

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 6 (1951)
Heft: 1

Artikel: Künstliche Elemente : Radioaktivität und Elementumwandlung
Autor: Cap, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-653316>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Künstliche Elemente

Radioaktivität und Elementumwandlung

Von Doz. Dr. F. Cap

DK 539.16/.17 : 546.799.3/.8

Die Anschauung, daß alle auf dieser Welt vorkommenden Stoffe aus winzig kleinen, nicht weiter zerlegbaren Teilchen zusammengesetzt sind, ist schon uralte; Demokrit (400 v. Chr.) gab ihnen den Namen, der heute, nach mehr als 2000 Jahren in aller Munde ist: Atome — „Unteilbare“.

Doch seit etwa 50 Jahren weiß man, daß diese letzten, kleinsten Teilchen ihren Namen zu Unrecht führen. Sie sind nämlich keineswegs unteilbar — wenngleich überaus große Energiemengen nötig sind, um sie in ihre Bestandteile zu zerlegen. Die Forschungen haben gezeigt, daß das Atom eine Art kleines Sonnensystem ist, in dessen Mitte der Atomkern ruht; er vereinigt fast die ganze Masse des Atoms in sich. Dieser Kern wird von mehreren, sehr leichten Teilchen wie von Planeten umkreist. Es sind dies die Elektronen, die kleinsten Teilchen der Elektrizität. Die physikalischen Vorgänge in dieser sogenannten „Elektronenhülle“ sind uns heute bereits restlos bekannt. Man weiß z. B., daß sich die Elektronen in gewissen Schalen um den Kern anordnen und daß die äußersten Elektronen die chemischen Eigenschaften des Elementes bestimmen. Übergänge der Elektronen von weiter außen gelegenen Bahnen auf innere, also dem Kern näher gelegene, erzeugen Strahlung: Licht-, Wärme- und Röntgenstrahlung entstehen auf diese Weise.

Jedes Elektron trägt eine kleine negative Ladung, die sogenannte elektrische Elementarladung. Da die Atome aber im Normalzustand nach außen hin elektrisch neutral sind, muß der Kern eine positive Ladung tragen, deren absolute Größe gleich der Gesamtladung der ihn umkreisenden Elektronen sein muß; die Anzahl der Ladungseinheiten des Kernes ist also gleich der Zahl der Elektronen seiner Hülle — diese Zahl nennt man die Ordnungszahl des Elements. Sauerstoff z. B. mit der Ordnungszahl 8 vereinigt in seinem Atomkern 8 positive Elementarladungen und wird von 8 Elektronen umkreist.

Eine andere, das Atom des einzelnen Elements charakterisierende Größe ist das Atomgewicht. So ist z. B. das Sauerstoffatom im allgemeinen ungefähr 16mal so schwer als das Wasserstoffatom. Wählt man die Maßeinheit entsprechend, so daß das Gewicht des Wasserstoffkerns 1 ist,

so hat also ein 16mal schwereres Sauerstoffatom das Gewicht 16; da das Gewicht der den Kern umkreisenden Elektronen verschwindend klein ist, kann man also sagen, dieses Sauerstoffatom hat das Atomgewicht 16.

Es zeigte sich, daß der Wasserstoffkern mit dem Gewicht 1 ein Elementarteilchen ist: er kann auch durch noch so starke physikalische Mittel nicht weiter zerteilt werden. Da Wasserstoff auch die Ordnungszahl 1 hat, sein Kern also nur von einem Elektron umkreist wird, trägt das den Kern bildende Elementarteilchen mit der Masse 1 eine positive Ladungseinheit. Dieses Teilchen wird Proton genannt.

