



AUSGEGEBEN AM
8. JUNI 1929

REICHSPATENTAMT
PATENTSCHRIFT

№ 477 498

KLASSE 21g GRUPPE 17

W 63154 VIIla/21g

Tag der Bekanntmachung über die Erteilung des Patents: 23. Mai 1929

Westinghouse Electric and Manufacturing Company
in East Pittsburg, Penns., V. St. A.

Anordnung zur Erzeugung von verhältnismäßig harten Röntgenstrahlen
ohne Verwendung hoher Spannungen

Patentiert im Deutschen Reiche vom 16. Februar 1923 ab

Die Priorität der Anmeldung in den Vereinigten Staaten von Amerika vom 1. April 1922
ist in Anspruch genommen.

Die Erfindung bezieht sich auf Elektronenröhren zur Erzeugung von Röntgenstrahlen.

Die Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung einer Elektronenröhre mit einer die Elektronen aussendenden Kathode und einer mit dieser zusammenwirkenden Anode oder Antikathode, bei der die von der Kathode ausgehenden Elektronen eine höhere Endgeschwindigkeit erhalten, als ihnen unter Wirkung der Spannungen zwischen Kathode und Anode erteilt würde.

Die Erfindung schafft demnach eine Röntgenröhre, die imstande ist, brauchbare Röntgenstrahlen mit verhältnismäßig geringen Spannungen gegenüber den bisher für notwendig gehaltenen Spannungen zu erzeugen.

Bisher war es zur Erzeugung von Röntgenstrahlen mit für die Nutzbarmachung genügendem Durchdringungsvermögen oder genügender Härte notwendig, verhältnismäßig hohe Spannungen anzuwenden, beispielsweise von 20 000 Volt bis 100 000 Volt oder mehr. Derartige Röhren besitzen eine die Elektronen aussendende Kathode und eine Antikathode, auf die die von der Kathode ausgesendeten Elektronen mit außerordentlich hoher Geschwindigkeit auftreffen. Die Höchstgeschwindigkeit, mit der die Elektronen die Antikathode

treffen, wurde bisher allein bestimmt durch den Potentialunterschied zwischen Kathode und Antikathode. Röhren mit Spannungsunterschieden von 100 000 Volt oder mehr sind jetzt allgemein im Gebrauch, und das Bestreben der einschlägigen Technik ist auf eine dauernde Steigerung der Spannungen gerichtet.

Es ist ersichtlich, daß die Anwendung derartiger Spannungen eine große Gefahrenquelle in sich schließt, besonders wenn es notwendig ist, in eng begrenzten Räumen zu arbeiten oder die Röhren nahe an den Körper des zu behandelnden Patienten zu bringen.

Gemäß der Erfindung erreichen die Elektronen, welche die Röntgenstrahlen erzeugen, eine außerordentlich hohe Geschwindigkeit ohne die übliche hohe Spannung zwischen Kathode und Antikathode.

Dieses wird gemäß der Erfindung dadurch erreicht, daß die Elektronen der induktiven Einwirkung eines veränderlichen magnetischen Feldes ausgesetzt werden. Es ist bekannt, daß einem magnetischen Wechselfeld ein elektrisches Feld zugeordnet ist, dessen Kraftlinien senkrecht zu den Kraftlinien des veränderlichen magnetischen Feldes verlaufen, und dieses elektrische Feld ist es, das dazu benutzt wird,

den Elektronen eine Geschwindigkeit mitzuteilen, wie im folgenden im einzelnen erläutert wird.

Es ist vorgeschlagen worden, ein magnetisches Wechselfeld bei gashaltigen Röntgenröhren anzuwenden, um ein Kreisen bzw. eine periodische Änderung der Lage des Kathodenstrahlenbündels im Gasraum der Röhre hervorzurufen zum Zwecke, den Auftreffpunkt der Strahlen auf der Antikathode ständig zu verändern. Gemäß der Erfindung wird dagegen das magnetische Wechselfeld so in bezug auf den Weg der Elektronen von der Kathode zur Antikathode angeordnet, daß die Kraftlinien des elektrischen Feldes, das dem magnetischen Felde zugeordnet ist, mit dem Elektronenwege zusammenfallen und eine Beschleunigung der Elektronengeschwindigkeit hervorrufen.

