Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 15 (1942)
Heft: I

Artikel: Eine Atomumwandlungsanlage für Spannungen bis zu 850 KV
Autor: Huber, O. / Lienhard, O. / Preiswerk, P.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-111291

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: 15.07.2025

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

Eine Atomumwandlungsanlage für Spannungen bis zu 850 KV

von **O. Huber, O. Lienhard, P. Preiswerk, P. Scherrer** und **H. Wäffler.**

(13. XI. 1941.)

Zusammenfassung. Es wird eine Hochspannungsanlage nach VAN DE GRAAFF und eine 5-stufige Nachbeschleunigungsröhre beschrieben. Mit Hilfe dieser Apparatur wurden Kernphotoeffekte (γ, n-Prozess) an Mg, Al, S und K nachgewiesen.

1. Einleitung.

Unter den verschiedenen zur Zeit verwendeten Anordnungen zur Erzeugung von Ionenstrahlen für kernphysikalische Untersuchungen haben sich für mittlere Spannungsbereiche (500 bis 1500 KV) die Bandgeneratoren nach VAN DE GRAAFF[1]) in Verbindung mit mehrstufigen Nachbeschleunigungsröhren sehr gut bewährt. Diese Anlagen zeichnen sich durch einfache Bauweise, geringe Betriebskosten und hohe Konstanz der erzeugten Gleichspannung aus. Die von ihnen gelieferten Ströme sind allerdings auf etwa 1—2 MA beschränkt, doch reicht diese Stromstärke für kernphysikalische Zwecke im allgemeinen aus. Da nämlich die Ausbeuten von Kernreaktionen in Abhängigkeit von der Spannung meistens stärker als linear ansteigen, so bietet stets die Anlage die vielseitigsten Anwendungsmöglichkeiten, welche bei gegebener Leistung die höchstmögliche Spannung erzeugt.

Die vorliegende Apparatur steht seit ca. einem Jahr im Betrieb. Über ihre Bauweise, die mit ihr gemachten Erfahrungen sowie über einige der gewonnenen Resultate soll nachstehend berichtet werden.

2. Aufbau der Anlage.

a) *Spannungstechnischer Teil.*

Die konstruktive Durchbildung der Apparatur geht aus Fig. 1 und 2 hervor. In Anpassung an die vorhandenen Räumlichkeiten, sowie auch mit Rücksicht auf ein von der Hochspannung möglichst unbehindertes Arbeiten wurde die ganze Anlage auf zwei Stockwerke verteilt. Der obere Raum dient als Arbeitsraum, der untere (Abmessungen 5,4 × 7 × 4,8 m) enthält den Generator sowie das

[1]) R. J. VAN DE GRAAFF, K. T. COMPTON und L. C. VAN ATTA, Phys. Rev. **43**, 149, 1933.

Kanalstrahlrohr. Letzteres ist in hängender Bauweise durch die Decke hindurchgeführt und endet in der Platte (*P*). Zwei starke Hülsen aus Haefelit B (Querschnitt 80 × 20 cm) tragen die Hochspannungselektrode. In ihrem Innern enthalten sie die beiden Bänder, durch welche der Ladungstransport erfolgt. Die Elektrode besteht aus Alumanblech und hat die Form eines Zylinders mit zwei aufgesetzten Halbkugeln. Ihr Durchmesser beträgt 1,6 m,