Mit Hilfe der Wilsonkammer (Abb. 1), die uns durch Bildung feinsten Kondensstreifen die Bahnen geladener Elementarpartikel anzeigt, gelang es der Forschung, weiter in die winzige Welt des Atoms einzudringen und seine Geheimnisse zu lüften. Man entdeckte ein neues Teilchen, das Neutron, ein ungeladenes Elementarpartikel, das ungefähr ebenso schwer ist wie das Proton. Schon eine einfache Überlegung ließ von vornherein auf seine Existenz schließen: Um bei dem alten Beispiel zu bleiben, hat ein Sauerstoffatom die Ordnungszahl 8, aber das Atomgewicht 16; es hat also nur 8 Protonen im Kern, und da die Hüllelektronen praktisch nichts wiegen, müssen sich im Kern noch andere, ladungsfreie Teilchen befinden, die mit den Protonen zusammen das Gewicht 16 ergeben. Dieses sind eben die erwähnten Neutronen, deren das Sauerstoffatom im allgemeinen 8 besitzt. Mit Ausnahme des Wasserstoffes bestehen die Kerne aller Elemente aus Protonen und Neutronen, deren Gewicht zusammen das Atomgewicht des betreffenden Elements ausmacht.

Radioaktivität und Elementumwandlung

Die Erforschung des Atomkerns konnte erst beginnen, als man erkannt hatte, daß auch er nicht unteilbar war; diese Erkenntnis verdanken wir dem dadurch berühmt gewordenen Ehepaar Curie, das im Jahre 1896 die Radioaktivität entdeckte.

Es zeigte sich, daß Atomkerne, deren Ordnungszahl über 80 liegt, instabil sind, daß sie also von selbst zerfallen. Die Kerne dieser Atome enthalten ja mindestens 80 Protonen

Abb. 1. In der Wilson-Kammer aufgenommene α -Teilchen, die durch Wasserstoff hindurchschießen. Der abgelenkte Strahl ist jeweils durch Zusammenstoß eines α -Teilchens mit einem Wasserstoffatomkern entstanden



und mehr als 125 Neutronen. Eine so große Zahl von Elementarteilchen hält nun nicht mehr zusammen, die Atomkerne dieser Elemente lösen sich von selbst auf. Diese Auflösung geschieht nach einem interessanten Gesetz: Sind relativ zu viel Protonen da, so stößt der Kern ein sogenanntes „Alpha-Teilchen“ aus; dieses besteht aus 2 Protonen und 2 Neutronen, es ist der Kern des Elements Helium. Dadurch wird der zerfallende radioaktive Kern um 4 Gewichtseinheiten leichter, und die Ordnungszahl wird um 2 vermindert: ein neues Element ist entstanden. Die Natur hat also schon seit Urzeiten den Wunschtraum der Alchimisten, ein Element in ein anderes umwandeln zu können, verwirklicht.

Sind aber relativ zuviel Neutronen in einem schweren Element, so zerfällt ein solches Teilchen in ein Proton und ein Elektron. Das Elektron verläßt als „Beta-Teilchen“ den Kern, während das Proton in diesem zurückbleibt und die Ordnungszahl des betreffenden Elements um 1 vermehrt. Wieder ist ein neues Element entstanden, dessen Atomgewicht jedoch gleich dem der Muttersubstanz ist, da ja das ausgeschleuderte Elektron fast nichts wiegt.

Meist werden bei radioaktiven Umwandlungen auch sogenannte „Gamma-Strahlen“ ausgesandt; bei ihnen handelt es sich um eine Art sehr harter Röntgenstrahlen. Alle diese radioaktiven Strahlungen finden mehrfach technische und medizinische Anwendungsgebiete.

Neben dieser natürlichen Radioaktivität gibt es auch eine solche, die man künstlich erzeugen kann. Um das zu erreichen, braucht man nichts weiter zu tun, als in irgendeinen Atomkern ein Neutron, ein Proton oder auch ein Alpha-Teilchen „hineinzuschießen“. Dadurch entsteht wiederum ein Überschuß an Neutronen oder Protonen und es kommt zum Zerfall des betroffenen Kerns. Für diesen künstlich herbei-

