wie die Physiker sagen, keine Ruhemasse. Sie bewegen sich ununterbrochen und mit sehr hoher Geschwindigkeit, mit der größten, die in der Natur möglich ist, mit Lichtgeschwindigkeit.

Von alledem abgesehen, ist es fast unmöglich, das Neutrino in irgendeine Falle zu locken. Sie haben eine phänomenale Fähigkeit, durch beliebige Hindernisse hindurchzudringen: durch die Erde, durch Sterne, durch Galaxien. Es ist derart verwunderlich, daß...

Aber lassen wir Pontecorvo zu Wort kommen:

„Das Neutrino kann ungehindert durch alles hindurchdringen, sagen wir durch eine Gußeisenplatte, die milliardenmal dicker ist als die Entfernung von der Erde zur Sonne. Einfacher gesagt, für das flinke Kerlchen ist unser Erd-

ball, ja auch ein beliebiger anderer Himmelskörper, so dicht er uns auch scheinen mag, genau so durchsichtig wie gewöhnliches Fensterglas für das Licht.

Hinzu kommt, daß alle Neutrinos und Antineutrinos nicht einmal auf ihre Artgenossen reagieren, auf die Bewohner des Mikrokosmos. Andere Teilchen können sich verändern, können vergehen und erneut entstehen, mit ihnen ähnlichen in Verbindung treten. Aber diese rätselhaften und seltsamen Teilchen kommen fast mit keiner anderen Materieform in Kontakt.“

Jetzt ist klar, daß das Einfangen eines Neutrinos möglicherweise schwieriger ist als der Fang eines lebenden Fossils — z. B. eines uralten Fisches, des Coelocanthe laterimera, dessen Gattung, wie man annahm, bereits vor 50 Millionen Jahren vom Erdboden verschwunden war. Und trotzdem wurde ein lebender „Urfisch“ gefangen!

Vor noch nicht allzu langer Zeit gelang es auch, Antineutrinos zu entdecken, die in Atomreaktoren entstehen.

Wie konnte es auch anders sein? Obwohl Neutrinos und Antineutrinos „listige“ Teilchen sind, die aus den Fällen entweichen können, so existieren sie doch, und das bedeutet, daß es eine Methode geben muß, um sie zu entdecken.

Und diese Methode wurde gefunden. Als die Wissenschaftler gelernt hatten, die Energie, die im Atom enthalten ist, zu befreien, bauten sie einen Atommeiler. Indem sie sich spalten, stoßen die Atomkerne des Urans aus ihrem Inneren

einige radioaktive Kerne aus, die Quellen von Antineutrinos sind.

Die Antineutrinos dringen natürlich ungehindert durch den Schutzpanzer des Reaktors hindurch und streben in den Weltraum.

Aber wenn man beim Verlassen des Reaktors eine Vielzahl von Protonen in ihre Bahn bringt, so muß, wie die Theorie voraussagt, — wenn auch selten — ein Prozeß zustande kommen, der als ein umgekehrter Beta-Zerfall gedeutet werden kann. Das Proton „verschluckt“ das Antineutrino und zerfällt in ein Neutron und ein Positron. Diese Teilchen zu erkennen, kostet keine Anstrengung. Wenn sie von den Instrumenten festgestellt werden, heißt das: Die Ursache der Katastrophe war wirklich ein Antineutrino.

Einen derart glanzvollen Versuch führten im Jahre 1956 auch zwei amerikanische Physiker durch: Frederik Reines und Clyde Cowan. Dafür mußten die Wissenschaftler einen besonderen Apparat von ungeheuren Ausmaßen projektierten und ihn neben einem der Atomreaktoren errichten, die am Savannah-River liegen. So berichtete in einigen Worten die amerikanische Presse darüber: „Aus dem Reaktor flogen Quadrillionen über Quadrillionen Neutrinos, Reines und Cowan gelang es, einige von ihnen zu stoppen.“

Das untermauerte die theoretische Annahme Paulis. Allein der Hypothese von Pontecorvo und Smorodinski half es überhaupt nichts.

Um diese Hypothese zu bestätigen, mußten die Wissenschaftler nicht jene Neutrinos und Anti-

neutrinos fangen, die in den von Menschenhänd geschaffenen Atomreaktoren entstehen, sondern die, die in den Weiten des Weltalls seit eh und je herumschwirren. Genauer, man mußte ihre Gesamtmasse bestimmen. Nur das konnte die Hypothese bestätigen oder widerlegen.

Eine Methode für einen derartigen Versuch schlug der junge sowjetische Physiker Charitonow vor: Ein Apparat fängt Neutrinos, die in ihn geraten, wenn sie die Erde durchdringen. Um den störenden Teilchen der kosmischen Strahlung aus dem Wege zu gehen, werden die Geräte tief unter der Erdoberfläche aufgestellt. Dabei sind noch Störungen möglich, die von der natürlichen Radioaktivität des Bodens herrühren. Deshalb unterbreitete der Wissenschaftler den Vorschlag, eine Spezialeinrichtung vorzusehen, die die Anlage ausschaltet, sobald in sie ein beliebiges Teilchen — außer einem Neutrino oder Antineutrino — eindringt. Dabei werden natürlich auch alle die gefunden, die ständig bei verschiedenen Kernreaktionen neu entstehen. Aber eine Überschlagsrechnung gestattet es, die Menge dieser „neuen“ Teilchen und die Menge derer, die aus dem Weltall kommen, zu beurteilen.

**Die Astronomie des Unsichtbaren.** Wenn es den Wissenschaftlern wirklich gelingt, die vorausgesetzte Größe der Neutrinomasse zu entdecken, dann bestätigt das Experiment, daß wir tatsächlich in einer Welt leben, die von einem unsichtbaren Medium erfüllt ist. Selbst dann, wenn es davon in unserem Teil der Welt heute weniger

gibt als früher, kann man trotzdem die entsprechende Schlußfolgerung ziehen. Sie besagt: Als die Dichte dieses Mediums sehr viel größer war, waren die Materialzusammenballungen in Form der Sterne verschwindend gering im Vergleich zur Dichte der Neutrinos und Antineutrinos. Eine so gewaltige, aber doch verhältnismäßig geringe Zusammenballung von Materie kann man durchaus als zufällig bezeichnen oder, wie die Wissenschaftler sagen, durch „Schwankungen“ erklären.

Wenn sich diese Hypothese bestätigen würde, hieße das, daß auch in unserem Teil des Weltalls einstmals die Zahl der Antineutrinos so groß war, daß sie gut und gern das Übergewicht der gewöhnlichen Teilchen über die Antiteilchen kompensieren konnten. Dann kann man wirklich annehmen, daß unsere Welt irgendwann einmal symmetrisch war. Sie bestand angenähert aus gleichen Mengen von Materie und Antimaterie. Nur wurden die Antiteilchen im wesentlichen durch Antineutrinos verkörpert, doch die Vielfalt der Teilchen war wesentlich größer. Das waren sowohl Neutrinos als auch alle uns schon früher bekannten Teilchen: Protonen, Elektronen, Neutronen und andere. Nur gab es so viele Neutrinos, daß die gesamte sichtbare Materie in den Sternen, Planeten, Meteoriten und im interstellaren Gas im Verhältnis zu ihnen eine verschwindende Größe darstellte, mit der man einfach nicht zu rechnen braucht.

Das vorgeschlagene Experiment kann nur in dem Falle gelingen, daß die Menge von Neutrinos und Antineutrinos in unserem Teil des Welt-

alls immer noch nicht zu klein ist und daß die Empfindlichkeit der Meßgeräte ausreichend groß ist.

Wenn jedoch die Neutrinomasse zur Zeit zu klein ist oder der Versuch zu unempfindlich, wird es nicht möglich sein, das unsichtbare Medium zu entdecken. Und dann wird uns noch lange verborgen bleiben, welche Rolle Neutrinos und Antineutrinos bei der Entwicklung des Weltalls spielen. Wir werden nicht wissen, ob Materie und Antimaterie uns wirklich in Form von Neutrinos und Antineutrinos ständig umgeben oder ob irgendwo getrennte Welten und Antiwelten existieren, die untereinander durch Millionen Kilometer getrennt sind.

Wenn die Neutrino-Hypothese Pontecorvos und Smorodinskis durch Experimente bestätigt wird, dann brauchen sich die Wissenschaftler keine Welten und Antiwelten auszudenken, um in unserer Vorstellung das schöne Ideal von der Symmetrie der Welt zu bewahren. Wir wüßten dann, warum die Welt um uns nicht symmetrisch ist, obwohl sie das früher einmal war.

Die Neutrino-Hypothese von der Entwicklung des Weltalls ist eine der schönsten und „verrücktesten“ Ideen der modernen Physik. Aber kommt uns nicht jede kühne Idee am Anfang verrückt vor? Als ein Mensch erkannte, daß die Erde rund ist, daß sie nicht das Zentrum des Weltgebäudes darstellt, wurde das etwa nicht als Unsinn, als Ketzerei aufgefaßt?

Und im 20. Jahrhundert, wo die Wissenschaft sich immer weiter von gewohnten Maßstäben, von üblichen Vorstellungen entfernt, erscheint

fast jede neue Entdeckung in der Mikrowelt paradox.

Und kommt uns etwa die Idee, daß wir in einer Welt leben, die von einem „unsichtbaren Medium“ erfüllt ist, nicht tatsächlich unsinnig vor? Aber: „Ist sie verrückt genug, um richtig zu sein?“

**Das Echo in den Bergen.** In der Natur gehen Tausende Ereignisse vor sich, interessante, seltsame — manchmal verständlich, oft unerklärlich. Warum finden sie statt, was hat sie hervorgerufen?

Darüber sinnen Wissenschaftler und Schriftsteller, Maler und Bildhauer nach. Sie versuchen, ihre Eindrücke in der farbenreichen Sprache kunstvoller Metaphern, in der ausdrucksvollen Sprache der plastischen Form, in der nüchternen Sprache mathematischer Formeln festzuhalten.

Den Dichtern und Künstlern erzählen nur Licht und Schall von der umgebenden Welt. Die Wissenschaftler aber beherrschen nicht nur die Sprache des Lichtes, sie haben auch gelernt, die Sprache der Radiowellen und der kosmischen Strahlen zu verstehen. Das gestattet ihnen, Geheimnisse des Weltgebäudes zu erfahren, die das Licht nicht einmal vermuten läßt.

Aber es gibt noch eine Sprache, die über das Universum das Allergeheimste erzählt, das, was die Natur hinter sieben Siegeln verborgen hat. Sie vermag den Menschen das Rätsel der „weißen Zwerge“ zu enthüllen, geheimnisvoller, merkwürdiger Sterne, von denen eine Handvoll Ma-

terie zehn Tonnen wiegen würde. Sie klärt die Ursachen, die die grandiosen kosmischen Naturkatastrophen, die Explosionen ganzer Sternsysteme hervorgerufen haben. Sie vermag die Geheimnisse der Kernreaktionen, die im Innern der Sonne und anderer Himmelskörper tosen, aufzudecken. Und schließlich kann diese Sprache helfen, eines der phantastischsten und verwegensten Vorhaben der Wissenschaftler zu verwirklichen — Antiwelten zu identifizieren.

Das ist die Sprache der Neutrinos.

Die Lösung vieler ihrer Geheimnisse verbirgt die Natur in den unzugänglichsten Verstecken, in der Tiefe der Atome, im Inneren der Elementarteilchen.

Die winzigsten Materiekümpchen entstehen, existieren und verschwinden, aber das Ereignis ihres Lebens findet in der weiten Welt Widerhall wie ein Echo, das in den Bergen verstärkt wird.

Wer könnte wohl über diese Ereignisse besser berichten, wenn nicht die unmittelbar Beteiligten, die Elementarteilchen? Viele Wissenschaftler befassen sich mit dem Studium ihrer Sprache. Ihr hat Bruno Pontecorvo sein Leben gewidmet.

„In der Natur, besonders in den Maßstäben des Weltalls“, sagte er einmal, „haben Erscheinungen, die unter Laborbedingungen unwesentlich zu sein scheinen, oft eine große Bedeutung.“

Und tatsächlich: unmerkliche, sich tief im Innern der Materie vollziehende Vorgänge des Mikrokosmos haben oftmals völlig unerwartete, verblüffende Folgen in der Welt der „großen

Dinge“. In einem seiner Artikel erzählt Pontecorvo über einen einfachen, aber interessanten Versuch.

Stellen Sie sich eine runde Aluminiumscheibe vor. Sie ist bedeckt mit einer Schicht radioaktiven Materials, das Elektronen aussendet. Wenn man diese „Schnitte“ an einem Faden, der in ihrer Mitte befestigt ist, aufhängt, beginnt sie sich ... zu drehen! Keinerlei sichtbares Ereignis, das in der Lage wäre, die Platte aus dem Gleichgewicht zu bringen, geht vor sich. (Merken Sie: keine „sichtbare“ Ursache!) Jedoch: Die Scheibe muß sich drehen. Anders kann es gar nicht sein.

Die Elektronen, die in der radioaktiven Schicht entstehen, bewirken die Drehung der Scheibe, denn alle drehen sich auf Grund ihrer Natur im Verhältnis zu ihrer Längsbewegung in einer einheitlichen Richtung. Darin erinnern sie an einen gewöhnlichen Korkenzieher. Und weil die Elektronen nur nach oben „ausdampfen“ können (bei der Bewegung nach unten werden sie vom Aluminium verschluckt), muß sich die Scheibe drehen. Wenn sich dabei die Elektronen in Uhrzeigerrichtung drehen, rotiert die Scheibe in der entgegengesetzten Richtung. Etwas Ähnliches kann man bei einem Feuerwerk sehen, wenn man die Drehung eines „Teufelsrades“ beobachtet.

Es gab eine Zeit, da dieser Effekt hoffnungslos unerklärlich, unheilverkündend, mystisch erschien. Wenn die Verfechter der „göttlichen Vorsehung“ oder des „Teufels“ davon gewußt hätten, sie hätten zweifellos in diesem Spielzeug

einen echten Helfer gefunden. Diese „Vorführung“ hätte sicher einen größeren Erfolg gehabt als die „Heilung“ Lahmer und Blinder und ähnlicher Hokuspokus.

Als sie die Eigenschaften der Elektronen studiert hatten, es gelernt hatten, die „Sprache“ der Elektronen zu verstehen, konnten die Wissenschaftler diesen Effekt voraussagen. Einen solchen Versuch hat aber kaum einer von ihnen durchgeführt, denn sein Ergebnis ruft heutzutage nicht das geringste Erstaunen hervor.

Hier noch ein anderes Beispiel: Alle Dinge, die uns umgeben, alle Himmelskörper werden durchdrungen von den unsichtbaren, geheimnisvollen Teilchen des Schwerkiefeldes, den Gravitonen. Man kann sie nicht wägen oder in der Hand halten. Die Wissenschaftler haben es noch nicht gelernt, ihre Natur zu verstehen. Und trotzdem gehorchen ihnen Sternenwelten! Die Planeten, Sterne, Galaxien ziehen sich gegenseitig an und bewegen sich nach Gesetzen, die von den Quanten des Gravitationsfeldes, den Gravitonen, diktiert werden.

**Sind die Vermutungen richtig?** Neutrino und Antineutrino gehören zu den Teilchen, die in der uns umgebenden Welt eine gewaltige Rolle spielen, die aber noch nicht bis ins letzte erforscht worden ist. Man nennt sie nicht umsonst „noch nicht gefangene Energiediebe“. Aber während die „Diebe“ bei einzelnen Wechselwirkungen innerhalb des Mikrokosmos noch recht bescheiden sind, sind sie in der großen Welt gar nicht schüchtern. Aus einem Uranreaktor mit

einer Leistung von einigen hunderttausend Kilowatt entführen sie einige zehntausend Kilowatt in den Weltraum! Von der Sonne und anderen Sternen entführen sie sogar einige Prozent der Strahlungsenergie, d. h. wesentlich mehr, als die ganze Erde an Strahlungsenergie auffängt.

Ist das nicht eine empfindliche Folge der Ereignisse im Mikrokosmos? Ist das kein makroskopischer Effekt?

Ihre ungeheuerliche Durchdringungsfähigkeit gestattet es den Neutrinos und Antineutrinos, aus dem tiefsten Inneren der Sterne auszubrechen, wo sie in heftigen Kernreaktionen entstehen. Ohne jede Schwierigkeit starten sie, um durch den Weltraum zu reisen. Sie durchheilen die kosmischen Weiten wie das Licht, wie die Radiowellen, denen sie in der Geschwindigkeit nicht nachstehen. Und ebenso wie diese sichtbaren Strahlungen tragen die Neutrinoströme wichtige Informationen, eine Vielzahl von Nachrichten über die Himmelskörper, ihre Quellen. Sie wissen von ihnen wesentlich mehr als das Licht, als die Radiowellen. Denn das Licht wird nur von der Oberfläche der Sonnen abgestrahlt. Die Radiowellen kommen schon aus tieferen Schichten. Die Neutrinoströme aber entstehen direkt im Inneren der Sterne. Sie nehmen an Prozessen teil, die in den Tiefen der Himmelskörper vor sich gehen. Und sie nehmen daran nicht nur teil, sondern sie spielen dabei sehr oft die Hauptrolle.

Die Wissenschaftler nehmen an, daß im Entwicklungsprozeß der Sterne, in dem Maße, wie

sie erglühen, die Neutrinoströme, die aus ihrem Innern ausgestoßen werden, immer intensiver werden. Ihre „Helligkeit“ wird vergleichbar mit der Helligkeit des Lichts der Sterne und übersteigt diese sogar. Welche verlockende Perspektive eröffnet sich für die Erforschung des Kosmos! Die Neutrinos könnten über die rätselhaften Prozesse erzählen, die im Innern der weißen Zwerge vor sich gehen, in Sternen, die bis zu ungeheuerlichen Temperaturen erhitzt und von unwahrscheinlichen Drücken zusammengepreßt sind. Die Neutrinos würden sicher helfen, die Dynamik der Expansion der Supernovae, der Lieferanten kosmischer Teilchen, zu erklären.

Sie würden helfen... Wenn die Wissenschaftler lernen würden, sie zu fangen, die Richtung ihrer Herkunft zu bestimmen, ihre „Sprache“ zu erlernen.

Die erstrangige Aufgabe der Wissenschaftler ist eine sehr schwierige, aber völlig reale: die Neutrinoströme von der Sonne zu registrieren und mit ihrer Hilfe in ihr Inneres zu schauen.

Die Wissenschaftler sind davon überzeugt, daß unsere Sonne ein Stern und kein Antistern ist und daß sie Neutrinos, aber keine Antineutrinos aussendet. Man kann kaum erwarten, daß ein Teil des Planetensystems — die Erde — aus Materie besteht, und der Zentralstern aus Antimaterie! Die Physiker haben sogar ausgerechnet, daß der Neutrinostrahl von der Sonne zur Erde von kollossaler Größe sein muß. Er wird bestimmt durch eine Zahl mit elf Nullen ( $10^{11}$  Neu-

trinos auf einen Quadratzentimeter Erdoberfläche in der Sekunde).

Aber welche Kernreaktionen vollziehen sich im Inneren der Sonne? Wie arbeitet dieses kosmische thermonukleare Aggregat? Darüber kann man vorläufig nur Hypothesen aufstellen.

Es ist bekannt, daß die Energie, die die Sterne glühend hält, durch Umwandlung von Wasserstoff in Helium freigesetzt wird. Aber es sind mehrere Wege zur Realisierung dieser Reaktion möglich. Welcher der Wege sich in einem gegebenen Stern einstellt, hängt von dessen Masse und Temperatur ab. Eine Reaktion kann durch eine andere abgelöst werden, je nach dem Alter des Sterns. Aber alles das sind vorläufig nur Ergebnisse der Theorie. Wie soll man wissen, ob diese Vermutungen richtig sind? Darauf zu antworten, wird ein von der neuen Wissenschaft durchgeführtes Experiment helfen.

Das Geheimnis der Sonne zu lüften, ist auch für die Praxis wichtig. Denn was die Sonne „erreicht hat“, danach streben auch die Menschen auf der Erde. Es geht darum, das Plasma zu bezwingen, die thermonukleare Reaktion zu realisieren. Das ist eine brennende Frage der Energetik.

Das Vorhaben, den Kosmos mit Hilfe der Neutrinoströme zu erforschen, gehört noch zu den „aufrührerischen“ Ideen, die durch ihre Neuheit und ihren verlockenden Reiz Anziehungskraft besitzen. Aber es ist schon der erste Stein zur Brücke, die die Wissenschaftler von den Träumen zur Wirklichkeit schlagen wollen.

**Die Sprache der Antiwelt.** Die nächste Aufgabe der Neutrino-Astronomie ist es, die Sprache zu bestimmen, die die Neutrinos und Antineutrinos sprechen. Das Ziel der Wissenschaftler besteht dann darin, diese Sprache zu erforschen, wie sie die Sprache des Lichtes und der Radiowellen studiert haben.

Dann aber würden sich vor der Menschheit viele verlockende Möglichkeiten eröffnen. Und eine von ihnen — vielleicht die phantastischste, „verrückteste“, aber eine so schöne, daß sie ununterbrochen die Gehirne der Wissenschaftler beherrscht — das ist die Suche nach den Antiwelten. Vielleicht existieren sie wirklich irgendwo in den grenzenlosen Weiten des Weltalls?

Auf diesem Wege erwartet die Wissenschaftler möglicherweise viel Überraschendes. Stellen sie sich einen Stern vor, der schon seit langem erforscht ist von den Astronomen und Astrophysikern, der nach deren Meinung überhaupt nichts Besonderes darstellt. Und plötzlich zeigt es sich, daß das überhaupt kein Stern ist, sondern ein Antistern! Das wäre ein Aufruhr! Eine Sensation! Erstaunte, entrüstete Ausrufe: „Warum haben wir denn davon nichts gewußt?“

Wir konnten davon nichts wissen, weil weder das Licht noch die Funkwellen darüber Auskunft geben. Denn das Licht, ob es nun von Atomen oder Antiatomen ausgestrahlt wird, besteht aus ein und denselben Photonen, neutralen Teilchen, die keinerlei Ladung haben, sich in nichts von ihren Antiteilchen, den Antiphotonen, unterscheiden. Sterne und Antisterne senden ein und dasselbe Licht aus. Nur ihre Neutri-

noströme sind verschieden. Von den Sternen kommen Neutrinos, von den Antisternen Antineutrinos. Von unserer Sonne ergießen sich, nach der festen Überzeugung der Wissenschaftler, Ströme von Neutrinos zur Erde. Neutrinos entstehen in den Tiefen aller Sterne, wo die Hauptenergiequelle die thermonukleare Reaktion der Umwandlung von Wasserstoff in Helium ist. Und wenn es irgendwo Himmelskörper gibt, in denen Antiwasserstoff in Antihelium übergeht, dann werden sie Ströme von Antineutrinos aussenden.

Wenn man den Himmel mit „Fangvorrichtungen“ für Neutrinoströme abtasten würde, könnte man schließlich feststellen, ob es irgendwo in unserem Weltall vielleicht eine Antiwelt gibt. Sei es eine Antigalaxis, sei es ein Antistern — dieses Gerät würde sofort ihre Koordinaten bestimmen.

Erst dann, wenn man im Kosmos Quellen von Neutrinos oder Antineutrinos entdeckt hat, kann man eine Welt von einer Antiwelt unterscheiden.

Eine verführerische, verlockende Perspektive! Aber... Bis jetzt konnten die Wissenschaftler nur zu den starken Strömen von Antineutrinos, die aus Atomreaktoren austreten, „Kontakt“ herstellen. Sogar bei diesen Versuchen, bei denen jeden Quadratzentimeter des Zählers, der ein Volumen von einem Kubikmeter hatte, zehntausend Milliarden Antineutrinos in der Sekunde passierten, konnten in einer Stunde nur wenige Wechselwirkungen eines Antineutrinos mit der Materie des Zählers festgestellt werden.

Die Ströme von Neutrinos und Antineutrinos aus dem Kosmos sind wahrscheinlich wesentlich schwächer. Deshalb steht noch eine gewaltige Arbeit bevor, um die Empfindlichkeit der Apparaturen zu vergrößern und die störenden Einflüsse der Teilchen zu beseitigen, die infolge radioaktiver Prozesse in der Materie, die die Anlage umgibt, gebildet werden.

„Diese Schwierigkeit ist so groß, daß ich nicht davon überzeugt bin, daß die erwähnte Aufgabe in nächster Zeit gelöst werden wird“, meinte Professor Pontecorvo.

Man möchte hoffen, daß diese Schwierigkeit überwunden wird, möglicherweise von Pontecorvo selbst. Er hat viel getan, um den Charakter und die Eigenschaften der rätselhaften Neutrinos und Antineutrinos zu erforschen. Seine Arbeit auf dem Gebiet der Neutrinosphysik wurde mit dem Leninpreis des Jahres 1963 geehrt. Aber vielleicht werden diese Schwierigkeiten auch von einem anderen oder von mehreren Wissenschaftlern überwunden. Das ist ja nicht wesentlich. Die Hauptsache ist, der neue Gipfel wird erstürmt.

EINE REISE

AN DAS „ENDE DER WELT“

**Die Notiz in der Zeitschrift.** Einst fragte Eduard, der neunjährige Sohn Albert Einsteins, seinen Vater: „Papa, warum eigentlich bist du so berühmt?“ Einstein lachte, doch dann erklärte er ihm ernst: „Siehst du, wenn ein blinder Käfer auf der Oberfläche einer Kugel krabbelt, dann bemerkt er nicht, daß der von ihm zurückgelegte Weg gekrümmt ist; mir aber ist das aufgefallen.“

Dennoch hatte Einstein, der Schöpfer der Relativitätstheorie, nicht bemerkt, daß sich die Kugel, auf der der Käfer krabbelt, wie eine Seifenblase aufbläht. Und als im Jahre 1922 der sowjetische Gelehrte A. A. Friedman erklärte, aus der allgemeinen Relativitätstheorie folge, daß sich das Weltall ausbreite, daß die Sternenwelten, die Galaxien und die interstellare Materie beständig und unaufhaltsam auseinanderlaufen, da zuckten viele zusammen mit Einstein nur mit den Schultern: „Eine verrückte Idee!“

Einstein veröffentlichte sogar eine Notiz, in der er bezeugte, daß die Auffassung Friedmans nicht richtig sei und die von ihm dargestellten Ergebnisse keinen Sinn besäßen. Dieses Urteil, so schien es, gab die Arbeit Friedmans der Vergessenheit preis.

Aber auch Götter können sich irren, und selbst Einstein, der erklärte Gott der Physiker, mußte sich korrigieren. Der sowjetische Physiker Krutkow, der Einstein in Berlin besuchte, übergab ihm einen Brief Friedmans, der eine Analyse der kritischen Notiz Einsteins enthielt. Der berühmte Gelehrte studierte diesen Brief aus dem Land der Bolschewiki mit der ihm eigenen

Umständlichkeit. Lange Jahre hatte er an schwierigen physikalischen Problemen gearbeitet. Er wußte, daß hierbei Fehler unvermeidbar sind, und eine Volksweisheit sagt: „Irren ist menschlich, aber im Irrtum verharren ist teuflisch“. Und Einstein veröffentlichte im Mai 1923 eine neue, nur einige Zeilen enthaltende Notiz, die ein Beispiel einer edelmütigen wissenschaftlichen Selbstkritik ist. Er stellte darin fest, daß er in einer früheren Notiz die Arbeit Friedmans „Über die Krümmung des Raumes“ irrtümlicherweise kritisiert hatte. Sein Widerspruch habe sich auf einen rechnerischen Fehler gegründet. Es habe sich erwiesen, daß die Feldgleichungen für die Struktur des Raumes neben den statischen Lösungen auch dynamische zentral-symmetrische Lösungen zulassen.

**Wer ist er?** Nach diesem aufsehenerregenden Vorfall in der Physik wurde der Name Friedmans in Gelehrtenkreisen immer häufiger genannt.

Was stellte dieser russische Gelehrte dar? War das ein aufgehender Stern der Wissenschaften? Oder eine Supernova, die sich in der Reifezeit durch einen Genialitätsausbruch bemerkbar macht? Kurz gesagt, wer war eigentlich Friedman?

Die Mitteilungen über ihn verblüfften nicht weniger als seine Entdeckung. Friedman? Ja, das war der Sohn eines Petersburger Musikers, desselben, der bei der Eröffnung der ersten russischen Eisenbahnlinie ein Orchester direkt auf dem Bahnsteig dirigierte, um die Aufmerk-

samkeit des Publikums auf dieses Ereignis zu lenken, sagten die einen.

Friedman war ein Pilot, behaupteten andere. Im Jahre 1914 ging er als Freiwilliger an die Front.

Das ist wahr, ergänzten dritte, Friedman ist viele Stunden geflogen, aber nicht als Flugzeugführer. Er berechnete die Abhängigkeit der Treffsicherheit von Artilleriegeschossen von der Fluggeschwindigkeit und der Wetterlage, studierte die Bewegungsgesetze der Luftmassen. Die Flüge interessierten ihn hauptsächlich nur als Meteorologe.

Das bedeutete also, daß er Meteorologe war? Natürlich! Mehr als das, er war der „Altmeister“ der russischen Meteorologie. Bis zu seiner Zeit beschäftigten sich nur Ausländer mit der Meteorologie. Friedman gelangte zu der Erkenntnis, daß man die Meteorologie mit den damals üblichen groben Näherungsverfahren, die faktisch die Meteorologie von dem Niveau einer Wissenschaft auf das des Wahrsagens aus dem Kaffeesatz erniedrigten, zugrunde richten müsse. Friedman baute die Meteorologie in der Sowjetunion auf. Nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution leitete er ein Observatorium, in dem früher nur einflußreiche Würdenträger und Generäle als Direktoren tätig waren. In diesem Observatorium kehrte er buchstäblich das Unterste zuoberst. Er stellte eine beispielhafte Ordnung her und erneuerte die Ausrüstungen. Das führte dazu, daß seine Mitarbeiter aus Spaß sagten: „Friedman ist zwar nur Fähnrich, aber er verfährt mit dem Observatorium nicht schlechter

als ein General.“ Er suchte zu erreichen, daß die Meteorologie eine exakte Wissenschaft wurde, und er war bestrebt, eine Theorie zu schaffen, die eine wissenschaftliche Vorhersage des Wetters ermöglichte. Er bemühte sich mit allen Kräften, die Mathematik in die Meteorologie einzuführen.

So war also Friedman ein Mathematiker? Natürlich, warfen die vierten ein, er war einer der begabtesten Schüler des großen russischen Mathematikers Steklow. Er absolvierte die Petersburger Universität im Jahre 1910. Nach der Revolution siedelte er nach Perm über, um dort zu unterrichten. Zu jener Zeit war beschlossen worden, in Perm eine Universität zu gründen. Dort sammelte sich eine Gruppe talentierter junger Gelehrten, die erkannt hatten, daß die Absolventen der Universität ein solides mathematisches Rüstzeug besitzen mußten. Damals beendete man die Universität noch ohne die Kenntnis der Fourierschen Reihen, eines Fundaments der angewandten Mathematik. Im Zyklus der Vorlesungen über Mechanik fehlte der Abschnitt über die Schwingungen. Der Begriff Resonanz beunruhigte weder die Studenten noch die Dozenten. Darüber schwieg man sich einfach aus.

Das Akademiemitglied Iwan Wassiljewitsch Obreimow erinnert sich daran, daß in den zwanziger Jahren der Gedanke entstand, an der Petrograder Universität ein Kolloquium über Schwingungsprobleme zu organisieren, das den jungen Wissenschaftlern helfen sollte, ihren mathematischen Gesichtskreis zu erweitern.

„Ich habe dieses Seminar geleitet“, sagte Iwan Wassiljewitsch. „Ich erinnere mich, daß auf der ersten Sitzung der Mathematiker Tamarkin auftrat und daß ich auf der zweiten einen Vortrag über die Wellenausbreitung in Hohlleitern hielt. Im dritten Seminar trat Friedman auf. Wir vernahmen die die ganze wissenschaftliche Welt verblüffende Mitteilung über die Lösung der Einsteinschen Gleichung. Ich muß heute sagen, daß wir damals die große Bedeutung der Arbeit Friedmans nicht völlig erfaßt haben.“

„Übrigens“, fügte Iwan Wassiljewitsch hinzu, „erreichte Friedman große Höhen nicht nur im übertragenen Sinn, sondern auch im wörtlichen. Im Jahre 1925, bei meteorologischen Beobachtungen, stieg er mit einem Ballon in eine Höhe von über sieben Kilometern. Bald danach fuhr er zur Erholung auf die Krim, trank dort schlechtes Wasser und starb im Alter von 38 Jahren an Typhus. Ein unsinniger, tragischer Zufall...“

**„Offenes“ oder „geschlossenes“ Weltall?** Heutzutage sagen die Meteorologen, daß die Hauptaufgabe im Leben Friedmans die Meteorologie war. Ohne ihn wäre die sowjetische Meteorologie lange Zeit hinter der ausländischen hergetrottet. Friedman schuf die Grundlage für eine wissenschaftliche Begründung der Wettervorhersagen, und man bezeichnet ihn mit Recht als den Vater der sowjetischen Meteorologie.

