

In this paper, Szilard got the concept of a linear accelerator. It has been built many times. The most famous and successful examples are SLAC (Stanford linear accelerator) and LAMPF (Los Alamos Meson Physics Facility). SLAC is about 2 miles long, and accelerates ~~protons~~<sup>electrons</sup> to about 30 billion electron volts, it has been operating for over 30 years.

Hans Bethe

B e s c h e i n i g u n g .

Herr Dr. Leo Szilard in Berlin-Wilmersdorf,  
Prinzregentenstr. 95, hat im Deutschen Reiche ein Gesuch  
um ein Erfindungspatent für

" Beschleunigung von Korpuskeln "

am 17. Dezember 1928 beim Reichspatentamt hinterlegt.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und ge-  
naue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser  
Patentanmeldung.

Berlin, den 23. Juli 1932.

R e i c h s p a t e n t a m t .





Dr. Leo S z i l a r d , Wilmersdorf, Prinzregentenstr. 95

"Beschleunigung von Korpuskeln."

Die Erfindung betrifft ein Verfahren bzw. einen Apparat, der es gestattet, Korpuskularstrahlen von hoher Energie zu erzeugen ohne dass es notwendig wäre, so hohe elektrische Potentialen zu verwenden, wie dies notwendig wäre, wenn man durch einfaches Beschleunigen in einem elektrischen Feld den Korpuskularstrahl auf hohe Energie bringen wollte.

Es ist bekannt, dass die von den radioaktiven Körpern emittierten  $\alpha$  Teilchen Atome vieler Substanzen zertrümmern können und man ist deshalb seit langem bestrebt durch Beschleunigung positiv geladener Korpuskeln, wie z.B. Heliumionen oder anderer positiver Jonen, diesen Jonen eine ebenso hohe kinetische Energie





zu verleihen, wie es die Ionen radioaktiven Ursprungs haben. Dabei war man in der Ansicht befangen, dass man z.B. das Heliumion ein sehr hohes elektrisches Potential durchlaufen lassen muss, etwa vier Millionen Volt um seine kinetische Energie derjenigen eines  $\alpha$  Teilchens gleichwerden zu lassen. In der Tat ist diese Zahl richtig, wenn man annimmt, dass die kinetische Energie die dem geladenen Partikel in einem elektrischen Feld verliehen wird, gleich dem Produkt aus seiner Ladung und dem durchlaufenden Potential ist. Diese Annahme ist jedoch nicht zutreffend, wenn man zeitlich veränderliche Felder verwendet und man kann erfindungsgemäss geladene Partikel eine sehr hohe kinetische Energie verleihen ohne dass man im Sinne der oben erwähnten Annahme entsprechend hohe elektrische Spannungen verwendet. Damit fallen dann die grossen Schwierigkeiten hinweg, die sich der Anwendung hoher Spannungen entgegenstellen und bisher alle Bemühungen künstlich  $\alpha$  Teilchen, oder andere ähnliche energiereiche Partikel, durch Beschleunigung von Ionen im elektrischen Felde herzustellen gescheitert sind.

Erfindungsgemäss werden zeitlich rasch veränderliche elektrische Felder in verschiedenen Teilen des Raumes aufrecht erhalten und ein Korpukularstrahl wird durch diese elektrischen Felder hindurchgeschickt und zwar so, dass es aus einem Raumteil, indem es beschleunigt wurde, austritt bevor oder kurz nachdem sich die Feldrichtung in diesem Raumteil umkehrt und in den nächsten Raumteil



wieder ein Feld vorfindet, das ihn beschleunigt und diesen zweiten Raumteil wiederum verlässt, bevor bzw. kurz nachdem sich die Feldrichtung in diesem zweiten Raumteil umkehrt u.s.w.

Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung im Schema gezeichnet. 8 ist eine Kanalstrahlröhre aus dem Kanalstrahl von Helium, Quecksilber oder irgend eine andere Substanz, durch die Bohrung 11 der Kathode 12 in das Rohr 9 eintreten. Dieses Rohr ist durch die Gitter 1 bis 6 in fünf Abschnitte geteilt und es wird an diese Gitter eine Wechselspannung sehr hoher Frequenz (1 bis 100 Millionen Schwingungen in der Sekunde und darüber) angelegt und zwar liegt der eine Pol an den Gittern 1,3,5 und der andere Pol an den Gittern 2,4,6, so, dass die Gitter 1,3,5 untereinander in Phase schwingen und die Potential stets 180 Grad vom Potential der Gitter 2,4,6 abweicht. Wie man in der Figur sieht, sind die Abstände der Gitter von links nach rechts monoton wachsend, d.h. klein dort, wo die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen noch klein und gross dort, wo die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen schon gross ist.

Die Wirkungsweise der Anordnung ist wie folgt: Betrachten wir ein positives Ion, das im Kanalstrahl fliegt und in einem solchen Augenblick durch das Gitter 1 hindurchfliegt, in welchem das Potential das Gitter 1 gegen das Gitter 2 gerade Null und im Wachsen begriffen ist. Das Ion wird dann im Raume zwischen den Gitter 1 und 2 be-





schleunigt und passiert das Gitter 2 (in dem Idealfall, den wir jetzt betrachten) gerade in dem Augenblick als der Potentialunterschied zwischen 1 und 2 wieder Null geworden ist. Dann ist auch der Potentialunterschied zwischen 2 und 3 Null und das Potential von 2 gegen 3 im Wachsen begriffen, sodass das Ion zwischen 2 und 3 wieder beschleunigt wird. u.s.w.

Falls wie im vorliegenden Falle vorgesehen, die Frequenz für alle Gitter dieselbe ist, muss der Abstand zwischen 2 und 3 grösser sein, als der Abstand zwischen 1 und 2, u.s.w., damit das Ion jeweils im richtigen Augenblick in den nächsten Abschnitt eintritt. Bei unserer Anordnung lässt sich das elektrische Feld zusammensetzen aus einem von links nach rechts beschleunigt bewegten und aus einem von rechts nach links verzögert bewegten elektrischen Feld (hierzu käme noch evtl. entstehendes elektrisches Feld als Korrektion, welches uns jedoch nicht weiter interessiert.) Die Einrichtung wird nun zweckmässig so getroffen, dass die Geschwindigkeit des beschleunigten Ions an jedem Punkt mit der dort herrschenden Geschwindigkeit des von links nach rechts bewegten Feldes übereinstimmt. Die Geschwindigkeit des elektrischen Feldes berechnet sich dabei als Produkt aus der Frequenz der an das Gitter gelegten elektrischen Schwingung und dem Abstand der beiden in Phase schwingenden Gitter (also z.B. 1 und 3).



14 ist ein Lenardfenster, durch welches die Korpuskeln aus der Röhre 9 austreten können und auf die zu bombardierende Substanz 15 im Freien oder in einem anderen abgeschlossenen Raume fallen können. 7 ist die Schwingungsquelle z.B. eine Elektronenröhre. Man kann auch so vorgehen, dass man eine Reihe von Gittern etwa die ersten 50 Gitter, welche das Ion zuerst passiert, und infolgedessen auch mit einer verhältnismässig geringen Geschwindigkeit passiert, mit einer anderen Röhre betreibt als die nächsten 50 Gitter, die das Ion schon mit höherer Geschwindigkeit passiert. Dabei wählt man die Schwingungszahl der zweiten Röhre höher als die Schwingungszahl der ersten Röhre, sodass die Gitterabstände der letzten Gitter noch verhältnismässig niedrig ausfallen.

Arbeitet man nur mit einer Frequenz, z.B.  $10^8$  Schwingung pro Sekunde und beträgt die Anfangsgeschwindigkeit der Kanalstrahlen  $10^8$  cm pro Sekunde, wo würden die Gitterabstände (z.B. der Abstand von 1 und 3) anfangs etwa 1 cm betragen, während, falls unser Apparat die Geschwindigkeit des Teilchens auf das Zehnfache erhöht, der Abstand der letzten Gitter (z.B. 97 und 99) 10 cm betragen müsste. Arbeiten wir mit Spannungen von 30 000 Volt (maximal Sp.) so würde mit 100 Gittern die kinetische Energie des Ions auf so hohe Werte kommen, wie beim Durchlaufen eines einfachen statischen Feldes von etwa 2 Millionen Volt.