Von den Abbildungen gibt

Abb. 1 eine schematische Darstellung von Stromkreisen und Apparaten gemäß der Erfindung, die zum Teil im Schnitt dargestellt sind.

Abb. 2 ist eine Aufsicht auf den evakuierten Behälter der Abb. 1, in welcher der Weg veranschaulicht werden soll, den die Elektronen durchlaufen, wenn sie unter der Einwirkung einer elektrostatischen Kraft zwischen Kathode und Antikathode stehen, und wenn sie unter der Einwirkung eines zusätzlichen senkrecht zu ihrer Bahnebene liegenden Magnetfeldes stehen.

Abb. 3 ist eine der Abb. 2 entsprechende Darstellung, die die Wirkung auf den Elektronenweg veranschaulicht, die ein magnetisches Wechselfeld ausübt.

Abb. 4 ist ein wagerechter Schnitt durch eine vorzugsweise angewendete Ausgestaltung der neuen Einrichtung, und zwar im Schnitt nach Linie IV-IV in Abb. 5.

Abb. 5 ist ein Längsschnitt nach Linie V-V der Abb. 4.

Die Abb. 1 stellt eine scheibenförmig gestaltete Elektronenröhre 1 mit einander parallelen Begrenzungsflächen 2, 3 dar. Eine Glühkathode 4, die aus einer Gleichstromquelle 5 beheizt wird, ist im mittleren Teil der Röhre angebracht. Eine Anode oder Antikathode 6 liegt in der Nähe des äußeren Umfanges der Röhre 1. Über den Leiter 7 sind die Anode 6 und die Kathode 4 verbunden. In diese Leitung kann eine Gleichstromquelle 8 eingeschaltet sein, durch welche die Elektronen von der Oberfläche der Kathode 4 weggeführt werden und so schleifenförmige Bahnen von einem möglichst großen Halbmesser beschreiben können.

Ein magnetisches Feld, das senkrecht zur Fläche der Röhre gerichtet ist, wird dadurch erhalten, daß die scheibenförmig gestalteten Polstücke 9 und 11 eines im wesentlichen U-förmig gestalteten Magneten 12 an die gegen-

überliegenden Flächen 2 und 3 der Röhre 1 herangebracht werden. Der Magnet 12 kann durch eine Erregerwicklung 13 erregt werden, die um den gekrümmten Teil 14 herumgelegt und durch eine Gleichstromquelle 15 gespeist wird. In der Ebene der Röhre 1 und unmittelbar in der Nähe ihres Umfanges ist eine Erregerspule 16 angebracht, welche von einer Quelle 17 aus durch Wechselstrom oder durch Kondensator-

entladungen erregt werden kann. Wenn keine der beiden magnetischen Wicklungen 13 und 16 Strom führt und eine Spannungsdifferenz zwischen der Kathode 4 und der Anode 6 hergestellt wird, so wird dadurch bewirkt, daß die von der Kathode 4 ausgesandten Elektronen den elektrostatischen Kraftlinien folgen, die zwischen den beiden erwähnten Teilen vorhanden sind, also Bahnen, wie sie durch punktierte Linien *a* in Abb. 2 angedeutet sind, beschreiben. Hierbei muß bemerkt werden, daß bekanntlich die Geschwindigkeit der Elektronen, die auf die Antikathode 6 auftreffen, allein durch den Spannungsunterschied bestimmt ist, der zwischen der Kathode 4 und der Antikathode 6 besteht. Wie vorher ausgeführt, hat man es für notwendig gefunden, Spannungen von der Größenordnung 100 000 Volt oder mehr anzuwenden, um Röntgenstrahlen zu erzeugen, die ein nutzbringend verwertbares Durchdringungsvermögen besitzen.

