

ALEXANDER F. BUJANOW



DAS GESTEUERTE ELEKTRON

ALEXANDER F. BUJANOW

Das gesteuerte Elektron

URANIA-VERLAG LEIPZIG/JENA/BERLIN

1. Auflage · 1.-10. Tausend · Alle Rechte vorbehalten

Copyright für die deutschsprachige Ausgabe 1961 by Urania-Verlag, Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig/Jena/Berlin

VLN 212 - 475/19/61 ES 18B7/20K1 · EVP 4,80 DM

Illustrationen: Gerhard Pippig, Einbandgestaltung: Kurt Müller

Klischeeherstellung: Druckerei Freiheit, Halle

Gesamtherstellung: H (1) VEB Druckerei der Werktätigen, Halle (Saale)

Printed in the German Democratic Republic

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
-------------------	---

Der Aufbau eines Atoms

Die Erforschung einer unsichtbaren Welt	8
Vorstoß in das Atominnere	11
Das Geheimnis vom inneren Aufbau der Stoffe wird gelüftet	12
„Atome“ im Atom	14
Kernkräfte	16
Isotope	16
Das chemische Alphabet	18
Die „Karte der Atomwelt“	20

Das kreisende Elektron

Chemische Umwandlungen	26
Das Geheimnis einer chemischen Bindung	27
Magnetismus als Eigenschaft der Materie	30
Die Energiestufen des Atoms	33
Die Entstehung des Lichtes	34
Die Arbeit der Photonen	36
Was ist Farbe ?	38
„Operationen“ an Molekülen	39
Farbstoffmoleküle	41
Leuchtende Moleküle	43
Lumineszenz in Technik und Alltag	45
Chemische Beleuchtung	48

Das gesteuerte Elektron

„Wandernde“ Elektronen	50
Die Elektronen und die Eigenschaften der Metalle	52
Kraftfelder	54
Schneller als das Licht	56
Das elektrische Auge	60
Unermüdliche Elektronen	62
Die Elektronenwaage	65

Millionenfach verstärkter Strom	66
Fernsehen	67
Industrielles Fernsehen	70
Das Elektronenmikroskop	75
Die Radiowellen	77
Die „Reise“ der Musik	79

Das Jahrhundert der Elektronik

Elektronen als wichtigste „Bestandteile“ in Geräten und Maschinen .	81
Funkmessung und Funknavigation	82
Radiometeorologie	85
Das „Radiofenster“ ins Weltall	87
Radioteleskope	88
Funkmeßastronomie	89
Atome als Erzeuger für Radiowellen	90

Das Monopol der Elektronenröhre wird gebrochen

Kristalle ersetzen Radioröhren	92
Klein, billig und stabil	93
Empfänger- und Sendermoleküle für Radiowellen	94
Halbleitergrundstoffe	97
Halbleiter im Dienste der Technik	98
Gelbe Kohle	103
Die Sonnenbatterie	104

Das Elektronen-„Hirn“

Blitzschnelles Rechnen	108
Elektronen-„Mathematiker“	109
Maschinen mit „Gedächtnis“	110
BESM	113
Mechanisierung der geistigen Arbeit	115
Übersetzungs- und Bibliographiemaschinen	116
Mechanische Reflexe	119
Das elektromagnetische Notizbuch	122

Der Weg zu den Sternen

Der Sputnik – ein Kind der Wissenschaft und Technik	123
Das Laboratorium im Kosmos	125
Der erste künstliche Planet	128
Raumschiffe	129

Vorwort

Das Atom ist ein Weltall im Kleinen. Sein Zentrum besteht aus dem Atomkern, seine Hülle aus den Elektronen, die sich in ständiger Bewegung und Wechselwirkung mit anderen Teilchen, den Protonen und Neutronen, befinden.

Das Vordringen zum Wesen des Atoms und das Erforschen seines Aufbaues verhalfen den Menschen zum Begreifen vieler Naturerscheinungen und zur Ausnutzung solcher „Maschinenelemente“, die sich nahezu mit Lichtgeschwindigkeit zu bewegen vermögen. Solche „Elemente“ sind die Elektronen.

Als Bestandteile des eigenen Atomsystems bringen sie Magnetismus und Licht hervor und bilden weiterhin die Voraussetzung für die chemischen Verbindungen der Atome zu Molekülen sowie der Moleküle zu Körpern.

Von den Atomen getrennte und durch Kraftfelder gesteuerte Elektronen „arbeiten“ heute in den verschiedensten Geräten und Apparaturen. Von solchen dem Menschen dienstbar gemachten Elektronen berichtet das vorliegende Buch.

Ingenieur V. C. Mavrodiadi, Wissenschaftlicher Redakteur

Der Aufbau eines Atoms

Die Erforschung einer unsichtbaren Welt

Neue wissenschaftliche Erkenntnisse sind unsterblich. Sie werden gemeinsam mit den Namen ihrer Schöpfer von Generation zu Generation überliefert.

Nikolaus Kopernikus, der die Hypothese des Ptolemäus von der Bewegung der Planeten durch eine neue, bessere ersetzte, weilt längst nicht mehr unter den Lebenden; doch seine neue Lehre vom Aufbau des Weltalls war für die Wissenschaft von gewaltiger vorwärtsweisender Bedeutung und machte den Namen des großen polnischen Gelehrten für alle Zeiten berühmt.

Vom Standpunkt der heutigen Wissenschaft ist die Lehre des Ptolemäus absurd, denn da der Durchmesser der Sonne fast 109mal größer ist als der der Erde, fällt es schwer, sich vorzustellen, daß sich dieser gewaltige Himmelskörper um unseren kleinen Planeten bewegen soll.

Etwas Ähnliches können wir auch bei der Lehre von der Mikrowelt der Atome feststellen. Die Hypothese Demokrits von der Unteilbarkeit des Atoms, die zu seiner Zeit von positiver Bedeutung war, wurde als falsch verworfen. Dafür trat eine neue Theorie in den Vordergrund; sie besagt, daß sich das Atom aus Elementarteilchen zusammensetzt.

Man stelle sich einmal vor, welche Folgerungen sich aus der Unteilbarkeit der Atome ergeben würden. Da dann auf der Erdoberfläche keine einzige chemische Verbindung von Atomen zu Molekülen zustande käme, wäre sowohl die organische als auch die anorganische Welt nicht vorhanden; Blumen und Farben würden verschwinden und das Licht für immer verlöschen. Die Erde würde in ihrer jetzigen Form nicht bestehen; denn alles, was wir kennen, ist mit Energie verbunden, die mit der Elektronenhülle der Atome zusammenhängt.

Bei der Annahme eines unteilbaren Atoms gäbe es keine Energie, durch die die Sterne ihre Leuchtkraft erhalten; denn bei deren Erzeugung ist ein anderer Teil des Atoms, der Kern, wesentlich beteiligt. Die Sterne

selbst könnten wir gar nicht wahrnehmen, da sie im wesentlichen aus Elementarteilchen, den Elektronen, Protonen und Neutronen bestehen.

Solange die Menschen das Atom für unteilbar hielten, konnten sie sich nur wenige Naturvorgänge erklären und lediglich die von der Sonne abgegebene Energie ausnutzen. Sobald die Wissenschaftler aber in das Innere des Atoms vordrangen, wurden die Vorgänge im Inneren der Sterne verständlich, und die Menschen lernten, die Atomenergie für sich nutzbar zu machen.

Wer war es aber, der den Weg zur Erkenntnis des komplizierten Aufbaues der Mikrowelt freilegte?

Eine Vielzahl von wissenschaftlichen Fakten brachte die Wissenschaftler immer mehr zu der Überzeugung, daß das Atom nicht unteilbar sein kann; doch blieb es vorerst unmöglich, dies durch das Experiment nachzuweisen. So kam es zuerst zu wissenschaftlichen Vermutungen in Form von Hypothesen.

Als einer der ersten stellte im Jahre 1819 der Professor der Moskauer Universität M. G. Pawlow eine solche Hypothese auf. Er behauptete in seinen Arbeiten, die Atomstruktur sei mit einer elektrischen Ladung verbunden und der Atombau ähnele dem des Planetensystems.

Wir wissen heute, daß der Bau der Atome tatsächlich auf dem Planetarprinzip beruht und geladene Teilchen in den Atomen enthalten sind; um so größer ist unser Erstaunen beim Lesen einer solchen Feststellung, die bereits vor mehr als hundert Jahren erfolgte. Leider ist diese der damaligen Wissenschaft um Jahrzehnte vauseilende glänzende Hypothese von den Naturwissenschaftlern unbeachtet geblieben.

Vermutungen über den komplizierten Bau der Atome äußerten nach Pawlow der Professor der Kasaner Universität A. M. Butlerow, der Professor der Petersburger Universität D. J. Mendelejew und andere Gelehrte. Sie waren der Meinung, daß es nicht möglich sei, das Atom auf chemischem Wege zu spalten.

All das waren Hypothesen. Wie groß ist aber der Unterschied zwischen der Vermutung und dem Beweis. Da man das Atom nicht sehen kann, ist es schwer, seinen komplizierten Bau zu erforschen. Die Astronomen können mit Hilfe des Fernrohres die Bewegung der Planeten beobachten und damit ihre Bahn und Masse berechnen. Dem Chemiker ist es aber selbst mit den besten Mikroskopen nicht möglich, die Bauweise des Atoms zu erkennen. Erst die theoretische Auswertung physikalischer und chemischer Messungen gestattete es, das Unsichtbare zu „betrachten“. Damit konnten die Wissenschaftler auch die Atomstruktur erforschen.

Der Professor der Moskauer Universität B. N. Tschitscherin bewies durch rechnerische Analyse der Mendelejewischen Aufstellung, daß das Atom ein kompliziertes System sich bewegendes und in Wechselwirkung stehender Elementarteilchen darstellt und daß von der Anzahl dieser Teilchen und von der Art ihres Zusammenwirkens die Eigenschaften der Atome verschiedener Stoffe abhängen.

„Die Zentralmasse“ (der Kern, nach der heutigen Terminologie) „ist Träger einer positiven Ladung“ – erklärte der Gelehrte in seiner theoretischen Arbeit „Das System der chemischen Elemente“ –, „während die Teilchen, die sich um diese bewegen“ (die Elektronenhülle), „negativ geladen sind“.

Tschitscherin hat also, wie wir sehen können, bereits vor langer Zeit die Bestandteile des Atoms – den Kern, die Elektronenhülle und ihre Ladungen – richtig vorausgesagt.

Der Kern selbst ist nach Tschitscherin ebenfalls ein „kompliziertes Teilchen“. So schreibt er: „Würde der Kern eine kompakte homogene Masse bilden, so wären alle möglichen Größen für die Masse möglich. Da jedoch nur bestimmte, diskrete Massenzahlen (Atomgewichte) vorkommen, muß er aus einzelnen miteinander verbundenen Elementarteilchen bestehen.“ Der Gelehrte stellte fest, daß die Anzahl Schalen, auf denen sich die äußeren Teilchen um den Kern bewegen, mit fortschreitender Lage im Periodensystem Mendelejews zunehmen.

So besteht beispielsweise Lithium „aus dem zentralen Element und drei Elementen seiner Umgebung“, können wir in seiner Arbeit lesen. Wenn man an die Stelle der Bezeichnungen „zentrales Element“ und „Elemente der Umgebung“ die heutigen Termini „Atomkern“ und „Elektronen“ setzt, so erkennt man, wie verblüffend nahe sich Tschitscherin bereits einer richtigen Vorstellung vom Bau des Atoms befand.

Fast gleichzeitig mit Tschitscherin beschäftigte sich auch der Wissenschaftler und Revolutionär M. A. Morosow in seinen theoretischen Untersuchungen mit dem inneren Bau der Atome. Eine hervorragende wissenschaftliche Leistung liegt uns in seiner Arbeit „Das periodische System vom Aufbau der Stoffe“ vor.

Auf der Grundlage seiner Theorie vom inneren Aufbau der chemischen Elemente entwickelte Morosow die Modelle sämtlicher Atome des Periodensystems von Mendelejew.

Hauptstrukturelemente des Atoms sind bei ihm Teilchen mit einer Masse von vier, zwei und eins sowie positiv und negativ geladene Teilchen, die von ihm die Bezeichnung „Anodenteilchen“ und „Katodenteilchen“ er-

hielten. Morosow sagte Teilchen voraus, die erst später tatsächlich nachgewiesen werden konnten: Alphateilchen (Atomkerne des Heliums), Deuteronen (Atomkerne des schweren Wasserstoffes), Protonen (Atomkerne des Wasserstoffes) sowie Elektronen und Positronen.

Er erkannte damals schon vorausschauend die Möglichkeit der Umwandlung der chemischen Elemente. Er deutete die Möglichkeit einer Synthese eines Schwefelatoms aus zwei Sauerstoffatomen und die wahrscheinliche Verwandlung von zwei Stickstoffatomen in ein Siliziumatom usw. an.

So drangen die ersten Wissenschaftler mit Hilfe der Mathematik kühn in das Innere des Atoms vor und gelangten dabei schon zu beachtlichen Aussagen über die Mikrowelt. In der Folgezeit wurden ihre Vermutungen durch experimentelle Forschungen bestätigt.

Vorstoß in das Atominnere

An einem Herbsttag des Jahres 1896 entdeckte der französische Gelehrte Henri Becquerel bei Versuchen in seinem Laboratorium plötzlich, daß unbelichtete photographische Platten mit einemmal belichtet waren.

„Was ist da geschehen?“ wunderte sich der Professor. „Die Platten waren doch in lichtdicht abgeschlossenen Kassetten aufbewahrt worden.“ Dieser seinem Wesen nach bedeutungslose Vorfall wäre unbemerkt geblieben, hätte sich der Gelehrte nicht für die Ursache interessiert, auf die die Belichtung seiner Platten zurückzuführen war. Wie sich dann herausstellte, sandte ein in der Nähe liegendes Stück Uranerz irgendwelche unsichtbaren Strahlen aus, die denen ähnelten, die der deutsche Physiker Röntgen im Jahre 1895 entdeckt hatte.

Nachdem sich Becquerel schließlich davon überzeugt hatte, daß die Strahlungsquelle im Uranerz zu suchen ist, beschloß er, davon das Uranmetall abzusondern. Wie groß war jedoch sein Erstaunen, als er feststellte, daß die Strahlungsintensität des Urans bis auf einen verschwindenden Teil gegenüber der des Erzes abnahm. Folglich mußte das Erz irgendeinen Stoff enthalten, der die unsichtbaren Strahlen aussendet.

Mit der Erforschung dieser Strahlen befaßten sich die polnische Emigrantin Maria Sklodowska und ihr Gatte Pierre Curie, die beide im Institut Becquerels tätig waren.

In beharrlicher und unermüdlicher Arbeit bemühten sich die beiden Wis-

senschaftler um die Absonderung des Strahlungsstoffes vom Uranerz. Nach langen Versuchen gewannen sie im Jahre 1898 ein winziges Körnchen des neuen Stoffes mit einem Gewicht von nur einigen hundertstel Gramm. Es sandte Ströme von unsichtbaren Strahlen aus. Der Stoff erhielt die Bezeichnung „Radium“, was soviel wie das „Strahlende“ bedeutet.

Später stellte man fest, daß das Radium ununterbrochen Alphateilchen und ein radioaktives Gas, das Radon, in den umliegenden Raum entsendet. Radon (Emanation) zerfällt unter Aussendung von Alphateilchen in Polonium, das außer Alphastrahlen Betateilchen (Elektronen) und Gammastrahlen aussendet. Die Strahlungsintensität des Radiums wird weder durch Erhitzung noch durch Abkühlung bis auf die Temperatur der flüssigen Luft, weder durch hohen Druck noch durch ein Vakuum beeinflußt. Die Eigenschaft eines chemischen Elementes, unsichtbare und durchdringende Strahlen auszusenden, bezeichnete man als Radioaktivität.

Die Entdeckung der Radioaktivität und des Radiums waren der Beweis für den komplizierten Aufbau des Atoms. Aufschlüsse über die Atomstruktur waren jedoch erst dann möglich, als man das Elektron als Bestandteil des Atoms erkannte.

Das Vorhandensein negativ geladener Teilchen veranlaßte zu der Überlegung, daß im Atom auch noch positiv geladene Teilchen enthalten sein müssen, da ja das Atom als Ganzes neutral ist. Von dieser Voraussetzung ausgehend, entwarf der englische Physiker Joseph John Thomson sein Atommodell. Er glaubte, die Elektronen würden sich aufgelöst in der positiv geladenen Atommasse vorfinden.

Das Geheimnis vom inneren Aufbau der Stoffe wird gelüftet

Mit Hilfe des Thomsonschen Atommodells ließ sich zwar eine ganze Reihe von Erscheinungen erklären, wie zum Beispiel die Entsendung von Elektronen bei der Erhitzung von Metallen, das Entstehen positiver und negativer Ionen und andere. Gegen dieses Modell „rebellierte“ jedoch die Radioaktivität selbst. Unverständlich blieb die Herkunft von Alphateilchen mit konzentrierten positiven elektrischen Ladungen im Atom.

Erst durch Versuche eines anderen englischen Physikers, Ernest Rutherford, begann sich die Struktur der Mikrowelt aufzuklären.

Er benutzte Alphateilchen, die aus radioaktiven Elementen heraus-

geschleudert wurden, als Geschosse und begann, mit ihnen kleine Metallblättchen zu beschießen. Der Wissenschaftler beobachtete mit einem Mikroskop auf einem fluoreszierenden Schirm die Aufschlagstellen der durch die Zielscheibe zerstreuten Alphateilchen.

Im Verlaufe der Untersuchungen stellte Rutherford fest, daß nur der äußere Bereich des Atoms für die Alphateilchen „durchlässig“ ist, während sie von dem „undurchlässigen“ Inneren in den verschiedensten Winkeln „zurückprallen“.

Wie läßt sich das nun erklären?

Das Alphateilchen erweist sich als einige tausendmal schwerer als das Elektron und verliert infolgedessen bei einem Zusammenstoß mit ihm kaum an Energie, genauso wie beispielsweise ein Kieselstein die Bewegung eines heransausenden Kraftwagens praktisch nicht abzubremesen vermag. Vermutlich besteht der „durchlässige“ Teil des Atoms aus Elektronen, schlußfolgerte Rutherford.

Sobald aber das Alphateilchen in die Nähe des Atomzentrums gelangt oder mit ihm zusammenstößt, wird es entweder abgelenkt oder wie ein Ball von der Wand zurückgeworfen. Das bedeutet also, daß der zentrale Teil des Atoms ein fester Körper ist; hier konzentriert sich seine positiv geladene Hauptmasse.

So entstand eine neue Vorstellung von der Struktur des Atoms, das Atomkernmodell. Es besteht aus dem positiv geladenen Kern, um den sich negative Ladungen in Form der Elektronen gruppieren. Rutherford bekräftigte die Richtigkeit seiner Theorie durch mathematische Berechnungen. Die Entdeckung des englischen Physikers bildete die Grundlage für das spätere von dem dänischen Physiker Niels Bohr entwickelte sogenannte Planetaratommodell, nach dem um den zentralen Kern die Elektronen kreisen wie die Planeten um die Sonne.

Die Struktur des Atomkerns blieb jedoch noch unklar. Wissenschaftler verschiedener Länder trugen zur Präzisierung auf diesem Gebiet bei. Im Jahre 1932 fand der Engländer James Chadwick bei der Beschießung von Beryllium mit Alphateilchen ein Kernteilchen ohne elektrische Ladung, das er angesichts seiner Neutralität als Neutron bezeichnete.

Die Entdeckung des Neutrons war eine wichtige Etappe in der Entwicklung der Kernphysik. Das Fehlen einer Ladung verleiht diesen Teilchen eine außerordentlich durchschlagende und zerstörende Wirkung bei der Beschießung von Atomkernen. Das Neutron weicht beim Passieren geladener Teilchen weder von seiner Bahn ab noch prallt es zurück wie das Alphateilchen.

In den Händen der Physiker erwies es sich als ein geeignetes chirurgisches Instrument zur „Operation“ von Atomkernen, das heißt zur Erzielung einer Vielzahl von Kernreaktionen.

Im selben Jahr 1932 veröffentlichten die sowjetischen Physiker I. E. Tamm und D. D. Iwanenko ihre Arbeiten, in denen sie die Hypothese vom Aufbau des Atomkerns und seinen Bestandteilen, den Protonen und Neutronen, darlegten.

In dieser Weise wird heute die Atomstruktur aufgefaßt. Das Wasserstoffatom, auch Protium genannt, enthält in seinem Kern ein Proton und in seiner Elektronenhülle ein Elektron. Das Atom des schweren Wasserstoffes, das Deuterium, weist ein Proton und ein Neutron in seinem Kern und in seiner Hülle ein Elektron auf. Im Atomkern des überschweren Wasserstoffes, auch Tritium genannt, befinden sich ein Proton und zwei Neutronen und in der Hülle ein Elektron.

Wie einfach erscheinen uns diese kleinen Atome gegenüber einem so großen und komplizierten Atom wie dem des Urans oder des Mendeleviums. Im Atomkern des Urans befinden sich 92 Protonen und 146 Neutronen, während seine Elektronenhülle 92 Elektronen enthält, und im Atomkern des Mendeleviums sind 101 Protonen und 154 Neutronen sowie 101 Elektronen in der Hülle enthalten.

Mehr als 350 Teilchen allein in einem Atom! Man kann sich vorstellen, wie kompliziert seine Struktur sein muß. Dabei befinden sich alle diese Teilchen in Bewegung und gegenseitiger Wechselwirkung. Am überraschendsten dabei ist jedoch die Tatsache, daß einige von ihnen, zum Beispiel die Protonen und Neutronen, ebenfalls wieder komplizierter Natur sind. Sie stellen „Atome“ innerhalb des Atoms dar.

„Atome“ im Atom

Eine nähere Untersuchung des Protons als Kernteilchen gelang mit Hilfe von Elektronen.

Zunächst wurde errechnet, wieviel Elektronen bei Bestrahlung eines Protons in die verschiedenen Richtungen gestreut werden. Dabei stellte man sich das Proton als homogenes Teilchen vor.

Dann wurde das entsprechende Experiment durchgeführt. Ein starkes Elektronenbündel, das man mit Hilfe eines Beschleunigers erhielt und das 60 Impulse in der Sekunde abgeben kann, wurde auf das Proton ge-

richtet. Jede Salve dauerte nur den millionsten Teil einer Sekunde und enthielt etwa 10 Millionen Elektronen.

Hierbei gelangte man zu der Feststellung, daß die Zahl der durch das Proton gestreuten Elektronen geringer war als man berechnet hatte. Nach dem von den Elektronen auf die photographische Platte gezeichneten „Muster“ wurde der Abstand zwischen den Kernteilchen bestimmt. Die Auswertung ergab, daß der Atomkern bei leichteren Elementen (Wasserstoff bis Kalzium) eine nach außen abnehmende Dichte besitzt. Vermutlich sind die Protonen besonders im Kernzentrum konzentriert, während sich an der Oberfläche mehr Neutronen (Teilchen ohne Ladung) befinden. Bei schwereren Elementen wurde eindeutig eine Verdichtung des inneren Atomkerns, jedoch eine geringere Dichte seiner Hülle festgestellt. Man kann einen solchen Kern mit einem Ei vergleichen, wobei das „Eigelb“ den dichten Teil und das „Eiweiß“ die Hülle darstellt.

Man gelangte ferner zu der Erkenntnis, daß auch das Proton eine ungleichmäßige Dichte besitzt; man kann es nicht als einfaches Teilchen ansehen. Der zentrale Teil des Protons besitzt eine ungeheuer große Dichte. Man bezeichnet ihn als den Kern oder das „Gerippe“, mit einer unwesentlichen positiven elektrischen Ladung. Dieses „Gerippe“ ist von einem Wölkchen aus Elementarteilchen umgeben, die die Bezeichnung Mesonen erhielten. Der Kern rotiert im Proton um die eigene Achse, während sich das Mesonenwölkchen seinerseits um den Kern bewegt. Wollte man das Proton in einer Skizze darstellen, so erhielte diese eine Ähnlichkeit mit dem Planeten Saturn, einem von einem Ring umgebenen kugelförmigen Körper. Es liegt die Vermutung nahe, daß auch das Neutron einen von einer Mesonenwolke umgebenen zentralen Teil besitzt.

Beide, Proton und Neutron, geben von Zeit zu Zeit ein Meson ab oder nehmen es auf. Dieser Prozeß wird von einer wechselseitigen Verwandlung des Protons in ein Neutron und umgekehrt begleitet.

Erklären wir uns das an einem Beispiel. Es gibt Farbstoffe, die ihre Farbe bei zunehmender Erwärmung verändern. Nehmen wir an, vor uns liegen Kügelchen aus einem solchen Farbstoff. Gewöhnlich sind sie weiß, bei Erwärmung werden sie blau, man braucht sie jedoch nur abzukühlen und sie erlangen ihre weiße Farbe wieder. Je nachdem, ob die Kügelchen Wärmeenergie zugeführt bekommen oder diese abgeben, wechseln sie ihre Farbe. Etwas Ähnliches geschieht auch bei den Kernteilchen. Indem sie Mesonen aufnehmen oder abgeben, wandeln sie sich ineinander um. Mit der Entdeckung des Mesonenaustausches wurden die Kernkräfte gefunden, die die Teilchen im Atomkern fest miteinander verbinden.

Kernkräfte

Im Kern konzentrieren sich annähernd 99,95 Prozent der gesamten Masse des Atoms. Die Kernkräfte vereinigen die Kernteilchen des Atoms zu solcher Dichte, daß ein Kubikzentimeter mit Kernen dicht gefüllt etwa 116 Millionen Tonnen wiegen würde.

Im Kern wirken zwei Kräftearten; einmal die elektrische Kraft, die die gleichartig geladenen Teilchen, die Protonen, voneinander abstößt; zum anderen die Kernkraft, die die Teilchen gleichsam zusammenleimt. Die letztere ist um ein Vielfaches größer als die elektrische Kraft.

Wenn es gelingt, die Kernkräfte des Atomkerns zu sprengen, werden die jeweils mit der gleichen positiven Ladung versehenen Protonen nach allen Seiten geschleudert. Der ungewöhnlich dichte Stoff des Atomkerns verhält sich dabei wie ein hochkomprimiertes Gas, das die Hülle eines geschlossenen Gefäßes sprengt. Ein ungeheures Quantum an Energie wird frei. Wie kann man aber die Kernkräfte sprengen, um die im Atomkern enthaltene Energie freizumachen?

Ebensowenig wie man Metalle durch den warmen Hauch des Atems, wie etwa Eis, zum Schmelzen bringen kann, wird ein solcher Vorgang mit den sonst üblichen hohen Temperaturen auszulösen sein. Gleichfalls wird der Versuch, den Atomkern durch hohen Druck zu zerstören, zu keinem positiven Ergebnis führen.

Die Wissenschaftler stehen auf diesem Gebiet noch vor großen Aufgaben. Wahrscheinlich wird es mit Hilfe von Elektronen gelingen, den Bau der Mesonen zu erforschen. Das wird dazu beitragen, das Geheimnis der Kernkräfte vollständig zu klären, und gestatten, nicht wie bisher nur einen kleinen Teil der bei der Kernspaltung des Uranatoms frei werdenden Energie, sondern die gesamte oder wenigstens annähernd die gesamte Energie auszunutzen.

Isotope

Die Masse von Atomen ein und desselben chemischen Elements kann ungleich sein. Das hängt von der Anzahl der Neutronen im Atomkern ab.

So sind beispielsweise in einem „Kästchen“ des Periodensystems von Mendelejew zwei Typen des chemischen Elements Kupfer zu finden; der Atomkern des einen Typs besteht aus 29 Protonen und 34 Neutronen,

der des anderen dagegen aus 29 Protonen und 36 Neutronen. Solche Elemente werden „Isotope“ genannt. Aus dem Griechischen übersetzt bedeutet das soviel wie „gleichrangig“, das heißt den gleichen Platz einnehmend. Isotope begegnen uns bei der Mehrzahl der chemischen Elemente.

Alle Isotope eines Elementes besitzen die gleiche Anzahl Protonen. Das bedeutet also, daß sich ihre Elektronenhüllen in nichts voneinander unterscheiden. Hieraus wird verständlich, weshalb auch die chemischen Eigenschaften der Isotope trotz ihres unterschiedlichen Atomgewichtes einander praktisch gleich sind.

Der Wasserstoff weist drei Isotope auf: Protium, Deuterium und Tritium mit den verschiedenen Atomkernen: Proton, Deuteron und Triton. Die Masse des Protons ist halb so groß wie beim Deuteron und beträgt ein Drittel von der des Tritons; die chemischen Eigenschaften aller drei Isotope des Wasserstoffes sind jedoch die gleichen. Die Verbindung von Protium mit Sauerstoff ergibt gewöhnliches Wasser, während die von Deuterium das sogenannte schwere Wasser ergibt, das bei einer Temperatur von minus 3,8 °C gefriert und bei plus 101,4 °C siedet.

Die Zahl der Neutronen im Atomkern von Isotopen des gleichen Elementes ist jeweils verschieden. Das hat jedoch keinen Einfluß auf ihre chemischen Eigenschaften. Sobald aber die Kernprotonenzahl nur um eine verändert wird, entsteht ein Atom eines anderen Stoffes, was zu grundlegenden Veränderungen der chemischen Eigenschaften führt.

Es gibt auch Atome, die bei gleichem Atomgewicht verschiedene chemische Eigenschaften aufweisen. Nehmen wir zum Beispiel das Kupferisotop, dessen Atomkern 29 Protonen und 36 Neutronen enthält, und das Zinkisotop, das 30 Protonen und 35 Neutronen besitzt. Sie haben das gleiche Atomgewicht, jedoch verschiedene Protonenzahl und unterschiedliche Elektronenhüllen. Infolgedessen sind auch ihre chemischen Eigenschaften unterschiedlich. Derartige Elemente nennt man Isobare, was soviel wie gewichtsgleich, also von einheitlichem Gewicht bedeutet.

Wenden wir uns nun wieder dem Periodensystem Mendelejew zu. Wir können nach diesem sofort berechnen, wieviel Protonen, Neutronen und Elektronen in diesem oder jenem Atom eines chemischen Elements enthalten sind. In der Tabelle entspricht jedesmal die laufende Nummer (daher auch Ordnungszahl genannt – Die Red.) der Protonenzahl im Kern, das bedeutet, gleichzeitig auch der Anzahl der Elektronen in der Hülle. Das Atomgewicht ist die Summe der Protonen und Neutronen. Somit gibt die Differenz zwischen dem Atomgewicht und der Anzahl der Protonen die

mittlere Zahl der in den Atomkernen der verschiedenen Isotope enthaltenen Neutronen an.

Auf diesem Wege gelang es sowohl Tschitscherin als auch Morosow, durch theoretische Untersuchung des Periodensystems von Mendelejew relativ genau die Bestandteile des Atoms vorauszusagen.

Das chemische Alphabet

Zum Lesen ist die Kenntnis des Alphabets erforderlich. Hat man die Absicht, irgendeinen Stoff näher kennenzulernen, so muß man das chemische Alphabet studieren, das heißt die verschiedenen Arten der Atome sowie die Gesetze, nach denen sie sich zu Molekülen vereinigen.

Wie wir bereits feststellten, besteht sowohl die belebte als auch die unbelebte Natur aus winzig kleinen Stoffteilchen, den Atomen. Sie sind allerdings so klein, daß man sie nicht einmal mit dem stärksten Mikroskop wahrnehmen kann.

Nach unseren Vorstellungen ist ein Staubkörnchen schon ein überaus kleines Teilchen, das kaum mit dem unbewaffneten Auge zu erkennen ist. In einem Staubkörnchen von etwa 0,03 mm Durchmesser befinden sich jedoch annähernd 1000000000000000, das heißt 10 Billiarden Atome.

Machen wir uns die Größe eines Atoms durch einen Vergleich begreiflich! In Gedanken nehmen wir eine millionenfache Vergrößerung einiger uns bekannter Gegenstände vor. Ein Bleistift bekäme dann die Länge von 150 bis 200 km und eine Dicke von 7 km. Selbst ein Stecknadelkopf würde sich in eine Kugel von einem Kilometer Durchmesser verwandeln. Aber ein Atom wäre bei einer millionenfachen Vergrößerung immer noch kleiner als ein Punkt in diesem Buch.

Wie klein ein Atom ist, sieht man auch daran, daß eine Stecknadelkuppe etwa 1000000000000000000, das heißt 10 Trillionen Eisenatome enthält.

Gegenwärtig zählt man 102 verschiedene Atomarten. Sie unterscheiden sich voneinander durch ihre Masse. Je größer ihre Masse ist, um so komplizierter ist ihr Bau. Wasserstoff ist am leichtesten. Der Durchmesser dieses Atoms ist gleich dem hundertmillionsten Teil eines Zentimeters, während seine Masse 1,67mal den quadrillionsten¹ Teil eines Gramms ausmacht.

¹ 1 Quadrillion = 1000000000000000000000000. (Die Red.)

Den kompliziertesten Bau und das größte Gewicht besitzen das Mendelewium (101) und das Nobelium (102).

Im Periodensystem Mendelejews sind alle chemischen Elemente verzeichnet. In dieser besonders gestalteten Tabelle sind sie nach der Größe des Atomgewichts geordnet.

Achtundachtzig chemische Elemente des Periodensystems wurden in der Erdrinde aufgefunden, während die übrigen auf experimentellem Weg erzeugt wurden. Vermutlich waren einige dieser komplizierten Elemente vor langer Zeit auch auf der Erde vorhanden, verwandelten sich aber dann durch radioaktiven Zerfall in einfachere Elemente, so wie im Verlaufe der Zeit Radium in Blei übergeht.

Alle in der Natur vorkommenden Stoffe lassen sich in einfache und komplizierte Stoffe einteilen. Einfache Stoffe bestehen aus Atomen des gleichen Typs, während komplizierte Stoffe verschiedenartige Atome enthalten, die chemisch in größeren Einheiten, den Molekülen, miteinander verbunden sind.

Zu den einfachen Stoffen, den Elementen, gehören einmal solche Gase wie Stickstoff, Wasserstoff, Helium, Sauerstoff, Chlor, zum anderen Flüssigkeiten wie Brom, Quecksilber, Gallium und schließlich feste Stoffe wie Eisen, Aluminium, Gold, Kupfer, Silber, Zinn und Blei.

Jedes Element tritt im Periodensystem Mendelejews durch ein bestimmtes Zeichen in Erscheinung.

Die zusammengesetzten Stoffe sind überaus verschiedenartig, und ihre Bezeichnung ist sehr kompliziert.

Gleiche Buchstaben bilden ganz verschiedene Worte, zum Beispiel Rebe und Erbe. Ebenso kann man mit den gleichen Atomen Moleküle verschiedener Stoffe bilden. Die Atome des Wasserstoffs und Sauerstoffs können beispielsweise sowohl Wassermoleküle als auch andererseits ein Molekül des Wasserstoffperoxyds ergeben.

Jedem ist von seiner Schulzeit her bekannt, daß die Stoffe in festem, flüssigem und gasförmigem Zustand vorkommen. Außerdem gibt es auch noch Stoffe mit höchster Packungsdichte und solche, die als Plasma in Erscheinung treten.

Als Plasma bezeichnet man Stoffe, bei denen die Elektronen von den Atomen „losgerissen“ sind und die Atomkerne und Elektronen getrennt existieren. Das Plasma ist insgesamt elektrisch neutral, und da seine Teilchen angeregt sind, leuchtet es. Die große Anzahl freier Elektronen im Plasma erklärt seine elektrische Leitfähigkeit.

Allerdings ist lediglich die Bezeichnung „Plasma“ neueren Ursprungs.

Die Menschen kennen seit langem diesen Zustand der Stoffe in Form der Kerzenflamme, des Kugelblitzes, des Gaslichtes, des Nordlichtes, der Nebelflecken und der Sterne.

Stoffe mit höchster Packungsdichte sind dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronen der äußeren Atomhüllen nach innen „gepreßt“ werden und die Atome die für sie charakteristischen chemischen Eigenschaften verlieren. Ein solcher Verlust des „Chemismus“ wird bei Stoffen vermutet, die sich unter gewaltigem Druck im Erdinnern befinden.

Die „Karte der Atomwelt“

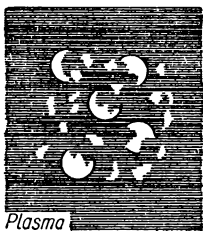
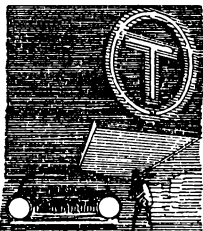
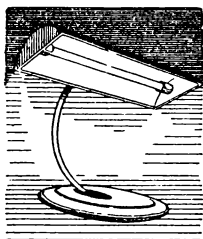
Das Atom besitzt, wie wir bereits feststellten, einen aus Protonen und Neutronen bestehenden Kern und eine den Kern umgebende Elektronenhülle. Die Masse eines Elektrons ist 1836,5mal geringer als die eines Protons und 1839mal geringer als die eines Neutrons. Der Atomkern besitzt eine positive elektrische Ladung und eine Hülle aus negativ geladenen Elementarteilchen.

Die Anordnung der Elektronen um den Atomkern ist nicht chaotisch. Die Elektronen bewegen sich auf bestimmten „Schalen“, die sich in verschiedenen Abständen vom Kern befinden. Die Elektronen der inneren Schichten sind dem Einfluß des positiv geladenen Kernes am stärksten ausgesetzt und daher auch am stärksten an ihn gebunden.

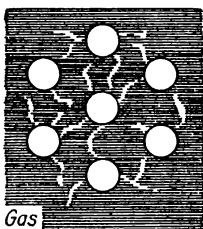
Man müßte annehmen, daß sich mit der Zunahme der Anzahl der Elektronenhüllen vom Wasserstoff bis zum Uran auch der Umfang des Atoms wesentlich vergrößert. Das ist jedoch deshalb nicht der Fall, weil sich gleichzeitig damit auch eine Vergrößerung der Kernladung vollzieht. Je stärker jedoch die Ladung ist, um so mehr zieht der Kern die Elektronen zu sich heran.

Aus diesem Grunde sind auch die Elektronen der inneren Schichten bei komplizierten Atomen bedeutend fester mit dem Kern verbunden als bei den im Periodensystem Mendelejews am Anfang stehenden einfachen Atomen. Im Uranatom beträgt die Energie, die das innere Elektron mit dem Kern verbindet, 100000 Elektronenvolt, bei Lithium dagegen nur

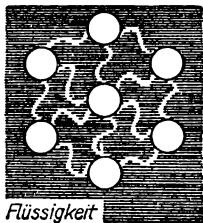
Abb. 1 Zustandsformen der Stoffe — Plasma in Natur und Technik



Plasma



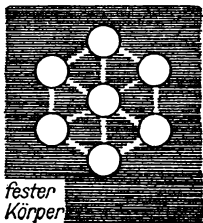
Gas



Flüssigkeit



Kugelblitz



fester Körper



Stoffe mittlerer Packungsdichte



Stoffe höchster Packungsdichte

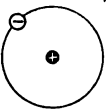
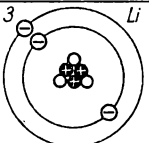
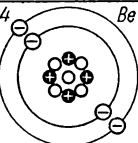
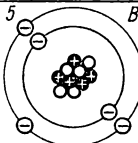
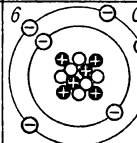
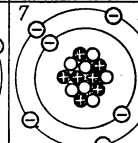
Perioden	G r u p p e				
	I	II	III	IV	V
1	1 H Wasserstoff				
2	3 Li Lithium 6.940	4 Be Beryllium 9.02	5 B Bor 10.82	6 C Kohlenstoff 12.01	7 N Stickstoff 14.008
1	1 H 				
2	3 Li 	4 Be 	5 B 	6 C 	7 N 

Abb. 2 Der Bau der Atome nach Gruppen

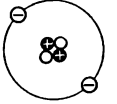
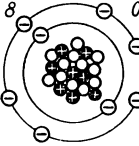
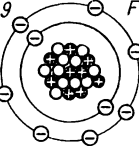
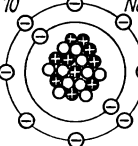
121,84 Elektronenvolt, das heißt, die Bindungsenergie ist im Uran annähernd 820mal größer.

Auch die äußeren Elektronen sind mit unterschiedlicher Kraft an die Atome gebunden. Um ein Elektron vom Atom des Natriums zu lösen, wird eine Energie von 5,11 Elektronenvolt¹ benötigt, bei Kalium sind es 4,32, bei Rubidium 4,10 und bei Zäsium 3,87 Elektronenvolt.

In der „Karte der Atomwelt“, im Periodensystem Mendelejews, sind die chemischen Elemente nach Perioden eingeteilt. Jede neue Periode unterscheidet sich von der vorhergehenden durch eine zusätzliche mit Elektronen besetzte Schale.

Zur ersten Periode zählen Wasserstoff und Helium. Beim Wasserstoff befindet sich das einzige Elektron in der ersten, dem Kern am nächsten

¹ 1 Elektronenvolt (eV) ist eine in der Atomphysik häufig verwendete Energieeinheit. Siehe Näheres auf Seite 33. (Die Red.)

p		e		n	
VI		VII		VIII	
					0
					2 He
					Helium 4.003
8	0	9	F		10 Ne
Sauerstoff 16.000		Fluor 19.000			Neon 20.183
					2 He
					
8	0	9	F		10 Ne
					

im Periodensystem von Mendelejew

liegenden Schale. Die beiden Elektronen des Heliums befinden sich ebenfalls auf der ersten Schale.