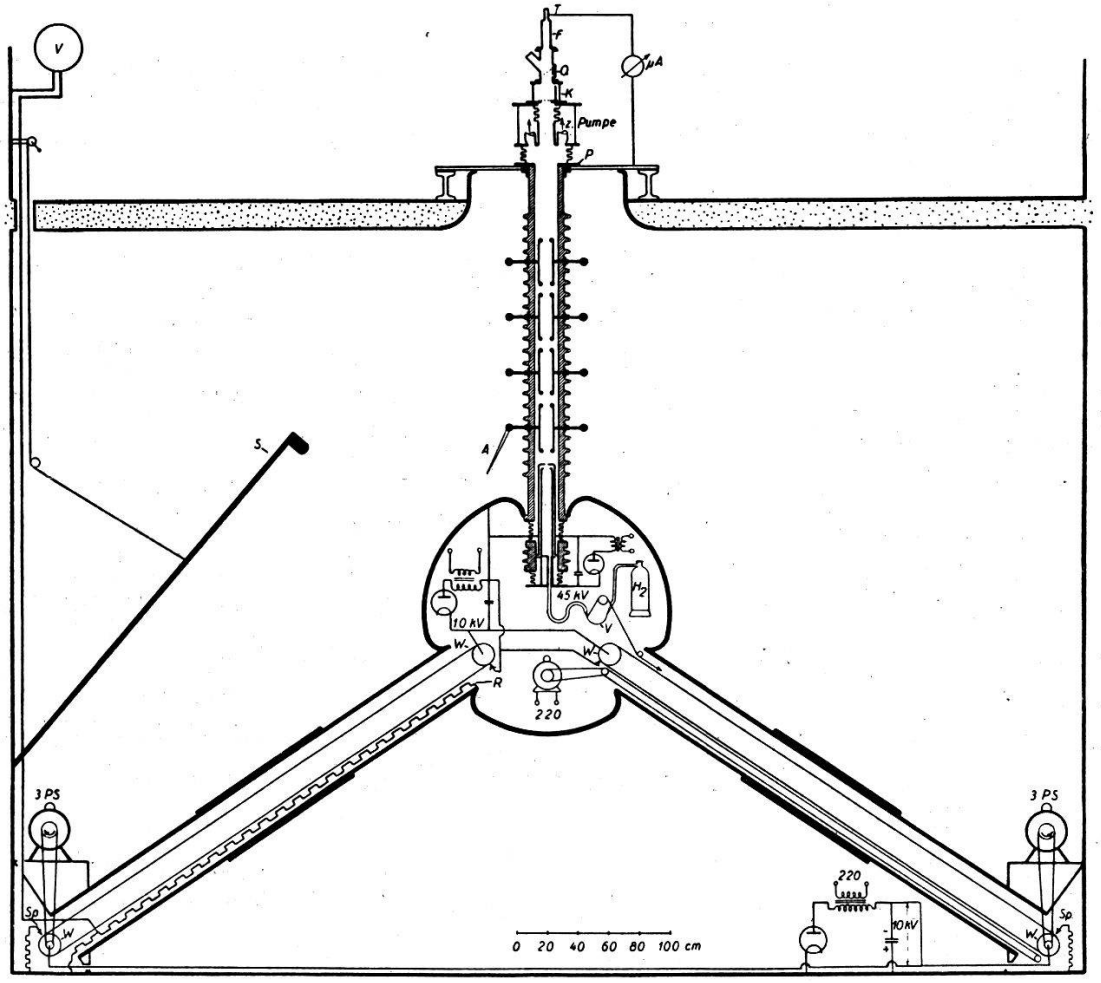

Fig. 1.

Schematische Ansicht der Apparatur. *A* kleiner Sprüharm, *F* Faradaykäfig, *K* Dichtungsklappe, *P* Platte, *Q* Quarzfenster, *S* Sprüharm, *Sp* Sprührechen, *T* Target, *R* Spannungsteiler, *V* Voltmeter, *W* Walzen, *V* Fowlerventil.

die Länge 2,3 m. Sie enthält einen Wechselstromgenerator (220 V, 0,5 KW), der zwei Gleichrichteranlagen speist. Der eine Gleichrichter liefert den Strom für die Ionenquelle (2 MA, 45 KV), der andere hält die Walzen (*W*) auf konstantem Potential. Der Antrieb des Generators erfolgt mittels isolierendem Gummiriemen durch einen am Boden befindlichen Motor.

