

PASSAT

PASSAT-BÜCHEREI



K. Andrejew/D. Danin

Grenzen unserer Welt

Urania-Verlag

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur

Leipzig / Jena / Berlin

Die Beiträge wurden dem Sammelband: „Wege ins Unbekannte. Schriftsteller erzählen über die Wissenschaft.“

Verlag „Der Sowjetschriftsteller“, Moskau 1960, entnommen und unwesentlich gekürzt

Aus dem Russischen übertragen von Bolko Schweinitz, Jena

•

Die Passat-Bücherei wird gemeinsam herausgegeben vom Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin,
vom Verlag Neues Leben, Berlin, und vom Verlag Volk und Gesundheit, Berlin
Alle Rechte vorbehalten · Copyright 1963 by Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin
1. Auflage, 1.— 25. Tausend · VLN 212-475/10/63 · ES 18 A
Einband: Eberhard Binder, Staßfurt
Zeichnungen: Rolf Müller, Gera
Satz, Druck und Buchbinderei: (III/9/1) Druckerei Sächsische Zeitung, Dresden
Printed in the German Democratic Republic

VORWORT DES VERLAGES

Die utopischen Träume von gestern sind die Wirklichkeit von heute. In den letzten Jahrzehnten hat der Mensch gewaltige Vorstöße in das geheimnisvolle Reich des Mikrokosmos, der Elementarteilchen, und in den Makrokosmos des Weltalls unternommen. An der Schwelle des Kommunismus stehend, ist er dabei, den Gedanken Friedrich Engels' vom „Riesen Mensch“ zu verwirklichen.

Die sowjetischen Schriftsteller K. Andrejew und D. Danin haben es meisterhaft verstanden, die wissenschaftlichen Probleme der Erforschung des Weltalls wie auch der „Welt im Kleinen“ in fesselnder Weise darzustellen. In „Vorstoß ins Unbekannte“ berichtet Andrejew über die Geschichte der Eroberung des Weltraums von den ersten Utopien der Menschheit bis zur modernen Astronautik. D. Danin hat sich in der Erzählung „Forschungsreise ins Atom“ mit der Erforschung der Materie in ihren kleinsten Bereichen, den sogenannten Elementarteilchen, beschäftigt, die nicht weiter zerlegbar sind. Am Beispiel der Photonen wird uns die neue, lange Zeit unbekannte Welt der kosmischen Strahlung gezeigt.

Durch den Start der Erdsatelliten und Raumschiffe ist es möglich geworden, diese kosmische Strahlung zu studieren. Andererseits hat erst die Grundlagenforschung den Menschen in die Lage versetzt, den Aufbau der Materie und deren Eigenschaften bei hohen Geschwindigkeiten zu erkennen und damit der Kernphysik neue Impulse zu geben.

An diesen Beispielen erweist es sich, wie eng die verschiedenen Disziplinen der Naturwissenschaft und Technik miteinander verbunden sind, so wie hier die scheinbar getrennten Gebiete der Astronautik und der Grundlagenforschung. Sie bilden eine Einheit; neu gewonnene Erkenntnisse auf dem einen Gebiet bringen die Entwicklung auf anderen voran. So wird der Mensch in die Lage versetzt, die Natur zu beherrschen und ihre Gesetze zum Nutzen aller anzuwenden. Neue Erkenntnisse über die Struktur der Materie und den Bau des Weltalls werden erschlossen. Die Grenzen unserer Welt weiten sich!

Kirill Andrejew

VORSTOSS INS UNBEKANNTE

Das Reich der Leere

Wenn ein Tiefseefisch, der in den dunklen Schlünden des Ozeans lebt, wie ein Mensch denken könnte, würde er trotzdem nicht an das Bestehen einer anderen Welt, einer Welt außerhalb der Tiefen des Ozeans, glauben. Für diesen Tiefseefisch gibt es kein anderes Weltall als das dunkle, kühle Wasser des Ozeans, das mit vielen hundert Atmosphären auf seinem Körper lastet und nur ganz schwach durch den phosphoreszierenden Schein der kleinen Laternen erhellt wird, die sich am Ende seiner länglichen Tastorgane befinden. Und da ein solcher Fisch seinem organischen Aufbau nach auch nicht in einer anderen Umwelt leben kann, wäre es ihm gar nicht möglich, sich eine andere Welt vorzustellen, eine Welt ohne den hohen Wasserdruck, in der man nicht von dem wohltuenden, dunklen und kühlen Wasser, sondern von Gasen umgeben ist; wo es nicht die angenehm gleichbleibende Temperatur von vier Grad gibt, wo eine sengende Hitze mit tödlicher Kälte wechselt, wo das blendende Licht des Tages von dem Dunkel der Nacht abgelöst wird und das Wasser – für den Tiefseefisch die einzige Lebensquelle – die Bewohner dieser Gaswelt nicht von allen Seiten umspült, sondern in Flüssen und Bächen fließt und manchmal – o Wunder – sogar als Regen, Nebel oder Schnee in der Luft fliegt.

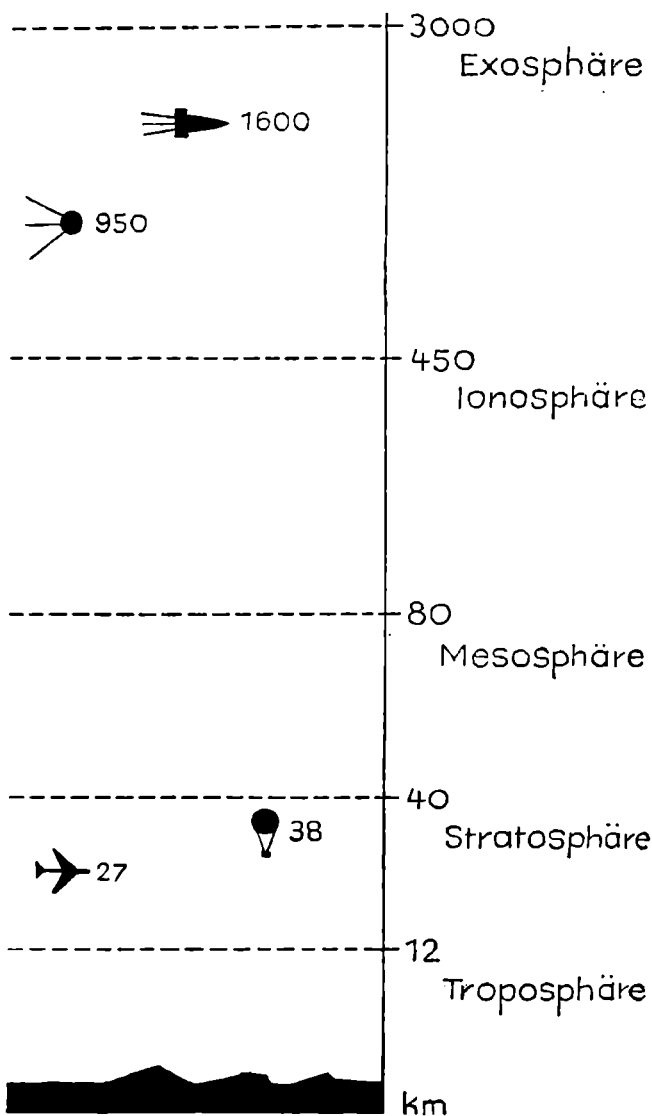
Das Leben entwickelte sich in den Meeren, und die Wasser der Ozeane waren auf unserem Planeten Millionen von Jahren die einzige Stelle, die von Lebewesen bewohnt wurde. Der Aufbau des menschlichen Auges und seine Empfindlichkeit gegenüber Strahlen bestimmten Lichtes sagen heute noch darüber aus, daß unsere weit entfernten Vorfahren im Meer geboren wurden und sich Millionen Jahre darin aufhielten, bevor sie das Land eroberten.

Hunderte Millionen Jahre sind seitdem vergangen, doch die Menschen, die die Erde erobert und sich nutzbar gemacht haben, sind bis heute Gefangene des Ozeans geblieben, allerdings nicht mehr des nassen Elements, sondern des Luftozeans. Wir leben tief unten auf dem Grund dieses Ozeans, und Hunderte von Kilometern über unseren Köp-

fen erhebt sich die Erdatmosphäre. Trübe und undurchsichtig ist dieser Luftozean, der uns so klar erscheint; zwanzigtausend Kubikmeter Wasser in Form von Dampf und Wolken befinden sich in der Luft, und Zehntausende Tonnen von vulkanischem und Meteoritenstaub verhängen wie ein grauer Schleier den Himmel, den wir klar und hell nennen. Selbst wenn der Himmel am Tage wolkenlos und blau ist, wie wir sagen, können wir die Sterne nicht sehen, da das Sonnenlicht von der Luft zerstreut wird. Und was wir als helle Sonne bezeichnen, ist im Verhältnis zu dem wirklichen Glanz unseres riesigen Licht- und Wärmespenders nur eine trübe Scheibe. Dazu kommt, daß das menschliche Auge nur sehr unvollkommen ist. Es ist uns von den ozeanischen Verfahren vererbt und sieht nur einen Bruchteil der von der Sonne ausgehenden Strahlen. Sieben Farben, Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett, sind das gesamte uns zugängliche Spektrum. Dabei liegen auf der einen Seite dieses Spektrums noch die infraroten Strahlen – das „warme Licht“ – und dahinter die langwelligen Strahlen, die wir als Radiowellen bezeichnen. Auf der anderen Seite des sichtbaren Spektrums befinden sich die ultravioletten Strahlen, die unsichtbaren Röntgenstrahlen und die dem menschlichen Auge ebenfalls nicht zugänglichen Gammastrahlen.

Um dieses unsichtbare Licht direkt sehen zu können, müßte der Mensch einen sechsten, siebenten und wer weiß wieviel Sinne haben. Ein törichter Wunsch? Phantasie! Nein, der Mensch hat sich diese ihm fehlenden Sinnesorgane längst künstlich geschaffen; es sind Geräte, die jeden beliebigen unsichtbaren Strahl erfassen und dem Menschen vermitteln. Ja, wir könnten viel mehr über das Weltall wissen, wenn unsere Atmosphäre nicht so „trübe“ wäre.

Hoch über uns verhindert eine Ozonschicht das Eindringen von ultravioletten Strahlen, die auf den menschlichen Organismus tödlich wirken. Das ist unser Glück; auf der anderen Seite hat diese Angelegenheit aber einen Haken: Indem die Ozonschicht uns das Leben rettet, verdeckt sie uns gleichzeitig das Fenster ins Weltall. Noch höher, achtzig bis hundert Kilometer über der Erdoberfläche, befindet sich eine Schicht, die elektrisch geladen ist. An dieser prallen die



Die Schichten der Erdatmosphäre

von der Sonne, den Sternen und den fernen Galaxen kommenden Radiowellen wie an einer Betonmauer ab, und nur ganz schwache Ströme, die das Hindernis überwinden, gelangen zu uns auf die Erde.

Und dort, hinter dem Hunderte Kilometer weiten atmosphärischen Ozean, der keine klaren Grenzen besitzt und allmählich in den interplanetaren Raum übergeht, liegt das geheimnisvolle und unerforschte Reich der Leere – das Weltall –, das unsere Erde umgibt. Es ist ein düsteres und phantastisches Reich, mit einem tödlich schwarzen Himmel, mit einer unerträglich grellen, silbern-violetten, durchsichtig scheinenden Sonne, auf der Protuberanzenfontänen lodern und die von einer flammenden Korona umgeben ist. Die hier gleichmäßig leuchtenden Sterne – übrigens ein ganzes Meer von Sternen – scheinen wie bunte Pfeilspitzen direkt auf den Beobachter zuzufliegen. Kein irdischer Laut stört die Stille, nur die ewig brausenden und tobenden Atomexplosionen der Sonne erfüllen den Raum mit einem gleichmäßigen Rauschen; hier gibt es weder Winde noch Wetter, weder Tag noch Nacht. Und irgendwo daneben – denn oben oder unten zu sagen, wäre in diesem Fall nicht angebracht – dreht sich langsam, sehr langsam die große Erdkugel mit ihren Wolkenstreifen, mit den dunklen Flecken der Meere und Ozeane, eingehüllt in den Ozean der Atmosphäre, die die Grenze unserer Welt bedeutet.

Am 4. Oktober 1957 durchbrachen wir diese Grenze und drangen in das Reich der „Leere“ ein.

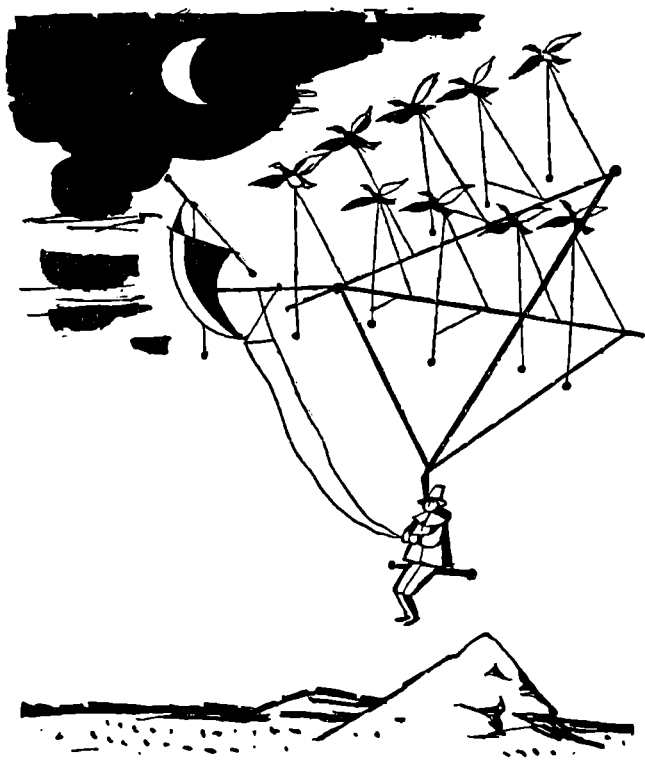
Ein uralter Traum der Menschen

Schon Jahrtausende träumten die Menschen davon, die Sterne zu erobern. „... Nachdem Lukian und seine Gefährten die Säulen des Herkules passiert hatten und in den Atlantischen Ozean eingedrungen waren, wurden sie 79 Tage lang von einem stürmischen Ostwind über das aufgewühlte und düstere Meer getrieben.

Eines Tages wurde ihr Schiff von einem gewaltigen Wirbelwind erfaßt und dreitausend Fuß hoch gehoben, und seitdem segelten sie am Himmel entlang. Sieben Tage und sieben Nächte schon schwebten sie im weiten Raum, als sie am achten Tag an eine große, runde, glänzende Insel gelangten, die in der Luft hing. Von hier aus konnten sie die Erde mit ihren Flüssen, Meeren, Wäldern und Städten sehen, in denen es wie in einem Ameisenhaufen wimmelte.“ So beginnt *Lukian von Samosate*, der im 2. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung lebte, sein Buch: „Eine wirkliche Geschichte. Die Reise zum Mond, zur Sonne und zu den leuchtenden Inseln, die zwischen den Plejaden und den Hyaden liegen“. So phantastisch wie der Anfang, so phantastisch ist auch der weitere Inhalt dieser Geschichte. Danach sollten die auf dem Mond lebenden Menschen auf dreiköpfigen Vögeln reiten, deren Flügel den Segeln eines großen Schiffes entsprachen. Die unfreiwilligen Reisenden wurden vor den König der Mondbewohner gebracht und hatten Gelegenheit, sich mit den Verhältnissen auf dem Mond vertraut zu machen. Sie erfuhren, daß die Mondmenschen unsterblich sind. Wenn sie sehr alt geworden sind, wandeln sie sich in Rauch um. Sie essen auch nicht, sondern atmen den Duft gebratener Frösche ein, trinken Luft, besitzen nur eine Zehe an den Füßen, können die Augen herausnehmen und haben im Bauch eine mit Haaren bewachsene Falte, in die sie bei kalten Tagen ihre Kinder stecken. Die Reichen kleiden sich in Stoffe aus weichem Glas, die Armen in solche aus Kupfer. Der Flug zum Mond und zu den Sternen war jahrhundertlang ein sehr strapaziertes Thema der Dichter und Schriftsteller. Im Altertum und im Mittelalter kannte man den Begriff „luftleerer Raum“ noch nicht. Deshalb schien den Menschen früher vieles sehr einfach, was uns heute unmöglich oder sehr kompliziert dünkt. Man dachte, die Luft würde den ganzen Raum zwischen der Erde und den kristallinen Sphären der unbeweglichen Sterne einnehmen, und meinte, man brauche nur wie ein Vogel zu fliegen, um bis zu den entferntesten Planeten zu gelangen. In diesen Büchern sind phantastische Gedanken, zaghafte wissenschaftliche Theorien, naive Unkenntnis und grenzen-

loser Glaube an die Macht des menschlichen Genius auf die seltsamste Art miteinander verknüpft. Manchmal erinnern uns phantastische Erzählungen an wissenschaftliche Abhandlungen, während uns verschiedene Projekte von Gelehrten und Ingenieuren als Phantasie erscheinen. Doch alle stimmen sie in dem unerschütterlichen Glauben überein, daß der Mensch es früher oder später lernen wird, zu den Sternen zu fliegen.

Im Jahre 1638 gab der Engländer *Francis Godwin* in London das Buch „Der Mensch auf dem Mond“ heraus. Der



Gonzales fliegt mit gezähmten Riesengänsen zum Mond

Held des Romans, der spanische Edelmann Dominique Gonzales, wird auf die Insel St. Helena verschlagen, die zweihundert Jahre später so berühmt werden sollte. Gonzales findet dort keine Menschen vor und beginnt aus Zeitvertreib, wilde Schwäne zu zähmen. Sehr bald gehorchen die Schwäne ihm aufs Wort. Er spannt sie in ein Gespann ein, und die gehorsamen großen Vögel heben Gonzales in die Luft und lassen sich von ihm lenken.

Als er sich auf dem Heimweg befindet, sinkt das Schiff, doch die Schwäne retten ihm das Leben und tragen ihn auf die Insel Teneriffa, die größte der Kanarischen Inseln, wo sie sich auf dem höchsten Berg niederlassen. Die Zeit des Herbstfluges naht und läßt die Schwäne unruhig werden. Schließlich siegt ihr Wandertrieb über die Dressierkunst Gonzales. Die Schwäne machen sich auf die Reise und nehmen ihren Herrn mit. Zwölf Tage schon dauert der Flug, und über dem Kopf des unfreiwilligen Reisenden wird die silberne Kugel, der Mond, auf den die Schwäne zusteuern, immer größer.

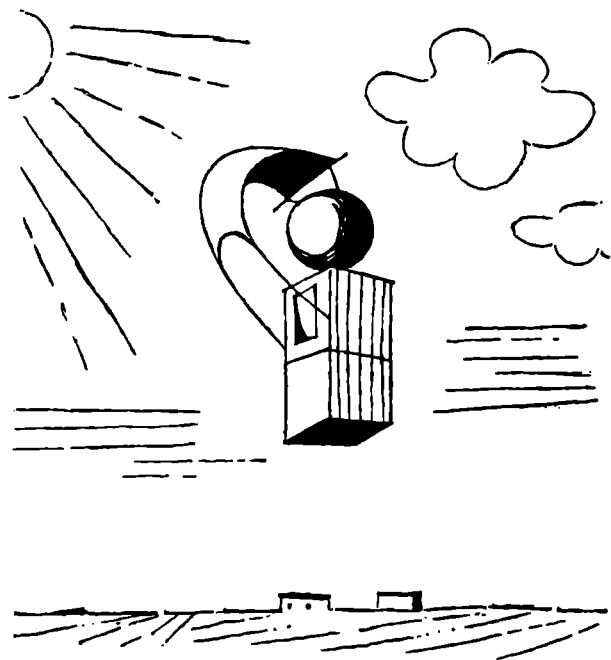
Die Luftequipage von Gonzales besteht aus einer einfachen Holzstange, auf der der kühne Mondforscher sitzt und sich an zwei Schnüren festhält. Dem Leser wird es sicher seltsam erscheinen, daß man zwölf Tage und Nächte auf einer Stange sitzen kann, doch um das zu verstehen, muß man wahrscheinlich ein kastilianischer Edelmann sein. Nach Gonzales (und somit nach Godwin) sollten Körper in großen Höhen schwerelos sein. Ebenso würde ein Mensch in ätherischen Weiten weder Hunger noch Durst verspüren . . . Gonzales landet schließlich auf dem Mond und findet hier alles ganz anders als auf der Erde. Wollte man zum Beispiel hochspringen, so würde man nicht wieder auf die Mondoberfläche zurückgelangen, sondern 50 bis 60 Fuß hoch im Kraftfeld des Mondes schweben. Die Tage und Nächte dauern auf dem Mond ein halbes Jahr; die Bewohner schlafen am Tag, und in der Nacht wird ihre Welt vom ruhigen Licht der Erde erhellt.

Hinter den Sphären des Mondes und der Sonne sollen sich die Gebiete der himmlischen Gewässer befinden. So lehrten es *Philon von Alexandria*, der heilige *Augustinus*, *Thomas*

von Aquino und andere – für die damalige Zeit Autoritäten, an deren Worten nicht gezweifelt werden durfte. Als Beispiel unantastbarer Autorität sei *Aristoteles* angeführt: Dieser große Gelehrte und Philosoph der Antike behauptete, die Insekten hätten acht Beine. Die mittelalterliche Scholastik übernahm diese Lehre ohne jegliche Kritik, und es dauerte tausend Jahre, bis jemand auf den Gedanken kam, die „Sechsfüßer“ zu untersuchen und die Autorität Aristoteles anzugreifen.

Auch der voller Ironie und Satire steckende französische Erzähler *Cyrano de Bergerac* schlug einige sehr seltsame Methoden vor, um auf den Mond zu gelangen.

In seinem scharfsinnigen Buch „Komische Geschichten der



Bergeracs Flugwagen

Staaten und Reiche des Mondes“ (1662) gelangt der Held in den interplanetaren Raum, indem er sich mit Gräsern voller Tau behängt, der von der Sonne angezogen wird, oder sich mit dem Gehirn eines Stiers einreibt, das ihn beim Trocknen zu den Sternen emporhebt, und in einem magnetischen Wagen reist, vor den eine eiserne Kugel geschleudert wird, die den Wagen nach sich zieht. Schließlich setzt sich der Held in ein kristallenes Schiff, das von der Kraft des gespiegelten Lichtes vorwärtsgetrieben wird, und zum Schluß in ein Faß, das durch ein Feuerwerk hochgetrieben wird.

In der wissenschaftlichen Abhandlung des Bischofs *John Wilkins* „Betrachtungen über die neue Welt und andere Planeten“ schlägt der Autor, um auf den Mond zu gelangen, ganz naiv vor: „Man muß sich Flügel anlegen und den Flug der Vögel nachahmen oder sich auf den Rücken eines Riesenvogels setzen, der, wie erzählt wird, auf Madagaskar leben soll, oder schließlich eine fliegende Kalesche bauen, wie einst Archid eine hölzerne Taube anfertigte.“

Der große Gelehrte *Johannes Kepler* lebte in einer Zeit, in der die Schatten des dunklen Mittelalters noch die Schwellen der anbrechenden neuen Zeit verdunkelten und die Gemüter der Menschen noch von Aberglauben und Mystik umnebelt waren. Seine Mutter war der Hexerei angeklagt, es drohte ihr der Scheiterhaufen, und Kepler führte zu ihrer Verteidigung lange Jahre Prozesse. Obwohl er ein aufgeklärter Geist und seiner Zeit weit voraus war, führte er doch noch Zauberbücher, stellte Horoskope auf und glaubte an den geheimnisvollen Einfluß der Zahlen auf den Menschen. Unter seinen „Zauberbüchern“ befindet sich eine kurze, kaum bekannte Schrift über die Reise zum Mond, den er in Verschleierung seiner Gedanken – mit der Inquisition war nicht zu spaßen – „Levania-Insel“ nannte. Die Erde umschrieb er mit „Volva“, die Sich-Drehende. Kepler glaubte fest daran, daß es dem Menschen gelingen würde, den Mond und andere Planeten zu erreichen, hütete sich aber – das Beispiel von *Giordano Bruno* und seiner Mutter vor Augen – diesen Gedanken laut auszusprechen.

Im 17. Jahrhundert wurde auch der erste Versuch gemacht, die mutmaßliche Atmosphäre zu durchstoßen und die Ro-

tation der Erde zu messen. Es war in der Gegend von Strassbourg, wo der Kommandant der Festung Petit ein kühnes Experiment startete: Er richtete das Rohr einer Kanone senkrecht zum Himmel und schoß mehrere Versuchsgranaten ab. Leider ist über das Ergebnis dieser phantastischen Experimente nichts bekannt geworden.

Man könnte aus der Literatur des 18., 19. und besonders des 20. Jahrhunderts über das Thema der interplanetaren Reisen eine gewaltige Bibliothek zusammenstellen. An dieser Stelle sei es gestattet, die wichtigsten dieser Bücher zu streifen.

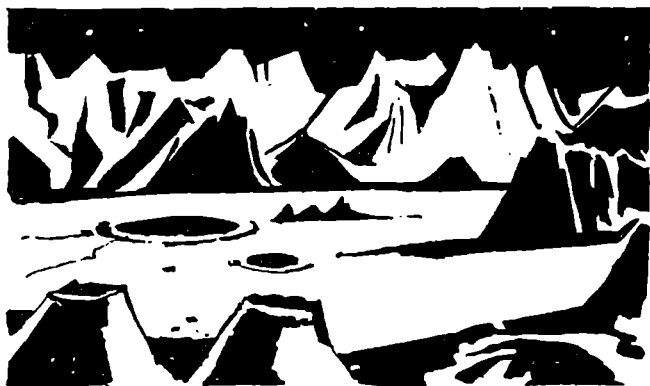
Da wäre als erstes die Erzählung von *Edgar Allan Poe* „Die ungewöhnliche Reise des Hans Pfaals“. Poe läßt seinen Helden in einer Kugel zum Mond fliegen, die mit einem vierzehnmals leichteren Gas als Wasserstoff gefüllt ist. Der Raumfahrer befindet sich im Innern der Kugel in einer hermetisch abgeschlossenen Kabine. *Jules Verne* schießt seine Helden mit einer riesigen interplanetaren Kanone in den Weltraum, und *Andre Lori* schlägt vor, den Mond mit einem riesigen Magneten so nahe an die Erde heranzuziehen, daß man hinüberspringen kann. *Le Four* und *Graffini* hoffen, durch die Komprimierung des Lichtes auf den Mond zu gelangen, und der Amerikaner *John Astor* benutzt zu seinem Raumschiff die Kraft des elektrischen Rückstoßes. *Herbert Wells* beziehungsweise dessen Held entdeckt den schwerelosen Stoff „Keiworit“, baut daraus eine Rakete und fliegt mit dieser zum Mond. Wenn uns auch heute vieles in diesen Büchern naiv und simpel erscheint, so darf man nicht vergessen, daß die utopischen Romane seinerzeit mit großem Interesse gelesen wurden und bestimmt viele Menschen dazu anregten, in dieser Richtung zu arbeiten und zu forschen.

Um diese Behauptung zu belegen, genügt es, den Leser auf einen Absatz aus Jules Vernes Roman „Die Reise um den Mond“ aufmerksam zu machen, der im Jahr 1870 erschien: „So behauptete Nicole, das Geschloß würde beim Aufprall auf den Mond wie Glas zerspringen. Doch Ardenne widersprach und meinte, das Geschloß könne mit Raketen abgebremst werden, wenn man diese nahe am Raketenboden abbrennen würde. Und tatsächlich hätten die Raketen mit

einem Widerstandspunkt am Geschosßboden eine entgegengesetzte Richtung des Geschosses hervorgerufen und die Fallgeschwindigkeit im gewissen Maße vermindert.“

Und was erblickten die Helden des französischen Schriftstellers auf dem Mond beziehungsweise auf der von der Erde aus unsichtbaren Seite des Mondes?

„Kurz darauf sahen die drei Freunde im grellen Lichtschein die geheimnisvolle Halbkugel, die sich ihnen als ersten Erdbewohnern darbot. Sie war von länglichen, milchigen Streifen umgeben, die in der stark verdünnten Atmosphäre wie Wolken erschienen. Unter diesen Streifen leuchteten nicht nur die Gebirge, sondern auch alle anderen Unebenheiten des Mondreliefs, die Berggipfel, die gähnenden Schluchten, die breiten Krater, ähnlich wie auf der sichtbaren Hälfte des Mondes. Weiter fielen ihnen riesige Ebenen auf mit großen Meeren, deren Wasserspiegel grelle Blitze von den



im Äther märchenhaft leuchtenden Feuerwerken widerspiegeln. Beim Aufblitzen des Lichtes sahen sie auch dunkle Flächen, die an große Waldgebiete erinnerten.“

Jules Verne beschrieb dieses Bild der Mondlandschaft vor fast hundert Jahren. Damals war es nur ein Traum, doch ein realer Traum, der die Menschen dazu anregte, sich intensiv mit der Eroberung des Reiches der Leere zu beschäftigen.

Ende des 19. Jahrhunderts wurden auf dem Gebiet der Astronomie große wissenschaftliche Erfolge erzielt. Neben dem Teleskop erschienen das Spektroskop und die Himmelsfotografie, wurden die Entfernungen zu den Sternen gemessen und deren chemische Bestandteile festgestellt. Schließlich bestimmte man auch die Grenze der Atmosphäre, hinter der sich der interplanetare Raum erstreckt.

Das Reich der Leere war entdeckt. Als nächstes stand der Menschheit bevor, dieses zu erobern. Doch ehe man die verschlossene Tür öffnen konnte, mußte man erst den Schlüssel dazu haben.

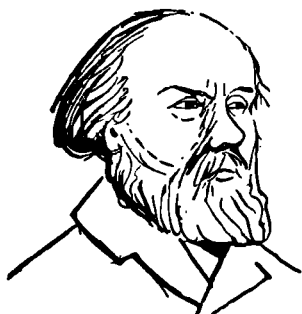
Der Schlüssel zum Reich der „Leere“

Wenn später einmal irgendwo im Weltraum einem Menschen ein Denkmal gesetzt werden wird, so wird dieser Mensch bestimmt *Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski* sein. Er war nicht der erste, der sich mit Raketen beschäftigte. Feuerkörper in der Art von Geschossen waren schon im alten China bekannt. Newton schlug im 17. Jahrhundert vor, einen Wagen mit Raketenantrieb zu bauen. Von Ziolkowski ist bekannt, daß er gern Jules Verne las, und er soll sich sogar dahingehend geäußert haben, daß es der Roman „Die Reise um den Mond“ war, der seine Gedanken auf den Raketenbau lenkte.

Vor zwanzig Jahren schrieb der sowjetische Schriftsteller Alexander Belajew den utopischen Roman „Der Stern KEZ“, in dem er eine künstliche interplanetare Station, eine Basis zur Erforschung und Eroberung des Kosmos, um die Erde kreisen läßt. „Und wenn diese fliegende Insel im All schweben wird, worüber kein Zweifel mehr besteht, werden die Menschen ihr den Namen Ziolkowskis geben.“

Für seine Zeitgenossen war Ziolkowski jedoch nur ein naiver Träumer, eine kuriose Sehenswürdigkeit der kleinen Provinzstadt Kaluga, südwestlich von Moskau. In seinem stadtbekannten schwarzen Frack, mit seinem selbstangefertigten

blechernen Hörrohr wanderte dieser Mann durch die engen Gassen von Kaluga, von seinem bescheidenen kleinen Häuschen zur Schule, wo er als Lehrer Physik, Mathematik und Kosmographie unterrichtete. Ziolkowski war fast taub, und Unterhaltungen mit dem Hörrohr waren ihm eine Qual. Deshalb war er auch meistens einsam und liebte es, von „der Erde und den Sternen zu träumen“, wie er selbst zugab. Doch unter der Hülle des Sonderlings und Träumers war ein starker Charakter und eine gewaltige Kraft verborgen. Äußerlich sehr bescheiden, träumte er davon, die Menschheit mit einer großen Tat zu beglücken. „Der sehnlichste Wunsch meines Lebens ist“, schrieb er, „für die Menschheit etwas Nützliches zu vollbringen, nicht umsonst zu leben, die Menschen wenigstens ein Stück vorwärts zu bringen. Deshalb widme ich mich auch dieser Arbeit, die mir weder Brot noch



Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski (1857 bis 1935)

Kraft bringt, doch ich hoffe, daß sie vielleicht schon bald, vielleicht erst in ferner Zukunft den Menschen Berge von Brot und unendliche Macht bringen wird.“

Die Schüler vergötterten Ziolkowski, die Erwachsenen hielten ihn für einen Sonderling und trieben manchen gutmütigen Scherz mit ihm. Doch weder die einen noch die anderen ahnten, daß sie es mit einem großen Gelehrten zu tun hatten, dessen wissenschaftliche Erfolge auf dem Gebiet des Raketenbaues ohne Beispiel waren.

Da Ziolkowski seit seiner Kindheit fast taub war, konnte er keine höheren Schulen besuchen. Er war aber auch kein „Autodidakt“ im gewöhnlichen Sinn, denn er verfügte über ein sehr umfangreiches und exaktes Wissen, vor allem in Mathematik und Physik. Er stellte das Programm und den Plan seiner Unterrichtsstunden selbst auf, ohne sich um das offizielle Schulprogramm zu kümmern. Deshalb konnte er an viele Probleme von ganz bestimmten Gesichtspunkten aus herantreten, ohne auf ausgetretenen Pfaden wandeln zu müssen. Kein Wunder, daß er auf diese Weise zu ganz anderen Ergebnissen gelangte als seine Kollegen.

Ziolkowski war nebenbei auch handwerklich sehr begabt und führte bei seinen Modellen alle Tischler- und Schlosserarbeiten selbst durch.

Thomas Alva Edison, der bekannte nordamerikanische Erfinder, sagte einmal, die Arbeit eines Erfinders bestehe aus neunundneunzig Prozent Schweiß und einem Prozent schöpferischen Geistes. Kurz vor seinem Tode, beim Rückblick auf sein Leben, meinte er: „Trotzdem ist dieses eine Prozent wichtiger als die restlichen neunundneunzig.“

Ziolkowskis Leben war hundertprozentig von schöpferischer Arbeit erfüllt, ob er an der Drehbank stand oder im Dachstübchen, das man nur über eine sehr steile Wendeltreppe erreichen konnte, hinter dem Schreibtisch saß. Das Geheimnis seiner Erfolge bestand nicht allein in seiner Genialität, sondern vor allem in seiner unermüdlichen Schaffenskraft. Im Jahre 1892, drei Jahre vor dem ersten, mißglückten Projekt des Grafen *Zeppelin*, stellte Ziolkowski die ersten Berechnungen für ein ganzmetallisches, starres Luftschiff auf. Vierzig Jahre lang war er an diesem Projekt beschäftigt gewesen, das, als es fertig war, alle anderen Entwicklungen dieser Art weit überragte. Doch die Luftfahrttechnik schlug andere Wege ein.

Im Jahre 1895 beschrieb Ziolkowski in seiner Broschüre „Aeroplan“ das Projekt eines Flugapparates, der für eine Person gedacht und schwerer als die Luft war. Diese theoretischen Überlegungen wurden 1903 durch den ersten Flug der Brüder *Wright* glänzend bestätigt. Damals gab es noch keine Wissenschaft, die sich mit dem Gebiet der Aerodynamik

beschäftigte; es ist Ziolkowskis Verdienst, hier Pionierarbeit geleistet zu haben. So konstruierte er zum Beispiel, um seine Berechnungen in der Praxis prüfen zu können, den ersten Windkanal der Welt.

Jede einzelne dieser Arbeiten hätte genügt, um seinen Ruf als Wissenschaftler zu festigen. Doch Ziolkowski schienen sie alle belanglos: Seine Gedanken eilten viel weiter in die Zukunft, und sein sehnlichster Wunsch war, der Menschheit den Weg zu den Sternen zu ebnen. „Die Menschen werden nicht immer auf der Erde bleiben“, schrieb er, „und ich ahne es, daß sie in der Jagd nach dem Licht und dem Raum erst die Grenzen der Atmosphäre und später die weiten Sphären um die Sonne erobern werden ...“

Im Jahr 1903 erschien in der Zeitschrift „Wissenschaftliche Umschau“ Ziolkowskis Artikel „Die Erforschung des Raumes mit reaktiven Geräten“. In dieser Arbeit, die von Berechnungen und Formeln strotzt, kommt Ziolkowski zu dem Schluß, daß die Rakete das einzige Mittel sei, um den Kosmos zu erobern. Trotzdem dieser Artikel drucktechnisch mehr als mangelhaft war, machte er Ziolkowskis Namen unsterblich. Er bedeutet nämlich die Geburt einer neuen Disziplin der Wissenschaft, die wir heute Kosmonautik oder auch Astronautik nennen.

Während Ziolkowskis Arbeiten im zaristischen Rußland kaum beachtet wurden, brachte man ihnen im Ausland großes Interesse entgegen. Der schwedische Oberst Unge ließ sie patentieren und verkaufte sie an Krupp, und auch in den USA wurden Patente auf Ziolkowskis Arbeiten angemeldet.

Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski blieb sein ganzes Leben lang einsam. Es war aber nicht seine Taubheit, die ihn die Menschen meiden ließ; seine Einsamkeit war vielmehr sozialer Art. „Es ist sehr schwer“, schrieb er, „die vielen Jahre unter so unwürdigen Verhältnissen in der Abgeschlossenheit arbeiten zu müssen und von keiner Seite Verständnis und Hilfe zu erfahren . . .“

Zwar interessierte sich *Mendelejew*, der große russische Chemiker, für seine Arbeiten, unterstützte ihn der bedeutende Aerodynamiker *Shukowski*; er wurde auch von etlichen wissenschaftlichen Gesellschaften zum Mitglied ernannt; doch

wonach sich Ziolkowski sehnte, war die allgemeine Anerkennung, das Interesse des ganzen Volkes, dem seine Anstrengungen galten. Aber er erkannte nicht, daß nicht das Volk, sondern das soziale System des zaristischen Rußlands an seiner Einsamkeit schuld war, daß dieses wie eine Wand zwischen ihm und denjenigen stand, denen er seine Mühen widmete. Doch das Werk war getan. Der Schlüssel zum Reich der Leere war gefunden und der Menschheit überreicht worden.

Die „Mondsüchtigen“

Sicher erinnern sich noch die Menschen meiner Generation an die Zeit vor dem ersten Weltkrieg, die Zeit der Strohhüte und Pikeewesten aus Stoff mit Mustern, an denen gewöhnlich goldene Kettchen baumelten. Der lange Gehrock war bereits aus der Mode gekommen, und das Jackett gewann an Ansehen. Als unvermeidliches Attribut der Männlichkeit galt eine dünne Gerte oder ein Spazierstock mit einem silbernen oder elfenbeinernen Knauf. Die Damen trugen fußlange Kleider, die den Boden fegten, sie zwängten sich in Korsetts und setzten riesige Hüte auf, die mit Straußenfedern, künstlichen Blumen und ausgestopften Vögeln geschmückt waren. Ohne Schirm auszugehen galt als unfein.

Die Menschen fuhren in Kutschen oder in der Straßenbahn, doch auch schon die ersten Autos erschienen in den Straßen, schreckten mit ihrem Geknatter die Pferde, betäubten durch lautes Hupen und Pfeifen die Passanten und verstäukerten die Umgebung mit Benzinwolken. Sobald ihr Rattern ertönte, strömten aus allen Winkeln die Kinder zusammen, um später ihren Freunden und Eltern voller Stolz berichten zu können, daß sie ein Auto gesehen hatten.

Das große Jahrhundert der Befreiung der Völker, der sozialen Erschütterungen und Revolutionen, das Jahrhundert der schwindelerregenden Siege des menschlichen Geistes über die Materie war angebrochen. *Stoletow* hatte das Fotoelement entdeckt und damit eine neue Etappe der Tele-

mechanik und Automation eingeleitet. Der russische Physiker *Lebedew* war auf der Pariser Weltausstellung mit dem Modell einer Mühle aufgefallen, deren Flügel sich unter dem Einfluß des Lichtdruckes bewegten. *Einstein* hatte seine berühmte Formel der Abhängigkeit von Masse und Energie aufgestellt, die zum Schlüssel der gezähmten Atomenergie werden sollte.

Doch weder die Geistlichkeit noch die hohen Herrschaften kümmerten sich darum. Und das Volk hatte noch nicht mitzureden.

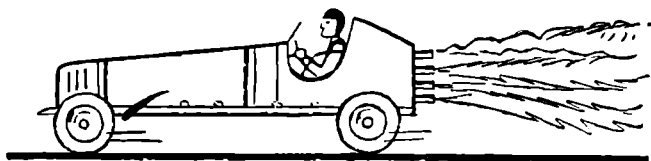
Der Flug des Menschen in die Luft war bereits Wirklichkeit geworden, doch kaum jemand ahnte, welche große Bedeutung die Luftfahrt gewinnen sollte. Ich war selbst einmal dabei, als einer der ersten russischen Flugversuche gemacht wurde. Auf einer weiten Wiese stand ein seltsames Gerät aus Bambusrohren, Drähten und Leinwand, das einem großen Drachen ähnelte. Die Menschen umringten einen rothaarigen Mann, der mit heiserer Stimme etwas erklärte. Dann schob der Pilot, denn um diesen handelte es sich, seine Mütze aus dem Genick auf den Kopf und kroch in die wunderliche Maschine, die unter seinem Gewicht bebte und ächzte.

Die Luftschraube begann sich zu drehen, und dann holperte das Flugzeug über die unebene Wiese, um sich nach etwa hundertfünfzig Metern in die Luft zu heben. Als es die Höhe eines erwachsenen Menschen erreicht hatte, schwebte es noch fünfzig Meter durch die Luft und setzte dann unter fürchterlichem Krachen auf den Boden, wo es langsam ausrollte und schließlich stehenblieb. Da setzte sich die Menschenmenge in Bewegung; ob jung oder alt, alles fuchtelte mit den Händen und brüllte vor Begeisterung. Damals konnten die Menschen aber trotz großen Optimismus noch nicht ahnen, daß ähnliche Maschinen in wenigen Jahren Berge, Meere und Ozeane überfliegen sollten.

Unter diesen rückständigen Verhältnissen begannen die Pioniere der Weltraumeroberung ihre heroische Arbeit: der Franzose *R. Eno-Peltrie*, der Amerikaner *R. Goddard*, der Deutsche *G. Oberth* und der Russe *F. A. Zander*.

Man kann sich heute nur schwer vorstellen, wie einsam diese

Menschen bei ihrer Arbeit waren. Sie wurden verhöhnt, als „Mondsüchtige“ ausgelacht und mußten die notwendigen Mittel für ihre Versuche unter großen Opfern selbst aufbringen. Zander, der seine Arbeiten über die Raketen-technik im Jahr 1908 begonnen hatte, konnte sie erst unter der Sowjetmacht veröffentlichen. Eno-Peltrie wurde das erste Opfer der neuen Wissenschaft: Er verlor bei einer Explosion die Finger der linken Hand. *Max Valier*, ein Astronom und Pilot, kam bei einer Explosion seines mit Pulver betriebenen Raketenautos ums Leben.

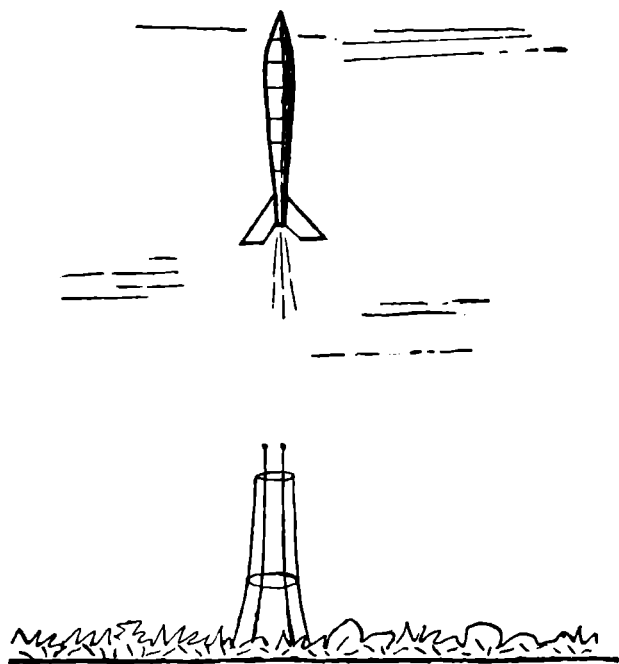


Raketenwagen aus dem Jahre 1928

Und inzwischen hoben sich die Raketen der ersten Enthusiasten zitternd und schwankend in die Höhe, und wenn die meisten auch explodierten, so ließ jede neu aufsteigende Rakete die Herzen der unentwegten Erfinder in der Hoffnung höher schlagen, daß sie schließlich doch in das Reich der Leere eindringen würden.

Nicht alle glaubten damals, die Rakete sei die einzige Möglichkeit, die Fesseln der Erdgravitation zu sprengen. Im Jahr 1913 schlugen einige Wissenschaftler vor, eine riesige Zentrifuge mit einem Durchmesser von achtzig Metern zu bauen, um an ihrem äußeren Rand das interplanetare Geschloß zu befestigen. Es sollte sich dann automatisch lösen und mit einer Geschwindigkeit von elf Kilometern in der Sekunde in den Weltraum fliegen. Doch bereits die ersten Versuche zeigten, daß nicht ein einziges Metall dieser Belastung standhalten würde.

Und immer höher erhoben sich in der Zwischenzeit die Raketen: im Jahre 1925 sechsundfünfzig Meter und im Jahre 1932 sechshundert Meter.



In diesen Jahren beschäftigten die von dem französischen Physiker *Becquerel* entdeckten und von *Marie* und *Pierre Curie* untersuchten seltsamen Strahlen die Menschen viel mehr als die in der Luft explodierenden Raketen der „Mond-süchtigen“. In den Kinos, die damals gerade populär wurden, zeigte man unter anderem einen Film, in dem sich ein von Radiumstrahlen beleuchteter Mensch in ein Skelett umwandelte. Utopische und phantastische Romane, in denen die Helden mit Hilfe von Radiumstrahlen tief vergrabene Schätze entdeckten, Feinde vernichteten und in schwerelosen Raumschiffen flogen, beherrschten die Einbildung der begeisterten Leser. Wir wollen heute nicht über diese naiven Ansichten lachen; wer weiß, wie viele junge Menschen, angeregt durch diese Träume, ihren Lebensweg nach diesen

Ideen ausrichteten, die in der Endkonsequenz das Antlitz unserer Planeten so sehr veränderten.

Und es ist doch sehr verständlich, daß man damals kühne, manchmal sogar ungewöhnlich kühne Ideen und Gedanken hatte, um das so nahe gerückte Reich der Leere endlich zu erobern.

Lohnt es sich überhaupt, diese fast vergessenen Schriftsteller und ihre Romane zu erwähnen? Ja, es lohnt sich, denn wir werden durch sie daran erinnert, wie aufmerksam die Menschen die Entwicklung der Wissenschaft verfolgten, wie sie die Auswirkungen der wissenschaftlichen Revolutionen zwar schon ahnten, sich aber noch keine konkreten Vorstellungen machen konnten über die Wege der Entwicklung. Das anbrechende große Jahrhundert mit den umwälzenden Ereignissen warf seine Schatten voraus, und es schien, als seien die Reisen des Menschen zu den Sternen nicht mehr fern. Doch um sich zu den Sternen erheben zu können, bedurfte es nicht allein der Luft, man mußte dazu auch Flügel haben.

Im Jahr 1927 wurde in Moskau eine internationale Ausstellung von Projekten und Modellen interplanetarer Raumschiffe eröffnet, deren Besuch zu einem der stärksten Eindrücke meiner Jugend gehörte. Hier lösten sich phantastische Projekte und eleganteste Modelle mit fast kindlichen Zeichnungen und Basteleien ab. Der italienische Ingenieur *de Crocco* zum Beispiel stellte Zeichnungen eines Raumschiffes aus, das durch Radiumzerfall bewegt werden sollte. Er hatte den Reaktor zu seinem Raumschiff bereits patentieren lassen, obwohl kein einziger Wissenschaftler der damaligen Zeit (und auch heute noch nicht) wußte, wie man den Zerfall dieses Elementes beschleunigen oder abbremsen kann. Was bei dieser Ausstellung am meisten bewegte, war die unbeschreibliche Phantasie, die Einbildungskraft, die kolossale Arbeit, die in diesen Projekten steckten. Was hinderte die Menschen daran, ihre Träume zu verwirklichen? Warum konnte der Genius der gesamten Menschheit diese hervorragenden Projekte nicht in die Tat umsetzen?

Erfinderschicksal

Auf einem Platz in Oslo, der Hauptstadt Norwegens, steht ein imposantes Denkmal. Es besteht aus einem großen Granitblock, auf dem ein junger Mann mit durchgeistigtem Gesicht vorwärts schreitet und dabei über zwei widerliche Ungeheuer tritt. Dieses Denkmal ist dem großen norwegischen Mathematiker *Niels Henrik Abel* gewidmet, der zu Beginn des 19. Jahrhunderts lebte.

Was bedeuten die beiden Untiere zu seinen Füßen? Mathematiker pflegen humorvoll zu behaupten, sie würden die Gleichungen des fünften Grades und die elliptischen Funktionen versinnbildlichen, mit denen sich Abel herumgeschlagen hatte; andere meinen, sie stellen eine Allegorie auf den Kummer und die Sorgen des Alltags dar. Wahrscheinlicher ist aber, daß der Bildhauer mit diesen Ungeheuern die soziale Ungerechtigkeit veranschaulichen wollte, gegen die Abel sein ganzes und doch nur 27 Jahre währendes Leben ankämpfen mußte. In diesem Fall hätte der Bildhauer jedoch die Wahrheit verfälscht: Nicht Abel hatte diese Ungeheuer mit Füßen getreten, nein, sie waren es, die ihn zerbrachen und vernichteten.

Die traurige Geschichte des genialen norwegischen Mathematikers ist nicht nur für sein Land und seine Zeit typisch; in ihr spiegelt sich das Schicksal eines jeden begabten und begeisterten Außenseiters wider, der gegen die soziale Ungerechtigkeit und die engstirnigen Gesetze der kapitalistischen Welt ankämpft.

Abel wurde im Jahr 1802 in dem norwegischen Fischerstädtchen Finge geboren, wo es weder Mathematiker noch entsprechende mathematische Literatur gab. Er befand sich sein ganzes Leben in materieller Not, übersehen von den Reichen und den gleichgültigen Diplomgelehrten, die den Autodidakten nicht anerkannten. Dieser Umstand prägte auch seinen Charakter: Er war schüchtern, verschlossen und von einem tiefen Pessimismus erfüllt. Unter großen Schwierigkeiten gelang es ihm schließlich, an der Universität aufgenommen zu werden und ein Stipendium für ein Auslandsstudium zu bekommen. Die Atmosphäre in Berlin und Paris,



Niels Henrik Abel (1802 bis 1829)

den damaligen großen Zentren der Mathematik, regte ihn zu einer Reihe wichtiger Arbeiten an. Doch seine Überlegungen eilten der Zeit voraus, und die Folge war, daß die Arbeiten des jungen Mathematikers von seinen Zeitgenossen nicht verstanden und infolgedessen nicht gebührend beurteilt werden konnten. Auch im Ausland hatte Abel wie in seiner Heimat unter bitterster materieller Not zu leiden und fühlte sich einsam. Seine wichtigsten Arbeiten, die er der Pariser Akademie der Wissenschaften einreichte, wurden dem bekannten Mathematiker *Cauchy* zur Einsicht geschickt. Doch dieser kümmerte sich nicht darum und verlor sie schließlich. Auch ein Hilferuf an den großen deutschen Mathematiker *Gauß* blieb ohne Antwort.

