

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 31 (1940)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Probleme und Forschungsmethoden der Kernphysik  
**Autor:** Wäffler, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057982>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

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

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

## RÉDACTION:

Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens  
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

## ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 5 17 42  
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXI<sup>e</sup> Année

N<sup>o</sup> 2

Vendredi, 26 Janvier 1940

## Probleme und Forschungsmethoden der Kernphysik.

Von H. Wäffler, Zürich.

(Mitteilung aus dem Physikalischen Institut der Eidg. Techn. Hochschule.)

539.152.1

*Unter Zugrundelegung des experimentell bestätigten Aufbaus der Atomkerne aus Protonen und Neutronen werden die Bindungskräfte zwischen den Kernbestandteilen sowie die Energieverhältnisse im Kern diskutiert. Die Methode der Atomumwandlung als Mittel zur Erforschung der im Kerninneren herrschenden Gesetze wird anhand von Beispielen besprochen und das hierbei zur Verwendung kommende experimentelle Verfahren der Beschiessung der Elemente mit hochbeschleunigten Ionen skizziert. Die Beschreibung der Haupttypen unter den gegenwärtig im Gebrauch stehenden Atomzertrümmerungsanlagen wird im zweiten Teil dieses Berichtes erfolgen.*

*Partant du fait confirmé par l'expérience, que le noyau atomique se compose de protons et de neutrons, l'auteur étudie les forces de cohésion entre les éléments nucléaires et les conditions énergétiques dans le noyau. Il examine à l'aide d'exemples la méthode de la transformation des atomes en tant que moyen pour rechercher les lois régissant l'intérieur du noyau, et esquisse le procédé expérimental qui entre ici en considération, celui de bombarder les éléments avec des ions fortement accélérés. Les principaux types d'installations actuelles servant à la destruction des atomes seront décrits dans la seconde partie de ce rapport.*

### 1. Aufbau der Atomkerne.

Die Untersuchungen über die Struktur der Atomkerne haben sich im Laufe der letzten Jahre zu einem grossen und vielversprechenden Arbeitsgebiet der Physik entwickelt.

Nach unseren heutigen Kenntnissen baut sich ein chemisch einheitlicher Stoff, ein sog. Element, aus lauter gleichartigen Bestandteilen, den Atomen, auf. Obwohl diese Atome Gebilde von äusserster Kleinheit sind — 1 Liter Heliumgas z. B. wiegt bei Atmosphärendruck und Zimmertemperatur 0,2 g und enthält  $3 \cdot 10^{22}$  Heliumatome — können sie in noch kleinere Bausteine, die sog. Elementarteilchen, zerlegt werden. Man kennt, soweit sie am Aufbau der Atome beteiligt sind, drei Arten derselben: das *Proton*, das *Neutron* und das *Elektron*. Hinsichtlich der feineren Eigenschaften dieser Elementarteilchen ist man heute noch auf Vermutungen angewiesen; bekannt ist ihre Masse sowie ihr elektrisches und magnetisches Verhalten. Die Masse des Protons wurde zu  $m = 1,7 \cdot 10^{-24}$  g gemessen. Es trägt eine elektrische Ladung vom Betrag  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb, deren Polarität man als positiv bezeichnet hat. Das Neutron ist ein Teilchen von gleicher Masse wie das Proton, jedoch ohne elektrische Eigenschaften. Das Elektron schliesslich ist gleich stark, aber entgegengesetzt geladen wie das Proton und besitzt eine rund zweitausendmal kleinere Masse.