Man kann auch zwei Gittersysteme verwenden, von denen jede allein so betrieben wird, wie oben beschrieben und die gegeneinander mit einer Phasenverschie-





bung von 90 Grad schwingen. Die beiden Gittersysteme liegen dann in Bezug aufeinander, so dass sich die Phase von Nachbar zu Nachbar um je 90 Grad verschiebt, sodass auf diese Weise ein von links nach recht (beschleunigt) bewegtes elektrisches Feld praktisch allein vorhanden ist.

In Figur 1 ist 10 eine Pumpe, 11 eine Gleich - oder Wechselstromquelle zum Betrieb der Kanalstrahlröhre 8; 13 ist die Anode dieser Röhre, 12 die durchbohrte Kathode.

Patentansprüche:



P a t e n t a n s p r ü c h e :

1.) Apparat oder Verfahren zur Beschleunigung elektrisch beschleunigbarer Korpuskeln, wie z. B. Elektronen oder Ionen, dadurch gekennzeichnet, dass der Korpuskel durch mehrere Raumabschnitte fliegt, in welchen Raumabschnitten der Richtung nach wechselnde elektrische Felder aufrechterhalten werden und zwar so, dass wenigstens für einen Teil der Korpuskel in mehreren Raumabschnitten zur Zeit des Verweilens dieser Korpuskeln in dem betreffenden Raumabschnitte die Richtung des dort herrschenden elektrischen Feldes gerade so ist, dass die kinetische Energie des fliegenden Korpuskels in dem betreffenden Raumabschnitt vermehrt wird.

2.) Apparat oder Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass in einzelnen Raumabschnitten die Feldrichtung periodisch umgekehrt wird.

3.) Apparat oder Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass an der Grenze der Raumabschnitte Leiter z.B. Gitter angeordnet sind, an die ein hochfrequentes Potential gelegt ist.

4.) Apparat oder Verfahren nach Ans 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge  $l$  Weges der Korpuskeln in den hintereinander liegender



ten verschieden ist und zwar so, dass die Länge dieses Weges in Abschnitten, die vom Korpuskel später erreicht werden, grösser ist.

5.) Apparat oder Verfahren nach Anspruch 3 oder 4 , dadurch gekennzeichnet, dass die benachbarten Gitter der Phase nach entgegengesetzt , alle gradzahligen Gitter untereinander und alle ungradzahligen Gitter untereinander aber in Phase schwingen.