Der zwanzigjährige Mathematiker, der im Ausland großartige Entdeckungen gemacht hatte, kehrte ebenso arm und unbekannt in seine Heimat zurück, wie er sie verlassen hatte. In Norwegen bemühte er sich lange Zeit vergeblich um eine Stelle, die ihm das tägliche Brot sichern sollte. „Arm wie eine Kirchenmaus“ (seine eigenen Worte), erkrankte er an Tuberkulose und starb nach einigen Jahren, die er in schwärzester Melancholie verbrachte, in der Blüte seines Lebens.

Noch kürzer und beklagenswerter war das Leben eines zweiten Mathematikers, des Franzosen *Evariste Galois*, des Be-

gründers der modernen Algebra. „Er war ein ernster und lieber Knabe“, erzählten die Leute von ihm, „zuvorkommend und höflich.“ Doch hinter dem bescheidenen Äußeren war der mutige Geist des großen Gelehrten und Revolutionärs verborgen. Bereits als Kind las er die „Geometrie“ *Lengards* – das erste Mathematikbuch, das ihm in die Hände fiel – wie andere einen Roman lesen. Er legte sie einfach nicht mehr aus der Hand. Und die langen Reihen der Formeln prägten sich ihm so klar und fest ins Gedächtnis, wie es Studenten erst nach zwei Jahren angestrengter Arbeit ergeht. Neben der Leidenschaft zur Mathematik zeichnete den Knaben noch die Sehnsucht nach der revolutionären Befreiung aus. Er haßte und bekämpfte alle Widerwärtigkeiten der Monarchie und der Reaktion, weshalb er von seinen Vorgesetzten schikaniert, verfolgt, eingekerkert und schließlich in den Tod getrieben wurde.

Galois war kaum dreizehn Jahre, als er mit gleichgesinnten Zöglingen des Lycées die traditionelle Begrüßung des Monarchen sabotierte. Als im Jahre 1830 die Revolution ausbrach, schloß der Direktor die Schüler im Schulgebäude ein, um sie von den Barrikadenkämpfen abzuhalten. Galois war damals todunglücklich, denn es schien ihm, daß er durch sein Fernbleiben die gerechte Sache verraten hatte. Einige Jahre später wurde er das erste Mal verhaftet. Er war auf einem Bankett aufgestanden, hatte während des Toasts auf den Monarchen einen blanken Dolch aus der Tasche gezogen und mit Grabesstimme gerufen: „Dies für Louis Philippe!“ Das zweite Mal verhaftete man ihn, als er mit einigen Freunden „Bäume der Freiheit“ pflanzte. Dabei wurden ihm ein Karabiner, eine Pistole und ein Dolch abgenommen. „Wenn das Volk einen Märtyrer braucht, um auf die Barrikaden zu gehen, dann will ich gern einer sein“, sagte er.

Lange Zeit sah Galois nicht den Zusammenhang zwischen seinen politischen Ansichten und dem Mißerfolg seiner wissenschaftlichen Arbeiten. Das erste Mal war er zu sehr überrascht, um den Grund dieser Ungerechtigkeit zu erkennen, das zweite Mal begann er ihn zu ahnen und war darüber bis ins Innerste erbittert. Sogar die Zeitungen interessierten sich für diesen Fall, und in einer hieß es: „Ein von



Evariste Galois (1811 bis 1832)

hohem Intellekt beflügelter Kandidat mußte es erleben, von einem mit mittelmäßigen Kenntnissen ausgerüsteten Prüfer ausgeschlossen zu werden.“

Mit achtzehn Jahren legte Galois seine mathematischen Arbeiten der Akademie vor. Sie gelangten in die Hände von Couché, der zwar ein begabter Mathematiker, zugleich aber ein verbissener Royalist und Reaktionär war. In den ersten Wochen „vergaß“ er es, der Akademie darüber zu berichten, und kurz darauf verließ er seine Heimat, um als Hoflehrer des verjagten Monarchen die Erziehung des Kronprinzen zu übernehmen. Die Arbeiten Galois' wurden nicht wieder gefunden. Das zweite Mal überreichte Galois dem Sekretär der Akademie gleich drei Arbeiten. Unglücklicherweise starb der Sekretär, und auch diese Arbeiten gingen verloren. Das nächste Mal wurden ihm neu eingereichte Arbeiten mit dem lakonischen Vermerk „Unverständlich!“ zurückgeschickt.

Diese Ungerechtigkeit vergällte Galois das Leben. Er wurde mürrisch und unzugänglich. Seine Schwester, die ihn im Gefängnis besuchte, schrieb später: „Er ist finster und schweigsam und sieht wie ein alter Mann aus. Man würde ihn für fünfzig halten.“

Der geniale Mathematiker kam, kaum einundzwanzig Jahre alt, bei einem Duell ums Leben. Später konnte festgestellt werden, daß es ein politischer Mord war. Die Herausforderer waren von der Regierung gedungene Agenten. Und wie zum Hohn wurde er zum ersten Male in dem Krankheitsprotokoll als großer Mathematiker bezeichnet.

Die hier angeführten Biographien der beiden großen Mathematiker sind voller Dramatik; doch es ist eine Dramatik ihres Lebens und nicht die ihrer wissenschaftlichen Arbeiten. In diesen unvollständigen Lebensbeschreibungen wird nämlich das Wichtigste nicht behandelt: ihre schöpferische Arbeit, ihre Mühen und Anstrengungen, ihr Suchen und Irren und schließlich ihre wissenschaftlichen Erfolge und Siege. Das persönliche Schicksal der beiden Mathematiker hatte, wenn man es so ausdrücken darf, mit ihrer wissenschaftlichen Arbeit nichts gemein. Sie bewegten sich in einer abstrakten Welt, waren mit ihren Gedanken und dem Blatt Papier, auf das sie ihre kühnen Formeln und Gleichungen niederschrieben, allein, und nichts störte sie. In dieser Abgeschlossenheit waren sie zugleich Beherrscher und Sklaven der unbestechlichen Gesetze der Mathematik. Etwas anders verhält es sich mit den Erfindern auf dem Gebiet der Technik, die in noch viel größerem Maße von der Gesellschaft abhängig sind als Mathematiker. Doch was sie ganz besonders von Mathematikern unterscheidet, ist die strenge Abhängigkeit von dem jeweiligen Stand des technischen Fortschritts.

Die Tragödie eines Erfinders besteht gewöhnlich nicht darin, daß irgendwelche bösen Menschen (gleichgültige Bürokraten, Konkurrenten oder charakterlose Personen) absichtlich die Verwirklichung einer großen Erfindung verhindern. Eine solche Vorstellung, die viele Schriftsteller dazu veranlaßt, in ihren Romanen und Erzählungen den Typ des sympathischen, leider aber verkannten Erfinders zu verherrlichen, zeugt davon, daß diese Schriftsteller das wirkliche Leben schlecht kennen und von der Spezifik der schöpferischen Arbeit eines Gelehrten oder Ingenieurs nur wenig Ahnung haben.

Die wirkliche Tragödie derjenigen Erfinder, die ihren Lebenstraum nicht verwirklichen können, besteht darin, daß

ihre Projekte der Zeit entweder vorauseilen oder ihr nachhinken beziehungsweise ökonomisch nicht tragbar sind.

Man darf unter „verspäteten Projekten“ nicht nur die Erfindungen verstehen, die schon vorher von jemand gemacht wurden. Bei solchen Projekten handelt es sich natürlich auch um einen großen Friedhof nutzloser menschlicher Arbeit (wenigstens sechzig Prozent aller Patentanmeldungen beziehen sich auf das Perpetuum mobile oder auf längst gemachte Erfindungen); doch hier geht es um etwas anderes, um eine viel wichtigere Erscheinung, die das Leben genialer Menschen manchmal direkt zu einer shakespearischen Tragödie werden läßt.

Als Stephenson die erste Eisenbahn baute, richtete er sich bei der Wahl der Schienenbreite nach der damals in England üblichen Radbreite der Kaleschen. Die von ihm in die Lokomotive eingebaute Dampfmaschine, eine Abart der Erfindung von Watt, war im Grunde genommen nichts anderes als eine Dampfmaschine. Sein großes Verdienst bestand lediglich darin, daß er es verstand, die horizontale Bewegung des Kolbens in die rotierende der Räder umzusetzen. Die Eisenbahn löste damals die Reisekutsche ab: Der Waggon war die Equipage (er wird in England auch heute noch so genannt) und die Lokomotive das „eiserne Pferd“. Es ist also kein Zufall, daß die Kraft der Lokomotive nach Pferdestärken gemessen wird. Auf jeden Fall standen sowohl die Lokomotive als auch der Schienenstrang auf dem technischen Niveau der damaligen Zeit.

Seitdem sind hundertfünfzig Jahre vergangen, und Wissenschaft und Technik erlebten eine gewaltige Entwicklung. Was für ein Sprung wäre es für den Eisenbahntransport, wenn man auf ein Breitgleis von, sagen wir, fünf oder sogar zehn Metern übergehen könnte! Man würde dann mit den Waggonen nicht Dutzende, sondern Tausende von Tonnen befördern und unsere alten biederer Lokomotiven durch Atomloks, die Geschwindigkeiten von zweihundert bis dreihundert Stundenkilometern erreichen, ersetzen können.

Würde aber irgendein genialer Erfinder mit einem solchen, bis ins kleinste Detail ausgearbeiteten Projekt auftreten, er würde an der unüberwindlichen Trägheit – nicht konservati-

ver Bürokraten oder böser Feinde, sondern der heute bestehenden technischen Einrichtungen – zerbrechen. Es gibt auf der Erde viele Millionen Kilometer Eisenbahnschienen, Millionen Waggons und Lokomotiven, die zu schaffen es anderthalb Jahrhunderte angestrenzter Arbeit gekostet hat. Um die heute bestehenden Einrichtungen der Eisenbahn prinzipiell zu verändern, müßte man:

Millionen Kilometer Eisenbahndämme neu errichten, alte erweitern und verstärken, sämtliche Brücken, Tunnel und Kreuzungen umbauen;

einen ausreichenden Park von Atomloks und dazugehörigen Waggons schaffen, bei diesen neue Verbindungen, Bremsen, Türkonstruktionen und Schlösser, Schutzmaßnahmen gegen die radioaktive Strahlung, Ventilationssysteme usw. vorsehen;

alle Bahnhöfe mit den dazugehörigen Anlagen umbauen oder neue, moderne Bahnhöfe errichten;

alle Eisenbahner der Welt, angefangen vom Maschinisten bis zum Rangierer, neu schulen.

Diese Aufzählung genügt wahrscheinlich, um auch demjenigen, der technisch nicht sehr versiert ist, zu zeigen, auf welche Schwierigkeiten die Verwirklichung eines solchen Projektes stoßen würde.

Bei den „Mondsüchtigen“ war es anders. Diese hatten weder gegen die Trägheit der Technik noch die der Menschen anzukämpfen. Ihr Feind war das kapitalistische Wolfsgesetz des ökonomischen Profits. Ziolkowskis Luftschiff hätte durchaus gebaut werden können; doch es kam nicht dazu, weil die Entwicklung des wendigen Flugzeuges den Bau starrer Luftschiffe überholt hatte und man sich auf kostspielige Experimente nicht einlassen wollte. Und was verhinderte den siegreichen Flug der kosmischen Raketen?

Im 19. Jahrhundert kam es zu vielen großen Erfindungen, weil die Technik bereits in der Lage war, auch komplizierte Projekte zu verwirklichen. Doch für ein interplanetares Raumschiff brauchte man Stoffe, die es in der Natur nicht gab, besondere Treibstoffe, äußerst präzise Geräte, neue Arbeitsmethoden. Es ging jetzt um Geschwindigkeiten von einigen Kilometern in der Sekunde, um ungewöhnliche Be-

anspruchung des Metalls, um den Zustand der Schwerelosigkeit, wobei alle bisherigen Vorstellungen verworfen werden mußten.

Jedes dieser Probleme mußte einzeln gelöst werden, und wenn sich die Wissenschaftler auch schon seit langem mit den einzelnen Aufgaben beschäftigten – das Gesamtprojekt war zu gewaltig, um von einem einzelnen Menschen, auch wenn dieser ein Genie war, bewältigt zu werden.

Der Bau der ersten mehrstufigen Rakete wurde von Ziolkowski bereits vor der Revolution in Angriff genommen; doch erst die sowjetischen Wissenschaftler *Zander* und *Kondratiuk* führten die Arbeiten weiter. Kondratiuk schuf übrigens als erster Raketen, die mit flüssigem Treibstoff angetrieben wurden, und im Jahre 1935 gelangte seine Rakete zum ersten Mal in eine Höhe von zehntausend Metern. Professor *Pobedonoszew* baute im Jahre 1933 den ersten Strahltriebwerk-Motor, und der Ingenieur und Konstrukteur *Merkulow* setzte diesen im Jahre 1937 zum ersten Mal in ein Flugzeug ein. Sowjetische Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker bauten schließlich den ersten künstlichen Trabant der Erde, die erste kosmische Rakete, und ließen eine solche am 14. September 1959 zum ersten Male auf dem Mond auftreffen.

An der Schwelle des dritten Jahrtausends

Die kalten und glitzernden Sternchen der brennenden Wunderkerzen vor den Zweigen des festlich geschmückten Weihnachtsbaumes, die bezaubernden Feuer der Neujahrs-Scherzartikel, die bunten Zauber der Feuerwerke – alles das, was wir als Kinder so liebten, sehe ich immer vor mir, wenn ich an das mit überirdischen Flammen leuchtende Plasma denke, wo im dünnen, vom Magnetfeld eingeschlossenen Strahl fast im luftleeren Raum der in elementare Teilchen zersplitterte Stoff mit unvorstellbaren Temperaturen von mehreren Millionen Grad wild und entfesselt tobt.

Während aber die unschuldigen Scherzartikel das anbrechende neue Jahr verkünden, berichtet uns das verzehrende Feuer des Plasmas – wenn man es als Feuer bezeichnen darf – von dem Herannahen eines neuen Jahrtausends.

Der von den Werktätigen der Sowjetunion geschaffene Planet des Sonnensystems, der nicht wie die Sputniks in der nächsten Umgebung der Erde, sondern im grenzenlosen Reich der Leere kreist, die Mondrakete, die am 14. September 1959 den Weg zu anderen Planeten eröffnete, die interplanetare Station, die uns die geheimnisvolle Rückseite des Mondes zeigte und schließlich die kühnen Flüge der Kosmonauten Gagarin und Titow sind Künder der neuen Zeit, von der die Menschen meiner Generation in ihrer Jugend kaum zu träumen wagten.

Der Beginn und das Ende eines Jahrhunderts fallen bei weitem nicht immer mit den offiziellen Kalendertagen zusammen. Der große und stürmische Aufschwung des 19. Jahrhunderts zum Beispiel, der ganz Europa erschütterte, begann im Jahr 1789 in Paris. Das noch größere 20. Jahrhundert entfaltete im Oktober 1917 in Petrograd seine Schwingen, und sein Schatten fiel auf die ganze Erde. Heute künden uns die seltsam farblosen Flammen des Plasmas und der feurige Schweif der kosmischen Raketen, die sich ins All erheben, die Morgenröte des neuen Jahrtausends an, die Ära des Kommunismus, dessen Glanz schon auf andere Planeten des Sonnensystems fällt.

Die heutige Jugend kann sich nur schwer vorstellen, daß die Menschen meiner Generation früher ohne Elektrizität und Radio auskommen mußten, daß sie in Pferdekutschen fuhren und die ersten Illusionsstätten besuchten, wo unter viel Flimmern kurze Stummfilme gezeigt wurden, daß sie über die ersten Flugversuche des Menschen begeistert waren und die unförmigen Gestelle aus Bambusrohr, Leinwand und Draht als Wunder der Technik ansahen – waren sie doch die Vorboten des anbrechenden großen Jahrhunderts.

Die Jungen und Mädchen, die heute Zukunftsromane lesen, sind bereits Menschen der zukünftigen Epoche, denn sie werden noch im Jahre 2000 leben und mit eigenen Augen

die Vorboten des 3. Jahrtausends sehen. Aber auch wir, die ältere Generation, dürfen schon hinter die Kulissen der kommenden Zeit blicken, wie auch schon früher die Menschen aus ihrem grauen Alltag heraus große zukünftige Ereignisse ahnten. Wir unterscheiden uns aber von unseren Vätern und Großvätern dadurch, daß wir die Zukunft nicht nur ahnen, sondern uns über sie ganz bestimmte Vorstellungen machen können; denn sie besteht eigentlich schon, die Zukunft, in den Plänen, Projekten und Zeichnungen. Und je höher wir uns erheben, um so breiter und heller wird der Horizont um uns.

Voriges Jahr hatte ich im Winter Gelegenheit, das Atomzentrum Dubna bei Moskau zu besuchen. Mitten im Wald, der nur wenig gelichtet und zum Teil in einen Park umgewandelt ist, stehen saubere gelbe und weiße Häuser. Die Straßen passen sich der Umgebung an und verlaufen in vielen Schleifen durch den Wald. Kein aufdringlicher Benzin geruch, keine Staubwolken, nur weißer Schnee, der lautlos von den tief hängenden Zweigen fällt, klare Waldluft und viel Sonne.

In dieser Stadt fällt mitten im Wald ein seltsames Gebäude auf, ein Rundbau, der mich an einen Zirkus erinnerte – das Haus, in dem sich das Synchrophasotron befindet.

Sein Inneres und Äußeres wurden schon oft beschrieben: der Ringmagnet mit seinen 36 000 Tonnen, die phantastische Energie von zehn Milliarden Elektronenvolt, auf die die Elementarteilchen im Innern des Magneten beschleunigt werden. Doch als ich das seltsame runde Haus betrat, stockte mir für einen Augenblick der Atem. Es schien mir hier alles so bekannt, all dem so sehr ähnlich und wiederum nicht ähnlich, wovon ich als Kind geträumt hatte. Es schien mir, als befände ich mich im Innern eines Zeppelins oder einer Raumkanone, in einem Raumschiff der geheimnisvollen Marsbewohner oder in einem Mondlaboratorium – mit einem Wort, ich erlebte die Träume der utopischen Romane meiner Kindheit nun in Wirklichkeit. Es war wie ein Einblick in das nächste Jahrtausend, und dieser Eindruck war einer der stärksten meines Lebens.

Ich mußte an die ersten Anzeichen unseres großen Jahr-

hunderts denken, an die Strahlen der aufgehenden Morgenröte, die die Menschheit voller Ungeduld erwartete. Ich dachte an die einsamen Erfinder, die in ihren Bodenstübchen beim schwachen Schein der Kerzen oder Petroleumlampen kühne Projekte entwarfen. Doch um ein solches Wunder der Technik wie das Synchrophasotron zu schaffen, war eine ganze Armee von Wissenschaftlern, Konstrukteuren, Technikern und hochqualifizierten Meistern nötig, mußte man Zehntausende Bogen Papier mit Berechnungen und Zeichnungen ausfüllen, ganz neue Maschinen bauen, neue Legierungen zusammenstellen, ja, eine moderne Stadt errichten.

Die Grenzen unseres Daseins haben sich gewaltig erweitert. Wir tasten den Mond mit Strahlen ab, lassen Wimpel auf ihm niedergehen; elektronische Rechenanlagen führen den „Roten Mond“ durch den Luftocean und durch die Leere des interplanetaren Raums. Wir fotografieren Atome, färben ihre „Spuren“ mit Lichtfiltern, wir holen im Fluge den Schall ein.

Die explosive Entwicklung der Wissenschaft im 20. Jahrhundert läßt uns mit Recht stolz auf unsere Zeit sein. Doch dafür genügten nicht der schöpferische Alleingang genialer Erfinder, das Lebenswerk einzelner Wissenschaftler und Techniker. Dazu waren die Anstrengungen ganzer Völker nötig, die Schaffung einer leistungsfähigen Industrie auf der Basis der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse. Dazu war der Sieg des Sozialismus notwendig, der die Menschen auf eine neue, höhere Stufe der gesellschaftlichen Entwicklung hob.

Ein Gesetz der Optik lautet: Je größer die Entfernung, um so kleiner wird der von uns gesehene Gegenstand. Das Gesetz der „sozialen Optik“, wenn man es so ausdrücken darf, ist viel komplizierter: Hier wird das Unwesentliche, das den Menschen einer bestimmten Epoche aber groß und wichtig erscheint, im Laufe der Zeit immer kleiner und nichtiger und verschwindet schließlich ganz; und alles das, was wirklich groß ist, von den Zeitgenossen aber nicht erkannt oder nicht bewertet wurde, nimmt immer größere, manchmal sogar gigantische Ausmaße an, wenn man es durch die Lupe der Zeit betrachtet. Die Namen der Kaiser, Generäle und Heer-

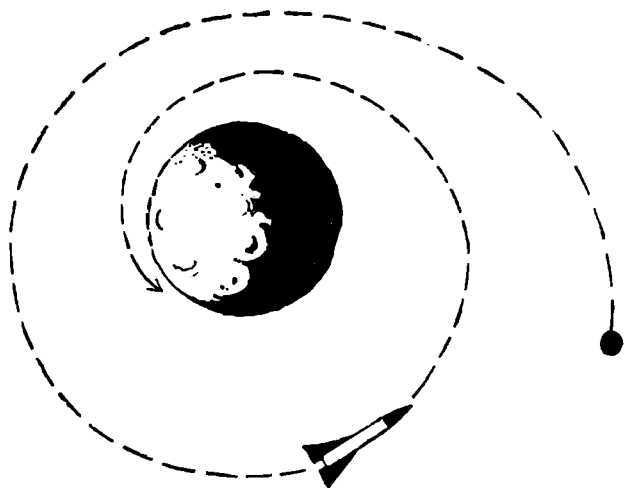
fürher werden in Vergessenheit geraten, aber die Namen großer Wissenschaftler sind unsterblich. Sicherlich wird man später einmal vielen unserer Zeitgenossen Denkmäler setzen, vor allem denjenigen, die an den Projekten der Atomzentren, der Sputniks und kosmischen Raketen führend beteiligt waren, obwohl ihre Arbeiten nur einen kleinen Schritt bei der Eroberung des Weltalls bedeuteten.

Der Traum wurde zur Wirklichkeit; er verwandelte sich in konkrete technische Projekte, in die Wissenschaft der Berechnungen und Konstruktionen. Wir brauchen diese heute nicht mehr in utopischen Romanen zu suchen, denn interplanetare Laboratorien, „fliegende Inseln“, werden schon in absehbarer Zeit um die Erde und den Mond kreisen oder „unbeweglich“ über dem Äquator – irgendwo über Indonesien, Kenia oder Ekuador – stehen. Und es wird auch nicht mehr lange dauern, bis der erste Mensch seinen Fuß auf die Oberfläche des Mondes setzen wird.

Wir nennen den Mond gewöhnlich den Trabanten der Erde. Die Trabanten anderer Planeten, so sagen Astronomen, sind nur „Sklaven“ ihrer Mutterplaneten, die tausendmal größer sind als sie. Auch die Erde hat heute solche Trabanten; doch sie wurden von Menschenhand errichtet. Erde und Mond sind eigentlich zwei Planeten, wie sie im „Kleinen Welt-raum“ des Sonnensystems nur einmal vorkommen. Vielleicht hat sich der Mond früher einmal von der Erde losgerissen, und das Becken des Stillen Ozeans ist nur eine Wunde des „Mutterplaneten“? Vielleicht haben sich auch im Sturm der Urmaterie zwei Schwesterplaneten gebildet und sind erst später auseinander gegangen? Oder der kalte Staub hat sich in der Stille und Dunkelheit des interplanetaren Raums im Laufe von Milliarden Jahren in Protoplaneten zusammengeballt, beleuchtet von den grellen Strahlen der Ursonne? Wie es auch gewesen sein mag, der Mond ist Fleisch unseres kosmischen Fleisches. Und nachdem wir ihn mit irdischen Strahlen betastet, auf ihm Wimpel gelandet und mit den Augen der von uns geschaffenen Geräte seine scheinbar für ewig verborgene Rückseite gesehen haben, dürfen wir uns mit Recht als seine Erben betrachten. Was werden die ersten Menschen bei der Landung auf dieser seltsamen, doch zu uns

gehörenden Welt vorfinden? Wird man endlich die Geheimnisse des Mondes ergründen, die den Geist der Gelehrten so viele Jahrhunderte beschäftigt haben? „Meer der Wolken“, „Meer des Regens“, „Meer der Heiterkeit“, „Meer der Stille“ (neben dem die erste sowjetische Mondrakete niederging) benannte der Astronom Riccioli, ein Schüler Galileis, einige von Bergringen umgebene Mondflächen. Er dachte, wie übrigens alle Astronomen des 17. Jahrhunderts, daß der Mond das Erdklima beeinflusse, und wollte ihn zu einem Weltbarometer machen. Er wußte auch schon, daß es in diesen Meeren kein Wasser gibt. Ob aber die Mondkrater früher einmal glühende Lava gespien haben, war weder ihm noch uns bekannt.

Ein Professor meinte einmal pathetisch, die Geologen würden für ihre Arbeit den ganzen Erdball brauchen. Jetzt wird ihnen bald noch ein zweiter Planet zur Verfügung stehen. Auch die Selenographen, die Selenophysiker, die Selenobiologen, die Selenochemiker und wer weiß wie viele Wissenschaftler von heute noch unbekannten Disziplinen werden ein riesiges Arbeitsfeld vorfinden.



Die ersten kosmischen Stationen waren die Sputniks und Luniks. Als nächste Station wird uns zweifellos unser Nachbarplanet dienen, auf dem wir Observatorien, Laboratorien und ganze Mondstädte errichten und von dem aus wir die ersten Raumschiffe zu den weiteren Planeten und Sternen schicken werden.

Die interplanetaren, intergalaktischen Raumschiffe des 21. Jahrhunderts existieren heute schon in unseren Träumen, obwohl die Papierblätter, auf denen die Zeichnungen und Konstruktionen erscheinen werden, heute noch makellos weiß sind.

Die neue Wissenschaft, die Mechanik der Photonenraketen, besteht heute noch nicht, doch wir ahnen bereits ihre herrlichen und strengen Formeln, die die Grenzen unserer Mathematik weit überragen. Diese Zukunft rückt ebenso unwiderruflich heran, wie sich Jahre, Jahrhunderte und Jahrtausende abwechseln.

Da ist sie, die Photonenrakete der Zukunft – wenn auch nicht im 21. Jahrhundert, so auf jeden Fall im 3. Jahrtausend –, hunderttausendmal mächtiger als die heute mit chemischen Mitteln angetriebenen Raketen. Beim Flug durch den Kosmos wird sie sich in einer ganz besonderen Welt befinden, die zu der Welt ihres Starts nur wenig Beziehung hat. Die Uhr der Pilotenkabine wird eine besondere „relative“ Zeit anzeigen, das kosmische Tachometer eine besondere Geschwindigkeit und Beschleunigung. Um dieses Raumschiff wird ein noch unbekannter phantastischer „kosmischer“ Wind stürmen, und auf dem Bildschirm wird das Bild unseres eigenen, kleinen und doch so wertvollen Weltalls auftauchen. Es wurde berechnet, daß die Photonenrakete bei einer für den Menschen erträglichen Geschwindigkeit in zweiundvierzig Jahren unsere gesamte Galaxis umfliegen kann.

Die kühnen Kosmonauten der Zukunft werden auf ihrem Weg durch den Kosmos Sterne sehen, die nicht aus zusammengeballter Materie bestehen, sondern etwas wie silbergraue Winde von ungeheurer Gewalt darstellen. Sie werden auf gigantische, weiß und gelb leuchtende Gebilde stoßen, die sich unter dem Einfluß eines in ihrem Innern vollziehen-

den atomaren Prozesses einmal wie ein Luftballon aufblasen und dann wieder zusammenfallen, als würde ein Leuchtturm des Kosmos aufblitzen. Und dieses gleichmäßige rhythmische Pulsen der Sterne dauert Jahrhunderte.

Auf ihrem Weg werden sie grellweißen Sternen begegnen, zusammengedrückt wie Linsen, die sich mit rasender Geschwindigkeit um ihre eigene Achse drehen und von einem Gürtel herausgeschleuderter Gase umgeben sind. Das Photonenschiff wird dann an gigantischen rötlichen Himmelskörpern vorbeifliegen, die aus leichten Gasen bestehen und einen Umfang von mehreren Milliarden Kilometern haben. Würde ein ähnliches Himmelsgebilde an Stelle unserer Sonne stehen, so befänden sich die Erde und die anderen Planeten im Innern eines solchen Sternes. Aber auch an kleinen Gebilden, an „Zwergsternen“ kämen sie vorbei, die hundertmal kleiner sind als die Erde, doch so dicht und schwer, daß ein Fingerhut dieses Stoffes viele Tonnen wiegen würde. Um das Photonenschiff würden schwarze, aber heiße Infrasterne auftauchen und auch dunkle, durchsichtige Radiosterne, in feurige Nebel eingehüllte leuchtende Körper, die ultraviolette und Röntgenstrahlen aussenden, und „neue“ Sterne, die einmal in zweihundert bis dreihundert Jahren mit einer Kraft von Millionen Sonnen aufleuchten.

Und wenn das transgalaktische Schiff die Grenzen unseres „Insel-Alls“, das Milchstraßensystem, überfliegen wird, werden es die Raumfahrer gar nicht merken, denn vor ihnen wird sich nach wie vor ein unendlicher Raum erstrecken mit Milliarden ähnlicher Sternensinseln, ohne Anfang und Ende. Doch wird der Mensch, wenn er mit seinem Raumschiff irgendwo am Rande der Galaxis in dem farblosen Abgrund des Kosmos, umgeben von einer undurchdringlichen Finsternis, schweben wird, wird dann einer der kühnen Forscher dieses fernen und doch so nahen Jahrtausends sagen: „Bis hierher und nicht weiter“?

Die Phantasie des gestrigen Tages ist überholt: Sie ist heute zur Wirklichkeit geworden. Wir wollen deshalb das erste, leere Blatt des neuen „Buches der Geschichte“ aufschlagen und daraufschreiben: Pläne des 3. Jahrtausends.

Das Feuer des Plasmas, das flammende Signal der Zukunft,

sagt uns, daß die Energie der ganzen Welt, des gesamten Weltalls einmal uns Menschen gehören wird. Und auch wir werden das Anbrechen der neuen großen Ära noch erleben! Wasserstoff ist der „Kraftstoff“ der Kernreaktionen, die ununterbrochen als Atomexplosionen auf der Sonne und auf anderen Sternen stattfinden, die aber auch auf der Erde in den phantastischen „Kesseln“ unserer Labors erzeugt werden. An Stelle von Wasserstoffbomben, die man früher oder später sowieso einschmelzen wird, werden die Menschen gewaltige Hilfsmittel zur friedlichen Umgestaltung der Erde und zur Eroberung des Kosmos schaffen.

Anderthalb Milliarden Kubikmeter des Weltozeans enthalten genügend Wasserstoff, um die Menschheit Milliarden Jahre mit Energie zu versorgen. Wenn wir die irdische Sonne geschaffen haben werden, wird es auch möglich sein, das Eis der Antarktis und Grönlands zu schmelzen. Durch Erwärmung der gefrorenen Gebiete Sibiriens, des Fernen Ostens, Alaskas und Kanadas mit Hilfe von Strömen hoher Frequenz werden wir diese Böden aus ihrem Dornröschenschlaf reißen und zum Blühen und zu großen Ernten erwecken – schlummern doch zehn Prozent allen Festlandes unter ständigem Frost und ewigem Eis.

Durch Auftauen des Eises würde sich der Wasserspiegel der Ozeane um vierzig bis fünfzig Meter heben und Küstenstädte wie London, New York, Leningrad, Tokio überschwemmen. Dieser „Sintflut“ könnte man aber dadurch begegnen, daß man das Eis in großen Öfen der zukünftigen Atomkraftwerke verbrennt, was außerdem noch den Vorteil hätte, daß man zugleich auch phantastische, fast kosmische Reserven an Sauerstoff gewänne.

Die früher so „reine“ Astronomie ist längst zu einer experimentellen Wissenschaft geworden. Bald werden die Sputniks, die Natriumwolken und der zehnte Planet unseres Sonnensystems der Vergangenheit angehören und von neuen Errungenschaften der Wissenschaftler und Techniker abgelöst sein. Große Laboratorien werden um den Mond, die Venus und den Mars kreisen, neue Planeten werden sich nach vorberechneten Bahnen inmitten anderer Planeten bewegen. Und auf den Bildschirmen großer Fernsehgeräte

werden wir die Methanstürme in der Atmosphäre des Jupiters, den geheimnisvollen großen „Roten Fleck“ und den „Südlichen Tropischen Sturm“ auf diesem Planeten erblicken, den Ring des Saturn mit den Händen zu greifen vermeinen, die gefrorenen Ammoniakmeere des Uranus und Neptuns und die tote Welt des Pluto sehen.

Später wird es den Menschen auch gelingen, den Mond zu einer schnelleren Umdrehung zu zwingen. Dann werden dort auch die zweiwöchigen Tage mit Temperaturen, die Felsen springen lassen, und die kosmischen Nächte mit Frösten von zweihundert Grad unter dem Gefrierpunkt verschwinden. Züge von Transportraketen werden auf elektronisch berechneten Bahnen Sauerstoff zum Monde bringen, um dort eine künstliche Atmosphäre zu schaffen und den toten Planeten zu blühendem Leben zu erwecken. Die rote Farbe des Mars sagt darüber aus, daß auf diesem Planeten früher einmal Sauerstoff vorhanden gewesen sein muß, der heute durch den Sand der toten Wüsten gebunden ist. Die zukünftigen Chemiker werden diesen Sauerstoff wieder der Marsatmosphäre zuführen. Und menschliche Hände werden „Marskanäle“ ausheben, an deren Rändern breite blaue und violette Baumkronen Schatten spenden.

Wenn einst die Sonne ihre Leuchtkraft eingebüßt haben wird, werden die Menschen sie zu neuem Leben erwecken oder sich eine neue künstliche Sonne schaffen. Oder sie werden die ganze Erde in ein gigantisches interplanetares Raumschiff umwandeln, in einen Wanderplaneten, den sie in der Suche nach einer jüngeren Leuchtquelle zu anderen Sternensystemen lenken.

Der Raum, den der Mensch als Einheit, als ein zusammenhängendes Bild sieht, ist nicht groß. Er ist von den Wissenschaftlern untersucht und gemessen worden, wobei die paradoxe Erscheinung festgestellt werden konnte, daß er in der Nacht breiter und am Tage enger ist. Heute, in der sich ankündigenden kosmischen Ära, hat man bereits von den höchsten Gipfeln der wissenschaftlichen Errungenschaften aus einen breiten Blick nach allen Seiten der Welt; denn die Menschheit schreitet den lichten Jahrhunderten des Kommunismus entgegen.

Daniil Danin

FORSCHUNGSREISE INS ATOM

Kosmische Signale

Observatorium auf dem Aragaz

Immer höher kletterte unser Wagen die Straße zum Berg Aragaz im Hochland von Armenien hinauf, dem Observatorium entgegen, wo wir erleben sollten, wie das Unsichtbare sichtbar und das Unhörbare hörbar wird. Es gab keine schwindelerregenden Aufstiege und atemberaubenden Steilkurven, aber auch keinen Weg. Um bei der Wahrheit zu bleiben, eine Straße war da, doch sie endete plötzlich, als wir sie am dringendsten brauchten, an der Grenze zwischen Frühling und Winter.

Immer näher kamen wir dem Himmel, und der Wechsel der Jahreszeiten nahm eine umgekehrte Reihenfolge ein. Auf den grünen Auen des Ararat-Tales ging der Frühling schon in den Sommer über, während er im Park des Biurakanser Observatoriums, wo durch regenschwere Wolken einige Sonnenstrahlen blinzelten, gerade erst begonnen hatte. Dann fuhren wir in den Anfang des Frühlings hinein, an staub-



bedecktem Schnee und dunklen Flecken vorjährigen Rasens vorbei. Später blieb die Zeit noch weiter zurück. Auf den Dächern der letzten Siedlung lag eine weiße Schneedecke, und auch die umherliegenden schwarzen Felsbrocken waren von einer reinen Schneekappe bedeckt. Schließlich waren alle anderen Farben verdrängt, und zurück blieb nur noch das makellose Weiß einer arktischen Landschaft. Die durch den verhangenen Himmel dringenden Sonnenstrahlen zauberten auf das Weiß der Umgebung bunte Reflexe. Hier endete die Straße.

Auch der Allradantrieb unseres Wagens schaffte es nicht mehr. Wir kletterten also hinunter, luden unsere Sachen und die Nahrungsmittel aus, steckten die Post ein und sahen zu, wie der Fahrer unter vielen Mühen den Wagen wendete, um die Rückreise anzutreten. Der weiße Schnee blendete uns, und wir setzten die vorsorglich eingepackten Schutzbrillen auf. Bald darauf sahen wir, wie ein gewaltiger Schlepper mächtig schaukelnd den Berg herunter auf uns zukam. Dieser knatternde und fauchende schwarze Koloß schien uns hier in dieser Einöde so unwahrscheinlich, daß wir zu träumen glaubten. Der „Tscheljabinsk“ nahm uns Neulinge auf und setzte dann unter furchtbarem Gedröhn zum Aufstieg an. Die zur Begrüßung mitgekommenen Bergbewohner faßten nach den an dem Schlepper hängenden Stricken und ließen sich auf ihren Skiern hochziehen. Eine mächtige Spur in der weißen Schneedecke zurücklassend, kletterte das Ungetüm immer höher und wankte dabei von einer Seite auf die andere, so daß uns der Magen in die Kehle zu rutschen schien. Ein schwacher Trost blieb uns: Allen Anzeichen nach mußten wir bald am Ziel sein.

Es war Anfang Mai, die Zeit des frischen Grüns auf Wiesen, Feldern und in Wäldern, die Zeit, in der die Sonne noch barmherzig ist, die Flüsse noch viel Wasser führen und die Natur sich zu neuem Leben regt.

Vor ein paar Tagen waren wir auf unserem Wagen durch das freundlich grüne Dilishansk-Tal dem Paß von Sewansk zugeeilt, der blauen Bergkette entgegen, die sich zweitausend Meter über die anderen Gebirge erhebt. Jungen waren mit Bündeln silberglitzernder Forellen, den Vorboten des Früh-

lings, auf die Asphaltstraße geeilt und hatten mit lauten Rufen ihre Beute zum Verkauf angeboten. Es waren die letzten Menschen, die uns auf der Straße begegneten. Dann stürzte beim Aufstieg auf den Aragaz, auf dem sich die bekannte Station zur Untersuchung kosmischer Strahlen befindet, kein lebendes Wesen mehr die kalte Einöde der riesigen Schnee- und Steinfelder. Dabei waren es zum Gipfel noch gute tausend Meter Luftlinie, und der Schlepper mußte auf vielen Umwegen etliche Kilometer zurücklegen.

3 250 Meter Höhe. Bis zur letzten Biegung ließ kein Anzeichen darauf schließen, daß hier zwischen den steil hochragenden Felsen des Aragaz am Rande eines kleinen vereisten Sees plötzlich einige steinerne Gebäude des Bergobservatoriums auftauchen würden.

Welt der Elementarteilchen

Alles ist hier ungewöhnlich. Da gibt es Geschwindigkeiten, die an die des Lichtes grenzen, wie es überhaupt Teilchen gibt, die gar nicht anders existieren können als im Fluge mit Lichtgeschwindigkeit; sie verschwinden, sobald sie abgebremst werden. In dieser Welt beträgt die Lebensdauer mancher Teilchen nur eine millionstel Sekunde, verwandeln sich einige Teilchen urplötzlich in andere, wird der Tod der einen von der Geburt anderer abgelöst. Verschiedene Teilchen besitzen Eigenschaften, für die es keine Äquivalenz gibt und die von den Wissenschaftlern erst neu formuliert werden mußten, wie z. B. „strangeness“. In dieser Welt gibt es nichts, was durch unsere bekannten Modelle, sei es solche von Gegenständen oder von Prozessen, dargestellt werden könnte, und in Fachlexika erscheinen neue, poetisch klingende Begriffe, in denen das Erstaunen der Physiker vor den sich ihnen plötzlich offenbarenden Erscheinungen für immer fixiert scheint.

Die Entdeckungen in der Welt der Elementarteilchen haben bisher noch keine direkten Beziehungen zu den praktischen Bedürfnissen des menschlichen Lebens.

Die in den Atomreaktoren stürmenden Mikrohurrikane wandeln sich in dienstbare Energie um. Die Mikroereignisse in der Welt der elementaren Teilchen dagegen haben, wenn sie auch nicht wie die Atomenergie die menschliche Existenz bedrohen, noch keine Anwendungsmöglichkeiten zum Wohle der Gesellschaft offenbart.

Warum beschäftigt man sich dann also so intensiv mit diesen abstrakten Forschungsarbeiten? Warum wendet man hierfür so viel Mühe und Energie auf? Zugegeben, der Reiz des Neuen lockt jeden Wissenschaftler. Gibt es aber in der Physik nicht genug andere interessante Forschungsgebiete, die zudem von großer Bedeutung für die moderne Technik sind? Sollte man nicht doch noch warten, bis der Wissenschaft praktische Anwendungsmöglichkeiten der Elementarteilchen bekannt sind?

Es ist, und das kann nicht verschwiegen werden, durchaus möglich, daß man Elementarteilchen nie direkt für die Konstruktion neuer Maschinen oder eine Ertragssteigerung in der Landwirtschaft wird gebrauchen können. Und trotzdem untersuchen Tausende von Wissenschaftlern in ungezählten Instituten das Verhalten, die Eigenschaften und die Wechselbeziehungen der Elementarteilchen. Bekannte Experimentatoren und hervorragende Theoretiker machen immer wieder unerwartete Entdeckungen, stellen kühne Hypothesen auf, führen komplizierte Versuche durch und streiten heftig miteinander bei der Suche nach neuen Gesetzen, die die Struktur der Materie erklären.

Am Anfang waren es drei

Als die Materialisten der Antike das erste Mal den Begriff „Atom“ prägten, bewiesen sie viel Scharfsinn, machten aber zugleich auch einen großen Fehler. Es dauerte über zweitausend Jahre, bevor man die Annahmen der frühen Naturphilosophen mit wissenschaftlicher Strenge zum Teil beweisen, zum anderen widerlegen konnte.

„Das Atom ist unteilbar!“ In diesem Satz waren zugleich

zwei Ideen enthalten: die Idee der Teilbarkeit der Materie und ihres komplizierten Aufbaues und die Idee der Unteilbarkeit ihrer Grundbaustoffe.

Es ist kaum zu glauben, doch auch in unserem Jahrhundert gab es noch Wissenschaftler, die es nicht zugeben wollten, daß die Materie in Atome zu teilen ist. Heute ist auch der letzte dieser Ungläubigen verschwunden. Doch kaum siegte die erste Idee, als die zweite bereits korrigiert wurde. Gerade hatten die Physiker die Atome einzelner chemischer Elemente erkannt, als sie sich davon überzeugten, daß ihre Unteilbarkeit eine falsche Ansicht war. Und sie bewiesen, daß die Atome gar keine „Atome“ sind. Die „Ziegel des Weltgebäudes“ wurden sie noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts genannt. Doch diesen hochtrabenden Namen behielten sie nicht lange. Man entdeckte nämlich bald, daß sie selbst ganze Welten enthalten und aus noch viel einfacheren Formen, Protonen, Neutronen und Elektronen, aufgebaut sind. Daraufhin wurden diese drei Standardformen in den Rang der Grundbaustoffe der Materie gehoben. Man nannte sie elementare, „einfache“ Teilchen.

Die Drei ist eine verlockende Zahl. Die Anhänger von Pythagoras waren früher einmal der Meinung, die Weltenordnung würde von der Zahlenharmonie abhängen. Hätten sie damals von den drei Elementarteilchen vernommen, sie hätten tief sinnig mit den Köpfen genickt und gemeint: „Drei Grundbaustoffe? Das klingt verheißungsvoll und scheint der Wahrheit sehr nahe zu kommen!“

Doch die Forschungsarbeiten gingen weiter. An die Pythagoras-Schüler dachten die Physiker nicht. Und es dauerte nicht lange, da fügten sie den drei Elementarteilchen neue und immer wieder neue einfachste Teilchen hinzu. Mit ihren hellen Bahnen erleuchteten sie die Dunkelheit unseres Unwissens und lenkten die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich. Doch einige verglühten tatsächlich wie Meteore: Ihre Existenz konnte bis heute nicht bewiesen werden, sie riefen Zweifel und Streit hervor.

Mühselige, energieraubende Arbeit ging der Entdeckung eines neuen, vorher unbekannten Elementarteilchens voraus. Und jedesmal wurde sie zu einem wahren Sieg der Wissen-

schaft. Entdeckungen dieser Art verlangen von dem Wissenschaftler nicht nur kühne Gedanken, Glauben an den Erfolg, sondern vor allem immense Geduld und peinlichst genaue und sorgfältige Arbeit. Es ist wirklich kaum zu fassen, daß seit den dreißiger Jahren unseres Jahrhunderts, in einer historisch so ungewöhnlich kurzen Zeit, über dreißig neue Elementarteilchen entdeckt wurden. Es ist heute auch noch nicht abzusehen, ob damit die „Liste der Grundbaustoffe“ schon abgeschlossen ist.

In diesem Zusammenhang erhebt sich die berechtigte Frage: Sind es nun wirklich die kleinsten Baustoffe der Materie, wie es heute behauptet wird? Sind die Elementarteilchen wirklich „elementar“? Handelt es sich bei ihnen tatsächlich um die unzerteilbaren „Atome“ der Natur, von denen einst die Naturphilosophen sprachen? Sollte wirklich alles mit diesen Teilchen „beginnen“? Und was ist, wenn diese Annahme nicht stimmt? Wie entstehen sie und woraus bestehen sie? Nach welchen Gesetzmäßigkeiten werden sie geboren, und was stellen sie eigentlich dar?

Es erheben sich da eine ganze Menge Fragen.

In der Tat, eine Maschine kann vorläufig mit Elementarteilchen noch nicht angetrieben werden. Doch es muß nochmals gesagt werden: Für das physikalische Gesamtbild der Natur und für die Frage der Urform der Materie ist die Wissenschaft der Elementarteilchen von größter Bedeutung.

Seltsame Wanderer

Nach langer, eintöniger Wanderung durch den Weltenraum gelangen die kosmischen Strahlen schließlich auch auf die Erde. Natürlich ist diese nicht Ziel ihrer Wanderung, wie es in der Natur überhaupt keine Ziele gibt. Unser Planet ist nur einer der vielen Himmelskörper, der auf ihrem Weg liegt. Die kosmischen Strahlen durchkreuzen den Weltraum in allen Richtungen, und es wäre wirklich unvernünftig, die These zu vertreten, daß es irgendwo nur eine einzige Quelle ihrer Erzeugung gibt.

Der Begriff „Strahlen“ ist eigentlich nicht ganz richtig. Damit verbinden wir immer die Vorstellung von etwas ununterbrochen und in einer bestimmten Richtung Ausstrahlendem, während die kosmischen Strahlen Ströme von Materieteilchen sind, die von allen Seiten in die Erdatmosphäre eindringen. Vor den Sonnenstrahlen kann man sich im Schatten verbergen, und auch die Nacht, die immer eine Hälfte der Erdkugel umhüllt, ist nichts anderes als ein Schatten. Doch vor den kosmischen Strahlen kann man sich nirgends verbergen, wie man im Ozean auch nicht dem Wasser ausweichen kann. Die kosmischen Strahlen sind mit einem Weltozean verdünnten Stoffes zu vergleichen, in dem unsere kleine Erde zwischen Stürmen und Stillen schwebt.

Im Weltall ist es nämlich nicht immer still. Hier toben oft heftige Stürme, obwohl dieser Stoff der Weltentiefen so dünn gesät ist, daß sich in einem Kubikzentimeter interplanetaren Raums unserer Galaxis nicht mehr als ein Teilchen befindet. Und im intergalaktischen Raum gibt es noch weniger Teilchen. Wie winzig diese Größe ist, kann man leicht erkennen, wenn man diesen Kubikzentimeter mit einem solchen an der Erdoberfläche vergleicht: Die in ihm enthaltene Zahl der Moleküle besitzt hier 19 Nullen.

Fast scheint es, daß diese Boten des Kosmos in der Erdatmosphäre steckenbleiben müßten und inmitten dieser riesigen Teilchenanhäufung von gasförmigen irdischen Stoffen unmöglich zu erkennen wären. Diese Annahme ist nicht ganz abwegig, denn bis zu Beginn unseres Jahrhunderts wußten die Wissenschaftler tatsächlich nichts über ihre Existenz. Dabei waren zur Entdeckung der kosmischen Strahlen weder komplizierte Geräte noch besondere Untersuchungsmethoden notwendig. Sie wurden nämlich mit dem schlichten, allen Schülern bekannten Elektroskop entdeckt. Und doch war es nicht möglich, diese Strahlen früher zu erkennen; dazu mußte die Wissenschaft allmählich heranreifen. Erst mußten die Gedanken der Physiker auf die „richtige Welle“ eingestellt sein. „Der Geist des Abenteuerlichen“ nannte es *Pierre Auger*, dessen Name fast in jedem Lehrbuch der Atomphysik zu finden ist (Auger-Effekt, Auger-Elektronen). Er dachte dabei an Abenteuer im wahrsten Sinne des Wor-

tes: an Flüge in große Höhen, an Wanderungen in hohen Bergen, an Kletterpartien in tiefen Höhlen, an Tauchversuche im Ozean . . . Und tatsächlich, ohne diese abenteuerlichen Exkursionen hätte man die kosmischen Strahlen auch wirklich nicht erforschen können. Die Wissenschaftler waren seit frühesten Zeiten dazu bereit, Risiken und Strapazen auf sich zu nehmen, und der Geist des Abenteuers beherrschte sie vor allem immer dann, wenn sich die Konturen der Aufgaben klar abzuzeichnen begannen und man erkannt hatte, daß es nicht möglich war, sie ohne Risiko und Strapazen zu lösen.

So war es auch mit den kosmischen Strahlen. Die Wissenschaftler waren fest davon überzeugt, daß sich irgendwo in der irdischen Atmosphäre eine alles durchdringende Strahlenquelle befinden müsse, und sie kletterten auf hohe Berge und ließen sich tief unter den Erdboden hinab, um sie zu finden. Doch bevor sie sich auf die Suche nach diesen Strahlen begaben, mußte der Gedanke ihrer Existenz vorhanden sein, und er wäre den Physikern kaum gekommen, wenn nicht kurz zuvor die Röntgenstrahlen und die radioaktiven Strahlen entdeckt worden wären. Das erste Ereignis fand im Jahre 1895 und das zweite 1896 statt. Es führte die Gedanken der Physiker in die entscheidende Richtung.

Die Entdeckung der unsichtbaren Strahlen durch Wilhelm Röntgen, die so mühelos durch feste Stoffe dringen, übte auf die Menschen der damaligen Zeit einen unvergleichlichen Eindruck aus. Allerdings wußte damals noch niemand, daß diese unsichtbaren Strahlen den bekannten Lichtstrahlen sehr ähnlich sind und sich von diesen nur durch eine kürzere Wellenlänge unterscheiden. Keiner kam auf den Gedanken, daß sie beim Abbremsen der Elektronen in der Umgebung der Atomkerne entstehen. Desgleichen verstand niemand die Natur der radioaktiven Strahlen, die kurz darauf von Henri Becquerel entdeckt wurden. Man wußte noch nichts über den Aufbau der Atome, über ihre äußeren Elektronenhüllen und den inneren Kern. Doch ahnte jedermann, daß die Mikrowelt dabei war, ihre Geheimnisse preiszugeben. Mit dieser Erkenntnis begann eine neue Epoche in der Geschichte der Physik.