Die zweite Periode des Mendelejewschen Systems umfaßt Lithium mit 2 Elektronen in der ersten und 1 Elektron in der zweiten Schale, Beryllium mit 2 in der ersten und 2 in der zweiten, Bor mit 2 in der ersten und 3 in der zweiten, Kohlenstoff mit 2 in der ersten und 4 in der zweiten Schale usw.

Neon, das die Ordnungszahl 10 besitzt, enthält insgesamt 10 Elektronen, von denen sich 2 in der ersten und 8 in der zweiten Elektronenschale befinden.

Die 11 Elektronen des Natriums verteilen sich folgendermaßen: 2 sind in der ersten Schale, 8 in der zweiten und 1 in der dritten. Es ist ein Element der dritten Periode des Systems. Von den 18 Elektronen des Argons befinden sich 2 in der ersten, 8 in der zweiten und 8 in der dritten Schale.

Beim Atom des Kaliums, dem ersten Element der vierten Periode, sind

Perioden	Gruppen	
	I	II
1	1 H 	
2	3 Li 	
3	11 Na 	
4	19 K 	
5	29 Cu 	
6	37 Rb 	
	55 Cs 	

Abb. 3 Der Bau der Atome nach Perioden im System Mendelejews

von den 19 Elektronen 2 in der ersten, jeweils 8 in der zweiten und dritten und 1 in der vierten Schale angeordnet.

Die erste Schale enthält, wie bereits gesagt, nicht mehr als 2 Elektronen, die zweite nicht mehr als 8. Die folgenden Schalen sind „geräumiger“. In der dritten können bis 18, in der vierten bis 32 Elektronen vorhanden sein.

Die Elemente sind im Periodensystem weiterhin nach Gruppen eingeteilt. Zu einer Gruppe gehören jeweils diejenigen, die die gleiche Anzahl von Elektronen in der äußeren Schale aufzuweisen haben, wodurch sie einander auch chemisch ähnlich sind. In der ersten Gruppe haben Lithium, Natrium und einige andere Stoffe jeweils 1 Elektron in der äußeren Schale. Bei den Elementen der zweiten Gruppe, Beryllium, Magnesium, Kalzium und anderen sind es jeweils 2, bei den Elementen der dritten Gruppe jeweils 3 Elektronen. Die Elemente der Nullgruppe, Neon, Argon, Krypton usw., besitzen schließlich 8 Elektronen in der äußeren Elektronenhülle. Atome, deren äußere Schale vollkommen gesättigt ist, zeichnen sich durch chemische Beständigkeit aus. Wie wir noch sehen werden, haben alle Atome das Bestreben, zu einem solchen Zustand zu gelangen. Hierin liegt das Geheimnis ihrer Fähigkeit, in chemische Verbindungen einzugehen.

Mit Hilfe der Spektralanalyse wurde festgestellt, daß einige Sterne zu einem Drittel und die Sonne zur Hälfte aus Protonen, das heißt „entblößten“

Wasserstoffatomkernen bestehen. Bei der gewaltigen Temperatur der Sterne können die Elektronen nicht mehr durch die Atomkerne gebunden werden. Nachdem sie sich losgerissen haben, begeben sie sich selbständig auf die Reise. Lediglich bei einem sich abkühlenden Himmelskörper beginnen die Elektronen, sich mit den Protonen zu verbinden, das heißt, es bilden sich zuerst einfache und später kompliziertere Atome.

Im gleichen Moment, da sich die Atome auf unserem Planeten mit Elektronenhüllen umgaben, entstand die Möglichkeit ihrer Vereinigung zu Molekülen. Das war der Beginn einer Entstehung und Entwicklung der Stoffe, die zu der heute bestehenden unübersehbaren Vielfalt der belebten und unbelebten Natur führte.

Viele Erscheinungen der uns umgebenden Welt sind das Resultat von Elektronenbewegungen in den Atomen der Stoffe. In dieser Bewegung liegt die Erklärung für die Entstehung chemischer Verbindungen, des Magnetismus und der Erscheinungen des Lichts.

Obgleich die Menschheit bereits sehr zeitig damit begann, die Energie der sich in den Atomen bewegendenden Elektronen auszunutzen, ist es erst seit relativ kurzer Zeit möglich, die längst bekannten Naturerscheinungen zu erklären.

Das kreisende Elektron

Chemische Umwandlungen

Unzähligen Prozessen auf der Erdoberfläche liegen chemische Reaktionen zugrunde.

In der belebten Natur beobachtet man hauptsächlich Erscheinungen, die von einfachen zu komplizierteren Stoffen führen. So nimmt die Pflanze aus der Luft Kohlendioxyd auf, das unter Beteiligung von Sonnenenergie und Chlorophyll durch kompliziertere chemische Reaktionen in Stärke, Zellulose, Zucker und andere Stoffe umgewandelt wird, die für die Pflanzen lebensnotwendig sind. Im Organismus von Mensch und Tier gehen entsprechende Umwandlungen vor sich. Hier spielen Eiweiße, Fette und andere Stoffe eine wesentliche Rolle. Dabei ist die chemische Synthese eine der wichtigsten Erscheinungen in der belebten Natur. Durch sie entstand das Leben auf unserem Planeten.

Im Organismus verlaufen aber auch Gegenreaktionen. Eine davon ist zum Beispiel der Atmungsprozeß.

Auch in der unbelebten Natur spielen chemische Umwandlungen eine außerordentlich große Rolle. Die Erde und die anderen Planeten unseres Sonnensystems sind gewaltige Laboratorien, in denen ständig Umwandlungen anorganischer Stoffe, ihre Entstehung und Zerstörung vor sich gehen. Auf diese Weise entstanden beispielsweise einstmals die Minerale und Erze.

Kurz gesagt stellt das gesamte organische und anorganische Leben auf der Erde eine ständige Umwandlung von Stoffen dar.

Chemische Reaktionen bilden auch die Grundlage für viele Produktionsprozesse der Menschen. Ihre Produkte findet man überall. Da sind unsere Nahrung und Kleidung und die vielen sonstigen Dinge des Alltags. Da ist Brennstoff für Flugzeuge, Schiffe und Autos. Da sind Ziegel, Glas, Zement und Metall, ohne die kein Gebäude errichtet werden kann.

Die Chemiker liefern uns eine Vielzahl von Stoffen, an denen die Natur

verhältnismäßig arm ist: Farben, Arzneimittel, Duftstoffe und anderes. Sie erzeugen auch Stoffe, die in der Natur nicht vorhanden sind; denken wir an synthetischen Treibstoff, synthetische Fasern, synthetischen Kautschuk und Plaste.

Eine Substanz, die als künstlicher Pflanzendünger benutzt wird, eine andere, die als Gift für Krankheitserreger dient, eine dritte, die Flugzeuge starten läßt, eine vierte, die Berge sprengt – sie alle sind Produkte der Chemie. Alle chemischen Prozesse stellen verschiedene Verbindungen von Atomen dar, wobei die Elektronen die wesentliche Rolle spielen; denn sie verbinden Atome zu Molekülen und Moleküle zu Körpern.

Das Geheimnis einer chemischen Bindung

Betrachten wir uns die Wechselwirkung von Atomen und Molekülen. Bekanntlich ziehen sich zwei Körper mit entgegengesetzter elektrischer Ladung an. Existiert aber auch eine Anziehungskraft zwischen elektrisch neutralen Körpern?

Wenn sich einem Wasserstoffatom ein zweites nähert, so ist zu erwarten, daß sie sich nicht anziehen, weil beide elektrisch neutral sind. In Wirklichkeit ziehen sie sich aber gegenseitig an, und zwar in einem Bereich, der etwas weniger als dem Durchmesser eines Atoms entspricht. Sobald das Elektron des einen Wasserstoffatoms in die Wirkungssphäre des Elektrons des anderen Atoms kommt, kann es der Anziehungskraft dieses Kerns verfallen, und anstatt um sein eigenes Proton zu kreisen, beschreibt es eine Kurve um beide Protonen. (Das Elektron des anderen Wasserstoffatoms verhält sich entsprechend. – Die Red.). Es ist eine chemische Verbindung – ein H_2 -Molekül – entstanden. Ganz genau so verbinden sich auch zwei Chloratome.

Bei solchen Molekülen bildet sich eine äußere gesättigte Hülle aus zwei Elektronen, wie sie zum Beispiel beim Heliumatom vorhanden ist, das sich chemisch sehr passiv verhält.

Neben dem Heliumatom, dessen äußere Hülle bereits mit zwei Elektronen völlig gesättigt ist, gibt es eine Reihe von Atomen, bei denen diese Sättigung erst mit acht Elektronen erreicht wird. Solche Atome sind sehr stabil und lassen sich nicht zu chemischen Reaktionen bewegen. Man bezeichnet sie als Edelgase.

Atome mit einer „unvollständigen“ äußeren Schale sind chemisch aktiv.

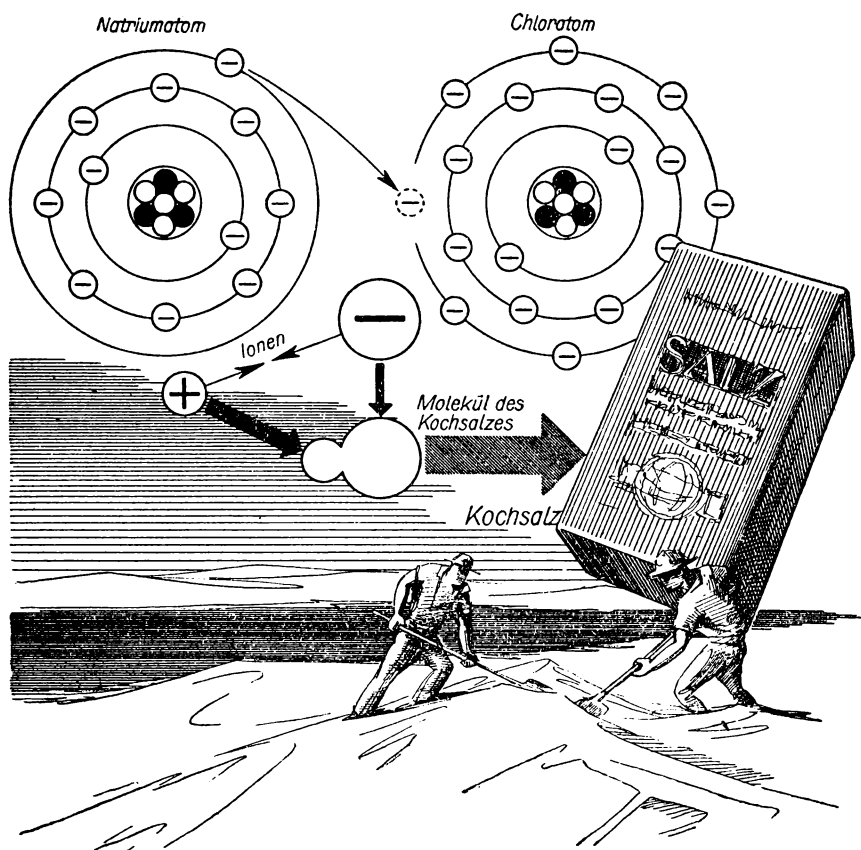


Abb. 4 Chemische Ionenverbindung – Vorgang bei der Bildung von Kochsalz

Diejenigen von ihnen, die in dieser Schale nur ein Elektron aufweisen, können es verhältnismäßig leicht an ein anderes Atom mit einer ungenügenden Elektronenzahl in der äußeren Schale abgeben.

So entsteht eine chemische Verbindung zwischen Atomen. Als Beispiel kann die Entstehung von Kochsalz dienen, das aus Chloratomen, die in der äußeren Schale mit 7 Elektronen besetzt sind, und aus Natriumatomen, die dort ein Elektron aufweisen, besteht. Wenn dieses Elektron zum Chlor übergeht, füllt es dessen äußere Schale auf 8 Elektronen auf. Beide Atome laden sich elektrisch auf: das Natrium positiv, weil es ein Elektron abgab,

und das Chlor negativ, weil es dieses aufnahm. Hervorgerufen durch die verschieden geladenen Ionen, ziehen sie sich gegenseitig an, und wir werden Zeugen eines der Wunder der Chemie, nämlich daß sich ein Metall und ein giftiges Gas in Kristalle verwandeln, die als Nahrungsmittel dienen. Es gibt auch eine andere Art von chemischen Verbindungen. Beim Verbrennen der Kohle zieht ein Kohlenstoffatom zwei Sauerstoffatome an und bildet mit ihnen Kohlendioxyd. Das geschieht folgendermaßen: Die

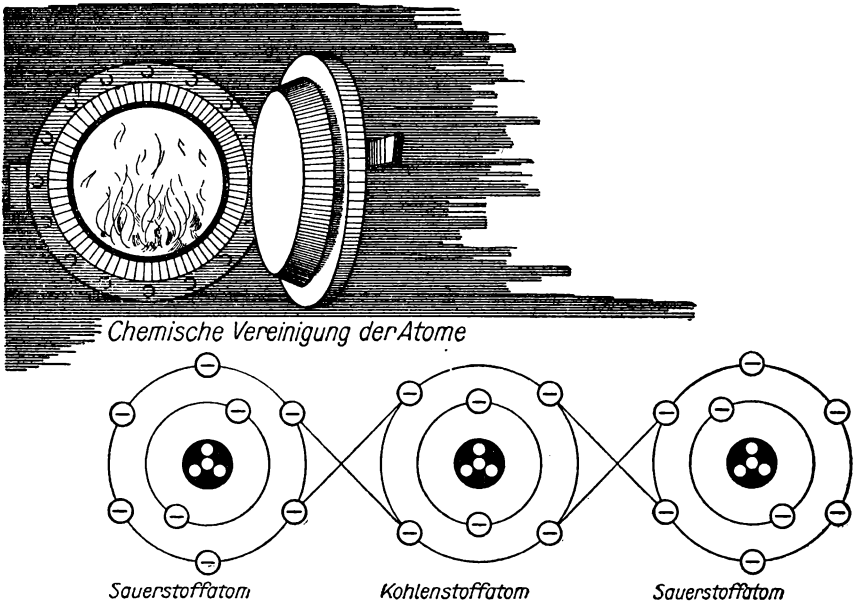


Abb. 5 Chemische Vereinigung der Atome – Verbrennungsvorgang

beiden Sauerstoffatome haben in der äußeren Schale je 6 Elektronen, das Kohlenstoffatom hat 4 Elektronen. Wenn sich diese Atome zu einem Molekül vereinigen, bilden die 16 Elektronen zwei stabile Schalen um das Molekül.

Das Geheimnis einer chemischen Verbindung besteht, wie wir sehen, entweder im Austausch einzelner Elektronen oder in der Vereinigung der äußeren Elektronenhüllen selbständiger Atome.

Magnetismus als Eigenschaft der Materie

Es gibt viele Legenden über die magnetische Kraft. Darin wird erzählt, wie diese Kraft eiserne Nägel aus hölzernen Schiffskörpern löste oder die Schiffe zu den Felsenriffen zog, wo sie von der Brandung zertrümmert wurden.

Schon lange versuchten die Menschen, den Magnetismus auszunutzen. Bereits vor dreitausend Jahren gab es in China Reisewagen, auf denen frei drehbare kleine Figuren mit ausgestreckter Hand befestigt waren. In welche Richtung der Wagen auch fuhr, die Figur zeigte unablässig mit der Hand nach Süden. Das war der Vorläufer des heutigen Kompasses, des Begleiters vieler geographischer Forscher, des Gerätes, mit dessen Hilfe erst eine Erforschung größerer Gebiete unseres Planeten möglich wurde.

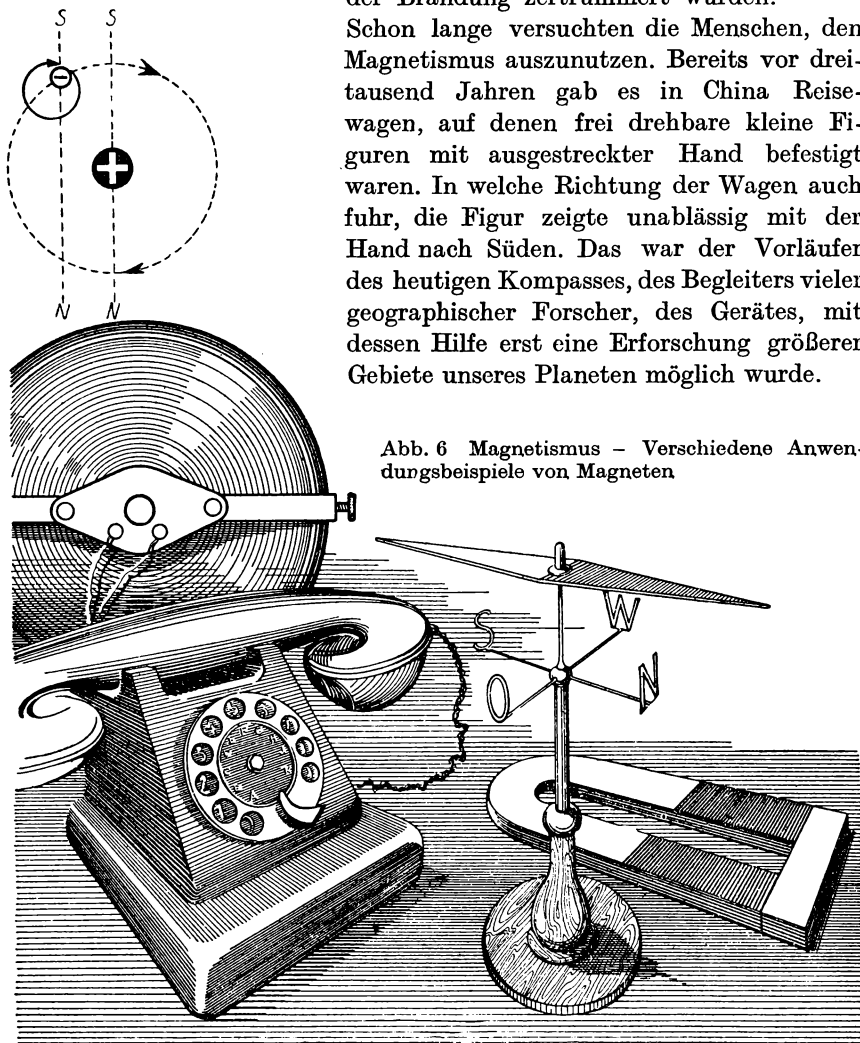


Abb. 6 Magnetismus – Verschiedene Anwendungsbeispiele von Magneten

Die Magnetnadel, die mit dem einen Ende nach Norden und mit dem anderen Ende nach Süden zeigt, erweist uns heute große Dienste. Sie ist der ständige Begleiter der Seeleute auf dem Meer und der Piloten in der Luft. Sie ist bei Reisen eine gute Hilfe, und Wissenschaftler, die magnetische Erscheinungen untersuchen, sind gleichfalls auf sie angewiesen.

Magnetismus ist eine allgemeine Eigenschaft der Materie. Sowohl die Elementarteilchen als auch die kosmischen Körper – Planeten und Sterne – haben diese Eigenschaft aufzuweisen.

Die moderne Technik benutzt den Magnetismus auf vielen Gebieten. Unsichtbare magnetische Kräfte erzeugen in den Generatoren der Elektrokraftwerke elektrischen Strom. Die Magneten mächtiger Kräne sind in der Lage, schwere Metallstücke zu heben. Mit einem Magneten vom Gewicht eines Schlachtschiffes ist der in der Welt größte sowjetische Teilchenbeschleuniger – das Synchrophasotron – ausgestattet. Ein Chirurg führt mit Hilfe der Magnetkraft komplizierte Operationen aus, wie zum Beispiel die Entfernung von Stahlsplintern aus dem Auge. Diese Kräfte wirken sowohl beim Anschlagen der elektrischen Klingel, beim Zirpen des Telegraphenapparates als auch beim Telefongespräch zwischen Menschen, die Tausende Kilometer voneinander getrennt sind.

Ursache für die Magnetkräfte sind wiederum die Elektronen. Wie alle elektrisch geladenen Teilchen bilden sie durch die Bewegung um sich herum ein Magnetfeld. Als Quelle für das Entstehen magnetischer Kräfte dient auch die Drehung der Elektronen um ihre Achse.

Aber wie ist das zu beweisen?

Stellen wir uns ein an einem Faden aufgehängtes Gefäß vor, auf dessen Boden einige Kreisel rotieren, deren Achsen einander parallel sind. Die Kreisel unterliegen dann dem gyroskopischen Effekt, das heißt, sie haben die Fähigkeit, die Lage ihrer Rotationsachsen im Raum unverändert beizubehalten. Gleichzeitig mit den Kreiseln wird dadurch auch die Lage des Gefäßes sehr stabil. In Übereinstimmung mit den Gesetzen der Mechanik wird diese Stabilität nur andauern, solange die Achsen der rotierenden Kreisel parallel sind. Wenn diese Parallelität irgendwie gestört wird, muß das hängende Gefäß aus seiner stabilen Lage kippen.

Diese schon lange bekannte Tatsache benutzten die Wissenschaftler für den Beweis einer Rotation des Elektrons um seine Achse. Sie hängten einen Magnetkern an einem Faden frei beweglich auf und nahmen an, daß sich die darin rotierenden Elektronen ähnlich verhalten wie die oben erwähnten Kreisel in dem Gefäß, weil die Rotationsachsen bei ihnen auch parallel sind. Ohne den Kern zu berühren, erhitzen sie ihn dann auf eine

Temperatur, bei der der Ferromagnetismus verlorengeht. Die Rotationsachsen der Elektronen sollten sich chaotisch verteilen. Und wirklich begann sich der aufgehängte Kern zu drehen. Das beweist, daß die Elektronen eigene magnetische Momente besitzen und sich tatsächlich wie winzige Magneten verhalten.

Das Gesamtmagnetfeld eines Atoms kann stärker oder schwächer sein, je nachdem wie die magnetischen Momente seiner einzelnen Elektronen insgesamt gerichtet sind. Wenn die Mehrheit von ihnen parallel und gleichgerichtet ist, so werden sich die magnetischen Momente addieren. Im Gegenfall kompensieren sie einander, und infolgedessen vermindert sich das Magnetfeld des Atoms oder hebt sich ganz auf.

Auch der Atomkern besitzt ein Magnetfeld. Es ist jedoch meist schwächer als das der Elektronen.

Alle Stoffe – feste, flüssige oder gasförmige – sind magnetisch. Einige von ihnen, die ferromagnetischen Stoffe, zum Beispiel Eisen, werden von Elektromagneten stark angezogen. Andere, zum Beispiel Aluminium, werden in millionenfach geringerem Maße als Eisen angezogen. Das sind die sogenannten paramagnetischen Stoffe. Schließlich gibt es Stoffe, zum Beispiel Wismut, die nicht nur nicht angezogen, sondern vom Elektromagneten sogar abgestoßen werden, als wären sie negativ magnetisch. Man nennt sie diamagnetisch.

Die Atome eines beliebigen chemischen Elementes haben ihre besondere, wenn man so sagen darf, „magnetische Physiognomie“. Davon ausgehend entwickelte der sowjetische Gelehrte E. K. Zavojski eine neue Methode der Stoffanalyse.

Ein Stoff wird in einen Resonator¹ zwischen die Pole eines Elektromagneten gebracht. Danach beginnt man ihn mit Zentimeter- und Millimeter-Wellen zu bestrahlen, wobei die Frequenz derselben so lange verändert wird, bis das Gerät anzeigt, daß die Probe die meiste Energie absorbiert. Das bedeutet, die Frequenz der elektromagnetischen Wellen steht mit der Frequenz der Atomschwingungen in Resonanz; und da jedes Element eine spezifische Frequenz der Atomschwingungen aufweist, wird durch das Gerät offenbar, welches Element in dem zu untersuchenden Stoff enthalten war.

Der Atommagnetismus wird durch die Temperatur sehr wesentlich beeinflusst. Bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt werden paramagne-

¹ Schwingungsfähiges System, das durch Erregung von außen in der gleichen Frequenz mitschwingt. (Die Red.)

tische Körper leicht magnetisch. Je niedriger die Temperatur ist, um so leichter ist es, ferromagnetische Stoffe zu magnetisieren. Bei höheren Temperaturen nimmt diese Eigenschaft ständig ab. Beim Eisen zeigt sich bei 768 °C ein Umschlag; aus einem ferromagnetischen Stoff wird plötzlich ein paramagnetischer.

Die Energiestufen des Atoms

Die Elektronen führen im Atom bestimmte Bewegungen um den Kern aus und stehen mit ihm in Wechselwirkung. Sie können sich von ihm nicht losreißen, weil seine positive Ladung die negativ geladenen Elektronen anzieht. Man könnte nun aber fragen:

Warum fallen sie nicht auf den Kern?

Das geschieht deshalb nicht, weil die Elektronen sehr rasch um den Kern kreisen. Die Erde fällt ja auch nicht auf die Sonne, um die sie kreist.

Im Wasserstoffatom kreist ein Elektron um den Kern wie die Erde um die Sonne. Im Normalzustand besitzt das Elektron eine ganz bestimmte Energie und besetzt die unterste Energiestufe. Wenn das Atom „angeregt“ ist, das heißt, wenn es irgendwelche Energie aufgenommen hat, so überwindet das Elektron entsprechend der Intensität dieser Energie die Anziehungskraft des Kerns und wandert in eine der oberen „Etagen“. Bei seiner Rückkehr in die unterste „Etage“ gibt das Atom eine gewisse Energiemenge ab.

Jede Energie kann in Arbeitseinheiten ausgedrückt werden. Wärme wird in Kalorien gemessen, Elektrizität in Kilowattstunden. Die Energie der Elementarteilchen wird in einer besonderen Einheit ausgedrückt – in Elektronenvolt. Ein Elektronenvolt ist die Bewegungsenergie, die ein Elektron beim freien Durchlaufen einer Spannung von 1 Volt gewinnt.

Die Energie eines Elektronenvolts ist ungefähr um 600 Milliarden geringer als die Energie, die nötig ist, um 1 mp-Last einen Zentimeter zu heben. Und doch hat das Elektron mit der Energie von einem Elektronenvolt eine Geschwindigkeit von 593 km/s.

Die energetischen „Stockwerke“ der Atome sind bei den verschiedenen chemischen Elementen nicht gleich.

Das „Dach“ über der höchsten energetischen „Etage“ im Wasserstoffatom ist gleich 13,54 Elektronenvolt. Bei dieser Energiestärke tritt Ionisation ein, das heißt, das Elektron löst sich vom Atom.

In einem „erregten“ Atom verharret das Elektron nicht sehr lange auf der höchsten energetischen Stufe. Bei seiner Rückkehr zur untersten „Etage“ strahlt das Atom Energie in Form eines Lichtquants, eines Photons, aus (griechisch photos – das Licht).

Das Sternenlicht und die ständig zur Erde gelangenden Sonnenstrahlen beweisen, daß die Entstehung der Photonen einer der Hauptprozesse ist, die in der Welt der Atome im Universum ablaufen.

Alles Leben auf der Erde wäre ohne Licht und Wärmestrahlung nicht möglich.

Die Entstehung des Lichtes

Wie entsteht das Licht?

Um uns dies vorstellen zu können, müssen wir zum Atommodell zurückkehren.

Trotz der Existenz kreisender Elektronen verläuft das „Leben“ eines Atoms ruhig. Jedoch beim ersten Zusammenstoß mit einem Energieteilchen, Quant genannt, wird diese Ruhe gestört.

Ein Atom reagiert unterschiedlich auf die Quantenstöße verschiedener Energie. Je mächtiger das Quant ist, desto weiter „springt“ das Elektron vom Kern weg, um so größer ist die Frequenz des ausgestrahlten Lichts und um so kürzer seine Wellenlänge.

Ein Elektron kann auch durch Lichtenergie frei werden. Die Hauptrolle spielt hier aber nicht die Lichtintensität, sondern die Frequenz. Selbst der stärkste Strahl Rotlicht (niedrige Frequenz) ist bei einer ganzen Reihe von Metallen nicht in der Lage, ein einziges Elektron loszusprengen. Das schwächste Blaulicht dagegen (hohe Frequenz) vermag verhältnismäßig leicht Elektronen loszuschlagen.

Ein „erregtes“ Atom muß man als Partikelchen ansehen, das mit der Energie eines Quants auch seine Masse annimmt. Ein Kilogramm eines Stoffes, dessen Atome „erregt“ sind, wird um den hunderttausendsten Teil eines Milligramms schwerer, als wenn die Atome im Grundzustand sind.

Es kommt auch vor, daß ein Elektron nicht sofort „nach Hause zurückkehrt“, sondern vorerst den millionsten Teil einer Sekunde irgendwo auf einer „Zwischenetage gastiert“. Bei diesem „stufenweisen“ Abwärtsgleiten gibt das Atom anstelle des einen Photons einer Wellenlänge zwei Photonen verschiedener Wellenlängen ab.

Die „Sprünge“ der äußeren Elektronen sind die Ursache der Lichtstrahlung, die der inneren, nahe dem Kern gelagerten Elektronen sind die Ursache für ultraviolette und Röntgenstrahlung.

Damit das Atom ultraviolette Strahlen aussendet, muß eine Anregungsenergie von mehr als 10 Elektronenvolt angewendet werden. Größere Energie von mehr als 10000 und 100000 Elektronenvolt läßt die Röntgenstrahlen entstehen.

Die Wellenlänge der Röntgenstrahlen schwankt zwischen dem hunderttausendsten und hundertmillionsten Teil eines Millimeters. Wegen der kurzen Wellenlänge der Röntgenstrahlen können sie die verschiedensten Körper durchdringen. Was für die Lichtstrahlen undurchdringbar ist, kann für die Röntgenstrahlen mit einer Wellenlänge in der Größenordnung des Abstandes der Atome „durchsichtig“ sein.

Die Röntgenstrahlen besitzen auch noch andere interessante Eigenschaften: Sie werden von Stoffen mit unterschiedlicher Dichte verschieden stark absorbiert, und einige Stoffe beginnen unter ihrer Einwirkung zu leuchten (Röntgenfluoreszenz). Sie wirken auf Photoplatten wie Licht und rufen eine Ionisation der Luft hervor. Diese Erscheinungen werden in Wissenschaft, Technik und Industrie ausgenutzt.

Ärzte beobachten mit Hilfe der Röntgenstrahlen die inneren Organe von Kranken (Röntgendiagnostik), und Ingenieure entdecken mit ihnen verborgene Risse in Metallen (Röntgenographie). Die Chemiker verwenden diese Strahlen zur Untersuchung unbekannter chemischer Verbindungen (Röntgenspektralanalyse).

Es zeigte sich, daß jedem Atom eine ganz bestimmte Frequenz von charakteristischen Röntgenstrahlen entspricht, die mit der höheren Ordnungszahl des Elementes in der Mendeleejewischen Tabelle wächst. Nachdem man diese Tatsache festgestellt hatte, konnte man theoretisch die Frequenzen der charakteristischen Röntgenstrahlen, die die noch nicht bekannten chemischen Elemente in den unbesetzten Feldern 72 und 75 des Periodensystems haben, berechnen und sie später mit Hilfe der Röntgenspektroskopie identifizieren. Die erwähnten Felder in der Mendeleejewischen Tabelle wurden durch die Elemente Hafnium (Hf) und Rhenium (Re) besetzt.

Den Physikern helfen die Röntgenstrahlen, den Kristallbau eines Stoffes zu untersuchen (Röntgenfeinstrukturanalyse). Durch diese Strahlen gelang es, festzustellen, wie die Atome in verschiedenen Kristallen lagern und den Abstand zwischen ihnen zu berechnen. So bilden zum Beispiel je nach ihrem Gitteraufbau die gleichen Kohlenstoffatome einmal einen wertvollen Diamanten und andererseits Graphit.

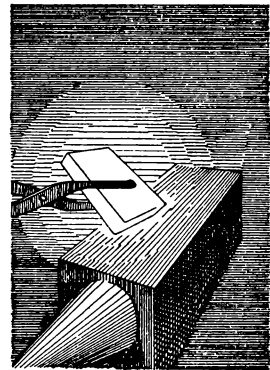
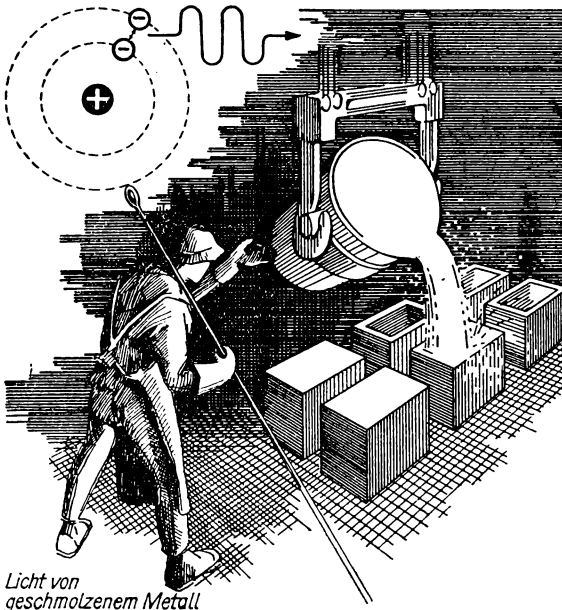
Wie die Röntgenstrahlen zeigten, sind im Diamantkristall alle Atome gleich weit voneinander entfernt (1,54 Ångström). Durch diese sehr dichte Packung sind die Diamanten sehr hart.

In den Graphitkristallen sind die Kohlenstoffatome dagegen in sechseckigen Plättchen bei einem Abstand zwischen den Atomen von 1,45 Ångström gelagert. Diese Plättchen liegen locker aufeinander, da der Abstand zwischen ihnen größer ist (3,4 Ångström). Deshalb spaltet sich der Graphitkristall sogar bei leichtem Druck des Bleistiftes auf Papier ab und hinterläßt eine graue Spur dünner Graphitplättchen.

Die Arbeit der Photonen

Schon durch eine geringfügige Elektronenverschiebung glüht ein Lichtbogen auf, und der Faden einer elektrischen Glühlampe strahlt Licht aus. Die verschiedenartigsten Strahlungen, mag es das leuchtende Zifferblatt einer Uhr sein oder ein glühendes Stück Schmiedeeisen, das leuchtende Öllämpchen oder die „Laternen“ von Leuchtfischen der Tiefsee – alle die genannten und noch einige andere Strahlungsarten werden durch Elektronen erzeugt.

Je nach der energetischen Stufe, zu der die Elektronen „reisen“, senden



Licht von glühendem Metall

die Atome Photonen aus, die rotes, oranges, gelbes, grünes, blaues, indigo-farbenes oder violettes Licht darstellen.

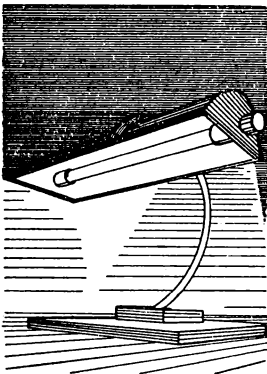
Jedes chemische Element bildet ein nur ihm eigenes Spektrum, sein „Porträt“, mit dessen Hilfe man das Element in den verschiedenen Verbindungen erkennen kann. Diese Eigenschaft ermöglicht es den Chemikern, mit Spezialgeräten, den Spektroskopen, chemische Analysen von verschiedenen Stoffen durchzuführen.

Die „Lichtboten“ von anderen Sternen erschienen früher wie eigenartige himmlische Hieroglyphen. Die Spektroskope ermöglichen es heute, sie zu dechiffrieren, und die Wissenschaftler können erkennen, aus welchen chemischen Elementen die untersuchten Sterne zusammengesetzt sind.

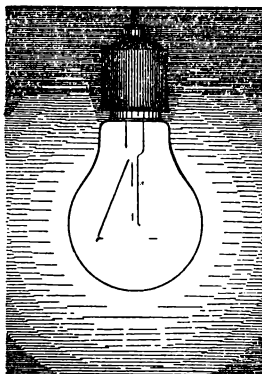
Die unterschiedlichen Stoffe absorbieren verschiedene Lichtwellenlängen und wandeln die Energie der Photonen in Wärme sowie elektrische, chemische und andere Energieformen um.

Ein Teil des Lichtes, das auf einen Stoff fällt, wird gewöhnlich reflektiert. Eine etwas intensivere Reflexion geht von den Grenzen zweier Medien aus (zum Beispiel Luft und Wasser) und von Inhomogenitäten im Medium selbst (zum Beispiel Rauch in der Luft).

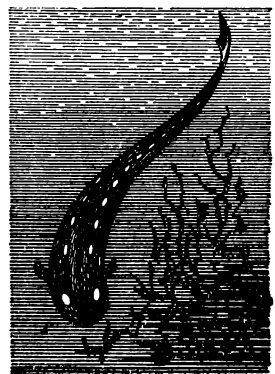
Wenn ein Körper, auf den Licht fällt, alle vorhandenen Strahlen des Lichtspektrums reflektiert, so empfinden wir ihn als weiß oder grau. Wenn er aber beispielsweise nur die Lichtenergie eines bestimmten Teiles des Spektrums reflektiert, sehen wir ihn in irgendeiner Farbe.



Gasentladungslampe



elektrisches Licht



„lebendes“ Licht

Abb. 7 Verschiedene Lichtquellen in Natur und Technik

Was ist Farbe?

Farbe an sich ist immer abhängig von materiellen Körpern. Es sind lediglich Farbempfindungen, hervorgerufen durch Lichtreize auf der Netzhaut des Auges und dem damit verbundenen Nervensystem. Die Wissenschaftler nehmen an, daß auf der Netzhaut 3 Arten von Nervenbündeln existieren, die Lichtstrahlen von bestimmten Wellenlängen aufnehmen.

Die Erregung der einen Nervenbündelart ruft die Empfindung „Rot“ hervor, die Erregung der anderen die Empfindung „Grün“ und die Erregung der dritten die Empfindung „Blau“. Die Erregung aller 3 Arten von Nervenbündeln ruft bei starkem Reiz die Empfindung für „Weiß“ hervor und bei schwachem Reiz für „Grau“. Daraus folgt, daß der Eindruck einer beliebigen Farbe und aller möglichen Nuancen aus der Mischung von 3 Grundfarben entsteht: aus Rot, Grün und Blau.

Betrachten wir das Bild eines Künstlers, so rufen die davon ausgehenden Lichtstrahlen mit verschiedenen Wellenlängen bei uns verschiedene Farbempfindungen hervor, und all das erweckt den Eindruck einer Farbensymphonie.

Die Sonne sendet unserem Planeten freigiebig Lichtstrahlen mit verschiedener Wellenlänge. Aber nur diejenigen, welche eine Wellenlänge von 380 nm¹ bis 760 nm haben, sind fähig, in unserem Sehgerät, dem Auge, die einen oder anderen Farbempfindungen hervorzurufen.

Der Hut des Fliegenpilzes enthält einen Stoff, der aus dem Sonnenlicht die Strahlen mit einer Wellenlänge von 647 nm bis 760 nm aussortieren kann. Der Pilzhut reflektiert diese Strahlen, sie wirken auf unser Auge und rufen eine rote Farbempfindung hervor.

Der Stoff in den Blütenblättern des Löwenzahns reflektiert die Strahlen mit einer Wellenlänge von 535 nm bis 586 nm, und unser Auge nimmt sie als gelbe Farbe wahr. Bestrahlt man jedoch die Blütenblätter mit einem Lichtbündel, das keine Strahlen dieser Wellenlänge enthält, so sieht der Löwenzahn schwarz aus.

Gras reflektiert Lichtstrahlen mit einer Wellenlänge von 492 nm bis 535 nm. Vergißmeinnicht reflektiert Strahlen von 456 nm bis 492 nm Wellenlänge. Wir empfinden sie als blau.

Die Blütenblätter der Kornblume verschlucken alle Strahlen mit Ausnahme derer, die eine Wellenlänge von 424 nm bis 456 nm haben. Diese Strahlen sehen wir als dunkles Blau.

¹ 1 Nanometer (nm) = $\frac{1}{1\,000\,000}$ mm. (Die Red.)

Die Birkenrinde reflektiert alle Strahlen des Spektrums. Ihre Summe wirkt durch das Auge auf das Nervensystem als weiße Farbe.

Ruß dagegen verschluckt fast alle Strahlen. Deshalb erscheint er uns schwarz wie alle Gegenstände während der Nacht.

Farbe ist also das Ergebnis einer teilweisen Absorption und Reflexion von Lichtstrahlen. Jeder Farbe entspricht eine Lichtstrahlung mit ganz bestimmter Wellenlänge.

Wir wissen jetzt, was Farbe ist und wollen uns wieder dem Atom zuwenden, das heißt der Wiege, in der das Photon erzeugt wird.

„Operationen“ an Molekülen

Die Menschen haben es gelernt, wie erfahrene Chirurgen, im Molekularorganismus komplizierte Operationen vorzunehmen. Dafür verwenden sie ein ungewöhnliches Instrument, das Photon.

In ihrer Instrumentensammlung gibt es infrarote, ultraviolette Photonen und Photonen des sichtbaren Lichts, die alle verschiedene Energie in sich bergen. Die Energie der Photonen von ultravioletten Strahlen ist derart gewaltig, daß sie Gasmoleküle in Atome „zerschneiden“ kann. Gewöhnlich beträgt die Energie eines Photons der ultravioletten Strahlen mehrere zehn Elektronenvolt, die Energie der sichtbaren Strahlen einige Elektronenvolt und die der infraroten weniger als ein Elektronenvolt.