Damit die Bänder nicht von den Walzen herunterlaufen, ist eine genaue Justierung der letzteren erforderlich. Zu diesem Zweck

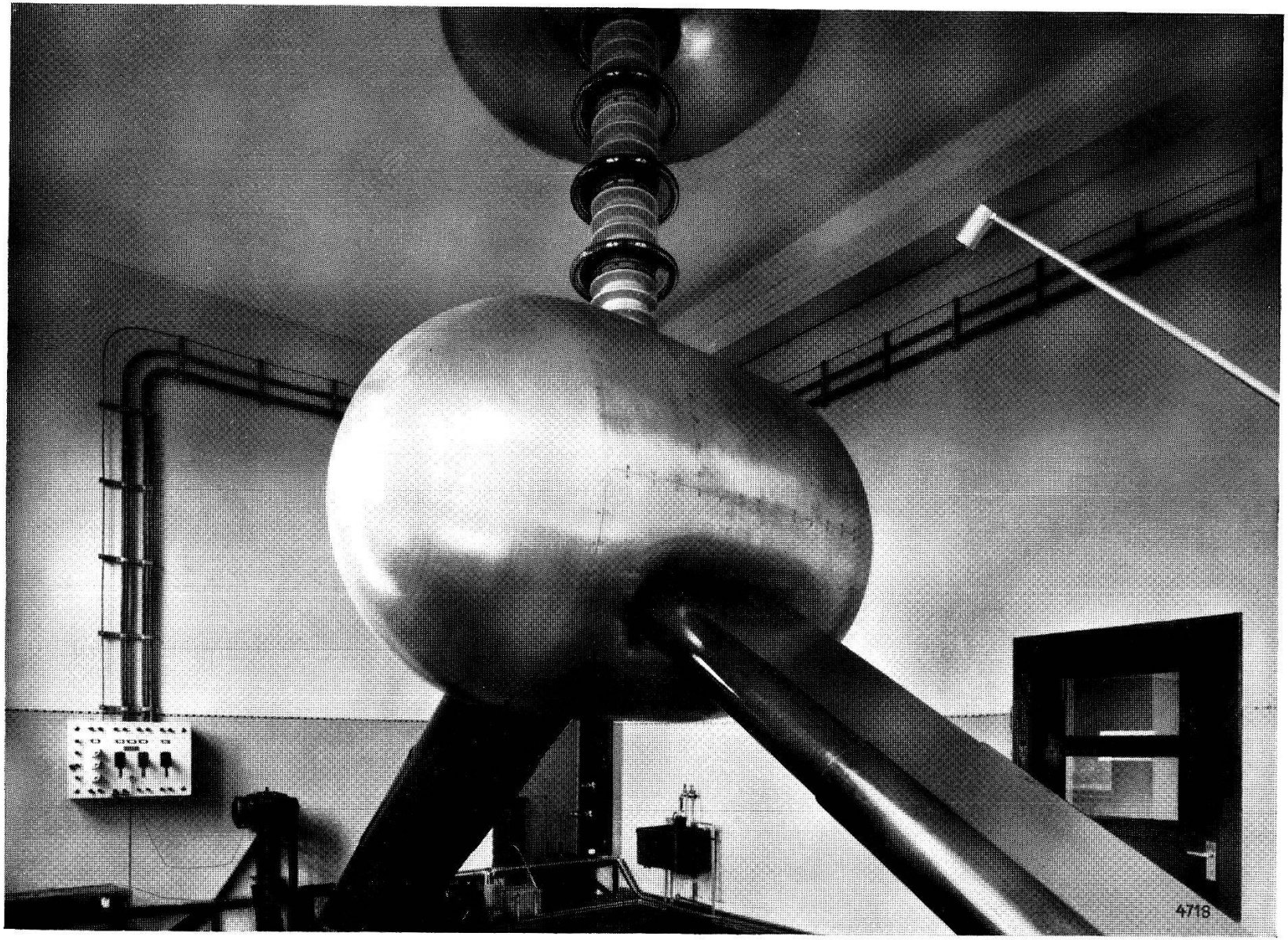

Fig. 2.