Es folgte ein richtiges „Strahlenfieber“. Überall war man dabei, neue Strahlen zu entdecken, und viele Wissenschaftler verfolgte die Hoffnung, in verschiedensten Stoffen noch unerkannte Impulse wecken zu können. Hertz-Strahlen, Blondleau-Strahlen, F-Strahlen. „Früher oder später erwies es sich dann, daß diese Strahlen auf einem Mißverständnis oder einem Beobachtungsfehler beruhten“, schrieb ein Schüler Röntgens, der bekannte sowjetische Wissenschaftler Joffe.

Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden die Physiker auf eine seltsame Erscheinung aufmerksam. Sie stellten fest, daß sich ein aufgeladenes Elektroskop mit der Zeit selbst entlud. Es sei nochmals daran erinnert, daß ein Elektroskop aus einem nichtleitenden Stab mit zwei dünnen Metallplättchen am Ende besteht. Wird eine elektrische Ladung an die Plättchen gebracht, so stoßen sich diese gegenseitig ab und heben sich dabei waagerecht in die Höhe. Und in einer Umgebung, die keinen elektrischen Strom leitet, fallen die wie Flügel ausgebreiteten Plättchen auch nicht wieder herunter.

Man entdeckte, daß sich die Plättchen eines geladenen Elektroskops, das sich in einem hermetisch abgeschlossenen Gefäß mit neutralen Gasen befand, entgegen allen Regeln immer wieder senkten. Da war nur eine Erklärung möglich: Von irgendwoher mußten trotz der hermetischen Abschließung Träger von Elektrizität – geladene Teilchen – in das Gefäß eindringen. Es erhob sich nun die Frage: Woher und wie konnten diese plötzlich in dem Gefäß erscheinen und dazu noch in einer so relativ großen Zahl?

Wie gewöhnlich fing es mit ganz einfachen Fragen an.

Elektronenwolken

Es gibt physikalische Begriffe, ohne die man die Elementarteilchen nicht behandeln kann, wie man, sagen wir, sich einen Schauspieler ohne den Begriff „Bühne“ nicht vorstellen kann. „Ionisation“ zum Beispiel ist ein solcher Begriff. Sie ist die

Laborbühne, auf der die Elementarteilchen ihre Fähigkeiten vor demonstrieren. Und ohne die Erscheinung der Ionisation hätten die Wissenschaftler kaum jemals etwas über die Elementarteilchen erfahren.

Die klappernden Rechenmaschinen in den Atomzentren, die Aufnahmen der Nebelspuren in der bekannten Wilson-Kammer, die Radiosignale der physikalischen Geräte in den Sputniks – alles das wäre ohne Ionisation nicht möglich.

Die Vermutung, der Ionisationsprozeß könnte plötzlich aussetzen, ist absurd. Das wäre dasselbe, als würde man sich für einen Augenblick vorstellen, es gäbe um uns keine Natur oder wir selbst würden nicht existieren. Eine Welt ohne Ionisation wäre eine Welt für immer aneinandergeschlossener Atome, zwischen denen es keine Wechselwirkung gibt, ohne die Vielzahl chemischer Reaktionen, ohne eine für das Leben so wichtige Mannigfaltigkeit komplizierter Stoffe. Eine unfruchtbare, unvorstellbare Welt!

Es ist seit langem erwiesen, daß sich neutrale Atome leicht in elektrisch geladene Ionen verwandeln. Wenn diese Erscheinung auch bekannt war, so blieb die Ursache dieser Umwandlung den Physikern ein Rätsel. *Faraday*, der in den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts das Wort „Ion“, „Wanderer“ beziehungsweise „Schreitender“, in die Wissenschaft einführte, hatte über den Aufbau der Atome keinerlei Ahnung. Und gerade in der Struktur lag ihr Geheimnis. Wie man später erkannte, sind sie, obwohl sie aus geladenen Teilchen bestehen, neutral, weil die Zahl der negativen Elektronen, die im Atom um den Kern kreisen, der Zahl der positiven Protonen im Kern gleich ist.

Sobald man dieses Gleichgewicht stört, wandelt sich das Atom in ein geladenes Ion um. Dabei scheint es auf den ersten Blick vier Möglichkeiten zu geben: Man vergrößert oder vermindert die Zahl der Protonen im Kern, oder man vergrößert oder vermindert die Zahl der Elektronen. Die ersten beiden Möglichkeiten scheiden aber sofort aus. Nicht deshalb, weil es technisch nicht möglich wäre, sondern weil eine solche Operation den Verlust des Atoms bedeuten würde, das wir in ein Ion umwandeln wollen.

Die Atome der einzelnen chemischen Elemente unterschei-

den sich dadurch voneinander, daß sich in ihren Kernen verschieden viele Protonen befinden. So gibt es zum Beispiel drei Arten von Wasserstoff: den gewöhnlichen, dessen Kern aus einem Proton besteht, den schweren – Deuterium und den überschweren – Tritium. Es sind aber nur Abarten (Isotope) ein und desselben chemischen Elements, da ihre Kerne, die nur ein Proton enthalten, alle die gleiche Ladung plus eins besitzen.

Wollte man die Protonenzahl im Kern verändern, so hieße das, ein Element in ein anderes zu verwandeln!

Die Ionisation dagegen ist ein viel einfacherer und leichter Prozeß: Der ionisierte Wasserstoff bleibt auch weiterhin Wasserstoff mit all seinen chemischen Eigenschaften, das Helium bleibt Helium und das Uran – Uran. Und wenn bei der Ionisation mit den Kernen des Atoms nichts, aber auch gar nichts passiert, dann bleibt weiter nichts übrig, als daß etwas mit den außen liegenden Elektronen geschehen muß.

Es bleiben also nur noch die zwei letzteren Möglichkeiten offen, um das Atom aufzuladen: Entweder man entreißt der äußeren Hülle des Atoms ein oder mehrere Elektronen oder fügt ihr weitere hinzu. Mit anderen Worten: Entweder man verdichtet oder verdünnt die Elektronenwolken.

Schaut man sich die Zeitwörter, die bei unserem Gespräch über die Ionisation gebraucht wurden, wie „hinzufügen, abspalten, verdichten“, näher an, dann fällt auf, daß sie alle in der aktiven Form benutzt wurden. Und weiter fällt auf, daß bei ihrer Realisierung immer ein Verlust oder ein Gewinn an Energie erfolgte.

Würde die Ionisation von selbst stattfinden, so wäre das ebenso unerwünscht, als wenn sie überhaupt unmöglich wäre. Das würde nicht mehr und nicht weniger bedeuten, als bestünden zwischen den Elektronen und Protonen keine Bindungen. Dann wäre die Welt nichts anderes als eine Zusammenballung nackter Kerne bzw. von Kernen mit sehr dichten Elektronenwolken. Und alles hinge vom Zufall ab, von den „Launen“ der aneinanderstoßenden Teilchen. Es fänden dann ganz zufällig die unsinnigsten Verbindungen von Elementen statt, um vielleicht sofort wieder zu zerfallen. Die Welt würde sich in eine formlose Mischung von

Kernen und Elektronen umwandeln, in ein gestaltloses Elektronen-Kern-Gas.

Eine Unmöglichkeit der Ionisation würde weiter bedeuten, daß die Bindungen zwischen Elektronen und Kernen fest und unveränderlich, miteinander unlöslich versiegelt wären. In diesem Fall würden sie auch ihrer Erstbezeichnung „unteilbar“ gerecht werden. Doch die Natur wüßte dann mit ihnen nichts anzufangen.

Die Ionisationsenergie kann niemals gleich Null sein, denn dann würden keine Bindungen bestehen. Sie kann aber auch nicht unendlich groß sein, dann wären die Bindungen nämlich unlöslich. Alle Prozesse im Leben der Natur sind also endlich, außer der erwähnte Lebensprozeß, der in Zeit und Raum weder einen Anfang noch ein Ende hat.

Der bei der Ionisation der Atome unvermeidliche Energieverlust macht dieses Ereignis in einigen Fällen möglich, in anderen unmöglich. Und da immer eine besondere Energiebilanz notwendig ist – es handelt sich stets um ganz bestimmte Bindungen, die entweder gesprengt oder gebildet werden –, steht den Wissenschaftlern eine sehr bequeme Methode zur Verfügung, Bilanzbücher der Natur zu führen. In diese tragen sie sorgfältig ein, wie bei wichtigen Erscheinungen in der Mikrowelt die einen mit den anderen zusammentreffen.

Auf diese Weise werden die unsichtbaren und unhörbaren Ereignisse, die zu erfassen und zu messen man nie zu hoffen wagte, plötzlich zu einem Gegenstand exakter Berechnungen, und es ist aus diesem Grunde auch nicht verwunderlich, daß man diese Erscheinungen sichtbar und hörbar machen kann.

Hier liegt die Quelle einer nicht abreißenden Kette neuer Entdeckungen in der Welt der Elementarteilchen. In diesem Zusammenhang sei auch die Erkenntnis eines regelrechten „Naturschutzgebietes“ dieser Teilchen, der kosmischen Strahlen, genannt.

Nach einer gewissen Zeit fielen die Plättchen des Elektroskops von selbst herunter. Irgend etwas befreite sie von ihrer Ladung oder neutralisierte sie. Aller Wahrscheinlichkeit nach handelte es sich hierbei um geladene Ionen. Irgend etwas mußte also in die hermetisch abgeriegelten Gefäße eindringen und die neutralen Gasatome in Faradaysche „Wanderer“ umwandeln. Es konnten sowohl Röntgenstrahlen als auch Strahlen radioaktiver Substanzen sein, denn deren Energie war groß genug, um durch die Wände des Gefäßes zu dringen und überdies das Gas zu ionisieren.

Vielleicht, so dachten die Physiker, befanden sich in der Nähe des Gefäßes tatsächlich irgendwelche unbekannte Strahlungsquellen. Doch statt lange nach ihnen zu suchen und sie zu entfernen, war es viel einfacher, das Gefäß mit einem dicken Bleimantel zu umgeben, den auch diese Strahlen nicht durchdringen konnten.

Man stelle sich einen Läufer vor, der über einen leeren Platz läuft: Er kommt, da ihn niemand an seinem Lauf hindert, schnell vorwärts. So ähnlich bewegen sich auch die Strahlen im Vakuum: Sie stoßen auf ihrem Weg nur ganz selten auf ein Hindernis, auf vereinzelte Teilchen. Wenn sich auf dem Platz aber viele Menschen befinden, wird sich der Läufer gewaltsam durch die Menge drängen müssen und dabei viel Kraft verbrauchen. Schließlich wird ihm dann die Luft ausgehen, er wird in der Menge stecken bleiben, und das um so eher, je dichter die Menschenmenge ist. In ähnlicher Weise bewegen sich die Strahlen durch den Stoff. Dabei haben sie, wenn der Vergleich gestattet sei, auch noch verbundene Augen und können nicht den günstigsten Weg wählen. Je dichter der Stoff ist, um so kürzer ist der Weg, auf dem die Strahlen ihre Energie verlieren. Und umgekehrt: Ihr Weg ist um so länger, je größer ihre Anfangsenergie ist.

Der dicke Bleimantel verschluckte die Röntgen- und die radioaktiven Strahlen, und trotzdem entluden sich die Plättchen des Elektroskops nach wie vor! Es war zum Davonlaufen.

Zuerst winkten die Physiker ungeduldig mit der Hand ab:

„Schuld daran sind die mangelhaften Geräte und die nicht exakt genug durchgeführten Versuche!“ Doch die scheinbaren Fehler wiederholten sich so regelmäßig und so präzise, daß sich der Ärger der Physiker über die unvollkommenen Geräte bald in eine brennende Neugierde verwandelte. Und sie kamen auf den Gedanken, daß es noch irgendwo Strahlen von überaus hoher Energie geben muß, für die auch ein Bleimantel kein besonderes Hindernis ist.

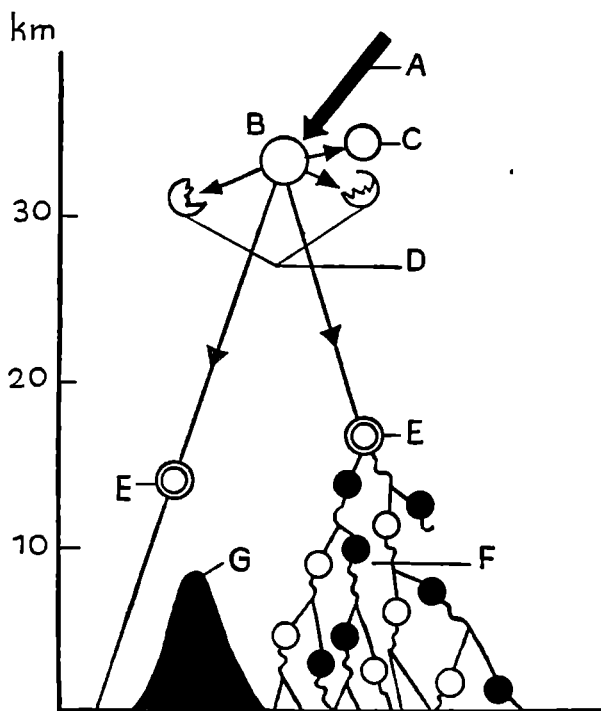
Was für Strahlen konnten das sein? Wie groß ist ihre ungewöhnliche Energie? Die Fragen wurden komplizierter.

Zuerst dachte man nicht im entferntesten daran, daß es sich um kosmische Strahlen handeln könnte. Es wurde vielmehr angenommen, diese Strahlen würden aus dem Erdinnern kommen. Diese Vermutung konnte leicht geprüft werden: Wenn diese Strahlen in der Erdrinde entstehen und von unten nach oben in die Atmosphäre dringen, dann müssen sie auf dem Weg in höhere atmosphärische Schichten an Energie verlieren, und auch das Gas, das sich in einem geschlossenen Gefäß mit einem Elektroskop befindet, muß in größeren Höhen immer schwächer ionisieren.

Doch schien alles auf den Kopf gestellt zu sein: Je höher man das Elektroskop brachte, um so schneller entlud es sich, als hätte sich die Strahlenquelle ihm nicht entfernt, sondern genähert! Im Jahre 1910 sprach der österreichische Physiker *Heß*, der mit einem Ballon 5000 Meter hoch gestiegen war, als erster die Vermutung aus, daß es sich nicht um Erd-, sondern um Höhenstrahlen handelte. Nach den schweren und fruchtlosen Jahren des ersten Weltkrieges, in denen sich die Physiker vordringlich mit Arbeiten beschäftigen mußten, die nicht in ihr Interessengebiet fielen, erhob sich der deutsche Physiker *Kolchester* mit einem Ballon in eine Höhe von 19000 Meter und stellte dabei fest, daß die Ionisation hier oben, hoch über den Wolken, fast dreißigmal stärker war als auf der Erde.

Daraus konnte entnommen werden, daß die alles durchdringenden Strahlen von irgendwoher aus dem Weltraum zu uns kommen. Ohne ihre Zusammensetzung und ihr Verhalten zu kennen – man wußte nur, daß ihre Energie riesig groß und mit irdischen Maßstäben nicht zu vergleichen ist –,

nannten die Physiker sie mit vollem Recht *kosmische Strahlen*. Damit begann die Geschichte ihrer sorgfältigen Untersuchung, die heute noch fort dauert. Aber auch in Zukunft wird man sich mit diesen Strahlen intensiv beschäftigen: Die Astrophysiker und Radioastronomen interessiert die Quelle ihrer Herkunft, die Radiotechniker und Meteorologen die Ionisation der Erdatmosphäre, die Biologen und Mediziner



Schema der kosmischen Strahlung

A = Aus dem Weltall kommendes Primärteilchen; B = Zertrümmerung eines Atoms der Atmosphäre; C = Neutron; D = Kernbruchstücke; E = Mesonen; F = Kaskadenschauer aus positiven und negativen Elektronen und Photonen; G = Mount Everest

ihre Einwirkung auf Mensch und Natur. Mit einem Wort, die kosmischen Strahlen sind mit einem riesigen Problemkomplex verbunden, angefangen von ihrer Abweichung im Magnetfeld der Erde bis zur Statistik der Krebsforschung.

Uns interessieren die kosmischen Strahlen aber nur vom Standpunkt des Kernphysikers, genauer eigentlich nur von dem des Elementarphysikers. Diesen Terminus gibt es zwar heute noch nicht, doch er wird früher oder später bestimmt in den Lexika erscheinen, wie auch die Begriffe „Kernphysiker“ und „Atomphysiker“ noch nicht alt sind.

Den Laboratorien unter der Erde und tief in den Berghängen gesellten sich in letzter Zeit die fliegenden Laboratorien der Sputniks hinzu. In diesen befinden sich die Geräte in unmittelbarer Nähe der noch „reinen“ kosmischen Strahlen, da diese noch nicht durch den luftigen Ozean der Erde gewandert sind, wo sie viel von ihrer Energie einbüßen.

In den sogenannten primären kosmischen Strahlen wurden die Kerne fast aller beständigen Elemente entdeckt, so daß man von einer chemischen Zusammensetzung der primären Strahlen sprechen kann. Diese spiegelt aber nur annähernd die relative Verteilung der einzelnen Elemente in dem uns umgebenden All wider. Je schwerer die Kerne sind, um so seltener treten sie auf. Bedeutend geringer ist die Zahl der Alpha-Teilchen, der Kerne des leichteren Elements Helium. Noch weniger Kerne sind von Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Eisen vorhanden. Ein Abweichen von der „Norm“ ist zum Beispiel im Auftreten eines ziemlich hohen Prozentsatzes von Lithium, Beryllium und Bor festzustellen. Das ließ die Physiker besondere Kernreaktionen im Weltraum vermuten; dabei entsteht wahrscheinlich ein „Überschuß“ dieser Elemente. Diese Art Abweichung hilft den Wissenschaftlern, Hypothesen über die Herkunft der kosmischen Strahlen aufzustellen.

Ein wirkliches Reservat der Elementarteilchen, in dem auch viele von ihnen zum ersten Mal beobachtet wurden, sind die sekundären Strahlen, die sich in der Erdatmosphäre bilden, in der die primären Strahlen im Gedränge der atmosphärischen Teilchen steckenbleiben.

Eigentlich dürfte man die sekundären Strahlen nicht mehr

als kosmische bezeichnen, da sie irdischen Ursprungs sind. Ohne Atmosphäre gäbe es auch keine sekundären Teilchen: Die primären Strahlen könnten dann nicht mit anderen Teilchen zusammenstoßen. Wie käme es aber anderseits zur Bildung dieser überaus energiereichen Teilchen der Erdatmosphäre, wenn die primären Strahlen nicht aus den Weiten des Weltenraumes bis zu uns vordringen würden? Denn eben diese, auf riesige Geschwindigkeiten beschleunigten energiereichen Teilchen führen durch den Zusammenprall mit den Kernen des jeweiligen Stoffes zur Geburt neuer Teilchen. Man könnte deshalb durchaus die Meinung vertreten, daß die sekundären Teilchen sowohl irdischen als auch kosmischen Ursprungs sind. Der Kosmos liefert, wenn man das bildlich ausdrücken wollte, den Hammer, die Erde den Amboß und die dabei entstehenden Funken die sekundären Strahlen.

Die Physiker sind heute in der Lage, auch auf der Erde kosmische Bedingungen zu schaffen, und zwar in Gestalt der großen Beschleuniger von geladenen Teilchen. Dabei ist bemerkenswert, daß sie diese Aufgabe lösten, ohne zu wissen, auf welche Weise im Kosmos die Protonen und andere Kerne beschleunigt werden. Diese Frage ist bis heute noch ungeklärt.

Die primären Strahlen sind etwa mit einem feinen Dauerregen zu vergleichen, die sekundären mit einem Regenguß. Diesen Begriff führte der englische Physiker *Patrick Blackett* Anfang der dreißiger Jahre in die Wissenschaft ein. Als eigentlicher Entdecker der sekundären Teilchen muß aber der sowjetische Wissenschaftler *D. W. Skobelzyn* angesehen werden, der bereits vier Jahre vor Blackett die Spuren der sekundären Teilchen in der Nebelkammer Wilsons fotografierte. Skobelzyn arbeitete damals mit Pierre Auger zusammen, der später in seinem Buch sehr treffend bemerkte, daß der Begriff „Schauer“ für die englische Herkunft charakteristisch ist, da er viel Gemeinsames mit dem „regennassen England“ habe. „Im sonnigen Frankreich, dem Land der Weinbauer“, fügte er hinzu, „nennen wir die Anhäufung dieser Teilchen Strahlenbündel.“ Ein russischer Physiker hätte sie „Schauer“, „Strahl“, „Wirbelwind“ oder „fallende

Sternschnuppen“ nennen können: In dem riesigen Raum der Sowjetunion gibt es jede Art von Naturerscheinungen, so daß man beliebig wählen kann.

Die sowjetischen Physiker beschäftigen sich schon über dreißig Jahre mit den kosmischen Strahlen, sowohl mit den primären als auch mit den sekundären, sowie mit allen Erscheinungen, die mit diesen verbunden sind. Das Observatorium auf dem Berg Aragaz ist eins der vielen wissenschaftlichen Zentren, in denen dieses Problem behandelt wird.

Die Station auf dem Aragaz ist einzigartig. Auch hier beschäftigt man sich seit vielen Jahren mit der Untersuchung der kosmischen Strahlen. Vor allem deshalb, weil die Physiker hofften, in dem natürlichen Labor noch viele neue Teilchen zu entdecken. Mit dem Aragaz, dem „verzauberten Berg“ und dem „Berg der Enttäuschungen“, ist nicht nur ein interessantes, sondern auch ein dramatisches Kapitel der Geschichte der Entdeckungen verbunden, das eine Erzählung wert ist.

Hoffnungen und Enttäuschungen kommen in der Geschichte jeder beliebigen wissenschaftlichen Disziplin vor. Warum sollten sie auf dem Gebiet der kleinsten und am schwierigsten zu erfassenden Objekte ausbleiben?

Das Atom auf der Rennbahn

Wunderwerk der Technik

Zwei Monate vor meinem Aufstieg auf den Aragaz, der Winter war fast vorüber, besuchte ich das Atomforschungszentrum Dubna. Der Wagen brauste über die glatte Asphaltstraße in Richtung Dmitrowo, das weit älter ist als die achthundertjährige Hauptstadt der Sowjetunion.

Auf den weiten Feldern lag Schnee. Um Moskau herum ist Anfang April noch Winter. Doch das blendende Weiß um uns wurde immer wieder von dunklen Silhouetten unter-

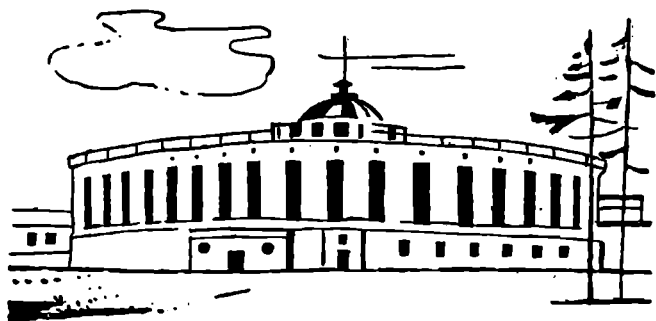
brochen. Es waren nicht nur die Schatten der am Horizont auftauchenden Wälder oder der an uns vorbeihuschenden Dörfer und alten Klöster, sondern auch die hohen Schlotte der Fabriken und Werke sowie die mächtigen Konturen der Schleusenanlagen des Moskau-Wolga-Kanals. Hier stießen Zeugen historischer Vergangenheit mit den technischen Wahrzeichen des Fortschritts zusammen. Doch weder das eine noch das andere schien uns ungewöhnlich.

Auch die Natur schreckte uns nicht durch ihre Weiten, im Gegenteil, sie war ein Stück von uns selbst, friedlich und gütig. Eigentlich hätte das unsere Stimmung nicht beeinflussen dürfen, doch da war etwas Feierliches in uns, etwas, das unsere Gedanken beflügelte. Und es konnte auch gar nicht anders sein, sollten wir doch gleich mit dem Ungewöhnlichen und Geheimnisvollen zusammentreffen, das einem gewöhnlichen Sterblichen den Atem nimmt.

Der alte, schon in der Frühgeschichte Rußlands bekannte Weg führte zu der jüngsten Stadt der Welt. Als ich zu Haus die Landkarte der Moskauer Umgebung studiert hatte, mußte ich feststellen, daß diese Stadt überhaupt nicht eingetragen war. Aber die Waldinsel, die von dem Lauf der Wolga, Sestra und Dubna begrenzt ist, kann nicht verfehlt werden. Und es machte mich froh zu wissen, daß inmitten dieser historischen Landschaft, im Herzen des tiefen, sagenhaften Forstes eine Stadt besteht, die keine Vergangenheit, sondern nur eine große Zukunft hat. In unseren Tagen, in denen sogar die Pole der Erde zeitweilig von Menschen bewohnt werden, wird es immer schwieriger, Aufsehen zu erregen. Der jungen Stadt Dubna ist es jedoch gelungen. Unbestreitbar hat das Interesse an dieser Stadt der Kernphysik breiteste Formen angenommen.

Das gigantische Karussell

Bilder des gewaltigen Beschleunigers geladener Teilchen erschienen in allen Zeitungen und Zeitschriften der Welt. Obwohl diese „Maschine“ nicht ein Gramm materieller Werte



schaft, ist sie viel populärer geworden als die größten Industriebetriebe der Welt. Ja, sie war bereits bekannt, bevor sie in Betrieb genommen wurde. Sollte das wirklich nur auf die gewaltigen Ausmaße des Beschleunigers zurückzuführen sein?

Diese Maschine ist nicht deshalb so bekannt geworden, weil sie solche gewaltigen Ausmaße besitzt, sondern weil sie dazu dient, atomare Teilchen zu beschleunigen. Wenn auch nur wenige Menschen wissen, was ein Synchrophasotron ist und wozu es dient, eins ist aber bestimmt allen bekannt: Es ist eine Maschine, mit der die Atomphysiker wichtige Versuche durchführen. Mit ihrer Arbeit ist der tiefste „Atom-Pessimismus“ unseres Jahrhunderts, aber auch der unaufhaltsame „Atom-Optimismus“ des technischen Fortschritts verbunden. Und zwischen diesem Pessimismus und dem Optimismus findet ein historischer Kampf statt, auf den die Augen aller Menschen der Welt gerichtet sind.

Das große Interesse an Dubna ist die Widerspiegelung der leidenschaftlichen Anteilnahme der Menschen an dem Fortschritt der Wissenschaft, der heute auf der einen Seite zu einer gefährlichen, auf der anderen zu einer hoffnungsvollen Kraft der Geschichte geworden ist.

*

Womit wurde der Beschleuniger nicht schon verglichen, um seinen Aufbau und sein Wirkungsprinzip allgemein verständlich zu machen! Mit einem Karussell, mit einer

Grammophonplatte, einer Zirkusarena und einer Steinschleuder.

Man kam auf den Gedanken, das Synchrophasotron mit einer Zirkusmanege zu vergleichen, in der ein Pferd im Kreise läuft und von einem in der Mitte stehenden Mann mit der Peitsche angetrieben wird. Ein Hieb mit der Peitsche, und das Pferd beschleunigt seinen Lauf. Nach jeder Runde ein weiterer Hieb, bis das Pferd die gewünschte Geschwindigkeit erreicht.

Am günstigsten scheint aber der Vergleich mit der Steinschleuder zu sein. Diese alte Waffe benutzt man auch heute noch in weit entlegenen Gebieten Asiens, Afrikas und Australiens. Es handelt sich um eine lange, feste Lederschnur, die in der Mitte breiter gehalten ist. Hier legt man den Stein ein, faltet dann die Schnur zusammen, erfaßt sie an beiden Enden und beginnt, die Schleuder über dem Kopf kreisen zu lassen. Mit jeder Umkreisung bewegt sich die Schleuder schneller, und der Stein hat immer mehr das Bestreben, aus dem Kreis auszubrechen, in dem ihn die Schleuder festhält. Schließlich läßt der Jäger im geeigneten Augenblick ein Ende der Schleuder los, der Stein wird herausgeschleudert, verläßt die Kreisbahn und fliegt mit großer Wucht auf das Ziel zu.

Bei allen angeführten Vergleichen sind auf jeden Fall drei gemeinsame Merkmale festzustellen. Erstens: Irgend etwas dreht sich im Kreis, das Pferd, der Stein. Zweitens: Je weiter der Weg ist, um so höhere Beschleunigung erlangt das sich bewegende Objekt, der Stein und das Pferd. Drittens: Diese nimmt nicht mit konstanter Gleichmäßigkeit zu, sondern nur in einem bestimmten Augenblick und in bestimmten Portionen. Das Pferd beschleunigt bei jedem Hieb seinen Lauf, und bei jeder Armumkreisung nimmt die Geschwindigkeit des Steines um eine bestimmte Größe zu.

Das wäre er also, der Beschleuniger!

*

In ihm kreisen elektrisch geladene Teilchen. Dabei kann es sich um negative Elektronen oder positive Protonen, Ionen oder Atomkerne handeln, auf keinen Fall aber um Atome, da diese neutral sind.

Die geladenen Teilchen spielen demnach im Beschleuniger dieselbe Rolle wie das Pferd in der Manege oder der Stein in der Schleuder. Auf ihrem Kreisweg werden sie um die Bewegungsenergie bereichert. Dabei muß es natürlich eine Quelle geben, von der diese Energie ausgeht.

In Beschleunigern vom Typ des Giganten von Dubna bewegen sich die Teilchen im Innern eines Kreiskanal. Man könnte ihn mit einem dünnen Radreifen vergleichen, obgleich dann der Benutzer dieses Fahrrades ein Riese so groß wie der Eiffelturm sein müßte.

An den Kanal des Beschleunigers sind viele hochleistungsfähige Pumpen angeschlossen, die aus seinem Innern alle Gase herausaugen. Dadurch werden den Teilchen sämtliche Hindernisse aus dem Weg geräumt, so daß diese nun fast im luftleeren Raum fliegen.

Erstaunlich ist, welche seltsamen Eigenschaften dieser leere Raum besitzt. Eigentlich dürfte dort, wo nichts vorhanden ist, auch nichts passieren! Dabei geschehen in diesem leeren Kanal des Beschleunigers mit den fliegenden Teilchen hochinteressante Prozesse: Etwas Unsichtbares treibt die Teilchen regelmäßig an und zwingt sie zu immer schnellerer Bewegung, und etwas anderes, ebenfalls Unsichtbares, lenkt ihren Weg, läßt sie nicht aus ihrer Kreisbahn herausbrechen und auf die Wände des Kanals prallen.

Danach dürfte der Kanal eigentlich gar nicht so leer sein? Das stimmt auch. Wenn es in ihm auch fast keine fremden Stoffteilchen gibt – der Grad der Leere hängt von der Mächtigkeit der Pumpen ab –, so bleibt in ihm doch etwas zurück, was durch mechanische Pumpen, und seien sie auch noch so vollkommen, nicht zu entfernen ist. Im Gegenteil, dieses Etwas nimmt fortlaufend zu, doch auf keinen Fall auf mechanischem Wege.

*

Die das Weltall bildende Materie besteht nicht nur aus stofflichen Teilchen. Das Licht oder die Radiowellen zum Beispiel sind zwar auch materiell, aber nicht stofflich. Wären sie nicht vorhanden, dann brauchten die Lampen kein Öl. Je tiefer wir in die Welt der Elementarteilchen eindringen, um so deutlicher erkennen wir, was für sonderbare Prozesse

sich hier abspielen: Wie die Teilchen sich, ohne einen Rest zu hinterlassen, in Strahlung umwandeln. Eine solche Erscheinung mag an ein Wunder grenzen, ist aber keines. Es handelt sich hier einzig und allein um das Verschwinden des Stoffes, nicht der Materie! Man spricht in einem solchen Fall von der Umwandlung des Stoffes von einer Form in eine andere; und eigentlich gibt es nichts Gewöhnlicheres, da doch das gesamte Leben der Natur nur aus solchen Umwandlungsprozessen besteht.

Neben dem Stoff, oder besser gesagt, mit dem Stoff füllen auch Kraftfelder den Raum. Das Gravitationsfeld, das elektromagnetische Feld, das Feld der Kernkräfte.

Die Wissenschaftler sprechen über Stoffe und Felder natürlich nicht in diesen freien und bildhaften Ausdrücken. Dabei ist die Herkunft vieler fachlicher Begriffe durchaus volkstümlich und gar nicht streng wissenschaftlich. So wird zum Beispiel unsere Sterneninsel im Weltozean von den Astronomen Galaxis genannt. Was für ein wissenschaftlich klingender Name! Dabei bedeutet das griechische Wort „Galaktikos“ nichts anderes als „milchig“. Es waren also gar nicht die Astronomen, die den nachts über uns leuchtenden weißen Streifen „Milchstraße“ genannt haben. Trotzdem ist dieser Begriff in die Terminologie der Astronomen eingegangen, sicher deshalb, weil er so anschaulich ist. Auch die Begriffe „Schauer“ oder „Strahlen“ der kosmischen Teilchen beziehen sich auf eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Vorbild. Und genauso ist es mit dem Terminus „Feld“. Die Umwandlung poetischer Metaphern in wissenschaftliche Begriffe ist also keine Ausnahme, sondern vielmehr eine Regel. Man könnte das als einen Ausdruck der Verwandtschaft zwischen Poesie und Wissenschaft bezeichnen, als einen Ausdruck ihrer gemeinsamen Eigenschaft, Formen der menschlichen Erkenntnis der Wirklichkeit zu sein.

Der Raum um die Erde, um die Sterne, überhaupt um alle Himmelskörper ist wie ein fruchtbares Feld, das von der Natur angelegt und von der Schwerkraft bestellt ist. Und auf diesem grenzenlosen Feld sind weder Raine noch brachliegende Stellen oder unberührtes Neuland – alles ist bestellt.

Einen leeren Raum gibt es nicht, wie auch keine leere Zeit. Die materielle Welt füllt mit ihrem Wesen sowohl die Zeit als auch den Raum. Ist es überhaupt richtig, „füllt“ zu sagen? Das heißt doch eigentlich, daß irgend jemand irgendeinmal ein Haus für die Materie baute, an die Wand eine Uhr hängte und die Materie einlud, in diesem Haus zu wohnen. Heute würde sogar der Papst in Rom diesen Gedanken von sich weisen; die Schüler der ersten Klasse würden ihn für ein Ammenmärchen halten.

Der Stoff und die Felder bauen ihr Haus – das Weltall – allein auf. Raum und Zeit sind nicht die inneren Formen der Materie; die Materie diktiert ihnen diese Eigenschaften auf. *Einstein* entdeckte dieses Gesetz und zeigte, daß es weder eine einheitliche Zeit noch einen einheitlichen Raum gibt, die für das gesamte Weltall gültig sind.

Wie alles Materielle können auch die Felder mehr oder weniger Materie enthalten. Ähnlich wie der Stoff können sie an verschiedenen Stellen verschieden dicht sein, wobei sich diese Dichte mit der Zeit auch verändern kann. Die Felder erweisen den Stoffteilchen auf jeden Fall einen großen Dienst: Indem sie zwischen ihnen die Leere füllen, verbinden sie diese miteinander und ermöglichen eine Wechselwirkung der Teilchen. Daher nannte man diese Felder *Kraftfelder*.

Wie einsam und hilflos wären doch die Stoffteilchen, wenn es auf der Welt keine Kraftfelder geben würde! Sie könnten überhaupt nicht existieren; eine nur aus ihnen bestehende Welt wäre gar nicht denkbar. Ohne Gravitationsfelder würde nichts die Sterne zur Galaxis und den Stoff zu Sternen verbinden können. Es gäbe kein Sonnensystem, weder eine Sonne noch Planeten, auch nicht unsere kleine Erde und keine Körper, weil ohne elektrische und magnetische Felder nichts da wäre, was die Atome zu Molekülen und die Elektronen und Kerne zu Atomen verbinden würde. Auch von Atomkernen könnte dann keine Rede mehr sein, denn ohne das Feld der Kernkräfte würden sich alle Protonen und Neutronen frei und wahllos bewegen. Das wäre aber eine unangebrachte Freiheit. Die Kernteilchen könnten sie für nichts weiter gebrauchen als einzig und allein für den Flug

kraft ihres Beharrungsvermögens. Dann könnten weder Kernteilchen noch Elektronen existieren; denn das, woraus sie auf irgendeine Weise aufgebaut sind, wird ebenfalls durch eine bestimmte Art von Kraftfeldern zusammengehalten. Ohne Felder gäbe es also keine Bindungen.

Wenn wir diesen Gedanken weiterführen, kommen wir schließlich zu dem Schluß, daß ohne Felder die Existenz jeglicher, sogar der kleinsten, Stoffkörnchen undenkbar ist, weil dann nichts da wäre, was die Materie in Gebilde zusammenfassen würde, die wir physikalische Körper, Körnchen oder Teilchen nennen. Und was folgt daraus? Wollte man die Existenz der Felder verneinen, dann müßte man auch die des Stoffes verneinen. Und wenn es weder Stoff noch Felder gibt, dann auch keine Materie, das heißt, es gibt überhaupt nichts mehr, keine Erde, kein Weltall, keine Zeit, keinen Raum!

Klare und strenge Grenzen zwischen Feld und Stoff gibt es tatsächlich nicht, sie gehen ineinander über. Vielleicht sind die Stoffteilchen tatsächlich nur Klümpchen von Feldern? Oder vielleicht... Aber wir wollen aufhören. Es fällt mir schwer, mich von diesem wichtigsten Problem der Physik loszureißen, doch wir wollen uns wieder dem Beschleuniger zuwenden, der „Leere“ in seinem Kanal.

Milliardäre

Der Mensch kann aber heute schon wirklich wunderbare Maschinen bauen, in denen elektromagnetische Felder erzeugt und zur Arbeit gezwungen werden; denken wir nur an das Synchrotron in Dubna.

Aus dem Kanal des Beschleunigers wird mit mächtigen Vakuumpumpen das Gas herausgesaugt, damit die Energie der beschleunigten Teilchen durch das Zusammenstoßen mit fremden Teilchen nicht gehemmt wird. Danach reichert man den Kanal mit Feldern an: In zwei kleinen Abschnitten bilden sich elektrische Felder und auf dem übrigen Kreisweg der geladenen Teilchen ein magnetisches Feld.

Bei einer Gegenüberstellung des Beschleunigerkanals mit einem Radreifen könnte man die Abschnitte der elektrischen Felder mit andersfarbigen Gummistreifen vergleichen, die bei Durchschlägen gewöhnlich auf die Reifen geklebt werden. Diese Streifen werden in der Sprache der Elektrotechniker Impulskondensatoren genannt. Sie liegen sich im Kanalkreis gegenüber, so daß die Teilchen am Ende jedes Halbkreises eine neue Portion Energie erhalten. Diese elektrischen Felder spielen im Beschleuniger die gleiche Rolle wie in den vorhergehenden Beispielen der Dompteur mit der Peitsche oder die Hand mit der Schleuder.

Damit das elektrische Feld die beschleunigten Teilchen mit Energie versorgen kann, müssen die Teilchen unbedingt geladen sein. Was bedeutet eigentlich „geladen sein“?

Kennen Sie die Anekdote von dem Professor, der einen Studenten beim Examen danach fragt, was Elektrizität sei? „Glauben Sie, Herr Professor“, sagt darauf der Student, „heute früh wußte ich es noch, doch jetzt ist es mir gänzlich entfallen.“ „Das ist ja schrecklich!“ antwortet darauf der Professor. „Versuchen Sie sich auf jeden Fall daran zu erinnern, weil Sie dann der einzige Mensch in der Welt wären, der es wüßte!“

Diese alte Anekdote ist auch heute noch aktuell. Es gibt Berge von Büchern über die Elektrizität, über dieses Nervensystem der modernen Technik, doch auf die einfache Frage, was eine elektrische Ladung ist, wie sie „aussieht“, kann heute noch kein Mensch eine Antwort geben.

„Hören Sie sich bitte die Antwort eines Experimentators auf die wichtige und häufig gestellte Frage an: Was ist Elektrizität? Die Antwort ist zwar naiv, aber einleuchtend und ehrlich. Der Experimentator stellt nämlich fest, daß er letztlich über das Wesen der Elektrizität überhaupt nichts weiß.“ Diese Worte stammen von dem bekannten Wissenschaftler *Robert Millikan*. Sie sind seiner Ansprache entnommen, die er anläßlich der Verleihung des Nobelpreises für die Bestimmung der elektrischen Elementarladung hielt.

Eins kann man jedoch mit Bestimmtheit sagen: „Geladen“ sein heißt, um sich ein elektrisches Feld schaffen und dieses im Raum ausbreiten. Wahrscheinlich werden in der Natur

alle Wechselbeziehungen durch Felder verwirklicht. Da die geladenen Teilchen ein eigenes Feld besitzen, kann auch, wie anzunehmen ist, ein äußeres Feld auf sie einwirken. Ein solches Feld wird im Beschleunigerkanal an zwei Stellen geschaffen, und zwar durch besondere Elektromaschinen, die einen Wechselstrom mit hoher Frequenz erzeugen. Dieser Strom bildet an den Beschleunigungsstellen ein elektrisches Feld und liefert zugleich die notwendige Energie. Was geschieht nun an den Beschleunigungsstellen mit den Teilchen? Sie „erfahren“ etwa das gleiche wie Steine bei einem Bergrutsch, wenn sie beim Herunterrollen eine immer größere Geschwindigkeit annehmen. Die „Fallhöhe der Teilchen“ kann im elektrischen Feld in verschiedenen Einheiten gemessen werden, am einfachsten ist aber, sie in Volt anzugeben. So erreicht zum Beispiel am Ende einer „Fallhöhe“ von 127 oder 220 Volt jedes Elektron eine Energie von 127 oder 220 Elektronenvolt. Dank dieser Energie können die Elektronen, die über die Leitungen in unsere Wohnungen gelangen, ihre nützliche Arbeit leisten: die Metallfäden in Glühlampen oder die Heizspiralen in Bügeleisen oder elektrischen Herden erhitzen, die Elektromotoren der Kühlschränke versorgen, Fernsehgeräte und Radioapparate speisen.

Im Beschleunigerkanal sind die „elektrischen Berge“ wesentlich höher als in städtischen Elektrizitätswerken. Die Teilchen treffen auf ihrer Kreisbahn zweimal auf steile „elektrische Abhänge“, und jeder Fall erhöht die Energie der Teilchen um etwa tausend Elektronenvolt. Bei einem ganzen Umlauf sind es demnach 2000 und bei einer Million Umläufe 2000000000 Elektronenvolt. Wenn die Teilchen also fünf Millionen Mal die Kreisbahn passiert haben und dabei 10 Millionen Mal „gefallen“ sind, beträgt ihre Energie 10 Milliarden Elektronenvolt. Da ihr Weg bei einer einmaligen Umkreisung 200 Meter ausmacht, fliegen die Teilchen bei fünf Millionen Umläufen also eine Million Kilometer, was fünfundzwanzig Weltreisen um den Äquator gleichkommt. Ein weiter Weg, nicht wahr? Wie lange müssen die Teilchen diesen Weg fliegen, und wie lange müssen die Physiker darauf warten, bis die in den Kanal einge-

schleusten Teilchen schließlich die notwendige Energie erwerben?

Die Geschwindigkeit der Sputniks von acht Kilometern in der Sekunde scheint uns nach irdischen Maßstäben riesig groß. Mit dieser Geschwindigkeit würden die Teilchen im Beschleuniger eine Million Kilometer in 125 000 Sekunden, das heißt in 2000 Minuten oder 33 Stunden zurücklegen. In diesem Fall würde der Beschleuniger einer Schleuder gleichen, mit der man in anderthalb Tagen nur ein einziges Mal einen Stein schleudern kann. Eine kümmerliche Waffe! Doch Geschwindigkeiten, die im Reich der großen Körper unwahrscheinlich groß erscheinen, sind in der Welt der Elementarteilchen verschwindend klein.

Acht Kilometer in der Sekunde? Eine Kleinigkeit! Wenn der Sputnik seine Bahn mit dieser Geschwindigkeit erreicht, entfällt auf jedes Gramm seines Stoffes eine astronomische Größe: eine Zehn mit 24 Nullen, also eine Energie von einer Trillion Trillionen Elektronenvolt. Doch in jedem Gramm gibt es ebenso viele Kernteilchen: eine Trillion Trillionen Protonen und Neutronen. Daraus folgt, daß bei einem Flug mit kosmischer Geschwindigkeit jedem Kernteilchen insgesamt nur etwa ein Elektronenvolt Energie vermittelt wird. Das ist in der Mikrowelt eine ganz winzige Energie.

Im Beschleuniger von Dubna verlassen die Protonen den Kanal als wahre Milliarden. Im Unterschied zu den Sputniks müssen sie fast mit Lichtgeschwindigkeit fliegen, etwa 300 000 Kilometer in der Sekunde. Könnte sich ein Raumschiff mit dieser Geschwindigkeit fortbewegen, dann wäre es bald kein Sputnik mehr. Es würde nach etwas mehr als einer Sekunde bereits den Mond passieren, nach acht Minuten an der Sonne vorbeifliegen und nach vier Jahren Alpha Centauri, den uns nächsten Stern, erreichen und somit zum ersten intergalaktischen Raumschiff werden. Vorläufig kann der Traum von solchen Geschwindigkeiten erst in der Welt der kleinsten Stoffteilchen verwirklicht werden, in der die Raumschiffe so winzig und so leicht sind, daß man in einem ein Gramm schweren Kügelchen eine Trillion Trillionen solcher Schiffe unterbringen könnte. Da sie so ungeheuer leicht sind, können sie fast bis zur Lichtgeschwindigkeit beschleu-

nigt werden, also bis zur größten der bekannten physikalischen Geschwindigkeiten.

Die ungewöhnlich kleinen Ausmaße, das verschwindend geringe Gewicht und die unvorstellbar riesigen Geschwindigkeiten lassen die Welt der Elementarteilchen ganz anders erscheinen als die schwere und langsame Welt der Erdkörper, in der wir Menschen leben und uns bewegen.

Die Protonen legen eine Million Kilometer – eine Reise von 25 Erdumkreisungen – in dem Kanal des Beschleunigers nicht in 33 Stunden, sondern in etwas über drei Sekunden zurück. Das Synchrophasotron in Dubna ist also eine Kernschleuder, die jeden Augenblick einsatzbereit ist.

Noch ist ein Problem offen geblieben, das der Klärung bedarf. Wir haben bisher versäumt, über das Magnetfeld zu sprechen, das den Kanal des Beschleunigers neben dem elektrischen Feld ausfüllt.

Die Teilchen kommen nämlich nur an zwei kurzen Abschnitten durch das elektrische Feld, wo sie beschleunigt werden, und fliegen den restlichen Weg im Kanal im magnetischen Feld. Wozu dient dieses nun? Wozu braucht man diesen 36 000 Tonnen schweren Ringmagneten, der den dünnen Kanal des Beschleunigers wie ein großer gerippter Panzer umschließt?

Das Magnetfeld hält die geladenen Teilchen im Zaum: Während das elektrische Feld sie immer wieder vorwärts treibt, hält das magnetische Feld sie ständig in ihrer Kreisbahn. Ohne dieses Feld würden die fliegenden Teilchen sofort an die Wände des Kanals prallen, sich in diese hineinfressen, und dann wäre alle Mühe umsonst: Die Teilchen würden spurlos verschwinden. Das Magnetfeld fügt den Protonen zwar keine Energie hinzu, doch es zwingt sie, sich nach jedem Halbkreis wieder den Energiequellen, den Stellen des elektrischen Feldes, zu nähern. Ohne einen Ringmagneten wäre der Beschleuniger einfach machtlos.

Wenn man zum ersten Male davon hört, welche im Grunde genommen bescheidene Aufgabe dieser riesige Magnet in Dubna zu erfüllen hat, ist man versucht zu fragen: Müssen die geladenen Teilchen denn unbedingt im Kreis bewegt werden? Kann man das Gerät nicht so bauen, daß sie ein-

fach auf einer Geraden den „elektrischen Berg“ hinuntergleiten und am Ende ihres linearen Falls die nötige Energie haben?

Jeder Physiker wird zugeben, daß diese Idee nicht schlecht ist. Die Schwierigkeit besteht aber darin, daß man zu diesem Zweck einen „Berg“ errichten müßte, der eine „Höhe“ von 10 Milliarden Volt hätte. Mit anderen Worten: Dazu braucht man ein elektrisches Feld, das tausendmal stärker sein müßte als die elektrischen Felder in den Gewitterwolken, die zu einer Blitzentladung führen. Das wäre ein „Spiel“ mit übergewaltigen Gewittern. Aber auch dieser Weg wurde von den Physikern in Erwägung gezogen. Entsprechende Versuche hat man schon unternommen.

In Zeitschriften der dreißiger Jahre kann man lesen, daß atmosphärische Entladungen in den Bergen zur Beschleunigung von Protonen ausgenutzt wurden. Bei einem dieser Versuche erlitt der Physiker *Kurt Urban* eine tödliche Verletzung. Die Geschichte der Wissenschaft hat leider genügend Beispiele dafür, daß Wissenschaftler ihre heroischen Anstrengungen mit dem Leben bezahlten.

Es geht uns in diesem Falle aber weniger um die Gefahr als darum, daß die andere Möglichkeit, Teilchen hoher Energie zu erzeugen – kosmische Teilchen auf der Erde –, wesentlich aussichtsreicher war. Die Möglichkeit, die Energie der Teilchen allmählich zu vergrößern, ist uns schon bekannt. Man muß dabei beachten, daß sie von dem hohen „elektrischen Berg“ nicht plötzlich herabstürzen, sondern langsam wie auf einer Leiter herabsteigen, Stufe für Stufe, und auf ihrem langen Weg allmählich an Energie zunehmen. Solche, wenn auch nicht sehr leistungsfähige lineare Beschleuniger befinden sich in vielen Laboratorien. Auch in Dubna werden die Protonen erst auf acht Millionen Elektrovolt in einem linearen Kanal beschleunigt, bevor sie in den Ringkanal eingeleitet werden. Heute sind aber schon lineare Beschleuniger bekannt, die „Milliarden-Teilchen“ erzeugen.

Ein anderes Verfahren: Man kann die Teilchen beschleunigen, ohne sie allmählich von einer „langen Leiter“ herabzulassen. Man schickt sie hundert-, tausend- und millionenmal zu einer bescheideneren Energiequelle zurück, zu einem

elektrischen Feld relativ niedriger Spannung. Am bequemsten und sichersten ist das auf einer Kreisbahn zu erreichen; dabei muß aber unbedingt ein magnetisches Feld vorhanden sein.

Die in Bewegung befindlichen geladenen Teilchen unterscheiden sich von denen in Ruhestellung durch ein besonderes Merkmal: Die sich bewegenden Ladungen bilden in ihrer Umgebung nicht nur ein elektrisches, sondern auch ein magnetisches Kraftfeld und können aus diesem Grund auf den Magneten einwirken. Das Magnetfeld wiederum ist eine Teilchenfalle: Sobald die Teilchen in seinen Bereich kommen, werden sie nicht wieder losgelassen.

Das Feld des Ringmagneten zwingt die Teilchen, sich im Kreis zu bewegen. Doch je schneller sie sich bewegen, um so schwieriger ist es, sie im Magnetfeld zu halten, und um so stärker muß dieses sein. Aus diesem Grund hat der Magnet von Dubna auch solche riesige Ausmaße. Er ist so eingerichtet, daß bei erhöhter Geschwindigkeit der Teilchen das Magnetfeld immer stärker wird. Es ist fast so, als würde das Magnetfeld in die Leere des Beschleunigerkanals hineingepumpt werden, wobei der 36 000 Tonnen schwere Ringmagnet die Rolle der Pumpe spielt.