Die Lösung der Einsteinschen Gleichungen ist nach den Worten der Meteorologen nur eine Epi-

sode in Friedmans Leben gewesen. Das sei für ihn nicht das Wichtigste gewesen.

Die Geschichte des kurzen „Konflikts“ Friedmans mit Einstein lenkte in besonderem Maße die Aufmerksamkeit auf die neue Entdeckung. Am Anfang hatten viele, die nichts verstanden, sich aber auf die Autorität Einsteins verließen, die Friedmansche Lösung entschieden bekämpft und sie eine Irrlehre genannt. Nachdem sie von der Entschuldigung Einsteins erfahren hatten, schwenkten sie auf die andere Seite um: Sie begannen Friedman zu loben und den „Fehler“ Einsteins in jeder möglichen Art und Weise aufzubauschen. Diese Leute konnten es lange nicht begreifen, daß im eigentlichen Sinne niemals irgendeine Verschiedenheit der Meinungen, niemals irgendein Konflikt bestanden hatte.

Einstein, ausgehend von seinen intuitiven Überlegungen, betrachtete das Weltall als zeitlich unendlich und suchte die sogenannten stationären Lösungen seiner Gleichungen. Heutzutage kommt es uns seltsam vor, wieso Einstein, der überall bestrebt war, die Intuition durch strenge Analysen zu ersetzen, hier eine Schwäche gezeigt hat. Friedman, der Mathematiker, hatte noch eine mögliche Lösung der Gleichungen analysiert. Es brachte ihn nicht in Verlegenheit, daß die Lösung dem gewohnten Bild der „ewigen“ Welt widersprach. Da nun einmal die Lösung von mathematischer Seite aus möglich war, mußte sie gefunden werden. Was diese Lösung bedeutet, welche Aussagen aus ihr abgeleitet werden können — das kann den Mathematiker nicht interessieren. Damit können sich die Physiker

auseinandersetzen. So kam Friedman zu der sensationellen Feststellung, daß das Weltall expandiert.

Ja, Friedman machte eine einzigartige Entdeckung. Sie wurde in der Wissenschaft nicht nur durch die Autorität Einsteins, sondern auch durch eine noch höhere Autorität, die Erfahrung, gefestigt. Die Astronomen, die mit Teleskopen die fernen Sternenwelten beobachten, hatten sich davon überzeugt: In Übereinstimmung mit den Ergebnissen Friedmans entfernen sich alle Himmelskörper von uns, und das um so schneller, je weiter sie von uns entfernt sind.

Es war also ein glücklicher Umstand, daß Friedman ein Mathematiker war. Anders hätte er vielleicht seine Lösung als unwahrscheinlich gewertet und sie in den Papierkorb geworfen. Denn wenn man aus den Gleichungen den Anfang und das Ende des Weltalls herauszulesen versucht, ist es wahrscheinlich sehr schwer, ruhig zu bleiben!

Aber was für eine andere Aussage kann man aus der Tatsache der Expansion des Weltalls ableiten? Wenn jetzt die Sterne und Galaxien auseinanderstreben, bedeutet das dann, daß sie einst zu einem einheitlichen, dichten Klumpen zusammengepreßt waren?

Natürlich entsteht die Frage: Wie lange wird die Expansion des Weltalls dauern? Wird sie sich unendlich lange fortsetzen, oder wird irgendwann einmal unsere Welt ihren Elan zügeln, sich zusammenzudrücken beginnen und aufs neue sich in einen superdichten Klumpen verwandeln?

Friedman erhielt zwei Lösungen der Gleichungen. Aus der einen folgte, daß wirklich in einem sehr weit zurückliegenden Zeitpunkt, den man bedingt als den Anfang der Entwicklung des Weltalls ansehen kann (und das wäre vor 5 bis 10 Milliarden Jahren gewesen), alle Abstände in dieser „Urzeitwelt“ gleich Null waren und die Dichte der Materie unendlich groß war. Das war etwas dem „ersten Überatom“ Lemaîtres Ähnliches. Denn als solches stellte sich der belgische Astronom Georges Lemaître das Weltall im Moment seiner Entstehung vor. Und danach begann die Materie des neugeborenen Weltalls auseinanderzufliegen (nach Lemaître explodierte das Überatom). Der Umfang des Weltalls begann sich uneingeschränkt zu vergrößern, vergrößert sich auch heute und wird möglicherweise auch in Zukunft wachsen.

Die Expansion des Weltalls hat man sich hierbei als unendlich vorzustellen. Dieses Modell erhielt in wissenschaftlichen Kreisen die Bezeichnung „offenes“ Weltall.

Jedoch die zweite Lösung derselben Einsteinischen Gleichung erwies sich für die Menschheit im Prinzip noch schwerwiegender. In ihrem Anfangsteil stimmte sie mit der ersten Lösung überein, denn auch sie bestimmte für den Anfang der Welt einen dicht gepreßten Klumpen Ur-materie. Jedoch sagte sie auch das „Ende“ voraus. Die Expansion des Weltalls ist nicht unendlich, behauptet sie. In irgendeinem Moment hört das Auseinanderlaufen der Galaxien auf, und die Sterne, die Planeten und die interstel-lare Materie pressen sich erneut zusammen. Die

Welt verwandelt sich wieder in einen Klumpen ungeheuer stark zusammengepreßter Materie. Bis jetzt können die Astronomen nicht eindeutig auf die Frage antworten, welches Modell — das „offene“ oder das „geschlossene“ — unserem Weltall entspricht. Beobachtungen müssen irgendeine Antwort geben, jedoch ist die Meßgenauigkeit zur Zeit noch unzureichend.

Es ist möglich, daß irgendwo in einer Entfernung von Trillionen Lichtjahren die Himmelskörper ihren Lauf schon verlangsamen; es kann auch sein, daß sich irgendwo schon Galaxien auf dem „Rückweg“ befinden und das „offene“ Modell in ein „geschlossenes“ übergeht...

Zur Zeit besitzt die Wissenschaft darüber noch keine Kenntnisse. Jedoch haben die Astronomen die Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien bestimmt. Diejenigen von ihnen, zwischen denen ein Abstand von Millionen Lichtjahren liegt, entfernen sich mit einer Geschwindigkeit von 55 Kilometern in der Sekunde voneinander. Die Gelehrten vermuten, daß bei zweimal größeren Abständen auch die Geschwindigkeit zweimal größer ist; bei dreimal größeren Abständen vergrößert sich die Fluchtgeschwindigkeit um das Dreifache.

Die größte gefundene Fluchtgeschwindigkeit beträgt 120 000 Kilometer in der Sekunde. Das ist mehr als ein Drittel der Lichtgeschwindigkeit! Die Messungen werden fortgeführt. Die Ergebnisse werden genauer.

**Die Strafe für die Vereinfachung.** Dreißig Jahre lang fanden sich die Physiker mit einem mögli-

chen Ende der Welt ab. Einige trösteten sich damit, daß bis zum Ende der Welt noch Milliarden und aber Milliarden Jahre vergehen werden. Andere, die sich auf das Paradoxon der Aussagen bezogen, riefen zur Zerschlagung der Relativitätstheorie auf und nannten sie antiwissenschaftlich und reaktionär. Dritte, die begriffen, daß das „Ende“ nicht sein kann, bemühten sich, einen Ausweg aus der „Sackgasse“ zu finden und schmiedeten, als sie an eine neue Wand anrannten, schwerere Waffen.

Die Schwierigkeiten waren so groß, daß bis zur heutigen Zeit niemand die Lösung Friedmans genauer bestimmen konnte. Die Mathematik konnte mit den Gleichungen, die den Aufbau der realen Welt einigermaßen genau beschrieben, nicht fertig werden.

Um die Aufgabe zu vereinfachen, machte Friedman eine Annahme, die ihm die Arbeit um vieles erleichterte, jedoch zu der verhängnisvollen Aussage führte, daß das Weltall expandiert. Friedman hatte sich entschlossen, nicht von dem Bild der realen Welt, sondern von dem einer idealen Welt auszugehen, von einer Welt, in der die Materie nicht zufällig oder willkürlich im Mittel geordnet, einheitlich verteilt ist. In der Vorstellung des Gelehrten ähnelte die Welt keinesfalls einem ungleichmäßig mit Blumen besäten Feld. Das Weltall Friedmans erinnerte an ein in Form einer geschlossenen symmetrischen Figur bepflanztes Blumenbeet, geplant und angelegt durch einen pedantischen Gärtner, an ein Blumenbeet, auf dem je Quadratmeter Boden eine bestimmte Anzahl Blumen vorhanden ist.

Zur Vereinfachung der mathematischen Operationen beschloß Friedman, anzunehmen, daß sich in der Sternenwelt in jedem gleichmäßig und genügend großen Volumen des Weltraums eine streng bestimmte Menge von Himmelskörpern befindet. Einer solchen Welt wurde durch die zweite Lösung der Gleichung der allgemeinen, Relativitätstheorie das unvermeidbare Ende vorhergesagt.

Wie war das alles? Wie wird es? Gab es nun einen Anfang, und wird es ein Ende der „Welt“ wirklich geben?

In Moskau, im Institut für physikalische Probleme an der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, haben die aus der Lösung Friedmans entstandenen Rätsel schon vor längerem einen erbitterten Streit hervorgerufen. Besonders aktive Teilnehmer daran waren die beiden Doktoren der Wissenschaft J. M. Lifschiz und I. M. Chalatnikow. Sie entschlossen sich, die Berechnungen Friedmans genauer zu bestimmen, das Weltall in der Nähe der rätselhaften Punkte genauer zu untersuchen und den Anfang und das Ende der Welt mit dem Skalpell der Mathematik „abzutasten“. Auf sie wartete eine mühselige und schwierige Arbeit, die irgendwie an eine Schatzsuche erinnerte.

Nachdem die Schatzsucher erfahren hatten, daß der Schatz in irgendeinem fernen Land vergraben liegt, nahmen sie selbstbewußt geraden Kurs auf den unbekannten Kontinent. Sie zweifelten nicht am Erfolg.

Und wie kann man zu den „heißersehnten Punkten“ gelangen, die in der Tiefe der Jahrhunderte

verborgen sind? Wie sich zurechtfinden in den komplizierten Veränderungen, denen die Sternenwelt unterworfen ist. Wie den kosmischen Ozean überwinden, in dem die Stürme der magnetischen und elektrischen Felder tobten, wo geheimnisvolle Anziehungskräfte die Bewegung der gewaltigen Galaxien und der kleinsten Stäubchen steuern?

Friedman zeigte den Weg in allgemeinen Richtlinien. Lifschiz und Chalatnikow mußten eine genaue mathematische Marschroute ausarbeiten, alle Kennzeichen von Zeit und Raum in Betracht ziehen und alle Hilfsmittel der modernen Wissenschaft nutzen.

Und als sie sich gedanklich dem Ziel genähert hatten, fanden sie kein Ende der Welt. Es schien kein Ende zu geben. Die Berechnungen zeigten, daß die reale Welt kein Ende haben kann. Es war nur in den Lösungen Friedmans enthalten und eine Folge der „Idealisierung“ des Weltalls, der vom Autor vorgenommenen Vereinfachungen. Das Ende der Welt war eine ungewöhnliche „Bestrafung“ der Unvollkommenheit des mathematischen Apparates, den Friedman verwendet hatte.

Lifschiz und Chalatnikow überzeugten sich durch außerordentlich komplizierte Rechnungen davon, daß das Weltall sich niemals wie eine ausgetrocknete Frucht zusammenziehen wird. Und sollte es auch irgendwann einmal anfangen, sich zusammenzupressen, wird dieser Druck niemals so groß, daß die Sternenwelten sich zu einem Klumpen zusammenballen. Die mathematische Analyse hat gezeigt, daß aus der allgemeinen Relati-

vitätstheorie der Untergang des Weltalls nicht hervorgeht. Es ist eine gewaltige Errungenschaft der sowjetischen Physiker, daß sie mit strengen mathematischen Berechnungen die Unendlichkeit der Entwicklung der Welt — eine der prinzipiellen Grundlagen des dialektischen Materialismus — bestätigt haben.

Und was kann man über die andere, nicht weniger rätselhafte Etappe der Entwicklung der Welt, über ihren Anfang sagen? Eine „Reise“ in das Entstehungsgebiet des Weltalls ist zur Zeit nicht möglich. Nach der Meinung des Akademiemitgliedes L. D. Landau übersteigt das noch die Kräfte der modernen Wissenschaft...

**Was tat Gott bis zur Erschaffung der Welt?** Viele Fragen gibt es, die zur Zeit noch die Kräfte der Wissenschaft übersteigen, über die die Gelehrten aber nachdenken: Was ist das Weltall, wie ist es aufgebaut, warum existiert es?

„Die erste Frage ist die einfachste, und wir können eine bündige, wenn auch nicht vollständige Antwort darauf geben, indem wir irgendetwas über Materie, Gravitation, Zeit und Protoplasma vor uns hinnurmurmeln. Auf die zweite Frage antworten wir, indem wir uns erkühnen über die Naturgesetze, über den ‚Wärmetod‘ und die Flucht der Galaxien zu sprechen. Jedoch als Antwort auf die Frage: ‚Warum existiert das Weltall?‘ können wir nur ausrufen: ‚Das weiß Gott allein!‘ Und offensichtlich ist das die ‚höchstmögliche Information‘.“

So lautet also die spaßhafte Zustandsanalyse über die Erkenntnis des Weltalls, die der bekann-

te amerikanische Astronom Harlow Shapley gab. Aber dieses Problem verliert, ungeachtet der scheinbaren Hoffnungslosigkeit, nicht seine Anziehungskraft.

Das Rätsel der Geburt des Weltalls hört nicht auf, die Phantasie zu beflügeln. Es entstand eine ganze Reihe von Hypothesen. Unter ihnen gibt es auch eine, die überhaupt irgendwelchen „Anfang“ verneint. Die Vergangenheit der Welt, so erklärt sie, ist ebenso unendlich wie auch ihre Zukunft. Es gibt nichts, außer die sich ständig bewegende Materie.

Immerhin, so beweist die Mathematik, den Anfang der Welt gibt es, obgleich dieses Problem zu den „unangenehmen“ gerechnet werden muß.

„Unangenehm deshalb“, erklärte Chalatnikow, weil bei den Menschen, die zum erstenmal etwas über die erstaunlichen Resultate der Kosmologie hören, die natürliche Frage erwächst: Und was war bis zum Anfang der Entstehung des Weltalls? Jedoch, da der Anfang des Zeitflusses mit der Entstehung der Welt zusammenfällt, ist eine solche Fragestellung unsinnig. Denn die Begriffe ‚bis zu‘ und ‚nach‘ verlieren ohne die Hinzuziehung des Zeitbegriffes ihren Sinn.“

Sogar Augustin, der zu Beginn des 5. Jahrhunderts wirkte und als Bischof durch ein unversöhnliches religiöses Dunkelmännertum bekannt wurde (er sagte: „Es ist besser, die Ketzer lebendig zu verbrennen, als ihnen die Möglichkeit zu geben, im Irrtum zu verharren“), dachte über den Vorgang der Geburt des Weltalls nach. In seinem öffentlichen Bekenntnis stellte er sich die

Frage: „Was tat Gott, bevor er die Welt schuf?“  
Ihn hätte offensichtlich auch die bekannte Antwort: „Gott war damit beschäftigt, die Hölle für die Leute zu schaffen, die dumme Fragen stellen“, nicht befriedigt.

„Die Zeit entstand zusammen mit der Welt, und sie gehört zu dieser Welt, und darum kann in der Zeit, als das Weltall noch nicht existierte, auch keinerlei Zeit gewesen sein“, sagte einmal einer der Begründer der Quantenmechanik, Werner Heisenberg.

**Das kosmische Schloß.** Besonders interessant für die Gelehrten ist die Lösung solcher Probleme wie die anfängliche Zusammensetzung der Welt und ihr Aufbau. Aus welchen Stoffen, aus welchen Elementarteilchen bestand das Weltall „in seiner Kindheit“, war es heiß oder kalt? Es war sehr heiß, und es bestand fast nur aus Neutronen, versicherte der amerikanische Gelehrte G. Gamow. Er nannte sogar eine Zahl. Die Temperatur betrug eine Milliarde Grad wenige Minuten nach dem Anfang der Expansion. Demgegenüber rechnete Akademiemitglied Jakow Borissowitsch Seldowitsch damit, daß das Weltall im Anfangsstadium kalt war und aus Protonen, Elektronen und Neutrinos bestand. Nur im kalten Zustand und nur beim Vorhandensein von Neutrinos können sich Protonen und Elektronen zu Wasserstoffatomen „zusammenkleben“, die, wie bekannt ist, in der Natur vorherrschen. Wären an der Stelle von Neutrinos Neutronen, dann würde unsere Welt in der Hauptsache aus Helium und anderen Elementen, die schwerer als Was-

serstoff sind, bestehen. Die Wirklichkeit unterstützt damit die Ansicht Seldowitschs.

Seldowitsch konnte gedanklich auch die ersten Etappen der Expansion des Weltalls verfolgen. In dieser Zeit konnten die Wasserstoffmassen, die so kalt waren, daß sie in flüssiger oder fester Form vorlagen, in einzelne gigantische Tropfen oder Klumpen zerfallen. Nach allen Seiten aus-einanderfliegend und einer den anderen aufs neue anziehend, vereinigten sie sich allmählich, bildeten Sternkeime und danach die Sterne selbst.

Das ist eine von den neuesten Hypothesen über die „Erschaffung“ der Welt, aber nicht die einzige. Es existieren mehr als 15 Hypothesen, aufgestellt von den Gelehrten vieler Länder, die sich bemühen, die Herkunft der Erde und des Sonnensystems zu erklären. Doch keine von ihnen kann völlig überzeugen. „Wenn wir nicht so viel wüßten, brauchten wir auch weniger zu erklären...“

Vom „Neutrinostandpunkt“ aus betrachten das Akademiemitglied B. M. Pontecorvo und der Doktor der Naturwissenschaften J. A. Smorodinski die Anfangsperiode der Weltallentwicklung. Sie schreiben den Neutrinos und ihren Antipoden, den Antineutrinos, den unsichtbaren und bis vor kurzer Zeit nicht nachweisbaren Teilchen eine besondere Rolle bei der Bildung des Weltalls zu. Sie rechnen damit, daß die Zahl der Neutrinos und Antineutrinos irgendwann einmal sehr groß war, viel größer als die aller übrigen Teilchen. In diesen Zeiten hätten die Gelehrten auf der Suche nach der Antiwelt nicht weit zu

gehen brauchen. Die Neutrinos und Antineutrinos gaben ein erstaunlichen Beispiel der Symmetrie von Materie und Antimaterie, von Welt und Antiwelt. Aber auch das ist nicht die einzige Hypothese, die den Fragen über die Bildung von Materie und Antimaterie eine Deutung gibt.

Folglich, um mit den Worten eines zeitgenössischen Astronomen zu sprechen, „haben wir so etwas wie den Entwurf für ein kosmisches Schloß vor den Lesern ausgebreitet. Natürlich haben wir unseren Bau noch nicht beendet. Ich kann noch nicht einmal sagen, wir legen gerade das Fundament, oder wir decken schon das Dach. Am wahrscheinlichsten ist (und das ist das Höchste, auf das wir rechnen können), daß wir gerade irgendein Hilfsgebäude vor der Errichtung des eigentlichen Gebäudes bauen“.

Die sich entwickelnde Wissenschaft wird ohne Zweifel den Gelehrten helfen, ein in unseren Vorstellungen prächtiges und imposantes Gebäude unserer Welt zu errichten. Heute können wir viel mehr über das Weltall sagen, als zu ihrer Zeit unsere Vorfahren darüber sagen konnten, die in ihrer Unbekümmertheit sogar behaupteten, daß sich die Erde oder auch die Sonne im Mittelpunkt des Weltgebäudes befänden. Wir haben längst diesen egozentrischen Standpunkt überwunden. Und unsere Nachfahren werden unzweifelhaft die Fesseln überwinden, die heute noch unseren Verstand binden. Sie werden viele neue Erkenntnisse gewinnen. Und unsere Denkweise werden sie vielleicht dann sogar als primitiv bezeichnen.

**Teilnehmer an einem grandiosen Schauspiel.** Wir untersuchen den Kosmos seit insgesamt nur einigen Jahrtausenden. Für kosmische Maßstäbe ist das eine Nichtigkeit. Während dieser Zeit hat der Planet Pluto zum Beispiel einige zehn Schleifen um die Sonne gemacht. Bedenken wir, daß auch die Möglichkeiten unserer Sinnesorgane begrenzt sind. Zwar hat der Mensch schon lange die Technik zu Hilfe gerufen. Es gibt heute elektronische Rechenmaschinen, die in der Lage sind, das ganze Weltall „durchzurechnen“. Die Relativitätstheorie Einsteins macht es möglich, die Massenverteilung der Himmelskörper im Weltraum, ihre Bewegungsgesetze und ihre Stellung in der Zukunft vorauszuberechnen. Zu erfahren, was mit der Welt in Tausend, in Millionen Jahren sein wird — das ist eine Aufgabe, die im Prinzip lösbar ist. Um sie wirklich zu lösen, wäre es notwendig, der Maschine eine Gleichung einzugeben, die die gesamte heutige Welt mit allen Einzelheiten beschreibt, eine Gleichung, in die jede Galaxis, jeder Stern und jedes Staubkorn Eingang gefunden hätte. Und die Maschine brauchte diese Gleichung nur in die Zukunft zu transponieren, wie ein Musiker, der eine Melodie aus einer Tonlage in die andere transponiert.

Diese Einzelheiten über die uns umgebende Welt reichen der modernen Wissenschaft jedoch nicht aus. Die Forscher sehen das Weltall nur, soweit es ihnen die stärksten Radioteleskope gestatten. Und die Leistung der Teleskope erhöht sich ständig. Sie sehen immer weiter und weiter. Während der letzten vierzig Jahre hat sich der

Radius des untersuchten Raumes zehntausendfach vergrößert. Aber wenn sich der Radius der Sphäre, die die Teleskope durchdringen können, zehnmal vergrößert, dann wächst die Anzahl der zu untersuchenden Sterne ungefähr auf eine Zahl mit 23 Nullen. Trotzdem können wir immer nur sagen, wieviel Sterne uns bekannt sind. Wieviel Himmelskörper sich außerhalb unseres Blickfeldes befinden, können wir nicht wissen.

Die in ihrer Bewegung organisch miteinander verbundenen und verflochtenen Teile des Weltalls wirken aufeinander ein, beeinflussen sich gegenseitig. Die Anwesenheit der Materie ändert die Eigenschaften des Raumes und der Zeit. Jeder Stern, jeder Planet trägt seinen Anteil zum Weltbild bei. Ohne das Leben seiner restlichen Teile zu kennen, ist es unmöglich, Aussagen über das Weltall als Ganzes zu treffen. Und darum kann die „denkende“ Maschine, die das nicht weiß, was auch der Mensch nicht weiß, mit den prinzipiellen Schwierigkeiten bei der Vorhersage des Weltbildes der Zukunft nicht fertig werden, obwohl sie — mathematisch gesehen — es schaffen könnte.

Ist es wirklich *so wichtig* für uns, einen Blick auf das Weltall des 300. oder 500. Jahrhunderts zu werfen?

Einst nannte man die Menschen, die einen Blick in die Zukunft zu werfen versuchten, Propheten. Was aber hätten die Propheten des Altertums gesagt, wenn ihnen irgendwer etwas über die Entdeckungen der Wissenschaft unseres 20. Jahrhunderts mitgeteilt hätte? Sie hätten ihren Ohren nicht getraut! Unsere Kenntnisse über die

Welt sind ohne Zweifel gleichfalls unvollkommen, aber auf alle Fälle werden wir uns bewußt, daß wir an einem Schauspiel teilnehmen, das viel grandioser ist, als es sich die Menschen vergangener Zeiten jemals vorstellen können.

„Wir hoffen“, sagte einst Shapley, „daß uns die Zukunft fundamentale Kenntnisse und größere Ideen bringt. Natürlich werden auch tiefergehende Gedanken kommen, und das Gebiet der Herrschaft des Geistes wird breiter, das Verständnis der Funktionen des menschlichen Gehirns vollständiger werden, und größer wird der Ehrgeiz der Menschen sein, die an den gewaltigsten Erscheinungen der Natur — den Erscheinungen in kosmischen Maßstäben — teilnehmen werden.“



**KOSMISCHE  
VERJÜNGUNG**

**Der verschwundene Tag.** Vor viereinhalb Jahrhunderten begann der portugiesische Kapitän in spanischen Diensten Fernando de Magallanes eine Seereise mit dem Ziel, die Molukken auf dem westlichen Seeweg zu erreichen. Entgegen den Lehren der Kirche glaubte er an die Kugelgestalt der Erde und hoffte, daß man den amerikanischen Kontinent im Süden umschiffen kann. Er bewältigte den schwierigsten Teil des Weges, überquerte den Atlantischen und den Stillen Ozean, doch, nachdem er fast die Gewürzinseln erreicht hatte, starb er bei einem Scharmützel mit Bewohnern einer Insel der Philippinen. Nur zwei Schiffe von fünf, die die Seereise begonnen hatten, erreichten das Ziel. Dort trennten sie sich. Eines begab sich auf den Rückweg, wurde aber von den Portugiesen aufgebracht. Das andere, unter der Leitung des erfahrenen Seefahrers del Cano, setzte seine Reise in westlicher Richtung durch den Indischen Ozean fort. Nachdem es Afrika umschifft hatte, gelangte es bald zu den Kapverdischen Inseln, die das Geschwader am Beginn seiner Seereise anlief. Hier, genau genommen, endete die erste Weltumsegelung. Nur 18 von 265 Menschen vollendeten sie. Und diese 18 Seefahrer waren die ersten Menschen, die bei einer Seereise ... einen Tag verloren.

Als die Seefahrer an Land gingen, waren sie verblüfft. Nach dem Schiffskalender war an diesem Tag Mittwoch, aber die Leute auf der Insel waren davon überzeugt, daß bei ihnen Donnerstag sei. Eine sorgfältige Überprüfung des Logbuches der „Victoria“ ergab keinen Fehler. Die

Eintragungen waren richtig. Die Seefahrer waren davon überzeugt, daß sich die Inselbewohner irrten, denn auf dem Land führte niemand Tagebuch.

So, nach der Vollendung der ersten Weltumsegelung, brachten die Seefahrer ein neues Geheimnis nach Europa. Der Bordkalender war gegenüber dem Kalender an Land um einen ganzen Tag zurück. Während der Seereise waren nicht nur Menschen und Schiffe, sondern auch ganze 24 Stunden „verlorengegangen“...

Die Nachricht über den rätselvollen Verlust erregte die gesamte zivilisierte Welt. Zu jener Zeit war eine große Portion Scharfsinn und sogar Kühnheit notwendig, um den Verlust mit der Drehung der Erde in Zusammenhang zu bringen. Die Schiffe waren fast drei Jahre unterwegs, und die „Zeitverluste“ sammelten sich gleichmäßig und unmerklich an. In unseren Tagen, im Jahrhundert der Düsenflugzeuge, kann man in westlicher Richtung abfliegen und, indem man sich zusammen mit der Sonne bewegt, an den Ausgangspunkt zurückkehren. Für einen solchen Flug um den Erdball werden genau 24 Stunden benötigt, doch der Mensch im Flugzeug wird die ganze Zeit über die Sonne im Zenit sehen, so daß nach der Sonne seine „Zeit“ unbeweglich ist. Er wird den Kalender nicht umblättern müssen, weil im Flugzeug der Tag nicht von der Nacht abgelöst wird, obwohl die Uhr des Piloten zeigt, daß während der Reise um die Welt 24 Stunden vergangen sind.

**Der Sohn ist älter als der Vater.** Die überlebenden Begleiter Fernando de Magallanes „verjüngten“ sich im Vergleich zu den übrigen Bewohnern der Erde um einen Tag. In jener Zeit erregte dieser Umstand die Menschen vermutlich stärker, als uns die Möglichkeit einer „Verjüngung“ bei Flügen in interstellaren Raumschiffen erregt.

Selbstverständlich besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen dieser „Verjüngung“ und der „geographischen Verjüngung“ der Begleiter Fernando de Magallanes. Die „Verjüngung“ bei fernren kosmischen Flügen kann sich als wirklich real erweisen, während die „geographische Verjüngung“ nur einen ganz und gar formalen Charakter besitzt. Denn eine Eintagsfliege, die eine Reise um die Welt in einem Düsenflugzeug macht und nach 24 Stunden zum Abflugsort zurückkehrt, stirbt gleichzeitig mit einer anderen Fliege; die den Flugplatz nicht verlassen hat.

Völlig anders wird es bei einem zukünftigen kosmischen Reisenden sein, der in einer überschnellen Rakete fliegt. Aus der Relativitätstheorie folgt, daß in einem Raumschiff, das mit einer Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit fliegt, die Zeit merklich langsamer vergeht als die Zeit auf der Erde. Das bedeutet, daß eine Uhr im Raumschiff langsamer geht als eine Uhr auf der Erde, daß der Puls des Raumfahrers, wenn er ihn mit Hilfe einer Erduhr mißt, langsamer schlagen wird als der Puls seines Kollegen, der auf der Erde geblieben ist. Mit einem Wort, alle Prozesse, darunter auch das Altern des lebenden Organismus, werden entsprechend verlangsamt.

Die Berechnungen zeigen, daß bei einer Geschwindigkeit von 240 000 Kilometern in der Sekunde, d. h. bei einer Geschwindigkeit, die 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit entspricht, sich die Zeit im Raumschiff soweit verlangsamt, daß während jeder Erdenstunde in ihm nur 36 Minuten vergehen. Die Eintagsfliege wird in einer solchen Rakete nach Erdenstunden anderthalb Tage leben (nach der Uhr, die sich in der Rakete befindet, lebt sie natürlich genau einen Tag).

Wenn ein zwanzigjähriger Raumfahrer 30 Jahre mit einer solchen Rakete flöge, dann würde er bei der Rückkehr zur Erde als Fünfzigjähriger feststellen, daß seine Altersgenossen um 50 Jahre gealtert und schon siebzigjährige Greise sind. Sie hätten also 20 Kalender mehr verbraucht. Ein Sohn des Raumfahrers, der am Tage des Abflugs des Vaters das Licht der Welt erblickt hätte, wäre ein Altersgenosse des Vaters; er träfe seinen fünfzigjährigen Vater an seinem fünfzigsten Geburtstag.

Mehr als das, wenn der Flug nach der Uhr des Raumfahrers länger als 30 Jahre dauerte, dann wäre der Sohn älter als der Vater!

Wie ist der Unterschied zwischen der „kosmischen“ und „geographischen“ Verjüngung zu verstehen? Warum bezeichnen wir jene als reale, diese aber als scheinbare?

Das liegt daran, daß die Zeit in einem Düsenflugzeug praktisch mit der gleichen Schnelligkeit vergeht wie auch auf der Erde. Die Lebensdauer der Eintagsfliege, die Geschwindigkeit des menschlichen Pulsschlags sowie die Bewegung der Uhrzeiger sind unabhängig von der sichtbaren

**Bewegung der Sonne.** „Steht“ nun die Sonne „unbeweglich“ über dem nach Westen fliegenden Düsenflugzeug oder „bewegt“ sie sich über dem Flugplatz — die Geschwindigkeit des Zeitablaufes wird dadurch nicht geändert. Der ganze Unterschied erklärt sich dadurch, daß wir vereinbart haben, das Kalenderblatt um Mitternacht abzureißen, das heißt, genau zwölf Stunden nach dem Zeitpunkt, an dem die Sonne den höchsten Punkt am Firmament erreicht hat. Aber vom Fenster unseres Flugzeuges aus ist die Sonne immer in derselben Stellung sichtbar, so daß wir das Kalenderblatt nicht abreißen können. Das Paradoxon besteht darin, daß in diesem Flugzeug die Zeit vergeht, aber das Zählen der Tage, die mit dem Auf- und Untergang der Sonne verbunden sind, unterbleibt.

Wenn man vereinbart, die Kalenderblätter alle 24 Stunden abzureißen und sich nicht von der Sonne, sondern von der Stundenzahl leiten läßt, dann ist alles wieder in Ordnung. Das Paradoxon ist verschwunden.