sind sie sowohl in der Ebene ihrer Achsen als auch in der dazu senkrechten gegeneinander verstellbar angeordnet. Die Walzen laufen in Pendelkugellagern. Die Lager sind isoliert montiert, so dass an die Walzen selbst mittels der in Fig. 1 skizzierten Gleichrichteranlagen dauernd eine Spannung von — 10 KV gegen Erde, bzw. + 10 KV gegenüber der Elektrode gelegt werden kann. Die Sprührechen (*Sp*) bestehen aus Stahldrahtbüscheln, die in Abständen von 1 cm in einen Halter eingelassen sind. Sie sind über einen Beruhigungswiderstand geerdet, bzw. mit der Elektrode verbunden. Der Antrieb der Walzen erfolgt einzeln durch je einen Motor von 3 PS mittels Keilriemen aus Gummi. Bis anhin wurde mit Drehzahlen der Walzen bis zu 3600 Umdr./min. gearbeitet. Bei einem Walzendurchmesser von 9 cm und einer Bandbreite von 52 cm werden hierbei Ströme bis 720 μA erreicht. Vorversuche, die mit Öltuch, Papier und Gummi als Bandmaterial gemacht wurden, ergaben in mechanischer Hinsicht die günstigsten Resultate bei Verwendung von Bändern aus Gummi. Besonders ein amerikanisches Fabrikat (Goodyear 3-ply Atom-Smasher-Belt), das nahtlos hergestellt wird, zeichnet sich sowohl durch geräuschloses Laufen als auch durch vorzügliche elektrische Eigenschaften aus und wird von uns jetzt ausschliesslich verwendet.

Die maximal erreichbare Spannung ist bei Generatoren dieses Typs durch die Durchschlagsfeldstärke auf der Elektrodenoberfläche bestimmt. Die von amerikanischen Autoren[1]) mitgeteilten Erfahrungswerte, nach welchen zur Erreichung optimaler Spannung bei vorgegebenen Raumabmessungen der kleinste Abstand Elektrode-Wand den doppelten Krümmungsradius der Elektrode an der betrachteten Stelle nicht unterschreiten soll, weichen von den potentialtheoretisch berechneten erheblich ab. (Für den Fall Kugel gegenüber unendlich ausgedehnter Ebene liegt nach der Rechnung das Minimum der grössten Feldstärke bekanntlich bei einem Abstand, der gleich dem Kugelradius ist.) Da diese Abweichungen sich um so stärker bemerkbar machen dürften, je höher die auftretenden Spannungen sind, und da bei der vorliegenden Anlage zum vornherein mit einer Maximalspannung, die unter 1000 KV liegt, gerechnet werden musste, so wurde der Dimensionierung der Elektrode ein mittlerer, zwischen dem theoretischen Resultat und den obengenannten Angaben liegender Wert zugrunde gelegt. Der kleinste Wandabstand der Elektrode beträgt 1,4 m, der Krümmungsradius der Elektrode an diesen Stellen 0,8 m. Die für die Hülsen und das Kanalstrahlrohr notwendigen Öff-

[1]) M. A. Tuve, Naturwiss. **24**, 624 (1936).

nungen wurden unter sorgfältiger Abrundung der Kanten in die Elektrode hineingezogen. Die mit dem Generator ohne Kanalstrahlrohr erreichte Spannung betrug 1000 KV. Bei höheren Spannungen traten Überschläge gegen den Boden und die Wände auf. Mit der Röhre wird die Spannung durch Überschläge zwischen den Sprühringen begrenzt, welche schon bei 850 KV auftreten. Zur Einstellung niedrigerer Spannungen dient der geerdete Sprüharm *S*, dessen Abstand von der Elektrode vom Arbeitsraum aus eingestellt werden kann.

In die eine der Hülsen ist ein ölgefülltes Isolierrohr eingebaut, in welchem sich der Messwiderstand *R* befindet. Dieser besteht aus 1000 Widerständen von je 10 Megohm. Die an den untersten 50 Megohm liegende Spannung wird mit einer abgeschirmten Leitung an das im Arbeitsraum befindliche elektrostatische Voltmeter *V* (6 KV) geführt. Zur Eichung wurde die 440 KV Resonanzstufe der Reaktion $Li^7 (p, \gamma) Be^8$ benützt.