geführten Zerfall gelten allerdings etwas andere Gesetze als für die natürliche Radioaktivität. Sind zuviel Neutronen da, so entsteht wie beim natürlichen radioaktiven Zerfall aus einem Neutron ein Proton und ein Elektron; letzteres wird ausgestrahlt. Sind jedoch zuviel Protonen da, so verwandelt sich ein Proton in ein Neutron und ein Positron. Das entstandene Positron, nichts anderes als ein positiv geladenes Elektron, wird ebenfalls ausgesandt. Die Elementarteilchen sind also, wie man sieht, sehr verwandlungsfähig. Man darf aber daraus nicht etwa schließen, daß ein Neutron aus einem Proton und einem Elektron besteht und ein Proton aus einem Neutron und einem Positron zusammengesetzt ist ... der gesunde Menschenverstand ist eben nicht unbedingt auf atomare Gebiete anzuwenden. Man kann nur rechnen und muß versuchen, sich möglichst wenig darunter „vorzustellen“, alle Vorstellungen und Vergleiche mit der makroskopischen Welt sind mehr oder minder unzutreffend und „hinken“. Was also die „zerfallenden“ Elementarpartikel betrifft, so darf man höchstens von verschiedenen Zuständen ein und desselben Teilchens sprechen. (Auf unser Leben übertragen, würde das bedeuten, daß Mann und Frau nur zwei verschiedene Erscheinungszustände ein und desselben Wesens „Mensch“ wären, die sich je nach Bedarf ineinander umwandeln können.)

Man ist heute so weit, daß man beinahe jedes Element durch Beschießung mit geeigneten Teilchen (wozu die Monsterapparate der modernen Physik dienen, Abb. 2) künstlich radio-