Es kann noch ein Argument angeführt werden, das zwar keinen besonderen wissenschaftlichen Sinn, dafür aber eine gute Anschaulichkeit besitzt. Die Zeit ist unabhängig von der Anzahl der sichtbaren Sonnenauf- und -untergänge. Wenn wir die Vorhänge zuziehen oder uns im Keller verkriechen, werden wir den Wechsel von Tag und Nacht nicht bemerken. Jedoch auch im Keller hören wir nicht auf zu altern. Indem wir die Uhr anhalten, können wir nicht den Lauf der Zeit anhalten. Die Zeit läuft unabhängig vom Willen und vom Bewußtsein des Menschen. Sie läuft

in Übereinstimmung mit den Naturgesetzen, und diese Gesetze bergen noch viele Überraschungen in sich.

Diese Gesetze führen dazu, daß in einer überschnellen Rakete die Zeit wirklich langsamer vergeht als auf der Erde. Das Raumschiff fliegt weit weg von der Sonne, und die Tage müssen nach einer mitfliegenden Uhr gezählt werden. Und diese Uhr geht in Wirklichkeit langsamer als die auf der Erde zurückgebliebenen Uhren.

**Wer ist nun jünger?** Die Tatsache, daß es unmöglich ist, die Zeit anzuhalten, ist jedem aus persönlichen Erfahrungen klar. Und gleichfalls beweisen die Lebenserfahrungen, daß die Zeit überall gleichmäßig vergeht. Deshalb scheint die Möglichkeit der Herstellung einer „Zeitmaschine“ das Attribut eines phantastischen Romans und nicht einer wissenschaftlichen Tatsache zu sein.

Die erste Bekanntschaft mit der Relativitätstheorie führt uns zur Bestätigung der überzeugenden und unbestreitbaren Tatsache, daß zwei Raketen, die sich unter dem Einfluß des Trägheitsgesetzes einander entgegen bewegen, völlig gleichberechtigt sind. Aus dieser Theorie folgt, daß die Geräte in der ersten Rakete anzeigen, daß die Uhren in der zweiten Rakete nachgehen, während die gleichen Geräte in der zweiten Rakete anzeigen, daß die Uhren der ersten Rakete nachgehen! Das bedeutet, daß der Raumfahrer in der ersten Rakete annimmt, daß er schneller altert als sein Kollege, der in der zweiten Rakete fliegt. Und

dieser Kollege wird genauso davon überzeugt sein, daß er schneller altert.

Wer nun von ihnen altert aber wirklich schneller? Wer erweist sich wirklich als älter, der Raumfahrer, der von einem Flug zu fernen Sternen zurückkehrt, oder sein Altersgenosse, der auf der Erde zurückgeblieben ist?

Ein einfaches Anhäufen dieser Fragen kann zu Aussagen über die Unbegreiflichkeit der Relativitätstheorie führen und auch zu Aussagen darüber, daß zu ihrem Verständnis eine Spezialausbildung erforderlich ist, daß ein normaler Mensch ihre Resultate einfach glauben muß. Lange Zeit waren sogar Fachleute nicht in der Lage, sich ihre erstaunlichen Ergebnisse anzueignen. Für die Bewältigung des mathematischen Teils der Theorie ist eine Spezialausbildung unbedingt erforderlich. Jedoch die aus ihr erhaltenen Ergebnisse und die physikalischen Aussagen sind für jeden zugänglich. Sie erweisen sich nur bei oberflächlicher Betrachtung als paradox.

Die Relativitätstheorie fußt auf dem eisernen Fundament der Erfahrungen. Und die Erfahrungen besagen, daß für das Feststellen einer Bewegung unter dem Einfluß der Trägheit unbedingt ein Körper notwendig ist, der nicht an dieser Bewegung teilnimmt. Auch wenn ein solcher Körper existierte, dann könnte man nur die Bewegung relativ zu diesem Körper, aber nicht die Bewegung an sich feststellen.

Der Raumfahrer, der sich im Zustand der Schwerelosigkeit in einem überschnellen Raumschiff auf dem Weg zu den Sternen befindet, kann bei geschlossenen Bordfenstern diese Bewegung nicht

feststellen. Hierbei helfen ihm keinerlei Geräte.

Diese Tatsache, von der genialen Intuition Einsteins erfaßt, ist die Verallgemeinerung der Erfahrungen, die die Menschheit während vieler Jahrhunderte machte. Sie ist noch nicht unmittelbar überprüft worden, aber schon die Kosmonauten, die Erdumkreisungen auf Orbitalbahnen durchführten, konnten bestätigen, daß diese Behauptung der Wirklichkeit sehr nahe kommt. (Während des Flugs im erdnahen Raum bewegt sich das Raumschiff unter der Wirkung der Erddrehung auf einer ellipsenförmigen Bahn. Eine solche Bewegung kann auch innerhalb des Raumschiffs mit Hilfe genau arbeitender Geräte, zum Beispiel mit Hilfe des Kreisels, festgestellt werden.)

Das bedeutet, daß ohne Ausnahme alle Prozesse in allen Raumschiffen, die sich unter dem Einfluß der Trägheit mit beliebigen Geschwindigkeiten in beliebigen Richtungen vollziehen, vollständig einheitlich vor sich gehen.

Und aus der Tatsache heraus, daß die Lichtgeschwindigkeit nicht davon abhängt, mit welcher Geschwindigkeit sich eine Lichtquelle unter Einfluß der Trägheit bewegt, resultieren alle bei uns entstehenden Probleme.

Klar ist deshalb auch die Antwort.

Wenn die Geräte in einem Raumschiff feststellen, daß sich ein anderes Raumschiff mit einer Geschwindigkeit von 240 000 Kilometern in der Sekunde entfernt, dann zeigen sie an, daß sich die Uhren in der sich entfernenden Rakete während einer Stunde nur um 36 Minuten weiter-

drehen und daß ein Meter in ihr nur eine Länge von 60 Zentimeter besitzt. Genau das gleiche stellen auch die Geräte in der anderen Rakete fest. Sowohl das eine als auch das andere ist richtig. Wenn das nicht so wäre, dann gäbe es eine Möglichkeit für die Messung einer „absoluten“ Geschwindigkeit. Aber das ist unmöglich.

Zeigt sich hier nicht ein Widerspruch? Nein, hier gibt es keinen Widerspruch. Zur Erläuterung kann man folgendes einfache Beispiel anführen: Zwei Menschen gehen auf einem ebenen Weg auseinander. Je nach der Entfernung kommt es jedem von ihnen so vor, als würde der andere kleiner. Das kann durch eine Winkelmessung mit einem gewöhnlichen Winkelmesser bestätigt werden.

Jedoch kann man dem widersprechen, indem man sagt, daß das nur ein scheinbarer Vorgang ist, daß die Auseinandergehenden, würden sie wieder zusammentreffen, feststellen könnten, daß sich ihre Maße nicht geändert haben.

Selbstverständlich, denn ein Beispiel ist kein Beweis. Aber es ist interessant, daß es auch in diesem Beispiel für die Ermittlung der Wahrheit notwendig ist, die beiden wieder zusammentreffen zu lassen.

Was geschieht denn, wenn unsere Raumschiffe wieder zusammentreffen? Vorläufig entfernen sie sich voneinander, die Uhren in ihnen gehen „wechselseitig“ nach. Was werden ihre Uhren bei einem neuen Zusammentreffen anzeigen?

Die Antwort lautet, das hängt davon ab, wie sie sich nähern werden.

Die Raumschiffe sind nur dann „gleichberechtigt“, wenn sie sich mit ausgeschalteten Antrieben unter dem Einfluß der Trägheit bewegen. Dabei fliegen sie jedoch mit unveränderter Geschwindigkeit in gerader Richtung, indem sie sich weiter und weiter voneinander entfernen. Um sich wieder zu nähern, muß mindestens eines von ihnen umkehren.

Das ist der Grund für alles! Für die Kehrtwendung ist es erforderlich, die Triebwerke einzuschalten, die Geschwindigkeit abzubremsen und aufs neue die Geschwindigkeit in der entgegengesetzten Richtung zu erhöhen. Im Verlaufe dieses Manövers bewegt sich das Raumschiff schon nicht mehr unter dem Einfluß der Trägheit, sondern unter dem der Beschleunigung. Der Zustand der Schwerelosigkeit hört auf, und es entstehen Überlastungen. Um diese festzustellen, ist es nicht notwendig, nach draußen zu schauen. Die Überlastungen bemerken sowohl die Geräte als auch die lebenden Organismen. Die Beschleunigung ist in diesem Sinne absolut.

Alle Prozesse in dem Raumschiff, das der Beschleunigung unterliegt, unterscheiden sich von den Prozessen in dem Raumschiff, das sich unter dem Einfluß der Trägheit bewegt.

Die Relativitätstheorie gibt die erste unbestreitbare Antwort auf die Frage danach, was sich beim Zusammentreffen herausstellt.

Wenn beide Raumschiffe völlig in gleicher Weise abgebremst und wieder beschleunigt werden und sich danach treffen (und das wird an demselben Punkt geschehen, an dem sie sich getrennt hatten), dann werden ihre Uhren die gleiche Zeit

anzeigen. Es werden keinerlei Widersprüche vorhanden sein, keiner der Raumfahrer wird älter als der andere sein. Alles wird (dem Anschein nach) so sein wie bei dem Beispiel mit den Fußgängern, die sich auf der Straße voneinander entfernten und die dann wieder zusammentrafen.

Aber nur dem Anschein nach. Und zwar deshalb, weil das wechselseitige Nachgehen der Uhren eine Realität war. Es wird im Ergebnis des gleichmäßigen wechselseitigen Überholens der Uhren bei dem Prozeß des Übergangs der Raumschiffe auf den Rückweg wieder ausgeglichen. Dafür, daß dieser Vorgang nicht merkwürdig erscheint, gibt die Relativitätstheorie eine zweite Antwort.

Wenn nur eines der Raumschiffe abgebremst und wieder beschleunigt wird, dann zeigt es sich, nachdem es das erste eingeholt hat, daß die Uhren in dem Raumschiff, das seine Geschwindigkeit geändert hat, nachgehen. Dabei ist es natürlich gleich, welches von ihnen seine Geschwindigkeit ändert. Aber es werden gerade die Uhren nachgehen, die den Dauerbeschleunigungen unterworfen waren.

Der Leser sollte nicht voreilig sagen: Es ist klar, die Uhren gehen wegen der Überlastungen nach. In diesen Worten steckt zwar ein Teil der Wahrheit, aber nicht die ganze Wahrheit. Das Wissen und die Erfahrungen des Menschen vergrößern sich nicht deshalb, weil er älter wird, sondern weil er in dieser Zeit arbeitet und lernt. Das Altern und die geistige Entwicklung vollziehen sich gleichzeitig, aber zwischen ihnen existiert keine eindeutig begründete Verbindung. Man kann bis

ins hohc Alter hinein ein Unwissender bleiben.

So auch bei den Überlastungen: Sie sind eine Folge der Beschleunigung, jedoch nicht die Ursache für den veränderten Gang einer guten Uhr. Gerade die Beschleunigung verursacht gleichzeitig die Überlastungen und die Gangänderungen der Uhren. Mehr als das, die Beschleunigung verursacht keine Veränderungen im Mechanismus der Uhren, sondern wirkt direkt auf den Zeitablauf ein.

**In der Zeitmaschine.** Um den Kern der Sache klar zu verstehen, stellen wir uns zuerst vor, daß wir, zurückgeblieben auf der Erde, den Flug des Raumschiffes mit einem Fernsehgerät verfolgen, dessen Aufnahmegerät sich in dem Raumschiff befindet. Danach stellen wir uns vor, daß wir selbst mit dem Raumschiff fliegen und auf dem Bildschirm die Sendungen von der Erde verfolgen.

In Übereinstimmung mit dem Flugprogramm soll sich das Raumschiff 25 Jahre lang (nach Erdzeit) von der Erde entfernen, danach schnell umkehren und wiederum 25 Jahre lang (nach Erdzeit) nach Hause fliegen.

Wenn wir im Weltall in einem Abstand, den das Licht in einem Jahr durcheilt, einen „Kilometerstein“ aufstellen würden, dann würden unsere Erduhren vom Startzeitpunkt bis zu dem Moment, an dem auf unserem Bildschirm das Raumschiff sich neben diesem Kilometerstein befindet, eine Zeitspanne von zwei Jahren und drei Monaten anzeigen. In Wirklichkeit fliegt das

Raumschiff ein Jahr und drei Monate bis zu diesem Kilometerstein, doch das Fernsehbild braucht für den Weg zur Erde genau ein Jahr. Nach fünfundzwanzig Jahren, wenn sich das Raumschiff in Übereinstimmung mit dem Flugprogramm auf den Rückweg begibt, kommt auf dem Bildschirm unseres Fernsehgerätes das Bild jener Ereignisse an, die in dem Raumschiff vor sich gegangen sind, als es sich nur in einer Entfernung von ungefähr 16 Lichtjahren von uns befand.

Das Bild der arbeitenden Antriebe und des Wendemanövers des Raumschiffs sehen wir erst 45 Jahre nach dem Start. Folglich müssen wir auf der Erde 45 Jahre vor dem Fernsehgerät sitzen, um die Vorgänge, die im Verlaufe des ersten Teils des Flugs geschehen sind, anzusehen. Denn die Radiosignale benötigen für den Weg vom Wendepunkt bis zur Erde ganze 20 Jahre. Zu diesem Zeitpunkt wird das Raumschiff „fast zu Hause“ sein, in einem Abstand von nur 5 Lichtjahren von der Erde.

Während dieser restlichen 5 Jahre werden wir in beschleunigtem Tempo alles das auf dem Bildschirm sehen, was in dem Raumschiff im Verlaufe von 25 Erdjahren vor sich gegangen ist.

Folglich werden wir 45 Jahre lang eine „verlangsamte“ und 5 Jahre lang eine „beschleunigte“ Darstellung sehen. Aber alles das besitzt keinerlei Beziehungen zur Relativitätstheorie. Die „Verlangsamung“ und „Beschleunigung“ sind Folgen des Doppler-Effektes, der mit einer Veränderung des Zeitablaufs nicht verbunden ist.

Aber auf dem Bildschirm des Fernsehgerätes kann

man auch eine reale Verlangsamung der Zeit sehen. Nachdem wir 45 Jahre gewartet haben, sehen wir, daß bis zu dem Zeitpunkt der Wendung die Raumschiffuhr und der Kalender nur einen Zeitraum von 15 Jahren angeben.

Wir erblicken gleichfalls, daß für den Rückflug die Raumschiffuhr und der Raumschiffkalender wiederum einen Zeitraum von 15 Jahren angeben. (Jetzt ermöglicht es uns der Doppler-Effekt alles innerhalb von 5 Jahren zu verfolgen.)

So können wir, zurückgeblieben auf der Erde, jeden Augenblick die Raumschiffuhr verfolgen und uns davon überzeugen, daß während unseren 50 Jahren nach ihr nur 30 Jahre vergangen sind.

Nun setzen wir uns in das Raumschiff.

Wenn wir nach Erreichen des Flugziels auf den Bildschirm unseres Fernsehgeräts schauen, dann sehen wir, daß die auf ihm abgebildete Erduhr und der Erdkalender nur 5 Jahre anzeigen, die seit dem Abflug vergangen sind. Das ist auch nicht verwunderlich, denn das Raumschiff „flüchtet“ vor den Radiosignalen. Die Signale, die von der Erde zu einem späteren Zeitpunkt abgesandt wurden, sind noch unterwegs.

Jedoch nach der Durchführung der notwendigen Berechnungen und der Berücksichtigung des „scheinbaren“ Zurückbleibens (auf Grund des Doppler-Effekts) stellen wir fest, daß zum Zeitpunkt der Beobachtung nach der Erduhr nicht 5 Jahre, wie das Fernsehgerät angibt, sondern 9 Jahre vergangen sind. Wir wissen, daß die Abbildung der Uhr das Raumschiff in den letzten 4 Jahren noch nicht eingeholt hat, daß sie noch unterwegs ist.

Solange sich also das Raumschiff unter der Einwirkung der Trägheit von der Erde entfernt, werden seine Passagiere und die auf der Erde zurückgebliebenen Menschen nach der Durchführung der notwendigen Messungen und Berechnungen zu den gleichen Ergebnissen kommen. Jeder erhält die Information, daß die Uhr des anderen drei Fünftel Mal langsamer geht als seine eigene.

Das ist ein Resultat der „Gleichwertigkeit“ von Körpern, die sich unter Einwirkung der Trägheit relativ zueinander bewegen. Es ist ein Paradoxon der sogenannten speziellen Relativitätstheorie, das aber nicht zu Widersprüchen führen kann, weil es unmöglich ist, die eine und die andere Uhr nebeneinander im Zustand der relativen Ruhe anzuordnen und ihre Anzeigen zu vergleichen, ohne sie einer Beschleunigung auszusetzen, das heißt, ohne aus dem Geltungsbereich dieses Teils der Relativitätstheorie herauszugehen.

Verfolgen wir, was weiter daraus wird.

Nachdem die Aufgabe erfüllt ist, schaltet der Raumschiffkommandant die Triebwerke ein, das Raumschiff wird abgebremst und wieder in Richtung auf die Erde hin beschleunigt. Während der Arbeit der Triebwerke bewegt sich das Raumschiff nicht unter der Einwirkung der Trägheit, also nicht mit konstanter Geschwindigkeit, sondern mit einer großen Beschleunigung. Dabei ist die „Gleichwertigkeit“ des Raumschiffs und der Erde gestört. Die Prozesse im Raumschiff und auf der Erde laufen völlig verschieden voneinander ab. Die Raumfahrer können die Beschleuni-

gung des Raumschiffes messen, ohne nach draußen zu sehen. Einstein sagte schon vor Beginn der kosmischen Ära, daß dieser Unterschied jedem Maschinisten, der Kohle in die Feuerung einer Lokomotive wirft, klar ist. Wenn sich die Lokomotive in Bewegung setzt oder abgebremst wird, bewegt sie sich mit einer Beschleunigung, und aus den Gepäcknetzen in den Waggons fallen die Koffer, während der Wasserturm neben dem Bahndamm unbeschädigt bleibt.

Würde die Erde und nicht die Lokomotive beschleunigt werden, so fährt Einstein fort, dann würde der Turm fallen und nicht die Koffer. Das bedeutet, daß die Beschleunigung nicht relativ, sondern absolut ist.

Im Verlauf der Arbeit der Triebwerke, während der das Raumschiff in einem ungeheuren Abstand von der Erde einer Dauerbeschleunigung unterworfen wird, können wir, seine Passagiere, feststellen, daß sich die Ereignisse auf der Erde während dieser Zeit mit großer Schnelligkeit entwickeln. Die Zeit auf der Erde (gemessen mit der Uhr des Raumschiffs) bleibt schon nicht mehr zurück, sie wird eilen, und zwar um so schneller, je weiter von der Erde entfernt das Wendemanöver des Raumschiffs durchgeführt wird und je stärker es beschleunigt wird. Dabei holen die Erduhren nach den Messungen im Raumschiff nicht nur die „Verspätung“ von 6 Jahren auf, die während des Flugs des Raumschiffs unter der Einwirkung der Trägheit eingetreten ist, sondern sie überholen die Uhren der Raumfahrer um 26 Jahre, so daß es sich im Zeitpunkt des Ausschaltens der Triebwerke und zu Beginn des

freien Rückflugs nach der Uhr des Raumschiffs erweist, daß auf der Erde 41 Jahre (15+26) vergangen sind. Von diesen 41 Jahren sind 9 Jahre während der Entfernung des Raumschiffs von der Erde vergangen und 32 Jahre während des Wendemanövers.

Selbstverständlich bemerken die Menschen auf der Erde bei allen diesen Vorgängen nicht, daß sich der Gang der Erduhren verändert. Auf diese Uhren kann der Umstand, daß das Raumschiff beschleunigt wurde, als es seine Flugrichtung änderte, keinen Einfluß haben.

In Wahrheit erblicken auch wir, die Passagiere des Raumschiffs, auf der Bildfläche unseres Fernsehgeräts den ungestümen Lauf der Erdzeit nicht während des Wendemanövers, sondern später, auf dem Rückweg, wenn das Raumschiff die Signale trifft, die von der Erde während des Wendemanövers ausgegangen sind. Genau während der geringen Zeit, während der die Triebwerke des Raumschiffs eingeschaltet waren (viele Jahre vorher), gehen 32 Erdenjahre auf dem Bildschirm wie im Fluge vorüber.

Während des Rückflugs, wenn sich das Raumschiff erneut unter dem Einfluß der Trägheit bewegt, wird wiederum ein wechselseitiges Zurückbleiben der Uhren festgestellt. Innerhalb der 15 Jahre, die wir für den Rückweg benötigen, stellen wir erneut fest, daß nach den Erduhren nur 9 Jahre vergangen sind. Das sind 6 Jahre weniger als unsere Uhren angezeigt haben. Deshalb stellen wir nach der Landung fest, daß auf der Erde 20 Jahre mehr vergangen sind als im Raumschiff, und die Erdbewohner bemerken,

daß wir um 20 Jahre weniger gealtert sind als sie (nach der Uhr des Raumschiffs sind  $15+15=30$  Jahre vergangen, auf der Erde jedoch  $9+32+9=50$ ).

Die Weltraumreisenden und die „Erdenmenschen“ bemerken ein und dasselbe. Es existieren keinerlei Widersprüche. Aber die Bewohner der Erde, die keinen Beschleunigungen unterworfen waren, werden denken, daß die Zeit im Raumschiff während des gesamten Fluges langsamer ging (36 Minuten während einer Erdenstunde), und die Raumfahrer werden sehen, daß sich der größte Teil des Zeitunterschieds während der Arbeit der Triebwerke beim Wendemanöver des Raumschiffes angesammelt hat. Nach den Beobachtungen der Raumfahrer entsprach der Zeitunterschied genau auf diesem Teilstück der Reise ungefähr 32 Jahre, die zusammen mit der Zeit, die während ihren Beobachtungen auf den Flugstrecken unter Einwirkung der Trägheit auf der Erde vergangen ist (zweimal 9 Jahre), genau 50 Jahre ausmacht.

Die bewundernswerteste Eigenschaft der Relativitätstheorie besteht darin, daß alle ihre Paradoxa nur scheinbar sind. Kein einziger Versuch führt zu Widersprüchen mit der Relativitätstheorie oder dem gesunden Menschenverstand.

Wenn sowohl der Raumfahrer als auch der Erdbewohner ein und dieselbe — wenn auch für sie überraschende — Abweichung des Alters feststellen, dann gibt es dabei nichts Unverständliches. Es sind erstaunliche, aber reale Folgen der gewaltigen Geschwindigkeiten.

Die Photonenrakete kann wirklich eine „Zeit-

maschine“ werden. Je näher ihre Geschwindigkeit an der Lichtgeschwindigkeit liegt und je länger der Flug dauert, desto weiter in die Zukunft werden die Raumfahrer versetzt, die zur Erde zurückkehren.

Eine großartige Perspektive! Aber ein betrüblicher Umstand darf nicht vergessen werden. Unsere Abgesandten, die ferne Sternenwelten aufsuchen, werden über ihre Entdeckungen nicht uns, sondern unseren Nachfahren Mitteilung machen.

Die „Zeitmaschine“ arbeitet nur in einer Richtung. Die Relativitätstheorie erlaubt keine Reise in die Vergangenheit. Der Mensch kann jung bleiben und das Alter seiner Enkel miterleben, aber der Sohn kann nicht früher geboren werden, als sein Vater geboren wurde. Man kann sagen, daß die Relativitätstheorie die Wirkung des Kausalprinzips, eines der Grundpfeiler des dialektischen Materialismus, mathematisch beweist. Die Zeit kann nicht zurückgedreht werden, sie kann nur ihren Lauf verlangsamen.

**Der Häuptling der großen Relativität.** Die Relativitätstheorie entstand im Jahre 1905. Die erstaunlichsten Vorhersagen dieser Theorie sind schon durch Versuche bewiesen. Es ist eine Tatsache, daß die Vorhersagen ihres schwierigsten Teils, der allgemeinen Relativitätstheorie die im Jahre 1916 geschaffen wurde, nicht im Laboratorium, sondern im kosmischen Maßstab mit Hilfe astronomischer Beobachtungen bewiesen wurden.

Das sind diese Vorhersagen:

*Erstens:* Die Lichtstrahlen werden auf ihrem Weg in der Nähe großer Massen gekrümmmt.

Einige Astronomen unternahmen eine weite Reise, um den Sternenhimmel während einer totalen Sonnenfinsternis zu photographieren. Sie stellten fest, daß sich die sichtbare Stellung der Sterne, deren Lichtstrahlen an der Sonne vorbeigehen, in Übereinstimmung mit der Vorhersage merklich verschiebt.

*Zweitens:* Die Planeten kreisen nicht auf unbeweglichen Bahnen um die Sonne, weil sich die Bahnen selber zeitlich abhängig drehen, und zwar um so stärker, je näher sich die Bahn zur Sonne hin befindet.

Die Messungen haben das mit großer Genauigkeit für die Bahnen des Merkur und der Venus bewiesen.

*Drittens:* Die Zeit in der Nähe großer Massen vergeht langsamer als fern von ihnen.

Astronomen stellten fest, daß die Spektren des kleinen Begleitsterns des hellen Sterns Sirius sowie einiger anderer Sterne, der sogenannten Weißen Zwerge, im Verhältnis zu den Spektren der restlichen Sterne, darunter auch der Sonne, zum roten Bereich hin verschoben sind. Das kann nur ein Ergebnis der zeitlichen Verlangsamung der Vorgänge an der Oberfläche solcher Sterne sein, deren Materie eine sehr große Dichte besitzt.

Die allgemeine Relativitätstheorie und ihre drei bemerkenswerten Vorhersagen wurden von Einstein im Jahre 1916 veröffentlicht. Der Krieg störte jedermann, mit der Überprüfung dieser Vorhersagen zu beginnen.

Die erste totale Sonnenfinsternis nach dem Krieg fand am 29. Mai 1919 statt. Englischen Astronomen gelang es, zwei Expeditionen auszurüsten, deren Aufgabe darin bestand, die erste der Voraussagen zu überprüfen. Der Gürtel der totalen Finsternis zog sich von Südamerika über den Atlantischen Ozean bis nach Äquatorialafrika. Die erste Expedition unter Leitung des Initiators der Beobachtungen, des englischen Astronomen Arthur Stanley Eddington, landete auf einer Insel im Golf von Guinea und geriet in eine Regenzone, die fast das ganze Unternehmen in Frage gestellt hätte. Doch in der entscheidenden Minute öffneten sich die Wolken, und die Photographien der Sterne auf dem Hintergrund der Sonnenkorona konnten gemacht werden. Die zweite ließ sich in Brasilien in einem Dorf nieder und arbeitete in sengender Hitze. Eine der brasilianischen Zeitungen veröffentlichte in diesem Zusammenhang einen gehässigen Artikel, in dem unter anderem stand:

„....Anstatt zu versuchen, die deutsche Theorie zu beweisen, sollten sich die Mitglieder der Expedition, die in so enger Verbindung mit dem Himmel stehen, lieber um den Regen für dieses unter Trockenheit leidende Land kümmern.“ Die Auswertung der Photographien beider Expeditionen bewies unbestreitbar das Vorhandensein der vorausgesagten Verschiebung.

Nachdem Lorentz davon erfahren hatte, gratulierte er telegrafisch Einstein zum ersten Beweis der allgemeinen Relativitätstheorie. Einstein schrieb sofort seiner Mutter:

„Heute erhielt ich eine freudige Nachricht! Lo-

rentz telegraфиerte mir, daß die englische Expedition die Abweichung der Lichtstrahlen in der Nähe der Sonne bewiesen hat.“

Als die Zeitungen über die Ergebnisse der Expedition berichteten, lief eine Welle leidenschaftlicher Begeisterung und noch nie dagewesenen Interesses an der komplizierten und schwerverständlichen wissenschaftlichen Theorie und an ihrem Schöpfer um die Welt. Manche Physiker rechneten im Ernst damit, daß nicht mehr als ein Dutzend Menschen die Theorie Einsteins richtig verstand.

Die Popularität der Theorie, die von der Mehrzahl der begeisterten Verehrer Einsteins ganz und gar nicht verstanden wurde, ist auch noch heute für viele ein Rätsel.

Lag es vielleicht daran, daß die Theorie Einsteins durch und durch von revolutionärem Geist durchdrungen ist. Sie erhob sich über das erstarrte Gebäude der klassischen Physik, indem sie Autoritäten stürzte und das Freiheitsbanner des Schöpfertums erhob. Diese ihre Besonderheit war besonders anziehend für die Menschen, die durch das dumpfe Rollen der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution, deren Echo auf allen Kontinenten widerhallte, erregt waren.

Die Theorie Einsteins wurde nicht nur schnell ein wichtiger Faktor des wissenschaftlichen Fortschritts, sondern auch ein Objekt des erbitterten politischen Kampfes.

Bald nach der Veröffentlichung der Arbeitsergebnisse der englischen Astronomen wurde in einer deutschen nationalistischen Zeitung der Artikel „Die bolschewistische Physik“ abge-

druckt. In ihm war unter anderem zu lesen: „Weil der Professor Einstein als neuer Kopernikus anerkannt wurde, sind viele Lehrer an den Universitäten seine Verehrer geworden... In der Endabrechnung ist es also nicht notwendig, die Arbeiter dafür zu beschuldigen, daß sie dem Marx anhängen, wenn die deutschen Professoren den lügenhaften Erfindungen des Einstein Glauben schenken.“

Die Leute von der Art des Autors dieses Artikels bemühten sich, zu beweisen, daß die Relativitätstheorie und ihre Aussagen falsch waren. Sie widerspricht in der Tat der klassischen „professoralen“ Denkweise, mit der sich Lenin in seinem berühmten Werk „Materialismus und Empiriokritizismus“ auseinandersetzt, befindet sich aber in völliger Übereinstimmung mit dem gesunden Menschenverstand, der auf den jahrhundertelangen Erfahrungen der Menschheit beruht.

Die Masse des deutschen Volkes hatte sich zu jener Zeit noch nicht dem Rausch des Nationalismus ergeben. Einstein wurde der Gegenstand einer allgemeinen Verehrung.

Er wurde schon zu Lebenszeiten legendär. Ein Mädchen aus Britisch-Kolumbien schrieb ihm: „Ich schreibe Ihnen, um zu erfahren, ob Sie auch in Wirklichkeit existieren.“

Amerikanische Indianer, die, zusammengetrieben in unfruchtbaren Reservationen, ein jämmerliches Leben im reichsten kapitalistischen Land führen, fast ohne jegliche Ausbildung, kannten Einstein und seine Theorie. Im Jahre 1930, als Einstein einen indianischen Volksstamm im Staa-

te Arizona besuchte, verliehen ihm die Indianer den Titel eines Häuptlings und ernannten ihn zum „Häuptling der großen Relativität“.

**„Noch nicht gehenkt“.** Drei Jahre danach gelangten in Deutschland zusammen mit den Faschisten auch in der Wissenschaft Erzreaktionäre an die Macht. Zum Glück war Einstein zu dieser Zeit nicht mehr in der Heimat.

Zusammen mit den jüdischen wurden die fortschrittlichen Wissenschaftler anderer Nationen, darunter auch deutsche, von den deutschen Universitäten vertrieben. Die Relativitätstheorie wurde zur „nichtarischen“ Theorie erklärt, die der „deutschen Physik“ widerspreche. Das Lehren dieser Theorie wurde verboten. Hinweise auf sie in wissenschaftlichen Arbeiten konnten zur Entlassung führen.

Von den führenden deutschen Gelehrten sprach sich nur einer, der Nobelpreisträger Max von Laue, öffentlich für die Relativitätstheorie und gegen die besondere „deutsche Physik“ aus. Man erzählt sich, daß Max von Laue, als er eine Vorlesung in Stockholm über die Relativitätstheorie gehalten hatte, bei der Rückkehr nach Deutschland von der faschistischen Leitung der Akademie einen „Anpfiff“ erhielt. Kompromißbereite Kollegen rieten ihm, vorsichtiger zu sein; daraufhin veröffentlichte der Gelehrte einen neuen Artikel über die Bedeutung der Relativitätstheorie. „Das soll meine Antwort sein“, sagte er.