*Inki.*





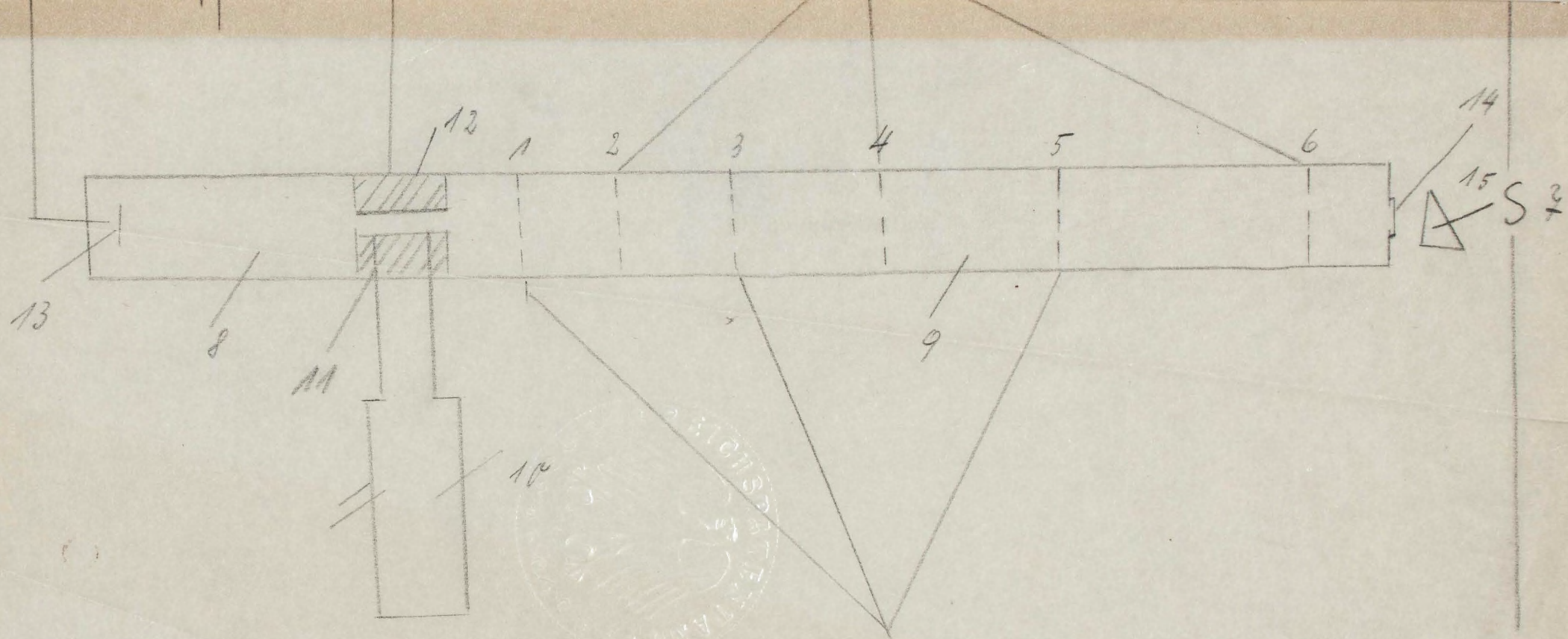


Fig. 1.

Handwritten signature or initials.



B e s c h e i n i g u n g .

Herr Dr. Leo Szilard in Berlin-Wilmersdorf,  
Prinzregentenstr. 95, hat im Deutschen Reiche ein Gesuch  
um ein Erfindungspatent für

" Beschleunigung von Korpuskeln "

am 17. Dezember 1928 beim Reichspatentamt hinterlegt.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und ge-  
naue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser  
Patentanmeldung.

Berlin, den 23. Juli 1932.

R e i c h s p a t e n t a m t .





Dr. L. S z i l a r d , Wilmersdorf, Prinzregentenstr.95

"Beschleunigung von Korpuskeln".

Die Erfindung betrifft ein Verfahren bezw. einen Apparat, der es gestattet Korpuskularstrahlen von hoher Energie zu erzeugen ohne dass es notwendig wäre, so hohe elektrische Potentialen zu verwenden, wie dies notwendig wäre, wenn man durch einfaches Beschleunigen in einem elektrischen Feld den Korpuskularstrahl auf hohe Energie bringen wollte.

Es ist bekannt, dass die von den radioaktiven Körpern emittierten  $\alpha$  Teilchen Atome vieler Substanzen zertrümmern können und man ist deshalb seit langem bestrebt durch Beschleunigung positiv geladener Korpuskeln, wie z.B. Heliumionen oder anderer positiver Ionen, diesen Ionen eine ebenso hohe kinetische Energie zu verleihen, wie es die Ionen radioaktiven Ursprungs