b) *Die Kanalstrahlröhre.*

Diese besteht aus 6 Teilen, nämlich der Ionenquelle und 5 Nachbeschleunigungsstufen. Die Ionenquelle ist als ganzmetallisches Gasentladungsrohr nach Oliphant und Rutherford[1]) ausgebildet. Die angelegte Spannung beträgt 45 KV. Die Gasnachströmung wird durch ein Fowler-Ventil reguliert[2]), welches vom Arbeitsraum aus bedient wird. Der Strahl tritt durch einen Kanal von 1,2 mm Durchmesser und 2 mm Länge aus der Kathode aus und durchläuft die als elektrostatische Linsen ausgebildeten Beschleunigungsstrecken. Die Brennweite solcher Linsen ist dem Quadrat des Quotienten, gebildet aus der vom Ion insgesamt durchlaufenden Spannung zur Spannung an der Linse annähernd proportional. Sie nimmt also mit zunehmender Geschwindigkeit der Ionen rasch zu, d. h. für die Schärfe des auf der Target *T* entstehenden Brennflecks als ionenoptische Abbildung des Kanals, ist praktisch nur die erste Beschleunigungsstrecke massgebend. Durch Änderung der an ihr liegenden Spannung kann auch die Grösse des Brennflecks verändert werden. Das erfolgt mittels des kleinen Sprüharms *A*, der im Betrieb vom Arbeitsraum aus eingestellt werden kann. Die Röhre ist aus 5 Porzellanisolatoren von 14 cm lichter Weite zusammengesetzt. Die Verbindung der einzelnen Teile erfolgt durch Verschrauben der auf die Isolatoren aufgekitteten Flansche, wie Fig. 3 zeigt. Die Dichtung zwischen

---

[1]) Proc. Roy. Soc. Lond. **141**, 259, 1933.

[2]) Rev. Sc. Inst. **6**, 26, 1935.

denselben wird durch Gummiringe (Schnurstärke 10 mm) bewerkstelligt, welche in die im Porzellan eingeschliffenen Rillen gepresst werden. Ebenfalls in das Porzellan eingelassen sind die Halteringe für die Beschleunigungselektroden. Diese wurden beim ersten Zusammenbau der Röhre mittels eines Dornes zentriert und durch Stellschrauben fixiert. Die mechanische Festigkeit der so zusammengeschraubten Röhre ist genügend gross, um sie *freihängend* auf einer Eisenkonstruktion im Arbeitsraum abzustützen, ohne mechanische Verbindung mit der Hochspannungselektrode, wodurch die Übertragung von Erschütterungen, welche die laufenden Teile verursachen, vermieden wird. Im Arbeitsraum endet

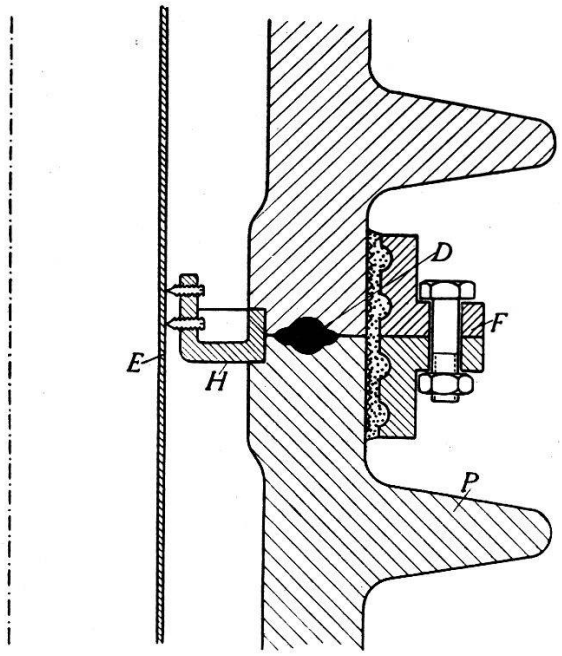

Fig. 3.

Dichtung der Röhrenteile und Halterung der Beschleunigungselektroden. *D* Dichtung, *E* Elektrode, *F* Flansch, *H* Halter, *P* Porzellan.

die Röhre in einem Aufsatz, der zwei Saugstutzen für die Hochvakuumpumpen sowie ein Klappenventil *K* mit aufgebautem Faraday-Käfig *F* trägt. Dieses Ventil ermöglicht ein Auswechseln der Target, ohne dass die ganze Röhre mit Luft gefüllt zu werden braucht. Das Gehäuse von *K* ist von den unteren Teilen und von *F* elektrisch isoliert, so dass eine Gegenspannung (— 60 V gegen Erde) angelegt werden kann. Diese verhindert das Austreten der vom Ionenstrahl ausgelösten Sekundärelektronen aus *F*. Für einwandfreies Arbeiten muss in der Röhre ein Vakuum von mindestens $5 \cdot 10^{-5}$ Tor herrschen. Dieses wird aufrecht erhalten durch zwei parallel arbeitende einstufige Öldiffusionspumpen mit einer Saug-

leistung von zusammen 150 l/sec als Endstufe und einer zweistufigen Öldiffusionspumpe von 4,5 l/sec als Vorstufe[1]).