„Alchimie der Gegenwart“

Der Stein der Weisen

Bewundernswerte Alchimie unseres Jahrhunderts!

Eigentlich klingt diese Bezeichnung etwas abfällig und schwülstig. Doch man kann den Begründer der Kernphysik, *Ernest Rutherford*, kaum einer journalistischen Leichtfertigkeit verdächtigen; denn er war es, der den Ausdruck „Alchimie der Gegenwart“ prägte. So nannte er nämlich sein letztes Buch, ein Werk über Kernumwandlungen, das er 1937, kurz vor seinem Tode, beendete. Und tatsächlich, die Umwandlungen der Materie in der subatomaren Welt der Elementar-

teilchen ist eine noch schwierigere Angelegenheit als die Herbeiführung von Kernreaktionen. Das dürfte wohl jedem einleuchten.

Es könnte allerdings scheinen, daß uns die Erwähnung des Mittelalters bei der Suche nach den Grundbausteinen der Materie ablenkt und unsere Gedanken viel zu weit in die Vergangenheit versetzt. Doch wenn jemand wirklich ernsthaft forschen will, muß er mit dem Dunkel der unwissenden Jahrhunderte beginnen.

Tausend Jahre Verirrungen – das ist die Geschichte der europäischen Alchimie. Lohnt es sich überhaupt, darüber zu sprechen? Ja, auf jeden Fall!

Die Alchimisten dachten nicht nur als erste über das Wesen der Stoffe nach, sie begannen auch als erste in ihren Laboratorien mit den „sündhaften irdischen“ Stoffen zu experimentieren. Sie zerlegten das und jenes in einzelne Teile oder verbanden es miteinander. Sie destillierten, erhitzen, lösten auf, filtrierten. Für ihre Arbeiten fertigten sie Probiergläschen, Kolben, Retorten, Metallschlangen, Tiegel und Filter an.

Eigentlich klingt es ziemlich verächtlich: „Sie verbanden das und jenes miteinander.“ Doch tatsächlich wußten die Alchimisten meistens gar nicht, womit sie bei ihren Zauberversuchen hantierten. Aus einigen Stoffen verjagten sie das „Flüchtige“, aus den anderen das „Trockene“ oder setzten anderen Stoffen das „Feurige“ hinzu. Sie waren jedenfalls davon überzeugt, daß es irgendeinen Ursprung aller Stoffe geben muß, der Träger ähnlicher Eigenschaften ist. So verbreitete sich von Jahrhundert zu Jahrhundert, von Generation zu Generation, von einem Land ins andere der Gedanke, Quecksilber und Schwefel wären allen Stoffes Ursprung.

Das alles ist uns längst bekannt, wie auch die Tatsache, daß sie nach dem „Stein der Weisen“ suchten, der einfache Metalle in Gold umwandeln sollte. Und „Panazee“? Dieser Ausdruck des alchimistischen Wörterbuches bestimmte ebenfalls ein jahrhundertelanges Forschen. Durch Abtrennen einer Grundsubstanz und Hinzufügen einer anderen gedachten die Alchimisten, den Stoff zu schaffen, der alle

Krankheiten heilen und zu einer „Panazee gegen alles Übel“ werden sollte. In ihren fruchtlosen Hoffnungen waren gewinnsüchtige Absichten mit edlen Zielen verquickt.

Wenn wir uns heute noch mit den phantastischen Vorstellungen der Alchimisten über die Grundsubstanz beschäftigen, dann vor allem aus einem ganz bestimmten Grund: Sogar die Alchimisten ließen sich von theoretischen Gedanken leiten! Ihre „Ideen“ waren für sie nicht nur eine unerschütterliche Wahrheit, sondern eine treibende Kraft. Ohne diese „Ideen“ wären sie nie in der Lage gewesen, auch nur einen ihrer Versuche durchzuführen. Daraus ergab sich aber eine Art Teufelskreis: Die falschen Ideen führten zu einer falschen Auslegung der Experimente, und die fruchtlosen Experimente nährten ihrerseits falsche Ideen. Doch haben wir es letztlich unseren Urahnen zu verdanken, die sich Jahrhunderte hindurch mit der Frage herumschlugen, aus welcher Materie die Welt beschaffen ist, daß wir heute einen so hohen Wissensstand erreichen konnten. Wir sollten deshalb auch nicht auf die damaligen Verirrungen von oben herabblicken. Wer weiß, vielleicht lächelt man in dreihundert Jahren über unsere Naivität!

Überraschend ist aber folgendes: Während die Alchimie über zwanzig Jahrhunderte keinen einzigen Schritt vorankam, entwickelten sich unter den gleichen historischen Bedingungen und in der gleichen Zeit langsam, aber erfolgreich die anderen Naturwissenschaften.

Die Mathematiker, angefangen von Euklid, entwickelten eine für die damaligen Verhältnisse durchaus aner kennenswerte Geometrie; die Physiker, angefangen von Archimedes, erkannten immer mehr Gesetze der Erdmechanik, die Astronomen seit Hipparch drangen immer weiter in die Tiefen des sichtbaren Sternenhimmels ein.

Und die ersten Erforscher der Materie kamen bei ihren Versuchen, ins Innere der Materie zu dringen, nicht einen Schritt weiter. Nicht einen einzigen! In keinem Land, weder im Altertum noch im Mittelalter oder in der Zeit der Renaissance. Und auch nicht im 17. Jahrhundert, als die Alchimie sich schon dem Ende ihrer ruhmlosen Geschichte näherte und in der Mathematik, Physik und Astronomie Giganten

der Wissenschaft auftraten wie Kepler, Newton, Leibniz und Descartes.

Wie ist diese tausendjährige Hilflosigkeit zu verstehen, die dem Begriff „Alchimist“ schließlich sogar einen abwertenden Ton gab? Vielleicht bestand in den früheren Epochen gar kein Bedürfnis für die Wissenschaft über die Materie, so daß die Alchimisten ein elendes Leben fristen mußten und sogar verhöhnt und verfolgt wurden?

Ein Autor historischer Romane forscht in alten Büchern und macht plötzlich einen unerwarteten Fund; und indem er Daten und Geographie scheinbar zusammenhängender Ereignisse gegenüberstellt, deren Verwandtschaft von den Historikern bisher nie gesehen wurde, entwirft er den Plan einer möglichen Geschichte und freut sich schon auf den Erfolg. Tatsächlich, welch eine erstaunliche Verquickung von Großem und Unscheinbarem!

„... Beginn des 17. Jahrhunderts. Prag. Der Hofastronom Johannes Kepler wartet vor der Tür der kaiserlichen Schatzkammer. ‚Wie ein Bettler stehe ich vor ihnen.‘ Und er denkt an den Brief, den er heute abend schreiben will, wenn er wieder ohne einen einzigen Florin zu Haus angekommen sein wird. ‚Die Tasche leer, und an das Honorar ist auch nicht zu denken.‘ In seinen Händen hält er die Aufzeichnungen des berühmten Tycho Brahe, dessen Amt des Hofastronomen er übernommen hat. In seinem Kopf zeichnen sich, noch unklar, die Gedanken ab, die bald zu strengen Gesetzen der Planetenbewegung werden sollten. Wenn man doch nach Herzenslust arbeiten könnte! Aber Kaiser Rudolph verlangt immer wieder neue Horoskope, die Deutung der Zukunft nach den Sternen. Er, Kepler, ist ja auch bereit dazu, doch wird sein Geldbeutel davon nicht voller.

In der Jagd nach Goldmünzen vergeht die Zeit. Die mißlichen häuslichen Angelegenheiten lenken von der Arbeit ab. Dabei möchte man so gern an etwas anderes denken. Nicht nur an die Planeten. Die Welt ist voller ungelöster Geheimnisse. Er denkt seit langem über die Natur des Lichtes nach, und einmal kommt ihm ein vielversprechender Geistesblitz: Sollte das Licht vielleicht ein dauerndes Stoffausströmen leuchtender Körper sein? Und weiter denkt er: Es kann

keine Materie, sondern es muß eine Eigenschaft des Lichtes selbst sein! Stofflichkeit des Lichtes! Kontinuität der Natur! Wenn man sich doch eingehend mit diesem Gedanken beschäftigen könnte. Aber die Florinen, die Florinen! Und er wartet vor der Tür der Schatzkammer. Ob er sich bei Kaiser Rudolph beschweren soll? Doch dieser ist zur Zeit stark beschäftigt.“

Der Schriftsteller zieht wieder seine Notizen zu Rate und fährt dann fort zu schreiben:

„... Der Kaiser ist sehr beschäftigt. Seit Tagen schon hat er das alchemistische Labor nicht mehr verlassen, wo er mit einem Ausländer – einem polnischen Alchimisten – hinter verschlossenen Türen hockt. Bleich und übernächtigt hantiert er ohne Rast und Ruh. Seine weichlichen Hände sind mit Ruß und Brandblasen bedeckt. Er, der römisch-deutsche Kaiser und Alchimist – auf beiden Gebieten gleich erfolglos –, hat zum erstenmal Glück: Es scheint, als wenn sich das im Tiegel brodelnde Metall mit einem goldenen Glanz überzieht! Dieser Tag wird in die Weltgeschichte eingehen. Es war doch ein guter Gedanke, dem Polen nach Krakau zu schreiben.

In der Stadt hat es sich bald herumgesprochen, daß der Kaiser in guter Stimmung ist. Der Hofastronom eilt ins Schloß und ist wie immer in Gedanken bei den Geheimnissen der Natur und bei seinem leeren Geldbeutel. Plötzlich fällt ihm an der Hofmauer eine Gedenktafel auf: „Hier ist dem Polen Sendziwoi Großes geglückt!“

Sendziwoi? Wer kann das sein? Ach, dieser geleckte Krakauer, der dem Kaiser den Stein der Weisen brachte. Es wird erzählt, daß sich der Glückliche bereits in Württemberg befindet und daß Kurfürst Friedrich ihn mit großen Ehren überhäuft. „In meiner Heimat, in Württemberg“, denkt Kepler. Er schaut nochmals auf die Tafel; doch er ist ernst dabei. Nein, er hält die Alchimie nicht für eine Irrlehre und ihre Adepten nicht für Scharlatane. Aber dem Hofastronomen wird es schwer ums Herz, da seine Wissenschaft und seine Arbeit so viel geringer geschätzt werden.“

„... Aus Württemberg kommt die Nachricht, daß Sendziwoi plötzlich verschwunden sei. Ein unersetzlicher Verlust! Bald

darauf wird bekannt: Der Alchimist am Hofe des Kurfürsten Friedrich ist gefangengenommen und gehenkt worden. Die Intrigen gegen Sendziwoi und der Raub des Polen waren sein Werk. Der Pole aber befindet sich wieder in Freiheit. Kepler freut der Sieg der Gerechtigkeit in seinem Heimatland. Er ahnt nicht, daß man bald darauf seine alte Mutter der Zauberei anklagen wird und daß er ihr zu Hilfe eilen muß, um sie, die nach einem fünfjährigen Prozeß zum Tode verurteilt wurde, zu retten.

Die Jahre vergehen. Und er erscheint wirklich im Land Württemberg als Sohn einer zum Tode verurteilten Hexe. Niemand weiß, daß da ein großer Gelehrter reitet, der bereits drei wichtige Gesetze der Planetenbewegung entdeckt hat. Jedermann meidet ihn. Nur ein Spaßmacher tritt vor einer Schenke mit unverkennbarer Geste an ihn heran, doch Keplers Geldbeutel ist wie immer leer. Trotzdem hängt sich der Spaßmacher ein Stück des Weges in den Zaum des Pferdes und erzählt dem Unbekannten mit hartem polnischem Akzent seine Geschichte, die hier in der Umgebung niemand mehr hören will.

Er berichtet, wie er einstmals in Sachsen den schottischen Alchimisten Seton aus dem Gefängnis befreite und dieser ihm aus Dankbarkeit einen Beutel mit dem ‚Stein der Weisen‘ schenkte. Doch Seton starb, ohne das Geheimnis des wunderbaren Steines preisgegeben zu haben. Daraufhin heiratete der Pole die Witwe des Schotten und kam so in den Besitz sämtlicher restlicher Goldstaubvorräte. Er ging dann nach Krakau und wurde dort bald ein berühmter Mann, dessen Ruf weit über die Grenzen drang, und schließlich ließ ihn der inzwischen verstorbene Kaiser Rudolph zu sich kommen.

Kepler muß an weit zurückliegende Zeiten denken. Er ist erschüttert. Doch der Scharlatan fährt fort und flucht dem Kurfürsten Friedrich. Er, der berühmte Zauberer, mußte im Württembergischen lange im Kerker schmachten; schließlich ließ man ihn frei, doch das goldene Metall, das Geschenk Setons, bekam er nicht zurück. Und das Geheimnis des wunderbaren Steines war mit dem Schotten ins Grab gegangen. Ihm blieben Armut und Elend . . .



„Geheimnis? Würden meine Berechnungen verschwinden, ich könnte sie wiederholen!“ denkt Kepler, und da er sich an die Wandtafel im Prager Schloß erinnert, fragt er in lateinischer Sprache: „Sendivogius?“ „Ja, der bin ich!“ Der alte Sendziwoi hebt stolz den Kopf, doch er unterläßt es, sich nach dem Namen des unbekannten Ausländers zu erkundigen.

„Auch mein Schicksal wird ähnlich sein“, denkt Kepler in der Vorahnung, daß er als Sohn einer Hexe des Landes verwiesen und der Familie außer zwei Hemden und einigen nicht verkauften Exemplaren seiner Werke nichts zurücklassen wird.“

Bevor man die Pole erobert ...

Die Ursache der tausendjährigen Erfolglosigkeit der Alchimie als der Wissenschaft über die Umwandlung der Materie liegt darin, daß sie ein historisch unreifes Wissensgebiet war. Ihr konnte niemand helfen, weil es in dieser Zeit noch nichts gab, womit man ihr helfen konnte. Die Menschheit verfügte weder über genügendes Wissen noch über technische Mittel, um ins Innere der Stoffe erfolgreich vordringen zu können. Warum gelang es den Geographen des Altertums nicht, den Nordpol und den Südpol zu entdecken? Fehlte es ihnen

etwa an Mut? Oder hatten sie kein Verlangen danach? Nein, das war es nicht. Man mußte schließlich erst wissen, daß es irgendwo Erdpole gab. Und diese unscheinbare Wahrheit verlangte von den Astronomen, Physikern, Mathematikern und zum geringeren Teil von den Geographen und kühnen Reisenden eine gewaltige Arbeit. Das theoretische Wissen resultierte aus der Behauptung, daß die Erde eine Kugel sei, daß sie sich um die eigene Achse dreht, die Sonne auf einer elliptischen Bahn umkreist und daß der Neigungswinkel der Erdachse zu der Fläche dieser Bahn im wesentlichen unverändert bleibt. Mit einem Wort: Bevor man die Pole erobern und auf ihnen wissenschaftliche Stationen errichten konnte, mußte die Menschheit erst vieles begreifen lernen, vieles berechnen, sich von vielem überzeugen und vieles schaffen, angefangen vom Kompaß bis zu modernsten Eisbrechern, Flugzeugen und Radiostationen.

In gleicher Weise mußten die Menschen erst reifen, um ins Innere der Materie vordringen zu können. Dieser Weg führte über Moleküle, Atome und Atomkerne. Er kreuzte das Gravitationsfeld, das elektromagnetische und das Kernfeld. Er führte zur Entdeckung und Beherrschung aller stärkeren Bindungen zwischen den immer kleiner werdenden Stoffkörnchen . . . Die Gedankenpunkte sollen bedeuten, daß es auf diesem Weg keine Endstation gegeben hat und auch nicht gibt, nur einige notgedrungene Ruhepausen.

Auf diesem Weg der wissenschaftlichen Erkenntnis darf man keine Ereignisse in der Art von Sendziwois Abenteuer erwarten. Episoden wie diese werden auch kaum mehr vorkommen. Dagegen gibt es in der Geschichte der wirklichen Wissenschaft eine Menge Beispiele keplerscher Uneigennützigkeit. Unsere Erzählung soll jedenfalls keine Abenteuer der Scharlatane, keine dummen Hoffnungen und eitlen Selbstbetrug behandeln; womit wir uns beschäftigen wollen, das ist das glückliche und unglückliche Schicksal physikalischer Ideen.

Aus dem griechischen Wort „phos“ oder „photos“ leiten sich alle wissenschaftlichen Begriffe ab, die mit Lichterscheinungen zusammenhängen. Photon bedeutet also Lichtteilchen.

Ihr könntet jedes beliebige ältere Lexikon aufschlagen, doch neben dem ähnlichen Wort „Photogen“, mit dem man im vergangenen Jahrhundert das Lampenöl bezeichnete, oder neben Phosphor, Photographie usw. werdet ihr vergeblich nach dem Begriff „Photon“ suchen.

Daraus folgt, daß die Wissenschaft bis vor kurzem den Begriff „Lichtteilchen“ nicht benötigte. In der Tat, die Wissenschaftler betrachteten den Lichtstrom wirklich als eine laufende Folge ununterbrochener Wellen.

Die Fortpflanzung des Lichtes wurde tausendmal mit einem ins Wasser fallenden Stein verglichen, von dessen Aufschlagpunkt aus sich Wellen verbreiten. Wird der Stein an einer Angel befestigt, abwechselnd hochgezogen und wieder ins Wasser fallengelassen, dann bilden sich immer wieder neue Wellen. Sie können Hindernissen ausweichen und von diesen reflektiert werden; sie können einander auch aufheben, wenn Wellen zweier Ausgangspunkte aufeinander treffen und ein Wellental auf einen Wellenkamm stößt. Gleiten ihre Wellenkämme aber ineinander über, dann werden sie verstärkt, da die Wellen die Energie der Schwankungsquelle mit sich tragen.

Über Schwankungen und Wellen können Wissenschaftler endlos sprechen. Sie haben auch einen vollkommenen mathematischen Apparat zur Beschreibung wellenartiger Bewegungen geschaffen, wie von ihnen ebenfalls eine einleuchtende Wellentheorie des Lichtes aufgestellt wurde. Doch über die physikalische Natur der Lichtschwankungen sagte diese Theorie nichts Genaues aus, was ihre Autoren aber nicht besonders störte: Für die mathematische Berechnung und für eine anschauliche Beschreibung war nicht so wichtig, was unter der sichtbaren Oberfläche der behandelten Erscheinung verborgen blieb. Die Wellentheorie war etwa mit einem großartigen Gemälde der aufgewühlten See zu vergleichen: Auf dem Bild ist alles wirklich verblüffend natur-

getreu gezeichnet, die auslaufenden Strandwellen, die weißen Schaumkronen, die jagenden Wolken, die unergründlichen Tiefen und die verborgene Macht der gewaltigen Bewegung. Nur eines ließ den Künstler unberührt, das Problem, was eigentlich das Wasser ist. Es genügte, daß es da war.

Lichtwelle? Dabei fragt sich nur, was hier schwingen soll. Der geniale holländische Wissenschaftler *Huygens*, der Begründer der Wellentheorie, antwortete darauf kurz und bündig: „Der Äther schwingt.“

Es war eine Erinnerung an die uralte Idee der antiken Naturphilosophen, die annahmen, daß in der Welt außer Wasser, Erde, Feuer und Luft noch ein fünftes „Element“ vorhanden sei, eine winzige Materie, die überall eindringen kann und auch den Weltenraum ausfüllt. Sie nannten diese Materie „Äther“ (Fliegendes).

Auch heute noch benutzen wir in der Alltagssprache den Begriff „Stimme des Äthers“. In Wirklichkeit hat dieser Ausdruck aber nur noch für die Dichter Gebrauchswert; im physikalischen Sinn hat er nicht mehr Bedeutung wie die alte Wendung „Gott hilf!“

Sich mit dem Begriff des Äthers anzufreunden, fiel den Physikern auch nicht leichter, als mit dem Begriff der Leere fertig zu werden.

Die Leere brauchte über keine Eigenschaften zu verfügen, außer einer: Nicht zu sein! Dabei blieb hoffnungslos unbestimmt, wie die durch den leeren Raum getrennten Körper aufeinander einwirken können, ganz ohne jegliche Vermittler. Als *Newtons* Schüler danach gefragt wurden, antworteten sie: „Wir wissen es nicht.“ Sie wiederholten die Worte ihres Lehrers: „Ich habe diese Hypothese nicht aufgestellt.“

Dieser Satz wird manchmal auch heute noch gern von Wissenschaftlern gebraucht, gewissermaßen als Selbstberuhigung: Da wird die mathematische Abhängigkeit einer Größe von einer anderen gefunden und die entsprechende Formel aufgestellt; es bleibt nur noch zu erklären, warum die Erscheinung gerade so und nicht anders verläuft; man müßte jetzt den physikalischen Sinn der Formel oder Gleichung deutlich machen. Doch dieser physikalische Sinn läßt sich einfach nicht deuten.

Newton entdeckte die Abhängigkeit zwischen Anziehungskraft und Körpermasse in Verbindung mit der Entfernung; doch warum sich Körper überhaupt anziehen und welche physikalischen Vorgänge dabei auftreten, wird aus seinem Gesetz nicht klar.

Etwas Unbegreifliches geschah: Sonne und Erde ziehen sich gegenseitig an, obwohl sie durch keinerlei Fäden miteinander verbunden sind und zwischen ihnen nur „Leere“ besteht. Um für dieses Geheimnis der Anziehungskraft eine Erklärung zu finden, bliebe also nichts weiter übrig, als dafür Gott verantwortlich zu machen. Doch Gott wäre in diesem Fall eine „Hypothese“, die leider nichts erklärt oder beweist. Um aus diesem Dilemma herauszukommen, griffen die Physiker auf den uralten Äther zurück, der die unnatürliche Leere zwischen den physikalischen Körpern füllen sollte. Und schon bevor Huygens ihn als Mittel für die Verbreitung des Lichtes einführte, bediente sich *Descartes* dieses fünften „Elements“, um die Wissenschaft von der mystischen „Fernwirkung“ zu befreien. Von nun an begannen die Ätherströme alle Körper miteinander zu verbinden.

Als hätte *Newton* vorausgeahnt, daß der Äther den Physikern nicht weniger Kopfzerbrechen bereiten wird als die Leere, erkannte er den Äther manchmal an, und manchmal wieder verwarf er ihn. Alle Unannehmlichkeiten rührten aber daher, daß der Äther eigentlich über bestimmte Eigenschaften hätte verfügen müssen, da er andernfalls gar nicht zu gebrauchen war.

Kaum hatten wir das Thema Photon als Elementarteilchen berührt, als wir uns auch schon inmitten des undurchdringlichen Dickichts der alten Probleme der Naturwissenschaft befanden, an denen jahrhundertlang herumgerätselt wurde. Aber das ist wirklich nicht unsere Schuld oder Unvorsichtigkeit. Man kann in der Welt der Elementarteilchen keinen Schritt tun, ohne in dieses Dickicht hineinzugeraten. Wir sollten uns darüber aber nicht beklagen, im Gegenteil, darin liegt ja das Anziehende und das Verführerische der Geschichte der dramatischen Suche nach den „Grundbausteinen der Materie“.

Nachdem also das Licht nach dem Willen der Wissenschaft-

ler zu Schwingungen im „ätherischen Weltozean“ geworden war, blieb fast zweihundert Jahre – von Huygens bis Maxwell – völlig unbekannt, was eigentlich schwingt bzw. den Äther zum Schwingen anregt. Und erst vor einem knappen Jahrhundert bewies *Maxwell*, daß an allem die Elektrizität schuld ist.

Um die sich bewegenden Ladungen bildet sich ein elektromagnetisches Kraftfeld, das sich mit Lichtgeschwindigkeit im Raum verbreitet. Maxwell sah darin keine zufällige Übereinstimmung, sondern einen Hinweis auf die Natur des Lichtes. Beim Schwanken der Ladungen breiten sich von dem sie umgebenden Kraftfeld Wellen aus, die im ätherischen Milieu Störungen verursachen. Man könnte die elektrischen Ladungen im Ozean des Weltäthers mit dem an der Angel befestigten Stein vergleichen, der beim Hineintauchen ins Wasser Wellen verursacht.

Je schneller die Ladungen schwingen, um so häufiger gehen von der Schwingungsquelle elektromagnetische Wellen aus. Und es leuchtet auch ein, daß die Wellen um so kürzer sein müssen, je häufiger sich die Schwingungen wiederholen. Laut der Maxwellschen Idee können wir heute sagen: In den Röntgenstrahlen sind die Wellen so kurz, daß sie wie ein ätherisches Kräuseln anmuten. Die Radiowellen dagegen sind so lang, daß der durch sie ins Schwingen versetzte Äther einer langgezogenen Meereswelle bei Windstille gleicht.

Das sind alles anschauliche und schöne Bilder. Doch sie sagen leider nichts über das physikalische Wesen des Äthers selbst aus. Was ist er eigentlich? Wie ist seine Struktur? Da er alles durchdringen kann, ist er vielleicht ein Gas? Dann müßte er sich aber auch ausdehnen und zusammenziehen können. Warum dehnt sich aber das Licht gleichmäßig schnell nach allen Seiten aus, wenn seine Dichte nicht überall und immer gleich ist? Ließe sich der Äther nicht zusammenpressen, dann wäre er von vornherein ein fester Körper, durch den aber trotzdem alle anderen Stoffe leicht hindurchdringen müßten. Wie ist es also? Kann man ihn wiegen oder nicht? Wenn ja, dann ... Und hier beginnt das Rätseln von neuem.

Dutzende Fragen, eine verzwickter als die andere, wollten von den Physikern gelöst werden. Und die Physiker stellten immer wieder neue Äther-Theorien auf, immer kompliziertere und unverständlichere. Der Vorgänger Einsteins, der bekannte Physiker *Lorentz*, erklärte im Jahr 1902, daß alle diese Theorien nichts taugen.

Damals bedeutete der Äther den Physikern nicht mehr als ein körperloses Phantom, dazu noch ein absolut unbewegliches. Ein anderer Weg blieb ihnen nicht übrig, und Ende des 19. Jahrhunderts schlug Lorentz das Modell eines solchen unbeweglichen Äthers vor. Es schien auch das „glücklichste“ Modell zu sein. Diese Vorstellung fiel dann schließlich einem sehr fein ausgeklügelten Experiment zum Opfer, das seitdem tausendmal beschrieben wurde und dem Physiker *Albert Michelson* Ruhm und Ehre brachte.

Wenn das Licht sich im unbeweglichen Äther bewegt und die Erde durch diesen Äther fliegt, dann müßten sich zwei Lichtstrahlen, einer in Flugrichtung der Erde und der andere entgegengesetzt, mit zur Erde relativ verschiedenen Geschwindigkeiten fortpflanzen. Dann müßte der Erde auch etwas wie ein ätherischer Wind entgegenwehen und das Licht abbremesen. Dabei wurde festgestellt, daß das Licht gar keine verschiedenen Geschwindigkeiten besitzt.

Die Idee des unbeweglichen Äthers stand also im direkten Widerspruch zum Experiment – das Schlimmste, was einer physikalischen Idee passieren kann. Natürlich hätten die Anhänger des alten Phantoms sagen können: „Wartet nur ab, jetzt werden wir erst einmal ein ähnliches Gegenexperiment durchführen und dann...“ „Dann werdet auch Ihr nichts beweisen können!“ antwortete darauf zu Beginn unseres Jahrhunderts *Albert Einstein*.

Drei Jahre, nachdem sich Lorentz über die Ausweglosigkeit der alten Theorien beschwert hatte, verdrängte die Relativitätstheorie für immer die Äther-Theorie. Darin liegt die Stärke einer wahren Theorie: Wenn sie einmal eine falsche Theorie ablöst, dann für immer; dann nützen auch die ausgeklügeltsten Experimente nichts mehr. So führte auch das Gesetz der Erhaltung der Energie sämtliche Versuche, einen „ewigen Motor“ zu bauen, ad absurdum. Seitdem lehnen die

Patentbüros der ganzen Welt alle Projekte ab, die sich mit dem *perpetuum mobile* befassen.

Die Relativitätstheorie bewies, daß es keine absolute Ruhe gibt und auch nicht geben kann. Es gibt auch keinen absoluten Raum, in dem die Sternwelten wie Fische in einem unbeweglichen Wasserbehälter dahinziehen. In einem Aquarium kann man die Bewegung der Fische zu den unbeweglichen Glaswänden demonstrieren, doch im Weltall gibt es keine Wände und Punkte, die sich absolut ruhig verhalten und die man als Maßstab für eine Bewegung benutzen könnte. Deshalb ist auch der Weltenraum nicht mit einem stehenden Gewässer oder mit einem Haus vergleichbar, das irgend jemand für einen zeitweiligen oder ständigen Aufenthalt der Materie erbaut hat.

Das Phantom, dieser „nützliche“ Äther, wandelt das Weltall aber in ein solches Aquarium mit stehendem Wasser um. Dieser im Lorentzschen Sinne unbewegliche und alldurchdringliche Äther sollte also eine in der Natur unmögliche Rolle spielen: Er wurde zur materiellen Verkörperung der absoluten Ruhe und zu einem falschen physikalischen Ausdruck der Idee des absoluten Raumes. Es war an der Zeit, dieses Phantom durch die Relativitätstheorie zu begraben.

Wie konnten im unbeweglichen Äther überhaupt Schwingungen weitergeleitet werden, und wie konnte sich das Licht darin ausbreiten? Etwa so, wie im Theater ein unbeweglich hängender Vorhang beim Berühren leicht erzittert. Weitere Details sind jedoch überflüssig: Die Relativitätstheorie riß diesen Vorhang herunter!

Es war nicht einfach, sich von diesem Phantom zu trennen. Die moderne Physik und vor allem die Wissenschaft über die Elementarteilchen sind das beste Beispiel dafür, daß man eine ganze Reihe von Illusionen aufgeben mußte.

Verschiedene Physiker versuchten auch weiterhin, das Experiment Michelsons zu widerlegen. 1904 verbesserten *Morley* und *Miller* die Genauigkeit ihrer Messungen, und zwanzig Jahre danach verkündete Miller ganz unverhofft, daß seine neuen Ergebnisse ganz klar auf das Vorhandensein von Winden im unbeweglichen Äther deuteten. Millers Ausführungen wurden von dem verstorbenen sowjetischen

Physiker *Wawilow* scharf kritisiert. Das nimmt nicht wunder, hatte die Jagd nach dem Weltäther doch zum Ziel, „Beweismaterial“ gegen die Relativitätstheorie zu sammeln, gegen alle neuen, revolutionären physikalischen Ideen unseres Jahrhunderts.

Die an die Zukunft glaubenden Physiker sahen sich gezwungen, bereits Bewiesenes nochmals zu beweisen. Zu Beginn der 30er Jahre führte der Physiker *Georg Joos* neue Versuche durch und widerlegte nochmals das Märchen über den „gezähmten ätherischen Wind“. Dabei lachte er, ohne ein Blatt vor den Mund zu nehmen, Miller laut aus. Dieser hatte nämlich sich selbst zum Schaden ganz ernsthaft behauptet, daß sich in der Wand seines hochgelegenen Berglaboratoriums, wo angeblich „ätherische Winde wehen“, ein Spezialfenster befinde, das diesem „Wind“ ein Eindringen zu den Geräten erleichtere.

„Leider hat Miller nicht darauf hingewiesen“, machte sich Joos über diesen lustig, „ob sich in der gegenüberliegenden Wand nicht auch ein Fenster befindet. Dadurch wäre es ihm sogar möglich, einen ätherischen Zugwind zu erzeugen.“

Ein Scherz, der einer Totenmesse gleicht! Doch es war mehr ein Nachruf, da der Weltäther 1905 mit dem Erscheinen der Relativitätstheorie bereits begraben worden war. Erwähnenswert ist, daß die Physik im gleichen Jahr – ebenfalls durch Einstein – um einen neuen Begriff bereichert wurde, um den Begriff *Photon*. Es war zuerst auch wirklich nichts mehr als ein Begriff; das Wort selbst ist erst zwanzig Jahre später in das Wörterbuch eingegangen.

Bestand zwischen dem Tod des Weltäthers und der Geburt des Photons eigentlich ein Zusammenhang? Wie schön wäre es gewesen, wenn man hier eine direkte Verbindung hätte finden können! Es wäre dann viel leichter, diese Erzählung fortzuführen. Dann stünde alles ordentlich an seinem Platz. Die von Einstein entdeckten *Lichtteilchen* hätten sofort die früheren Lichtwellen ersetzen können, denn ohne Weltäther gäbe es keine Wellen. Der Lichtstrahl wäre dann einfach ein Strom besonderer, durch den leeren Raum fliegender Teilchen. Und damit Schluß, Licht und Stoff wären gleich-

berechtigt. Von nun an gäbe es in der Welt nur noch Teilchen und keinerlei Wellen mehr.

Teilchen! Wie einfach und klar! Bestimmt sind sie schön gleichmäßig und rund wie Billardkugeln. Die Wissenschaftler lieben diesen Vergleich nicht ohne Grund: Sie wünschen sich, ihre Erklärungen genauso anschaulich darzustellen, wie auch der Schriftsteller um die Ausdruckskraft seiner gedanklichen Bilder bemüht ist. Selbst die Natur liebt die sparsame und klare Form der Kugel: Sind nicht auch Erde, Mond und Sonne sowie alle Sterne kugelförmig? Und warum sollte nicht in der Mikrowelt ebenfalls alles die Form von Kugeln und Kügelchen haben? Klein, kleiner, am kleinsten, wie ineinandergesetzte Puppen. Die Ausmaße spielen in der Natur keine wesentliche Rolle: In der Sternwelt gibt es Riesen und Zwerge, doch die Bewegungen der einen als auch der anderen werden durch gleiche Gesetze der Himmelsmechanik bestimmt. Die Atome, so sagt man, sind dem Sonnensystem ähnlich: Um den kugelförmigen Kern kreisen kleine Elektronenkügelchen; so wird es jedenfalls in den meisten Lehrbüchern dargestellt. Wie schön und einfach das alles ist! Und sollte das Licht aus Teilchen bestehen, dann wäre es... Wieder Kugeln, wieder Mikrobillardkugeln, wieder die erprobten, seit Jahrhunderten bewiesenen alten Gesetze der Mechanik. Wie herrlich das alles zusammenpaßt: Das einheitliche Bild der materiellen Struktur verkündet sich selbst, in jedem Augenblick und so wunderbar einfach! Es lebe das Lichtteilchen, es lebe das Photon!

Gerade die tüchtigsten Wissenschaftler sind bescheidener als unsere dreimalklugen Neuweisen.

„Nehmen Sie es mir nicht übel, daß ich so wenig schreibe. Der Dämon ‚ungelöstes Problem‘ hält mich erbarmungslos in seinen Klauen und zwingt mich zu verzweifelten Anstrengungen, um die vor mir stehenden mathematischen Schwierigkeiten zu überwinden... Mir scheint, daß ich endlich einen Zipfel der Wahrheit ergriffen habe“, schrieb der größte Physiker unserer Zeit, Albert Einstein, einem Freunde.

In diesem Zipfel der Wahrheit sehen die Wissenschaftler aber schon einen besonderen Lohn für ihre ungeheuren An-

strengungen. Und sie stören sich auch nicht daran, daß ein solcher Zipfel manchmal äußerst seltsam aussieht; die Hauptsache ist, sie sind von der durchschimmernden Wahrheit überzeugt.

Das Photon vereinfachte das Weltbild nicht, es wandelte die Materie nicht in eine Sahara von Milliarden kleiner Kügelchen um. Das, was nach seiner Entdeckung folgte, brachte überraschende Merkmale dieses Bildes zum Vorschein. Moderne „Naturphilosophen“ (einige sogar mit wissenschaftlichen Graden) zucken auch heute noch mit den Schultern: „Das kann nicht sein, weil es einfach unmöglich ist.“ Doch in der Physik scheint es solche Menschen nicht mehr zu geben. Dagegen trifft man sie in den anderen Disziplinen der Naturwissenschaft noch an. Sie wehren sich gegen ein Eindringen der modernen Physik in die Biologie, wie sie sich vor kurzer Zeit noch gegen das Eindringen der Kybernetik in die Technik gewehrt haben, als wäre die Naturwissenschaft nicht eine Einheit, als gäbe es nicht eine einheitliche Materie im Weltall.

Planck und Einstein

Alles in der Welt hat seine Geschichte. Fünf Jahre vor Erscheinen des Photons wurde in der Wissenschaft ein anderer Begriff bekannt: das *Quant*. Als hätte dieser Begriff ein neues Jahrhundert eingeleitet, wurde er im Jahr 1900 auf einer Tagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft zum ersten Male ausgesprochen. Dort berichtete der Berliner Professor *Max Planck* über eine neue Formel, die auf die Wärmestrahlung Bezug nahm.

„Am nächsten Morgen suchte mich Herr Rubens auf und erzählte mir, daß er nach der Tagung, spät in der Nacht, meine Formel mit den Ergebnissen seiner Messungen verglichen und überall eine freudige Übereinstimmung festgestellt hatte“, schrieb Planck später.

Es war ein besonderes und tiefgründiges Problem. Planck, einen stillen und exakt arbeitenden Gelehrten, beschäftigte



Max Planck (1858 bis 1947)

diese Aufgabe viele Jahre. Er hatte aber erst Erfolg, als er sich entschloß, eine neue Hypothese aufzustellen, von der niemand hätte sagen können, daß sie „still und pedantisch“ gewesen wäre. Seit mehr als einem halben Jahrhundert wird sie nun die kühne und revolutionäre Hypothese genannt. Das ist auch verständlich, wenn man daran denkt, daß Planck von einer ganz neuen Seite an die Strahlung heranging und an ihr Merkmale entdeckte, die bisher von allen übersehen worden waren: stoffliche Merkmale.

Er sprach den Gedanken aus, daß die Energie in einzelnen Portionen ausgestrahlt und auch aufgenommen wird. Als Planck diese Portionen Quanten nannte, ahnte er noch nicht, daß noch zu seinen Lebzeiten in der Physik viele neue Disziplinen entstehen würden, bei deren Benennung das von ihm für die Lösung nur einer Aufgabe benutzte kurze und so einfache Wort eine so ungleichmäßig große Rolle spielen würde: Quantenmechanik, Quantenstatistik, Quantenelektrodynamik. Bald erschienen auch Substantive, Verben und Adjektive, die sich von diesem Wort ableiteten.

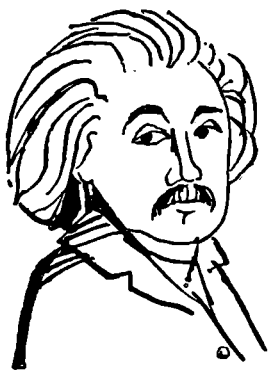
Ein körniger, in einzelne Teile unterbrochener Stoff. So scheint es jedenfalls zu sein. Doch wie kann Energie körnig und unterbrochen sein? Plancks Hypothese behauptete jedoch so. Seine Quanten glichen Atomen – im wahrsten Sinne des Wortes unteilbaren Portionen – der Strahlungsenergie.

Kleinere Portionen als ein Quant kann ein Körper weder ausstrahlen noch aufnehmen. Das Quant ist unteilbar!

Dieser Gedanke war so ungewöhnlich, daß ihn in der ersten Zeit sogar Planck nur als Arbeitshypothese betrachtete: Er brauchte ihn, um *auf seine Formel zu kommen*.

Die Fachleute für Wärmestrahlung nahmen diese Idee nicht für ernst, und die Physiker anderer Fachrichtungen beachteten sie einige Jahre überhaupt nicht. *Max Born* zum Beispiel, der bekannte Theoretiker, erzählte, daß er damals weder in Göttingen noch in Cambridge, wo sich die fortschrittlichsten wissenschaftlichen Zentren dieser Zeit befanden, etwas über das Quant gehört hatte.

Albert Einstein war zu dieser Zeit 21 und der Berliner Professor 42 Jahre alt. Doch den jungen, noch namenlosen Schweizer Lehrer, der erst vor kurzem seine Diplomarbeit beendet hatte, quälte damals schon der Dämon „ungelöstes Problem“. Er war auch als Mensch von ganz anderer Art als Planck. Beide waren gute Musiker, Einstein spielte Geige, Planck Klavier. Akademiemitglied *Joffe*, der beide zu hören Gelegenheit hatte, erzählte, daß Plancks Spiel von einem großen technischen Können und einer klassischen Ruhe zeugte, während bei Einsteins Spiel eine tiefe Musikalität und ungewöhnliche Ausdruckskraft zu spüren waren. Darin



Albert Einstein (1879 bis 1955)

wird wahrscheinlich auch der Unterschied zwischen ihnen als Wissenschaftler und Denker liegen, der Unterschied der Temperamente und des Alters.

Einstein beschäftigte sich ernsthaft mit Plancks Idee. Er sah in ihr nicht nur eine Arbeitshypothese, sondern einen Zipfel der Wahrheit. Und an diesen Zipfel klammerte er sich. Wie in der Musik begeisterte ihn an den Formeln nicht nur ihre äußere, ruhige, mathematische Harmonie, sondern vor allem ihr tieferer, möglicherweise unerwarteter Sinn, das tiefere Wesen der physikalischen Erscheinungen.

Joffe erzählte, wie Planck ihn, den jungen Wissenschaftler aus Rußland, einst beschwor, mit der Quantenhypothese ja vorsichtig umzugehen, und ihn davor warnte, „sich nicht weiter als unbedingt nötig vorzuwagen“ und „keinen Anschlag auf das Licht selbst zu unternehmen“. Zu dieser Zeit hatte aber Einstein schon ohne jegliche Vorbehalte einen solchen Anschlag auf das Licht verübt, da er sich unbedingt „vorwagen“ wollte. Weiter und tiefer! Er sah „in den Quanten nicht ein gelungenes mathematisches Axiom, sondern vielmehr das Mittel, um das Wesen des Lichtes zu ergründen“.

Der unbekannte Lehrer, der auf der Suche nach einer besseren Verdienstmöglichkeit Ingenieur-Experte in einem Schweizer Patentamt wurde, veröffentlichte 1905 in der wissenschaftlichen Zeitschrift „Annalen der Physik“ drei Artikel, die mit dem Namen seiner Frau unterschrieben waren. Diese drei Arbeiten sind für immer in die Geschichte der Wissenschaft eingegangen. Wir wollen hier nur zwei behandeln: die eine über die Relativitätstheorie und die andere über die Quantentheorie des Lichtes.

Geheimnisse des Lichts

Die ausrollenden Meereswellen unterspülen das Ufer, und Windstöße lassen die Körner aus den Ähren fallen. Eigentlich müßten auch die Lichtwellen den Stoff „unterspülen“. Etwas Ähnliches tritt auch in Wirklichkeit ein. Der auftref-

fende Lichtstrahl lockert die Elektronenhüllen der Atome und schüttelt die Elektronen wie reife Körner aus den Ähren. Wo wollte die Energie der Lichtwellen bleiben, wenn sie bei der Aufnahme des Lichts durch den Stoff nicht von den leichten Atomteilchen aufgefangen werden würde?

Vor 70 Jahren überzeugten die Experimente des Moskauer Physikers *Stoletow* alle von dem Vorhandensein eines besonderen elektrischen Stroms, des Photostroms. Später erkannte man, daß es sich hierbei um schwache Elektronenströme handelt, die sich unter dem Einfluß des Lichtes auf der Metalloberfläche bilden. Nach dem Prinzip dieser durch Licht angeregten Energie werden später einmal auf der Erde mächtige Sonnenkraftwerke arbeiten; die kostenlose Energie des Sonnenlichtes wird sich dabei direkt in eine Elektronenbewegung in den Leitungen umwandeln. In Neuseeland soll nach diesem Prinzip schon ein kleines Kraftwerk aufgebaut sein.

Wie verführerisch doch einfache Vergleiche sind! Die auf die irdischen Gegenstände auftreffenden Lichtwellen ähneln den Meereswellen bzw. stürmischen Windwellen... Kann es einen besseren Vergleich geben? Nehmen wir beispielsweise diesen: Das Licht fällt etwa wie Hagel auf die Erde, der auch wie der Wind die Ähren peitscht und die Körner ausfallen läßt. Ist dieser Vergleich etwa schlechter?

Auf jeden Fall bestehen zwischen diesen beiden Vergleichen sehr unterschiedliche Merkmale. Die Windstöße – die Luftwellen – führen einen ununterbrochenen Energiestrom mit sich, der einmal stärker, einmal schwächer, aber im Raum, in dem sich diese Wellen bewegen, ständig vorhanden ist. Der Energiestrom des Hagels dagegen tritt nicht immer auf, er ist in einzelne Portionen eingeteilt, wie in einer „Faust eingeschlossen“. Jedes Hagelkörnchen leistet seinen kleinen Teil – sein ganzes Quant. Wenn alle diese Körnchen mit gleicher Geschwindigkeit fallen, hängt die Energie jedes einzelnen nur von seiner Masse ab: Je größer das Körnchen ist, um so leichter schlägt es ein Ährenkorn zu Boden.

Eben erhob sich über dem Feld ein leichter Wind, der aber bald aufhörte. Er bewegte die Flügel der hier stehenden

Mühle um eine halbe Umdrehung. Gleich darauf setzte ganz kurz ein schwacher Hagel ein und bewegte die Mühlenflügel ebenfalls um eine halbe Umdrehung. Die Energie des Windes und des Hagels war also gleich. Doch schaut euch auf dem Feld um: Als der Wind darüberstrich, bewegten sich zwar die Ähren, doch kein einziges Körnchen fiel heraus. Die schwache Luftwelle hatte nicht genug Kraft, die Körner auszuschütteln. Doch dort, wo der Hagel, der auch nicht stark war, niederging, war die Erde unter den Halmen mit Körnern übersät – ein Zeichen der Wucht des Hagels. Und daneben, wo die Eiskörnchen nicht hinfielen, blieben die Halme unbeweglich stehen.

Wie sehr sich diese beiden Bilder unterscheiden! Dabei war die Gesamtenergie bei Wind und Hagel gleich. Woraus zu schließen ist, daß hier das Ergebnis auch von der „inneren Struktur“ des Energiestroms und nicht allein von seiner Gesamtgröße abhängt.

Wenn wir also die Atome der Stoffe mit Ähren vergleichen und die Elektronen in den Atomen mit den Körnern in den Ähren, womit wollen wir dann das einfallende und aufgenommene Licht vergleichen?

Mit den Windwellen oder dem Hagel? Welcher Vergleich ist besser? Um das beurteilen zu können, müssen wir uns erst einmal den „Elektronenkörnern“ näher zuwenden.

In der Wissenschaft werden ständig Fakten und Ergebnisse gesammelt. Vor Einstein befanden sich die Physiker in einer Lage, in der sie ununterbrochen anlaufende Energiewellen nie und nimmer hätten erklären können. Besonders eine Tatsache war äußerst seltsam: Die Elektronen wurden schon durch schwächste Lichteinwirkung auf der Oberfläche eines Metalls bewegt. Es handelte sich dabei zwar nur um eine geringe Anzahl von Elektronen, aber immerhin um einige; der Photostrom bewegte kaum die Zeiger der Instrumente, aber er bewegte sie doch. Und für die Ionisation eines beliebigen Atoms, für die völlige Loslösung des Elektrons vom Atom, bedarf es, wie wir wissen, einer bestimmten Energie. Mit anderen Worten, ein Minimum von Energie muß vorhanden sein; ohne sie ist eine Trennung der Elektronenbindung nicht möglich. Zum Beispiel können die Wind-

wellen so schwach sein, daß sie die Körner aus den Ähren nicht herauszuschütteln vermögen. Doch jeder Lichtstrom, mag er noch so gering sein, wird immer eine Ionisation hervorrufen. Licht ist einfach nicht aufzuhalten.

Wir verstehen jetzt auch, daß sich alles sofort klären würde, wenn der schwache Lichtstrom nicht eine stille Luftwelle, sondern ein Strom kleiner „Hagelkörner“, wenn auch ein sehr schwacher, so doch ein Strom von Teilchen wäre. Dann wäre zu begreifen, daß seine einzelnen „Körnchen“, so klein sie auch sein mögen, ab und zu auf Elektronen stoßen und dabei ein genügende Menge Energie übertragen könnten, um sie vom Kern zu trennen. Und je stärker der Lichtstrom wäre, um so mehr „Körnchen“ würden diesen Akt vollziehen, wodurch die Wahrscheinlichkeit der Treffer stark zunehmen würde.

Daraus folgt, daß man den Lichtstrom eigentlich nur unter einem anderen Aspekt zu betrachten brauchte. Das hieße aber nicht mehr und nicht weniger, als die Wellentheorie des Lichtes zu verwerfen. Vor diesem Angriff hatte Max Planck den jungen Joffe gewarnt. Dort, wo bisher nach Meinung der Wissenschaftler etwas *Ununterbrochenes* geherrscht hatte, würde jetzt etwas *Unterbrochenes* regieren. Und solche radikalen Gedankenänderungen fallen den Menschen immer sehr schwer.

Die Arbeitshypothese Max Plancks hatte diese Spaltung vorbereitet. Die Quanten traten jetzt als ausgestrahlte und aufgenommene Energieportionen auf. In der Physik wurde, fast wie in den Geschäften die Reklamen, bekanntgegeben: „Von nun an wird die Strahlungsenergie nur noch in Quanten verbreitet!“ Allerdings war man immer noch der Meinung, daß es sich nur um eine neue Methode der Energiemessung handelt, die auf einer besonderen Laune der Natur beruhte, und daß die Strahlen in Wirklichkeit nach wie vor ununterbrochen wirken.

Bei der Suche nach einer überzeugenden Erklärung dieses seltsamen photoelektrischen Effektes ging Einstein aber in seinen Überlegungen noch viel weiter. Er sah in den Quanten eine *physikalische Realität*, er sah, daß sich das Licht tatsächlich wie Hagelkörner verhielt.

So erschienen die *Photonen*, die Lichtteilchen.

Physikalische Quanten und Photonen sind also ein und dasselbe, und der Unterschied zwischen ihnen verhält sich etwa so wie der zwischen einem Rekruten und einem Soldaten, einem Plan und der Verwirklichung.

Interessant ist dabei folgendes: Mit dem entscheidenden Schritt nach vorwärts sah es aus, als hätte Einstein zugleich einen Schritt rückwärts gemacht, einen Schritt in die Vergangenheit der Physik.

Die zweihundertjährige Biographie des Photons verband ganz unerwartet das Heute mit dem Gestern in der Entdeckungsgeschichte der Elementarteilchen. Einige ihrer Episoden sind uns erst heute bekannt geworden. Übrig bleibt nur, das erste Glied in die Kette aufzunehmen, um diese zu schließen.

Die Lichtteilchen waren schon zweihundert Jahre vor Einstein in der Wissenschaft bekannt. Sie tauchten fast gleichzeitig mit den Wellen von Huygens auf und wurden von Newton erdacht. Sie waren es auch, mit denen dieser den „zukünftigen Alchimikern“ einen großen Dienst erwies, während seine Zeitgenossen mit ihnen noch nichts anzufangen wußten. Die Lichtteilchen taufte er „Korpuskeln“, was „kleine Körper“ bedeutet. Später nannte man seine Theorie auch Korpuskulartheorie, wie heute noch die Photonentheorie Einsteins.

Das klingt fast so, als bestätige sich das alte Sprichwort: „Es gibt nichts Neues unter der Sonne.“ Jedenfalls wird dadurch bewiesen, daß man bereits zu Newtons Zeiten daran dachte, die Ausstrahlung des Lichtes könne mit dem Abstoßen eines besonderen Stoffes identisch sein. Grübelte nicht auch schon Kepler über dieses Problem?

Nein, man kann sich nicht vorurteilslos auf alte Weisheiten verlassen. Newton wiederholte nicht Kepler und Einstein nicht Newton. Wahr ist nur eins: Der Streit zwischen den Ideen der ununterbrochenen und der unterbrochenen Strahlung des Lichtes ist in der Geschichte der Physik schon sehr alt.