Protonen und Elektronen üben beim Durchtritt durch ein Gas auf dessen Atome längs ihrer Bahnen ionisierende Wirkung aus. Dank dieser Eigenschaft können sie direkt sichtbar gemacht werden, indem man sie in wasserdampfgesättigtes Gas durchsetzen lässt, in welchem die längs ihrer Bahn gebildeten Ionen als Kondensationskerne für den Wasserdampf

wirken, so dass sie als feine Nebelspur sichtbar wird (Wilsonsche Nebelkammer). Beim Neutron ist dieser direkte Nachweis nicht möglich, da es keine elektrische Ladung trägt. Doch übertragen die Neutronen, wenn man sie in Wasserstoffgas einfallen lässt, bei Zusammenstössen mit den Wasser-



Fig. 1.  
Wilsonaufnahme von  
Elektronen.

stoffatomen einen grossen Teil ihrer kinetischen Energie auf diese und geben dadurch bei jedem Stoss Anlass zu einer ionisierenden Spur des getroffenen Wasserstoffatoms. Die Fig. 1 bis 3 zeigen die auf diese Weise sichtbar gemachten Bahnen der Elementarteilchen.

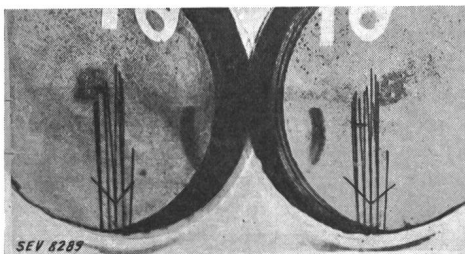


Fig. 2.  
Wilsonaufnahme von Protonen.  
Die V-förmige Bahn rührt von der Streuung eines Protons  
an einem Wasserstoffatom des Gases in der Kammer her.

Man kann nun bei jedem Atom zwei Bestandteile unterscheiden, die sich in physikalischer Hinsicht durchaus verschieden verhalten, nämlich den

*Kern* und die ihn räumlich umgebende *Hülle*. Der Kern besteht aus Protonen und Neutronen, die Hülle aus Elektronen, und zwar ist stets die Zahl der Hüllenelektronen gleich gross, wie die Zahl der Protonen im Kern. Im Innern des Atomes wirken somit zwischen Hülle und Kern elektrische Anziehungskräfte; nach aussen erscheint es — wegen der Gleichheit von positiver und negativer Ladung

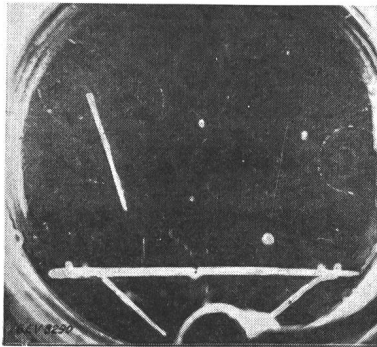


Fig. 3.  
Spur eines Protons,  
das einen Rückstoss  
durch ein Neutron  
erlitten hat.

— als elektrisch neutrales System. Man erkennt, dass der weitaus grösste Teil der Atommasse im Kern konzentriert ist; der auf die Hülle entfallende Anteil ist kleiner als ein Zweitausendstel der Gesamtmasse. Dabei ist aber der Raum, der vom Kern eingenommen wird, sehr klein im Verhältnis zum Gebiet, innerhalb welchem sich die Elektronen der Hülle befinden: während die Wirkungssphäre der Hülle innerhalb einer Kugel vom Radius  $10^{-8}$  cm liegt, hätte selbst bei den schwersten Atomen der Kern in einer Kugel mit etwa 10 000mal kleinerem Radius Platz. Diese ausserordentlich grosse Dichte der Kernmaterie — man kommt für die Kerne der schwersten Elemente auf Werte der Grössenordnung  $10^{13}$  g/cm<sup>3</sup> — hat ihre Ursache in starken Anziehungskräften, die zwischen den Kernteilchen — Protonen und Neutronen — herrschen. Hier liegt die Erklärung für die experimentelle Tatsache, dass Eingriffe in die Kerne derart hohe Energien verlangen, dass chemische Prozesse keine Veränderungen des Kerngefüges, sondern nur solche der Hülle hervorrufen können. Das chemische Verhalten eines Elementes ist deshalb ausschliesslich durch die Eigenschaften der Hüllen seiner Atome bestimmt, und diese ergeben sich alle aus der Zahl der die Hülle bildenden Elektronen. Man nennt diese Zahl auch die *Kernladungszahl*  $Z$ , da sie, wie erwähnt, gleich ist der Zahl der im Kern enthaltenen Protonen, deren jedes die Elementarladung  $e$  trägt. Wie die Erfahrung zeigt, sind in den 90 bekannten Elementen gerade alle ganzen Kernladungszahlen von 1 bis 92 vertreten mit Ausnahme von 85 und 87. Das leichteste aller Elemente, der Wasserstoff, hat die Kernladungszahl 1; seine Atome haben ein Proton im Kern und ein Elektron als Hülle. Dann folgt das Element Helium mit der Kernladungszahl 2, Lithium mit 3, usw. bis zum schwersten, Uran, welches 92 Protonen in seinem Kern gebunden hat. Ist vom chemischen Standpunkt die Kernladungszahl die für das Atom charakteristische Grösse, so ist vom physikalischen ebenso wichtig die Zahl der im Kern enthaltenen

