

Wissenschaftliche Nachrichten

Gewidmet vom
**HAUPTVERBAND DER ÖSTERREICHISCHEN SPARKASSEN
VON DER ERSTEN ÖSTERREICHISCHEN SPAR-CASSE
UND DER ZENTRALSPARKASSE DER GEMEINDE WIEN**

Nr. 8 - Juni 1965

Inhalt:

CHEMIE

DNS, RNS und der genetische Code (III)
Die Valenzverbindungen der Edelgase
Schlüssel-Schloßstrukturen in der organischen Chemie
Leistungsfähigkeit von Ionenaustauschern

*Neues von CERN — Modernste Teilchentrennanlage seit
Jänner 1965 in Betrieb*

Die Lebensdauer des ω -Mesons
Das Intensitätsinterferometer zu Narrabri (Australien)
Kurznachrichten
*Ein Vorschlag für die Festsetzung der Werte der physikalischen
Konstanten*

MATHEMATIK

Fortschritte in der Klärung des Kontinuumproblems
Ein wichtiger Satz der Gruppentheorie bewiesen

WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

Der Außenhandel der USA
*Wirtschaftskraft und Lebensstandard der wichtigsten
OECD-Staaten*
Steuer- und Sozialbelastungen in aller Welt
Wirtschaftserziehung als Aufgabe der Sparkassen

PHYSIK, ASTRONOMIE

Laborsystem, Schwerpunktsystem, Speicherringe
Die Darstellung des Elements Nr. 104
*Ein empirischer Ansatz für das Massenspektrum der Teilchen
Bindungsenergien*
Polarisierte Teilchenstrahlen
Die Länge des Venustages — eine Erfolgsmeldung aus Arecibo
Zwei wichtige Konferenzen des Jahres 1964
A. Die XII. Generalversammlung der Int. Astr. Union
*B. Die XII. internationale Konferenz über Hochenergie-
physik*
Der 2π -Zerfall von K_2^0 — Folge einer fünften Naturkraft?

Vorschau auf den Inhalt der nächsten Folge:

Trägerische Anschauung
Radarechos von Mars und Jupiter
Erste Ansätze der Neutrinoastronomie
Thermolumineszenz — ein neues Hilfsmittel der Geologie
*Versuch einer Synthese organischer Hochtemperatur — Supra-
leiter*
Protonenzustände
Hitzebeständige Kunststoffe

AN UNSERE LESER!

Seit dem Erscheinen der „Wissenschaftlichen Nachrichten“ laufen immer wieder Anfragen über Bezugsmöglichkeiten ein. Sie wurden in jedem einzelnen Falle beantwortet. Allerdings mußte stets auf den provisorischen Charakter des Verteilungsschlüssels hingewiesen und die Fragesteller auf einen späteren Zeitpunkt vertröstet werden, zu dem eine endgültige Regelung der schwierigen finanziellen Probleme getroffen wäre.

Dieser Augenblick ist nun gekommen, und es gereicht uns zur größten Freude mitteilen zu können, daß die ständige unentgeltliche Übersendung des Blattes an alle Kollegen, die an irgendeiner österreichischen höheren Schule (nicht nur an einer allgemeinbildenden!) die Fächer

Chemie, Geographie, Mathematik, Physik unterrichten, in Hinkunft gesichert erscheint.

Wir dürfen diese erfreuliche Wendung der großzügigen Bereitschaft

der ZENTRALSPARKASSE der GEMEINDE WIEN,
der ERSTEN ÖSTERREICHISCHEN SPAR-CASSE und
des HAUPTVERBANDES DER ÖSTERREICHISCHEN
SPARKASSEN

zuschreiben, für sämtliche aus der Herstellung der Zeitschrift erwachsenden Kosten aufzukommen.

Es ist uns daher ein Bedürfnis, auch diesen Stellen unseren Dank auszusprechen, ganz besonders den Herren Damisch und Weber von der Zentralsparkasse der Gemeinde Wien, deren förderndes Verständnis für die Anliegen von Schule und Wissenschaft entscheidend zum positiven Verlauf der sehr langwierigen Verhandlungen beitrugen.

Eine wichtige Rolle hat auch die glücklicherweise wachsende Einsicht der Wirtschaftskreise in die enge Verknüpfung der mehr oder weniger abstrakten Wissenschaft mit den konkreten technisch-wirtschaftlichen Gegebenheiten gespielt. Man erkennt allmählich, daß in den Laboratorien und auf den Schreibtischen der Forscher die wesentliche Substanz ökonomischer Betätigung entsteht, daß einige Formeln imstande sein können, das wirtschaftliche, gesellschaftliche und damit auch das politische Anlitz der Welt in nachhaltigster Weise zu verändern und im Keime zu gestalten.

Dadurch, daß die „Wissenschaftlichen Nachrichten“ das Frontgeschehen der naturwissenschaftlichen Forschungsarbeit an den Lehrer und — von diesem geeignet transformiert — mittelbar an den Schüler herantragen, darf gehofft werden, manches Interesse durch viele anonyme Impulse zu wecken und manche Begabung zu sensibilisieren, auf daß daraus spätere Leistungen erwachsen, zum Wohle unseres Landes und der ganzen Menschheit.

Das Entgegenkommen der

VEREINIGUNG ÖSTERREICHISCHER INDUSTRIELLER

und der

ZENTRALSPARKASSE DER GEMEINDE WIEN

hat es ermöglicht, noch vor einer generellen Regelung die drei letzten von den sieben bisher erschienenen Nummern der „Wissenschaftlichen Nachrichten“ den Bundesländern zugehen zu lassen. Den zahlreichen Bitten um Nachlieferung der Nummern 1—4 konnte bedauerlicherweise nicht entsprochen werden, weil diese, in kleiner Auflage gedruckt, vollständig vergriffen waren. Eine Subvention der Vereinigung Österreichischer Industrieller stellte die zum Nachdruck erforderlichen Mittel bereit. Dadurch war es möglich geworden, nunmehr auch die Kollegen außerhalb Wiens mit den ersten vier Nummern der Zeitschrift zu versorgen. Wir sprechen beiden Körperschaften unseren besonderen Dank aus.

Was den Erscheinungs- und Verteilungsmodus betrifft, ist folgendes zu sagen:

Die Zeitschrift erscheint dreimal jährlich, nur heuer sind zum Ausgleich für frühere Verzögerungen vier Nummern vorgesehen. Die gleichbleibenden Versandtermine sind der Frühherbst, die Zeit um Weihnachten und der April. Die Exemplare werden von der Druckerei direkt an die Landeschulräte beziehungsweise an das Bundesministerium für Unterricht gesandt und gelangen von dort aus zur weiteren Verteilung an die der betreffenden Behörde unterstellten Schulen. An diese Behörde sind auch alle Ansuchen über das Ausmaß der benötigten Exemplare und andere die Zustellung betreffenden Anfragen zu richten.

Selbstredend gehen auch den zuständigen Hochschullehrern die Nummern der Zeitschrift zu.

Der Inhalt umfaßt von nun an auch wirtschaftliche Informationen sowie sozialwissenschaftliche Beiträge. Daher werden die Kollegen, welche Geographie oder andere wirtschaftskundliche Fächer lehren, in den Bezieherkreis aufgenommen.

Leider ist es noch nicht gelungen, einen geologischen oder biologischen Abschnitt einzufügen. Erst dann wären alle Naturwissenschaften vertreten. Obwohl sich keine Möglichkeit abzeichnet, wie auch den Geisteswissenschaften der Zutritt verschafft werden könnte, muß betont werden, daß erst nach ihrer Einbeziehung das Blatt abgerundet wäre. Dann allerdings würde die wissenschaftliche Lehrerfortbildung in Österreich über ein Organ verfügen, das nicht nur im eigenen Lande einem hohen Ziele diene, sondern sich auch außerhalb unserer Grenzen sehen lassen könnte.

Jede diesbezügliche Initiative würde begeistert aufgenommen und mit Zähigkeit in konkrete Ergebnisse umgeformt werden.

Abschließend wird gebeten, allfällige Anfragen, die weder Ausmaß noch Art der Beteiligung betreffen, direkt an die Schriftleitung in Wien I, Stubenbastei 6—8, G1, und nicht an die Arbeitsgemeinschaft der Physiker oder andere Stellen zu richten. Dadurch wird manche überflüssige Arbeit vermieden.

Dr. Walter Kranzer
Schriftleiter

DNS, RNS und der genetische Code (III)

Inhalt von Teil I und II:

DNS und RNS sind lineare Polyester aus Desoxyribose oder Ribose mit Phosphorsäure, wobei die Verknüpfungsstellen die C-Atome 5 und 3 der Pentose (als Furanose) sind. An C-1 der Pentose sind die Basen Guanin (G), Cytosin (C), Thymin (T) und Adenin (A), bei RNS Uracil (U), gebunden. DNS bildet eine Doppelhelix, welche durch die Wasserstoffbrücken der komplementären Basenpaare G—C und A—T zusammengehalten wird. Bei RNS wurden drei verschiedene Arten erkannt: niedermolekulare lösliche RNS (IRNS), hochmolekulare RNS aus den Ribosomen und eine hochmolekulare einsträngige Form (messenger-RNS). DNS ist Träger der Erbinformation, welche durch die Reihenfolge der vier Basen C, G, A und T codiert ist. Je eine Gruppe aus drei Basen stellt die Chiffre für eine Aminosäure dar. Der Bauplan für die Bildung eines Proteins ist durch die Sequenz der „Codons“ (Dreiergruppen) festgelegt. Erfolgt in der Sequenz der Basen eine Änderung, so ist ein Codon verändert, zerstört oder sinnlos geworden und damit der Aufbau eines Proteins geändert: es liegt eine Mutation vor. Veränderungen können

durch verschiedene Agenzien erfolgen. Zur Herstellung künstlicher Mutanten verwendet man häufig salpetrige Säure, Acridinderivate, Dimethylsulfat usw. oder auch UV- und Röntgen-Strahlung. Die Mutationsrate dürfte dort besonders hoch sein, wo in den Genen die Basenpaare A—T gegenüber C—G überwiegen.

3. Die Proteinsynthese

Wenn es heute möglich ist, die Vorgänge bei der Proteinsynthese der Zelle Schritt für Schritt in einfachen Worten zu beschreiben, so ist diese Tatsache der scharfsinnigen Auswertung vieler, und oft sogar scheinbar paradoxer Beobachtungen zuzuschreiben. Wegweisend waren hier die Vorstellungen, daß nicht nur die Gesetze über die chemischen Reaktionen, sondern die strukturellen Ähnlichkeiten und Beziehungen im biologischen Geschehen eine besonders große Rolle spielen.

Es gilt als sichere Tatsache, daß ein Strang der DNS-Doppelhelix die Matrize für die Bildung der komplementären messenger-RNS ist, die unter Mitwirkung der Ribosomen die genetische Information realisiert, denn an die einsträngige messenger-RNS können sich nur wieder die passenden komplementären IRNS-Moleküle anlagern. Diese tragen je nach Codon eine bestimmte Aminosäure, welche dann in richtiger Reihenfolge zur Polypeptidkettenbildung verwendet wird. Schematisch ist dieser Vorgang in Abb. 1 dargestellt. Hier sollen nun der Weg und die wesentlichen Ergebnisse, welche zur Aufklärung der Proteinsynthese der Zelle führten, kurz dargestellt werden.

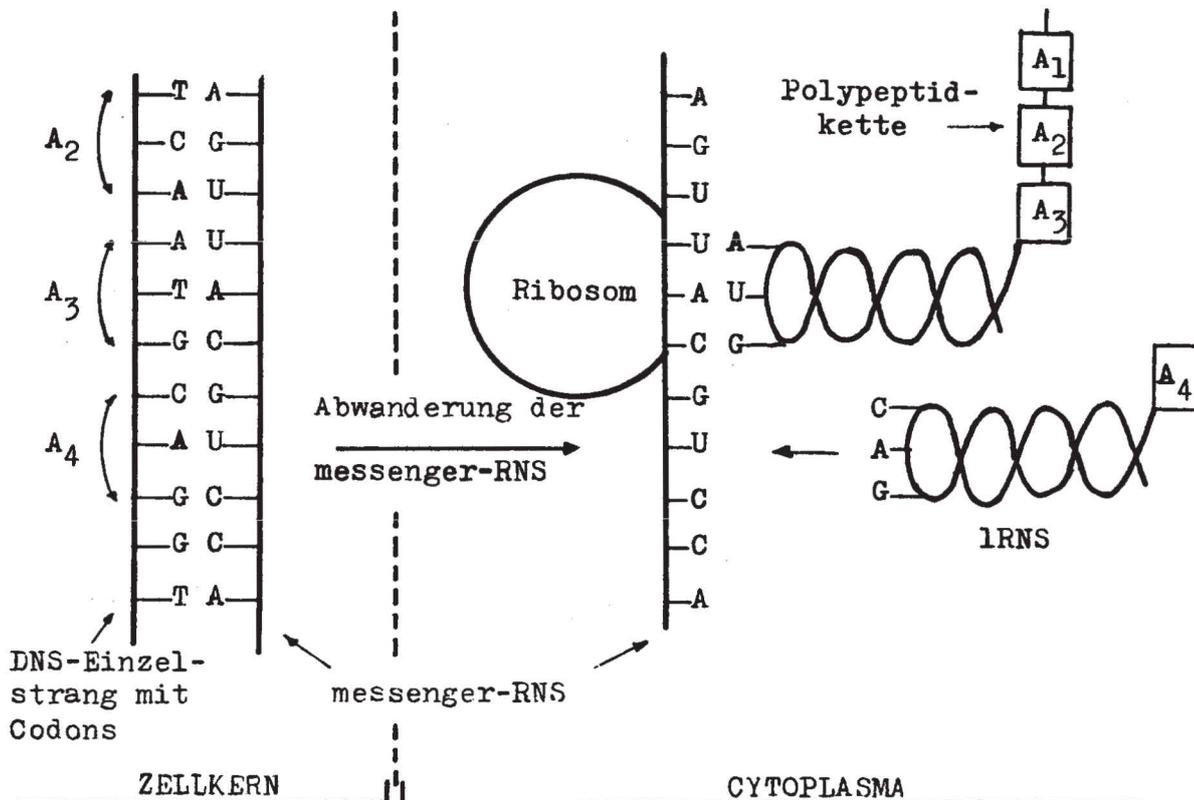


Abb. 1 Schema der Proteinsynthese. Messenger-RNS übernimmt die Information zur Bildung einer Polypeptidkette aus dem DNS-Einzelstrang des Chromosoms. Im Bereich der Ribosomen wird mit den passenden IRNS-Molekülen die Polypeptidkette aufgebaut.

Die Ribosomen

Bereits 1941 (Brachet, Caspersson) war erkannt worden, daß Protein synthetisierende Zellen viel Ribonucleinsäure enthalten. Später konnte durch Verwendung von radioaktiv markierten Aminosäuren festgestellt werden, daß die in der Zelle enthaltenen Ribosomen¹ die Stellen der Proteinsynthese waren. Das bedeutet aber, daß die Proteinsynthese ohne unmittelbare Einwirkung der DNS vor sich geht, welche sich ja nur im Zellkern befindet. Es muß also eine Möglichkeit geben, die genetische Information aus dem Zellkern an die Ribosomen zu schaffen.

Die Analyse von Ribosomen des schon vielfältig untersuchten Bakteriums *Escherichia coli*² zeigte, daß es sich bei diesen um Gebilde handelt, die aus RNS und Protein bestehen, wohl eine gewisse Ähnlichkeit mit Viren und Phagen besitzen, sich von diesen jedoch hauptsächlich durch die große Vielfalt der Polypeptidketten der Protein-komponente unterscheiden. Pro Ribosom sind je nach Größe 10 bis 20 Polypeptidketten festgestellt worden. Die Ribosomen können in Abhängigkeit von der Mg^{2+} -Konzentration ihrer Umgebung entweder zu größeren Aggregaten zusammentreten oder wieder zerfallen. Diese Eigenschaft zeigen alle Ribosomen unabhängig von ihrer Herkunft.

Die Proteinkomponente der Ribosomen scheint einerseits die Aufgabe zu haben, das neu gebildete Protein während der Synthese in der richtigen Lage zu halten, eine Stützfunktion zu besitzen, aber es hält auch verschiedene Enzyme gebunden, wie z. B. Ribonuclease, welche durch die Bindung inaktiviert ist.

Was die RNS der Ribosomen betrifft, so konnte auch bei größtmöglicher Mühe keinerlei Struktur in ihr gefunden werden, die es erklären ließe, daß nur ganz bestimmte Aminosäuren, womöglich noch so ähnlicher Bauart wie Valin und Isoleucin, festgehalten und in der richtigen Reihenfolge für die Proteinsynthese eingesetzt werden.

Als weitere, zunächst nicht erklärbare Tatsache wurde festgestellt, daß

1. in zellfreien Systemen die Proteinsynthese im gesamten gesehen nur sehr mäßig verläuft,
2. an den sogenannten „aktiven“ Ribosomen allerdings bis zu 50.000 Atomgewicht-Einheiten Protein gebildet wird,
3. bei Zugabe von Desoxyribonuclease, welche die gesamte DNS abbaut, die Proteinsynthese doch nicht ganz zum Stillstand kommt, sondern nur auf 20 bis 40% des ursprünglichen Wertes sinkt, ein sehr unerwartetes Ergebnis, wenn man von der Arbeitshypothese ausgeht, daß DNS die Voraussetzung für jede Proteinsynthese überhaupt ist,
4. durch Untersuchungen mit radioaktiv markierter Ribosomen-RNS festgestellt wurde, daß diese über mindestens zwei Generationen hinweg völlig unverändert erhalten bleibt.

Alle diese Befunde konnten nur eines klar zeigen: die Ribosomen-RNS ist nicht die gesuchte Matrize zur Proteinsynthese.

Der entscheidende Gedanke zur Lösung dieser Fragen kam nun von Crick: nämlich anzunehmen, daß es in der Zelle Zwischenträger geben müsse, z. B. die damals bereits bekannte niedermolekulare IRNS.

Die Entdeckung der messenger-RNS

Bereits 1952 wurde von A. D. Hershey an Phagen-infizierten Zellen festgestellt, daß sich hier ein besonderer Stoffwechsel abspielt: RNS wird aufgebaut und im selben Maße wieder abgebaut. Diese Entdeckung blieb jedoch bei den Arbeitskreisen, die sich mit genetischer Forschung beschäftigten, zunächst unbeachtet, vor allem deshalb, weil man annahm, daß sich die Stoffwechselvorgänge in infizierten Zellen qualitativ von denen gesunder Zellen unterscheiden. Einige Jahre später (1956, Volkinu. Astrachan) wurde festgestellt, daß diese auf- und wieder abgebaute RNS, was ihren Basenanteil betrifft, der DNS des infizierenden Phagen voll entspricht und, was besonders wichtig ist, die Matrize für die Proteinsynthese des Phagen darstellt.

¹ Kleine Partikel im Cytoplasma, früher Mikrosomen genannt.

² A. Tissieres u. J. D. Watson, 1958.

Diese als Matrize dienende RNS ist also unbeständig, sie sammelt sich nicht in der Zelle an. Weitere Untersuchungen zeigten bald, daß diese RNS sich von der typischen Ribosomen-RNS unterscheidet und sich außerdem in sehr charakteristischer Weise an die großen Ribosomen anlagert³. Diese Entdeckung führte zur neuen Arbeitshypothese: Instabile RNS ist an die genetisch unspezifischen Ribosomen gebunden, diese bilden dann die „aktiven“ Ribosomen, an denen Protein synthetisiert wird. Diese Annahme lieferte gleichzeitig auch die Erklärung dafür, daß 1. zellfreie Systeme nur wenig Protein bilden: es ist eben nur ein geringer Teil der Ribosomen durch instabile RNS aktiviert; und daß 2. DNS-ase die Synthese von Protein nicht vollständig unterdrückt: wohl wird keine neue Matrize mehr gebildet, aber die einmal vorhandene wirkt selbstverständlich weiter.

Diese instabile, als Matrize wirkende RNS bekam von Jacob u. Monod im Jahre 1961 den Namen messenger-RNS.

J. D. Watson und sein Arbeitskreis konnten bald beweisen, daß nicht nur in infizierten Zellen, sondern auch in gesunden Zellen messenger-RNS gebildet wird und dort die gleiche Funktion, Matrize für die Proteinsynthese zu sein, übernimmt. Arbeiten von Tissieres mit gereinigter messenger-RNS aus *E. coli* bewiesen, daß Zugabe dieser RNS zu zellfreien Extrakten die Proteinsynthese um das rund 20fache steigerte. Einen besonders bemerkenswerten Effekt erzielten Nirenberg u. Matthaei⁴ mit synthetischer Polyuridylsäure, die sicher einstrangig ist, denn sie stimulierte die Synthese von Polyphenylalanin (Abb. 3).

Damit war bewiesen, daß messenger-RNS eine einstrangige Matrize zur Proteinsynthese bildet, die an Ribosomen haftet, welche durch sie „aktiv“ werden. Diese aktiven Ribosomen produzieren neues Protein, welches selbst zunächst ebenfalls an den Ribosomen haftet.

Die Rolle der IRNS

Bereits 1960/61 konnten Schweet und Dintzes (USA) zeigen, daß die Verknüpfung der Aminosäuren zum Protein vom Aminoende her erfolgt. Die unmittelbaren Vorstufen sind Aminoacyl-IRNS-Verbindungen. Die wachsende Polypeptidkette trägt jeweils am Carboxylende einen IRNS-Rest (Abb. 2). Eine eingehende Untersuchung durch Watson und seine Mitarbeiter konnte dann zeigen, daß die Proteinsynthese wieder von der Mg^{2+} -Konzentration abhängig ist. Da aber auch die Mg^{2+} -Konzentration dafür maßgebend ist, ob IRNS an den Ribosomen haftet

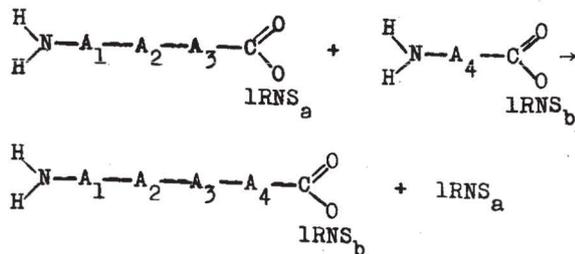


Abb. 2 Schrittweise Verlängerung der Polypeptidkette. Der Buchstabe A symbolisiert eine Aminosäure.

oder nicht, lag der Schluß nahe, daß Ribosomen, messenger RNS und IRNS-Polypeptid-Verbindungen einen Protein synthetisierenden Komplex bilden. Durch Dialyse und Behandlung mit Detergentien konnte der Komplex getrennt und alle beteiligten Stoffe nachgewiesen werden. (Abb. 3.) Es zeigte sich somit, daß das neu gebildete Protein nicht durch kovalente Bindungen am Ribosom haftet, sondern nur die endständige IRNS die Bindung vermittelt.

Jedes aktive Ribosom enthält nur eine Polypeptidkette, deren Aminoende sich im selben Maße vom Ribosom entfernt, wie die Kette verlängert wird. Wahrscheinlich nimmt die sich entfernende Kette gleichzeitig ihre end-am Carboxylende noch weitere Syntheseschritte erfolgen.

³ R. W. Risebrough im Labor Watsons, 1960.

⁴ ds. Zeitschrift Nr. 6 und Nr. 7.

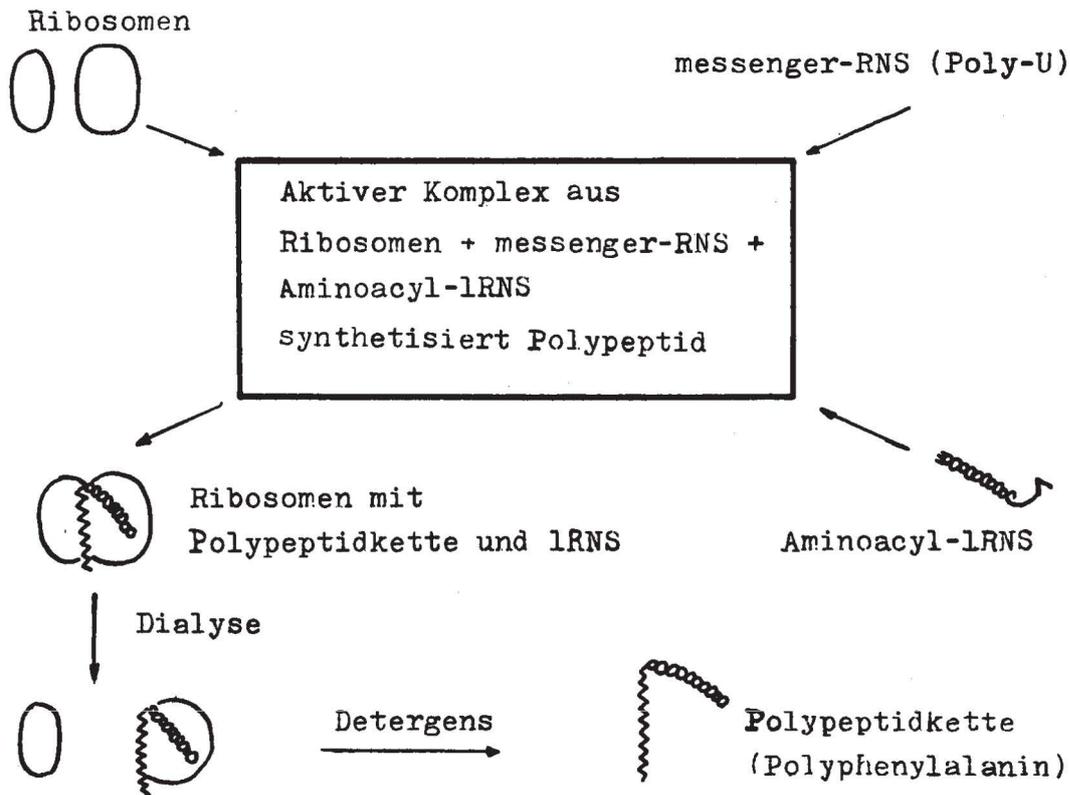


Abb. 3 Beteiligung der Ribosomen an der Proteinsynthese. (Nach J. D. Watson, Ang. Chem. 75/1963/10/447)

Es muß daher die messenger-RNS am Ribosom so angeordnet sein, daß jeweils die richtige Aminoacyl-tRNS an die Stelle tritt, wo die Peptidbindung erfolgt. Dies setzt aber voraus, daß zwischen Matrize und tRNS durch die entsprechenden Basenpaare (Codons) eine Bindung durch H-Brücken erfolgt. Bei Gegenwart der notwendigen Enzyme löst sich die Bindung zwischen Polypeptid und tRNS und es tritt Peptidverknüpfung mit der neuen Aminosäure ein, welche ihrerseits über die entsprechende tRNS noch an messenger-RNS und Ribosom haftet. Für die abgespaltene tRNS müssen energetisch so ungünstige Zustände herrschen, daß sie das Ribosom verläßt. Um den nächsten Syntheseschritt zu ermöglichen, ist es notwendig, daß sich Matrize und Ribosom etwas gegeneinander verschieben, wenn man von der Annahme ausgeht, daß es nur eine für die Proteinsynthese wirksame Stelle im Ribosom gibt. Wahrscheinlich ist ein Molekül messenger-RNS an mehrere Ribosomen gleichzeitig gebunden, so daß es die Synthese von mehreren Proteinmolekülen gleichzeitig ermöglicht (Abb. 4).

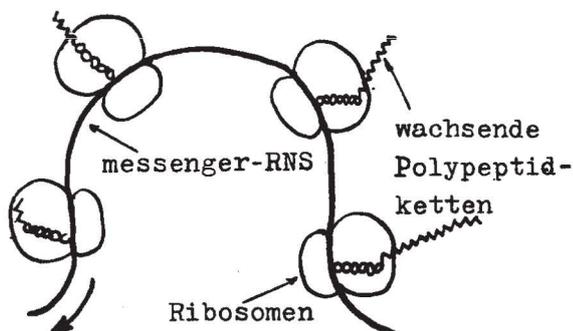


Abb. 4 Vereinigung der messenger-RNS mit mehreren Ribosomen. Die Verknüpfungsstellen sind unbekannt. (Nach J. D. Watson, Ang. Chem. 75/1963/10/448)

Genauere Untersuchungen ergaben, daß eine Matrize zeitlich nicht unbeschränkt in Funktion ist. Eine (bakterielle) Matrize ist doch so instabil, daß sie nur 10- bis 20mal arbeitet. Bei *Bacillus subtilis* (Generationsdauer ca. 60 min.) zerfällt messenger-RNS mit einer Halbwertszeit von 2 Minuten. Freie messenger-RNS wird von bestimmten Enzymen⁵ rasch abgebaut, weniger schnell, wenn sie an Ribosomen gebunden ist.

Zusammenfassend kann über die Beteiligung der tRNS an der Proteinsynthese gesagt werden, daß die einzelnen Teilschritte, die sich unter Mitwirkung der tRNS und messenger-RNS vollziehen, recht gut geklärt sind, die Bedeutung und Funktion der Ribosomen-tRNS allerdings noch im dunklen liegt.

Die Realisierung der genetischen Information in der Zelle

Wann und wie werden die im genetischen Material vorliegenden Informationen zur Entwicklung des Individuums abgerufen? Wodurch wird die Auswahl aus der Vielfalt an Einzelinformationen getroffen? Diese Auswahl muß sowohl zeitlich, d. h. der Entwicklungsstufe entsprechend, als auch dem Gewebe entsprechend erfolgen.

Untersuchungen an Tierarten, deren Zellen sich durch besonders große, auch im Lichtmikroskop leicht untersuchbare Chromosomen auszeichnen, haben auch hier bereits einige Kenntnisse vermittelt. So besitzen manche Amphibien (z. B. der Teichmolch) und die Dipteren (Zweiflügler: Fliegen, Mücken) Riesenchromosomen. Die Riesenchromosomen der letzteren sind für genetische Untersuchungen besonders gut geeignet, da sie aus ganzen Bündeln jeweils gleichartiger Einzelchromosomen bestehen. Durch verschiedene Färbemethoden — so färbt Toluidinblau DNS blau, aber tRNS rot — oder durch Markierung mit ³H läßt sich in den Chromosomen eine charakteristische Musterung erkennen. Ein Chromosom erscheint so als Gebilde, welches aus einzelnen scheibenförmigen Zonen besteht. Vergleicht man Chromosomen

⁵ Polynucleotid-Phosphorylase, eine von der K⁺-Konz. abhängige Diesterase.

