

VOLK UND WISSEN
SAMMELBÜCHEREI
NATUR UND WISSEN

PHYSIK

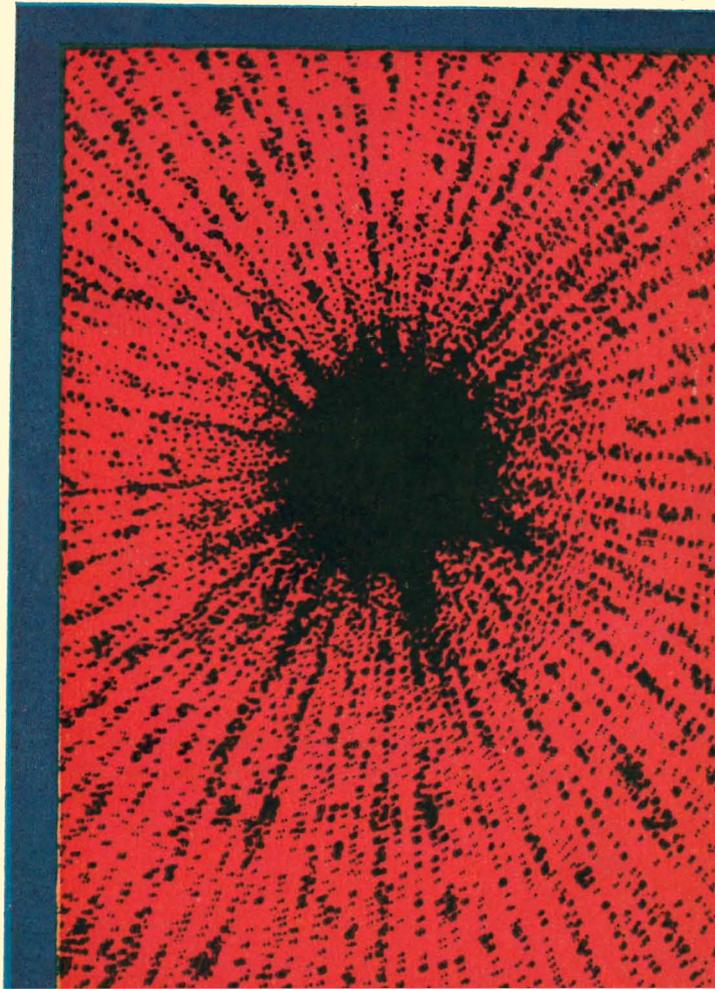
SERIE B • BAND 2
EINZELBAND 60 PF

* * * *

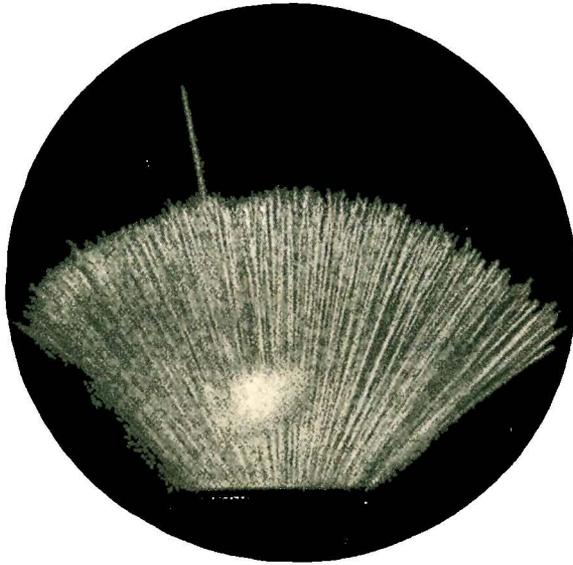
DIE STRAHLENDEN ELEMENTE

VON DEN RADIOAKTIVEN VORGÄNGEN
UND DEN RADIOAKTIVEN STRAHLEN

Legt man auf eine photographische Platte ein Stück Uransalz, so hinterlassen die von ihm ausgesandten α -Teilchen deutliche Spuren. Sie wirken ähnlich wie Licht auf die Platte ein, und nach dem Entwickeln erscheinen schwarzpunktierte Linien.



VOLK UND WISSEN VERLAG
BERLIN/LEIPZIG



Nebulenkameraaufnahme der Strahlung von Thorium C. Alle Strahlen haben etwa gleiche Reichweite, die mit der beim Zerfall freierwerdenden Energie in engem Zusammenhang steht. Sie ist so charakteristisch für ein Element, daß sie zu seiner Erkennung dienen kann.

Nach W. H. Westphal: »Physik«, 11. Aufl., Verlag Springer, Berlin 1944.

Dieser Band wurde von Dr. Günter Langhammer, Döbeln, verfaßt. Die Textillustrationen und die Farbbilder auf Titel- und Umschlagrückseite fertigte Kurt Herschel, Leipzig, an.

DIE STRAHLENDEN ELEMENTE

VON DEN RADIOAKTIVEN VORGÄNGEN
UND DEN RADIOAKTIVEN STRAHLEN

VOLK UND WISSEN SAMMELBÜCHEREI
NATUR UND WISSEN · SERIE B · BAND 2



VOLK UND WISSEN VERLAG
B E R L I N / L E I P Z I G

INHALT	Vorwort	3
	I. Die Entdeckungsgeschichte der radioaktiven Elemente	4
	a) Die Entdeckung des Radiums	4
	b) Die Darstellung reiner Radiumsalze	5
	c) Die Messung der Radioaktivität	6
	II. Die radioaktiven Strahlen	8
	a) Die Wirkungen radioaktiver Strahlen	8
	b) Die α -Strahlen	13
	c) Die β -Strahlen	16
	d) Die γ -Strahlen	17
	e) Die Höhenstrahlung	17
	III. Der radioaktive Zerfall und die Umwandlungsreihen	18
	a) Atomumwandlungen	18
	b) Die Zerfallsreihen	20
	IV. Künstliche Radioaktivität	23
	V. Bedeutung der radioaktiven Stoffe	
	für Wissenschaft und Technik	25
	a) Bedeutung für die Geologie	25
	b) Bedeutung für Medizin und Biologie	27
	c) Bedeutung für die Technik	28
	Namenverzeichnis	30
	Fach- und Fremdwörter	31

PREIS 60 PFENNIG Gesetzt in der Offizin Haag-Drugulin, Leipzig (M 103)
 Druck des Umschlages von Wolfgang Leff, Borsdorf bei
 Leipzig (M 15) und des Innenteils von Volk und Wissen
 Verlag GmbH, Leipzig, Abt. Druckerei (M 242)

Bestell-Nr. 12 554 Lizenz-Nr. 334 · 1000/49-1-243 · 1.—50. Tausend 1949
 Alle Rechte vorbehalten

VORWORT

Im Jahre 1895 entdeckte der deutsche Physiker C. W. RÖNTGEN eine merkwürdige Strahlenart. Sie geht von der Wand einer elektrischen Entladungsröhre aus und ist fähig, durch Stoffe wie schwarzes Papier, Metalle, ja auch durch den menschlichen Körper hindurchzudringen. Der Entdecker nannte sie X-Strahlen, später wurden sie ihm zu Ehren Röntgenstrahlen genannt. Wissenschaftler der ganzen Welt befaßten sich bald mit ihnen und ihren merkwürdigen Eigenschaften. Die neu entdeckten Strahlen sind imstande, bei einer ganzen Reihe von Stoffen ein eigenartiges Leuchten, die sogenannte Fluoreszenz, hervorzurufen. Zwar kannte man bereits einige Stoffe, die schon bei Bestrahlung mit gewöhnlichem Licht fluoreszieren, aber die Röntgenstrahlen erwiesen sich als viel stärker erregend.

Noch im Jahre 1895 untersuchte der französische Physiker H. BECQUEREL diese Leuchterscheinungen an den Salzen des seltenen Metalles Uran. Er vermutete, daß diese nach der Einwirkung von X-Strahlen selbst wieder solche aussenden. Scheinbar hatte er mit seiner Vermutung recht, denn das bestrahlte Uransalz vermochte durch schwarzes Papier hindurch eine photographische Platte zu schwärzen, gerade als ob von ihm tatsächlich Röntgenstrahlen ausgingen. Bald aber zeigte sich, daß diese Vermutung falsch sein mußte, denn die Uransalze besitzen die Fähigkeit des Strahlens auch dann, wenn sie vorher nicht durch Röntgenstrahlen getroffen werden. Das Uran strahlt »von selbst«. Darüber hinaus stellte BECQUEREL fest, daß Licht, Elektrizität oder Wärme die Strahlung des Urans weder zu stärken noch zu schwächen vermögen, also völlig ohne Einfluß sind. BECQUEREL veröffentlichte seine Versuche in den von der französischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Mitteilungen. Durch diese Veröffentlichungen angeregt, beschloß MARIE CURIE, die Frau des bekannten französischen Physikers, ihre Doktorarbeit über »Uranstrahlen« zu schreiben.

Der vorliegende Band berichtet über die Entdeckungsgeschichte der Uranstrahlen, die Eigenschaften der radioaktiven Strahlen, über die künstliche Radioaktivität als Teil der Kernchemie und die Bedeutung der radioaktiven Stoffe für Wissenschaft und Technik.

I. Die Entdeckungsgeschichte der radioaktiven Elemente

a) Die Entdeckung des Radiums

Gemeinsam mit ihrem Mann arbeitete MARIE CURIE an ihren chemischen Untersuchungen. Als erstes Ergebnis stellten sie fest, daß die Stärke der Uranstrahlung lediglich von der Menge des Urans abhängt, nicht von der Art, wie es im Salz oder im Mineral chemisch gebunden ist. Daraus folgt, daß die Fähigkeit, Strahlen auszusenden, eine Eigenschaft der Uranatome sein muß. An diese Erkenntnis knüpfte sich die Frage, ob die Atome des Urans die einzigen seien, die imstande sind, solche Strahlen auszusenden.

Bei der Überprüfung aller damals bekannten und zugänglichen Elemente fand man in der Tat noch ein zweites Element, das die gleiche Fähigkeit besitzt: das Thorium, und zwar ebenfalls in allen seinen Erscheinungsformen als Salz und als Mineral. Alle anderen Elemente erwiesen sich dagegen als unwirksam. Für die beiden Elemente Uran und Thorium schlugen die Entdecker CURIE die Bezeichnung radioaktive Elemente vor. Später wurde deren Anzahl durch weitere Forschungen erheblich vergrößert.

Einige der untersuchten Mineralien strahlten besonders stark. Sie enthielten Thorium und Uran. Das war zunächst nicht auffällig. Als jedoch MARIE CURIE den Thorium- und Urangehalt dieser Mineralien bestimmte und deren Strahlungsvermögen mit dem reiner Thorium- und Uransalze verglich, fiel ihr auf, daß es viel stärker war, als man erwarten sollte. Sorgfältige Wiederholungen der Experimente ergaben dieselben Resultate; Versuchsfehler waren demnach ausgeschlossen. Wie ließ sich nun dieses besonders starke Strahlungsvermögen erklären? Alle anderen bekannten Elemente hatte man eben erst untersucht und für unwirksam befunden. Mit genialer Sicherheit stellte MARIE CURIE die Behauptung auf, daß in diesen Mineralien ein noch unbekanntes Element enthalten sein müsse, das für diese starke Strahlung verantwortlich zu machen sei. Sie teilte diese Vermutung der französischen Akademie mit, in deren Protokoll vom 12. 4. 1898 es heißt: »Zwei Uranverbindungen, Pechblende (Uranoxyd) und Chokoolith (Kupferuranphosphat) sind bedeutend radioaktiver als das Uran selbst. Diese Tatsache ist sehr beachtlich und führt zu der Annahme, daß diese beiden Verbindungen ein Element enthalten könnten, das erheblich radioaktiver ist als das Uran.« Freilich, das vermutete und gesuchte Element konnte

nur in kleinsten Mengen vorhanden sein, war es doch bis dahin bei allen chemischen Analysen unbemerkt geblieben. Seine Strahlungsfähigkeit aber, verglichen mit der des Urans, mußte außerordentlich stark sein. Nach dem damaligen Stande der Wissenschaft erschien es fast unmöglich, die Richtigkeit dieser gedanklichen Folgerungen zu beweisen. Um so bewunderungswürdiger ist die unbeirrbare Zähigkeit, mit der Frau CURIE an ihrer Vermutung festhielt und ihre Schlüsse daraus zog. Sie blieb den Beweis nicht schuldig. Gemeinsam mit ihrem Mann untersuchte sie die Uranpechblende aus Joachimsthal am Südhang des Erzgebirges. Es stellte sich bald heraus, daß sogar zwei neue strahlende Elemente darin enthalten sein müssen. Für das eine schlugen sie im Juli 1898 den Namen Polonium vor, nach Polen genannt, der Heimat MARIE CURIES. Noch Ende des gleichen Jahres konnten sie das zweite Element rein darstellen, ein Element, das ein bis dahin ungekanntes Ausmaß an Radioaktivität aufwies. In einer Mitteilung an die französische Akademie vom 26. 12. 1898 nannten sie es Radium.

b) Die Darstellung reiner Radiumsalze

Wenn der Chemiker ein neues Element entdeckt hat, so ist sein nächstes Bestreben, dieses selbst oder wenigstens eine oder mehrere Verbindungen rein darzustellen. Das war auch das Ziel der Forscher CURIE. Bei allen chemischen Operationen, denen die Pechblende unterworfen wurde, konnte das Radium nie vom Barium, das Polonium nie vom Wismut getrennt werden. Nur die ständige Verbindung der gesuchten seltenen Elemente mit diesen beiden häufigeren konnte es überhaupt ermöglichen, ihrer selbst habhaft zu werden und mit ihren unwägbaren geringen Mengen zu hantieren. Offenbar sind die beiden strahlenden Elemente den beiden anderen chemisch sehr ähnlich. Wie aber konnten nun die Paare Radium-Barium und Polonium-Wismut voneinander getrennt werden? Hier führt nur die langwierige Methode der sogenannten »fraktionierten Kristallisation« zum Ziel. Stellt man eine gesättigte Lösung zweier miteinander gemischter Stoffe zur Kristallisation auf, so scheidet sich zuerst der schwerer lösliche Stoff, dann ein Gemisch von beiden und zuletzt der leichter lösliche ziemlich rein ab. Ist der Unterschied in der Löslichkeit nur klein, so wird der ganze Arbeitsgang oft wiederholt werden müssen, das gleiche natürlich, wenn der eine Bestandteil nur in sehr kleiner Menge vorhanden ist. Man kann sich leicht vorstellen, daß eine solche Prozedur oft recht lange Zeit in Anspruch nimmt. Der mühsame Weg, den MARIE CURIE bei der Herstellung des reinen Radiums einschlagen mußte, soll deswegen nur in seinen wichtigsten Etappen geschildert werden.