Photonen, die von Elektronen der inneren Atomschichten erzeugt werden, haben eine Energie von 10000 bis 100000 Elektronenvolt. Das sind die Röntgenstrahlen.

Photonen aus den Atomkernen radioaktiver Elemente, die sogenannten Gammastrahlen, haben eine Energie von mehreren 100000 bis zu 20 Millionen Elektronenvolt.

Wissenschaftler haben auf künstlichem Wege Photonen mit einer Energie von Hunderten von Millionen und Milliarden Elektronenvolt gewonnen. Mit ihnen kann man den Atomkern beschießen.

Ein Molekül besitzt wie jeder materielle Körper eine Form und hat ein bestimmtes Ausmaß, da es aus materiellen Teilchen, den Atomen, zusammengesetzt ist. Es ist das kleinste Teilchen einer chemischen Verbindung, der Träger der Eigenschaften eines Stoffes.

Ein aufgenommenes Lichtquant erzeugt im Molekül chemische oder physikalische Veränderungen: Die Quantenenergie zerstört entweder die chemische Verbindung im Molekül, wodurch dieses in zwei Teile zerfällt, oder

sie fügt zu dem Molekül eines Stoffes das Molekül eines anderen hinzu. Diese Energie reicht auch aus, um eines der Atome innerhalb des Moleküls umzusetzen. Auf diese Weise geben einige blasser Farbstoffe unter Einwirkung von ultravioletten Strahlen zwei Wasserstoffatome an einen anderen Stoff ab und gewinnen an Farbe.

Im Gegensatz dazu lagert ein blauer Methylenfarbstoff unter Strahlenwirkung Wasserstoff von einem Stoff an, der leicht Atome abgibt, und die Farbe wird blasser, was mit dem Umbau seines Moleküls unter dem Einfluß der Photonenenergie zusammenhängt. Die Textilfachleute waren sehr beunruhigt, wenn die Stoffe verschossen, und sahen sich gezwungen, nach beständigen Farben zu suchen. Indem man das Wesen des Bleichprozesses erforschte, trug man wesentlich dazu bei, diese Aufgabe zu lösen. Außerdem wurden dadurch viele außerordentlich wichtige Entdeckungen für die photographische Technik möglich, die heute ausgenutzt werden. In einer Photoemulsion sind die Bromatome mit den Silberatomen chemisch gebunden, weil das einzige Elektron der äußeren Hülle des Silberatoms mit den 7 Elektronen des Bromatoms eine feste Bindung bildet. Diese Verbindung, das Bromsilber (AgBr), liegt in kristalliner Form vor.

Die auf die Photoplatte fallenden Photonen zwingen eines der Elektronen des Bromsilbermoleküls, nach der „Erregung“ zum Silberatom „zurückzukehren“, das sich dann in der Photoemulsion im freien Zustand befindet. Dieser Prozeß ruft die Schwärzung auf der photographischen Platte unter Lichteinfluß hervor.

Die Zahl der freien Silberatome ist direkt proportional zu der Menge der auf sie wirkenden Photonen. Je mehr Photonen auf einen bestimmten Punkt der Emulsion fallen, desto mehr freie Silberatome entstehen und umgekehrt. Auf diese Weise gewinnt man auf der Platte originalgetreue Bilder.

Eine gewöhnliche Photoemulsion nimmt im Gegensatz zum Auge schon kleinste Lichtmengen auf. Sie ist aber fast nicht empfindlich für Strahlen mit einer Wellenlänge von 500 bis 760 nm. Darum können die Photographen beim Entwickeln der Aufnahmen bei rotem Licht arbeiten. Die Emulsion ist wenig empfindlich für grünes Licht und fast ganz unempfindlich für gelbes, orangefarbenes und rotes Licht. Bei dieser „Farbenblindheit“ ergeben sich deshalb keine vollwertigen Aufnahmen.

Man muß „Glück im Unglück“ haben, sagt ein Sprichwort. Die Zyanfarbstoffe, die die Textilfachleute als untauglich ablehnten, weil sie auf den Geweben ausbleichen, bildeten die Grundlage zur Verbesserung der Photoemulsionen.

Farbstoffmoleküle

Die Leichtigkeit, mit der die Moleküle der Zyanfarbstoffe ein Photon aufnehmen und dann erneut als Strahlung abgeben, ebnete ihnen den Weg zur Photographie.

In der Photoemulsion scheidet das Bromsilber nur unter Einwirkung kurzwelliger Strahlen Silberatome aus, das heißt unter Einwirkung von indigofarbenem, blauem und violetterm Licht. Grünes, gelbes, orangefarbenes und rotes Licht wirkt auf Bromsilber nicht.

Setzt man der Photoemulsion aber Zyanfarbstoffe zu, das heißt Sensibilisatoren¹, so wird sie auch farbempfindlich für Grün, Gelb, Orange und Rot. Einer dieser Farbstoffe ist Pseudozjanin; es sieht orange aus und macht die Photoemulsion für Grün und teilweise für Gelb empfindlicher. Die Photoplatte ist damit orthochromatisch, das heißt, sie „gibt die Farben richtig wieder“. Die Bezeichnung entspricht aber nicht der Wirklichkeit, weil auf der Aufnahme nur das Grün der Pflanzen richtig wiedergegeben ist, aber nicht alle Farben. Außerdem eignen sich orthochromatische Platten ganz und gar nicht für Porträtaufnahmen, da hier die Emulsion für Orange und Rot empfindlich sein muß.

Die Mängel der orthochromatischen Platten beseitigten die Chemiker durch die Beimischung eines blauen Farbstoffes, des Pinazyanol. Photoplatte, in deren Emulsion Farbstoffsensibilisatoren enthalten sind, die die Empfindlichkeit für Grün, Gelb und Rot erhöhen, heißen panchromatisch und geben alle Farben richtig wieder.

Sowjetische Wissenschaftler leisteten gewaltige Arbeit, um Farbstoffsensibilisatoren synthetisch zu erzeugen. Immer mehr neue Moleküle werden im Laboratorium erzeugt. Mit den Sensibilisatoren wird Photomaterial für Chemiker, Physiker, Astronomen und Röntgenologen hergestellt.

Die Photoplatte für Röntgenzwecke müssen gegen den sichtbaren Teil des Spektrums unempfindlich sein, aber auf Röntgenstrahlen reagieren. Das wird erreicht, indem ein solcher Farbstoff zugefügt wird, der die Emulsion färbt und damit ein Filter herstellt, das keine Lichtstrahlen, sondern nur die Röntgenstrahlen durchläßt. Früher war es nicht möglich, weit entfernte Gegenstände aufzunehmen; denn die in der Luft vorhandenen kleinsten Staubkörnerchen, Gasmoleküle und Wasserpartikelchen, die die Ferne in einen bläulichen Schleier hüllten, störten die Streuung der Lichtstrahlen.

¹ Sensibilisatoren sind organische Farbstoffe, die man photographischen Materialien beifügt, um ihre Lichtempfindlichkeit zu vergrößern. (Anm. des Verf.)

Aber die Lichtstreuung durch die Stoffpartikelchen hängt auch von der Wellenlänge des Lichtes ab. Violette Strahlen haben eine 16mal größere Streuung als rote. Deshalb wird man in solchen Fällen der Photoemulsion Farbstoffsensibilisatoren beifügen, die sie für rote Lichtstrahlen empfindlich macht. Damit kann man ziemlich scharfe Aufnahmen von über 100 km entfernten Gegenständen erhalten. Für infrarote Strahlen empfindliche Platten sind besonders für Aufnahmen von „Objekten“ des Weltalls gut geeignet; so zum Beispiel der Milchstraßen, die auch im schärfsten Teleskop nicht sichtbar sind. Erst die Farbstoffsensibilisatoren bestätigten ihre Existenz, bannten sie auf die Photoplatte, da die Nebelflecke infrarote Strahlen aussenden.

Noch vor kurzem nahm man an, daß zum Photographieren unbedingt Lichtstrahlen vorhanden sein müssen – natürliche oder künstliche. Aufnahmen im Dunkeln konnte man sich nicht vorstellen.

Die Wissenschaft beseitigte auch dieses Hindernis. Es existiert nämlich nur für das menschliche Auge, das infrarote Strahlen nicht wahrnimmt. Man kann nunmehr auch die unsichtbaren Strahlen für die Photographie verwenden.

Nachdem die Photoplatte mit dem entsprechenden Farbstoffsensibilisator behandelt worden ist, gestattet sie auch Aufnahmen im Dunkeln, wobei das Aufnahmeobjekt mit infraroten Strahlen beleuchtet werden muß.

Neben den Sensibilisatoren werden in der Photographie auch manchmal Farbstoffe verwendet, die die Lichtempfindlichkeit der Photoemulsion herabmindern – das sind Desensibilisatoren. Sie wurden ebenfalls von Chemikern entwickelt.

Das Entwickeln der Photoplatten ist oft etwas umständlich. Während die orthochromatischen Platten mit rotem Licht beleuchtet werden können, vertragen die panchromatischen absolut kein Licht.

Die Chemiker stellten deshalb Photomaterialien her, mit denen Positive und Negative bei Licht entwickelt werden können. Durch einen Zusatz von Spezialfarbstoff-Desensibilisatoren wird die Lichtempfindlichkeit der Photoemulsion für die einzelnen Teile des Spektrums vermindert. Platten und Filme, die mit diesem Stoff behandelt wurden, können bei rotem und gelbem Licht entwickelt werden.

Leuchtende Moleküle

Täglich, wenn die Sonne hinter dem Horizont verschwindet, schalten wir das elektrische Licht ein, und die Elektronen zwingen den Wolframfaden, uns das Tageslicht zu ersetzen. Dabei verwandelt sich jedoch nur weniger als 1 Prozent der Energie, die im Kraftwerk aus dem Brennstoff entsteht, in Lichtenergie. Mit anderen Worten: Wir bezahlen die Elektroenergie nach dem Zählerstand und bekommen von jeder Mark nur für einen Pfennig Energie. Die übrigen 99 Pfennige werden für alle möglichen Verluste gezahlt. Eine solche Vergeudung bei elektrischer Beleuchtung ist zum Teil eine Folge davon, daß chemische Energie erst in Wärmeenergie, danach in mechanische, elektrische und zuletzt in Lichtenergie umgewandelt werden muß. Auch von den Glühlampen erhalten wir nicht alle abgegebene Energie als Licht. Fast 97 Prozent gehen in Form von Wärme verloren und nur ungefähr 3 Prozent werden als Licht ausgenutzt. So unvollkommen sind die Glühlampen noch.

Man kann sagen, daß wir wegen der unökonomischen Lampen noch nicht einmal für einen Pfennig Licht bekommen, sondern nur für 0,03 Pfennige.

Solch eine Glühlampe müßte richtiger als Wärmegerät bezeichnet werden und nicht als Leuchtkörper.

Ökonomischer wird eine Lampe, wenn wir den elektrischen Strom nicht durch Metall, sondern durch Gas leiten. Die in dem Gas rotierenden Elektronen werden angeregt und die Atome ionisiert. Das ionisierte Gas, das heißt der Elektrizitätsleiter und die „erregten“ Atome, sind die Lichtquelle. In Gasentladungslampen werden bis zu 70 Prozent der von ihnen gebrauchten Energie in Licht umgewandelt.

Sowjetische Gelehrte entdeckten unter der Leitung des Akademiestandes S. J. Wawilow eine noch wirtschaftlichere Lichtquelle: chemische Verbindungen, die im Dunkeln leuchten.

Worin liegt das Geheimnis einer solchen Erscheinung?

Um diese Frage zu beantworten, muß man etwas abschweifen. Ein gewöhnliches Molekül nimmt etwa eine Fläche von 10^{-14} Quadratcentimetern¹ ein, und es ist für die auffallenden Lichtstrahlen nicht völlig durchlässig. Es ist anzunehmen, daß der undurchlässige Teil des Moleküls 100mal kleiner ist als seine gesamte Fläche. Wenn nun ein Quant auf diesen undurchlässigen Teil trifft, wird es verschluckt, und ein Elektron wird auf Kosten der verschluckten Energie auf eine höhere energetische Stufe

¹ $10^{-14} = \frac{1}{100\,000\,000\,000\,000}$. (Die Red.)

gehoben. Bei seiner Rückkehr zur niederen Stufe sendet es ein Photon des sichtbaren Lichtes aus.

Diese Erscheinung nennt man Lumineszenz (von dem lateinischen Wort *lumen* – das Licht). Dabei ist die Energie des Photons des ausgestrahlten Lichtes gewöhnlich geringer als die Energie, die von dem Molekül des lumineszierenden Stoffes verschluckt wurde. Diese Besonderheit eröffnet interessante Möglichkeiten. Wirken zum Beispiel auf einen Lumineszenzstoff ultraviolette Strahlen, so kann man sichtbares Licht erhalten; erregt man aber einen anderen mit blauem Licht, so ist die Lumineszenz grün.

Man unterscheidet bei dem Leuchten verschiedener Stoffe unter Lichtwirkung (Lumineszenz) Fluoreszenz und Phosphoreszenz. Wenn die Lumineszenz sofort oder innerhalb von 10^{-3} s¹ nach der Einwirkung der erregenden Lichtquelle beendet ist, so ist das Fluoreszenz. Von Phosphoreszenz spricht man, wenn das Leuchten länger als 10^{-3} s andauert.

Ein andauerndes Leuchten verschiedener Stoffe nach Bestrahlung ist in der Wissenschaft als Nachleuchten bekannt. Einige kristalline Stoffe vermögen das Nachleuchten einige Stunden zu erhalten. Man nennt sie Kristallphosphore oder Luminophore. Zinksulfid mit einer winzigen Beigabe von Kupfer strahlt blaugrünes Licht aus, wenn es von hellem Sonnenlicht beleuchtet und danach ins Dunkle gebracht wird.

Wenn dem Schwefelzink ein kleines Quantum eines radioaktiven Stoffes, der Partikelchen aussendet, beigegeben wird, so ruft der ununterbrochene Beschuß der Luminophoren mit diesen Partikelchen ein Leuchten hervor. Schwefelkalzium vermag ebenfalls Sonnenenergie zu speichern und sie dann als Photon wieder abzugeben. Die Kristallphosphore sind eigenartige Akkumulatoren für Sonnenenergie. Ihre Leuchtfarbe hängt von dem Metall ab, das dem Grundstoff beigemischt wurde, und von der Vorbereitungsart der Luminophore. Bei Schwefelzink zum Beispiel wechseln die Leuchtfarben von Rot bis Blau.

Lumineszenz wird nicht nur durch Strahlungsenergie erzeugt. Sie tritt auch bei mechanischer Energie auf. Zucker leuchtet, wenn man ihn spaltet. Im Dunkeln ist das gut sichtbar.

Wenn man auf einen Amboß einige Kristalle von Uranylнитrat legt und mit einem Hammer darauf schlägt, leuchtet es angenehm grün. Lumineszenz, hervorgerufen durch Schlag oder Reibung, heißt Tribollumineszenz.

Einige Körper leuchten unter Einwirkung von Röntgenstrahlen (Röntgenlumineszenz).

¹ 10^{-3} s = $\frac{1}{1000}$ Sekunde. (Die Red.)

Der Bildschirm eines Fernsehgerätes leuchtet, weil elektrisch geladene Teilchen, die Elektronen, darauf fallen. Das ist die sogenannte Katodolumineszenz. Ohne sie wären Fernsehen und Funkmeßtechnik undenkbar.

Lumineszenz in Technik und Alltag

In der Röhre eines Fernsehgerätes bewegt sich der Elektronenstrom zum lumineszierenden Bildschirm. Die ankommenden Signale steuern die Intensität des Elektronenstroms, wenn er über den Bildschirm läuft, was seinerseits auf die Stärke der Leuchtkraft der Luminophoren wirkt. Das Ergebnis sind helle und dunkle Flecke, die das Bild ergeben.

In der Funkmeßtechnik zeichnet der Elektronenstrom eine leuchtende Kurve auf dem Lumineszenzschirm. Das ankommende Signal wird auf der Kurve in Form einer Spitze registriert.

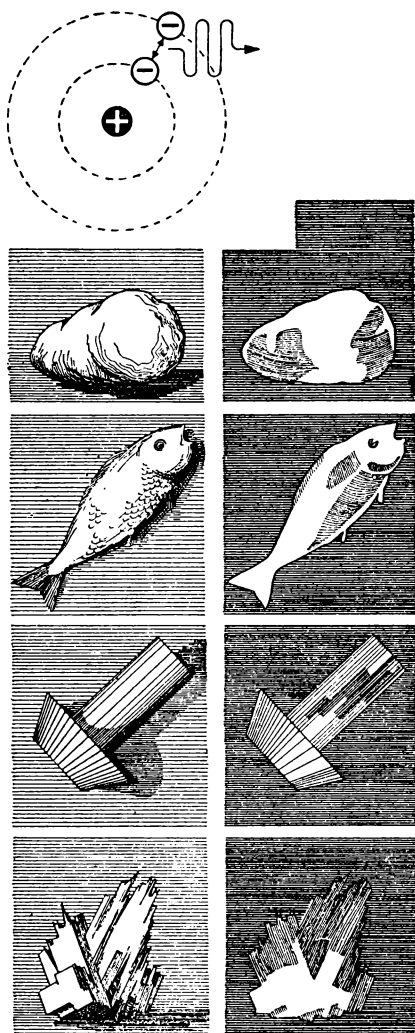
Wenn das Bild auf dem Bildschirm festgehalten werden muß, verwendet man Spezialluminophoren, die ein starkes Nachleuchten garantieren.

Die Katodolumineszenz gestattete es den Gelehrten, das Sehen im Dunkeln zu ermöglichen. Das gelang mit Hilfe eines elektronenoptischen Bildwandlers, der die Gestalt einer Glasröhre mit doppeltem Boden hatte. Aus dem Raum zwischen den beiden Böden wurde Luft herausgepumpt. Auf der inneren Oberfläche des einen Bodens wurde eine dünne Schicht aus Zäsiumverbindungen (Photokatode) aufgetragen und auf der inneren Oberfläche des anderen Bodens eine dünne Schicht des Luminophors. Wenn auf die äußere Oberfläche der Photokatode infrarote Strahlen gerichtet werden, so dringen sie durch das Glas und „reißen“ Elektronen aus dem Zäsium. Die Elektronen wiederum werden durch die Elektronenoptik¹ auf den lumineszierenden Schirm gelenkt und bringen diesen zum Leuchten.

So werden unsichtbare Strahlen in sichtbare verwandelt, und das Bild irgendeines Gegenstandes „wandert“ von der Photokatode auf den Bildschirm.

Die Anwendung der Lumineszenz ist außerordentlich vielseitig. Jeder lumineszierende Stoff hat sein eigenes Strahlenspektrum und seine eigene Leuchtdauer. Diese Besonderheit liegt der sogenannten Lumineszenzanalyse zugrunde.

¹ Elektrische oder magnetische Felder, die zur Ablenkung der Elektronenstrahlen dienen, zu vergleichen mit Linsen und Spiegeln¹ zur Ablenkung der Lichtstrahlen. Siehe auch Seite 75. (Die Red.)



bei Tageslicht

bei ultravioletter Beleuchtung

Abb. 8 Lumineszenzanalyse

Bestrahlt man einen Stoff mit Lumineszenz erzeugenden Strahlen, so kann man Spuren anderer Metalle darin entdecken, die den hundert-millionsten Teil eines Gramms ausmachen. Bei dieser Analyse braucht man den Stoff nicht zu verändern wie bei chemischen Analysen.

Im Sonnenlicht sehen viele Stoffe ganz normal aus; werden sie aber mit ultravioletten Strahlen beleuchtet, kann man an Hand der Lumineszenz irgendwelche Schäden feststellen. Auf diese Weise ist es möglich, eine kranke Kartoffel auszusortieren, einen frischen Fisch von einem lang gelagerten zu unterscheiden, Risse in Maschinenteilen festzustellen und Uranerze zu erkennen.

Die Ingenieure wenden die Lumineszenzanalyse bei der Prüfung von Metallteilen an. Sie tragen auf das Metallteil eine dünne Schicht des Lumineszenzstoffes auf. Wird der Körper nach dem Entfernen dieser Schicht mit ultravioletten Strahlen beleuchtet, so sind viele Defekte genau sichtbar.

Die Chemiker kontrollieren mit der Lumineszenzanalyse die Eigenschaft der Reagenzstoffe, und die Geologen verwenden sie zur Bestimmung der Erzzusammensetzungen. Die Mediziner stellen durch die Lumineszenzanalyse die Reinheit der Arzneien fest

und prüfen die Nahrungsmittel auf ihre Empfindlichkeit für Bakterien. Archäologen, Mechaniker und Fachleute anderer Fachgebiete der Wissenschaft und Technik wenden diese neue Methode ebenfalls bei ihrer Arbeit an.

Wissenschaftler entdeckten auch Herstellungsarten für Spezialfarben, die in verschiedenen Farbtönen lumineszieren. Sowjetische Künstler haben sie sofort in dekorativen Gemälden ausprobiert. Sie schufen im Dunkeln leuchtende Theaterdekorationen und Bilder. Werden diese Farben auf das Gesicht des Schauspielers als eine Art Maske aufgetragen, erhöhen sie die szenische Wirkung beim Zuschauer.

Es gibt Farben, die bei gewöhnlicher Beleuchtung unsichtbar sind und unter Einwirkung ultravioletter Strahlen ungewöhnliche Farbschattierungen aufweisen. Im Theater gestatten sie auf der Bühne augenblickliche zauberhafte Verwandlungen. So kann man während der Aufführungen von Volksmärchen einen dichten Wald vor den Augen der Zuschauer in ein Meer mit vielen bunten Fischen und Pflanzen und mit Schiffen auf dem Wasser verwandeln.

Durch Lumineszenz kann eine beliebige Energieform, zum Beispiel mechanische, elektrische, chemische und sogar Strahlenenergie, in Licht umgewandelt werden, wobei die Wärmestufe übersprungen wird. So ist es möglich, das unökonomische elektrische Licht durch Lumineszenzlicht zu ersetzen.

Berechnungen haben ergeben, daß jede 100 Watt-Lampe für Lumineszenzlicht in ihrem „Leben“ dreimal weniger Energie verbraucht als eine Glühlampe und dadurch ungefähr 2000 kWh Energie spart. Im gesamten Sowjetland werden jährlich etwa 15 Milliarden kWh elektrischer Energie für Beleuchtung verbraucht. Bei den neuen Lampen würde der Staat jährlich fast 10 Milliarden kWh Energie einsparen.

Sowjetische Wissenschaftler entwickelten ständig leuchtende Substanzen. Die Rolle der Photonen übernehmen dabei die Strahlen radioaktiver Stoffe, die in geringen Mengen zugefügt wurden. Bestreicht man mit dieser Substanz die Decke des Zimmers, kann man einen neuen Lampentyp herstellen, der weder Akkumulatoren noch irgendeine andere Elektroenergiequelle benötigt. Die Leuchtkraft währt Jahrzehnte und wird durch die Zerfallszeit des radioaktiven Stoffes bestimmt. Mit dem Auftreten der Lumineszenzlampen verliert auch der Begriff „Lampe“ seine Bedeutung, denn er hat etwas Vergängliches an sich. Es entsteht ein fortdauernder, „ewig“ wirkender Leuchtkörper.

Märchenhaft schön wirkt das nächtliche Leuchten des Meeres von Bord eines Schiffes. Nur der Bug berührt das Wasser, und gleichsam aus geheimnisvollen Tiefen fließt es wie geschmolzenes Silber zur Oberfläche. Hinter dem Heck breitet sich ein gewaltiger feuriger Teppich aus.

Dieses feenhafte Bild wird von mikroskopisch kleinen lebendigen Fünkchen, den sogenannten „Nachtlaternchen“, hervorgerufen. Das Meer ist reich an Leuchttieren. Einige davon glühen wie Smaragde, andere wieder schillern wie Amethyste. Auf dem Meeresboden leuchten die Korallenzweige bald violett, bald rot oder orange. Wie schillernde, angezündete Kronleuchter schweben die Medusen im Wasser. Mit „brennenden Laternchen“ schießen Fische durch die Meerestiefen.

Aber nicht nur das Meer beherbergt in der Dunkelheit leuchtende Lebewesen. Auch auf dem Lande kann man sie finden, natürlich in geringerem Maße. Es sind die mikroskopisch kleinen Körperchen, von denen Baumstümpfe, Pilze und die Johanniswürmchen besiedelt werden.

Die Wissenschaftler interessieren sich schon lange für den Stoff, der das Licht in den Organen der leuchtenden Tiere aussendet. In den „Laternchen“ der Johanniswürmchen entdeckte man zwei Stoffe, Luziferin und Luziferase. Für sich allein sendet keiner von ihnen sichtbare Strahlen aus, aber bei ihrer Vereinigung leuchten sie.

Luziferin und Luziferase sind äußerst komplizierte Eiweißverbindungen. Luziferin kann durch den Sauerstoff der Luft oxydieren, und es entsteht Oxylyziferin. Bei der Oxydation wird ein Energiequant abgegeben, das die Luziferase verschluckt und dafür ein Photon des sichtbaren Lichtes abgibt. Die Luziferase spielt in dem Oxydationsprozeß die Rolle eines biologischen Katalysators, eines Fermentes.

Berechnungen ergaben, daß die chemische Energie, die das „lebendige“ Licht erzeugt, vom Organismus des leuchtenden Tieres äußerst sparsam ausgenutzt wird. Ungefähr die Hälfte der Oxydationsenergie verwandelt sich in Lichtenergie, die übrige wird als Wärme verbraucht. Das übersteigt die Wirtschaftlichkeit aller vom Menschen verwendeten Lichtquellen um ein Vielfaches.

Warum haben die Menschen chemische Reaktionen für die Beleuchtung bis heute noch nicht verwendet? Nur deshalb, weil Luziferin und Luziferase aus sehr komplizierten Molekülen bestehen, die etwa 100000 Atome enthalten. Es gelang noch nicht, sie synthetisch herzustellen.

Doch den Chemikern sind andere Reaktionen bekannt, bei denen auf Kosten

der chemischen Energie Licht gewonnen werden kann. Azetylen ergibt mit Chlor eine helle Flamme, die eine Temperatur bis 80 °C aufweist. Bei der Oxydation einer alkalischen Pyrogallol- oder Formalinlösung durch Wasserstoffsuperoxyd entsteht ein kurzes, nur einige Minuten andauerndes Leuchten. Bei diesen Reaktionen verwandelt sich aber lediglich ein geringer Teil der chemischen Energie in Licht.

Kürzlich wurden weitaus ergebnisreichere Reaktionen durchgeführt, die ein Leuchten hervorbringen.

Die Oxydation einer alkalischen Triaminophthaleinhydroxydlösung durch Wasserstoffsuperoxyd ergibt ein bemerkenswert schönes hellblaues Licht, das einige Stunden, ja sogar Tage anhält. Aus der Oxydation von Dimethyldiakrydil durch Wasserstoffsuperoxyd ergibt sich nach einigen Stunden ein schönes grünes Leuchten.

Die ersten Schritte auf dem Wege zur Beherrschung des „lebendigen“ Lichtes sind also getan.

Nicht mehr lange wird es dauern und diese Prozesse verlassen die chemischen Labors, werden von den Technikern verwirklicht, und die Bewohner des gesamten Sowjetlandes haben chemische Beleuchtung.

Bis jetzt sprachen wir davon, wie sich die Elektronen in ihrem „kleinen Haus“, dem Atom, bewegen. Aber was entsteht, wenn diese unruhigen „Bewohner“ plötzlich das Atom verlassen?

Das gesteuerte Elektron

„Wandernde“ Elektronen

Bei der Vereinigung von Atomen zu Molekülen treten in den neugebildeten Teilchen der Magnetismus und die Fähigkeit zu weiteren chemischen Umwandlungen schwächer in Erscheinung. In den Molekülen ist die Bindung der Elektronen an die Atomkerne fester als in den einzelnen Atomen. Wenn aus solchen Molekülen ein kristalliner Körper entsteht, so erhält dieser im allgemeinen die deutlich ausgeprägten Eigenschaften eines Isolators, das heißt eines keine elektrische Energie leitenden Stoffes.

Etwas anderes ist bei Kristallen zu beobachten, die nicht aus Molekülen, sondern Atomen bestehen. Bei der Abkühlung von flüssigem Metall nähern sich die Atome infolge der abnehmenden Wärmebewegung einander. Zwischen den Atomen tritt eine verstärkte Anziehungskraft auf. Da jedoch diese Kräfte bei gleichartigen Atomen gleich sind, bildet sich bei der Vereinigung ein regelmäßiges Kristallgitter. In ihm haben sich die Atome einander so stark genähert, daß ihre äußeren Elektronen die Verbindung zu den Kernen der eigenen Atome verlieren, in den Bereich irgendeines anderen Kernes gelangen und sich somit frei im Metall bewegen können.

Diese Struktur der meisten Metalle ist unabhängig davon, wieviel Elektronen sich aus der äußeren Hülle der Atome zur Reise in den zwischenatomaren Raum befreien.

Im Kristall der Metalle sind die Atome in der Form eines räumlichen Gitters angeordnet. Wissenschaftler vermuteten, daß sich die freien Elektronen zwischen den Atomen ähnlich einer Flüssigkeit bewegen, nur mit dem Unterschied, daß diese „Elektronenflüssigkeit“ kein Gefäß, sondern ein Kristallgitter füllt. Diese Vermutung ist einleuchtend. Doch wie kann man sie praktisch nachprüfen? Folgender Versuch wurde zur Bestätigung herangezogen.

Gießt man in ein an einem Faden hängendes Gefäß Wasser, versetzt das Glas mit seinem Inhalt in Rotation und bringt es dann plötzlich zum

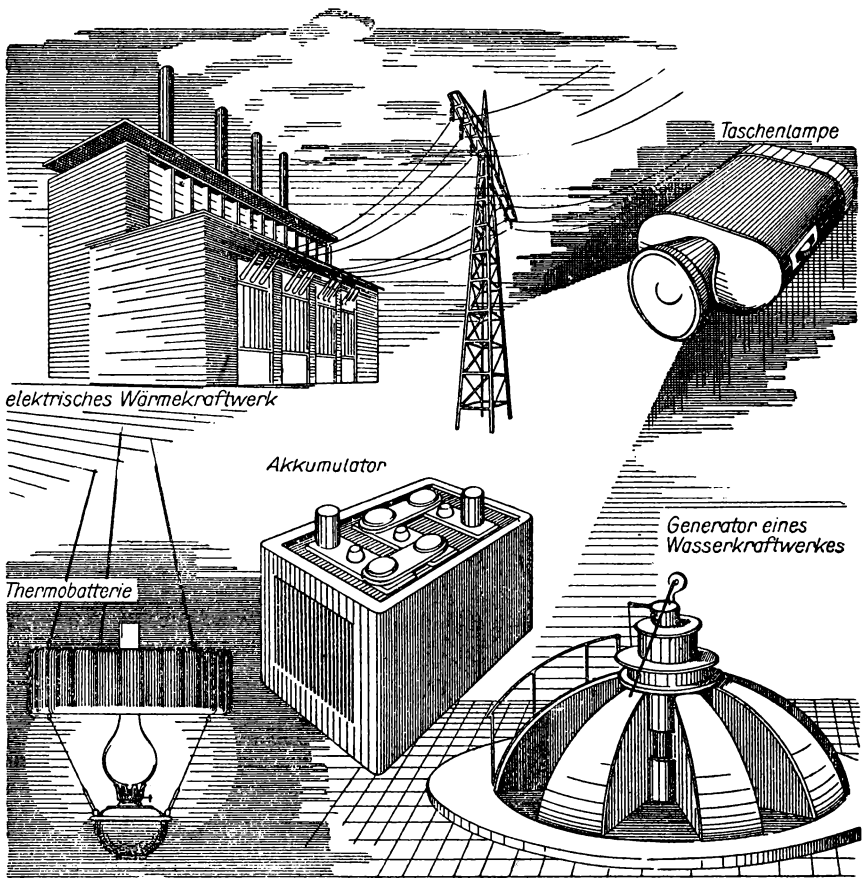


Abb. 9 Verschiedenartige Quellen elektrischer Energie

Stillstand, so setzt das Wasser infolge des Beharrungsvermögens seine Kreistbewegung fort.

Es war nun zu erwarten, daß sich die freien Elektronen, wenn sie sich tatsächlich in der Art des Wassers zwischen den Atomen bewegen, analog verhalten.

Man verwandte dazu einen Metallring, den man im Uhrzeigersinn in eine rasche Umdrehung versetzte. Eine in der Nähe des Ringes befindliche Magnetnadel reagierte auf diesen Vorgang in keiner Weise. Ihr Verhalten veränderte sich jedoch augenblicklich, als die Umdrehung unterbrochen

wurde. Ihr Südpol wies augenblicklich in Richtung des Ringes und zeigte damit an, daß in diesem ein elektrischer Strom floß. Das bedeutet, daß die freien Elektronen infolge des Beharrungsvermögens ihre Bewegung fortsetzten; denn der elektrische Strom ist nichts anderes als die gerichtete Bewegung von Elektronen in einem Leiter. Um eine solche Bewegung aufrechtzuerhalten, ist eine Kraft nötig, die ununterbrochen die Wanderung der Elektronen in einem geschlossenen Stromkreis hervorruft. Eine solche Kraft wird erzeugt durch die elektrische Spannung, die in einer Batterie aus chemischer Energie oder in einem Generator aus mechanischer Energie gewonnen wird.

Die Erfindung der Generatoren brachte die Möglichkeit mit sich, die mechanische Energie des Wassers, des Windes oder des Dampfes in elektrische umzuwandeln und sie Hunderte von Kilometern vom Ort ihrer Gewinnung entfernt für die Verrichtung der verschiedensten Arbeiten auszunutzen.

In den elektrischen Überlandleitungen fließen gewaltige Elektronenströme. Diese vermitteln die Energie, die den Städten und Dörfern Licht und Wärme bringt, Elektrozüge in Bewegung setzt und in den Fabriken und Werken Werkbänke und andere Maschinen treibt.

Die Elektrizität hilft uns bei der Verrichtung mühevoller Arbeiten und erleichtert unser Leben.

Wir drücken leicht auf einen Knopf, und schon setzt sich die elektrische Klingel in Betrieb; eine Umdrehung des Schalters, und die im Zimmer herrschende Dunkelheit verwandelt sich in helles Licht. Elektrizität kocht Wasser, erwärmt das Bügeleisen, kurz – vollbringt alles das, was vorher das Feuer getan hat.

Die Elektronen und die Eigenschaften der Metalle

Die freien Elektronen sind für viele Eigenschaften der Metalle bestimmend. Metall ist geschmeidig, wenn genügend Elektronen zur Verbindung mit Ionen vorhanden sind. Gibt es von den freien Elektronen nur wenige, so wird das Metall spröde.

Durch die freien Elektronen kommt die gute Wärmeleitfähigkeit der Metalle zustande.

Man berühre zwei Gegenstände, wovon einer aus Holz und der andere aus Metall besteht, mit der Hand, um festzustellen, welcher kälter ist. Bei der Berührung erscheint der metallene Gegenstand kälter, obgleich beide

Gegenstände die gleiche Temperatur besitzen. Das erklärt sich daraus, daß die Wärme der Hand bei der Berührung des Metalls von den freien Elektronen sehr schnell in das Innere des Metalls geführt wird. Es gelingt dem Blut nicht, den Wärmeverlust auszugleichen, und man gewinnt den Eindruck, als sei die Oberfläche des Metallgegenstandes kälter. Im Holz sind fast gar keine freien Elektronen vorhanden, und deshalb vollzieht sich hier die Wärmeabführung nicht so rasch wie beim Metall.

Da die sich frei bewegenden Elektronen Träger einer elektrischen Ladung sind, wird die elektrische Leitfähigkeit bei lockerer Verbindung der Elektronen mit Ionen gesteigert.

Die Fähigkeit, elektrischen Strom zu leiten, kann auch einigen nicht-metallischen Körpern verliehen werden, indem man sie einem hohen Druck aussetzt. Unter einem Druck von 40000 Atmosphären leitet auch Phosphor elektrischen Strom. Von wissenschaftlicher Seite wird angenommen, daß sich die Elektronen der äußeren Schichten hier unter solchen Bedingungen ebenso verhalten wie im Metall. Bei einer Verminderung des Druckes gewinnt der Phosphor seine normalen Eigenschaften zurück; die Elektronen nehmen wieder ihren alten Platz ein.

Den elektrischen Widerstand kann man sich als „Reibung“ der Elektronen bei ihrer Bewegung zwischen den Atomen des Kristallgitters vorstellen. Diese Eigenschaft der Metalle lernte der Mensch auszunutzen.

Die Wärme des elektrischen Teekessels, des Bügeleisens, der Kochplatte und anderer Wärmegeräte ist das Ergebnis solcher „Reibung“ der sich bewegenden Elektronen an dem starren „Skelett“ des Kristallgitters. Die dabei an die Atome übertragene Energie der Elektronen erzeugt bei den Atomen eine Wärmebewegung, auf die die hohe Glühhitze in den Widerstandsdrähten aller möglichen elektrischen Geräte und des Wolframfadens in der Glühbirne zurückzuführen ist.

Die Atome im Kristallgitter befinden sich in ständiger Schwingung. Ihre Intensität ist von der Temperatur und der Verbindung der Atome im Kristallgitter abhängig.

Im Metall setzen die schwingenden Atome der Bewegung der Elektronen einen Widerstand entgegen, der mit steigender Temperatur wächst. Bei der Erforschung der Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von der Art des Kristallgitters gelangte man zu der Überzeugung, daß es möglich sein muß, Legierungen zu schaffen, die einen temperaturunabhängigen elektrischen Widerstand haben. So wurden Legierungen gewonnen, deren Widerstand sich in einem großen Temperaturbereich kaum ändert.

Ist es aber nun möglich, einen Leiter zu schaffen, der überhaupt keinen

Widerstand aufweist? Die Antwort von seiten der Tieftemperatur-Forscher ist bejahend.

Die Wärmebewegung der Atome im Kristallgitter verringert sich bei Temperaturen in der Nähe des absoluten Nullpunktes derart, daß die freien Elektronen in solchen Metallen wie Eisen, Blei, Quecksilber, Aluminium, Zink und anderen praktisch ohne Widerstand im Leiter fließen können.

Im Isolator dagegen gibt es entweder gar keine oder nur sehr wenige freie Elektronen; infolgedessen besitzt ein Isolator praktisch keine elektrische Leitfähigkeit. Halbleiter weisen mehr freie Elektronen auf; dadurch können sie elektrischen Strom leiten. Dieser Strom ist allerdings schwächer als der in einem Leiter. In einem Supraleiter sind die Atomschwingungen im Kristallgitter so gering, daß die Elektronen bei ihrer Bewegung auf keinen Widerstand stoßen.

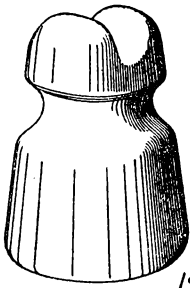
Kraftfelder

Die freien Elektronen im Metall besitzen eine gewisse Bewegungsenergie, die jedoch bei weitem nicht ausreicht, die Elektronen bei gewöhnlicher Zimmertemperatur vom Kristallgitter loszureißen. Sobald aber die Temperatur ansteigt, tritt eine grundlegende Veränderung ein. Durch die Erhöhung ihrer Energie können jetzt die freien Elektronen von der Metalloberfläche „verdampfen“, etwa so, wie es bei Wassermolekülen der Fall ist, wenn sie erwärmt werden.

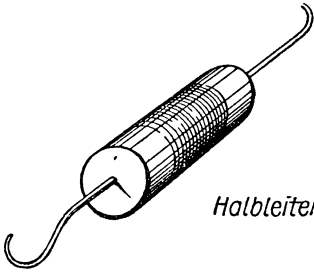
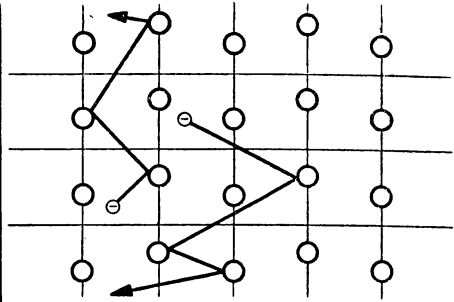
Zur Verwirklichung unserer Absicht, die Elektronen in den verschiedensten Elektrogeräten arbeiten zu lassen, genügt es aber bei weitem nicht, sie lediglich vom Kristallgitter frei zu machen. Die wichtigste Aufgabe dabei ist vielmehr die Steuerung ihrer Bewegung.

Darin liegt eine der bedeutendsten Errungenschaften der heutigen Technik. In unserer Zeit kann man kaum noch alle die Maschinen und Geräte aufzählen, bei denen freie, das heißt nicht an Atome gebundene Elektronen gewaltige Arbeiten für uns vollbringen. Diese Elektronen werden durch Kraftfelder gesteuert.