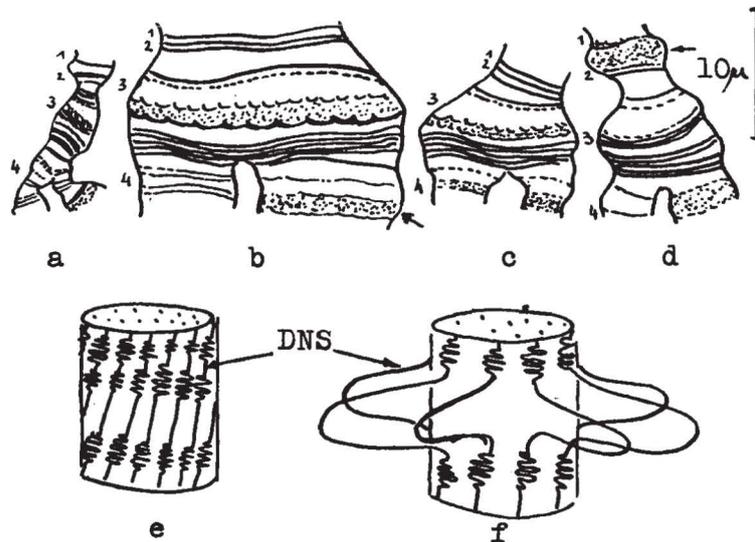


Abb. 5 Homologe Abschnitte des 3. Chromosoms aus verschiedenen Geweben einer Larve von *Chironomus tetans*: a) Mitteldarm, b) Speicheldrüse, c) Malpighigefäße, d) Rectum; 1—4 homologe Stellen, an denen in den verschiedenen Organen in unterschiedlichem Maße Puffs gebildet sind. Schema eines Riesenchromosoms, f) Schema einer Puffbildung. (Nach U. Clever, Umschau i. Wiss. u. Techn. 1961/23/715/716)

aus verschiedenen Geweben eines Tieres, manchmal auch einer Tierart, so zeigt sich, daß die Reihenfolge der Scheiben in jeweils entsprechenden Chromosomen immer gleich ist, auch wenn die Chromosomen selbst verschiedene Größe besitzen. Ein Beispiel bringt Abb. 5, welche einen Ausschnitt eines Chromosoms einer Larve der Mücke *Chironomus tetans* zeigt.

Untersucht man die Feinstruktur der Chromosomen aus verschiedenen Geweben und zu verschiedenen Entwicklungsstadien eines Tieres, so fällt auf, daß manche dieser Querscheibenmuster ein diffuses, aufgelockertes und geblähtes Aussehen bekommen. Die Einzelstränge eines Riesenchromosoms weichen auseinander. Diese aufgelockerten Abschnitte werden „Puffs“ genannt. In manchen Fällen geht die Auflockerung so weit, daß die Einzelstränge sogar schleifenartig aus dem Chromosom heraustreten und einen Ring (Balbiani-Ring) um das Chromosom bilden. Die Anordnung der Puffs ist aber für jedes Gewebe und jede Entwicklungsstufe charakteristisch. Es konnte gezeigt werden, daß die Puffs im Gegensatz zu nicht aufgeblähten Querscheiben reich an RNS sind⁶. Durch Verwendung von ³H-markiertem Uridin konnte die rasche Bildung von RNS an den Puffs verfolgt werden. Erst nach längerer Zeit ist diese RNS auch im Plasma nachweisbar. Da es sich dabei außerdem um eine hochmolekulare RNS handelt, kann diese RNS nur messenger-RNS sein.

Offenbar handelt es sich bei den Puffs um aktive Gene. Wodurch aber wird diese Genaktivität gesteuert?

Um diese Fragen aufklären zu können, muß ein charakteristischer Entwicklungsvorgang, dessen Ursachen bekannt sind, gesucht werden und die Veränderungen der Puffs über einen gewissen Zeitabschnitt hinweg verfolgt werden.

Ein für Insekten charakteristischer Entwicklungsvorgang sind die Häutungen. Die Häutungen werden durch ein Hormon, das Ecdyson, welches von den Prothoraxdrüsen abgegeben wird, ausgelöst. Ecdyson konnte aus Puppen des Seidenspinners in kristallisierter Form erhalten werden, wahrscheinlich ist es ein C₂₇-Steroid. Durch Injektion des reinen Hormons kann auch bei sehr jungen Insektenlarven die Häutung künstlich ausgelöst werden. Gleichzeitig ließ sich auch eine für die Häutungsperiode eigentümliche Puffbildung nachweisen: Hormone scheinen somit die Genaktivitäten zu steuern. Die Vorgänge der Puffbildung selbst wurden am sogenannten „Lampenbürstchenchromosom“ des Teichmolchs untersucht: DNS-Doppelhelices gehen auf, wodurch die Blähung des Chromosoms geklärt erscheint. Wie jedoch ein Hormon die Lösung der Doppelhelix der DNS bewirkt, ob direkt,

durch einen den Basenpaaren ähnlichen Bau (Steroidhormone!), oder indirekt über den Stoffwechsel der Zelle, ist eine Frage, die derzeit noch nicht beantwortet werden kann, deren Aufklärung wohl neue Einblicke über die Wirkungsweise von Hormonen und die Steuerung der Entwicklung des Einzelindividuums und auch der Arten bringen kann.

Literatur:

- J. D. Watson, Ang. Chem. 75/1963/439
 U. Clever, Umschau i. Wiss. u. Tech. 1961/22/693;
 1961/23/715; 1962/3/70
 P. Karlson, Umschau i. Wiss. u. Tech. 1963/19/595

Die Valenzverbindungen der Edelgase

Hier soll ein Überblick über den derzeitigen Stand der Kenntnisse von den Edelgasverbindungen gegeben werden, ohne Berücksichtigung der Einschlußverbindungen (Clathrate).

Versuche, Edelgasverbindungen herzustellen, wurden schon Anfang der dreißiger Jahre von Ruff unternommen. Die Vermutung, daß Xenon, Radon und allenfalls Krypton Fluoride bilden müßten, wurde besonders angeregt durch die Herstellung der hohen Interhalogenverbindungen (JF₇, Ruff 1930). Es konnten aber damals keinerlei Erfolge erzielt werden. Der negative Ausfall der Experimente und das bewährte Konzept der „abgeschlossenen“ Elektronenkonfiguration der Edelgase hatten zur Folge, daß allgemein angenommen wurde, Valenzverbindungen der Edelgase existierten nicht.

Doch waren gerade die Kenntnisse der Interhalogenverbindungen der Ausgangspunkt für die erste Darstellung eines Edelgasfluorids durch Hoppe an der Universität zu Münster:

Als erstes Edelgasfluorid wurde Xenondifluorid, XeF₂, in der letzten Juliwoche 1962 erhalten.

In den ersten Augusttagen des gleichen Jahres gelang es Claassen (USA)¹, die Verbindung XeF₄ herzustellen. Die Bemühungen in den USA gingen von etwas anderen Voraussetzungen aus: Bartlett (London) erhielt bei der Herstellung von PF₅ als Nebenprodukt eine Verbindung, deren Zusammensetzung als O₂⁺[PF₆]⁻ erkannt wurde. Da nun die Ionisierungsenergie von O₂ (12,2 eV) und Xe

⁶ C. Pavan, 1955 und C. Pelling, 1959.

¹ National Argonne Laboratories

[12,13 eV] sehr ähnlich ist, versuchte Bartlett $\text{Xe}^+[\text{PtF}_6]^-$ darzustellen, ein Versuch, der sogleich erfolgreich war. Durch seine Veröffentlichung² wurde dann die Arbeit in den USA angeregt.

Die Arbeitsgruppe in Münster ging von der theoretisch begründeten Annahme aus, daß XeF_2 und XeF_4 thermodynamisch stabil sein müßten. Seit 1951 von Woolf die Bildungsenthalpie von JF_3 bestimmt worden war, ließ sich berechnen, daß die Bindungsenergie von $\text{Xe}^{\text{IV}}-\text{F}$ sicher größer als 20 kcal/Val sei und damit sicher größer als die halbe Dissoziationsenergie des F_2 -Moleküls, weshalb die Stabilität von XeF_4 gesichert schien.

Die Realisierung dieser Überlegungen scheiterte aber zunächst daran, daß Xenon nicht in genügender Reinheit zugänglich war und daß später F_2 in Stahlflaschen aus den USA nicht eingeführt werden konnten, da in Deutschland die Ventile der amerikanischen Stahlflaschen nicht zugelassen waren und umgekehrt (!).

Die Darstellung der Edelgasfluoride

Neben den stabilen Fluoriden des Xenons, welche am besten untersucht sind, sind noch instabile Fluoride des Kryptons bekannt, und auch die Existenz eines Radonfluorids ist belegt. Von den anderen Edelgasen sind bis jetzt keine Verbindungen bekannt, und es erscheint doch unwahrscheinlich, sie so leicht darzustellen.

Im allgemeinen werden die Edelgasfluoride direkt aus den Elementen hergestellt, aber es ist bei einigen auch möglich, das Edelgas mit Fluorverbindungen umzusetzen.

Bei der Darstellung aus den Elementen ist die Zufuhr von Aktivierungsenergie notwendig, meist in Form von elektrischen Entladungen, UV- oder γ -Strahlung, und Elektronenstrahlen. Die Reaktion selbst verläuft bei Xe exotherm. Aus den Fluoriden kann durch weitere Umsetzungen eine Reihe von Verbindungen, die sauerstoffhaltig sind, hergestellt werden. Diese sind alle instabil und zerfallen entweder in die Elemente oder in kleinere Bruchstücke.

1. Xenondifluorid, XeF_2

a) Herstellung:

$\text{Xe} : \text{F}_2 = 1:1$ bis $1:3$; Druck: 700–800 mmHg, Raumtemperatur, Funkentladung, Kühlfinger: -78°C .

$\text{Xe} : \text{F}_2 = 1:4$, Umpumpen durch eine auf 400°C geheizte Strecke.

$\text{Xe} + \text{F}_2$ bei -35°C mit γ -Strahlung (oberhalb -35°C entsteht XeF_4).

Photosynthese von XeF_2 : Mischung der Elemente in Nickelgefäßen mit Saphirfenstern und Einwirken von UV-Strahlung ($\lambda = 2500\text{--}3500 \text{ \AA}$).

$\text{Xe} : \text{CF}_2 = 1:1$, elektrische Entladungen.

Xe mit CF_3OF oder SO_2F_2 erhitzen.

b) Eigenschaften:

XeF_2 ist fest, bildet prachtvoll glitzernde Kristalle von charakteristischem Geruch, es kristallisiert tetragonal mit zwei linearen Baugruppen ($\text{F}-\text{Xe}-\text{F}$) pro Elementarzelle, $\text{Xe}-\text{F}$ -Abstand: 2,00 Å. Dieser Abstand entspricht auch dem Wert der isoelektronischen JCl_2 -Gruppe. Auffallend ist der hohe Schmelzpunkt, 140°C , der niedrige Dampfdruck, $p = 3,8 \text{ mmHg}$ bei 25°C , und die hohe Sublimationswärme ($\Delta H_{\text{Subl.}} = 12,3 \text{ kcal/Mol}$). XeF_2 besitzt eine erhebliche Polarität, wobei die effektive Ladung der F-Teilchen $-0,5$ bis $-0,7$ beträgt. Dies erklärt die hohe Sublimationswärme.

Durch Wasser wird XeF_2 zersetzt, sehr heftig reagiert es mit Methanol (Entflammung). In wasserfreier Flußsäure ist es löslich, wobei es deren Leitfähigkeit nicht erhöht. Bei Ausschluß von Feuchtigkeit ist es in Glas- oder Quarzgefäßen haltbar.

2. Xenontetrafluorid, XeF_4

a) Herstellung:

$\text{Xe} : \text{F}_2 = 1:5$, unter Druck in Nickelgefäßen erhitzen.

$\text{Xe} + \text{F}_2$ durch glühende Nickelrohre leiten.

$\text{Xe} + \text{F}_2$ bei -78°C elektrischen Entladungen aussetzen.

² Proc. chem. Soc. London, 1962

b) Eigenschaften:

Farblose Kristalle, die bei Raumtemperatur in Glasgefäßen aufbewahrt werden können. Auffallend ist wieder der hohe Schmelzpunkt (114°C), der niedrige Dampfdruck ($p = 3 \text{ mmHg}$ bei 25°C), die hohe Sublimationswärme ($\Delta H_{\text{Subl.}} = 15,3 \text{ kcal/Mol}$). XeF_4 kristallisiert monoklin, bildet planare, quadratische Moleküle, die beträchtliche Polarität der Bindungen zeigen. Auch im Gaszustand ist das Molekül quadratisch. Der Abstand $\text{Xe}-\text{F}$ beträgt 1,96 Å. Mit Wasser reagiert XeF_4 unter Disproportionierung zu XeO_3 und Xe . Mit O_2F_2 erhält man XeF_6 . In wasserfreier HF ist es etwas löslich und zeigt dabei keinerlei Dissoziation.

3. Höhere Fluoride und Oxydfluoride des Xenons

Xenonhexafluorid: XeF_6

a) Herstellung:

$\text{Xe} : \text{F}_2 = 1:4$ bis $1:20$ bei $250\text{--}500^\circ\text{C}$,

Einwirkung elektrischer Entladungen bei -78°C , oder aus XeF_4 und O_2F_2 .

b) Eigenschaften:

XeF_6 bildet farblose Kristalle, schmilzt bei 46°C zu einer hellgelben Flüssigkeit, siedet bei 87°C (gelbgrünes Gas). XeF_6 ist eine stabile Verbindung, greift bei Raumtemperatur Glas fast nicht an, reagiert jedoch in geschmolzenem Zustand mit SiO_2 sehr schnell zu XeOF_4 und bildet schließlich eine feste explosive Substanz: XeO_3 . Dampfdruck $p = 30 \text{ mmHg}$ bei 25°C , Sublimationswärme $\Delta H_{\text{Subl.}} = 9,1 \text{ kcal/Mol}$. In wasserfreier HF ist XeF_6 sehr gut löslich, die Lösungen zeigen eine sehr beträchtliche molare Leitfähigkeit und sehen hellgelb aus.

Oxydfluoride: XeOF_4 , XeO_3F_2 , XeOF_2

a) Herstellung:

Sie bilden sich bei der Umsetzung der verschiedenen Fluoride mit Wasser oder SiO_2 . Auch bei der Reaktion von Xe mit O_2F_2 bei $300\text{--}400^\circ\text{C}$ werden sie erhalten.

b) Eigenschaften:

XeOF_4 : farblose Flüssigkeit, Fp. $= -28^\circ\text{C}$
 XeO_3F_2 : farblos, Fp. $= 90^\circ\text{C}$, Kp. $= 115^\circ\text{C}$

4. Fluorverbindungen des Kryptons

Krypton tetrafluorid, KrF_4

a) Herstellung:

Aus den Elementen: elektrische Entladungen bei $84\text{--}86^\circ\text{K}$, Anregung durch UV.

b) Eigenschaften:

Farblose, durchsichtige Kristalle, instabil bei Raumtemperatur; kann bei -40° bis -30°C sublimiert werden. Die Sublimationswärme beträgt 8,8 kcal/Mol.

Krypton difluorid, KrF_2

Es wird bei -150°C bei Einwirkung von Elektronenstrahlung aus den Elementen erhalten. Es ist eine farblose, bei tiefen Temperaturen (-40°C) sublimierbare Verbindung, welche bei Raumtemperatur rasch in die Elemente zerfällt.

5. Fluorverbindungen höherer Ordnung

Xenon-hexafluoroplatinat, $\text{Xe}[\text{PtF}_6]$

Diese Verbindung wird aus PtF_6 und Xe in der Gasphase erhalten. Es ist eine feste, orangefarbene Substanz, im Vakuum sublimierbar, durch Wasser wird die Verbindung zersetzt:



Über die Struktur dieser Verbindung besteht noch keine Klarheit.

Additionsverbindungen

XeF_2 reagiert mit Tantalpentafluorid und auch Antimonpentafluorid unter Reduktion und gleichzeitiger Bildung von Additionsverbindungen:

$\text{XeF}_2 \cdot 2\text{SbF}_5$ ist strohgelb, Fp. $= 63^\circ\text{C}$, im Hochvakuum unzersetzt sublimierbar.

6. Sauerstoffverbindungen des Xenons

Unterxenige Säure Xe(OH)₂

XeF₂ reagiert bei 0° C mit Wasser unter Zersetzung, wobei intermediär eine Gelbfärbung an der Oberfläche beobachtet werden kann: Xe(OH)₂.

Xenontrioxid XeO₃

XeF₄ reagiert mit Wasser, wobei sich die Kristalle der farblosen Substanz kanariengelb färben:



Die Bruttoreaktion verläuft nach obiger Gleichung, wobei aber nicht bekannt ist, wie XeO₃ in Wasser gelöst vorliegt. Diskutiert werden derzeit: Xe(OH)₃, H₂XeO₄ und H₂XeO₃. Aus der Lösung kann durch Eindampfen farbloses XeO₃ erhalten werden. XeO₃ ist eine stark endotherme Verbindung und detoniert sehr leicht. Es kristallisiert rhombisch mit vier Formeleinheiten pro Elementarzelle. Seine Struktur ist HJO₃ sehr ähnlich: flach pyramidal, Xe—O=1,74 bis 1,77 Å, der Winkel O—Xe—O liegt zwischen 100° und 108°, die entsprechenden Werte für HJO₃: 1,78 bis 1,90 Å, α=94°—100°.

Perxenate (Xe^{VIII}-Verbindungen)

XeF₆ bildet in alkalischen Lösungen unter Disproportionierung Perxenate mit der allgemeinen Formel:



Diese Verbindungen sind meist kristallwasserhaltig. Die Analysenwerte der aus NaOH-Lösung erhaltenen Salze liegen zwischen den Formeln Na₄XeO₆·2H₂O und Na₆XeO₆·H₂O.

Für das Perxenation [XeO₆]⁴⁻ konnte die Struktur ermittelt werden. Es stellt ein fast reguläres Oktaeder dar, Xe-O-Abstand=1,87 Å, also nur um 0,12 Å länger als im XeO₃. Der Vergleich mit den analogen Jodverbindungen zeigt wieder ganz ähnliche Verhältnisse ([JO₆]⁶⁻-Anion: der Abstand J—O ist mit 1,93 Å um 0,11 Å größer als im JO₃-Anion). Das Perxenation XeO₆⁴⁻ ist mit dem Anion JO₆³⁻ isoelektronisch. In beiden Anionen sind sicher alle 5s- und 5p- und auch 5d- Orbitale an der Bindung beteiligt.

Kryptat

Aus KrF₄ konnte ein Bariumkryptat hergestellt werden. Seine Formel ist wahrscheinlich BaKrO₄. Es ist bei 0° C beständig.

Die Verbindungsverhältnisse in den Edelgasverbindungen

Es ist um dieses Problem bereits viel diskutiert worden. Jedenfalls muß beachtet werden, daß Te⁰, J^I, Xe^{II} und Te^{III}, Xe^{VI} isoelektronische Reihen sind. Außerdem wurde eine starke Polarität der Bindung bei XeF₂ festgestellt, so daß hier die Bindung sicher nicht rein kovalent sein kann, aber auch keine Ionenbindung vorliegt.

Seit der Entdeckung der Interhalogenverbindungen, wie JCl, JCl₃, JF₃ oder JF₇, hätten eigentlich keine grundsätzlichen Einwände mehr gegen die Existenz von Edelgasverbindungen erhoben werden können. Trotzdem können die Interhalogenverbindungen nicht mit den Edelgasverbindungen verglichen werden. So ist z. B. das linear gebaute Ion JCl₂⁻ durch Resonanz zwischen den beiden mesomeren Formen Cl—J—Cl ↔ Cl—J—Cl stabilisiert, während bei dem gleichfalls linearen XeF₂ keinerlei Mesomerie besteht, sondern das Xe die effektive Ladung +1 besitzt, den beiden F-Atomen je die effektive Ladung -0,5 zukommt. Außerdem ist sicher, daß bei den Edelgasverbindungen keine reinen σ-Bindungen, sondern auch π-Bindungen auftreten und überdies die 5d-Orbitale beteiligt sind. Eine quantitative Beschreibung der Bindungsverhältnisse ist jedoch trotz mannigfaltiger Untersuchungen noch nicht möglich.

Literatur:

R. Hoppe (Univ. Münster), Ang. Chem. 76/1964/11/455

Schlüssel-Schloß-Strukturen in der organischen Chemie

Die außerordentlich große Selektivität der chemischen Reaktionen in der lebenden Zelle versuchte Emil Fischer durch die Analogie von Schlüssel und Schloß zu erklären. Es war zu Beginn unseres Jahrhunderts fast unvorstellbar, wie die Organismen aus vielen oft sehr ähnlichen Verbindungen gerade die notwendigen aussuchen konnten. Betrachtet man einfach gebaute organische Verbindungen, wie Alkohole, Aldehyde usw., so steht die funktionelle Gruppe im Vordergrund, und alle Alkohole, Aldehyde usw. reagieren in der gleichen Weise. Im Gegensatz dazu stehen die Reaktionen in der lebenden Zelle: hier reagiert nicht jeder Alkohol gleich. Physiologisch ist nicht allein die funktionelle Gruppe von Bedeutung, sondern noch etwas anderes, und dieses andere kann nur im Bau, der räumlichen Struktur, der Konfiguration des Moleküls selbst liegen.

Die außerordentlich große Substratspezifität der Enzyme, die Antigen-Antikörper-Reaktionen, um nur einige zu nennen, müssen durch strukturelle Beziehungen, das „Zusammenpassen“ der Strukturen, erklärt werden, denn wie könnte sonst die lebende Zelle die richtige Auswahl aus der Vielzahl der angebotenen Stoffe treffen?

Seit Emil Fischer sind mannigfaltige Reaktionen aufgeklärt worden, die dieser Schlüssel-Schloß-Beziehung entsprechen. Sie spielen nicht nur in der Biochemie eine große Rolle, sondern auch viele synthetische Methoden und Trennungsvorgänge bedienen sich solcher Strukturen. Wenn man die Verbindungen, die der Schlüssel-Schloß-Beziehung entsprechen, nach charakteristischen Merkmalen überprüft, so läßt sich immer finden, daß ein Partner eine Art „Höhle“ besitzt, die nur für bestimmte Strukturen passend ist, für andere ist sie entweder zu groß, dann können die Partner nicht aneinander haften bleiben, oder zu klein, dann kommt es überhaupt nicht zu einem Zusammenschluß. Diese Höhlen können nun entweder geschlossen sein und das einmal eingeschlossene Teilchen kann nicht mehr heraus, es sei denn, der „Käfig“ wird zerstört. Diese Verbindungen werden „Käfigverbindungen“ (Clathrate) oder auch Einschlußverbindungen genannt. Die zweite Möglichkeit besteht darin, daß die „Höhle“ zumindest auf einer Seite offen ist. In diesem Falle kann es zum Auflösen der Verbindung kommen, und auch Austauschvorgänge sind dann möglich. Verbindungen mit Austauschmöglichkeiten scheinen diejenigen zu sein, die im biologischen Geschehen eine besonders große Rolle spielen.

Clathrate

Die am längsten bekannten Verbindungen dieser Art sind die Hydrochinin-Clathrate und die Gashydrate.¹ Hydrochinon beziehungsweise Wasser bilden die „Wirtskristalle“, in deren Hohlräume verschiedene „Gastmoleküle“ eingeschlossen werden. Gastmoleküle sind im allgemeinen kleine Moleküle, die gerade gut in die Hohlräume hineinpassen, aber bis zu einem gewissen Grad kann das Gitter des Wirtes durch geringe Verzerrung sich an den Gast anpassen (zum Beispiel das längliche Acetonitril im Hydrochinongitter).

Die Tendenz des Wassers, mit vielen Verbindungen, die als Narkosemittel verwendet werden, Clathrate zu bilden, wurde von Linus Pauling zur Deutung der Narkose verwendet. Wohl wären die Clathrat-Mikrokristalle im Organismus nicht stabil, da die Körpertemperatur weit über der Zersetzungstemperatur der Hydrate liegt, wenn nicht stabilisierende Faktoren mitspielten. So wurde festgestellt, daß eine Erhöhung der Zerfallstemperatur durch Zusammenwirken zweier verschiedener Gastmoleküle bewirkt wird. Im Gehirn könnte diese Erhöhung der Zerfallstemperatur durch das Mitwirken von Aminosäuren und Proteinseitenketten, die ebenfalls von einer Hydrathülle umgeben sind, verursacht werden. Durch die Bildung von mikrokristallinem Wasser wächst der elektrische Widerstand der Nervenfasern im Gehirn, was nach der Theorie von Pauling für das Eintreten der Narkose maßgebend ist.

¹ ds. Zeitschr. 1963/2/6

Strukturen mit Austauschmöglichkeiten

Hier gibt es nur offene „Höhlen“. Diese können röhrenförmig sein, wobei die Röhren geradlinig oder auch gewunden sein können, oder es handelt sich nur um mehr oder weniger charakteristisch geformte Mulden und Löcher. Dadurch ist den, in die Röhren oder Mulden eingedrungenen Molekülen — oder auch nur Molekülteilen — die Möglichkeit gegeben, durch oft nur geringfügige Milieuänderungen wieder entschlüpfen zu können.

Kanalkomplexe

Das bekannteste Gebilde dieser Art ist die durch Jod blau gefärbte Stärke. Stärkemoleküle sind Bänder, die aus den Glucoseeinheiten in Pyranosidstruktur gebildet sind. Diese Bänder sind aber nicht willkürlich angeordnet, sondern sie sind schraubenförmig gerollt, so daß im Innern ein langer Kanal gebildet wird. Jodmoleküle passen nun aber genau in diese Röhre; sie können hineinschlüpfen und liegen dann in diesem Kanal dicht aneinandergelockert. Ein Polyjodidmolekül entsteht, welches in der gestreckten Röhre eine Resonanzeinheit mit stark aufgelockertem Elektronensystem bildet, wodurch die tiefblaue Farbe verursacht wird. Elektronen können sich nur längs der Kette frei bewegen, senkrecht zur Kette dagegen nicht. Diese Eigenschaft wird zur Herstellung von Polaroidfiltern benutzt. Beim Erwärmen zerfällt dieser Komplex: die Jodmoleküle schlüpfen aus dem Kanal heraus, die Farbe verschwindet. Auch andere Verbindungen bilden blau-violette Jod-Kanalkomplexe, und es ist recht interessant, daß zu diesen Verbindungen auch einige physiologisch wichtige Substanzen, wie Sexualhormone, Cortison, Pyramidon und Chinin, gehören.

Seit langem ist die spezifische Adsorptionsfähigkeit von Harnstoff für n-Alkane bekannt. Harnstoff kristallisiert normalerweise tetragonal, die Harnstoffkomplexe zeigen jedoch hexagonale Kristallstruktur, in deren Kanälen (Durchmesser 5 Å) langgestreckte Moleküle Platz haben. Zu diesen gehören die n-Alkane von C₆ an, n-Fettsäuren von C₄ an und ihre Ester, n-Fettalkohole und Ketone. Thioharnstoff bildet ebenfalls Kanalkomplexe, nur sind hier die Kanäle weiter (ca. 6 Å). Thioharnstoff bildet daher keine Komplexe mehr mit n-Alkanen, jedoch werden bevorzugt polymethylierte und polychlorierte Alkane, Cycloalkane (C₆, C₈) und ihre Derivate eingelagert. Bei diesen Beispielen wird besonders deutlich, daß die Stabilität der Komplexe mit der bestmöglichen Raumaussnutzung wächst. Nur die dichtest gepackten Verbindungen sind energetisch begünstigt, was durch die positive Wärmetönung ihrer Bildung feststellbar ist. Harnstoff- und Thioharnstoffkomplexe werden bereits in vielen patentierten Verfahren technisch verwendet: Entparaffinieren von Schmierölen, Überführen von klebrigen, schlecht zu handhabenden Substanzen (Detergentien) in streufähige Pulver, Schutz empfindlicher Verbindungen vor Sauerstoff (Vitamin A, ungesättigte Fettsäuren).

Wirtsmoleküle nach Maß

Im California Institute of Technology wurden in den letzten Jahren Versuche unter diesem Gesichtspunkt durchgeführt, die durchaus erfolgversprechend sind. Stellt man Silikagel bei Anwesenheit bestimmter Farbstoffe her und extrahiert diese später, so erhält man ein Silikagel, welches für eben diesen Farbstoff besonders große Adsorptionsfähigkeit besitzt. Die Struktur des Silikagels ist ein dreidimensionales Netzwerk, und solange dieses Netzwerk noch nicht vollständig verknüpft ist, ist es flexibel genug, um sich an die Form der vorhandenen Farbstoffmoleküle anzupassen. Werden nach Beendigung der Vernetzung die Farbstoffmoleküle entfernt, so bleiben im Gitter des Silikagels Löcher zurück, in welche die gleichen Farbstoffmoleküle besonders gut hineinpassen. Wegen der hohen Selektivität dieses Vorganges werden diese Gele als synthetische Antikörper bezeichnet.

Antigen-Antikörper-Reaktion

Immunität gegenüber Krankheiten hat seit jeher das Interesse der Ärzte erregt, die Aufklärung der Immunreaktionen wurde aber erst im Zusammenhang mit dem Fortschritt der Chemie der Proteine ermöglicht. Unter einer Immunreaktion versteht man die Bildung einer unlöslichen Verbindung zwischen einem Antigen und einem Antikörper.

Antigene sind Substanzen, gewöhnlich Proteine, die für den Körper, in welchem sie die Antikörperproduktion auslösen, Fremdstoffe sind.

Antikörper sind Plasmaproteine, und zwar handelt es sich um Globuline, die befähigt sind, sich mit dem Antigen, welches ihre Bildung anregt, zu verbinden.

Bei der Antigen-Antikörper-Reaktion handelt es sich um die Reaktion zwischen Proteinen, wobei allerdings nicht das ganze Molekül reagiert, sondern nur bestimmte Teile der Moleküloberfläche, die „Haftgruppen“ (Haptene). Die Vorstellung, daß nur zueinander passende Strukturen reagieren können, konnte verschiedene medizinisch wichtige Probleme, wie die Entwicklung von Heilseren, lösen helfen.

Der am besten untersuchte Antikörper ist γ -Globulin, Molekulargewicht 160.000. Es besteht aus vier Polypeptidketten, die durch drei Disulfidgruppen zusammengehalten werden. Durch die charakteristische Faltung der Ketten, welche durch H-Brücken stabilisiert wird und dem Molekül eine länglich eiförmige Gestalt gibt (ca. 250 Å lang, ca. 40 Å Durchmesser), dürfte die Spezifität bedingt sein. An den Moleküleenden liegt das Areal der Bindungsstelle für die Antigene, welches nur ungefähr 1% der gesamten Moleküloberfläche ausmacht. Versuche haben ergeben, daß durch Umfaltung in vitro die Spezifität von γ -Globulin geändert werden kann, wenn bei der Umfaltung das Antigen beziehungsweise bestimmte als Haptene wirkende niedrige Polypeptide anwesend waren, für welche Spezifität erreicht werden sollte.

Biologisch wichtige Schlüssel-Schloß-Beziehungen

Um nur die wichtigsten Beispiele zu nennen, seien hier angeführt die komplementären Basenpaare der DNS und RNS, die Stereospezifität der Fermentsysteme, die zur Racematspaltung durch Bakterien verwendet wird, das Hämoglobinmolekül mit seinen passenden „Höhlen“ für die Hämgruppen³ usw.

Eine besondere Anwendung dieser Strukturbeziehungen führte zur Aufstellung einer „Stereotheorie des Geruchsinnes“ zunächst durch Moncrieff, Guillot und Dervichian und zirka fünf Jahre später durch Amoores (1952). Weitere Veröffentlichungen, die zum Teil viel Aufsehen erregten, erfolgten durch letzteren amerikanischen Autor 1962. Nach der Theorie von Amoores sollen die charakteristischen Geruchsempfindungen sich in sieben Grundgerüche einteilen lassen, deren Kombinationen die mannigfaltigsten Eindrücke hervorrufen. Es wurden zunächst eine größere Anzahl von Verbindungen, die für die Grundgerüche charakteristisch sind, getestet und die Molekülmodelle dieser Verbindungen hergestellt. Es fiel dabei auf, daß die Molekülformen stark voneinander abweichen. Daraus wurde der Schluß gezogen, daß die Rezeptoren für die Grundgeruchsempfindungen nur dann gereizt werden könnten, wenn Receptor und Molekül zusammenpassen. Die Rezeptoren sollten nach dieser Theorie Höhlen sein, in welche eben nur die „richtigen“ Moleküle eindringen könnten. So bestechend auch diese Vorstellung zunächst ist, dürfte der sehr komplexe Vorgang der Geruchsempfindung hier doch zu stark vereinfacht dargestellt worden sein, da erstens verschiedene Verbindungen, die diesem Schema nicht entsprechen, existieren und zweitens die Klassifikation der Geruchsempfindung doch etwas sehr Subjektives ist. So konnte durch Ottoson (1963) eindeutig durch elektrophysiologische Untersuchungen nachgewiesen werden, daß die Rezeptoren für Benzaldehyd und Nitrobenzol nicht die gleichen sind, obwohl sie die gleiche Geruchsempfindung (bittere Mandeln) auslösen und die Molekülmodelle annähernd einander entsprechen.