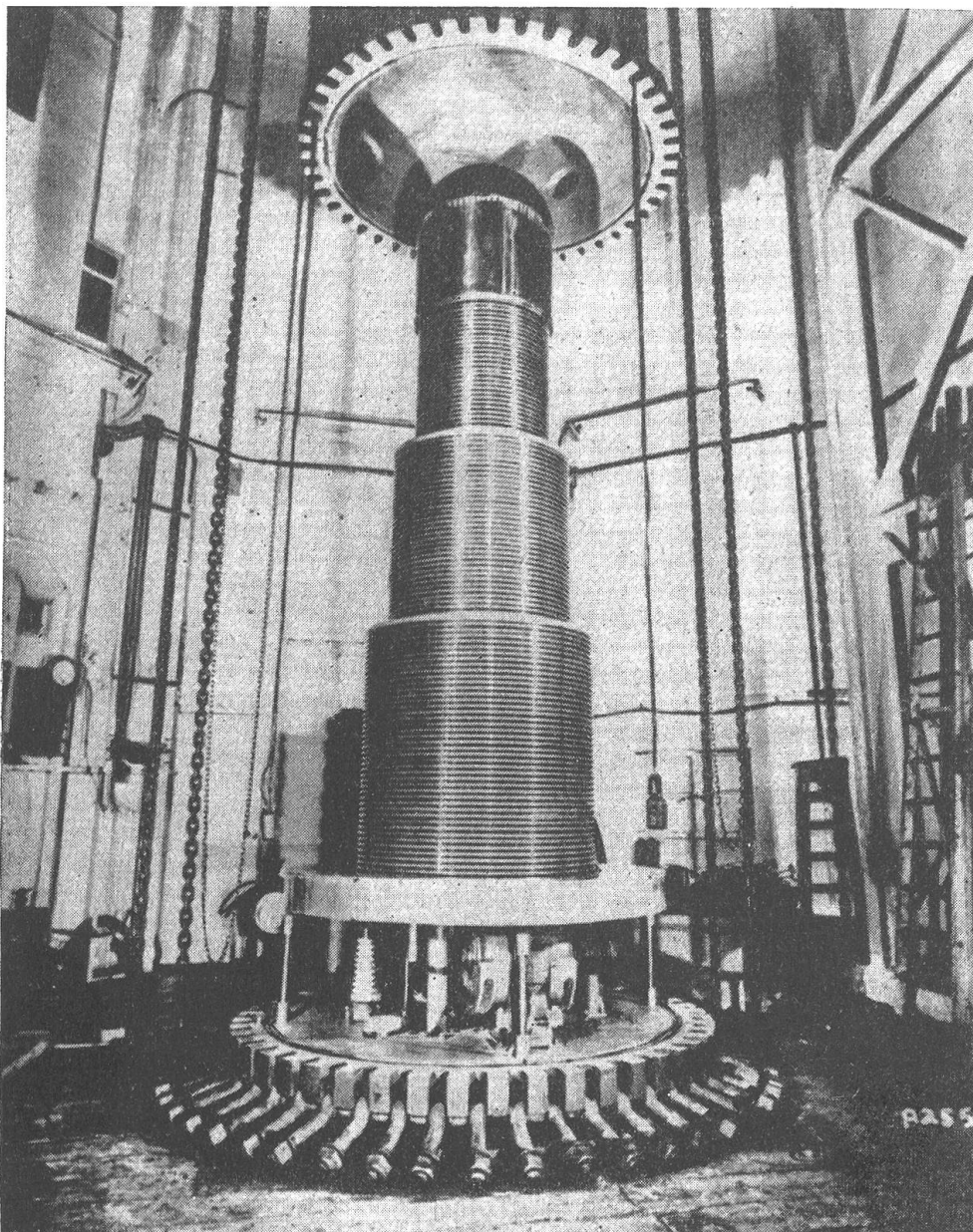


Abb. 2. Der 5.000.000-Volt-Generator in Harwell

aktiv machen kann. Dies hat für Medizin und Biologie eine große Bedeutung und eröffnete diesen Wissenschaften völlig neue Wege: Will man z. B. den Stoffwechsel des Natriums im menschlichen Körper verfolgen, so gibt man der Versuchsperson künstlich radioaktiv gemachtes Natrium in Form von Kochsalz ein und kann durch die mit einfachen physikalischen Apparaten nachweisbare radioaktive Strahlungswirkung den Weg des Natriums im Körper genau verfolgen.

Künstliches Gold

Durch die Gesetze der unter Beschießung mit verschiedenen Teilchen vor sich gehenden Kernumwandlungen sind wir in der Lage, beinahe jedes Element in jedes andere (über mehrere Zwischenstufen) zu verwandeln. So gelang

Rutherford zu Ende des ersten Weltkrieges die erste künstliche Elementumwandlung: Durch Beschuß von Stickstoff mit Alpha-Teilchen (vom natürlichen Zerfall des Radiums stammend) erhielt er Sauerstoff. Eine andere sehr bekannte Umwandlung ist die des Aluminiums unter Alpha-Beschuß in einen künstlich radioaktiven Phosphor, der sich unter Positronenemission in ein stabiles Silizium verwandelt. So hat man natürlich auch an die künstliche Erzeugung von Gold gedacht; diese ist auch auf mehrfache Weise möglich, unter anderem aus Quecksilber. Man kann sowohl radioaktives als auch stabiles Gold erzeugen, wie es in der Natur vorkommt. Doch die Gold-erzeugung ist alles andere als rentabel, denn das künstliche Gold ist um ein Vielfaches teurer als das natürliche. Der „Stein der Weisen“ des 20. Jahrhunderts, monströse Hochspannungsapparate (Abb. 2, 3 und 4), die zur Golderzeugung nötig sind, sind überaus kostspielig.