Als Rohstoff für die Versuche diente der Rückstand aus der fabrikmäßigen Verwendung der Pechblende, die man bis dahin lediglich auf Uran verarbeitet hatte. Bei diesem Prozeß war das Radium in die Rückstände abgewandert und

hatte sich dort angereichert. Diese Rückstände wurden zunächst mit verschiedenen Laugen und Säuren nacheinander zersetzt und ausgelaugt, aufgelöst und wieder ausgeschieden. Durch diese vielfach wiederholten Eingriffe erhielt man aus einer Tonne der Rückstände etwa 10 bis 20 kg rohe Barium-Radium-Salze, die etwa 30- bis 60mal so aktiv wie Uran waren. Erneutes wiederholtes Lösen und Füllen lieferte daraus etwa 8 kg reines Barium-Radium-Chlorid. Jetzt erst begann der vorhin geschilderte Prozeß der fraktionierten Kristallisation. Auf diese Weise gewann MARIE CURIE aus etwa 1000 kg Pechblendenrückstand schließlich 0,1 g reines Radiumchlorid

Inzwischen hat die Technik den Weg vom Erz zum reinen Radium erheblich abkürzen können; aber auch jetzt ist die Gewinnung des Radiums noch eine mühevoll, zeitraubende und kostspielige Arbeit. Übrigens blieben Radium und Polonium keineswegs die einzigen radioaktiven Elemente, die außer den schon bekannten, Uran und Thorium, entdeckt wurden. 1902 fand DEBIERNE das Aktinium. Später wurde festgestellt, daß auch die bereits lange bekannten Elemente Kalium und Rubidium sowie die seltenen Samarium und Cassiopeium radioaktiv sind, wenn auch nur sehr schwach.

Bei der genauen Erforschung der radioaktiven Vorgänge fand man dann nach und nach etwa 40 mehr oder weniger strahlende Elemente. Seit etwa 15 Jahren hat sich ihre Zahl durch das Hinzukommen künstlicher radioaktiver Elemente auf einige Hundert erhöht. Über einige soll später kurz berichtet werden.

c) Die Messung der Radioaktivität

Wie konnte MARIE CURIE bei ihren Arbeiten feststellen, ob sich wirklich in den von ihr hergestellten Lösungen und Kristallen das Element Radium angereichert hat?

Man könnte daran denken, eine Photoplatte für eine bestimmte Zeit in die Nähe des zu messenden Präparates zu bringen und sie dann zu entwickeln. Je stärker die Schwärzung ist, um so stärker ist das Präparat. Aber diese Methode wäre zeitraubend und ungenau. Viel besser eignen sich die elektrischen Wirkungen: Die radioaktiven Strahlen haben die Eigenschaft, die Luft, durch die sie hindurchgehen, elektrisch leitend zu machen. Man kann dies leicht an einem der bekannten Blättchenelektrometer zeigen. Lädt man ein solches mit einem geriebenen Hartgummistab elektrisch auf, so daß die Blättchen auseinandergehen, und läßt es dann in trockener Luft stehen, so dauert es Stunden, ja Tage, ehe sich die Blättchen einander wieder genähert haben. Bringt man aber irgendein radioaktives Mineral oder Salz in die Nähe, so erfolgt die Annäherung viel schneller, und zwar um so schneller, je stärker die radioaktive Strahlung ist. Man kann die Zeit, in der die Blättchen zusammenfallen, mit der Stoppuhr messen und mit der vergleichen, die bei der Einwirkung eines

Präparates von genau bekannter Stärke, eines sogenannten Standardpräparates, benötigt wird. Ein solches Standardpräparat stellte zuerst MARIE CURIE im Jahre 1911 her. Fast gleichzeitig schuf man ein solches auch in Wien. Jetzt besitzen die meisten Universitäten ähnliche Standardmengen, die mit dem in Paris befindlichen »Uranstandard« genau verglichen sind. Das deutsche Normalstandard, das der früheren Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg gehört, enthält 19,5 mg Radium.

Für genauere Messungen muß man empfindliche Elektroskope und Meßschaltungen benutzen. Man kann auf diese Weise außerordentlich geringe Mengen radioaktiver Stoffe bis zu unter einem millionstel Milligramm schnell und sicher nachweisen, und zwar auch dann, wenn sie nur ganz kurze Zeit einwirken.

Wie man international gültige Einheiten für die Messung der Länge oder der Zeit festgesetzt hat, so hat man auch eine Maßeinheit für die Radioaktivität vereinbart. Nach den Entdeckern des Radiums heißt diese Maßeinheit das »Curie«.

Etwas vereinfacht ausgedrückt ist 1 Curie die Aktivität von 1 g Radium. Für praktische Zwecke ist diese Einheit jedoch viel zu groß. Man benutzt daher die Einheiten 1 Milli-Curie = $\frac{1}{1000}$ Curie und 1 Mikro-Curie = $\frac{1}{1000000}$ Curie. Für die Einheit $\frac{1}{100000000000}$ Curie hat man auch die Bezeichnung 1 Eman. In älteren, namentlich medizinischen Veröffentlichungen wird die »Mache-Einheit« viel benutzt. In ihr gibt man vor allem die Wirksamkeit von radioaktiven Heilwässern und Quellen an. 1 Mache-Einheit ist gleich 3,46 Eman. Die stärkste Heilquelle der Welt enthielt 7000 Mache-Einheiten im Liter, das entspräche also der Aktivität von etwa 2,6 Mikro-Curie oder, grob gerechnet, einem Gehalt von 2,6 millionstel Gramm Radium pro Liter.

Räume, in denen radioaktive Messungen vorgenommen werden sollen, muß man sorgfältigst vor »Infektion« mit Radiumstaub und dergleichen schützen. Da es auch radioaktive Elemente gibt, die gasförmig sind, können winzige Spuren davon sich durch Tür und Korridor in entfernte Räume ausbreiten und dort zu Störungen bei den Messungen führen.

Das Radium selbst ist infolge der schnellen Entwicklung der künstlichen Radioaktivität etwas in den Hintergrund getreten. Auch auf dem medizinischen Gebiet wird es von dieser bald verdrängt sein. Vor dem zweiten Weltkriege wurden jährlich etwa 35 Gramm Radium auf der Erde gewonnen, hauptsächlich in Kanada, im Kongogebiet und in Joachimsthal. Der Preis für 1 Milligramm betrug 300 Mark.

II. Die radioaktiven Strahlen

a) Die Wirkungen radioaktiver Strahlen

Schon bald nach der Entdeckung der radioaktiven Strahlen hatte PIERRE CURIE erkannt, daß es sich dabei gar nicht um einfache Strahlen handelt, sondern daß jedes gewöhnliche radioaktive Präparat drei verschiedene Arten von Strahlen aussendet. Er nannte sie α -, β - und γ -Strahlen. Zunächst sollen diejenigen Eigenschaften und Wirkungen dieser Strahlen betrachtet werden, die ihnen gemeinsam sind.

Am auffälligsten sind die Leuchtwirkungen. Ein wenig trockenes Salz des Radiums leuchtet schon so stark, daß man bei seinem Lichte zu lesen vermag; sogar durch das geschlossene Augenlid hindurch dringen die Strahlen und bewirken auf der Netzhaut eine Lichtempfindung.

Radioaktive Strahlen wirken wie Licht — selbst durch eine Umhüllung hindurch — auf eine photographische Platte ein. (Vgl. Titelbild)

Man kann mit Radiumstrahlen auch undurchsichtige Körper durchleuchten und photographische Aufnahmen herstellen, ähnlich wie mit Röntgenstrahlen. Doch findet dieses Verfahren nur wenig Anwendung, weil Röntgenaufnahmen schneller und schärfer herzustellen sind.

Radiumpräparate leuchten aber nicht nur selbst, sondern bringen auch andere Stoffe zum Leuchten. Solche Stoffe sind z. B. die Salze der Alkalimetalle (Natrium, Kalium), der Erdalkalimetalle (Kalzium, Barium) und des Zinks, besonders das Zinksulfid, die sogenannte Sidotblende. Ferner leuchten der Flußspat und vor allem gewisse Verbindungen des Edelmetalls Platin, wie z. B. das komplexe Bariumplatinzyanid. Dabei ist die Farbe je nach dem Material verschieden. Auch der Diamant leuchtet in der Nähe von Radium auf. Dadurch kann ihn der Juwelier leicht von Fälschungen und Nachahmungen unterscheiden.

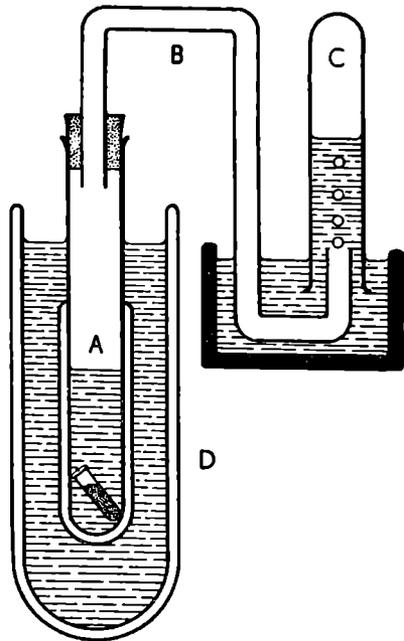
Bei den meisten dieser Stoffe verschwindet das Leuchten sofort, wenn das Radium entfernt wird, sie fluoreszieren. Bei einigen aber hört das Leuchten nicht sofort auf, sondern läßt langsam nach. Dieses Nachleuchten nennt man Phosphoreszieren. Im täglichen Leben haben diese Leuchterscheinungen eine weitverbreitete Anwendung in den radioaktiven Leuchtfarben gefunden. Das sind Farben, die geringe Mengen Radiumsalz enthalten, daneben

eines der obengenannten Salze, die unter dem Einfluß von Radium leuchten, und einen Stoff, der die ganze Mischung streichfähig macht. Die Strahlen haben von den Radiumatomen zu der fluoreszierenden Verbindung nur einen sehr kurzen Weg zurückzulegen; man braucht daher nur wenig Radium, um ein intensives Leuchten zu bewirken. Solche Leuchtfarben haben im Vergleich mit anderen den Vorteil, daß sie leuchten, ohne daß man sie erst längere Zeit einer starken Lichtquelle aussetzen muß. Ihre Verwendung auf Zifferblättern ist allgemein bekannt.