Wenn die Gleichstromerregewicklung 13 von dem Strom aus der Gleichstromquelle 15 durchflossen wird, so wird ein konstantes magnetisches Feld erzeugt, das senkrecht zur Ebene der Elektronenbahnen liegt. Wie bekannt ist, hört bei derartigen Anordnungen von einer bestimmten Feldstärke an der Strom zur Anode auf zu fließen, da die Elektronen durch das Magnetfeld veranlaßt werden, sich um die Kathode 4 in im wesentlichen geschlossenen Bahnen oder Schleifen zu bewegen, wie dies durch die gekrümmten Linien *b* der Abb. 2 schematisch angedeutet ist.

Wenn Strom durch die Wechselstromwicklung 16 geschickt wird und so ein elektrisches Wechselfeld erzeugt wird, das im wesentlichen in der Ebene des Behälters 1 liegt, so wird die kinetische Energie oder Geschwindigkeit der Elektronen erheblich für jeden vollen Umlauf der Bahnlinie *b* gesteigert. Die Wirkung läßt sich vergleichen mit der, die man bei einem gewöhnlichen Wechselstromtransformator beobachtet, bei welchem die Erregerwicklung 16 der Primärwicklung des Transformators entspricht, und der Weg, den ein voller Umlauf eines Elektrons darstellt, als Sekundärwicklung zu betrachten ist.

Bei dem Transformator nimmt die Spannung in der Sekundärwicklung zu mit der Zahl der Windungen und mit der Geschwindigkeit, mit welcher sich der Kraftlinienfluß ändert, der

sie durchdringt. In ähnlicher Weise wächst bei der Vorrichtung gemäß der Erfindung die Spannungsenergie oder Geschwindigkeit eines Elektrons mit jedem vollen Umlauf seiner Bahn und gleichzeitig mit Zunahme in dem Durchmesser der Bahnlinie.

Zunächst könnte es den Anschein haben, daß ein Elektron, welches durch das Magnetfeld beeinflußt wird, fortgesetzt in seiner Kreisbahn unbegrenzt weiterlaufen würde und daß seine Geschwindigkeit bestrebt sein würde, einen unendlichen Wert anzunehmen. Es läßt sich aber nachweisen, daß die Wirkung der Fliehkräfte, die auf das Elektron einwirken, derart ist, daß es bestrebt ist, einen Spiralweg von dauernd zunehmendem Halbmesser zu durchlaufen, bis es auf die Antikathode auftrifft, wie das durch die Spirallinie in Abb. 3 dargestellt ist. Die besondere Beschaffenheit der Spiralbahn hängt von der Aüfangsgeschwindigkeit ab, mit der die Elektronen von der Kathode 4 ausgeschleudert werden und auch von dem Wert des konstanten magnetischen Feldes, das durch die Wicklung 13 erzeugt wird, sowie des Wechselfeldes, das durch die Wicklung 16 erzeugt wird.

Wenn die Elektronen schließlich auf die Antikathode 6 auftreffen, so hat ihre kinetische Energie einen derartigen Wert angenommen, daß Röntgenstrahlen erzeugt werden, die ein Durchdringungsvermögen haben wie Strahlen, welche bisher nur durch Anwendung von sehr hohen äußeren Spannungen zwischen der Kathode 4 und der Anode 6 erzeugt werden konnten.

Die Einrichtung nach Abb. 1 unterliegt jedoch einer gewichtigen Einschränkung infolge der Tatsache, daß der höchste praktisch erreichbare Anfangshalbmesser der Elektronenschleife b verhältnismäßig klein ist, und daß infolgedessen Wechselströme von außerordentlich hohem Werte und hoher Frequenz der Erregerspule 16 zugeführt werden müssen, um die oben aufgeführten erwünschten Ergebnisse zu erzielen.

Bei der vorzugsweise zur Anwendung gelangenden Ausgestaltung, wie sie in den Abb. 4 und 5 dargestellt ist, sind die Kathode 4 und die Anode 6 so angeordnet, daß die Elektronen, wenn sie aus der Kathode austreten, in dem veränderlichen magnetischen Feld Bahnen laufen, die einen Anfangshalbmesser von solcher Größe besitzen, daß die soeben erwähnten Schwierigkeiten nicht eintreten.