Wie von Laue traten gelegentlich Heisenberg und Planck auf, die verstanden hatten, daß eine

**Absage an die Relativitätstheorie zu einer Stagnation der Physik führen mußte.**

Im faschistischen Deutschland unternahm man den Versuch, eine für die Faschisten annehmbare Relativitätstheorie zu schaffen, um die Rolle Einsteins herabzumindern und sie als Grundlage der „arischen Physik“ auszugeben. Selbstverständlich war das Schicksal der Relativitätstheorie im Hitlerdeutschland nicht eine Ausnahme. Alles Fortschrittliche wurde aus der Wissenschaft vertrieben. In der Lehre von der Entstehung der Welt herrschte die „arische“ Theorie des Welteises, nach der das Zentrum aller Planeten und Sterne aus gewöhnlichem Eis bestehe. Geleitet wurde die Wissenschaft von faschistischen Bonzen, aktiven Nazisten, die über Heisenberg und andere Physiktheoretiker herfielen und sie in der Zeitung „weiße Juden“ nannten. Sogar Himmler fühlte sich dazu berufen, die Wissenschaft zu leiten. Das ist eines von seinen Projekten:

„Für die zukünftige Erforschung des Wetters, mit der wir uns nach dem Krieg beschäftigen werden, schlage ich vor, folgendes festzuhalten: Die Wurzeln oder Knollen der Herbstzeitlosen befinden sich in verschiedenen Jahren in unterschiedlichen Tiefen. Je tiefer sie sich befinden, um so strenger wird der Winter; je näher sie an der Oberfläche sind, um so weniger streng wird der Winter. Auf diese Tatsache hat der Führer meine Aufmerksamkeit gerichtet.“

Der Triumphzug der Relativitätstheorie wurde nicht dadurch zum Stehen gebracht, daß die Werke ihres Schöpfers auf dem Platz vor der

Berliner Oper verbrannt worden waren, daß das Porträt ihres Schöpfers mit der Unterschrift „Noch nicht gehenkt“ das erste in dem von den Nazis herausgegebenen „Album“ der Feinde des Hitlerregimes war. Die Liste der „Verbrechen“ Einsteins begann mit der „Hauptfreveltat“ — der Schaffung der Relativitätstheorie.

Die Relativitätstheorie hat auch dadurch nicht gelitten, daß amerikanische reaktionäre Ligen und Vereinigungen ihren Schöpfer mit Verleumdungen verfolgten, indem sie ihn des Kommunismus, des Pazifismus und der Gottlosigkeit beschuldigten.

Die Astronomen aller Nationalitäten unternehmen neue Expeditionen zur Beobachtung von Sonnenfinsternissen, beobachten die Planeten und Sterne und überzeugen sich immer wieder davon, daß die Relativitätstheorie die uns umgebende Welt richtig beschreibt.

Jeden Tag stoßen die Wissenschaftler bei ihren Untersuchungen auf ihre Erscheinungsformen, enthüllen neue Reichtümer und vielzählige Körnchen der Wahrheit, die in diesem imposanten System enthalten sind.

Bis auf den heutigen Tag wird die experimentelle Überprüfung der Relativitätstheorie fortgesetzt.

**Der Massendefekt.** Leider ist es zur Zeit noch unmöglich, einen Raumfahrer mit einer Geschwindigkeit, die der Lichtgeschwindigkeit nahekommt, auf einen Flug zu schicken. Deshalb kann man noch nicht unmittelbar die Aussage über die Verlangsamung der Lebensprozesse bei

einem solchen Flug überprüfen. Bedeutet das, daß es praktisch unmöglich ist, die Aussage zu überprüfen, daß in einem sich bewegenden System die Zeit langsamer vergeht als in einem „stationären“?

Wenn es zur Zeit noch nicht möglich ist, die Idee über die „kosmische Verjüngung“ zu überprüfen, so gibt es doch andere sichere Wege, die uns die Richtigkeit dieser Aussage der Theorie Einsteins beweisen. Einer dieser Wege besteht darin, die Formeln der Relativitätstheorie an den Teilchen der kosmischen Strahlung zu überprüfen. Denn diese dringen mit sehr großen Geschwindigkeiten in die Erdatmosphäre ein. Unter ihnen gibt es Elementarteilchen, die mit Geschwindigkeiten fliegen, die der Lichtgeschwindigkeit nahekommen. Man kann also das Verhalten dieser mikroskopischen „Raketen“ untersuchen. Man kann den Einfluß der Geschwindigkeit auf ihre Eigenschaften aufklären. Die gleichen Versuche werden auch erfolgreich mit Teilchen durchgeführt, die in gewaltigen Anlagen fast bis an die Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Teilchen großer Energien erzeugen bei geeigneten Bedingungen instabile Teilchen. Die Gelehrten wissen, daß die „Lebenszeit“ der instabilen Elementarteilchen — die mittlere Zeit, während der die Hälfte der beobachteten Teilchen zerfällt, indem sie neue Teilchen erzeugen — eine konstante Größe ist, die für die Teilchen des gegebenen Typs charakteristisch ist. Diese Zeit kann durch nichts verändert werden, nicht durch elektrische oder magnetische Felder, nicht mit anderen ähnlichen Einwirkungen.

Jedoch durch die Messung der Lebens- bzw. Zerfallszeit dieser Teilchen mit Laboratoriumsuhrn wurden die Wissenschaftler davon überzeugt, daß diese Zeiten von der Geschwindigkeit der Teilchen abhängig sind. Schnelle Myonen ( $\mu$ -Mesonen), zum Beispiel, sind „lebensfähiger“ als langsame. Werden sie einer „kosmischen Verjüngung“ unterzogen? So wurde bei den Versuchen mit kosmischen Teilchen die Relativitätstheorie glänzend bestätigt.

Bestätigt wird sie auch durch eine Reihe anderer Experimente. Die moderne Physik ist ohne die Relativitätstheorie genauso undenkbar wie ein Gebäude ohne Fundament. Auch die heutige Technik ist in vielen Fällen ohne diese Theorie hilflos. Sie ist die Grundlage solcher grandiosen technischen Einrichtungen wie Teilchenbeschleuniger und Kernreaktoren.

Schon das Zyklotron, der erste Beschleuniger, in dem sich die beschleunigten Teilchen auf kreisähnlichen Bahnen bewegen, zeigt die tückischen Besonderheiten der Geschwindigkeiten, die in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit liegen. Im Zyklotron bewegen sich die geladenen Elementarteilchen zwischen den Polen eines großen Dauermagneten, und sie gelangen periodisch in ein elektrisches Feld, das sie zwingt, ihren Lauf noch mehr zu beschleunigen. Die Umlaufperiode der Teilchen auf der Bahn und die Änderungsperiode des elektrischen Feldes müssen gleich sein, weil sonst das Feld aufhört, die Teilchen zu beschleunigen. Es beginnt, sie abzubremsen. Und gerade das geschah in allen Zyklotronen. Nachdem eine bestimmte Geschwindigkeit er-

reicht war, erfuhren die Teilchen keine Beschleunigung mehr.

Der Grund dafür war ein Effekt, der von der Relativitätstheorie vorhergesagt worden war. Bei Geschwindigkeiten in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit bleibt die Masse nicht mehr gleich, wie das gewöhnlich der Fall ist, sondern vergrößert sich mit der Zunahme der Geschwindigkeit. Dadurch ändert sich die Umlaufperiode der Teilchen im Zyklotron und weicht von der Periode des elektrischen Beschleunigungsfeldes ab. Die Arbeit des Beschleunigers ist gestört. Auf diese Weise hatte sich die Relativitätstheorie zum ersten Mal in die Technik eingemischt. Sie bestimmte die Grenze der erreichbaren Energie der Teilchen.

Den Ausweg aus dieser Sackgasse zeigte der sowjetische Gelehrte, Akademiemitglied Wladimir Jossifowitsch Weksler. Er schlug einige Methoden vor, mit denen man, trotz der Massenänderung der Teilchen, ihre Umlaufperiode mit der Periode des Beschleunigungsfeldes in Einklang bringen konnte, so daß es möglich war, Teilchen mit viel größerer Energie zu erhalten.

Zum Beispiel kann man mit Hilfe der Relativitätstheorie das Periodenänderungsgesetz für die Teilchen bei der Veränderung ihrer Massen berechnen, um die Periode des Beschleunigungsfeldes entsprechend zu verändern. Gleichfalls ist es möglich, die Massenänderung der Teilchen mit einer entsprechenden Änderung des magnetischen Kraftfeldes, das die Teilchen auf der Bahn festhält, zu kompensieren und damit zu erreichen, daß die Umlaufdauer der Teilchen

ungeachtet der Massenänderung konstant bleibt. Man kann diese beiden Methoden auch miteinander verbinden.

Unverzüglich wurden in Übereinstimmung mit den Vorschlägen Wekslers viele gigantische Beschleuniger gebaut, wie zum Beispiel der bekannte Beschleuniger in Dubna. Die Arbeit dieser Anlagen ist die praktische Bestätigung der Richtigkeit der Relativitätstheorie und ihrer erstaunlichen Aussage, daß nicht nur die Zeit, sondern auch die Masse aller Körper von der Geschwindigkeit abhängig ist.

Die Geschichte der Wissenschaft vieler Jahrhunderte festigte die Erkenntnis, daß Masse und Energie als Existenzform der Materie eng miteinander verbunden sind. Die Relativitätstheorie erbrachte eine zusätzliche Konkretisierung dieser Grundlage der Naturwissenschaften. Einstein stellte fest, daß Masse und Energie zwei Existenzformen der Materie sind, die in enger Wechselwirkung stehen. Sowohl die Masse in der Form von Teilchen als auch die Energie in der Form von Quanten des elektromagnetischen Feldes oder als Wärme, mechanische Schwingungen und andere Energieformen sind objektive Realität und unterliegen einheitlich der Wirkung des Gravitationsfeldes.

Die Kernreaktoren bestätigen gleichfalls diese Aussage der Relativitätstheorie, und sie wird in ihnen praktisch ausgenutzt.

Wie bekannt ist, geht in solchen Reaktoren die Spaltung von Urankernen vor sich. Wenn es gelingen würde, alle „Splitter“, die bei der Spaltung der Urankerne entstehen (darunter auch die

Neutronen), zu sammeln und sie auf einer sehr empfindlichen Waage zu wägen, dann würde es sich zeigen, daß sie weniger wiegen als das Ausgangsuran. Die Differenz wurde für die starke Beschleunigung der Spaltprodukte verbraucht, sie wird dabei dann gleichmäßig an die umliegenden Atome in Form von Wärme, die für die Arbeit der Turbinen ausgenutzt wird, abgegeben.

Die Fachleute sagen: Im Kernreaktor wird der Massendefekt ausgenutzt, der Unterschied zwischen der Masse des Ausgangs- und des Endprodukts der Spaltung. Dieser „Massenunterschied“ wird in den Kernkraftwerken in elektrische Energie umgewandelt. So dient der Atomkern in Übereinstimmung mit der Relativitätstheorie dem Menschen.

**Die launischen Sterne.** Die Relativitätstheorie hat die Möglichkeit der „kosmischen Verjüngung“ vorhergesagt. Sie half auch die Frage zu beantworten, ob irgendwann einmal ein Mensch die Gelegenheit haben wird, die „kosmische Verjüngung“ in Wirklichkeit zu erproben. Was für eine Welt erblickt er durch das Fenster der „Zukunftsmaschine“, wenn er — ganz seinen Wünschen entsprechend — in die Zukunft reist. Es gibt wohl kaum einen Menschen, der nicht einmal hinter die Grenzen des Möglichen schauen möchte..

Es kommt vor, daß der Verstand die Grenzen der Phantasie durchdringt und dorthin gelangt, wo auch sie nur mit Mühe hinkommt. Dann sind seine Funde beeindruckender als der kühnste Traum...

Irgendwie kam das Gespräch auf Weltraumflüge. Im Mittelpunkt stand ein bekannter Wissenschaftler, ein Mensch, der die Feinheiten eines Spaßes verstand und die Kraft dieser scharfen Geisteswürze wertschätzte, der es auch liebte, selbst zu scherzen. Am Anfang hörte er schweigend zu, doch dann bemerkte er nachdenklich:

„Ich erinnere mich, daß zwischen mir und meinem Nachbarn irgendwann einmal im Urlaub ein Streit darüber entstand, was für eine Welt sich vor den Augen eines Weltraumfahrers öffnen wird. Unter dem Eindruck dieses Gespräches nahm ich Bleistift und Papier. Diese beiden Dinge, wissen Sie, versöhnen oft den Traum und die Wirklichkeit miteinander. Und ich will Ihnen erzählen, was ich gesehen habe.

Eine ungewöhnliche geisterhafte Welt eröffnet sich den Raumfahrern. Bei Geschwindigkeiten in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit „wandern“ alle Sterne des Himmelsgewölbes gemeinsam in dem Gebiet des Himmels vor dem Raumschiff. Dahinter „bleiben“ nur einige. Die Sterne und Planeten, die seitlich vom Raumschiff liegen, sehen aus wie langgezogene Gurken, und ihre Umrisse sind verdreht und verändert. Diese erstaunliche Aussicht hat der Mensch nicht nur einen Augenblick, sondern ungefähr zwanzig Minuten lang neben jedem Stern... Warum? Daran sind solche Naturgesetze schuld wie die Aberration und die Parallaxe.

In der einfachsten Form erscheint die Aberration dann, wenn senkrecht fallende Regentropfen geneigte Linien an das Fenster eines fahrenden Zugs zeichen. (Wenn man die Fallgeschwin-

digkeit der Tropfen kennt und den Neigungswinkel ihrer Spuren mißt, kann man sogar die Geschwindigkeit des Zugs bestimmen.) Den Einfluß der Parallaxe kann man am einfachsten dadurch feststellen, daß man auf einen nahen Gegenstand zuerst schnell mit einem Auge sieht und danach mit dem anderen. Dabei kommt es einem so vor, als wenn sich der Gegenstand etwas gedreht hätte.

Und das Sternenlicht? Wenn neben uns eine pfeifende Dampflok vorbeijagt (verzeihen Sie bitte das langweilige Beispiel, aber es ist am verständlichsten), dann wird sich der Klang plötzlich ändern, obwohl im eigentlichen Sinne der Ton der Dampfpfeife gleich bleibt. Das ist der bekannte akustische Doppler-Effekt. So wird auch der nächste Stern, an dem die Rakete vorüberhuscht, seine Farbe „ändern“. Aber das ist noch nicht alles. Die Sterne im Vordergrund des Himmelsgewölbes, die uns rot vorkommen, werden hellweiß, und einige sind überhaupt nicht mehr sichtbar, weil fast ihre gesamte Strahlung in das Gebiet der Röntgen- und Ultraviolettradiation verlagert wird. Einige der Sterne, die im „hinternen“ Teil des Himmelsgewölbes verblieben sind, „verschwinden“ gleichfalls, und zwar deshalb, weil sich ihr Licht in infrarote Strahlen oder sogar in Radiowellen umgewandelt hat. Diese Überraschungen sind unabwendbare Folgeerscheinungen des optischen Doppler-Effekts.

Sieht das nun alles der Passagier einer Photonenrakete? Ist er dazu in der Lage, irgend etwas zu sehen? Und ... ist die Photonenrakete überhaupt möglich?

Als Sergej Michailowitsch Rytow bemerkte, daß seine Gesprächspartner verwirrt waren, hielt er für einige Sekunden mit seiner Erzählung inne, nahm einen Füllhalter zur Hand, um seinen Gedanken zu erläutern, während bei den Anwesenden wahrscheinlich nicht zum erstenmal im Verlaufe des Gesprächs der Zweifel entstand: Ist das nicht alles nur Phantasie, ein geistvolles Gedankenspiel?

Wenn es aber kein Scherz ist, sind dann diese Fragen heute angebracht, da der Mensch die Erdanziehung schon überwunden hat und sich für längere Zeit schon auf kosmischen Flügen befindet. Werden nicht bald Flüge zu fernen Sternenwelten auf der Tagesordnung stehen? Denken nicht bereits heute die Wissenschaftler über die Schaffung überschneller Photonenraketen für zukünftige „Aufklärer des Kosmos“ nach?

Schon sind einige ...zig Projekte von Weltraumschiffen bekannt und dicke Bücher geschrieben, die mit Berechnungen, Versorgungsschemen, Skizzen und Zeichnungen angefüllt sind. Und plötzlich: Sind Photonenraketen überhaupt möglich? Sind derartige Fragen, die die Idee der Photonenraketen anzweifeln, überhaupt angebracht? Kann es Raumschiffe geben, die fast mit Lichtgeschwindigkeit den kosmischen Ozean durchqueren?

**Todbringende „Staubteilchen“.** Sieht ein Passagier einer Photonenrakete wirklich alles so, wie es die Formeln dem Wissenschaftler erzählt haben?

Hören wir weiter.

Unzweifelhaft wird das Raumschiff, das fast mit Lichtgeschwindigkeit fliegt, mit dieser Geschwindigkeit auf interstellare Wasserstoffatome und kosmische Staubteilchen auftreffen, die im Vergleich zu seiner Geschwindigkeit fast unbeweglich sind. Obwohl sich sehr wenig solcher Teilchen im Weltraum befinden, auf einen Kubikzentimeter kommt kaum ein Wasserstoffatom — bei einer solchen Geschwindigkeit werden sie mit einer gewaltigen Kraft auf das Weltraumschiff auftreffen und in seiner Außenhaut eine ganze Reihe mikroskopischer Katastrophen hervorrufen, die sich lawinenartig in Zerstörungen verwandeln.

Die Protonen, diese Miniaturgeschosse, die in bezug auf ihre Kraft mit Atombomben (natürlich nur für die Verhältnisse der Mikrowelt) verglichen werden können, werden die Atome und sogar Atomkerne der Metallhaut der Rakete in kleine Stücke zerschlagen. Denn die Relativitätstheorie hat bewiesen, daß es keinerlei Unterschied dabei gibt, welcher der zusammentreffenden Körper sich relativ zur Erde oder zu irgendeinem dritten Körper unter dem Einfluß der Schwerkraft bewegt und welcher sich relativ zu ihnen in Ruhe befindet. Wichtig ist nur die Relativbewegung. Gerade deshalb werden die unbeweglichen Protonen die Atomkerne der Raketenhaut genauso zerstören wie die in gewaltigen Beschleunigern auf der Erde erzeugten Protonen, die die Atomkerne des Targets zerstören. Dabei werden starke Strahlungen ausgesandt, die für den menschlichen Organismus viel gefährlicher sind als die härtesten Röntgenstrahlen.

Die auf der Grundlage der Relativitätstheorie durchgeführten Berechnungen haben gezeigt, daß für den Schutz vor der Wirkung solcher Strahlungen die Raumschiffwandung eine Dicke von nicht weniger als zwei Metern besitzen müßte.

Wäre das ein Hindernis für die Menschen, die schon ganz andere Schwierigkeiten überwunden haben? Nein. Die Strahlungsgefahr macht den Flug einer Photonenrakete nicht unmöglich, obgleich sie ihn viel schwieriger macht.

Viel tückischer ist der kosmische Staub. Diese winzig kleinen Teilchen schon vergangener oder noch nicht entstandener Welten sind für die Photonenraketen eine schreckliche Gefahr.

Bei den gigantischen Fluggeschwindigkeiten verwandelt sich das Stäubchen mit einer Masse von nur einem tausendstel Gramm während des Aufpralls auf die Raketenhaut in ein Geschoß mit vernichtender Durchschlagskraft. Berechnungen ergeben, daß bei dem Aufprall eines derartigen Staubkorns eine Wärmemenge frei wird, die 10 Tonnen Eisen augenblicklich zum Verdampfen bringen könnte. Und auf die Rakete, die mit einer Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit fliegt, werden jede Sekunde Staubkörnchen auftreffen, die sich innerhalb eines Zylinders mit einer Länge von ungefähr 300 000 Kilometern befinden.

Die schonungslosen Schlußfolgerungen, die sich aus genauen mathematischen Berechnungen ergeben, lassen das Problem, Photonenraketen zu schaffen, in ganz anderem Licht erscheinen. Die Erzählung Professor Rytows rief eine Diskussion, leidenschaftliche Wortgefechte und einen hit-

zigen Meinungsaustausch hervor. Einige Wissenschaftler äußerten erste Überlegungen über die Materialien, aus denen die Raketenhaut gemacht werden muß, um das Problem zu „retten“, andere schlügen vor, den Raum vor der Rakete von kosmischem Staub zu säubern. Am Ende einige man sich in der Meinung, daß diese Säuberung im Prinzip zwar möglich sei, dafür jedoch ein gewaltiger zusätzlicher Aufwand an Energie erforderlich wäre. Mit einem Wort, es ist unmöglich, das Problem der überschnellen Raketen ohne Berücksichtigung solcher „winzig kleinen“ Gegner wie die kosmischen Staubteilchen zu lösen.

Bei der Erörterung dessen, was die Photonenrakete auf ihrem Flug stören kann, vergaßen die Wissenschaftler nicht, die Hauptfrage zu untersuchen: Welche Aussichten auf technische Realisierung hat das Projekt einer Photonenrakete? Sie gelangten zu entmutigenden Schlußfolgerungen. Die Berechnungen waren einfach, aber von großer Bedeutung. Nachdem sich die Gelehrten entschlossen hatten, für die Raketenmasse den sehr bescheidenen Wert von einer Tonne anzunehmen und der Rakete „nur“ eine Geschwindigkeit von 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit zu geben, errechneten sie, daß die Energie der Rakete durch eine fünfzehnstellige Ziffer ausgedrückt werden muß. Sie muß gleich 215 000 000 000 000 Kilowattstunden sein.

Das ist eine Energie, die heute auf der ganzen Erde im Verlaufe einiger Monate erzeugt wird. Aber auch das genügt der Rakete noch nicht. Für die Wendung beim Raumflug und für die

Abbremsung bei der Landung ist noch eine zusätzliche Energiemenge notwendig. Wenn die Rakete mit einem Antrieb ausgerüstet ist, der die Verbrennungsprodukte mit Lichtgeschwindigkeit ausstößt, dann wird für den Flug und die Landung eine zweihundertmal größere Energiemenge als die genannte verbraucht. Diese Berechnungen sind natürlich niederschmetternd. Es zeigt sich, daß für eine Reise in die Zukunft so viel Energie notwendig ist, wie sie auf der ganzen Erdkugel während einiger Jahrzehnte erzeugt wird.

Es versteht sich von selbst, daß das zur Zeit die Möglichkeiten der Menschheit weit übersteigt. Zur Zeit! Solange noch, wie keine neuen Energiequellen geschaffen werden, wie keine vollkommenen Raketenkonstruktionen und Technologien entwickelt worden sind, solange noch, wie keine Maßnahmen für den Kampf mit begegneten Meteoriten ausgearbeitet worden sind. Es ist also ungeheuer schwer, eine Rakete auf eine Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen, und überhaupt unmöglich, ohne besondere Schutzmaßnahmen in ihr das Weltall zu durchheilen. Aber da der „Feind“, den es dabei zu überwinden gilt, bekannt ist, werden eines Tages auch die notwendigen „Waffen“ geschaffen sein, ihn zu besiegen.

**Supernovae.** Über die Relativitätstheorie sind viele Bücher geschrieben worden, und es werden noch mehr geschrieben werden. Heute ist sie nicht nur geistiger Besitz einiger Auserwählten, sondern sie ist in die Schulbücher eingegangen

und wurde die Grundlage vieler technischer Projekte.

Dennoch ist diese großartige Theorie nicht allmächtig. Auch ihre Möglichkeiten sind begrenzt. Mit großer Offensichtlichkeit bewiesen das die Supernovae.

Im Dezember des Jahres 1963 versammelten sich in Amerika, in Dallas, in der Stadt, deren Namen für immer auf tragische Weise mit dem Namen des in ihr ermordeten Präsidenten Kennedy verbunden ist, 400 Wissenschaftler, um über eine außerordentliche Entdeckung zu beraten. In gewaltigen Entfernung von der Erde stellten die Astronomen seltsame, ungewöhnliche, blendend helle Sterne fest. Diese strahlten so, als wären es keine einzelnen Sterne, sondern ein ganzes Sternsystem. Verständlicherweise kann bei derartigen Entfernung ein gewaltiges Sternsystem durchaus als ein einzelner Stern angesehen werden. Aber dieses Sternsystem änderte seine Helligkeit innerhalb eines bestimmten und dabei sehr kurzen Zeitraumes. Sein Licht wurde einmal heller, dann wieder schwächer. Aber es kann nicht sein, daß eine Billion Sterne, alle Sterne eines Systems, gleichzeitig „im Takt“ blinken. Das war ein Rätsel.

Was sind das nun für Objekte? Was verbirgt sich hinter diesem blendenden Licht und den starken Radiostrahlungen, die von den erstaunlichen Sternen ausgehen?

Wie auch die Gelehrten mit den gewohnten Maßstäben an die unverständlichen Objekte herangingen, wie sie auch versuchten, ihr Verhalten mit den bekannten Eigenschaften der bekannten

kosmischen Körper zu erklären — alle ihre Versuche blieben ergebnislos.

Welche Erklärungen gab es für die seltsame „Sternexplosion“, für das Aufleuchten „neuer“ Himmelskörper? Auch eine Tagung der Akademie der Wissenschaften der UdSSR war dem Problem dieser Supernovae gewidmet. Sie fand am 13. und 14. Mai 1964 in Moskau statt. Und hier ist der Bericht, zusammengestellt nach den Notizen der Autorin.

An der Tagung nahmen Gelehrte mit weltbekannten Namen teil: die Akademiemitglieder W. A. Ambarzumjan, J. B. Seldowitsch, das korrespondierende Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR W. L. Ginsburg, die Professoren I. S. Schkłowski, A. I. Lebedinski, S. B. Pikelner und andere.

Als erster sprach Professor Ambarzumjan. Wenn Gelehrte über wichtige Probleme sprechen, dann holen sie gewöhnlich sehr weit aus. W. A. Ambarzumjan berichtete ausführlich über die Entwicklung der extragalaktischen Astronomie nach den zwanziger Jahren, als es sich herausstellte, daß ferne kosmische Objekte unserem Sternsystem ähnliche Galaxien sind. In der Vorkriegsperiode waren zwei Ereignisse bemerkenswert: die Entdeckung verschiedener Typen von Sternsystemen (runde, elliptische usw.) und das Feststellen der Rotverschiebung (Galaxienflucht). Die Entdeckung von ganz neuen Sternen, der Radiogalaxien, war das große Ereignis der Nachkriegsjahre. Und dann kam Ambarzumjan zur Hauptsache, zur Sensation des Jahres 1963. Es wurden eine ganze Reihe „kompakter Radio-

galaxien“ entdeckt (die Benennung Supernovae bezeichnete er als nicht treffend). „Ja“, sagte er, „sie sind den Sternen ähnlich. Aber ihre Abmessungen sind fast die gleichen wie bei den Kernen von Sternsystemen. Und ihre Leuchtkraft, wenn man sich an die festgelegte Klassifikation hält, ist ähnlich der Leuchtkraft der kompaktesten Sternsysteme, bei denen das Licht des Kerns mehr als die Hälfte des Lichts des ganzen Systems ausmacht.“ Es schloß sich eine ganze Reihe theoretischer Probleme an diese Feststellungen an, Mutmaßungen, Hypothesen und Theorien. Die Meinung Ambarzumjans war: Die Supernovae sind keine Sterne. Sie sind das Resultat einer Explosion irgendeines uns unbekannten Körpers, der vor der Explosion einmal der Kern eines Sternsystems war.

Ambarzumjan rechnete damit, daß alle Eigenschaften und alle Besonderheiten der Sternsysteme durch den Ablauf der Prozesse bestimmt werden, die in ihren Kernen vor sich gehen. Bis jetzt waren uns einige Typen von Sternsystemen bekannt, wie schon weiter oben bemerkt wurde. Jetzt war ein neuer Typ entdeckt worden. Er wird durch eine ungewöhnlich starke Explosion im Kerngebiet des Sternsystems gekennzeichnet.

Zur Zeit ist nicht bekannt, ob solche Explosionen zu einem bestimmten Zeitpunkt der Evolution irgendeines Typs von Sternsystemen vor sich gehen oder ob sie eine seltene Ausnahme von den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten sind.

„Es ist notwendig, mehr zu beobachten“, sagte er, „leistungsstarke optische Geräte und Radio-

teleskope zu bauen und sie außerhalb der Erdatmosphäre aufzustellen. Vielleicht wird es uns dann gelingen, unsere Theorien zu bestätigen oder sie durch neue zu ersetzen.“

Als zweiter sprach Professor Seldowitsch. Er erinnerte an die bemerkenswerte Erscheinung des „Gravitationskollapses“, die das Endstadium der Sternevolution ist, und zwar von Sternen, deren Masse 1,5mal größer als die Masse der Sonne ist. Das ist der erstaunliche Zustand eines schon erloschenen Sternes. Durch die Wirkung der Anziehungskräfte wird die Materie dieses Sterns ungeheuer dicht zusammengepreßt, und der Sternradius wird sehr klein. Dabei wird das Schwerkraftfeld auf der Oberfläche eines kollabierenden Sterns zu irgendeinem Zeitpunkt so groß, daß kein Teilchen und auch kein Lichtquant in der Lage ist, dieses Feld zu überwinden und den Stern zu verlassen. Der Stern „verschwindet“. Daran ist überhaupt nichts Verwunderliches. Der Stern hört natürlich nicht auf zu existieren. In ihm tobten komplizierte Prozesse, aber keinerlei Signale können sich von der unüberwindbaren Schwerkraftfalle losreißen.

Das alles ist nicht etwa die Erfindung eines Phantasten, sondern das Ergebnis genauer Berechnungen auf der Grundlage der Relativitätstheorie.

Weiter führte der Forscher aus, daß gerade die Supernova ein Stern mit ungeheuer großer Masse sein kann, der sich im Prozeß der Kontraktion seiner inneren Bereiche befindet. Doch dann fragt man sich, woher diese blendende Helligkeit kommt? Der Grund liegt in den Prozessen

ringen um diesen kontrahierenden Stern. Seine inneren Teile können in der Schwerkraftfalle verborgen sein, doch außerhalb des Sterns treffen gewaltige Massen, zum Beispiel ein Teil der Sternatmosphäre, mit Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit auf die Grenzen der Schwerkraftfalle und müssen gewaltige Energiemengen absondern. Das sind dann sowohl Lichtstrahlen als auch andere elektromagnetische Wellen. Danach bedeckte Professor Schklowski die Tafel mit einem Gewirr von Formeln und demonstrierte die Berechnung der Masse, der Energie und anderer Kennwerte der Supernovae. Er fügte hinzu, daß die leistungsstarken Strahlenquellen, die Supernovae genannt werden, weder Sterne noch Sternsysteme sein können, sondern seiner Meinung nach sehr konzentrierte Klumpen intergalaktischer Materie darstellen.

Zum Abschluß sprach er darüber, daß alle seine Berechnungen und Auslegungen nicht als absolut zuverlässig gewertet werden könnten, weil sie auf der Grundlage unvollkommener Beobachtungsdaten gemacht worden seien. Die Hauptaufgabe der nächsten Jahre werde die Erlangung vollständigerer und genauerer physikalischer Kennwerte der Supernovae sein.

Die ehrwürdigen Gelehrten wurden von zwei noch jungen Kandidaten der Naturwissenschaften abgelöst, von N. S. Kardaschew, einem Schüler Schklowskis, und von I. D. Nowikow, einem Mitarbeiter Seldowitschs.

N. S. Kardaschew beschäftigte sich mit der Frage, welcher Prozeß in den Supernovae eine solche Energie erzeugen kann, die größer ist als die bei

thermonuklearen Reaktionen entstehende. Er versuchte, von der Hypothese Ginsburgs auszugehen, daß der Schuldige der starken Sternenstrahlungen Magnetfelder sein können, die bei der Rotation der Sterne anwachsen und sich verstärken. Als Kardaschew seine Berechnung durchgeführt hatte, zeigte es sich, daß ihre Ergebnisse gut mit den beobachteten Strahlungsstärken des Sternes zusammenpaßten. Das sprach für den Nutzen der Hypothese, konnte aber die ganze Erscheinung nicht erklären.

Einen starken Eindruck auf die Anwesenden hinterließ der Vortrag I. D. Nowikows. Er begann damit, daß er daran erinnerte, wie vor 10 Milliarden Jahren die Ausgangsmaterie, die sich im Zustand außerordentlicher Dichte befand, zu expandieren begann, wie die Materie der Metagalaxis, die wir sehen, sich vergrößerte. „Stellen wir uns vor“, so sprach er, „daß nicht die gesamte Materie gleichzeitig zu expandieren begann. Einzelne Klumpen, die zukünftigen Kerne der Sternsysteme, konnten sich in ihrer Entwicklung zurückhalten. Das ist zulässig, nicht wahr? Und diese ‚verspätete‘ Materie, die nach einiger Zeit dann auch expandierte, trat in Wechselwirkung mit dem sie umgebenden Medium, und es begannen heftige Prozesse, die wir jetzt beobachten. Wenn vor der Expansion eine Kontraktionsperiode war, dann kann man auch in diesem Falle alles erklären. In der kontrahierenden Welt preßte sich ein Teil der Materie schneller zusammen als ein anderer, und auch das konnte zu den von uns heute beobachteten Ausgangspunkten starker Strahlungen führen.“

Diese Hypothese befindet sich vollständig im Geltungsbereich der Relativitätstheorie, betonte Nowikow. Den Zeitunterschied zwischen der Beobachtung und dem tatsächlichen Ereignis könne man auch erklären. Es sei aber auch möglich, ein solches Zeitsystem auszuwählen, in dem diese zwei zeitlich unterschiedlichen Ereignisse als gleichzeitig betrachtet werden können.