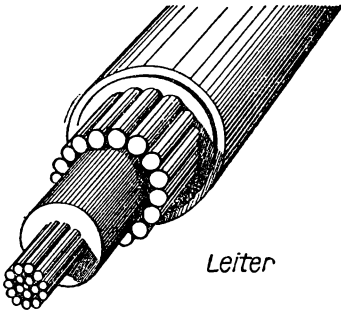
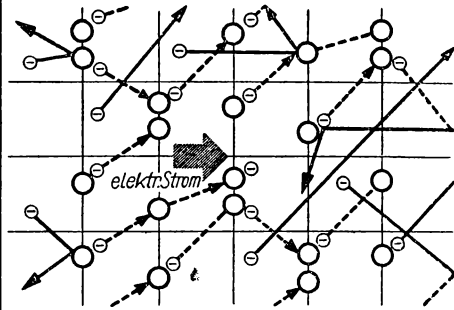
Abb. 10 Elektrische Leitfähigkeit verschiedener Stoffe



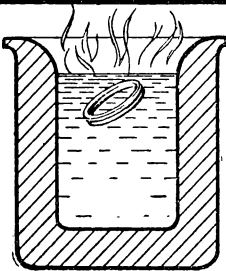
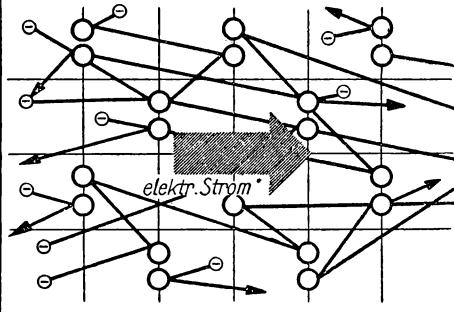
Isolator



Halbleiter

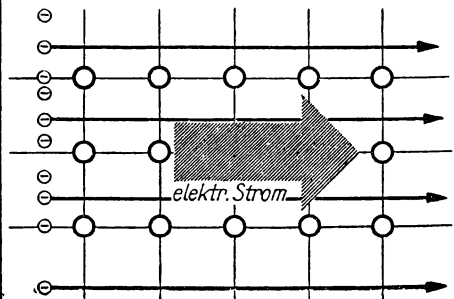


Leiter



-270°

Supraleiter



Alle Körper im Weltall befinden sich in ständiger Bewegung und wirken mit Hilfe der sie umgebenden Kraftfelder gegenseitig aufeinander ein.

Das positiv geladene Proton besitzt ein elektrisches Feld, das die negativ geladenen Elektronen anziehen vermag. Die Ladung des Elektrons bildet wiederum ein Kraftfeld, das die Protonen bindet. Die Kräfte dieser Felder führen zu einer qualitativ neuen Erscheinung, der Entstehung des elektrisch neutralen Atoms.

Um die sich bewegenden Ladungen entsteht ein Magnetfeld. Ebenso wie im elektrischen Feld sind auch hier die Kraftlinien von einem Pol zum anderen gerichtet. Dabei stoßen sich gleichnamige Pole ab, während sich ungleichnamige Pole anziehen.

Das Kernfeld tritt zwischen Kernteilchen in einem Abstand von etwa dem Durchmesser eines Wasserstoffatomkerns in Erscheinung. Seine Kräfte verbinden in gleicher Weise sowohl die positiv geladenen Teilchen, die Protonen, als auch die keine Ladung besitzenden Kernteilchen, die Neutronen, fest miteinander.

Wenn irgendein sich bewegendes Elementarteilchen in die Wirkungssphäre der Feldstärke gerät, so wächst bei einem Zusammenfallen der Richtung seiner Bewegung mit der der Wirkungskräfte die Geschwindigkeit seiner Bewegung, das heißt, die kinetische Energie¹ vergrößert sich. Bei entgegengesetzter Richtung verringert sich die Bewegungsgeschwindigkeit des Teilchens, während sich dafür seine potentielle Energie vergrößert.

Wenden wir uns nunmehr wieder den Elektronen zu.

Schneller als das Licht

Im Jahre 1944 sagten die sowjetischen Physiker D. D. Iwanenko und I. J. Pomerantschuk theoretisch voraus, daß Elektronen, die bei ihrer Bewegung im Beschleuniger nahezu Lichtgeschwindigkeit erhalten, einen Teil ihrer Energie in Form einer sichtbaren Strahlung verlieren müssen.

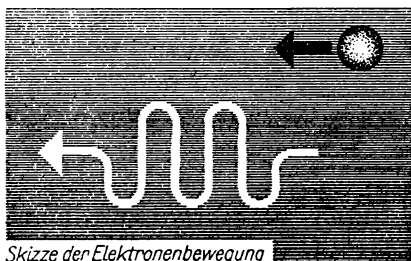
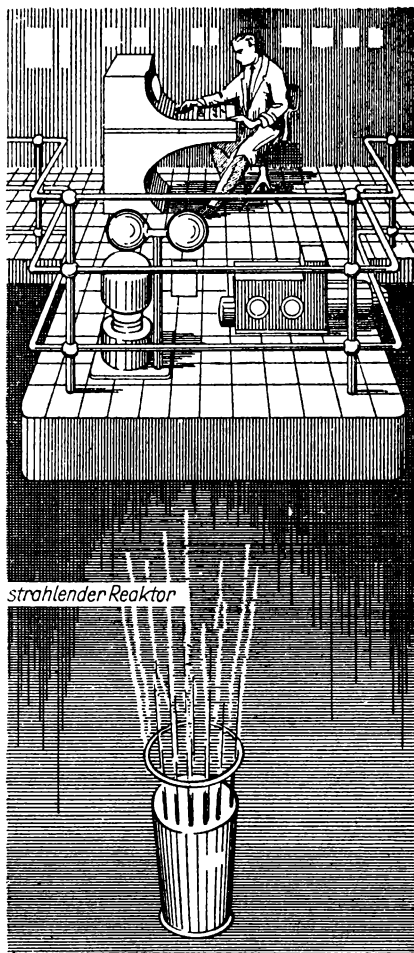
Eine solche Schlußfolgerung war nicht weiter überraschend, da der deutsche Wissenschaftler Schott bereits im Jahre 1910 sogar anhand von genauen Berechnungen nachweisen konnte, daß die Bewegung der Elektronen in ihrer Umgebung mit einer Strahlung verbunden sein muß.

¹ Kinetische Energie = Bewegungsenergie des Körpers im Unterschied zur potentiellen Energie, die durch die gegenseitige Anordnung der Körper bedingt ist. (Anm. des Verf.)

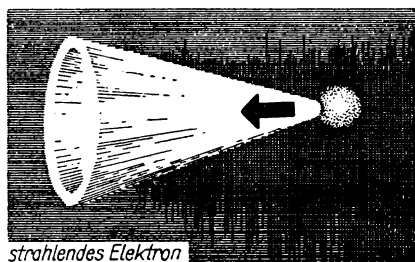
Überraschend war jedoch die mutmaßliche Feststellung, daß diese Strahlung sichtbar sein wird. Mit Ungeduld erwarteten die Physiker den Augenblick, da sich diese Hypothese durch das Experiment bestätigte. Bei der Arbeit mit Elektronen, die eine Energie von 80 Millionen Elektronenvolt hatten, stellten die Amerikaner endlich im Jahre 1947 fest, daß die Elektronen strahlen, und zwar genau in der von den sowjetischen Wissenschaftlern vorausgesagten Weise.

Die Entdeckung des Elektrons erfolgte noch im vorigen Jahrhundert. Alle Angaben, die darüber im Verlaufe eines halben Jahrhunderts gesammelt wurden, erhielten die Wissenschaftler jedoch nur auf indirektem Wege. Erst jetzt konnte man das Elektron erstmalig durch die Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen direkt sehen. Das Elektronenbündel erstrahlte im Beschleuniger als ein Streifen bläulich-weißen Lichts.

Abb. 11 Strahlender Kernreaktor-Bewegungsskizze eines strahlenden Elektrons



Skizze der Elektronenbewegung



strahlendes Elektron

tes. Vordem konnte das Elektron gleich dem „Unsichtbaren Mann“ von Wells nur anhand seiner „Spuren“ nachgewiesen werden, die es in der Wilsonschen Kammer auf der photographischen Platte oder in Form eines Aufblitzens auf dem Fluoreszenzschirm hinterließ.

Es stellte sich auch heraus, daß die Strahlung der Elektronen im Beschleuniger nicht die einzige Möglichkeit ist, diese Elementarteilchen zu sehen. Der unter Leitung des Akademiemitgliedes S. J. Wawilow arbeitende sowjetische Gelehrte P. A. Tscherenkow entdeckte im Jahre 1934 eine Elektronenstrahlung, die bei der Bewegung der Elektronen in jeder beliebigen Umgebung auftritt.

Er bestrahlte als chemisch reine Flüssigkeiten Wasser, Glyzerin und Schwefelsäure mit Gammastrahlen. Die sich dabei von den Flüssigkeitsmolekülen losreißen den Elektronen bewegten sich mit größerer Geschwindigkeit als das Licht bei seiner Ausbreitung in dem betreffenden Stoff und sandten demzufolge Lichtstrahlen aus.

Eine solche Feststellung mag bei einigen Lesern Zweifel hervorrufen, da bekanntlich die höchstmögliche Geschwindigkeit des Lichtes bei 300 000 km/s liegt. Man darf jedoch dabei nicht vergessen, daß sich das Licht nur im „leeren Raum“ mit solcher Geschwindigkeit ausbreitet. Tscherenkow studierte aber die Bewegung der Elektronen in Flüssigkeiten, in denen sich die Lichtgeschwindigkeit vermindert, während die Geschwindigkeit der Elektronen fast die gleiche wie im „leeren Raum“ bleibt. Im Wasser legt das Licht 225 000 km/s zurück, die Geschwindigkeit der Elektronen macht jedoch hier fast 300 000 km/s aus.

Die Bewegung der Elektronen in chemisch reinen Flüssigkeiten ist von einer konusförmigen Strahlung begleitet, deren Achse mit der Bewegungsrichtung des Elementarteilchens zusammenfällt. Die trichterförmige Konusöffnung liegt in der Flugrichtung vor dem Teilchen. Diese Erscheinung wird heute Tscherenkow-Strahlung genannt.

Die neue Theorie P. A. Tscherenkows wurde im Jahre 1937 von den sowjetischen Wissenschaftlern J. E. Tamm und J. M. Frank wissenschaftlich untermauert. Sie wiesen nach, daß die Elektronen zu einer Strahlungsquelle werden, sobald ihre Geschwindigkeit in einem Medium die Geschwindigkeit des Lichtes übersteigt.

Die Entdeckung Tscherenkows bezieht sich nicht nur auf Elektronen, sondern auch auf andere elektrisch geladene Elementarteilchen, wie zum Beispiel Protonen und Mesonen.¹

¹ Mesonen: Elementarteilchen des Kernfeldes. (Anm. des Verf.)

Wie festgestellt wurde, ist der Winkel an der Konusspitze erstens von der Bewegungsgeschwindigkeit der geladenen Teilchen und zweitens von der Brechzahl des Mediums abhängig. Die letztgenannte Größe ist meistens bekannt und läßt sich im Notfall leicht messen.

Somit bildet die Entdeckung des sowjetischen Wissenschaftlers die methodische Grundlage zur Feststellung der Geschwindigkeit und sogar der Flugrichtung schneller Elementarteilchen.

Es gibt heute eine Vielzahl von Methoden zur Registrierung von geladenen Teilchen. Eine der neuesten ist der Tscherenkow-Zähler. Er wird in breitem Umfang von Wissenschaftlern aller Länder angewandt. Im Jahre 1955 wurden beispielsweise durch seine Verwendung Antiteilchen, die Antiprotonen, entdeckt.

Die Tscherenkow-Strahlung stellt ein sehr wichtiges Mittel zur Erforschung der Mikrowelt dar. Von den Physikern wird sie bei der Untersuchung der kosmischen Strahlen und bei Experimenten in den Beschleunigern zur Übertragung hoher Energien an die Elementarteilchen ausgenutzt.

Aus der Tiefe des Weltraumes gelangt ein beständiger Strom von Atomkernen der verschiedensten Elemente zu unserem Planeten. Das sind die sogenannten kosmischen Strahlen. Bei ihrer Reise im Kosmos erhalten sie durch die Beschleunigung in den von ihnen durchlaufenen Kraftfeldern eine große Energie.

Die kosmischen Teilchen können von vielen Prozessen berichten, die im Weltall vor sich gehen. Dazu muß man jedoch ihre Zusammensetzung kennen.

Gegenwärtig besteht darüber noch keine völlige Klarheit. Es gibt Angaben darüber, daß die kosmischen Strahlen Protonen sowie Atomkerne von Helium (Helionen), Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Lithium, Beryllium, Bor und anderen Elementen enthalten. Die genaue Bestimmung ihrer quantitativen Zusammensetzung lediglich mit Hilfe stratosphärischer Beobachtungen ist nicht möglich, da eine gewisse Anzahl von Kernen in der Atmosphäre zerfällt. Diese Möglichkeit war jedoch mit dem Start der künstlichen sowjetischen Erdsatelliten gegeben.

Tscherenkow-Zähler waren im zweiten und dritten Sputnik eingebaut. Jeder dieser Zähler besitzt in seinem Vorderteil eine durchlässige Scheibe aus einem organischen Kunststoff. Die Elementarteilchen des kosmischen „Regens“ treffen dort auf und durchheilen den Kunststoff mit Überlichtgeschwindigkeit, wobei die uns bereits bekannte Lichtstrahlung entsteht. Diese wird in Form von Impulsen über einen Sekundärelektronen-Vervielfacher des Zählers auf einen Sender und schließlich durch Funk auf die

Erde übertragen. Auf diese Weise erhalten die Forscher von den Sputniks Aufschluß über die Ladungen der den Zähler passierenden Atomkerne. Mit Hilfe dieser Größen kann dann festgestellt werden, welche chemischen Elemente in den kosmischen Strahlen vorherrschen.

Die Entdeckungen der sowjetischen Wissenschaftler auf dem Gebiete der Elektronenstrahlung fanden in der gesamten Welt Anerkennung. Im Jahre 1958 wurde P. A. Tscherenkow, J. E. Tamm und J. M. Frank von der Schwedischen Akademie der Wissenschaften der Nobelpreis auf dem Gebiete der Physik zuerkannt.

Im Siebenjahrplan der Sowjetunion werden alle notwendigen Voraussetzungen für eine noch raschere Entwicklung aller Wissenschaftszweige und die Verwirklichung wichtiger theoretischer Forschungsvorhaben geschaffen. Die Anstrengungen der sowjetischen Physiker werden sich besonders auf die Probleme der kosmischen Strahlen, der Kernreaktionen und der Halbleiter konzentrieren.

Das elektrische Auge

Wir sprachen bereits davon, daß in den Metallen viele Elektronen vorhanden sind, die sich innerhalb des Kristallgitters frei bewegen können. Ihre Bewegungsenergie ist in einigen Metallen gerade so groß, daß zu ihrer „Verdampfung“ die Einwirkung von Lichtstrahlen ausreichen würde. Hierauf beruht die Wirkungsweise der Photozelle. Sie „sieht“ ausgezeichnet bei Nebel und Dunkelheit und vermag hundertmal größere Entfernungen zu „durchspähen“ als das schärfste menschliche Auge.

Die Photozelle ersetzt in der vielfältigsten Weise die Arbeit des Menschen. Sie reguliert die Temperatur im Thermostat¹, photographiert, rechnet, wiegt und führt Hunderte der verschiedenartigsten Arbeiten aus. Gleich dem menschlichen Auge besitzt sie die Fähigkeit, die Energie der Lichtstrahlen in andere Energie umzuwandeln.

Die Photozelle besteht aus einem kleinen Glaskolben, auf dessen Innenseite über einer Silberschicht ein dünner Film aus Zäsium, Zirkonium, Kalium, Natrium oder irgendeinem anderen lichtempfindlichen Metall aufgetragen ist.

¹ Behälter mit wärmeisolierten Wänden, wodurch in dem Innenraum eine bestimmte Temperatur gehalten werden kann. (Die Red.)

An zwei aus dem Kolben herausführenden Leitern sind kleine Metallstege befestigt, wovon der eine mit dem lichtempfindlichen Metall, der Photokatode, der andere dagegen mit einem ins Innere führenden kleinen Metallring, der Anode verbunden ist.

Wenn auch die Entfernung zwischen Katode und Anode nur gering ist, so stellt sie doch für die verschwindend kleinen Elektronen einen gewaltigen Weg dar. Wenn wir das Elektron in Gedanken auf den Umfang eines Fußballes vergrößern und die Entfernung zwischen Katode und Anode dementsprechend übertragen, so nimmt der von den Elektronen zurückzulegende Weg annähernd die Entfernung zwischen Erde und Mond an.

Das Elektron wird durch die gewaltige Kraft im elektrischen Feld zur Anode beschleunigt. Diese Kraft auf einen Fußballspieler übertragen, würde ihn befähigen, den Ball mit einem Schuß auf den Mond zu befördern.

Die Photozelle verwandelt Licht in elektrische Energie. Fallen Photonen auf das lichtempfindliche Metall, so erhöhen sie die Energie der freien Elektronen im Metall. Diese zerreißen ihre Verbindung mit den Ionen des Kristallgitters und verlassen das Metall.

Ist die Photozelle in diesem Moment Teil eines geschlossenen Stromkreises, so treibt das Kraftfeld die losgerissenen Elektronen von der Katode zur Anode, das heißt, es setzt ein elektrischer Strom ein. Sobald man jedoch die Lichtquelle entfernt, wird augenblicklich auch der Elektronenstrom unterbrochen. Die Elektronen verbleiben dann im Anziehungsbereich der Ionen des Kristallgitters.

Unter dem Einfluß einer Lichtquelle werden in der Photozelle in jeder Sekunde Milliarden von Elektronen von der Katode zur Anode getragen, wobei jedoch der dadurch erzeugte Strom überaus schwach ist. Um ihn in die Lage zu versetzen, eine merkliche Arbeit zu verrichten, macht sich seine Verstärkung erforderlich.

Die Verstärkung des elektrischen Stromes ist in der Photozelle selbst möglich, indem der Kolben mit Neon, Argon oder einem anderen chemisch inaktiven Gas gefüllt wird. Die durch die Photonen aus den lichtempfindlichen Metallen herausgelösten Elektronen treffen auf ihrem Weg zur Anode auf die Gasmoleküle und reißen aus ihnen neue Elektronen mit sich. Zuweilen muß der sich dabei bildende Strom trotzdem nochmals verstärkt werden. Dies geschieht durch eine oder mehrere Elektronenröhren. Erst danach ist er in der Lage, ein elektrisches Relais in Tätigkeit zu setzen, das ist ein Gerät, das elektrische Stromkreise ein-, aus- oder umschalten kann. Die mit einem Verstärker und einem elektromagnetischen Relais in einer kleinen Kapsel vereinigte Photozelle trägt die Bezeichnung Photorelais.

Dieses kleine Gerät vermag die verschiedenartigsten Arbeiten auszuführen. So kann das Photorelais ständig durch einen nicht wahrnehmbaren Lichtbalken mit einer Lichtquelle verbunden sein und seine Tätigkeit sofort einstellen, sobald der Lichtstrahl mit Hilfe eines undurchsichtigen Gegenstandes unterbrochen wird.

Andererseits vermag es auch ohne eine solche Lichtverbindung in der Weise zu arbeiten, daß es unmittelbar auf ein in Erscheinung tretendes Lichtsignal oder eine sich verändernde Lichtstromstärke reagiert oder sogar Lichtstrahlen verschiedener Farben unterscheidet.

Unermüdliche Elektronen

Der Mensch ist nicht in der Lage, so schnell und genau auf Lichtsignale zu reagieren wie die Photozelle, die praktisch ohne Verzögerung auf kaum wahrnehmbare Lichtreflexe antwortet.

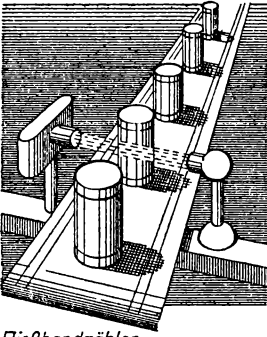
Die Photozelle stellt die kleinsten Veränderungen der Lichtintensität fest. Hundertmal genauer als das menschliche Auge unterscheidet sie auch zwischen Farbschattierungen. Deshalb kommt in allen Fällen, in denen eine besonders sorgfältige Farbkontrolle von Produkten erforderlich ist, die Photozelle zur Anwendung. Mit ihrer Hilfe werden Früchte sortiert, Tönungen weißer Gewebe, die Frische von Hühnereiern geprüft usw.

In der Produktion erfüllt dieses scharfe Auge sehr komplizierte und verantwortungsvolle Aufgaben. Es kontrolliert die verschiedensten Prozesse, beugt Gefahren vor usw. In den Laboratorien ermöglicht es sehr genaue Analysen, und Touristen können sich mit seiner Hilfe in den Bergen über beträchtliche Entfernungen drahtlos miteinander verständigen.

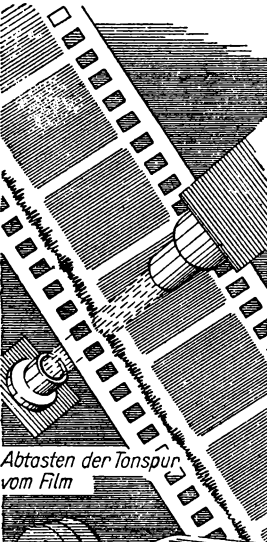
Photoelemente ermöglichten auch die Entwicklung des Tonfilmes.

Die Tonspur am Rande des Filmbandes besteht aus einer Reihe von kleinen Strichen mit unterschiedlichem Abstand. Das Licht kann nicht gleichmäßig zwischen ihnen hindurchdringen. Die Abtastung dieser kaum wahrnehmbaren Schwärzungsschwankungen kann nur durch das Photoelement vorgenommen werden, indem die Elektronen eines lichtempfindlichen Metalls auf jedes Photon reagieren. Das Photoelement reproduziert ge-

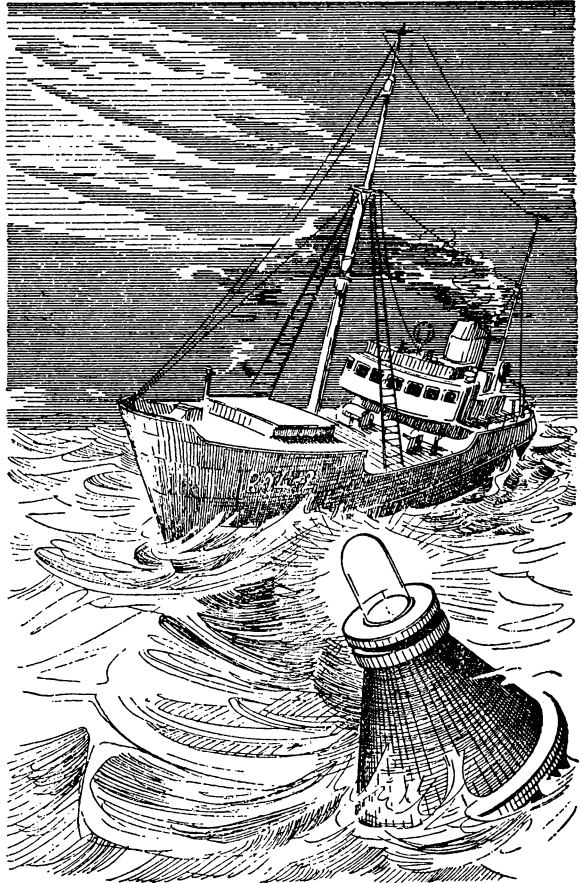
Abb. 12 Verschiedene Anwendungsgebiete der Photozellen



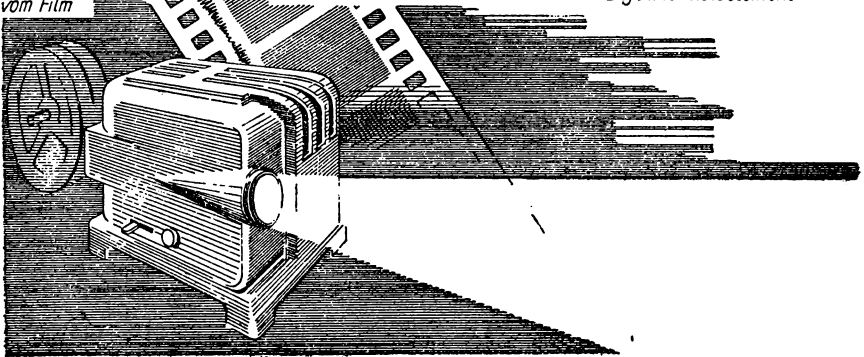
*Fließbandzähler
für fertige Produkte*



*Abtasten der Tonspur
vom Film*



Boje mit Photoelement



nauestens die Schwankungen der Lichtstärke, die bei der Entstehung der Tonspur auf dem Film gewirkt haben. Dementsprechend verändert sich auch die Stromstärke. Wird jetzt dieser Strom auf einen Lautsprecher übertragen, so reproduziert dieser den auf dem Film aufgezeichneten Ton.

In der letzten Zeit wurde die Nachrichtentechnik durch die Funkübermittlung von Photographien und gedruckten oder geschriebenen Texten bereichert. Sie stellt eine Weiterentwicklung der Bildtelegraphie dar, von der sie sich vor allem durch das Fehlen von Leitungen zwischen Sender und Empfänger unterscheidet.

Ebenso wie beim Bildtelegraph wird auf der Sendestation das zu übermittelnde Bild Punkt für Punkt abgetastet. Die hellen Stellen rufen Signale mit stärkerer, die dunklen Stellen mit schwächerer elektrischer Stromstärke hervor. Der Strom wird verstärkt, aber nicht über die Telegraphenleitung an die Empfangsstation, sondern zuerst an einen Kurzwellensender vermittelt. Hier werden die Signale durch Radiowellen in den Äther gestrahlt. Auf der Empfangsstation werden sie wieder in elektrischen Strom verwandelt. Er steuert die Helligkeit einer Lampe, die ihrerseits die übermittelte Abbildung auf lichtempfindliches Papier aufzeichnet.

Bisher haben wir uns nur mit solchen Geräten beschäftigt, bei denen die Elektronen durch Photonen des sichtbaren Lichtes losgerissen werden. Es gibt jedoch auch Metalle, deren Elektronen unter der Einwirkung von Infrarotstrahlen „verdampfen“. Auf diesem Prinzip beruht das Elektronenteleskop.

Die Glühlampe sendet viele infrarote Strahlen aus. Sie sind mit Hilfe eines Hartgummifilters leicht von den übrigen zu trennen. Diese Strahlen ermöglichen es, in der Dunkelheit oder im Nebel Gegenstände zu erkennen. Die in den Raum gerichteten Strahlenbündel werden von angetroffenen Hindernissen reflektiert. Ein Teil der Strahlen kehrt zurück und erzeugt mit Hilfe der Photokatode und dem sogenannten Bildwandler eine elektronische Abbildung des bestrahlten Gegenstandes (Hindernisses). Diese Abbildung wird dann auf den Fluoreszenzschirm übertragen und damit sichtbar gemacht. In dieser Art arbeiten Elektronenteleskope, die auf Schiffen, in Flugzeugen und an Scharfschützengewehren zu finden sind.

Die Elektronenwaage

Oftmals stellt das Leben den Fachleuten derart schwierige Aufgaben, daß es auf den ersten Blick scheint, sie könnten entweder gar nicht oder nur mit einem gewaltigen Aufwand an komplizierten Einrichtungen gelöst werden. Wie kann man das Gewicht eines Güterzuges bestimmen? Das ist beispielsweise eine solche Aufgabe.

Es gibt Waagen zur Gewichtsbestimmung eines einzelnen Waggons, aber für einen ganzen Zug? ... Welche Größe sollte denn eine solche Waage haben?

Beim Bau einer mechanischen Waage für diesen Zweck müßte man eine Länge vorsehen, die es gestattet, den ganzen Zug mit allen seinen Teilen darauf unterzubringen. Wenn es schon gelingen würde, die Bühne eines solchen Waagenungeheuers zu errichten, so wäre doch dabei trotz allem die erforderliche Genauigkeit des Wiegens nicht gewährleistet.

Indessen ist es mit Hilfe der Elektronentechnik relativ einfach, einen Zug zu wiegen.

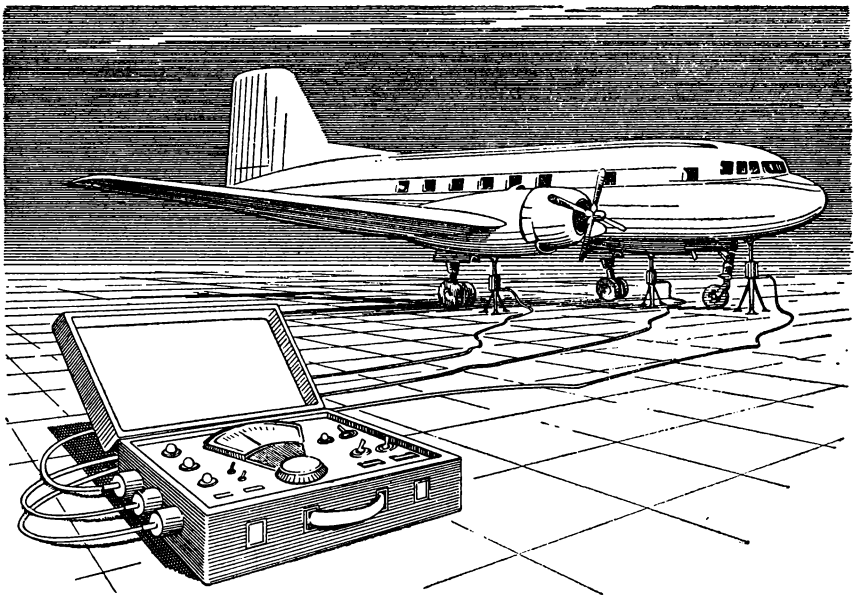


Abb. 13 Elektronische Waage

Sowjetische Fachleute konstruierten ein sogenanntes elektronisches Dehnungsmeßgerät, das es gestattet, das Gewicht eines Zuges während der Fahrt zu bestimmen. Das ist möglich, weil kein D-Zug so schnell fährt, daß die in der neuen Waage arbeitenden Elektronen nicht Schritt halten können. Der Gewichtsdruck der beladenen Waggons wird auf die Schienen übertragen. Diese biegen sich dadurch etwas durch und verursachen dabei die Ausdehnung von dünnen Drähtchen, die an den Schienen befestigt wurden. Diese Drähtchen gehören zu einer tensometrischen Meßsonde. Die Ausdehnung der Drähtchen in der Meßsonde führt zur Vergrößerung ihres Ohmschen Widerstandes. Dementsprechend verändert sich die Stromstärke im Stromkreis, die ein relativ genaues Maß des Waggongewichtes ist. Ein Relais summiert im Verein mit anderen elektronischen Geräten die Ergebnisse der Stromstärkeveränderungen nach jedem Waggon. Auf einer Anzeigeskala erscheint schließlich in Ziffern das Gewicht des Zuges.

Mit einer derartigen Waage sind zum Abwiegen eines Waggons etwa 0,2 Sekunden nötig. Das Gesamtgewicht eines großen Güterzuges kann in wenigen Minuten, das heißt in der Zeit, die der Zug zum Überfahren der Meßstelle benötigt, bestimmt werden. Das Wiegen solcher großer Lasten in derartig kurzer Zeit war bis dahin mit keiner Waage möglich. Das elektronische Dehnungsmeßgerät ermöglicht auch die Gewichtsbestimmung von Flugzeugen auf den Landeplätzen, andererseits kann damit auch bei Hebekränen das Gewicht der gehobenen Last festgestellt werden.

Mit der Einführung der Elektronentechnik hat die Meßtechnik eine wertvolle Weiterentwicklung erfahren.

Millionenfach verstärkter Strom

Der sowjetische Fachmann L. A. Kubezki entwickelte einen neuen elektronischen Verstärker. In einer kleinen Glasröhre brachte er einige mit Zäsium aktivierte Pallelektroden an. Jede wurde an eine Batterie galvanischer Elemente (oder an einen Gleichrichter) angeschlossen, so daß zwischen den Pallelektroden ein elektrisches Feld entstand, das die Bewegung der Elektronen stufenweise beschleunigte.

Die ersten, vereinzelt, aus dem lichtempfindlichen Metall der Katode „herausgeschlagenen“ Elektronen treffen auf der ersten Pallelektrode auf und „reißen“ hier eine große Anzahl von Elektronen mit sich, die, wenn sie auf eine weitere Prallanode stoßen, wiederum neue Elektronen „losreißen“.

Die Zahl der negativ geladenen Teilchen wächst lawinenartig an, so daß der Strom am Ende der Röhre schließlich eine millionenfache Verstärkung erfahren hat. Somit ist die Kubezki-Röhre, auch Sekundärelektronen-Vervielfacher genannt, als Meßgerät weitaus empfindlicher als die Photozelle. Die Kubezki-Röhre kann für licht- und wärmeempfindliche Geräte sowohl in der Produktion als auch in wissenschaftlichen Forschungsinstituten verwendet werden.

In der Metallurgie kann man mit Hilfe solcher Geräte die Temperatur beim Schmelzen der Metalle kontrollieren. Die Geräte ermöglichen die Konstruktion automatischer Drehbänke mit Elektronensteuerung, die sich durch eine hohe Geschwindigkeit und genaues Maßhalten bei der Bearbeitung der Werkstücke auszeichnen. In der Chemie verwendet man die Kubezki-Röhre zur Kontrolle chemischer Reaktionen.

Unsere gesamten Vorstellungen über kosmische Körper beruhten bis vor kurzem auf der Analyse von Lichtstrahlen. Ein Teil dieser Strahlen konnte jedoch wegen ihrer geringen Intensität von den Astronomen nicht nachgewiesen werden. Heute können solche Strahlen, die Boten ferner Sterne, verstärkt werden, und damit werden unsere Kenntnisse vom Weltall wesentlich erweitert.

Fernsehen

Die Elektronengeräte der Gegenwart gestatten es jedoch nicht nur, die Sterne zu betrachten, sondern auch von zu Hause aus Fernsehübertragungen von Filmen, Schauspielen und Sportereignissen auf dem Bildschirm zu verfolgen.

Den Grundstein für die elektronische Fernübermittlung von Bildern legte der Professor des Petersburger technologischen Institutes, B. R. Rosing. Er benutzte dazu eine Elektronenstrahlröhre, deren Hauptteil ein spezieller Scheinwerfer ist, der einen kräftigen Elektronenstrahl erzeugt.

Die Strahlen dieses Projektors erfüllen in der Elektronenstrahlröhre die Funktion eines „elektronischen Bleistiftes“, der auf einem Lumineszenzschirm die Vorgänge reproduziert, die in der Ferne vor sich gehen. Er ist in der Lage, jedes Bild nachzuzeichnen, auf das das Objektiv der Fernsehkamera gerichtet ist.

Die Aufgabe der Kamera besteht in der Transformation der zu übertragenden Vorgänge in elektrische Signale. Dies geschieht durch die Bildaufnahmeröhre.

Die erste dieser Röhren wurde in der Sowjetunion von S. J. Katajew entwickelt. Er vereinigt in ihr die Elemente der Bildaufnahmeröhre mit einer speziellen Photozelle.

Sein Gerät besteht aus einem Glaskolben, in dessen Halsöffnung eine etwas seitlich gerichtete „Elektronenkanone“ untergebracht ist. Auf dem Boden des Kolbens befindet sich eine besondere Photozelle, genauer gesagt eine Vielzahl von Photozellen, bestehend aus mikroskopisch kleinen Körnchen eines lichtempfindlichen Metalls, die gegenseitig isoliert auf der Oberfläche eines Glimmerplättchens aufgetragen sind. Die Rückseite ist mit einer dichten Metallschicht bedeckt.

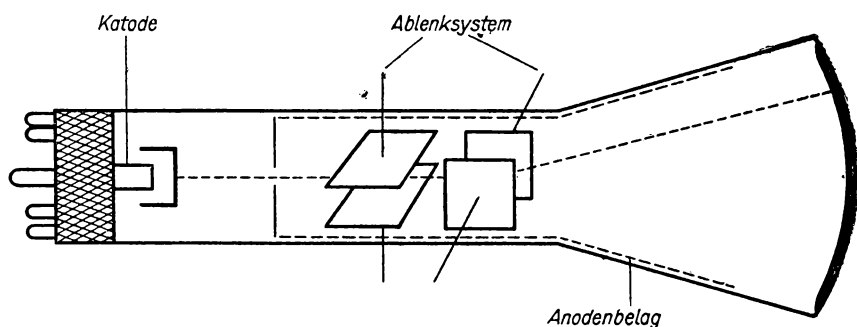


Abb. 14 Grundskizze einer Elektronenstrahlröhre

Das mit einer großen Zahl lichtempfindlicher Körnchen bedeckte Glimmerplättchen arbeitet gleichzeitig sowohl als mosaikartige Photozelle als auch als Gruppenkondensator, da der positiven Ladung jeder der mikroskopisch kleinen Photozellen eine negative Ladung in der Metallschicht auf der Rückseite des Plättchens gegenübersteht.

Das Objektiv der Fernsehkamera wird auf das zu übertragende Objekt gerichtet. Die Photonen vom Licht des Bildes fallen auf die mosaikartige Photozelle, die als Photokatode dient, und „schlagen“ aus den Körnchen des lichtempfindlichen Metalls Elektronen heraus. Auf der mosaikartigen Photokatode erscheint dabei ein „elektrisches Bild“ des Objekts, von dem die Photonen ausgingen. Die Abbildung wird im lichtempfindlichen Metall in Form elektrischer Ladungen fixiert.

Die Schattenteile des Objektes senden eine geringe Zahl an Photonen aus. Infolgedessen sondern die entsprechenden Stellen der Photokatode nur wenige Elektronen ab. Dagegen gehen von den hellen Stellen mehr Photonen aus.

Jedes Körnchen des lichtempfindlichen Metalls stellt die Belegung eines Elementarkondensators dar, dessen Ladung von der Intensität des Lichtes abhängt, das auf die betreffende Stelle auftrifft.

Die so gewonnene Abbildung kann mit dem Auge nicht wahrgenommen, dafür aber in die Ferne übertragen werden.

Mit Hilfe elektrischer oder magnetischer Felder überstreicht der Elektronenstrahl schnell eine der mikroskopisch kleinen Photozellen nach der anderen, wobei er sie fortwährend entlädt. Die Elektronen gleichen die positiven Ladungen jedes Körnchens der mosaikartigen Photozelle aus. Gleichzeitig gelangen aus der Metallschicht der Katode auch die negativen Ladungen in den Stromkreis. Die Stärke des entstehenden elektrischen Stroms schwankt entsprechend der Ladungsgröße jedes Photozellenkörnchens. Nach seiner Verstärkung gelangt der Strom zum Radiosender, dessen Wellen die Fernsehsignale in den Äther tragen.

Im Fernsehgerät erreichen sie die Elektronenstrahlröhre, auf deren Schirm eine dünne Luminophorschicht unter dem Einfluß der Elektronen aufleuchtet. Durch das Aufflammen kleiner Lichtpunkte von verschiedener Helligkeit wird auf dem Schirm das übertragene Bild reproduziert. Innerhalb $\frac{1}{25}$ Sekunde wird jede Stelle des Bildschirms einmal vom Elektronenstrahl überstrichen. In einem solchen Zeitraum gelingt es uns nicht, die Strahlenbewegung zu erfassen, so daß wir den Weg der Strahlen auf dem Schirm nur als Gesamtbild wahrnehmen können. Die Entwicklung des Fernsehens in der vorliegenden Form war nur durch diese „langsame“ Reaktion unseres Auges möglich.

Das menschliche Auge besteht aus einer großen Anzahl von Photozellen, den sogenannten Stäbchen. In ihnen wird die Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt, mit deren Hilfe die Nerven die Gesichtsvorstellung auf das Gehirn übertragen. Von der Geschwindigkeit des Ablaufes dieser chemischen Reaktionen ($\frac{1}{10}$ Sekunde) hängt die Fähigkeit ab, das Gesehene in dieser Zeitspanne festzuhalten.

In der Sowjetunion wird das Fernsehen im Verlaufe des Siebenjahrplanes eine breite Entwicklung erfahren. In den Hauptstädten der Republiken sowie in den großen Industriestädten sind annähernd hundert neue Fernsehzentren und -stationen zum Bau vorgesehen, die Anzahl der Fernsehgeräte wird sich bis zum Jahre 1965 auf 12,5 Millionen erhöhen. Vorgesehen ist auch die Einführung des Farbfernsehens.

Die Fernsehübertragung ist nur über eine begrenzte Entfernung möglich. Ein einwandfreier Empfang ist lediglich bei direkter Sichtmöglichkeit zwischen Sende- und Empfangsantenne gewährleistet. Je höher die An-

tenne, um so größer ist der Empfangsradius. Der Bau sehr hoher Antennen ist jedoch kompliziert und teuer.

Der sowjetische Wissenschaftler P.W.Schmakow hat eine neue, interessante Methode zur Erweiterung der Fernsehübertragung vorgeschlagen. Mit Hilfe eines mit einer Empfangs- und Sendeanlage ausgestatteten Flugzeuges ergibt sich die Möglichkeit, aus der Höhe von einigen Kilometern Fernsehsendungen von einem Punkt aufzunehmen und sie zu einem anderen Punkt zu übertragen.

Von Fachleuten der Sowjetunion wurden Fernsehübertragungen mit Hilfe solcher Relais-Stationen auf den Linien Moskau—Leningrad, Moskau—Smolensk und Smolensk—Minsk erfolgreich durchgeführt.

Voraussichtlich ist die Zeit nicht mehr fern, da man Fernseh-Relais-Stationen in künstlichen Erdtrabanten einrichten wird.

Es ist durchaus möglich, daß im Laufe der Zeit der Fernsehschirm durch eine Lumineszenzleinwand ersetzt wird, auf der die Farben der Natur in ihrem ganzen Reichtum in Erscheinung treten und die Bilder räumlich wahrnehmbar sein werden. Man kann dann in der Sowjetunion an jedem beliebigen Ort des Landes zum Augenzeugen von Vorgängen werden, die sich – sagen wir in Moskau – abspielen.