haben. Dabei war man in der Ansicht befangen, dass man z.B. das Heliumion ein sehr hohes elektrisches Potential durchlaufen lassen muss, etwa vier Millionen Volt um seine kinetische Energie derjenigen eines Teilchen gleichwerden zu lassen. In der Tat ist diese Zahl richtig, wenn man annimmt, dass die kinetische Energie die dem geladenen Partikel in einem elektrischen Feld verliehen wird, gleich dem Produkt aus seiner Ladung und dem durchlaufenden Potential ist. Diese Annahme ist jedoch nicht zutreffend, wenn man zeitlich veränderliche Felder verwendet und man kann erfindungsgemäss geladene Partikel eine sehr hohe kinetische Energie verleihen ohne dass man im Sinne der obenerwähnten Annahme entsprechend hohe elektrische Spannungen verwendet. Damit fallen dann die grossen Schwierigkeiten hinweg, die sich der Anwendung hoher Spannungen entgegenstellen und bisher alle Bemühungen künstlich  $\alpha$  Teilchen, oder andere ähnliche energiereiche Partikel, durch Beschleunigung von Ionen im elektrischen Felde herzustellen gescheitert sind.

Erfindungsgemäss werden zeitlich rasch veränderliche elektrische Felder in verschiedenen Teilen des Raumes aufrecht erhalten und ein Korpukularstrahl wird durch diese elektrischen Felder hindurchgeschickt und zwar so, dass es aus einem Raumteil, indem es beschleunigt wurde, austritt bevor oder kurz nachdem sich die Feldrichtung in diesem Raumteil umkehrt und in den nächsten





Raumteil wieder ein Feld vorfindet, das ihn beschleunigt und diesen zweiten Raumteil wiederum verlässt, bevor bzw. kurz nachdem sich die Feldrichtung in diesem zweiten Raumteil umkehrt u.s.w.

Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung im Schema gezeichnet. 8 ist eine Kanalstrahlröhre aus dem Kanalstrahl von Helium, Quecksilber oder irgend eine andere Substanz, durch die Bohrung 11 der Kathode 12 in das Rohr 9 eintreten. Dieses Rohr ist durch die Gitter 1 bis 6 in fünf Abschnitte geteilt und es wird an diese Gitter eine Wechselspannung sehr hoher Frequenz (1 bis 100 Millionen Schwingungen in der Sekunde und darüber) angelegt und zwar liegt der eine Pol an den Gittern 1,3,5 und der andere Pol an den Gittern 2,4,6 so, dass die Gitter 1,3,5 untereinander in Phase schwingen und die Potential stets  $180^\circ$  Grad vom Potential der Gitter 2,4,6 abweicht. Wie man in der Figur sieht, sind die Abstände der Gitter von links nach rechts monoton wachsend, d.h. klein dort, wo die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen noch klein und gross dort, wo die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen schon gross ist.

Die Wirkungsweise der Anordnung ist wie folgt: Betrachten wir ein positives Ion, das im Kanalstrahl fliegt und in einem solchen Augenblick durch das Gitter 1 hindurchfliegt, in welchem das Potential das Gitter 1 gegen das Gitter 2 gerade Null und im Wachsen begriffen ist.



Das Ion wird dann im Raume zwischen den Gittern 1 und 2 beschleunigt und passiert das Gitter 2 (in dem Idealfall, den wir jetzt betrachten) gerade in dem Augenblick als der Potentialunterschied zwischen 1 und 2 wieder Null geworden ist. Dann ist auch der Potentialunterschied zwischen 2 und 3 Null und das Potential von 2 gegen 3 im Wachsen begriffen, sodass das Ion zwischen 2 und 3 wieder beschleunigt wird u.s.w.

Falls wie im vorliegenden Falle vorgesehen, die Frequenz für alle Gitter dieselbe ist, muss der Abstand zwischen 2 und 3 grösser sein, als der Abstand zwischen 1 und 2, u.s.w., damit das Ion jeweils im richtigen Augenblick in den nächsten Abschnitt eintritt. Bei unserer Anordnung lässt sich das elektrische Feld zusammensetzen aus einem von links nach rechts beschleunigt bewegten und aus einem von rechts nach links verzögert bewegten elektrischen Feld (hierzu käme noch evtl. entstehendes elektrisches Feld als Korrektion, welches uns jedoch nicht weiter interessiert.) Die Einrichtung wird nun zweckmässig so getroffen, dass die Geschwindigkeit des beschleunigten Ions an jedem Punkt mit der dort herrschenden Geschwindigkeit des von links nach rechts bewegten Feldes übereinstimmt. Die Geschwindigkeit des elektrischen Feldes berechnet sich dabei als Produkt aus der Frequenz der an das Gitter gelegten elektrischen Schwingung und dem Abstand der beiden in Phase schwingenden Gitter (also z.B. 1 und 3).