Es muß gesagt werden, daß besonders dieser Punkt in der nachfolgenden Diskussion scharf angegriffen wurde. Übrigens unterscheidet sich der Ton in den Diskussionen auf derartigen akademischen Tagungen, die brennenden, aktuellen Problemen gewidmet sind, gewöhnlich sehr von dem der Vorträge. Einem außenstehenden Beobachter kommt es am Anfang oft so vor, als wenn nichts Besonderes vor sich ginge, als wenn es nur eine gelegentliche, ein wenig trockene Konferenz wäre. Die Vorträge sind akademisch, mit Argumenten gespickt. Jeder legt bedächtig seinen Standpunkt dar. Die Zuhörer sind geduldig. Jeder weiß, daß man die Zweifel für einen späteren Zeitpunkt aufbewahrt, daß es in einem solchen Auditorium nicht angebracht ist, den Vortragenden zu unterbrechen, um Einwände vorzubringen und sich mit ihm zu streiten.

Wenn der letzte seinen Vortrag gehalten hat, ändert sich plötzlich die ganze Situation. Die Gelehrten erheben die Hände wie fleißige Schüler. Hat einer das Wort erhalten, dann greift er zur Kreide und widerspricht eilig, oft verworren, fürchtend, daß man ihn unterbricht. Hier geht es nicht dem Rang nach. Der Aspirant ist nicht mit der Meinung eines Akademiemitglieds ein-

verstanden. Der Student erläutert eine verworrene Frage, der Professor ruft von seinem Platz aus: „Unverständlich!“ Die Diskussion damals erinnerte sehr an einen Stern im Zustand des Diskussionskollapses.

*Ginsburg*: „Unzweifelhaft sind die Supernovae eine noch unbekannte Erscheinung. Das ist die Übertragung des Problems in das Gebiet des uns Unverständlichen. Wir versuchen es in den Grenzen der Relativitätstheorie zu erklären, aber die sind zu eng. Meiner Meinung nach ist die Sache auf irgend etwas prinzipiell Neuem begründet. Hier helfen uns die Einzelteile des Mechanismus nicht weiter, hier offenbaren sich uns noch unbekannte Naturgesetze. Selbstverständlich sind die Hypothesen, über die hier gesprochen wurde, interessant, aber, wenn wir mit solchen Erscheinungen wie den Supernovae zusammentreffen, dann stoßen wir möglicherweise auf einen uns unbekannten Zustand der Materie. Das Weltall — das ist das Gebiet, in dem wir auf noch unbekannte Naturgesetze stoßen können. Seid wachsam!“

Der ausgelassene Ruf gefiel der Zuhörerschaft, und sie begrüßte ihn mit einem zustimmenden Lachen.

*Seldowitsch*: „Wir werden die Einzelteile des Mechanismus nicht vernachlässigen, aber wir werden mit Freude eine neue Theorie annehmen, wenn diese alles erklärt.“

*Lebedinski*: „Meiner Meinung nach kann das Zusammenstoßen zweier Sterne ein durchaus geeigneter Prozeß für die Erklärung der Helligkeit einer Supernova sein. Zwei Sterne können wenig-

stens einmal im Jahr zusammenstoßen, und wenn die gesamte Energie in Strahlung übergeht, entsteht die kolossale Strahlung, die wir beobachten.“

*Pikelner*: „Wenn wir über die Supernovae sprechen, dann berücksichtigen wir ihre kolossale Masse, die fast 100 Millionen Sonnenmassen entspricht. Auf der Grundlage dieser Masse bauen wir ja auch alle Berechnungen auf. Aber wer garantiert uns, daß es ausgerechnet so eine Masse ist und daß unsere Berechnungen richtig sind? Das ist, meiner Meinung nach, der schwache Punkt in unseren Betrachtungen. Außerdem, die Hypothese Nowikows gefällt mir dadurch nicht, daß sie die Helligkeitsänderung der Supernovae nicht erklärt.“

*Ambarzumjan*: „Mir scheint das, was Ginsburg gesagt hat, sehr wichtig. Wirklich, wir benutzen alle Möglichkeiten für die Erklärung der Erscheinung. Möglicherweise auch nicht alle, aber von den uns heute bekannten Energiequellen ist für die ‚Speisung‘ der Supernovae nur die Gravitationsenergie ausreichend. Die restlichen Energiequellen, darunter auch die Kernenergie, sind unzureichend. Aber im Bereich der Gravitationsprozesse gibt es nur zwei Möglichkeiten — Kollaps oder Antikollaps, Kontraktion oder Expansion. Folglich, Kollaps oder Antikollaps? Kontraktion oder Expansion? Ich sprach über die Expansion der Kerne von Sternsystemen, über ihre Explosion. Inwieweit wird das durch die Beobachtungen bestätigt? Auf jeden Fall erlauben sie keine Diskussion, denn die Beobachtungen sind gleichfalls in einem ge-

wissen Grad ausgerichtet, vorbereitet dafür, was wir von ihnen erwarten.“

*Seldowitsch*: „Ginsburg stellt die Frage der Absehung von der Relativitätstheorie. Ich bin damit nicht einverstanden. Die Relativitätstheorie ist ein ausgewogenes System, modern und herrlich. Und wenn ein Physiker über die Schönheit spricht, dann besitzt er dazu einen Grund. In der Relativitätstheorie ist alles harmonisch. Die Arbeit Nowikows ist deshalb gut, weil sie sich in den Grenzen der Theorie bewegt. Sie lehnt sie nicht ab. Natürlich, das Weltall als Ganzes expandiert. War das nun aber einmal oder mehrmals? Natürlich, diese Expansion geht von der Wolke der Ausgangsmaterie aus, aber woher kam diese Ausgangsmaterie? Eine Vielzahl von Fragen ohne Antwort. Das Problem der Supernovae verändert sich in ein großes kosmologisches Problem. ... Wenngleich auch eine solche Situation einige Wissenschaftler entmutigt, aber die Relativitätstheorie ist zur Zeit nicht in der Lage, die angehäuften Zweifel zu zerstreuen, das Problem der Supernovae zu lösen. Vielleicht ist diese Sachlage eine zeitweilige, und in allernächster Zeit hilft die Theorie den Wissenschaftlern, eine richtige Lösung zu finden. Aber vielleicht ist der Zeitpunkt für neue fundamentale Entdeckungen, für neue große ‚Verrücktheiten‘ da. Paßt nur auf! Vielleicht ist der Tag nicht mehr fern, an dem die auf ihrem Anwendungsgebiet starke Relativitätstheorie durch neuentdeckte Naturgesetze ergänzt wird.“

Das bedeutet nicht, daß die Relativitätstheorie durch ein anderes Erkenntnissystem abgelöst

wird. Genauso wie die klassische Physik nicht mit der Einführung der Relativitätstheorie und der Quantentheorie abgeschafft worden ist, sondern durch diese Theorien nur die Grenzen des Erkenntnisvermögens erweitert wurden, wird eine zukünftige Theorie nicht die Relativitätstheorie und die Quantenmechanik auf ihren Anwendungsbereichen ablösen, sondern die Möglichkeiten der Wissenschaft noch mehr vergrößern.“

**AN DER SCHWELLE ZU NEUEN  
„VERRÜCKTHEITEN“ (ANSTELLE  
EINES SCHLUSSWORTES)**

**Moderne Alchimie.** Das auf den Brüsseler Kongreß folgende Vierteljahrhundert war ein fast ununterbrochener Triumph der Quantenphysik. Die Schwierigkeiten des Eindringens in die Moleküle und Atome waren hauptsächlich auf den immer mehr anwachsenden Umfang der Berechnungen zurückzuführen.

Dramen spielten sich in der Hauptsache in den geheimen Tiefen des Atomkerns und im Zusammenhang mit dem (nicht immer gesetzmäßigen) Auftauchen neuer Teilchen ab.

Die Arbeiten Rutherford's, dem es 1919 gelang, den 1911 von ihm entdeckten Atomkern umzuwandeln, waren der Prolog dazu.

Das erste Mal passierte es während gewöhnlicher Versuche zur Erforschung des Aufbaus des Stickstoffatoms. Wie immer wurden die zu untersuchenden Atome dem Beschuß mit Alphateilchen (Kernen der Heliumatome) ausgesetzt. Aus der Bahnabweichung der Alphateilchen, die mit den zu untersuchenden Atomen zusammengestoßen waren, konnte man auf den Bau dieser Atome, insbesondere auf die Ausmaße ihrer Kerne, schließen. Unerwartet stellte Rutherford fest, daß sich ein Teil der Stickstoffatome, anstatt nach dem Stoß der Alphateilchen wie Billardkugeln wegzufliegen, in Sauerstoffatome verwandelt hatte und daß dabei die Alphateilchen ganz verschwunden und an ihrer Stelle schnelle Protonen erschienen waren.

Das war eine frappierende Entdeckung, die die Grundlage einer neuen „Alchimie“ legte. Der Traum des Mittelalters von der Transmutation —

der Verwandlung der einen Elemente in andere — erfüllte sich.

Die nächste große Entdeckung machten auf diesem Gebiet Anfang der dreißiger Jahre die Ehegatten Joliot-Curie. Wie Rutherford verfahren, erhielten sie künstliche radioaktive Elemente, die nach den gleichen Gesetzen zerfielen wie auch die natürlichen, aber im Gegensatz zu den natürlichen leicht waren und sich nicht am Schluß der Mendelejewschen Tabelle, sondern nahe ihres Anfangs befanden.

Es wurde klar, daß nicht die Kerne der Elemente die Bausteine des Weltgebäudes sein konnten. Es erschien natürlich, zu der Hypothese des englischen Arztes Prout zurückzukehren, der auf Grund der Teilbarkeit der Atomgewichte schon ein Hundert Jahre früher vermutet hatte, daß alle Elemente aus dem leichtesten — dem Wasserstoff — gebildet werden.

Da aber inzwischen festgestellt worden war, daß die Kernmasse schneller wächst als ihre Ladung, war man gezwungen, anzunehmen, daß Elektronen im Kern vorhanden sind, die einen Teil der von den Protonen gebildeten Ladung kompensieren.

Diese Elektronen spielen im Kern offensichtlich die „Rolle des Zementes“, der die gleichnamig geladenen Protonen zusammenkittet, sprachen die Physiker. Anders wäre es unmöglich, die Stabilität der Kerne zu erklären.

Die Anwesenheit von Elektronen im Kern wurde nach von dem schon vor langem entdeckten Fakt des radioaktiven Betazerfalls bestätigt. Viele radioaktiven Kerne zerfallen spon-

tan, indem sie dabei Elektronen aussenden. Schon dies gestattete die Annahme, daß Elektronen wenigstens in diesen Kernen anwesend sind. Die angewachsene Genauigkeit der Versuche trug freilich in die Experimente zum Betazerfall eine tragische Unklarheit hinein. In vielen Fällen bezeugten die Messungen eine sichtbare Verletzung des Energieerhaltungssatzes. Je genauer die Energie des Ausgangskernes, des Tochterkernes und des ausgestrahlten Elektrons gemessen werden konnte, desto offensichtlicher wurde das Defizit. Im Zerfallsprozeß verschwand zweifellos auf eine völlig unerklärliche Weise Energie.

In der Literatur erschienen Arbeiten, die die Möglichkeit einer Verletzung des Energieerhaltungssatzes bei Elementarprozessen erörterten. Die überwiegende Mehrzahl der Wissenschaftler verhielt sich jedoch diesen Annahmen gegenüber skeptisch. Der Energieerhaltungssatz kann unter keinerlei Umständen verletzt werden — er ist ein Grundgesetz der Natur. Aber Fakt blieb Fakt, die Änderung der Energiebilanz beim Betazerfall war nicht zu beseitigen.

Den Ausweg zeigte der junge theoretische Physiker Pauli. Er nahm an, daß beim Betazerfall noch ein Teilchen aus dem Kern herausfliegt, das den Experimentatoren entgeht. Dieses nun trägt den Teil der Energie, der zur Einhaltung der Bilanz, zur Erfüllung des Erhaltungssatzes ausreicht, mit sich davon.

Pauli beschrieb eingehend die Eigenschaften dieses hypothetischen Teilchens: Es ist neutral und deshalb auch nicht so zu fixieren, wie man ge-

ladene Teilchen feststellt; es bewegt sich sehr schnell, möglicherweise mit Lichtgeschwindigkeit, deshalb ist seine Ruhemasse klein, womöglich gleich Null. Mit einem Wort, es ist ein Teilchen, das sehr schwer, vielleicht auch überhaupt nicht zu bemerken ist. Entsprechend seinen Eigenschaften sollte es außer am Betazerfall an keinerlei Prozessen teilnehmen.

Die Physiker fanden sich nur mit Mühe mit dem „Erscheinen“ des neuen Teilchens ab. Zu seltsam mußten seine Eigenschaften sein. Es war schwer zu glauben, daß die Natur es speziell zur Teilnahme am Betazerfall geschaffen haben sollte. Das Bewußtsein, daß der Energieerhaltungssatz unantastbar ist, war jedoch stärker als diese Zweifel, und die Wissenschaftler erkannten Paulis Teilchen bald an. Sie nahmen es in die Familie der Elementarteilchen auf. Sein Taufpate wurde der italienische Physiker Fermi, als er ihm den Namen Neutrino gab und auf der Grundlage des Neutrino eine folgerichtige Theorie des Betazerfalls schuf.

Dank des Proton-Elektron-Modells des Kerns erlangte allmählich alles in der Mikrowelt eine erstaunliche Klarheit. Es gibt drei Bausteine im Weltgebäude: das negative Elektron, das positive Proton (dessen Masse die des Elektrons um etwa das Zweitausendfache übersteigt) und das neutrale Photon (das eine verschwindend kleine, mit seiner Bewegung zusammenhängende Masse besitzt). Dieses Teilchen besitzt eine Ruhemasse, die gleich Null ist. Außerdem existierte noch als eine Art Mißgeburt das Neutrino. Man brauchte es jedoch nicht zu beachten. Die Neutrinos

nahmen am Weltbau nicht teil. In den relativ seltenen Fällen des Betazerfalls entstehend, verschwanden sie auch wieder spurlos.

Atomkerne bilden sich aus Protonen, die durch Elektronen verbunden sind. Die Elektronen, die auf den stabilen Bohrschen Bahnen um den Kern kreisen, verwandeln die Atome in vollkommene, neutrale Konstruktionen mit der ganzen Vielfalt ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften. Die Photonen entstehen und verschwinden bei den Prozessen des Übergangs der Elektronen von einer Bahn auf die andere.

Die glänzende Harmonie des Proton-Elektron-Modells, das auf der Teilbarkeit der Atomgewichte beruhte, wurde selbst davon nicht gestört, daß sich die relativen Atommassen einiger Elemente stark von ganzen Zahlen unterschieden. Das war nur eine scheinbare Schwierigkeit. Wurden doch solche Abweichungen nur für Elemente beobachtet, die einige, von dem jungen englischen Physiker Aston entdeckte, Isotope besitzen. Er stellte fest, daß die Atome der Isotope chemisch identisch sind und ganzzahlige relative Atommassen haben. Die mit den bisherigen Methoden gemessenen relativen Atommassen der natürlichen Elemente waren nur deshalb kein Vielfaches der Masse des Protons, weil die natürlichen Elemente eine zufällige (wenn auch in allen Fällen gleichartige) Isotopenzusammensetzung haben.

Besonders verblüffend ist das Beispiel mit Chlor. Seine relative Atommasse beträgt bekanntlich 35,5. Diese gebrochene Zahl ergibt sich deshalb, weil das natürliche Chlor zu einem Viertel aus

dem Isotop des Chlors mit der relativen Atommasse 35 und zu drei Viertel aus dem Isotop Chlor-37 besteht.

Aston, der kurz nach seiner Entdeckung im ersten Weltkrieg umgekommen ist, war es nicht vergönnt, zu erfahren, daß seine Methode zur Bestimmung der relativen Atommasse das Proton-Elektron-Modell fast zugrunde gerichtet hatte. Die angewachsene Genauigkeit des Experimentes stieß dieses vollendete Gebäude fast um. Es stellte sich heraus, daß sich die relativen Atommassen der Isotope doch stärker von ganzen Zahlen unterscheiden, als aus den Meßfehlern zu erklären ist.

Die Situation wurde jedoch durch das Einführen des „Massendefektes“ gerettet. Damit die Kerne stabil sein können, muß es für die Teilchen „vorteilhafter“ sein, im Inneren des Kernes als außerhalb von ihm zu existieren. Das heißt aber, daß bei ihrer Zusammenfügung zu einem Kern Energie frei werden muß (die gleiche, die man zum Zerstören des Kernes aufwenden muß). Entsprechend der Relativitätstheorie ist aber ein Energieverlust einem Verlust an Masse äquivalent. Deshalb muß auch die Masse des Kerns kleiner als die Summe der Massen der in ihm vorhandenen Teilchen sein.

Auf diese Weise war das Proton-Elektron-Modell nicht „gestorben“, sondern es stützte sich unter Berücksichtigung des Massendefektes noch stärker auf ein Experiment, das nicht nur die Richtigkeit des Kernmodells, sondern auch die Einhaltung des Energieerhaltungssatzes bei Kernumwandlungen bestätigte.

**Neutron gegen Elektron.** Der Versuch ist der oberste Richter. Das erkennen alle Wissenschaftler an. Es kommt aber vor, daß dieser Richter in einer den Menschen noch nicht verständlichen Sprache redet, so daß sie dann erst noch lernen müssen, die Hinweise des Versuches mit Hilfe der auf der Grundlage des vorhergegangenen Versuches gewonnenen Formeln und Begriffe in die „menschliche“ Sprache zu übersetzen.

So geschah es auch dieses Mal.

Die Wirklichkeit ist vielseitig, und der Versuch, der gerade erst im Sinne des Proton-Elektron-Modells ausgelegt worden war, erschloß neue Besonderheiten der Elementarteilchen. Es stellte sich heraus, daß Protonen und Elektronen winzige Magneten sind, wobei die leichten Elektronen einen etwa zweitausendmal stärkeren Magnetismus als die schweren Protonen besitzen.

Dabei war nichts Erstaunliches. Es war einfach ein neuer, wenn auch noch nicht erklärter Fakt. Der Versuch zeigte auch, daß die magnetischen Eigenschaften aller Kerne der Größe nach in der Nähe des Magnetismus des Protons lagen. Wie konnten aber die schwachen Proton-Magneten im Kern den „gewaltigen“ Magneten des Elektrons auslöschen? Mußten doch schon im schweren Wasserstoff — dem Deuterium — entsprechend dem Modell zwei Protonen und ein Elektron vorhanden sein. Sein Magnetismus ist jedoch nicht dem Magnetismus des Elektrons gleich, sondern dreimal kleiner als der Magnetismus des Protons. Das aber ist etwa fünftausendmal weniger, als man von dem Proton-Elektron-Modell erwarten mußte.

Der Versuch mischte sich auch in die Ableitungen der Quantenstatistik ein. Die Statistik bestimmte die Eigenschaften der Kerne auf der Grundlage des einfachen Zusammenzählens der in ihnen enthaltenen Protonen und Elektronen voraus. Die Kerne mit gerader Teilchenzahl müssen sich immer von den Kernen mit ungerader Teilchenzahl unterscheiden.

In einer Reihe von Fällen wurden jedoch diese Vorhersagen vom Versuch widerlegt.

Schwierig war auch zu verstehen, wie das Elektron, dessen de-Broglie-Welle wesentlich größere Ausmaße als der Kern hat, sich in ihm anordnen soll. Auch einige andere experimentelle Fakten paßten nicht zusammen. Im Ergebnis erklärten die bis zum Jahre 1932 angesammelten Versuchsdaten das Proton-Elektron-Modell der Kerne, das sich selbst schon in den Lehrbüchern durchgesetzt hatte, als ungesetzmäßig.

Es schien, als ob die Mikrowelt die Wissenschaftler in eine ausweglose Sackgasse gelockt hätte.

Der richtige Weg wurde völlig unerwartet gefunden. Man muß eben, wie man sagt, Glück haben. 1932 entdeckte Chadwick, einer der Schüler Rutherfords, ein neues Teilchen. Das zerstörte das formvollendete Gebäude der Mikrowelt, das auf drei Grundpfeilern — Proton, Elektron und Photon — ruhte, bis auf die Grundmauern. Für den vierten „Grundpfeiler“ war kein Platz mehr da. Dabei zerstörte es nicht nur das scheinbar unantastbare Fundament, sondern säte auch Zweifel, ob diese Entdeckung eines neuen Teilchens die letzte sei.

Eine Zerstörung kann der Beginn neuen Aufbaus

sein. Bald stellte es sich heraus, daß das neue Teilchen — das Neutron — seiner Masse nach dem Proton sehr nahe liegt und magnetisch ist.

Das reichte aus, um ein neues Modell der Kerne vorzuschlagen. Iwanenko in der UdSSR und Heisenberg in Deutschland machten die Annahme, daß die Kerne nur aus Protonen und Neutronen bestehen. Der Wasserstoffkern enthält ein Proton (hat eine Ladung von Eins und die relative Atommasse [Atomgewicht] von Eins). Der nächste Kern, der des schweren Wasserstoffs — des Deuteriums —, enthält ein Proton und ein Neutron (Ladung 1, relative Masse 2). Der nächste ist der superschwere Wasserstoff, das Tritium (1 Proton und 2 Neutronen), danach das Helium (2 Protonen und 2 Neutronen, Ladung 2, relative Masse 4). Es gibt auch ein „leichtes Helium“, Helium-3. Seine relative Atommasse ist gleich 3, die Ladung gleich 2, in seinem Kern befinden sich zwei Protonen und lediglich ein Neutron. Alles weitere verlief in völliger Übereinstimmung mit der Mendelejewschen Tabelle.

Das neue Modell gab auf äußerst einfache Weise Antwort auf Fragen, die für das alte Modell verhängnisvoll waren. Die magnetischen Eigenschaften aller Kerne lagen — in Übereinstimmung mit dem Versuch — in der Größe der magnetischen Eigenschaften der Protonen und Neutronen. Auch die Einwände der Quantenstatistik fielen weg. Der Stickstoff zum Beispiel, der nach dem alten Modell ungerade „war“ (14 Protonen und 7 Elektronen), „wurde“ im neuen Modell gerade (7 Protonen und 7 Neutronen), wie

es auch, dem Experiment entsprechend, sein mußte. Es wurde unnötig, sich spezielle Hypothesen auszudenken, um die de-Broglie-Wellen der Elektronen in das winzige Kernvolumen „zu pressen“.

Nicht alles aber paßte in das Proton-Neutron-Modell. Die Vertreibung der Elektronen aus dem Kern beraubte ihn seines „Elektronenzements“, der früher die positiven Ladungen der Protonen verbunden hatte. Was hält sie denn aber mit den neutralen Neutronen im Kern zusammen, ungeachtet der gegenseitigen Abstoßung gleichnamiger Ladungen?

Es gab auch andere Klippen, der Betazerfall zum Beispiel. Mit dem Betazerfall war schon lange alles klar. Das Neutrino gab der Theorie des Betazerfalls den Charakter volliger Wahrhaftigkeit. Jetzt aber konnte sich der Betazerfall als verhängnisvoll für das Proton-Neutron-Modell des Kerns erweisen. Langjährige Versuche zeigten, daß beim Zerfall vieler Kerne Elektronen ausgestoßen werden. Es fragt sich, wie etwas aus dem Kern herausfliegen kann, was gar nicht dort drin ist.

Den Betazerfall und das Proton-Neutron-Modell rettend, wehrte Heisenberg den letzten Einwand durch eine neue Hypothese ab. Er machte die Annahme, daß das Neutron sich in radioaktiven Kernen in ein Protón, ein Elektron und ein Neutrino umwandeln kann. Das Proton verbleibt dabei im Kern, und das Elektron und das Neutrino fliegen, wie es sich gehört, während des Betazerfalls aus ihm heraus.

Bemerkenswert an dieser Hypothese war eine

neue Betrachtungsweise des Neutrons. Dieses neu entdeckte Teilchen wurde zu einem komplizier-ten Teilchen erklärt, das in der Lage ist, andere Elementarteilchen zu gebären. Dabei behielt es aber auch die Eigenschaften eines „echten“ Elementarteilchens. Kann doch das Elektron, des-sen magnetische Eigenschaften tausendmal grö-ßer sind als die des Neutrons, nicht sein ständi-ger Bestandteil sein. Es kann nicht einfach als individuelles Teilchen in das Neutron „einge-hen“. Es muß bei günstigen Bedingungen aus ihm „geboren“ werden.

Die neue Hypothese Heisenbergs verwandelte das Proton-Neutron-Modell jedoch noch nicht aus einer Hypothese in eine Theorie. Blieb doch die Frage nach dem „Kernzement“ offen. Außer-dem wird einer Hypothese, die zur Erklärung eines einzelnen Fakts, zur Rettung einer anderen Hypothese erdacht worden ist, immer mit Miß-trauen begegnet werden. Um so mehr, als zu ihrer Begründung noch zu erklären war, warum das Neutron in Kernen, die keinem Betazerfall unterliegen, stabil ist und warum noch niemand den Zerfall freier Neutronen beobachtet hat.

So beerdigten die Physiker die umstrittene Hy-pothese des Betazerfalls und legten beide Kern-modelle als zweifelhaft beiseite. Hatte doch jedes von ihnen zu unüberwindlichen Schwierigkeiten geführt. Während die Theoretiker die geheim-nisvollen Eigenschaften des Kerns erörterten, setzten die Experimentatoren die Jagd nach den Geheimnissen der Natur fort.

**Die Geburt der Antiteilchen.** Ein glücklicher Umstand und hervorragende Beobachtungsgabe gestatteten es Anderson, auf einer fotografischen Platte, die während der Versuche mit kosmischen Teilchen belichtet worden war, eine Spur zu bemerken, die nur ein Teilchen hinterlassen haben konnte, das in allem dem Elektron identisch war, aber eine positive Ladung hatte. Es war tatsächlich ein positives Elektron — das erste Antiteilchen, das den Wissenschaftlern unter die Augen kam. Seine Existenz war schon 1928 von Dirac, der die Wellengleichung Schrödingers, entsprechend den Anforderungen der Relativitätstheorie, umgeformt hatte, vorausgesagt worden.

Das Positron kann in unserer Welt nicht lange leben. Es verbindet sich sehr bald mit einem Elektron und verwandelt sich in ein Quant des elektromagnetischen Feldes.

Die Entdeckung des Positrons bestätigte nicht nur die Theorie Diracs und die tiefgehende Gemeinsamkeit zwischen elektromagnetischem Feld und Elementarteilchen, sondern diente ebenfalls als mittelbare Unterstützung der Hypothese Heisenbergs. Wenn sich Elektron und Positron in Photonen verwandeln konnten, erschien auch die Umwandlung des Neutrons in Proton und Elektron weniger eigenartig.

Bald darauf wurde festgestellt, daß einige künstliche radioaktive Elemente unter Ausstrahlung von Positronen zerfallen. Zweifellos war das eine neue Form des Betazerfalls. Es war auch eine neue Unterstützung der Heisenbergschen Hypothese. Man braucht nur anzunehmen, daß sich

dabei das Proton im Kern in ein Neutron und ein Positron verwandelt, und eine Theorie des Positron-Betazerfalls ist fertig. Der Versuch gab somit von neuem einen Hinweis auf die komplizierte Natur der Elementarteilchen.

Das Proton und das Neutron konnten sich als Abarten ein und desselben Teilchens erweisen oder sich einfach eines in das andere umwandeln, wobei die zweifellos als Paare existierenden Elektronen und Positronen an diesen Umwandlungen teilnehmen.

Bevor man eine dieser Vermutungen als die richtige annehmen oder eine andere Theorie schaffen konnte, war unbedingt zu verstehen, warum diese Umwandlungen nur innerhalb radioaktiver Kerne vor sich gehen und warum in den anderen Kernen oder im freien Zustand weder das Proton noch das Neutron zerfallen.

Bevor man aber diese komplizierte Arbeit in Angriff nahm, war erst noch einem unsichtbaren Teilchen, einem weiteren Neutrino, das Daseinsrecht zu bestätigen. Dieses Neutrino war notwendig geworden, um die Einhaltung des Energieerhaltungssatzes beim Positron-Betazerfall zu gewährleisten, genau so wie das erste Neutrino ein unvermeidlicher Teilnehmer des gewöhnlichen Betazerfalls geworden war.

Es erwies sich, daß beide Neutrinos untereinander fast identisch waren. Sie mußten sich nur in einer Charakteristik, in einer besonderen Größe, die nur in der Mikrowelt eine Rolle spielt, unterscheiden. Diese Größe wird als Spin bezeichnet. In der gewöhnlichen Welt der großen Körper ist das Beharren eines sich drehenden Krei-

sels, der jedem Versuch widersteht, seine Achse zu neigen, am ehesten dem Spin ähnlich. Wenn wir diese Analogie benutzen, kann man die Mikroteilchen, die über einen Spin verfügen, so betrachten, als ob sie sich drehen würden. Wenn dann also das erste der Neutrinos sich im Uhrzeigersinn dreht, so dreht sich das zweite in der entgegengesetzten Richtung (entlang der Bahn des Teilchens gesehen). Das neue Teilchen erhielt die Bezeichnung Antineutrino.

Zu den Kuriositäten auf den Pfaden der Wissenschaft gehört die Tatsache, daß mit der Zeit das Neutrino und das Antineutrino die Plätze wechseln mußten. Dem ersten Neutrino, das zusammen mit einem Proton und einem Elektron beim Zerfall des Neutrons entsteht, verliehen die Wissenschaftler die Vorsilbe „Anti“. Das zweite, das zusammen mit einem Neutron und einem Positron beim Zerfall eines Protons entsteht, nannten sie einfach Neutrino.

Diese Umbenennung war nicht eine Laune der Physiker, sondern eine Forderung der Symmetrie, die alle Prozesse in der Mikrowelt reguliert. Bei jedem dieser Zerfallsprozesse entsteht je ein Antiteilchen. Bei dem ersten entsteht das Antineutrino (zusammen mit zwei gewöhnlichen Teilchen), und beim zweiten entstehen aus dem Proton ein Positron (das Antiteilchen des Elektrons) und die zwei gewöhnlichen Teilchen Neutron und Neutrino.

So war im Ergebnis der gemeinsamen Anstrengungen der Theoretiker und der Experimentatoren die Anzahl der „Bausteine des Weltgebäudes“ erneut angewachsen. Zu Beginn der drei-

ßiger Jahre gehörten zur Familie der Elementarteilchen: das Photon, das Paar Neutrino und Antineutrino, das Paar Elektron und Positron sowie zwei „schwere“ Kernteilchen, Proton und Neutron.

**Entdeckungen und Enttäuschungen.** Von neuem erlangte das Bild vom Aufbau der Materie eine verführerische Klarheit, die Frage nach den Ursachen der Stabilität der Atomkerne blieb jedoch ungelöst. Keines der beiden bekannten Kraftfelder, weder das Gravitationsfeld (das Schwerefeld) noch das elektromagnetische, konnten die gleichnamig geladenen Protonen und die neutralen Neutronen innerhalb des Kerns, dessen Ausmaß etwa ein Hunderttausendstel des einmilliardelsten Teiles eines Zentimeters beträgt, zusammenhalten.

Im Jahre 1932 sprach der sowjetische Physiker Tamm die Vermutung aus, daß möglicherweise die Elektronen Quellen eines noch unbekannten, nicht elektromagnetischen Feldes seien, das dem Atomkern einen derart festen Aufbau verleiht. Möglicherweise sind die Elektronen Quanten des Feldes, mit dem die Kernkräfte verbunden sind? Als jedoch Tamm seine Berechnungen ausgeführt hatte, ergab sich, daß das Feld, dessen Quanten die Elektronen hätten sein können, mehrere tausend Milliarden Mal geringer war als die tatsächlichen Kernkräfte. Da zu dieser Zeit außer den Elektronen keine anderen Teilchen, die die Rolle von Quanten des Kernkraftfeldes hätten spielen können, bekannt waren,

war Tamm gezwungen, einen Strich unter diese Angelegenheit zu ziehen.