Das Fernsehen erschließt uns auch die Geheimnisse und Reichtümer jener Teile der Erdoberfläche, die bis heute noch von Gewässern bedeckt sind. Es ermöglicht das Eindringen in Felsspalten, in verlöschende Vulkane und selbst die feste Erdhülle muß den Blick in ihr Inneres freigeben.

Industrielles Fernsehen

In der Volkswirtschaft der Sowjetunion finden verschiedene Methoden der Fernsteuerung von Produktionsprozessen und der Fernmessung immer breitere Anwendung.

Man hat ein System der Fernleitung entwickelt, das es möglich macht, über das gleiche Leitungspaar mit Hilfe elektrischer Signale mehrere zehn Kommandos zu übertragen und ebensoviel zu empfangen. Die Angaben der Vermessungsapparaturen werden von Spezialgeräten über Hunderte von Kilometern vermittelt.

So ist auf dem Eisenbahnknotenpunkt in Charkow die Fernsteuerung eines Elektrokraftwerkes fertiggestellt worden. In der Dispatcheranlage befindet sich ein Schaltpult mit Meßgeräten, Steuerungsrelais und Signallampen.

Vor dem Pult hängt an der Wand eine Tafel mit dem Schema der Elektroanlage des Knotenpunktes.

Durch den Druck auf einen Knopf seines Schaltpultes sendet der Dispatcher Steuerungsimpulse an das Elektrokraftwerk und bekommt von dort Antwort über die Belastung und die Höhe der Spannung der Anlage. Wenn an einer Leitung irgendeine Störung auftritt, werden am Schaltpult optische oder akustische Signale ausgelöst.

Ein Klingelzeichen ertönt, und auf der Schalttafel des Dispatchers leuchtet ein rotes Lämpchen auf. Das bedeutet, daß sich im Kraftwerk ein Ölschalter geschlossen hat. Der Dispatcher drückt auf den Knopf für die Wiederholungsschaltung: Die telemechanische Einrichtung beginnt zu arbeiten. Nun leuchtet auf der Schalttafel ein grünes Lämpchen auf: Der Befehl ist ausgeführt; der Ölschalter ist wieder in Ordnung.

Bei diesem neuen Steuerungssystem wird in den Kraftwerken kein Kontrollpersonal mehr benötigt.

Die Telemechanik zur Fernsteuerung ganzer Elektrokraftwerke findet in der Sowjetunion breite Anwendung. Sie zeichnet sich durch eine sehr hohe Rentabilität aus.

Sie gestattete es beispielsweise, im Wasserkraftwerk „Usbekenergo“ mehr als sechshundert Menschen freizustellen, im Wasserkraftsystem „Galwjushenergo“ waren es annähernd dreihundert Menschen.

Außerdem sind Störungen in diesen Werken zu einer Seltenheit geworden, wobei sich die Instandsetzungszeit der Aggregate vermindert. Die allgemeine Stromerzeugung erhöht sich, weil man in der Lage ist, den Maximaldruck des Wassers besser auszunutzen.

Die Fernsteuerung wird in der Sowjetunion auch in der Erdölindustrie angewendet. In Georgien wurde die Spezialanlage „GM-4“ entwickelt, die man erfolgreich zur Fernsteuerung von Tiefpumpeinrichtungen sowie von Pump- und Kompressionsstationen verwendet.

In einem breiten Umfang wird die Telemechanik im größten Wasserkraftwerk der Welt bei Kuibyschew angewandt.

Die Mitarbeiter des Wissenschaftlichen Forschungsinstitutes für Fernsehtechnik entwickelten verschiedene Typen einer industriellen Fernsehanlage mit der Bezeichnung „P T U“. Eine von ihnen, die „P T U – O“, vermag ein Bild über eine Entfernung von etwa 300 m wiederzugeben. Sie arbeitet mit natürlichem Licht selbst bei trübem Wetter.

Eine Fernsehleinrichtung im Moskauer Wärmekraftwerk gestattet von einem zentralen Steuerungspult aus die Beobachtung der Vorgänge im Kesselhaus und das Ablesen der Anzeigetafeln an den dort arbeitenden Geräten.

In einem Charkower Werk wird es durch die Anwendung des Fernsehens möglich, die Arbeit des Drehstahls an den großen Karusseldrehbänken auch dann zu verfolgen, wenn die Oberfläche des Werkstückes wegen davorliegender Maschinenteile nicht sichtbar ist.

In einem Betrieb für Schwermaschinenbau in Kolomna kontrolliert man mit Hilfe der Fernsehanlage den Zustand von Schneideinstrumenten an für die Beobachtung durch Arbeiter unzugänglichen Stellen.

Im Institut für Ozeanologie bei der Akademie der Wissenschaften der UdSSR wurde unter Leitung von N. W. Werschinski eine Anlage für Unterwasserfernsehen entwickelt. Die Mitarbeiter dieses Institutes untersuchen bereits seit mehr als zehn Jahren die Tiefen des Schwarzen Meeres und beschäftigen sich mit Fragen der Nutzung und des Baues von Hafenanlagen. Mit Hilfe des Unterwasserfernsehens verfolgen sie das Verhalten der Fische in großen Tiefen und außerhalb des Netzes.

Die Unterwasserfernsehanlagen können sowohl in Verbindung mit Einrichtungen arbeiten, die sichtbare Lichtstrahlen aussenden, als auch mit Quellen ultravioletter Strahlung. Die Sichtweite dieser Anlagen erstreckt sich bis zu etwa 20 m im Abstand vom Objektiv; der Einsatz ist noch in Tiefen von einigen hundert Metern möglich.

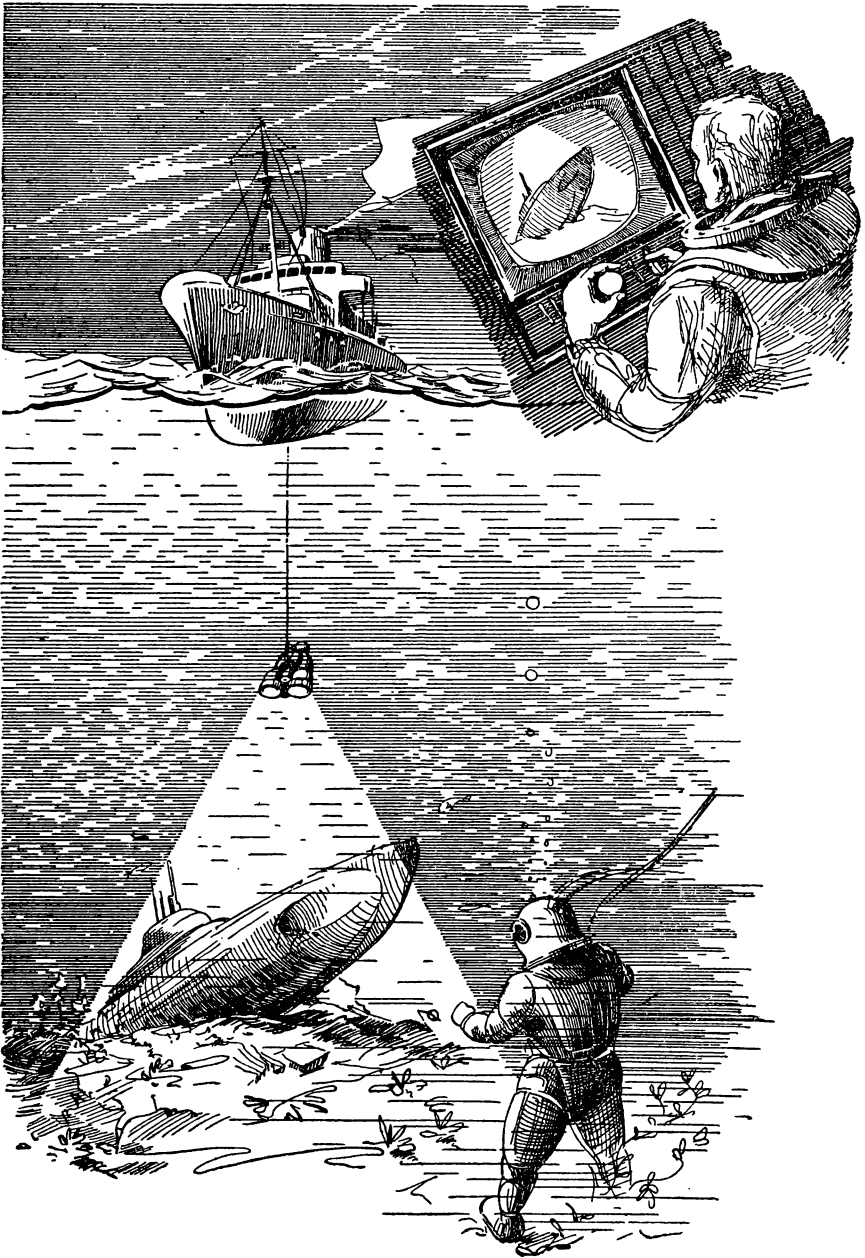
Der wissenschaftliche Mitarbeiter des Astronomischen Hauptobservatoriums in Pulkowo, N. F. Kuprowitsch, entwickelte ein neues astronomisches Gerät, mit dem man auf dem Fernsehschirm die Himmelskörper und die Oberfläche des der Erde am nächsten befindlichen Körpers, des Mondes, beobachten kann.

Das Gerät Kuprowitschs ist verhältnismäßig einfach. Es besteht aus einem Teleskop mit einer elektronischen Bildaufnahmeröhre, wie man sie im Fernsehstudio verwendet.

Das Licht des beobachteten Objektes trifft auf das Teleskop und gelangt von da zur Röhre, wo es in elektrische Signale umgewandelt wird. Diese werden verstärkt und auf ein gewöhnliches Fernsehgerät übertragen, auf dessen Schirm sie sich wieder in ein sichtbares Bild zurückverwandeln.

Die Besonderheit des neuen Gerätes besteht darin, daß die Bilder vom Fernsehschirm mit einer Belichtung von $\frac{1}{50}$ Sekunde aufgenommen werden können, während man bei direktem Photographieren eine Belichtungsdauer von Minuten und sogar Stunden benötigen würde.

Abb. 15 Unterwasserfernsehen



Zur Beobachtung der Vorgänge in arbeitenden Atomreaktoren wurde eine Kleinstfernsehkamera entwickelt. Sie ist in einem Gehäuse aus nicht-rostendem Stahl untergebracht. Ihr Durchmesser beträgt 90 mm, ihre Länge 760 mm. Durch ihre geringen Abmessungen kann sie in die engen Kanäle des Reaktors eingeführt werden.

Vier kleine, aber kräftige um das Objektiv herum angebrachte Lampen sorgen für die nötige Beleuchtung, während ein drehbarer Spiegel einen Rundblick gestattet. Die Kamera vermag im Innern des Reaktors bei einer Temperatur von 200 °C zu arbeiten.

Das Kabel, an dem die Kamera in den Reaktor gelassen wird, ist von einem biegsamen Schlauch umgeben, der gleichzeitig als Kanal für das Kohlendioxyd dient, das zur Kühlung der Anlage erforderlich ist.

Die Bedienung der Kamera erfolgt durch Fernsteuerung. Nach Beendigung der Arbeit wird die Kamera aus dem Reaktor herausgezogen und von radioaktiven Stoffen gesäubert.

Die heutige Technik bereichert uns auch durch das Videotelefon. Diese Einrichtung ermöglicht es, den Gesprächspartner deutlich auf dem Fernsehschirm zu sehen. Das Videotelefon wird an die Telefonleitung angeschlossen. Der Anruf des Teilnehmers erfolgt mit Hilfe einer gewöhnlichen Wählerscheibe.

Die Zeit ist nicht mehr fern, da große Fabriken und Energiewerke eines ganzen Industriebezirks von einer Dispatcherzentrale aus gesteuert werden. Die Funkverbindungsleitungen sind die Nerven dieses Bezirkes. Durch sie erfährt der Dispatcher schnell von einer auftretenden Störung in den Maschinen und von einer Abweichung eines Betriebsvorganges vom eingestellten technologischen Programm.

Dem Dispatcher stehen Einsatzgruppen von Fachleuten zur Verfügung, die unverzüglich zur Behebung des Schadens abgesandt werden. Der Dispatcher braucht nicht auf ihre Rückkehr zu warten. Die Geräte berichten über den Einbau der reparierten Aggregate. Das rote Havariesignal am Schaltpult wird dann durch ein grünes Signal abgelöst.

Bald ist es auch möglich, daß Studenten und Hörer der verschiedensten Unterrichtsfächer nicht mehr zur Vorlesung fahren müssen. Sie können sie per Radio hören und gleichzeitig auf dem Fernsehschirm den Lektor sowie die nötigen Illustrationen sehen, wie Zeichnungen, Formeln, Tabellen usw. Damit wird die Berufsausbildung und die Erhöhung der Qualifizierung noch leichter gemacht.

Mit einer solchen bereits arbeitenden Fernsehanlage ist die chirurgische Klinik des zweiten staatlich-medizinischen Instituts „N. J. Pirogow“ in

Moskau versehen. Sie ermöglicht es, eine Operation etwa 150 bis 200 Studenten vorzuführen. Die im Hörsaal sitzenden Studenten hören dabei die Erläuterungen des operierenden Chirurgen.

Mit Hilfe einer Fernsehröntgenanlage kann der Arzt einen Kranken beobachten, der sich in einem anderen, nicht abgedunkelten Raum befindet. Die Anlage macht es möglich, die Röntgenuntersuchung eines Kranken in Anwesenheit eines großen Auditoriums von Medizinstudenten durchzuführen.

Die Elektronenstrahlröhre gestattet es, auch mikroskopisch kleine Körper mit Hilfe starker Vergrößerung dem Auge zugänglich zu machen.

Das Elektronenmikroskop

Ein Teilchen, das man noch mit dem stärksten Mikroskop erkennen will, darf nicht kleiner sein, als der zwanzigtausendste Teil eines Millimeters. Noch kleinere Körper werden bei diesem Mikroskop nicht sichtbar. Schuld daran ist das Licht: Stoffteilchen, die kleiner als die Hälfte der Lichtwellen sind, werden von gewöhnlichen Mikroskopen nicht mehr aufgelöst.

Die Mikrobiologie stand aber vor der Notwendigkeit, Körper zu studieren, die noch kleiner als die Mikroben waren, nämlich die Viren. In der Chemie strebte man danach, den Bau der Moleküle und Atome kennenzulernen.

Und wieder half das von den Händen erfahrener Wissenschaftler gesteuerte Elektron. Es entstand das Elektronenmikroskop, mit dem es möglich ist, noch Teilchen mit einer Größe von einem hundertmillionstel Millimeter zu sehen.

Die Besonderheit des neuen Mikroskops besteht in der Verwendung von Elektronenlinsen gegenüber den Glaslinsen der optischen Mikroskope. In diesen werden die Lichtstrahlen in Glaslinsen gesammelt, während im Elektronenmikroskop der Elektronenstrom durch elektrische Felder und Magnetfelder (Elektronenlinsen) in einem Brennpunkt vereinigt wird.

Im optischen Mikroskop wird der Bildkontrast durch die unterschiedliche Absorption von Photonen des sichtbaren Lichtes durch die einzelnen Teilchen des zu beobachtenden Stoffes hervorgerufen, im Elektronenmikroskop dagegen durch eine unterschiedliche Elektronensteuerung.

Das neue Mikroskop gestattet die Beobachtung von hundertmal kleineren Teilchen als früher. Man kann damit Viren betrachten, die in ihren Abmessungen großen Eiweißmolekülen entsprechen. Das ist jedoch noch nicht

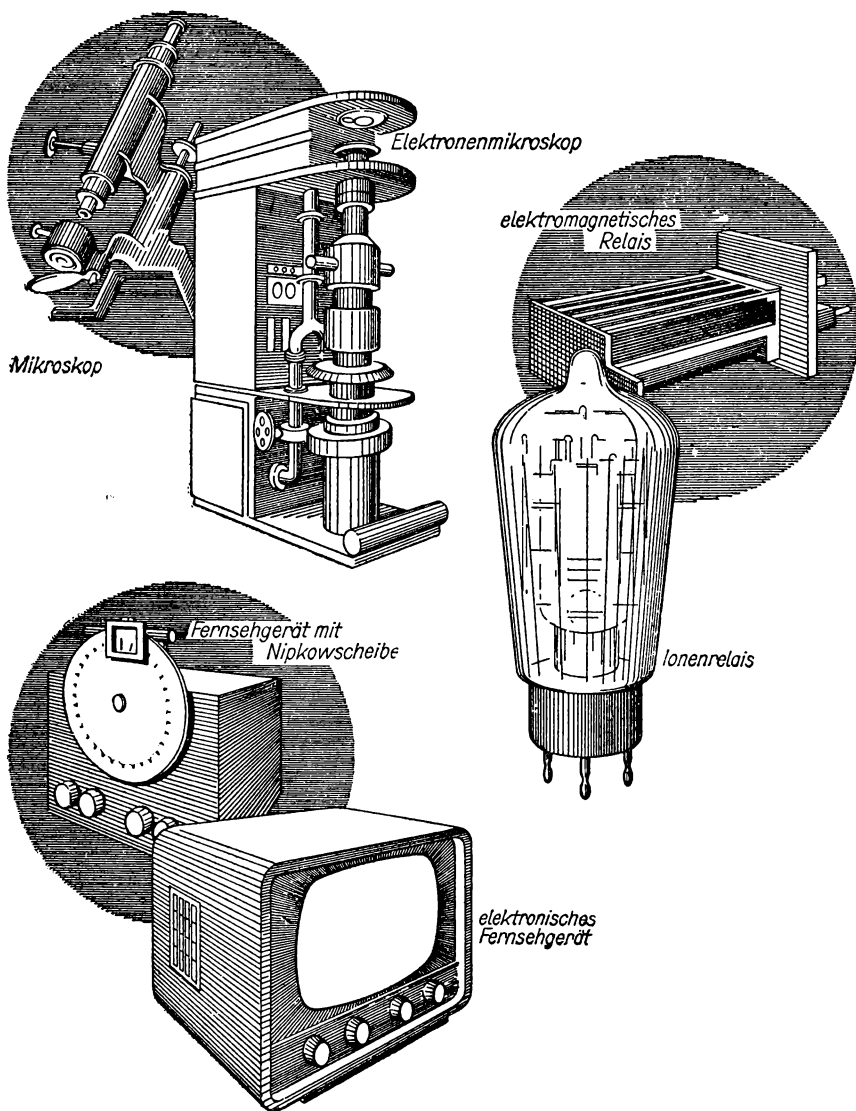


Abb. 16 Moderne Geräte und Apparaturen der Elektronik und ihre Vorläufer

alles. Die erreichbare Vergrößerung ist sogar hunderttausendmal größer als die des optischen Mikroskops.

Wissenschaftler kombinierten das Mikroskop auch mit einer Fernsehanlage. Dadurch wurde es möglich, die mit Hilfe eines einzigen Mikroskopes durchgeführten Beobachtungen der Lebensäußerungen von Mikroben gleichzeitig auf mehreren Fernsehschirmen zu sehen.

Der Anwendungsbereich von Elektronengeräten (einige davon sind auf Abb. 16 zu sehen) wird immer größer. Ihre Genauigkeit ist weitaus größer als die ihrer Vorläufer. Wie bereits gesagt, vermittelt das Elektronenmikroskop eine mehrere hundertmal stärkere Vergrößerung als das optische Mikroskop. Das elektronische Bild auf dem Fernsehschirm besitzt ebenso ein weitaus feineres Raster als das Bild des alten mechanischen Fernsehsystems mit der Nipkowscheibe.

Die Radiowellen

Ein in das Wasser geworfener Stein versetzt die Wasserteilchen in eine schwingende Bewegung, und es entstehen Wellen.

Ein vom Menschen ausgesprochenes Wort verursacht Schwingungen der Luftteilchen, die wir als Schallwellen wahrnehmen.

Werden nun die freien Elektronen des Metalls zum Schwingen gebracht, bilden sich Radiowellen. Sie breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus.

Die beiden erstgenannten Arten von Schwingungen besitzen einige gemeinsame Eigenschaften. Sie entstehen erstens nur in einem materiellen Stoff. Ohne Luft erstirbt jeder Ton; er gelangt nicht an unser Ohr. In einem luftleeren Zimmer (wenn man sich dort aufhalten könnte) würden wir die Stimme eines neben uns stehenden Menschen nicht vernehmen, sondern lediglich sehen, wie sich sein Mund bewegt.

Zweitens besitzen alle Wellen die Eigenschaft, von Körpern zurückgeworfen zu werden. Die Reflexion hängt jedoch von der Wellenlänge und der Größe des angetroffenen Gegenstandes ab. Lange Wellen umgehen einen kleinen Gegenstand. Ein alleinstehender Baum kann in der Steppe kein Echo erzeugen. Er ist für die Tonwellen sozusagen durchlässig.

Radiowellen können der gekrümmten Erdoberfläche folgen. Es gibt zwei Arten der Ausbreitung von Radiowellen zwischen der Sende- und Empfangsstation: die Ausbreitung als Bodenwelle und als Wellen, die von der Ionosphäre, das heißt den durch die Einwirkung von Sonnenstrahlen ionisierten atmosphärischen Schichten reflektiert werden. Die ionisierten

Schichten bestehen in erster Linie aus Sauerstoff- und Stickstoffionen sowie aus durch die Ionisierung freigesetzten Elektronen. Als Bodenwellen breiten sich die Radiowellen nur über geringe Entfernungen aus. Die von der Ionosphäre reflektierten Wellen können dagegen in einer bedeutenden Entfernung von der Sendestation auf die Erde zurückkehren. Infolge mehrfacher Reflexion durch die Erde und die Ionosphäre umkreisen die Radiowellen die Erdoberfläche.

Radiowellen, deren Frequenz zwischen 300 000 bis 30 Millionen Schwingungen je Sekunde beträgt, werden unter bestimmten Voraussetzungen von der Ionosphäre zurückgeworfen. Radiowellen mit einer Frequenz von mehr als 30 Millionen Schwingungen je Sekunde durchdringen die Ionosphäre. Infolgedessen verhält sich die Erdatmosphäre für Radiowellen bis zu einer bestimmten Frequenz als homogener Stoff, während sie für höhere Frequenzen als inhomogener Stoff angesehen werden kann.

Im Jahre 1922 erzeugte die bekannte sowjetische Wissenschaftlerin A. A. Glagolewa-Arkadewa auf künstlichem Wege Wellen im Bereich von 50 mm bis 0,082 mm. Damit wurde bewiesen, daß sich der elektromagnetische Wellenbereich von den von freien Metallelektronen ausgestrahlten Radiowellen bis zu den von Atomkernen ausgestrahlten Gammastrahlen erstreckt.

Mit Spezialantennen läßt sich leicht eine Bündelung des Strahlungsstromes der Zentimeter- und Millimeterradiowellen erreichen. Das erlaubt ihre Verwendung bei der Funkpeilung und -navigation, wovon später noch die Rede sein wird.

Die Zentimeter- und Millimeterwellen eröffnen für die Beseitigung der heute bestehenden „Ätherenge“ große Perspektiven. Im Bereich des Spektrums solcher elektromagnetischen Wellen läßt sich eine große Anzahl von Funkverbindungen ohne gegenseitige Störungen unterbringen.

Auf diesen Wellen arbeiten die heutigen Relaisstationen, die in der Lage sind, gleichzeitig mehr als tausend Telefongespräche und mehrere Fernsehprogramme zu übertragen.

Die Radiorelaislinie besteht aus einer Reihe von Radioempfangs- und -sendestationen, die im gegenseitigen Abstand von 50 bis 70 km aufgestellt sind und von denen jede mit einem hohen Mast ausgerüstet ist, der jeweils zwei Antennen besitzt: eine Empfangs- und eine Sendeanenne für die Radiowellen. Von jeder Station wird das Signal aufgefangen, verstärkt und an den nächsten Punkt weitergegeben. Auf der letzten Station wird das Signal entsprechend seinem Verwendungszweck entweder der Telefonstation oder dem Fernsehzentrum zugeführt.

Eine der ersten Radiorelaislinien wurde auf der Eisenbahnstrecke Moskau—Rjasan eingerichtet. Sie verbindet Moskau mit Rjasan durch die gleichzeitige Vermittlung von vierundzwanzig Telefongesprächen oder Fernsehübertragungen.

Bisher sind nur wenige Radiorelaislinien in Betrieb. Im Verlaufe des Siebenjahrplanes werden aber in der Sowjetunion einige tausend Kilometer dieser Linien errichtet werden.

In naher Zukunft kann man beispielsweise in Moskau den Hörer abnehmen, eine Nummer wählen und durch Funk automatisch mit den Telefonstationen von Nowosibirsk, Wladiwostok oder irgendeiner anderen Stadt dieser Linie verbunden werden. Man braucht dann nur noch die Nummer des Teilnehmers zu wählen, und das Gespräch kann beginnen.

Die „Reise“ der Musik

Die „Reise“ von Tönen im Weltraum – das ist eine wunderbare Wirklichkeit der Gegenwart. Kein noch so schnelles Schiff und kein Düsenflugzeug kann sie einholen.

Wer wird bei der Übertragung einer Oper aus dem Bolschoi-Theater in Moskau die ersten Töne früher hören; derjenige, der in der ersten Saalreihe sitzt oder derjenige, der beim Heulen arktischer Stürme am Radioempfangsgerät lauscht? Zuallererst erreichen die Töne das Mikrophon auf der Bühne. Der weitere Weg wird von ihnen über Funk mit Lichtgeschwindigkeit zurückgelegt.

Ehe der Ton im „Schneckentempo“ von 330 m/s zu den im Saal Anwesenden gelangt ist, hat er schon durch das Mikrophon seinen Flug über die Erdoberfläche ausgeführt, und zwar mit einer fast um eine Million mal größeren Geschwindigkeit von 300 000 km/s.

Wie kann man aber Lieder, Musik und Worte in die Radiowellen „einpflanzen“?

Die Reise der Musik beginnt in dem Moment, da ihre Töne die Luftteilchen in entsprechende Schwingungen versetzen, die sich wiederum der Membrane des Mikrophons mitteilen. Hier nun, im Mikrophon, geht eine Umwandlung vor sich. Die Töne bekommen eine neue Gestalt; mechanische Schwingungen werden zu elektrischen. Je lauter der Ton ist, um so stärker ist der elektrische Strom und umgekehrt. Nunmehr tragen die Elektronen das „Tonportrait“ über die Leitung zur „Radiowellenfabrik“, zum Sender.

Die Länge der durch die Antenne ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen hängt von der Schwingungsfrequenz der Elektronen ab. Führen diese 300000 Schwingungen in der Sekunde aus, beträgt die Länge der Wellen 1000 m. Wellen von der Länge eines Meters entsprechen 300 Millionen Elektronenschwingungen je Sekunde. Bei 30 Milliarden Schwingungen in der Sekunde bilden die Elektronen Wellen in der Länge eines Zentimeters. Einer noch höheren Schwingungsfrequenz der Elektronen entsprechen Millimeterwellen.

Die Elektronen „gestalten“ also die Wellen. Sie führten auch das „Tonportrait“ der Musik an den Sender heran. Nun müssen sie nur noch in die Atmosphäre geschickt werden. Das kann allein in der Weise geschehen, daß an der Bildung der Radiowellen auch die Elektronen teilnehmen, die den Ton herantransportiert haben.

Wird die Schwingungsweite der die Radiowellen ausstrahlenden Elektronen von der Stärke des Stromes, der den Ton trägt, abhängig gemacht, so werden elektromagnetische Wellen einer bestimmten Länge ausgestrahlt, deren Amplitude, das heißt deren Schwingungsweite der Frequenz und der Stärke der Töne entsprechend verändert wird.

Auf diese Weise „löst“ sich die Musik von den Antennen der Sendestationen, umkreist die Erde und „beeinflusst“ dabei die vielen Antennen der Empfangsgeräte. Die Wellen tragen die Energie der Elektronen, denen sie ihre Entstehung verdanken, mit sich in den Raum. Mit Hilfe dieser Energie setzen sie die freien Elektronen in den Antennen der Empfangsgeräte in Bewegung. Die Schwingungen dieser Elektronen entsprechen ganz genau denen, die die Elektronen in der Antenne der Sendestationen aufwiesen. Der weite Weg hat zwar die Energie der elektromagnetischen Wellen abgeschwächt, vermochte jedoch in keiner Weise ihr „Tonmuster“ zu beeinträchtigen.

Der Elektronenstrom führt das „Tonportrait“ zum Empfangsgerät. Hier vollzieht sich eine abermalige Umwandlung; diesmal jedoch vom elektrischen Strom zum Ton.

Das gesteuerte Elektron verfügt über eine sehr wichtige Eigenschaft: Die Größe seiner Ladung wird durch nichts verändert. Darauf aufbauend entwickeln Fachleute bereits seit längerer Zeit eine große Zahl von Geräten und Apparaturen, die dem überaus umfangreichen technischen Gebiet der Elektronik angehören.

Es gibt heute in der Sowjetunion keinen Zweig der Volkswirtschaft mehr, in dem die Elektronik nicht zur Erhöhung der Arbeitsproduktivität und zur Vervollständigung der technologischen Prozesse angewandt wird.

Das Jahrhundert der Elektronik

Elektronen als wichtigste „Bestandteile“ in Geräten und Maschinen

In Elektronengeräten und -maschinen sind die Elektronen das treibende Element, wobei ihre Bewegungsgeschwindigkeit mehrere zehntausend, ja sogar hunderttausend Kilometer in der Sekunde erreicht. Die Arbeit, die sie leisten können, ist äußerst vielseitig.

Elektronische Geräte und Anlagen vermögen sowohl eine Drehbank als auch ein ganzes Werk zu steuern. Sie können mit gleichem Erfolg sowohl die vom Werk ausgeworfene Produktion berechnen als auch die schwierigsten Rechnungen ausführen, die sonst Ingenieure erledigen müssen. Sie gestatten ferner, physische Arbeit und in gewissem Maße auch geistige Arbeit zu mechanisieren. Die Arbeitsproduktivität wird dadurch auf eine früher undenkbare Höhe gebracht.

In Elektrovakuumgeräten bewältigen die Elektronen vielfältige Aufgaben. Sie erzeugen elektromagnetische Wellen bis 1 mm Länge mit einer Frequenz bis 300 Milliarden in der Sekunde, sie sichern den Empfang kurzer Impulsleistungen von mehreren zehntausend Kilowatt, und sie vermögen auch kleine Leistungen elektromagnetischer Wellen zu erzeugen, die große Bedeutung erlangen und etwa den milliardsten Teil eines Milliwattes betragen.

Die Elektronik brachte für Wissenschaft und Technik neue Forschungsmethoden. Auf ihrer Grundlage konstruiert und produziert man gegenwärtig eine Vielzahl von elektronischen Geräten, die die verschiedenartigsten nichtelektrischen Größen messen können wie Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Geräusche, Veränderungen an Anlagen und Konstruktionen, die Laufzeit kurzfristiger Prozesse, den Alkali- und Säuregehalt von Elektrolyten, die Intensität infraroter, sichtbarer und ultravioletter Strahlen und vieles andere.

Diese elektronischen Methoden gestatten, meßbare Größen an übersichtlichen Skalen (Milliamperemeter und Voltmeter) abzulesen. Diese Methoden

ermöglichen es, Prozesse mit Hilfe von Elektronenröhren direkt zu beobachten und die Meßergebnisse auf Papier (durch Schrift oder elektrochemisch) oder auf Photostreifen (Film, Platte oder Photopapier) festzuhalten. Man kann mit diesen Methoden auch nichtautomatische Fernsteuersysteme und automatische Steuerungssysteme durch Regelung mit Hilfe ständiger Messungen (Automatik) schaffen.

Die Elektronik erzeugt neue, selbständige Zweige in der Technik, wie die Funkpeiltechnik, Funkmessung, Radioastronomie, Radiometeorologie, Funkspektroskopie und andere.

Funkmessung und Funknavigation

Die erste Funkübertragung verwirklichte der bekannte russische Wissenschaftler A. S. Popow. Durch die Entdeckung der „Reflexion“ elektromagnetischer Wellen legte er gleichfalls den Grundstein für die Funkmessung.

Die sowjetischen Wissenschaftler entwickelten und vervollkommneten diese beiden Gebiete der Elektronentechnik. Die Besonderheit einer Funkmeßstation besteht darin, daß ihre Antenne die Wellen nicht nach allen Seiten aussendet wie die Antenne einer Sendestation, sondern als schmales, gerichtetes Bündel, so wie ein Scheinwerfer Licht ausstrahlt. Dabei darf die Wellenlänge 10 m nicht überschreiten; denn nur kurze Funkwellen können gut reflektiert werden. Längere Wellen weichen einem Gegenstand aus, ohne von ihm reflektiert zu werden. Die modernen Funkmeßstationen sind wesentlich verbessert worden. Wenn man früher mit einem akustischen Peilgerät ein Flugzeug in 10 km Entfernung innerhalb von 30 Sekunden anpeilen konnte, so geschieht das jetzt mit einem Funkpeilgerät in 0,00007 Sekunden.

Außerdem „sieht“ es nicht nur die entfernten Gegenstände, legt die Entfernung zu ihnen und ihre Lage fest, sondern es bestimmt auch ihre Bewegungsrichtung.

Rundsichtgeräte gestatten es, den umliegenden Luftraum oder das Gelände zu beobachten. Das Bild erhält man auf dem Bildschirm.

Wird der Bildschirm einer für die Luftfahrt bestimmten Rundsichtanlage mit einer Navigationskarte gekoppelt, so kann man den Kurs eines Flugzeuges genau verfolgen. Auch Standort und Flugrichtung anderer Maschinen, die sich innerhalb der Reichweite des Gerätes befinden, lassen sich

feststellen. Die Funknavigation, das heißt die Wissenschaft von der Anwendung der Elektronik zur Lenkung von Luft- und Seetransporten, hat mit der Funkmessung viel Gemeinsames. Wie die Funkmessung garantiert sie eine genaue Orientierung und die Sicherheit des Verkehrs bei schlechter Sicht, zum Beispiel nachts und bei Nebel. Die Schiffe „warten nicht mehr auf gut Wetter“, sondern fahren, mit Navigationsgeräten ausgerüstet, ihre reguläre Route, ohne von Wetter und Sicht abhängig zu sein.

In der Sowjetunion werden in großem Umfange nicht nur spezielle Funkmeßstationen und Peiler eingesetzt, sondern auch verschiedene komplexe Navigationssysteme, zu deren Ausstattung spezielle Sender, Funkbaken genannt, und Spezialempfänger gehören, die mit Anzeige- und Rechengeräten gekoppelt sind.

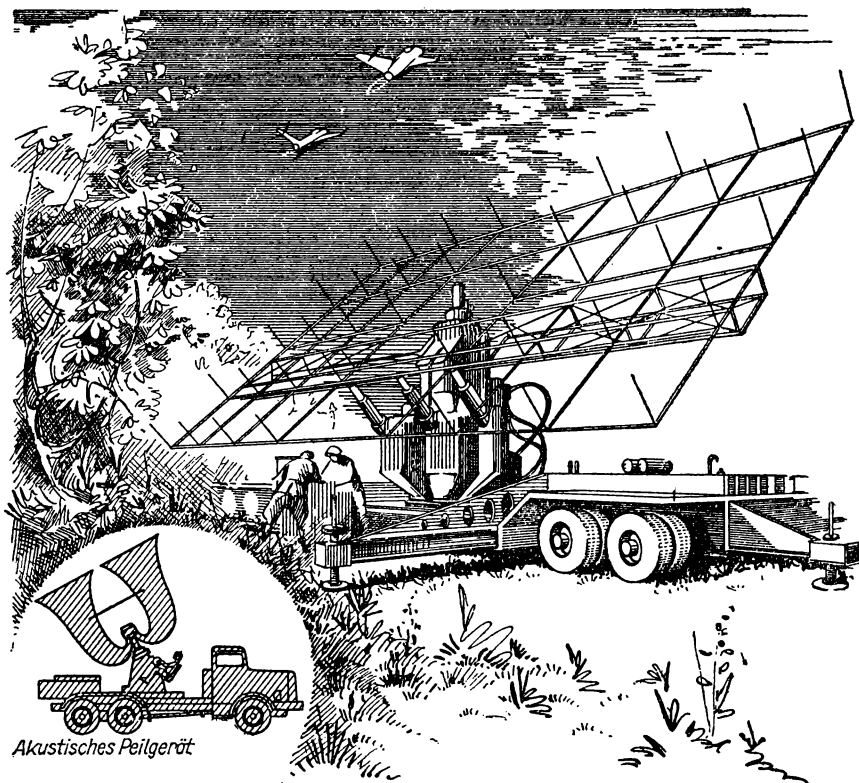


Abb. 17 Das Funkpeilgerät und sein Vorläufer

Auf einem Schiff, das mit einer Spezial-Funkmeßanlage ausgerüstet ist, die im Zentimeter- oder Millimeterwellenbereich arbeitet, kann der Kapitän bei jedem Wetter auf dem Bildschirm alles erkennen, was dem Schiff unterwegs begegnet.

Die Funkmeßanlagen auf den Schiffen helfen, Gewitter- und Sturmzonen festzustellen. Sie werden ebenfalls bei der Suche von Schiffen in Seenot verwendet.

Die Funkpeilmethoden spielen in der Navigation eine sehr wichtige Rolle und lösen eine Reihe wichtiger Navigationsaufgaben.

Die Fähigkeit einiger Antennenarten, die Richtung der von einer Funkstation ankommenden Wellen genau zu bestimmen, bildet die Grundlage der Funkpeiltechnik.

Dreht man die Antenne der Funkpeilanlage, die auf einem Turm oder Mast montiert ist, und mißt die Lautstärke der empfangenen Signale, so kann man feststellen, in welcher Richtung die Funkstation liegt. Man braucht nur die Richtungen zweier Funkstationen, deren Koordinaten bekannt sind, zu bestimmen, um den Standpunkt des eigenen Schiffes zu finden, auf dem die Funkpeilanlage montiert ist.

Mit Funkpeilanlagen korrigiert man die Abweichungen der Magnetkompassse, deren Anzeige fast stets von der genauen Nord-Süd-Richtung abweicht.

Die Prinzipien der Funkpeiltechnik ausnützend, konstruierten die Ingenieure in Gestalt der Funkkompassse und der automatischen Piloten Geräte zur automatischen Flugzeugführung. Diese korrigieren ohne Eingreifen des Menschen Abweichungen von der vorgesehenen Flugrichtung.

Heute begibt sich kein Schiff oder Flugzeug ohne elektronische Navigationsgeräte auf eine größere Reise. Alle größeren Flug- und Schiffshäfen sind mit verschiedenartigen Navigationsanlagen ausgerüstet, die eine sichere Landung des Flugzeuges oder die sichere Einfahrt des Schiffes in den Hafen gewährleisten.

Auf Flughäfen befinden sich Sender, die eine Blindlandung auch bei schlechter Sicht ermöglichen.

Die meisten Flughäfen besitzen jetzt die neuesten Funkstationen, mit denen die Landung der Flugzeuge gesteuert werden kann. Betritt man das Zimmer des Funkers einer solchen Station, so kann man auf dem Bildschirm alle Flugzeuge sehen, die sich in der Umgebung des Flughafens in der Luft befinden.

Im Hafen erkennt der Diensthabende auf dem Schirm einer Rundsichtanlage das Fahrwasser und seine Begrenzung, Schiffe, Bojen, Leichter,

Schlepper usw. Durch Funk können den Hafenlotsen und den Kapitänen ein- und auslaufender Schiffe wertvolle Hinweise für das Navigieren gegeben werden. Man denkt auch daran, das Schirmbild eines solchen „Hafenradargerätes“ über Fernsender an die navigierenden Schiffe zu übermitteln.

Radiometeorologie

Seit Urzeiten bringen Stürme und Orkane, verheerende Regengüsse und Überschwemmungen, Dürre und Hagelschlag dem Menschen großes Unheil.

Im Kampf gegen diese Naturkräfte entstand die Meteorologie, eine Wissenschaft, die sich mit den atmosphärischen Vorgängen beschäftigt.

Die Meteorologie spielt im Leben eines jeden Landes eine sehr große Rolle. Sie informiert den Flugzeugpiloten und den Seemann über Unwetter; mit ihrer Hilfe trifft der Landmann rechtzeitig Maßnahmen zur Bergung der Ernte; im Bauwesen verhilft sie zur Auffindung geeigneter Plätze für die Anlagen von Städten, Siedlungen und Heilstätten; und für den Bau von Dämmen und Brücken liefert sie den Konstrukteuren wichtige Unterlagen.

Eine neue Etappe in der Entwicklung der Meteorologie stellt die Radiometeorologie dar. Ihr stehen viele elektronische Einrichtungen zur Erforschung der Atmosphäre zur Verfügung.

Entsprechend den meteorologischen Faktoren der Atmosphäre werden Radiowellen entweder gebrochen, zerstreut oder absorbiert. Von den in der Luft vorkommenden Wasser- und Eisteilchen werden Zentimeter- und Millimeterwellen stark zerstreut. Wellen in der Länge von etwa 1,3 cm werden durch den in der Luft enthaltenen Wasserdampf, Wellen von 2,5 bis 5 mm durch den Sauerstoff der Luft „gelöscht“. Sehr stark werden Wellen von Schneeflocken, Regentropfen und Graupelkörnern absorbiert. Analog den Methoden der einfachen Funkmessung beobachten die Meteorologen mit Hilfe der von den Wellenbestandteilen reflektierten Signale die Bewegung der Wolken, während sie unter Anwendung der Funkpeilmethoden den Standort atmosphärischer Entladungen und damit die Lage von Gewitterwolken feststellen.