Aber nicht nur Licht verbreitet das Radium in seiner Nähe, sondern auch Wärme. Schon PIERRE CURIE entdeckte mit seinen Mitarbeitern, daß ein Radiumpräparat immer wärmer ist als seine Umgebung. Der Temperaturunterschied kann bis zu 10°C betragen. Das Radium muß diese Wärme immerwährend aus sich selbst erzeugen. Man mißt diese Wärmeentwicklung in einem sogenannten Kalorimeter, z. B. dem von BUNSEN erfundenen Eiskalorimeter, wobei man feststellt, wieviel Eis in einer bestimmten Zeit von der Wärmequelle, also von dem Radiumsalz, zum Schmelzen gebracht wird. In ähnlicher Weise kann man messen, wieviel von einer leicht verdampfenden Flüssigkeit, etwa Äther, in einem gewissen Zeitraum verdampft wird. Auch verflüssigte Gase eignen sich hierzu, z. B. flüssiger Wasserstoff, dessen Siedetemperatur -252°C beträgt (Abb. 1). Interessant ist, daß die bei dieser Temperatur vom Radium pro Sekunde erzeugte Wärmemenge genau so groß ist wie die, welche bei gewöhnlicher Zimmertemperatur erzeugt wird. Die Wärmeentwicklung des Radiums hängt also nicht von der äußeren Temperatur ab. Das ist ein wesentlicher Unterschied gegenüber normalen chemischen Reaktionen, bei denen sich die in einer Sekunde erzeugte Wärmemenge, d. h. die Geschwindigkeit des chemischen Vorgangs, mit einem Temperaturwechsel ändert.

Abb. 1 Messung der Wärmeentwicklung radioaktiver Stoffe

- A Gefäß mit flüssigem Wasserstoff und Radiumpräparat
- B Gasableitungsrohr
- C Auffanggefäß für den verdampften Wasserstoff
- D Temperaturbad mit flüssigem Wasserstoff



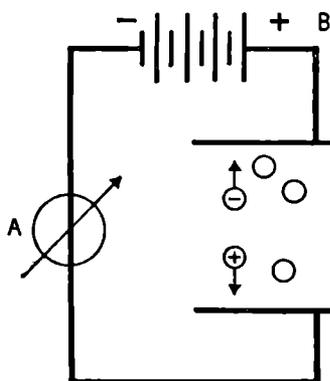
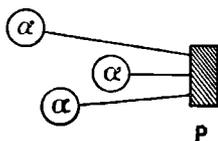


Abb. 2 Ionisation durch α -Teilchen (schematisch)

- A Strommesser
- B Batterie
- C Kondensatorplatten
- P radioaktives Präparat



Man hat auf diese Weise festgestellt, daß ein Gramm Radium, frei von jeder anderen Substanz, stündlich 25 Grammkalorien erzeugt. Eine Gramm-kalorie ist die Wärmemenge, die 1 Gramm Wasser um 1° C (genauer von $14,5$ auf $15,5^{\circ}$) erwärmt. Mit einem Gramm Radium können wir also ein Gramm Wasser in etwa drei Stunden zum Kochen bringen, wenn man es so einrichten könnte, daß alle Wärme nur dem Wasser zugeführt wird und keine Verluste durch Abstrahlung eintreten.

Gewöhnlich aber ist das Radium nicht rein, sondern enthält noch einige Stoffe, die bei dem radioaktiven Vorgang entstehen. Solches Radium liefert dann sogar 140 cal/h (Kalorien je Stunde). Freilich erscheinen diese Zahlen klein, und um Radium im Haushalt oder in der Industrie nutzbringend als Heizquelle zu verwenden, wären beträchtliche Mengen nötig. So große Mengen aber hat man bis jetzt noch nicht herstellen können und wird es auch in Zukunft nicht vermögen.

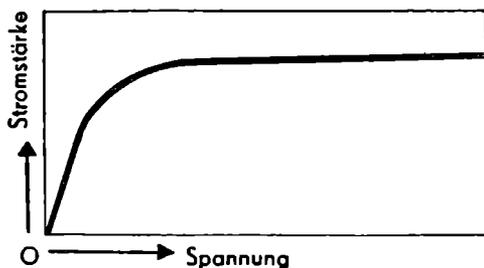
Auch chemische Wirkungen gehen auf die Radiumstrahlen zurück: Eine photographische Platte wird geschwärzt, Wasser wird durch Radiumstrahlen in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, und der Sauerstoff der Luft wird zu einem kleinen Bruchteil in Ozon verwandelt. Daher nimmt man in der Nähe eines starken Radiumpräparates den von der künstlichen Höhensonne her bekannten Ozongeruch wahr. Das Ozon hat nun seinerseits wieder verschiedene chemische Wirkungen. Manche Farbstoffe, z. B. das Chlorophyll, das Blattgrün der Pflanzen, werden gebleicht und zerstört. Bei einer Reihe von farblosen Mineralien und Salzen dagegen wird durch radioaktive Strahlen eine bleibende oder eine wieder verschwindende Färbung hervorgerufen. So färbt sich das weiße Steinsalz blau oder braun. Auf diese Weise kann man sogar die Farbe mancher Edelsteine »aufbessern«, z. B. kann man Korund in gelben Topas, grünen Smaragd oder blauen Saphir »umfärben«.

Praktisch besonders wichtig sind die elektrischen Wirkungen der radioaktiven Strahlen. Diese elektrische Wirksamkeit wird zur Messung der Stärke einer radioaktiven Strahlung benutzt. Die Strahlen erzeugen aus den Molekülen des Stickstoffes und des Sauerstoffes der Luft elektrisch geladene Teilchen, sogenannte Ionen. Befinden sich diese Ionen in einem elektrischen Spannungsfeld, etwa zwischen den Platten eines Kondensators, so setzen sie sich in Bewegung. Die negativ geladenen Ionen wandern nach der positiven Platte, der Anode, und die positiv geladenen Ionen nach der negativen Platte, der Kathode (Abb.2). Eine solche Bewegung elektrisch geladener Teilchen aber ist ein elektrischer Strom, den man mit geeigneten Amperemetern messen kann.

Ist nun eine starke radioaktive Strahlung vorhanden, so werden viele Ionen erzeugt; es fließt also ein stärkerer Strom als bei schwacher Strahlung. Dabei ist allerdings noch eines zu bedenken: Auf ihrem Wege zu den Kondensatorplatten, den Elektroden, werden nicht selten zwei Ionen entgegengesetzter Ladung aufeinanderprallen und sich zu einem ungeladenen Molekül vereinigen, das dann keine Elektrizität mehr transportiert. Es werden sich um so mehr solche Ionenpaare bilden, je schwächer die äußere Spannung ist, die man an die Elektroden legt. Fehlt diese ganz, so erfolgt die Vereinigung der Ionen am raschesten. Um sie zu verhindern, muß man eine genügend hohe Spannung (einige hundert Volt) an die Elektroden legen. Dann werden alle Ionen zu den Elektroden hingezogen, ehe sie Gelegenheit haben, sich zu vereinigen. Eine weitere Steigerung der äußeren Spannung bleibt ohne Wirkung auf die Stromstärke; denn mehr Ionen als durch die Strahlen gebildet werden, können ja nicht entstehen. Der Strom ist also unabhängig von der Spannung, man nennt ihn Sättigungsstrom (Abb.3). Seine Stärke ist ein direktes Maß für die Stärke der radioaktiven Strahlung. Die Fähigkeit der Radiumstrahlen, ungeladene Moleküle zu ionisieren, erklärt auch, daß viele nichtleitende Flüssigkeiten leitend werden, wenn sie den Strahlen ausgesetzt sind.

Nach alledem ist es kaum verwunderlich, daß die radioaktiven Strahlen

Abb. 3 Sättigungsstrom



auch auf lebendes Gewebe und auf die Körpersubstanz einwirken. Bringt man ein radioaktives Präparat einige Zeit mit der Haut in Berührung, so bemerkt man zunächst noch keine Veränderung. Nach Tagen oder Wochen aber bildet sich eine Wunde, die nur langsam und schwer wieder heilt. Schon PIERRE CURIE hat diese Entdeckung gemacht und am eigenen Körper ausprobiert, indem er auf seinem Arm 10 Stunden lang ein Radiumpräparat trug. In schweren Fällen entstehen krebsartige Geschwüre, die die Amputation des betreffenden Gliedes nötig machen und sogar zum Tode führen können. So fielen in der Frühzeit der Radiumforschung eine ganze Reihe von Gelehrten dem Radium zum Opfer. Andere trugen schwere Verstümmelungen davon. Man verwendet daher starke Präparate nur kurze Zeit und schützt sich durch dicke Bleiplatten vor den gefährlichen Strahlen.

Auch Pflanzensamen sowie tierische Samen- und Eizellen werden durch Bestrahlung beeinflußt, ihr Wachstum bzw. ihre Entwicklung wird gehemmt und beeinträchtigt. Gewisse Bakterien werden getötet, während bei höheren Tieren und beim Menschen neben der Haut besonders das Nervensystem, das Gehirn und das Rückenmark angegriffen werden.

Hingegen kann eine kurze, schwache Bestrahlung oft einen lebens- und wachstumfördernden Einfluß haben. Es ist daher kein Wunder, wenn die Radiumstrahlen eine mannigfache Verwendung in der Medizin finden (s. S. 27).

Die von PIERRE CURIE unterschiedenen α -, β - und γ -Strahlen lassen sich leicht voneinander trennen. Gehen radioaktive Strahlen durch ein magnetisches Feld, so werden sie in drei Bündel aufgespalten, etwa so, wie es Abb. 4 zeigt. (Dabei ist der Nordpol des Magneten über der Papierebene, der Südpol darunter zu denken.) Die am stärksten gekrümmten Bahnen sind die der β -Strahlen; die α -Strahlen werden nach der anderen Seite hin, aber schwächer, abge-

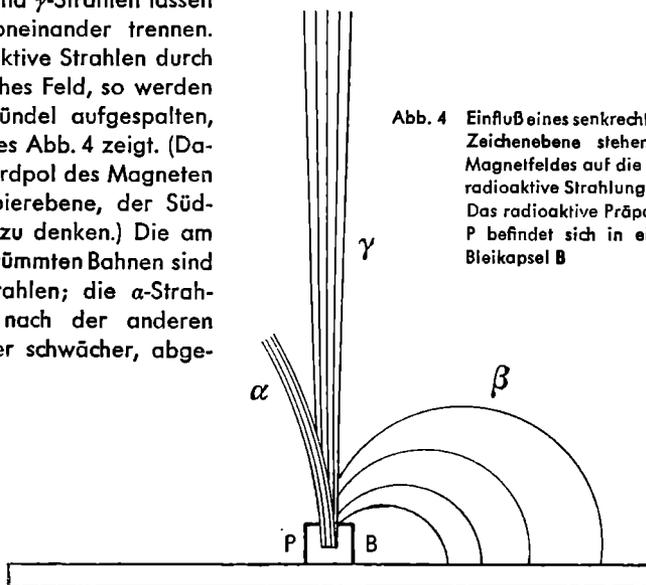


Abb. 4 Einfluß eines senkrecht zur Zeichenebene stehenden Magnetfeldes auf die radioaktive Strahlung. Das radioaktive Präparat P befindet sich in einer Bleikapsel B

gelenkt, und nur die γ -Strahlen gehen ohne Richtungsänderung durch das Magnetfeld hindurch. Eine ähnliche Trennung kann man mit einem starken elektrischen Felde erzielen.

Auch das Durchdringungsvermögen der drei Strahlensorten ist sehr verschieden. Am wenigsten lassen sich die γ -Strahlen beeinflussen; sie durchdringen selbst Bleiplatten bis zu 20 cm Stärke. Die β -Strahlen werden schon durch Aluminiumblech von einigen Millimetern Stärke aufgehalten, während für α -Strahlen bereits eine Aluminiumfolie von einigen hundertstel Millimetern Dicke ein undurchdringliches Hindernis bildet.

Die Reihenfolge kehrt sich gerade um, wenn man die elektrische, d. h. die ionisierende Wirkung oder die Wärmeentwicklung betrachtet. Dann stehen die α -Strahlen an erster und die γ -Strahlen an letzter Stelle.

b) Die α -Strahlen

Die Natur der α -Strahlen hat neben anderen Gelehrten vor allem der englische Forscher RUTHERFORD in einem Jahrzehnt unermüdlicher Forschungsarbeit klargelegt. Aus der Richtung ihrer Ablenkung im Magnetfeld geht hervor, daß die α -Strahlen positive elektrische Ladung tragen müssen. Vermutlich werden diese Strahlen positiv geladene Teilchen sein. Es ist wohl einzusehen, daß ein Teilchen um so leichter durch elektrische Kräfte aus der Bahn gelenkt wird, je größer seine elektrische Ladung ist, aber um so schwerer, je größer seine Masse ist. Leider läßt sich aus der Größe der Ablenkung allein nur das Verhältnis von Ladung und Masse bestimmen, also die Größe e/m . Für alle α -Strahlen, ganz gleich, woher sie stammen, ergibt sich hierfür der gleiche Zahlenwert, und dieser ist genau halb so groß wie der für ein positiv geladenes Wasserstoffatom, ein Wasserstoffion oder Proton. Daraus ist zweierlei zu schließen: Erstens müssen die Teilchen etwa die Größe eines Wasserstoffatoms besitzen, also positiv geladene Atome oder Gasionen sein. Zweitens ist ihre Masse entweder doppelt so groß wie die des Wasserstoffs und ihre Ladung gleichgroß, oder sie besitzen die vierfache Masse und die doppelte Ladung. Um hierüber Klarheit zu gewinnen, muß man eine der beiden Größen für sich allein bestimmen. Dies wäre für die Ladung möglich, wenn man die α -Teilchen eines Strahles zählen könnte. Würde man gleichzeitig die damit übertragene Elektrizitätsmenge messen, so könnte man leicht ermitteln, welche Elektrizitätsmenge (Ladung) ein Teilchen transportiert.