Die hier dargestellte Bauart besteht aus einer hochevakuierten Ringröhre 17 mit einer Glühkathode 4 in unmittelbarer Nähe des inneren Röhrenumfanges und einer Antikathode 6, welche diametral gegenüber in der Nähe der äußeren Begrenzung des Ringes liegt. Um die Ringröhre 17 ist ein lamellierter Eisenkern 18, ähnlich denen, welche bei Transformatoren des sogenannten Manteltyps ver-

wendet werden, in solcher Weise herumgebaut, daß die Röhre kettengliedartig von zwei Magnetkreisen 19 und 21 umschlossen wird, die einen gemeinsamen mittleren Teil 22 haben, wie es durch die Pfeile in Abb. 5 angedeutet ist. Der gemeinsame Teil 22 der beiden magnetischen Kreise 19 und 21 ist mit einer Erregerwicklung 23 versehen, die durch Leiter 25 und 26 an eine Wechselstromquelle 24 oder an einen Schwingungskreis angeschlossen sein möge.

Oberhalb und unterhalb der Röhre 17 befinden sich Reihen von segmentartig gestalteten Leitmagneten 27 und 28. Die verschiedenen Magnete sind so auf den gegenüberliegenden Flächen der Röhre 17 angeordnet, daß sie Querfelder nahe der inneren und äußeren Röhrenwandung erzeugen zum Zwecke, auf die Elektronen im Röhreninnern eine starke Sammelwirkung auszuüben, d. h. daß sie eine Wirkung ausüben, die bestrebt ist, die Elektronen von den inneren und äußeren Wandungen abzulenken und sie in einer Kreisbahn zu erhalten, die sich mitten zwischen dem äußeren und inneren Umfange des Behälters befindet. Der Leiter 7, welcher die Kathode 4 und die Antikathode 6 verbindet, enthält im dargestellten Falle eine Spannungsquelle 8, die auch gegebenenfalls fehlen kann.

Wenn der Faden 4 erhitzt ist, so treten aus ihm Elektronen aus, von denen sich ein Teil nach links in Abb. 4 bewegt. Die Elektronen werden vom inneren und äußeren Umfang des Behälters durch die Einwirkung der starken, dort infolge der Anwesenheit der Magnete 27 und 28 vorhandenen Querfelder abgelenkt. Infolgedessen werden die Elektronen gezwungen, um den zur Regelwirkung bestimmten magnetisierbaren Kern in einer im wesentlichen kreisförmigen Bahn herumzulaufen. Durch den schwankenden Kraftlinienfluß in diesem Kern während einer Halbwelle des Wechselstromes wird, wie oben angeführt, ein die Elektronen beschleunigendes Potential erzeugt, so daß die Geschwindigkeit der Elektronen zunimmt. Da die Elektronen ihre Geschwindigkeit vergrößern, so veranlaßt die Einwirkung der wachsenden Fliehkraft sie, weiter und weiter in das magnetische Feld einzudringen, das sich in der Nachbarschaft des äußeren Umfanges befindet und schließlich gegen die Anode 6 zu treffen und dort Röntgenstrahlen zu erzeugen.

Zwecks Erläuterung wird das nachfolgende praktische Beispiel der Lösung gewisser konstruktiver Aufgaben gegeben, die im Anschluß an die Erfindung auftreten; es soll damit jedoch nicht zum Ausdruck gebracht werden, daß die Erfindung notwendigerweise auf irgendeine besondere Abmessung oder dergleichen beschränkt ist. Unter der Annahme, daß das höchste Vakuum, das aufrechterhalten werden

kann, 10^{-7} mm Quecksilber ist, wird die
 mittlere freie Weglänge eines Elektrons an-
 genähert 500 000 cm sein. Wenn eine Elektronen-
 geschwindigkeit entsprechend 100 000 Volt
 5 Spannung verlangt wird, so ist eine Spannungs-
 zunahme von $\frac{1}{5}$ Volt auf 1 cm für die besten
 Arbeitsbedingungen notwendig. Ist D der
 Durchmesser des kreisförmigen Weges, den ein
 Elektron durchläuft und $\frac{1}{4} D^2$ die Querschnitts-
 10 fläche des magnetisierbaren Kerns, der hindurch-
 tritt, so ist der Maximalgesamtflux