Molekülschablonen

Eine besondere Anwendung von Einschlußverbindungen besteht in der Herstellung von Kanalkomplexen als Schablonen zur Steuerung stereospezifischer Polymerisationen. Versuche in dieser Richtung wurden im organ. chem. Laboratorium der General Electric durchgeführt. Wenn Monomere, die sich in einem Kanal befinden, zur Polymerisation gebracht werden, so muß das Polymere eine sehr regelmäßige, räumlich orientierte Struktur besitzen, da durch die Platzbeschränkung sich die Monomeren nur in ganz bestimmter Lage zueinander befinden

³ ds. Zeitschrift 1963/2/7

können. So wurden in Harnstoff-Wirten Vinylchlorid und Butadien, in Thioharnstoff-Wirten 2,3-Dimethylbutadien, 2,3-Dichlorbutadien und 1,3-Cyclohexadien durch Einwirkung von Elektronenstrahlen von 1 MeV polymerisiert, wobei man hochkristalline und hochschmelzende Polymere erhielt.

Literatur:

- J. F. Brown, Umschau i. Wiss. u. Techn. 1963/6/171.
F. M. Burnet, Antikörper und Immunität (Med. Prisma, 1/65).
J. E. Amooore, Umschau i. Wiss. u. Techn. 1964/19/600.
Nachr. Chem. Techn. 13/1965/2/25.
Fr. Cramer, Ang. Chem. 1952/16/437

Über die Leistungsfähigkeit von Ionenaustauschern

Unter der Überschrift: „Vorsicht hinsichtlich des Einschleppens von Aminosäuren durch die Hände“, bei Ionenaustauschchromatographie, wird eine Veröffentlichung in Nature (284/1965) zitiert. Aus einem einzigen Daumenabdruck wurden folgende Aminosäuremengen erfaßt (alles in μ -Mol): Threonin 0,018; Serin 0,106; Glutaminsäure 0,009; Prolin 0,011; Citrullin 0,004; Glycin 0,071; Alanin 0,029; α -Amino-n-Buttersäure <0,0001; Valin 0,013; Cystin <0,0001; Methionin 0,002; Isoleucin 0,008; Leucin 0,011; Tyrosin 0,006; Phenylalanin 0,007; Ornithin 0,034; Lysin 0,011; Histidin 0,018; Arginin 0,005; Taurin 0,001; Harnstoff 0,47.
Nachr. Chem. Techn. 13/1965/5/85.

Fortschritte in der Klärung des Kontinuumproblems

Häufig leiten neue mathematische Ideen Entwicklungen ein, die in ihrer ersten Phase einem ungehemmten Siegeslauf gleichen. Erst wenn die Rosinen dem Kuchen entnommen sind, wird am trockenen Material geknabbert, d. h. den schwierigeren Fragen die Hauptaufmerksamkeit gewidmet. Das muß aber nicht immer so sein, gelegentlich sind schon die Anfangsstadien eines Forschungsvorstoßes mit einer grundlegenden Frage belastet, deren Beantwortung viel später zu einem Zeitpunkt erfolgt, in dem sich die übrigen Verhältnisse längst konsolidiert haben. Als hervorragendes Beispiel für einen solchen Ereignisablauf kann die Geometrie selbst angeführt werden. Schon im frühesten Zeitpunkt ihres systematischen Aufbaues, als der Gedanke der Axiomatisierung Boden gewann und den Wildbach neuer Erkenntnisse in das Bett strenger logischer Zucht leitete, brach sich der Überschwang am unverrückbar scheinenden Block der Parallelenaussage. Über 2000 Jahre mußten vergehen, ehe er endgültig weggeräumt war und das Schifflein unseres Wissens wieder ungefährdet dahingleiten konnte.

Ein zweites Beispiel, von dem in diesem Artikel ausführlicher gesprochen werden soll, bietet die Mengenlehre. In den etwa 80 Jahren ihres Bestehens ist sie zu einem riesigen Zweig der mathematischen Wissenschaft angewachsen und hat alle anderen Teilgebiete derselben nachhaltig befruchtet. Dennoch ist eine wichtige Frage noch immer unbeantwortet, obwohl sie zu den ersten gehörte, mit denen sich Georg Cantor, der geniale Schöpfer der Mengenlehre, beschäftigte. Es handelt sich darum, ob die Mächtigkeit \aleph_0 einer abzählbaren Menge (also der natürlichen Zahlen) und die Mächtigkeit c des Kontinuums (also der Gesamtheit aller reellen Zahlen) aufeinanderfolgende transfinite Kardinalzahlen sind. Cantor glaubte, daß man später einmal in der Lage sein werde, eine bejahende Antwort zu beweisen. Diese Auffassung wird seither als Kontinuumsannahme bezeichnet.

Cantor hat mit dem Begriff der Mächtigkeit einen wesentlich neuen Gesichtspunkt für die Klassifikation von Mengen eingeführt. Zwei Mengen gelten als gleichmächtig (oder äquivalent), wenn zwischen ihren Elementen mindestens eine umkehrbar eindeutige (=eindeutige) Zuordnung (=Abbildung) herstellbar ist, egal ob und welche anderen Abbildungsmöglichkeiten daneben noch bestehen. Da eine Menge niemals eine ihrer Obermengen hinsichtlich der Mächtigkeit übertreffen kann und weil der Begriff der Mächtigkeit transitiv ist, lassen sich die Mächtigkeiten in einer Weise anordnen, die nie der Ordnungsrelation des „Enthaltenseins“ widerspricht, aber keineswegs mit ihr zusammenfällt.

Bei endlichen Mengen läßt sich die Mächtigkeit durch die Anzahl ihrer Elemente charakterisieren. Die Kardinalzahlen sind die Mächtigkeitssymbole der endlichen Mengen. Da der Begriff der Mächtigkeit sinnvoll bleibt, wenn man zu Mengen mit unendlich vielen Gliedern fortschreitet, müssen für unendliche Mengen neue Symbole, die sogenannten transfiniten Kardinalzahlen eingeführt werden. Jede unendliche Menge besitzt eine abzählbare Teilmenge, daher ist die Mächtigkeit \aleph_0 einer abzählbaren Menge (z. B. der Menge der natürlichen Zahlen) die kleinste transfinite Kardinalzahl. Schon Cantor hat mit seinem Diagonalverfahren die Existenz überabzählbarer Mengen nachgewiesen. Die reellen Zahlen repräsentieren eine solche. Ganz allgemein gilt, daß die Menge aller Teilmengen einer Menge M stets größere Mächtigkeit besitzt als M selbst. Das ist für endliche Mengen unmittelbar einzusehen. Eine endliche Menge von n Elementen besitzt nämlich als Untermengen

die leere Menge,

$n = \binom{n}{1}$ einelementige Untermengen,

$\binom{n}{2}$ zweielementige Untermengen,

.....

die Menge M selbst.

Das sind zusammen

$$\binom{n}{0} + \binom{n}{1} + \binom{n}{2} + \dots + \binom{n}{n} = (1+1)^n = 2^n$$

Teilmengen und 2^n ist stets größer als n für $n=0,1,2,\dots$

Wie ebenfalls leicht gezeigt werden kann, ist die Menge der reellen Zahlen äquivalent der Menge sämtlicher Teilmengen der natürlichen Zahlen. Wählt man daher c als Zeichen für die Mächtigkeit des Kontinuums, so ist die Gleichung

$$2^{\aleph_0} = c$$

eine sinnvolle Fortsetzung der entsprechenden Schreibweise bei endlichen Mengen. Darüber hinaus besteht noch die wichtige Ungleichung

$$c > \aleph_0$$

in welcher der Größenvergleich transfiniten Kardinalzahlen durchgeführt ist.

Die Kette der transfiniten Zahlen reißt nie ab, denn stets kann durch Zusammenfassung der Teilmengen eine Obermenge größerer Mächtigkeit konstruiert werden. Darüber hinaus läßt sich zeigen, daß jede Kardinalzahl stets und nur einen unmittelbaren Nachfolger besitzt, wenn man die Kardinalzahlen der Größe nach ordnet. Dasselbe gilt auch für beliebige Mengen von Kardinalzahlen. Die größtmögliche Anordnung lautet somit

$$0, 1, 2, \dots, n, \dots, \aleph_0, \aleph_1, \aleph_2, \dots, \aleph_\alpha, \aleph_{\alpha+1}, \dots$$

Die Indizes durchlaufen die Ordnungszahlen. (Wie man sieht, hat nicht auch jede Zahl einen unmittelbaren Vorgänger, z. B. \aleph_0 .)

Das Kontinuumproblem besteht nun darin, zu entscheiden, welche der auf \aleph_0 folgenden Zahlen gleich c ist. Die Cantorsche Kontinuumsannahme nimmt die Gültigkeit von

$$c = \aleph_1 \text{ oder } 2^{\aleph_0} = \aleph_1$$

an. Als naheliegende Verallgemeinerung derselben ist die Relation

$$2^{\aleph_0} = \aleph_{\alpha+1}$$

anzusehen.

Wie steht es nun mit den Aussichten auf eine Lösung der Frage?

Es ist vielleicht ganz gut, vorerst das Ausmaß unserer Unkenntnis auf diesem Terrain durch Aufzählung anderer noch ungeklärter Probleme abzustecken.

1. c kann vorläufig nicht einmal nach oben abgeschätzt werden. D. h. man kennt keine Ordinalzahl α , für welche die Ungleichung

$$c < \aleph_\alpha$$

erweisbar wäre.

2. Die Zahl $N=7$ gestattet verschiedene Darstellungen als Summe kleinerer Zahlen

$$\begin{aligned} 7 &= 1 + 2 + 2 + 2 && \dots\dots\dots 4 \text{ Summanden,} \\ 7 &= 1 + 2 + 4 && \dots\dots\dots 3 \text{ Summanden,} \\ 7 &= 3 + 4 && \dots\dots\dots 2 \text{ Summanden.} \end{aligned}$$

Die letzte Darstellung kommt mit 2 Summanden aus. Eine Darstellung mit noch weniger Summanden — also mit 1 oder 0 — existiert nicht. D. h. für die Summendarstellung der Zahl 7 durch kleinere Zahlen benötigt man mindestens 2 Glieder. Man nennt diese für eine Kardinalzahl N minimal erforderliche Zahl s von Summanden $< N$ den Charakter der Konfinalität von N und schreibt

$$s = cf(N).$$

Speziell ist

$$\begin{aligned} cf(0) &= 0, \quad cf(1) = 0, \\ cf(2) &= cf(3) = \dots = cf(n) = 2, \quad (n - \text{naturliche Zahl}) \\ cf(\aleph_0) &= \aleph_0. \end{aligned}$$

Bedauerlicherweise ist $cf(c)$ dzt. noch unbekannt.

3. Selbstverständlich ist $cf(N) < N$. Die Kardinalzahl N heißt regulär, wenn $cf(N) = N$, singulär, wenn $cf(N) < N$. 0 und \aleph_0 sind regulär, die natürlichen Zahlen durchwegs singulär. Man weit aber nicht, ob c regulär oder singulär ist.

4. Wenn eine Kardinalzahl zwar regulär ist, jedoch keinen unmittelbaren Vorgänger besitzt, dann nennt man sie unzugänglich. In diesem Sinne sind 0 und \aleph_0 unzugänglich, nicht aber die natürlichen Zahlen. Eine schärfere Formulierung des Begriffes ist diese: N ist unzugänglich, wenn weniger als N Zahlen, deren jede $< N$ ist, stets ein Produkt $< N$ liefern. In dieser Fassung ist unter den natürlichen Zahlen noch 2 unzugänglich.

Es ist unbekannt, ob c unzugänglich ist.

5. Sehr im Argen liegt die Multiplikation von unendlich vielen Kardinalzahlen. In keinem einzigen Fall ist man in der Lage, für ein solches Produkt eine Abschätzung nach oben durchzuführen. Das wäre mit einem Schlage anders, wenn die verallgemeinerte Kontinuumhypothese als richtig erweisbar wäre.

6. Für zwei transfinite Kardinalzahlen $\alpha < \beta$ gilt zwar sicher $2^\alpha < 2^\beta$, aber $2^\alpha < 2^\beta$ kann nicht bewiesen werden. Man weit nicht einmal, ob $2^{\aleph_0} <$ oder $= 2^{\aleph_1}$.

Aus all dem geht hervor, welche schmerzlichen Lücken die transfinite Arithmetik noch aufweist. Der enge Zusammenhang mit dem Kontinuumproblem ist unverkennbar. Der zähe Widerstand, den das Problem seit vielen Jahrzehnten den geistvollsten Lösungsversuchen entgegengesetzt, gibt zu denken und wirft die Frage auf, ob nicht etwa die Wurzel des ubels im Axiomatischen liegen könnte. Das umso mehr, weil die bisher bekannten Antinomien der Mengenlehre — eine weitere Quelle des Unbehagens — merkwürdigerweise samt und sonders verschwinden, sobald die Art der Mengenbildung modifiziert wird.

Die Einteilung aller denkbaren Objekte in zwei Klassen — z. B. in Quadrate und Nichtquadrate — führt zu logischen Widersprüchen wie dem Russellschen Paradoxon. Geht man aber von der Menge der natürlichen Zahlen aus (oder Objekten, denen sie zugeordnet sind), bildet Mengen natürlicher Zahlen (z. B. die Menge der Paare natürlicher Zahlen = Menge der rationalen Zahlen), Mengen von Mengen natürlicher Zahlen usw., dann fallen sämtliche Paradoxien weg, ohne daß bis heute eine neue aufgetaucht wäre. Vielleicht stecken in Begriffen wie „Menge“, „Abbildung“ Inhalte, die der logischen Analyse vorläufig entgangen sind, vielleicht sind die Mengenaxiome nicht miteinander verträglich?

In einem Kalkül, der sich auf ein widerspruchsfreies Axiomensystem stützt, existieren für sinnvolle Aussagen (das sind im Rahmen des Kalküls zugelassene Symbolfiguren) drei Möglichkeiten: Sie können beweisbar, widerlegbar oder unentscheidbar sein. Zwei äußerst wichtige Sätze legen die Verhältnisse klarer fest.

Satz von Löwenheim und Skolem: Jedes konsistente (= widerspruchsfreie) Axiomensystem besitzt ein Modell im Bereich der natürlichen Zahlen, ist also arithmetisierbar.

Unvollständigkeitssatz von Gödel: Zu jedem Axiomensystem, in dem sich die natürlichen Zahlen for-

malisieren lassen (z. B. das System der Mengenaxiome), existieren unentscheidbare Sätze.

Es ist daher ohne weiteres denkbar, daß die Kontinuumhypothese mit Hilfe der vorhandenen Mengenaxiome gar nicht entschieden werden kann. Die nachstehende Übersicht nennt die wichtigsten Etappen der in diese Richtung zielenden Forschung.

1. Schon 1938 hatte der geniale Wiener Mathematiker Kurt Gödel, der jetzt in Princeton wirkt, bewiesen, daß die Kontinuumhypothese mit Hilfe der geltenden Mengenaxiome unwiderlegbar, also mit diesen konsistent ist.

Eine wichtige Rolle bei diesen Untersuchungen spielt das Auswahlaxiom, welches die Möglichkeit behauptet, aus jeder einzelnen Menge mehrerer disjunkter Mengen ein Element auszuwählen.

2. Gödel zeigte auch, daß das Auswahlaxiom mit den geltenden Mengenaxiomen nicht widerlegt werden kann.

3. P. J. Cohen (Stanford Univ.) konstruierte ein Modell der Mengenaxiome, in dem die Kontinuumhypothese falsch ist. Also wird sie von jenen sicher nicht impliziert.

Wegen 1. und 3. reichen unsere jetzigen Mengenaxiome zur Entscheidung des Kontinuumproblems sicher nicht aus.

4. Gödel bewies ferner die Unwiderlegbarkeit des Auswahlaxioms mit Hilfe der geltenden Mengenaxiome. 5. Cohen zeigte die Unbeweisbarkeit des Auswahlaxioms aus den geltenden Mengenaxiomen.

6. Der Beweis 3. von Cohen bezieht sich auf die geltenden Mengenaxiome mit Einschluß des Auswahlaxioms.

Der große Fortschritt in der Behandlung des Kontinuumproblems ist die Erkenntnis von der **Unabhängigkeit** der Kontinuumhypothese.

Gödel erhofft die Entdeckung neuer Axiome und erwartet von ihnen die Widerlegung der Kontinuumhypothese. Zu Gunsten dieser Erwartung sprechen nämlich etliche Gründe. So ist eine Reihe recht paradoxer Folgerungen der Kontinuumhypothese bekannt, die ihre Richtigkeit unwahrscheinlich machen. Umgekehrt kennt man Sätze, welche stark für die Negation der Hypothese sprechen.

Eine weitere Frage, die aufgeworfen wurde, ist die nach der Definition von Mengen. Sie kann durch die Eigenschaften ihrer Elemente erfolgen, man kann aber auch völlig willkürliche Mannigfaltigkeiten zulassen, die nicht definierbar sein müssen.

Nimmt man die Definierbarkeit jeder Menge als zusätzliches Axiom in das Axiomensystem auf (es ist mit den anderen verträglich!), dann läßt sich die verallgemeinerte Kontinuumhypothese nachweisen. Gewisse Sachverhalte stellen jedoch die Definierbarkeit der Mengen sehr in Frage.

Jedenfalls haben die Forschungen von Gödel und Cohen neues Licht auf ein altes Problem geworfen und es seiner endgültigen Lösung erheblich näher gebracht.

Literatur:

1. Ann. Math. Studies, Nr. 3, 1940. K. Gödel: „The Consistency of the Continuumhypothesis“.
2. The American Mathematical Monthly, Bd. 54, Nov. 1947, S. 515. K. Gödel: „What is Cantor's Continuum Hypothesis?“
3. Proc. of the Nat. Acad. of Sciences, Bd. 50, Dez. 1963, Nr. 6, S. 1143. P. J. Cohen: „The Independence of the Continuumhypothesis“.
4. Scientific Am., Jänner 1964, S. 55/56.

EIN WICHTIGER SATZ DER GRUPPENTHEORIE BEWIESEN

Das Jahr 1963 hat auch den Gruppentheoretikern den Beweis einer seit langem gehegten Vermutung beschert. Es gelang J. G. Thompson und Walter Feit von der Universität Chicago zu beweisen, daß jede endliche Gruppe von ungerader Ordnung auflösbar ist. Der umfangreiche Beweis umfaßt an die 100 Druckseiten!

Laborsystem, Schwerpunktsystem, Speicherringe

Um in der Teilchenphysik weiterzukommen, ist die andauernde Steigerung der Kollisionsenergien unerlässlich. Ohne die derzeit mächtigsten Protonensynchrotrons in Brookhaven und Meyrin wäre eine Fülle von Tatsachen und neuen Partikeln unentdeckt geblieben, deren Kenntnis sehr viel Licht auf die ungemein komplizierten Beziehungen innerhalb der Mikrowelt geworfen hat. Nur mit diesen gewaltigen Anlagen konnten beispielsweise die schwierigen Neutrinoexperimente durchgeführt werden. Auch heute existiert eine Reihe konkreter Versuchspläne, deren Verwirklichung an der unzureichenden Leistungsfähigkeit der disponiblen Beschleuniger scheitert, von deren Ergebnissen aber bedeutungsvolle Antworten auf brennende, heute noch offene Fragen zu erwarten sind.

Seit Jahren zerbricht man sich daher allerorts den Kopf, wie mit realisierbarem finanziellem Aufwand stärkere Akzeleratoren konstruierbar wären. Die Kosten für ein 300 GeV-Synchrotron bewegen sich bereits in der Höhe von 500 Millionen Dollar, ein Betrag, der bereits an der Grenze der für Einzelforschungsprojekte verfügbaren Wirtschaftskraft selbst der größten Staaten liegt.

Eine seit längerer Zeit besonders von den CERN-Physikern erwogene, wesentlich billigere Lösung wäre der Zubau sogenannter Speicherringe (storage-rings) zu dem Synchrotron in Meyrin bei Genf. Das sind zwei evakuierte, einander schneidende Kreisringkanäle, in welche der aus dem Synchrotron kommende 28-GeV-Protonenstrahl durch sinnreiche Ablenkmagnete geleitet wird, jedoch so, daß darin die Protonen in entgegengesetztem Umlaufsinn kreisen. An den Schnittstellen könnten sie zur Kollision gebracht werden. Man darf nun nicht glauben, daß diese Anordnung einem Synchrotron doppelter Energie, also von 56 GeV äquivalent wäre. Wie nachstehend gezeigt werden soll, müßte man ein konventionelles Synchrotron für fast 1800 GeV bauen, um dieselbe Wirkung zu erzielen! Bei geringeren Kosten wäre also eine ungleich höhere Leistung damit verbunden. Freilich müssen erhebliche Nachteile mit in Kauf genommen werden. Einmal können nur Proton-Proton-Reaktionen ablaufen, jedes andere Target scheidet aus. Ferner ist die Reaktionswahrscheinlichkeit bedeutend geringer als beim Auftreffen auf die dicht gelagerten Atome einer festen oder flüssigen Zielsubstanz. Die bisherigen experimentellen Leistungen auf diesem Gebiet berechtigen jedoch zur zuversichtlichen Hoffnung, daß die Findigkeit der Physiker mehr herausholen wird als auf den ersten Blick möglich erscheint.

Die energetische Beurteilung einer Hochenergiekollision kann nur unter Bedachtnahme auf die relativistische Dynamik erfolgen, übersteigt doch die kinetische Energie von 28 GeV die Ruhenergie eines Protons nahezu um den Faktor 30. Die Teilchengeschwindigkeiten kommen der des Lichts schon sehr nahe.

a) Das Laborsystem

Beschränken wir uns auf den Zusammenstoß zweier Partikeln gleicher Ruhmasse m_0 . Die äquivalente Ruhenergie ist dann $E_0 = m_0 \cdot c^2$. Das eine Teilchen gehöre dem Target an, welches im Laboratorium montiert ist, also in diesem ruht. Das andere Teilchen falle mit der Geschwindigkeit v ein. Seine Masse ist für den Laboratoriumsphysiker

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

seine Gesamtenergie (einschließlich der Ruhenergie)

$$E = m \cdot c^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Die kinetische Energie K erhält man durch Subtraktion der Ruhenergie E_0 von E

$$K = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - m_0 c^2 = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - E_0$$

nicht mehr nach der klassischen Formel $\frac{m \cdot v^2}{2}$! Zur Vereinfachung der Schreibweise werde in Hinkunft $c=1$ gesetzt. Dann schreibt sich die letzte Formel

$$E_0 + K = \frac{E_0}{\sqrt{1 - v^2}} \quad \dots (1)$$

Der im Laboratorium ruhende Beobachter bezieht die Ereignisse auf dieses, das sogenannte Laborsystem.

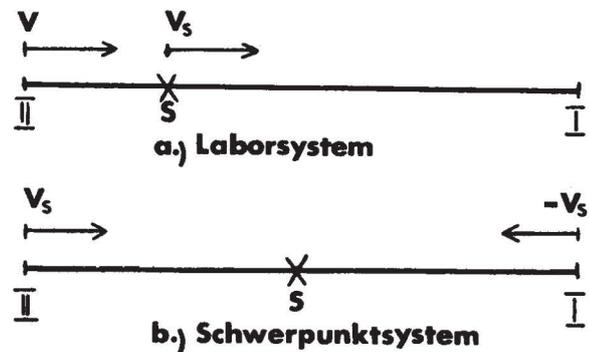


Abb. 1

Für spätere Zwecke notieren wir schon jetzt die aus (1) folgenden Ausdrücke

$$\sqrt{1 - v^2} = \frac{E_0}{E_0 + K}, \quad \frac{1}{v} = \frac{E_0 + K}{\sqrt{(2E_0 + K) \cdot K}} \quad \dots (2)$$

Abb. 1a) veranschaulicht die Situation im Laborsystem. Von links fliegt das Teilchen II mit der Geschwindigkeit v gegen das rechte (ruhende) Teilchen I. Ihr gemeinsamer Schwerpunkt S bewegt sich mit der noch unbekannt

Geschwindigkeit v_s (nicht $\frac{v}{2}$!!) ebenfalls nach rechts. Die kinetische Energie K von II ist die Kollisionsenergie im Laborsystem, also die Energie, die beim Auftreffen eines aus einem Synchrotron kommenden Teilchens auf das in seine Bahn gestellte Target umgesetzt wird. Für das Synchrotron von CERN ist $K=28$ GeV. Die Protonenruhergie E_0 beträgt 0,93 GeV.

b) Das Schwerpunktsystem

Für einen im Schwerpunkt S ruhenden Beobachter haben I und II entgegengesetzt gleiche Geschwindigkeiten, weil sich gleiche Massen mit entgegengesetzt gleichen Geschwindigkeiten gegen den gemeinsamen Schwerpunkt bewegen. Diese sind also bzw. $-v_s$, $+v_s$. Da die Relativgeschwindigkeit von S gegen I v_s ist, muß diejenige von I gegen S $-v_s$ sein (Abb. 1b).

Klassisch wäre die Relativgeschwindigkeit von II gegen S gegeben durch $v-v_s$. Relativistisch muß sie jedoch aus dem Additionstheorem der Geschwindigkeiten berechnet werden. Wenn (von I aus betrachtet) II und S die Geschwindigkeiten v, v_s haben, muß nach jenem die Relativgeschwindigkeit von II gegen S

$$v_{II S} = \frac{v - v_s}{1 - v \cdot v_s}$$

sein. (Man beachte, daß $c=1$ gesetzt wurde!) Nach dem oben Gesagten ist aber $v_{II S} = v_s$, wenn S der Schwerpunkt von I und II ist. Wir erhalten somit die Gleichung

$$v_s = \frac{v - v_s}{1 - v \cdot v_s} \text{ oder } v \cdot v_s^2 - 2v_s + v = 0$$

mit der Lösung

$$v_s = \frac{1}{v} \cdot (1 \mp \sqrt{1 - v^2}).$$

Das untere Vorzeichen ist physikalisch sinnlos, weil mit v auch stets v_s gegen Null gehen muß. Wir erhalten endgültig

$$v_s = \frac{1}{v} \cdot (1 - \sqrt{1 - v^2}) \quad \dots (3)$$

Im Schwerpunktsystem haben I und II dieselbe kinetische Energie K_s , welche man durch Substitution von v_s für v in (1) erhält

$$K_s = \frac{E_0}{\sqrt{1 - v_s^2}} - E_0.$$

Die Kollisionsenergie ist $2 \cdot K_s$.

Mittels (2) erhält man

$$v_s = \frac{E_0 + K}{\sqrt{(2E_0 + K)K}} \cdot \left(1 - \frac{E_0}{E_0 + K}\right) = \frac{K}{\sqrt{(2E_0 + K) \cdot K}} \cdot \sqrt{1 - v_s^2} = \sqrt{\frac{2E_0}{2E_0 + K}}$$

und schließlich

$$2K_s = 2E_0 \cdot \sqrt{\frac{2E_0 + K}{2E_0}} - 2E_0 \quad \dots (4)$$

als Kollisionsenergie im Schwerpunktsystem.

Im Speicherring bewegen sich zwei Teilchen der Energie K_s gegeneinander, so daß der ruhende Speicherring das Schwerpunktsystem darstellt. K ist dann die Kollisionsenergie, die ein mit einem Teilchen mitbewegter Beobachter messen würde, m. a. W. die Energie, mit der ein Teilchen auf das zweite ruhende Teilchen auftreffen müßte, damit dieselbe Wirkung entsteht, wie beim Zusammenstoß der entgegengesetzt fliegenden Partikeln der Energie K_s . Nimmt man K_s als gegeben an (für den bei CERN geplanten Speicherring wäre $K_s = 28 \text{ GeV}$), so erhält man K durch Auflösen von (4) nach K .

$$K = \frac{2K_s}{E_0} \cdot (K_s + 2E_0) \quad \dots (5)$$

$K_s = 28 \text{ GeV}$, $E_0 = 0,93 \text{ GeV}$ liefern den eingangs genannten Wert von $K = 1790 \text{ GeV}$.

v_s läßt sich noch auf andere Weise, und zwar unter Benützung der Massenveränderlichkeit, ziemlich einfach ermitteln.

Abzisse, Energie, Masse und Geschwindigkeit der Teilchen I und II seien zur Zeit $t=0$ im Laborsystem, in dem I ruht,

$$x_I = 0, E_I = E_0, m_I = \frac{E_0}{c^2} = E_0, (c=1!), v_I = 0;$$

$$x_{II} = x, E_{II} = E_0 + K, m_{II} = \frac{E_{II}}{c^2} = E_0 + K, v_{II} = v =$$

$$= \frac{\sqrt{(2E_0 + K)K}}{E_0 + K} \text{ nach (2).}$$

Gleichzeitig (für das Laborsystem) sei x_s die Abzisse von S. Der Schwerpunktsatz lautet

$$m_I x_I + m_{II} x_{II} = (m_I + m_{II}) x_s$$

oder nach Substitution der obigen Werte

$$E_0 \cdot 0 + (E_0 + K) \cdot x = (2E_0 + K) \cdot x_s.$$

Wir differenzieren nach t und erhalten

$$(E_0 + K) \cdot v = (2E_0 + K) \cdot v_s,$$

$$v_s = \frac{E_0 + K}{2E_0 + K} \cdot v = \frac{E_0 + K}{2E_0 + K} \cdot \frac{\sqrt{(2E_0 + K)K}}{E_0 + K} = \sqrt{\frac{K}{2E_0 + K}}$$

in Übereinstimmung mit den früheren Ergebnissen.

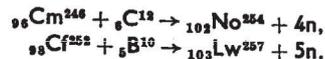
Die Darstellung des Elements Nr. 104

Der Bericht über die Produktion und den Nachweis künstlicher Elemente in Nr. 6 der „Wiss. Nachr.“ endete mit Lawrencium, dem Element der Kernladungszahl 103. In einer kurzen Schlußbemerkung wurde auf Meldungen über die Erzeugung von Nr. 104, dem Nachfolger von Lawrencium im Periodensystem, hingewiesen, die während der Drucklegung in der Tagespresse erschienen waren. Nun liegt ein authentischer Bericht des erfolgreichen Teams sowjetischer Physiker in der Zeitschrift „Physics Letters“ vom 1. Nov. 1964 vor, in dem der Entdecker G. N. Flerov und seine acht Mitarbeiter selbst die wichtigsten Einzelheiten bekanntgeben.

Element 104 erweckt besonderes Interesse, weil es das erste Transuran ist, welches nicht mehr der Untergruppe der „Aktiniden“ (die zu den Nachbar-Elementen eine ähnliche Stellung einnehmen wie die seltenen Erden = Lanthaniden) angehört und sich daher chemisch stark von diesen unterscheiden müßte. Leider wird noch geraume Zeit vergehen, ehe eine für chemische Untersuchungen ausreichende Quantität zur Verfügung steht. Nicht nur, weil vorläufig die neue Substanz buchstäblich Atom für Atom hergestellt wird, sondern auch wegen der kurzen Halbwertszeit von 0,3 sek. Flerov selbst erachtet die chemische Identifizierung für ein weiteres vordringliches Forschungsziel.