In der Tat kann man die α -Teilchen zählen, man hat sogar verschiedene Möglichkeiten hierzu.

Die einfachste Methode ist folgende: Bringt man einen Zinkblendeschirm in die Nähe eines Radiumsalzes, so kann man mit der Lupe ein unregelmäßiges Aufblitzen wahrnehmen. Jeder dieser Blitze wird durch ein α -Teilchen hervorgerufen. (Die β -Strahlen ergeben dies viel weniger deutlich, die γ -Strahlen

nur ein flächenhaftes Leuchten und keine Einzelblitze.) Zählt man nun die auftretenden Blitze, die sogenannten Szintillationen, und mißt gleichzeitig mit Hilfe einer elektrischen Anordnung die übertragene Ladung, so kann man bestimmen, wieviel Ladungen ein Teilchen transportiert. Eine solche Messung wurde 1908 von REGENER durchgeführt.

Bequemer und zuverlässiger arbeitet ein Apparat, der von dem deutschen Physiker GEIGER erfunden wurde, das sogenannte Zählrohr. Hier ruft jedes einzelne α -Teilchen in einer elektrischen Apparatur einen sehr kurzen Stromstoß hervor, der mit Hilfe eines Lichtzeigers photographisch registriert wird. In der Aufnahme kann man dann die Ausschläge des Lichtzeigers zählen.

Aus diesen Messungen konnte man berechnen, daß die zweite der oben besprochenen Möglichkeiten den Tatsachen entspricht, daß also die α -Teilchen die doppelte Ladung und die vierfache Masse des Wasserstoffions besitzen. Das Element mit dem Atomgewicht 4 ist aber das Helium. Folglich müssen die α -Teilchen zweifach positiv geladene Heliumatome oder Heliumionen sein.

Die Richtigkeit dieses Schlusses hat RUTHERFORD durch ein Experiment bekräftigt. Er schloß ein α -strahlendes Präparat in ein Glasröhrchen ein, dessen Wand so dünn war, daß sie die α -Teilchen noch hindurchließ. Dieses Röhrchen befand sich in einem zweiten Glasrohr mit dickeren Wänden, das wie das innere luftleer gepumpt wurde. In ihm waren zwei Elektroden für den Anschluß an einen Funkeninduktor eingeschmolzen. Das Röhrchen wurde nun von Zeit zu Zeit untersucht, indem man die Entladung durchgehen ließ und durch einen Spektralapparat beobachtete. Schon nach einigen Tagen war das charakteristische Leuchten von Helium zu sehen.

Die α -Teilchen bewegen sich mit der ungeheuren Geschwindigkeit von etwa 15000 bis 20000 km/s. Könnte ein solches α -Teilchen also ungehindert fliegen, so würde es in ca. 8 Sekunden auf dem Äquator die ganze Erde umkreisen. Aber in Wirklichkeit ist sein Weg viel, viel kürzer. Denn auf seiner Bahn trifft das Teilchen fortwährend mit Gasmolekülen zusammen. Es ionisiert diese und verliert dabei jedesmal an Geschwindigkeit. Schließlich hat es so viel an Wucht verloren, daß es nicht mehr ionisieren kann; dann ist das Ende seiner Bahn erreicht. Es fängt sich zwei negative Elektrizitätsteilchen, zwei Elektronen, ein, und verwandelt sich so in ein ungeladenes, ein neutrales Heliumatom. Diese Entfernung, mit der die α -Teilchen ihre Ionisierungsfähigkeit verlieren, nennt man ihre Reichweite.

Diese Reichweite ist merkwürdigerweise für alle α -Teilchen gleich, die von einem reinen α -strahlenden Elemente ausgehen. Sie hängt noch von der Natur des Gases ab, durch welches die Teilchen hindurchgehen, von dessen Druck und Temperatur. Gewöhnlich gibt man die Reichweite für Luft- und Zimmertemperatur und Normaldruck (760 mm Quecksilber) an. Unter diesen Bedingungen liegen die Reichweiten der verschiedenen α -Strahlen zwischen 2,6 und 8,6 cm. Mißt man also die Reichweite eines Strahles, so kann man damit fest-

stellen, welches Element vorliegt; auch seine Reinheit kann auf diese Weise nachgeprüft werden.

In flüssigen und festen Stoffen ist die Reichweite der α -Strahlen entsprechend der größeren Dichte viel geringer, sie beträgt nur Bruchteile von Millimetern. Bei der Bremsung der α -Teilchen wird ihre Wucht fast vollständig in Wärme umgewandelt. Die α -Strahlen bestreiten daher etwa $\frac{9}{10}$ der Wärmeproduktion der radioaktiven Stoffe.

Die Eigenschaft der α -Teilchen, stark ionisierend zu wirken, ermöglicht es, ihre Bahn in überzeugender Weise sichtbar zu machen. An elektrisch geladenen Teilchen verdichtet sich leicht der in der Luft enthaltene Wasserdampf, wobei sich kleine Nebeltröpfchen bilden. Man sagt, die Ionen stellen Verdichtungs- oder Kondensationskeime dar. Besonders leicht erfolgt diese Nebelbildung in schwach übersättigtem Wasserdampf, d. h. in einem Dampf, der schon kondensiert sein müßte. Lassen wir durch einen solchen Wasserdampf einen α -Strahl gehen, so werden die von ihm erzeugten Ionen auch hier als Kondensationskeime wirken. Nun erzeugt z. B. ein α -Strahl (von Radium C) auf seinem Wege von 7,06 cm etwa 240000 Ionen. Auch dann, wenn sich nur um jedes zehnte oder hundertste Ion ein Nebeltröpfchen bildet, bietet sich dem Auge noch eine lückenlose Nebellinie, welche die Spur des α -Teilchens bezeichnet. Solche Versuche hat der amerikanische Forscher C. T. R. WILSON in einem Apparat durchgeführt, den man nach ihm »WILSONsche Nebelkammer« nennt. Sie wurde bald zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel der Radioaktivitäts- und Atomforschung.

Auf der Umschlagrückseite ist eine WILSONKammer abgebildet, und die 2. Umschlagseite zeigt eine photographische Aufnahme der Nebelbahnen von α -Strahlen.

Die Erforschung der α -Strahlen hat in der Geschichte der Physik ihre besondere Bedeutung gehabt. Vorher war die Vorstellung, daß die Stoffe aus Atomen und Molekülen aufgebaut seien, keineswegs von allen Gelehrten anerkannt worden. Die Atome, so sagten die Zweifler, seien nur Gedanken-dinge, »Rechenpfennige der Chemiker«. Jetzt aber standen sie vor einem überzeugenden Gegenbeweis, so daß ihre Einwände mehr und mehr verstummten und die atomistischen Anschauungen als richtig anerkannt werden mußten. War es doch, entgegen dem Einwand, daß man nie ein einzelnes Atom beobachten könne, jetzt sogar möglich, seinen Weg zu verfolgen und die ankommenden atomaren Körperchen zu zählen. Die Atomvorstellung hatte endgültig den Charakter einer theoretischen Spekulation verloren und eine sichere erfahrungsmäßige Begründung erhalten.

Der Leningrader Physiker G. Gamow entwickelte 1928 eine Theorie des α -Zerfalls, die einen ersten Schritt zu einer Theorie des Atomkerns überhaupt darstellte.

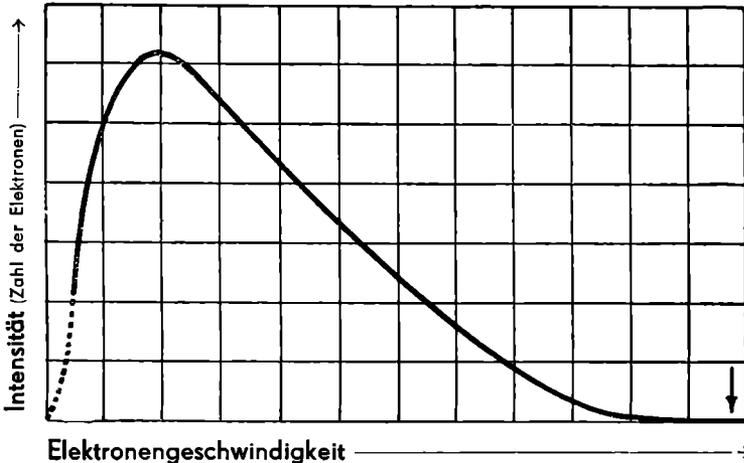
c) Die β -Strahlen

Die β -Strahlen werden entgegengesetzt abgelenkt wie die α -Strahlen, sie sind also negativ geladen. Bestimmt man für sie das Verhältnis Ladung: Masse (e/m), so erhält man einen viel größeren Wert als bei den α -Teilchen. Die Ladung ist aber entgegengesetzt gleich der eines Wasserstoffions, also $\frac{1}{2}$ von der eines α -Teilchens. Wenn daher e/m größer sein soll, muß die Masse sehr viel kleiner sein. In der Tat beträgt sie etwa $\frac{1}{17000}$ von der eines α -Teilchens oder $\frac{1}{1800}$ von der eines Wasserstoffatoms. Solche Teilchen aber waren zur Zeit der Untersuchung der β -Strahlen schon bekannt. Es sind die Elektronen, die Elementarteilchen der (negativen) Elektrizität, welche als sogenannte Kathodenstrahlen in den elektrischen Entladungsröhren aufgefunden worden waren. Ihre Geschwindigkeit in den β -Strahlen ist noch bedeutend größer als die der α -Teilchen, sie liegt zwischen 30 und 99% der Lichtgeschwindigkeit, also zwischen 100000 und fast 300000 km/s.

Im Gegensatz zu den α -Teilchen haben nicht alle β -Teilchen eines strahlenden Elementes die gleiche β -Geschwindigkeit und auch nicht mehrere bestimmte Einzelwerte. Die Geschwindigkeit kann vielmehr zwischen 0 und einem Maximum jeden beliebigen Wert annehmen (Abb. 5).

Trotz der größeren Geschwindigkeit ist die Wucht der β -Teilchen wegen ihrer sehr kleinen Masse geringer als die der α -Strahlen, ihr Ionisationsvermögen ist also kleiner. Andererseits ist ihre Durchdringungsfähigkeit, die mit ihrer Geschwindigkeit wächst, größer. Schnelle, durchdringungskräftige Strahlung nennt man hart, langsame weich. Als Maß für die Härte der Strahlung

Abb. 5 Geschwindigkeitsverteilung von β -Strahlen



nennt man die Dicke einer Aluminiumfolie, welche die Stärke der Strahlung auf die Hälfte herabsetzt, die Halbwertsdicke. Die Vorgänge, die sich beim Durchgang von β -Teilchen durch Materie abspielen, sind ein wenig verwickelt, so daß hier nicht näher darauf eingegangen werden kann. Nur die sogenannten sekundären β -Strahlen sollen noch erwähnt werden, die dadurch entstehen, daß β - oder γ -Strahlen beim Auftreffen auf Atome freie Elektronen erzeugen, die dann mit bestimmter Geschwindigkeit von den getroffenen Atomen fortfliegen.

d) Die γ -Strahlen

Während die α - und β -Strahlen aus sehr schnell bewegten Teilen atomarer Größe bestehen, sind die γ -Strahlen hingegen eine sogenannte Wellenstrahlung, wie das sichtbare Licht und die Röntgenstrahlen. Mit diesen beiden sind sie eng verwandt, werden wie diese weder durch magnetische noch durch elektrische Felder abgelenkt und sind eine sich mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegende »elektromagnetische Schwingung«. Sie sind eine sehr harte, d. h. durchdringungskräftige Röntgenstrahlung. Man hat auch die Wellenlänge der γ -Strahlen messen können und festgestellt, daß sie noch erheblich kürzwelliger sind als die Röntgenstrahlen. Alle γ -strahlenden Elemente senden Strahlen ganz bestimmter feststehender Wellenlängen aus und sind dadurch voneinander zu unterscheiden.