Die mit dieser Anordnung erhaltenen Ionenströme betragen 90—100 μA für Wasserstoff. Ein Haupthindernis für das Erreichen grösserer Ströme bilden die Sekundärelektronen, welche an den Wänden und den Schutzringen der Beschleunigungselektroden, hauptsächlich aber an den Metallteilen des Aufsatzes ausgelöst werden. Durch Anbringen eines negativ vorgespannten Gitters am Ende der Röhre konnten die langsamen Sekundärelektronen am Zurücklaufen in die Röhre verhindert werden. Diese Massnahme ergab eine 50-prozentige Steigerung des Kanalstromes.

3. Erste Ergebnisse.

Die γ-Strahlung, welche im Prozess $Li^7(p, \gamma)Be^8$ bei einer Spannung von 440 KV resonanzartig entsteht, besitzt eine Quantenenergie von 17 MeV[2]). Mit diesen Quanten ist es energetisch möglich, bei allen Elementen, mit Ausnahme von Kohlenstoff und Helium, ein Neutron aus dem Kern abzuspalten ((γ, n)-Prozess). Die Theorie[3]) sagt für diesen Kernphotoeffekt einen Wirkungsquerschnitt der Grössenordnung 10^{-27} cm^2 voraus. Da nun die mit Protonenströmen der Grössenordnung 100 μA herstellbare Intensität der Lithium γ-Strahlung bestenfalls einige 10^6-Quanten pro sec beträgt, so ist der Nachweis dieser Prozesse sehr schwierig, wenn nicht das entstehende Isotop radioaktiv ist. Das ist jedoch bei vielen Elementen der Fall, so dass man hier nur zu untersuchen braucht, ob durch Bestrahlung im betreffenden Element eine Aktivität induziert wird oder nicht, um über das Auftreten eines Kernphotoeffekts entscheiden zu können.

Mit dieser Methode konnten Bothe und Gentner[4]) in 15 verschiedenen Elementen einen (γ, n)-Prozess nachweisen. Bei allen übrigen Elementen des periodischen Systems verliefen die Versuche negativ. Nun sind, von den leichtesten Kernen abgesehen, um mehrere Grössenordnungen nach unten herausfallende Wirkungsquerschnitte für den (γ, n)-Prozess theoretisch nicht zu erwarten. Deshalb erschienen Versuche zur Auffindung der bis jetzt noch nicht entdeckten Kernphotoeffekte dann als aussichts-

[1]) Diese Pumpen wurden im Institut gebaut nach Zeichnungen, welche uns Herr Prof. Holtsmark in freundlicher Weise zur Verfügung gestellt hat.

[2]) L. A. Delsasso, W. A. Fowler und C. C. Lauritsen, Phys. Rev. **51**, 391, 1937.

[3]) H. A. Bethe und G. Placek, Phys. Rev. **51**, 451, 1937.

[4]) W. Bothe und W. Gentner, Zs. f. Phys. **106**, 236, 1937; **112**, 45, 1939.

reich, wenn die Ausbeute der induzierten Aktivität sowohl durch Erhöhung der γ-Intensität, als auch durch geeignete geometrische Anordnung nach Möglichkeit gesteigert werden konnte. Das gelang bei unserer Apparatur sowohl durch Erhöhung des Ionenstroms als auch durch Verwendung möglichst reiner, im Hochvakuum aufgedampfter Lithiumschichten als Target. Diese Untersuchungen, deren Ziel in der Auffindung der bisher noch nicht nachgewiesenen Kernphotoeffekte besteht, sind zur Zeit noch im Fluss. Bis jetzt wurde an den vier Elementen Mg, Al, S, K ein Kernphotoeffekt neu gefunden. Im Falle von Aluminium und Schwefel konnten die induzierten künstlichen Radioaktivitäten eindeutig den Isotopen Al^{26} (Halbwertszeit $T = 7$ sec), bzw. S^{31} ($T = 3$ sec) zugeordnet und damit die Prozesse $Al^{27}(\gamma, n)Al^{26}$ bzw. $S^{32}(\gamma, n)S^{31}$ eindeutig sichergestellt werden.