14 ist ein Lenardfenster, durch welches die Korpuskeln aus der Röhre 9 austreten können und auf die zu bombardierende Substanz 15 im Freien oder in einem anderen abgeschlossenen Raume fallen können. 7 ist die Schwingungsquelle z.B. eine Elektronenröhre. Man kann auch so vorgehen, dass man eine Reihe von Gittern etwa die ersten 50 Gitter, welche das Jon zuerst passiert, und in folgedessen auch mit einer verhältnismässig geringen Geschwindigkeit passiert, mit einer anderen Röhre betreibt als die nächsten 50 Gitter, die das Jon schon mit höherer Geschwindigkeit passiert. Dabei wählt man die Schwingungszahl der zweiten Röhre höher als die Schwingungszahl der ersten Röhre, sodass die Gitterabstände der letzten Gitter noch verhältnismässig niedrig ausfallen.

Arbeitet man nur mit einer Frequenz, z.B.  $10^8$  Schwingung pro Sekunde und beträgt die Anfangsgeschwindigkeit der Kanalstrahlen  $10^8$  cm pro Sekunde, so würden die Gitterabstände (z.B. der Abstand von 1 und 3) anfangs etwa 1 cm betragen, während, falls unser Apparat die Geschwindigkeit des Teilchens auf das Zehnfache erhöht, der Abstand der letzten Gitter (z.B. 97 und 99) 10 cm betragen müsste. Arbeiten wir mit Spannungen von 30 000 Volt (maximal Sp.) so würde mit 100 Gittern die kinetische Energie des Jons auf so hohe Werte kommen, wie beim Durchlaufen eines einfachen, statischen Feldes von etwa 2 Millionen Volt.



Man kann auch zwei Gittersysteme verwenden, von denen jede allein so betrieben wird, wie oben beschrieben und die gegeneinander mit einer Phasenverschiebung von 90 Grad schwingen. Die beiden Gittersysteme liegen dann in Bezug aufeinander, so, dass sich die Phase von Nachbar zu Nachbar um je 90 Grad verschiebt, sodass auf diese Weise ein von links nach recht (beschleunigt) bewegtes elektrisches Feld praktisch allein vorhanden ist.

In Figur 1 ist 10 eine Pumpe, 11 eine Gleich- oder Wechselstromquelle zum Betriebe der Kanalstrahlrohröhre 8; 13 ist die Anode dieser Röhre, 12 die durchbohrte Kathode.

Patentansprüche:



P a t e n t a n s p r ü c h e :

1.) Apparat oder Verfahren zur Beschleunigung elektrisch beschleunigbarer Korpuskeln wie z.B. Elektronen oder Ionen, dadurch gekennzeichnet, dass das Korpuskel durch mehrere Raumabschnitte fliegt, in welchen Raumabschnitten der Richtung nach wechselnde elektrische Felder aufrechterhalten werden und zwar so, dass wenigstens für ein Teil der Korpuskel in mehreren Raumabschnitten zur Zeit des Verweilens dieser Korpuskeln in dem betreffenden Raumabschnitt die Richtung des dort herrschenden elektrischen Feldes gerade so ist, dass die kinetische Energie des fliegenden Korpuskels in dem betreffenden Raumabschnitt vermehrt wird.

2.) Apparat oder Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einzelnen Raumabschnitten die Feldrichtung periodisch umgekehrt wird.

3.) Apparat oder Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass an der Grenze der Raumabschnitte Leiter z.B. Gitter angeordnet sind an die ein hochfrequentes Potential gelegt ist.

4.) Apparat oder Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge des Weges



der Korpuskeln in den hintereinander liegenden Abschnitten verschieden ist und zwar so, dass die Länge dieses Weges in Abschnitten, die vom Korpuskel später erreicht werden, grösser ist.