Neutronen. Es hat sich gezeigt, dass Atome existieren, deren Kerne bei gleicher Protonenzahl  $Z$  in der Neutronenzahl mehrerer Werte fähig sind. Solche Atome sind hinsichtlich der Hüllen identisch; denn für deren Struktur ist das elektrische Kraftfeld des Kerns massgebend, das wegen des im Verhältnis zum Kernradius grossen Abstandes der Hüllenelektronen vom Kern als Feld einer Punktladung der Grösse  $Z \cdot e$  aufgefasst werden kann. Aus derartigen Atomen aufgebaute Elemente nennt man *Isotope*. Da sich Isotope in chemischer Hinsicht identisch verhalten müssen, ist ihre Trennung nur auf physikalischem Wege durchführbar. Die durch chemische Verfahren gewonnenen Elemente stellen deshalb stets Gemische ihrer Isotopen — in einem durch deren natürliche Häufigkeit gegebenen Verhältnis — dar. Schon der Wasserstoff besitzt 2 Isotope: den gewöhnlichen Wasserstoff, dessen Kern nur aus einem Proton besteht, und dem sog. schweren Wasserstoff, der sich aus einem Proton und einem Neutron zusammensetzt. Ein weiteres bekanntes Beispiel eines solchen Gemisches ist das Element Chlor. Es besteht aus zwei Isotopen, deren Kerne bei 17 Protonen 18, bzw. 20 Neutronen enthalten und die in dem in der Natur vorkommenden Chlor mit einer Häufigkeit von 75 %, bzw. 25 % vertreten sind. Man kennt heute insgesamt etwa 280 Isotopen, im Durchschnitt also rund 3 pro Element. Es gibt jedoch Elemente, die nur ein Isotop aufweisen, z. B. Beryllium, Fluor, Phosphor u. a. Das Element Zinn ist mit 10 Isotopen am zahlreichsten vertreten.

## 2. Bindungsenergie, Kernkräfte.

Eine fundamentale Eigenschaft der Atomkerne, zu deren Entdeckung die Isotopenforschung geführt hat, ist ihre *Bindungsenergie*. Aus sehr genauen Messungen hat sich ergeben, dass die Gesamtmasse eines Kerns stets etwas unter der Summe der Massen von ebensoviel Protonen und Neutronen liegt, als in ihm enthalten sind. So ist z. B. die Masse von 2 Protonen plus 2 Neutronen um 7,5 % grösser als die des aus denselben Teilchen aufgebauten Heliumkernes. Nun sind aber, wie in der Relativitätstheorie gezeigt wird, Masse und Energie äquivalent und können ineinander übergeführt werden. Das die Äquivalenz ausdrückende Gesetz lautet

$$W = m \cdot c^2 \quad (1)$$

( $W$  Energie,  $m$  Masse,  $c = 3 \cdot 10^{10}$  cm/s Lichtgeschwindigkeit).

Durch Anwendung von Gl. (1) auf ein Beispiel ersieht man, dass Masse unter allen Energieformen die höchstkonzentrierte ist. Setzt man in (1) für  $m$  1 Gramm ein, so erhält man  $W = 25 \cdot 10^6$  kWh. Die gesamte jährliche Energieerzeugung der Schweiz beträgt etwa  $7000 \cdot 10^6$  kWh. Die gleiche Energiemenge würde also auch bei Zerstrahlung von 280 g Masse frei werden.