Ähnlich wie die α - und β -Strahlen werden die γ -Strahlen beim Durchgang durch Materie geschwächt oder »absorbiert«, jedoch ist ihre ionisierende Wirkung gering.

e) Die Höhenstrahlung

An dieser Stelle mag noch kurz die sogenannte Höhen- oder Ultra-Strahlung erwähnt sein. Sie wird auch als kosmische Strahlung bezeichnet und wurde 1911 entdeckt. Es handelt sich dabei um Strahlen von Teilchen, die mit ungeheurer Wucht aus dem Weltraum auf die Erde auftreffen und selbst in der Tiefe des Bodensees noch nachgewiesen werden konnten. Manche dieser Teilchen vermögen bis zu anderthalb Meter dicke Bleiplatten zu durchdringen, und ihre Energie kann millionenfach stärker als die von γ -Strahlen sein. Die kosmische Strahlung ist eines der Gebiete, auf dem die Physiker zur Zeit am stärksten arbeiten. Jedoch ist ihre Natur und vor allem ihre Herkunft noch nicht genügend erforscht, als daß man etwas Abschließendes darüber sagen könnte. Fest steht, daß sie keinem irdischen Prozeß entstammen kann und mit den radioaktiven Strahlen auf der Erde wohl verwandt ist, aber doch nicht unmittelbar mit ihnen zusammenhängt.

III. Der radioaktive Zerfall und die Umwandlungsreihen

a) Atomumwandlungen

Bei ihrer Entdeckung boten die radioaktiven Vorgänge der Wissenschaft viele neue Probleme. Ein Stoff, der dauernd Wärme und Strahlen liefert, ohne nachweisbar an Gewicht zu verlieren, ein Vorgang, der sich weder durch Glühhitze noch durch tiefste Temperatur beeinflussen läßt; der sich offenbar im Innern der Atome abspielt: all das mußte seinen Platz im Gebäude der Wissenschaft erhalten, und es war eine recht beträchtliche Erweiterung dieses Gebäudes nötig, um dies alles unterzubringen.

Worin besteht nun der radioaktive Vorgang?

Den ersten Schritt zur Beantwortung dieser Frage taten CROOKES und BECQUEREL. Sie stellten folgendes fest: Gießt man in eine Uransalzlösung Ammoniak, so bildet sich ein Niederschlag, der sich wieder auflöst, wenn man noch mehr Ammoniak zusetzt. Nur ein geringer Rest bleibt ungelöst. Dieser ungelöste Teil ist sehr stark radioaktiv, die Lösung dagegen gar nicht. CROOKES nannte diese neue, vom Uran ausgeschiedene Substanz Uran X. Er vermutete, das Uran sei gar nicht radioaktiv, sondern lediglich das in geringer Menge darin enthaltene Uran X besitze diese Eigenschaft. Nach etwa einem Jahr aber machte BECQUEREL die überraschende Feststellung, daß der lösliche Teil seine Radioaktivität voll und ganz wiedererlangt, der unlösliche aber viel davon verloren hatte.

Die englischen Forscher E. RUTHERFORD und F. SODDY prüften im Jahre 1902 diese merkwürdigen Vorgänge sehr eingehend. Dabei stellte sich folgendes heraus: Gewöhnliches Uran sendet α - und β -Strahlen aus. Der in Ammoniak aufgelöste Teil des Urans hat nun keineswegs alle Strahlen eingebüßt, sondern nur die β -Strahlen; die α -Strahlen sind ihm geblieben. Umgekehrt sendet das Uran X nur die β -Strahlen und keine α -Strahlen aus. Wenn die Strahlung des Urans X auf die Hälfte abgesunken ist, hat die des Urans gerade wieder die Hälfte ihres gewöhnlichen Wertes angenommen (Abb. 6). Etwas Ähnliches konnten RUTHERFORD und SODDY auch für das Thorium nachweisen. Am Thorium hatte RUTHERFORD schon 1900 eine andere merkwürdige Erscheinung bemerkt. Bläst man durch eine Thoriumsalzlösung Luft, so wird diese radioaktiv, wenn auch nur für kurze Zeit (Abb. 7). RUTHERFORD nahm an, daß hier ein

radioaktives Gas vorhanden sein müsse, welches aus der Thoriumsalzlösung durch die Luft ausgetrieben und mitgeführt wird. Er nannte es Thorium-Emanation. Noch im gleichen Jahr entdeckte DORN in Halle, daß auch das Radium eine solche Emanation aussendet. Ihre genauere Kenntnis verdanken wir vor allem dem englischen Forscher W. RAMSAY. Beide Emanationen lassen sich durch Abkühlen mit flüssiger Luft leicht verdichten. Sie verlieren ihre Aktivität allerdings sehr schnell. Die Stärke der Strahlung sinkt bei der Th-Emanation in 54 Sekunden auf die Hälfte, bei der Radium-Emanation (später Niton, jetzt Radon genannt) in etwa 4 Tagen. Es ergeben sich nun folgende Fragen: Warum läßt die Aktivität so schnell nach? Verliert die Emanation nur ihre Strahlungsfähigkeit, oder verschwindet sie völlig? Diese Fragen beantworteten RAMSAY und SODDY im Jahre 1903. Sie schlossen eine geringe Menge Emanation in ein elektrisches Entladungsrohr, den Geißleröhren ähnlich, ein. Nach vier Tagen zeigte sich das Leuchten des Heliums. Da dieses vorher sicher nicht vorhanden war, mußte es aus der Emanation entstanden sein. Das damals schon einige Zeit bekannte Element Helium aber ist nicht das einzige, das aus der Emanation entsteht. Auf Körpern, die mit der Emanation in Berührung kommen, schlägt sich ein fester aktiver Stoff nieder, der die Körper scheinbar strahlend werden läßt, ihnen »induzierte Aktivität« verleiht. Dieser Stoff wurde Radium A genannt. Die radioaktiven Strahlungsvorgänge sind also von Elementumwand-

Abb. 6 Aktivität von Uran X und gelöstem Uran in Abhängigkeit von der Zeit

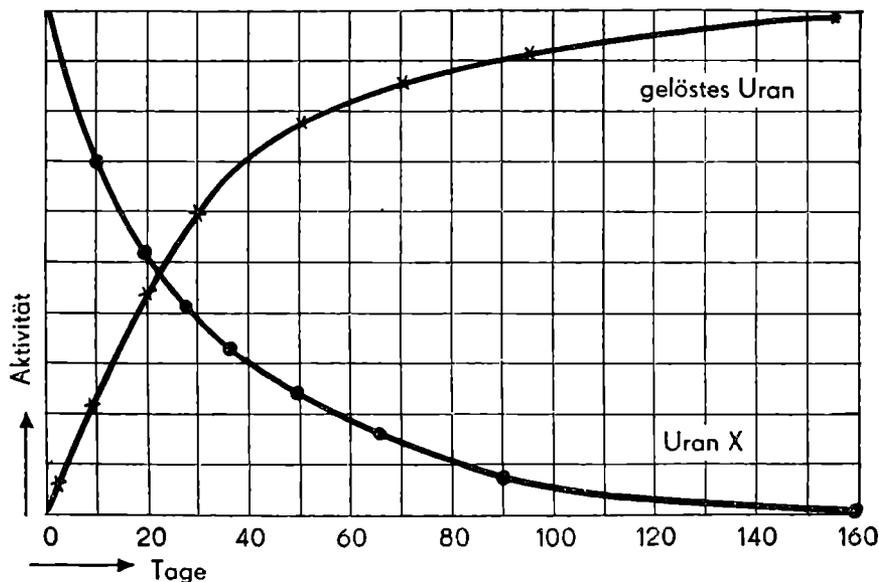
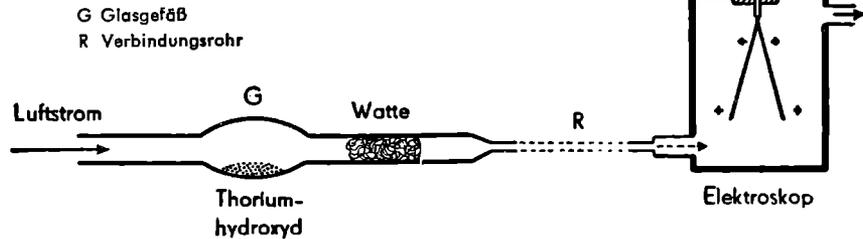


Abb. 7 Darstellung von Thorium-Emanation



lungen begleitet. Aus dem aktiven Element Radium entsteht über die Emanation das aktive Radium A und das nicht aktive Helium. Doch auch aus dem Radium A bilden sich neue Stoffe, die man nun mit Ra B, Ra C usw. bis Ra F bezeichnet. Damit war eine Theorie bestätigt, die schon 1902 von RUTHERFORD und SODDY als Hypothese aufgestellt worden war. Nach der Ansicht dieser Forscher zerfallen die Radiumatome fortgesetzt. Bei dem Zerfall bilden sich neue Atomarten. Teils sind sie selbst unbeständige Atome, die weiter zerfallen, teils sind es Atome schon bekannter chemischer Elemente, wie des Heliums.

Das war etwas Neues, Unerwartetes! Bis dahin hatten die Chemiker geglaubt, »ihre« Elemente seien unveränderlich, durch kein Mittel zu verwandeln. Jetzt sahen sie eine solche Verwandlung vor Augen, die noch dazu ohne äußere Einwirkung vor sich ging, selbsttätig und mit einer solchen Regelmäßigkeit, daß man seine Uhr danach stellen könnte. Eine neue Vorstellung vom Wesen der Stoffe entstand; Ausblicke in weites wissenschaftliches Neuland boten sich dem Forscher dar.

b) Die Zerfallsreihen

Der radioaktive Vorgang besteht also darin, daß ein Atom unter Ausstoßung eines Heliumkernes oder eines Elektrons und eines γ -Strahles in ein neues Atom von anderen chemischen Eigenschaften übergeht. Nun hatte man festgestellt, daß in den natürlichen Uranmineralien das Gewichtsverhältnis von Uran zu Radium immer dasselbe ist: Auf 1 g Uran kommen 0,000 000 33 g Radium. Was ist da naheliegender, als anzunehmen, daß Radium durch radioaktive Umwandlung aus dem Uran entsteht? Denkt man sich diese Umwandlung durch Ausstoßung von Helium bewirkt, so muß man annehmen, daß zwei ebenfalls α -aktive Zwischenprodukte entstehen. Das Atomgewicht von Uran beträgt 238,07 das des Radiums 226,05, der Unterschied etwa 12, das dreifache Atomgewicht des Heliums. Diese beiden erschlossenen Zwischenelemente konnte man auch tatsächlich auffinden, und da man den weiteren Zerfall des Radiums Stufe für Stufe verfolgen konnte, hatte man bald eine ganze sogenannte Zerfallsreihe vor sich. Außer dieser Uran-Radium-Reihe gibt es

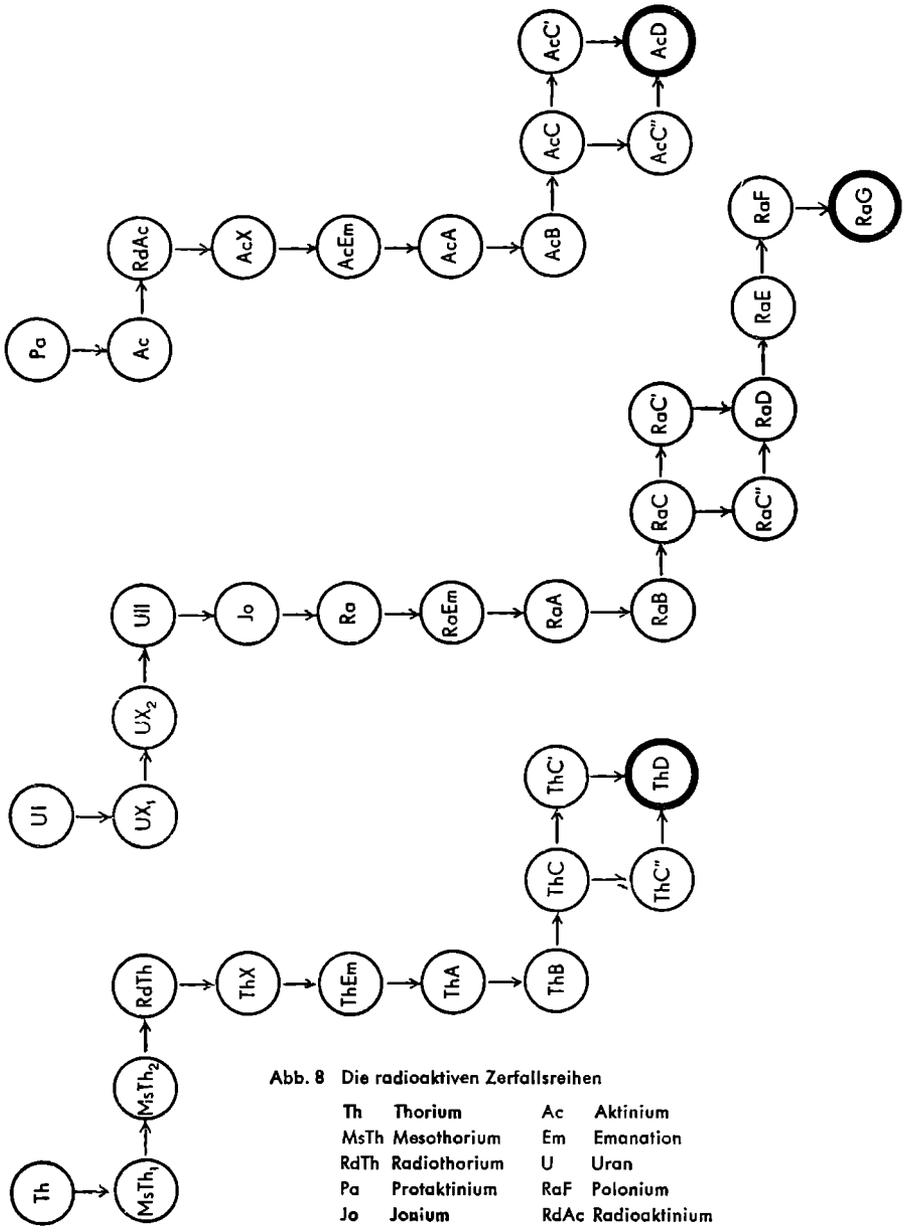


Abb. 8 Die radioaktiven Zerfallsreihen

Th	Thorium	Ac	Aktinium
MsTh	Mesothorium	Em	Emanation
RdTh	Radiothorium	U	Uran
Pa	Protaktinium	RaF	Polonium
Jo	Jonium	RdAc	Radioaktinium