Schon bei ^{102}No und ^{103}Lw konnte man nicht mehr die im Periodensystem vorangehenden Stoffe als Ausgangssubstanzen heranziehen, um bei diesen durch α - oder Neutronenbestrahlung (mit anschließendem β -Zerfall des angelagerten Neutrons) eine Erhöhung der Kernladungszahl zu erzielen. Die verfügbaren Mengen und die Halbwertszeiten dieser vorangehenden Elemente waren zu gering.

Der Beschuß mußte daher mit schwereren Ionen erfolgen, die auf ein Target fielen, dessen Kernladungszahl um etliche Einheiten niedriger war als die der angestrebten Elemente. No und Lw entstanden bei den Reaktionen



Der Ionenstrahl stammte aus dem Schwerionenbeschleuniger HILAC (=Heavy Ion Linear Accelerator).

Denselben Weg beschrift das Team Flerovs im sowjetischen Kernforschungsinstitut in Dubna bei Moskau. Die Physiker beschleunigten ${}_{10}\text{Ne}^{22}$ in einem 300-cm-Schwerionenbeschleuniger auf 113 bis 115 MeV und richteten den Strahl auf das Target, welches aus einer dünnen Al-Folie mit einer Pu-Schicht von 0,7 mg/cm² bestand, die ihrerseits mit 0,1 mg/cm² Nickel bedeckt war. Die Pu-Schicht enthielt 97% Pu²⁴², 1,5% Pu²⁴⁰ und 1,5% Pu²³⁸. Die vom Target wegfliegenden Reaktionsprodukte gelangten unmittelbar auf ein bewegtes, 8 m langes endloses Ni-Band, dessen Geschwindigkeit in weiten Grenzen variiert werden konnte. Die auf dem Band haftenden Reaktionsprodukte wurden von diesem an parallel zum Band linear angeordneten Phosphatglasdetektoren vorbeitransportiert. Da die

Reaktionsprodukte ausnahmslos instabil waren, zerfielen die kurzlebigen unter ihnen schon nach Zurücklegung ziemlich kleiner Transportwege. Ihre Zerfallsprodukte wurden von den Glasdetektoren registriert. Bei gegebener Bandgeschwindigkeit gehört zu jeder Halbwertszeit eine bestimmte, einfach berechenbare Abnahme der Detektorenanzeige als Funktion der Entfernung des Detektors vom Target. Die Veränderung der Umlaufgeschwindigkeit des Bandes bewirkte eine typische Veränderung des Spuren-musters in den Detektoren. Damit war die Möglichkeit einer sauberen Trennung der von verschiedenen Reaktionsprodukten stammenden Zerfallströme gegeben.

Unter den Reaktionsprodukten befand sich eines mit der Halbwertszeit von 0,3 sek und einem Wirkungsquerschnitt von $2 \cdot 10^{-34} \text{ cm}^2$. Da die höchsten Transurane durch spontane Spaltung zerfallen, war dieselbe Zerfallsart auch bei Element 104 zu erwarten und trat auch prompt ein.

Bei Schwerionenbeschuss entstehen sehr viele Isotope, deren Halbwertszeiten und α -Zerfallsenergien weitgehend übereinstimmen können, die dann u. U. ein neues Element vortäuschen, das gar nicht vorhanden ist. Auf die Abtrennung dieses „Hintergrundes“ unerwünschter gleichartiger Effekte muß stets größte Sorgfalt verwendet werden. Durch Kontrollversuche mit $^{95}\text{Am}^{242*}$ (der Stern bedeutet ein Isomer, d. i. ein Kern mit denselben Nukleonen, aber in einem energetisch angeregten Zustand) und $^{103}\text{No}^{256}$, durch Studium der auftretenden Wirkungsquerschnitte und andere Sicherungsmaßnahmen konnte der Hintergrund eliminiert werden. Den Reaktionen $\text{U}^{238} + \text{Ne}^{22}$ und $\text{Pu}^{242} + \text{Ne}^{20}$ entsprang kein Isotop der Halbwertszeit 0,3 sek.

Man darf daher die Erzeugung von 104^{260} als gesichert ansehen. Sein Kern ist mit der Massenzahl 260 der schwerste bis jetzt bekannte Kern.

Literatur:

1. Physics Letters, Bd. 13, 1. XI. 64, S. 73. G. N. Flerov et al.: „Synthesis and Physical Identification of the Element 104 with Mass Number 260“.
2. Umschau i. W. u. T., Heft 12, 15. XII. 64, S. 769. Bk.: „Element Nr. 104 entdeckt.“

Ein empirischer Ansatz für das Massenspektrum der Teilchen

Bis jetzt hat die Natur das Geheimnis um die Massen ihrer materiellen Bausteine mit Erfolg gegen die Neugierde des Menschen verteidigt. Noch keiner der mit viel Scharfsinn vorgeschlagenen theoretischen Ansätze hat zu einem befriedigendem Ergebnis geführt. Das ist um so bedauerlicher, weil der Grund, weshalb diese oder jene Partikel ausgerechnet diese oder jene Masse besitzt, sicherlich tief in der Natur der kleinsten (?) Wesenheiten wurzelt und seine Kenntnis unserem Verständnis der Dinge ein gutes Stück weiterhelfen würde.

Nachdem die Theoretiker mit einigermaßen befriedigenden Ergebnissen nicht aufwarten können, ist es nur zu verständlich, daß sich die Praktiker der Sache annehmen und zu Wort melden.

Ausgehend von den Daten der empirischen Forschung publizierte R. M. Sternheimer im Juli und September 1964 in den Physical Review Letters (siehe Literaturangabe am Ende des Artikels) eine Massenformel für Teilchen mit starker Wechselwirkung (d. s. Mesonen und Baryonen), die wegen ihrer Einfachheit besticht. Natürlich ist ihre allgemeine Gültigkeit alles andere als gesichert. Dennoch bewährt sie sich für die augenblicklich gut bekannten Teilchen mit starker Wechselwirkung einschließlich der Resonanzen.

Die empirische Formel lautet

$$m = p \cdot m_{\pi} + q \cdot k. \quad (1)$$

p, q sind ganze (ev. auch negative) Zahlen. m_{π} ist die mittlere Pionenmasse

$$m_{\pi} = \frac{1}{2} (m_{\pi^{\pm}} + m_{\pi^0}) = 137,3 \frac{\text{MeV}}{c^2}.$$

(Von den drei Pionenzuständen π^+ , π^- , π^0 haben die geladenen gleiche Masse!) k ist ein Viertel der mittleren Nukleonenmasse

$$k = \frac{1}{8} (m_p + m_n) = 234,7 \frac{\text{MeV}}{c^2}.$$

m_p , m_n bedeuten bzw. die Masse von Proton und Neutron. Die Masse ist, wie dzt. allgemein üblich, in $\frac{\text{MeV}}{c^2}$ und nicht wie früher in Vielfachen der Elektronenmasse m_e angegeben.

Die Güte der Übereinstimmung zwischen den experimentell ermittelten Massenwerten mit den nach (1) berechneten ist der nachstehenden Tabelle zu entnehmen, in welche allerdings nur einige wenige Partikeln als Beispiele aufgenommen sind.

Teilchen	p, q	m_{exp}	m_{theor}
η	4, 0	550 \pm 2	549,2
f	4, 3	1255 \pm 5	1253,3
ρ	2, 2	750 \pm 5	744,0
K	7, -2	495,9 \pm 0,6	491,7
Λ	3, 3	1115,4 \pm 0,15	1116,0
Σ	7, 1	1193,4 \pm 0,3	1195,8
Ξ	13, -2	1319 \pm 2	1315,5

Überdies stellte sich heraus, daß manche Massen Vielfache anderer Massen sind, wobei der Faktor ein einfacher rationaler Bruch ist, etwa $\frac{3}{2}$, $\frac{7}{2}$ usw.

Literatur: Phys. Rev. Lett., Bd. 13, Nr. 1, 6. VII. 64, S. 37 und Bd. 13, Nr. 10, 7. IX. 64, S. 358. Beide Artikel v. R. M. Sternheimer: „Empirical Systematics of the Strongly Interacting Particles“.

Bindungsenergien

In einem System von Massen, die in dynamischer Wechselwirkung stehen, gehört zu jeder Konfiguration eine bestimmte potentielle Energie, wenn dieses System nach außen abgeschlossen ist, d. h. wenn es weder von außen Energie aufnimmt, noch dorthin solche abgibt. Als Funktion der Systemparameter kann E_{pot} absolute oder relative Minima aufweisen. Die zugehörigen Konfigurationen oder — allgemeiner formuliert — Zustände sind stabil. Geringe Änderungen der Systemparameter lösen rücktreibende Kräfte aus, das System kehrt (zumeist oszillatorisch) in den stabilen Ausgangszustand zurück. Als Maß der Stabilität wird der Arbeitsaufwand angesehen, der zum Erreichen eines anderen stabilen Zustandes erforderlich ist.

Gelegentlich wird die beim Übergang zu einem tieferen Zustand (die Kurzformen „tief“, „hoch“ sollen sich in Hinkunft auf die Größe der potentiellen Energie des Systems beziehen) freiwerdende kinetische Energie in einer Weise verzettelt, daß ihre geordnete Rückführung in potentielle Energie unmöglich ist. (Reibungswärme, Abstrahlung von Photonen, Neubildung von Partikeln usw.) Es ist dem System verwehrt, in den ursprünglichen höheren Zustand zurückzuschwingen. Die verzettelte kinetische Energie ist die relative Bindungsenergie des tieferen Zustandes.

Läßt man den paarweisen Abstand sämtlicher Systemkomponenten über alle Grenzen wachsen, so existieren zwischen ihnen keine Wechselwirkungen mehr, die potentielle Energie hat ein absolutes Maximum erreicht. Da das Potential eine willkürliche additive Konstante enthält, ist es mitunter zweckmäßig, dem maximalen

Potential den Wert Null zu geben. Dann sind die Potentiale der tieferen Zustände negativ.

Die Bindungsenergie eines Zustandes ist die Differenz zwischen dem Potentialhöchstwert und dem Potential des betrachteten Zustandes. Um ein System endgültig zu sprengen, muß ihm mindestens die Bindungsenergie zugeführt werden.

A. Bindungsenergie in Schwerefeldern

Das Newtonsche Potential zweier Massen m_1, m_2 , deren jede kugelsymmetrisch angeordnet ist, berechnet sich nach der Formel

$$E_{\text{pot}} = k \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$$

Ein Stein, der irgendwo auf der Erdoberfläche liegt, bildet mit der Erde ein binäres System mit der Bindungsenergie

$$B = k \cdot \frac{m M}{R} = mgR.$$

Es bedeuten: m, M = Masse des Steins bzw. der Erde

R = Erdradius

g = Erdbeschleunigung auf der Oberfläche

k = Gravitationskonstante

Würde der Stein aus dem Unendlichen zur Erde stürzen, so wäre seine kinetische Energie beim Erreichen derselben gerade gleich mgR .

Etwas weniger trivial ist die Frage nach der Bindungsenergie einer Kugelmasse M , deren Dichte ρ nur vom Abstand a vom Kugelzentrum abhängt: $\rho = \rho(a)$.

Nehmen wir an, es würde aus dem Unendlichen eine Kugelschale nach der anderen herangebracht und wie bei einer Zwiebel um die schon vorhandene Masse gelegt, so lange, bis eine Kugel vom Radius R aufgeschichtet ist. Die Summe der von den einzelnen Schalen erreichten kinetischen Energien ist die Bindungsenergie der Kugel.

Angenommen, im Verlaufe des geschilderten Prozesses sei bereits eine Kugel vom Radius r gebildet worden. Ihre Masse ist

$$m(r) = \int_{a=0}^r 4a^2 \pi \cdot \rho(a) \cdot da.$$

Nun wird um $m(r)$ eine Kugelschale der Dicke dr , also der Masse

$$dm = 4r^2 \pi \cdot \rho(r) \cdot dr$$

gelegt.

Das Potential von dm und $m(r)$ ist

$$k \cdot \frac{m(r) \cdot dm}{r} = k \cdot \frac{4r^2 \pi \cdot \rho(r) \cdot dr}{r} \cdot \int_{a=0}^r 4a^2 \pi \rho(a) \cdot da,$$

weil eine kugelsymmetrische Massenordnung durch eine gleich große Punktmass im Symmetriezentrum streng ersetzt werden darf. Die Integration von $r=0$ bis $r=R$ liefert die gesuchte Bindungsenergie von M

$$B_{\text{grav}} = 16 \pi^2 k \cdot \int_{r=0}^R \int_{a=0}^r r a^2 \rho(r) \rho(a) da \cdot dr. \quad (1)$$

Um zu konkreten Zahlenwerten zu gelangen, vereinfachen wir das Problem durch die (der Wirklichkeit nicht entsprechenden) Annahme konstanter Dichte ρ . Dann ist

$$M = \frac{4}{3} R^3 \pi \rho, \quad \rho = \frac{3M}{4R^3 \pi}$$

und (1) geht über in

$$B_{\text{grav}} = \frac{9M^2 k}{R^4} \cdot \int_{r=0}^R \int_{a=0}^r r a^2 da \cdot dr = \frac{3}{5} \cdot \frac{M^2 k}{R}. \quad (2)$$

a) Die Bindungsenergie der Erde

Wir benützen bei den Rechnungen dieses Artikels stets CGS-Einheiten.

$$M_{\text{Erde}} = 6 \cdot 10^{27} \text{ g}, \quad R = 6,37 \cdot 10^8 \text{ cm}, \quad k = 6,6 \cdot 10^{-8}, \\ B_{\text{Erde}} = 2,23 \cdot 10^{59} \text{ erg.}$$

b) Die Bindungsenergie der Sonne

$$M_{\text{Sonne}} = 2 \cdot 10^{33} \text{ g}, \quad R = 7 \cdot 10^{10} \text{ cm.} \\ B_{\text{Sonne}} = 2,3 \cdot 10^{68} \text{ erg.}$$

c) Die Bindungsenergie eines superdichten Sternes (Neutronen- oder Hyperonenstern) von Sonnenmasse

$$M = 2 \cdot 10^{33} \text{ g}, \quad R = 10^6 \text{ cm}, \quad \rho = 5 \cdot 10^{14} \text{ g/cm}^3. \\ B_{\text{sd. St.}} = 1,6 \cdot 10^{63} \text{ erg.}$$

d) Die Bindungsenergie eines Quasisternes

$$M = 10^8 \text{ Sonnenmassen} = 2 \cdot 10^{43} \text{ g}, \quad R = 1 \text{ Lj} = \\ = 10^{18} \text{ cm. } B_{\text{Quasar}} = 1,6 \cdot 10^{89} \text{ erg.}$$

Der Schwereanteil der Bindungsenergie von Quasisternen würde nach dieser ungemein groben Überschlagsrechnung etwa an die beobachteten Werte herankommen. (Siehe Nr. 6 der W. N., S. 16, Quasistern.) Die Dichte ρ des angenommenen Modells wäre ziemlich gering, nämlich $\rho = 0,48 \cdot 10^{-12} \text{ g/cm}^3$.

B. Bindungsenergie in Coulombfeldern

Das Coulombsche Gesetz unterscheidet sich formal lediglich durch den Wegfall der Gravitationskonstante k vom Newtonschen Gesetz. Das Coulomb-Potential der Ladungen q_1, q_2 ist

$$U = \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$

Nach Streichung von k in (1) und (2) erhält man die Bindungsenergie einer kugelsymmetrisch angeordneten Ladung q . (Natürlich ist M durch q zu ersetzen.)

$$B_{\text{el}} = 16 \pi^2 \int_{r=0}^R \int_{a=0}^r r a^2 \rho(r) \rho(a) dr \cdot da. \quad (3)$$

Für konstante Ladungsdichte modifiziert sich (3) zu

$$B_{\text{el}} = \frac{3}{5} \cdot \frac{q^2}{R}. \quad (4)$$

a) Radius des Elektrons

Die Ruhmasse des Elektrons ist $0,91 \cdot 10^{-27} \text{ g}$ oder $0,511 \frac{\text{MeV}}{c^2}$. Sie kann als das Massenäquivalent der elektrischen Bindungsenergie des Elektrons angesehen werden, wenn man sich dieses als homogen geladene Kugel vorstellt. Dann folgt aus (4)

$$0,91 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{20} = \frac{3}{5} \cdot \frac{e^2}{R}, \quad e = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ CGS-Einh.}$$

$$R = 1,7 \cdot 10^{-13} \text{ cm} = 1,7 \text{ f.}$$

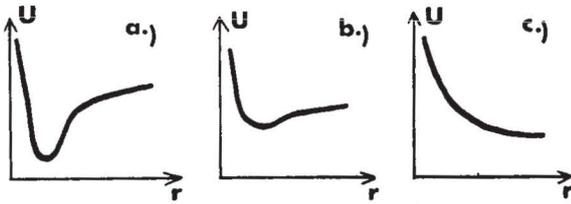
Dieses sehr naive Elektronenmodell vermag lediglich Richtwerte zu geben. Immerhin führt bereits der rohe Ansatz zu größenordnungsmäßig richtigen Werten von R . In einer verfeinerten Theorie wird der Begriff des Elektronenradius problematisch, an seine Stelle tritt als sinnvolle und maßgebliche Größe die de-Broglie-Wellenlänge.

b) Ionisierungsenergie

Die Bindungsenergie eines Elektrons der Atomhülle ist gleichzeitig seine Ionisierungsenergie. Sie bewegt sich bei einigen eV.

c) Dissoziationsenergie

An der Molekülbildung sind neben den elektromagnetischen Kräften noch die sogenannten Austauschkräfte be-



Potentialkurven des

- a.) gewöhnl. 2-atomigen Moleküls
- b.) van der Waals Moleküls
- c.) Stoßpaares

Abb. 2

teiligt. Ohne auf diese einzugehen, begnügen wir uns mit der kurzen Aufzählung der bei 2atomigen Molekülen auftretenden 3 Typen (Abb. 2).

Die Potentialkurve der gewöhnlichen Moleküle besitzt für einen bestimmten Abstand ihrer beiden Komponenten ein ausgeprägtes Minimum. Die Dissoziationsarbeit ist hoch (einige eV), das Molekül ist ein ziemlich stabiles Gebilde.

Van-der-Waals-Moleküle haben Potentialkurven mit äußerst flachem Minimum. Die Dissoziationsarbeit beträgt nur 0,01—0,1 eV, das Gebilde ist recht labil.

Der dritte Typus von Molekülen, der diesen Namen nur verdient, weil trotz fehlender molekularer Bindung Spektren wie bei Molekülen beobachtet werden, sind die Stoßpaare. Die Potentialkurve besitzt kein Minimum.

C. Bindungsenergie der Atomkerne

Am Aufbau eines Atomkernes sind sehr verschiedene Kräfte beteiligt: die starken Kernkräfte, welche aber kaum über den Durchmesser eines Nukleons hinausreichen, die Coulombschen Abstoßungskräfte zwischen den Protonen, die magnetischen Kräfte, die sich vor allem in der Spinwechselwirkung äußern. Die Bindungsenergie B pro Kernteilchen (=Nukleon) setzt sich aus 5 Summanden zusammen.

1. Ein konstanter Beitrag, der von den starken Wechselwirkungen stammt und numerisch die übrigen Summanden übertrifft. Denkt man die Nukleonen des Kerns paarweise derart zusammengefaßt, daß jedes Paar ein Proton und ein Neutron enthält, dann ist der konstante Beitrag die Bindungsenergie eines solchen Paares. Gewöhnlich ist aber die restlose Aufteilung in Proton-Neutronpaare nicht möglich. Es bleiben sogenannte ungepaarte Nukleonen übrig, die etwas lockerer aneinander gebunden sind.

2. Daher tritt zum ersten Term im Bindungsenergieausdruck ein zweiter negativer Summand hinzu, dessen Wert von der Differenz $N-P$ abhängt (N =Zahl der Neutronen, P =Zahl der Protonen, $A=N+P$ =Zahl der Nukleonen=Massenzahl des Kerns).

3. Der dritte Term ist gleichfalls bindungslockernd, d. h. negativ. Die Nukleonen an der Kernoberfläche sind nach außen hin ungebunden, da es dort keine Nachbarpartikel gibt. (Ähnlich wie bei der Oberflächenspannung.) Ihre Bindungsenergie erreicht nicht die volle Höhe, das Manko äußert sich mathematisch in einem negativen Glied.

4. Die gegenseitige elektrostatische Abstoßung der Protonen vermindert die Bindungsenergie. Der vierte Summand ist daher wieder negativ und proportional dem Quadrat der Kernladung, d. i. P^2 . Er verursacht die Instabilität der schweren Kerne, die sich im radioaktiven Zerfall äußert.

α -Zerfall setzt ein, sobald die zur Lösung einer α -Partikel aus dem Kernverband nötige Arbeit kleiner ist als die Bindungsenergie des He-Kerns. Letztere beträgt 28 MeV.

5. Der letzte Term im Energieausdruck hängt davon ab, ob N bzw. P gerade oder ungerade sind. Man spricht von gg -Kernen, wenn N und P gerade sind, ug - und gu -Kernen, wenn genau eine der Zahlen N , P gerade ist, uu -Kernen, wenn N und P ungerade sind.

Der fünfte Term ist bei gg -Kernen positiv, bei ug - und gu -Kernen Null und bei uu -Kernen negativ. Für $A > 40$ ist sein Betrag kleiner als 1% der Bindungsenergie.

Die Bindungsenergie steigt zunächst mit wachsender Massenzahl A , erreicht etwa bei $A=75$ ein Maximum über 8 MeV und sinkt dann langsam wieder ab. Sie ist bei U^{238} nur mehr 5,38 MeV pro Nukleon.

D. Massendefekt und Q -Werte

Die Masse eines Kerns ist kleiner als die Massensumme seiner Bestandteile, weil die beim Kernaufbau frei gewordene Bindungsenergie in irgend einer Form nach außen abgeleitet wurde, sei es als emittiertes Photon oder sonstwie. Daher fehlt ihr Massenäquivalent in der Massenbilanz des Kerns. Dieser sogenannte Massendefekt ist mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln außerordentlich genau meßbar und gestattet somit zuverlässige Angaben über die Bindungsenergien der Atomkerne.

Dem Massendefekt verdanken wir die geringe Abweichung der Isotopengewichte von der Ganzzahligkeit.

Nimmt man als $M-E$ =Masseneinheit $\frac{1}{16}$ der Atommasse von O^{16} (inzwischen außer Kraft gesetzt!), so ist

$$m_p = 1,00759 M-E = \text{Protonenmasse,}$$

$$m_n = 1,00894 M-E = \text{Neutronenmasse.}$$

Die theoretische Kernmasse m_{th} ist $m_{th} = N \cdot m_n + P \cdot m_p$. Die empirisch gemessene Kernmasse erhält man nach Abzug des Massenäquivalents der Bindungsenergie von m_{th}

$$m_{emp} = m_{th} - \frac{B}{c^2}.$$

Der Massendefekt ist

$$\Delta m = m_{th} - m_{emp} = \frac{B}{c^2}.$$

Die Abweichung der Nukleonenmasse von der $M-E$ macht ungefähr 0,8% aus. Sie müßte schon bei mittelschweren Kernen zu beträchtlichen Abweichungen der Massenzahlen von ganzen Werten führen. Zufällig liegt jedoch die Bindungsenergie je Nukleon ebenfalls bei zirka 7 MeV, d. s. 0,8% des Energieäquivalents der $M-E$, welches 931 MeV beträgt. Daher kompensieren einander der Massendefekt und der Massenüberschuß der Nukleonen. Die Massen der reinen Isotope sind nahezu ganzzahlige Vielfache der Masseneinheit.

Ähnlich wie die Energiebilanz der Atomkerne zum Massendefekt führt, gelangt man bei Betrachtung beliebiger Partikelreaktionen zum allgemeineren Begriff des Q -Wertes. Ein einfacher Fall, der sich zur Illustration gut eignet, ist die 2-Teilchenkollision, aus der wieder 2 Partikeln hervorgehen. (Auch Photonen gelten als Teilchen der Masse $\frac{h\nu}{c^2}$ mit der Geschwindigkeit c !)

Die Indizes 1, 2 mögen sich auf die primären, die Indizes 3, 4 auf die sekundären Teilchen beziehen. Ferner bezeichne m die Ruhmasse, E die kinetische Energie und A die Anregungsenergie.

Falls sich die Partikeln 1, 2, 3 im Grundzustand befinden, ist ihre Anregungsenergie Null. Teilchen 4 möge hingegen in einem angeregten Zustand aus der Reaktion hervorgehen. Die Energiebilanz des Prozesses lautet

$$m_1 c^2 + E_1 + m_2 c^2 + E_2 = m_3 c^2 + E_3 + m_4 c^2 + E_4 + A_4.$$

Die frei werdende Reaktionsenergie wird mit Q bezeichnet (in Analogie zur Wärmetönung chemischer Umwandlungen)

$$Q = (m_1 + m_2 - m_3 - m_4) c^2 = (E_3 + E_4 - E_1 - E_2) + A_4.$$

Unmittelbar experimentell bestimmbar ist nur die zweite Klammer im Ausdruck für Q , die sich aus den kinetischen Energien konstituiert. Ihr Wert sei Q'

$$Q = Q' + A_4.$$

Die rein formale Abtrennung der Anregungsenergie A_4 bietet eine Möglichkeit zur Messung derselben. Es kann nämlich vorkommen, daß mehrere Werte der sekundären kinetischen Energiesumme festgestellt werden, wenn Par-

tikel 4 auch im Grundzustand zu erscheinen vermag. Bildet man Q' mit den gemessenen Maximalwerten von E_3 , E_4 , dann ist $Q = Q'_{\max}$, $A_4 = 0$. Die gesuchte Anregungsenergie des vierten Teilchens ist die Differenz der Meßwerte

$$A_4 = Q'_{\max} - Q.$$

Auf diese Weise konnten zahlreiche Anregungsniveaus von Atomkernen bestimmt werden.

Negative Q -Werte charakterisieren endo-,therme“ Prozesse, positive exotherme. Endotherme Reaktionen können nur ablaufen, wenn die Primärteilchen mindestens über die zusätzliche Schwellenergie verfügen, welche das Q -Defizit kompensiert. Tun sie dies nicht, kann die Reaktion nicht stattfinden. Die Kenntnis der Schwellenergien spielt in der Hochenergiephysik eine bedeutende Rolle.

Polarisierte Teilchenstrahlen

Im allgemeinen besitzen die Partikel eines Teilchenstrahls alle möglichen Spineinstellungen. Mit Hilfe geeigneter Vorrichtungen gelingt es jedoch, gewisse Richtungen zu bevorzugen, d. h. den Strahl ganz oder teilweise zu polarisieren. Transversale bzw. longitudinale Polarisation liegt vor, je nachdem ob die Spinachse senkrecht oder parallel zur Teilchenbahn orientiert ist. Im Falle longitudinaler Polarisation kann die Spinrichtung (= Richtung des Eigendrehimpulsvektors des Teilchens) gleichsinnig oder gegensinnig parallel zum Geschwindigkeitsvektor liegen. Haben Spinachse und Flugrichtung dieselbe Orientierung, dann verschraubt sich die Partikel während der Vorwärtsbewegung nach rechts, man sagt, sie habe positive Helizität. Bei entgegengesetzter Orientierung der beiden Vektoren entsteht eine Linksschraube, die Helizität ist negativ.

Transversal polarisierte Elektronen

H. R. Crane ließ 1954 einen Strahl von 400 keV-Elektronen waagrecht auf eine Au-Folie fallen, welche gegen

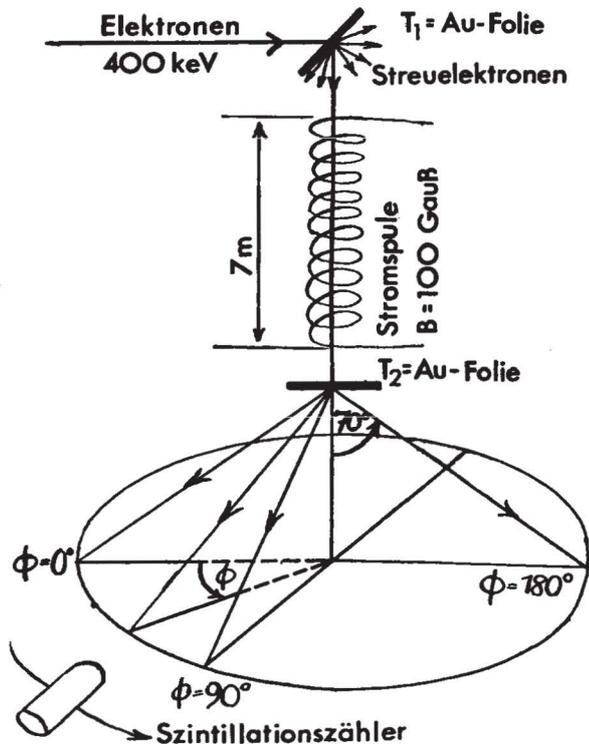


Abb. 3

die Horizontale und gegen die Flugbahn um 45° geneigt war (Abb. 3). Die Elektronen wurden infolge der Ladungswchselwirkung an den positiven Goldkernen gestreut und verließen teilweise polarisiert das Target T_1 . Ein Teil der Elektronen wurde vertikal nach unten abgelenkt. Dieser Strahl lief durch eine 7 m lange stromführende Spule. Das vertikale Magnetfeld der Spule veranlaßte eine Präzessionsbewegung der Spinachse um die Feldrichtung. Die Winkelgeschwindigkeit der Kreisbewegung ist

$$\omega_L = g \cdot B \cdot \frac{e}{m}.$$

g = Landéfaktor, $\frac{e}{m}$ = spez. Ladung des Elektrons, B = magnetische Krafftflußdichte. Nach dem Passieren der Spule hat sich die Spinrichtung um den Winkel $\varphi = \omega_L \cdot t$ verdreht, wenn t die Laufzeit durch die Spule ist. Am unteren Ende der Spule war eine waagrechte Goldfolie als zweites Target T_2 angebracht, an der eine neuerliche Streuung der bereits polarisierten Elektronen stattfand. Ihre Bahnen verließen T_2 kegelförmig aufgefächert nach unten. In einiger Entfernung befand sich eine waagrechte Kreisführung, auf der ein Szintillationszähler so verschoben werden konnte, daß er mit der Spulenchse ständig einen Winkel von 70° einschloß. T_2 war also die Spitze eines Drehkegels vom Öffnungswinkel 140° , die Kreisführung begrenzte die Kegelbasis. Die Stellung des Zählrohres auf dem Kreis wurde durch den Winkel ψ (Azimut) fixiert. $\psi = 0$ und $\psi = 180^\circ$ sind in der Abb. markiert.

Der Versuch zeigte verschiedene Intensitäten $I(\psi)$ der Streustrahlen bei wechselndem Azimut ψ , d. h. eine merkwürdige Polarisation. Für $\psi = 0$ war die Intensität am größten, für $\psi = \pi$ am kleinsten $I(0) = I_{\max}$, $I(\pi) = I_{\min}$.

Als Maß des Polarisationsgrades wählte man

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}.$$

Für Gold war $P < 0,08$. Das entspricht einem Unterschied zwischen I_{\max} und I_{\min} von bestenfalls 16%.

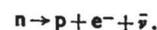
Infolge der B -Abhängigkeit der Präzession der Spinachsen verdreht sich die azimutale Anisotropie bei Veränderung der Stromstärke. Im Verlaufe eines Versuches wurde $\varphi = \omega_L \cdot t = 10\pi$ gemessen.