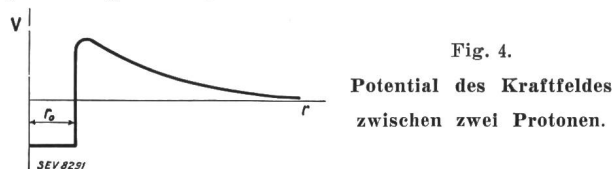
Infolge dieses *Massendefektes* ist also der Kern ein System mit kleinerem Energieinhalt, als seine Teilchen in freiem Zustande. Wegen des Satzes von der Erhaltung der Energie muss beim Aufbau eines Kernes aus den freien Teilchen ein dem Massendefekt äquivalenter Energiebetrag, die sog. Bin-

dungsenergie, frei werden. Um umgekehrt einen Kern in Protonen und Neutronen aufzuspalten, muss ihm Energie im Betrag seiner Bindungsenergie zugeführt werden. So würde z. B. der Aufbau von Helium aus Protonen und Neutronen eine Energie von rund 40 000 kWh pro Liter Heliumgas liefern, während bei der Verbrennung von Wasserstoff 0,04 kWh pro Liter frei werden. Man ersieht aus diesem Beispiel das Grössenverhältnis, das zwischen den bei Kernprozessen und bei chemischen Reaktionen frei werdenden Energiemengen besteht. Es ist durchwegs von der Grössenordnung  $10^6$ . Sollte man dereinst dazu kommen, die Kernreaktionen in gleicher Weise einzuleiten und zu steuern, wie die chemischen, so würde man dadurch in den Besitz von Energiequellen gelangen, die die gegenwärtig verfügbaren millionenfach übertreffen.

Aus diesem Verhalten der Kerne muss man, wie schon eingangs erwähnt, auf die Existenz sehr starker Bindungskräfte zwischen den Kernteilchen schliessen. Versucht man, diese *Kernkräfte* auf die beiden auch zwischen nichtatomaren Gebilden wirkenden Krafttypen, nämlich die Gravitations- und die elektrischen Kräfte zurückzuführen, so erweist sich das als unmöglich, und man sieht sich gezwungen, die Wechselwirkung zwischen den Kernbausteinen als ein neues, auf nichts Bekanntes zurückführbares Phänomen zu betrachten. Dass die elektrischen Kräfte versagen müssen, liegt auf der Hand, denn die im Kern enthaltenen Protonen müssten sich ja wegen ihrer gleichnamigen Ladungen gegenseitig abstossen, wobei die Abstossungskraft  $F$  zwischen zwei Protonen im Abstand  $r$  voneinander gegeben ist durch das Coulombsche Gesetz

$$F = \frac{e^2}{r^2} \quad (2)$$

Was die Gravitationskräfte anbelangt, so sind sie zwar anziehend, aber wegen ihrer Kleinheit neben den elektrischen vollständig zu vernachlässigen. Für zwei Protonen ist das Verhältnis von abstossender Coulombkraft zu anziehender Gravitationskraft von der Grössenordnung  $10^{40}$ , wie man leicht nachrechnet. Zur Erklärung der beobachteten grossen Stabilität der Kerne sieht man sich also gezwungen, ein Kraftgesetz anzunehmen, das zwischen 2 Protonen in grossen Abständen die vom Coulombschen Gesetz geforderte Abstossung liefert, bei den kleinen im Kern herrschenden Distanzen jedoch in eine starke Anziehung übergeht. Fig. 4 zeigt, wie man sich das Potential  $V$