5.) Apparat oder Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die benachbarten Gitter der Phase nach entgegengesetzt, alle gradzahligen Gitter untereinander und alle ungradzahligen Gitter untereinander über in Phase schwingen.

*In fi.*





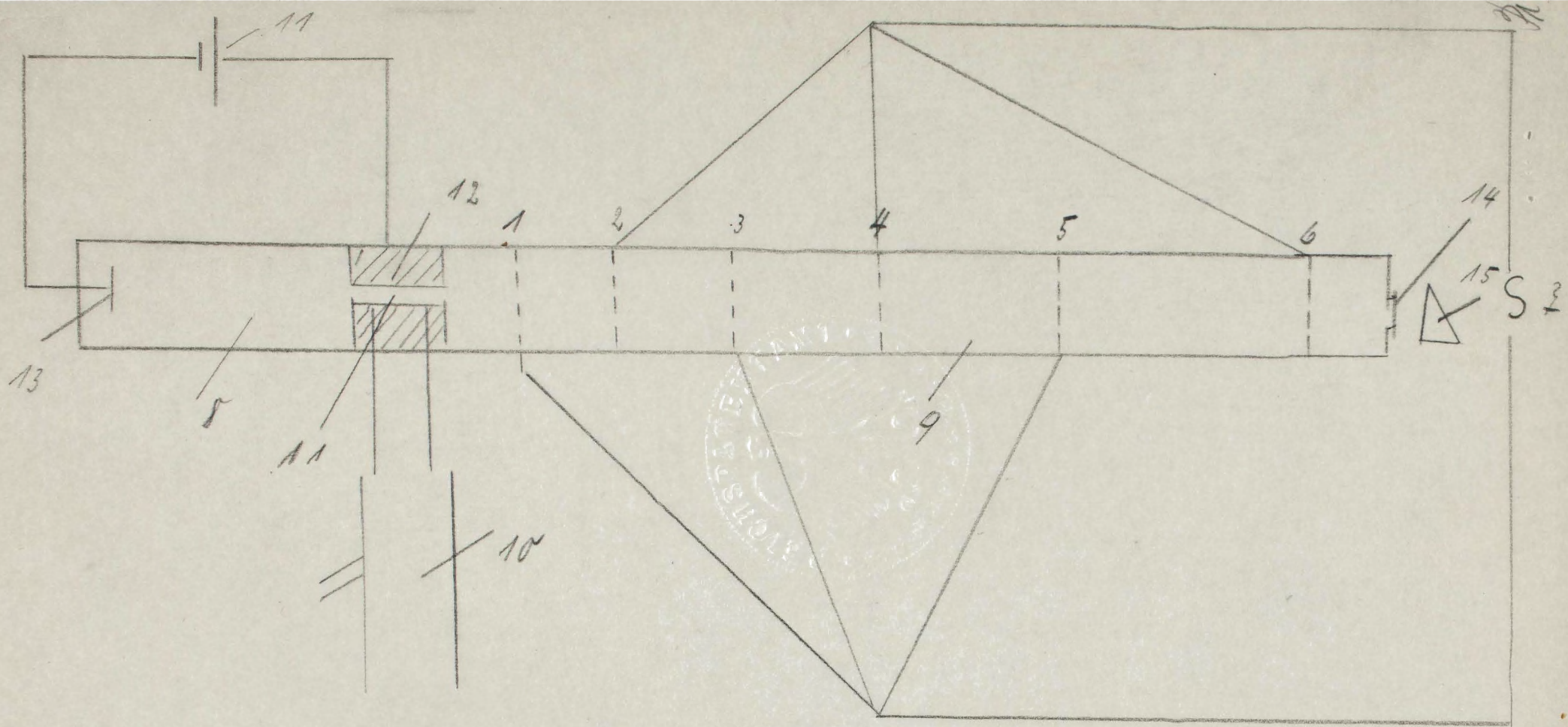


Fig. 1