Kepler nahm an, der Lichtstoff werde ununterbrochen erzeugt und breite sich mit unendlicher Geschwindigkeit aus.

Zu Newtons Zeiten hatte man schon die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit bewiesen. Newton dachte sich diese Erscheinung auch anders als Kepler: Er war von dem Unterbrochensein des Lichtstoffes überzeugt. Dabei stellte er sich die Lichtkorpuskeln verschiedenfarbig und mit entsprechenden Größenunterschieden vor, die roten waren die größten, die violetten die kleinsten, und sie bewegten sich auch mit verschiedenen Geschwindigkeiten.

Was konnte Newton zu seinen erfundenen Korpuskeln noch sagen? Um die Lichtbrechung zu erklären, behauptete er, die Korpuskeln würden von dem Stoff des Prismas angezogen. Für die Lichtreflexion stattete er seine Teilchen mit der Fähigkeit aus, sich von dem Stoff abstoßen zu können. Bei diesen Erklärungen mußte er auf viele weitliegende Erscheinungen zurückgreifen, weshalb mit den Korpuskeln etwa dasselbe geschah wie mit dem Äther: Man war gezwungen, beiden immer wieder neue und widerspruchsvolle Eigenschaften anzudichten.

Newton, der das fühlte und auch zukünftige Schwierigkeiten voraussah, bestand nicht auf seiner „Fließtheorie“, wie er auch nicht auf einer Fernwirkung durch den leeren Raum beharrte: „Ich habe diese Hypothese nicht aufgestellt.“ Es waren vielmehr seine Schüler, die sowohl auf dem einen als auch auf dem anderen beharrten und, wie man so sagt, päpstlicher als der Papst waren.

Huygens' Theorie beherrschte das ganze 18. Jahrhundert, die Wellentheorie das 19. Jahrhundert. Und es schien, als hätte Huygens für immer Newton besiegt. Obwohl sich die Wellentheorie auf den trügerischen Äther stützte, erklärte sie doch solche Erscheinungen, die auf keinen Fall auf den geradlinig fliegenden Korpuskeln beruhen konnten.

Ein anschauliches Bild soll das verdeutlichen: Es ist Nacht. Von weitem dringt das Motorengeräusch eines sich nähernden Kraftwagens an unser Ohr. Grell durchschneidet das Scheinwerferlicht die Dunkelheit. Plötzlich taucht zwischen dem Auto und uns die Silhouette eines Radfahrers auf, die von einem hellen, strahlenden Kranz umgeben ist. Auch die Ränder der Bäume und Sträucher, die wir vor den Scheinwerfern des Autos sehen, besitzen einen leuchtenden Kranz.

Das hieße eigentlich, daß das Licht um Hindernisse biegen kann, wie etwa Meereswellen um Kaimauern – diese Eigenschaft wird in der Physik Beugung, Diffraktion, genannt. Das scheint aber nur so. In Wirklichkeit kann sich der Lichtteilchenstrahl nicht um ein Hindernis biegen. Das ist eine ausschließliche Eigenschaft der Wellen. Und diese brachten Huygens auch den Erfolg; Newtons Ideen mußten weichen.

„...man sollte Vorahnungen oder Vermutungen genialer Menschen niemals unterschätzen“, sagte einst der bekannte französische Physiker *François Arago*. Interessant dabei ist, daß er, der große Wissenschaftler, der Mitte des 19. Jahrhunderts Newtons Biographie schrieb, mit keinem Wort seine Korpuskulartheorie erwähnte; so unerschütterlich schien damals allen die Wellentheorie. Er übersah einfach die „Vorahnungen und Vermutungen“ Newtons, obwohl er dessen Genialität auf jeder Seite hervorhob.

Arago wußte zwar, daß die Lichtkorpuskeln in der Physik der Vergangenheit angehörten, er ahnte aber nicht, daß sie noch eine große Zukunft haben würden. Als dann von Plancks „Quanten“ und Einsteins „Photonen“ die Rede war, erinnerten sich auf einmal alle der vergessenen Korpuskeln.

Doch jetzt konnte die Erinnerung an sie der Wissenschaft nichts Wesentliches mehr bieten: Die physikalischen Eigenschaften der Photonen und der alten Korpuskeln wiesen keinerlei Gemeinsamkeit auf. Und die Photonen waren auch nicht deshalb zum Hauptproblem geworden, weil vielleicht Einstein früher als alle anderen an Newton gedacht hatte, sondern weil man mit der These vom Wellencharakter des Lichtes die neuen Fakten nicht mehr deuten konnte. Man mußte jetzt an Stelle des früheren ununterbrochenen Windes einen zeitweiligen Hagelschauer annehmen. Am erstaunlichsten aber war, daß man von Teilchen sprechen mußte, ohne die Wellen ganz zu verwerfen.

Wenn jetzt die Kette auch geschlossen scheint, so ist damit die Biographie des Photons noch nicht beendet. Im Gegenteil, jetzt beginnt eigentlich erst der wichtigste Teil. Und wenn dieser auch nicht historisch mit der Biographie des

Lichtes verbunden ist, so muß er doch behandelt werden, um die physikalischen Grundlagen der Relativitätstheorie zu berühren und die durch diese Theorie eröffneten Gesetze der Bewegung der Materie zu begreifen. Wir würden sonst in unserem „Reisebericht“ nicht weiterkommen.

Wir wollen also versuchen, entgegen dem Werdegang der Relativitätstheorie und allen traditionellen Geschichten über diese, einen anderen Weg der Erklärung zu finden, und zwar wollen wir als Begleiter durch die seltsame Welt dieser Ideen das Photon als einen der „Grundbausteine“ der Materie mit auf unsere „Reise“ nehmen. Vielleicht wird uns dann diese Welt nicht mehr als eine unsichtbare, unerklärliche und unfassbare Abstraktion, sondern als eine physikalische Realität erscheinen.

Einstein und das Photon

Ruhmasse ist gleich Null

Wenn heute Menschen vereinbarten, über die moderne Physik ganz ohne Mathematik und darüber hinaus ohne physikalische Termini zu sprechen, würden sie sofort zu Taubstummen. Man könnte sie auch mit Reisenden vergleichen, die auf fremde Inseln zu unbekannten Menschen verschlagen werden: Dort können sie sich nicht mehr über Einzelheiten unterhalten, dort sind sie froh, wenn sie sich überhaupt grob verständigen können. Wir wollen aber trotz unseres Sprachfehlers die begonnene Reise fortsetzen.

Im Unterschied zu den alten Enzyklopädien ist in jeder neuen Enzyklopädie im entsprechenden Band das Wort „Photon“ enthalten. Doch das, was wir dort lesen können, erleichtert uns nicht: Die kurze Notiz ist für diejenigen geschrieben, die auch so mit dem Gegenstand vertraut sind und wissen, daß die Energie des Photons bei der einer Frequenz ν gleich $h \cdot \nu$ und die Ruhmasse gleich Null ist, daß sein Spin einer gewissen Einheit gleicht und daß das Photon

infolgedessen der *Bose-Einstein*- und nicht der *Fermi-Dirac*-Statistik unterworfen ist, was für die meisten Menschen natürlich ein Buch mit sieben Siegeln ist. Man sollte die Enzyklopädisten deshalb aber nicht tadeln, denn die Enzyklopädie würde ja auf tausend Bände anwachsen, wenn jeder darin enthaltene Gegenstand lang und breit erklärt wäre.

Das Einfachste, Tiefste und Unbegreiflichste in dieser Notiz über das Photon ist, daß seine Ruhmasse gleich Null ist. Dabei verwirren sowohl die „Ruhe“ als auch die „Null“.

Wir sind daran gewöhnt, die Masse als eine Grundeigenschaft der Materiemenge zu sehen. Wenn wir nun hören, daß es Teilchen ohne Masse gibt – eine Nullgröße ist, wie wir wissen, eine nicht existierende Größe –, sind wir durchaus berechtigt zu fragen: „Gibt es solche Teilchen überhaupt?“ Man kann schließlich niemanden dazu zwingen, an „unmaterielle“ Körper zu glauben.

Was sagen die Physiker dazu? Haben sie sich mit dem Widerspruch zufriedengegeben? Wie könnten sie, die sie die Gesetze der physischen Welt erkannt und interpretiert haben, eigentlich etwas Unmaterielles in ihre Wissenschaft einführen?

Man muß vor allem erst einmal beachten, daß es hier nicht allein um die Masse, sondern um eine bestimmte *Ruhmasse* geht. Dieser Unterschied ist äußerst wichtig. Er weist unserem materialistisch überzeugten Bewußtsein den einzigen Weg: Obwohl die Physiker behaupten, die Masse des ruhenden Photons sei Null, gibt es in der Natur gar kein ruhendes Photon, sondern nur eins, das sich bewegt.

Damit wäre der Widerspruch scheinbar gelöst. Doch wartet nur ab; ein hartnäckiger Materialist gibt sich damit noch lange nicht zufrieden. Also werden ihn Zweifel quälen, und er wird die Physiker mit einfachen, aber unaufschiebbaren Fragen bestürmen. Wenn er dabei noch ein alter Schullehrer ist, der im Geist der klassischen Physik erzogen wurde, dann wird er nicht aufhören, sich über die Antworten zu wundern und auch über die Vermutungen und Erkenntnisse, die in ihm selbst aufgehen werden.

„Entschuldigen Sie“, wird er sagen, „Ihr neuer, zu meiner

Zeit nicht existierender Begriff übt einen seltsamen Eindruck auf mich aus. Hängt nicht die Masse eines Körpers davon ab, wie sich dieser bewegt? Es ist doch schon seit Galilei bekannt, daß Bewegung und Ruhe nur relative Angelegenheiten sind. Wenn ich auf einem Platz mit dem Ball in der Hand laufe, dann befindet sich dieser für mich in Ruhe, während er sich für die auf den Tribünen sitzenden Zuschauer bewegt. Sie behaupten, das Lichtteilchen – das Photon – existiere nur in Bewegung. Doch ich stelle mir vor, daß ich es einhole und neben ihm herfliege. Dann wird es sich im Verhältnis zu mir in Ruhe befinden, und seine Masse wird *für mich* gleich Null sein. Danach müßte es für mich zu existieren aufhören. Und für die anderen? Wird es für die Zuschauer, die unseren gemeinsamen Flug verfolgen, auch verschwinden? Das ist doch Unsinn! Das hieße doch, daß das Photon nicht existiert, weil ich es sehe. Und es kann nur deshalb nicht verschwinden, weil ich neben ihm herfliege. Ist das nun so zu verstehen?“

„Genau so!“ antwortet der Physiker und fragt dann höflich: „Entschuldigen Sie bitte, welcher Jahrgang sind Sie?“

„Das hat doch damit nichts zu tun!“ ärgert sich darauf der alte Lehrer. „Die Naturgesetze können doch nicht davon abhängen, wann ich geboren bin.“

„Natürlich, das können sie nicht. Doch glücklicherweise hängt das Wissen über diese Gesetze davon ab, wann wir geboren sind. Es wäre doch schrecklich, wenn Lomonossow nur das gewußt hätte, was die Menschen vor ihm schon gewußt haben, und wenn wir nicht mehr wüßten als Mendelejew. Nach Ihrer Beweisführung zu urteilen und danach, daß Sie bei unserem Gespräch ärgerlich werden, stehen Sie auf dem Wissensniveau des vorigen Jahrhunderts. Aber wir werden uns schon einigen! Sie sind doch Materialist und pflegen nicht Fakten zu verneinen, wenn diese Ihnen unerklärlich erscheinen. Ein anderer an Ihrer Stelle, irgendein mit der Dialektik nicht vertrauter Dogmatiker, würde einfach mit einem Stein nach dem Photon und seiner bössartigen ‚Ruhmasse gleich Null‘ werfen. Ich entsinne mich, wie vor dem Krieg ein Moskauer Professor mit Steinen gegen die Relativitätstheorie geworfen hat. Man kann es heute kaum

glauben; doch er schrieb für eine Neuauflage der alten Vorlesungen von Lorentz, die jener noch vor dem Erscheinen der Einsteinschen Arbeiten gehalten hatte, zwanzig Jahre nach diesen Arbeiten ein Vorwort, das voller Hoffnung die Wiedergeburt des Weltäthers behandelte! So etwas kommt eben vor.“

„Es war aber doch ein sehr fruchtbares Jahrhundert für die Naturwissenschaft! Darwin, Haeckel, Faraday, Mendelejew.“

„Natürlich war es das! Doch denken Sie daran, daß danach das 20. Jahrhundert folgte: Einstein, Pawlow, Rutherford, Bohr. Allein im ersten Viertel unseres Jahrhunderts erfuhr die Wissenschaft so viel Neues und Unerwartetes über die Natur, daß das jetzige Jahrhundert dem vorigen mit einem Schlag ebenbürtig wurde, ja, dieses sogar übertraf. So scheint es mir wenigstens. Aber wir haben in der Hitze des Gefechtes ganz die Ruhmasse des Lichtteilchens vergessen.“

„Ich nicht!“ sagt darauf der alte Lehrer. „Doch mir scheint, Sie wollen mich nur mit allgemeinen Phrasen über die modernen Ideen des 20. Jahrhunderts abtun. Warum ist denn gerade im 20. Jahrhundert soviel Unverständliches auf dem Gebiet von Kunst und Wissenschaft erschienen?“ fragt er dann, um sich aber gleich auf die Zunge zu beißen, da ihm der unerklärliche Weltäther, die zweifelhafte Leere, die naive Atom-Kugelvorstellung und noch vieles andere in den Sinn kommt. „Nein, so werden wir nicht fertig damit!“ setzt er hinzu. „Ich liebe die Klarheit. Ich bin kein feiger Mensch und fürchte mich auch nicht vor Fakten und schon lange nicht vor der Logik. Denken Sie ja nicht, daß ich Sie um alles in der Welt widerlegen möchte; ich will Sie nur verstehen.“

„Danke schön. Dann ist ja alles in Ordnung!“ sagt darauf der erfreute Physiker. „Fakten und Logik. Logik und Fakten! Haben Sie eigentlich schon einmal etwas über die Relativitätstheorie gehört?“

„Fast gar nichts. Nur allgemeine Worte.“

Nach einer kurzen Pause sagt der Physiker:

„Welche Schlußfolgerung haben Sie eigentlich aus der Behauptung gezogen, daß die Masse des ruhenden Photons gleich Null ist? Sie erwähnten in diesem Zusammenhang, daß die Ruhe eine relative Angelegenheit sei. Zweifellos. Dann nahmen Sie an, mit dem Photon zu fliegen, wobei sich dieses für Sie in Ruhestellung befand und seine Masse, ebenfalls für Sie, zu Null wurde. Dann war Ihrer Meinung nach das Photon für Sie verschwunden, während es aber für die Beobachter zur gleichen Zeit weiterexistierte. Da man aber Licht bekanntlich nicht anhalten kann, müssen die Fehler in Ihrer Betrachtungsweise liegen.“

Der alte, erfahrene Streiter lächelt: „Das Photon wird natürlich weiterbestehen, auch wenn ich es einholen sollte. Doch dann wird es sich mir gegenüber nicht im Ruhezustand befinden, da es sonst verschwinden müßte. Und das ist doch, wie Sie zugeben werden, einfach sinnlos: Wir fliegen nebeneinanderher, und es gibt, wieder im Verhältnis zu uns beiden gesehen, keine Ruhe. Das verstehe ich einfach nicht, wie es möglich ist.“

„Das ist auch gar nicht möglich. Wir empfinden den Flug der Erde nicht, weil wir mit ihr fliegen. Wenn Sie sich vor der Logik nicht fürchten, bleibt eigentlich nur noch ein Ausweg: anzunehmen, daß Sie *nie* neben dem Photon werden fliegen können.“

„Nicht können? Was heißt das? ... Aha, ich verstehe, Sie wollen sagen, daß ich aus technischen Gründen nie die Lichtgeschwindigkeit erreichen werde. Das ist, wie ich zugebe, wirklich sehr schwer. Aber darum geht es doch gar nicht: Ich führe ja nur einen *gedanklichen* Versuch durch. Mich interessiert überhaupt nicht, *wie* ich die Geschwindigkeit eines Photons erreichen werde.“

„Da haben Sie ganz recht“, sagt darauf der Physiker. „Es ist wirklich unwichtig, wie Sie zu einer solchen Geschwindigkeit gelangen sollten. Aber wichtig ist, ob Sie diese *prinzipiell* erreichen können, ob das die physikalischen Gesetze der Natur zulassen und nicht nur unsere menschliche Einbil-

dungskraft. Wir haben uns davon überzeugt, daß das Photon verschwinden würde, um dabei gleichzeitig weiterzuexistieren. Es gibt keinen anderen Ausweg: *Das ist unmöglich.* Nicht wahr?“

„Einverstanden!“ antwortet nach kurzem Überlegen der Lehrer. „Ich wäre einverstanden, wenn sich das Photon mit unendlicher Geschwindigkeit bewegen würde. Dann wäre meine Vermutung, daß ich neben ihm herfliegen kann, gegenstandslos. Bei einer unendlichen Geschwindigkeit brauchten weder das Photon noch ich irgendeine Zeitspanne, um an eine beliebige Stelle zu gelangen, in die nächste Stadt, zum Mond, zur Venus – mit einem Wort, zu jeder möglichen Stelle vom Ort des Abfluges aus. Bei einer unendlichen Geschwindigkeit könnten wir uns, das Photon und ich, im Augenblick des Abfluges sowohl am Abflugsort als auch an einer von diesem beliebig weit entfernten Stelle befinden. *Physikalisch* ist eine unendliche Geschwindigkeit einfach sinnlos.

Übrigens brauche ich Ihnen nicht zu sagen, daß die Lichtgeschwindigkeit bereits zu Newtons Lebzeiten gemessen wurde, daß sie zwar sehr groß, aber doch endlich ist, etwa dreihunderttausend Kilometer in der Sekunde. Also bewegt sich das Photon mit dieser Geschwindigkeit. Und was soll mich daran hindern, eine Geschwindigkeit von dreihunderttausend Kilometern in der Sekunde zu erreichen? Nicht in der Praxis, sondern im Prinzip. Welche Naturgesetze lassen das nicht zu? Ich kenne keine.“

„Im 19. Jahrhundert war das noch niemandem bekannt“, lächelt der Physiker, „außer der Natur selbst. Und diese ist, wenn man sie nicht fragt, stumm und gibt ihre Gesetze nicht preis, obwohl sie diese andererseits auch nicht verbirgt. Aber in welchem Jahrhundert wir auch leben mögen, wenn wir nicht schon zwei Tatsachen wissen würden: daß die Masse des Lichtteilchens im *Ruhezustand* gleich Null ist und daß die Geschwindigkeit dieses Teilchens dreihunderttausend Kilometer in der Sekunde beträgt, dann würden wir bestimmt die Schlußfolgerung ziehen, daß es nicht einen einzigen materiellen Körper gibt, der diese Geschwindigkeit erreichen kann. Dann würde sich nämlich das Photon im Ver-

hältnis zu diesem Körper im Ruhezustand befinden und müßte eigentlich verschwinden. Und wir glauben doch nicht an Wunder.“

„Nein, an Wunder glauben wir nicht!“ bejaht der Lehrer. „Demnach gibt es in der Natur auch noch eine physikalische *Grenzgeschwindigkeit*, eben die Lichtgeschwindigkeit. Scheinbar kann man sich damit nur schwer abfinden, doch Sie haben mich eben selbst überzeugt, daß eine unendliche Geschwindigkeit ein physikalisches Unding ist. Aus diesem Grunde dürfte Sie die Grenzgeschwindigkeit kaum stören. Im Gegenteil, sie ist ein Beweis mehr dafür, daß die Lichtgeschwindigkeit nicht unendlich ist. Stellen Sie sich doch vor, daß es Ihnen gelingen würde, schneller als Licht zu fliegen. Dann würden Sie allmählich auch das Licht einholen, das von irgendeiner Lichtquelle vor Ihrem Abflug ausgestrahlt wurde. Erst würden Sie das gestrige, dann das vorgestrige und schließlich das Licht einholen, das vor einem Jahr losgeschickt wurde. Wenn eine solche Quelle ein Spiegel wäre, in dem sich das Leben widerspiegelt, dann würden Sie erst die Bilder des gestrigen Tages, dann noch frühere und noch frühere erblicken. Mit einem Wort, Sie würden sich von der Gegenwart in die Vergangenheit bewegen. Ursache und Wirkung würden in diesem Fall die Rollen tauschen.“

„Ja, um dazu etwas zu sagen“, unterbricht der alte Lehrer den Physiker, „die alten Azteken stellten ihren obersten Gott mit einem polierten Steinspiegel in den Händen dar. Und sie glaubten daran, daß sich in diesem Spiegel alle Ereignisse widerspiegeln, die in der Welt vor sich gehen. Sie können sich also bei Ihrer Erzählung auf die Widerspiegelung dieses legendären Spiegels der südamerikanischen Indianer berufen.“

„Sehr schön!“ sagt der Physiker. „Beim Überholen der Strahlen, die von dem polierten Stein ausgehen und den folgerichtigen Ablauf eines Menschenlebens widerspiegeln, würden Sie zuerst einen alten Mann, dann einen Jüngling und zuletzt einen Säugling sehen. Und all das wäre, wenn Sie das Licht überholen könnten, keineswegs ein Trugbild Ihrer Phantasie. Die Richtung des Lebensablaufes, die Reihenfolge von Ursache und Wirkung wären nur relativ zu be-

trachten, würden nur vom Beobachter abhängen. Über eine ähnliche paradoxe Erscheinung zerbrach sich Einstein den Kopf, als er sechzehn Jahre alt war. Es war in dem berühmten Jahre 1895, als in Rußland *Alexander Popow* das Radio erfand, in Deutschland *Wilhelm Röntgen* seine großartigen Strahlen entdeckte und in Frankreich *Henri Becquerel* mit seinen Versuchen begann, die mit der Entdeckung der Radioaktivität endeten. Die angeführte paradoxe Erscheinung aber können wir nur erklären, wenn die Natur für keine weitere Bewegung der Materie im Raum eine größere Geschwindigkeit erlaubt als die des Lichtes.“

„Wirklich, sehr interessant“, murmelt der alte Lehrer. „Das paßt eigentlich auch in mein Konzept. Viele Menschen wird aber verwirren, daß sie sich gedanklich im Augenblick auf die Sonne versetzen können, während das Licht dazu etwas über acht Minuten braucht. Folgt daraus nicht, daß der Gedanke viel schneller ist als das Licht? Wobei ich andererseits nicht annehmen kann, daß der Gedanke ein unmaterielles Wunder ist, daß die Naturgesetze auf diesen nicht zutreffen. Was sagen Sie dazu?“

„Aber das ist doch ganz einfach!“ lächelt der Physiker. „Wenn Sie sich in Gedanken auf die Sonne versetzen, vollzieht sich der materielle Prozeß nicht zwischen Erde und Sonne, sondern in den Zellen Ihres Gehirnes. Dort geht dann irgend etwas vor sich, dort findet irgend etwas Materielles statt, das uns heute noch nicht genau bekannt ist, das die Biochemiker und die Biophysiker bestimmt aber noch ergründen werden. Die Abstände zwischen den Gehirnzellen sind aber so gering, daß die Reaktionen im Gehirn auch beim langsameren Denken über den Flug von der Erde zur Sonne nur sehr wenig Zeit benötigen. Sehen Sie, das ist auch die reale Grundlage des Ausdrucks ‚im Augenblick‘.“

„Wissen Sie, mir scheint, ich weiß jetzt, mit welcher materiellen Eigenschaft die Existenz der Grenzggeschwindigkeit verbunden sein muß. Freilich ändert diese Lösung das bisherige Bild über die Bewegung materieller Körper, das ich vor meinen Schülkindern so viele Jahre aufgezeichnet habe; aber ich sehe ein, das alte Bild taugt heute wirklich nichts mehr.“

„Ich dachte mir doch gleich, daß wir uns verstehen werden!“ nimmt der Physiker dieses Bekenntnis freudig auf. „Und wir haben uns sogar ohne Mathematik geeinigt! Und nun sagen Sie mir Ihre Lösung.“

Masse und Energie

Die materiellen Körper – von den gigantischen großen Sternen bis zu den winzigsten Teilchen – sind, aus welchen Gründen auch immer, nicht in der Lage, den Zustand ihrer Bewegung zu verändern, wenn sie sich gleichmäßig auf einer Geraden fortbewegen. Und solange sich die Geschwindigkeit nicht ändert, bleibt auch die Energie der Körper gleich. Das bedeutet aber, daß ein Körper zur Beschleunigung seiner Geschwindigkeit von irgendwo Energie hernehmen muß.

Nehmen wir an, daß ein Körper von irgendwo diese Energie erhalten hat. Wie verändert sich dann seine Geschwindigkeit? Besser gesagt: Um wieviel wird sie größer? Auch ein Mensch, der die Gesetze der Mechanik nicht kennt, wird darauf sagen: Das hängt bestimmt davon ab, was für eine Masse ihre Geschwindigkeit verändern soll. Wir waren auch nicht ohne Grund über die Masse unseres ersten Sputniks der Sonne so stolz. Schließlich war es doch ihre Masse, die die ganze Welt in Erstaunen setzte: Je größer die Masse, um so schwieriger ist es, einer Rakete die notwendige Geschwindigkeit zu verleihen.

Stellen wir uns eine Rakete vor, die mit dem großen Ziel gestartet wird, Lichtgeschwindigkeit zu erreichen. Dabei sind alle äußeren Einflüsse, die sie bei ihrem Flug stören könnten, aus dem Weg geräumt. Treibstoff? Der ist in Hülle und Fülle vorhanden. Reibung? Es gibt keine Reibung. Unzulänglichkeiten der Form und des Materials? Auch diese gibt es nicht, wie ebenfalls auch alle Berechnungsfehler ausgeschaltet sind. Was hier aufsteigt, ist eine ideale Rakete. Und trotzdem wird sie, wie wir uns überzeugt haben, nie Lichtgeschwindigkeit erreichen.

Es muß also etwas an der Rakete selbst sein, das durch keine Mittel zu beseitigen ist und das sie daran hindert, ihre Geschwindigkeit grenzenlos zu steigern. Und was ist das?

Man kann mit unserer idealen Rakete alles machen, außer einem: sie in etwas Unmaterielles verwandeln, sie ihrer Masse berauben. Und wahrscheinlich müssen die Wurzeln des Übels gerade hier und nirgendwo anders gesucht werden. Vielleicht würde man mit einer kleinen Rakete mehr Erfolg haben als mit einer großen? Zuerst ja. Ein kleiner Junge kann sich aus dem Stand schneller in Bewegung setzen als ein dicker Mann. Auch im Beschleuniger sind Protonen schneller zu beschleunigen als schwere Kerne. Doch die Geschwindigkeitsgrenze – 300 000 Kilometer in der Sekunde – ist für alle Körper gleich, weil es keinen Körper gibt, weder einen kleinen noch einen großen, gegenüber dem sich das Photon im Ruhezustand befinden würde. Das bedeutet aber, daß sich sowohl der kleine Junge als auch der dicke Mann oder das Photon beim Versuch, die Grenzgeschwindigkeit zu erreichen, in der gleichen Lage befinden müssen wie Raketen verschiedener Masse.

Das, was sie erst voneinander unterschied, ihre verschiedenen Massen, hört bei Grenzgeschwindigkeit offensichtlich auf, sie auch weiter zu unterscheiden. Es ist auch gar nicht anders möglich, da die Wurzeln des Übels nur in der Materialität der Körper selbst verborgen sein können. Bei Lichtgeschwindigkeit kann dann weder ein Mehrverbrauch an Treibstoff noch irgendwelcher Energiezustrom ihre Geschwindigkeit auch nur um ein Jota vergrößern. Denn sonst wäre es keine Grenze! Aber wie muß dann die Masse eines Körpers sein, damit man mit ihr nichts mehr anstellen kann? Ja, dann müßte sie eben unendlich sein.

Demnach müssen der kleine Junge, der dicke Mann und eine jede beliebige Rakete, die sich der Grenze – der Lichtgeschwindigkeit – nähern, unüberwindbar „schwer“ werden, und auch der Unterschied ihrer Anfangsmasse muß schwinden. Eine Geschwindigkeit aber, wie die des Lichtes, ist für alle unerreichbar.

Manchmal hört man die ungenauen Sätze „Die Teilchen bewegen sich in den kosmischen Strahlen mit Lichtgeschwin-

digkeit!“ oder „Im Dubnaer Synchrotron beschleunigen die Physiker die Protonen auf Lichtgeschwindigkeit“. In beiden Fällen ist aber sträflicherweise das kleine Wort „fast“ ausgelassen! *Fast* bis auf Lichtgeschwindigkeit, ja, das ist möglich. Denn wenn die Teilchen im kosmischen Raum oder im Beschleuniger tatsächlich die *gleiche Geschwindigkeit* wie das Licht erreichen würden, dann wären sie in den Laboratorien der Physiker unendlich schwer. Und das wäre ein katastrophales „Wunder“.

Diese Überlegungen brachten uns also auf die wirkliche materielle Ursache des Vorhandenseins der Grenzgeschwindigkeit: Die Größe des Körpers hängt von der Größe der Geschwindigkeit ab, und dieses Verhältnis sieht so aus, daß die Masse *unendlich* wird, wenn die Geschwindigkeit auf die des Lichtes ansteigt. Das ist eine zwingende und einzig mögliche Schlußfolgerung: Würde die Masse unserer idealen Rakete beim Erreichen der Lichtgeschwindigkeit nicht unendlich werden, dann könnte sie nichts mehr daran hindern, ihre Geschwindigkeit auch weiter zu steigern.

Allein durch Überlegungen wäre es dem Lehrer schwergefallen, die mathematische Formel des Gesetzes der Massenzunahme aufzustellen. Aber das ist eine andere Angelegenheit. Viel wichtiger ist, daß er ein neues, im 19. Jahrhundert noch nicht bekanntes physikalisches Gesetz erfaßte. Das war für ihn zwar unerwartet und freudig, stimmte ihn aber zugleich auch etwas traurig: Die frühere Vorstellung über die Bewegung der Materie war in ihm zusammengebrochen.

Die Masse der physikalischen Körper wurde immer als unveränderlich dargestellt. Man war der Meinung, daß Körper nur durch eine Art chirurgischen Eingriff vergrößert oder verkleinert werden können: Entweder konnte man einem Körper ein Stück abschneiden oder ein abgezwicktes Stück ankleben. Diese Ansicht wurde im Gesetz über die Erhaltung der Masse verankert. Und dann stellte es sich heraus, daß die Sache ganz anders aussieht. Das Gesetz über die Erhaltung der Masse schien nur noch an einem Haar zu hängen: Noch ein Anstoß der unerbittlichen physikalischen Fakten und der gleich unerbittlichen Logik – und das Haar riß. Und was dann?

Der alte Lehrer, der sich vor der Logik nicht fürchtete, schloß für einige Sekunden die Augen: Vor ihm entstand plötzlich eine Welt, in der die Masse ununterbrochen zunahm und immer wieder zunahm, ohne daß sich die Menge der Stoffteilchen auch nur um eins vergrößerte. Und sie nahm zu, weil sich die Sterne im Weltall und die Elektronen in den Atomen immer schneller zu bewegen begannen. Gleich darauf änderte sich das Bild ins Gegenteil: Die Masse verschwand und erschien auch nicht mehr an einer anderen Stelle. Sterne und Elektronen begannen sich immer langsamer zu bewegen, und ihre Masse schmolz dahin. Der Lehrer überlegte: „Das kann doch nicht sein, weil . . .“, und fast hätte er hinzugesetzt, „weil es nicht möglich ist.“ Doch da fiel ihm Tschechow ein, und er mußte lachen. „Wahrscheinlich bin ich zu voreilig“, dachte er und öffnete die Faust. „Mit dem 20. Jahrhundert ist wirklich nicht zu spaßen. Ich habe es ganz vergessen, daß ich ganz unverhofft aus dem 19. Jahrhundert in diese Zeit eingedrungen bin. Jetzt heißt es aber, sich zusammenzureißen und zu überlegen, sonst werde ich noch zu einem Dogmatiker.“

Und er verlor sich in Gedanken. Der Physiker aber dachte gar nicht daran, ihm mit seinen unwiderlegbaren mathematischen Formeln zu Hilfe zu kommen. Er wußte, daß ein Mensch, der überlegen kann und nicht einfach alte Wahrheiten wiederholt, mit der Wissenschaft nie in Konflikt gerät.

Das unerschütterliche Gesetz über die Erhaltung der Masse geriet ins Wanken. Masse ist doch eine Grundeigenschaft jeder Materie. Ein Erscheinen der Masse *aus dem Nichts* oder die Umwandlung der Masse *in Nichts* erklärt sowohl der Physiker als auch der Philosoph für ein Unding.

Haben die Worte „hinter den Grenzen des Weltalls“ einen Sinn? Wohl kaum, denn dann müßte hinter diesen Grenzen noch *etwas dasein*, wovon das Weltall abgetrennt ist, obwohl unser Weltall nur aus *dem* besteht, *was vorhanden ist*. Die Welt kann aber nicht aus sich selbst heraus, weil es außer ihr nichts anderes gibt. Man kann sich jede beliebige Umwandlung der Materie vorstellen, außer einer: der Auflösung. Irgend etwas Materielles müßte ja dann zu etwas

werden, das keine Materie ist, zu etwas, das nicht zum Weltall gehört. Die Materie kann nirgends hin, und sie kann auch nicht von irgendwoher erscheinen, weil sie die Quelle von sich selbst ist.

Der alte Lehrer sagte sich: „Wenn die Rakete bei der Beschleunigung an Masse zunimmt, dann muß etwas anderes die Masse verlieren. Es gilt also festzustellen, was und wie?“

Er überlegte weiter: „Was geht eigentlich während des Fluges der Rakete in dem sie umgebenden Raum vor sich?“ Der Raum außerhalb der Rakete ist vor allem so wichtig, weil sie sich nicht selbst mit neuer Masse bereichern kann. Dabei darf nicht vergessen werden, daß es sich um eine ideale Rakete handelt, der eine „grüne Straße“ vorbereitet wurde.

Gibt es auf dieser tatsächlich *keine* Hindernisse? Woher nimmt die Rakete die Energie für die Beschleunigung? Da stimmt doch etwas nicht. Ebensowenig, wie man eine Rakete ihrer Masse berauben kann, kann man sie davor bewahren, mit der für den Flug notwendigen Energiequelle in ständiger Verbindung zu sein. Wie diese Quelle aussieht, ist ein technisches Problem. Doch ganz gleich, um welches es sich auch handelt, eins steht außer Zweifel: Alles, womit die Rakete sich bereichert, kann sie nur aus der Energiequelle schöpfen! Andere Verbindungen mit dem sie umgebenden Raum hat sie nicht.

Und was folgt daraus? Indem die Rakete Energie aufnimmt und ihre Geschwindigkeit vergrößert, nimmt sie in der Endkonsequenz auch an Masse zu; beim Speichern des einen speichert sie zugleich auch das andere. Und die Quelle? Kann diese, wenn sie ihre Energievorräte der Rakete übergeben hat, ihrem Schicksal, dem Verlust ihrer Masse, entrichten? Wohl kaum. Denn sonst müßte die Rakete noch eine andere Verbindung mit dem Raum haben, mit etwas, das ihr Masse zukommen läßt. Doch dieses „Etwas“ gibt es nicht: Das Los der Rakete hängt einzig und allein von der Energiequelle ab. Daraus ist zu schließen, daß diese die Rakete auf irgendeine Art und Weise auf ihre Kosten mit neuer Masse versorgt.

Ja, wenn man sich das alles so vorstellen könnte, wie es in Wirklichkeit vor sich geht! Denn es ist doch nicht so, daß die Stoffteilchen der Energiequelle, sagen wir die Körnchen des Treibstoffes, an dem Körper der Rakete kleben. Das wäre wirklich eine sehr naive Vorstellung. Wenn sie aber tatsächlich an der Rakete haften und damit ein Teil der Rakete selbst werden würden, dann müßten sie bei immer größer werdender Geschwindigkeit selbst an Masse zunehmen.

Die Zahl der Atome, aus denen der Raketenkörper besteht, bleibt die ganze Zeit unverändert. Dabei nimmt aber die Masse der einzelnen Atome zu. Es ist, als wenn jedes Atom der Rakete bei zunehmender Geschwindigkeit aufquellen würde. Aber auch in den Atomen erscheinen dabei weder neue Elektronen noch neue Kernteilchen. Woher sollten sie auch kommen? Das heißt also, jedes Atomteilchen wird „massiver“, weil es bei seiner Teilnahme an immer schnellerem Flug „energiereicher“ wird. Eigentlich brauchte man diese Worte gar nicht in Anführungsstriche zu setzen, denn die Teilchen speichern tatsächlich immer wieder neue Bewegungsenergie auf und nehmen seltsamerweise gleichzeitig an „Gewicht“ zu.

Da die Quelle den Teilchen nur Energie liefert, bleibt uns wiederum kein anderer Ausweg, als anzunehmen, daß es eben die Energie ist, die der Rakete neue Masse zufügt, wobei der Zustrom an Energie gleich dem Zustrom an Masse ist. Energie und Masse bilden hier eine Art Einheit.

Ja, man muß erst überlegen! Das Gesetz über die Erhaltung der Masse muß eben im *Zusammenhang* mit dem Gesetz über die Erhaltung der Energie gesehen werden. Diese beiden fundamentalen Naturgesetze schmelzen jetzt in eins zusammen. Und die Vorstellung über die alles durchdringende Materialität der Welt erleidet keinen Schaden, im Gegenteil, sie wird dadurch erst abgerundet.

Der Gedanke einer Welt, in der die Masse immer mehr zunimmt, weil sich die Sterne im Weltall und die Elektronen in den Atomen immer schneller bewegen, bringt den Lehrer jetzt zum Lachen. „Wie konnte ich auf einen solchen Gedanken kommen?“ tadelt er sich selbst. „*Alle* Sterne und *alle* Elektronen können doch nicht plötzlich schneller werden.“

Woher sollten sie auch die dazu notwendige Energie nehmen?“

Es war nicht einfach zu begreifen, daß ein heißes Bügeleisen schwerer als ein kaltes ist, daß Fieber das Gewicht eines Kranken erhöht, ein Vogel im Käfig leichter als im Fluge ist, daß die Sonne, die ununterbrochen Licht und Wärme in den Raum ausstrahlt, zugleich mit der Energie einen Teil ihrer Masse verliert und sozusagen unter unseren Augen dahinschmilzt. Ein bekannter Physiker meinte erst vor kürzerer Zeit, er könne sich nicht denken, daß sich ein Elektron bei zunehmender Geschwindigkeit allmählich „in einen Kürbis“ verwandle.

Und trotzdem wurde einwandfrei bewiesen, daß sich Bügeleisen, Sonne und Elektron ebenso verhalten: Zunahme und Abnahme von Energie ist der Zunahme und Abnahme von Masse gleichzusetzen.

„Aber natürlich“, sagte sich der hartnäckige und logisch denkende Materialist, „eine solche Sachlage ist durchaus einleuchtend. Noch erstaunlicher ist allerdings, warum die Physiker diese Verbindung nicht eher bemerkten.“

Er überlegte, um selbst auf die Antwort zu kommen. Da fiel ihm ein, daß auch die Ärzte vor verhältnismäßig kurzer Zeit noch nichts von Mikroben wußten, obwohl diese schon immer Krankheiten hervorgerufen haben. Louis Pasteur wurde von seinen Kollegen verhöhnt, und zugleich wimmelte es von Mikroben in dem Wasserglas, das seine Widersacher vom Rednerpult nahmen, um den von lauten Protestschreien trockenen Mund anzufeuchten. Er dachte auch an die endlosen Streitgespräche über die Existenz der Atome. Ja, da kann etwas direkt unter unserer Nase liegen, ohne daß wir es sehen!

Schließlich kam er auf einen ganz einfachen Gedanken: Wahrscheinlich entspricht einem ganz gewaltigen Energiezuwachs des Körpers nur eine ganz kleine Zunahme an Masse – eine so kleine, daß sie mit gewöhnlichen Waagen nicht zu messen ist. Wenn das stimmt, dann ist auch die jahrhundertelange Blindheit der Physiker zu verzeihen, denn dann lag es weniger an ihnen als an der Unzulänglichkeit ihrer Instrumente.

$$E = m \cdot c^2$$

Natürlich hat der alte Lehrer auch in diesem Fall recht. Als er mit seinen Überlegungen so weit gekommen war, zeigte ihm der Physiker die berühmte Formel, die den Zusammenhang von Masse und Energie erklärt, eine der bedeutendsten Formeln der Naturwissenschaft.

Soll man sie nun anführen oder nicht? Eigentlich waren wir stillschweigend übereingekommen, uns ohne Mathematik zu unterhalten. Es fällt mir aber schwer, der Verlockung zu widerstehen; wir wollen uns wenigstens an ihrer Einfachheit erfreuen: $E = m \cdot c^2$ (E = Energie, m = Masse, c^2 = Lichtgeschwindigkeit im Quadrat). Aus der Formel ist leicht zu ersehen, daß sogar in einer winzigen Masse eine gewaltige Energie enthalten ist, da die Größe der Masse mit einer riesigen Größe multipliziert werden muß, mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit. Und umgekehrt: Auch eine gewaltige Energie verfügt nur über eine winzig kleine Masse.

Als die anderthalb Tonnen schwere Rakete, die den Weg zum Mond einschlug, die zweite kosmische Geschwindigkeit erreichte – 11,2 Kilometer in der Sekunde –, war ihr eine gigantische Energie vermittelt worden. Trotz dieser gewaltigen Energie erhöhte sich ihre Masse nur um ein Milligramm. Nicht mehr und nicht weniger... Was für einen winzigen Gewichtszuwachs muß dann erst ein erwärmtes Bügeleisen erfahren! Oder ein Kranker, den das Fieber quält! Nehmen wir an, er hätte eine Temperaturerhöhung von drei Grad, also von siebenunddreißig auf vierzig Grad. Der Kranke wiegt 70 kg und hat eine spezifische Wärmekapazität von (ähnlich wie Wasser) 1; dann wird sein Körper etwa 210 Kilokalorien überschüssige Wärmeenergie aufnehmen. Wie groß ist die Masse dieses Überschusses? Wenn man die Kalorien in erg (Maßeinheit der Arbeit oder Energie im CGS-System) umwandelt, die Lichtgeschwindigkeit in Zentimeter pro Sekunde ausdrückt und sie ins Quadrat erhebt, dann erhält man eine Zahl mit 20 Nullen: 900 000 000 000 000 000 000. Und wenn man die Energie in „erg“ durch diese Zahl teilt, erfährt man, daß der Kranke etwa um ein hundertmillionstel Gramm zugenommen hat.

Kein einziger der in den vielen Jahrhunderten durchgeführten Versuche konnte die Physiker bei sich bewegenden Körpern auf eine „Gewichtszunahme“ hinweisen. In unserer Welt der verhältnismäßig langsamen und schweren Körper sind Zunahmen dieser Art mit Gnomen im Reiche der Riesen zu vergleichen. Selbst die Erde fliegt auf ihrer Bahn um die Sonne zehntausendmal langsamer als das Photon. Wie konnte dann auch die Beobachtung von gewöhnlichen irdischen Geschwindigkeiten die Wissenschaftler auf den Gedanken bringen, daß die Masse der Körper mit der Geschwindigkeit zunimmt?

Und doch waren bereits vor Einstein zwei Physiker mit ihren Versuchen ganz nahe daran, das große Gesetz über die Äquivalenz von Energie und Masse zu entdecken. Wirklich ganz nahe! Es handelte sich um Professor Lebedew, der sich mit dem Licht, und Professor Kaufman, der sich mit Elektronen beschäftigte.

Pjotr Nikolajewitsch Lebedew, dessen Name in die Geschichte der Wissenschaft eingegangen ist, gelang der Beweis des von Maxwell vorausgesagten Lichtdruckes. Das Experiment war sehr einfach und trotzdem überzeugend: Ein von einem Lichtbogen ausgehender Lichtstrahl bewegte die Flügel eines sehr leichten Propellers, der an einem Faden hing und diesen zusammendrehte. Das Licht leistete mechanische Arbeit! Wie der Wind oder der Hagel. Der Strom elektromagnetischer Energie zeigte sehr greifbar, daß er über Masse verfügt.

Das auf dem Weltkongreß der Physiker in Paris vorgebrachte Referat brachte Lebedew allgemeine Achtung und Anerkennung. Der Wissenschaft aber brachte seine Arbeit die Gewißheit, daß es zwischen der „reinen“ Energie (Licht) und der „reinen“ Masse (Stoff) einen Übergang und keinen Abgrund gibt.

Und wieder werden wir an die großen Ereignisse erinnert, die an der Schwelle zwischen dem 19. und dem 20. Jahrhundert eintraten, im Jahre 1900, in dem auch Planck seine Quantentheorie aufstellte. Auf dem gleichen Pariser Kongreß berichteten *Marie und Pierre Curie* über ihre ersten Erfolge bei der Untersuchung der Radioaktivität. Ebenfalls

im gleichen Jahr und in der gleichen Stadt wurde auf einem anderen Kongreß der Elektrotechniker *Alexander Stepanowitsch Popow* mit einem Diplom und einer Goldmedaille für die Erfindung des Radios ausgezeichnet.

In der Geschichte der Wissenschaft ist zu beobachten, daß sich hervorragende Ereignisse in einem kurzen Zeitabschnitt häufen, dann für eine gewisse Zeit ausbleiben, um wieder in dichter Reihenfolge aufzutreten. So war es in den Jahren 1895 bis 1896, 1900 und 1905. Doch auch in den nachfolgenden Jahrzehnten unseres Jahrhunderts gab es sehr fruchtbare Jahre, wie zum Beispiel 1955 und 1956, die wichtige neue Erkenntnisse über die Grundbausteine der Materie brachten. Diese besonderen Jahre der wissenschaftlichen Erfolge sind kein Zufall, wie auch sehr reiche Ernten auf sorgfältig behandelten und gepflegten Feldern auf keinem Zufall beruhen.

In der leichten und schnellen Welt, in der Welt der Elementarteilchen, macht sich die Äquivalenz von Energie und Masse so kraß und so greifbar bemerkbar, daß dieses Gesetz, hätte man es nicht im Jahre 1905 als nächstliegendes Ergebnis der Relativitätstheorie entdeckt, später ganz bestimmt in der Atomphysik als Arbeitshypothese aufgestellt worden wäre, und dann ... Ja und dann wäre früher oder später eine allumfassende Theorie über die Bewegung der Materie ausgearbeitet worden, ähnlich der, die aus den Einsteinschen Arbeiten hervorgeht. Vielleicht hätte diese Theorie dann nicht Relativitätstheorie geheißen, aber die Lichtgeschwindigkeit hätte auch in ihr auf jeden Fall einen ganz besonderen Platz eingenommen, und zwar als *Grenzgröße* für physikalische Geschwindigkeiten. Ganz von selbst hätte sich auch die Arbeitshypothese der Physiker in das strenge, unerschütterliche und allgemeine Gesetz $E = m \cdot c^2$ umgewandelt.

Der sechsundzwanzigjährige Physiker *Albert Einstein*, der am Pult im stillen Kontor eines Schweizer Patentamtes arbeitete, stellte das Äquivalenzgesetz rein theoretisch auf einem Blatt Papier auf und fieberte danach, es praktisch zu überprüfen. Die Atomphysiker hätten dieses Gesetz in ihren großen und modern eingerichteten Laboratorien rein prak-

tisch entdeckt, einfach entdecken müssen, da sie sonst nicht in der Lage gewesen wären, das seltsame Verhalten der Atomteilchen zu erklären.

Erinnert ihr euch noch an den Vergleich, in dem die Geschwindigkeit der Protonen in dem engen Beschleunigerkanal des Dubnaer Synchrophasotrons den Geschwindigkeiten der ersten Sputniks gegenübergestellt wurden? Einst werden auch Photonenraketen genauso ungestüm wie die Dubnaer Protonen durch den Raum fliegen. Doch bei ihnen wird die Masse nicht mehr um einige traurige Milligramm zunehmen; bei einer Geschwindigkeit von 260 000 Kilometern in der Sekunde wird die Rakete ihre Masse *verdoppeln*; sie wird also bei einer ursprünglichen Masse von anderthalb Tonnen bei dieser Geschwindigkeit drei Tonnen schwer sein. Die Protonen in Dubna fliegen aber noch schneller. Bei einer Energie von zehn Milliarden Elektronenvolt *verzehnfacht* jedes Proton seine Masse. Bei ihren Versuchen und Berechnungen merken die Physiker natürlich eine solche Zunahme an Masse, beträgt diese doch über tausend Prozent. Dieser Massenzuwachs wurde auch schon vorher von den Konstrukteuren des Synchrophasotrons beobachtet.

Die Milliarden-Protonen in Dubna werden fast so schwer wie ein Kohlenstoffatom, und je schneller sie fliegen, um so schwieriger wird es, sie weiter zu beschleunigen, da sie immer schwerer werden. Man muß bei zunehmender Beschleunigung also auch gleichzeitig das elektrische Feld ändern, damit die schwerer gewordenen Protonen im richtigen Augenblick in die „Beschleuniger-Abschnitte“ gelangen und sich nicht verspäten. Aber die Konstrukteure haben auch das vorausgesehen, als sie das Synchrophasotron schufen.

Es gibt in der heutigen Technik bereits Situationen, in denen die Ingenieure ohne Kenntnis der Formel $E = m \cdot c^2$ nicht mehr weiterkommen. Diese Formel, die vor kurzer Zeit noch eine rein theoretische Bedeutung hatte, ist heute in die Praxis, in die Technik, eingegangen. Und was würden die Atomphysiker ohne sie machen?

Die Mikrowelt würde sich in den Laborgeräten und Instrumenten genauso verzerrt widerspiegeln wie unsere Ge-

sichter im Spiegelsaal eines Panoptikums. „Es ist zum Verücktwerden!“ hätten die Physiker dann zu klagen. „Entweder unsere Geräte lügen ganz erbärmlich, oder wir übersehen einfach das Wesentliche.“

Die seltsame Welt der Elementarteilchen besteht aus Erscheinungen und Gesetzen der Natur, die der klassischen Physik noch unbekannt waren. Seltsamerweise werden auch heute noch in den meisten allgemeinbildenden Schulen die alten klassischen Vorstellungen der Physik behandelt. Und später, nach der Schule, kommen nur noch wenige mit der Physik in Berührung; sie haben dann je nach ihrer beruflichen Tätigkeit andere Interessen und andere Sorgen. In der Schule erzog man uns zu Zeitgenossen Newtons; Einstein lernten wir nicht mehr kennen. Bestrebt, uns die Gesetze von *Ohm* und *Gay-Lussac* einzupauken, bemühte sich die Schule nicht allzusehr um unser physikalisches Weltbild.

Fast hätten wir bei unseren Überlegungen das Photon vergessen, von dem wir ausgegangen waren. Inzwischen haben wir einiges hinzugelernt, doch wenn wir jetzt das Photon mit anderen Augen betrachten, werden uns neue Zweifel befallen, die manchmal fast ausweglos scheinen.

Erstens: Das Photon ist zwar ein materieller Stoff, fliegt aber trotzdem mit Lichtgeschwindigkeit. Die für die anderen materiellen Teilchen unerreichbare Grenze ist für das Photon durchaus erreichbar. Wie kommt es, daß sich das Photon so sehr von anderen physikalischen Körpern, zum Beispiel der Rakete oder dem Proton, unterscheidet?

Da das Photon mit Lichtgeschwindigkeit fliegt, kann seine Masse natürlich nicht endlos sein. Sonst würde es weder in der Bewegung noch im Ruhezustand existieren. Seine Masse ist in der Bewegung leicht festzustellen. Seiner physikalischen Natur nach ist das Lichtteilchen ein Ausstrahlungsquant bzw. eine elektromagnetische Energieportion. Das Gesetz $E = m \cdot c^2$ läßt uns auch ohne besondere Schwierigkeit die Masse dieser Portion erkennen.