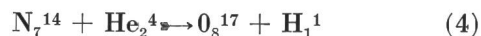
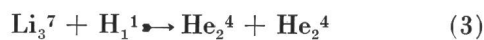


einer solchen Kraft etwa zu denken hat. Auch zwischen Proton und Neutron, ebenso zwischen 2 Neutronen, sind kurzreichweitige, aber starke Bindungskräfte einzuführen. Ueber die Richtigkeit eines solchen Kraftansatzes kann natürlich nur die Erfahrung entscheiden. Unter den hierbei zur An-

wendung gelangenden experimentellen Methoden ist am wichtigsten der Stossversuch: Ein Strahl hochbeschleunigter Protonen fällt in eine mit Wasserstoff gefüllte Kammer. Fliegt nun eines dieser Protonen nahe genug an einem Wasserstoffkern, der ja auch aus einem Proton besteht, vorbei, so erfährt es infolge der zwischen beiden herrschenden Kraftwirkung eine Richtungsänderung, die um so grösser ausfällt, je kleiner der «Stossabstand» ist. Ein gewisser Bruchteil der primär einfallenden Protonen wird also beim Durchlaufen der Kammer eine Richtungsstreuung erfahren, die experimentell bestimmt werden kann. Andererseits lässt sich bei Annahme eines bestimmten Kraftgesetzes die zu erwartende Streuerverteilung, die ihrerseits empfindlich von dem gemachten Ansatz abhängt, theoretisch berechnen. Durch Vergleich zwischen Rechnung und Experiment kann man somit über die Richtigkeit des postulierten Kraftansatzes entscheiden. Die durchgeführten Untersuchungen haben auch tatsächlich die Existenz einer Abweichung vom Coulombschen Gesetz in dem Sinn ergeben, dass bei Abständen unter  $r_0 \sim 10^{-13}$  cm die Coulombsche Abstossung verschwindet und an ihre Stelle eine starke Anziehung tritt. Um jedoch zwischen den verschiedenen möglichen Kraftansätzen eindeutig entscheiden zu können, ist eine Erweiterung der Experimente sowohl hinsichtlich der Messgenauigkeit, als auch einer Ausdehnung auf höhere Energien der Protonenstrahlen erforderlich.

### 3. Atomumwandlung.

Neben die Stossversuche, von deren Weiterführung man vielleicht die Lösung des für die heutige Physik bedeutsamen Problems der Kernkräfte erhoffen kann, treten als weiteres Mittel zur Ergründung der im Kerninnern waltenden Gesetze die zahlreichen Untersuchungen, die zur *Atomumwandlung* führen. Beschiess man ein Element, dessen Kerne mehrere Elementarteilchen enthalten, mit hochbeschleunigten Kernen der leichtesten Elemente, wie Wasserstoff, schwerer Wasserstoff, Helium, oder auch mit Neutronen, so dringen bei gewissen Elementen diese Geschosse in die Kerne ein und bilden mit ihnen intermediäre Kernsysteme, die instabil sind und unter Emission eines vom einfallenden verschiedenen Teilchens in neue stabile Kerne übergehen. Bei allen Kernprozessen bleibt die Gesamtzahl der in die Umwandlung eingehenden Teilchen und ihre gesamte Ladung unverändert. Sie lassen sich deshalb symbolisch wie eine chemische Reaktion schreiben, wobei zum Element als oberer Index die Gesamtzahl der im Kern enthaltenen Teilchen, als unterer die Protonenzahl gesetzt wird. Zwei typische solche Reaktionen sind z. B. folgende:



Bei der Reaktion (3) wird der Lithiumkern durch Protonenbeschiessung zunächst in den Zwischenkern  $\text{Be}_4^8$  übergeführt, der seinerseits instabil ist



und in zwei Heliumkerne zerplatzt. Fig. 5 zeigt eine Nebelkammeraufnahme dieses Vorgangs. Beim Prozess (4) dienen Heliumkerne als Geschosse zur Umwandlung des Stickstoffs in Sauerstoff plus Pro-

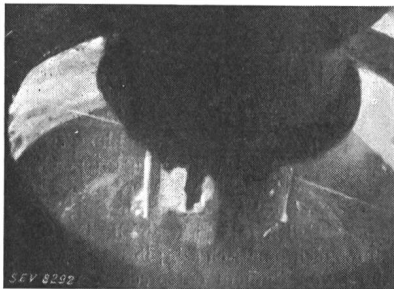


Fig. 5.  
Wilsonaufnahme der Bahnen der beiden He-Kerne, die bei der Reaktion (3) emittiert werden.

ton. In Fig. 6 ist ebenfalls eine Aufnahme hievon wiedergegeben.