$$\Phi = \frac{1}{4} D^2 B,$$

worin B die Kraftliniendichte im Kern ist.
 15 Die Voltzahl für einen Umgang ist

$$10^{-8} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \Phi = \frac{1}{2} \cdot 10^{-8} n D^2 B,$$

und, da die Länge eines Umganges $\pi \cdot D$ ist,
 so ist die Voltzahl für ein Zentimeter

$$20 = \frac{1}{2} \cdot 10^{-8} n D B.$$

Wird eine Kraftliniendichte von $B = 10,000$ an-
 genommen und eine Frequenz von $n = 60$, so
 sind die Volt für das Zentimeter $= 3 \cdot 10^{-3} D$.

25 Um $\frac{1}{5}$ Volt auf das Zentimeter zu erhalten, ist
 $D = 70$ cm erforderlich. Würde eine Frequenz
 von $n = 600$ Perioden in der Sekunde ange-
 wendet, so würde sich der Durchmesser des
 mittleren Weges der Elektronen etwa ergeben
 30 zu $D = 7$ cm.

PATENTANSPRÜCHE:

35 1. Anordnung zur Erzeugung von verhält-
 nismäßig harten Röntgenstrahlen ohne Ver-
 wendung hoher Spannungen, dadurch ge-
 kennzeichnet, daß ein veränderliches Ma-
 gnetfeld in der Nähe einer Elektronenröhre
 mit Elektronenquelle und einer Antikathode

in solcher Lage angeordnet wird, daß die 40
 Kraftlinien des elektrischen Feldes, das
 dem magnetischen Feld zugeordnet ist, mit
 dem Elektronenwege zusammenfallen und
 somit eine Erhöhung der Geschwindigkeit
 der Elektronen erzielt wird. 45

2. Anordnung nach Anspruch 1, gekenn-
 zeichnet durch eine scheibenartig ge-
 staltete Röhre (2) mit einer zentral ange-
 ordneten Elektronenquelle (4) und einer
 Anode oder Antikathode (6) in der Nähe 50
 des Scheibenumfanges, in deren Nähe die
 Einrichtung zur Erzeugung des veränder-
 lichen magnetischen Feldes derart ange-
 bracht ist, daß die Kraftlinien im wesent-
 lichen senkrecht zur Scheibenebene ge- 55
 richtet sind.

3. Anordnung nach Anspruch 2, gekenn-
 zeichnet durch eine Einrichtung zur Er-
 zeugung eines gleichgerichteten Magnet-
 feldes, dessen Kraftlinien im wesentlichen 60
 senkrecht zur Scheibenebene verlaufen.

4. Elektronenröhre für eine Anordnung
 nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
 daß das Röhregehäuse (17) ringförmig ge-
 staltet ist, und daß das die Elektronen aus- 65
 sendende Element (4) in der Nähe des inneren
 Umfanges und die Anode (6) in der Nähe
 des äußeren Umfanges angebracht ist.

5. Anordnung mit einer Röhre nach
 Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß 70
 die Einrichtung zur Erzeugung des ver-
 änderlichen Magnetfeldes das Ringgehäuse
 (17) der Röhre kettengliedartig umschließt.

6. Anordnung nach Anspruch 5, gekenn-
 zeichnet durch Einrichtungen (27, 28) zur 75
 Herstellung magnetischer Felder am inneren
 wie am äußeren Umfang des Röhrege-
 häuses (17).

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

Abb. 1.