Eine interessante Erfindung auf dem Gebiete der Meteorologie wurde von den sowjetischen Wissenschaftlern P. A. Moltschanow und J. G. Freimann

in Form der Radiosonde gemacht. Sie dient zur Messung des Druckes, der Temperatur und der Feuchtigkeit in den oberen atmosphärischen Schichten. Die Radiosonde besteht aus einem kleinen Luftballon, der eine transportable Einrichtung einfachster meteorologischer Meßgeräte, eine Anlage zur Verschlüsselung der meteorologischen Daten sowie einen schwachen Sender und eine Stromquelle mit sich in die oberen Luftschichten führt. Die Radiosonde fliegt in der Richtung des Windes und ermittelt auf ihrem Weg den Zustand der Atmosphäre. Diese Daten werden regelmäßig an die Empfangsanlage der meteorologischen Station übermittelt.

Im Jahre 1931 entwickelte der sowjetische Funktechniker B. M. Konoplew eine automatische funkhydrometeorologische Station. Solche Stationen sind für schwer zugängliche Gebiete wie beispielsweise die Arktis bestimmt. Sie erfordern kein Bedienungspersonal und übermitteln in regelmäßigen Abständen meteorologische Berichte. Die Betriebsdauer einer solchen Station wird durch ihr Arbeitsprogramm sowie durch die Energievorräte ihrer Versorgungsanlagen bestimmt. Gewöhnlich beträgt sie mehr als ein Jahr.

Die Apparate sind einfach und sehr raumsparend. Man kann sie vom Flugzeug aus über unzugänglichen Gebieten abwerfen. Auf der Erde stellt sich die Station bei jedem Gelände sofort „auf die Füße“; fällt sie ins Wasser, so bleibt sie an der Oberfläche. Die Station nimmt dann unverzüglich die Arbeit auf. Die Geräte messen die Temperatur, den Druck, die Luftfeuchtigkeit, die Windgeschwindigkeit usw. Alle Angaben werden automatisch verschlüsselt und als Funksignale in die Atmosphäre geschickt.

Jede meteorologische Station arbeitet ununterbrochen, schaltet in bestimmten Zeitabständen automatisch die Funkanlage ein und übermittelt die gesammelten Meßergebnisse der Geräte an die Empfangszentrale der ständigen meteorologischen Station. Hier werden die Angaben der verschiedenen automatischen Stationen vom Meteorologen ausgewertet. Auf ihrer Grundlage werden die Wettervorhersagen erarbeitet.

Die dabei von den Meteorologen vorzunehmenden Berechnungen sind sehr mühsam und zeitraubend. Zu ihrer schnellen Erledigung werden deshalb elektronische Rechenmaschinen verwendet. Wir werden diese in einem der folgenden Kapitel näher kennenlernen.

Das „Radiofenster“ ins Weltall

Im Jahre 1931 umkreiste eine sensationelle Meldung den Erdball: Man hat Funksignale von Bewohnern anderer Planeten aufgefangen. „Marsmenschen funken!“ lauteten die Schlagzeilen der Zeitungen. Wissenschaftler sind mit der Entschlüsselung eines von denkenden Wesen ausgesandten und von uns aufgefangenen Radiogramms beschäftigt. In kurzer Zeit kann man mit der Herstellung einer beiderseitigen Funkverbindung zu den Nichterdenbewohnern rechnen – schrieben die Journalisten.

Tatsächlich hatten in jenem Jahr Wissenschaftler Funksignale aus dem Kosmos aufgefangen. Diese Signale erreichten alle 23 Stunden und 56 Minuten ihre größte Stärke, das heißt in dem Moment, da die Erde jeweils eine volle Umdrehung um ihre eigene Achse vollzogen hatte. Die Pressemeldung hatte die Phantasie der Leser angeregt, und diese warteten ungeduldig auf eine Stellungnahme der Wissenschaftler.

Die Astronomen und Physiker waren in Verlegenheit. Sie hatten angenommen, daß elektromagnetische Wellen aus kosmischen Entfernungen die Erdoberfläche nur in Form von Lichtstrahlen erreichen können. Wellen, die länger oder kürzer als die des Lichtes sind, müßten entweder von der Atmosphäre absorbiert oder von der Ionosphäre zurückgeworfen werden. Und plötzlich... geheimnisvolle Funksignale auf Wellen von etwa 15 m.

Wie groß war nun aber die allgemeine Enttäuschung, als die Wissenschaftler, anstatt die Mutmaßungen der Journalisten zu bestätigen, die Erklärung abgaben, daß die Funksignale von dem im Zentrum unserer Milchstraße gelegenen Sternbild des Schützen ausgehen und keinesfalls als Versuch angesehen werden können, Funkverbindung mit den Erdbewohnern aufzunehmen. Es handelte sich ganz einfach um Funkstrahlungen infolge von Naturprozessen.

Es wurde festgestellt, daß es in der gasförmigen Hülle des Erdballes neben der Lichtdurchlässigkeit noch ein kleines „Fenster“ gibt, durch das auch Wellen mit einer Länge von weniger als 30 m (bis 1 mm) frei hindurchdringen können. Die Entdeckung dieses „Radiofensters“ brachte eine völlige Umwälzung in der ältesten aller Wissenschaften, in der Astronomie, mit sich.

Das „Lichtfenster“ hatte es gestattet, lediglich die Himmelskörper zu untersuchen, die Licht ausstrahlen. Nach dem Spektrum dieses Lichtes konnte man die Temperatur der Sterne bestimmen und feststellen, aus welchen Stoffen sie zusammengesetzt sind.

Das „Radiofenster“ eröffnete neue Möglichkeiten zum Studium des Welt-

alls. Es ermöglicht den Wissenschaftlern, mit Hilfe der Radiowellen nicht-leuchtende Körper des Weltalls zu untersuchen, ihre Form und ihre Größe zu studieren sowie die Entfernung zu ihnen festzustellen.

Radiowellen von 1 cm bis 20 m umfassen einen zehnmal größeren Frequenzbereich als Lichtwellen. Daher sind die Möglichkeiten zur Erforschung von Himmelskörpern mit Hilfe von Radiowellen bedeutend umfangreicher als mit Lichtwellen.

So wurde die Astronomie durch einen modernen Wissenschaftszweig, die Radioastronomie wesentlich bereichert.

Radioastronomische Beobachtungen sind im Unterschied zu den üblichen Methoden bei jedem Wetter, Tag und Nacht möglich.

Gegenwärtig werden Radiostrahlungen der Sonne, des Mondes, der Gase im Raum zwischen den Sternen sowie der sogenannten Radiosterne, das heißt der Sterne, die Radiowellen aussenden, systematisch erforscht.

Die Radioastronomie arbeitet mit den leistungsfähigen Antennenanlagen, den empfindlichen Empfangsgeräten und anderen Einrichtungen der Funkmeßtechnik.

Die Funktechnik stellte darüber hinaus der Astronomie eine Reihe neuer Geräte zur Verfügung. Es wurden überaus empfindliche Empfangsanlagen konstruiert, die mit besonderen Antennen im Ausmaß von mehreren hundert bis mehreren tausend Quadratmetern versehen sind. Solche Einrichtungen werden Radioteleskope genannt.

Radioteleskope

Die heutigen Radioteleskope sind wichtige Instrumente zur Untersuchung des Weltalls.

Die Erdatmosphäre läßt Radiowellen mit einer Länge bis 30 m passieren. Sie werden im Reflektor des Radioteleskops gesammelt, über die Antenne zum Empfänger geleitet, hier verstärkt und auf dem Band eines selbsttätigen Schreibgerätes registriert.

Die Radioteleskope vervollständigen unsere Kenntnisse über die Himmelskörper und die sich dort abspielenden physikalischen Prozesse. Sie ermöglichen die Entdeckung bisher unbekannter Sternennebel, das heißt Anhäufungen von Sternen und Gasen im Sternraum, und ihre Einzeichnung in die Sternkarte; sie enthüllten auch die Katastrophe des Zusammenpralls zweier Milchstraßensysteme.

In der Radioastronomie gelang es auch, den Teil unserer Galaxis (Milchstraße) zu betrachten, der durch Gase im Sternenraum und durch Nebel verborgen ist und mit Lichtteleskopen nicht wahrgenommen werden kann. Dabei erkannte man, daß unsere Galaxis eine Spiralform besitzt.

Heute empfängt man Radiosignale von mehr als 100 Objekten des Weltalls. Als ihre Ursache können sowohl vor langer Zeit existierende ferne Milchstraßen als auch in jüngster Zeit entstandene neue Sterne und auch gewisse Katastrophen im Weltall angesehen werden.

Die Sonne war Forschungsgegenstand von Astronomen aller Zeiten und Völker. Die heutige Radioastronomie ergänzt aber unsere Kenntnisse über diesen Himmelskörper wesentlich. Die Sonne sendet Radiowellen in der Länge von einigen Millimetern bis 15 m aus. Die Strahlungsintensität fällt oder steigt entsprechend dem Verlauf der auf der Sonne vor sich gehenden Prozesse. Die höchste Intensität ist in der Periode maximaler Sonnen-tätigkeit zu verzeichnen. In diesem Fall ist die Radiostrahlung, beispielsweise der Meterwellen, tausendmal stärker als gewöhnlich.

Die Forschungsergebnisse zeigen, daß die stärkste Strahlung von Meterwellen von der gasförmigen Hülle der Sonne, von ihrer Korona, ausgeht. Zentimeterwellen entstehen dagegen in erster Linie in ihrem inneren Teil.

Einige Erscheinungen auf der Erde sind vom Verlauf der auf der Sonne vor sich gehenden Prozesse abhängig. Sonnenprotuberanzen werden von magnetischen Stürmen und Stürmen in der Ionosphäre begleitet, wodurch erhebliche Störungen in den Kurzwellenverbindungen eintreten. Somit können nach der Strahlungsintensität der Sonne Radioprognosen aufgestellt werden.

Die Radioastronomie eröffnet neue Wege zur Erforschung des Weltalls, neue Methoden zur Bestimmung der Zusammensetzung und Verteilung der Stoffe im Sternenraum sowie zur Lösung astronomischer, physikalischer und kosmogonischer Probleme.

Funkmeßastronomie

Der Weg von einer Stadt zur anderen kann nach Metern mit dem Bandmaß gemessen werden. Wieviel Meter beträgt aber die Entfernung von der Erde zum Mond?

Die sowjetischen Wissenschaftler L. J. Mandelscham und N. D. Papaleksi

wiesen im Jahre 1943 nach, daß diese Größe auch mit Hilfe der Funkmessung bestimmt werden kann.

Lag die Genauigkeitsgrenze bei bis dahin durchgeführten Entfernungsmessungen zwischen Erde und Mond im Bereich von über 10 km, so gestattet die Funkmeßmethode Angaben mit einer Genauigkeit bis zu 1 km.

Die Funkmeßastronomie ist eine neue Wissenschaft, die auf der Anstrahlung von Himmelskörpern durch Radiowellen und der Registrierung der reflektierten Strahlung beruht. Der Mond war das erste Forschungsobjekt der Funkmeßastronomie. Später folgte die Beobachtung von Meteoren. Gegenwärtig ist die Venus als Meßobjekt vorgesehen.

Die Möglichkeiten der Funkmeßastronomie sind außerordentlich zahlreich. Die Funkmeßastronomie gestattet die Untersuchung von Planeten und großen Planetoiden sowie die Erforschung der Meteorbewegung, deren Geschwindigkeit 12 bis 72 km/s beträgt.

Für gewöhnlich sind fallende Meteore nur im Dunkeln sichtbar. Durch die neuen Methoden ist ihre Erforschung jedoch zu jeder Tages- und Nachtzeit und bei jeder Sicht möglich. Das gestattet die Bestimmung der Lebensdauer der für das Auge unsichtbaren Meteorspuren in der Atmosphäre.

Mit Hilfe der Funkmeßmethode wird nicht nur die Bewegungsgeschwindigkeit der Meteore, sondern auch die Geschwindigkeit der ionosphärischen Stürme bestimmt, die sich, wie bereits gesagt, in einer Höhe von 100 km abspielen und Geschwindigkeiten bis 200 km/h erreichen.

Atome als Erzeuger für Radiowellen

Die Radioastronomie lüftete Geheimnisse im Weltall, die mit optischen Mitteln unmöglich entdeckt werden konnten. So stellte man fest, daß der Raum zwischen den Sternen Wasserstoffgas enthält.

Nachdem die Astronomen die Strahlung des Wasserstoffes zwischen den Himmelskörpern entdeckt hatten, bestimmen sie jetzt die Konzentrationsverteilung dieses Gases an verschiedenen Orten im Weltall und seine Bewegung. Der in unserer Milchstraße befindliche Wasserstoff ist besonders in den Spiralarmen enthalten. Er wurde auch in anderen Milchstraßen entdeckt. Er bildet zum Beispiel die sogenannten Magellanschen Wolken, wobei nicht nur die Gasmenge gemessen werden konnte, sondern auch ihr Bewegungstempo. Dies führte zur Untersuchung des dynamischen Verhaltens dieser Milchstraßen.

Erinnern wir uns: Das Wasserstoffatom besteht aus einem Kern, das heißt dem Proton, und einem Elektron (in der Schale). Die Magnetmomente des Protons und des Elektrons können entweder gleichsinnig oder gegensinnig gerichtet sein. Sind sie gleichsinnig, so befindet sich das Wasserstoffatom in einem höheren Energiezustand als im umgekehrten Falle.

In der Natur vollzieht sich der Übergang des Wasserstoffatoms von einem Zustand in den anderen nicht häufiger als einmal in 11 Millionen Jahren. Aber gerade in diesem Moment, wenn das Elektron seine Umdrehungsrichtung ändert und die Magnetmomente des Protons und des Elektrons addiert werden, sendet das Wasserstoffatom Radiowellen von 21 cm Länge aus.

Eben diese Wellen fangen die Astronomen mit Radioteleskopen auf.

Folglich dient das Wasserstoffatom als Generator der Dezimeterwellen.

Das Monopol der Elektronenröhre wird gebrochen

Kristalle ersetzen Radioröhren

Als vor nicht allzu langer Zeit in Frankreich ein Kongreß der Radiofachleute stattfand, holte ein Teilnehmer während seines Vortrages ein klavierähnliches Instrument in Größe eines Zigarettenetuis aus seiner Jackentasche, bat darum, einen Verstärker anzuschließen und begann auf dem Instrument zu spielen.

Es war ein sonderbares Instrument. Unter den winzigen Klaviaturtasten befanden sich anstelle von Elektronenröhren, wie sie beim elektrischen Klavier üblich sind, kleine Kristalle. Diese erzeugten beim Niederdrücken der Tasten elektrische Stromstöße, die verstärkt und vom Lautsprecher wiedergegeben wurden.

Das Konzert erfreute sich eines großen Beifalls; nicht deswegen, weil aus dem Lautsprecher harmonische Klänge ertönten, sondern weil dieses originale Instrument ein neuer Beweis für die unbegrenzte Anwendungsmöglichkeit von Halbleitern war, die unter anderem für Transistoren verwendet werden.

Rundfunkgeräte mit eingebauten Transistoren können so klein gehalten werden, daß sie sogar in einer Armbanduhr Platz finden. Mit Transistoren wurden von Radiobastlern auch kleine Taschensender für telegraphische und telephonische Verbindungen gebaut, und es ist erwähnenswert, daß mit ihnen Moskauer Radioliebhaber untereinander drahtlose Verbindungen von 10 bis 15 km herstellten. Man kann aber auch Verbindungen über einige hundert, ja sogar tausend Kilometer mit Transistorensendern schaffen.

Sowjetische Ingenieure bauen heute Mikroradiostationen, die statt Elektronenröhren Halbleiterkristalle besitzen und ihre Betriebsenergie durch radioaktive Elemente erhalten. Eine solche Radiostation kann bequem auf einer Handfläche Platz finden. Ob zu Haus, unterwegs oder bei Bekannten – es genügt, den kleinen Apparat einzuschalten, und er beginnt zu arbeiten.

Fast vierzig Jahre lang haben Fachleute aller Wissenszweige die Vorzüge

der Elektronenröhren gelobt, die Radiofachwelt lag ihnen zu Füßen... und plötzlich geriet ihre Herrschaft ins Wanken.

In der Zeit, als die Elektrovakuum-Industrie ihre höchste Entwicklung erreicht hatte, wurde ein neuer revolutionierender Stoff entdeckt, der nach und nach von sich reden machte. Er war gleichsam eine „Bombe mit Zeitzündler“, die bereits 1922 von dem jungen sowjetischen Physiker O. W. Lo-sew, der damals in einem Nishegorodskojer Radioinstitut arbeitete, experimentell erprobt worden war. Und obwohl diese „Bombe“ sehr klein war, hatte sie eine ungeheuere Wirkung.

Ein Kristall anstelle einer Radioröhre – das war die „Explosion“, die die Alleinherrschaft der Elektronenröhre beendete. In einer Elektronenröhre können die Elektronen erst bei einem hohen Vakuum wirksam werden. Ein weiterer Nachteil der Röhren besteht in ihrer Größe und auch darin, daß sie mehrere Spannungszuführer benötigen. Da sie leicht zerbrechlich sind, muß man sie außerdem sehr vorsichtig behandeln.

Der winzige Halbleiterkristall mit angelötetem dünnem Drähtchen braucht weder besonders vorsichtig behandelt zu werden, noch bedarf er eines Vakuums oder gar einer Heizspannung. Die Lebensdauer eines solchen Kristalls ist dutzendemal größer als die einer Elektronenröhre. Er ermöglicht auch eine bessere Ausnutzung der Energiequelle.

Klein, billig und stabil

Die Radioröhren leisteten jahrzehntelang dem Menschen große Dienste. Die einfacheren heißen Dioden, da sie nur zwei Elektroden besitzen, die komplizierteren Trioden, Tetroden, Pentoden usw. In letzter Zeit wurden sie von den viel einfacheren und stabileren Halbleiterdioden, -trioden und -tetroden verdrängt, das heißt von kristallinen „Halbleiterröhren“ mit zwei, drei und vier Elektroden. Man lötet sie im Gerät entweder ein, ähnlich wie gewöhnliche Widerstände und kleine Kondensatoren, oder steckt sie wie Radioröhren in winzige Sockel.

In der Radioindustrie wird in zunehmendem Maße eine neue Methode der Gerätemontage angewendet, und zwar die Methode der gedruckten Schaltung. Das ganze Schaltschema des Empfängers wird mit einer leitfähigen Substanz auf eine Platte gedruckt, etwa wie das Papier in der Druckerei bedruckt wird, und die bedruckten Stellen werden auf chemischem Wege mit einer dünnen Kupferschicht versehen. In die fertigen Sockel der Vor-

lage steckt man dann die „Halbleiterröhren“, die Transistoren und andere Teile, und das Gerät ist gebrauchsfertig.

Heute wird nach der Methode der gedruckten Schaltung nicht allein die Montage der elektrischen Leitung durchgeführt, sondern auch die Widerstände, Kondensatoren, Umschalter usw. werden auf diese Weise angebracht.

Die Methode der gedruckten Schaltung gewährleistet eine sichere elektrische Leitung und einen guten Kontakt. Außerdem vereinfacht sie den Produktionsgang, da das Gerät während des Arbeitsprozesses leichter zu handhaben ist, die Geräte stabiler werden, besser funktionieren und in kleinen Ausmaßen gehalten werden können.

Der Hauptvorteil der gedruckten Schaltung besteht aber darin, daß man den Produktionsprozeß im Gegensatz zur gewöhnlichen Herstellungsart automatisieren kann, wodurch die Herstellungszeit stark verkürzt, der Arbeitsaufwand vermindert, der Produktionsausstoß erweitert wird und die Selbstkosten gesenkt werden.

Transistoren sind viel widerstandsfähiger, weitaus kleiner und bedeutend sparsamer im Energieverbrauch als Elektronenröhren. Durch Anwendung von Transistoren und der gedruckten Schaltung ergeben sich für die Konstrukteure von Rundfunkgeräten vielversprechende Möglichkeiten.

Empfänger- und Sendermoleküle für Radiowellen

Nicht allein die Empfängerröhre hat in den Halbleiterdioden und -trioden transistorenstarke Rivalen, auch die Generatorenröhren und Verstärker werden von neuen Gegnern bekämpft. Zwar sind es noch sehr „junge und unerfahrene“ Gegner, trotzdem gehört ihnen die Zukunft. Es handelt sich um Molekulargeneratoren und Molekularverstärker.

Während man bisher freie Elektronen brauchte, um Radiowellen zu erzeugen, so werden diese in den neuen Geräten durch Atome oder Moleküle selbst gebildet. Es stellte sich nämlich heraus, daß die Atome und Moleküle von verschiedenen Stoffen unter Einfluß von Licht und Wärme sowie unter Einwirkung von elektromagnetischer Energie nicht nur Licht-, sondern auch Radiowellen ausstrahlen können.

Weiter wurde von Wissenschaftlern beobachtet, daß besondere Atome oder Moleküle Radiowellen von bestimmter Länge ausstrahlen oder auch absorbieren. So stellte man fest, daß in ein und demselben Stoff sich sowohl

Empfängermoleküle befinden, die die Radiowellen absorbieren, als auch Sendermoleküle, die sie ausstrahlen.

Nachdem die Wissenschaftler diese Erscheinung festgestellt hatten, überlegten sie, ob man sie nicht für den Empfang von Radiowellen und ihre praktische Anwendung ausnutzen könnte. Der Gedanke war sehr verlockend, da diese Radiowellen über eine besondere Eigenschaft verfügen: Sie besitzen eine äußerst stabile Frequenz. Auch die Moleküle eines jeden Stoffes zeichnen sich durch eine sehr gleichmäßige Frequenz der ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen aus, die durch keinerlei äußere Einflüsse verändert werden können.

Ein großer Nachteil besteht aber darin, daß ein Stoff gewöhnlich mehr Empfänger- als Sendermoleküle hat. Dabei werden die von den Sendermolekülen ausgestrahlten Wellen von den ersteren stark absorbiert. Nach langen Überlegungen gingen die Wissenschaftler daran, die Sendermoleküle von den Empfängermolekülen zu trennen, um eine ungestörte Ausstrahlung der Radiowellen in den Raum zu ermöglichen.

Auf diese Überlegungen gestützt, entstand ein Radiowellengenerator, in dem die Wellen von Ammoniakmolekülen ausgestrahlt werden. Seine Erbauer waren die Leninpreisträger N. G. Basow und A. M. Prochorow sowie

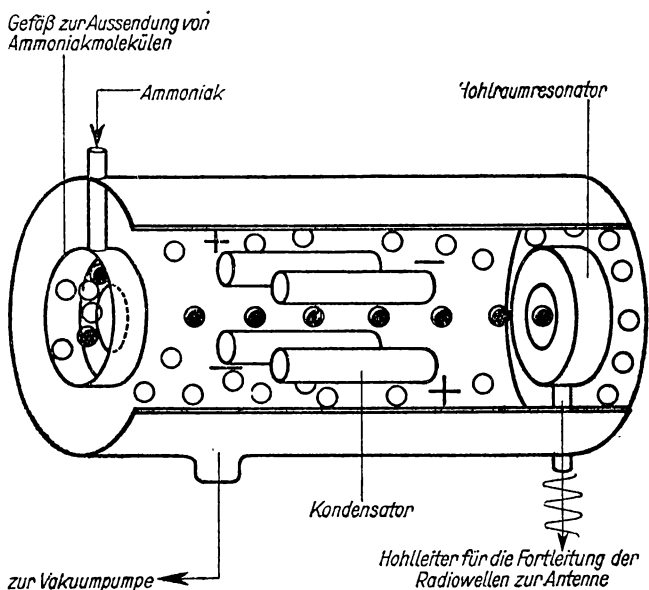


Abb. 18 Molekulargenerator

Mitarbeiter des Physikalischen Institutes der Akademie der Wissenschaften der UdSSR.

Das Gerät ist äußerst einfach aufgebaut. Es besteht aus drei Hauptteilen: erstens aus einem Behälter, dem durch ein dünnes Rohr Ammoniak zugeleitet wird, zweitens aus einem Kondensator, der die Sendermoleküle sammelt und die Empfängermoleküle von ihnen isoliert, und drittens aus einem metallischen Zylinder, in dem die durch den Kondensator getrennten Moleküle Radiowellen mit einer Länge von 12,7 mm ausstrahlen.

Für dieses Gerät braucht man nicht unbedingt Ammoniakmoleküle; man kann auch Moleküle anderer Stoffe benutzen. Die Konstruktion des Gerätes läßt auch andere Arbeitsmethoden zu.

Diese neuen Generatoren und Verstärker (siehe Abb. 18 und 19) werden in Wissenschaft und Technik eine wichtige Rolle spielen. Wandelt man zum Beispiel die mit ihnen gewonnenen Radiowellen in kurze Stromimpulse um, so kann mit diesen auch eine gewöhnliche elektrische Uhr betrieben werden. Die Genauigkeit einer solchen Uhr hängt vor allem von den Eigenschaften der Moleküle ab, und da diese Eigenschaften unveränderlich sind, geht auch die von ihnen gespeiste Uhr sehr genau. Es ist überhaupt die genaueste, jemals vom Menschen geschaffene Uhr und ein unbedingt verläßlicher Zeitgeber.

Wenn man zwei solche Uhren mit gleicher Zeit in großer Entfernung voneinander aufstellen würde, zum Beispiel die eine in Moskau und die andere

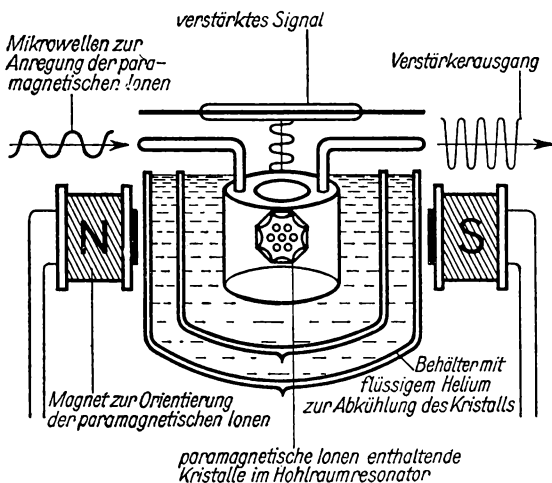


Abb. 19 Molekularverstärker

auf Kamtschatka, so wird nach einem Jahr zwischen beiden nur eine Zeitdifferenz von höchstens einer milliardstel Sekunde eintreten.

Mit einer solchen Uhr kann man deshalb sehr exakt verschiedene wissenschaftliche Arbeiten kontrollieren, radionautische Systeme aufstellen, die Frequenzstabilität von Sendestationen erhöhen, verschiedene automatische Steuerungssysteme schaffen und viele andere wichtige Aufgaben erfüllen.

Doch im folgenden wollen wir uns noch näher mit den Halbleitern und ihren Verwendungsmöglichkeiten beschäftigen.

Halbleitergrundstoffe

Jahrzehntelang forschten die Energetiker nach den besten Stromleitern und auch Isolatoren und übersahen dabei vollkommen diejenigen Stoffe, die eine Zwischenstellung einnehmen, das heißt, weder gute Leiter noch Isolatoren sind. Und doch verfügen diese Stoffe, die Halbleiter, über sehr wertvolle Eigenschaften, deren Ausnutzung heute zur Revolutionierung der Technik führt.

Die Stoffe von kristalliner Struktur kann man je nach ihrer elektrischen Leitfähigkeit in drei Gruppen einteilen: in Leiter, Halbleiter und Isolatoren. Zu den Leitern des elektrischen Stromes gehören einige Metalle, darunter Kupfer und Aluminium, zu den Isolatoren ebenfalls nur eine begrenzte Zahl von Stoffen. Dagegen gehören zu den Halbleitern eine große Anzahl einzelner Elemente, wie Germanium, Silizium, Graphit, Selen, Tellur, Bor, Arsen, Phosphor und ihre chemischen Verbindungen, aber auch zusammengesetzte anorganische Stoffe, wie Mineralien und Erze.

Welche charakteristischen Eigenschaften besitzen nun die Halbleiter?

Sie haben einerseits zu wenig freie Elektronen, um unter Einfluß eines elektrischen Feldes einen genügend starken und verwendbaren elektrischen Strom entstehen zu lassen, auf der anderen Seite wiederum zu viele freie Elektronen, um die Rolle guter Isolatoren übernehmen zu können. Das ist das eine hervorstechende Merkmal der Halbleiter. Zweitens kann die Anzahl freier Elektronen in ihnen bei zunehmender Temperatur ebenfalls größer werden. Diese Eigenschaft wird dazu ausgenutzt, um wärme-messende Geräte zu konstruieren, sogenannte Thermistoren, die sehr klein und außerordentlich wärmeempfindlich sind.

Die Elektronen der Halbleiter können auch unter Einwirkung von Licht ausgelöst werden, was ihre Anwendung für eine direkte Umwandlung der

Sonnenenergie in elektrische Energie möglich macht. Auch bei radioaktiver Strahlung werden viele Elektronen frei. Man kann deshalb Halbleiter dazu benutzen, um Kernenergie in elektrischen Strom umzuwandeln.

In Abhängigkeit von gewissen Zusätzen besitzen Halbleiter entweder eine negative oder eine positive Leitfähigkeit – eine Eigenschaft, die im breitesten Rahmen bei der Herstellung von kristallinen Gleichrichtern und Verstärkern angewandt wird.

Die Theorie der Halbleiter wurde von dem Akademiker A. F. Joffe und dem Korrespondierenden Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR J. I. Frenkel erarbeitet. Joffe und seine Mitarbeiter waren über zwanzig Jahre mit diesen Arbeiten beschäftigt, die heute die Anwendungsmöglichkeiten von Halbleitern in den verschiedensten Volkswirtschaftszweigen eröffnen.

Halbleiter im Dienste der Technik

In der Sowjetunion werden heute Halbleiter in mehr als zwanzig Gebieten der Volkswirtschaft angewandt.

Der Wunsch aller Energetiker – Wärmeenergie direkt in elektrische Energie umzuwandeln – schien lange Jahre ein phantastischer Traum. Als aber sowjetische Wissenschaftler die Halbleiterthermoelemente schufen, wurde er zur Wirklichkeit.

Mit Hilfe der neuen Thermoelemente kann man heute elektrische Energie ohne die bisher gebräuchlichen Öfen, Heizkessel, Turbinen und Generatoren gewinnen. Die sowjetische Industrie baut heute schon mehrere Typen solcher Thermoelemente. Es gibt zwar vorläufig noch keine Kraftwerke, die im Industriemaßstab auf diese Weise Strom liefern, doch arbeiten bereits mehrere kleine Versuchsstationen. Die tagtäglichen Fortschritte auf diesem Gebiet lassen erwarten, daß man in Zukunft ganze Dörfer und Städte mit Hilfe von Thermoelementen elektrifizieren wird.

Worauf beruht der Wirkungsmechanismus der Thermoelemente ?

Werden zwei Halbleiter in entsprechender Weise zusammengeschweißt und dann erhitzt, so entsteht eine hundertmal größere elektromotorische Kraft als bei derart behandelten Metallen, aus denen die gewöhnlichen, heute bekannten Thermoelemente angefertigt sind.

Diese hervorragende Eigenschaft, durch die sich Halbleiter von Metallen unterscheiden, eröffnen den Halbleitern große Perspektiven. Mit ansteigen-

der Temperatur nimmt die Konzentration der freien Elektronen in den Halbleitern stark zu. Da sie bereits bei Zimmertemperatur relativ groß ist, erreicht sie bei entsprechend hohen Temperaturen gewaltige Ausmaße, wobei je nach der jeweiligen Leitfähigkeit des Halbleiters sich an seinen Enden entweder eine positive oder negative Ladung ansammelt. Darin besteht das ganze Geheimnis eines Thermoelements.

Wenn man Halbleiterthermoelemente in Batterien zu 20 bis 40 Stück zusammenschließt, dann erhält man eine Spannung von 3 bis 15 und mehr Volt. Für Radiogeräte in Gebieten ohne Stromanschluß werden heute von der Industrie besondere Halbleiterthermoelemente herausgebracht, sogenannte Thermoelktrogeneratoren. Es sind dies einfache Petroleumlampen mit einem Spezialschirm, in dem die Wärme des erhitzten Petroleumgases in elektrische Energie umgewandelt wird. Eine solche Petroleumlampe gibt genügend Strom, um ein Radiogerät mit 3 Watt vom Typ „Rodina“ zu speisen.

Zehntausende von Thermoelktrogeneratoren werden von Expeditionsmitgliedern, Jägern, Touristen, Fischern und anderen als Lichtquelle und Radiobatterien in entlegenen Gebieten benutzt. Stärkere Thermoelktrogeneratoren werden natürlich nicht mehr nur mit Petroleumlampen beheizt. Sie arbeiten zwar auch auf der Grundlage von erhitztem Petroleumgas, doch in einem viel größeren Maßstab. Mit solchen Einrichtungen werden besiedelte Standorte ausgerüstet, die in entfernten Gebieten noch keinen Stromanschluß besitzen. Man schließt an sie Empfänger- und Sendergeräte vom Typ „Uroshai“ an und verwendet sie auch als Lichtquellen.

Für größere Stationen, die keine Verbindungen zu Kraftwerken haben und stärkere elektrische Energiequellen brauchen, um elektrisches Licht zu erzeugen und auch Akkumulatoren aufzuladen, benützt man Thermoelktrogeneratoren, die mit Hilfe besonderer Holz- oder Kohleöfen arbeiten. Thermoelktrogeneratoren dieser Art können Hunderte von Watt erzeugen. Heute sind bereits theoretische Grundlagen geschaffen, um Thermoelktrogeneratoren von mehreren Kilowatt zu bauen.

Der Schritt von der Petroleumlampe als Energiequelle zu Spezialöfen für die Stromgewinnung ist also bereits gemacht. Heute stehen die Wissenschaftler vor weiteren, größeren Aufgaben: die Wärmeenergie bei der unterirdischen Kohlevergasung, die der Kernreaktoren, der Kesselaggregate, der Hochöfen usw., die heute noch ungenutzt ausgestrahlt wird, direkt in elektrische Energie umzuwandeln.

Im Leningrader Institut für Halbleiter, das der Akademie der Wissenschaften der UdSSR angeschlossen ist, wurde auch ein Kühlschrank auf

Halbleiterbasis gebaut. In diesem Gerät wird die Kühlfunktion nicht mehr einer Kühlflüssigkeit, sondern den Elektronen von thermoelektrischen Elementen übertragen, die aus besonders ausgewählten und zusammengeschweißten Halbleitern bestehen.

Unter dem Einfluß des elektrischen Stromes entsteht an einem Ende der zusammengeschweißten Halbleiter Wärme, während sich am anderen Ende Kälte bildet (siehe Abb. 20 oben). In einem solchen Halbleiter-Kühlschrank kann man die Temperatur bis auf -70°C senken, ohne daß dabei ein Kompressor gebraucht wird. Die Lebensdauer des neuen Kühlschranks ist praktisch unbegrenzt. Kühlschränke dieser Art werden heute auch in Flugzeugen vom Typ TU 104 eingebaut.

Es ist bestimmt nur eine Frage der Zeit, bis man nach dem Prinzip der kleinen Halbleiter-Kühlschränke auch große Kühlwaggons und Kühlschiffe – Refrigeratoren – bauen wird, die viel wirtschaftlicher und billiger als bisherige Anlagen sein werden.

Mit Hilfe von Thermoelementen kann man auch künstliche Klimaanlage errichten, die in Zügen oder Autos die Temperatur nach Wunsch erhöhen oder senken.

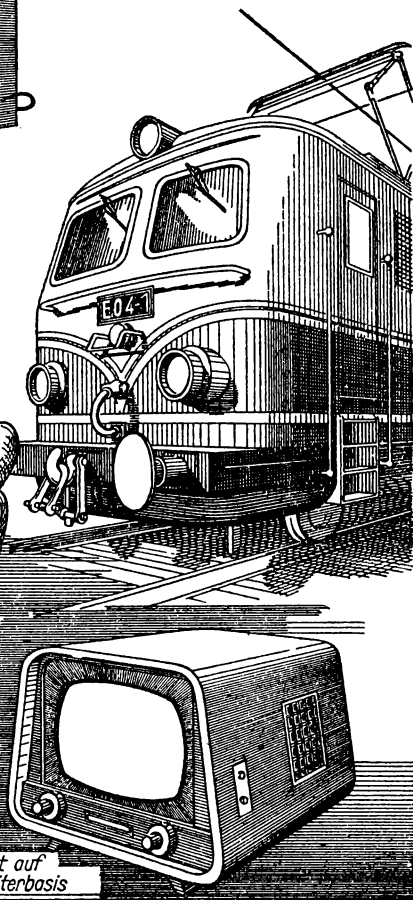
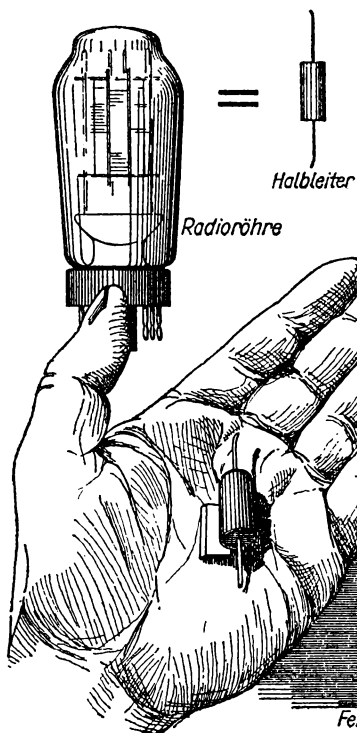
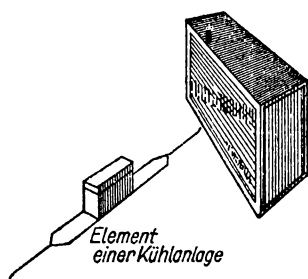
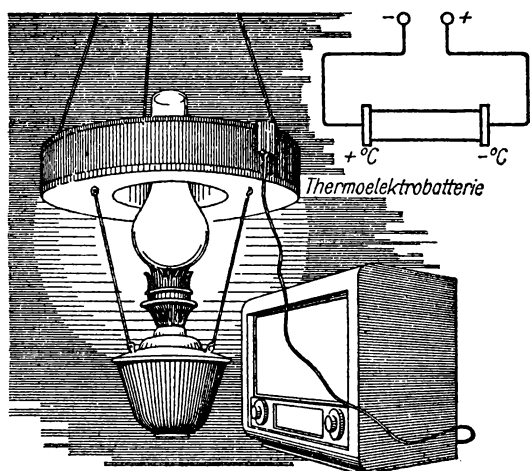
Die Anwendung von Halbleitern hilft weiterhin ein sehr wichtiges Problem zu lösen, und zwar die volle Ausnutzung des Heizmaterials.

Für die Beheizung von Industrie- und Dienstgebäuden und auch Wohnräumen wird heute noch sehr viel Heizmaterial gebraucht. In größeren Industriestädten benötigt man für diese Zwecke mehr Brennstoffvorräte als für die Energieversorgung einzelner Industriewerke.

Die Halbleitertechnik verfügt aber heute schon über Einrichtungen, mit denen man die Wärmeenergie bereits bestehender Aggregate zur Gewinnung von elektrischem Strom auswerten kann. Schließt man zum Beispiel ein solches Halbleitergerät an die Kessel der Zentralheizung an, so können während der Heizungsaison alle Bewohner des Hauses im Überfluß mit elektrischer Energie für Beleuchtungs- und andere Zwecke versorgt werden. Dadurch wird natürlich die Wirtschaftlichkeit wesentlich erhöht.

Ein weiteres wichtiges Gebiet der Anwendung von Halbleitern sind die Halbleitergleichrichter. Das sind Metallplatten, die mit einer dünnen Halbleiterschicht bedeckt werden. Diese Schicht besitzt die Fähigkeit, die eine Stromrichtung leicht durchzulassen und für die andere einen großen Wider-

Abb. 20 Die Verwendung von Halbleitern in der Technik



stand zu bilden, das heißt, den Strom gleichzurichten. Der Transistoren-Gleichrichter ist klein gehalten, einfach im Aufbau und viel wirtschaftlicher als andere Gleichrichter. Halbleiter-Gleichrichter werden heute zum Bau von Rundfunkgeräten und Fernsehapparaten benutzt. Das ist aber erst ein kleiner und bescheidener Anfang.

Die Industrie benötigt heute vor allem Wechselstrom. Verschiedene Werke arbeiten aber auch auf der Grundlage des Gleichstroms. Für die Gleichrichtung des Stromes braucht man entweder große und komplizierte Quecksilber-Gleichrichter oder besondere Elektromaschinen (Umformer). Diese können heute von den einfachen und verlässlichen Halbleiter-Gleichrichtern abgelöst werden.

Halbleiter finden auch in besonderen Wärmegegeräten, den Thermistoren, Anwendung. Ihre Wirkung beruht hier darauf, daß bei einer Erwärmung um 1 Grad der Widerstand des Halbleiters um 3 bis 4 Prozent abnimmt, während er bei Metallen um 0,3 bis 0,4 Prozent zunimmt. Diese Eigenschaft der Halbleiter erlaubt es, je nach verändertem Widerstand, der von den auf die Thermistoren einwirkenden Wärmestraahlen abhängt, die Temperaturen zu messen.