Crane verfeinerte das Experiment und konnte damit 1961 den Landéfaktor sehr genau bestimmen

$$g = 2,0011609 \pm 24 \cdot 10^{-7}.$$

Longitudinal polarisierte Elektronen

Der β -Zerfall eines radioaktiven Kerns ist der Übergang eines Neutrons in ein Proton unter Emission eines Elektrons und eines Antineutrinos



$\bar{\nu}$ hat immer positive Helizität, weshalb das bei diesem Prozeß gebildete Elektron negative Helizität aufweist: die wegfliegenden Elektronen sind longitudinal polarisiert. Das Ausmaß der Polarisation hängt von der Geschwindigkeit ab, und zwar ist die Zahl I_p der polarisierten Elektronen proportional zu $\frac{v}{c}$

$$\frac{I_p}{I} \approx \frac{v}{c}.$$

(I = Gesamtzahl der Elektronen, c = Lichtgeschwindigkeit)

Eine Vorrichtung zur Umkehrung der Helizität zeigt Abb. 4. Von einer Co-Quelle gehen Elektronen mit negativer Helizität aus. Sie treten durch einen Spalt S_1 in den Hohlraum eines Zylinderkondensators (Achse senkrecht zur Zeichenebene) ein. Ihre Bahn wird im elektrischen Feld etwa um 90° abgelenkt. Die Spinrichtung ändert sich dabei nicht, weil sie nur auf magnetische Felder anspricht. Wie aus der Abb. ersichtlich, verlassen die Elektronen den Kondensator transversal polarisiert. Ein zweiter Spalt S_2 besorgt die neuerliche Ausblendung. Kurz nach S_2 findet an einer unter 45° gegen den Strahl

Die Länge des Venustages

Eine Erfolgsmeldung aus Arecibo

Die dichte Wolkenhülle, welche die Oberfläche der Venus unserem Auge entzieht, verhinderte bis jetzt die direkte Ermittlung der Eigendrehdauer dieses Planeten. Von den indirekten Methoden kommt nun die Messung der Dopplerverschiebung des aus den Randgebieten des Himmelskörpers zu uns gelangenden Lichts in Betracht. Bei der Rotation um die eigene Achse nähert sich nämlich ein Teil der Planetenoberfläche der Erde, ein anderer entfernt sich von ihr. Daher erscheint Licht, das an der Venus reflektiert wird, je nach dem Reflexionsort gegen das rote oder violette Ende des Spektrums verschoben. Der Messung im optischen Bereich standen erhebliche Schwierigkeiten entgegen, vor allem der Umstand, daß die zentrale Partie, die keine Dopplerverschiebung hervorruft, die interessanten Randgebiete an Lichtstärke weit übertrifft. Kein Wunder, wenn verschiedene Versuche in dieser Richtung keine befriedigenden Resultate zeigten.

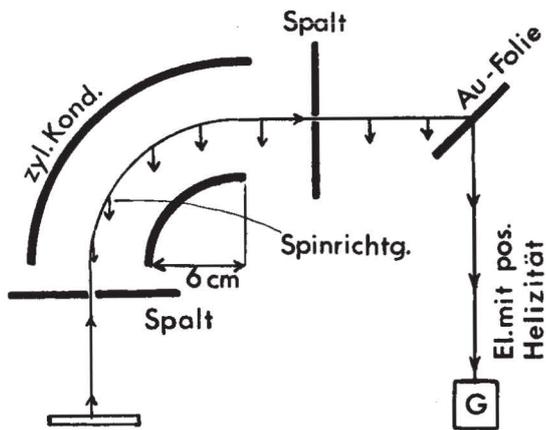
Die stürmische Entwicklung der Radioastronomie brachte auch hier die Wende. Seit etlichen Jahren schon werden Radiosignale in den Weltraum gestrahlt, an unseren nächsten Nachbarn, wie Mond und Venus, reflektiert und wieder auf der Erde empfangen. Das ist eine großartige Leistung, besonders im Hinblick auf die Tatsache, daß die Amplitude des auf der Erde wieder einlangenden reflektierten Strahls mit der vierten Potenz der Entfernung des Reflektors abnimmt. Die Dopplerverschiebung ist bei Radiowellen auch deshalb leichter zu bestimmen, weil sich die spektrale Auflösung erübrigt. Die Radiostrahlung ist ja von Haus aus monochromatisch, so daß das Signal als Ganzes der Frequenzänderung unterworfen ist. Nur ein Hindernis war damit noch nicht beseitigt: Der Löwenanteil der reflektierten Radiowellen stammt wieder von der in diesem Experiment uninteressanten Zentralzone der Venusscheibe. Die reichen Möglichkeiten, die heute der Schwachstromtechnik zur Verfügung stehen, erlauben glücklicherweise, mit diesem Problem fertig zu werden. Allerdings, ohne Mitwirkung des riesigen 300-m-Radioteleskops von Arecibo, dessen Inbetriebnahme in Nr. 7 der „Wiss. Nachr.“ gemeldet wurde, wäre der Erfolg ausgeblieben. Mit dem Bestehen dieser Feuerprobe hat die gewaltige Anlage sehr rasch begonnen, die in sie gesetzten Erwartungen zu erfüllen und die hohen Baukosten zu rechtfertigen.

Die Ausschaltung der unerwünschten Reflexe aus der Zentralpartie der Venus erfolgte durch zeitmäßiges „Abschneiden“ der Radiostrahlung. In Abb. 5 sieht man die einlaufenden Wellen (dicke Wellenlinien I, II, III, IV, V) und jenen — wesentlich schwächeren — Teil der reflektierten Wellen, welcher wieder in Richtung Erde zurückläuft (schwache Wellenlinien I', II', III', IV', V'; die unterschiedlich gezeichneten Amplituden sollen die Intensitätsunterschiede andeuten).

Angenommen, es werde ein kurzes Signal von 0,04 sek Dauer emittiert, das in der Abb. durch die Wellenzüge I bis V dargestellt ist. Der mittlere Wellenzug III erreicht den Planeten zum frühesten Zeitpunkt und wird in A zurückgeworfen. Die übrigen Wellen fallen um so später auf die Oberfläche, je weiter seitab sie liegen. Wie aus der Figur ersichtlich, laufen I' und V' im Abstand des Venusdurchmessers $2r=12.000$ km hinter III'. Bei einer Signaldauer von 0,04 sek hätten die Wellenzüge eine Länge von 12.000 km, so daß I' und V' im Empfänger erst in dem Augenblick einlangen, in dem die Absorption von III' endet. Richtet man es nun so ein, daß die Registrierung genau mit dem Eintreffen von III', V' beginnt, dann kommen die von den Randgebieten nahe B und C reflektierten Wellen gut zur Geltung, ohne von den zentral reflektierten nennenswert gestört zu werden.

Es sei ausdrücklich betont, daß die Impulsdauer von 0,04 sek lediglich zu Illustrationszwecken angenommen wurde. Die tatsächliche Impulsdauer ist dem Autor unbekannt.

Nun zur Dopplerverschiebung. Die Beobachtung erfolgte in den Monaten Mai, Juni, Juli 1964, in denen sich die Venus zwischen Erde und Sonne befand (untere Konjunktion). Infolge der unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten von Erde und Venus um die Sonne



Co als Quelle von e^- mit negat. Helizität
G = Geigerzähler, wird senkrecht zur Zeichenebene um die Au-Folie geschwenkt u. mißt Intensitätsunterschiede.

Abb. 4

geneigten Au-Folie abermals Streuung statt. Ein Teil der Streuelekttronen läuft nach unten, so daß diese Fortschrittrichtung mit der (unverändert gebliebenen) Spinachse in der Orientierung übereinstimmt. Die Helizität des Strahls ist positiv geworden.

Polarisierte Protonen

Der Einfluß des Kernspins auf die Wechselwirkungen mit anderen Teilchen kann besonders gut studiert werden, wenn polarisierte Protonen in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Bei den ersten Versuchen zur Polarisation von Protonen lenkte man Protonen von einigen 100 MeV zuerst auf ein Be-Target, hinter dem ein zweites Target angebracht war. Die zweite Streuung erzielte einen Polarisationsgrad von 75%. In späteren Experimenten fielen 28 MeV α -Teilchen auf H_2 -Gas, wobei polarisierte 10 MeV-Protonen entstanden. Die Polarisation der letzteren wurde dadurch bewiesen, daß man sie in eine mit He gefüllte Kammer leitete. Die Winkelsymmetrie nach der letzten Streuung lieferte das Ausmaß der Polarisation.

Ein allgemeines Schema der Erzeugung polarisierter Protonen ist das folgende. Ein Strahl von H_2 -Molekülen durchläuft einen Dissoziator und verläßt ihn als Strahl von H-Atomen. Danach bewegen sich die H-Atome durch ein stark inhomogenes Magnetfeld (Stern-Gerlach-Versuch!), welches den Strahl in Teilstrahlen verschiedener Spineinstellung trennt. Die nunmehr polarisierten H-Atome gelangen schließlich in einen Ionisator, wo sie das Hüllenelektron verlieren und als polarisierte Protonen austreten.

Zur Aufklärung der Schalenstruktur der Atomkerne werden polarisierte Protonen an verschiedenen Targetstoffen, wie He, Li, C, ... Pb, gestreut. In jedem Falle erhält man ein Streudiagramm, das die Winkelabhängigkeit des Polarisationsgrades zum Ausdruck bringt. Das Target ist ein reines Isotop. Wird es durch ein anderes Isotop desselben Elements ersetzt, so ändert sich die Streukurve, weil der neue Zielkern eine andere Neutronenzahl enthält. Die Modifikation der Streucharakteristik gestattet Rückschlüsse auf den Kernbau.

Literatur:

1. Phys. Blätter, Nov. 1961, S. 513. O. Klemperer: „Transv. u. Long. Pol. von Elektronenstrahlen“.
2. Physics Today, Juni 1964, S. 28. J. H. Williams: „Polarized Protons“.

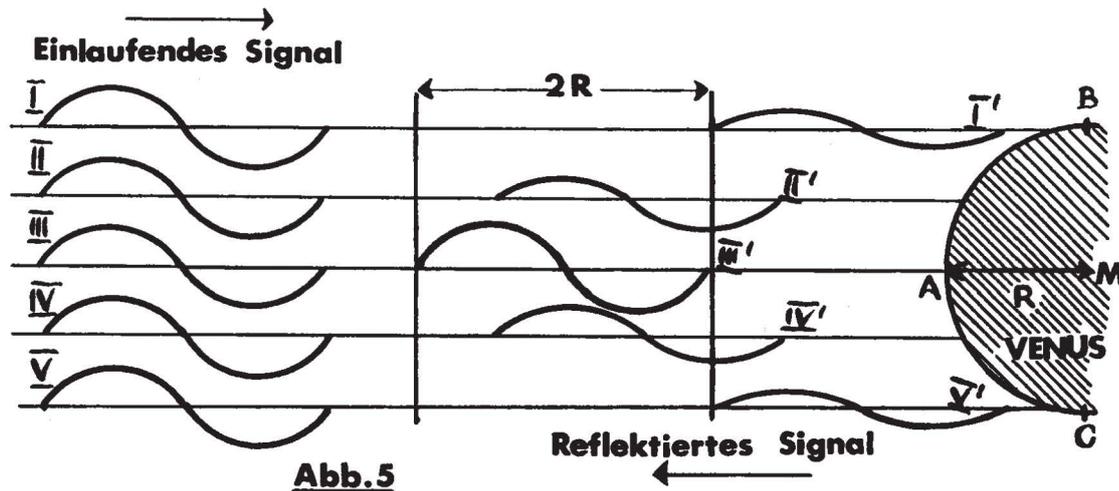


Abb.5

würde sich die Venus auch dann relativ zu einem irdischen Beobachter drehen, wenn sie gegen den Fixsternhimmel keinerlei Rotation aufwiese. Der scheinbare Drehsinn hängt davon ab, ob sie sich für uns recht- oder gegenläufig am Himmel verschiebt. Aus früheren (quantitativ mißlungenen) Versuchen amerikanischer bzw. russischer Radioastronomen in den Jahren 1961 und 1962 wußte man bereits, daß die wahre Eigenrotation der Venus gegenläufig sein müßte (aber nicht mehr!). Beim Durchgang zwischen Erde und Sonne bewegt sich Venus am Himmel für einige Zeit gegenläufig. Die beiden Dopplereffekte der oben erwähnten Relativdrehung einerseits und der wahren (gegenläufigen) Eigenrotation andererseits mußten sich in diesem Zeitintervall subtrahieren. Hingegen addierten sie sich, sobald der Zustand der Rechtläufigkeit (von Venus am Himmel) wieder erreicht war. Abb. 6 zeigt die Meßkurve. Horizontal ist die Zeit aufgetragen, vertikal die Dopplerverschiebung $\Delta\nu$ des Radiosignals in Hz. Man erkennt deutlich das Minimum um den 20. Juni, an dem die Effekte einander fast aufhoben.

Die Auswertung der Messungen bestätigte die Gegenläufigkeit der Venusdrehung und ergab als Drehdauer

$$247 \pm 5 \text{ Tage.}$$

Die Neigung der Venusachse gegen die Bahnebene beträgt 84° . Die Koordinaten des Himmelsnordpols der Venus, d. h. des Schnittpunkts Ihrer Drehachse mit der Himmelskugel, sind nach einer ersten rohen Bestimmung

$$\text{Rektaszension} = 18^h 11^m, \text{ Deklination} = +71,5^\circ \pm 4^\circ.$$

Abschließend noch ein Wort über die Größe des Dopplereffekts. Ein Punkt des Erdäquators hat infolge der Rotation eine Geschwindigkeit von 460 m/sek. Die entsprechende Geschwindigkeit auf der annähernd gleich großen Venus wäre wegen der 247mal größeren Tageslänge nur knapp 2 m/sek. Nun ist die Dopplerverschiebung

$$\Delta\nu = \frac{v}{c} \cdot \nu.$$

Die benützte Radiofrequenz war andererseits $\nu = 430 \text{ MHz} = 4,3 \cdot 10^8 \text{ Hz}$. Für $\frac{v}{c} = \frac{2}{3} \cdot 10^{-8}$ liegt daher $\Delta\nu$ bei 3 Hz.

Literatur: Sky and Telescope, Dez. 1964, S. 341. „Radar Observation of Venus' Rotation“.

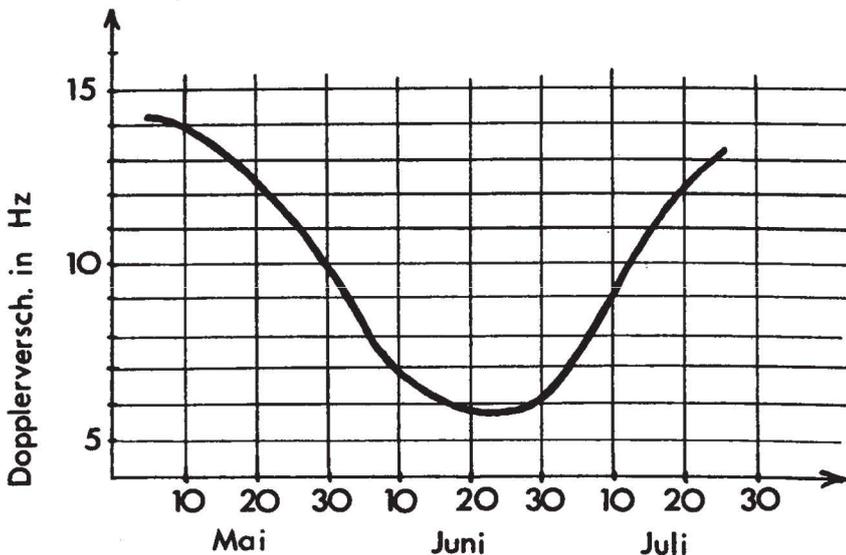


Abb.6

Zwei wichtige Konferenzen des Jahres 1964

A. Die XII. Generalversammlung der IAU

Im August 1964 tagte in Hamburg die Internationale Astronomische Union (IAU). Namhafte Gelehrte aus aller Welt befaßten sich mit aktuellen Themen und zeigten in ihren Vorträgen, daß auch die Physik der Himmelskörper, nämlich die Astronomie, in stürmischer Aufwärtsentwicklung begriffen ist. Wir wollen nun über einige dieser Sachgebiete berichten.

1. Das Magnetfeld der Sonne. (Bericht von A. B. Severyn, Astrophys. Obs. der UdSSR auf der Krim.) Der erste verlässliche Nachweis solarer Magnetfelder gelang G. E. Hale 1908, als er die Zeemannaufspaltung von Fe-Linien feststellte. Das Sonnenfeld unterscheidet sich dadurch vom irdischen, daß es keine nahezu fixen Pole besitzt wie letzteres. Vielmehr ist die Sonnenoberfläche mit zahlreichen unterschiedlichen magnetischen Regionen besät, deren Polarität alles andere als einheitlich ist. Der hohe Grad der Vollkommenheit, den die moderne Spektroskopie erreicht hat, erlaubt sogar die spektroskopische Untersuchung von Teilgebieten eines einzigen Sonnenflecks. Dabei stellten sich enge Zusammenhänge zwischen den magnetischen Einzelbezirken und sogenannten Kalziumwolken in der Chromosphäre heraus. Es hat den Anschein, als ob diese Ca-Anhäufungen sekundär als Folgeerscheinungen der magnetischen Zellen aufträten.

Die Topologie des solaren Magnetfeldes bedarf noch weitgehender theoretischer Klärung. Der Zerfall in viele Einzelbereiche, das langfristige Verschwinden des Magnetismus in beträchtlichen Teilen der Sonnenoberfläche, die starke Drehung des Feldes bei geringen Verschiebungen in horizontaler und vertikaler Richtung (in Gebieten solarer Aktivität genügt ein Tiefenunterschied von nur 100 km, um das Feld um 90° zu drehen!) sind Phänomene, deren Ursachen noch im Dunkeln liegen.

Andererseits sind recht interessante empirische Sachverhalte aufgedeckt worden. Sonnenflares nehmen von einem neutralen Punkt des Magnetfeldes ihren Ausgang. Vor dem Einsetzen des Flare wächst das Feld an. Während des Flare klingt es wieder unter Vereinfachung seiner Struktur ab. Vielleicht ist der Flare eine Begleiterscheinung bei der Umwandlung von magnetischer Energie in andere Energiearten.

2. Astronomische Beobachtungen außerhalb der Lufthülle der Erde. (Bericht von L. Goldberg, Harvardobs., USA.) Die Undurchlässigkeit der Atmosphäre für gewisse Spektralabschnitte (UV- und γ -Strahlung) sowie ihre Unruhe weckten schon frühzeitig den Wunsch nach Ausschaltung dieses unangenehmen Störfriedes. Ballons, Raketen und schließlich zweckmäßig ausgerüstete Satelliten waren die neuen Basen, von denen aus man nach dem letzten Krieg bessere Ergebnisse zu erreichen suchte, als mit konventionellen Methoden möglich war. (Über bereits erfolgte und über geplante Starts der Weltraumobservatorien OGO, OSO, OAO wurde in Nr. 5 vom April 1964 auf S. 12 der „Wiss. Nachr.“ referiert. Die USA beabsichtigen, noch vor dem nächsten Sonnenfleckenmaximum 5 OSO-Satelliten und 1965 den ersten von 3 OAO-Satelliten auf eine Umlaufbahn zu bringen.)

Die Raumstronomie kann, obwohl sie erst in den frühesten Anfängen steckt, schon jetzt mit schönen Erfolgen aufwarten.

1946/47 drang man im UV-Gebiet der Sonne bis 2200 Å vor. Das anfänglich schlechte spektrale Auflösungsvermögen der benützten Geräte wurde durch laufende Verbesserungen auf denselben hohen Stand gebracht, der die Bodenbeobachtung auszeichnet. 1962 war man bei 800 Å, 1963 bei 33 Å angelangt und schritt sogar zur Ausmessung der Linienprofile. Der Lohn dieser Anstrengungen war u. a. die Identifizierung von Linien hochionisierten Eisens, die im Laboratorium noch nicht produziert werden konnten. Die Bestimmung von γ -Linien begann 1961.

Die galaktische γ -Emission zwischen 912 und 30 Å wird tw. von interstellarer Materie absorbiert, nicht aber die Wellenlängen unter 30 Å.

Die neuentdeckten γ -Quellen im Skorpion und im Krabbennebel wurden vom Referenten besonders hervorgehoben.

Auf der langwelligen Seite des Spektrums gelang der Nachweis von Wasserdampf in den Atmosphären der Sterne Beteigeuze, Mira und R Leonis.

Angesichts der stürmischen Erfolge der Satellitentechnik könnte vielleicht bis 1975 ein 100-Zoll-Teleskop auf dem Monde oder in einer Außenstation montiert werden. Doch das ist vorderhand noch ein Wunschtraum.

3. Das Milchstraßensystem. (Bericht von G. H. Oort, Leidenobs., Holland.) Auf Grund langjähriger Forschungen ergibt sich folgendes Bild über den stofflichen Aufbau unserer Milchstraße. Der überwiegende Teil ihrer Materie ist in den Sternen vereinigt, welche 92—94% der Gesamtmasse ausmachen, nur 6—8% entfallen auf das interstellare Gas. Bei den Sternen werden zwei grundverschiedene Kategorien unterschieden: Population I und Population II.

Die Sterne der Population II weisen hohes Alter auf und verteilen sich auf ein nahezu kugelförmiges Volumen um den Mittelpunkt der Milchstraße als Zentrum. Die bekanntlich sehr alten Kugelhaufen gehören dazu, ebenso die kleinsten Unterzweige. Von den Veränderlichen sind die metallarmen RR-Lyrae-Sterne typische Angehörige der Population II. (RR-Lyrae-Sterne sind pulsierende Veränderliche mit einer Periode unter 1 Tag, δ -Cepheide-Sterne sind pulsierende Veränderliche, deren Periode 1 Tag überschreitet. Die Trennung der pulsierenden Sterne bei der Periode von 1 Tag ist nicht willkürlich, sondern unterscheidet 2 Gruppen nach tieferliegenden Kriterien. So ist die Geschwindigkeit der RR-Lyrae-Variablen bedeutend höher als die der Cepheiden.)

Das wenige interstellare Gas, das nach Bildung der Pop. II-Sterne übrigblieb (d. h. zur Sternbildung nicht mehr ausreichte), hat sich unter dem Einfluß der Gravitation in einer dünnen Scheibe (disk) angesammelt, welche sich bis zu einer Entfernung von ca. 25.000 Lj. vom galaktischen Zentrum eben erstreckt, dann aber aus vorläufig völlig unbekanntem Gründen auf einer Seite nach oben, auf der entgegengesetzten nach unten gebogen ist.

Pop. II-Sterne machen auf gestreckten, zum Teil stark gegen die galaktische Ebene geneigten Bahnen die Rotation der Milchstraße mit. In der „Nähe“ der Sonne sind sie etwa 5mal langsamer als das interstellare Gas.

Zur Population I gehören die jungen Sterne, heiße Überriesen, und die interstellaren Gaswolken, in denen sich laufend die Sternbildung vollzieht. Die Pop. I-Sterne bevölkern kein Kugelvolumen, sondern eine Schicht, deren Dicke nur etwa 1% des Durchmessers ausmacht. Ihre galaktische Rotation erfolgt längs Kreisbahnen ohne sonderliche Neigung gegen die galaktische Ebene.

Verteilung und Geschwindigkeit von Gas und Sternen zwingen zur Annahme, daß die Milchstraße vor sehr langer Zeit eine Kontraktion auf $\frac{1}{10}$ der ursprünglichen Abmessungen erfuhr.

Die Identifizierung des interstellaren Wasserstoffs sowie die Ermittlung seiner Bewegungstendenzen gelingt mit Hilfe der 21-cm-Linie im H-Radiospektrum, welche 1951 entdeckt wurde. In neuester Zeit sind auch — wesentlich geringfügigere — Ansammlungen des OH-Radikals nachgewiesen worden.

Als Ganzes liegt unsere Galaxis in einer H-„Atmosphäre“, die möglicherweise von außen ständigen Zuzug erhält. Die teilweise starke Polarisation der galaktischen Radiowellen deutet auf die Existenz weit ausgedehnter Magnetfelder hin. Polarisierte elektromagnetische Wellen werden nämlich als Synchrotronstrahlung interpretiert, welche in Magnetfeldern entsteht. Als Ursache des Magnetfeldes dürften Vorgänge im interstellaren Gas in Betracht kommen.

Von Interesse ist wohl noch die Feststellung, daß die kosmische Höhenstrahlung trotz ihres verschwindenden Anteils an der galaktischen Masse einen Energieinhalt repräsentiert, der mit dem des interstellaren Gases vergleichbar ist.

4. Veränderliche Sterne. Eines der interessantesten Kapitel der Astrophysik hat die veränderlichen Sterne zum Gegenstand. Das findet seinen Niederschlag in der intensiven Aktivität auf diesem Gebiet. Die größte Kommission der IAU ist dafür zuständig. 1958 wurde ein Katalog mit 14.708 Veränderlichen publiziert, der heute schon wieder überholt ist, weil seither Tausende neue Ver-

änderliche gefunden bzw. untersucht wurden. 1968 soll die nächste Auflage erscheinen.

a) **Flaresterne.** Charakteristisch für sie sind plötzliche Helligkeitsprünge, die in vereinzelt Fällen im zeitlichen Abstand von nur wenigen Sekunden erfolgen, während in den von Ausbrüchen freien Zeitintervallen keine Helligkeitsveränderung beobachtet wird. Die Flares werden nämlich Ausbrüchen derselben Art zugeschrieben, wie sie sich in erheblich kleinerem Umfang so häufig auf der Sonne abspielen. Interessant ist die Häufigkeit von Flaresterne in den Himmelsregionen akuter Sternbildung. Eine solche liegt im Orionnebel und enthält nicht weniger als 121 Flaresterne.

Der Zufall wollte es, daß ein Flare des Sternes YZ Can. min. am 8. 2. 1964 gleichzeitig vom Radioteleskop in Jodrell Bank (bei einer Frequenz von 408 und 240 MHz) und optisch von einer Beobachtungsstelle für Satelliten im Iran erfaßt wurde, welche die betreffende Himmelsgegend alle 2 min. fotografierte. Die Helligkeit stieg von $11,7^m$ auf $10,4^m$, d. h. auf das 3,3fache. Der Radioflare setzte gegenüber dem optischen ein klein wenig früher ein.

b) **RR-Lyrae Variable.** Bei ihnen entschied man sich für die Einführung einer Untergruppe RRs, in die alle Sterne mit Perioden zwischen 1^h und 4^h eingestuft werden.

c) **Irreguläre Variable.** Ganz im Dunkeln tappt man bezüglich gewisser völlig unregelmäßiger Sterne des südlichen Himmels. Vielleicht trägt ihre Oberfläche eine sehr unterschiedliche, zeitlich unbeständige Helligkeitsverteilung, die in Verbindung mit der Eigendrehung zu den merkwürdigen Lichtkurven führt.

d) **Cepheiden.** Sobald ein δ -Cephei-Stern eine Änderung des inneren Zustandes erfährt, müßte sich dies auf die Periodenlänge auswirken. Man ging nun daran, unter Annahme gewisser Zustandsmodelle den Einfluß von Strukturwandlungen zu berechnen. Danach läge die Periodenänderung für Sterne mit 11tägiger Periode zwischen 0,01 und 6% im Jahrhundert.

e) **Mikrovariable.** Das sind sehr langsam veränderliche Sterne, deren Perioden nach Dezennien zählen. Grundlage der Erörterungen war der Vergleich von Sternphotos derselben Objekte, die zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem 1. Weltkrieg aufgenommen wurden.

5. **Astronomische Konstante.** Ihre Neufestsetzung war ebenfalls Gegenstand eingehender Referate. Das Problem ist deshalb so dornig, weil die Konstanten nicht voneinander unabhängig sind (z. B. Lichtgeschwindigkeit und astronomische Einheit = A. E. = Entfernung Erde—Sonne) und jede Einzeländerung Auswirkungen auf die übrigen Werte nach sich zieht. Es handelt sich um die A. E. bzw. die Sonnenparallaxe, den Äquatordradius der Erde, die Lichtgeschwindigkeit, das Verhältnis der Massen von Erde und Mond, die Planetenmassen, die Präzessions- und die Nutationskonstante usw.

B. XII. internationale Konferenz über Hochenergiephysik

Gleichfalls im Sommer 1964, und zwar vom 5. bis 15. August fand in Dubna, dem Sitz des russischen Kernforschungsinstitutes, etwa 120 km nördlich von Moskau, unter dem Vorsitz des bekannten Atomphysikers D. I. Blochinzew eine Konferenz über Hochenergiephysik statt. Es wurden etliche sehr aktuelle Berichte erstattet und über manche Fragen eine weltweite Diskussion eingeleitet. Das gilt vor allem bezüglich des vorläufig ungeklärten Zerfalls des neutralen Kaons (=K-Meson) K_2^0 in zwei Pionen, der unmittelbar vor der Konferenz in den USA publiziert wurde und nach den geltenden Auffassungen gar nicht stattfinden dürfte. Im einzelnen kamen folgende Themen zur Sprache:

1. Berichte über Partikeln und deren charakteristische Zahlen

a) Das Teilchen Ξ^* mit der Masse von $1820 \text{ MeV}/c^2$ [durch den Stern wird ein angeregter Zustand angedeutet; die Partikelmasse wird nicht mehr als Vielfaches der

Elektronenmasse m_e angegeben sondern durch ihr Energieäquivalent $E = \frac{M}{c^2}$ in $\frac{\text{MeV}}{c^2}$. Dieser Wert wird zumeist in Klammern hinter das Teilchensymbol gesetzt. Hier also $\Xi^* (1820)$] konnte nunmehr auch an der Ecole polytechnique nachgewiesen werden (entdeckt wurde es in Berkeley). Sein Isospin ist $I = \frac{1}{2}$ (d. h. ein Ladungsdublett).

Spin J und Parität P kennt man noch nicht.

b) Der Isospin des f^0 -Mesons ergab sich auf Grund von 6 verschiedenen Messungen gleich 0. Für den Spin J wird der Wert 2 vermutet.

c) Isospin, Spin und Parität der Resonanzen A_1 und A_2 scheinen einigermaßen festzustehen:

$$A_1 \text{ hat } I=1, J^P=1^+ \text{ oder } 2^-, \\ A_2 \text{ hat } I=1, J^P=2^+.$$

(Spin J und Parität P werden in ein Symbol J^P zusammengefaßt, indem rechts oberhalb des Wertes von J + bei gerader, — bei ungerader Parität notiert wird.)

d) Beobachtung einer neuen Resonanz χ^0 , welche in ein Photon und zwei Pionen zerfällt.

e) Wiederbeobachtung von K (725) in anderer Weise.

f) Wiederbeobachtung von $Y_1^*(1660)$ mit $J^P = \frac{3^+}{2}$.

g) Von Ω^- konnte die Masse mit $1675 \pm 3 \text{ MeV}/c^2$ bestimmt werden. Der Produktionswirkungsquerschnitt der Partikel ist $\sigma = 2\mu\text{b} = 2 \cdot 10^{-30} \text{ cm}^2$. ($1\text{b} = 1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$.)

2. **Elastische p-p Vorwärtsstreuung.** Nach wie vor stehen Streuexperimente auf dem Programm jedes HochenergieLABs. Von elastischer Streuung wird gesprochen, wenn keine anderen Teilchen oder Photonen bei der Reaktion entstehen. p-p Streuung ist die Streuung eines Protonenstrahls an einem Protonentarget (etwa flüssigem Wasserstoff).

Ein Forschungsteam unter Leitung von Yuan und Lindenbaum untersuchte in Brookhaven die Streuung von Protonen und Pionen an Protonen (p-p und π -p Streuung).