noch die Thorium- und die Aktiniumreihe. In der Abb. 8 ist ein vereinfachtes Schema der drei Zerfallsreihen dargestellt. In ihm bedeutet ein senkrechter Schritt Aussendung eines α -Teilchens, ein waagerechter Aussendung eines β -Teilchens. Das U I sendet ein α -Teilchen aus und geht dabei in $U X_1$ über. Das Atomgewicht nimmt um das Gewicht eines Heliumkernes, also um 4 Einheiten, ab. Das $U X_1$ wandelt sich unter Aussendung eines β -Teilchens in $U X_2$ um. Dabei ändert sich das Atomgewicht nicht; denn das Gewicht eines Elektrons ist so klein gegenüber dem Gewicht des ganzen Uranatoms, daß es für das Atomgewicht keine Rolle spielt. Das $U X_2$ verwandelt sich wieder unter β -Zerfall in Uran II. Aus diesem entsteht unter α -Zerfall Ionium, die Muttersubstanz des Radiums. In gleicher Weise bilden sich weiterhin Radium, Ra Emanation (Radon), Ra A und Ra B. Das Ra B ist wieder ein β -Strahler und bildet Ra C. Bei diesem tritt eine eigenartige Gabelung der Reihe auf. Der größte Teil ergibt unter β -Zerfall $Ra C'$, das α -Teilchen ausschickt und Ra D bildet. Ein sehr geringer Prozentsatz (0,04%) des Ra C verwandelt sich ebenfalls in Ra D, aber in umgekehrter Reihenfolge über das $Ra C''$. Aus dem Ra D entstehen endlich Ra E und Ra F (Polonium), das sich zum Schluß in Ra G, in das sogenannte Radioblei, umwandelt. Den Namen Radioblei führt dieses Element deshalb, weil sein Atomgewicht dem des Bleis ungefähr gleich ist und weil es sich trotz des kleinen Gewichtsunterschiedes chemisch genau wie Blei verhält.

Hiernach lassen sich die anderen beiden Zerfallsreihen leicht verfolgen. Auch ihre Endprodukte sind chemisch dem Blei gleich: Thoriumblei und Aktiniumblei. Man kann deren Atomgewicht leicht berechnen. Vom Atomgewicht der Mutterelemente (U: 238, Th: 232, Protaktinium: 231) zieht man sovielmals 4 (d. i. das Atomgewicht des Heliums) ab, wie α -Strahler in der Reihe vorhanden sind. Hierbei ergeben sich die Atomgewichte für Ra G 206, Th D 208 und für Ac D 207. Gewöhnliches Blei hat das Atomgewicht 207,21. Wenn sich nun Uran und Thorium letztlich in bleiähnliche Elemente umwandeln, so müßte sich in Uran- und Thoriummineralien solches Blei allmählich ansammeln und ein vom gewöhnlichen Blei unterschiedliches Atomgewicht aufweisen. Genaue Bestimmungen ergaben Werte von 206,05 und 207,90, die mit den errechneten nahezu übereinstimmen. Damit war ein neuer Beweis für die Richtigkeit der Umwandlungstheorie geliefert. Zugleich war aber damit erhärtet, daß es chemisch gleichartige Atome gibt, die sich im Gewicht unterscheiden. Auf diese Annahme war man bereits bei dem Vergleich der Zerfallsreihen geraten. Man nennt solche Elemente Isotope.

Bei jedem radioaktiven Zerfall wechselt das Atom in gesetzmäßiger Weise seinen Platz im Perioden-System. Diese sogenannten radioaktiven Verschiebungssätze wurden 1913 von FAJANS und SODDY aufgestellt. Mit ihrer Hilfe gelang es, einige noch unbekannte Zwischenelemente der Zerfallsreihen aufzufinden. Kennt man die Stellung eines solchen Elementes im Perioden-System, dann kann man Aussagen über seine chemischen Eigenschaften machen, und seine Auffindung ist erheblich erleichtert.

IV. Künstliche Radioaktivität

In den radioaktiven Umwandlungsprozessen hatten sich der Wissenschaft Vorgänge offenbart, die, jeder Beeinflussung von außen unzugänglich, im Atominnern verlaufen. Sie liefern millionenfach mehr Energie (Wärme) als normale chemische Vorgänge, die unsere gebräuchliche Energiequelle, z. B. zum Antrieb von Motoren, darstellen. Der Versuch, solche Reaktionen künstlich herbeizuführen, erschien zunächst undenkbar. Denn wie sollte man den Atomkern zum Zerfall bewegen? Als einzige Möglichkeit bot sich der Zusammenstoß mit schnell fliegenden Teilchen, die genügend Wucht besitzen, um in den Kern einzudringen. Durch diese Operation gelang es im Jahre 1919 dem englischen Physiker RUTHERFORD, Stickstoffatome in Sauerstoffatome umzuwandeln. Schickt man α -Teilchen in Stickstoffgas, so treffen einige von ihnen auf die Atomkerne



Abb. 9 Wilsonaufnahme einer Atomumwandlung. Die Pfeile geben den Ort der Umwandlung an. Die quer nach halb rechts unten führende Bahn ist die des entstandenen Wasserstoffatoms

des Stickstoffes, dringen in sie ein und wandeln sie in Sauerstoffkerne um, wobei gleichzeitig ein Wasserstoffkern ausgestoßen wird. Jeder hunderttausendste α -Strahl bewirkt eine Atomumwandlung. In der Nebelkammer kann man die Bahn auseinanderfliegender Teilchen unmittelbar sehen (Abb. 9).

Mit dieser Entdeckung war eine künstliche Elementumwandlung zunächst prinzipiell gefunden worden. Je stärker die α -Strahlung ist, desto mehr Atomumwandlungen finden in einer Sekunde statt. Sobald die Einstrahlung aufhört, ist die weitere Möglichkeit einer Umwandlung ausgeschlossen.

Etwas anderes beobachteten 1934 I. F. JOLIOU und IRENE CURIE, die älteste Tochter MARIE CURIES: Beim »Beschuß« von Aluminium mit α -Teilchen gehen Umwandlungen so vor sich, daß verschiedenartige Teilchen, nämlich Protonen, Neutronen und Positronen entstehen. Das Neuartige an dieser Beobachtung war die Tatsache, daß die Aussendung von Positronen keineswegs aufhört, wenn die Einstrahlung der α -Teilchen abgebrochen wird. Vielmehr sind solche Positronenstrahlen noch 15 Minuten lang nachweisbar. Die Forscher deuteten diese Beobachtung folgendermaßen: Aus Aluminiumatomen entstehen zunächst Phosphoratom; dieser Phosphor ist radioaktiv, d. h. er verwandelt sich selbsttätig beständig in Silizium. (Daß tatsächlich vorübergehend Phosphor entsteht, kann man beweisen, indem man das bestrahlte Aluminium sofort nach der Bestrahlung in Salzsäure auflöst, wobei leichtflüchtiger Phosphorwasserstoff weggeführt wird und die Lösung inaktiv zurückbleibt.) Eine solche künstliche Radioaktivität kann auch bei Beschießung von Barium und Magnesium mit α -Teilchen festgestellt werden.

Seit diesen grundlegenden Entdeckungen sind die Forschungen auf diesem Gebiet schnell vorangegangen. Gegenwärtig kennt man schon einige hundert künstliche radioaktive Kernarten. Die künstliche Radioaktivität ist heute ein Teilbereich des umfassenderen Gebietes der künstlichen Kernumwandlung, oder - wie man kurz sagt - der Kernchemie.

V. Bedeutung der radioaktiven Stoffe für Wissenschaft und Technik

a) Bedeutung für die Geologie

Besonders wichtig sind die Ergebnisse der Radiumforschung für die Geologie und deren Hilfswissenschaften geworden. Während Uran und Radium nur an verhältnismäßig wenig Orten der Erdoberfläche in größerer und abbauwürdiger Menge vorkommen - Pechblende mit 0,14 g Ra pro Tonne Erz im Erzgebirge, im Tanganjikagebiet und vor allem in Katanga, Carnotit in USA und Südaustralien, andere Uranerze in Kanada und der Sowjetunion, Thorium hauptsächlich im Monazitsand Südamerikas -, ist die Radioaktivität auf der Erde weitverbreitet. Der Erdboden ist überall, wenn auch nur schwach radioaktiv. Das zeigt sich unter anderem darin, daß die Luft in Höhlen und Kellern einen auffallend hohen Grad von elektrischer Leitfähigkeit aufweist. Das gilt auch von Luft, die man durch ein in den Boden gebohrtes Rohr aus der Erde saugt. Die Leitfähigkeit solcher Luft nimmt langsam ab, sie sinkt in etwa vier Tagen auf die Hälfte. Daraus muß man schließen, daß sie eine gewisse Menge Radium-Emanation enthält, deren Halbwertszeit ja von ähnlicher Größe ist. In allen Gesteinen und Erdarten lassen sich Radium und Thorium nachweisen. Die sogenannten Primärgesteine, wie z. B. die Eruptivgesteine, enthalten im Durchschnitt 1 g Radium in 500000 t Gestein - das entspricht einem Gehalt von 1 g Uran und etwa 20 g Thorium pro Tonne Gestein. In den sekundären Gesteinen, den Sedimentgesteinen, sind natürlich die Anteile ungleichmäßiger. Die stärkste Radioaktivität ist in den Tonen festzustellen, die geringste in Sand- und Kalkgesteinen.

Diese allgemeine Verbreitung radioaktiver Elemente besitzt eine große und unerwartete Bedeutung. Wir sind gewöhnt, als alleinige für die Erde in Frage kommende Wärmequelle die Sonne anzusehen. Aber auch die Wärmeproduktion der radioaktiven Stoffe ist beträchtlich und beeinflusst den Wärmehaushalt der Erde. Legen wir die oben genannten Verteilungszahlen von Uran und Thorium zugrunde, so errechnen wir für die Wärmeproduktion des Urans und seiner Zerfallsprodukte im Kubikmeter Gestein 0,4 millionstel cal/s, für das Thorium 0,37 millionstel cal/s. Das scheint sehr wenig zu sein. Übertragen wir diese Zahlen aber auf die ganze Erde, wobei wir nur die oberste Erdrinde bis zu einem Meter Tiefe berücksichtigen wollen, so ergeben sich

bereits 510 Billionen Kubikmeter, die demnach zusammen schon rund 380 Millionen cal/s erzeugen. Die Erde strahlt etwa 6 Billionen cal/s in den Weltraum aus, also etwa 16000mal soviel wie im obersten Meter der Erdrinde erzeugt wird. Eine rund 16 km mächtige Schicht, die Uran und Thorium in den angegebenen Mengen enthält, würde also genügen, um den durch Ausstrahlung verursachten fortwährenden Wärmeverlust der Erde zu decken. Daraus muß man schließen, daß der Gehalt an Uran und Thorium nach der Tiefe zu abnimmt (bis etwa 13 km Tiefe bereits auf rund $\frac{1}{3}$). Nimmt man dagegen an, daß der Urangehalt im ganzen Erdinnern gleichbliebe, so würde die Erde 300mal soviel Wärme produzieren, wie sie ausstrahlt, es müßte also immer wärmer auf ihr werden. Für die Gesamtmenge des vorhandenen Urans und Thoriums errechnen wir die unvorstellbar großen Zahlen von 1200 Billionen Tonnen bzw. 450 Billionen Tonnen. Bei diesen Zahlen ist die Tatsache noch nicht berücksichtigt, daß ja auch das Kalium radioaktiv ist. Zwar strahlt es nur sehr schwach, aber dafür ist es in sehr viel größerer Menge vorhanden. Seine Wärmeproduktion ist etwa gleich groß, wie die von Uran und Thorium zusammen, so daß man annehmen muß, daß der Gehalt der Gesteine an Uran und Thorium nach dem Erdinnern zu noch schneller abnimmt. Immerhin ist die Wärmeerzeugung der radioaktiven Stoffe auf der Erde groß genug, um die Abkühlung des Erdballes zu verlangsamen.