Die Zahl der heute bekannten Kernprozesse ist sehr gross, sie beträgt etwa 600. Wenn trotzdem noch lange nicht alle theoretisch zu erwartenden Umwandlungen beobachtet werden konnten, so liegt das hauptsächlich daran, dass die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Geschossenergien hiefür noch zu klein sind. Bei allen Atomumwandlungsanlagen erfolgt die Beschleunigung der Geschosse in der Weise, dass man sie im Hochvakuum ein elektri-

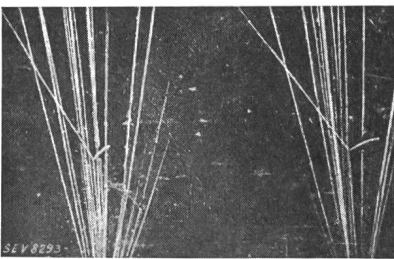


Fig. 6.  
Wilsonaufnahme der Stickstoffzertrümmerung durch He-Kerne. Die sich quer durch das Strahlenbündel ziehende Spur rührt von einem bei der Umwandlung emittierten Proton her.

sches Feld durchlaufen lässt. Dabei steht die kinetische Energie  $W$  eines die Ladung  $e$  tragenden Teilchens der Masse  $m$  mit der elektrischen Spannung  $U$ , die dieses Teilchen durchlaufen hat, im Zusammenhang

$$W = \frac{m v^2}{2} = e U \quad (5)$$

wo  $v$  die Endgeschwindigkeit des Teilchens bedeutet.

Stellt man sich beispielsweise die Aufgabe, die Spannung zu berechnen, die man ein Proton durchlaufen lassen muss, damit es sich einem ruhenden Proton auf die Distanz  $r_0 \sim 10^{-13}$  cm, bei welcher die Abweichung vom Coulombschen Kraftgesetz beginnt, nähert, so hat man hiefür offenbar die Beziehung

$$\frac{e^2}{r_0} \cong e U \quad (6)$$

Durch Einsetzen der Zahlwerte erhält man für  $U \cong 10^6$  Volt. Frägt man hingegen nach der Spannung, die nötig ist, um ein Proton in den Urankern eindringen zu lassen, so hat man für die Coulombsche Abstossung gegenüber (6) den 92fachen Wert zu setzen. Da der Kernradius mit der dritten Wurzel aus der Teilchenzahl, welche dem Kernvolumen proportional ist, wächst und da der Urankern 238 Teilchen enthält, so hat man für die gesuchte Spannung

$$\frac{e^2 \cdot 92}{r_0 \sqrt[3]{238}} \cong e U \quad (7)$$

woraus sich für  $U$  ein Wert von etwa  $15 \cdot 10^6$  Volt ergibt.

Diese Beispiele zeigen deutlich, dass die für die Atomumwandlung benötigten Spannungen zu den höchsten heute erreichbaren gehören. Es waren gerade die Bedürfnisse der Kernphysik, die den Anlass zur Entwicklung neuartiger Höchstspannungsanlagen gegeben haben, deren Haupttypen im zweiten Teil dieses Berichtes beschrieben werden sollen.

Es ist allerdings zu sagen, dass viele Kernreaktionen schon bei Beschleunigungsspannungen von einigen hundert kV vor sich gehen. Doch ist die Trefferwahrscheinlichkeit, d. h. die Zahl der Teilchen, die man im Mittel auf ein Element schiessen muss, um einen Atomkern desselben umzuwandeln, ausser von der speziellen Natur des Prozesses auch noch in weitem Masse von der Energie der einfallenden Teilchen abhängig. Bei den meisten Umwandlungen steigt die Trefferwahrscheinlichkeit mit der Energie stark an, so auch beispielsweise bei der Reaktion (3), für welche dieser Zusammenhang, die sog. Ausbeutekurve, in Fig. 7 wiedergegeben ist. Die allgemeinen, Gesetzmässigkeiten des Kernbaus betreffenden Schlüsse, die man aus einer Kernreaktion ziehen kann, fallen umso eindeutiger aus,