Es stellte sich heraus, daß die auftretenden Coulombkräfte die Wechselwirkungen im Falle von p-p und π^+ -p Ereignissen fördern, bei π^- -p Ereignissen jedoch schwächen. Grundlage aller theoretischen Untersuchungen ist die Abhängigkeit der Zählrate der gestreuten Partikeln vom Streuwinkel θ zwischen diesen und der Richtung des einfallenden Strahls. Bei $\theta=0^\circ$ wird von Vorwärtsstreuung gesprochen. Dabei ergaben sich unerwartete Ergebnisse, deren Erklärung und Diskussion wegen der Schwierigkeit des Stoffes an dieser Stelle unterbleiben muß.

3. **Das W-Boson.** Die Energiequanten der Atomhülle sind Photonen, die das Atom emittiert, sobald Elektronen in andere stationäre Zustände übergehen. Die Photonenenergie ist gleich der Energiedifferenz zwischen End- und Anfangszustand. Die Photonen sind die Energiequanten des elektromagnetischen Feldes.

Analog sind die Mesonen die Energiequanten des Kernfeldes. Geht eine Partikel mit starker Wechselwirkung (d. h. ein Teilchen, das auf die Kernkräfte anspricht, die zwischen Nucleonen herrschen und welche für die Konstituierung von Kernen verantwortlich sind) in einen energetisch tieferen Zustand über, dann kann sich die Energiedifferenz in Mesonen materialisieren. Infolge der sehr kurzen Lebensdauer zerfallen die Mesonen jedoch weiter, bis der energetisch tiefste Zustand (Elektron, Positron, Neutrino) erreicht ist.

Neben den Coulomb- und Kernkräften gibt es noch die sogenannten schwachen Wechselwirkungen, auf deren Konto der β -Zerfall zu buchen ist. Schwache Wechselwirkungen herrschen im Reich der leichtesten Teilchen, der Leptonen, zu denen Elektron e^- , Positron e^+ , Elektronenneutrino ν_e und -antineutrino $\bar{\nu}_e$, Myonen-neutrino ν_μ und -antineutrino $\bar{\nu}_\mu$, positives und negatives Myon μ^+ , μ^- zu zählen sind. Da auch sie quantenmechanischen Gesetzen unterliegen, müßte es typische Quanten des Feldes der schwachen Wechselwirkungen geben. Seit Jahren bemüht man sich vergeblich, diese Quanten experimentell nachzuweisen. Konkret gesprochen handelt es sich um den Nachweis des sogenannten intermediären W-Bosons, das etwa dem Myon des Kernfeldes ent-

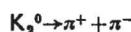
sprache. (Bosonen sind Teilchen mit ganzzahliger Spinquantenzahl $J=0, 1, 2, \dots$, welche nicht dem Pauliverbot unterworfen sind; Teilchen mit halbzahligem Spin $J=\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$ heißen Fermionen.)

Die sorgfältigen Neutrinoexperimente, die seit Mitte 1963 bei CERN laufen, haben wieder keine Spur des hypothetischen W-Bosons ans Licht gebracht, nachdem man vorher auch schon in Brookhaven — allerdings mit weniger vollkommenen Geräten — hinter ihm her war. Man kann heute sagen: Ein W-Boson, das mit einer Masse von weniger als $1,8 \text{ MeV}/c^2$ nur an Leptonen gebunden ist, scheint nicht zu existieren.

Das ist sehr enttäuschend für die Forscher, aber ungemein anregend für die Forschung, denn in aller Welt wird jetzt umso hartnäckiger die Aufklärung gesucht.

4. Der Zerfall von K_s^0 in zwei Pionen (2π -Zerfall).

Am 27. Juli 1964, 9 Tage vor dem Beginn der Dubna-Konferenz, war in den Phys. Rev. Letters auf S. 138 ein Artikel der vier Physiker J. H. Christenson, J. W. Cronin, V. L. Fitch, R. Turley der Universität Princeton erschienen, in dem über ein Experiment berichtet wurde, das dieses Team am 33-GeV-Synchrotron von Brookhaven ausgeführt hatte. Bei der Beobachtung eines Strahls von K_s^0 -Mesonen (eine bestimmte Art neutraler Kaonen, die zusammen mit K_l^0 -Mesonen das Kaon K^0 und das Antikaon \bar{K}^0 ergeben. Näheres im anschließenden Artikel) hatte man 45 ± 10 Ereignisse der Art



festgestellt, die nach den jetzigen Vorstellungen verboten sind, weil durch sie gewisse Symmetrien verletzt werden, die bis dahin als unantastbar galten. Die Meldung schlug wie eine Bombe ein und wurde von den Konferenzteilnehmern bei jeder sich bietenden Gelegenheit aufgeregt diskutiert. Da noch eine andere Gruppe in Illinois zu ähnlichen Befunden gekommen war, konnte an der Sauberkeit der Experimente schwerlich gezweifelt werden. Als vielleicht interessanteste Deutung wurde vorgeschlagen, den Zerfall in zwei Teilchen als einen Effekt einer fünften Naturkraft anzusehen. Natürlich ist dieser Vorschlag einigermaßen theoretisch fundiert.

Seither beschäftigt sich nicht nur die Fachliteratur eingehend mit der Frage, man bereitet bei CERN sogar schon Experimente vor, die eine gewisse Klärung bringen könnten.

Literatur:

Zu A:

1. Sky and Telescope, Nov. 1964, S. 264. „New Advances: Sun, Space Astronomy, the Galaxy“.
2. Sky and Telescope, Jänner 1965, S. 19. „Astronomical Notes from Hamburg — 2“.

Zu B:

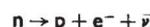
1. Physics Today, Dez. 1964, S. 38. N. P. Samios: „High Energy Physics, The 1964 Conference at Dubna“.
2. CERN-Courier, Sept. 1964, S. 118. „Dubna Conference“.
3. Phys. Rev. Letters, 27. Juli 1964, S. 138. J. W. Cronin et al.: „Evidence for the 2π Decay of the K_s^0 Meson“.

Der 2π -Zerfall von K_2^0 Folge einer fünften Naturkraft?

Die Liste der fundamentalen Naturkräfte war bis vor wenigen Jahrzehnten recht kurz: Alle dynamischen Erscheinungen gingen entweder auf die Gravitation oder den Elektromagnetismus zurück. Die Analyse des Aufbaues der Atome bereicherte unser diesbezügliches Wissen um die Kernkräfte, da ohne sie eine Bindung der gleichgeladenen Protonen auf engstem Raum unvorstellbar blieb. Sie müssen sogar, wie die außerordentliche Stabilität der uns umgebenden Materie beweist, die Coulombschen Wechselwirkungen um etwa den Faktor 100 übertreffen. Wie sich

herausstellte, ist jedoch ihre Reichweite auf Abstände von höchstens einigen Fermi ($1f=10^{-13} \text{ cm}$) beschränkt. Die Kernkräfte werden heute allgemein als starke Wechselwirkungen bezeichnet, weil sie nicht nur zwischen Nukleonen (=Protonen und Neutronen), sondern zwischen sämtlichen schweren (Baryonen) und mittleren (Mesonen) Teilchen wirken. (Man beachte, daß das Myon, das in der Literatur auch heute noch häufig als μ -Meson bezeichnet wird, nur einem wissenschaftlichen Irrtum den letztgenannten Namen verdankt. Es war die erste der vielen neuartigen Partikeln, deren Entdeckung 1936 einsetzte und wurde zunächst fälschlich für eines der von Yukawa vorausgesagten Quanten des Kernfeldes, d. h. für ein Meson gehalten. Das Myon gehört in Wirklichkeit zu den leichten Teilchen, den Leptonen. Zu den Leptonen zählen außerdem: Elektron, Positron, Neutrinos, Photon.)

Leptonen sprechen auf Kernkräfte nicht an. Dennoch existiert ein Zerfallmodus, bei dem Leptonen frei werden, der β -Zerfall. Der Übergang



des freien Neutrons in Proton, Elektron und Antineutrino ist ein besonders häufiges Beispiel für eine Umwandlung, die weder durch Kern- noch durch Coulombkräfte erklärt werden kann. Man sah sich deswegen gezwungen, eine vierte Naturkraft anzunehmen, die sogenannte schwache Wechselwirkung.

Obwohl die meisten Fragen über starke und schwache Wechselwirkungen noch unbeantwortet sind, überraschte uns die Natur mit einer Erscheinung, die vielleicht auf das Wirken einer fünften Kraftart hinweist.

Im Juli 1964 publizierten die vier Physiker der Universität Princeton, Christenson, Cronin, Fitch und Turley das Ergebnis ihrer Versuche über den Zerfall des K_s^0 -Mesons, welche sie am 33-GeV-Synchrotron von Brookhaven ausgeführt hatten. Das Studium der Zerfallsspuren hatte gezeigt, daß neben dem üblichen Zerfall in drei Teilchen (z. B. in zwei Pionen) gelegentlich Übergänge in zwei Pionen stattfinden. (Man bezeichnet den Übergang kurz als 2π -Zerfall von K_s^0 .) Das wäre weiter nicht aufregend, wenn nicht ein K_s^0 -Zerfall in zwei Teilchen einem bis jetzt sehr bewährtem Grundsatz widerspräche: der sogenannten CP-Invarianz.

Um das alles zu verstehen, sind zwei erläuternde Vorbemerkungen nötig.

1. $K^0, \bar{K}^0, K_1^0, K_2^0$. Das K-Meson (=Kaon) hat die Masse $496 \text{ MeV}/c^2$, die Hyperladung $Y=+1$ und den Isospin $I=\frac{1}{2}$, tritt also in zwei Ladungszuständen auf: neutral und einfach positiv geladen (Ladungsdublett). Die Antiteilchen sind \bar{K}^0, K^- , wobei \bar{K}^0 und K^0 nicht identisch sind (sehr zum Unterschied zum neutralen Pion π^0 , das mit seinem Antiteilchen zusammenfällt.) Merkwürdigerweise kann K^0 in \bar{K}^0 übergehen, obwohl beide verschiedene Eigenschaften besitzen. Man war daher zur Annahme gezwungen, daß K^0 und \bar{K}^0 verschiedene „Mischungen“ zweier Teilchen K_1^0 und K_2^0 sind, wie auch umgekehrt die letzteren beiden als verschiedene „Mischungen“ von K^0 und \bar{K}^0 anzusehen sind. Die Bildung der Kaonen erfolgt nämlich durch starke, ihr Zerfall durch schwache Wechselwirkungen. Der Aufbau produziert K^0, \bar{K}^0 , der Zerfall ergreift hingegen K_1^0, K_2^0 . Dieser schwer erfassbare Sachverhalt kann vielleicht durch den Hinweis auf eine Erscheinung bei Schwingungen verdaulicher gemacht werden.

Zwei entgegengesetzt zirkular polarisierte Schwingungen gleicher Amplitude geben zusammen eine linear polarisierte Schwingung. Zweisenkrehtzueinander linear polarisierte Schwingungen gleicher Amplitude und dem Phasenunterschied 90° ergeben eine zirkular polarisierte Schwingung. Zirkular polarisiertes Licht ist also stets ein Gemisch zweier linear polarisierter Strahlen und gleichzeitig resultiert linear polarisiertes Licht aus zwei zirkular polarisierten Strahlen.

Die Lebensdauer von K_1^0 beträgt 10^{-10} sek, von K_2^0 $5 \cdot 10^{-8}$ sek. Daher verändert sich das Verhältnis der Anteile von \bar{K}_1^0, K_2^0 , die einen Kaonenstrahl konstituieren, mit der Zeit zugunsten der langlebigeren Komponente K_2^0 . Das heißt aber, daß sich auch die Mischungsanteile von K^0, \bar{K}^0 verschieben. Ein reiner K^0 -Strahl wird binnen kurzem nur mehr K_2^0 enthalten, und das läuft auf die

Bildung von \bar{K}^0 hinaus (=kohärente Regeneration von \bar{K}^0). Umgekehrt reagiert \bar{K}^0 öfter mit Materie als K^0 , so daß der Durchgang durch Materie den \bar{K}^0 -Anteil schwächt, was wieder als Regeneration von K_1^0 interpretierbar ist. Man sieht, die neutralen Kaonen machen uns das Leben nicht gerade leicht!

2. CPT-Invarianz. Wenn in einer Reaktion alle Ladungsvorzeichen geändert werden, spricht man von Ladungskonjugation. Als Ladungen gelten hierbei nicht nur die elektrischen, sondern auch gewisse ladungsartige Quantenzahlen, wie etwa die Baryonenladung, obwohl diese keine Quelle eines Feldes ist. Antiteilchen haben entgegengesetzte Baryonenladung. Der Reaktion

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

ist zum Beispiel durch Ladungskonjugation die Reaktion

$$\bar{n} \rightarrow \bar{p} + e^+ + \nu$$

zugeordnet.

Eine Reaktion heißt invariant gegen Ladungskonjugation (kürzer: C-invariant), wenn auch die konjugierte Reaktion stattfinden kann, und zwar mit denselben Kräften und Begleiterscheinungen. Sehr viele Mikrovorgänge sind C-invariant.

Eine andere Klasse zugeordneter Reaktionen erhält man durch Vorzeichenwechsel sämtlicher Koordinaten der am Vorgang beteiligten Partikeln oder, was dasselbe ist, durch Betrachtung des Geschehens in einem Spiegel. Ist auch der gespiegelte Vorgang dynamisch völlig gleichartig realisierbar, dann heißt die Reaktion P-invariant (=paritätsinvariant).

Schließlich kann noch der Zeitablauf umgedreht werden wie bei einem verkehrt gespielten Film. Erhält man wieder einen in der Natur gleichartig verlaufenden Prozeß, so wird von T-Invarianz gesprochen. Zum Beispiel

$$p + \bar{p} \rightarrow \gamma + \gamma \dots \text{Paarvernichtung}$$

$$\gamma + \gamma \rightarrow p + \bar{p} \dots \text{Paarerzeugung.}$$

Bei Teilchen mit starker Wechselwirkung ist jede der drei aufgezählten Invarianzen für sich erfüllt.

Die Allgemeingültigkeit der CP-Invarianz ist bei allen Physikern ziemlich tief verwurzelt. Das bedeutet, daß zwar nicht jeder Vorgang sowohl C- als auch P-invariant sein muß, daß aber stets Invarianz bei gleichzeitigem Wechsel aller Ladungs- und Koordinatenvorzeichen herrscht.

Die CP-Bilanz einer Reaktion kann erstellt werden, indem man jedem beteiligten Teilchen sowohl für C als auch für P je nach seinem Verhalten die Zahlenwerte ± 1 zuordnet. Multipliziert man diese Zahlen aller Partikeln vor der Reaktion und ebenso aller Teilchen nach der Reaktion, so müssen die Produkte übereinstimmen.

K_1^0 zerfällt immer in zwei Pionen, daher ist das Produkt $(-1) \cdot (-1) = +1$. K_2^0 zerfällt vorwiegend in 3 Pionen, also muß K_2^0 der Faktor (-1) zugeschrieben werden. Wenn daneben auch 2π -Zerfälle eintreten, ist die CP-Invarianz als verletzt anzusehen.

Das Aufgeben der CP-Invarianz fällt dem Physiker allerdings ziemlich schwer. Daher ist seit der eingangs erwähnten Publikation eine angeregte internationale Diskussion im Gange, die sich lebhaft in vielen Artikeln der Fachzeitschriften widerspiegelt. Ein stark beachteter Vorschlag ist die Annahme einer fünften Naturkraft, welche K_2^0 wieder in K_1^0 rückführt, auch bei Abwesenheit von Masse in der nahen Umgebung der Reaktion. Etwa so, daß diese Kraft von der Materie unserer Galaxie auf weite Distanzen, aber sehr schwach ausgeübt wird und auf Antiteilchen anders wirkt als auf Teilchen. Dadurch ergäbe sich eine Differenz der potentiellen Energie von Teilchen und Antiteilchen in diesem neuen Kraftfeld, die aber wegen ihrer Winzigkeit — etwa 10^{-8} eV — einer Messung kaum zugänglich ist und vorläufig nur bei Kaonen einen wahrnehmbaren Effekt erzielt, nämlich den 2π -Zerfall. Bell und Perring haben darüber eine rohe Überschlagsrechnung angegeben. (Siehe Lit.-Verzeichnis am Schluß.) Die Autoren meinen, dieses Feld könnte mit der Hyperladung in ähnlicher Weise verknüpft sein wie das Coulombfeld mit den elektrischen Ladungen, nur ungleich schwächer als die Gravitation.

Ein anderer Vorschlag stammt von L. J. Lipkin und A. Abashian. Sie weisen darauf hin, daß die Annahme der

Existenz eines weiteren von den bis jetzt bekannten K^0 -Mesonen unabhängigen neutralen Kaons den 2π -Zerfall von K_2^0 ohne Verletzung der CP-Invarianz erklären könnte. Allerdings würde dies die Lage außerordentlich komplizieren.

Die Version, das Experiment wäre fehlerhaft durchgeführt worden, scheidet aus, nicht nur, weil es sehr kritischen Überprüfungen standhielt, sondern vor allem deshalb, weil ein anderes Team in selbständigen Untersuchungen ebenfalls 2π -Zerfälle von K_2^0 konstatiert hatte.

Die Hypothese einer fünften Kraft führt glücklicherweise zu experimentell überprüfbareren Konsequenzen. Theoretisch müßte die Zerfallsrate von $K_2^0 \rightarrow 2\pi$ von der Kaonenenergie abhängen. Ein derartiger Versuch mit energiereicheren Kaonen wurde bei CERN im Herbst 1964 ins Auge gefaßt. Die Vorbereitungen hiezu liefen gleichzeitig an.

Beim Brookhaven-Experiment wurden 30-GeV-Protonen im AGS (=Alternating-Gradient-Synchrotron) erzeugt und auf ein Be-Target im Inneren des Ringkanals geschossen. In der Entfernung von zirka 17 m vom Target befand sich der Kollimator, den nur mehr K_2^0 -Mesonen passierten, weil auf der Laufstrecke die kurzlebigeren K_1^0 -Mesonen schon zerfallen waren. Zwei symmetrisch zu beiden Seiten des K_2^0 -Strahls angeordnete Detektoren bestanden aus einem starken Magnetfeld zwischen 2 Funkenkammern. Die Funkenkammern wurden von knapp hintereinander liegenden Szintillations- bzw. Wasser-Cerenkov-Zählern in Koinzidenzschaltung gesteuert. Letztere waren nach der vom Target entferntesten Funkenkammer montiert. Unter Berücksichtigung aller Zerfallsmöglichkeiten betrug die Anzahl der 2π -Zerfälle das $(2,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-2}$ fache sämtlicher Zerfälle von K_2^0 .

Literatur:

1. Phys. Rev. Lett., 27. 7. 64, S. 138. J. H. Christenson et al.: „Evidence for the 2π Decay of the K_2^0 -Meson“.
2. Phys. Rev. Lett., 7. 9. 64, S. 348. J. S. Bell und J. K. Perring: „ 2π Decay of the K_2^0 Meson“.
3. CERN Courier, Heft 9, Sept. 64, S. 118. „Last Month at CERN“.
4. Physics Letters, 15. 1. 65, S. 151. H. J. Lipkin, A. Abashian: „A Possible Explanation for $K \rightarrow 2\pi$ Decays Without CP Violation“.

Neues von CERN — Modernste Teilchentrennanlage seit Jänner 1965 in Betrieb

Unsere Zeit ist schnellebig. Das zeigt sich besonders deutlich bei allen Arten von Rückblicken, in denen neuere Entwicklungen der letzten Dekaden verfolgt werden. Was gestern noch heftig die Gemüter bewegte, ist heute, wenn nicht ein Ladenhüter, so doch in die Schattenzone der Beachtung gedrängt, in der sich das Routinemäßige zu vollziehen pflegt.

Noch ist kein Jahrzehnt verflossen, seit die Welt den Atem anhielt, als die ersten kosmischen Flugkörper den Zwang der Erdschwere abschüttelten, und schon kreisen viele hundert Raumsonden um Erde und Sonne. Die Menschen nehmen kaum noch Notiz von den kurzen Agenturmeldungen, die einen neuen Start der Öffentlichkeit mitteilen.

Noch viel ausgeprägter äußert sich dieser Zug der Zeit bei der Berichterstattung über den Ausbau der großen Forschungsstätten der Erde, zu denen CERN, das europäische Kernforschungsinstitut in Meyrin bei Genf, gehört. Obwohl die dort geleistete Arbeit buchstäblich die Fundamente der Welt von morgen mit errichtet, weiß weder die breite Masse noch auch der Redaktionsstab der meisten Presseerzeugnisse damit viel anzufangen. Angesichts der Unzugänglichkeit der modernen physikalischen Forschungsprogramme für den Außenstehenden darf der mangelnde

Blick für das wirklich Wichtige niemand zum Vorwurf gemacht werden.

Um so höher ist die Verpflichtung für den Physiklehrer, sich über diese Dinge so weit zu orientieren, daß er imstande ist, seine Schüler an den im verborgenen arbeitenden Motor des Weltgeschehens heranzuführen und ihr Unterscheidungsvermögen für Bedeutungsvolles und bloß Auffälliges zu schärfen.

Am 29. September 1964 jährte sich zum zehnten Male der Tag, an dem das Übereinkommen von 13 europäischen Staaten betreffend die ständige Organisation eines gemeinsamen Kernforschungszentrums in Kraft trat. In diesen zehn Jahren hat sich das Institut zu einer in der Welt führenden Einrichtung emporgearbeitet, bahnbrechende Entdeckungen auf den Gebieten der Teilchen- und Hochenergiephysik gemacht und in einigen Sparten sogar Spitzenleistungen erreicht, die vorläufig weder in Brookhaven noch in Berkeley noch in Dubna reproduziert werden können.

Als im Jahre 1959 der Betrieb des Protonensynchrotrons in Meyrin aufgenommen wurde, zeigte sich bereits die hervorragende Qualität der Anlage. Die Maximalenergie der beschleunigten Protonen übertraf mit 28 GeV den erwarteten Scheitelwert von 25 GeV um 12%. Das wurde damals auch ausführlich in der Presse gewürdigt, ebenso erschienen zahlreiche Artikel, die sich — mitunter recht eingehend — mit den Konstruktionsdaten des Synchrotrons näher befaßten. Seither ist es wieder still geworden, nur gelegentlich finden sich wenig beachtete Hinweise auf die Entdeckung dieses oder jenes neuen Teilchens im Rundfunk und in den Zeitungen. Man hat die Existenz der europäischen Forschungsstätte zur Kenntnis genommen wie etwa den Bau einer Schnellbahn oder die Indienstellung von Schiffen mit Kernenergieantrieb. Der Laden läuft, und damit ist die Sache erledigt! Der gewaltige Unterschied zwischen neu und neu wird total verkannt.

Schnellbahn und Reaktoren in Schiffen sind nämlich Endresultate einer technischen Entwicklung, die Eröffnung einer Kernforschungsstätte ist hingegen ein Anfang. Wer Forschungsarbeiten ständig im Auge behält, der nimmt an einer Entdeckungsfahrt teil, die Dinge enthüllt, deren Vielfalt und Eigenart auch den mit lebhafter Phantasie ausgestatteten Beobachter ab und zu vor Staunen der Sprache beraubt. Oder gibt es auch nur einen einzigen Menschen, der geahnt hätte, daß die Anzahl der materiellen Bausteine nach 1934 von vier auf über hundert steigen würde? Daß sich Symmetriegesetze abzeichnen könnten, welche in die verwirrende Vielfalt der Partikelarten Ordnung und Übersicht zu bringen versprechen, wobei jene schon so ausreichend fundiert sind, daß mit ihrer Hilfe die Existenz neuer Teilchen vorausgesagt werden konnte, die daraufhin tatsächlich gefunden wurden? Daß das unsagbar reaktionsscheue Neutrino als Hauptakteur im Mittelpunkt monatelanger Versuchsreihen stehen würde? Daß man sogar daran denkt, die Streuung von Photonen an Photonen herbeizuführen und zu studieren? Es gäbe noch etliche solcher „Daß“-Sätze, doch wollen wir lieber unsere Aufmerksamkeit der detaillierten Schilderung der jüngsten Errungenschaft von CERN zuwenden, dem sogenannten r.f.-Separator (=Radiofrequenz-Separator).

1. Die Hochfrequenz-Trennanlage für geladene Teilchen

Jeder Strahl von Hochenergieprotonen, der auf ein Target fällt, löst einen Schauer der verschiedenartigsten Sekundärteilchen aus. In der Blasen- und in der Funkenkammer erzeugen sie Spuren, deren Photos eine Fundgrube noch unbekannter Mitglieder der großen Familie der Mikrobausteine sind. Wünscht man in ihre Natur tiefer einzudringen, dann müssen allerdings die Wechselwirkungen zwischen artverschiedenen Partikeln genau studiert werden. Das kann aber nur geschehen, wenn es gelingt, die einzelnen Partikelarten sauber voneinander zu trennen. Nur unter dieser Voraussetzung ist es möglich, mit einheitlich zusammengesetzten Strahlen weiter zu experimentieren und die Vermischungseffekte zu eliminieren.

Bislang erfolgte die Trennung geladener Teilchen mit Hilfe starker Magnetfelder, welche die Bahnen je nach der Größe des Teilchenimpulses verschieden stark krümmen. Der gebündelt einfallende Strahl wird im Magnetfeld aufgefächert, und sämtliche Partikeln mit demselben Impuls vereinigen sich an der gleichen Stelle (Impulsfokussierung).

Nun ist aber der Impuls von der Masse und von der Geschwindigkeit abhängig. Daher unterscheiden sich verschiedene Teilchensorten wegen ihrer Massenungleichheit hinsichtlich der Geschwindigkeit, obwohl sie im Impuls übereinstimmen.

Um einen „reinen“ Strahl zu erhalten, muß also noch zusätzlich ein Geschwindigkeitsseparator hinter dem Impulsdiskriminator angebracht werden. Dazu eignen sich elektrostatische Felder, solange die Geschwindigkeitsdifferenzen beträchtlich sind. Wenn jedoch die Energie im GeV-Bereich liegt, haben alle Partikeln nahezu Lichtgeschwindigkeit. Das zwingt zum Bau gigantischer Kondensatoren, zwischen deren beiden Platten der Strahl läuft. Um eine Vorstellung von der Dimensionierung derartiger Vorrichtungen zu vermitteln, sei erwähnt, daß bei CERN eine Platte 9 m lang ist, der Plattenabstand 10 cm und die Potentialdifferenz zwischen den Platten 500.000 V beträgt. Drei dieser Ungetüme sind hintereinander geschaltet, um 6-GeV/c-Kaonen zu isolieren. (Der Impuls wird in GeV/c angegeben, wobei c die Lichtgeschwindigkeit ist.)

Es ist klar, daß diese Methode nicht mehr in vernünftig realisierbarer Weise ausbaufähig ist. Deshalb war man bemüht, bessere Möglichkeiten ausfindig zu machen. Vorschläge von W. K. H. Panovsky (Stanford Univ. 1956) und V. I. Veksler (UdSSR 1958) wiesen den Weg. 1959 hatte Panovsky seine Ideen so weit konkretisiert, daß mit dem Bau der Trennanlage begonnen werden konnte. Anfang 1965 war sie fertiggestellt. Seither verfügt CERN über die modernste, mit Abstand leistungsfähigste Einrichtung dieser Art in der Welt, welche neuerlich dazu beiträgt, den Ruf des Europäischen Kernforschungsinstituts als eines der führenden Hochenergielaboratorien zu rechtfertigen.

In den Hochfrequenzseparator gelangt ein Strahl, dessen Teilchen bereits einheitlichen Impuls (mit Abweichungen von höchstens $\pm 1\%$) besitzen. Er tritt in einen Hohlraum H_1 ein, der ein 3 Meter langer Wellenleiter ist. In ihm schreitet gleichzeitig eine Radiowelle der Frequenz 2855 MHz ($\lambda = 10,5$ cm) fort. Im Abstand von 50 m befindet sich ein zweiter Hohlraum H_2 derselben Art.

Begleiten wir im Geiste ein Teilchen X von dem Augenblick an, in dem es H_1 erreicht. Das Feld der gleichzeitig eingespelsten elektromagnetischen Welle erfährt X und lenkt es von der geradlinigen Bahn um den Winkel β ab. Die Ablenkung kann nach beiden Seiten des einfallenden Strahls mehr oder weniger stark erfolgen, je nachdem, in welcher Phase die Welle auf X einzuwirken beginnt. Der größte Wert von β sei α . Der Deflexionswinkel ist gleich α , wenn die Feldstärke der Welle im Moment der Wechselwirkung mit dem Teilchen maximal ist. Wegen der sehr hohen Teilchenenergie fliegt dieses fast mit Lichtgeschwindigkeit und bleibt längs der 3 m langen Strecke in H_1 mit der Welle praktisch in Phase. Da die X-Partikeln mit den Wellen in allen möglichen Phasenzuständen zusammentreffen, bilden sie beim Verlassen von H_1 einen Fächer vom Öffnungswinkel 2α , der symmetrisch zum einfallenden Strahl liegt.

Ein starkes Magnetfeld sorgt dafür, daß der Teilchenfächer wieder allmählich zusammengebogen und schließlich im zweiten Hohlraum H_2 fokussiert wird. Das heißt also, der Bahnverlauf zwischen H_1 und H_2 ist spiegelbildlich: In H_1 fällt ein scharf begrenzter Strahl ein und divergiert hinter H_1 fächerförmig; in H_2 fällt ein konvergierender Fächer ein. Dort treffen die X-Partikeln wieder mit der Radiowelle zusammen, die sich — wegen der nahezu gleichen Geschwindigkeit von Teilchen und Welle — fast in der gleichen Phase befindet wie bei der ersten Koinzidenz in H_1 . Daher erfährt jedes X in H_2 gleichsinnig dieselbe Ablenkung wie in H_1 , es verläßt H_2 auf einer Bahn, die von der durch den einfallenden Strahl definierten Achse um den Winkel 2β — d. i. maximal um 2α — abweicht. Die X-Partikeln zeigen hinter H_2 eine Auffächerung mit dem Öffnungswinkel 4α (nach beiden Seiten der Achse je 2α).

Nehmen wir an, der primäre Strahl enthalte neben den X-Teilchen auch Y-Partikeln, die um 1% langsamer seien. (Praktisch besitzen beide Lichtgeschwindigkeit, X ist um 300 km/sek rascher als Y.) Auf der Strecke von 50 m, die zwischen H_1 und H_2 liegt, bleibt Y um 5 cm hinter X zurück. Während X, wenn es in H_1 zufällig auf einen Wellenberg der Radiowelle trifft, auf diesem auch wieder in H_2 zu „sitzen“ kommt, würde ein Y wegen der Nach-eilung von 5 cm in H_2 gerade ins Wellental fallen und

dort eine gegensinnige Ablenkung erfahren, welche die erste Deflexion in H_1 kompensiert. Die Y -Teilchen verlassen daher H_2 wieder als eng begrenzter Strahl, den man von einem geeigneten Hindernis absorbieren lassen kann. Der 4. α -Fächer der X -Teilchen wird nochmals fokussiert und steht als einheitlicher Strahl für weitere Experimente zur Verfügung. In erster Linie wird es sich dabei um Blaskammeraufnahmen handeln.

Die Mikrowellen werden in H_1 und H_2 in kurzen Pulsen von 8 μ sec eingespeist, kontinuierlicher Betrieb ist vorläufig noch nicht möglich. In jeder Sekunde erfolgt ein Puls. Die Leistung der Wellen läßt sich bis zu 20 MW steigern!