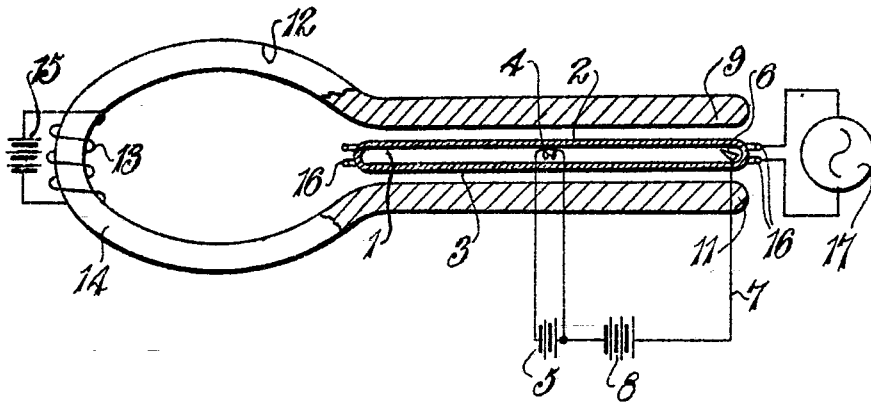


Abb. 3.

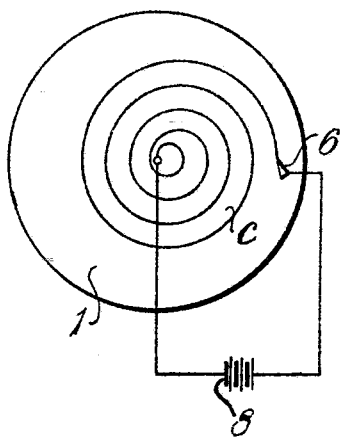


Abb. 2.

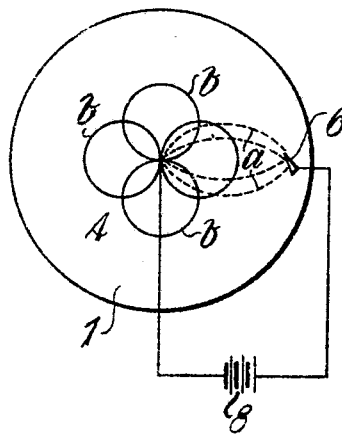


Abb. 4.

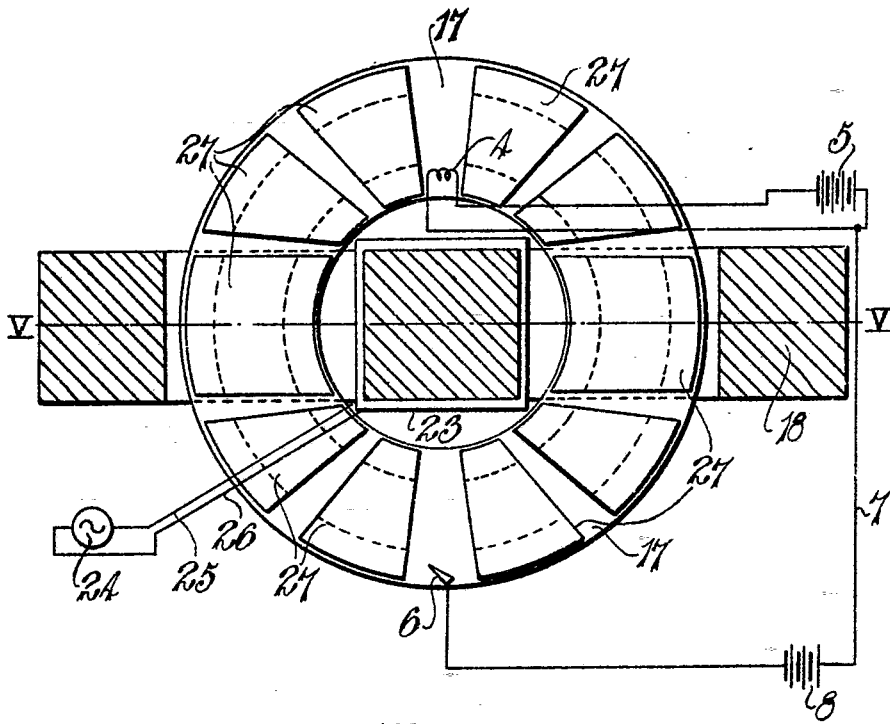


Abb. 5.