Was muß denn das für ein Teilchen sein, das ein solches Feld erzeugt? Nachdem auf dem Papier solche Teilchen erhalten worden waren, mußte man Experimentatoren die „technischen Möglichkeiten“ für die Suche nach ihm in die Hand geben. So geschah es auch. Die Arbeit Tamms wurde weitergeführt. Und der entscheidende Schritt, der zur Entdeckung des den Proton-Neutron-Kern zusammenhaltenden „Zementes“ führte, wurde 1935 von dem japanischen theoretischen Physiker Yukawa unternommen. Er schuf für die Kernteilchen eine Gleichung, um mit ihrer Hilfe zu erfahren, welcher Art die Natur der den Kern zusammenhaltenden Kräfte sein muß. Diese Gleichung vereinigte in ihrer abstrakten mathematischen Form die kolossale Macht der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik. Die eine ihrer Lösungen ergab die bekannten Photonen, Teilchen des elektromagnetischen Feldes mit einer Ruhemasse von Null. Die Kräfte des elektromagnetischen Feldes konnten aber nur die gleichnamigen Protonen auseinanderstoßen. Auf die Neutronen wirkt es gar nicht. Diese Lösung war nicht dazu zu gebrauchen, auf die Rätsel des Kerns eine Antwort zu erhalten.

Da stellte Yukawa der Gleichung eine andere, eine scheinbar völlig „verrückte“ Frage: Gibt es in der Natur nicht noch ein Feld, dessen Kräfte imstande sind, die Abstoßung der gleichnamigen Ladungen im Kern zu überwinden, das aber außerhalb des Kerns praktisch verschwindet?

Die Gleichung antwortete: Jawohl, ein solches Feld kann existieren, wenn seine Teilchen — eine unerhörte Sache! — eine Ruhemasse besitzen, die etwa 200 Elektronenmassen beträgt.

Yukawa hatte starke Nerven. Diese niederschmetternde Antwort beeindruckte ihn nicht. Im Gegenteil, er erklärte, daß aus der Tatsache der Stabilität der Kerne die Existenz eines besonderen Feldes folgt, des Kernkraftfeldes, das die Teilchen des Kernes zusammenhält. Wenn aber ein solches Feld existiert, so müssen auch in Analogie zum elektromagnetischen Feld, das seine Teilchen — die Photonen — hat, Teilchen existieren, die mit diesem Feld so zusammenhängen wie die Photonen mit dem elektromagnetischen Feld. Wenn aber diese Teilchen — wie die Berechnungen zeigen — existieren, so muß man sich eben damit abfinden. Die Experimentatoren müssen ein solches Teilchen nur suchen, sagte Yukawa, und sie werden es auch finden.

Nach der Vorhersage und der Entdeckung des Positrons schien das schon nicht mehr so unnatürlich zu sein. Die Arbeiten begannen. Sie wurden in vielen Ländern gleichzeitig betrieben.

Bald darauf, im Jahre 1936, bemerkten Anderson und sein Mitarbeiter Neddermeyer, daß die kosmischen Teilchen manchmal aus den Kernen der Atome, auf die sie auftreffen, Teilchen herausschlagen, deren Masse etwa 207 Elektronenmassen beträgt.

Diese Entdeckung bewegte die Forscher nicht weniger als die Entdeckung des Planeten Nep-

tun, dessen Existenz von dem Astronomen Le-verrier, ausgehend von den Abweichungen der sichtbaren Bewegung des Planeten Uranus von den zu dieser Zeit existierenden Berechnungen, vorausgesagt worden war. Das Positron war zufällig gefunden worden. Anderson hatte sich zu dieser Zeit nicht das Ziel gestellt, das „Loch“ Diracs zu entdecken. Dieses Mal wurde das Teilchen Yukawas bewußt gesucht und gefunden. Man nannte es Meson, Teilchen mittlerer Masse.

Jetzt stellte sich das Bild des Kerns als eine Art Mesonenwolke dar, innerhalb der die Protonen und Neutronen umherirren. Das Feld der Mesonenkräfte hält die Teilchen des Kerns zuverlässig innerhalb seiner „engen“ Grenzen. Die Kernteilchen tauschen dabei ununterbrochen die Mesonen untereinander aus.

Von neuem begann eine Periode der Klarheit in der Physik. Jedoch nicht für lange Zeit. Die eingehende Erforschung der Eigenschaften der Mesonen ergab, daß sie mit den Teilchen Yukawas nichts gemein haben.

Es zeigte sich, daß die Mesonen den gleichen Spin besitzen wie die Kernteilchen Proton und Neutron. Wenn das Kernteilchen ein solches Meson abgibt oder erhält, müßte es gleichzeitig auch den Spin abgeben oder erhalten, in Wirklichkeit geschieht das jedoch nicht. Folglich konnten diese Mesonen auch nicht die Rolle von Teilchen der Kernkräfte spielen. Lediglich die Größe ihrer Masse, die der vorausgesagten nahe lag, konnte als Rechtfertigung dieses Fehlers gelten.

Es schien, daß die Angelegenheit eine tragische Wendung nahm. Die Physiker ließen jedoch den Mut nicht sinken. Niemand hielt das Erscheinen der nicht erwarteten Mesonen für ein Unglück. Im Gegenteil, sie wurden in die Tabelle der Elementarteilchen eingereiht, und man fuhr fort, die Teilchen Yukawas zu suchen. Die Autorität der Gleichungen und die Eleganz des Proton-Neutron-Modells konnten durch einen Fehler der Experimentatoren nicht wegewischt werden.

Die Mesonen Yukawas aber wurden tatsächlich nach mehr als zehn Jahren, erst 1947 gefunden. Der Erfolg stellte sich dieses Mal bei dem englischen Wissenschaftler Powell ein, der ihn mit der Ausarbeitung einer neuen superempfindlichen Methodik hatte bezahlen müssen. Er entdeckte die  $\pi$ -Mesonen (Pi-Mesonen). Die Sache ist die, daß die Mesonen instabil sind. Die Mesonen Andersons,  $\mu$ -Mesonen genannt und unter der Bezeichnung Myonen in einer gemeinsamen Klasse mit den Neutrinos, Elektronen und Positronen vereinigt, zerfallen in einer zweimillionstel Sekunde nach ihrer Entstehung. Die Mesonen Yukawas leben im Kern, wie sich herausstellte, noch wesentlich kürzere Zeit. Deshalb sind sie auch so schwer zu bemerken, und deshalb wurden auch zuerst die  $\mu$ -Mesonen entdeckt, die völlig unschuldig sind am Spiel der Kernkräfte.

Die Mesonen Yukawas,  $\pi$ -Mesonen oder Pionen genannt, erschienen Powell gleich als Familie mit drei verwandten Teilchen. Die einen von ihnen erwiesen sich als neutral und hatten eine

um das 264fache größere Masse als das Elektron. Sie leben eine zehn Milliarden Mal kürzere Zeit als die Myonen. Ihre geladenen Verwandten  $\pi$ -plus und Mesonen  $\pi$ -minus gehen „nur“ einhundertmal schneller als die Myonen zugrunde. Sie sind um 9 Elektronenmassen schwerer als ihre neutralen Brüder. Die  $\pi$ -Mesonen (Pionen) sind die wichtigsten Quanten des Kernkraftfeldes.

Somit verwandelte der Versuch den „Zement“ Yukawas in festen Beton, der das Proton-Neutron-Modell des Kerns nicht weniger real als die Pyramiden des Altertums werden ließ.

Es wurden auch Antworten auf die Frage gefunden, warum die Protonen und Neutronen nicht in allen Kernen zerfallen, warum die Protonen beim „freien Flug“ nicht zerfallen, während die Neutronen außerhalb des Kerns nur kurze Zeit leben.

Es stellte sich heraus, daß innerhalb der Kerne, im „Kessel“ der durch Mesonen verbundenen Kernmaterie, gegenseitige Umwandlungen der Protonen und Neutronen ständig vor sich gehen. Das Herausfliegen von Elektronen und Antineutrinos oder von Positron und Neutrino geschieht jedoch nur bei besonders günstigen Bedingungen, die nur in instabilen, radioaktiven Kernen entstehen. Nach dem Herausfliegen eines von Antineutrino oder Neutrino begleiteten Elektrons oder Positrons aus dem Kern verschiebt sich die Balance der Protonen und Neutronen um die Zahl Eins. Das heißt, daß das Atom, dessen Kern einem solchen Zerfall unterworfen war, sich um eine Spalte im Periodensystem der

Elemente verschiebt — es geht eine Umwandlung des Elements vor sich.

Es wurde auch aufgeklärt, daß das Proton, das sich außerhalb des Kerns befindet — von einer unsichtbaren Mesonenwolke begleitet — stabil ist, also niemals (wenigstens entsprechend den heutigen Kenntnissen) zerfällt. Im Gegensatz dazu erwies sich das Neutron als unbeständiges Teilchen. Außerhalb des Kerns leben die Neutronen etwa eine tausendstel Sekunde, wonach sie spontan zerfallen. Diese ihre Eigenschaft ist zum Beispiel bei der Berechnung einiger Atomreaktoren zu berücksichtigen, in denen die bei der Kernspaltung entstehenden Neutronen relativ lange umherirren, bevor sie von einem anderen Kern eingefangen werden.

Die Forschungen auf dem Gebiet der Kernreaktionen führten zu der massenhaften Entdeckung neuer Teilchen. Besonders ertragreich waren die Jahre, die dem Bau der ersten Beschleuniger folgten, die auf einer Idee W. I. Wekslers und des amerikanischen Wissenschaftlers McMillan beruhten.

Die verstärkte Suche nach Elementarteilchen und die Erforschung ihrer Eigenschaften werden in vielen physikalischen Zentren vorangetrieben, darunter auch im Internationalen Kernforschungsinstitut in Dubna. Hier wurden zahlreiche „neue“ Teilchen, z. B. das Anti-Sigma-Minus-Hyperon, entdeckt.

Im Jahre 1957 waren etwa 30 Teilchen bekannt, heute zählt man weit über 90 von ihnen. Das ungestüme Auftauchen neuer Teilchen rief unter den Physikern Bestürzung hervor. Davon

wird jedoch etwas später erzählt werden. Jetzt ist die Zeit gekommen, einmal in den Spiegel zu schauen.

**Ein neuer Akt.** In diesem Teil unserer Geschichte ist die Gegenwart eng mit der Vergangenheit verflochten. Hier entstanden tiefgehende und originelle Theorien, die dann erbarmungslos unter dem Druck neuer Fakten in das Archiv verbannt wurden.

Es geht um den Unterschied und die Verwandtschaft zwischen rechts und links, zwischen dem Gegenstand und seinem Spiegelbild. Die Reise in dieses Gebiet führte die Wissenschaftler zu Wundern, die selbst diejenigen weit in den Schatten stellen, auf die die kleine Alice im Land hinter dem Spiegel traf.

Der große deutsche Wissenschaftler Leibnitz, einer der Begründer der modernen Mathematik, formulierte eine Idee als Gesetz, die schon im Altertum bekannt war: Rechts und links sind in der Natur nicht unterscheidbar. Auf dieses Gesetz stützte sich die gesamte Wissenschaft. Unter der Bezeichnung „Gesetz der Erhaltung der Partität“ ging es auch in die Quantenmechanik ein.

Die Universalität dieses Gesetzes war so allgemein, daß Eddington einmal fragte, ob wir, wenn wir mit Bewohnern eines fernen Planeten eine Radioverbindung geschaffen haben, ihnen mitteilen können, welche Schraube wir als eine mit Rechtsgewinde bezeichnen.

Die Frage Eddingtons kann man noch schärfer stellen. Wie soll man einem Menschen, der die

russische Sprache im Radio erlernt, erklären, was rechts und was links ist? Man kann sich freilich darauf beziehen, daß sich das Herz bei ihm links befindet. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle wird das richtig sein, aber es gibt doch auch Menschen mit einem Herzen auf der rechten Seite. Diese Erklärung ist also nicht universal. Man kann sagen, daß der Mensch, wenn er mit dem Gesicht zur Sonne steht, die Bahn der Sonne von links nach rechts verfolgen kann. Das ist aber nur für die Bewohner der nördlichen Erdhälfte richtig. Wenn wir uns auf die Bewegung der Uhrzeiger berufen, so riskieren wir, daß unser Hörer aus irgendeinem Grund noch nie eine moderne Uhr gesehen hat. In der Vergangenheit gab es ja auch Uhren mit umgekehrtem Gang der Zeiger. Es lohnt sich, über diese Frage nachzudenken. Aber kehren wir vorerst zum Gesetz der Erhaltung der Parität zurück.

Der Beginn der ganzen Geschichte war die Entdeckung des K-Mesons.

Es stellte sich heraus, daß das K-Meson in gewissen Fällen in zwei  $\pi$ -Mesonen und in anderen Fällen in drei  $\pi$ -Mesonen zerfallen kann. Solche Zerfälle konnten nicht gleichzeitig existieren, denn im ersten Fall mußte das K-Meson ein gerades und im zweiten Fall ein ungerades Teilchen sein.

Die Hoffnung, daß an einem dieser Zerfälle irgendein nichtbeobachtbares Teilchen teilnimmt, wurde durch sorgfältige Messungen verworfen. Die Anwesenheit eines nicht zu beobachtenden Teilchens würde in diesem Fall zu einer Verlet-

zung des Energieerhaltungssatzes führen. Erinnern wir uns daran, daß gerade dieses entscheidende Argument in der Theorie des Betazerfalls zur „Geburt“ des Neutrino führte. Auch die Hoffnungen, daß zwei verschiedene Teilchen, ein gerades und ein ungerades, als K-Meson betrachtet werden, fielen ebenfalls weg.

Die beiden jungen in den USA lebenden chinesischen Physiker Tsung Dao Lee und Chen Ning Yang formulierten 1956 eine trotz aller Einfachheit ketzerhafte Überlegung. Sie behaupteten, daß das Gesetz der Erhaltung der Parität nicht allgemeingültig sei: Es ist, erläuterten Lee und Yang, auf Grundlage einer Vielfalt von Experimenten aufgestellt worden, die aber alle die Makrowelt oder die Wechselwirkungen zwischen schweren Teilchen und Antiteilchen oder aber Prozesse betreffen, bei denen elektromagnetische Wechselwirkungen geladener Teilchen vorhanden sind. Es gibt aber auch Prozesse anderer Art, den spontanen Zerfall der Teilchen. Alle Teilchen mit Ausnahme der Photonen, Neutrinos, Elektronen und Protonen zerfallen in einer Zeitspanne, die kürzer als eine millionstel Sekunde ist (außer dem Neutron, das außerhalb des Kerns ganze 1160 Sekunden existieren kann).

Lee und Yang fiel auf, daß es *keinen einzigen* Versuch gibt, der die Anwendbarkeit des Paritätsgesetzes auf diese Zerfälle bestätigt. Die Physiker waren von der Gültigkeit des Gesetzes der Erhaltung der Parität derart überzeugt, daß sie es für unnötig hielten, es speziell für diesen Bereich zu überprüfen. Hier wird jedoch

alles durch die schwächsten der Wechselwirkungskräfte bestimmt, die in der Mikrowelt wirken. Sie sind zehn Milliarden Mal schwächer als die elektromagnetischen und nochmals um das Hundertfache schwächer als die Kräfte, die die Teilchen des Kerns gegenseitig zusammenhalten. Schwächer als sie sind nur die Gravitationskräfte, die in der Makrowelt als Schwerkraft auftreten.

Lee und Yang wiesen darauf hin, daß man den rätselhaften Zerfall der K-Mesonen ganz natürlich erklären kann, wenn man nicht darauf besteht, daß die Parität in diesem Prozeß erhalten bleiben muß. Ihr Verdienst besteht jedoch nicht nur in „negierender“ Arbeit. Sie sprachen nicht nur Zweifel aus. Sie schlugen auch eine Erklärung eines bisher noch unverständlichen Versuches vor. Aber sie gingen weiter, indem sie eine ganze Reihe von Experimenten ausdachten, die die Frage, ob das Gesetz der Erhaltung der Parität universal ist, lösen konnten.

Im gleichen Jahr 1956 wurde einer der vorgeschlagenen Versuche von ihrer ebenfalls in den USA tätigen Landsmännin C. S. Wu ausgeführt. Dieses berühmte Wu-Experiment zeigte, daß nur „linke“ Neutrinos existieren. „Rechte“ Neutrinos gibt es in der Natur nicht. Am Ende dieses Jahres war das Gesetz der Erhaltung der Parität aus der Reihe der universalen Grundgesetze der Natur gestrichen.

Es stellte sich heraus, daß sich die Natur bei schwachen Wechselwirkungen uns als Linkshänder gibt, aber bei allen anderen beiden „Hände“ gleich gut beherrscht. In der Natur sind also

rechts und links nicht immer gleichwertig, z. B. beim Betazerfall, beim Zerfall von K-Mesonen und anderen instabilen Elementarteilchen außer dem des neutralen  $\pi$ -Mesons und des neutralen Hyperons.

Eine Seite dieser Geschichte erwies sich für viele Physiker als ärgerlich. Alle notwendigen Angaben zur Widerlegung der Universalität des Gesetzes der Erhaltung der Parität waren auf allen fotografischen Platten fixiert, auf denen seit 1946 der Zerfall der  $\pi$ -Mesonen festgehalten worden war.

Viele hatten diese Platten betrachtet... (Nicht ohne Grund fragte ein bedeutender Physiker immer, wenn er an den Leuchtschirm des Oszillographen trat: „Was soll ich hier sehen?“) Niemand war auf den Gedanken gekommen, daß man nur nachzuzählen brauchte, wieviel  $\mu$ -Mesonen dabei nach vorn und wieviel zurückflogen, um die Frage nach der Erhaltung der Parität auftauchen zu lassen. Ist doch immer die *Hauptsache, die richtige Frage zu stellen*. Die Antwort auf *eine richtig gestellte Frage* zu finden, ist dann schon nicht mehr so schwierig. Alle, die auf diese Platten geschaut hatten, sahen auf ihnen nur das, was sie suchten. Lee und Yang erhielten für ihre Entdeckung den Nobelpreis.

**Ein schwacher Linkshänder.** Jedoch nicht nur die Experimentatoren waren tief beeindruckt. Der theoretische Physiker A. Salam, der eine wichtige Rolle bei der weiteren Entwicklung dieser Geschichte spielte, führt zwei bemerkens-

werte Ausschnitte aus Briefen eines der bedeutendsten Theoretiker an, der am 17. Januar 1957 schrieb: „Ich glaube *nicht* (kursiv vom Verfasser) daran, daß Gott ein schwacher Linkshänder sei, und ich bin bereit, für eine große Summe die Wette zu halten, daß die Experimente Resultate liefern werden, die dem Vorhandensein einer Symmetrie entsprechen.“ Es war ein Schreiben Paulis. Zehn Tage später schrieb er:

„Jetzt, nachdem die erste Erschütterung vorüber ist, beginne ich, zu mir zu kommen. Tatsächlich war alles äußerst dramatisch. Am Dienstag, dem 21., um 8 Uhr abends hatte ich vor, eine Vorlesung über die Neutrino-Theorie zu halten. Um 5 Uhr abends erhielt ich drei experimentelle Arbeiten. Ich war weniger davon erschüttert, daß Gott die linke Hand bevorzugt, als davon, daß er die Symmetrie zwischen rechts und links beibehält, wenn er sich uns stark gibt.“

Interessant an dieser Geschichte ist auch das, daß in der ersten Arbeit Fermis, die der Theorie des Betazerfalls und des Neutrinos gewidmet war, im Jahre 1934 fast dieselben Gleichungen niedergeschrieben waren, die auch heute noch benutzt werden. Praktisch alle bis 1957 folgenden Arbeiten, die die Wechselwirkungen behandelten, die zum Betazerfall führen, erwiesen sich als falsch. Auch viele dieser Frage gewidmete experimentelle Arbeiten waren fehlerhaft.

Weiterhin wurde festgestellt, daß die Gleichungen, die die Symmetrie zwischen rechts und

links liquidieren, schon 1929 aufgestellt worden waren. Sie waren jedoch nicht anerkannt worden.

Bald darauf schufen unabhängig voneinander L. Landau und A. Salam und etwas später Lee und Yang eine neue Theorie des Neutrinos und brachten die Theorie des Betazerfalls auf einen modernen Stand. In die Physik ging eine neue Quantenzahl ein, die angibt, ob das Teilchen ein rechtes oder ein linkes ist.

Jetzt können wir auf die Frage Eddingtons antworten. Um zu erklären, was links und was rechts ist, können wir mitteilen, daß rechte Neutrinos solche sind, die beim Zerfall eines Neutrons geboren werden, und linke solche, die beim Zerfall eines Protons entstehen.

Im Jahre 1957 wurden die Nerven der Physiker neuen Prüfungen unterworfen. Versuche Allans und seiner Mitarbeiter, die die Umwandlung eines der Isotope des Chlors in Argon bei Entstehung eines Positrons ergaben, konnten mit der neuen Theorie nicht in Übereinstimmung gebracht werden. Die Verwirrung, die von diesen Versuchen hervorgerufen wurde, und die Überzeugung von der Richtigkeit der Theorie des Betazerfalls waren so stark, daß Vermutungen darüber auftauchten, daß der gewöhnliche Betazerfall und der Positron-Zerfall verschiedenen Gesetzen gehorchen.

Nach qualvollen Bemühungen erklärten die Theoretiker, daß das nicht sein kann. Eine sorgfältige Überprüfung zeigte, daß die alten, scheinbar einwandfreien Versuche mit dem Zerfall des schweren Heliumisotops, deren Ergebnisse zur

Auswertung der Versuche Allans benutzt worden waren, Fehler aufwiesen. Neue Untersuchungen des Heliumzerfalls führten zu einer Übereinstimmung der Versuche Allans mit der Theorie.

Das einzige, was die Physiker noch beunruhigte, war, daß es noch niemandem gelungen war, den Zerfall des  $\pi$ -Mesons in ein Elektron und ein Neutrino zu beobachten. Dieser Zerfall mußte entsprechend der Theorie existieren. Die Überzeugung der einen brauchte den Zweifeln der anderen nicht lange das Gleichgewicht zu halten. Im September 1958 erfuhren die Physiker, daß solche Zerfallsprozesse tatsächlich vorkommen.

Der Kreis, der von der revolutionierenden Hypothese von Lee und Yang begonnen wurde, hatte sich geschlossen. Der Verlust der Symmetrie der Welt erregte jedoch weiterhin die Wissenschaftler.

Angestrengte Überlegungen brachten Landau auf den Gedanken, daß die Welt zwar symmetrisch ist, ihre Symmetrie aber einen tieferen Charakter als ein einfaches Spiegelbild hat. Er stellte fest, daß in allen Zerfallsprozessen der Elementarteilchen der Ersatz eines linken durch ein rechtes Teilchen und umgekehrt von Änderungen des Vorzeichens der elektrischen Ladung begleitet wird. Die scheinbare Asymmetrie erklärt sich dadurch, daß die Protonen in unserer Welt aus uns noch unbekannten Gründen positiv und die Elektronen negativ sind. In der Antiwelt, die aus Antiprotonen und Positronen besteht, muß alles umgekehrt verlaufen.

Die Theorie Landaus führt darauf hinaus, daß in der realen Welt die kombinierte Parität erhalten bleibt. Das heißt, daß das gewöhnliche Spiegelbild von einer „Reflexion“ der Ladung begleitet wird. Ist doch lange schon bekannt, daß das Elektron sein Abbild im Spiegel als Positron „sieht“ und umgekehrt.

Alles das führt zu der Schlußfolgerung, daß das Linke in unserer Welt mit dem Rechten in der Antiwelt, falls diese tatsächlich existiert, zusammenfällt.

Man kann sagen, daß die Welt bezüglich beider Drehrichtungen symmetrisch wäre, wenn in ihr keine elektrischen Ladungen existieren würden. In einer „ladungslosen“ Welt könnte man rechts und links nicht unterscheiden, so wie es auch unmöglich ist, die Politik der englischen Konservativen von der Politik der Labourpartei zu unterscheiden, obwohl die einen im rechten und die anderen im linken Teil des Unterhauses sitzen.

Die reale Welt verfügt auf Grund der Anwesenheit geladener Teilchen über eine komplizierte kombinierte Parität, die die Vorzeichen der Ladungen und der Drehrichtungen miteinander verbindet. Die Ursache der Existenz dieser Verbindung ist noch unklar.

Resultate, die mit den Ergebnissen Landaus zusammenfallen, erhielten auch Lee und Yang.

Versuche zur Überprüfung der Gültigkeit des Gesetzes der Erhaltung der kombinierten Parität sind sehr kompliziert. Jedoch schon 1958 wurde dieses Gesetz, allerdings mit geringer Genauig-

keit, durch Experimente mit dem Zerfall polarisierter Neutronen bestätigt. Bestätigt wird es auch durch das negative Resultat einiger Versuche, die ein negatives Resultat liefern mußten, wenn die Erhaltung der kombinierten Parität tatsächlich ein Naturgesetz war.

Die Theoretiker Lee und Yang und der japanische Physiker Nishijima riefen erneut einen Sturm hervor, als sie zeigten, daß zur Gewährleistung der Erhaltung der Energie beim Zerfall der Myonen neue Neutrinos notwendig werden können. Abschätzungen wurden vorgenommen, die ergaben, daß das Neutrino und das Antineutrino, die beim Betazerfall entstehen, am Myonenzerofall nicht teilnehmen.

Auf die Seiten der physikalischen Zeitschriften ergoß sich ein Strom von Mitteilungen über die neuen Neutrinos. Um sie von den alten zu unterscheiden, war man gezwungen, sie Myonen-Neutrinos zu nennen und zum Namen der „Kinder“ Fermis das Wort „Elektronen-“ dazuzufügen.

Die Unterschiede dieser Teilchen wurden bald darauf experimentell bestätigt.

**Ein Strom von Teilchen.** Somit wurde die Parität, die eines der universalen Naturgesetze zu sein schien, auf eine niedrigere Rangstufe degradiert. Es stellte sich heraus, daß das Gesetz der Erhaltung der Parität begrenzte Wirkung hat. Es herrscht nicht über die schwachen Wechselwirkungen.

Diese Einschränkung des Gesetzes der Erhaltung der Parität war das Resultat der Entdeckung

neuer Teilchen. Sie war die Folge einer tiefergehenden Erforschung der Eigenschaften der zwischen diesen Teilchen wirkenden Kräfte.

In diesem Buch wurde schon davon erzählt, wie sich die Ansichten der Wissenschaftler vom Aufbau der Mikrowelt oftmals änderten; wie die Vielfalt der Stoffe auf die Atome der Mendelejew'schen Tabelle zurückgeführt wurde, wie es eine Zeitlang schien, daß die ganze Welt aus Kombinationen von Protonen und Elektronen besteht, wie herausgefunden wurde, daß das nicht der Fall sein kann und daß es mindestens vier Elementarteilchen gibt.

Aber auch dieses Reich der Einfachheit war nicht von langer Dauer.

Zuerst verdrängte die unüberwindliche Logik der Gleichungen die Wissenschaftler aus der kristallklaren Welt von vier Teilchen.

Als erstes der Neuen wurde aus den Gleichungen Diracs das Positron „geboren“, das nur nach dem Recht des Erstgeborenen einen eigenen Namen erhielt, obwohl man es, wäre es später erschienen, einfach „Antielektron“ genannt hätte. Bald darauf erschien das Positron unerwartet auf einer fotografischen Platte und wurde identifiziert. Danach erschufen die Gleichungen das Antiproton und das Antineutron. Nach hartnäckigem Suchen gelang es, sie mit Hilfe eines leistungsstarken Beschleunigers zu entdecken.

Die Gleichung Yukawas erzeugte das Pion, das sich später als dreifältig oder, wenn man so will, als Drilling erwies. Im übrigen hatten es die Experimentatoren zuerst irrtümlich als My-

on identifiziert, das sich im folgenden einen Doppelgänger, ein Antiteilchen, zulegte. Die Theorie des Betazerfalls Fermis schuf das Neutrino und danach seinen Zwillingsbruder, das Antineutrino.

Unter dem Druck der Gleichungen bezogen somit die Physiker neue Positionen, die durch ein zuverlässiges experimentelles Fundament abgesichert waren. Die Welt erschien ihnen als aus 12 Teilchen bestehend. Das waren das Photon, das Paar Neutrino und Antineutrino, das Paar Elektron und Positron, die drei Pionen und zwei schwere Paare, Neutron und Proton mit ihren Antiteilchen. Die unrechtmäßig geborenen Myonen, die nicht von den Gleichungen vorausgesagt worden waren, schienen irgendeine Zufälligkeit zu sein, und niemand wußte, weshalb sie existieren und welche Rolle sie spielen. Man nahm sie einfach nicht für voll.

Indem die Natur den Experimentatoren das Myon zuwarf, gab sie den Physikern zu verstehen, daß längst nicht alles in ihren Theorien in Ordnung war. Obwohl die Voraussagen der Theorie durch die Entdeckung neuer Teilchen und Antiteilchen glänzend bestätigt wurden, war eine gewisse Lücke in ihr vorhanden, durch die eben auch ein Paar Myonen „durchgesickert“ war.

Die zweite Hälfte unseres Jahrhunderts begann in der Physik mit einer Kaskade von Entdeckungen. Jetzt traten die Experimentatoren ins Rampenlicht. Auf den Fotografien der Schauer, die beim Durchgang kosmischer Teilchen durch eine in der Wilson-Kammer angeordnete Blei-

platte entstanden, wurden eigenartige Spuren gefunden, die an den lateinischen Buchstaben „V“ erinnerten. Das waren zweizinkige Gabeln, die aus „dem Nichts“ begannen.

Um nicht in Mystizismus zu verfallen, mußten die Physiker zugeben, daß hier Zerfälle unsichtbarer neutraler Teilchen fixiert worden waren (die neutralen Teilchen hinterlassen bei ihrem Flug am Anfang der Gabel keine Spur). Im Ergebnis unsichtbarer Zerfälle entstehen geladene Teilchen, die sichtbare Spuren hinterlassen.

Sorgfältige Messungen zeigten, daß zwei Sorten von Gabeln vorkamen. Eine wurde aus einem Proton und einem negativen Pion gebildet, die andere durch ein Paar aus einem positiven und einem negativen Pion.

Man war gezwungen, anzunehmen, daß an der Spitze der Gabel verschiedene Teilchen zerfallen. Das Teilchen, das in ein Proton und ein negatives Pion zerfällt, wurde  $\lambda$ -Teilchen genannt. Das zweite wurde K-Teilchen getauft.

Nach und nach gelang es, die Massen der neuen Teilchen und ihre wesentlichsten Eigenschaften zu bestimmen. Es stellte sich heraus, daß die ersten zur Familie der schweren Teilchen — der Baryonen — gehören und daß die zweiten zusammen mit den Pionen zur Gruppe der Mesonen gehören.

Das war jedoch erst der Anfang. Die Technik des Experimentes und der Auswertung der Teilchenspuren auf den fotografischen Platten wurde vervollkommenet, die Leistung der Beschleuniger erhöhte sich. Die Anzahl der bekannten Teilchen konnte mehr als verdoppelt werden. Im Jahre

1957 waren es schon etwa dreißig, und niemand weiß, wie viele noch entdeckt werden können.

**Seltsame Teilchen.** Aber nicht die Menge der neuen Teilchen bedrückte die Wissenschaftler. Dagegen war nichts einzuwenden. Schlecht war nur, daß sich einige neue Teilchen den bestehenden Theorien nicht unterwarfen. Besonders seltsam war ihre Langlebigkeit.

Die Berechnungen ergaben, daß die neuen Teilchen fast sofort nach ihrer Geburt sterben müssen. Die Gleichungen gestatteten ihnen, nur eine verschwindend kurze Zeit zu existieren, die sogar schwer in Worten auszudrücken ist — es ist ein Hunderttausendstel des einmilliardsten Teiles einer Milliardstel Sekunde. Die neuen Teilchen lebten jedoch ungleich länger — eine Einmilliardstel Sekunde oder wenigstens ein Zehntel dieses Bruchteils.

Die Abweichung von der Theorie war außerordentlich groß. Das war seltsam und unverständlich. Für diese unvorhergesehene Langlebigkeit erhielten die neuen Teilchen die Bezeichnung „seltsame Teilchen“.

Seltsame Teilchen? Was kann seltsamer als diese Bezeichnung sein? Die Physiker hatten sich aber daran gewöhnt, daß Worte aus der Laborsprache, treffende Bonmots, unerwartete Vergleiche sich lange im Lexikon der Wissenschaft halten und manchmal auch für immer darin eingegangen sind. Darin drückt sich die Unvollständigkeit unseres Wissens von der Welt der Mikroteilchen, das hohe Entwicklungstempo dieses Gebietes aus, das keine Zeit für eine strenge Aus-

wahl und das Abschleifen der Termini und Definitionen ließ.

Warum lebten die seltsamen Teilchen gegen den Willen der Formeln und Gleichungen länger, als sie „dürfen“? Warum hielten sie die Vorhersagen der Wissenschaftler nicht ein?