Die große Bedeutung des neuen Gerätes geht unter anderem daraus hervor, daß bis jetzt bei ähnlichen Versuchen in Stanford (USA) und Orsay (Frankreich) Elektronenenergien von höchstens 50 MeV bzw. 400 keV manipuliert wurden, der CERN-Separator am 25. Jänner 1965 jedoch Kaonen von 10 GeV/c einwandfrei von den Pionen abgetrennt hat.

2. Überprüfung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit

Obwohl seit 1905, dem Jahre, in welchem die Spezielle Relativitätstheorie publiziert wurde, sechs Dezennien vergangen sind, wird die Grundaussage, auf die sich das Einsteinsche Gedankengebäude stützt, immer wieder auf ihre Richtigkeit überprüft. Wir meinen die Unabhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen vom Bewegungszustand des Beobachters oder der Strahlungsquelle.

Die „Wissenschaftlichen Nachrichten“ berichteten in Nr. 4 vom Jänner 1964, S. 3, über den Versuch von D. Sadeh (Israel), der sich die Bestimmung der Geschwindigkeit der beiden γ -Quanten zur Aufgabe stellte, die nach entgegengesetzten Seiten ausgestrahlt werden, wenn rasch bewegte Positronen im Fluge mit Elektronen in Wechselwirkung treten und durch Zerstrahlung ihr Dasein als Teilchen einbüßen. Das Ergebnis war eine klare Bestätigung des Wertes $c = 2,9978 \cdot 10^{10}$ cm/sec.

Nun wurde bei CERN ein ähnliches Experiment ausgeführt. Diesmal waren es ganz rasch fliegende neutrale Pionen, welche — wieder im Fluge — γ -Quanten produzierten. Da die Pionengeschwindigkeit lediglich um 75 km/sec (das sind 0,025% von c) hinter der des Lichtes zurückbleibt, war vom Versuchsergebnis eine klare Entscheidung darüber zu erwarten, ob sich die Geschwindigkeitsvektoren klassisch oder relativistisch addieren. Im ersten Falle hätte die in der Bewegungsrichtung laufende Welle mit $2 \cdot c$ fortschreiten müssen.

Das Experiment fiel eindeutig zugunsten der relativistischen Kinematik aus. Die untersuchten Photonen besaßen die Vakuumlichtgeschwindigkeit innerhalb einer Fehlergrenze von 0,01%, obwohl der Emittor selbst praktisch mit Lichtgeschwindigkeit dahinflog. Ein sehr überzeugender Versuch!

Gemessen wurde die Zeit, in der die γ -Strahlen eine Meßstrecke von 30 m Länge durchliefen.

3. Weitere Leistungen von CERN im zweiten Halbjahr 1964 (Mai bis November)

Verbrauch an elektrischer Energie	40,43 GWh
Maximale verbrauchte Leistung	18,658 MW
Verbrauch an Kühlwasser	$2,25 \cdot 10^6$ m ³
Länge der Kühlwasserröhre	1,2 km
Das Protonensynchrotron beschleunigte insgesamt	$3 \cdot 10^{18}$ Protonen
Auf einen Puls entfielen im Durchschnitt	$7,5 \cdot 10^{11}$ Protonen
Auf einen Puls entfielen maximal	$1,1 \cdot 10^{12}$ Protonen
Höchster Durchschnitt während einer 14-Tage-Periode	$7,5 \cdot 10^{11}$ Protonen
Zahl der gleichzeitig laufenden Versuche	5
Zahl der Blaskammerphotos im Jahre 1964	2,602.000
Davon in der Zeit von Mai bis November	1,420.000
Verbrauch an (selbsterzeugten) verflüssigten Gasen:	
flüssiger Wasserstoff	78.000 l
flüssiges Helium	1.300 l
flüssiger Stickstoff (Jänner bis Oktober)	1,600.000 l

Die Auswertung der zahlreichen Blaskammerphotos erfolgt nicht ausschließlich bei CERN, sondern zu einem sehr großen Teil auch an den Universitätsinstituten der Mitgliedstaaten. Die automatische Auswertung hat bereits große Fortschritte gemacht. Es ist sogar gelungen, Computer direkt, ohne Zwischenschaltung von Menschen, an die Versuchsanordnung zu schließen. Ohne weitgehende Automatisierung wäre die Bewältigung des umfangreichen Bildmaterials undenkbar.

Neben diesen eindrucksvollen Zahlen verdient der Speicherring CESAR (für Elektronen!) Erwähnung, dessen Betrieb Ende 1964 voll aufgenommen wurde. An ihm werden ausgedehnte Vorstudien für den geplanten Protonen-Speicherring ausgeführt.

Bis jetzt gelang es, 100 Pulse und 20 mA Strom zu speichern. Das Vakuum im Laufkanal betrug $2 \cdot 10^{-9}$ torr.

Ferner wurde ein Hochspannungs-Pulsgenerator für 200.000 V gebaut. Trotz der hohen Spannung beträgt die Dauer eines Pulses, also die Zeit, in der die Potentialdifferenz von Null auf 200 kV steigt und wieder auf Null sinkt, 2 Nanosekunden. Die kurze Pulsdauer ist unbedingt erforderlich, um in der Funkenkammer die interessierenden Ereignisse im richtigen Augenblick zu beobachten und photographisch festzuhalten. (Bekanntlich löst ein Teilchen, das die Funkenkammer durchquert, längs seiner Bahn zwischen den vielen parallelen, in kleinen Abständen angeordneten Metallplatten eine Funkenspur aus, wenn die Platten im Augenblick des Partikeldurchtritts genügend hoch aufgeladen sind. Der Einschaltvorgang muß daher rasend schnell in auf Nanosekunden genau festgelegten Zeitintervallen ablaufen. Das besorgt der Pulsgenerator.)

Die Studiengruppe für neue Beschleuniger hat einen zweibändigen, 450 Seiten umfassenden Bericht fertiggestellt, der die wichtigsten Daten eines 300 GeV-Synchrotrons enthält. Laufkanal und Linear-Vorbeschleuniger sollen 10 m unter der Erdoberfläche liegen, um die darüber befindliche Erde als natürliche Abschirmung zu benützen. Der Durchmesser des Laufkanals der Protonen ist mit 2,4 km angesetzt. Der Protonenstrahl wird durch einen Kickermagnet ausgelenkt und gelangt längs einer schwach aufwärts führenden Strecke in einigen hundert Meter Entfernung an die Oberfläche.

Mit der Errichtung der Anlage kann sofort begonnen werden, sobald sich die Mitgliedstaaten bereit erklären, die beträchtlichen Kosten zu tragen. Als Bauzeit sind maximal neun Jahre vorgesehen, doch dürfte angesichts der sehr weit fortgeschrittenen Planungs- und Vorbereitungsarbeiten mit einer etwas kürzeren Dauer der Fertigstellung zu rechnen sein.

Die 13 Mitgliedstaaten von CERN sind

Belgien	(3,83%)
Dänemark	(2,07%)
Deutsche Bundesrepublik	(22,74%)
Frankreich	(18,57%)
Griechenland	(0,60%)
Großbritannien	(24,47%)
Italien	(10,78%)
Niederlande	(3,92%)
Norwegen	(1,47%)
Österreich	(1,95%)
Spanien	(2,18%)
Schweden	(4,23%)
Schweiz	(3,19%)

In den Klammern stehen die Prozentanteile, mit denen die einzelnen Staaten für die Kosten der Organisation von CERN beitragen.

Das Budget 1965 beläuft sich auf 128 760 000 Schweizer Fr. = 29 800 000 Dollar. 11 Staaten bestreiten zusätzlich die finanziellen Aufwendungen für die vorbereitende Planung des Speicherrings und des 300-GeV-Protonen-Synchrotrons.

Der Personalstand von CERN betrug am 15. November 1964 2282.

Bedenkt man, daß die Anlage erst seit 1959 in Betrieb steht, so kann der Aufschwung, den sie in diesen sechs Jahren genommen hat, als großartig bezeichnet werden. Am erfreulichsten ist dabei der Umstand, daß es sich um das Ergebnis einer wirklich vorbildlichen europäischen Kooperation handelt, von der man nur wünschen könnte, daß sie in den politischen zwischenstaatlichen Beziehungen Nachahmung finden möge. Auch die Kontakte mit den

Wissenschaftlern der Ostblockstaaten sind eng und wertvoll, der Austausch wissenschaftlicher Informationen reger. Nichts könnte die echte, Völker und Staaten verbindende Kraft der Wissenschaft besser in Evidenz setzen als die auch in diesem Sinne vorbildliche Tätigkeit des europäischen Kernforschungsinstituts in Meyrin bei Genf.

Literatur:

CERN Courier, Jänner 65, S. 5: Einstein postulate confirmed directly. Februar 65, S. 26: 450 pages on 300 GeV. März 65, S. 35: Sifting high-energy particles.

PS: Wir weisen auf die Möglichkeit hin, das offizielle Informationsblatt „CERN Courier“, welches einmal monatlich erscheint, auf Grund eines Ansehens der Direktion einer Schule unentgeltlich laufend zu beziehen. Auf Wunsch wird die englische oder die französische Ausgabe geliefert. Es genügt der Hinweis, daß die betreffende Anstalt an der wissenschaftlichen Entwicklung auf den Gebieten der Kernphysik interessiert ist und daher über die Tätigkeit bei CERN informiert zu werden wünscht.

Diesbezügliche Ansuchen sind zu richten an
European Organisation for Nuclear Research
Public Information
CERN, 1211 Genf 23, Schweiz

Die Lebensdauer des ω -Mesons

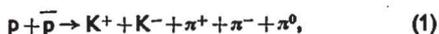
Die unfaßbar kurze Lebensdauer mancher Teilchen, welche größenordnungsmäßig bei 10^{-22} sec und weniger liegt, erweckt berechtigterweise die Neugierde, wie da wohl in einem konkreten Fall die Bestimmung vor sich gehen mag.

Im Prinzip wurde dies bei einer früheren Gelegenheit schon angedeutet (siehe Wiss. Nachr., Nr. 2 vom Mai 1963, S. 4, Massenunschärfe und Lebensdauer von Elementarteilchen). Bei der Massenbestimmung einer Partikel variieren die Ergebnisse statistisch um einen wahrscheinlichen Wert in Form einer Gaußschen Glockenkurve. Die Halbwertbreite Γ derselben ist ein Maß für die Massenunschärfe ΔM , der die Energieunschärfe $\Delta E = \Delta M \cdot c^2$ entspricht. Die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation verknüpft Energie- und Zeitunschärfe Δt durch die bekannte Ungleichung

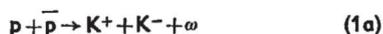
$$\Delta E \cdot \Delta t > h.$$

$T = \Delta t$ ist die mittlere Lebensdauer der Partikel. So gewinnt man also T aus ΔM .

ω -Mesonen bilden eine Zwischenstufe in der Reaktion



bei welcher der Übergang von der rechten zur linken Seite vorwiegend in den nachstehenden zwei Stufen erfolgt



Die Blaskammerspuren liefern in diesem Falle keinen Hinweis auf T , weil die Spur nur einige Kerndurchmesser lang und einer Messung vollkommen unzugänglich ist. Bleibt daher die Massenbestimmung als einzige Möglichkeit, T zu erhalten, übrig.

Glücklicherweise ist die kinetische Energie der Sekundärpartikeln in (1a, b) nicht größer als 100 MeV. Überdies kommen die Kaonen zumeist noch innerhalb der Blaskammer zur Ruhe. Das erleichtert die Massenbestimmung sehr.

Bei einem Versuch im Columbia-BNL wurden 400.000 Antiprotonen in einer 30-Zoll-Blaskammer gestoppt. In 118 Fällen gelang es, sowohl die positiven als auch die negativen Kaonen noch in der Blaskammer vollständig abzubremesen. Infolge dieses Umstandes konnte die Pionenmasse sehr genau, und zwar mit einem zirka zehnmal

kleineren Fehler als sonst, bestimmt werden. (Der Fehler lag zwischen 0,6 und 1,2 MeV.)

Da die beobachtete Massenverteilung eine um 10% größere Halbwertbreite besitzt als die theoretisch errechnete, muß die ω -Masse

$$m_\omega = 784,0 \pm 0,9 \text{ MeV}/c^2$$

sein. Ihre Halbwertbreite Γ ist

$$\Gamma = 9,5 \pm 2,1 \text{ MeV.}$$

Daraus folgt mit Hilfe der Unschärferelation als mittlere Lebensdauer des ω -Mesons

$$T_\omega = (0,69 \pm 0,15) \cdot 10^{-22} \text{ sec.}$$

ω zerfällt, wie gesagt, vorwiegend nach Schema (1b), kann aber auch in neutrale Teilchen übergehen. Die letztere Umwandlung ist etwa neunmal seltener als die erste.

Literatur:

Phys. Rev. Lett., 1. Okt. 63, S. 436, N. Gelfand et al.: Lifetime of the ω -Meson.

Das Intensitätsinterferometer zu Narrabri (Australien)

In Heft 6 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“ vom Oktober 1964 konnte von einer neuerlichen Meisterleistung der astronomischen Meßtechnik berichtet werden. Ein von den konventionellen Konstruktionsprinzipien weitgehend abweichendes Interferometer, das am Narrabri Observatory der Universität Sidney aufgestellt ist, hat den scheinbaren Winkeldurchmesser der Wega mit einer Genauigkeit von 0,0002'' bestimmt. Sein Wert ist 0,0037''.

Wir sind nun in der Lage, auf Grund des Berichtes eines der Erfinder des Gerätes, R. Hanbury Brown, nähere Details über die Anlage bekanntzugeben.

Das Licht eines Fixsternes F wird von zwei parabolischen Spiegeln S_1 und S_2 aufgefangen und nach der Reflexion in den Brennpunkten fokussiert. In jedem Brennpunkt befindet sich je ein photoelektrischer Detektor D_1 und D_2 , der „seinen“ Lichtstrom in elektrischen Strom wandelt. Das ist ein welliger Gleichstrom, da das einfallende Sternenlicht fluktuiert, und zwar bei jedem Spiegel etwas anders. Die beiden von D_1 und D_2 beeinflussten Ströme gelangen in einen elektronischen Korrelator K , der die Korrelation zwischen den Fluktuationen der auf S_1 und S_2 fallenden Lichtströme registriert. Die Korrelation ist eine bekannte Funktion des scheinbaren Durchmessers der Lichtquelle, sofern diese nicht punktförmig ist. Dieser funktionale Zusammenhang gestattet somit, den Durchmesser zu ermitteln. Die Beobachtungsdauer hängt von der Größe und dem Abstand der Spiegel ab.

Die Vorteile des Instruments erschöpfen sich nicht nur in dem um einige Größenordnungen besseren Auflösungsvermögen gegenüber den herkömmlichen Interferometern, es werden auch an die Genauigkeit der Bearbeitung der Spiegel keine hohen Anforderungen gestellt. Das deswegen, weil es genügt, die Toleranzen etwas kleiner als die Wellenlänge der höchsten elektrischen Übertragungsfrequenz, die im elektrischen System des Gerätes Verwendung findet, zu halten.

S_1 und S_2 sind parabolisch, damit alle Strahlen des einfallenden Lichtstroms gleichzeitig auf D_1 und D_2 treffen. Für 100 MHz ist $\lambda = 3 \text{ m}$, ein ziemlich großer Wert.

Auch die atmosphärischen Szintillationen wirken sich wenig auf den Meßvorgang aus. Subjektive Beobachtungsfehler vermögen sich ebenfalls nicht einzuschleichen, weil die Resultate auf mit Zahlen bedruckten Karten ausgeworfen werden.

Ein unangenehmer Nachteil ist die Länge der nötigen Beobachtungszeit. Nur mit Hilfe sehr großer Spiegel (der Spiegeldurchmesser in Narrabri ist 6,5 m) kann die Beobachtungszeit wenigstens auf Stunden beschränkt bleiben.

Der Spiegelabstand variiert zwischen 9 m und 190 m. S_1 und S_2 laufen auf einem kreisförmigem Geleise. Ihre

Verbindungsline muß während der Beobachtung mit der Richtung zum Stern stets einen rechten Winkel bilden. Die Spiegeleinstellung schwankt wegen der Unebenheit der Schienen, durch Windwirkung und andere Ursachen stets geringfügig. Sie wird elektrisch innerhalb eines Intervalls von $\pm 15'$ korrigiert. Zusätzlich hält je eine Fernsehkamera im Fokus der Spiegel den Winkel mit der Visierlinie nach F mit $\pm 1'$ konstant.

Die Führung der Wagen, welche die Spiegel tragen, besorgen je drei Elektromotoren auf hydrodynamischem Wege.

Ein Spiegel besteht aus 252 sechseckigen Teilsiegeln in einem Leichtmetallrahmen, deren jeder in drei Punkten drehbar befestigt ist. Sie können einzeln fokussiert werden. Die Justierung der Spiegel wird von zwei Personen vorgenommen, eine im Brennpunkt, eine hinter dem Spiegel. Die Brennweite der sechseckigen Teilspiegel ist $f=6$ m. Sie sind sphärisch gekrümmt, aber ihre Mittelpunkte liegen auf einem Drehparaboloid aus den oben angeführten Gründen. Eine elektrische Heizrichtung (12 W pro Teilspiegel) schützt vor Taubildung.

Im Korrelator wird der Output von D_1 und D_2 multipliziert. Alle 100 Sekunden erfolgt die Registrierung des Mittelwertes der Produkte.

Für die Montage der Anlage war ein volles Jahr nötig, weitere sechs Monate gingen bei der Ausmerzung kleinerer Unzulänglichkeiten auf. Die Messungen zeitigen nur dann brauchbare Resultate, wenn die scheinbare Helligkeit des Fixsternes F den Wert $+2,5^m$ nicht unterschreitet. Es bedarf wohl keiner besonderen Betonung, daß man sich in Narrabri intensiv bemüht, die zulässige untere Helligkeitsschranke wenigstens um eine Größenklasse zu erniedrigen.

Literatur:

Sky and Telescope, August 1964, S. 64. R. Hanbury Brown: The Stellar Interferometer at Narrabri Observatory.

Kurznachrichten

1. Die interstellare OH-Linie. Auf S. 18 der Nr. 6 der Wissenschaftlichen Nachrichten wurde über die Entdeckung einer OH-Linie im Radiospektrum von Sagittarius A und Cassiopeia A berichtet. Weitere Untersuchungen setzten nach einer Meldung der Umschau i. W. u. T. (Heft 24 vom 15. 12. 64, S. 766: Entdeckung von OH-Molekülen im interstellaren Raum) die Astronomen in den Stand, mit Hilfe dieser Linie sogar die Temperatur zweier mächtiger interstellarer Gaswolken zu schätzen. Wie allgemein bekannt, ist die Breite einer Emissionslinie in hohem Maße von der Temperatur (Doppler-Effekt der Wärmebewegung der Moleküle!) abhängig. Sie ist eine Funktion des Atomgewichts und kann daher durch Vergleich der Linienbreiten bei verschiedenen Molekülen zum Schluß auf die Temperatur herangezogen werden. Im Gegensatz dazu ist die Verbreiterung, welche auf Turbulenz zurückgeht, von der Atommasse unabhängig. Beide Effekte lassen sich also trennen, wenn mindestens zwei meßbare Linien, die von verschiedenen Stoffen stammen, vorliegen. Die erwähnten Gaswolken emittieren sowohl die 21-cm-Linie des Wasserstoffs wie auch die OH-Linien. Die spektrometrische Untersuchung ergab als Temperaturen 90° K bei der einen und 120° K bei der anderen Wolke.

2. Mizar und Alkor — ein Siebenfachsystem. Wer kennt nicht Mizar im Sternbild des großen Bären mit dem Reiterlein, das sich so gut zur Erprobung der Sehschärfe des menschlichen Auges eignet? Es sind visuelle Doppelsterne, die schon das freie Auge als solche erkennt. Eingehende Studien haben eine viel stärkere Vielfalt von Himmelskörpern an jener Stelle aufgespürt. Der Winkelabstand von Mizar und Alkor ist $12''$. Alkor ist ein spektroskopischer Doppelstern. Mizar spaltet sich in erster Näherung in zwei Komponenten: Mizar A (der hellere Partner) und Mizar B. Ihr Abstand ist schon erheblich geringer, nämlich $14''$. Man weiß schon lange, daß auch Mizar A ein spektroskopischer Doppelstern mit der Periode 21^d ist. Nun stellte sich heraus, daß Mizar B ein Dreifachsystem sein dürfte. Zwei Komponenten umkreisen einander in

$182,33^d$ und werden selbst von der dritten in 1350^d umrundet. (Sky and Telescope, August 64, S. 131: American Astronomers Report.)

3. Das Spektrum von Myonium-Atomen. Die Kenntnis der zahlreichen in den letzten Jahrzehnten entdeckten Teilchen hat dazu geführt, einige für ganz kurze Zeit zu selbständigen Systemen zu vereinigen. Als Myonium wird ein Gebilde bezeichnet, in dem ein Elektron und ein positives Myon so lange umeinander kreisen, bis das letztere infolge seiner Instabilität zerfällt. Das Synchrozyklotron der Columbia-Universität produzierte einen Strahl von longitudinal polarisierten Myonen, welche, in Argon unter hohem Druck abgebremst, polarisierte Myonium-Atome bildeten (Druck 68,35 und 10 at). Durch Messung der Aufspaltung der Myoniumlinien konnte sogar der Wert der Feinstrukturkonstante α auf diese recht ausgefallene Weise bestimmt werden. Das Ergebnis stand in bestem Einklang mit anderen Bestimmungen. Die theoretische und die experimentelle Linienaufspaltung, auf die es ankam, waren

$$\Delta\nu_{\text{exp}} = (4463,15 \pm 0,06) \text{ MHz}, \quad \Delta\nu_{\text{theor}} = (4463,15 \pm 0,1) \text{ MHz}$$

Ein Vorschlag für die Festsetzung der Werte der physikalischen Konstanten

Wie die Zeitschrift „Physics Today“ in ihrer Nummer vom Februar 1964 bekanntgibt (Seite 48/49), hat das Committee on Fundamental Constants der National Academy of Sciences—National Research Council (USA) der 2. Internationalen Konferenz über Kernmassen, welche in der Zeit vom 15. bis 19. Juli 1963 in Wien stattfand, folgende Vorschläge für die Werte der physikalischen Konstanten unterbreitet:

Meter (m) 1650763,73 Wellenlängen des im Vakuum beim ungestörten Übergang $2p_{10} \rightarrow 5d_5$ im Isotop Kr^{86} emittierten Lichts

Kilogramm (kg) = Masse des internationalen kg in Sèvres bei Paris

Sekunde (s) = $1/31\,556\,925,9747$ des tropischen Jahres um 12^h ET, 0. Jänner 1900

Grad Kelvin ($^\circ\text{K}$) ist definiert in der thermodynamischen Skala, indem dem Tripelpunkt von Wasser $273,16^\circ$ K zugeordnet werden (Gefrierpunkt = $273,15^\circ$ K = 0° C)

Atommasseeinheit (u) = $1/12$ der Masse des C^{12} -Kerns

Mol (mol) = Substanzmenge, die ebenso viele Atome enthält wie 12 g von reinem C^{12}

Standard Fallbeschleunigung (g_n) = $9,806\,65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Normaler Luftdruck (atm) = $101\,325 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ = $1\,013\,250 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$

Thermochemische Kalorie (cal_{th}) = $4,1840 \text{ J}$ = $4,1840 \cdot 10^7 \text{ erg}$ (kleine Kalorie!).

Internationale Dampftafel-Kalorie (cal_{IT}) = $4,1868 \text{ J}$ = $4,1868 \cdot 10^7 \text{ erg}$

Liter (l) = $0,001\,000\,028 \text{ m}^3$

Zoll (in) = $0,0254 \text{ m}$

Pfund (av pd) (lb) = $0,453\,592\,37 \text{ kg}$

In der nächsten Tabelle haben die einzelnen Spalten folgende Bedeutung:

Spalte 1: Art der Konstanten

Spalte 3: Faktor, mit dem die Werte in den Spalten 5 und 6 multipliziert werden müssen, um den gesuchten Wert der Konstanten zu erhalten

Spalte 4: Geschätzter Fehler in Einheiten der letzten angegebenen Dezimale

Spalte 5: Zahl der Einheiten im MKSA-System

Spalte 6: Zahl der Einheiten im CGS-System

Die Bedeutung der übrigen verwendeten Symbole ist:

C =Coulomb
J =Joule

Hz=Hertz (cps=cycles per second in der englischen Literatur)

W =Watt

N =Newton

T =Tesla

G =Gauß

Konstante	Symbol	Faktor	Fehler	MKSA-System	CGS-System
1	2	3	4	5	6
Elektronvolt	eV	1,60210	7	$\cdot 10^{-19} \text{ J}(\text{eV})^{-1}$	$\cdot 10^{-12} \text{ erg}(\text{eV})^{-1}$
Atommasseneinheit	uc ²	9,31478	15	$\cdot 10^8 \text{ eV} \cdot \text{u}^{-1}$	$\cdot 10^8 \text{ eV} \cdot \text{u}^{-1}$
Protonenmasse (En. Äquiv.)	m _p · c ²	9,38256	15	$\cdot 10^8 \text{ eV} \cdot \text{m}_p^{-1}$	$\cdot 10^8 \text{ eV} \cdot \text{m}_p^{-1}$
Neutronenmasse (En. Äquiv.)	m _n · c ²	9,39550	15	$\cdot 10^8 \text{ eV} \cdot \text{m}_n^{-1}$	$\cdot 10^8 \text{ eV} \cdot \text{m}_n^{-1}$
Elektronenmasse (En. Äquiv.)	m _e · c ²	5,11006	5	$\cdot 10^6 \text{ eV} \cdot \text{m}_e^{-1}$	$\cdot 10^6 \text{ eV} \cdot \text{m}_e^{-1}$
Periode	e/h	2,41804	7	$\cdot 10^{14} \text{ Hz} \cdot (\text{eV})^{-1}$	$\cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} \cdot (\text{eV})^{-1}$
Wellenlänge	ch/e	1,23981	4	$\cdot 10^{-6} \text{ e} \cdot \text{V} \cdot \text{m}$	$\cdot 10^{-4} \text{ eV} \cdot \text{cm}$
Wellenzahl	e/ch	8,06573	23	$\cdot 10^8 \text{ m}^{-1} \cdot (\text{eV})^{-1}$	$\cdot 10^8 \text{ cm}^{-1} \cdot (\text{eV})^{-1}$
°K	e/k	1,16049	16	$\cdot 10^4 \text{ }^\circ\text{K} \cdot (\text{eV})^{-1}$	$\cdot 10^4 \text{ }^\circ\text{K} \cdot (\text{eV})^{-1}$
Vakuumlichtgeschwindigkeit	c	2,997925	3	$\cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$
Elementarladung	e	1,60210	7	$\cdot 10^{-19} \text{ C}$	$\cdot 10^{-20} \text{ cm}^{3/2} \cdot \text{g}^{1/2}$ (el. magn. Syst.)
	e	4,80298	20	.....	$\cdot 10^{-10} \text{ cm}^{3/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ (el. st. Syst.)
Avogadrosche Zahl	N _A	6,02252	28	$\cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$\cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Elektronen-Ruhmasse	m _e	9,1091	4	$\cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$\cdot 10^{-28} \text{ g}$
		5,48597	9	$\cdot 10^{-4} \text{ u}$	$\cdot 10^{-4} \text{ u}$
Protonen-Ruhmasse	m _p	1,67252	8	$\cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$\cdot 10^{-24} \text{ g}$
		1,00727663	24	$\cdot 10^0 \text{ u}$	$\cdot 10^0 \text{ u}$
Neutronen-Ruhmasse	m _n	1,67482	8	$\cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$\cdot 10^{-24} \text{ g}$
		1,0086654	13	$\cdot 10^0 \text{ u}$	$\cdot 10^0 \text{ u}$
Faradaysche Konstante	F	9,64870	16	$\cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\cdot 10^3 \text{ cm}^{1/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{mol}^{-1}$ (el. magn. Syst.)
	F	2,89261	5	.....	$\cdot 10^{14} \text{ cm}^{3/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (el. st. Syst.)
Plancksche Konstante	h	6,6256	5	$\cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	$\cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$
	ħ = h/2π	1,05450	7	$\cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	$\cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$
Feinstrukturkonstante	α	7,29720	10	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$
	1/α	1,370388	19	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$
	α/2π	1,161385	16	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$
	α ²	5,32492	14	$\cdot 10^{-6}$	$\cdot 10^{-5}$
Spezifische Ladung des Elektrons	e/m _e	1,758796	19	$\cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\cdot 10^7 \text{ cm}^{1/2} \cdot \text{g}^{-1/2}$ (el. magn. Syst.)
	e/m _e	5,27274	6	.....	$\cdot 10^{17} \text{ cm}^{3/2} \cdot \text{g}^{-1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ (el. st. Syst.)
Verhältnis	h/e	4,13556	12	$\cdot 10^{-16} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \text{C}^{-1}$	$\cdot 10^{-7} \text{ cm}^{3/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ (el. magn. Syst.)
	h/e	1,37947	4	.....	$\cdot 10^{-17} \text{ cm}^{1/2} \cdot \text{g}^{1/2}$ (el. st. Syst.)
Comptonwellenlänge des Elektrons	λ _c	2,42621	6	$\cdot 10^{-12} \text{ m}$	$\cdot 10^{-10} \text{ cm}$
	λ _c = λ _c /2π	3,86144	9	$\cdot 10^{-13} \text{ m}$	$\cdot 10^{-11} \text{ cm}$
Comptonwellenlänge des Protons	λ _{c, p}	1,32140	4	$\cdot 10^{-15} \text{ m}$	$\cdot 10^{-13} \text{ cm}$
	λ _{c, p} = = λ _{c, p} /2π	2,10307	6	$\cdot 10^{-16} \text{ m}$	$\cdot 10^{-14} \text{ cm}$
Rydbergsche Konstante	R _∞	1,0973731	3	$\cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$	$\cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$
Bohrscher Radius	a ₀	5,29167	7	$\cdot 10^{-11} \text{ m}$	$\cdot 10^{-9} \text{ cm}$
Elektronenradius	r _e	2,81777	11	$\cdot 10^{-15} \text{ m}$	$\cdot 10^{-13} \text{ cm}$
Bohrsches Magneton	μ _B	9,2732	6	$\cdot 10^{-24} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$	$\cdot 10^{-21} \text{ erg} \cdot \text{G}^{-1}$ (el. magn. Syst.)
Kernmagneton	μ _N	5,0505	4	$\cdot 10^{-27} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$	$\cdot 10^{-24} \text{ erg} \cdot \text{G}^{-1}$ (el. magn. Syst.)
Magnetisches Moment des Protons	μ _p	1,41049	13	$\cdot 10^{-26} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$	$\cdot 10^{-23} \text{ erg} \cdot \text{G}^{-1}$ (el. magn. Syst.)
	μ _p /μ _N	2,79276	7	$\cdot 10^0$	$\cdot 10^0$
Anomales magnet. Moment des Elektrons	μ _e /μ ₀	1,0011596	15	$\cdot 10^0$	$\cdot 10^0$
Zeemansche Aufspaltungskonstante	μ _B /hc	4,66858	4	$\cdot 10^1 \text{ m}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$	$\cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1} \cdot \text{G}^{-1}$ (el. magn. Syst.)
Gaskonstante	R	8,3143	12	$\cdot 10^0 \text{ J} \cdot \text{ }^\circ\text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\cdot 10^7 \text{ erg} \cdot \text{ }^\circ\text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
Normalvolumen des idealen Gases	v ₀	2,24136	30	$\cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	$\cdot 10^4 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
Boltzmannsche Konstante	k	1,38054	18	$\cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$	$\cdot 10^{-16} \text{ erg} \cdot \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$
Erste Strahlungskonstante	c ₁	3,7405	3	$\cdot 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$	$\cdot 10^{-5} \text{ erg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Zweite Strahlungskonstante	c ₂	1,43879	19	$\cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{ }^\circ\text{K}$	$\cdot 10^0 \text{ cm} \cdot \text{ }^\circ\text{K}$
Wiensche Verschiebungskonstante	b	2,8978	4	$\cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{ }^\circ\text{K}$	$\cdot 10^{-1} \text{ cm} \cdot \text{ }^\circ\text{K}$
Stefan-Boltzmannsche Konstante	σ	5,6697	29	$\cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} (\text{ }^\circ\text{K})^{-4}$	$\cdot 10^{-5} \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{K}^{-4}$
Gravitationskonstante	G	6,670	15	$\cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$	$\cdot 10^{-8} \text{ dyn} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-2}$

	ÖSTERREICH	KANADA	DÄNEMARK	FRANKREICH	BR DEUTSCHLAND	GRIECHENLAND	ITALIEN	JAPAN	NIEDERLANDE	SCHWEDEN	SCHWEIZ	TÜRKEI	VER. KÖNIGREICH	USA	
Gesamtfläche (1000 km ²)	83,8	9976	43	551	248,5	131	301	369,7	33,6	449,8	41,3	781	244	9363,4	
Landwirtsch. genutzte Fläche (1000 km ²)	40,7	698	31,3	389	143,4	88,5	209,7	73,8	23,1	42,8	21,7	538,8	195	5455,1	
Bevölkerung 1963 (Mio.)	7,2	18,9	4,7	47,9	55,4	8,5	50,5	95,8	12	7,6	5,8	30,3	53,8	189,4	
Beschäftigte (Mio.)	3,4	6,2	2,2	18,7	25,7	3,4	19,3	46	4,3	3,8	2,5	13	24,6	68	
davon in I	23	12	19	21	13	56	27	28	10	13	11	75	4	8	
in II	43	35	40	40	49	19	41	32	42	41	49	10	48	33	
in III %	34	53	41	39	38	25	32	40	48	46	40	15	48	59	
BSP nominell, 1963 (Mrd. US \$)	7,7	42,8	8	80	94,5	3,9	45,4	59,4	14,5	15,6	11,7	6,9	84	585,2	
BSP zu Preisen v. 1958 (Mrd. US \$)	6,5	40,8	6,5	75	77,4	3,7	7,9	50	12	13,2	9,9	7,2	76	546,9	
BSP/Kopf nominell (US \$)	1076	2263	1700	1671	1641	464	899	620	1212	2045	2010	230	1564	3090	
Am Zustandekommen des BIP sind beteiligt (%)	I	11	14	14	9	5	29	16	12	9	—	41	4	3	
	II	48	35	42	46	53	25	42	34	41	—	23	45	32	
	III	41	51	44	45	42	46	42	54	50	—	36	51	65	
Konsumaufwand	in % des BSP nom.	62	63	66	65	57	73	62	53	59	58	60	—	65	63
	pro Kopf (US \$)	671	1435	1114	1093	936	337	559	330	715	1192	1200	—	1021	1942
Anteil der Budgeteinnahmen am BSP (%)	35	30	29	37	38	24	33	23	35	41	25	—	33	29	
Importe (Mrd. US \$)	1,7	6	2,1	8,7	13	0,8	7,9	6,7	6	3,4	3,2	0,7	13,5	17	
Anteil der Importe am BSP (%)	24	22	33	14	18	21	18	13	50	26	32	—	22	4	
Exporte (Mrd. US \$)	1,3	6,5	1,9	8,1	14,6	0,3	5,1	5,5	5	3,2	2,4	0,4	11,9	22,9	
Anteil der Exporte am BSP (%)	25	20	29	15	19	13	18	11	52	26	31	—	23	5	
Pkw pro 1000 Einw.	76	247	117	117	119	7	60	7	62	188	111	2	126	351	
Fernsprechapparate pro 1000 Einw.	114	340	254	107	124	36	81	75	159	385	329	9	167	430	
Verbrauch an Elektrizität (kWh/Kopf/Jahr)	1819	5742	1268	1600	2180	287	1122	1280	1437	4542	3090	106	2583	4670	

Der Außenhandel der USA

Die Vereinigten Staaten von Amerika sind — in absoluten Zahlen gemessen — der größte Handelsstaat der Welt.