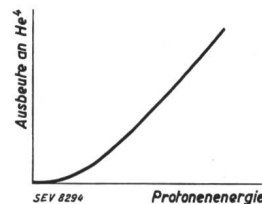


Fig. 7.  
Zusammenhang zwischen Energie und Ausbeute für die Reaktion (3).

je exakter die Ausmessung dieser Reaktion hinsichtlich Ausbeute, Art der emittierten Teilchen, ihrer Winkelverteilung und Energie erfolgt. Da in der Kernphysik die Messgenauigkeit im allgemeinen durch die geringen zur Verfügung stehenden Teilchenintensitäten begrenzt ist, so liegt der Vorteil des Arbeitens bei möglichst hohen Spannungen auf der Hand.

Auch bei Kernumwandlungen durch Neutronen, von denen jetzt noch kurz die Rede sein soll, ist man hinsichtlich der Neutronenerzeugung auf Höchstspannungen angewiesen. Neutronen können nämlich nur als Produkt gewisser durch geladene Teilchen ausgelöster Kernprozesse erhalten werden. Alle Prozesse, bei denen Neutronen entstehen, zeichnen sich hinsichtlich der Ausbeute durch starke Spannungsabhängigkeit von den primär einfallenden geladenen Teilchen aus. Als typisches Beispiel möge die folgende Reaktion dienen:



Beryllium geht bei Beschiessung mit Kernen des schweren Wasserstoffs in Bor plus Neutron über. Fig. 8 zeigt den rapiden Anstieg der Ausbeute an Neutronen mit zunehmender Energie der schweren Wasserstoffkerne. Da die Neutronen keine elektrische Ladung tragen, so bedürfen sie, im Gegensatz zu den geladenen Teilchen, zum Eindringen in den Kern keiner grossen kinetischen Energie. Für ein Neutron sieht das Potential der Kernkraft somit etwa aus wie Fig. 9 zeigt. Es ist deshalb möglich, mit Neutronen auch die Kerne der schwersten Ele-

mente, an die man mit geladenen Teilchen noch nicht herankommt, umzuwandeln. Umwandlungen dieser Art führen bei schweren Kernen häufig zum Phänomen der *künstlichen Radioaktivität*: Der Kern fängt ein Neutron ein und geht dadurch in das nächsthöhere Isotop über. Dieses zerfällt nun

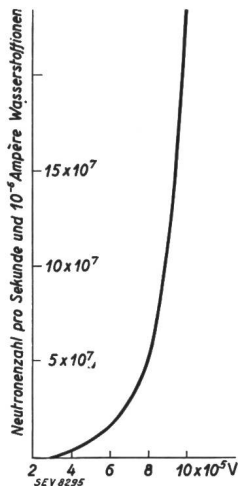


Fig. 9 (oben).  
Potential der Kernkraft für ein Neutron.

Fig. 8 (links).  
Neutronenausbeute in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung der Wasserstoff-Kerne.

nicht unter Emission eines anderen Kernteilchens, sondern wandelt sich durch einen radioaktiven Prozess weiter um. Als Beispiel sei die folgende Reaktion angeführt:



Das in (9) entstehende Silberisotop ist radioaktiv und zerfällt unter Elektronenemission. Da bei diesem radioaktiven Zerfallsprozess mit dem Elektron eine negative Elementarladung weggeht, muss, damit die Summe der in die Reaktion eingehenden Ladungen unverändert bleibt, die Kernladungszahl des zurückbleibenden Kerns um 1 ansteigen, das Silber wandelt sich also durch den Zerfall in Cadmium um.

Neben dem physikalischen Interesse, das die künstliche Radioaktivität wegen einiger mit ihr verbundenen, noch nicht vollständig geklärter Erscheinungen bietet, verspricht sie auch praktisch, vor allem in Medizin und Biologie, von Bedeutung zu werden. Die künstlich erzeugten radioaktiven Elemente sind nämlich dem in diesen Forschungszweigen bis anhin verwendeten Radium sowohl hinsichtlich des Preises, als auch der Anwendungsmöglichkeiten weit überlegen.