Beim Magnesium wäre im Falle eines (γ, n)-Prozesses eine 11,6-sec-Aktivität zu erwarten. Eine Aktivität von ungefähr dieser Halbwertszeit konnte auch tatsächlich nachgewiesen werden. Die Messung derselben war jedoch durch die Nebenreaktion $Mg^{26}(n, \alpha)Ne^{23}$, welche einen grossen Wirkungsquerschnitt besitzt und zu einer 40-sec-Aktivität führt, erschwert. Die Neutronen sind auf den natürlichen Deuteriumgehalt des Wasserstoffs zurückzuführen, welcher Anlass zu den Umwandlungen $Li^7(d, n)Be^8$ und $Li^7(d, n)2\,He^4$ gibt. Durch Aktivierung bei verschiedenen Spannungen zwischen 400 und 700 KV liess sich einwandfrei nachweisen, dass diese kurze Periode durch die γ-Strahlung, und nicht etwa durch die Neutronen ausgelöst wird. Die induzierte kurzlebige Aktivität zeigt nämlich bei 440 KV denselben, durch die Resonanz bedingten Anstieg wie die γ-Strahlung und ist ausserdem im ganzen gemessenen Spannungsbereich der γ-Intensität proportional. Für eine exakte Halbwertszeitbestimmung müsste in diesem Falle mit magnetisch ausgeblendeten Protonenstrahlen gearbeitet werden; solche Messungen gelangen demnächst zur Durchführung.

Beim Kalium wird die Messung durch die natürliche Radioaktivität des K^{40} kompliziert. Durch Filter geeigneter Dicke gelang es jedoch, die Intensität des natürlichen β-Spektrums ($E_{max} \sim 0{,}4$ MeV) gegenüber dem künstlichen des K^{38}, das im Prozess $K^{39}(\gamma, n)K^{38}$ ($T = 7{,}7$ min) erzeugt wird, so stark zu schwächen, dass die Bestimmung der Halbwertszeit möglich wurde. Die mit K_2S durchgeführten Messungen ergaben $T = 7{,}9$ min. Da diese Periode innerhalb der Fehlergrenzen mit der des K^{38} übereinstimmt, und da ferner an reinem Schwefel keine Andeutung einer Aktivität dieser Halbwertszeit gefunden werden konnte, so dürfte sie dem Kernphotoeffekt an K^{39} zuzuschreiben sein.

Die relativen Ausbeuten der neu gefundenen (γ, n)-Prozesse wurden verglichen mit derjenigen an Kupfer: $Cu^{63}(\gamma, n)Cu^{62}$ ($T = 10{,}5$ min). Sie sind durchwegs kleiner als die von Cu^{63} und betragen: für Schwefel 14%, für Aluminium 11%, für Magnesium $\approx 5\%$ und für Kalium $\approx 6\%$ der Ausbeute an Cu^{63}.

Der Bau dieser Anlage wurde ermöglicht dank einem durch Herrn Schulratspräsident Prof. Dr. A. Rohn vermittelten Kredit der Zentralstelle für Arbeitsbeschaffung in Bern. Von der Aluminium-Industrie A.-G. Neuhausen wurde uns das Aluminiumblech für die Hochspannungselektrode geschenkweise überlassen. Die folgenden Firmen haben uns bei der Lieferung verschiedener Bestandteile in verdankenswerter Weise unterstützt: Porzellanfabrik Langenthal A.-G., A.-G. Brown, Boveri & Co., Baden, Haefely A.-G., Basel, Micafil A.-G., Zürich-Altstetten. Allen diesen Institutionen und Firmen sei auch an dieser Stelle bestens gedankt.

Zürich, Physikalisches Institut der Eidg.
Techn. Hochschule.