Atomenergie und radioaktive Gifte

Da die Atomkerne bei den besprochenen Umwandlungen Energie abgeben, tauchte schon sehr bald der Gedanke an eine wirtschaftliche oder militärische Verwertung dieser Atomenergie auf. Die Natur hat diese Energiequelle schon seit eh und je ausgenutzt; die Verwandlung von Wasserstoff in Helium (über Zwischenstufen) liefert die Energie, die unsere Sonne und die anderen Fixsterne heizt. Diese Umwandlung geht jedoch unter Temperaturen und Drucken vor sich, die wir kaum jemals in un-

seren Laboratorien herstellen werden können. Die im Verlaufe des zweiten Weltkrieges durchgeführten Forschungen haben jedoch gezeigt, daß es neben den gewöhnlichen Kernumwandlungen noch eine andere Möglichkeit der Erschließung der Atomenergie gibt: die Kernspaltung. Die Elemente mit ganz hohen Ordnungszahlen, wie Uran oder Plutonium, zerplatzen nämlich in zwei etwa gleich große Teile, wenn sie von Neutronen ganz bestimmter Geschwindigkeiten getroffen werden. Bei diesem Zerfall entstehen neben den beiden großen Teilen noch mehrere freie Neutronen, die nun ihrerseits wieder andere Kerne treffen und zum Zerfall bringen können. Es entwickelt sich so eine Kettenreaktion von Kernspaltungen, die lawinenartig anwächst. Da bei jeder einzelnen Spaltung eine relativ große Energie frei wird, kann es bei sehr schnell verlaufenden Kettenreaktionen, wie sie z. B. im Plutonium stattfinden können, zu einer „Energieexplosion“ kommen; eine solche wird in der Atombombe verwertet.

Es ist aber auch möglich, langsame und steuerbare Kettenreaktionen anlaufen zu lassen, deren stetige Energieabgabe wirtschaftlich verwertet werden kann (Uranbatterie). Die bei der Uranspaltung entstehenden Elemente mittlerer Ordnungszahl (Kernbruchstücke des Urans) sind fast alle sehr stark radioaktiv. Sie werden bereits jetzt in den USA. industriell und medizinisch verwertet. Auch für Kriegszwecke können diese Kernbruchstücke Verwendung finden: Mit Sand vermischt und von Flugzeugen abgeregnet, sind sie durch ihre star-keradioaktive Strahlung imstande, der Bevölkerung des betroffenen Gebietes schwerste gesundheitliche Schäden zuzufügen.

Die Transurane

Die bisher besprochenen künstlichen Elemente hatten sämtlich Ordnungszahlen unter 92, sie waren also nur Ab-

arten der bekannten Elemente, sogenannte Isotope. Zwei Isotope eines Elements unterscheiden sich nur durch den Neutronengehalt des Atomkerns, weisen also einen ganz geringen Gewichtsunterschied auf. Ihre Kernladungszahl und damit die Anzahl der den Kern umkreisenden Elektronen ist aber dieselbe.

Elemente mit einer Ordnungszahl höher als 92 konnten bisher in der Erdrinde nur in verschwindend kleinen Spuren aufgefunden werden, doch gelang ihre Erzeugung im Laboratorium. Sie sind alle natürlich radioaktiv, und da sie im periodischen System jenseits des Urans, das die Ordnungszahl 92 trägt, liegen, heißen sie Transurane. Beschießt man z. B. das Uranisotop 238 (für die Kernspaltung wird das Uranisotop mit dem Atomgewicht 235 verwendet) mit Neutronen, so entsteht neben dem natürlichen relativen Protonenüberschuß des Urans, welcher die Ursache seiner natürlichen Radioaktivität ist, ein plötzlicher künstlicher Überschuß an Neutronen, so daß sich ein Neutron in ein Proton und ein Elektron umwandelt. Das Elektron wird ausgesandt, und das entstandene Proton erhöht die Ordnungszahl von 92 auf 93. Es ist also aus dem Uran ein neues Element mit der Ordnungszahl 93 und dem Atomgewicht 239 entstanden. (Das hineingeschossene Neutron, das sich in ein Proton verwandelte, blieb ja im Kern stecken, so daß sein Gewicht den 238 Einheiten des verwendeten Uranisotops hinzuzuzählen ist.) Dieses neue Element bekam den Namen Neptunium.