Vor kurzer Zeit ist auch die Umwandlung des schwersten Elementes, des Urans, mit Neutronen gelungen. Die genauere Untersuchung der sich hierbei abspielenden Vorgänge hat ergeben, dass ein regelrechtes Zerplatzen des Urankerns stattfindet unter Aussendung von Krypton- und Bariumkernen und von Neutronen. Die bei dieser Kernexplosion entstandenen Neutronen wirken in gleicher Weise wie die primär einfallenden, sie bringen also ihrerseits die von ihnen getroffenen Urankerne zur Explosion und machen dadurch weitere Neutronen frei. Man stösst somit hier zum erstenmal bei einem Kernprozess auf eine *Kettenreaktion*, die sich, wenn einmal eingeleitet, bei Anwesenheit von genügenden Mengen Uran selbständig erhalten könnte. Die bei diesem Prozess freiwerdenden Energiemengen berechnen sich zu etwa 25 000 kWh pro Gramm umgewandeltes Uran. Eine allerdings noch etwas unsichere Abschätzung der Uranmenge, die erforderlich wäre, damit diese Reaktion nach einmaliger Einleitung nicht mehr abreisst, sondern bis zur vollständigen Umwandlung des vorhandenen Urans weiterläuft, ergab eine Masse von ca. 5 Tonnen. Die Beschaffung dieses Quantums dürfte in nächster Zeit erfolgen, und man darf mit Spannung dem Ausgang dieses Experimentes, in dem zum erstenmal die Frage der Energiegewinnung durch Atomumwandlungen im grossen angeschnitten werden soll, entgegensehen. (Fortsetzung folgt.)

## Das Verhalten von Raumladungen in hochfrequenten elektrischen Feldern.

Von P. Güttinger, Basel.

537.525.92

In dieser Arbeit wird eine Methode beschrieben, wie mathematisch Raumladungsvorgänge in einem hochfrequenten elektrischen Felde behandelt werden können. Die Methode wird hier angewendet auf das einfache Problem: Das Verhalten der Raumladung zwischen zwei ebenen Elektroden, an welche eine Wechselspannung gelegt wird, die einer Gleichspannung überlagert ist. Um die Rechnung nicht zu sehr zu komplizieren, wird nur das eindimensionale Problem mit der Austrittsgeschwindigkeit Null an der Kathode behandelt.

L'auteur décrit une méthode permettant d'aborder mathématiquement les phénomènes de charge spacie dans un champ à haute fréquence. Ici, cette méthode est appliquée au problème simple suivant: la charge spacie entre deux électrodes planes aux bornes desquelles agit une tension alternative, avec une tension continue superposée. Pour ne pas trop compliquer le calcul, l'auteur ne traite que le problème à une dimension, en supposant une vitesse nulle à la sortie de la cathode.

Schon seit einigen Jahren hat man in Elektronenröhren Erscheinungen beobachtet, welche eine Folge der Massenträgheit der Elektronen sind. Es sei z. B. hingewiesen auf die Erzeugung von Barkhausen-Kurz-Schwingungen, auf das Auftreten von Gitterströmen bei Mischröhren trotz negativer Gitterspannung, auf die Theorie der komplexen Steilheit bei sehr hohen Frequenzen<sup>1)</sup>. Verwandte Probleme sind behandelt in dem unter 1) erwähn-

ten Werk von Strutt. Solche «Laufzeiteffekte» treten allgemein auf, wenn die Laufzeit  $T$  der Elektro-

<sup>1)</sup> M. J. O. Strutt, Moderne Mehrgitterelektronenröhren, 1938, 2. Bd., S. 79.

Ferner: M. J. O. Strutt, Elektr. Nachr. Techn. Bd. 15 (1938), S. 103.

Ferner: K. Steimel, Telefunkenröhre Heft 5 (1935), S. 213.

Ferner: W. Kleinstüber, Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik, Bd. 53 (1939), S. 199; daselbst weitere Literaturangaben.