Thermistoren können entsprechend ihrem Bestimmungszweck in der Größe von Pfennigstücken und sogar von Stecknadelköpfen gehalten werden.

Diese Meßgeräte, die auch Mikrothermometer genannt werden, finden heute in der Technik breite Anwendung. Man kontrolliert mit ihnen die Temperatur von Kugellagern in Motor- oder Turbinengehäusen, mißt Temperaturveränderungen über größere Entfernungen, ja man kann mit ihnen sogar die Temperatur von praktisch unendlich weit entfernten Sternen messen. Auch die Temperatur von beliebigen Blatteilen einer Pflanze, von Hautstellen und Blutgefäßen bei Mensch und Tier können mit Mikrothermometern bestimmt werden.

In der Sowjetunion haben Ingenieure und Techniker eine Vielzahl von Halbleitergeräten für die verschiedensten Zwecke gebaut, die sich durch eine ungewöhnliche Stabilität, sichere Arbeitsweise und einen geringen Energieverbrauch auszeichnen. Angeführt sei zum Beispiel der in Buchformat herausgebrachte Rundfunkempfänger „Festival“, ferner ein röhrenloses Fernsehgerät, das auf der Brüsseler Weltausstellung allgemeine Anerkennung fand, ein Miniaturgerät für Schwerhörige, das in einer Brillenfassung für Männer und in Ohringen für Frauen untergebracht werden kann. Die Zeit ist auch nicht mehr fern, bis handgroße Radios, Taschenfernsehgeräte und Miniatur-Tonbandgeräte, in denen der Ton auf dünnem Draht aufgenommen und abgespielt wird, in den Handel kommen.

Halbleiter sind für den technischen Fortschritt von größter Bedeutung. Sie bestimmen neue Entwicklungswege für die Radioelektronik, die Automatisierung und die Beleuchtungs- und Meßtechnik. Mit ihrer Hilfe können die unsichtbaren ultravioletten und ultraroten Strahlen in sichtbare Lichtstrahlen umgewandelt werden. In der chemischen Industrie werden Halbleiter zu thermischen Kontrollzwecken angewandt. Ihr Hauptvorteil besteht jedoch darin, daß sie den Wissenschaftlern dabei behilflich sind, das Problem der Umwandlung von Sonnen-, Wärme-, Kern- und sogar Schallenergie in elektrische Energie zu lösen.

Gelbe Kohle

Die Sonne spendet unserem Planeten Licht und Wärme. Die Energie ihrer Strahlen ist riesig groß. Fachleute haben die Leistung gemessen: Sie beträgt fast 500 Billionen PS, das ist einige millionenmal mehr, als die gesamte Menschheit heute an elektrischer Energie verbraucht. Würde es uns gelingen, wenigstens 1 Prozent der von der Wüste Sahara aufgenommenen Sonnenwärme nutzbar zu machen, so hätten wir zehnmal mehr Energie zur Verfügung als von der Menschheit im Jahr verbraucht wird.

Ein jeder Hektar der Erdoberfläche empfängt von der Sonne so viel Energie, wie notwendig wäre, um eine Maschine von 10000 Kilowatt zu betreiben. Wir besaßen aber bisher kein Gerät, das auch nur kleine Teile dieser Energie ausgenutzt hätte. Erst in den letzten Jahren wurden Anstrengungen gemacht, um einigermaßen wirtschaftliche Sonnenmaschinen zu bauen. Mit den heute bestehenden Geräten kann man Wasser erwärmen, Speisen abkochen, Metalle schmelzen und sogar... Kälte erzeugen.

Mehrere dieser Geräte wurden von den Mitarbeitern des Heliolabors im Institut für Energetik der Akademie der Wissenschaften der UdSSR konstruiert. So beträgt zum Beispiel die Leistung eines mit Sonnenenergie betriebenen Dampfkessels 40 bis 60 kg Dampf je Stunde bei einem Druck von 8 Atmosphären. Diese Maschine ist nicht nur an heißen Sommertagen, sondern auch bei sonnigem Winterwetter einsatzfähig.

Das Institut besitzt ebenfalls Sonnen-Eisschränke. Ein solcher, in Taschkent aufgestellter Eisschrank, der nach dem Prinzip der Dampfausnutzung arbeitet, erzeugt an einem Tag etwa eine Vierteltonne Eis.

Auch Siedekessel, Entsalzungsgeräte, Küchenöfen usw. können heute mit Sonnenenergie betrieben werden.

Das Institut für Energetik plant, im Ararat-Tal am Rande des Aigernitsch-sees ein Sonnenkraftwerk mit einer Leistung von 1200 Kilowatt zu erbauen. Dabei ist vorgesehen, das Kraftwerk mit Sonnen-Dampfkesseln auszurüsten, die man auf 40 m hohe Türme stellen will. Durch Konzentrierung der Sonnenstrahlen mit 1300 Spiegeln, die eine Gesamtfläche von etwa 20000 m² haben, wird das Wasser in den Kesseln in Dampf umgewandelt. Das Projekt sieht vor, die Spiegel auf fahrbaren Unterlagen im Halbkreis um die Kessel zu stellen, so daß sie auf Zahnradschienen hin- und herbewegt werden können. Ihre beste Sonneneinstellung soll automatisch erfolgen. Bei der geplanten Dampfungwicklung von 13 Tonnen Dampf je Stunde mit einem Druck von 35 Atmosphären wird man eine Turbine mit 1200 Kilowatt Leistung betreiben können.

Die Sonnenbatterie

Die Halbleitermaterialien eröffnen völlig neue Perspektiven für eine direkte Umwandlung von Licht- und Wärmeenergie, die von der Sonne ausgeht, in elektrische Energie.

Für eine solche Ausnutzung der Halbleitermaterialien gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die Industrie entwickelte bereits sogenannte Wärmeelektrogeneratoren, das heißt hintereinandergeschaltete Halbleiterwärmeelemente. Der Wirkungsgrad erreicht dabei 10 Prozent.

Eine andere Art eines Halbleiterumformers für Licht- und Wärmeenergie in elektrische Energie wurde mit Hilfe des Halbleitermaterials Silizium gewonnen.

Das Siliziumphotoelement wurde von Wissenschaftlern im Jahre 1953 geschaffen. Es setzt 10 bis 20 Prozent der Sonnenenergie in elektrische Energie um. Zur Anfertigung dieses Elements müssen große Siliziumkristalle hergestellt werden. Sie werden in dünne, rechteckige Plättchen zerschnitten. Jedes der Plättchen bekommt einen einseitigen Anstrich mit einer Borschicht. An den Berührungsstellen des Siliziums mit dem Bor bildet sich die sogenannte Sperrschicht.

Die durch die dünne Borschicht zum Siliziumplättchen vordringenden Lichtstrahlen geben ihre eigene Energie an die von den Atomen und Molekülen getrennten Elektronen ab. Die freigewordenen Elektronen wandern zur Borschicht und erzeugen dabei elektrischen Strom in einem äußeren Stromkreis.

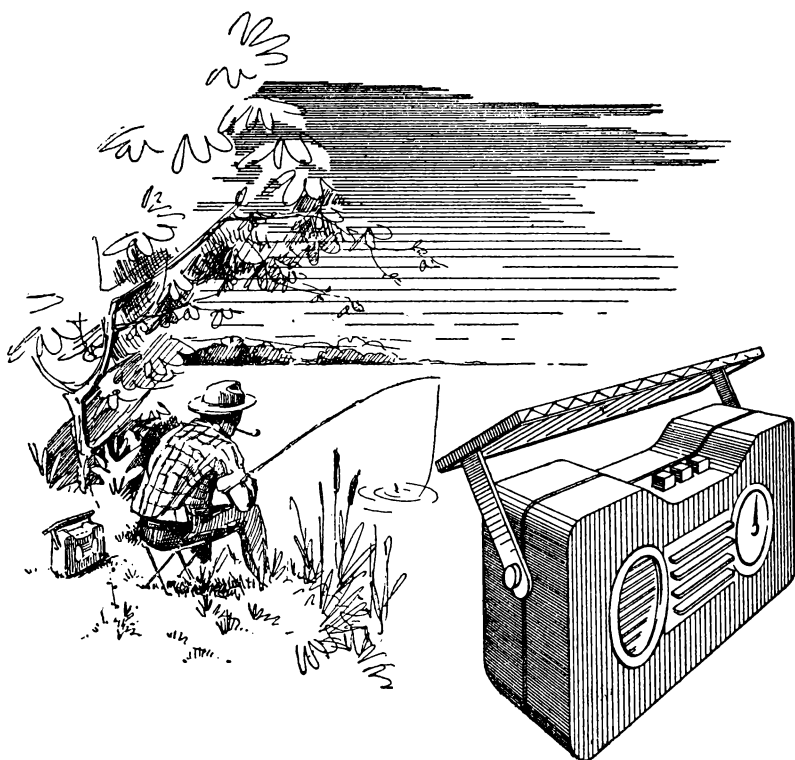


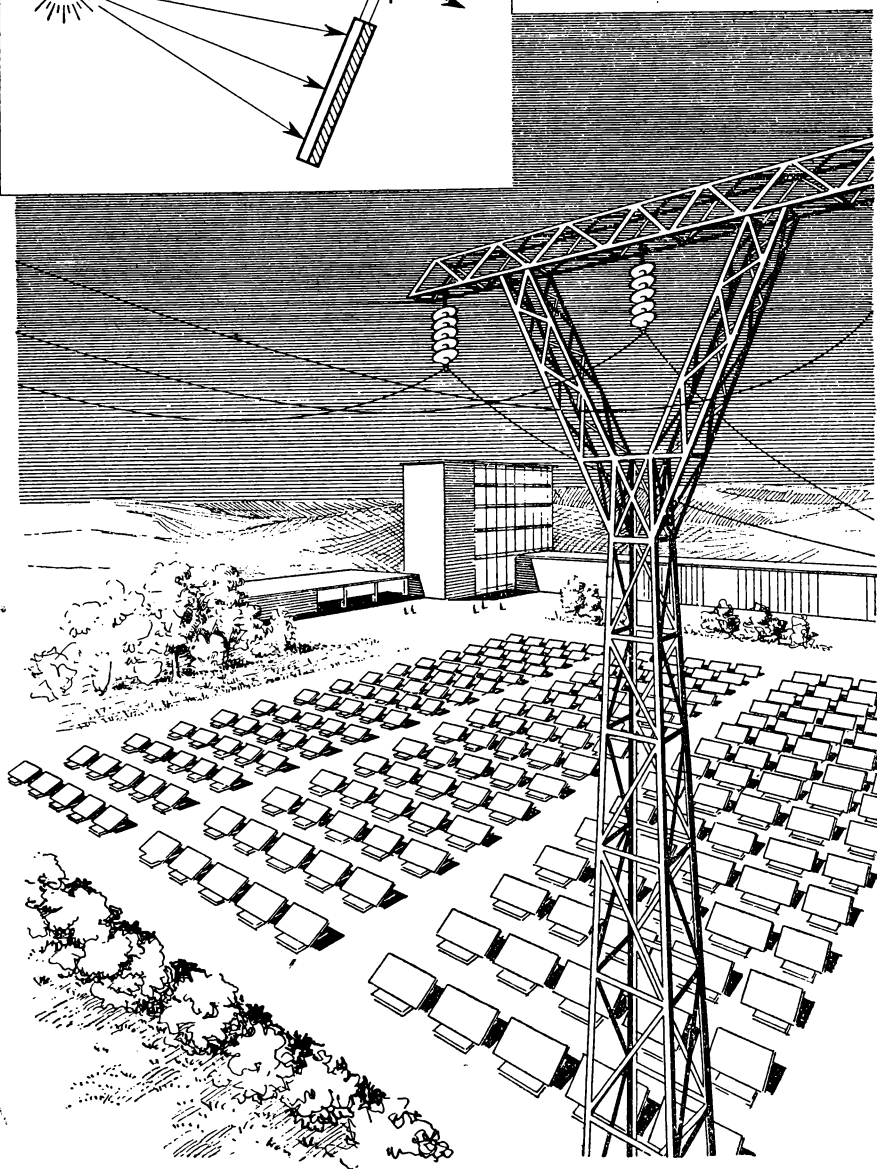
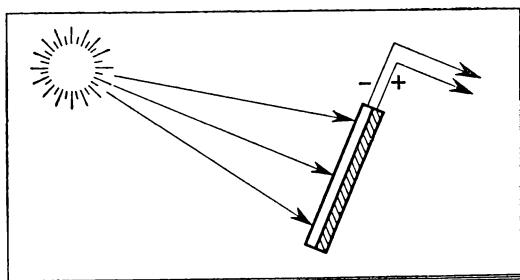
Abb. 21 Radioempfänger mit Sonnenbatterie

Mehrere auf diese Weise hergestellte Photoelemente werden miteinander vereinigt und bilden die Sonnenbatterie. An klaren Tagen sind die Silizium-photoelemente in der Lage, bis zu 50 Watt elektrische Energie je Quadratmeter Batterie zu erzeugen. Diese Energie kann zur Speisung von Radiogeräten und Telefonapparaten benutzt werden.

Die Sonnenbatterien haben sich ausgezeichnet als Energiequellen der Radiostation und anderer wissenschaftlicher Apparaturen im dritten künstlichen sowjetischen Erdsatelliten bewährt.

Ingenieure arbeiteten einen neuen Typ des Telefonsystems aus, bei dem anstelle der Elektronenröhren Transistoren und zur Energieversorgung Sonnenbatterien zur Anwendung kommen.

Die Einfachheit, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Sonnenbatterien eröffnet ihnen eine gewaltige Perspektive. Vorläufig sind sie noch sehr



teuer; doch sobald es durch Verbesserung der Produktionstechnologie gelingt, ihren ökonomischen Wert zu senken, wird es möglich sein, sowohl transportable als auch stationäre „Elektrokraftwerke“ auf dieser Grundlage zu schaffen. Touristengruppen oder wissenschaftliche Expeditionen werden mit transportablen „Elektrokraftwerken“ ihren Marsch antreten.

Derartige „Kraftwerke“ werden auf dem Hausdach errichtet, um von der Sonne elektrische Energie für den Lebensbedarf zu beziehen. Sonnenbatterien gestatten es, in naher Zukunft auch dort Häuser und Straßen zu beleuchten, wo es keine oder nur wenig elektrische Energie gibt; ist es doch möglich, im Verlaufe des Tages in Akkumulatoren elektrische Energie aufzuspeichern und sie dann wieder abzugeben, wenn die Sonne untergegangen ist.

Die Abbildung 22 zeigt das Projekt eines Sonnenelektrokraftwerkes mit Halbleiterbatterien. In einem solchen Kraftwerk gibt es weder Dampfkessel noch Turbinen noch Generatoren. Der Wirkungsgrad der Halbleiterphotoelemente, aus denen die Batterien bestehen, beträgt 10 bis 11 Prozent. Photoelemente mit einer Oberfläche von zwei Hektar können eine elektrische Leistung von 2000 Kilowatt abgeben. Die Photoelementbatterien sind drehbar angebracht, so daß sie jederzeit auf die Sonne gerichtet werden können.

Die Sonnenelektrokraftwerke sind ein Bestandteil des einheitlichen energetischen Systems, das im Verlaufe des Siebenjahrplanes in der Sowjetunion geschaffen wird.

Abb. 22 Sonnenelektrokraftwerk mit Halbleiterelementen

Das Elektronen-„Hirn“

Blitzschnelles Rechnen

Ein guter Mathematiker kann mit Bleistift und Papier in einer Sekunde eine oder höchstens zwei arithmetische Vorgänge (eine Addition oder Subtraktion) mit vier- oder fünfstelligen Zahlen lösen. Eine moderne Elektronenrechenmaschine löst in dieser Zeit Zehntausende solcher Aufgaben.

Wie ist das möglich ?

Wahrscheinlich fand das Zehnersystem mit den Zahlen 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 deswegen in der Praxis Eingang weil in frühesten Zeiten die zehn Finger des Menschen die erste „Rechenmaschine“ darstellten. Die Elemente einer modernen Rechenmaschine besitzen ebenfalls „Finger“, doch sind es nicht zehn, sondern nur zwei. Durch Ein- und Ausschalten signalisieren sie entweder „ja“ oder „nein“; mit anderen Worten, sie bestätigen entweder den Empfang eines Signals mit 1 oder sein Ausbleiben mit 0. Da eine Rechenmaschine viele solcher Elemente besitzt, kann man auch mit großen Zahlen operieren.

Die Hauptelemente einer Elektronenrechenmaschine bestehen aus Halbleitern. Indem ein Halbleiterbauelement den elektrischen Strom schließt oder unterbricht, gibt er die entsprechenden Zahlen 1 oder 0 an, mit denen man sehr viel ausdrücken kann.

Durch Kombinationen der beiden Zahlen 0 und 1 nach dem sogenannten Dualsystem kann jede beliebige Zahl ausgedrückt werden. So bezeichnet man zum Beispiel die Zahl 1 mit Hilfe des Symbols 1, die Zahl 2 mit dem Symbol 10, 3 mit dem Symbol 11, 4 mit 100, 5 mit 101, 6 mit 110, 7 mit 111, 8 mit 1000, 9 mit 1001 und 0 mit dem Symbol 0.

Beim Lesen der Zahlen nach dem Dualsystem muß darauf geachtet werden, daß ähnlich wie beim Zehnersystem, bei dem von rechts nach links die Einer, Zehner, Hunderter usw. stehen, beim Dualsystem ebenfalls an der ersten rechten Stelle die Zahl der Einer, an der zweiten die der Zweier, an der dritten die der Vierer, an der vierten die der Achter usw. stehen.

Während sich also beim Zehnersystem von rechts nach links immer eine um das Zehnfache höhere Zahl befindet, so ist dieses Verhältnis beim Dualsystem immer nur verdoppelt.

Die zu lösenden Aufgaben werden für die Rechenmaschine in Form eines Kodes aufgestellt, mit dessen Hilfe man die mathematischen Formen vom Zehnersystem in das Dualsystem umwandelt. Die Aufschlüsselung des Kodes bzw. die Zuführung der Rechenfaktoren geschieht mit Hilfe von Lochkarten (perforierten Papierstreifen) oder auch mit Magnetbändern, wobei die magnetisierten bzw. unmagnetisierten Stellen entsprechend 1 oder 0 bedeuten.

Moderne Elektronenrechenmaschinen arbeiten mit Zahlen im Bereich von einer milliardstel Teilstelle bis zu einer Milliarde; dabei kann jede Zahl neunstellig sein.

Die magnetischen Elemente der Maschine nehmen die auf den Lochkarten oder Magnetbändern verschlüsselten Aufgaben sehr schnell auf und wandeln diese in elektrische Impulse um. Diese Impulse werden dann von der Maschine in einer entsprechenden Reihenfolge aufgespeichert, um anschließend bei den notwendigen Rechenoperationen wieder verwendet zu werden.

Die Elektronenrechenmaschine ist keine Wundermaschine voller Geheimnisse und die Arbeitsweise keine Hexerei. Sie summiert einfach elektrische Impulse, ähnlich wie man bei einem einfachen Rechengerät für Schüler durch Bewegen der Kugeln Werte zusammenzählt.

Elektronen-„Mathematiker“

Mit Elektronenrechenmaschinen kann man die verschiedensten Aufgaben schnell und einwandfrei lösen. Ob es sich um algebraische Gleichungen handelt, wie sie in der Geodäsie, Astronomie, Mechanik des Bauwesens oder bei der Auswertung wissenschaftlicher Ergebnisse vorkommen, um Differentialrechnungen, die in der Technik, der theoretischen Physik, Meteorologie und anderen Disziplinen angewandt werden, oder um Integralrechnungen und das Auflösen von Wurzeln – alle diese Aufgaben können von Elektronenrechenmaschinen gelöst werden.

Das ist natürlich von größter Bedeutung bei der Erfüllung vieler theoretischer und praktischer Aufgaben.

Komplizierte Aufgaben müssen allerdings vor Übergabe an die Maschine

in einfachere Operationen umgewandelt werden. Will man zum Beispiel einen komplizierten Zusammenhang erforschen, so muß man diesen bei Kenntnis seiner physikalischen Eigenschaften erst in analytische Formeln, in Differential- oder Integral- oder andere mathematische Gleichungen umsetzen. Die Anwendung gut bekannter Rechenmethoden hilft fast immer, eine solche Aufgabe auf einen in der Reihenfolge, arithmetisch und logisch richtigen Nenner zu bringen. Die arithmetischen Handlungen Multiplikation und Division können ihrerseits auf noch einfachere Formen – Addition und Subtraktion – zurückgeführt werden. Dadurch erreicht man, daß auch die kompliziertesten Prozesse von der Rechenmaschine als einfachste arithmetische Formen behandelt werden.

Nach außen hin scheint es zum Beispiel, als hätten das Schaukeln von Segelschiffen auf den Wellen und die Bewegung von Himmelskörpern infolge der Anziehungskraft der Sonne keine gemeinsamen Merkmale. Drückt man aber diese Prozesse in mathematischen Formeln und Gleichungen aus, so können sie voneinander nicht mehr unterschieden werden: Sie sind sich dann fast gleich.

So werden sowohl die Bewegungen großer Sterne als auch die Schwankungen der Erdrinde bei Erdbeben durch gleiche mathematische Formeln beschrieben. Der Elektronenrechenmaschine zugeführt, wandeln sich diese mathematischen Formeln und Ausdrücke in arithmetische Prozesse um und werden ohne Schwierigkeiten gelöst.

Maschinen mit „Gedächtnis“

Die erstaunlichste Eigenschaft der Rechenmaschinen, die in Bruchteilen von Sekunden Tausende von Operationen durchführen, ist ihr „Gedächtnis“, das heißt eine Einrichtung, die es erlaubt, Zahlen zu fixieren und sie je nach Bedarf im entsprechenden Teil ihrer mechanischen „Gehirne“ zu finden.

Auch der hervorragendste Rechner wäre nicht imstande, die unendlich vielen Zahlen und Fakten im Kopf zu behalten. Gewöhnlich benutzen wir beim Ausrechnen von mathematischen Aufgaben Papier und Bleistift, schreiben die Zwischenergebnisse auf und rechnen die Zwischenprozesse gedanklich aus. So machen es zumindestens die meisten von uns.

Die Elektronenrechenmaschinen führen die Rechenprozesse in einem besonderen Teil, dem Rechenwerk, durch, während die Ergebnisse in einem

anderen, dem Speicherwerk, festgehalten werden. Das Speicherwerk einer modernen Elektronenrechenmaschine besitzt drei Fixiermöglichkeiten: Erstens werden Ergebnisse kurz notiert, um anschließend gleich wieder für den weiteren Rechenprozeß benutzt zu werden, zweitens können Ergebnisse aufbewahrt werden, um nach mehreren Rechengängen eingeschaltet zu werden, und drittens können sie über eine längere Zeit aufgespeichert werden.

Die erste Fixiermöglichkeit, das „operative Gedächtnis“, besteht aus besonderen Elektronenröhren, die Fernsehröhren ähnlich sind. In ihnen werden die Zahlen in Form elektrischer Ladungen gespeichert, die durch einen Elektronenstrom auf einzelne Felder einer Metallschicht aufgetragen werden. Mit Ladungen versehene Stellen haben den Wert 1, wo diese Ladung fehlt, den Wert 0. Die Felder sind besonders gekennzeichnet.

Je nach der Aufgabe wählt die Maschine nun aus den Feldern die notwendigen Zahlen und leitet sie dahin weiter, wo entweder eine Addition, Subtraktion, Multiplikation oder Division stattfindet. Das gewonnene Ergebnis wird in einem freien Feld des Speicherwerkes notiert und dort belassen, bis es wieder zu weiteren Rechenprozessen benötigt wird.

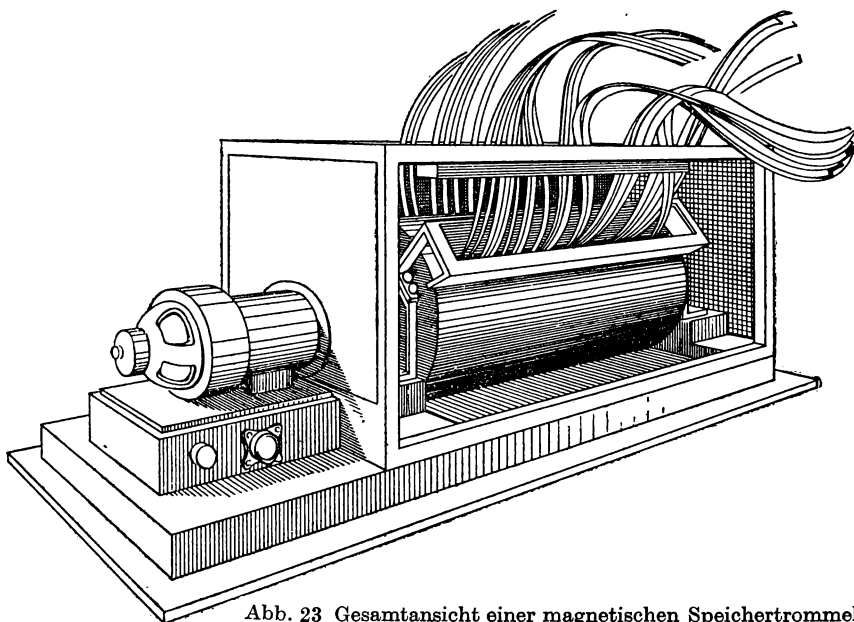


Abb. 23 Gesamtansicht einer magnetischen Speichertrommel

Jede Elektronenstrahlröhre — das „operative Gedächtnis“ — kann zugleich über 1000 Zahlen oder „Kommandos“ speichern. Die Maschine wählt und notiert jede beliebige Zahl in einer 12millionstel Sekunde.

Ergebnisse, die nicht gleich gebraucht werden, fixiert ein Geräteteil, das wie ein Magnetongerät mit Trommel aussieht. Man könnte es das „zwischenstationäre Gedächtnis“ nennen. Die Trommel ist mit einer dünnen Schicht bedeckt, die sich magnetisieren läßt. Die Zahlen sind auf dieser Trommel in Form magnetisierter bzw. unmagnetisierter Stellen festgehalten, die ebenfalls durch elektrische Impulse hervorgerufen werden. Eine solche Trommel kann zugleich einige tausend Zahlen aufnehmen.

Ein Laie könnte vielleicht fragen: Wieso „weiß“ die Maschine, wo sie die nötigen Zahlen zu suchen hat?

Jede Stelle auf der Trommeloberfläche wird durch eine besondere „Adresse“, durch zwei Koordinaten, gekennzeichnet. Um diese zu finden, genügen zwei elektrische Kontakte.

Die dritte Einrichtung zum Fixieren von Zahlen beruht auf dem Prinzip eines gewöhnlichen Magnettonbandes. Die Eisenoxydschicht, die es bedeckt, wird von einem Schreibkopf abwechselnd magnetisiert. Es ist das „große Gedächtnis“ der Elektronenrechenmaschine; denn es kann über 12000 Zahlen aufnehmen. Doch im Gegensatz zu den anderen beiden erwähnten Fixiereinrichtungen nimmt es an den Rechenoperationen nicht direkten Anteil.

Die Einrichtungen für die Rechenprozesse, die Speicherung und Steuerung, sind miteinander durch ein Magistralssystem verbunden, über das die Zahlenkode geleitet werden. Die Kode müssen die Nummern der Felder enthalten, um die Teilergebnisse einer Rechenoperation richtig abzutasten und weiterzuleiten. Eine solche verschlüsselte Aufgabe nennt man das Kommando. Mehrere Kommandos stellen ein Programm dar. Das Aufstellen von Programmen, das nur von guten Mathematikern bewältigt werden kann, ist eine sehr verantwortungsvolle Aufgabe.

Auch die Kommandos eines Programms werden verschlüsselt der Elektronenrechenmaschine zugeführt.

Die schnellste Elektronenrechenmaschine Europas, BESM genannt, wurde unter der Leitung des Akademikers und Helden der Sozialistischen Arbeit S. A. Lebedew konstruiert. Sie ist seit einigen Jahren in Betrieb. Mit dieser Rechenmaschine arbeiten Kernphysiker, Meteorologen und auch Wissenschaftler anderer Disziplinen.

Wollte man die Leistungsfähigkeit dieser Maschine, die in verhältnismäßig kurzer Zeit fertiggestellt wurde, mit der Arbeit von Mathematikern vergleichen, so hätte man letzteren schon mehrere Millionen Rubel zahlen müssen, da diese Rechenmaschine mehrere tausend Menschen ersetzt.

Die BESM bewältigt in einer Sekunde 10000 arithmetische Prozesse. In einer Stunde löst sie also so viele Aufgaben, wie sie ein erfahrener Mathematiker oft in seinem ganzen Leben nicht schafft.

Um den internationalen astronomischen Kalender aufzustellen, mußten die Astronomen Bahnbewegungen von etwa 700 kleinen Planeten des Sonnensystems ausrechnen und dabei die Einwirkung von Jupiter und Saturn beachten. Gewöhnlich arbeiteten dabei mehrere Arbeitsgruppen in einem großen Rechenbüro über etliche Monate. Als sich die Astronomen an S. A. Lebedew um Hilfe wandten, erhielten sie schon nach einigen Tagen die genauestens bestimmten Koordinaten der Planeten jeweils in Abständen von 40 Tagen für die nächsten zehn Jahre.

Geographen mußten für die Aufstellung ihrer Karten Berechnungen von geodätischen Aufnahmen mit 800 Gleichungen lösen. Zu diesem Zweck hätten sie 250 Millionen arithmetische Prozesse zu bewältigen gehabt. Die Elektronenrechenmaschine löste diese Aufgaben in etwa 20 Stunden.

Bei einem Kanalbau beschäftigte Konstrukteure bemühten sich, Tabellen aufzustellen, um die günstigste Neigung der Kanalufer zu bestimmen und dadurch große finanzielle Mittel einzusparen. Es wurden deshalb 15 Mathematiker damit beauftragt, einige günstige Varianten für das Neigungsprofil des Kanalufers zu errechnen. Die ihnen gestellte Aufgabe war jedoch so schwierig, daß sie nach einigen Monaten nicht einmal eine einzige Variante vorlegen konnten. Als man die elektronische Rechenmaschine zu Hilfe nahm, waren bereits nach drei Stunden mehrere Varianten ausgerechnet.

Mit der Rechenmaschine BESM kann man in sehr kurzer Zeit etliche mögliche Varianten einer Aufgabe errechnen und durch Vergleiche ermitteln, welche Brückenkonstruktion, welche Form der Tragflächen von Flugzeugen, welche Düsenart eines Reaktors usw. am günstigsten ist.

Gern wird die Rechenmaschine von Radiotechnikern benutzt, die beim Bau von Sendern oder Antennen nach der besten Verteilung der elektromagnetischen Energie im Raum suchen. Auch um Körperformen zu finden, die am besten den Luftwiderstand überwinden, und Raketen für Überschallgeschwindigkeit zu bauen, benutzen die Ingenieure die Elektronenrechenmaschine.

Wie ist diese Maschine nun aufgebaut?

Die sowjetische Elektronenrechenmaschine besteht aus drei uns schon bekannten Hauptteilen: den Rechnungsaggregaten, den Speicherwerken und dem Steuerungsteil, der die automatischen Vorgänge auslöst.

Die Rechnungseinrichtung wirkt ähnlich wie eine mechanische Rechenmaschine, doch da an Stelle der sich mechanisch drehenden Zahnräder Elektronen „arbeiten“, geht der Rechnungsvorgang überaus schnell vor sich. Die Addition zweier neunstelliger Zahlen wird von der Maschine in drei millionstel Sekunden vollzogen und ihre Multiplikation in 192 millionstel Sekunden.

Die von der Maschine notierten Rechenergebnisse werden auf einem Magnettonband in Form von Kodeimpulsen festgehalten. Eine besondere Einrichtung wandelt dann den Kode in Zahlen um und schreibt diese auf ein Papierband. Die Schreibgeschwindigkeit beträgt 200 Zahlen in der Sekunde. Die BESM-Elektronenrechenmaschine wird im Wechsel von zwei Ingenieuren und einem Techniker bedient.

In der Sowjetunion wurden bereits einige Typen von Elektronenrechenmaschinen herausgebracht.

So werden zum Beispiel mit der Universalmaschine „Strela“ komplizierte wissenschaftliche und ingenieurtechnische Aufgaben gerechnet. Die Rechenmaschine „Ural“ ist für die Lösung von mathematischen und logischen Aufgaben bestimmt, die Rechenmaschine „Pogoda“ für besondere Aufgaben. Die Rechenmaschine „Kristall“ löst röntgenstrukturelle Analysen von Kristallen.

Es werden heute bereits Elektronen-Lesemaschinen für Blinde projektiert, in denen Photoelemente die einzelnen Buchstaben aus Buch- oder Zeitungstexten ablesen und sie in Lautsignale umwandeln, die von den Blinden mit dem Gehör aufgenommen werden können. Für Menschen, die sowohl das Augenlicht als auch das Gehör verloren haben, wandelt die Maschine die Lautsignale durch magnetische Vibratoren in Schwingungen um, die mit den Fingerspitzen gefühlt werden können.

Die Elektronenmaschine gestattet also mit Hilfe des Gehörs zu sehen und mit Hilfe der Finger zu hören.

Mechanisierung der geistigen Arbeit

Bei mathematischen Aufgaben wird die Zahl π (Verhältnis von Kreisumfang zu Kreisdurchmesser) nur selten mit dritter und vierter Dezimalstelle verwendet. Gewöhnlich rechnet man mit der Zahl 3,14. Anders ist es in der Astronomie. Hier wird zum Beispiel bei der Bestimmung des Radius des sichtbaren Weltalls π mit einer zwanzigstelligen Genauigkeit benutzt.

Der englische Mathematiker Shanks bemühte sich schon im vorigen Jahrhundert, π für die Astronomen zu berechnen. Bei Anwendung aller mechanischen Rechenmethoden rechnete er π schließlich mit einer Genauigkeit auf 707 Stellen nach dem Komma aus, wobei er für diese Arbeit etwa fünfzehn Jahre brauchte.

Nach etwa hundert Jahren, im Jahr 1949, gelang es schließlich den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Ballistischen Forschungsinstitutes in Aberdeen, USA, π mit der Elektronenrechenmaschine zu berechnen. Nachdem sie die verschlüsselte Aufgabe der Maschine zugeleitet hatten, dauerte es keine 24 Stunden, bis sie das Ergebnis einer 2048stelligen Zahl erhielten.

Auch die Werte für den Aufstieg der sowjetischen künstlichen Erdtrabanten wurden mit der Elektronenrechenmaschine bestimmt und andere Probleme gelöst, die mit den interplanetaren Raketen im Zusammenhang standen. Den Physikern gelang es, mit Hilfe der Elektronenrechenmaschinen Einzelheiten der Neutronenbewegung im Reaktor festzuhalten.

Elektronenrechenmaschinen lösen nicht nur mathematische Aufgaben viel schneller und genauer als ein Mensch, man kann mit ihnen auch logische Aufgaben lösen. Dabei denken oder handeln die Maschinen nicht etwa selbständig, sondern führen nur die Befehle aus, das heißt die vom Menschen gestellten Programme.

Menschlicher Erfindergeist ließ auch eine künstliche Schachspielmaschine entstehen, die auf jeden Zug eines Schachspielers mit einem Gegenzug antwortet. Der Hauptteil dieses Automaten besteht aus einer Elektronenrechenmaschine, deren Speicherwerk für jeden Zug eines Schachspielers bestimmte Antworten bereithält. Diese Antworten wurden von großen Schachmeistern ausgearbeitet und in verschlüsselter Form der Elektronenrechenmaschine zugeführt.

Jede einzelne Schachfigur wird der Maschine als Punkt zugetragen: Der König bedeutet 200, die Dame 9, der Läufer 5, der Turm 3 Punkte, ein Bauer 1 Punkt usw. Auch die einzelnen Positionen wie die offene Linie, ein Doppelbauer und andere werden in Punkten ausgedrückt.

Zieht der Schachspieler nun eine Figur, so antwortet die Maschine mit dem besten Gegenzug, der vom Schachmeister für diesen Fall vorgesehen war. Sie wählt also immer eine Variante, die nach einer bestimmten Zahl von Zügen bei beliebigen Antworten des Partner das beste Punktverhältnis aufweist.

Ein schwacher Schachspieler wird gegen die Maschine natürlich verlieren, da er in Wirklichkeit gegen einen Meister dieses Faches spielt. Die „kluge“ Maschine kann aber nur das wiedergeben, was menschlicher Geist in sie hineingelegt hat. Sie wird deswegen auch bei größter Vervollkommenung nie in der Lage sein, selbst neue Theorien aufzustellen und die Richtigkeit dieser Theorien zu belegen.

Die Elektronenrechenmaschine ist also nur die Frucht der schöpferischen Tätigkeit des menschlichen Gehirns, die Waffe der geistigen Arbeit.

Übersetzungs- und Bibliographiemaschinen

Hätte vor etwa einem halben Jahrhundert ein Romanschriftsteller den Held seiner utopischen Erzählung eine Übersetzungsmaschine erfinden lassen, die Buch- und Zeitungstexte aus einer Sprache in eine andere überträgt, so hätten die meisten Leser den Verfasser zumindest für sehr phantasievoll gehalten.

Sogar heute, wo es solche Maschinen gibt, kann man sich nur schwer vorstellen, wie der Mensch ein solches Wunderwerk schaffen konnte. Das kommt daher, weil man bei Bekanntwerden mit etwas Neuem durch dessen Unkenntnis anfangs verwirrt ist.

Nach mühevollen Forschungsarbeiten gelang es wissenschaftlichen Mitarbeitern eines Institutes der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Versuche der automatischen Übersetzung aus einer Sprache in eine andere mit Erfolg abzuschließen. Sie stützten sich bei ihren Arbeiten auf eine moderne Elektronenrechenmaschine.

Im Speicherwerk dieser Maschine ist ein bestimmter Wortschatz fixiert, und zwar in alphabetischer Reihenfolge. Die einzelnen Buchstaben sind in Zahlenform des Dualsystems notiert. Der Sprachschatz des Speicherwerkes besteht aus den Hauptwurzeln von Wörtern der Originalsprache sowie der zu übersetzenden Sprache. Auch deren Buchstaben sind in Zahlenform des Dualsystems festgehalten. Der in die Maschine eingeführte Text ist ebenfalls in Zahlen verschlüsselt.

Die Maschine „schaut“ nun in ihr Wörterbuch und sucht dort nach dem gebrauchten Wort, indem sie nacheinander die Zahlen (des gesuchten Wortes) von den Zahlen (der Wörter) subtrahiert, die im Sprachschatz vorrätig sind. Sobald das Ergebnis des Ablesens gleich Null ist, wird die Suche beendet. Das zu übersetzende Wort ist gefunden und wird von der Maschine sofort im Speicherwerk festgehalten. Die Reihenfolge wird dabei nach dem aufgestellten Programm eingehalten, das heißt nach den grammatikalischen Besonderheiten der jeweiligen Sprache.

Sobald die Maschine die vom Programm gestellte Aufgabe gelöst hat, werden die einzelnen Buchstaben von einer anderen Einrichtung entschlüsselt und als Wörter aufgeschrieben.

Die Arbeitsweise einer Übersetzungsmaschine konnte an dieser Stelle natürlich nur sehr vereinfacht behandelt werden. Wenn das Prinzip auch unkompliziert ist, so ist seine Verwirklichung auf jeden Fall viel schwieriger.

Es ist anzunehmen, daß in naher Zukunft Übersetzungsmaschinen direkt von Zeitungs- oder Buchseiten übersetzen werden. Als Ableser werden dann mit Photoelementen versehene Photoobjektive in Funktion treten, die Buchstabe für Buchstabe des Textes in Zahlen umwandeln. Der weitere Ablauf wird wahrscheinlich in der vorher beschriebenen Form stattfinden.

Man plant heute auch schon, solche Übersetzungsmaschinen zu konstruieren, die nach Diktat übersetzen. In ihnen wird ein besonderer Teil die einzelnen Worte durch das Mikrophon aufnehmen, sie in Laute trennen und diese in Zahlen oder Kodezeichen umwandeln. Die weitere Arbeit wird von der Maschine dann leicht bewältigt.

Es ist ganz ausgeschlossen, daß Ingenieure und Wissenschaftler heute größere Erfolge erzielen können, wenn sie nicht die neuesten Errungenschaften ihrer Fachdisziplin und der angrenzenden Fachgebiete von Wissenschaft und Technik kennen. Dabei müssen sie nicht nur die eigene, sondern auch die ausländische Literatur verfolgen. Doch die Zahl der wissenschaftlichen Arbeiten ist in den letzten Jahren so sehr angestiegen, daß sogar Fachleute sich nur schwer und mit großem Zeitverlust über alles orientieren können.

Nehmen wir zum Beispiel das Gebiet der Chemie. Die Anzahl der dem chemischen Element Zink gewidmeten Arbeiten war in der ganzen Welt von 1926 bis 1946 etwa doppelt so groß als in den vorher vergangenen 200 Jahren. Ähnlich ist es in der Physik, Astronomie, Mechanik, das heißt buchstäblich in allen Zweigen der Wissenschaft.

Bei der ununterbrochenen Zunahme von wissenschaftlich-technischer Literatur werden sich die Fachleute der einzelnen Disziplinen bald in Archivare

und Bibliothekare verwandeln, da sie sehr viel Zeit für die Suche der gewünschten Nachrichten werden verschwenden müssen.

Man kann also behaupten, daß der Wissenschaftler heute gar nicht mehr imstande ist, die erscheinende Fachliteratur für seine Bedürfnisse voll auszuschöpfen.