Gesamtaußenhandel 1963 in Mrd. US \$ (Ex- und Importe)

Welt	312	Kanada.....	13
USA	40	Japan	12
BRD	28	Niederlande	11
UK.....	25	.....	.....
Frankreich	17	Österreich	3

Bei einer Einwohnerzahl von knapp 6% (1964: 191 Mill.) der Erdbevölkerung liefern sie ungefähr 16% aller in den Welthandel gelangenden Güter.

1964 exportierten die USA insgesamt Waren im Werte von 25 Mrd. \$. 55% (13,8 Mrd. \$) davon entfielen auf industrielle Fertigwaren; darunter waren vor allem Maschinen aller Art (6,2 Mrd. \$), chemische und pharmazeutische Erzeugnisse (2,3 Mrd. \$), Autos (1,7 Mrd. \$). 27% (6,8 Mrd. \$) des Exporterlöses stammten von ausgeführten Rohstoffen (Baumwolle, Steinkohle, Erze). 17% (4,2 Mrd. \$) erbrachten die Nahrungsmittel-Ausfuhren, davon 2,4 Mrd. \$ der Getreideexport.

Aus dem Ausland bezogen die Vereinigten Staaten im Jahre 1964 Waren im Werte von 18,5 Mrd. \$. Den Hauptposten bildeten dabei Rohstoffe (7,4 Mrd. \$), welche die Industrie benötigte. An zweiter Stelle standen Fertigwaren (7,3 Mrd. \$); unter ihnen nahmen 500.000 Automobile einen bedeutenden Platz ein. Die Nahrungsmittelimporte, hauptsächlich Kaffee, Kakao, Bananen und Zucker, kosteten 3,8 Mrd. \$.

Größter Handelspartner der USA sind die westeuropäischen Länder einschließlich der EWG-Staaten. 1964¹ exportierten sie dorthin Waren im Werte von

¹ Die folgenden Zahlen beziehen sich alle auf dieses Jahr.

7,7 Mrd. \$. Die Importe aus diesem Gebiet betragen 5,2 Mrd. \$. Kanada bezog für 4,8 Mrd. \$ Waren und lieferte solche für 4,2 Mrd. \$. Die Ausfuhren nach Asien erreichten einen Wert von 5,2 Mrd. \$ (ohne Japan, UdSSR und China), die Importe aus diesem Erdteil 3,6 Mrd. \$. Lateinamerika empfing und lieferte Güter für je 4,2 Mrd. \$. Der Handel mit Japan ergab Exporte für 1,9 Mrd. \$ und Importe für 1,7 Mrd. \$. Afrika bezog Waren für 1,2 Mrd. \$ und verkaufte Produkte für 0,9 Mrd. \$. Sehr gering war der Warenaustausch mit kommunistischen Staaten; Exporten im Werte von 0,3 Mrd. \$ standen Importe im Werte von 0,1 Mrd. \$ gegenüber.

Die amerikanischen Exporte nahmen von 1954 bis 1964 um 97% zu. Besonders stark war das Wachstum in den letzten fünf Jahren. In diese Zeit fallen die das allgemeine Wirtschaftswachstum fördernden Maßnahmen (Steuersenkungen, dreiprozentige Vermehrung des Geldumlaufes pro Jahr) der Kennedy- beziehungsweise Johnson-Administration. Wesentlich zum Steigen der Exporte hat aber auch der Umstand beigetragen, daß die Vereinigten Staaten in diesen Jahren die Preise stabil halten konnten, während sie in Westeuropa gleichzeitig stark anzogen. Die Importe nahmen in den letzten zehn Jahren wertmäßig um 81% zu, zeigen jedoch eine Verlangsamung.

US-Exporte in Mrd. \$... 1954: 12,7 1959: 16,2 1964: 25

US-Importe in Mrd. \$... 1954: 10,2 1959: 15,4 1964: 18,5

Wenn man die regionale Verteilung der Exporte in den letzten zehn Jahren betrachtet, so fällt einem die starke Zunahme der Ausfuhr nach Asien und Afrika auf, und zwar sowohl absolut als auch relativ. In diesen Kontinenten öffnen sich für die Vereinigten Staaten vor allem in den jungen Entwicklungsländern neue Märkte. Die amerikanische Industrie ist dort, dank der günstigeren finanziellen Konditionen (lange Zahlungsfristen, billige Kredite), die sie anbieten kann, ihrer kapitalschwächeren europäischen Konkurrenz gegenüber im Vorteil. Bemerkenswert ist auch die Zunahme der amerikanischen Exporte nach Europa. Hier wurde die EWG zum größten Abnehmer amerikanischer landwirtschaftlicher Produkte. Die USA bemühen sich, diese Position zu halten, und machen deshalb einen erfolgreichen Ausgang der Kennedy-Runde (weltweite Herabsetzung der Industrie- und Güterzölle zur Belebung des internationalen Handels) von positiven Agrarverhandlungen abhängig. Etwas an Bedeutung zurückgegangen ist der Handel mit der übrigen westlichen Hemisphäre, dem traditionellen Partner der Vereinigten Staaten. 1954 ging noch die Hälfte aller Exporte in diesen Raum.

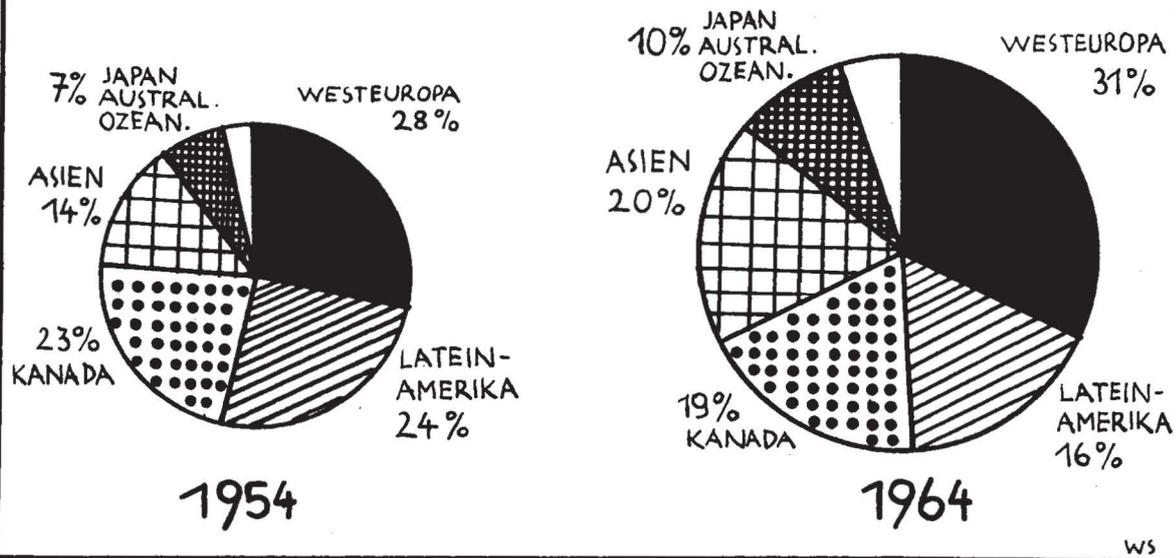
Obwohl der gesamte Exportwert nur 5,3% des Brutto-sozialproduktes ausmacht (in Österreich 24,6%, in den Niederlanden 51,9%), ist der Außenhandel für die USA doch wichtig. Der Export bedeutet den Unternehmern eine nicht unwesentliche Vergrößerung des Absatzmarktes, wodurch die Kostenstruktur und damit ihre Konkurrenzfähigkeit verbessert wird. Auch gewährt er eine größere Flexibilität bezüglich der Befriedigung des Inlandmarktes. Die ausgeführten Erzeugnisse bereiten in den Importländern den Markt oft für Tochterunternehmen beziehungsweise Lizenzverträge vor. Nicht zu unterschätzen ist schließlich die Rolle des Exportes bei der Beseitigung des amerikanischen Zahlungsbilanzdefizites. Dieses hat 1964 vor allem infolge einer stark passiven Kapitalbilanz (Überseeinvestitionen, Ankäufe ausländischer Wertpapiere, wirtschaftliche und militärische Auslandshilfe) 3 Mrd. \$ und damit ein Ausmaß erreicht, das nicht nur für die amerikanische, sondern auch für die internationale Wirtschafts- und Währungsordnung eine Gefahr bedeutet. Hohe Exporterlöse könnten dazu beitragen, daß die amerikanische Regierung zur Beseitigung

Wirtschaftskraft und Lebensstandard der wichtigsten OECD-Staaten

Im Dezember 1964 veröffentlichte die ORGANISATION FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT UND ENTWICKLUNG (Organization for Economic Co-operation and Development, **OECD**), der die Staaten Österreich, Belgien, Kanada, Dänemark, Frankreich, Bundesrepublik Deutschland, Griechenland, Island, Irland, Italien, Japan, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Portugal, Spanien, Schweden, Schweiz, Türkei, Vereinigtes Königreich und USA angehören, im **OECD-Observers** statistisches Material über die Wirtschaft und den Lebensstandard in ihren einzelnen Mitgliedsländern. Wir bringen nebenstehend einen Auszug davon. Alle Angaben stammen, soweit nicht anders angegeben, aus den Jahren 1962 beziehungsweise 1963. Die Abkürzungen bedeuten: BSP=Brutto-sozialprodukt, BSP/Kopf=BSP pro Einwohner, BIP-Bruttoinlandprodukt (=BSP minus Saldo der Zahlungsbilanz), I=Primärer Wirtschaftssektor (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei), II=Sekundärer Wirtschaftssektor (Bergbau, Industrie, Handwerk, Bauwirtschaft), III=Dienstleistungssektor.

W. Sitte

REGIONALE GLIEDERUNG DER AUSFUHR



ihres Zahlungsbilanzdefizites keine direkten restriktiven Maßnahmen, die sich auch auf andere Länder auswirken würden, ergreifen muß.

Literatur: W. F. Butler, Escalating foreign trade, The Financial Times, April 12, 1965; Neue Zürcher Zeitung 4., 20. 4. 65; Statistical Yearbook 1964/65.

W. Sitte

Steuer- und Sozialbelastungen in aller Welt

Die OECD hat vor kurzem eine umfassende statistische Erhebung über die Belastung der „Produzenten des Volkseinkommens“ durch Steuern und Sozialabgaben veröffentlicht. Dieser internationale Vergleich basiert auf dem Jahr 1962. Es ist dies die erste internationale Gegenüberstellung der Steuerbelastung in einer großen Anzahl von Ländern auf einheitlicher Basis.

Aus dieser Aufstellung der OECD geht hervor, daß die Sozialbelastung in Frankreich mit 12,5%, Italien 10%, Deutschland 9,5%, Holland 8,5% und Österreich mit 7,1% am höchsten ist, während sie in Staaten wie Dänemark, der Schweiz, Kanada und den USA sehr günstig ist. Paradoxiertweise haben die Staaten mit einer sehr umfassenden Sozialgesetzgebung — nämlich Großbritannien und Schweden mit 4,2 bzw. 4,7% eine relativ geringe Belastung. Dabei muß man allerdings bedenken, daß in jenen Staaten ein großer Teil der Leistungen der Sozialversicherung teilweise zu Lasten des Staatshaushaltes gehören.

Im Vergleich zu den Vereinigten Staaten ist der Anteil der direkten Steuern in den europäischen Staaten relativ gering. Ausnahmen sind: die skandinavischen Staaten, Holland und Großbritannien. In Ländern wie Griechenland, Irland ist der Anteil an direkten Steuern — angesichts der geringen Steuerergiebigkeit — selbstverständlich besonders niedrig. Die indirekten Steuern sind in Europa im Vergleich zu den Vereinigten Staaten — ausgenommen in der Schweiz und Holland — dagegen sehr hoch.

Mit einer Gesamtbelastung von über 35% des Bruttonationalprodukts liegen Westdeutschland, Schweden und Frankreich im internationalen Vergleich an der Spitze,

Steuer- und Sozialbelastung im Jahre 1962

Bruttosozialprodukt je Kopf in US-\$	Land	Währung	Bruttosozialprodukt zu Marktpreisen in Milliarden	obligatorische Sozialbeiträge	Steuern und Soziallasten in % des Bruttosozialproduktes
2981	USA	\$	556,190	4,3%	28,0%
2170	Kanada	c. \$	40,359	2,0%	26,1%
1924	Schweden	s. Kr.	75,272	4,7%	35,1%
1894	Schweiz	sfrs.	46,340	4,6%	20,7%
1621	Westdeutschland	DM	354,80	9,5%	35,3%
1583	Dänemark	dkr	50,852	1,4%	26,5%
1535	Frankreich	f	353,56	12,5%	35,1%
1484	Großbritannien	£	28,238	4,2%	30,2%
1424	Norwegen	nkr	37,001	5,7%	33,5%
1389	Belgien	bfrs	637,2	6,6%	27,2%
1118	Holland	hfl	47,550	8,5%	31,6%
1013	Österreich	S	186,60	7,1%	33,9%
796	Italien	Lire	24,789	10,0%	29,8%
738	Irland	£	0,761	3,5%	22,3%
464	Griechenland	Dr.	117,643	5,2%	21,5%

gefolgt von Österreich, Norwegen, Holland und Großbritannien. Als glänzend kann die Stellung der Schweiz in dieser Aufstellung bezeichnet werden. Mit einer Gesamtbelastung von 20,7% des Bruttonationalprodukts schneidet dieses Land am günstigsten ab, obwohl die Schweiz nach Schweden das höchste Pro-Kopf-Einkommen in ganz Europa aufweist.

Wirtschaftserziehung als Aufgabe der Sparkassen

Tiefgreifende Veränderungen in der Struktur der Gesellschaft und der Wirtschaft haben bei den Sparkassen zu einer Ausweitung und Neuorientierung ihrer Aufgaben geführt.

Die Wachstumsrate des realen Netto-Volkseinkommens betrug in den Jahren 1950 bis 1962 je Jahr: in Deutschland 9,5%, in der Schweiz 5,1%, in den Vereinigten Staaten 3,3%, und in Österreich 5,4%. Die NationalökonomInnen halten in den nächsten Jahren eine jährliche Wachstumsrate von 3 bis 4% als wahrscheinlich.

Das ständige Ansteigen des Wohlstandes, das auf die Automatisierung, die Rationalisierung und die verstärkte Zusammenarbeit in der Wirtschaft zurückzuführen ist, gab der Wirtschaft im gesamten und den einzelnen im besonderen durchschnittlich die Verfügungsgewalt über ein ständig steigendes Einkommen. Es geht also für die Sparkassen nicht mehr darum — wie in den Anfängen der Sparkassengründungen — hauptsächlich den minderbemittelten Kreisen durch Erziehung zur Sparsamkeit, die Befriedigung ihrer Elementarbedürfnisse, wie zum Beispiel Nahrung und Kleidung, zu ermöglichen, sondern vielmehr darum, unsere „Wohlstandsgesellschaft“ zu einem wirtschaftlich richtigen Verhalten zu führen, mit dem Ziele, den Wohlstand zu erhalten beziehungsweise zu steigern.

Bevor auf diese spezifische Funktion der Sparkassen eingegangen wird, soll Ihnen jedoch die österreichische Sparkassenorganisation vorgestellt werden.

Wirtschaftliche und rechtliche Organisation

In Österreich gibt es derzeit 173 Sparkassen mit rund 500 Geschäftsstellen, die über das gesamte Bundesgebiet verteilt sind. Mit rund 33 Milliarden österreichischer Schillinge Einlagen stellen die Sparkassen die größte Gruppe der Kreditinstitute in Österreich dar. Sie sind mit rund 35% an den Gesamteinlagen der österreichischen Kreditwirtschaft beteiligt.

Die Rechtsverhältnisse der österreichischen Sparkassen werden durch das Sparkassenregulativ aus dem Jahre 1844, das Sparkassenverwaltungsgesetz aus dem Jahre 1935 und die Sparkassen-Mustersatzung aus dem Jahre 1941 geregelt. In Österreich gibt es nur Sparkassen auf Grund des Sparkassenregulativs; dabei unterscheidet man die Vereinssparkassen und die Gemeindeparkassen. Es gibt insgesamt 34 Vereinssparkassen und 139 Gemeindeparkassen.

Die Sparkassen stellen vollkommen selbständige, in ihrer Geschäftsführung und Gebarung gänzlich unabhängige Anstalten dar. Sie sind selbständige Rechtsträger und weder die Vereinsmitglieder der Sparkassenvereine noch die Gemeinden sind in irgendeiner Form an ihnen beteiligt. Die Sparkassen sind daher Unternehmungen ohne Unternehmer. Eine gesetzlich verankerte Staatsaufsicht gewährleistet die Einhaltung der Veranlagungsbestimmungen.

Als Zentralinstitute der österreichischen Sparkassenorganisation sind die Girozentrale der österreichischen Sparkassen-Aktiengesellschaft und für den Bereich der Steiermark die Steiermärkische Bank Ges. m. b. H. zu nennen. Diesen Instituten obliegt die zentrale Verrechnung und der Geldausgleich bei Durchführung des Spargiroverkehrs, die Verwaltung der Liquiditätsreserven der einzelnen Sparkassen und die Unterstützung der Sparkassen bei allen Geldgeschäften.

Als Interessenvertretung der Sparkassen fungiert der Hauptverband der österreichischen Sparkassen. Dieser ist rechtlich ein Verein, übt jedoch auf Grund von Delegierungsabkommen auch die Funktion eines Fachverbandes der Sparkassen, im Rahmen der Bundeskammer

der gewerblichen Wirtschaft und eines Sparkassen- und Giroverbandes, als Träger der Sparkassenrevisionen aus. Der Hauptverband berät die Sparkassen auf den verschiedensten Gebieten, zum Beispiel bei rechtlichen, organisatorischen und gewerblichen Problemen. Er arbeitet Vorschläge aus und erstellt einschlägige Gutachten, die als Grundlage für Gesetzesentwürfe des Bundes und der Länder dienen. Dem Hauptverband obliegt auch die Kontaktnahme zu den verschiedenen Kreisen der Öffentlichkeit.

Der Sparkassenverlag Ges. m. b. H. ist ein kommerzielles Unternehmen, das die Sparkassen mit Drucksorten, Werbemitteln und überhaupt mit allen technischen Betriebsmitteln versorgt.

Der wissenschaftlichen Untermauerung der Sparkassenarbeit und der Verbreitung des Gedankengutes bei den jungen Akademikern dient das Österreichische Forschungsinstitut für Sparkassenwesen an der Hochschule für Welt-handel in Wien.

Geschäftsstruktur der Sparkassen

Die Gesamteinlagen der österreichischen Sparkassen bestehen zu rund ö. S 25 Milliarden aus Spareinlagen und zu rund ö. S 8 Milliarden aus sonstigen Einlagen (=Giro- und Depositeneinlagen einschließlich Zwischenbankeinlagen). Die Spareinlagen stellen also ungefähr 75% der Gesamteinlagen der österreichischen Sparkassen dar.

Die Veranlagung der Sparkasseneinlagen ist hinsichtlich der Höhe der Ausleihungen und der Art der Deckung für die Kredite und Darlehen Beschränkungen unterworfen. Die Ausleihungen beliefen sich Ende 1964 auf etwa ö. S 20 Milliarden. Sie betragen demnach 60% der Gesamteinlagen der Sparkassen und verteilen sich auf ungefähr 280.000 Kreditnehmer.

Die Gesamteinlagen waren Ende 1964 zu 30% in langfristigen Darlehen, zu 30% in kurzfristigen Krediten und zu 15% in Wertpapieren veranlagt. 25% der Einlagen stellten flüssige Mittel dar, die größtenteils als Einlagen bei der Girozentrale der österreichischen Sparkassen gehalten wurden.

Wirtschaftserziehung

Nachdem Ihnen die österreichischen Sparkassen in ihrer wirtschaftlichen und rechtlichen Organisation und in ihrer Geschäftsstruktur vorgestellt wurden, soll nun die Frage nach den Funktionen der Sparkassen in der heutigen Wirtschafts- und Gesellschaftsstruktur aufgeworfen werden.

Es stellt sich die Frage: Sind Sparkassen nur Kapital-sammelstellen, haben sie lediglich die Aufgabe, Geschäfte auf dem Sektor des Geld- und Kreditwesens durchzuführen, oder kann man ihnen darüber hinaus spezifische Aufgaben zuschreiben, die sie von anderen Institutionen der Kreditwirtschaft unterscheiden? Die Sparkassen — als deren vordringlichste Aufgabe bereits bei der Gründung die Pflege des Spargedankens verankert wurde — sind zweifellos dazu berufen, spezifische Aufgaben zur Steigerung des Wohlstandes der Allgemeinheit zu übernehmen, die weit über die Befriedigung der Bedürfnisse der Bevölkerung auf dem Sektor der Geld- und Kredit-geschäfte hinausgehen.

Als die ihnen wesensgemäße Aufgabe haben die Sparkassen die Erziehung der Bevölkerung, insbesondere der Jugend, zum wirtschaftlichen richtigen Denken und Handeln erkannt. Diese wirtschaftspädagogische, man kann schon sagen, sozialpolitische Funktion, wird von den Sparkassen nicht aus Rentabilitätsstreben ausgeübt, sondern im Hinblick auf eine Zielsetzung, die man als Gesellschaftsförderung und Wohlstandserhöhung bezeichnen kann.

Der Grundgedanke der Wirtschafts- und Sparerziehung ist nicht nur, wie bisher, bestimmte Kreise der Jugend, wie zum Beispiel die Studenten der Wirtschaftswissenschaften zum wirtschaftlich richtigen Denken zu erziehen, sondern möglichst breite Schichten der Bevölkerung mit den Vorgängen in der Wirtschaft vertraut zu machen und ihnen die Basis für ein wirtschaftlich richtiges Verhalten zu geben.

In einer Zeit, da die Soziologen befürchten, daß der Mensch durch den steigenden Wohlstand sein soziales und wirtschaftliches Verantwortungsbewußtsein verlieren könnte, ist die Erziehung zu wirtschaftlicher Verhaltensweise eine besonders vordringliche Aufgabe. Die Wirtschafts- und Sparerziehung der Sparkassen soll den homo

oeconomicus, den wirtschaftlich vernünftig denkenden und planmäßig handelnden Menschen heranbilden. Planmäßiges Handeln bedeutet jedoch Sparen, denn der vorausblickende homo oeconomicus wird sein Einkommen nicht zur Gänze dem Konsum zuführen, sondern Vorsorge für die Zukunft treffen. Sei es, daß er Geldmittel für den Erwerb, der sein laufendes Einkommen übersteigenden Gebrauchsgegenstände (Zwecksparen) oder für eventuelle Unglücksfälle (Bildung von Reserven) zurücklegt.

Sparen ist nicht nur privatwirtschaftlich, sondern insbesondere auch nationalökonomisch eine Notwendigkeit, da nur durch Sparen die für das Wachstum der Wirtschaft erforderlichen Kapitalien bereitgestellt werden können. Durch Zuführung der Geldmittel in den Konsum kann dieses Ziel nicht in gleicher Weise erreicht werden, da es nicht nur darauf ankommt, daß Einkommen über die Preise der Wirtschaft zufließen, sondern daß, die Anlage der Einkommen planmäßig, mit dem Ziele, eine ausgewogene Investitionsstruktur herbeizuführen, erfolgt.

Das vom privatwirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Standpunkt erwünschte richtige Denken und Verhalten der Bevölkerung herbeizuführen, ist das Ziel der Spar- und Wirtschaftserziehung der Sparkassen. Die Erziehung des Menschen zum richtigen wirtschaftlichen Denken beginnt bereits mit der Wirtschaftsinformation, durch die objektives wirtschaftliches Wissen auf einfacher Ebene vermittelt werden soll. Die Wirtschaftsaufklärung geht bereits einen Schritt weiter, und versucht den Menschen durch Erklärung nationalökonomischer Vorgänge und Darlegung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen wirtschaftlichen Erscheinungen zu einem richtigen wirtschaftlichen Verhalten hinzuführen. Wirtschaftserziehung im engeren Sinn bedeutet die höchste Stufe der Verhaltensbeeinflussung, im Sinne einer Hinlenkung des Menschen zu einer zweckmäßigen Einkommensplanung.

Die Basis für die Wirtschaftserziehung der Jugend in den Schulen bilden die neuen Schulgesetze des Jahres 1962, die, dank der intensiven Bemühungen der Sparkassen, Wirtschaftskunde und Sparerziehung in allen Lehrplänen vorsehen.

Als Träger der Wirtschaftserziehung der Jugend kommen in erster Linie die Lehrer in Frage. Daher sind die Sparkassen auch bemüht, diesen das erforderliche wirtschaftskundliche Wissen zu vermitteln und ausreichende Lehr- und Lernbehelfe für ihre verantwortungsvolle Aufgabe bereitzustellen.

Im Jahre 1964 wurden von den Sparkassen drei wirt-

schafts- und sozialkundliche Lehrseminare veranstaltet, bei denen Lehrern wirtschaftswissenschaftliches Gedankengut durch Fachleute vermittelt wurde. Den Lehrern wurde als Hilfe zur Vermittlung wirtschaftskundlichen Wissens an die Jugend Lehr- und Lernbehelfe, in Form von Lehrstoffsammelmappen, Broschüren und Wandtafeln in die Hand gegeben.

Als Mittel der Wirtschaftserziehung wurde im Jahre 1964 auch der Film in verstärktem Ausmaße herangezogen. Für das Schulfernsehen wurde der wirtschaftskundliche Film „Das Dorf von heute“ produziert und gesendet. Als Behelf für den sparpädagogischen Unterricht wurde der Zeichentrickfilm „Der Zaubergroschen“ hergestellt.

Der Wirtschaftserziehung dienen auch die in den Landeshauptstädten, in Zusammenarbeit mit den Volkshochschulen, durchgeführten wirtschaftskundlichen und wirtschaftspädagogischen Vorträge.

Es sind eine Vielzahl von Medien, die von den Sparkassen zur Wirtschaftserziehung der Bevölkerung, insbesondere der Jugend, eingesetzt werden. Sie alle dienen jedoch der Erfüllung der spezifischen Aufgabe der Sparkassen, die nicht in der Durchführung von Geld- und Kreditgeschäften, sondern in der Erziehung der Bevölkerung zu einem richtigen wirtschaftlichen Verhalten, zur Steigerung und Erhaltung des Wohlstandes der Allgemeinheit liegt.

Wirtschaftserziehung ist eine Aufgabe der modernen Sparkassenpolitik, die jedoch ihre Wurzeln in den Anfängen des Sparwesens hat, heißt es doch im Paragraph 1 der Mustersatzungen: „Der Zweck der Sparkasse ... in ... ist, zur Belebung der Arbeitsamkeit und Sparsamkeit jedermann, besonders aber den minderbemittelten Kreisen der Bevölkerung Gelegenheit zu bieten, Ersparnisse ohne Schwierigkeit und Zeitverlust als Kapital sicher und fruchtbringend anzulegen und nach Bedarf wieder beheben zu können.“

Gemeinnützigkeit, der Grundgedanke der ersten Sparkassengründungen, hat in der modernen Sparkassenpolitik, unter Berücksichtigung der Wandlungen in der Struktur der Gesellschaft und der Wirtschaft, eine Neuorientierung erfahren. Das Denken der Sparkassen zum Wohle der Allgemeinheit wurde, unter neuen Aspekten, in den praktischen Maßnahmen, die der Erziehung der Bevölkerung zum richtigen wirtschaftlichen Verhalten dienen, in die Realität umgesetzt.

Dr. Eva Pohl