So konnte ermittelt werden, daß ein Quant des violetten Lichtes 150 000mal leichter ist als ein ruhendes Elektron, das leichteste aller Stoffteilchen. Und das Photon des roten Lichtes ist noch zweimal leichter als das violette Quant.

Newton stellte es sich, wie schon erwähnt wurde, ganz anders vor. Er dachte, die Korpuskeln des roten Endes des Sonnenspektrums wären die größten und die des violetten Endes die kleinsten. Er konnte aber auch noch keine richtige Vorstellung über die wirkliche Natur der Lichtkorpuskeln haben und auf keinen Fall ahnen, daß die Lichtteilchen später einmal seine Lehre über die Mechanik angreifen würden. Als nämlich die Lichtkorpuskeln nach zweihundert Jahren in Form der Quanten-Photonen ihre Wiedergeburt erlebten, führten sie gemeinsam mit den Elektronen die Elementarteilchen zu einem Angriff gegen die alten Bewegungsgesetze und die Wechselwirkung der materiellen Körper. Sie ordneten sich sogleich den Einsteinschen Gesetzen unter und forderten kategorisch die Schaffung einer neuen Mechanik, der Quantenmechanik. Heute genügt ihnen auch das nicht mehr!

Wenn auch die Masse des sich bewegenden Photons winzig klein ist, so steckt sie doch voller Rätsel.

Bevor sich die Protonen im Dubnaer Beschleuniger auf ihre fünfundzwanzigmalige Erdumkreisung begeben, befinden sie sich im Ruhezustand. Genauer gesagt, sie bewegen sich lediglich mit kleinen Wärmegeschwindigkeiten in der Kammer der Wasserstoffquelle (wir erinnern uns, daß Protonen Wasserstoffkerne sind). Durch ein Herabsetzen der Temperatur kann man ihre Bewegung bis zum Ruhezustand abbremsen. Mit anderen Worten: Auch wenn sie bewegungslos sind, besitzen sie eine Masse. Sie haben also etwas, das bei einer Beschleunigung *verzehnfacht* werden kann, wenn ihre Bewegungsenergie allmählich bis auf zehn Milliarden Elektronenvolt zunimmt. Auch eine kosmische Rakete besitzt eine reale Ruhmasse, die vor dem Flug in den Kosmos auf einer Waage leicht zu ermitteln ist, also etwas, das während des Fluges *zunehmen* kann.

Das Photon dagegen besitzt „nichts“. Fast fühlt man sich vom Mitleid bewegt. „Jetzt muß es gleich seine weite Reise mit der verrückten Geschwindigkeit von 300 000 Kilometern in der Sekunde antreten und hat noch nicht einmal Masse!“ Tatsächlich, bis kurz vor dem Start existiert das Photon nicht. Man kann es weder sehen noch anfassen, denn seine

Ruhmasse ist gleich Null. Wie speichert das Photon seine Bewegungsmasse? Ist es überhaupt zulässig, „speichert“ zu sagen? Speichern kann man doch nur etwas nach und nach, während das Photon anfangs doch ein *Nichts* ist, eine „Null“. Man kann eine Null auch nicht beschleunigen, wie sie auch nicht zu verdoppeln oder zu verzehnfachen ist. Eine Null bleibt eben eine Null! Wie bildet sich nun die Masse des fliegenden Photons?

Es bleibt nur eine Möglichkeit übrig: Das Photon erlangt seine Masse mit einem Male. Es beschleunigt sich nicht allmählich, sondern besitzt im Augenblick der Geburt sofort seine gesamte Geschwindigkeit, seine gesamte Energie. Stellen wir uns für einen Augenblick vor, die Lichtquelle hätte ein unvollkommenes Photon erzeugt, das eine kleinere Geschwindigkeit als die des Lichtes hat. Es ist auch schon ausgestrahlt, existiert schon, das heißt, es besitzt schon Masse, die seiner Energie gleich ist, doch es hat noch nicht die Geschwindigkeit der anderen Photonen erreicht. Und nun bemüht es sich verzweifelt, die anderen Photonen einzuholen. Doch vergeblich, es wird die Lichtgeschwindigkeit nie erreichen. Je mehr es sich anstrengt, um so größer wird seine Masse; bei einer Geschwindigkeit von 260 000 Kilometern in der Sekunde wird sich diese verdoppeln, bei einer Geschwindigkeit wie der der Dubnaer Protonen mehr als verzehnfachen. Bei Lichtgeschwindigkeit würde die Masse bis ins Unendliche steigen, da sonst diese Geschwindigkeit für das unvollkommene Photon nicht erreichbar wäre. Eine solche Photonen-Mißgeburt könnte also nie zu einem wirklichen Photon, zu einem Lichtteilchen werden.

Seltsame Gebilde, diese Photonen! Eine andere Geschwindigkeit als 300 000 Kilometer in der Sekunde gibt es für sie nicht, wenn sie durch den Raum fliegen. Sie erscheinen, von der Lichtquelle ausgestrahlt, wie die Kleinen der lebendgebärenden Fische fix und fertig, vollkommen ausgebildet. Ihre Energie-Masse kennt keinen allmählichen Zuwachs, sie durchlaufen keine langsame Entwicklung, für sie scheint es keine Zeit zu geben. Sie besitzen im Augenblick ihrer Geburt alles, was sie überhaupt besitzen können.

Dieses außergewöhnliche Verhalten der Photonen ist einzig

und allein auf den Nullwert ihrer Ruhmasse zurückzuführen. Aber wie konnten die Wissenschaftler etwas messen, was nicht vorhanden ist? Wie kamen sie auf den Gedanken, die *ruhenden* Quanten einer Lichtquelle zu bestimmen, wenn es diese *gar nicht gibt*?

So war es auch nicht. Die Wissenschaftler beschritten nicht den hier beschriebenen Weg, sie gingen gerade umgekehrt vor: Wir haben hier etwas als das Ergebnis von Versuchen angenommen, was in Wirklichkeit das Resultat theoretischer Überlegungen war. Dafür sind wir aber ganz ohne Mathematik und schwierige abstrakte Begriffe ausgekommen.

Der erste Zweifelsfall dürfte somit behoben sein: Wenn die Photonen auch mit Lichtgeschwindigkeit fliegen, so werden sie dadurch doch nicht unendlich „schwer“, speichern sie nicht endlos Masse auf. Und das ist nur deshalb möglich, weil sie diese überhaupt nicht speichern, wie sie auch nicht Geschwindigkeit speichern, sondern weil sie gleich mit ihr geboren werden und zu existieren beginnen, ohne jemals eine andere Geschwindigkeit gekannt zu haben. Ihre gesamte Masse ist ein und derselben Herkunft: Es ist die Masse einer winzigen Verdichtung der elektromagnetischen Energie, des Lichtquants.

Unwillkürlich kommt einem der Gedanke: Heißt das nicht, daß man das Photon weder anhalten noch abbremsen kann, da es sich seiner Natur nach mit keiner anderen Geschwindigkeit bewegt als der des Lichtes? Nein, so ist das nicht. Man kann das Photon anhalten, aber nur um den Preis seiner Vernichtung.

Vernichtung? Wie soll das wieder verstanden werden? Materie kann doch nicht vernichtet werden! Das Photon müßte dann doch irgendwem seine Energie-Masse, seine gesamte materielle Form abgeben. Wer empfängt denn diese?

Jetzt diese Fragen zu klären, wäre voreilig. Wir werden noch darauf zu sprechen kommen, wenn wir die Geburt und die gegenseitige Vernichtung von Teilchen und Antiteilchen, die Frage des Bestehens von Antiatomen und Antiwelten kennenlernen werden. Noch sind wir aber nicht so weit.

Vorher wollen wir einige Zweifelsfälle behandeln, die wahr-

scheinlich mehr Schwierigkeiten bereiten als der erste, Zweifelsfälle, die für die Menschen des vergangenen Jahrhunderts und für die des jetzigen überhaupt die schwierigsten waren.

Die verschwundene Zeit und das verlorene Maß

Geschwindigkeit ist relativ

Scheint es nicht, daß wir eigentlich zu kategorisch über die Geschwindigkeit des Lichtes sprechen: 300 000 Kilometer in der Sekunde, 300 000 Kilometer in der Sekunde, 300 000 und wiederum 300 000? Worauf beziehen sich denn diese geheimnisvollen 300 000?

Wir waren in unseren Überlegungen so weit gekommen, daß ein Photon in einer Sekunde eben nur diese Entfernung zurücklegen kann, da es sonst lebensunfähig wäre. Sicher wird in diesem Zusammenhang die Frage auftauchen: Und was macht in dieser Sekunde eigentlich die Lichtquelle, der Körper, von dem sich das Photon 300 000 Kilometer entfernte?

Die Sache wäre klar und eindeutig, wenn dieser Körper die ganze Sekunde an seiner alten Stelle verbleiben würde. Er könnte aber auch dem Photon nachjagen und in dieser Sekunde, sagen wir, 100 000 Kilometer zurücklegen. In diesem Fall hätte sich das Photon nicht 300 000, sondern nur 200 000 Kilometer entfernt. Demnach würde hier die Geschwindigkeit des Lichtteilchens im Verhältnis zu der sich bewegenden Lichtquelle um ein ganzes Drittel kleiner sein, als wenn diese sich nicht von der Stelle rühren würde. Hatten wir nicht behauptet, die Geschwindigkeit des Photons bleibt immer gleich?

Man kann sich aber auch noch ein viel eindringlicheres Bild vorstellen: Nehmen wir an, aus dem Kanal des Dubnaer Beschleunigers fliegt, wie aus einer Schleuder geschossen, ein Milliarden-Proton in den Raum. Ein durchaus reales Bild: In Dubna werden die Protonen doch deshalb bis fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt, um sie im geeigneten

Augenblick zu befreien und auf die Kernzielscheibe zu richten. Wir brauchen uns nur noch vorzustellen, daß im Moment, in dem das befreite Proton die Kammer verläßt, daneben eine Lampe aufleuchtet, von der ein Photonenstrom ebenfalls dieser Zielscheibe zustrebt. Schließlich wollen wir die Zielscheibe noch 300 000 Kilometer von Dubna entfernen und sie auf einem zukünftigen künstlichen Mondtrabanten anbringen. Wenn ein solcher Versuch in der Praxis wohl kaum eintreten wird, so soll uns das aber nicht hindern, dieses Experiment gedanklich durchzuführen, natürlich unter strenger Beachtung unseres theoretischen Wissens.

Das Photon wird die Zielscheibe auf dem Mondtrabanten in einer Sekunde erreicht haben, während das befreite Proton sich etwas verspäten wird. Doch wirklich nur etwas: Mit einer Energie von zehn Milliarden Elektronenvolt geladen, wird es sich ebenfalls mit riesiger Geschwindigkeit bewegen und in der Sekunde fast 299 000 Kilometer durchfliegen. Das Photon wird ihm also kaum über 1 000 Kilometer voraus sein.

Und nun eine weitere Komplizierung des Versuches, die allerdings gegen den gesunden Menschenverstand spricht: Wir setzen die kleine Lampe, von dem die Photonen ausgehen, dem Proton auf den Rücken. Und im Augenblick, in dem unser befreites Proton und der Lichtstrahl Dubna verlassen, fliegt auch die Lichtquelle mit dem Proton zum Mondtrabanten. Dabei wird das Lämpchen in einer Sekunde ebenfalls 1 000 Kilometer hinter dem eigenen Lichtstrahl zurückbleiben.

Wir, die wir uns in Dubna auf der „unbeweglichen“ Erde befinden, werden wahrscheinlich sofort davon überzeugt sein, daß die Geschwindigkeit des Lichtes von der Geschwindigkeit seiner Quelle abhängt. 300 000 und 1 000: Dieser gewaltige Unterschied ist nicht zu übersehen! Doch wenn das stimmen würde – und Ende des 19. Jahrhunderts hatte noch niemand daran gezweifelt –, dann würden in einer einzigen unglückseligen Sekunde alle Errungenschaften der modernen Physik zusammenbrechen: Die Lichtgeschwindigkeit wäre dann keine beständige Größe mehr, das Photon könnte sich im Verhältnis zu anderen Körpern mit ver-

schiedenen Geschwindigkeiten bewegen, und von einer physikalischen Grenzgeschwindigkeit zu reden, wäre genauso sinnlos wie die Formel $E = m \cdot c^2$, unter anderem deshalb, weil man dann nicht wüßte, wie groß c ist – einmal größer und einmal kleiner.

Scheinbar ganz hoffnungslos wird aber die Angelegenheit, wenn man daran denkt, daß auch Dubna und die unbewegliche Erde in ihrer Ruhe ebenfalls relativ zu sehen sind. Die Erde fliegt mit einer Geschwindigkeit von 30 Kilometern in der Sekunde um die Sonne. Wir brauchen also gar kein Lämpchen am Proton zu befestigen: Wenn dieses auch in Dubna unbeweglich erscheint, so fliegt es doch mit der sich bewegenden Erde mit. Es jagt zugleich mit der Erde hinter dem eigenen Lichtstrahl her, wenn es diesen in Flugrichtung der Erde ausstrahlt, und entfernt sich von ihm, wenn es ihn in entgegengesetzter Richtung aussendet. Im ersten Fall fliegt die Erde mit dem Lämpchen in der Sekunde 30 Kilometer hinter dem Lichtstrahl her, im zweiten entfernt es sich um die gleiche Strecke. Es handelt sich also um zwei auf die Erde bezogene relative Geschwindigkeiten: $300\,000 - 30$ km/s und $300\,000 + 30$ km/s. Auch die Sonne ist nicht am Firmament fixiert. Es gibt überhaupt kein unbewegliches Firmament. Auch die Milchstraße befindet sich gegenüber anderen Galaxien in Bewegung. Mit einem Wort, es ist eine Geschichte ohne Anfang und ohne Ende. Und es hat auch gar keinen Zweck, etwas suchen zu wollen, das ganz bestimmt unbeweglich ist. Es gibt einfach nichts, mit dem wir die Bewegung des Photons konfrontieren könnten.

Raum, Zeit und Geschwindigkeit

Sollte man wieder zu der Vorstellung zurückkehren, daß das Weltall ein Aquarium mit stehendem Wasser ist? Sollen wir uns in dem unermesslichen Saal der Natur einen durchsichtigen Vorhang aus dem absolut bewegungslosen und absolut unbegreiflichen Weltäther aufhängen? Wir könnten uns dann vor diesem eingebildeten Vorhang in einen Sessel

setzen und mit Genugtuung betrachten, wie über diesen ein Lichtzittern huscht, immer gleich schnell und in jeder beliebigen Richtung. Ja, dann könnten wir auch sagen: „Da ist sie, die beständige Geschwindigkeit des Lichtes, des ‚Äthergebildes‘.“

Doch nein, jetzt hilft uns selbst der Äther nicht mehr! Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man an dem Sessel kleine Räder anbringt. Wir rollen dann am unbeweglichen Vorhang entlang hinter irgendeinem Lichtstrahl her und kommen diesem, wenn wir uns mit der Fluggeschwindigkeit der Erde bewegen, in der Sekunde um 30 Kilometer näher. Dabei wird die Geschwindigkeit dieses Strahls im Verhältnis zu unserem Sessel kleiner sein als im Verhältnis zum Vorhang. Und wir behaupteten, sie wäre *immer* beständig!

Wir behaupteten? Nein, hier handelt es sich nicht nur um das Ergebnis logischer Überlegungen; diese Behauptung konnte auch durch einen unwiderlegbaren praktischen Versuch bestätigt werden. Wir können uns leicht vorstellen, wie überrascht die Physiker des 19. Jahrhunderts waren, als ihr noch ziemlich junger Kollege *Albert Michelson* aus Chicago im Jahre 1881 die ersten Ergebnisse seiner hervorragenden Messungen veröffentlichte und bewies, daß die Geschwindigkeit des Lichtes keineswegs dadurch herabgesetzt wird, daß die Lichtquelle mit der Erde durch den unbeweglichen Äther fliegt und dem Lichtstrahl nachjagt. Wir können uns die großen Augen der Physiker vor allem deshalb so gut vorstellen, weil wir uns heute über diese Tatsache nicht weniger wundern als die Zeitgenossen Michelsons.

So sehr wir aber auch staunen, die Tatsachen bleiben bestehen. Das Experiment ist in der Wissenschaft eine Art höhere Instanz, deren Urteil unwiderruflich ist. Die Ergebnisse des Chicagoer Physikers wurden immer wieder von neuem sorgfältig geprüft, und es ließ sich nicht leugnen: Die Geschwindigkeit des Lichtes hängt nicht von der Bewegung seiner Quelle ab.

Michelson selbst sah in den Ergebnissen seiner Messungen das Todesurteil für die Hypothese über den unbeweglichen Äther. Er gebrauchte für diese Hypothese die gleichen Worte, die Schachspieler bei einer unmöglichen Schachkom-

bination anwenden: „Sie ist inkorrekt!“ Doch hier handelte es sich um eine tiefere Kombination: Danach mußten die früheren Ansichten über Raum und Zeit revidiert werden. Diese Tatsache wurde zwanzig Jahre später durch Einstein bewiesen.

Einstein zählte die *Beständigkeit der Lichtgeschwindigkeit*, eine experimentell bewiesene Tatsache, zu den Hauptgesetzen der Natur. Während sich aber ein anderes Gesetz mathematisch kaum so kurz und einfach darstellen läßt, gibt es andererseits wahrscheinlich kein weiteres Naturgesetz, das in physikalischer Hinsicht so geheimnisvoll ist.

Auch wir haben schon an dieses Geheimnis gerührt, als wir das Lämpchen auf das Dubnaer Proton setzten und es zwangen, mit großer Geschwindigkeit hinter dem eigenen Strahl herzufliegen. Dabei geriet das Lämpchen in eine wirklich verzwickte Situation... Da wir über ganz hervorragende Instrumente verfügen, können wir den Vorgang „bestens beobachten“. Das Startsignal ist gegeben: Das Lämpchen sendet ein Photon aus und begibt sich im gleichen Augenblick selbst auf die Reise. Auf unserer irdischen Uhr ist eine Sekunde vergangen. In dieser Zeit hat das Photon das Ziel auf dem Mondtrabanten erreicht, während das Lämpchen weit zurückgeblieben ist. In dieser irdischen Sekunde entfernte sich das Photon 300 000 irdische Kilometer von der Erde und das Lämpchen nur um 1 000 irdische Kilometer. Daraus folgt, daß die Geschwindigkeit des Photons im Verhältnis zum nacheilenden Lämpchen laut unserer Beobachtung von der Erde 1 000 irdische Kilometer in der Sekunde beträgt.

So scheint es wenigstens uns. Und dem Lämpchen? Ja, hier beginnen die Komplikationen. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist immer gleich, immer, im Verhältnis zu welchen Körpern es auch sein sollte. Michelsons Experiment bewies, daß es dem Lichtstrahl ganz gleichgültig ist, ob irgend etwas von der Erde aus hinter ihm herfliegt oder nicht: Er entfernt sich auch von diesem „Etwas“ mit unverminderter Geschwindigkeit. Die Erde könnte sich zehn-, hundert- und tausendmal schneller oder langsamer bewegen – der von ihr ausgegangene Lichtstrahl würde sich nicht darum kümmern.

Könnte man das Dubnaer Proton neben dem Lämpchen noch mit einem ultrawinzigen präzisen Meßapparat Michelsons ausstatten, das von einem Gnomen bedient wird, dann würde uns dieser von der Reise folgenden Bericht schicken:

„Das Photon entfernt sich von mir mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometern in der Sekunde.“

„Unsinn!“ würden wir ausrufen. „Du hast dich geirrt: Es entfernt sich nicht mit 300 000, sondern nur mit 1 000 Kilometern in der Sekunde. Wir können das von der Erde aus sehr gut beobachten!“

„Liebe Erdbewohner!“ käme dann die Antwort. „Der Schöpfer dieses Meßapparates aus Chicago war ein anerkannter Virtuose der Genauigkeit, und ich bin sein Ebenbild. Ich kann mich einfach nicht um den Faktor dreihundert irren! Meine Uhr wurde vor dem Abflug genau nach euren Uhren eingestellt. Mein Metermaß sorgfältig nach dem Pariser Urmaß angefertigt.“

„Vielleicht ist unterwegs etwas mit der Uhr und dem Metermaß passiert?“

Darauf die kurze und bestimmte Antwort: „Ich kann nichts feststellen. Bei mir ist alles in Ordnung!“

Doch einmal von diesem Gedanken erfaßt, würden wir ihn nicht so leicht aufgeben. Das vorläufig noch so undurchsichtige Rätsel würde uns keine Ruhe lassen und uns dazu drängen, einen Ausweg aus dieser schwierigen Situation zu finden, in die uns unsere Gedanken, unser Wissensdurst gebracht haben.

Was bleibt uns anderes übrig, als uns wieder auf die alte Devise zu besinnen: Fakten und Logik, Logik und Fakten. Wenn uns jetzt die Fakten nicht mehr weiterhelfen, muß uns eben die Logik aus der Sackgasse führen.

Wir haben inzwischen schon einige Erfahrungen gemacht: Der Nullwert der Ruhmasse des Photons brachte uns auf die logische Schlußfolgerung, daß die Masse der Körper von ihrer Geschwindigkeit abhängt, daß die Masse mit dieser zunimmt. Wir waren nur etwas durcheinander geraten, weil sich das Proton mit dem Lämpchen im Verhältnis zur Erde *bewegte*. Wäre das Proton still in Dubna sitzen geblieben,

dann würden uns auch keine Zweifel quälen: Wir würden uns dann auch nicht darüber wundern, daß die Geschwindigkeit des Lichtes im Verhältnis zu ihm genauso groß ist wie zur Erde. Im Gegenteil, es wäre ein Wunder, wenn hier irgendwelche Unterschiede auftreten würden.

Ein nicht geringeres Wunder ist aber, daß das Proton hinter dem Lichtstrahl herflieg, ohne daß hier ein Unterschied auftrat. Und je schneller der ultrawinzige Meßapparat hinter dem Proton herfliegt, um so unbegreiflicher wird das Wunder.

Würde sich das Lämpchen mit einer Geschwindigkeit von einem Kilometer in der Sekunde von Dubna entfernen, dann würde das Photon es um 299 999 irdische Kilometer überholen. In diesem Fall könnten wir gut und gern behaupten, daß das Photon trotzdem 300 000 Kilometer weiter ist, denn dieser Unterschied ist so klein, daß er praktisch gar nicht feststellbar ist. Auch nicht mit den Präzisionsgeräten Michelsons! Wenn aber das Lämpchen auf dem Proton das Photon in einer irdischen Sekunde um ganze 299 000 Kilometer einholt, so daß zwischen ihnen nur noch eine minimale Entfernung bleibt, und wenn sich dann erweist, daß das Photon dem Lämpchen trotzdem mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometern in der Sekunde enteilt, dann wird das Wunder wirklich unfassbar.

Worin besteht nun eigentlich dieses „Wunder“?

Wir beobachten also von der Erde aus: In der vergangenen irdischen Sekunde entfernte sich das Photon von dem Lämpchen um 1 000 Kilometer. Und der auf dem Lämpchen sitzende Gnom behauptet halsstarrig, es wären 300 000. Folglich besteht das Wunder darin, daß in den 1 000 irdischen Kilometern, die in einer irdischen Sekunde zurückgelegt werden, die 300 000 Kilometer – vom Standpunkt des Gnoms auf dem Proton – auf *irgendeine* Art mit eingeschlossen sind und ebenfalls in einer Sekunde zurückgelegt werden.

Was bleibt uns Erdbewohnern noch anderes übrig? Nur eins: Daß die Uhr und das Metermaß auf dem fliegenden Proton *nicht diejenigen* Kilometer und *nicht die* Sekunden anzeigen, die uns auf der Erde von *unseren* Uhren und

Metermaßen gewiesen werden. Es gibt keine andere Erklärung, mit der die Logik das auftretende Wunder besiegen und das Unerklärliche erklären könnte.

Zwar wäre denkbar, daß die Uhr und das Metermaß des Gnoms auf dem fliegenden Proton „lügen“. Aber die Geschwindigkeit ist die durch die Zeit geteilte Entfernung. Und wenn schon ein sich schnell bewegendender Beobachter bei der Geschwindigkeitsmessung des Photons „Wunder“ erlebt, dann ist auf jeden Fall natürlicher, beiden Faktoren die Schuld zuzuschreiben, der Uhr, die die Zeit mißt, und dem Metermaß, das die Entfernung festlegt. Mit keiner Begründung ist einem von beiden der Vorzug zu geben.

Bemerkt sei noch, daß im Dasein des Protons, des Lämpchens, des Michelsonschen Gnoms, der Uhr und des Metermaßes nur eine einzige Veränderung stattfand: Während sie alle vorher auf der Erde ruhten, befinden sie sich jetzt im Verhältnis zu dieser in Bewegung, und zwar in einer unfaßbar schnellen Bewegung. Alle anderen Veränderungen, die möglich waren, angefangen von einem Zerbrechen der Uhr bis zu einer Grippe des Gnoms, konnten vorher oder auch während der Reise verhütet werden. Man konnte die Uhr vorsichtig lagern bzw. reparieren und den Gnom kurieren. Doch eins konnte weder vorher noch nachher geändert werden: die Reisegeschwindigkeit. Hätte man die Geschwindigkeit „beseitigen“ können, dann brauchten wir uns nicht weiter mit ihr zu beschäftigen, dann würden Proton, Gnom, Uhr und Metermaß noch friedlich in Dubna sitzen.

Also wieder die *Geschwindigkeit*, die Bewegungsgeschwindigkeit als Ursache allen „Übels“! Eigentlich haben wir uns nicht ganz genau ausgedrückt, als wir sagten, das Wunder würde vor allem bei einem schnell fliegenden Beobachter auftreten. Auch wenn er sich langsam bewegt, werden *seine* Uhr und *sein* Metermaß nicht mehr die gleichen Sekunden und Kilometer anzeigen wie auf der Erde. Einleuchtend ist, daß bei einer geringeren Geschwindigkeit die Maßstäbe der Veränderung von Raum und Zeit nicht mehr so stark auffallen werden.

Für uns bedeutet das jetzt keine Neuigkeit mehr: Mit der gleichen Erscheinung hatten wir schon zu tun, als wir fest-

stellten, daß bei einer erhöhten Geschwindigkeit auch die Masse der Körper zunimmt. Unser anderthalb Tonnen schwerer Sonnensputnik wurde um ein Milligramm „schwerer“, als er die zweite kosmische Geschwindigkeit – 11,2 Kilometer in der Sekunde – erreichte. Ein Milligramm ist der anderthalbmilliardste Teil der ursprünglichen irdischen Masse der Rakete. Das Dubnaer Proton dagegen verzehnfacht seine Masse, genauer gesagt, es erhöht sie fast um das Zwölfwache. Ein gewaltiger Unterschied. Die Ursache liegt aber nur in den verschiedenen Geschwindigkeiten; denn das Proton fliegt 27 000mal schneller als die kosmische Rakete.

So sieht es also mit der Veränderung der Zeit und der Strecke bei einem sich bewegenden Körper aus: Die Veränderung ist um so bedeutsamer, je höher die Geschwindigkeit ist. Und unwillkürlich kommt man auf den Gedanken: Wenn sich die Masse des Dubnaer Protons bei dieser Geschwindigkeit um fast das Zwölfwache verändert hat, dann könnte doch eigentlich auch die irdische Uhr auf dem Proton ihren Zeitrhythmus und das Metermaß seine Länge um das Zwölfwache ändern? Das gleiche müßte natürlich auf die Rakete zutreffen: Genau wie ihre Masse hätten sich auf ihr auch Sekunden und Meter um den anderthalbmilliardsten Teil ihrer ursprünglichen irdischen Werte ändern müssen. Natürlich, nur eine ganz winzige Veränderung. Und es bedarf keinerlei Kommentare: Wie groß auch die zweite kosmische Geschwindigkeit sein mag, im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit ist sie verschwindend gering. Und erst die uns auf der Erde bekannten Geschwindigkeiten, die der Ozeandampfer, der Rennautos, Schnellzüge, Düsenflugzeuge – von Radfahrern und schließlich Fußgängern ganz zu schweigen!

Wie schon gesagt: Wir leben in einer sehr langsamen Welt. Die Schallgeschwindigkeit – etwas über 300 Meter in der Sekunde – ist eine Million Mal kleiner als die Geschwindigkeit des Lichtes. Für die Flugzeuge war sie bis vor kurzem noch die Grenzgeschwindigkeit. Und wenn die Uhr des Piloten im Düsenflugzeug auch etwas anders geht als die auf dem Flugplatz – wobei er natürlich nach seiner Uhr fliegt –,

könnte ihm niemand vorwerfen, daß er den Flugplan nicht einhalten würde: Es handelt sich bei ihm um milliardstel und trillionstel Sekunden Verspätung, nach menschlichem Ermessen ein Nichts.

Unsere Überlegungen sind richtig: Masse, Zeitablauf und Entfernung eines sich bewegenden Körpers sind immer von der Geschwindigkeit abhängig und ändern sich nach ein und demselben Gesetz. Es muß aber noch geklärt werden, ob die Uhr vor- oder nachgehen und das Metermaß sich verlängern oder verkürzen wird.

Wir könnten diese Aufgabe natürlich auch mit Hilfe der Logik lösen, wie wir schon durch logische Schlußfolgerungen darauf gekommen waren, daß die Masse eines Körpers mit erhöhter Geschwindigkeit zunehmen muß. Diese Methode hat aber ihre Vor- und Nachteile. Während man mit ihr einerseits sehr anschauliche Beweise liefern kann, braucht man andererseits dazu viele Worte. Die Vorteile dieser Methode haben wir bereits kennengelernt: Als wir den erstaunlichen Nullwert der Ruhmasse des Photons behandelten, wurden wir zwangsläufig mit verschiedenen neuen Ideen der Physik des 20. Jahrhunderts bekannt, die zwar eine ungewöhnliche, dafür aber eine viel glaubwürdigere Erklärung der sich bewegenden Materie gibt als die alte Physik.

Und nun wollen wir einen anderen Weg der Erklärung einschlagen, uns auf die Praxis stützen und hören, was die Physiker mit ihren Erfahrungen uns zu sagen haben: In einer den Raum durchfliegenden Uhr *erweitern* die Sekunden ihre Dauer, während das Metermaß seine Länge in Bewegungsrichtung *verkürzt*. Dabei ist vor allem zu beachten, daß Raum und Zeit dem Gnomen auf dem Proton anders erscheinen müssen als uns auf der Erde. Diese Erfahrung haben wir auf den vorhergehenden Seiten selbst schon gemacht; die Physiker sollen uns nur helfen, die quantitative Seite dieses Problems zu lösen. Und sie sagen uns: Je mehr sich die Geschwindigkeit eines Körpers der Lichtgeschwindigkeit nähert, um so mehr wird eine auf diesem Körper befestigte Uhr *nachgehen* und die Länge des Körpers selbst sich in Richtung des Fluges immer mehr *verkürzen*. Deshalb war es auch möglich, daß der Gnom bei der

Messung der Photonengeschwindigkeit in die 1 000 irdischen Kilometer einer irdischen Sekunde eine so gewaltige Größe wie die Geschwindigkeit des Lichtes einbeziehen konnte: Er stellte 300 000 *andere* Kilometer in einer *anderen* Sekunde fest: viel *kürzere* Kilometer in einer viel *längeren* Sekunde.

Aber was hierbei besonders wichtig ist: Der Gang der Uhr ist ein physikalischer Prozeß, ein periodischer Prozeß. In einer Uhr bewegt sich etwas gleichmäßig hin und her oder dreht sich gleichmäßig und mißt dabei für uns gleiche Zeitabstände. Doch auch die Erde selbst ist eine riesige Uhr, deren eine Achsenumdrehung eine Zeit in Anspruch nimmt, die wir Tag und Nacht nennen. Aus besonderen Gründen teilte der Mensch diese Zeit in Stunden, Minuten und Sekunden, wobei er sich eben zunutze machte, daß sich die Erde gleichmäßig dreht. Genauso könnte uns das Atom als Vorbild der Uhr dienen: Auch um dessen Kern kreisen gleichmäßig die Elektronen. Allerdings wäre eine Einteilung von Tag und Nacht nach der Atomuhr für uns viel zu kurz.

Und nun die Schlußfolgerung: Wenn die Uhr auf einem sich bewegendem Körper ihren Gang verlangsamt, dann müssen sich auf diesem auch alle anderen periodischen Prozesse verzögern. Die Elektronen müssen langsamer um die Atomkerne kreisen, die Kernteilchen schwächer pulsieren, die Atome in den Kristallgittern träger hin und her schwanken. Rein äußerlich geht zwar alles noch genauso weiter wie auf der Erde, doch jetzt in einem anderen Rhythmus.

... Michelsons Gnom war über unseren überraschten Ausruf „Unsinn“ sehr verärgert. Er regte sich dabei so auf, daß sein Puls, wie es ihm schien, schneller zu schlagen begann. Um sich davon zu überzeugen, nahm er die Uhr und zählte den Puls: 72 Schläge. Hätte ein Arzt seinen Puls auf der Erde nach einer irdischen Uhr gemessen, dann hätte er den Gnomen längst für tot gehalten, da er hier einen zwölfmal langsameren Pulsschlag – 6 und nicht 72 – hätte feststellen müssen. Aber auf einem Proton, das sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 299 000 Kilometer in der Sekunde bewegt, wäre auch dem Arzt nichts aufgefallen. „Die Aufregung scheint nicht groß gewesen zu sein“, hätte er dem

Gnomen gesagt, „der Pulsschlag beträgt 72 und ist in Ordnung!“

Auch die Verkürzung des Metermaßes in der Richtung der Bewegung ist ein realer physikalischer Prozeß, den aber der sich mitbewegende Beobachter nie feststellen könnte, da um ihn herum und in ihm selbst alles der gleichen Verkürzung unterworfen wäre. Die Atome wären zusammengedrückt, als wenn ein Hindernis sie bei ihrem immensen Vorwärtstreben gewaltsam zurückdrängen würde. Das gleiche würden die Moleküle erfahren. Die Zellen des kubischen Kristallgitters würden sich in Parallelepipeden, die Kugeln in Ellipsoide, die Kreise in Ellipsen umwandeln. Es ist die Lichtgeschwindigkeit, die wie ein unsichtbares Hindernis wirkt, und je näher die Körper an diese Geschwindigkeit herankommen, um so mehr werden sie in Richtung der Bewegung verkürzt.

Man kann sich leicht vorstellen, daß auch die Erde, die mit einer Geschwindigkeit von 30 Kilometern in der Sekunde um die Sonne kreist, auf der Seite, die der Bewegungsrichtung zugewandt ist, eine Abplattung von etwa sechs Zentimetern erfährt. Würde die Erde nun plötzlich viel schneller um die Sonne kreisen, dann wäre auch die Abplattung größer; die Uhren würden dann langsamer gehen.

Es gibt keine universellen Uhren oder Lineale. Die räumlichen und zeitlichen Verhältnisse in der Natur sind *veränderlich*. Sie hängen von der relativen Bewegung der materiellen Körper ab.

Und nochmals: Die relative Bewegung der Materie kann niemals eine Geschwindigkeit erreichen, die größer als die des Lichtes oder dieser gleich ist. Unser alter Lehrer sah in der Tatsache, daß die Masse des Körpers bei Lichtgeschwindigkeit unendlich wird, ein unüberwindbares Hindernis, diese Grenzgeschwindigkeit zu erreichen. Jetzt kommen noch zwei weitere hinzu: Die eigene Zeit eines sich bewegenden Körpers verzögert sich unendlich, wenn dieser an die Lichtgeschwindigkeit herankommt, und auch seine Länge verkürzt sich dabei in Bewegungsrichtung auf Null.

Stellen wir uns eine mit Photonengeschwindigkeit fliegende Rakete vor. Sie ist unendlich schwer geworden, die Uhr in

ihr geht nicht mehr, und sie selbst hat sich in ein flaches Gebilde umgewandelt, daß Länge und Flugrichtung verloren hat. Jeder Körper hat drei Ausmaße: Höhe, Länge und Breite. Die Sekunden sind in unserer Rakete endlos lang geworden, und ihre Länge ist bis auf Null zusammengeschrumpft. Der Preis dieser Geschwindigkeit – eine verschwundene Zeit und ein verlorenes Maß. Wirklich, ein sehr hoher Preis! Wir sagten vorher, wir wollen uns eine solche Rakete vorstellen. Nun, es erweist sich, daß sie unvorstellbar, ja sinnlos ist.

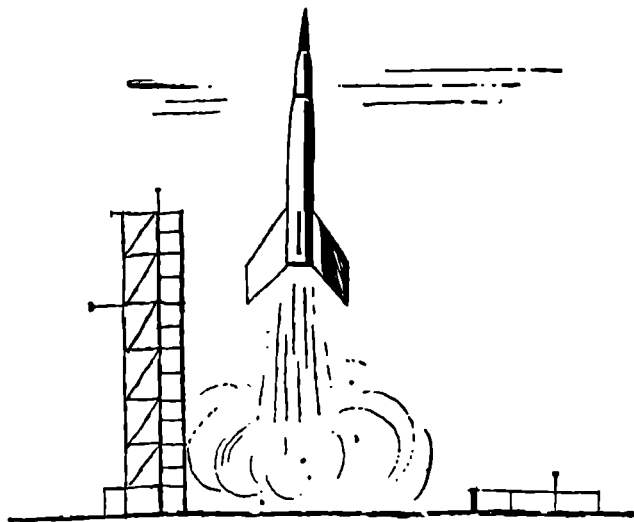
Die Lichtgeschwindigkeit ist also dreifach unerreichbar. Die Natur hat allen materiellen Körpern, die nach der Lichtgeschwindigkeit streben, drei Schlösser vorgehängt, zu denen es keine Schlüssel gibt.

In diesem Zusammenhang steht auch unsere letzte schwierige Zweifelsfrage, an der man einfach nicht vorbei kann: Was ist nun eigentlich dieses geheimnisvolle Photon, das entgegen den drei Verboten materiell ist und sich auch mit Lichtgeschwindigkeit bewegt? Der Nullwert seiner Ruhmasse erlaubt ihm, nur mit dieser Geschwindigkeit zu existieren. Doch diese Geschwindigkeit wandelt es für jeden Beobachter in ein flaches Phantom mit nur zwei Ausmaßen um. Die gleiche Geschwindigkeit beraubt es auch der eigenen Zeit; nach der „Photonenuhr“ ist jede Sekunde eine Ewigkeit lang. Wir sagten schon einmal, daß das Photon wahrscheinlich gar keine Zeit kennt? Nun, es ist wirklich so.

Was ist dieses Photon, dieses Lichtteilchen, dessen materieller Charakter nicht bezweifelt werden kann? Ein Teilchen? Ein Körper in dem Sinn, in dem wir von anderen materiellen Körpern sprechen? Dieser letzte Zweifel ist zu klären. Doch laßt uns für einige Minuten das Reich des Phantastischen aufsuchen, erstens, um ein wenig zu verschnaufen, und zweitens, um die abstrakten Begriffe, die die letzten Seiten füllten, etwas mit Fleisch und Blut der vielversprechenden zukünftigen Technik und den realen Träumen der Wissenschaftler zu umkleiden.

Im 21. Jahrhundert wird ein Tag kommen, an dem die Menschen eine Photonenrakete in Richtung „61. Schwan“ starten werden. Dieser nicht allzuferne Stern, von dem uns etwa zehn Lichtjahre trennen, besitzt einen unsichtbaren Trabanten, einen Planeten, der unserer Erde ähnlich sein dürfte. Aus diesem Grund wurde auch die Marschroute zu diesem Stern gewählt. Auf der Raketenstartbahn verabschiedeten sich unter feierlichen Marschtönen eines Orchesters die Astronauten von ihren Angehörigen und Freunden. Die freudige Erregung der ungewöhnlichen Stunde wird durch Trennungsschmerz ein wenig getrübt.

Werden die Astronauten für immer wegfliegen, die Erde ohne Hoffnung auf ein Wiedersehen verlassen? Nein, sie werden auf jeden Fall zurückkehren, das wissen sie auch. Das in allen Einzelheiten bestens durchkonstruierte interstellare Schiff wird die Astronauten sicher durch die ewige Stille und die tiefe Nacht des Weltalls führen, denn die



kybernetischen Maschinen sind unfehlbar und so eingerichtet, daß sie im Falle unvorhergesehener Zwischenfälle selbst reagieren. Die Photonentriebwerke werden das Schiff fast mit Lichtgeschwindigkeit vorwärtstreiben, mit 298 000 Kilometern in der Sekunde. Nach zehn Jahren werden die Astronauten ihr Ziel erreicht haben und die Rakete zum Rückflug umlenken. Und nach weiteren zehn Jahren, also insgesamt zwanzig Jahren, wird sich die Rakete wieder auf der Erde befinden.

Das Weltall ist so unfaßbar weit und tief, wie wir es uns gar nicht vorstellen können. Deshalb erregte uns der Start der ersten kosmischen Raketen auch so sehr, und deshalb nahmen wir am Sieg über den Kosmos auch so lebhaften Anteil. Aber wahrscheinlich auch, weil sie nicht wieder zurückkehrten und von der geheimnisvollen Weite verschluckt wurden. Und diese Weite macht auch unserer Einbildungskraft so viel zu schaffen. Im weiten, grenzenlosen Raum fliegt jetzt ein Teilchen der Erde, um ein Trabant der Sonne zu werden. Wo befindet sich die Rakete jetzt, was für ein Weg liegt vor ihr, in welcher unsagbaren Einöde verfolgt sie ihre Bahn?

Für die Menschen des 21. Jahrhunderts wird das alles weniger aufregend sein. Es wird ihnen zur Gewohnheit geworden sein, Raketen von weiten Reisen zurückkehren zu sehen. Die zweimal besiegte Weite „hin und zurück“ wird für sie die Aureole des Ungewöhnlichen und Geheimnisvollen verloren haben. Auch uns erschüttert heute der Gedanke an transozeanische Flüge nicht mehr, da der Kreis von „hin und zurück“ geschlossen ist. Und unsere Einbildungskraft wird nicht mehr durch schreckliche Vermutungen gequält, denn der Ausgang, das Ziel des Unternehmens kann gewohnheitsgemäß vorausgesehen werden. Ein Luftballon, der den Händen eines Kindes entflieht und in unbekannter Richtung verschwindet, erregt unser Gemüt mehr als der Start eines Stratosphärenballons, weil der Luftballon ins „Ungewisse“ fliegt und nicht mehr zurückkehrt.

Die Astronauten und ihre Begleiter werden sich darüber keine Sorgen machen. Aber worüber denn sonst?

... Die Abschiedsklänge des Orchesters auf dem Raketen-

startplatz sind verklungen, das Raumschiff ist unter ohrenbetäubendem Gedröhne gestartet. Die Zeitungen werden zwar in vielen Einzelheiten über den Start berichten, aber trotzdem etwas sehr Wichtiges verschweigen, und zwar, daß die Astronauten im Augenblick ihres Abfluges aufgehört haben, Zeitgenossen von denen zu sein, die sie auf der Erde zurückgelassen haben. Dann werden Frühling und Herbst vergehen, wird ein Jahr das andere ablösen. Unverändert werden nur die Mitteilungen über die Koordinaten des abgeflogenen Raumschiffes in der dafür vorgesehenen Spalte der Tageszeitungen bleiben. Doch die Menschen werden immer seltener auf die Notizen schauen.

Aber nach zehn Jahren werden plötzlich alle Menschen durch die Nachricht, daß das kosmische Schiff sein Forschungsprogramm beendet hat und sich bereits auf dem Rückflug befindet, in helle Aufregung versetzt werden. Denn in den Zeitungen wird man dann seltsame Überschriften lesen können: „Ein Jahr in der Rakete“, „Erfolgreiche Jahresarbeit der Astronauten“ oder „Das erste Jahr liegt hinter ihnen!“ Ein Jahr? Warum denn ein Jahr und nicht zehn Jahre? Die meisten Menschen werden es sich kopfschüttelnd fragen. Und wir wissen auch, was ihnen darauf die erfahrenen Menschen des 21. Jahrhunderts antworten werden: „Haben Sie denn die Geschwindigkeit der Photonenrakete vergessen?“

Der Gedanke, daß sie zurückfliegen, auf die „Erde zurückkehren“, wird die Erdbewohner lange erregen. Man wird die Astronauten zum ersten Mal „Bezwinger der Zeit“ und nicht nur des Raumes nennen! Diese Worte werden die Gemüter der Menschen auch weiterhin erhitzen und bis zur Rückkehr der Astronauten Gegenstand heftiger Diskussionen sein. Und am Vorabend ihrer Landung werden die Gedanken, die die mutigen Reisenden und ihre Begleiter auf der Raketenstartbahn gequält hatten, nun alle Menschen auf Erden in helle Aufregung versetzen.

„Wir sind in den 20 Jahren alle so schrecklich alt geworden, während die Zeit bei den Astronauten stehengeblieben ist; sie werden morgen genauso jung zurückkehren wie am Tag ihres Abfluges. Zwei Jahre gegen zwanzig Jahre! Wirklich, sie haben die Zeit besiegt!“ werden manche sagen.

„Wir haben zwanzig Jahre lang gearbeitet, neue Werte geschaffen, neue Städte errichtet, neue Bücher geschrieben, an großen Ereignissen teilgenommen, die Geschichte der Menschheit weitergetrieben! Sie werden morgen eine andere Erde vorfinden als diese, die sie verlassen hatten. Sie haben also nicht die Erdenzeit besiegt, im Gegenteil, sie haben sie verpaßt!“ werden andere denken.

„Die Zukunft ist schöner und interessanter als die Vergangenheit. Sie haben der Zeit fast zwanzig Jahre gestohlen. Ihr Leben wird zwanzig Jahre länger dauern, und sie werden noch vieles erleben, an dem wir nicht mehr teilhaben können. Sie haben eine Generation übersprungen und sind die ersten Menschen, die zugleich zwei Generationen angehören. Ja, ja, sie haben die Zeit besiegt“, werden die dritten sagen.

„Nach ihrem Kalender waren sie der Erde nur zwei Jahre fern, und obwohl sie wissen, daß hier inzwischen Jahrzehnte verflossen sind, werden sie sich darüber keine Vorstellung machen können. Sie ahnen es noch nicht, daß sie morgen bei ihrer Landung zwar als Helden gefeiert, sich aber sehr einsam fühlen werden, wie Menschen aus anderen Zeiten. Ihr Leben war unterbrochen. Und jetzt sollen sie der Zeit nach-eilen! Ist das überhaupt möglich? Sie sind nicht Bezwingler der Erdenzeit, sondern Opfer der Zeitlosigkeit ihres Raumschiffes!“ werden vierte behaupten.

Die fünften, sechsten und siebenten werden diese Aussagen noch zu variieren wissen, jeder nach seinem Charakter und seinen Kenntnissen. Und auch an Bord des interstellaren Schiffes werden die Astronauten gleiche Zweifel quälen, während im Dunkel der letzten Nacht der Erdenstern aufblitzen wird. Doch etwas wird sowohl den Rückkehrern als auch den Wartenden klar sein.

Übrigens ist „klar sein“ hier nicht der richtige Ausdruck: Dieses „Etwas“ war auch vorher schon mehr oder weniger klar. Jetzt wird es aber den Menschen zum ersten Mal voll bewußt werden und als neues „Zeitempfinden“ eingehen. Es wird das Empfinden sein, daß es nicht nur allein eine Erdenzeit gibt, daß unsere Sekunden und Jahre relativ sind.

Dann wird die Rakete landen. Genauso jung wie bei ihrem

Abflug, glücklich und doch etwas betrübt, sich verwundert umschauend, werden die Astronauten den Boden der Erde betreten – und im gleichen Augenblick wieder Erdbewohner sein.

„Doch sie sind nicht mehr unsere Zeitgenossen!“ wird es jedem zum Bewußtsein kommen. „Wir und sie haben in einer anderen Zeit gelebt, und das ist nicht mehr rückgängig zu machen. Im Raum kann man sich „hin“ und wieder „zurück“ bewegen. Der Raum ist also besiegbar. In der Zeit kann man aber nur „hin“ und nicht mehr „zurück“, diese ist also nur halb zu besiegen. Die Astronauten haben einen großen Sieg errungen, sie sind in die Zeit eingedrungen, sie sind der Zukunft vorausgeeilt, doch es ist nicht ihre Zukunft, sondern unsere, die wir erst schaffen müssen. Sie haben die Erdenzeit um den Preis des Verlustes besiegt.

Möglich ist, daß diese Gedanken den Menschen des 21. Jahrhunderts fremd sein werden und daß der Triumph über die Zeit in ihnen alle anderen Empfindungen und Sorgen übertönen wird. Wir wissen es nicht, doch lohnt sich, darüber zu sprechen, weil uns das Problem bereits heute bewegt.

Die Phantasie nahm es vorweg

Wir wollen uns jetzt in Gedanken aus dem 21. Jahrhundert weit zurück in die unbekannte Vergangenheit versetzen. Ob die Menschen damals auch schon von der Relativität der irdischen Sekunden und Jahrtausende gewußt oder diese geahnt haben?

Vor dreißig Jahren war unter den Jugendlichen das Buch von *Frederik Soddy* über den Aufbau der Atome und die Radioaktivität weit verbreitet. Der Schriftsteller selbst war ein bekannter Wissenschaftler, ein Zeitgenosse Rutherfords. Strengen Professoren mag es als unwürdig erschienen sein, daß er in seinem Buch eine Reihe von sehr phantastischen und scheinbar unwissenschaftlichen Problemen behandelte. Die kühnen Gedanken des Autors standen aber mit den

neuen physikalischen Ansichten über den Aufbau und die Struktur der Materie im engen Zusammenhang. Besonders ein Gedanke zog die Leser in seinen Bann.

Was besagt eigentlich die Legende über das Paradies? Vielleicht war es mehr als ein Traum des geplagten Menschen vom großen Überfluß und der hohen Gerechtigkeit? Sollte es nicht sogar eine Erinnerung gewesen sein? Vielleicht hat irgendwann und irgendwo tatsächlich schon einmal das „Paradies“ auf Erden bestanden, hatten die Menschen über kostenlose Atomenergie verfügt, die ihnen ein überreiches Leben garantierte? Und dann erfolgten plötzlich geologische oder kosmische Katastrophen und fegten die damalige hohe Zivilisation vom Antlitz der Erde hinweg? Vielleicht ist diese auch mit dem legendären Land Atlantis im Meer versunken? Oder sie ist zugleich mit dem Mond verschwunden, wenn die tiefe Senke im Stillen Ozean tatsächlich das ehemalige Lager des Mondes ist, der sich von der Erde losgerissen hat? – Uns interessiert in diesem Zusammenhang weniger, was dazu die Archäologen, Kosmologen oder die Philosophen sagen. Sie werden über diese Gedanken lächeln, und es kann durchaus sein, daß die ernstesten Charaktere unter ihnen sogar recht ärgerlich werden. Doch wir gehen diesen Phantasien nur nach, weil wir annehmen wollen, daß es einstmals eine hohe Zivilisation mit einem Raketenstartplatz gegeben hat, von dem ein transgalaktisches Raumschiff die Erde verließ.

Jedenfalls endete das Buch Frederik Soddys damit, daß man die Legende über das Paradies für eine Erinnerung an eine längst verschwundene Atom-Zivilisation halten kann. Und wir wollen in unseren Gedanken sogar noch etwas weiter gehen und annehmen, daß die Menschen dieser Atom-Zivilisation auch Atom- oder Photonenraketen bauen konnten. Sie waren auch in der Lage, die Geschwindigkeit ihrer Raumschiffe beliebig zu steigern, so daß sie fast die Lichtgeschwindigkeit erreichten. Von diesen Raketen schickten sie auch eine bemannte zu den Magellanschen Wolken.