Wieder und wieder ließen sich die Physiker die schon bekannten Fakten durch den Kopf gehen, stellten alles zusammen, was sie über die Wechselwirkungen der Teilchen wußten, und verglichen es. Die stärksten Wechselwirkungen entstehen zwischen den Kernteilchen, den Nukleonen. Sie wirken auf verschwindend kurze Entfernung, die Protonen und Neutronen im Kern zusammenhaltend. Als Charakteristikum der Wechselwirkungen dient die Zeitspanne, im Ablauf derer sie erscheinen. Die von der Yukawa-Gleichung beschriebenen Wechselwirkungen zwischen den Nukleonen verwirklichen sich in verschwindend kurzer Zeit. Gerade diese Zeitspanne billigte die Theorie den seltsamen Teilchen zum Leben zu. Die seltsamen Teilchen lebten jedoch wesentlich länger. Das bedeutet also, daß nicht diese Kräfte über ihrem Leben walten. Welche aber dann?

Die elektromagnetischen Wechselwirkungen, die von der Dirac-Gleichung beschrieben werden, diejenigen, an denen elektrisch geladene Teilchen teilnehmen, sind 137mal schwächer als die „starken“. Deshalb wird auch zu ihrer Realisierung 137mal mehr Zeit benötigt.

Unvergleichlich schwächer sind die Wechselwirkungen, die zum spontanen Zerfall der Teilchen, zum Betazerfall beispielsweise, führen. Diese

Wechselwirkungen werden dann auch als „schwache“ bezeichnet. Sie sind einhunderttausend Milliarden Mal schwächer als die „starken“ und währen entsprechend länger.

Die schwächsten der jetzt bekannten Kräfte sind die Gravitationskräfte. Sie sind so schwach, daß man zum Vergleich die Kernkräfte viermal hintereinander auf ein Milliardstel verringern und das Resultat noch einmal durch tausend teilen muß. Man erhält dabei eine erstaunlich kleine Zahl, in der vor der Eins 39 Nullen stehen. Es ist nicht verwunderlich, daß in der Mikrowelt diese Kräfte überhaupt keine Rolle spielen. Sie erscheinen nur in astronomischen Maßstäben, wo unübersehbare Anhäufungen von Teilchen gleichzeitig in Wechselwirkungen eintreten.

Deshalb wandten die Wissenschaftler bei ihren Überlegungen über das Verhalten der seltsamen Teilchen ihre besondere Aufmerksamkeit nicht den „stärksten“ und auch nicht den „schwächsten“, sondern den „schwachen“ zu, denen, die einhunderttausend Milliarden Male schwächer als die „starken“ sind. Und es tauchte die Vorahnung bei ihnen auf, ob nicht das „lange Leben“ der seltsamen Teilchen davon zeugt, daß sie nicht unter dem Einfluß der Kernkräfte, sondern im Ergebnis schwacher Wechselwirkungen zugrunde gehen (zerfallen).

Auf den ersten Blick konnte eine solche Vermutung als Unwissenheit gelten. Sie zwang dazu, sich von anerkannten Theorien, vom gewohnten und eingebürgerten Standpunkt gegenüber den Wechselwirkungen der Teilchen zu trennen, Der gewohnte Standpunkt aber bestand darin,

daß die Geburt und die Vernichtung jedes Teilchens mit Prozessen und Kräften verwandten Typs zusammenhängen. Hier aber: Geboren werden sie bei starken Wechselwirkungen, und sie sterben bei schwachen? Mit Mühe nur konnte man daran glauben. Jedoch die Rede ist ja von „seltsamen“ Teilchen... Und niemand wußte genau, was man von ihnen noch erwarten konnte. Noch nichts wissend von der Natur der Zerfallsprozesse der seltsamen Teilchen, nur ihre Lebensdauer kennend, markierten die Wissenschaftler den möglichen Grund ihres Sterbens: die schwachen Wechselwirkungen.

**Neue Gesetze.** Im Ergebnis der Messung der Lebensdauer der seltsamen Teilchen gelang es also, den Schleier des Geheimnisses, der ihr Verhalten umgab, etwas zu lüften. Geboren im Ergebnis starker Wechselwirkungen — bei dem Zusammenstoß eines Protons, das im Beschleuniger beschleunigt oder im Schauer kosmischer Teilchen erzeugt wurde, mit Teilchen, die den Kern des Bleis oder andere Kerne des Targets bilden, zerfallen sie spontan als Resultat schwacher Wechselwirkungen.

Weshalb nun können die seltsamen Teilchen nicht auf dem gleichen Wege und genauso schnell zerfallen, wie sie geboren wurden? Die Experimentatoren konnten auf diese Frage keine Antwort geben, da sie ja nur die Endresultate beobachteten und nicht die Details des Prozesses verfolgen konnten.

Die Theoretiker sannen etwa zwei Jahre darüber nach; sie durchdachten und erprobten viele Sche-

mata und Modelle und waren im Ergebnis gezwungen, zu der erstaunlichen Annahme zu kommen, daß Prozesse mit starken Wechselwirkungen nur bei der Teilnahme mindestens zweier seltsamer Teilchen möglich sind. So eigenartig es auch ist, die Natur erwies sich im Falle der seltsamen Teilchen so freigiebig, daß sie diese gleich haufenweise gebar. Und dann reichte bei ihr die „Kraft“ nicht mehr aus, um sich weiter mit ihnen „herumzuplagen“, reichte die Energie für den umgekehrten Prozeß, ihre augenblickliche Vernichtung, nicht aus. Nachdem sie Zwillinge, Drillinge geboren hatte, überließ sie diese ihrem Schicksal, und sie starben von selbst. „Der Trick besteht darin“, stellte ein Physiker fest, „daß ein Prozeß mit starken Wechselwirkungen dieser Art aufgrund des Mangels an Energie nicht reversibel ist“.

So fand die Langlebigkeit der seltsamen Teilchen eine Erklärung. Es gelang eine unerwartete Vorhersage: Die Teilchen, die einen so seltsamen Effekt bei ihrem Zerfall aufweisen, können nicht einzeln geboren werden. Sie werden ausschließlich in Gruppen geboren, und zwar bei Stößen hochenergetischer, gewöhnlicher Teilchen durch starke Wechselwirkung. Ihre „Langlebigkeit“ verdanken sie der Tatsache, daß sie erst bei schwachen Wechselwirkungen „umkommen“.

Diese Vorhersage wurde bald glänzend bestätigt. Leistungsfähige Beschleuniger begannen die Massenproduktion dieser Teilchen, und diese wurden immer mindestens in Paaren geboren. Die Natur verbietet also den seltsamen Teilchen, einzeln geboren zu werden. Wenn aber

die Natur irgendetwas verbietet, so ist das Verbot meistens als Erhaltungssatz formuliert. Ein Perpetuum mobile zu schaffen, ist zum Beispiel aufgrund des Energieerhaltungssatzes unmöglich. Sich an den eigenen Haaren aus dem Sumpf zu ziehen, ist aufgrund des Prinzips der Erhaltung des Schwerpunktes unmöglich, das seinerseits eine Folge des Impulssatzes ist (nach diesem Gesetz wirken auch die Raketentriebwerke).

Vielleicht steht hinter der Tatsache der gemeinsamen Geburt der seltsamen Teilchen auch ein noch unbekanntes Erhaltungsgesetz? Und dieses könnte uns helfen, die Eigenschaften noch unbekannter Teilchen vorauszusagen?

Erinnern Sie sich daran, wie das Neutrino vorausgesagt wurde! Lediglich die Überzeugung, daß der Energiesatz unantastbar ist, veranlaßte Pauli zu der Annahme, daß am Betazerfall noch ein unbekanntes Teilchen (das Neutrino), das den fehlenden Energiebetrag mit sich fortträgt, beteiligt sein muß.

Deshalb streben die Wissenschaftler auch danach, genau zu wissen, welche Größe (außer der Energie) bei Kernwechselwirkungen erhalten wird. Dann sagt ihnen das Fehlen irgendeines Teilbetrages im Ergebnis der Wechselwirkungen von Teilchen, welches Teilchen diesen Anteil entführt hat. Und wenn dieses Teilchen nicht bekannt ist, so wird man es suchen, genau wissend, daß es existiert und daß man es anhand der „gestohlenen“ Größe identifizieren kann.

So wirkt für die seltsamen Teilchen außer den bekannten vielleicht noch irgendein Erhaltungs-

satz, der der Leitfaden zur Bestimmung ihrer Eigenschaften werden kann?

Diese „verrückte“ Annahme bestätigte sich. Mit der Einführung einer neuen Größe, die einem Erhaltungssatz unterworfen war, gelang es nicht nur, das Verhalten der seltsamen Teilchen zu erklären, sondern auch die Eigenschaften noch unbekannter Teilchen vorauszusagen, die bald darauf auch gefunden wurden. Diese Größe (eine ladungsartige Quantenzahl) wurde „Seltsamkeit“ (Strangeness) und ihr Erhaltungssatz „Gesetz von der Erhaltung der Strangeness“ genannt.

Das Einführen des Begriffes „Strangeness“ und des Gesetzes von der „Erhaltung der Strangeness“ war zweifellos ein Triumph der Wissenschaft, der es möglich machte, Erscheinungen vorauszusagen, die vorher nicht bekannt waren. Es war aber auch ein neuer Schritt zur Abstrahierung, da der physikalische Sinn der Strangeness unklar blieb. Formal wurde die Strangeness durch kleine ganze Zahlen (Fremdheitsquantenzahlen) ausgedrückt. Es war jedoch nicht möglich, zu sagen, mit welchen Eigenschaften der Teilchen außer der Strangeness diese neue Quantenzahl verbunden ist. Das war aber auch kein einfaches Wortspiel. Das Gesetz von der Erhaltung der Strangeness erklärte die Notwendigkeit der Geburt der seltsamen Teilchen in Gruppen, auf jeden Fall in Paaren. Es erklärte auch ihre relative Langlebigkeit: Dadurch, daß es einzeln fliegt, konnte das seltsame Teilchen nicht schnell (das heißt, in einer Zeit, die den starken Wechselwirkungen entspricht) zerfallen, weil das zu

einer Verletzung des Gesetzes von der Erhaltung der Strangeness geführt hätte.

Die Einführung des Gesetzes von der Erhaltung der Strangeness war auch aus noch einem anderen Grunde ein wichtiger Meilenstein auf den Pfaden der Wissenschaft. Es erschien ein neues Erhaltungsgesetz, das — im Gegensatz zu den alten — keine universelle Bedeutung hat. Es wirkt nur bei den starken (den Kernwechselwirkungen) und den elektromagnetischen Wechselwirkungen.

Die alten klassischen Erhaltungssätze wirkten immer. Nicht ohne Grund betrachtet man sie als Grundgesetze der Natur: das Gesetz von der Erhaltung der Energie und das Gesetz von der Erhaltung der Masse, die von der Relativitätstheorie in einem gemeinsamen Erhaltungssatz vereinigt wurden. Dazu gehören auch das Gesetz von der Erhaltung der elektrischen Ladung, und unter besonderen Bedingungen das Gesetz der Erhaltung des Impulses sowie das Gesetz von der Erhaltung des Drehimpulses.

Bald stellte sich heraus, daß für die starken Kernwechselwirkungen neben den früher bekannten auch noch andere Erhaltungssätze wirken, die auf die anderen Prozesse keinen Einfluß haben. Zur Beschreibung dieser Gesetze wurden neue spezifische Begriffe, neue Quantenzahlen benötigt. Einige von ihnen haben noch keine allgemein anerkannte Bezeichnung, für andere wurde ein „Buchstabe“ ausgewählt, wobei noch längst nicht klar ist, was sich hinter ihm verbirgt.

In letzter Zeit wurden für die starken Wechsel-

wirkungen sieben Erhaltungssätze bekannt — sieben sich erhaltende Größen (neben dem Energiesatz, dem Impulssatz und dem Drehimpulsatz). Diese Gesetze machten es möglich, sich in den Wechselwirkungen zwischen den bekannten Baryonen (schweren Teilchen) und den Mesonen, die an den starken Wechselwirkungen beteiligt sind, zurechtzufinden und die Existenz neuer Teilchen vorauszusagen, die dann auch entdeckt wurden.

**Quanten und Buddha.** Der Platz reicht hier nicht aus, um von den spannenden Einzelheiten der Suche nach neuen Teilchen zu berichten.

Von einer Entdeckung aber — der Entdeckung des Teilchens Omega-minus, von der Anfang 1964 eine Mitteilung erschien, muß man einfach berichten.

Dieses „Omega-minus“ wurde entdeckt, als sich die Wissenschaftler davon überzeugten, daß auch die sieben Erhaltungssätze nicht ausreichen, um sich auf den Wegen der Mikrowelt erfolgreich weiterbewegen zu können. Sie begaben sich auf die Suche nach weiteren Gesetzmäßigkeiten.

1961 schufen der amerikanische Physiker Gell-Mann und unabhängig von ihm der deutsche Physiker Zweig eine erstaunliche Theorie, in der zum ersten Male gleichzeitig acht Quantenzahlen eine Rolle spielten. Die Zahl „acht“ ging dann auch in den Namen der Theorie ein, obwohl die Bezeichnung selbst rein zufällig entstand.

Irgendeinem der Wissenschaftler kam ein Aphorismus ins Gedächtnis, der Buddha zugeschrieben wird. Er lautet:

„Hier, o Mönche, die edle Wahrheit, die zum Ende alles Schmerzes führt: Das ist der erhabene achtstufige Weg, und zwar der Weg über ehrliche Absichten, wahre Ziele, wahrheitsgetreue Reden, gerechtes Handeln, sittliches Leben, richtige Bemühungen, echte Sorgsamkeit, völlige Konzentriertheit.“

Acht Stufen, acht Gebote Buddhas, sollten die Mönche zur Seligkeit führen. Acht Erhaltungssätze, acht Quantenzahlen führen die Wissenschaftler zur Wahrheit. Die neue Theorie erhielt den Namen „achtstufiger Weg“.

Mit Hilfe der neuen Theorie entwarfen die Wissenschaftler das „Porträt“ eines unbekannten Teilchens, eines Teilchens, das noch niemand gesehen hatte, das aber existieren mußte, wenn der „achtstufige Weg“ tatsächlich zur Wahrheit führte. Obwohl dieses Teilchen unbekannt war, gestattete der „achtstufige Weg“, seine Masse vorherzubestimmen und vorauszusagen, daß es eine negative Ladung besitzen muß. Dieses noch ungesehene Teilchen mußte außerdem eine Strangeness von minus drei besitzen. Es mußte stabil sein und „erst“ nach einer Zehnmilliardstel Sekunde zerfallen.

Wahrscheinlich kann nur ein Jäger die Gefühle eines Experimentalphysikers verstehen, wenn diesem die Beschreibung eines neuen Teilchens unter die Augen kommt. Im Dickicht der Teilchenspuren auf den Fotografien verbarg sich ein außergewöhnlich seltenes „Tier“. Sofort, nachdem die notwendige Ausrüstung vorbereitet worden war, begann die Jagd.

Die von einem großen Synchrotron beschleunig-

ten Protonen bildeten im Ergebnis des Zusammenstoßes mit einem Kern des Targets ein Bündel negativer K-Mesonen. In Abständen von einigen Sekunden kam das sorgfältig isolierte Bündel, das etwa zehn Mesonen enthielt, in die Blasenkammer, wo die Mesonen mit Protonen (Atomkernen des Wasserstoffs, der in flüssigem Zustand die Kammer ausfüllt) in Wechselwirkungen traten.

Ohne komplizierten Analysator, der mit Hilfe einer elektronischen Rechenmaschine arbeitet, hätte man kaum unter den einhunderttausend Fotografien die zwei heraussuchen können, auf denen die Geburt eines Omega-Teilchens fixiert worden war. Eine sorgfältige Vermessung und Berechnungen gestatteten die Feststellung, daß das neu entdeckte Teilchen das gesuchte Omega-minus war. Seine Masse unterschied sich von der vorausgesagten um weniger als ein Prozent.

Der Erfolg der neuen Theorie gab den Wissenschaftlern Mut, und sie sagten auf ihrer Grundlage die Existenz noch dreier Teilchen voraus. Als Gell-Mann die Eigenschaften dieser Teilchen nannte, waren seine Kollegen überrascht: Zwei von ihnen sollten eine Ladung haben, die ein Drittel der Ladung eines Elektrons beträgt, und eines eine Ladung von zwei Dritteln der Elektronenladung. Bisher aber wurde die Ladung des Elektrons als elementar gerechnet: Sie war ein gewisses Eichmaß, ein Maß für die elektrischen Ladungen der Mikroteilchen. Nun aber... hatte der „achtstufige Weg“ die Wissenschaftler in einen Bereich des elektromagnetischen Feldes

geführt, der jenseits der Grenzen der elementaren Maßeinheit lag.

Das war eine kühne Voraussage. Gell-Mann nannte die neuen Teilchen aus irgendeinem Grund „Quarks“, wobei er sich auf eine Zeile aus einem phantastischen Roman von Joyce bezog. Das Wort „Quarks“ bezeichnet dort Teilchen, denen wahrhaft phantastische Eigenschaften zugeschrieben werden.

Die Wissenschaftler begannen offensichtlich nicht über diese utopischen Dinge nachzudenken und über den eigenartigen Namen „Quarks“ zu rätseln. Ohne Zeit zu verlieren, nahmen sie sofort die Suche nach den neuen Teilchen am Brookhavenener Beschleuniger auf. Für den Anfang beschlossen sie, das Teilchen mit einer Ladung von einem Drittel der Elektronenladung zu finden. Dieses Teilchen mußte sich am stärksten von Eins unterscheiden. Der Versuch jedoch zeigte eindeutig, daß solche Teilchen nicht existieren. Aber die Physiker waren bei ihren Schlußfolgerungen vorsichtig. Wenn solche Teilchen tatsächlich existierten, mußten sie eine Masse von zwei oder drei Protonenmassen haben. Jedoch die Leistung der gegenwärtig in Betrieb befindlichen Beschleuniger reichte offensichtlich nicht aus, Teilchen einer solchen Masse zu erzeugen. So entstand auf dem Wege zum Auffinden der Quarks ein technisches Hindernis. Die Physiker entmutigte das jedoch nicht. Auf diesem Gebiet waren Entdeckungen zu erwarten.

**Magische Zahlen.** Die verblüffende Bestätigung der Voraussagen der Theoretiker zeugt keines-

falls davon, daß die Elementarteilchentheorie abgerundet war. Hier war noch lange nicht alles in Ordnung. Noch versuchten die Wissenschaftler, die Teilchen erforschend, sie nach Kennzeichen, Eigenschaften zu sortieren, noch strebten sie danach, sie zu klassifizieren. Eine Klassifizierung ist jedoch erst die zweite Stufe der Erkenntnis. Zuerst werden Fakten angehäuft. Danach werden Versuche unternommen, sie zu systematisieren, um die hinter ihnen verborgenen Gesetzmäßigkeiten zu verstehen. Erst dann, wenn die Systematisierungsversuche sich als erfolgreich erweisen, entsteht auf ihrer Grundlage die Hoffnung, ein objektives Naturgesetz zu formulieren.

So war es auch mit dem Periodensystem Mendelejews gewesen. Dem Forscher gelang es, festzustellen, daß sich bei der Anordnung der Elemente nach steigendem Atomgewicht einige ihrer Eigenschaften periodisch wiederholen. Mendelejew konnte nicht sagen, warum sie sich wiederholen, aber er vermochte, indem er diese Gesetzmäßigkeit herausfand und feststellte, daß sie in einigen Fällen verletzt wird, die Existenz zu dieser Zeit noch unbekannter Elemente voraussagen. Sie mußten existieren, wenn das gefundene Gesetz richtig war.

Wie bekannt ist, wurden diese Elemente in der Folgezeit entdeckt, und sie füllten die offenen Felder der großartigen Tabelle aus. Das war ein Triumph der Wissenschaft.

Die Entdeckung des Gesetzes erkärt jedoch noch nicht, warum dieses Gesetz existiert, wo die Periodizität der Eigenschaften herkommt, warum

die Hauptperiode gleich 8 ist, warum sogenannte große Perioden existieren und warum eine offensichtliche Verletzung des Gesetzes in der Familie der seltenen Erden vorkommt, die aus 18 verschiedenen Elementen besteht. Später wurde die gleiche Abweichung in der Familie des Urans gefunden. Die Gesetzmäßigkeit, die dem Periodensystem Mendelejews zugrunde liegt, wurde erst durch die Quantentheorie der Atome aufgedeckt.

Etwa genauso entwickelt sich die Theorie der Elementarteilchen. Wir befinden uns heute noch immer im Stadium der Anhäufung von Fakten und der mehr oder weniger gelungenen Systematisierungsversuche. Die bestehenden Theorien, darunter auch der bemerkenswerte „Achtstufenweg“, sind nur mehr oder weniger komplizierte Berechnungsmethoden. Niemand kann sagen, wie sich die Theorie entwickeln wird.

Es ist natürlich zu erwarten, daß es hochleistungsfähige Beschleuniger, die in verschiedenen Ländern gebaut werden, ermöglichen werden, neue, noch unbekannte Symmetrieformen herauszufinden, neue Größen festzustellen, neue Teilchen zu finden.

Schon bei der gegenwärtigen Entwicklung der Technik ist das Experiment der Theorie voraus. Die Theorie ist teilweise nicht auf einem tiefen Verständnis der experimentell gesicherten Fakten begründet, sondern auf der fast intuitiven Aufstellung gewisser Regeln, bestimmter Operationen mit Indizes und Zahlen, die durchaus die Bezeichnung magische verdienen.

„Magische Zahlen“ hatten schon eine große Rolle

beim Aufbau der Details des Proton-Neutron-Modells des Kerns gespielt. Aus dem Versuch ist bekannt, daß Kerne, die eine genau bestimmte Anzahl von Protonen und Neutronen enthalten, besonders stabil sind. Diese Anzahl ist durch die Zahlen 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 gegeben. Jede Theorie des Kerns, die Anspruch auf Glaubwürdigkeit erhebt, muß diese experimentelle Tatsache erklären.

Das elegante „Schalenmodell“, das voraussetzt, daß sich die Kernteilchen in Schalen gruppieren, die den Elektronenschalen zum Teil verwandt sind, führte zu den Zahlen 2, 8, 20, 40, 70, 112. Nur die ersten drei Zahlen fielen zusammen, und das erforderte eine wesentliche Präzisierung der Theorie.

Sollte man sich hier nicht an die „Zahlenmusik“ der Pythagoräer, die die Schicksale der Welten und der Menschen lenkt, erinnern?

Kleine, ganze Zahlen, die in den Quantenerhaltungssätzen Eingang fanden, gestatteten eine neue, exaktere Klassifizierung der Elementarteilchen, die starken Wechselwirkungen unterworfen sind. Einige Eigenschaften der Teilchen werden nicht unmittelbar von Quantenzahlen, sondern von deren Kombinationen bestimmt. In diesem Falle war man zur Vereinfachung der Schreibweise gezwungen, zu Bezeichnungen mit Buchstaben überzugehen. Jeder der griechischen Buchstaben ersetzt eine bestimmte Kombination der Quantenzahlen. Die neue Klassifikation gestattet es, alle jetzt bekannte Teilchen in einer exakten Reihenfolge anzurufen, die ihrerseits im komplizierten Prozeß der „Voraussage“ noch

unbekannter Teilchen von Nutzen ist. Im Zusammenhang damit, daß für die neue Klassifikation griechische Buchstaben ausgewählt wurden, mußte man einige Teilchen umbenennen, da die meisten der früher bekannten Teilchen ebenfalls mit Buchstaben des griechischen Alphabets bezeichnet worden waren. Das K-Teilchen zum Beispiel wurde zum Kappa-Teilchen. Interessant dabei ist, daß in der neuen Klassifikation die griechischen Buchstaben nicht dem Alphabet nach, sondern völlig chaotisch angeordnet sind. Es konnte auch gar nicht anders sein. Waren doch die ersten Bezeichnungen den Teilchen in der Reihenfolge ihrer Entdeckung und entsprechend früheren Anschauungen oder sogar nach einer Laune der Entdecker verliehen worden. Nach der neuen Klassifikation gab es natürlich zwei Möglichkeiten: Entweder sich mit dem nicht wesentlichen Chaos abzufinden oder die Mehrzahl der Teilchen neu zu benennen. Eine Umbenennung hätte die Ordnung in den Tabellen gewährleistet, hätte aber ein „Umlernen“ und das Auswendiglernen der neuen Bezeichnungen erfordert. Das hätte zu Durcheinander und Mißverständnissen führen können. Deshalb blieben die Wissenschaftler lieber beim „Chaos“ der Benennungen.

Die einfachen Zahlen, untereinander durch einfache Beziehungen und nicht völlig erkannte Regeln verbunden, gestatten es, wie wir am Beispiel des „Achtstufenweges“ gesehen haben, auf der Grundlage der Eigenschaften bekannter Teilchen, einige Eigenschaften unbekannter Teilchen, zum Beispiel ihre Masse, Ladung, Stran-

geness und andere, vorauszusagen. Niemand kann jedoch erklären, warum die elektrischen Ladungen der Teilchen immer gleich sind, sich nur durch das Vorzeichen unterscheiden oder gleich Null sind. Bis jetzt kann niemand sagen, ob die Liste der Mikroteilchen abgeschlossen ist oder ob noch neue Entdeckungen vor uns stehen. Niemand kann entscheiden, welche von ihnen elementar sind. Es ist unklar, welche Teilchen als elementare und welche als zusammengesetzte zu betrachten sind.

Die Erfahrungen der letzten Jahre veranlaßten die Wissenschaftler, sich dem Gedanken zuzuneigen, daß kein einziges der Teilchen, die starken Wechselwirkungen ausgesetzt sind, nicht einmal das völlig stabile Proton, wirklich elementar sind. Es ist durchaus möglich, daß sie, wie auch die Kerne aller Elemente, nur verschiedene Zustände einer einheitlichen Form der (in starker Wechselwirkung stehenden) Materie darstellen.

Allerdings betrachtet ein Teil der Wissenschaftler auch weiterhin das Proton als Elementarteilchen und die anderen in starken Wechselwirkungen stehenden Teilchen als seine Nachkommen. Es wird jedoch immer schwerer, diese Theorie zu verteidigen.

Gegen sie kämpft wirkungsvoll eine neue Hypothese, die als „Schnürsenkelhypothese“ bezeichnet wird, da eine komplizierte Verknüpfung der Eigenschaften der Baryonen, die bei einer graphischen Darstellung die Assoziation mit Schnürsenkeln hervorrufen kann, dieser Hypothese zugrunde liegt.

Auf diesem Gebiet gibt es bei den Wissenschaftlern äußerst interessante Vermutungen.

Stellen Sie sich vor, daß ein schnelles, neutrales Pion mit einem Proton zusammenstößt. Was ist das Resultat dieser Wechselwirkung? Der Physiker sagt: Es entsteht ein Proton und ein Neutron. Widerspricht das nicht dem Gesetz von der Erhaltung der Masse, da doch Proton und Neutron viel schwerer als Proton und Pion sind? Nein, es widerspricht ihm nicht. Schon Einstein hat bewiesen, daß die Energie ebenfalls Masse besitzt und daß man diese bei einer „Bilanz“ berücksichtigen muß. Hier erfolgte im Prozeß des Zusammenstoßes die Umwandlung der Bewegungsenergie des Pions in den fehlenden Stoff.

Kann man nun auf der Grundlage dieser Reaktion irgendein daran beteiligtes Teilchen als elementares betrachten? Es ist klar, daß weder das Neutron noch das Pion diese Ehre verdient haben. Das Neutron wurde sozusagen aus dem Pion und seiner Energie geboren. Bei der umgekehrten Reaktion — dem Zusammenstoß eines Protons mit einem Neutron — wird das Pion aus dem Neutron geboren. Es könnte scheinen, daß das Proton, das hier unverändert bleibt, elementar ist. Der Zusammenstoß eines Neutrons aber mit einem positiven Pion, der dem eben beschriebenen Prozeß sehr ähnlich ist, führt zu der „Geburt“ eines Protons, wobei dabei das Neutron erhalten bleibt.

Eine Vielzahl solcher Beispiele veranlaßte die Physiker, anzunehmen, daß kein einziges der den starken Wechselwirkungen unterworfenen Teilchen ein einfaches ist und daß man sie fol-

lich auch nicht als elementare betrachten kann.

Die Physiker vermuten, daß sowohl Proton als auch Neutron und andere ihnen verwandte Teilchen aus einem äußerst kleinen „Kern“ bestehen, der von einer Wolke aus Pionen (Teilchen, die die Träger der Kräfte sind, die die Protonen und Neutronen innerhalb der Atomkerne festhalten) umgeben ist. Sind das positive Pionen, dann erhalten wir ein Proton, sind sie neutral, dann bildet sich ein Neutron, sind sie negativ — ein Antiproton.

Es ist wahrscheinlich, daß auch die anderen schweren Teilchen — die Baryonen — aus einem „Kern“ und Pionen bestehen, sich aber nur durch den Vorrat an innerer Energie unterscheiden. Je größer diese „latente“ Energie ist, um so schwerer ist das Teilchen.

Mehr als das: Der Durchmesser des Atomkerns erweist sich als dem eines einzelnen Protons oder Neutrons sehr nahe. Wir sprechen im allgemeinen davon, daß im Kern des Atoms Uran-238 92 Protonen und 146 Neutronen enthalten sind. Kann man aber tatsächlich annehmen, daß sie darin „enthalten“ sind, wenn das „Volumen“ des Kerns zweihundertmal kleiner ist als die Größe, die sich beim einfachen Addieren der Ausdehnungen der Teilchen ergibt? Ist es nicht richtiger, anzunehmen, daß im Kern keine individuellen Teilchen vorhanden sind und daß der Kern nur einer der Zustände der starke Wechselwirkungen eingehenden Materie ist?

Allen ist klar, daß eine neue Theorie der Elementarteilchen erklären muß, warum Mikroteil-

chen existieren, warum sie gerade so sind, wie wir sie kennen, wie die formalen Gesetze der Symmetrie, die durch die Strangeness oder den „Achtstufenweg“ ausgedrückt werden, mit der physikalischen Symmetrie der Natur verbunden sind.

„Bei der Antwort auf diese Fragen kommen wir in eine paradoxe Lage“, sagte das korrespondierende Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, D. I. Blochinzew. „Die Sache ist die, daß bei der jetzt erreichten Meßgenauigkeit der Experimentalphysiker nirgendwo Widersprüche zu den Prinzipien der Relativitätstheorie oder der Quantentheorie findet. Gleichzeitig aber hat der theoretische Physiker Grund genug, die Prinzipien der modernen Theorie der Begrenztheit zu verdächtigen.“

**Ist das verrückt genug!** Um die „Lebensgesetze“ der Elementarteilchen aufzudecken, entwickelten der sowjetische Mathematiker N. N. Bogoljubow und der Amerikaner M. Goldberg eine Methode, die auf der Grundlage experimenteller Daten etwas über den Charakter der Wechselwirkungen, die die Teilchen untereinander eingehen, aussagen soll. Und umgekehrt kann man, wenn man über Angaben des Charakters der Wechselwirkungen verfügt, die an ihr beteiligten Teilchen ermitteln.

Diese Methode ist jedoch so kompliziert, daß die Wissenschaftler bisher selbst nicht versuchen, sie vollständig anzuwenden. Sie machen sich mit ihr bekannt und verknüpfen mit ihr

große Hoffnungen. Aber hin und wieder machen sie sich selbst über die Lage der Dinge lustig, indem sie einander ein Witzbild zeigen. Es stellt zwei Archäologen dar, die in der Wüste Ausgrabungen vornehmen. Unter ihren Spaten ist ein Eckchen irgendeines alten Bauwerkes zu sehen. Darunter steht: „Das kann die größte Entdeckung des Jahrhunderts sein. Die ganze Frage besteht aber darin, wie tief sie geht!“

Während sie über diesen Scherz schmunzeln, verhalten sie sich trotzdem sehr ernst gegenüber den neuen Möglichkeiten, in die Geheimnisse der Mikrowelt einzudringen. An den Beschleunigern überprüfen sie die experimentellen Folgerungen der neuen Berechnungsmethoden. Sie versuchen, sie mit den Ideen der Quantentheorie zu verbinden. Hat doch Paul Dirac gerade dadurch, daß er am Beginn der Quantenphysik in seinen Berechnungen kühn das Gewohnte mit dem Ungewohnten zusammenführte, daß er die Relativitätstheorie mit den Prinzipien der Quantennatur des Stoffes verband, die theoretische Physik zu neuen Horizonten geführt.