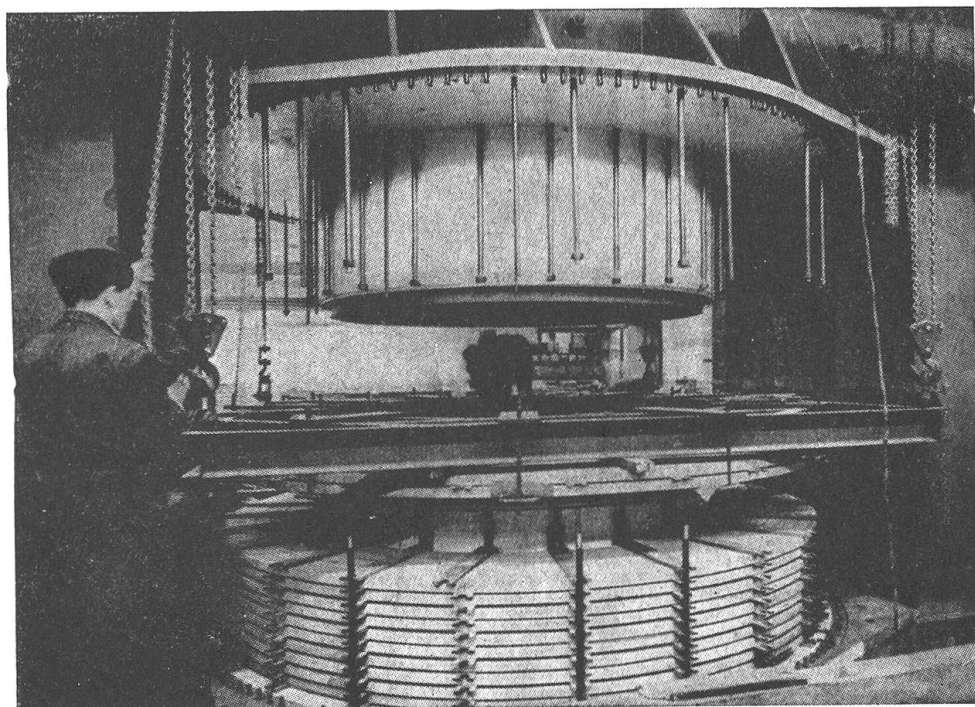


Abb. 3. Aufnahme vom Bau des Magneten für das große Zyklotron der englischen Atomforschungsstation in Harwell. Für den Aufbau des Magneten wurden 700 t Stahl verwendet