Die strahlenden Elemente sind für die Geologie, insbesondere für die Erdgeschichte, noch in anderer Hinsicht von Bedeutung. Wie lang erscheint uns die Halbwertszeit des Radiums von 1580 Jahren, wenn wir sie mit dem gewöhnlichen Zeitmaß unseres Lebens messen; wie kurz aber wird sie, wenn wir sie mit dem Blick des Geologen betrachten, der gewöhnt ist, mit Jahrhunderttausenden und Jahrmillionen zu rechnen! In solchen Zeiträumen haben sich schon beträchtliche Mengen Radium aus Uran gebildet und sind wieder weiter zerfallen, so daß endlich auch Radioblei entstanden ist. Da wir die Lebensdauer der Elemente kennen, können wir aus dem Gehalt eines Minerals an diesem Endprodukt, dem Radioblei, gute Rückschlüsse auf das Alter des Minerals und damit auf das der Erde ziehen.

Wenn man weiß, aus welchem erdgeschichtlichen Zeitraum die zu untersuchende Gesteinsprobe stammt, kann man auch Alter und Dauer der Erdperioden abschätzen. Dabei muß man voraussetzen, daß das Mineral vor allem zur Zeit seiner Entstehung keinen verändernden chemischen Einflüssen ausgesetzt war. Da beim Zerfall auch Helium entsteht, ist der Gehalt eines Minerals an diesem Gas ebenfalls kennzeichnend für das Alter der Probe, wobei vorausgesetzt werden muß, daß das Helium in der Hauptsache im Gestein eingeschlossen geblieben ist. Die in einem Gestein um einen α -aktiven Einschluß sich bildenden Zersetzungshöfe geben gelegentlich noch eine dritte Möglichkeit, das Alter eines Minerals abzuschätzen.

Die Zahlen, die man so für das Alter der einzelnen Erdperioden erhält, stimmen im großen und ganzen mit denen überein, die sich aus andersartigen

geologischen Schätzungen ergeben haben. Für das Alter der belebten Erde nimmt man danach 1200 Millionen Jahre an, für die ältesten Gesteine etwa 1500 bis fast 2000 Millionen Jahre.

Über die geophysikalischen und geochemischen Verfahren zur Bestimmung des Alters der Erde berichtet ausführlich der Band unserer Sammelbücherei »Wie alt ist die Erde?« (Gruppe II, Serie J, Band 1).

b) Bedeutung für Medizin und Biologie

Schon bald nach der Auffindung des Radiums war dem Forscher PIERRE CURIE die starke Wirkung der Radiumstrahlen auf lebendes Gewebe aufgefallen. Später stellte sich heraus, daß kranke Zellen leichter von den Strahlen zerstört werden als gesunde. So können z. B. krebsentartete Zellen durch Radiumbestrahlung abgetötet werden. Auf diese Weise ist es möglich, dem Kranken Heilung oder wenigstens Linderung seines Leidens zu geben. Besonders günstig sind die Heilungsaussichten bei oberflächlichen Erkrankungen der Haut, bei denen man das Präparat dicht an die erkrankte Stelle heranbringen kann. Hier ist es wichtig, die richtigen Mengen genau zu kennen und auszuwählen, da sonst allzu leicht eine schädigende Wirkung eintritt. Deshalb ist die Strahlungsbehandlung unter allen Umständen nur Sache eines geschulten Arztes.

An Stelle natürlicher radioaktiver Stoffe werden in der Heilkunde in steigendem Maße künstliche radioaktive Isotope solcher Elemente verwendet, die im Körper unschädlich sind und von ihm auch normalerweise aufgenommen werden. Will man Bestrahlungen bestimmter Organe erreichen, so kann man Isotope solcher Elemente verwenden, die sich erfahrungsgemäß in diesen Organen anreichern, wie also etwa Jod in der Schilddrüse.

Aber nicht nur in der praktischen Heilkunde, sondern auch in der eigentlichen biologischen Forschung benutzt man die radioaktiven Stoffe und ihre Strahlung. Ein Lebensprozeß, der in besonderem Maße ihrer Einwirkung unterliegt, ist die Zellteilung. Daher ist die Wirkung auf solche Organe am stärksten, in denen viele teilungsfähige Zellen vorhanden sind. Das sind z. B. die Geschlechtsorgane, in denen die Keimzellen, oder das Knochenmark, in dem die roten und ein Teil der weißen Blutkörperchen gebildet werden. Immer ist es der Zellkern, der hauptsächlich geschädigt wird und seine Teilungsfähigkeit durch Verändern der Chromosomen verliert, während das Zellplasma wenig beeinflusst wird. Solche Bestrahlungsversuche werden uns vielleicht noch manchen Einblick in feinste Einzelheiten des Lebensvorganges ermöglichen. Hat man doch bei Einzellern festgestellt, daß mitunter ein einziger γ -Strahl, der ein einziges Molekül an einer ganz bestimmten Stelle trifft, das gesamte, aus Milliarden von Molekülen aufgebaute Lebewesen tötet.

Hauptsächlich aber werden die Radioelemente in der biologischen Forschung als sogenannte radioaktive Indikatoren verwendet. Die große Empfind-

lichkeit der radioaktiven Meßmethoden gestattet, auch unwägbar kleine Stoffmengen festzustellen. Eine chemische Verbindung, die radioaktive Atome enthält, ist damit gewissermaßen »gezeichnet«. So kann man den Weg eines Stoffes im Körper verfolgen und die Stellen der Anhäufung ermitteln. Von besonderem Vorteil ist es, daß man diese Versuche vielfach am lebenden Organismus durchführen kann. Damit werden gewisse Veränderungen, wie sie mitunter bei totem Material auftreten, vermieden. Hier liegt ein besonders weites Anwendungsgebiet künstlicher radioaktiver Elemente vor. Man wird die radioaktiven Isotope solcher Elemente bevorzugen, die vom Körper auch normalerweise aufgenommen werden, weil sie für den Lebensprozeß unentbehrlich sind. Dabei darf die Lebensdauer eines solchen Isotops nicht zu kurz sein, damit eine genügend lange Versuchsdauer möglich ist. Darüber hinaus soll der Indikator auch verschickt werden können. Sie darf jedoch nicht zu lang sein, damit das Strahlungsvermögen genügend groß bleibt und keine unerwünschten Nachwirkungen auftreten. Die Strahlung muß leicht nachweisbar sein, wozu eine genügend harte β -Strahlung am besten geeignet ist. Mit dieser Methode konnten viele Einzelheiten des Stoffwechsels geklärt werden. Man hat z. B. mit einem radioaktiven Kohlenstoffisotop festgestellt, daß die Pflanzen auch im Dunkeln langsam assimilieren. Sehr bedeutsam sind die Untersuchungen mit radioaktivem Phosphor für die Hirnforschung geworden. Für den Arzt ist die Untersuchung des anomalen, krankhaften Stoffwechsels wichtig, da sie ihm Hinweise für wirksame Abhilfe, Heilmittel und Heilverfahren gibt. Man ist ja keineswegs darauf beschränkt, das Radioelement in Form einfacher anorganischer Verbindungen zuzuführen; vielmehr kann man auch komplizierte organische Verbindungen, etwa Vitamine, »zeichnen« und so ihren Weg und ihr Schicksal kontrollieren. Auch die Wirkungsweise von Giften kann man mit dieser Methode prüfen. Solange man keine unvernünftig hohen Dosen gibt, ist hierbei nicht zu befürchten, daß eine Veränderung der Stoffwechselforgänge durch die Wirkung der radioaktiven Strahlen eintritt.

Selbstverständlich ist diese Indikationsmethode nicht auf die Biologie beschränkt. Auch die Physik und vor allem die Chemie benutzen sie in immer stärkerem Maße. Einige Anwendungsgebiete seien kurz genannt: Feststellung der wahren Oberflächengröße irgendeines Stoffes, Molekülaufbau, Korrosionsuntersuchungen, Prüfung auf Vollständigkeit einer Fällung in der quantitativen Analyse, Messung von Reaktionsgeschwindigkeiten und Reaktionsabläufen.

c) Bedeutung für die Technik

Bis vor wenigen Jahren besaßen die radioaktiven Elemente auf dem Gebiete der Technik nur eine untergeordnete Bedeutung. Da die γ -Strahlen durchdringungskräftiger sind als die Röntgenstrahlen, hat man sie gelegent-

lich zur Durchleuchtung von Werkstücken, also zu einer zerstörungsfreien Werkstoffprüfung benutzt. Jetzt verwendet man dazu künstliche Radioaktive, die eine große Aktivität auf kleinem Raum konzentrieren.

In jüngster Zeit aber hat ein Radioelement eine vorher ungeahnte Bedeutung erlangt: das Uran. An ihm wurde eine neue Art des Atomzerfalles entdeckt. Bis dahin kannte man nur einen Zerfall, welcher in der Ausstoßung von verhältnismäßig leichten Teilchen, z. B. He-Kernen, Protonen, Elektronen bestand, ebenso wie beim natürlichen radioaktiven Zerfall. Beim Uran aber konnte eine wirkliche Kernspaltung bemerkt werden, bei der zwei Bruchteile entstehen, deren Gewichtsverhältnis etwa 2:3 beträgt. Ihre Ordnungszahlen ergänzen sich zu 92, der des Urans. Aus einem Uranatom entstehen so z. B. ein Atom Rubidium mit der Ordnungszahl 37 und ein Atom Zäsium mit der Ordnungszahl 55, oder ein Paar Strontium (38) — Xenon (54).

Das in der Natur vorkommende Uran ist ein Mischelement aus vier Isotopen vom Atomgewicht 238, 237, 235 und 234. Ihre Anteile betragen 99%, 0,274%, 0,720% bzw. 0,006%.

Bestrahlt man das Uran mit langsamen Neutronen, so zerplatzen die Atome des 235-Urans, wenn ein solches langsames Neutron in sie eindringt. (Schnelle Neutronen würden ohne Wirkung an den Atomkernen vorbeigehen.) Aber noch mehr geschieht! Beim Zerplatzen des Urans werden wieder Neutronen frei, die neue Uranatome zum Zerfall bringen und so fort. Es bildet sich eine »Kettenreaktion« aus, die einen ganzen Uranblock in Bruchteilen einer Sekunde zum Zerplatzen bringen könnte. Bei diesem Zerfall werden in kurzer Zeit ungeheure Energiemengen frei, die man technisch verwenden kann, da sich die Geschwindigkeit des Zerfalls durch sogenannte Moderatoren regeln und auf technisch brauchbare Werte herabsetzen läßt.

Das 235-Uran kommt nur in geringer Menge vor, aber man kann auf ähnliche Weise auch das viel häufigere 238-Uran verwenden. Beschießt man dieses mit Neutronen, so bildet sich ein Uranisotop mit dem Gewicht 239. Dieses 239-Uran ist unbeständig und zerfällt mit 23 Minuten Halbwertszeit unter Elektronenausstrahlung in ein Element, das in der Natur gar nicht vorkommt, das Neptunium (Np) mit der Ordnungszahl 93. Aus diesem wieder bildet sich unter β -Zerfall von 2 bis 3 Tagen Halbwertszeit das Element 94, Plutonium, ein α -Strahler von 24000 Jahren Halbwertszeit. Es kann ebenso wie 235-Uran mit langsamen Neutronen gespalten werden. So ist auf diesem Umwege auch das 238-Uran für die Gewinnung von Atomenergie nutzbar zu machen.

Daß die technische Verwendung der Atomkraft aus dem Stadium der theoretischen Überlegung schon in das der praktischen Durchführung gelangt ist, wissen wir alle. Wie so oft, hat auch hier die Menschheit die zerstörenden Wirkungen neu entdeckter Naturkräfte früher kennenlernen müssen als ihre aufbauenden. Indessen ist die friedliche Ausnutzung von Atomenergie in der nahen Zukunft zu erwarten, wenn verschiedene technische Schwierigkeiten überwunden sein werden.