Noch ist es schwer, zu sagen, wie tief die neue Methode in das Wesen der Erscheinungen einzudringen gestattet. Auf jeden Fall ruft sie bei vielen Mißtrauen hervor. Heisenberg zum Beispiel trat in der Presse mit einer heftigen Kritik der neuen mathematischen Methode auf. Andere Forscher wiederum waren der Meinung, daß die neue Idee die Tür zur Mikrowelt aufstoßen würde. Seine Versuche, eine Theorie der Elementarteilchen zu schaffen, setzt auch der Schöpfer der Quantenmechanik, Werner Heisenberg, fort. Er

kam auf den Gedanken, daß möglicherweise Raum und Zeit keine lückenlose Vielfalt bilden. Er entwarf ein Modell der Welt, in dem eine minimale räumliche Entfernung, ein Quant der Länge existiert, das viel kleiner als alle bisherigen Ausdehnungen ist. Heisenberg nimmt an, daß auf Entfernungen, die kleiner als diese elementare Länge sind, keinerlei Experimente, selbst keine gedanklichen, möglich sind.

Es werden auch Versuche unternommen, die mit einem Quant der Zeit, mit der Abkehr von der Relativitätstheorie bei Ereignissen in kleinen Dimensionen operieren, und viele andere.

Die Wissenschaftler des 20. Jahrhunderts haben sich schon daran gewöhnt, daß die fruchtbarsten, die genialsten Ideen, die eine Revolution in die Wissenschaft tragen, meistens nicht aus der planmäßigen Entwicklung einer bestimmten Richtung geboren werden. Sie entstanden stürmisch, umstritten. Sie paßten mit der gewohnten Logik der Dinge nicht zusammen, sprangen über sie hinweg; sie schienen „verrückt“ zu sein...

Gerade das veranlaßte Bohr, ein geniales Kriterium zur Billigung einer neuen Idee auszuwählen: Ist sie auch „verrückt“ genug? Hat der Wissenschaftler auch weitab von dem Gewohnten, Althergebrachten gesucht? Ist das Gebiet seiner „Ausgrabungen“ den von anderen Wissenschaftlern schon geöffneten Hünengräbern nicht etwa zu nahe?

Wird uns die alte Waffe der Quantentheorie und der Relativitätstheorie in die Mikrowelt führen, oder wird das nicht geschehen? Wird es erneut

notwendig sein, die inzwischen gewohnten physikalischen Konzeptionen zu verwerfen?

So sah sich die theoretische Physik zum zweiten Male innerhalb eines halben Jahrhunderts am Kreuzweg. Sie stand vor der Notwendigkeit großer Veränderungen... Somit bereitet sich ein und dieselbe Generation von Physikern — ein in der Geschichte der Wissenschaft bisher nie dagewesener Fall — erneut auf den Umbruch ihrer Vorstellungen vor.

Heute ist allen klar: Zur Lösung der Rätsel der Mikrowelt hat es kaum Sinn, rückwärts zu gehen. Man muß vorwärts schreiten.

Die Zeit ist gekommen, wo sich die Wissenschaftler dicht vor einem neuen „verrückten“ Sprung befinden, ähnlich denen, die zwischen 1905 und 1916 zur Schaffung der Relativitätstheorie und zwischen 1923 und 1927 zur Herausbildung der Quantenmechanik geführt hatten.

Die Zeit neuen Wagemuts ist angebrochen.

Der Vorhang hat sich gehoben, der nächste Akt des großen Dramas der Ideen beginnt.

Er bringt der Menschheit die Unterwerfung neuer Naturkräfte.

Aber auch dieser Akt wird nicht der letzte sein. Der Erkenntnisprozeß hat kein Ende.

## Nachwort

Wir haben die letzte Seite des Buches umgeschlagen, das so lebendig und interessant geschrieben ist. In diesem Buch wird von Menschen erzählt, die ihr ganzes Leben der Wissenschaft gewidmet haben. Ihre Erlebnisse waren mit Erfolgen oder Mißerfolgen verbunden, mit denen unweigerlich jede wissenschaftliche Forschungsarbeit einhergeht. Unwillkürlich wird der Leser in den Strudel der „verrückten“ Ideen hineingezogen. Sie sind fast immer progressiv, aber zum Altern verurteilt. Immer wieder werden sie von frischeren, kühneren Ideen verdrängt.

Wissenschaftler, die sich um die Lösung der zahllosen Rätsel bemühen, welche die Natur der Menschheit aufgibt, sind sich dessen bewußt, daß sie keine absolute und für immer gültige Lösung geben können. Dennoch wenden sie Jahrzehnte angespannter und aufopfernder Arbeit auf, um eine der Wirklichkeit annähernd getreue Lösung zu finden, die der harten Prüfung durch die Zeit wenigstens einige Jahre oder Jahrzehnte standhält. Und das auch nur unter der Bedingung, daß Erfolg sie begleitet. Wie groß aber ist die Wahrscheinlichkeit eines solchen Erfolges? Schließlich endet doch der wesentlich größere Teil der Arbeiten ohne eigentlichen Erfolg, weil keine befriedigende Antwort erhalten wird. Man kann annehmen, daß die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Lösung in der wissenschaftlichen Forschungsarbeit 5 Prozent nicht

übersteigt. Aber anders ist kein Fortschritt auf diesem Gebiet möglich. Wäre die Antwort vorher bekannt, dann wäre es keine Erkundung. Bei der Entwurfs- und Konstruktionstätigkeit, die der Entwicklung von Prototypen neuer Geräte und Maschinen dient, ist die Effektivität der wissenschaftlichen Arbeit wesentlich höher. Ihre Wahrscheinlichkeit liegt bei 70 bis 80 Prozent. Und bei der Herstellung von Großserienerzeugnissen in der Produktion erwartet man sogar eine fast hundertprozentige Zuverlässigkeit, um eine den Anforderungen entsprechende Produktion zu gewährleisten.

Auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Erkundung aber ist es ein ganz großer Erfolg, wenn man ein annähernd richtiges Resultat erhält, dem man einige Jahre vertrauen kann. Der relative Charakter aller wissenschaftlichen Errungenschaften ist keineswegs eine Ausnahme. Die Frage ist nur, was reichlicher vorhanden ist — Erfolge oder Mißerfolge und welche Konsequenzen ein Wissenschaftler daraus für seine weitere Arbeit zieht. In der Wissenschaft muß man es vor allem auch verstehen, mit den Ideen und Gedanken seiner Arbeitskollegen, mit den Errungenschaften anderer Menschen und Kollektive zu rechnen und ihre Arbeit zu achten.

Die Lektüre des Buches „Verrückte“ Ideen“ bestätigt das Gesagte voll und ganz. Aber ein junger Mensch, der sich für die Wissenschaft interessiert und aus der Schule eine einigermaßen gefestigte Vorstellung von den Entwicklungswegen der Wissenschaft mitbringt, könnte von einem Gefühl des Mißtrauens gegenüber seinen eigenen

Kräften oder gegenüber den menschlichen Fähigkeiten im allgemeinen befallen werden, wenn alle wissenschaftlichen Werte relativ und kurzlebig sind. Ich halte dies nicht für besonders gefährlich. Ein solches Mißtrauen verfliegt rasch am Beginn selbständiger Arbeit. Furchtbarer in der Wissenschaft sind Hochmut, Eigendünkel und Aufgeblasenheit — diese Schutzreaktionen von Menschen, die in moralischer oder geistiger Hinsicht nicht vollwertig sind.

In dem Buch von Irina Radunskaja gibt es ausgezeichnete Beispiele für kluges, aber auch einige wenige Beispiele für kurzsichtiges Verhalten großer Gelehrter.

Wir wissen heute noch wenig vom Aufbau und den Gesetzmäßigkeiten des in Raum und Zeit unendlichen Weltalls. Aber wir nehmen mit ziemlicher Sicherheit an, daß der unserer Beobachtung zugängliche Teil des Weltalls (als System, das Milliarden und Abermilliarden Strukturelemente — Galaxien und Sterne — enthält) seit annähernd 15 bis 20 Milliarden Jahren existiert. Wir wissen auch, daß unser Sternsystem, zu dem die Sonne, die Erde und die anderen Planeten gehören, von ungefähr 150 Milliarden Sternen gebildet worden ist; diese sind in unserer Galaxis gruppiert, deren Durchmesser etwa 100 000 Lichtjahre erreicht, das sind eine Milliarde Milliarden Kilometer. Wir wissen auch ziemlich genau, daß die Sonne (zusammen mit unserem bescheidenen Planetensystem) vom Zentrum der Galaxis um annähernd zwei Drittel des Radius unseres Sternsystems entfernt ist und daß sie in ungefähr 200 Millionen Jahren eine volle Umdrehung

um dieses Zentrum ausführt; das bedeutet, daß im Existenzzeitraum der Sonne und ihres Planetensystems — im Verlauf von etwa 5 Milliarden Jahren — insgesamt etwa 25 Umdrehungen (der Sonne um das Galaxiszentrum) erfolgten.

Wenn man bedenkt, daß der Mensch nicht länger als 1 Million Jahre auf der Erde existiert, so hat das Sonnensystem in diesem „kurzen“ Zeitintervall (zusammen mit der Erde und den Planeten) auf seiner Bahn um das Zentrum der Galaxis insgesamt erst den zweihundertsten Teil einer Umdrehung zurückgelegt. Und wenn man dann noch in Betracht zieht, daß es das Schrifttum auf der Erde erst seit 7 bis 8 Jahrtausenden gibt und daß somit auch erst seit dieser Zeit eine Wissenschaft existiert, beginnend mit ihren primitivsten Formen, so hat das Sonnensystem mit der Erde und den anderen Planeten noch einen weit-aus kürzeren Weg zurückgelegt, nämlich im ganzen nur 45 Winkelsekunden. Das ist etwa ein Dreißigtausendstel einer Umdrehung.

Während dieser Zeit wurde der Mensch zu einem vernunftbegabten, denkenden und gesellschaftlichen Wesen, das viele Gesetzmäßigkeiten der Natur erkannt und es gelernt hat, diese Gesetzmäßigkeiten zu nutzen, um seine unaufhörlich wachsenden geistigen und materiellen Bedürfnisse zu befriedigen. In den letzten Jahren ist der Mensch von der Beobachtung und dem Studium zur unmittelbaren Aneignung des Kosmos übergegangen. Auf genau festgelegter Bahn umkreist er die Erde, startet Raumschiffe oder Sputniks (Satelliten) und sorgt für Radioverbindungen über Hunderte Millionen Kilometer. Was

man heute in Monaten oder gar Stunden leistet, das war ehedem entweder ganz unmöglich, oder es bedurfte einer jahrhunderte-, jahrtausende-langen angespannten Arbeit. All dieses wurde in einigen Jahrtausenden, der größte Teil davon jedoch in den letzten 100 Jahren erreicht. Die Mühe lohnte sich also.

„Es gibt keine Landstraße für die Wissenschaft, und nur diejenigen haben Aussicht, ihre hellen Gipfel zu erreichen, die der Ermüdung beim Erklettern ihrer steilen Pfade nicht scheuen.“ Diese Worte von Karl Marx könnte man den „Ver-rückten“ Ideen“ als Motto voranstellen. Denn so lebten und wirkten die Helden des Buches von Irina Radunskaja. In vielen Kapiteln ist die Rede von erstaunlichen Erfolgen, die bei der Erforschung des Weltalls erreicht wurden. Man muß sagen, daß diese höchst interessante Wissen-schaft in unserem Lande schon seit langem die Aufmerksamkeit auf sich lenkt. Kurz vor dem ersten Weltkrieg zählte das Observatorium in Pulkowo zu den besten in der Welt, und die Namen russischer Astronomen wie Bredichin, Gla-senap, Zinger und andere waren allen Astrono-men unseres Planeten bekannt. Besondere Auf-merksamkeit erfuhr die Entwicklung der Astro-nomie und in der Folge die Radioastronomie durch die Sowjetmacht. Gerade unter der So-wjetmacht erwuchsen Astronomengenerationen, deren Erkenntnisse dem Menschen den Weg in den Kosmos eröffneten.

Die unendliche Kompliziertheit der im Weltall ablaufenden Prozesse hat stets zwei Tendenzen in der Weltanschauung der Menschen hervorge-

rufen: Mystizismus und Pessimismus, ein Bewußtsein des Verdammteins und der Hilflosigkeit, ein Sich-Beugen vor der Allgewalt der Naturkräfte und ihrem Schöpfer, einen Unglauben an die Möglichkeit, die Gesetzmäßigkeiten des Kosmos zu erfassen, einerseits und andererseits die progressive Tendenz, die sich darin ausdrückt, daß man um jeden Preis den Bau und die Evolution des Weltalls begreifen möchte. Ja, noch mehr — man möchte seine Gesetzmäßigkeiten im Interesse der Menschen nutzen. Der Kampf dieser beiden Richtungen währt schon einige Jahrhunderte und hat in unserer Zeit eine besonders scharfe Form angenommen.

In den „Verrückten“ Ideen“ wird nicht wenig über die Errungenschaften der sowjetischen Theoretiker und Experimentatoren gesagt. Ich erinnere mich an die Gespräche mit meinem Lehrer an der Fakultät für Elektrotechnik an der Marineakademie, A. A. Friedman, in den Jahren 1924 und 1925, als er sich für die Idee des Auseinanderlaufens der Galaxien begeisterte, die aus den Arbeiten Einsteins resultierte. Legte doch gerade eine „verrückte“ Idee den Grund zu einer völlig neuen Richtung in der Himmelsmechanik und der theoretischen Astronomie, die die allgemeine Aufmerksamkeit der Wissenschaftler auch in unseren Tagen weiterhin fesselt.

Das Studium ihrer Geschichte dient einer richtigen Einschätzung der Zukunft der Wissenschaft, denn erstere hat den Boden für die Entwicklung neuer Ideen geschaffen und nährt diese. Ich möchte an das seinerzeit (Ende des vergangenen Jahrhunderts) bemerkenswerte Buch „Das Welt-

gebäude“ von Dr. Wilhelm Meyer erinnern („Die Astronomie ist allgemeinverständlicher Darlegung“, ungefähr 700 Seiten, 300 ausgezeichnete Illustrationen, erschienen unter der Redaktion des großen russischen Astronomen und verdienten Professors an der Petersburger Universität, S. P. Glasenap). Ich studierte damals in der Marineschule und erinnere mich sehr gut, daß gerade dieses Buch mir beim Erwerb des Steuermannspatentes geholfen hat. Ich ahnte damals noch nicht, daß ich S. P. Glasenap in den Jahren 1918 bis 1922 noch oft begegnen und bei ihm Astronomie an der Universität Leningrad hören würde.

Ich möchte einige Behauptungen vom Ende des vorigen Jahrhunderts mit den Gedanken konfrontieren, die in den „Verrückten“ Ideen“ dargelegt werden.

Heute hat man sich an die Annahme gewöhnt, daß der Durchmesser unserer Galaxis Ausmaße von ungefähr 100 000 Lichtjahren hat. Im Buch „Das Weltgebäude“ von 1896 wird gesagt, das Licht benötige mehr als 3500 Jahre, um von den letzten Grenzen der Milchstraße bis in unser Auge zu gelangen. Da nun unser Sonnensystem etwa 27 000 Lichtjahre vom Zentrum der Galaxis entfernt ist, so ist gegenwärtig die Entfernung bis zu ihren „letzten Bereichen“, die jenseits ihres Zentrums liegen, auf 77 000 Lichtjahre zu schätzen. Der Fehler von damals ist also mehr als zwanzigfach... Aber noch interessanter ist die Vermutung über die „Grenze“ des sichtbaren Weltalls. Damals wurde gesagt, Herschel habe diese Entfernung auf eine halbe Million Licht-

jahre geschätzt. Weiterhin wurde bemerkt, Wilhelm Struve habe diese Einschätzung Herschels korrigiert: „Struve ... hat gefunden, daß der fernste Lichtstrahl, der überhaupt durch die absorbierenden Medien des Weltraums zu uns gelangen kann, keine halbe Million, sondern im ganzen nur 12 000 Jahre unterwegs sein kann. Folglich liegen hier jene *letzten Grenzen* (kursiv von Berg), bis zu denen irgendwann menschliche Forschung vorstoßen kann.“ Die Grenzen des beobachtbaren Weltalls sollten also bei 12 000 Lichtjahren liegen!.. Gegenwärtig beobachten wir Radiogalaxien, deren Licht uns ... in 5 Milliarden Jahren erreicht. Die Beobachtungsgrenze ist also um das 400 000fache von uns abgerückt, seit Struve vor 80 bis 90 Jahren diese Entfernung abschätzte, und sie ist um das 10 000fache weiter als der von Herschel vorausgesagte „Horizont“ des Weltalls. In Tschugujew bei Charkow existiert ein Radioteleskop, das eine Beobachtungsweite von 40 Milliarden Lichtjahren hat. Der bekannte amerikanische Astronom Harlow Shapley schätzte Anfang der vierziger Jahre in seinem interessanten Buch „Galaxien“, als radioastronomische Methoden und Mittel noch keine breite Anwendung gefunden hatten, die Möglichkeiten eines 70-m-Spiegels auf dem Mount Palomar in den USA mit stärkster spektrographischer Ausrüstung auf eine Milliarde Lichtjahre. Das war vor 20 Jahren der „Horizont“ der Astronomie. Somit hat sich dieser Horizont in 20 Jahren um das Mehrfache erweitert. Vom sich ausdehnenden Weltall schreibt Harlow Shapley, diese Ausdehnung finde nicht nur mit

Sicherheit statt, sondern sie erfolge mit geradezu erstaunlicher Geschwindigkeit. Während das gesamte Weltall seinen Radius bestenfalls innerhalb von 1300 Millionen Jahren verdoppele, so habe das uns im Weltall bekannte Gebiet seinen Radius im Laufe einer Generation verdreifacht. Nach Shapley ergibt sich also, daß sogar die optische Astronomie imstande war, „die auseinanderlaufenden Galaxien“ rasch „einzuholen“. Die Radioastronomie hat hier Korrekturen angebracht: Es sind bereits Radiogalaxien bekannt, die mit halber Lichtgeschwindigkeit „vor uns davonlaufen“. Die „Horizonte“ des beobachtbaren Weltalls werden noch rascher erweitert: Vor zwanzig Jahren waren es 1 Milliarde Lichtjahre, schon in den nächsten Jahren werden es mehr als 40 Milliarden Lichtjahre sein. Das heißt, unser „Horizont“ erweitert sich im Weltall mit einer Geschwindigkeit von 3 bis 4 Milliarden Lichtjahren in einem Jahrzehnt, während sich die am weitesten von uns entfernten Galaxien im gleichen Zeitraum 1,5 bis 2 Millionen Lichtjahre von uns entfernen. Wir holen sie rasch ein. Wir können somit jedes Jahr immer weiter in das sich ausdehnende Weltall vordringen, ungeachtet seiner Ausdehnung.

Das bedeutet, daß sich die „Horizonte“ der Wissenschaft mit größerer Geschwindigkeit ausweiten, als sich das Licht im Raum bewegt. Bedenkt man jedoch, daß es keine weitentfernte Galaxis gibt, die sich mit größerer Geschwindigkeit von uns fortbewegt als das Licht, während im Entwicklungstempo der Wissenschaften keinerlei Grenzen existieren, so werden wir in Zukunft,

vielleicht in gar nicht so ferner, über weit größere Möglichkeiten verfügen, die Geheimnisse des Weltalls aufzudecken, da die Maßstäbe der Wissenschaft uns seine Grenzen näherrücken. Die Radioastronomie wurde zu Beginn der dreißiger Jahre geboren. Ihre Möglichkeiten sind noch lange nicht erschöpft, aber schon entsteht ein neues Gebiet — die Neutrino-Astrophysik, die sehr wahrscheinlich imstande sein wird, die Astrophysik der Physik der Mikrowelt näherzubringen. Es wurde bereits festgestellt, daß die „Neutrino“-Leuchtkraft mancher Sterne ihre Licht-Leuchtkraft um ein Vielfaches übertreffen kann. Der bekannte Physiker Bruno Pontecorvo schrieb im Jahre 1963: „Nirgends tritt die Verbindung zwischen Mikrowelt und Kosmos so deutlich zutage, wie in der Neutrino-Physik. Kürzlich ist ein neues Wissenschaftsgebiet entstanden — die Neutrino-Astrophysik. Sie beschreibt eine Vielzahl von Erscheinungen, in denen das Neutrino eine erstrangige Rolle spielt. Erstens ist das Neutrino an einer Reihe von Prozessen beteiligt, die im Sterninneren vor sich gehen. Von Sternen emittierte und überhaupt aus dem kosmischen Raum kommende Neutrinos können in Versuchen auf der Erde registriert werden. Diese Seite der Neutrino-Astrophysik als Experimentalwissenschaft ist besonders verlockend.“

Die außerordentliche Kompliziertheit der Prozesse und Erscheinungen, die sich in der Makro- und der Mikrowelt vollziehen, hat den theoretischen Physikern besondere Anstrengungen abverlangt, als es galt, Methoden zu entwickeln, die den Schwierigkeiten der zu lösenden Aufgaben ent-

sprachen. Außerordentlich hohe Anforderungen wurden den Mathematikern gestellt. Und, wie aus vielen Kapiteln der „Verrückten“ Ideen“ zu ersehen ist, hat gerade die enge Zusammenarbeit zwischen Physikern und Mathematikern, zwischen denen in einer Reihe von Fällen alle Unterschiede fielen, jene erstaunlichen Erfolge gewährleistet, von denen im Buch die Rede ist.

Das interessante Buch Irina Radunskajas umfaßt viele Gebiete der sich rasch entwickelnden Wissenschaft. In unserem Nachwort verweilten wir nur bei einigen Fragen. Wenn dieses Buch das Interesse der Jugend auf sich zieht und das Bedürfnis nach Kenntnissen, nach Ausbildung und Forschung weckt, so kann die Autorin ihre Aufgabe als erfüllt betrachten. Aber wir möchten besonders hervorheben, daß das Buch Irina Radunskajas nicht nur interessant, ja mit Phantasie und großer Begabung geschrieben wurde, sondern daß es auch die aktuellsten Probleme der Wissenschaft vortrefflich interpretiert. Die Rolle der populär-wissenschaftlichen Literatur bei der Bildung und Erziehung der jungen Erbauer des Kommunismus läßt sich kaum überschätzen. Die Autorin hat sich nicht etwa die ihre Kräfte übersteigende Aufgabe gestellt, die gesamte Wissenschaft zu erfassen, vielmehr hat sie sich auf die Physik beschränkt. Aber auch in der Physik konzentriert sie die Aufmerksamkeit nur auf die sich besonders rasch entwickelnden Gebiete — die Quantenphysik und die Relativitätstheorie — und deren Anwendungen; sie konzentriert sich auf die neuen Aufgaben — die Radioastronomie und die Quantenelektronik, die an den Berüh-

rungspunkten verschiedener Gebiete der Physik, in den Grenzbereichen der überhohen Drücke und der tiefsten Temperaturen entstanden sind. Gerade auf diesen Gebieten entstanden und entstehen „verrückte“ Ideen, denn zu ihrer Weiterentwicklung sind „Sprünge“ notwendig. Eine einfache Anwendung und sogar eine Vervollkommnung alter Wahrheiten kann heute nichts mehr geben. Versuche einer evolutionären Entwicklung der Wissenschaft führen zu einer Stagnation; will man sich vorwärts bewegen, dann muß man in solchen Fällen das Hindernis überspringen oder es zerstören.

Die Autorin zeigt, daß alle Schöpfer genialer Theorien oder frappierender Versuche Menschen sind, denen Fehler und Irrtümer nicht fremd sind und die um den Preis ungeheurer Arbeit zu ihren Entdeckungen gelangten. Die Entwicklung der Wissenschaft ist weniger das Resultat einer plötzlichen Erleuchtung einzelner, sondern vielmehr die Frucht der organisierten und zielstrebigsten Arbeit vieler einfacher, aber sehr beharrlicher und arbeitsliebender Menschen guten Willens.

Und hierin besteht meiner Meinung nach die Hauptbedeutung des Buches.

Akademiemitglied *A. I. Berg*

# INHALT

## STATT EINER EINLEITUNG

Lichtblick oder Irrtum?	8
Ein neuer Herkules	13
Der große Wirrkopf Äther	19
Ein Schritt zur Abstraktion	23
Erste Verliebtheit	28
Ätherschweife	31
Zwei Retter	35
Revolution in der Physik	38
Ein kleines Weltall	45
Protokoll des Unerklärlichen	48
Ausbruch der Leidenschaft	52
Der mathematische Fleischwolf	55
Die dritte Attacke	57
Der Kopenhagener „Schmelzriegel“	59
Ein hoher Preis	62
Die duale Lösung	64
Der große Streit	66
Fortsetzung folgt	69

## VOM HIMMEL AUF DIE ERDE

Das Rätsel des blauen Himmelslichtes	78
Die erste Lösung	80
Der Streit	85
Übereinstimmung	89
Das Himmelslicht muß flimmern!	91
Scharfsinn und Arbeit	93
Eine seltsame Entdeckung	96
Mit Hilfe der Sonne	97
Wie Kolumbus	100
Der Tanz der Atome	102
Hand in Hand	103
Siebenunddreißig Jahre danach	105

## WETTLAUF MIT DEM LICHT

In der Dunkelheit	110
Seltsames Leuchten	111
Temperament kontra Tatsache	113
Was sieht er?	116
Die Druckwelle des Lichts	119
Wie ein Tennisschläger	121
Die Bekanntschaft vertieft sich weiter	124
Die Trägen nicht bemerken!	127
Mit der Kanone auf Spatzen	129
Das zweite Leben der Entdeckung	130

## SPUREN IM NEBEL

Wer entkleidet die Atome?	136
Die gefundene Welt	140
Spuren im Nebel	144
Der unsichtbare Schauer	149
Der widerspenstige Flaschengeist	152
Negative Fische	155
Kaskade der Sensationen	158
Einer mit drei Gesichtern	161
Auf dem „Dach der Welt“	163
Eine ungenießbare Sülze	164
Der Schauer in der Falle	167
Wie alt bist du, Weltall?	171
Die Korona der Erde	173

## DURCH DEN TOD GEBOREN

Auf den Spuren einer Katastrophe	178
Der Schlüssel zum Geheimnis	179
Beim Blättern in Chroniken	181
Durch die Jahrhunderte	183
Klingende Galaxien	185
Die Farbe der Jugend	187
Die Freigiebigkeit der Supernovae	189
Wie Atome gekocht werden	191
Das ungelöste Kreuzworträtsel	193

## DER DOPPELGÄNGER DES MONDES

Ein Cocktail oder ein Käselaib?	198
Staub	199
Der schwarze Mond	202
Eine Gleichung mit vielen Unbekannten	206
Der Mond muß erhitzt werden	210
Das Laboratorium auf den Vulkanen	214
Lunit	216

## WIE DURCH KOHLENSÄCKE HINDURCH

Das Rätsel der Milchstraße	224
Der eigensinnige Tintenklecks	225
Der Fleck ist ausgelöscht	228
Das achte Weltwunder	231
Im Innern des Kohlensackes	234
Ein Zufall?	236

## DER WEG ZU DEN WEISSEN ZWERGEN

Das Wunder des Britischen Museums	240
Diamantenfieber	243
Explosionsrohre	246
Von der Abkühlung zur Kompression	249
Heißes Eis	253
Weiße Zwerge	255
Wie Soldaten in einer Ordnung	258
Das Ziel ist erreicht	260
Härter als Diamant	264
Ein Topf für Grütze	266
Den Gewohnheiten vertrauen?	268
Zwei Seiten einer Medaille	269
Die Standhaftigkeit der Brotkrume	272

## AUF DEN SPUREN DER „ZINNPEST“

Wer ist der Übeltäter?	278
Auf der Sonne entdeckt	279
Ein Gas mit Doppelgesicht	282
Die weiße Krähe	284
Wohin führten die Spuren?	288
Eine Herausforderung der Physik	291

Formeln in der Verteidigung	294
Die Enthüllung	297
Nicht nach den Regeln	300
Versöhnte Feinde	302
Der Vorteil der Kälte	307
Quasiteilchen	312
Man muß es beweisen können	315
Keine Ruhe	320

#### OHNE DEN „DÄMON“

Unterscheiden sich die Moleküle?	324
Die Suche nach dem „Dämon“	325
Die „Teufelei“ mit dem Lämpchen	327
Am Scheideweg	329
Strahlen in Gefangenschaft	332
Kosmisches Billard	333
Verlockende Idee	337
Futter auf billigere Art	339
NH <sub>3</sub>	342
Die unsichtbare Pyramide	344
Wie ein Handschuh	347
Neue Schwierigkeiten	349
Ohne Dämon	350
Umsonst gibt es nichts	354
Das Hochfrequenzfaß	357
Wozu?	360
Aus dem Kosmos ins Labor	363
Kein leichter Sieg	366
Ohne Rauschen	370

#### GARIN HATTE UNRECHT

Ein Forscher namens Fabrikant	376
Das Rätsel der Kometenschweife	376
Durch Licht gestützt	378
Ideen liegen in der Luft	382
Friedliche Strahlen	385
Todesstrahlen	388
Es gewinnen alle	391

**WO IST DIE ANTIMATERIE ZU SUCHEN?**

Die Welt im Spiegel	396
Wie, was und warum?	399
Gleichberechtigung mit ungleichem Recht	400
Kann man dem Zufall trauen?	403
Ein nicht gefangener Dieb	406
Rasende Teilchen	411
Die Astronomie des Unsichtbaren	414
Das Echo in den Bergen	417
Sind die Vermutungen richtig?	420
Die Sprache der Antiwelt	424

**EINE REISE AN DAS „ENDE DER WELT“**

Die Notiz in der Zeitschrift	428
Wer ist er?	429
„Offenes“ oder „geschlossenes“ Weltall?	432
Die Strafe für die Vereinfachung	436
Was tat Gott bis zur Erschaffung der Welt?	440
Das kosmische Schloß	442
Teilnehmer an einem grandiosen Schauspiel	445

**KOSMISCHE VERJÜNGUNG**

Der verschwundene Tag	450
Der Sohn ist älter als der Vater	452
Wer ist nun jünger?	455
In der Zeitmaschine	461
Der Häuptling der großen Relativität	468
„Noch nicht gehenkt“	473
Der Massendefekt	475
Die launischen Sterne	480
Todbringende „Staubteilchen“	483
Supernovae	487

**AN DER SCHWELLE ZU NEUEN „VERRÜCKTHEITEN“  
(ANSTELLE EINES SCHLUSSWORTES)**

Moderne Alchimie	500
Neutron gegen Elektron	506
Die Geburt der Antiteilchen	511
Entdeckungen und Enttäuschungen	514

<b>Ein neuer Akt</b>	<b>521</b>
<b>Ein schwacher Linkshänder</b>	<b>525</b>
<b>Ein Strom von Teilchen</b>	<b>530</b>
<b>Seltsame Teilchen</b>	<b>534</b>
<b>Neue Gesetze</b>	<b>537</b>
<b>Quanten und Buddha</b>	<b>542</b>
<b>Magische Zahlen</b>	<b>545</b>
<b>Ist das verrückt genug?</b>	<b>553</b>
<b>NACHWORT</b>	<b>557</b>

**An die Leser!**

Der Verlag Mir würde Ihnen sehr dankbar sein, wenn Sie Ihre Vorschläge und Bemerkungen betreffs der Übersetzung und Gestaltung des Buches schicken würden.

Unsere Anschrift: 129 820, Moskau I-110,  
GSP, 1 Rishskij per. 2, Verlag Mir.



**„VERRÜCKTE“ IDEEN**  
Das ist ein Buch über die moderne Physik, Astronomie, Astrophysik und Quantenmechanik sowie über Menschen, die sie vorantreiben. In einer Reihe populär-wissenschaftlicher Essays schildert der Autor eine Geschichte erstaunlicher Entdeckungen, die es gestatten, die Welt neu aufzufassen. Es wird über die geheimnisvolle Tscherenkow-Strahlung und den Effekt der Relativität der Zeit, über die Erforschung des Kernes der Galaxis und die Schaffung der Quantengeneratoren u. a. berichtet.



# Verlag Mir Moskau

## IRINA RADUNSKAJA

Die Skizzen  
und Dokumentarberichte  
der jungen  
Schriftstellerin  
Irina Radunskaja ziehen  
die Aufmerksamkeit  
eines breiten  
Leserkreises auf sich.

IRINA RADUNSKAJA  
absolvierte die Moskauer  
Hochschule  
für Flugwesen  
in der Fachrichtung  
Funktechnik.  
Sie begeisterte sich  
für Musik und Poesie.  
Aber die erobernde  
Macht der Wissenschaft,  
ihre Riesenerfolge  
und fesselnde  
Geheimnisse überwanden

alle übrigen  
Liebhabereien.  
Die junge  
Schriftstellerin  
tritt mit gutem Erfolg  
in zentralen Zeitungen  
und Zeitschriften  
mit bewegten  
Berichterstattungen  
über jüngste Entdeckungen,  
mit publizistischen  
Grübeleien über  
aktuelle Probleme  
der modernen  
Wissenschaft auf.