Der Weg zu diesen zwei extragalaktischen Sternsystemen beträgt etwa 120 000 Lichtjahre. Die Menschen konnten damals natürlich nicht schlechter als wir heute rechnen und

wußten deshalb auch, daß die Expedition nicht eher als nach 240 irdischen Jahrtausenden wieder auf die Erde zurückkehren würde. Die Freiwilligen der kosmonautischen Vereinigung beschlossen ohne langes Zögern, sich für immer von ihren Verwandten und Freunden zu verabschieden. Ihnen war bekannt, daß sie bei ihrer Reise zu den Magellanschen Wolken, die damals natürlich einen ganz anderen Namen hatten, in eine unvorstellbare Zukunft der Menschheit und der Erde fliegen und daß bei ihrer Rückkehr weder die jetzigen Völker mit ihren Sprachen noch die Städte und Staaten bestehen werden. Die Geschwindigkeit ihres Schiffes kam der des Lichtes so nahe, daß ihre Borduhren 20 000mal langsamer gingen als die auf der Erde. Nach ihrem Bordkalender mußten sie sechs Jahre hin- und sechs Jahre zurückfliegen.

Sie starteten also zu den Magellanschen Wolken. Die damaligen Zeitungen hielten es auch für überflüssig, in besonderen Kästchen Nachrichten über ihren Flug zu bringen, da es für die Leser sinnlos gewesen wäre, auf ihre Rückkehr in 240 000 Jahren zu warten. Diese Trennung war nicht zu überbrücken. Man setzte ihnen zu Ehren einen Staatstrauertag an und stellte ihnen, die so kühn und mutig ins Ungewisse geflogen waren, zu Lebzeiten Denkmäler auf.

Und nun zur Ursache unseres phantastischen Bildes. Vor einem halben Jahrhundert, im Jahr 1908, ging in der Tungusker Taiga in Mittelsibirien ein gewaltiger Meteorit nieder, dessen Herkunft bis heute ungeklärt geblieben ist. In diesem Zusammenhang wurden schon mehrere Theorien aufgestellt. Die glaubwürdigste – der Zusammenstoß eines Kometen mit der Erde – entwickelte der bekannte sowjetische Physiker *Fessenkow* im Jahre 1962 vor dem Präsidium der Akademie der Wissenschaften der UdSSR.

Alexander Kasanzew, der Autor phantastischer Erzählungen, wollte in diesem Meteoriten ein transplanetarisches Raumschiff sehen, das die hochzivilisierten Marsbewohner von ihrem verhältnismäßig nahen Planeten auf die Erde geschickt hatten.

Eine verführerische Hypothese! Aber man kann auch phantasieren, ohne die Errungenschaften der Menschen durch

irgendwelche unbekannten Marsbewohner zu verunglimpfen. Im Jahr 1908 hätte ebensogut diese legendäre Rakete auf die Erde zurückkehren können, die vor 240 000 Jahren von dem „irdischen Paradies“ zu den Magellanschen Wolken gestartet war.

Die nur zwölf Jahre älteren Astronauten der vergangenen Zivilisation erkannten durch ihre hervorragenden optischen Präzisionsinstrumente die herannahende Erde nicht wieder. Nur die Umrisse der Kontinente kamen ihnen bekannt vor. Doch je mehr sie sich der Erde näherten, um so unbekannter erschien sie ihnen. Vor allem aber waren – woran sie nicht einmal im Traum gedacht hatten – die Start- und Landebahnen für Raumschiffe verschwunden! Es war niemand da, der ihnen bei der Landung helfen, ihnen die Koordinaten mitteilen, auf ihre Rufe antworten konnte – mit einem Wort: die Voraussetzungen ihrer ehemaligen Zeitgenossen für eine glückliche Landung waren nicht mehr vorhanden.

Während ihrer Reise hatten sie voller Aufregung an den grandiosen technischen Fortschritt auf der Erde gedacht: 240 000 Jahre schöpferische Arbeit! Sie hatten sich in den zwölf Jahren ihres kosmischen Fluges oft darüber unterhalten, die verschiedensten Vermutungen angestellt, sich gestritten, doch sie waren keinen Augenblick unruhig gewesen. Ihre Überzeugung, daß die neuen Menschen von ihnen wissen – nicht nur durch Überlieferungen, sondern auch durch die Messungen und Mitteilungen der Astronomen –, blieb unerschütterlich. Sie nahmen sogar an, daß die neuen Erdbewohner, die inzwischen das Weltall bezwungen hatten, ihrem Schiff irgendwo an der Milchstraße entgegenkommen würden. Als das nicht geschah, bremsten sie ihre Geschwindigkeit ab und hofften auf ein Zusammentreffen an der Grenze des Sonnensystems. Auch da kam ihnen niemand entgegen, und bis zur Erde waren es nur noch knappe fünf irdische Flugstunden. Als sie dann die Geschwindigkeit zum zweiten Mal abbremsen mußten, wurden sie plötzlich unruhig.

Doch auch jetzt dachten sie noch nicht daran, daß die ehemalige Zivilisation aus irgendwelchen Gründen verschwun-

den war und die Menschen alles noch mal von vorn beginnen mußten – vom Steinbeil und dem Einmaleins. Sie konnten es sich auch nicht vorstellen, daß die Erdbewohner erst jetzt, im Jahr 1908 irgendeiner neuen Ära, vor knappen 80 Minuten ihrer Borduhren und vor drei Jahren der Erduhren, das Kardinalgesetz $E = m \cdot c^2$ sowie das Gesetz der verzögerten Zeit auf sich bewegenden Körpern wiederentdeckt hatten. Nein, eine solche Möglichkeit kam ihnen nicht einmal im Traum! Und dann stürzten sie ab.

„Es ist wirklich eine traurige Geschichte, die Sie da erzählen“, sagte mir mein Freund, nachdem ich ihm diese Seiten vorgelesen hatte. Man kann sich aber noch eine andere Geschichte vorstellen: Es konnten ja auch Marsbewohner einer weit zurückliegenden Epoche gewesen sein, einer Epoche, in der die Wissenschaft der Marsbewohner auf einem sehr hohen Niveau gestanden hatte, so daß sie gewaltige Raketen ins All schicken konnten.

Diese Variante müßte eigentlich allen denen zusagen, die daran glauben oder glaubten, daß der erdnächste Planet bewohnbar ist. Man nimmt an, daß es heute auf dem Mars kein Leben gibt. Und es leuchtet deshalb ein, daß das phantastische Raumschiff der Marsbewohner, das einst seine Reise zu den Magellanschen Wolken angetreten hatte, bei seiner Rückkehr im Jahre 1908 eine verwüstete und öde Heimat traf. Was sollten nun die Mars-Astronauten auf ihrem kalten und ungastlichen Planeten anfangen? Sie beschlossen deshalb, den Nachbarplaneten, die Erde, aufzusuchen, die zu ihrer Zeit allerdings noch unbewohnt gewesen war. Eine unerwartete Katastrophe führte bei der Landung zur Explosion. Und das Rätsel dieses Himmelskörpers, der bis heute als Tungusker Meteorit bekannt ist, blieb auch weiterhin ungelöst.

Ist es nicht seltsam, auf welche unerwarteten Probleme uns die elementaren Teilchen der Materie gebracht haben, das Lichtteilchen und das hinter diesem herjagende Milliarden-Proton des Dubnaer Beschleunigers? Doch auch in diesem Fall sind wir ganz bewußt vom Thema abgewichen. Bestimmt sind uns jetzt einige der Hauptgesetze der schnellen und leichten Welt der Elementarteilchen begreiflicher ge-

worden. Und wir sahen auch, daß sich uns, die wir in der Welt der langsamen und schweren Körper leben, neue und ungewöhnliche Probleme eröffnen, sobald wir diese Gesetze auf die Technik der Gegenwart und der Zukunft anwenden. Einige von ihnen besitzen wirklich sehr direkte Beziehungen zum menschlichen Leben.

Eigenschaften des Photons

Auf den vorigen Seiten, im Gespräch zwischen dem Physiker und dem alten Lehrer, versprach der erste dem zweiten: „Jetzt werden Sie selbst auf die wichtigsten physikalischen Ideen der Relativitätstheorie kommen.“ Es wäre nun eigentlich an der Zeit, den Lehrer zu fragen, ob diese Meinung stimmt.

„Aber natürlich stimmt meine Meinung!“ lachte der Physiker. „Sie sind doch bereits allein auf den Gedanken der Relativität der räumlich-zeitlichen Beziehungen in der Natur gekommen, auf das Verhältnis von Masse zu Geschwindigkeit und auf die Äquivalenz von Energie und Masse. Das sind die physikalischen Ideen der Relativitätstheorie, zwar nicht in der historischen Reihenfolge, ohne Formeln und ohne exakte wissenschaftliche Strenge, aber im allgemeinen doch ziemlich folgerichtig und – was das wichtigste ist: Sie sind bei Ihren Überlegungen ganz unvermeidlich auf diese Ideen gekommen. Es ist nun schon über ein halbes Jahrhundert her, seitdem Einstein dieses Weltbild erkannte und aufzeichnete, doch man muß wirklich zugeben, es ist auch heute noch schwierig, sich mit den Ergebnissen seiner Überlegungen vertraut zu machen.“

Und der Physiker wird hinzusetzen, was einst der bekannte Mathematiker *Lagrange* von Newton sagte: „Er ist der Glücklichste: Das Weltsystem kann man nur einmal aufstellen.“ *Lagrange* irrte. Wir wissen es heute besser. Man kann es wenigstens zweimal aufstellen! Demnach war Einstein der zweite glücklichste Mensch.

Wird es auch einen dritten geben? Darüber dürfte kein

Zweifel bestehen. Es gibt kein absolutes und endgültiges Wissen, – genauso, wie man sich der Lichtgeschwindigkeit auch nur nähern kann. Und wenn dann dieser dritte kommt, wird er über Einstein etwa dasselbe sagen, was Einstein sinngemäß über Newton sagte:

„Verzeih mir, Newton, du fandest den einzigen Weg, der in deiner Zeit für einen Menschen von höchsten wissenschaftlichen Fähigkeiten und höchster geistiger Kraft möglich war. Die von dir geschaffenen Begriffe behalten in unserem physikalischen Denken auch heute noch ihren Wert, obwohl wir wissen, daß man sie bei zukünftigen tieferen Erkenntnissen der Wechselverhältnisse durch andere ersetzen wird, durch Begriffe, die von der Sphäre des unmittelbaren Versuches weiter entfernt sind.“

Die Ideen, mit denen wir uns bekannt machten, stehen von unseren Alltagserfahrungen noch ziemlich weit entfernt; doch auch später, wenn wir uns an sie gewöhnt haben, werden viele ungewohnte bevorstehen. Eine davon drängt sich uns heute schon auf: Es wird Zeit, die letzten „Photonenzweifel“ zu überwinden. Ist das Photon nun ein *Teilchen* oder nicht?

Wie kamen wir überhaupt zu solchen Zweifeln? Ja, eben wegen seiner Grenzgeschwindigkeit. Diese bewirkt, daß das Lichtteilchen seine dritte Dimension verliert, seine Länge in Richtung des Fluges. Es wandelt sich in ein flaches Gebilde um, das keine Zeit kennt und dessen Sekunde eine Ewigkeit dauert.

Eigentlich müßte man erst einmal grundsätzlich klären, was überhaupt ein Teilchen ist. Was man auch über ein Teilchen alles sagen wollte, es ist auf jeden Fall ein physikalischer Körper oder ein Körper, der seinen Umfang *selbst* bestimmt, seine Abgegrenztheit von der Umgebung – *selbst*, dank der inneren Bindungen und ohne Hilfe von äußeren Wänden, ohne Anteilnahme anderer Kräfte und Körper.

Daraus ginge eigentlich hervor, daß die Frage nach dem Teilchen gar nicht so schwer ist. Und doch, sie ist sehr kompliziert. Da ist zum Beispiel eine Wolke am Himmel, deren Grenzen von allen Seiten gut zu sehen sind. Doch wenn an einem windstillen Sommertag eine solche Wolke die Hänge

des Aragaz entlangschwebt, weiß, dicht, mit festen Umrissen, und ein Raupenschlepper auf seinem Weg zum Observatorium in diese Wolke gelangt, dann verschwinden für den Fahrer plötzlich diese klaren Grenzen, und es ist ihm unmöglich, diese auch nur annähernd anzugeben, sie sind also veränderlich, unbestimmt, als wenn es sie gar nicht geben würde.

Hätten wir die Gelegenheit, mit einem solchen Raupenschlepper in das Atom hineinzufahren, und könnten uns dann umsehen, wir wüßten ebenfalls nicht, wo dieses aufhört. Es wäre uns ganz unmöglich, an den äußeren Grenzen Markierungen anzubringen. Und auch unser Gnom, den wir auf das Proton gesetzt haben, könnte nicht sagen, worauf er sich befindet. Die Teilchen besitzen keine äußeren Wände. Mit den Billardkugeln, den Ziegelsteinen des Weltalls, sind sie jedenfalls nicht zu vergleichen.

Eine Begrenztheit ohne Grenzen! Hier beginnen die Schwierigkeiten. Doch wir wollen nicht gegen sie ankämpfen, um nicht besiegt zu werden. Wie dem auch sei, – man kann das Teilchen auf einem Tablett weiterreichen. Es ist eine „Sache“. Das ist das wichtigste.

Und das Photon? Wie soll man dieses auf das Tablett heben? Nach den bisherigen Erfahrungen ist das nicht möglich. Das Photon kann sich niemals in Ruhe befinden, denn dann existierte es überhaupt nicht. Und mit der Grenzgeschwindigkeit des Photons kann sich wiederum ein Tablett nicht bewegen. Wenn das Photon aber trotzdem eine „Sache“ ist, dann tatsächlich eine sehr ungewöhnliche. Es besitzt kein Volumen, da es nur über zwei Dimensionen verfügt – die dritte hat es verloren. Und man kann sich deshalb auch keinen Beobachter vorstellen, der sich rittlings auf das Photon setzen würde, man kann auch in Gedanken keine Uhr an dem Photon befestigen – sie würde keine Zeit angeben, und auch ein Lineal würde keine Länge messen, wenigstens nicht in Richtung des Fluges. Mit einem Wort, das Photon ist mit keinem der uns bekannten Körper zu vergleichen.

Als übrigens der Physiker und sein Gesprächspartner aus dem Nullwert der Ruhmasse ihre erstaunlichen Schlußfolgerungen

zu ziehen begannen, fingen sie damit an, daß kein einziger physikalischer Körper das Lichtteilchen einholen kann. Das heißt also, daß es keinen Vergleichskörper gibt, zu dem sich das Photon im Ruhezustand befinden könnte. Trotzdem drängt sich einem der Gedanke auf, daß es doch möglich wäre, irgendein anderes Photon als Vergleichskörper für Zeit und Entfernung (und damit auch für die Geschwindigkeit) zu wählen. Sie würden dann beide nebeneinander fliegen und sich zueinander im Ruhezustand befinden. Daraus müßte man dann aber schließen, daß beide nicht existieren, da sie keine Masse haben. Da sie aber trotzdem existieren, müßte ... Mit anderen Worten, wir würden in eine sehr schwierige Situation geraten, setzten wir dem Photon ein anderes Photon als Vergleichskörper zur Seite. Dabei könnte es nicht einmal die Rolle spielen, da es weder eine zu diesen Zwecken notwendige Uhr noch ein Lineal besitzt; es könnte also gar keine fremden Bewegungen und Geschwindigkeiten messen und beschreiben.

Die Plancksche Formel $\epsilon = h \cdot \nu$

Ist es eigentlich verwunderlich, daß das Photon über solche „unstofflichen“ Eigenschaften verfügt? Was sollte uns dabei schon überraschen? Die Strahlungsquanten sind keine Vertreter des Stoffes, sondern eine andere Form der Materie: der Kraftfelder. Im Gegenteil, es wäre recht seltsam, wenn sich in den Lichtteilchen nicht ihre physikalische Natur widerspiegeln würde.

Die Natur des Lichtes ist den Menschen seit langem bekannt. Es handelt sich dabei um einen Wellenprozeß im Äth ... Nur gut, daß ich rechtzeitig abgebrochen habe. Der Äther ist für immer aus dem physikalischen Weltbild verschwunden; doch zurückgeblieben sind die Wellen. Ohne diese könnte man eine ganze Reihe von Erscheinungen überhaupt nicht verstehen, vor allem die *Diffraction*, die Fähigkeit des Lichtes, Hindernisse zu umgehen. Einstmals sprachen die Wissenschaftler von elektromagnetischen Schwankungen des

Äthers. Wodurch wurden denn diese Schwankungen in der Physik ersetzt, als sich herausstellte, daß diese Annahme falsch war? Eigentlich durch gar nichts! Man hatte nämlich erkannt, daß *das Licht selbst materiell*, daß es selbst ein elektromagnetisches Feld ist.

Das ausgestrahlte Licht der Himmelskörper braucht manchmal Millionen von Jahren, bevor es uns erreicht. Das menschliche Auge und astronomische Geräte empfangen heute Licht, das bereits in der Zeit ausgestrahlt wurde, als auf der Erde das menschliche Geschlecht überhaupt noch nicht existierte. Es kommt auch vor, daß der Stern schon längst verschwunden ist und sein Licht uns immer noch zustrebt.

Früher dachte man, wo das Licht noch nicht eingedrungen war, reichten die Schwankungen des Äthers auch nicht hin. Heute ist klar, daß es die Lichtmaterie selbst ist, das elektromagnetische Feld, seine Energie-Masse, die dahin gelangt. Und sie ist es auch, die sich im Raum mit Lichtgeschwindigkeit verbreitet. Was in der Materie des Feldes schwankt und wie, ist eine besondere Frage. Doch jetzt ist wenigstens klar, warum die elektromagnetischen Wellen jeder beliebigen Länge – angefangen von den längsten Radiowellen bis zu den kürzesten Gammastrahlen – sich mit gleicher Geschwindigkeit verbreiten. Es ist aber nicht ihre eigene Geschwindigkeit, sondern die der sich im Raum verbreitenden Feldmasse, in der sie entstehen, des materiellen Milieus, das die Strahlungsquelle verläßt und unabhängig von ihr zu existieren beginnt.

Wir haben uns schon einmal folgendes Bild vor Augen gehalten: Ein Stein wird an einer Angel befestigt und immer wieder in einen Teich getaucht, wobei sich regelmäßig neue Wellen bilden. Je schneller er auf- und abgehoben wird, um so öfter entstehen neue Wellen. Für schnellere Wellenschwankungen braucht man demzufolge in einer Zeiteinheit mehr Energie. Diese wird von dem Stein auf die Wellen und von diesem zum Ufer übertragen. Wenn der Stein in der Sekunde eine Schwankung erfährt, wird er in dieser Zeit eine Welle hervorrufen. Wenn er aber in der gleichen Zeit zehnmal ins Wasser getaucht wird, werden in der Sekunde zehn

Wellen entstehen und zehnmal mehr Energie ans Ufer tragen.

Und nun eine kleine Gedankenübung: Wir stellen uns vor, daß der Teich zu einem gewaltigen Ozean angewachsen ist, so daß die Entfernung vom Stein bis zum Ufer 300 000 Kilometer beträgt. Dieser Ozean ist auch nicht mit Wasser gefüllt; der Stein an der Angel ruft irgendwelche wellenartige Schwankungen hervor, die dem Ufer mit Lichtgeschwindigkeit zustreben. Eine Schwankung in der Sekunde, und eine Welle rollt in dieser Zeit bis ans Ufer. Hundert Schwankungen des Steins, und in einer Sekunde gelangen hundert Wellen ans Ufer.

Die Energie, die von diesem „Etwas“ des eingebildeten Steins als Quelle der Wellen übertragen wird, kann nach der Wellenzahl bestimmt werden. Wir wollen uns auch einmal der kleinen gedanklichen Mühe unterziehen und sowohl die erste als auch die zweite der Schwankungsportionen innerhalb einer Sekunde untersuchen. Die erste ergab nur eine Welle, wobei sich aber dieses „Etwas“, das vom Stein ausging, über den ganzen Ozean verbreitete. Die Welle war sehr flach und kaum zu bemerken. Die zweite Portion brachte hundert Wellen hervor, und auch diese verbreiteten das „Etwas“ über den ganzen Ozean. Und dort, wo erst eine Welle anschlug, kamen jetzt hundert Wellen an. Jede hundertmal kürzer, dafür aber steiler und viel besser zu sehen als die erste. Alle zusammen waren hundertmal energiereicher. Sowohl die erste als auch die zweite Portion bewegten sich über den gesamten Raum. Weil aber die zweite hundertmal mehr Wellenkämme hatte, brachte diese Portion auch genausoviel mehr Energie ans Ufer.

Natürlich kann nicht übersehen werden, daß der Stein bei der Erzeugung von hundert Wellen viel mehr von seinem „Etwas“ verausgabte, da dieses „Etwas“ in der Sekunde ebenfalls den ganzen Ozean bedeckte. Man muß keine Frau sein, um zu verstehen, daß für einen Plisseerock mehr Stoff gebraucht wird als für einen glatten. Man braucht auch kein Baufachmann zu sein, um zu merken, daß ein Dach aus gewellten Ziegeln schwerer ist als eins aus flachen Ziegeln.

Hundert Wellen haben also viel mehr von diesem „Etwas“ ans Ufer getragen, wobei der Stein auch mehr Energie hergeben mußte. Vielleicht ist dann die Energie und dieses „Etwas“ ein und dasselbe?

Das schwingende Elektron strahlt in den Raum ein elektromagnetisches Feld aus. Und was stellt dieses dar? Auch dieses „Etwas“! Genau wie bei der Elektrizität wissen wir über dieses Feld nichts Weiteres zu sagen. Das wichtigste für uns ist, daß es in sich Energie trägt. Es nimmt die Energie von der Quelle in Schwankungsportionen auf und trägt sie weiter. Jetzt können wir uns wenigstens einigermaßen vorstellen, wie sich der Wellencharakter der Strahlung in diesen Portionen äußert. Die *Schwankungslänge* des elektromagnetischen Feldes oder die *Länge* der elektromagnetischen *Wellen* unterscheidet sich durch die verschiedenen Portionen oder Quanten der Lichtenergie voneinander.

Diese Gesetzmäßigkeit kann man auch mathematisch ausdrücken, und wir werden gleich sehen, wie die berühmte Plancksche Formel aussieht:

$$\varepsilon = h \cdot \nu$$

ε (Epsilon) = Energie des Quants;

h = konstante Größe, Plancksches Wirkungsquantum;

ν (Ny) = Schwankungslänge.

Diese Formel ist genauso wunderbar einfach wie das Einsteinsche Gesetz über das Verhältnis von Masse und Energie der Teilchen. Nein, sie ist noch einfacher. Und in ihr verschwindet, wie wir uns gleich überzeugen werden, der Unterschied zwischen Feld und Stoff.

„Das Photon des violetten Lichtes ist zweimal größer als das rote Photon.“ Wenn wir jetzt diesen Satz hören, werden wir uns wohl kaum mehr ein „aufgequollenes“ violettes Korpuskel vorstellen.

Wie verführerisch ist doch der Vergleich der Photonen mit den Ziegeln eines gewellten Daches: Sie sind alle gleichgroß, doch bei den violetten Ziegeln verläuft die Wellenlinie um das Doppelte enger als bei den roten. Die Wellen sind dann

auch um die Hälfte kürzer, und man braucht hier zweimal mehr Material als beim roten Dach. Leider kann man bei diesem Beispiel nichts über die geometrischen Ausmaße der Photonen sagen, und in ihnen schwankt auch nicht die Energie-Masse selbst, sondern die Spannungen oder die Kräfte der elektrischen und magnetischen Felder. Mit einem Wort, sämtliche Besonderheiten des Photons in einem einzigen Vergleich zu berühren ist unmöglich. Zwecklos ist auch, dafür irgendein geläufiges und anschauliches Bild aus dem Alltag suchen oder irgendein mechanisches Modell bauen zu wollen. Diese Versuche sind von vornherein zu einem Mißerfolg verurteilt.

Die Wechselwirkung des Photons mit dem Elektron, bei der das Photon seine Energie dem Elektron abgibt, erinnert an einen Zusammenstoß von Billardkugeln. Und ganz unbewußt gewinnt man den Eindruck, daß das Lichtteilchen tatsächlich nur ein Teilchen und nichts anderes als ein Teilchen ist. Hat es eine Masse? Ja, es ist die Masse seiner Energie. Hat es eine Richtung seiner Bewegung? Ja, die Richtung des fallenden Strahls. Und was fehlt noch?

Da die Photonen um Hindernisse biegen können, erinnern sie die Wissenschaftler an Wellen. Und jetzt gewinnt man den Eindruck, daß das Licht tatsächlich aus Wellen und nur aus Wellen besteht. Ist eine Schwankung bestimmter Längen im elektromagnetischen Feld vorhanden? Ja, sie ist vorhanden. Ein ununterbrochenes Feld? Ja, auch dieses. Und was fehlt noch?

Daraus folgt: in einigen Fällen Hagel, in anderen Wind. Und in Wirklichkeit? Diese Frage ist uns ganz unbewußt ent schlüpft. Doch sie ist sinnlos, *weil tatsächlich sowohl das eine als auch das andere zutrifft.*

Das Photon besitzt eine Doppelnatur: Es ist Teilchen und Welle zugleich. Daraus ist zu ersehen, daß sich die Geschichte nicht wiederholt. Die Lichtkorpuskeln Newtons verwandelten sich in die Huygensschen Lichtwellen, die ihrerseits von den Korpuskeln-Wellen abgelöst wurden.

Die Auslegung der Wellen-Teilchen oder der Teilchen-Wellen ist ein Verdienst der Physik des 20. Jahrhunderts. Die Folgen dieser Auslegung sind jedenfalls ganz erheblich, so

daß einer der Begründer der Wissenschaft von den Elementarteilchen, *Louis Victor de Broglie*, die Entdeckung des zwiespältigen Charakters der Wellen-Teilchen „das dramatischste Ereignis in der modernen Mikrophysik“ nannte.

Bei einem Schriftsteller oder Historiker hätten diese Worte niemanden verwundert. Ein jeder hätte zwar gedacht, daß es nicht sehr angebracht ist, über physikalische Ideen wie über dramatische Ereignisse zu sprechen. Doch hier handelte es sich um einen bekannten Wissenschaftler, der von einer Dramatik der Idee sprach. Und noch oft wird uns zum Bewußtsein kommen, wie recht dieser Mann hatte.

Und nun müssen wir noch einmal auf den Anfang dieser „Reisenotizen“ zu sprechen kommen, um endlich zu sehen, wie die Physiker das Unsichtbare sichtbar und das Unhörbare hörbar machen.

Die Welt der Elementarteilchen

Auf dem Berg der Hoffnungen

Die unversehens auf dem Aragaz aufgetauchte Wolke steht immer wieder vor meinem geistigen Auge. Sie ruft Erinnerungen wach an diesen Berg der „Begeisterung und Enttäuschung“, Erinnerungen an Erlebnisse, die mit der Wissenschaft nichts zu tun haben. Oder vielleicht doch?

... Wir gerieten in ein heftiges Gewitter; doch was viel unangenehmer war, unser geländegängiger Wagen sank in tiefen Schlamm, während um uns das Gewitter tobte. Um uns und nicht über uns! Die Blitze erinnerten hier so gar nicht an die üblichen drohenden grellen Himmelskeulen mit dem warnenden Zickzack-Zeichen: „Achtung! Hochspannung!“ Hinter den düsteren Felsblöcken blitzten links und rechts matte Explosionen auf. Zugleich erhob sich ein Donnern, das mit ohrenbetäubender Stärke über uns und unter uns die Hänge entlangrollte.

Jemand machte die witzige Bemerkung, daß die Geschwin-

digkeit des Blitzes und des Donners auf dem Aragaz gleich sein müßte. Doch der Witz kam nicht an, wir hatten an anderes zu denken. Wie aus Kannen gegossen, spülte der Regen über den Wagen und wandelte den Weg langsam, aber sicher in ein Schlammbad um. Der Wagen, der seiner Bezeichnung „geländegängig“ wenig Ehre machte, arbeitete sich immer tiefer in den Boden hinein, und wir befürchteten, ganz steckenzubleiben.

Dabei befanden wir uns mitten im Juni, und der Frühling war endlich aus den Tälern des Aragaz zu den Gipfeln emporgestiegen. Eine herrliche Jahreszeit! Doch ab und zu bereitet sie dem Menschen auch unliebsame Überraschungen. Am Morgen hatte der Wetterdienst durch das Radio bekanntgegeben: „Warm, wolkenlos, keine Niederschläge!“ Die kleine Wolke am Hang des Aragaz blieb unbeachtet. Doch um die Mittagszeit begann sie sich plötzlich auszudehnen und nahm eine dunkelblaue Farbe an.

Später halfen wir, den Wagen flottzumachen, ohne unsere Kräfte zu schonen. Die unfreiwillige Verzögerung paßte uns gar nicht, und noch viel weniger die geöffneten Schleusen des Himmels mit der drohenden Musik des rollenden Donners.

Mit dem Aragaz ist nicht zu spaßen. Davon wissen auch die alten Bergbewohner ein Liedchen zu singen. Der Fahrer hatte wahrscheinlich noch mit Holzautos und Papierpanzern gespielt, als in der schweren Kriegszeit die erste Physiker-Expedition den wilden, weglosen Gipfel erklimmte, um an den Ufern des Schwarzen Sees zwischen rauen Felsen und kalten Winden ein provisorisches Zeltlager zu errichten und die kosmischen Strahlen zu untersuchen. Damals war es nur mit Packeseln möglich, die schweren Lasten über halbsbrecherische Pfade in diese luftigen Höhen zu befördern. Auf Schritt und Tritt lauerten hier die bösen „Geister des Abenteuers“, und jede kleinste Unachtsamkeit konnte schwere Folgen, ja sogar einen Absturz nach sich ziehen. Plötzliche Schneestürme, undurchdringliche Nebel, eisige Winde und Steinschläge machten den Pionieren dieser Siedlung schwer zu schaffen.

Wie Kriegsveteranen tauschen auch die Alteingesessenen des

Bergobservatoriums Erinnerungen aus, die heute schon zu Geschichte geworden sind. Seitdem gab und gibt es noch viele Anlässe zu weiteren Erinnerungen, doch sie enthalten kaum noch Entbehrungen und Gefahren oder das, was man „Romantik“ nennt, wie zum Beispiel eine Reise mit einem Ozeandampfer auch viel weniger romantisch ist als mit einem Segelschiff. Der Rest dieser Romantik wird schließlich ganz verschwinden, wenn sich erst die Asphaltstraße den Berg bis zum Schwarzen See heraufschlängeln und die Hochspannungsleitung die kleine Siedlung in der Höhe von 3250 Metern erreichen wird. Den Physikern werden Wissenschaftler anderer Fachgebiete folgen, die ebenfalls an Forschungen in großen Höhen interessiert sind, was zu einem Anwachsen der Siedlung führen wird. In den Sommertagen werden die Menschen in Scharen aus Erewan den Berg einporsteigen, um Höhenluft zu genießen und auf dem Schwarzen See eine Kahnpartie zu machen. Wenn dann noch jemand auf den Gedanken kommen sollte, hier ein Touristenheim zu errichten, mit Wasser- und Wintersportmöglichkeiten, dazu ein kleines Bergrestaurant, in dem armenische Forellen angeboten werden, dann wird man wahrscheinlich den Physikern auch erlauben, dieser Siedlung einen Namen zu geben. Und vielleicht werden sie dann diese mit dem wohlklingenden und nur ihnen vertrauten Wort „Meson“ taufen?

Die Wissenschaftler trauern dem Verlust der entbehrungsvollen und gefährlichen Romantik nicht nach. Es ist natürlich auch viel besser, unter Umständen zu arbeiten, die nur ein Minimum an heroischen Anstrengungen fordern. Aber in dem Wort „Meson“ wird für immer der begeisterte Pioniergeist des Aragaz mitklingen.

Die Fachleute auf dem Aragaz schenkten mir zum Andenken an das Bergobservatorium einen kurzen Filmstreifen, vier Negative. Es sind weder Porträts noch Landschaften, weder Aufnahmen von Menschen noch von der wilden Natur. Aber ein besseres Andenken an den Berg Aragaz hätte ich beim besten Willen nicht mitnehmen können. Wenn man die Negative gegen das Licht hält und sie durch ein Vergrößerungsglas betrachtet, dann verliert

man sich in einer Welt kleinster, aber doch sehr aufregender Ereignisse.

Die Negative verschweigen zwar die Schneestürme auf dem Aragaz und sagen auch nichts über die schwierige und entbehrungsvolle Arbeit der Wissenschaftler, dafür berichten sie aber über wirklich erstaunliche Abenteuer des forschenden Geistes, der auch die Wissenschaftler auf den Berg geführt hatte.

Vier Negative. Nicht sehr viel, aber für uns, neugierige Laien, mehr als genug. Die Aussage eines einzigen würde reichen, um einen abendfüllenden Film zu drehen, so viel aufregende Ereignisse und sich unerwartet überschneidende Schicksale, so viele Geburten und Todesfälle sind auf diesem Negativ dargestellt. Die handelnden Personen dieser Szenen sind die Elementarteilchen.

Als wir auf den Aragaz stiegen, um zu erleben, wie das Unsichtbare sichtbar und das Unhörbare hörbar wird, wußte ich schon, daß dort auf den Filmen etwas aufgenommen ist, was man anscheinend gar nicht aufnehmen kann. Unter anderem die Geburt und der Tod von Mesonen, der gleichen Mesonen, in denen der Pioniergeist des Aragaz weiterlebt.

Das Geheimnis der Nebelkammer

Die Negative erinnern an eine mit Notenlinien und Notenköpfen beschriebene schwarze Schultafel. Oder auch an eine Bühne. Die Dekorationen sind auf jedem Negativ die gleichen: Auf dem dunklen Rechteck der Bühne verlaufen horizontale helle Linien. Man hat den Eindruck, als würde sich die Handlung in mehreren Etagen eines im Querschnitt dargestellten Bühnenhauses abspielen.

Diese Bühne ist das Innere der Wilson-Kammer. Ihr dunkler Raum ist durch dünne Blei- oder Kupferplatten in mehrere Etagen aufgeteilt. Die kosmischen Teilchen erscheinen freiwillig auf der Bühne, einzeln, ohne sich verabredet zu haben, ohne ihre Rolle repetiert zu haben und auch ohne nach dem Eingang der Bühne zu fragen.

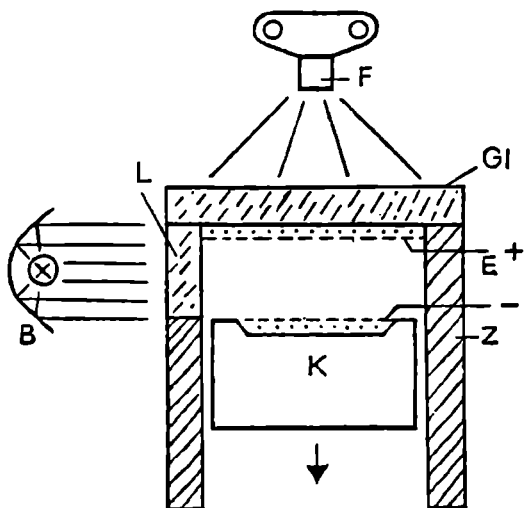
Sie erscheinen ganz zufällig! Es kostet sie auch keine besonderen Anstrengungen – außer einigem Energieverlust –, um die Wände der Kammer zu durchdringen. Sie nehmen sich einfach das Recht, auf dieser Bühne mitspielen zu dürfen. Doch auch die Physiker des Photolabors auf dem Aragaz haben sich gewisse Rechte vorbehalten: Sie sind die Regisseure und Operateure des Filmes und denken deshalb gar nicht daran, alles aufzunehmen, was auf der Bühne erscheint.

Das alles erinnert wirklich sehr an eine Filmprobe, wo der Regisseur viele Kandidaten prüft, um den besten für die entsprechende Rolle zu wählen. Wenn sich diese Wahl später als ein Mißerfolg herausstellen sollte, so ist das zwar bedauerlich, interessiert uns jetzt aber nicht besonders.

So geht es auch den Physikern auf dem Aragaz. Als gute Regisseure suchen sie jahrelang nach neuen Elementarteilchen in den kosmischen Strahlen und beschäftigen sich nur mit denjenigen, die der von ihnen verlangten Rolle entsprechen. Das ist ihre erste und grundsätzliche Forderung! Und nur relativ wenige Teilchen in der Kammer entsprechen diesen Forderungen. Doch welche von ihnen wirklich noch unbekannte „Grundbausteine“ sind, wird nicht während der Aufnahme, sondern erst später bei der sorgfältigen Prüfung des aufgenommenen Filmes ermittelt.

Wie überzeugen sich aber die Physiker davon, daß – auch wenn das Teilchen seine Rolle richtig spielt – es sich lohnt, dieses für weitere Aufnahmen zu verwenden? Von einem Erfolg kann man doch erst sprechen, wenn das Teilchen seine Sache auf der Bühne richtig gemacht hat. Und hat es seine Sache schon gemacht, was soll später noch aufgenommen werden? Man kann doch den zufälligen Gast nicht nochmals auf die Bühne rufen und ihn seine Rolle wiederholen lassen.

Die Wilson-Kammer wird auch Nebelkammer genannt. In ihr können sich leicht Nebel bilden, so daß diese Bezeichnung vom technischen Standpunkt vollauf berechtigt ist. Sie wird mit Alkoholdämpfen und irgendeinem Gas gefüllt, ihr Volumen dann schnell ausgedehnt, die Dämpfe werden etwas abgekühlt, gesättigt, wobei sie sich in winzige kleine



Prinzip der Wilsonschen Nebelkammer

Z = Zylinder; GL und L = Glasplatten; K = beweglicher Kolben; F = Fotoapparat; B = Lichtquelle; E = Drahtnetze, unter Spannung stehend

Tröpfchen umwandeln. So bilden sich in kühlen Morgenstunden über feuchten Niederungen, wenn die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, die bekannten Nebelschwaden. In der Wilson-Kammer ist es der Alkoholdampf, der sich bei günstigen Voraussetzungen niederschlägt. Doch in der Kammer fehlen kleine Staubteilchen, die „Kondensationskerne“, an denen die Tröpfchen haften könnten. Ja, wenn in der Kammer geladene Ionen irgendwelcher Atome auftreten würden, dann könnten sie sehr gut die Rolle der Staubteilchen übernehmen.

Der Film „Ionisation“ beginnt mit dem Augenblick, in dem die kosmischen Gäste auf der verdunkelten Bühne erscheinen. Die mit hoher Energie ausgerüsteten Teilchen fangen sofort mit ihrem Auftritt an, indem sie ihre Energie beim Zusammenstoß mit den Gasatomen verausgaben. Dabei

reißen sie ihnen die äußeren Elektronen herunter und lassen auf ihrem Weg geladene Atomsplitter zurück: Ionen . . .

Pierre Auger, der im letzten Jahr des zweiten Weltkrieges ein Buch über kosmische Teilchen herausbrachte, verglich die Teilchen hoher Energie mit bösen Motorradfahrern, die mit ihren Fahrzeugen in eine friedliche Menschenmenge hineinrasen und eine Gasse von Verwundeten und Toten hinter sich lassen. In der heutigen Zeit sollten wir aber solche blutige Metaphern vermeiden; weder sind die Ionen zerfetzte Tote noch unwesentliche Splitter. Diese Beispiele hinken! Geladene Ionen sind nämlich viel lebensfähiger als neutrale Atome; es ist, als wäre ihnen die Maske der Indifferenz heruntergerissen, als würden uns plötzlich energische, sympathische Gesichter anblicken. Die Moleküle des übersättigten Dampfes schmiegen sich an die Ionen an und bilden um sie winzige Tröpfchen, die auf der Bühne hell leuchten.

Hinter dem kosmischen Teilchen bildet sich eine schmale Nebelspur, die Kette der von dem Teilchen gebildeten Ionen. Jetzt braucht man nur noch für den Bruchteil einer Sekunde die Bühne zu beleuchten und eine Aufnahme zu machen, um das Unsichtbare und das Unhörbare faßbar zu machen.

Dabei kommt es aber darauf an, nicht zu zeitig aufzunehmen – die Nebelspur muß sich erst gebildet haben – und auch nicht zu spät, da sich der Nebel sonst verflüchtigt und die Spur verschwindet. Mit einem Wort, die vier Ereignisse müssen fast synchron verlaufen: das Eindringen der Teilchen in die Wilson-Kammer, die Erweiterung des Kammerumfanges, um eine Übersättigung der Dämpfe hervorzurufen, das Einschalten des Lichtes und die Auslösung des Fotoapparates. So werden auch die Aufnahmen im physikalischen Fotolabor auf dem Aragaz gemacht. Natürlich verläuft alles vollautomatisch. Das Teilchen kündigt ja sein Erscheinen vorher nicht an. Da es sich fast mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, ist es zwecklos, es zu verfolgen. Daher muß die Aufnahme *selbst* kommandieren! Und die Physiker haben alles so eingerichtet, daß das Teilchen tatsächlich sein Kommando geben kann, das dann reibungslos ausgeführt wird.

Hier setzt wieder die Ionisation ein. Das kosmische Teilchen kommt von oben, es fliegt vom Himmel herunter. Über der Nebelkammer trifft es auf eine Barriere aus dünnwandigen Metallröhrchen, die ebenfalls mit Gas gefüllt sind. Im Innern eines jeden Röhrchens befindet sich ein dünner Draht. Es sind dies die berühmten Geiger-Zähler. Da der Zähler über der Kammer ein dichtes Dach bildet, müssen die Teilchen erst über diese Barriere, bevor sie auf die Bühne gelangen. Dieses Dach bedeutet für die kosmischen Gäste aber kein wesentliches Hindernis, denn sie dringen ohne Schwierigkeit in die Geigerzähler hinein. Dort erfahren die neutralen Gasmoleküle das gleiche Schicksal wie in der Nebelkammer. Das Teilchen sprengt von ihnen Elektronen ab, und die Atome werden zu Ionen. Während sie aber in der Wilson-Kammer durch nichts angezogen werden, ja im Gegenteil selbst Anziehungszentren für die Moleküle des Dampfes sind, haften sie in den Geigerzählern an dem dünnen Draht an, der sich unter Spannung befindet.

Auf dem Weg zum Draht entsteht ein heftiges Gedränge: Die beschleunigten Gasionen wirken jetzt selbst wie ein ursprüngliches kosmisches Teilchen und reißen auf dem Weg zum Draht die Elektronen der äußeren Hüllen ihrer ehemaligen Zwillingsbrüder – der übrigen neutralen Gasatome – herunter. Die Energie der Ionen ist im Verhältnis zu der Energie der kosmischen Teilchen natürlich nur sehr gering, dafür sind sie aber in der Überzahl vorhanden. Und obwohl jedes von ihnen nur wenige neue Ionen bildet, wächst die Ionenlawine schnell an. In etwa einer millionstel Sekunde kommt es zu einem kurzen, aber ziemlich starken elektrischen Schlag, zu einem elektrischen Impuls. Diesen Impuls in Arbeit umzuwandeln ist dann schon eine Angelegenheit der Techniker.

Ja, hier enden die Sorgen der Physiker und beginnen die der Ingenieure. Durch die Verstärkung des Stromimpulses können sie mit diesem machen, was sie wollen und sogar eine Lichtreklame über dem zukünftigen Touristenheim „Meson“ anbringen. Doch so weit ist es noch nicht, heute schalten diese Impulse lediglich die Fotoanlage auf dem Aragaz ein. Im Labor ist es still. Leise unterhalten sich die Laboranten.

Plötzlich ein scharfer Knall wie mit einer Peitsche und dann ein gedehntes Geräusch, das wie ein Seufzen klingt. Es ist ein Teilchen, das angeflogen kam und die Fotoanlage auslöste. Der Seufzer kam aus der Wilson-Kammer, als diese sich ausdehnte. Zugleich flammten mächtige Lampen auf und beleuchteten ganz kurz die Szene. In dieser Geräuschkulisse ging das leise Klicken des Auslösers unter. Der durch das Teilchen hervorgerufene Impuls hat gute Arbeit geleistet.

Und wieder ist es still im Labor. Die Laboranten beugen sich über die Geräte und notieren die von den Meßgeräten abgelesenen Werte. Niemand weiß, wie lange diese Stille andauern wird, da die Teilchen keinen Fahrplan kennen, sehr unregelmäßig und übrigens auch sehr selten eintreffen. Daß sie während ihres rasenden Fluges fotografiert werden können, verdanken sie den Ingenieuren unserer Zeit.

Die Negative, die ich gegen das Licht halte, sind nicht die besten (wahrscheinlich wurden sie mir deshalb auch geschenkt). Da fällt mir ein, wie *Artemi Alichanyan*, der Leiter des Observatoriums, bei der Durchsicht einer Aufnahmeserie sagte: „Man hätte die Verzögerung verkürzen müssen – die Spuren sind recht unklar.“ Schweigend nickten die Laboranten mit dem Kopf. Ganz unwillkürlich kam mir ein anschaulicher Vergleich in den Sinn: „Aha, das bedeutet, daß der Nebel durch die Verzögerung auseinanderfließen konnte, wie sich etwa die weißen Kondensstreifen der Flugzeuge am wolkenlosen Himmel auflösen.“

Doch wesentlicher war etwas anderes. Bei der Durchsicht des Filmes und dem Vergleich mit den eingetragenen Werten der Laborkladde murmelte Alichanyan vor sich hin: „Das hier ist selbstverständlich ein Proton. Und das hier wahrscheinlich ein μ -Meson.“ Dann das schleifende Geräusch des im Stereoskop weitergeleiteten Filmes und wieder die leise, trockene Stimme: „Hier auch ein typisches Proton und hier ganz deutlich ein leichtes Meson.“

Der Physiker erkannte die Teilchen an ihren Spuren, wie ein erfahrener Jäger das Wild an seinen Spuren erkennt. Und immer wieder waren es alte Bekannte, was den Wissenschaftler aber nicht besonders interessierte, da er voller Ungeduld nach anderen, neuen Ausschau hielt.

Doch „solche“ Spuren sind sehr selten, so selten, daß die Physiker bis heute noch nicht ganz von ihrem Ursprung überzeugt sind. Vielleicht ist es nur ein „Versuchsfehler“, vielleicht eine besondere Maskierung bereits bekannter Teilchen, aber möglicherweise handelt es sich doch um irgendwelche neue, noch nicht bekannte, bisher unerforschte Elementarteilchen. „Nein“ ist natürlich viel einfacher zu sagen als „ja“. Es gibt neben Alichanyan und seinen Mitarbeitern nur noch wenige Wissenschaftler in der Welt, die einige Vertreter dieser möglichen, bisher noch namenlosen „Grundbausteine“ beobachten konnten. Daneben haben aber viele vergebens nach ihnen geforscht, und es bestehen starke Zweifel, ob sie überhaupt existieren. Diese Gedanken beherrschen und quälen auch Alichanyan.

Wie ist das nun zu verstehen? Entweder sie wurden beobachtet oder nicht? Es gibt doch nur diese zwei Möglichkeiten. Oder sollte noch eine dritte bestehen? Wird ein Jäger, der auf seiner Pirsch eine neue, ihm noch nicht bekannte Spur entdeckt, gleich glauben, daß in seinem Revier ein bisher unbekanntes Wild aufgetaucht ist? Man darf in solchen Fällen nicht voreilig sein, denken wir nur an die Spuren des „Schneemenschen“ im Himalaja-Gebirge. Obwohl einige Personen darauf schwören, ihre Spuren gesehen zu haben, bleibt die Existenz der „Yeti“ auch weiterhin ein offenes Problem.

Ein grundlegender Unterschied besteht aber. Den „Schneemenschen“ wird man früher oder später einfangen können, natürlich nur dann, wenn er existieren sollte. Dadurch würden alle Gegenbeweise mit einem Schlag widerlegt sein. Die positiven Beweise brauchte man dann übrigens auch nicht mehr: Der Generalbeweis, das behaarte menschenähnliche Wesen, würde sie überflüssig machen. Doch wie soll man den Streit über die Existenz eines neuen Elementarteilchens entscheiden? Man kann es nur mit theoretischen Beweisen – für und gegen.

Irgend jemand sagte einmal scherzhaft, daß das Teilchen in der Wilson-Kammer auf seiner Nebelspur etwa einer Fliege im Metrotunnel gleiche. Das ist jedoch sehr großzügig ausgedrückt, wirklich sehr großzügig. Man müßte schon die

Fliege mit irgendeinem fliegenden Virus vertauschen, um einen annähernden Maßstab zu haben. Und ist es nicht erstaunlich, daß dieser gewaltige Tunnel von diesem winzigen Teilchen in einer so unsagbar kurzen Zeitspanne errichtet wird? Dabei ist der fertige Tunnel nur noch eine Erinnerung an den Baumeister, da dieser ihn längst verlassen hat. Nach Beendigung seiner Arbeit, der Bildung von Ionen, die ihrerseits einen dünnen Nebelfaden schaffen, verflüchtigt es sich wieder: Es verläßt entweder die Kammer, zerfällt oder wird vom Stoff aufgesaugt. Nach Stärke, Ausmaß und Krümmung des Tunnels schlußfolgern die Wissenschaftler dann auf den Charakter des Baumeisters.

Die unsichtbaren Erbauer der Nebeltunnel in der Wilson-Kammer vollbringen wirklich eine gigantische Arbeit. Wer und was sind sie nun in Wirklichkeit?

Eines kann man auf jeden Fall sagen: Es sind elektrisch geladene Teilchen, da neutrale Teilchen Atome und Moleküle nicht ionisieren können. Übrigens befinden sich auf dem Negativ neben der Hauptspur des kosmischen Gastes, der auch das Kommando zur Auslösung der Kamera gab, noch viele andere Nebelspuren. Diese sind sehr unterschiedlich: dünn und dick, gerade und krumm, kurz und lang. Diese ungebetenen Teilchen, die so ganz unzeremoniell auf die Bühne flatterten, konnten sowohl von außen in die Kammer gelangen als auch sich in ihr selbst gebildet haben. Das soll uns jetzt aber nicht weiter aufhalten; viel wichtiger ist, daß die Unterschiede in den Spuren uns auch über die verschiedenen Eigenschaften der Teilchen selbst etwas sagen.

Die Teilchen und ihre Spuren

Auf den ersten Blick erscheinen die Möglichkeiten der Nebelkammer sehr bescheiden, da man mit dieser nur feststellen kann, ob die Mikroteilchen geladen sind oder nicht. Es darf aber nicht übersehen werden, daß die Kammer vor allen Dingen den Weg der Teilchen *sichtbar* macht. Allein diese Tatsache kostete dem Physiker *Charles Wilson* aus

Cambridge mehrere Jahre angestrengter Arbeit bei der Untersuchung der Nebelerscheinungen, die dann allerdings von einer grandiosen Entdeckung gekrönt wurden.

Er machte seine Entdeckung gerade zur richtigen Zeit, im Jahr 1912. Knapp ein Jahr vorher hatte *Ernest Rutherford* die Existenz des Atomkerns nachgewiesen, worauf eine stürmische Entwicklung der Kernphysik einsetzte. Und zwei Jahre vorher war dem Österreicher *Heß* der Nachweis gelungen, daß auf die Erde eine „Höhenstrahlung“ einwirkt, was eine ebenso rasche Entwicklung der Physik der kosmischen Teilchen zur Folge hatte. Und eben in dieser Zeit kamen die Erforscher der Mikrowelt in den Besitz eines Gerätes, das ihnen den gleichen Dienst leistete wie das Mikroskop den Biologen oder das Teleskop den Astronomen.