Und doch ist diese Behauptung nicht richtig. In der Sowjetunion wird heute eine experimentelle Informationsmaschine konstruiert, genannt EIM, welche die Interessenten über die neuesten technischen und wissenschaftlichen Errungenschaften informieren wird. Ihr Vorrat an wissenschaftlichen Nachrichten kann bei Erscheinen von neuen Literaturangaben immer wieder erweitert werden.

Eine solche Bibliographiemaschine besitzt eine ungeheure „Gedächtniskapazität“. Sie kann die verschiedensten wissenschaftlichen Nachrichten und Angaben aus allen Wissensgebiete aufspeichern.

Bei Bedarf können die Nachrichten dann von der Maschine in den verschiedensten Kombinationen geliefert werden. Nehmen wir an, es wird eine Liste über Arbeiten gebraucht, die ein ganz bestimmtes Problem in russischer oder in einer anderen Sprache behandeln. Es genügt dann, einen Bestellzettel aufzugeben, um nach kurzer Zeit das gewünschte Material in Form eines Mikrofilmes oder Nachrichtenblattes zu erhalten.

Man kann sich leicht vorstellen, wieviel Zeit mit Hilfe einer solchen Maschine eingespart werden kann.

Heute werden Elektronenmaschinen auf den verschiedensten Fachgebieten angewandt. Die Möglichkeiten, sie zu benutzen, sind äußerst vielseitig.

Aus dem Ausland wurde gemeldet, daß die Konstruktion einer elektronischen „musischen“ Maschine geglückt sei, die selber Gedichte schreibt. Ihr in Zahlen verschlüsselter Wortvorrat beträgt über eine Million Wörter, die nach bestimmten Themen geordnet sind. Bei der Aufstellung eines Programms müssen die Regeln der Reimbildung beachtet werden.

Damit soll aber nicht gesagt werden, daß die Maschinen in Zukunft Dichter und Schriftsteller ersetzen können; es sollte vor allem zum Ausdruck kommen, welche breite Skala von Möglichkeiten die Elektronenmaschinen in sich bergen.

Mechanische Reflexe

Die Tätigkeit des menschlichen Hirns ist das Ergebnis der kombinierten Handlung von etwa 14 Milliarden nervaler Neuronenzellen, die miteinander durch eine endlose Zahl von Nervenfasern verbunden sind.

Die Neuronen lassen die Signale der Umwelt oder des Organismus entweder hindurch oder hemmen sie. Die Fähigkeit, auf Veränderungen der Umwelt mit nützlichen Gegenmaßnahmen zu reagieren, ist die wichtigste Eigenschaft eines Lebewesens. Ohne diese Einrichtung könnte ein Organismus nicht existieren.

Die Einwirkung der Umwelt drückt sich in einem Reiz aus. Die unmittelbare Antwort des Organismus auf einen solchen Reiz nennt man Reflex.

Einfachere Lebewesen sind mit unfreiwilligen, automatischen Reflexen ausgestattet. So bewegen sich zum Beispiel die winzigen Infusorien in einem Wassertropfen hin und her, ohne nach außen hin ein Abhängigkeitsverhältnis zur Umwelt zu zeigen. Doch es genügt, ein Salzkörnchen in den Wassertropfen hineinzutun, um sie aus dessen Nähe zu verbannen. Um grüne Algen werden sie sich dagegen in Mengen scharen. Die Ursache ihrer Bewegung ist entweder das Salz oder der Sauerstoff, der von den Algen ausgeschieden wird. Während Salz für sie schädlich ist, brauchen sie den Sauerstoff dringend zum Leben. So rufen selbst bei den niedrigsten Tieren die Reize entsprechende Reaktionen hervor.

Der große russische Physiologe I. P. Pawlow trennte die Reflexe in ursprüngliche und erworbene. Die ursprünglichen oder unbedingten Reflexe sind bei niederen Tieren vorhanden. Die Fähigkeit, bedingte Reflexe zu bilden, ist nur bei höheren Organismen entwickelt. Sie werden durch die Wechselwirkung des Organismus mit der Umwelt hervorgerufen und können wieder verschwinden, wenn die sie hervorrufende Reizwirkung über längere Zeit ausbleibt.

Pawlow stellte bei der Untersuchung der bedingten Reflexwirkung fest, daß bei der Verabreichung von Speisen mit gleichzeitiger Auslösung eines Licht- oder Lautreizes die letzteren nach einer gewissen Zeit auch ohne Speisen eine unwillkürliche Speichelbildung hervorrufen.

Die Entwicklung besonderer Elektronenmaschinen erlaubte es den Menschen, künstliche Tiere mit bedingten Reflexen zu konstruieren. In der Literatur sind mehrere solcher Elektronengeräte, auch „Schildkröten“ genannt, beschrieben worden, die auf verschiedene Signale reagieren können: auf Tastsignale bei Berührung eines Hindernisses oder auf Laut- und Lichtsignale. Eine Berührung mit einem Hindernis „empfindet“ die „Schild-

kröte“ durch den Schluß eines elektrischen Kontaktes, den Laut durch ein Mikrophon und das Licht durch ein Photoelement.

Wenn man mit der „Schildkröte“ den Versuch anstellt, daß man im Augenblick des Zusammenstoßes mit einem Hindernis ein Lautsignal ertönen läßt, so wird bei ihr ein „bedingter Reflex“ ausgebildet, das heißt, sie wird in Zukunft ein Hindernis auch dann umgehen können, wenn nur ein Lautsignal erklingt. Dieses Phänomen kann deswegen eintreten, weil das Zusammenfallen der Signale vom Speicherwerk aufgenommen wird und die „Schildkröte“ dadurch in der Lage ist, später nur auf den Laut zu reagieren, ohne daß die elektrischen Kontakte geschlossen werden.

Eine englische Firma, die Elektronenrechenmaschinen herstellt, brachte ein Spielzeug heraus, genannt „Eine Maus im Irrgarten“, das auf dem Prinzip von mechanischen Reflexen konstruiert ist. Der Irrgarten besteht aus einer Aluminiumschachtel, die in 25 Zellen eingeteilt ist. In eine dieser Zellen wird nun die Maus gesetzt, die aus Metall besteht und lebensecht nachgebildet ist. Im Innern der Maus befindet sich ein Magnet.

Legt man in die von der Maus am weitesten entlegene Zelle ein Eisenstückchen – „den Speck“ – und schaltet die Elektronenmaschine ein, so beginnt sich die Maus zu bewegen. Dabei stößt sie mit ihrem Näschen mehrere Male an die Zellenwand, bevor sie die Öffnung zur nächsten Zelle findet. So durchläuft sie in der Suche nach dem „Speck“ alle Zellen, bis sie auf das Ziel stößt. Dann wird der Mechanismus ausgeschaltet und die Maus wieder in die Ausgangszelle gesetzt.

Bereits beim zweitenmal vermeidet die Maus die Zellenwände des Irrgartens. Sie besitzt jetzt einen „ausgebildeten Reflex“ und eilt auf dem nächsten Wege zum „Speck“, wobei sie den Weg viel schneller zurücklegt als das erste Mal. Das kommt daher, weil die inneren Teile des Geräts bei der Suche der kürzesten Verbindung zum Ziel nur die elektronischen Kontakte fixiert haben, die dem Weg der Maus durch die Öffnung zur nächsten Zelle entsprechen. Alle anderen werden als überflüssig „gelöscht“. Deswegen braucht die Maus auch beim nächsten Male weniger Zeit zum Aufsuchen des „Specks“.

Eine ähnliche Maus wurde auch von sowjetischen Ingenieuren konstruiert.

Im Ausland wurden Automaten gebaut, welche die Bewegungen von Menschen nachahmen. So stellte zum Beispiel die Firma „General Electric Company“ einen ferngelenkten Roboter her, der fünf Tonnen wiegt und sich auf Rädern bewegt. Die Teilbewegungen werden durch 24 kleine Elektromotoren hervorgerufen, von denen sich neun in den Armen befinden und die Armbewegungen steuern. Der Roboter kann Türen öffnen

und schließen, die Hände wie ein Mensch bewegen und sogar ein Geldstück vom Fußboden aufheben. Eine elektrisch gesteuerte hydraulische Einrichtung ermöglicht es dem Roboter, Stoßbewegungen mit vier Tonnen Leistung zu vollbringen.

Dieser mechanische Diener ist für Arbeiten am Atomreaktor bestimmt, und man bedient ihn aus einem vor schädlichen Ausstrahlungen geschützten Raum.

Es werden heute auch Elektronenrechenmaschinen gebaut, die die Fähigkeit besitzen, „sich selbst zu entwickeln“. Im folgenden sei ein Fall aus der Praxis angeführt.

Um die besten Arbeitspotenzen eines Hochofens zu bestimmen, beauftragte man erfahrene Fachleute, das günstigste Arbeitsprogramm des Ofens zu berechnen. Zugleich wurde eine Elektronenrechenmaschine bereitgestellt, die die neuen Ergebnisse mit den alten verglich. Nach einem bestimmten Programm analysierte sie danach die Ergebnisse und wählte diejenigen aus, die die rationellste Arbeitsweise und die besten Erfolge versprachen. Nach einem Monat konnten die Ingenieure das Werk, in dem sie die Versuchsreihen durchgeführt hatten, verlassen; denn die Kontrolle des Hochofens übernahm nun die Elektronenrechenmaschine.

Nachdem sie es von den Menschen gelernt hatte, das günstigste Arbeitsprogramm zu bestimmen, „vervollkommnete sie sich selbst weiter“ und wählte nun selbst die für den Arbeitsprozeß günstigsten Werte.

In der modernen Technik ist die Selbstvervollkommnung einer Maschine keine Neuigkeit mehr. Dagegen ist die Fernlenkung von Fabriken und Betrieben mit Hilfe dieser Maschinen ein neueres Problem, dessen Lösung aber auch schon gefunden ist.

Wir können uns auch heute schon ganz gut ein zukünftiges Werk vorstellen, in dem spezialisierte Elektronenmaschinen in den einzelnen Abteilungen aufgestellt sind, die die chemischen oder energetischen Prozesse lenken. Eine im Hauptteil des Werkes mit Fernseheinrichtung ausgestattete Kommandoanlage wird dann alle Kontrollnachrichten empfangen und entsprechende Befehle erteilen. So werden in Zukunft in Kraftwerken automatische Geräte die einzelnen Aggregate in Gang setzer, kontrollieren und abschalten, die Spannung regeln, die Leistungen von Aggregaten und Stationen überwachen usw.

Überhaupt ist vorauszusehen, daß in Zukunft hochspezialisierte Werke mit schnellrechnenden Elektronengeräten versehen sind, die für den günstigsten Arbeitsablauf und für ein rationelles Arbeitssystem sowohl in der einzelnen Abteilung als auch des gesamten Betriebes garantieren werden.

Das elektromagnetische Notizbuch

Man kann mit elektrischem Strom jede beliebige Erscheinung aufzeichnen, sobald sie sich in elektrische Impulse umwandeln läßt.

Sogar bewegliche, mit dem Auge faßbare Erscheinungen können heute in elektrische Impulse umgewandelt, notiert und aufbewahrt werden.

Warum, werden manche sagen, soll man sich die Sache so schwer machen, wenn man Sehenswürdigkeiten doch leicht mit einer Photographie oder mit einem Film festhalten kann?

Es sollte aber nicht vergessen werden, daß die Phototechnik ziemlich kompliziert und langsam ist. Wie viele Arbeitsgänge werden dabei benötigt! Das Vorbereiten von Emulsionen, die Aufnahme, das Entwickeln, Wässern, Fixieren, Trocknen. Wie furchtbar schwierig würden uns diese Prozesse erscheinen, wenn wir nicht so sehr mit ihnen vertraut wären.

Stellen wir uns aber vor, daß es die Photographie noch nicht gäbe, und irgendein Entdecker über seine wunderbare Methode des Festhaltens von Lichterscheinungen mit Silberteilchen erzählte, die in einer Dunkelkammer durch komplizierte chemische Operationen sichtbar gemacht würden. Man könnte ihn bestimmt nicht gleich verstehen.

Wie viel leichter ist dagegen das Fixieren von Erscheinungen auf elektromagnetischem Wege. Man notiert einfach auf ein Magnetband und reproduziert auch gleich von diesem. Eine qualitativ gute Wiedergabe zu erzielen, hängt nur davon ab, wie breit das Band ist und wie schnell es sich bewegt.

Elektromagnetische Notizen können über eine sehr lange Zeit aufbewahrt und in jedem beliebigen Moment auf einem Fernsehschirm reproduziert werden.

Das beschriebene Magnetband ist in jedem Augenblick bereit, abgespielt zu werden. Dies ist gegenüber dem üblichen Film ein großer Vorteil, weil dieser nach der Aufnahme erst chemisch bearbeitet werden muß.

Auch auf dem Gebiet des Kinofilms eröffnet sich der elektromagnetischen Aufnahme eine breite Perspektive. Nach der Aufnahme kann der Regisseur jede einzelne Szene sofort nachprüfen und dadurch etwaige Fehler gleich korrigieren. Ist eine Szene mißlungen, so braucht das Band nicht verworfen zu werden; denn nach der Entmagnetisierung kann man es sofort wieder für die Aufnahme von Bildern und Ton verwenden.

Einer sehr strengen Prüfung war die sowjetische Elektronik bei der Schaffung und beim Start des ersten künstlichen Erdtrabanten unterworfen. Man kann es mit ruhigem Gewissen bescheinigen, daß sie dieser Aufgabe voll und ganz gerecht wurde.

Der Weg zu den Sternen

Der Sputnik – ein Kind der Wissenschaft und Technik

Sputnik! ...

Seinen Geburtstag am 4. Oktober wird man jedes Jahr immer wieder in der ganzen Welt begehen. Die Historiker werden diesen Tag des Jahres 1957 als das wichtigste Datum der Kosmosbezwungung festhalten; denn es war der erste Schritt in das All. Sie werden es auch bezeugen, daß dieses Ereignis die gesamte Menschheit in Erstaunen und Aufregung versetzte.

Ein ungewöhnliches Ereignis – der erste künstliche Mond!

Eine ungeheurere Bewegungsgeschwindigkeit um den Erdball – acht Kilometer in der Sekunde: um das Vielfache schneller als ein Geschloß!

Eine bisher unerreichte Höhe – 900 Kilometer über der Erdoberfläche!

„Mit diesem bewunderungswürdigen Ereignis“, schrieb die englische Zeitung „Sunday Express“, „haben die Russen der ganzen Welt die Genialität ihrer Wissenschaftler und das Talent ihrer Techniker vorgestellt.“

Aus allen Teilen der Welt gingen der Sowjetunion Glückwunschtelegramme zu, die eindeutig zeigten, daß kein Mensch auf der Erde den sowjetischen Mond als eine „Beleidigung“ auffaßte. Bei seinem Flug um die Erde, den er in anderthalb Stunden schaffte, kündigte er sich überall durch die Radiosignale seiner kleinen Sender an. Die Stimme aus dem All begeisterte alt und jung aller Nationalitäten. Das russische Wort „Sputnik“ ging in den Sprachschatz aller Nationen ein.

Dieser Erfolg der Sowjetunion ist vor allem ein Zeugnis des großen Fortschritts der sowjetischen Wissenschaft und Technik. Er konnte nur in einem Lande erreicht werden, in dem sich ein hervorragendes wissenschaftlich-technisches Personal befindet, in einem Lande, das sich durch ein hohes Entwicklungsniveau aller Zweige der Wissenschaft und Technik auszeichnet, wie Mathematik, Physik, Chemie, Elektronik, Metallurgie, um nur die wichtigsten zu nennen.

Zum vierzigsten Jahrestag des sowjetischen Staates bereiteten sowjetische

Wissenschaftler verschiedener Disziplinen Zeugnisse ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit vor. So übergaben im Frühjahr 1957 die Physiker ihrer Regierung den in der Welt mächtigsten Beschleuniger für Kernteilchen; die Schiffbauer stellten den Atomeisbrecher „Lenin“ fertig, der mit Atomenergie betrieben wird; die Flugzeugbauer brachten die Konstruktion übergroßer Flugzeuge heraus, die transkontinentale Flüge mit Geschwindigkeiten von etwa 1000 km/h ausführen.

Als Synthese der Erfolge der gesamten sowjetischen Wissenschaft und Technik, darunter auch der Elektronik, ist der Aufstieg der künstlichen Erdtrabanten zu bezeichnen.

Vor dem Start des ersten Sputniks waren Raketenflüge in die oberen Atmosphäreschichten nur von kurzer Dauer. Nachdem die geophysikalischen Raketen und die Versuchsraketen mit Tieren einige hundert Kilometer Höhe erreicht hatten, fielen sie wieder auf die Erdoberfläche zurück.

Der erste Sputnik dehnte seine Reise in Höhen, die über der Atmosphäre lagen, über mehrere Monate aus. Es war nicht nur ein künstlicher Mond, sondern etwas viel Wichtigeres: Das erste Mal in der Weltgeschichte bewegte sich im Kosmos ein irdisches Laboratorium.

Mit dem Start des zweiten Sputniks eröffneten die sowjetischen Wissenschaftler eine neue Etappe in der Eroberung des Kosmos. Der zweite künstliche Erdtrabant zog seine Kreise um die Erde in einer Höhe von 1700 km und hatte den ersten Weltraumreisenden, die Hündin Laika, an Bord.

Dem zweiten Sputnik folgte der dritte, der noch schwerer war und noch mehr und kompliziertere wissenschaftliche Apparaturen mit sich führte. Sein Gewicht betrug 1327 kg, wobei die Apparatur für wissenschaftliche Forschungszwecke 968 kg schwer war. Die Höhe des dritten Sputniks schwankte zwischen 220 km bei Erdnähe und 1870 km bei größter Erdferne, die Zeit einer Umkreisung um die Erde betrug etwa 106 Minuten. Dieser Sputnik hat eine sehr lange Lebensdauer erreicht,

Das sowjetische Volk ehrt seine Wissenschaftler, Techniker und Arbeiter, die der Sowjetunion zu diesen großen Erfolgen verhalfen. Das Zentralkomitee der Kommunistischen Partei der UdSSR, das Präsidium des Obersten Sowjets der UdSSR und der Ministerrat der UdSSR haben die Arbeiten dieser Wissenschaftler hoch eingeschätzt. Für die hervorragenden Erfolge, die zur Schaffung und zum Start der künstlichen Erdtrabanten führten, wurde eine große Gruppe von Wissenschaftlern, Konstrukteuren und Spezialisten mit dem Leninpreis ausgezeichnet; die besten wurden zu Helden der Sozialistischen Arbeit ernannt.

In Anerkennung der großen Leistungen bei der Schaffung und Startvorbereitung des ersten künstlichen Erdtrabanten, des ersten Sputniks, wurde beschlossen, in Moskau, als der Hauptstadt der Sowjetunion, ein würdiges Denkmal zu errichten.

Das Laboratorium im Kosmos

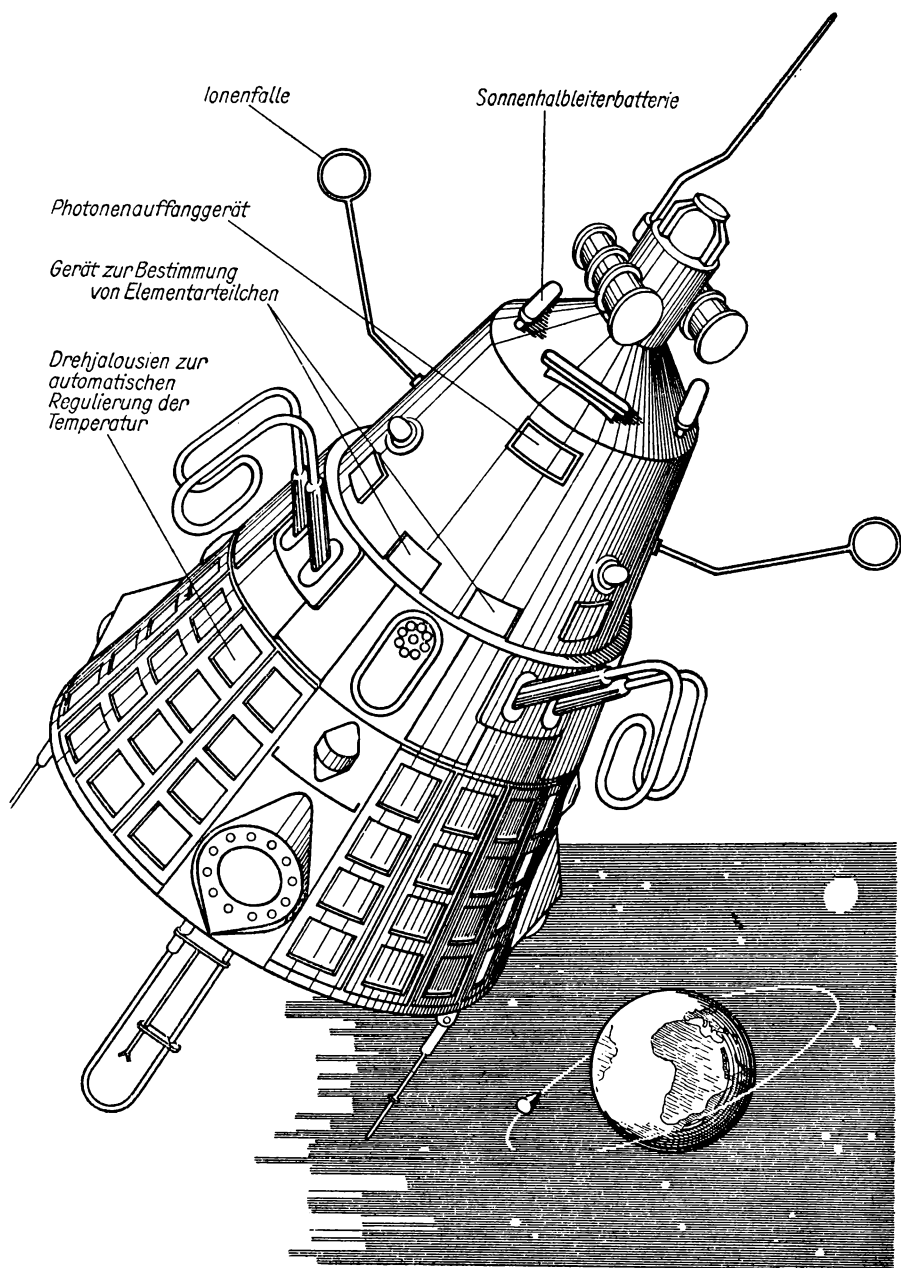
Bis zum Start der Sputniks wurden die kosmischen „Grenzgebiete“ der Erde mit geophysikalischen Raketen untersucht. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigten, daß die Ionosphäre nicht aus streng getrennten Schichten besteht, sondern vielmehr eine einheitliche ionisierte Gasmasse darstellt. Mit Hilfe dieser Raketen gelang es auch, das Sonnenspektrum zu bestimmen. Für längere Beobachtungszwecke eignen sich diese Raketen aber nicht, da sie nur sehr kurze Zeit in den vorbestimmten Höhen verbleiben.

Bei dem Sputnik sieht die Sache schon anders aus. Er wird auf verschiedene Höhen gebracht und sendet von dort Nachrichten auf die Erde, die von den in ihm enthaltenen Geräten aufgenommen werden. So können wir mit Hilfe des Sputniks Druck, Temperatur, chemische Zusammensetzung, Ionisierungsgrad der oberen Atmosphäreschichten und noch andere Angaben erhalten, die für die Lösung vieler Probleme des kosmischen Raumes von großer Bedeutung sind.

Der Luftozean, der unseren Planeten „umspült“, spielt eine wichtige Rolle. Seine oberen Schichten schützen die Lebewesen auf der Erde vor dem schädlichen Einfluß einiger Komponenten der Sonnenstrahlung, vor den kosmischen Strahlen und vor den Meteoriten, die aus dem interplanetaren Raum ununterbrochen auf die Erde fallen.

Die mit der Sonnentätigkeit verbundenen Erscheinungen wirken auch auf den Zustand der unteren Atmosphäreschichten ein, auf die Bildung von Zyklonen und Antizyklonen, die für die Wetterveränderungen auf der Erde verantwortlich sind. Durch die Sonnenstrahlung werden die oberen Schichten der Atmosphäre ionisiert, wodurch wiederum die Ausbreitung der Radiowellen beeinflußt wird.

In den Perioden erhöhter Sonnentätigkeit kommt es zu einer verstärkten Beeinflussung der Ionosphäre durch die Ausstrahlungen der Sonne. Dabei entstehen ionosphärische und magnetische Stürme, die von starkem Polarleuchten, von Störungen der Radioverbindungen und einem Strom zunehmender kosmischer Strahlen begleitet werden.



Um diese Erscheinungen erforschen zu können, hat man an Bord der künstlichen Erdtrabanten radiotechnische Einrichtungen untergebracht. Da die Sputniks die Erde mit einer Geschwindigkeit von etwa 29000 Stundenkilometern umfliegen, können sie in Bruchteilen von Sekunden sehr große Gebiete beobachten und sowohl Angaben über den Stand der Vereisung im Norden als auch über die Bewegung der Luftmassen über Meeren und Ozeanen machen.

Auf welche Weise überträgt nun eigentlich der Sputnik die Nachrichten auf die Erde?

Jedes Gerät und jeder Apparat im Sputnik ist darauf eingerichtet, an bestimmten Punkten verschiedene Messungen durchzuführen. Diese werden in elektrische Impulse umgewandelt und nach Verstärkung durch automatische Sender zur Erde geschickt.

Bei den ersten Sputniks war eine Rückkehr zur Erde nicht geplant. Sie verloren allmählich an Geschwindigkeit und Höhe und verglühten in den dichteren Schichten der Atmosphäre wie Meteore. Doch heute sind Wissenschaftler und Techniker bereits dabei, Raketen zu bauen, die nach ihrem Flug in den Kosmos wieder wohlbehalten und mit allen Apparaturen zur Erde zurückkehren werden.

Man kann eine interplanetare Station auch mit einem Teleskop und einem Fernsender ausrüsten. Wenn man dann in Höhen über 1000 km einen Stern in das Blickfeld dieses Teleskops bringt, so kann dieser viel besser beobachtet werden als unter den auf unserem Planeten herrschenden Bedingungen. Es ist deshalb klar, daß die Sputniks den Astronomen ganz hervorragende Perspektiven bieten. Auch solche Sterne, deren Strahlen nicht bis zur Erde dringen, werden durch die Sputniks beobachtet werden können.

Zur Zeit sind die Astronomen eifrig darum bemüht, die Geheimnisse des Mondes zu entschleiern.

Zu den bisher noch nicht geklärten Monderscheinungen gehört das plötzliche Auftreten von neuen Kratern in den Gebieten bereits bestehender Krater wie zum Beispiel in dem bekannten Platon-Krater. Auf der anderen Seite konnte beobachtet werden, daß Mondkrater plötzlich verschwanden, wie zum Beispiel der Alhasen-Krater, dessen Durchmesser etwa 40 km betrug.

Eine weitere bisher ungeklärte Erscheinung sind die geheimnisvollen weißen Wolken, die ab und zu auf der Mondoberfläche erscheinen. Sie sind deshalb so geheimnisvoll, weil der Mond bekanntlich keine Atmosphäre besitzt. Diese und andere Rätsel des Mondes zu lösen, ist den Sputniks vorbehalten.

Die ersten sowjetischen Sputniks wurden mit einer Geschwindigkeit von über 8 km/s auf ihre Flugbahn gebracht. Den Weg um die Erde legten sie auf einer elliptischen Bahn zurück. Bei geringerer Geschwindigkeit hätte ihre Flugbahn eine Kreisform, bei größerer die einer ausgezogenen Ellipse gehabt. Bei einer Geschwindigkeit von 10,2 km/s wird der Ellipsenbogen bis zum Mond ausgedehnt. Deshalb kann ein künstlicher Erdsatellit auch bis zum natürlichen Satelliten der Erde vordringen und diesen umfliegen. Wäre ein Sputnik mit einer Fernscheinrichtung ausgestattet gewesen, so hätten wir von der Erde aus die Mondlandschaften beobachten können, auch die, die unserem Blick bisher verborgen sind, da uns der Mond immer nur ein und dieselbe Seite zukehrt.¹

Der erste künstliche Planet

Am 2. Januar 1959 trat ein weiteres großes Ereignis in der Geschichte der Weltwissenschaft ein – die erste interplanetare Rakete startete in den kosmischen Raum und schlug die Richtung zum Mond ein. Sie war ihrer Größe und Ausstattung nach ein richtiges Raumschiff.

Nachdem sie auf ihrer Flugbahn die mondnächste Stelle passiert hatte, setzte sie ihren Flug in den Raum des Sonnensystems fort und wurde somit zum ersten von Menschenhand geschaffenen künstlichen Planeten.

Der erste künstliche Planet erfüllte die gestellten Aufgaben zu vollster Zufriedenheit und funkte den Menschen neue Nachrichten über den Kosmos.

Der erfolgreiche Start der mehrstufigen kosmischen Rakete ist ein weiterer Beweis für die großartige Entwicklung der sowjetischen Wissenschaft und Technik. Durch ihn wurde die Epoche der interplanetaren Flüge eingeleitet. Das bestätigen auch Wissenschaftler und Politiker anderer Länder.

Die Weltpresse ist sich darüber einig, daß die Sowjetunion die USA auf dem Gebiete der Raketentechnik weit überflügelt hat. So wurden in der

¹ Diese Aufgabe wurde durch die dritte kosmische Rakete am 4. 10. 1959 gelöst.
(Die Red.)

Sowjetunion Treibstoffe hergestellt, die bisher ungekannte Energien entwickeln. Für den Bau der Raketen mußte Material ausgewählt werden, das sich für die hohen Fluggeschwindigkeiten eignete. Es war auch notwendig, präzise Steuerungsgeräte zu konstruieren, um der Rakete die genaue Flugrichtung zu geben. Beim Flug zum Mond wog die letzte Stufe der Rakete 1472 kg, während die der bis damals größten amerikanischen Raketen nur 26,8 kg ausmachte. Es wird allgemein angenommen, daß die Schubkraft der sowjetischen Rakete die der amerikanischen „Atlas“-Rakete um das Vierfache übertrifft.

Nach der Meinung der internationalen Fachwelt ist vor allem die ungewöhnliche kosmische Geschwindigkeit der Rakete von 11,2 km/s zu bewundern. Bei den Sputniks beträgt diese 8 km/s, bei den schnellsten Geschossen dagegen nur 1,5 bis 2 km/s.

Es kann also nicht bezweifelt werden, daß die Sowjetunion in der Raketen-technik eine absolut überlegene Stellung einnimmt.

Die Geheimnisse des weiten Weltraums werden in Zukunft für den Menschen keine Geheimnisse mehr bleiben.

Bisher wußten wir noch nicht, ob das magnetische Feld der Erde eine besondere Eigenschaft unseres Planeten ist oder ob ein solches auch bei anderen Planeten vorkommt.

Bisher konnten wir selbst mit Hilfe der Sputniks die Geheimnisse der kosmischen Strahlen nicht entschleiern. Mit den künstlichen Planeten ist das jetzt möglich.

Bisher stellten wir uns den kosmischen Raum als mit kosmischer Kälte erfüllt vor. Die sowjetische interplanetare Rakete vermittelte uns aber, noch bevor sie den Mond passiert hatte, daß die Temperatur im Kosmos an ihrer Außenfläche 15 bis 20 Grad Wärme betrug.

Bisher wissen wir auch nicht, ob auf dem Mond Radioaktivität vorhanden ist. Dabei kann uns das Vorhandensein oder Fehlen von Radioaktivität auf den Planeten unseres Sonnensystems auch Hinweise darauf geben, ob auf ihnen Leben möglich ist oder nicht.

Raumschiffe

Das 20. Jahrhundert, in dem wir leben, wird in die Geschichte der Menschheit als der Beginn der interplanetaren Flugepoche eingehen. Bereits wir und nicht erst unsere Enkel werden den ersten Flug des Menschen zu

anderen Planeten erleben. Möglicherweise wird sich auch unter den Lesern dieses Büchleins ein zukünftiger Astronaut befinden.

Für die zukünftigen Astronauten werden von Wissenschaftlern und Technikern Konstruktionen von mächtigen Raumschiffen projiziert; Ingenieure und Chemiker bereiten neue künstliche Materialien vor, die fester und vorteilhafter sind als natürliche; die Physiker und Mechaniker bauen Atomreaktoren, und die Astronomen stellen die Reiserouten zusammen.

Nach dem Verlassen der Erde werden sich unsere zukünftigen Astronauten nicht so einsam fühlen wie die Expeditionsmitglieder vergangener Zeiten, da sie ständig mit dem Heimathafen in Verbindung bleiben.

„Geht auf Empfang! Geht auf Empfang!“ wird es in den Kopfhörern und Lautsprechern ertönen. „Wir beobachten Erscheinungen, die von Menschen noch nie gesehen wurden!“

Und den Menschen auf der Erde wird es scheinen, als ob sie selbst an der kosmischen Reise beteiligt sind. Sie werden stundenlang vor ihren Rundfunkgeräten sitzen und auf weitere Nachrichten warten.

„Achtung! Achtung! Hier spricht das Raumschiff XX, hier spricht das Raumschiff XX! Wir nähern uns dem Ziel. Unser Schiff beschreibt eine Schleife über einer weiten Wüste und setzt zur Landung an...“

Ganz bestimmt werden unsere mutigen Astronauten die Landung glücklich überstehen und dann von dem fremden Planeten aus mit ihren Angehörigen „sprechen“ und die letzten Nachrichten des Moskauer Rundfunks „hören“.

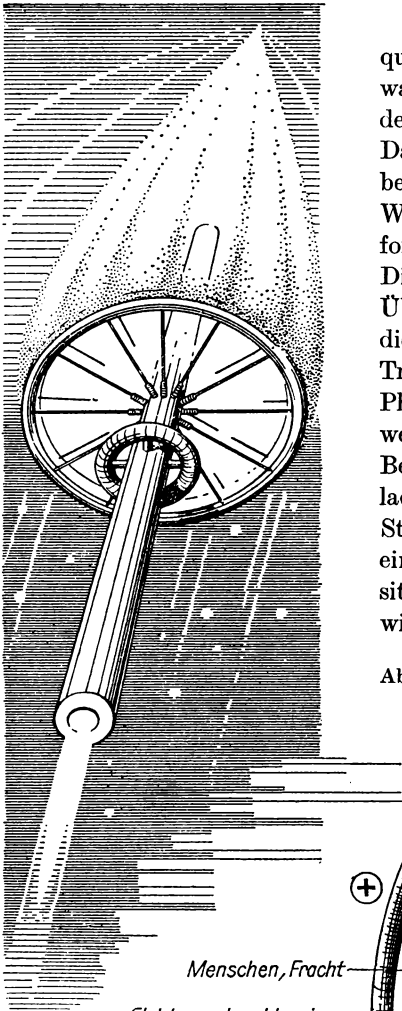
Welchen Zweck hat es eigentlich, daß wir ins Weltall vordringen wollen? werden sich Skeptiker vernehmen lassen.

Von den Wissenschaftlern wurde berechnet, daß allein unsere Galaxis über eine Milliarde Sterne zählt. Man könnte deshalb den Menschen auf der Erde mit Inselbewohnern vergleichen, die, ohne schwimmen zu können und Schiffe zu haben, nur von weitem andere Ufer beobachten können. Und sollten sich dann über diesen Ufern Rauchwolken erheben, so wüßten sie nicht, ob es sich um Naturerscheinungen handelt oder ob Menschen Feuer machen, um ihre Existenz durch Rauchsignale zu erkennen zu geben.

So ähnlich geht es auch uns, die wir uns auf einer der Inseln des Weltalls befinden und von Zeit zu Zeit Signale aus dem Kosmos in Form von Radiostrahlungen empfangen. Vielleicht befindet sich darunter eine Nachricht von Bewohnern anderer Planeten?

Vorläufig ist dieses Rätsel noch nicht zu lösen. Doch das Vordringen in den Kosmos wird uns Klarheit darüber geben.

Nach den ersten mutigen Pionieren, die den kosmischen „Ozean“ durch-



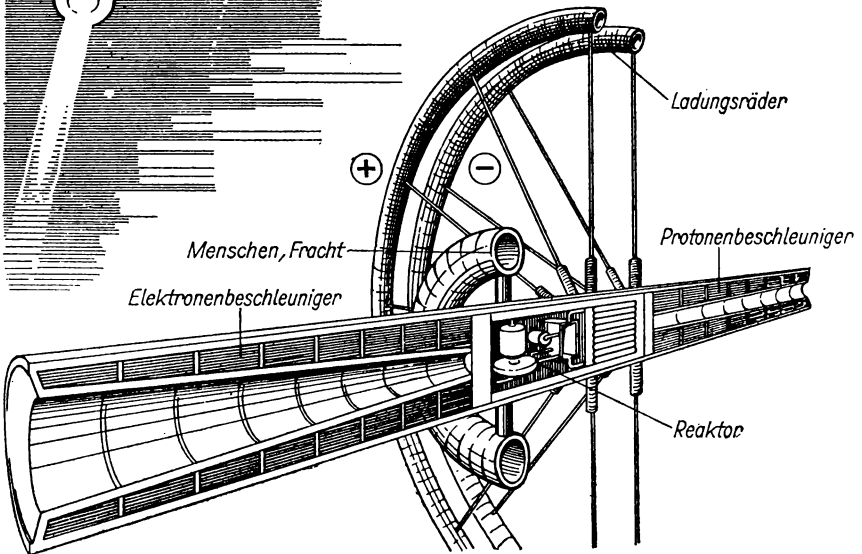
queren werden, wird man dann in gewaltigen Raumschiffen die Verbindung zu den anderen Planeten aufnehmen.

Dabei geht es nicht darum, die uns unbekannten, belebten und nicht belebten Welten zu umfliegen, sondern sie zu erforschen und zu ergründen.

Die Wissenschaftler stellen bereits heute Überlegungen an, um Raketen zu bauen, die nicht durch chemische oder atomare Treibstoffe, sondern durch die Energie von Photonen sowie Protonen angetrieben werden.

Beim Aufeinanderprallen verschieden geladener Teilchen geht der Stoff in die Strahlenform über. So entstehen beim Aufeinandertreffen von Elektronen und Positronen Photonen. Wenn es gelingen wird, im Reaktor des zukünftigen Raum-

Abb. 25 Raumschiff



schiffes den Zusammenschluß zweier Ströme entgegengesetzt geladener Teilchen zu verwirklichen, so wird ein Photonenstrom von ungeheurer Energie entstehen, der das Raumschiff mit ungeahnter Schnelligkeit in die Sternenwelt treibt.

Spezialanlagen an Bord des Raumschiffes werden die Protonen bis in die Nähe der Lichtgeschwindigkeit beschleunigen. Mit dieser Geschwindigkeit werden die Protonen ausgestoßen. Das gesamte Raumschiff ladet sich dann negativ auf und erzielt in Richtung des positiv geladenen Systems eine immer größere Fluggeschwindigkeit.

Obwohl ein solches Raumschiff vorläufig nur in der Phantasie besteht, ist sein Wirkungsprinzip durchaus nicht phantastisch.

Die Atomenergie eröffnet den Weg zu den Planeten des Sonnensystems und die Energie, die bei der Umwandlung des Stoffes in Strahlen entsteht, den Weg zu fernen Sternen.

Für die kosmischen Flüge wird man neue Photonenreaktoren bauen.

Die Strecke von Moskau bis Wladiwostok beträgt etliche tausend Kilometer, was für irdische Begriffe ziemlich weit ist. Die Entfernungen der Planeten im Sonnensystem betragen aber Millionen von Kilometern. Der Weg zu den Sternenwelten des Weltalls kann schließlich nur noch in Lichtjahren gemessen werden. Ein Lichtjahr ist gleich der Entfernung, die ein Lichtstrahl in einem Jahr durchläuft; sie beträgt etwa 9,5 Billionen Kilometer.

Die zukünftig zu überwindenden Entfernungen sind millionenmal größer als die auf der Erde bekannten. Aber auch die Energie, die die Raumschiffe bewegen wird, ist millionenmal größer als die für die Fahrzeuge auf der Erde. Wenn wir sie erst beherrschen, werden wir uns mit dem künstlichen „Planeten“ auf Reisen begeben und uns dabei wie zu Hause fühlen.

Da auf diesem „Planeten“ alle gewohnten Bequemlichkeiten vorhanden sein werden, wird auch das Leben dort ähnlich wie auf der Erde verlaufen. Nur werden die Menschen mit diesem „Planeten“ nicht wie die Erdbewohner nur um unsere Sonne fliegen, sondern nach einer vorbestimmten Reiseroute auch zu anderen Sonnensystemen.

Die Zukunft des Menschen hängt nicht von denen ab, die nach dem Tode ein Leben im Himmel versprechen, sondern von denen, die den „Himmel“ schon bei Lebzeiten erstürmen werden. Diese Zukunft gehört auch nicht denen, die eine Unterwerfung der Welt fordern und die Reichtümer der Wissenschaft in die Hüllen von Atom- und Wasserstoffbomben pressen. Die Zukunft gehört denen, die die Wissenschaft entwickeln und sie in den Dienst des Fortschritts zum Wohle der ganzen Menschheit stellen.

Originalausgabe

**А. Ф. Буянов, Управляемый электрон. Издательство ВЦСПС Профиздат
Москва 1959**

Übersetzung aus dem Russischen: Hans Weller

Mit 25 Abbildungen