NAMENVERZEICHNIS

- Becquerel, Henry** lebte von 1852–1908. Er war zuletzt als Professor an der Polytechnischen Hochschule in Paris tätig und beschäftigte sich hauptsächlich mit Untersuchungen über Phosphoreszenz und Fluoreszenz, wobei er die Uranstrahlen auffand.
- Crookes, William** lebte von 1832–1919 in London und war langjähriger Assistent der Gesellschaft für Chemische Industrie. Er veröffentlichte 1879 Untersuchungen über elektrische Entladungen in gasverdünnten Röhren. Er schrieb: »Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand«.
- Curie, Marie geb. Skłodowska** geboren am 7. 11. 1867 in Warschau, studierte an der Pariser Universität, der Sorbonne, entdeckte gemeinsam mit ihrem Gatten Pierre Curie das Radium. Nach dem Tode ihres Mannes (1906) wurde sie seine Nachfolgerin als Professor an der Sorbonne und Leiterin des Radium-Institutes. Sie starb am 4. Juli 1934.
- Curie, Pierre** lebte von 1859–1906 und war Professor an der Sorbonne. Er entdeckte gemeinsam mit seinem Bruder Jacques die Elektrisierung von Körpern durch Zug oder Druck, die sogenannte Piezoelektrizität. Später widmete er sich der Erforschung des Radiums. Ein Unglücksfall riß ihn 1906 aus dem Leben.
- Curie, Irène** Tochter von Marie Curie, geb. am 12. 9. 1897, entdeckte 1934 gemeinsam mit ihrem Mann J. F. Joliot die künstliche Radioaktivität. Sie war 1935 Nobelpreisträgerin.
- Dorn, E. F.** 1848–1916, Professor der Physik in Halle, Entdecker der Radium-Emanation.
- Geiger, H.** geboren 1882, seit 1912 an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, später Professor in Berlin. Nach ihm ist das Zählrohr benannt, welches die Zählung von α -Teilchen gestattet und darüber hinaus in den neueren Strahlungsuntersuchungen (z. B. Höhenstrahlung) eine große Bedeutung gewann.
- Joliot, J. F.** geboren am 19. 3. 1900. Französischer Physiker. Er entdeckte die künstliche Radioaktivität, die Zerstrahlung von Positronen und Elektronen zu γ -Strahlen und leistete wichtigste Vorarbeiten zur Entdeckung des Neutrons. 1949 war er Präsident des Internationalen Weltfriedenskongresses.
- Ramsay, W.** lebte von 1852–1916. Er war Professor an der Universität London. Entdecker und Erforscher der Edelgase.
- Regener, Erich** war seit 1920 Professor an der Technischen Hochschule in Stuttgart und stellte Untersuchungen über Höhenstrahlung in großen Höhen und in der Tiefe des Bodensees an.
- Röntgen, Conrad Wilhelm** lebte von 1845–1923, Entdecker der nach ihm benannten Strahlen. Er erhielt 1901 den Nobelpreis für Physik.

- Rutherford, Ernest** geboren 1871 auf Neuseeland, Professor an verschiedenen englischen Universitäten, erhielt 1908 den Nobelpreis für Chemie wegen seiner Verdienste um die Aufklärung der radioaktiven Vorgänge.
- Soddy, Frederic** Professor für Physik in Glasgow. Durch verschiedene Arbeiten machte er sich sehr verdient um die Erforschung der Radioaktivität.
- Wilson, C. T. R.** geboren am 14. 2. 1869, Professor für Physik in Cambridge, arbeitete besonders über Atomforschung und atmosphärische Elektrizität. Nobelpreisträger 1927.

FACH- UND FREMDWÖRTER

- Amalgam** Kommt Quecksilber mit anderen Metallen in Berührung, so löst es diese auf unter Bildung von Verbindungen, den sogenannten Amalgamen. Beim Erhitzen verflüchtigt sich das Quecksilber.
- Analyse** Eigentlich Zerlegung. Feststellung der in einem Körper enthaltenen chemischen Elemente (qualitative A.) und der Menge, in der diese auftreten (quantitative A.).
- Deuteron** Kern des Wasserstoffisotops mit dem Atomgewicht 2, des schweren Wasserstoffes (Deuteriums).
- Elektroskop** Elektrometer. Gerät zum Nachweis elektrischer Ladung. In seiner einfachsten Form besteht es aus zwei an einem Stab befestigten dünnen Metallblättchen. Wird der Stab durch Berührung mit einem elektrischen Körper aufgeladen, so gehen die Blättchen auseinander, und zwar um so weiter, je größer die Ladung ist.
- Emanation** Bezeichnung für die beim Zerfall des Radiums, Thoriums und Aktiniums entstehenden Gase.
- Fluoreszenz** Bei Bestrahlung mit Licht leuchten manche Körper in einem Lichte auf, das sich von dem eingestrahnten in der Wellenlänge, und somit in der Farbe von dem zurückgeworfenen (reflektierten) unterscheidet. Dieses Leuchten nennt man Fluoreszenz. Besteht es auch nach Entfernung der Lichtquelle fort, so spricht man von Phosphoreszenz.
- Halbwertszeit** Von einer bestimmten Menge eines radioaktiven Elementes zerfällt die Hälfte innerhalb einer genau festliegenden Zeit. Der Rest benötigt wieder die gleiche Zeit, um ebenfalls zur Hälfte zu zerfallen. Diese Zerfallszeit ist die Halbwertszeit. Sie ist für jedes Element verschieden und damit eine Meß- und Kenngröße. Für Uran beträgt sie rund 4,5 Milliarden Jahre, für Radium 1580 Jahre, für Radium A 3,05 Minuten, für Polonium 126,5 Tage. Große Halbwertszeit bedeutet lange »Lebensdauer«.
- Indikator** Ein Mittel, das das Vorhandensein eines Stoffes oder einer bestimmten Eigenschaft anzeigt.

Isotope	Elemente, die in ihren chemischen Eigenschaften vollkommen gleich sind, jedoch verschiedenes Atomgewicht haben.
Kalorimeter	Gerät zur Messung von Wärmemengen (nicht von Temperaturen). Meist stellt man dabei fest, um wieviel Grad eine bestimmte Wassermenge erwärmt wird.
Komplexsalze	Salze, deren Ionen einzeln nicht nachweisbar sind. Es treten fest gebundene Gruppen auf, die in der chemischen Formel in eckige Klammern gesetzt werden, z. B.: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ = Tetramminkupfersulfat.
Korrosion	Zerstörung eines festen Stoffes durch den Angriff von Gasen oder Flüssigkeiten.
Moderator	Ein Stoff, der eine Reaktion verlangsamt.
Neutron	Ungeladenes Elementarteilchen mit der Masse 1 (bezogen auf Wasserstoff). 1932 entdeckt.
Positron	Gegenstück zum Elektron, eine positive Elementarladung tragend. Freie Positronen sind im irdischen Raum nicht beständig und vereinigen sich mit einem Elektron, wobei ein γ -Strahl entsteht (Zerstrahlung von Massen). 1933 entdeckt.
Proton	Kern des leichtesten Atoms, des Wasserstoffes. Seine Masse ist 1, die Ladung eine positive Elementarladung.
Perioden-System	Bestimmte Ordnung der chemischen Elemente – ursprünglich nach dem Atomgewicht –, in der sich die chemischen Eigenschaften in gewissen Perioden wiederholen. Unregelmäßigkeiten fanden ihre Aufklärung, als man entdeckte, daß nicht das Atomgewicht, sondern die Kernladung für die Reihenfolge der Elemente maßgebend ist.
Röntgenstrahlen	entstehen, wenn schnell bewegte Elektronen auf Materie treffen. Sie haben eine rund tausendmal so kleine Wellenlänge wie Licht und vermögen deshalb auch alle Stoffe größerer Schichtdicke zu durchdringen.
Symbol	Kurzzeichen für den Namen eines chemischen Elementes. Es bezeichnet ein Atom des betreffenden Elementes oder soviel Gramm davon, wie das Atomgewicht beträgt. Bei natürlichen Elementen bezeichnet das Symbol schlechthin das Mischelement. Will man Reinelemente und Isotope genauer unterscheiden, so muß man Ordnungs- und Massenzahl hinzufügen.
Szintillation	Mit geeigneten chemischen Substanzen überzogene Leuchtschirme zeigen beim Auftreffen von α -Teilchen einzelne Lichtblitze. Jedes α -Teilchen erzeugt einen solchen Blitz.
Übersättigung	Ein Gas, etwa die Luft, kann bei einer bestimmten Temperatur eine bestimmte Menge Wasser in Form von Dampf aufnehmen. Wird der Wassergehalt vergrößert, so muß sich der überschüssige Dampf in Form von Flüssigkeit niederschlagen. Bei Einhaltung bestimmter Vorsichtsmaßregeln (Staubfreiheit usw.) kann jedoch dieses Niederschlagen von flüssigem Wasser verzögert werden. Dann nennt man den Dampf übersättigt. Gelangt in solchen übersättigten Dampf ein Staubteilchen oder ein elektrisch geladenes Körperchen, so setzt sofort die Bildung eines flüssigen Niederschlags ein.

BISHER SIND ERSCHIENEN

A <i>Mathematik</i>	12502	Redne rasch und richtig
	12521	Naturgesetz und funktionale Abhängigkeit
B <i>Physik</i>	12511	Vom Wesen der Wärme
D <i>Allgemeine Biologie</i>	12513	Lebensbündnisse in Tier- und Pflanzenwelt
F <i>Zoologie</i>	12522	Tierleben im Tümpel
	12526	Verborgenes Leben
	12530	Gefiederte Freunde in Haus, Hof und Garten
	12560	Die Welt unter Wasser
G <i>Der Mensch</i>	12529	Herz und Gefäße
	12540	Hormone
	12562	Das menschliche Blut
H <i>Astronomie</i>	12505	Wie Botschaften aus dem Weltall entziffert wurden
J <i>Geophysik</i>	12542	Wie alt ist die Erde?
	12563	Ebbe und Flut
K <i>Meteorologie</i>	12501	Das Wetter im Sprichwort
L <i>Geologie</i>	12534	Das Eiszeitalter
	12535	Eine Sandgrube
N <i>Allgemeine Geographie</i>	12524	Das Gradnetz der Erde
O <i>Länder und Völker</i>	12508	Natur und Mensch der Polargebiete
	12509	Steinzeitvölker der Gegenwart
	12518	Die lebende Landkarte
P <i>Reisen und Forschungen</i>	12548	Neun Monate auf treibender Eisscholle
Q <i>Der junge Naturforscher</i>	12519	Der junge Steinsammler

IN VORBEREITUNG BEFINDEN SICH

A <i>Mathematik</i>	12575	Der Zeichenstift rechnet
C <i>Chemie</i>	12568	Das Perioden-System
J <i>Geophysik</i>	12547	Sonnenfleck
L <i>Geologie</i>	12564	Die Formationstabelle
	12586	Vom Eiszeitalter zur Gegenwart
O <i>Länder und Völker</i>	12549	Die Inselbewohner Melanesiens

Die Zahlen zwischen Serie und Titel sind die Bestellnummern. Weitere noch in Vorbereitung befindliche Bände werden fortlaufend an dieser Stelle angezeigt.

DIE GRUPPE II UMFASST FOLGENDE SERIEN:

A MATHEMATIK

B PHYSIK

C CHEMIE

D ALLGEMEINE BIOLOGIE

E BOTANIK

F ZOOLOGIE

G DER MENSCH

H ASTRONOMIE

I GEOPHYSIK

K METEOROLOGIE

L GEOLOGIE

M MINERALOGIE

N ALLGEMEINE GEOGRAPHIE

O LÄNDER UND VÖLKER

P REISEN UND FORSCHUNGEN

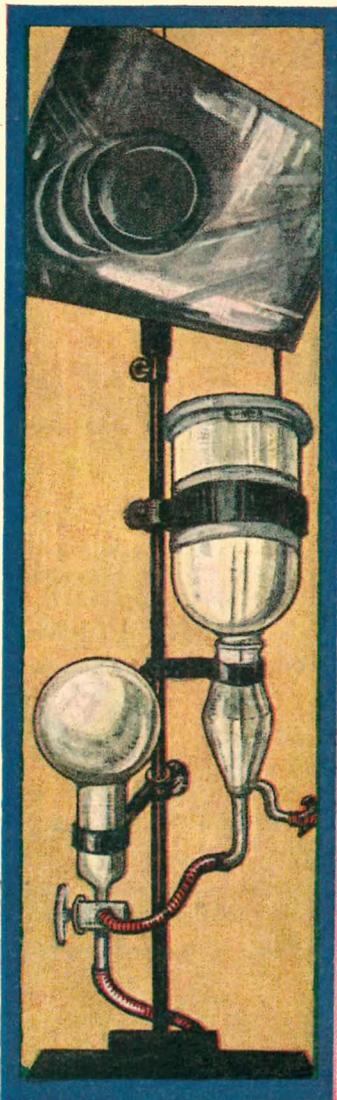
Q DER JUNGE NATURFORSCHER

R SCHÖNHITENU.SELTSAMKEITE

S NOCH NICHT VERFÜGT

T NOCH NICHT VERFÜGT

U GESCHICHTE DER NATURWISSENSCHAFT



Eine einfache, aus Glas gebaute Nebelkammer. Das große Gefäß ist die eigentliche Kammer, in der sich das radioaktive Präparat befindet. Der kleinere Glas Kolben dient zur Regelung des Luftdruckes in der Hauptkammer. Zur besseren Beobachtung der Kammer dient der ganz oben angebrachte Spiegel.