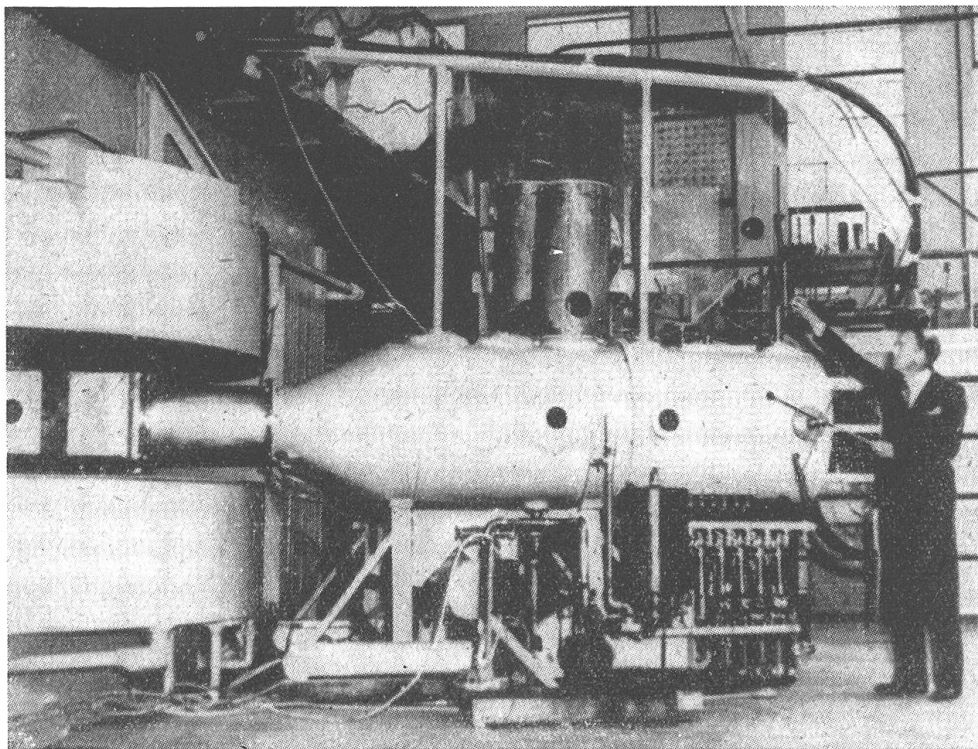


Abb. 4. Ein fertigmontiertes
Zyklotron

Es ist natürlich-radioaktiv und zerfällt durch Elektronenemission in Plutonium, das wegen seiner Spalteigenschaft in der Atombombe verwendet wird. Plutonium ist das Element 94.

Durch Beschuß der Elemente Neptunium und Plutonium gelang es 1945 neuerlich, zwei in der Natur nicht vorhandene Elemente zu erzeugen, die die Namen Americium (95) und Curium (96) erhielten. Im Vorjahr gelang ein weiterer Schritt: Durch Beschießung von Americium und Curium mit sehr energiereichen Alpha-Teilchen (von einem Zyklotron, Abb. 4, stammend) konnten die Elemente mit den Ordnungszahlen 97 und 98 erhalten werden, die nach ihrer Geburtsstätte die Namen Berkelium (von Berkeley, einer amerikanischen Universitätsstadt) und Californium erhielten. Alle diese Elemente sind sehr radioaktiv — ihre Erzeugung dient nur reinem Erkenntnisgewinn und nicht der Kriegstechnik, für welche sie keinesfalls verwertbar sind.

Im Herbst 1950 wurde die künstliche Erzeugung der Elemente 99 und 100 (für welches der Name Centurium vorgeschlagen wurde) gemeldet, doch soll sich nach neuesten Meldungen die Entdeckung nicht bestätigt haben.

Materie aus Energie

Es sind noch nicht 50 Jahre her, daß man weiß, daß Materie nichts anderes ist als stark konzentrierte Energie; jeder Energie muß daher auch Masse zukommen. Tatsächlich erleiden die

hoher Energie wandeln sich in Materie um: es entstehen ein Elektron und ein Positron (sogenannte Paarbildung), und ein Elektron und ein Positron können auch wieder zerstrahlen in Energie.

Es lag daher die Frage nahe, ob man vielleicht auch den umgekehrten Weg beschreiten könne: ob es möglich sei, durch sehr starke Energiekonzentrationen Materie zu erzeugen. Dies ist tatsächlich vor einigen Jahren gelungen: man konnte nicht nur die in der Höhenstrahlung vor sich gehende Paarerzeugung künstlich nachahmen, sondern man konnte auch die „schweren Elektronen“ — sogenannte Mesonen (Teilchen mit einem Gewicht zwischen dem des Protons und des Elektrons, die in der Theorie der Kernkräfte eine große Rolle spielen) künstlich erzeugen. Es wurde auch die Hoffnung ausgesprochen, daß es in absehbarer Zeit möglich sein dürfte, auch Protonen aus Energie zu erzeugen. Vielleicht wird es auch möglich sein, aus solchen künstlichen Protonen und Neutronen Atomkerne aufzubauen. Die so gebildeten, aus Energie „erschaffenen“ Elemente wären dann im wahrsten Sinn des Wortes als künstliche anzusprechen.

Man sieht, daß die Ausblicke der physikalischen Forschung ins Phantastische gehen; wir müssen nur hoffen, daß auch die Wissenschaft von den menschlichen Beziehungen mit diesem Sturmloch der Naturwissenschaften Schritt hält, denn sonst kann es zu unvorstellbaren Katastrophen kommen.