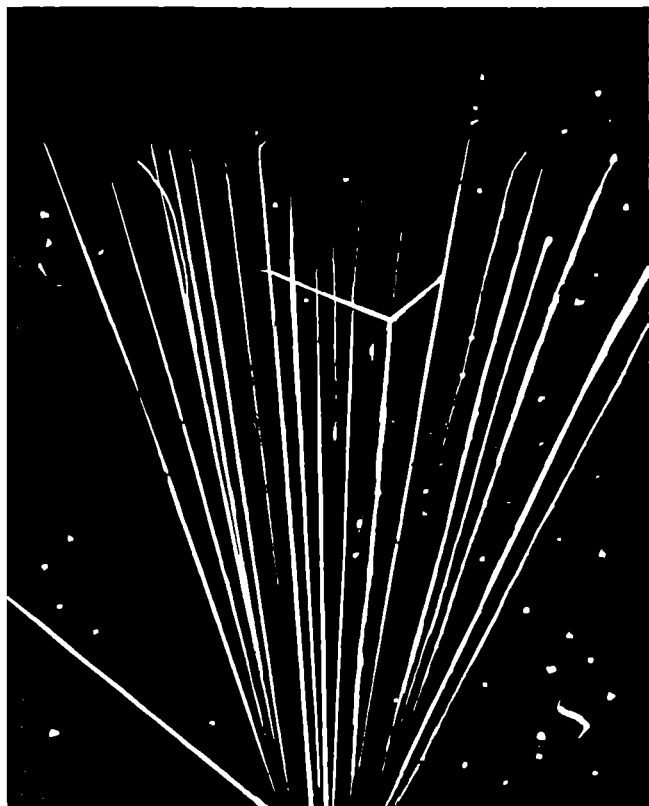
Vor mehr als dreißig Jahren kam ein junger und noch unbekannter Physiker auf den Gedanken, die Nebelkammer in ein Magnetfeld – das Gebiet der Magnetfelder hatte es ihm besonders angetan – zu setzen. Bei einem Versuch mit Alpha-Teilchen – Heliumkernen – beobachtete er, wie diese in der Kammer deutlich sichtbare, gerade weiße Nebelfäden hinterließen. Der Wissenschaftler überlegte: Eigentlich hätte das Magnetfeld diese Spuren krümmen müssen, da es geladene Teilchen immer vom geraden Weg ablenkt. (So werden auch die schnell fliegenden Protonen im Dubnaer Beschleuniger durch das Magnetfeld in der Kreisbahn gehalten.)

Doch warum sollte ein gekrümmter Weg eigentlich besser sein als ein gerader? Sehr einfach: Die Krümmung der Nebelspuren versprach neue Erkenntnisse über das Teilchen.

Die sich bewegende Ladung widersetzt sich der ablenkenden Kraft des Magnetfeldes um so erfolgreicher, je größer die Masse des geladenen Teilchens und je höher seine Geschwindigkeit ist. Ein schweres Teilchen ist viel schwieriger vom geraden Weg abzulenken als ein leichtes, was ohne große Überlegungen einleuchten dürfte. Die Heliumkerne haben alle, wenn man ihre Geschwindigkeit unberücksichtigt läßt, die gleiche Masse. Daraus folgt, daß man bei wesentlich klei-

neren Geschwindigkeiten als der des Lichtes – wo diese Vernachlässigung zugelassen ist – von der Krümmung der Nebelschleifen auf die Geschwindigkeit der Alpha-Teilchen schließen kann. Bei langsamer fliegenden Teilchen wird infolgedessen die Spur stärker gekrümmt sein und bei den schnelleren weniger stark.

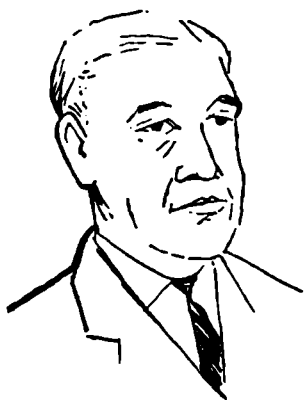
Der Physiker erhielt also gekrümmte Spuren, und die Teilchen erzählten ihm von der Bühne der Nebelkammer aus



Teilchenspuren in der Wilsonschen Nebelkammer

jetzt viel mehr über sich als vorher. Es handelt sich um *Pjotr Leonidowitsch Kapiza*, dessen Name heute in aller Welt bekannt ist.

In den gleichen zwanziger Jahren machte sich ein ebenfalls noch junger und unbekannter Physiker daran, die *kosmischen Strahlen* in einer vom Magnetfeld durchdrungenen Wilson-Kammer aufzunehmen. Daraufhin begannen die Teilchen von der Nebelbühne aus weitere neue Nachrichten über sich zu verkünden. Heute ist auch dieser Wissenschaftler allen bekannt: *Dmitri Wladimirowitsch Skobelzyn*.



Dmitri Wladimirowitsch Skobelzyn

Das kleinste Geheimnis der geladenen Teilchen ist das Zeichen ihrer Ladung: plus oder minus. Sie wenden sich nämlich unter dem Einfluß der magnetischen Kräfte nach der einen Seite, wenn sie positiv geladen sind, oder nach der anderen, wenn ihre Ladung negativ ist. So verlaufen auch auf den mir geschenkten Negativen viele Spuren in entgegengesetzten Richtungen (obwohl die Teilchen gemeinsam ankommen), was bedeutet, daß ihre Ladungen ganz offensichtlich verschiedene Vorzeichen haben.

Die anderen auf den Wilson-Fotografien zurückgelassenen Nachrichten sind nicht so leicht zu entziffern. Auch über die

Geschwindigkeit der Teilchen darf man hier nicht mehr allein nach den Krümmungen ihrer Nebelspuren schließen, da sie ja verschiedene Massen besessen haben konnten.

Wir haben also zwei gekrümmte Spuren. Von wem stammen sie: von einem schweren, aber langsamen oder von einem leichten und schnellen Teilchen? Eine geringe Masse konnte durchaus mit einer großen Geschwindigkeit kompensiert sein, wie eine langsame Bewegung ebenso gut die Folge einer riesigen Masse gewesen sein konnte. Eines kann man aber ganz bestimmt daraus schließen: Das Produkt aus *Masse und Geschwindigkeit* war in beiden Fällen gleich groß. „Die Teilchen haben gleich große *Impulse*, sie verfügen über die gleiche *Bewegungsgröße*!“ sagen die Physiker.

Das ist das zweite Geheimnis, das den Teilchen mit Hilfe des Magnetfeldes entrissen werden kann: die Größe ihres Impulses.

Das grundlegende Naturgesetz über die Erhaltung des Impulses, das Gesetz der Erhaltung der Bewegungsgröße, ist seit langem bekannt. Wer schon einmal aus einem Jagdgewehr geschossen hat, wird die Wirkung dieses Gesetzes am eigenen Leibe verspürt haben. Vor dem Schuß befinden sich Gewehr und Kugel in Ruhelage. Ihre Geschwindigkeit, sowohl einzeln als auch zusammen, ist gleich Null. Ihr gemeinsamer Impuls ebenfalls. Und auch nach dem Schuß müßte er gleich Null sein. Stimmt das? Die Kugel hat jetzt doch eine große Geschwindigkeit und auch einen gewaltigen Impuls? Zweifellos. Aber da ist noch das Gewehr. Auch dieses hätte einen gleich großen Impuls empfangen müssen, allerdings in entgegengesetzter Richtung. In diesem Fall hätte die Summe der Impulse von Kugel und Gewehr nach wie vor Null bleiben müssen. Wirklich, das Gewehr „schlägt“ zurück, uns in die Schulter, weil die Kugel vorwärtsfliegt. Es „fliegt“ aber „in Führungsstrichen“, denn, um sich dem Impuls der Kugel anzugleichen, braucht das Gewehr auf Grund seiner großen Masse keine große Geschwindigkeit.

Der Zerfall eines Urankerns ist dem Gewehrschuß sehr ähnlich. Auch hier fliegt eine Kugel hervor: ein Alpha-Teilchen. Der verbliebene Kernrest müßte nun eigentlich zurück-

schlagen. Das tut er auch, und man kann das in der Wilson-Kammer an Hand der Nebelspuren von Kernrückstößen einwandfrei beobachten. Ja, die Kernphysiker prägten in Nachahmung der Jäger und Artilleristen sogar den Begriff „Kernrückstoß“.

Jetzt können wir auch feststellen, wie wichtig die Kenntnis über den Impuls der Elementarteilchen ist.

Auf den Negativen vom Bergobservatorium findet man auch deutlich geknickte Nebelspuren. Nicht gekrümmte, sondern scharf geknickte, als wäre das Teilchen bei seinem Flug plötzlich zur Seite geschleudert worden. Achtung! Achtung! Da mußte während des Fluges etwas Besonderes passiert sein! Man kann auch beobachten, daß sich im Brechungspunkt die Spur verändert hat, sie ist jetzt entweder stärker oder schwächer. Wahrscheinlich ist an diesem Punkt das ehemalige Teilchen verschwunden, ein neues hat sich gebildet und eine andere Richtung eingeschlagen.

Der Zerfall eines Teilchens während des Fluges? Das ist in der Mikrowelt kein besonders ungewöhnliches Ereignis. Doch das neue Teilchen machte am Zerfallspunkt einen deutlichen Knick und flog unter einem anderen Winkel weiter, was bewies, daß sich seine Geschwindigkeit von der des ersten unterschied. Es mußte demzufolge auch einen anderen Impuls besitzen. Wie sieht es in diesem Falle mit dem Erhaltungsgesetz aus?

Das Erhaltungsgesetz weist den Physikern einen Weg aus dieser bedenklichen Situation. Um die Balance zu gewährleisten, mußte im Zerfallspunkt noch irgend etwas anderes einen Teil des Impulses vom ersten Teilchen übernehmen. Wahrscheinlich kam es deshalb in diesem Punkt nicht nur zur Geburt von einem, sondern mindestens von zwei neuen Teilchen, wobei das zweite ebenfalls einen Knick machte und in einer anderen Richtung davonflog.

Doch wenn das Teilchen in zwei zerfiel, warum läuft dann vom Zerfallspunkt nur eine Spur weiter? Wo ist die zweite? Eine verhängnisvolle Frage? Man muß sie nur anders formulieren, dann fällt die Antwort nicht schwer. Man muß richtiger fragen: Warum ist die zweite Spur *nicht zu sehen*? Nun, sie ist deshalb nicht zu sehen, weil dem zweiten der

neugeborenen Teilchen keine Spur folgte. Es konnte auf seinem Weg keine Ionen bilden, da es *neutral* war.

Anders kann es gar nicht sein. Das zerfallene Teilchen mußte den Erben außer seinem Impuls auch noch seine Ladung übergeben. Und da bereits der erste Erbe über eine Nebelspur verfügte, konnte für den zweiten keine Ladung übriggeblieben sein.

Dieses kleine Beispiel beweist, was für eine große Bedeutung die Verbindung von Experiment und Theorie hat. Ist es nicht erstaunlich, daß man sogar aus der Abwesenheit einer Nebelspur wichtige Nachrichten über das Teilchen entnehmen kann? Dort, wo wir überhaupt nichts sehen, verfolgt der Physiker in Gedanken ein davonfliegendes Teilchen. Ja, die Physiker kennen Witze, deren Pointe nur sie verstehen. Es wird erzählt, daß vor drei Jahren der bekannte Physiker *Hans Albrecht Bethe* anläßlich eines theoretischen Seminars bei *Niels Bohr* in Kopenhagen scherzhafterweise zwei total schwarze Fotos demonstrierte – auf denen auch nicht eine einzige Nebelspur zu sehen war! – und etwa folgendes sagte: „Sie sehen ganz deutlich, daß hier ein neutrales Teilchen vorbeiflog, das dann in zwei weitere neutrale Teilchen zerfiel... Vielleicht werden die Praktiker mit den Köpfen schütteln, doch wir Theoretiker sollten uns über dieses vorzüglich gelungene Bild freuen...“ Alles lachte, obwohl mancher daran gedacht haben wird, daß sich etwas Ähnliches bei der Entdeckung der „Grundbausteine“ tatsächlich ereignete.

Das Elementarteilchen *Neutrino* lebte erst fünfundzwanzig Jahre in der Einbildung der Physiker, bevor man sich endgültig davon überzeigte, daß es in der Natur *tatsächlich* existiert. Vorher dachten die Wissenschaftler nur, sie brauchten es einfach als eine dritte Größe für die Balance des Erhaltungsgesetzes.

Viele radioaktive Elemente senden Alpha-Strahlen – Heliumkerne – aus, andere Beta-Strahlen, gewöhnlich große Elektronen. Und was liegt näher, als den Beta-Zerfall genauso zu behandeln wie den Alpha-Zerfall: Das Elektron verläßt den Kern wie eine Kugel das Gewehr. Doch es wurde festgestellt, daß die Elektronen-Kugeln – grob gesagt – fliegen,

wie es ihnen gefällt, und die Kerne den „Rückschlag“ nicht „auf die Schulter“ weiterleiten, wie das bei einem gewöhnlichen Schuß der Fall ist.

Ein unlängst verstorbener großer Physiker, der Schweizer *Wolfgang Pauli*, erkannte bei der Erforschung des Beta-Zerfalls, daß hier ein dritter Körper mitwirkt! 1931 „erfand“ er eine neue Kugel von ganz winzigem Kaliber, die mit dem Elektron *gemeinsam* vom Kern wegfliegen sollte. Zwei Jahre später gab der große Italiener *Enrico Fermi*, der die Theorie des Beta-Zerfalls aufstellte, dieser gedanklichen Kugel Paulis den Kosenamen „Neutrino“, – kleines Neutron, Neutronchen. Es war auf jeden Fall neutral.

Fünfundzwanzig Jahre später, im Jahr 1956, wurde das Neutrino, das mehr als 2 000mal kleiner als die Masse des Elektrons ist, plötzlich zum Held des Tages. Man entdeckte, daß mit ihm wichtige neue Ereignisse in der Welt der Elementarteilchen verbunden sind, und die Wissenschaftler gerieten in große Erregung.

*

Was könnt ihr, wenn man euch die Fläche eines Zimmers angibt, über seine Länge und Breite aussagen? Nicht viel; das Zimmer kann ein Rechteck sein oder auch die Form eines Korridors besitzen. So ist es auch mit dem Impuls, dem Produkt aus Masse und Geschwindigkeit: Es sagt *einzelnen* über Masse und Geschwindigkeit nichts aus.

Doch es gibt noch eine Größe, mit der diese charakteristischen Zustände des Teilchens verbunden sind, seine Bewegungsenergie. Ja, wenn man noch seine Energie ermitteln könnte! Dann würde das Teilchen auch sofort seine beiden anderen Geheimnisse preisgeben: Masse und Geschwindigkeit. Um zwei Unbekannte zu bestimmen, brauchen wir zwei Gleichungen. Die Impulsgröße löst die Aufgabe nur halb, sie gibt uns eine Gleichung. Die Energie dürfte uns die zweite liefern.

Man muß verstehen lernen, was die kosmischen Teilchen von der Bühne der Nebelkammer über ihre Energie zu erzählen haben. Sie sind doch die Erbauer der Nebeltunnel. Die Krümmung des Tunnels hängt von ihrem Impuls ab. Und Stärke und Länge? Von dem Energieverlust des

Teilchens, von seinen elektrischen Reserven und seiner Freigebigkeit.

In der Wilson-Kammer muß das Teilchen 30 Elektronenvolt abgeben, um Ionen bilden zu können. Es muß also auf seinem Weg *Arbeit leisten*, damit sich in der Kammer Nebelzentren bilden können. Sobald es dann die Kräfte verlassen, bleibt es stehen, und damit reißt auch die Nebelspur ab.

Das geladene Teilchen arbeitet mit seinem Feld. Mit diesem geht es eine Wechselwirkung mit den Elektronen der unterwegs angetroffenen Atome ein und reißt diese vom Kern los. Je langsamer das Teilchen fliegt, um so mehr Ionen bildet es, und um so breiter ist seine Spur. Aber auch seine Verluste sind größer; es gibt seine Reserven schneller aus. Und diese waren von allem Anfang an nicht sehr groß, da die Energie eines langsamen Teilchens von Natur aus klein ist. Es kann also einen breiten, dafür aber nur kurzen Tunnel bauen.

Sehen wir uns dagegen ein schnelles Teilchen an, etwa ein Milliarden-Teilchen, wie das Proton aus Dubna. Kann dieses, das mit einer so riesigen Geschwindigkeit fliegt, mit seinem Feld auf dem kurzen Wegabschnitt überhaupt etwas schaffen? Hat es denn Zeit, auch nur einen kleinen Teil seiner gewaltigen Energie für die Bildung von Ionen zu verausgaben? Ein solcher Tunnel müßte naturgemäß sehr lang sein, das Teilchen hat riesige Mengen an Energie zu vergeben, Milliarden von Elektronenvolt. Doch wird es wegen seiner gewaltigen Geschwindigkeit nicht so wenig Energie abgeben können, daß der Tunnel nur sehr kümmerlich ausfallen, daß er kaum zu erkennen sein wird? Warum bringt man überhaupt die Nebelkammer mit kosmischen Strahlen in Verbindung, wenn gerade Teilchen hoher Energie besonders interessieren?

Hier müssen wir die Relativitätstheorie zu Rate ziehen und fragen, warum die Spuren der überschnellen Teilchen in der Wilson-Kammer trotzdem so gut zu sehen sind. Ja, es sind vornehmlich diese Teilchen, die dem Physiker im Labor auf der Erde, zu der sie sich mit einer relativen Geschwindigkeit bewegen, sehr anschaulich die Zunahme ihrer Masse in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, die Verzögerung der eigenen Zeit und die Verkürzung ihres Längenmaßstabes

demonstrieren. Deshalb werden diese schnellen Teilchen in der Physik auch die *relativistischen* genannt, sie ordnen sich völlig den Gesetzen der Relativitätstheorie unter.

Das elektrische Feld des geladenen Teilchens umgibt dieses von allen Seiten, wie etwa die Atmosphäre die Erde, weshalb das Teilchen ein Atom auch nicht mit der „Stirn“ zu treffen braucht, um ihm ein Elektron zu entreißen. Das Teilchen greift die Atome mit seinem gesamten elektrischen Feld an, wenn diese den Bereich seines Flugweges kreuzen. So etwa wirkt die Hitze eines glühenden Stahlblocks und versengt Gegenstände auch in gewissen Entfernungen.

Doch es gibt eine unsichtbare Grenze, hinter der die Hitze nicht mehr gefährlich ist. Genauso gibt es eine unsichtbare Schranke, hinter der das Feld des fliegenden Teilchens sehr schwach wird, es kann einem vorbeistreichenden Atom kein Elektron mehr entreißen und das Atom nicht mehr in ein Ion umwandeln.

Wir stellen uns vor, daß auf den glühenden Stahlblock ein starker Luftstrahl gerichtet wird. Während man jetzt hinter dem Luftstrahl näher an den Block heran kann, wird man sich an den Seiten des Blocks weiter entfernt halten müssen; die Hitzewellen werden durch den Luftstrahl abgeplattet, dafür aber an den Seiten breiter.

Da fliegt also ein relativistisches Teilchen durch das Gas-milieu. Wird die gewaltige Geschwindigkeit nicht auch das Feld des Teilchens verändern, wie sie seine Masse, Zeit und Länge verändert hat? Eigentlich wäre das nach allen bisher gemachten Erfahrungen zu erwarten; das Feld ist doch auch materiell, und seine Kräfte müßten von Raum und Zeit abhängen. Dieses Verhältnis ist zwar recht kompliziert, trotzdem gelangten die Physiker zur Lösung.

Sie stellten also fest, daß das elektrische Feld des fliegenden Teilchens in Flugrichtung abgeplattet und an den Seiten auseinandergezogen ist wie bei unserem erhitzten Stahlblock. Ist die Geschwindigkeit sehr viel kleiner als die des Lichtes, dann fällt diese Abplattung kaum auf, wie auch eine Zunahme der Körpermasse bei geringen Geschwindigkeiten kaum zu bemerken ist. Aber bei einem relativistischen Teilchen wandelt sich das Feld der elektrischen Kräfte in

einen flachen und breiten Diskus um. Und je größer die Geschwindigkeit ist, um so flacher und breiter wirkt der Diskus.

Die Gasatome müssen sich von dem Weg des relativistischen Teilchens schon weiter entfernt halten, da sie sonst von der „Hitze“ leicht „versengt“ werden. Sie können aber nicht wissen, ob es sich um einen so gefährlichen kosmischen Gast handelt, und weichen natürlich nicht aus. Das ist auch der Grund, warum das Teilchen trotz seiner großen Geschwindigkeit genügend Ionen bilden kann, um hinter sich eine deutliche Nebelspur zu ziehen. Dieses kleine Beispiel zeigt anschaulich, von welcher großen Bedeutung die Relativitätstheorie für die Erforscher der Elementarteilchen ist.

Die Masse ist veränderlich, sie ist relativ und hängt von der Geschwindigkeit ab. Die Energie verfügt über Masse. Die Masse wiederum enthält eine gewaltige Energie. An diese, nun schon seit einem halben Jahrhundert bekannten Wahrheiten haben sich die Menschen längst gewöhnt. Die Beweise dieser Wahrheiten sind auch nicht zu übersehen: Wasserstoffbombe, gewaltige Beschleuniger, Atomeisbrecher . . .

Wissenschaftler erweitern das Wissen

Warum habe ich so viel über die Wilson-Kammer und gar nicht über die Diffusions-, Lumineszenz- und Blaskammer gesprochen? Auch in diesen Geräten hinterlassen die Teilchen sichtbare Spuren, und man kann nicht sagen, daß sie unwichtiger als die Wilson-Kammer wären.

Die sichtbaren Spuren werden von den Teilchen auf mehrschichtigen Filmstreifen hinterlassen. Wie konnte ich sie also in meiner Erzählung übergehen? Die Wilson-Kammer ist bereits viel älter und gehört eigentlich schon zur Geschichte. Da sind ja auch noch die Instrumente, mit denen man geladene Teilchen nachweisen kann. Sie befinden sich zu Dutzenden und Hunderten in den kernphysikalischen Labors. Ohne sie ist ein Arbeiten mit den „Grundbausteinen“ der

Materie undenkbar. Wie konnte ich mich mit nur einigen Zeilen über den „Geigerzähler“ begnügen?

Ja, warum habe ich denn über *Hans Geiger* selbst noch nichts gesagt? Er war doch ein enger Mitarbeiter von Rutherford, dessen Schüler und Assistent, und anwesend, als der große Engländer im Jahr 1911 die Existenz des Atomkerns bewies. Geiger selbst führte wichtige, von seinem Lehrer angeordnete Versuche durch; Rutherford nannte ihn den „Dämon der Alpha-Teilchen“ und war vom überdurchschnittlichen Talent seines Schülers überzeugt. Geiger war in seiner Arbeit unermüdlich, er „schuftete wie ein Sklave“. Erwähnt muß auch noch werden, daß während des ersten Weltkrieges der Schüler mit dem Lehrer, der Deutsche und der Engländer, „blutige Feinde“, im engen Briefverkehr standen und sich über Freunde aus dem Ausland Nachrichten zusandten. Es gelang Geiger auch, die in Kriegsgefangenschaft geratenen englischen Physiker, ebenfalls Schüler seines Lehrers, darunter den bekannten Physiker *James Chadwick*, den Entdecker des Neutrons, zu unterstützen. Den großen Geistern der Wissenschaft war der engstirnige Nationalismus unbekannt. Wie hatte ich das nur vergessen können, als wir über den Geigerzähler sprachen?

Es fällt immer schwer, auf Einzelheiten zu verzichten, sei es auf dem Gebiet der Wissenschaft, der Geschichte oder des menschlichen Denkens und Empfindens!

Eigentlich könnte uns der Geigerzähler genügen, obwohl den Physikern noch viele andere, ebenso wichtige Meßinstrumente zur Verfügung stehen. Da ist zum Beispiel der Tscherenkowzähler, und es wäre vermessen, ihn zu übergehen, ohne zu erzählen, wie vor 25 Jahren der Aspirant von Professor Wawilow unerwartet auf eine Erscheinung stieß, die vor ihm noch niemand beobachtet hatte.

Pawel Tscherenkow – er war damals noch ein junger Wissenschaftler – untersuchte Leuchterscheinungen in Lösungen von Uranverbindungen, auf die er Gammastrahlen einwirken ließ. Dabei entdeckte er, daß von klaren Flüssigkeiten, in denen sich auch nicht eine Spur von Uran befand, bei Gammabestrahlung ebenfalls ein schwaches Leuchten ausgeht.

Etwas Neues zu beobachten ist ein großes Verdienst. Noch größer ist es, wenn man daran nicht vorbeigeht, sondern dieses Neue gründlich untersucht. Es kam schon öfter vor, daß Wissenschaftler neue Erscheinungen für unwichtig hielten und sie unbekannten Umständen und Fehlerquellen beim Versuch zuschrieben. Später faßten sie sich dann an den Kopf: „Das haben wir ja schon vorher beobachtet!“ Ich muß an einen Laboranten aus meiner Studienzeit denken, der eine Rüge für seine angeblich sorglose Arbeit erhielt, obwohl gar nicht er an den unerklärlichen Erscheinungen einer optischen Versuchsserie schuld war, sondern eine bisher unbekannte Mikroerscheinung. Man hatte sie bisher einfach übersehen... Ähnliche Fälle kommen auch heute noch vor.

Ist es vielleicht eine unwichtige „Einzelheit“, daß *Sergej Wawilow* 1934 die Entdeckung seines Schülers sofort in ihrer gesamten Reichweite erkannte und gleich behauptete, nicht die Gamma-Quanten, sondern die Elektronen wären Urheber der neuen Leuchterscheinung; daß zwei bekannte sowjetische theoretische Physiker, *Wawilow* und *Mandelstam*, sich zusammensetzten, um den Tscherenkow-Effekt gründlich zu untersuchen; daß drei Jahre später *Frank* und *Tamm* die endgültige Theorie der Elektronenstrahlung aufstellten (Elektronen, die sich mit Überlichtgeschwindigkeit durch einen Stoff bewegen); daß Tscherenkow später weitere Versuche durchführte und seine Theorie untermauerte; daß die kollektive Arbeit der sowjetischen Wissenschaftler die Weltphysik mit neuen Kenntnissen und neuen Methoden zur Bestimmung von Geschwindigkeit und Masse der geladenen Teilchen hoher Energie bereicherte; daß schließlich die 25jährige Entdeckungsgeschichte im Jahre 1958 mit der Verleihung des Nobelpreises an die sowjetischen Wissenschaftler gekrönt wurde, unter denen sich *Wawilow* leider nicht mehr befand.

Doch die „Einzelheiten“ rächen sich; sobald man eine behandelt, folgen die anderen wie eine Lawine.

Eben wurde die Überlichtgeschwindigkeit der Elektronen erwähnt, wobei wir doch vorher erklärt hatten, daß die Lichtgeschwindigkeit für jeden beliebigen Körper mit einer

Ruhmasse eine unerreichbare Grenze darstellt. Da man diesen offensichtlichen Widerspruch nicht ungeklärt lassen darf, soll noch etwas über den Tscherenkow-Effekt angeführt werden.

Wir stellen also nochmals fest: Die wirkliche Geschwindigkeitsgrenze ist die der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum: 300 000 Kilometer in der Sekunde. *Durch den Stoff bewegt sich* das Licht nicht so schnell – irgend etwas scheint es hier zu hemmen. Was kann das sein? Sicherlich die elektrischen magnetischen Felder der Stoffteilchen. Die Geschwindigkeit des Lichtes beträgt im Wasser nur 225 000 und im Diamant 120 000 Kilometer in der Sekunde. Solche Geschwindigkeiten sind für das Elektron durchaus erreichbar. Und nicht nur für Elektronen. Das Dubnaer Milliardär-Proton bewegt sich viel schneller als eine Lichtwelle in Wasser oder in Glas. Und eben diese geladenen „Ultralicht“-Teilchen rufen das von Tscherenkow und Wawilow entdeckte Leuchten hervor. Zu dieser Erscheinung kommt es, da bei der Gammabestrahlung ein Hagel sehr energiereicher Photonen auf die Flüssigkeit fällt. Die Photonen rütteln an den Atomhalmen und statten die herausgefallenen Elektronen-Körner mit einer riesigen Geschwindigkeit aus. Diese Elektronen bewegen sich durch die Flüssigkeit wie geladene relativistische Teilchen durch die Wilson-Kammer. Eigentlich ist ganz gleich, wie die Elektronen entstehen. Es ist wie in der Nebelkammer; auch in die Flüssigkeit oder in ein anderes Milieu können die geladenen Teilchen hoher Energie nur von außen eindringen und nicht in diesen selbst entstehen. Übrigens müssen es gar keine Elektronen sein. Die Hauptsache ist, daß die Teilchen geladen sind und über eine im entsprechenden Milieu vorhandene Überlichtgeschwindigkeit verfügen. Es können also ebensogut Dubnaer Protonen, kosmische Teilchen, Splitter von Atomkernen sein.

Das elektrische Feld der geladenen Teilchen wirkt während des Fluges in der uns schon bekannten Weise: Es erfaßt mit seiner „Hitze“ die unterwegs angetroffenen Atome und Moleküle eines Stoffes und bildet Ionen. Doch nicht immer hat das Feld genügend Kraft dafür. Oft reicht es nur dazu, bei den angetroffenen Atomen die Elektronen in den Kern-

hüllen zu verschieben, ohne sie loszureißen, sie aus der beständigen in eine unbeständige Lage zu versetzen. Mit anderen Worten: Während das elektrische Feld des fliegenden Teilchens einige Atome ionisiert, regt es andere nur an, indem es sie aus dem Zustand des Gleichgewichtes in den der Labilität bringt.

Da ist also ein solches Teilchen an einem Atom vorbeigeflogen und hat für die Anregung der Elektronen einen Teil seiner Energie eingebüßt; es hält sich aber nicht auf, sondern fliegt weiter. Und was geschieht mit den berührten Atomen? Kaum hat das Teilchen ihnen seinen Rücken zugewandt, als die angeregten Elektronen sich auch schon wieder bemühen, ihre vorige Lage – die beständige – einzunehmen. Dabei geben sie die zufällig empfangene Energie wieder ab, und diese strahlt in Form elektromagnetischer Wellenportionen aus. Da die übernommene Energie verhältnismäßig gering war – das Feld hatte die Atome nur anregen können –, sind auch die Portionen relativ klein, gerade so groß wie die Photonen des sichtbaren Lichtes.

Der Urheber dieses Vorganges, das superschnelle Teilchen, ist unterdessen schon weit weg von der Geburtsstelle der Lichtwellen, denn es bewegt sich ja viel schneller durch den Stoff als das Licht. Die elektromagnetischen Wellen bleiben hinter ihm *zurück* und bilden einen Lichtkegel. So zieht auf dem Meer hinter einem Schiffstorpedo eine Konusspur aufgewirbelter Wellen hinterher. Doch während sich die Torpedospur auf dem Meer nur langsam auflöst, verschwindet die Tscherenkowsche Lichtschleife sofort nach dem Vorbeiflug des Teilchens. Sie ist als eine kurze Explosion zu beobachten, etwa wie ein Signal: „Achtung, das Teilchen ist soeben vorbeigeflogen!“

In dieser Schleife wenden uns die zweigesichtigen Photonen – die Wellen-Teilchen – ihr wellenartiges Antlitz zu, weil . . . doch halt, wir wollen es hierbei bewenden lassen. Wie ihr seht, zieht eine Einzelheit immer wieder neue Einzelheiten nach sich. Wollen wir uns treiben lassen, um im Meer der Einzelheiten zu versinken? Nein, unsere Abmachung, uns an das Wesentliche zu halten, war richtig. Wenn wir sie jetzt noch einmal durchbrechen, dann nur deshalb, um endlich zu

sagen, wie man auf dem Aragaz Energie, Geschwindigkeit und Masse der kosmischen Teilchen bestimmt.

Bei den Physiker-Regisseuren

Die Nebelspur in der Wilson-Kammer spiegelt den Energieverlust des Teilchens wider. Reißt die Spur ab, hat unser Teilchen seine gesamte Energie verbraucht. So kann man nach Länge und Stärke des Nebeltunnels darauf schließen, um welchen Preis das Teilchen den Tunnel errichtete, wie groß seine Bewegungsenergie im Augenblick seines Erscheinens auf der Bühne war.

Doch wenn das Teilchen nicht stehenbleibt, wenn es mit seiner Nebelspur den ganzen Raum der Kammer durchquert und aus dem Blickfeld entschwindet, was ist dann? Es trägt dann doch einen Teil seiner Energie mit fort, ohne uns mitzuteilen, wie groß diese ist. In diesem Fall kann die Nebelspur den Physikern nichts mehr über den ursprünglichen Reichtum des Teilchens sagen, außer, daß dieser recht ansehnlich war.

Jetzt können wir uns auch gut vorstellen, welche Rolle die Teilchen auf der Nebelbühne spielen müssen, um von den Physikern ernst genommen zu werden. Man verlangt von ihnen, daß sie nach dem Besuch der Zähler-Barriere in der Wilson-Kammer ihre gesamte Energie für die Ionisation ausgeben und dann *stehenbleiben*. Wenn sie das nicht machen und einen Teil ihrer Energie verbergen, gelingt es ihnen auch nicht, sich selbst aufzunehmen, die Physiker haben dafür gesorgt, daß sie nicht betrogen werden.

Unter der Kammer befindet sich eine gleich dichte Barriere aus Geigerzählern wie über ihr. Verbraucht das Teilchen seine Energie in der Nebelkammer nicht restlos, dann gelangt es in die untere Barriere. Dort führt es zu einem gleichen kurzen elektrischen Stromstoß wie in der oberen. Und die mit dem Aufnahmekommando gekoppelte Einrichtung ist so konstruiert, daß durch den zweiten Stromstoß die Wirkung des ersten annulliert wird. Dann flammen auch keine

Lampen auf, dehnt sich die Kammer nicht aus und klicken auch nicht die Auslöser der Fotoapparate. Das hinterlistige Teilchen bleibt unerkannt, es fliegt vorbei, ohne eine Spur zu hinterlassen. Die Physiker können mit ihm nichts anfangen... Die Wissenschaftler versuchen immer, aus jeder glücklichen Idee das Beste herauszuholen. Die Wilson-Kammer im Magnetfeld war eine solche glückliche Idee. Doch auf dem Aragaz sind Kammer und Feld getrennt. Im Prinzip geht hier zwar alles wie beschrieben vor sich, trotzdem gibt es einige Unterschiede.

Es geht darum, daß die wählerischen Physiker-Regisseure das sich zur Aufnahme meldende Teilchen *erst* dazu zwingen, seinen Impuls nachzuweisen, und *dann* nach seiner Energie fragen. Sie fotografieren den Gast zweimal: Das erste Mal während des Fluges durch das starke Magnetfeld, wo dieser zeigt, wie sich sein Weg krümmt, und dann in der Nebelkammer, wo er seinen Energieverlust angibt.

Das ist ganz schön und gut, doch wie gelingt es den Physikern, den Flug des Teilchens außerhalb der Wilson-Kammer aufzunehmen? Wie kennzeichnet das Teilchen seinen Weg, *bevor* es die Nebelspur zu hinterlassen beginnt? Man kann es sich leicht denken: Das Teilchen meldet doch seine Ankunft auf dem Aragaz bereits in den der Kammer vorgebauten Geigerzählern durch einen kurzen elektrischen Stromstoß an. Dieser Stromstoß kommandiert später die Aufnahme, er kann aber auch noch eine andere, leichtere Arbeit übernehmen, zum Beispiel eine kleine Lampe auf dem Schaltpult aufflammen lassen.

Das Weitere ist einfache Geometrie. Das von oben nach unten fallende Teilchen trifft auf seinem Weg zur Nebelkammer nicht nur eine, sondern mehrere dichte Barrieren aus Geigerzählern an. Man wird an ein Bücherregal erinnert, wo sich ein Brett über dem anderen befindet. Und abseits auf dem Schaltpult sind ebenso viele Reihen von winzigen Neonlämpchen. Die Zahl der Barrieren entspricht der Zahl dieser Reihen, und die der Zähler gleicht der Zahl der Lämpchen. In jeder einzelnen Reihe flammt dann das Lämpchen auf, das das Signal: „Eben ein Teilchen eingetroffen!“ von seinem Zähler empfängt.

Auf diese Weise entsteht auf dem Pult ein Netz von Neonpunkten wie etwa auf einer Lichtreklame. In diesen Punkten spiegelt sich der Weg des Teilchens wider. Nun muß hinzugefügt werden, daß sich dieses Zählerregal zwischen den Polen eines starken Magneten befindet. (Diesen Magneten auf den Arago zu befördern, als die Straße noch im Tal endete und man Lasten nur auf dem Rücken kleiner Esel befördern konnte, war eine wirkliche Heldentat!) Das Magnetfeld wandelt den Weg des kosmischen Teilchens in einen Bogen um, der von den Neonpunkten markiert wird. Auf diese Weise melden die bogenförmig aufleuchtenden Neonpunkte den Physikern den Impuls des Teilchens: seine Bewegungsgröße, das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit. Nachdem das Teilchen das Magnetfeld durchteilt und seinen Weg über die aufleuchtenden Neonröhrchen gemeldet hat, dringt es in die Nebelkammer ein, wo es in ein „Regal“ gelangt. Es ist die Bühne, die durch horizontale Kupfer- oder Bleiplatten in einzelne Etagen aufgeteilt ist. Was sollen hier die vielen Etagen, warum müssen die Teilchen durch diese hindurch?

Das Teilchen muß in der Wilson-Kammer stehenbleiben, um seine Energie *restlos* zu verausgaben. Dabei helfen ihm die Platten. Durch eine millimeterstarke Bleiplatte zu schlüpfen kostet das Teilchen genausoviel Anstrengung, wie eine Luftschicht von hundert Metern Stärke zu durchstoßen. Fehlten die Platten, würden nur die allerschwächsten Teilchen in der Kammer steckenbleiben, die andern dagegen hindurchsauen, ohne den Physikern etwas über ihre Energievorräte erzählt zu haben.

Da wären wir am Ende der experimentellen Einzelheiten, obwohl ein Physiker bestimmt behaupten wird, daß diese erst hier beginnen!

Hat nun das Teilchen alles, was die Physiker-Regisseure von ihm verlangten, zur Zufriedenheit durchgeführt, das Magnetfeld mit den Zählerbarrieren durchquert und an einer Platte der Nebelkammer angehalten, dann meldet es abgespannt: „Ich habe die von mir verlangte Rolle bis zu Ende gespielt, ich habe zwischen den magnetischen Polen einen Bogen beschrieben, meine gesamte Energie für die Nebelspur veraus-

gabt; die Neonlämpchen leuchten noch, und die Spur ist noch nicht verwischt – also bitte, Aufnahme!“ Daraufhin treten die Auslöser der Fotoapparate in Aktion: Einige halten den Punktweg auf dem Pult fest, die anderen die Nebelspur in der Wilson-Kammer.

Man beschäftigt sich auf dem Aragoz nicht aus Neugierde mit dem Impuls und der Energie der kosmischen Teilchen, sondern einzig und allein mit dem Ziel, möglichst genau ihre *Masse* zu bestimmen. So nebenbei ermittelt man auch ihre Geschwindigkeit als die zweite Unbekannte in dem Zwei-Gleichungen-System: Impuls-Energie. Auch für die Geschwindigkeit der Teilchen interessieren sie sich in einem gewissen Maße, aber das alles ist für sie eine zweitrangige Angelegenheit. Die Geschwindigkeit ist nämlich keine beständige Eigenschaft des Teilchens, sondern nur eine zeitweilig auftretende Größe, die es sowohl erweitern als auch ganz verlieren kann. Die Natur der Teilchen hängt nicht von ihrer Geschwindigkeit ab: Das Elektron bleibt ein Elektron, ob es sich nun im Ruhezustand befindet oder sich bewegt, so wie sich auch der Mensch nicht in ein anderes Wesen verwandelt, wenn er sich nicht mehr auf der Erde bewegt, sondern mit dem Flugzeug fliegt.

Die *Ruhmasse* ist aber eine wesentliche, beständige und unabänderliche Eigenschaft des Teilchens. Genau wie die elektrische Ladung, so bestimmt auch die Ruhmasse die Natur des Teilchens bzw. wird durch seine Natur bestimmt. Deshalb das so ist, kann die Wissenschaft heute noch nicht erklären. Daß es aber so ist, sagen den Wissenschaftlern ihre gesamten Erfahrungen bei der Erforschung der Mikrowelt, alle Fakten der Wissenschaft.

Diese Ruhmasse ist natürlich relativ, wie auch die Ruhe selbst relativ ist. Wenn das Teilchen auch in der Wilson-Kammer stehenbleibt, so fliegt es trotzdem mit einer Geschwindigkeit von 30 Kilometern in der Sekunde mit der Erde um die Sonne. Im Verhältnis zur Sonne ist seine Ruhmasse auch eine andere als im Verhältnis zur Erde. Doch durch die experimentellen Bestimmungen von Energie und Bewegungsgröße der Teilchen können die Physiker auch die irdische Ruhmasse der Gäste aus dem Kosmos ermitteln.

Die Elementarteilchen werden nach ihrer Masse unterschieden, genauso wie man zu Mendelejews Zeiten die Elemente nach ihren Atomgewichten unterschied. Die Chemiker untersuchten natürlich noch viele andere Eigenschaften der chemischen Elemente und vergaßen manchmal sogar das Atomgewicht, wenn sie von den einen Stoffen als Metallen und den anderen als Metalloiden sprachen. Auch die Physiker wissen heute schon viel mehr über die Elementarteilchen als über ihre Größe und Masse. Als im 19. Jahrhundert neue Elemente entdeckt wurden, lautete die erste Frage der Chemiker: „Und wie groß ist ihr Atomgewicht?“ In den heutigen Tagen beginnt die Physiker eine ähnliche Frage zu bewegen; denn sie haben kaum noch Hoffnungen, neue Teilchen zu entdecken: „Wie groß ist ihre Ruhmasse?“

Sogar die Frage nach der Ladung des Teilchens ist in den Hintergrund gerückt; sie ist verhältnismäßig leicht zu lösen. Die Kardinalfrage bleibt: „Wie groß ist ihre Ruhmasse?“

Aus dem Lateinischen übersetzt, bedeutet Spektrum das „Sichtbare“. Die Grundlage des Sonnenspektrums ist der Frequenzunterschied bei elektromagnetischen Schwankungen verschiedenfarbiger Lichtstrahlen. Übrigens wendet man den Begriff Spektrum für alles mögliche an, wenn nur eine klar unterscheidbare Reihenfolge von ein und denselben Größen vorhanden ist: Geschwindigkeitsspektrum, Energiespektrum, Massenspektrum.

Als die Brüder *Alichanow* und *Alichanyan* zu Beginn der 40er Jahre mit der Untersuchung der kosmischen Strahlen begannen, waren sie vor allem darum bemüht, ein Labor in großen Höhen einzurichten, dort, wo die Atmosphäre noch ein Atmen und Arbeiten erlaubt, wo aber die Luftdichte und das Absorptionsvermögen der Luft klein genug sind, um auf die Geräte mehr kosmische Teilchen auftreffen zu lassen als in den Tälern. Wir verstehen auch, warum sie ihr Gerät *Massenspektroskop* nannten: Sie interessierten sich für das Spektrum der Massen in dem Strom kleinster Stoffteilchen, die aus den Weiten des Weltraums auf die Erde gelangen oder in der Erdatmosphäre selbst gebildet werden.

Als wir die Teilchen „kosmische Gäste“ und „Wanderer aus

dem Kosmos“ nannten, war es weniger exakt als schön formuliert. In dem Fotolabor auf dem Aragaz kann sich nämlich sowohl das Teilchen aus dem Kosmos als auch das in der Erdatmosphäre oder gar in den Laborwänden geborene Teilchen aufnehmen lassen. Für die Forscher sind diese sekundären Teilchen nicht weniger interessant als die Gäste aus dem Kosmos.

Nach und nach wird auf dem Aragaz eine ganze Stadt der Wissenschaft entstehen. In Gedanken sehe ich schon heute Leben und bewegtes Treiben um den Bergsee: neben den alten Laboratorien große, moderne Institute, Wohngebäude und Asphaltstraßen. Da ist auch eine biologische Station und ein Institut für Erdbebenforschung, aber auch Physiologen, Chemiker und Geophysiker werden in dieser Stadt wohnen. Etwas abseits vom wissenschaftlichen Zentrum befinden sich die Touristenheime und ein großes Berghotel. Im Herbst 1960 berichtete die Presse, daß Hochspannungsleitungen bereits bis zum Bergsee verlegt sind. Vielleicht wird über dem Aragaz bald in großen Neonbuchstaben das Wort „Meson“ leuchten und an die Bemühungen der Wissenschaftler erinnern, die sich aufmachten, um hier das Unhörbare und Unsichtbare zu erforschen.

INHALT

Vorwort des Verlages	5
K. Andrejew · Vorstoß ins Unbekannte	
Das Reich der Leere	8
Ein uralter Traum der Menschen	11
Der Schlüssel zum Reich der „Leere“	19
Die „Mondsüchtigen“	23
Erfinderschicksal	28
An der Schwelle des dritten Jahrtausends	35
D. Danin · Forschungsreise ins Atom	
Kosmische Signale	48
<i>Observatorium auf dem Aragaz</i>	48
<i>Welt der Elementarteilchen</i>	50
<i>Am Anfang waren es drei</i>	51
<i>Seltsame Wanderer</i>	53
<i>Elektronenwolken</i>	56
<i>Boten aus dem Weltraum</i>	60
Das Atom auf der Rennbahn	65
<i>Wunderwerk der Technik</i>	65
<i>Das gigantische Karussell</i>	66
<i>Milliardäre</i>	72
„Alchimie der Gegenwart“	78
<i>Der Stein der Weisen</i>	78
<i>Bevor man die Pole erobert</i>	84
<i>Biographie des Photons</i>	86
<i>Planck und Einstein</i>	94
<i>Geheimnisse des Lichts</i>	97
Einstein und das Photon	104
<i>Ruhmasse ist gleich Null</i>	104
<i>Masse und Geschwindigkeit</i>	108
<i>Masse und Energie</i>	112
<i>$E = m \cdot c^2$</i>	119

Die verschwundene Zeit und das verlorene Maß	127
<i>Geschwindigkeit ist relativ</i>	127
<i>Raum, Zeit und Geschwindigkeit</i>	129
<i>Zwei Jahre gegen zwanzig</i>	140
<i>Die Phantasie nahm es vorweg</i>	144
<i>Die Eigenschaften des Photons</i>	149
<i>Die Plancksche Formel $\epsilon = h \cdot \nu$</i>	152
Die Welt der Elementarteilchen	157
<i>Auf dem Berg der Hoffnungen</i>	157
<i>Das Geheimnis der Nebelkammer</i>	160
<i>Die Teilchen und ihre Spuren</i>	167
<i>Wissenschaftler erweitern das Wissen</i>	177
<i>Bei den Physiker-Regisseuren</i>	182

Bisher erschienen in der Passat-Reihe:

- Band 1 Rüßmann/Habermann, Vom Mädchen zur Mutter
- Band 2 Hanser, Wie kleidet sich Annett?
- Band 3 Dierl, Liebe, Ehe – Scheidung?
- Band 4 Felke, Start ins Atomzeitalter
- Band 6 Smolka, Benahmen ist nicht nur Glückssache
- Band 7 Rothmayer, Raketen, Sputnik, Weltraumschiff
- Band 8 Mesenzew/Drujanow, Kann man die Zukunft voraussagen?
- Band 9 Wichne, Kleine Kosmetik
- Band 10 Krause, Radioaktiv!
- Band 11 Hoffmann/Klemm, Ein offenes Wort
- Band 12 Kollektiv, Mensch – woher, wohin?
- Band 13 Conrad, Auf unsichtbaren Straßen
- Band 14 Hoffmann, Ehe der Arzt kommt
- Band 15 Krause, Dem Atom auf der Spur
- Band 16 Meischke, Wie behandle ich meinen Arzt?
- Band 17 Richter, Film zwischen Idee und Premiere
- Band 18 Fischer/Behlau, Chemie ist Trumpf
- Band 19/20 Walter, Dein Beruf
- Band 21 Kollektiv, Was die Welt zusammenhält
- Band 22 Krause, Signale aus dem Dunkel
- Band 23 Roediger/Edler, Kraftfahrzeuge von A bis Z
- Band 24 Conrad, Fernsehen
- Band 25 Raubach, Farbenfrohe Leichtgewichte
- Band 26 Kähler, Begegnung mit der Kunst
- Band 27 Richter, „Der Polizeibericht meldet . . .“
- Band 28 Glaser, Elektronen am Werk
- Band 29 Lehmann, Frei sein – aber wie?
- Band 30 Mildner, Der Stein der Weisen
- Band 31 Baumgärtel, Schatzkammer Erde

- Band 32 Polte/Oetzel, Wir verreisen
- Band 33 Jäckel, . . . bitte schneiden!
- Band 34 Posler, Station: Landwirtschaft
- Band 35 Müller-Dathe, Gymnastik hat Vorfahrt
- Band 36 Neubert, Das Geheimnis froher Menschen
- Band 37 Scheel/Hellmuth, Das liebe Geld
- Band 38 Ponesky, Sterne . . . oder Kreuze?
- Band 39 Conrad, Der rote Blitz
- Band 40 Neubert, Du könntest länger leben . . .
- Band 41 Hoyme, Mußt du wirklich mit Schmerzen gebären?
- Band 42 Edler/Roediger, Motorsport – ABC
- Band 43 Hanke, Die große Ernte
- Band 44 Rowenski, Maschine und Gedanke
- Band 45 Augusta, Unter Urjägern
- Band 46 Schröter, Vorhang auf!
- Band 47 Rapoport, Blut
- Band 48 Conrad, Rundfunk
- Band 49 Gilsenbach, Herren über die Wüste
- Band 50 Pohl, Grundzüge der Vererbung
- Band 51 Ullerich, Nachts am Fernrohr
- Band 52 Finke, Das goldene Netz
- Band 53 Edler/Roediger, Camping
- Band 54 Sothmann, Umgang mit Kindern
- Band 55 Seydewitz, Wenn die Madonna reden könnte . . .
- Band 56 Scheel/Hellmuth, Der junge Ehemann
- Band 57 Backe, Der ruhelose Strom
- Band 58 N. N.
- Band 59 Böttger, Die junge Generation
- Band 60 Andrejew/Danin, Grenzen unserer Welt
- Band 61 Krenz, Triumph der Fotografie
- Band 62 Schreiter/Uslar, Von der Windel bis zum 1 · 1
- Band 63 Szendei, Hauptsache gesund

Im 20. Jahrhundert hat die Geschichte eine beschleunigte Gangart eingeschlagen! Die Ereignisse überstürzen sich, kühnste Träume werden Wirklichkeit. Der Mensch dringt in das Reich des Mikro- und Makrokosmos vor. Raketen steigen in den Himmel. Neugewonnene Erkenntnisse auf einem Gebiet fördern die Entwicklung auf anderen. Der Mensch bewältigt die Natur und erweitert damit die Grenzen unserer Welt!

Unsere Schrift berichtet von den Träumen der Menschen über die Eroberung des Kosmos, von den „Himmelsstürmern“, den Pionieren des Raketenflugs, beantwortet die Fragen nach der „Alchimie der Gegenwart“, nach den Boten aus dem Weltraum, gibt Auskunft über die „Steinschleudern“ des 20. Jahrhunderts, über die modernen Probleme von Raum und Zeit und führt uns auf einer lebendigen, unterhaltsamen Forschungsreise in die Bergwelt des Aragaz und in die Nacht des unendlichen Kosmos.

2.- DM

PASSAT
PASSAT-BÜCHEREI