

REICHSPATENTAMT
PATENTSCHRIFT

№ 656378

KLASSE 21 g GRUPPE 17 01

S 108891 VIII c/21 g

Tag der Bekanntmachung über die Erteilung des Patents: 20. Januar 1938

Siemens-Schuckertwerke Akt.-Ges. in Berlin-Siemensstadt*)

Verfahren zur Herstellung von Röntgenstrahlen hoher Durchdringungsfähigkeit

Patentiert im Deutschen Reiche vom 1. April 1933 ab

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Röntgenstrahlen hoher Durchdringungsfähigkeit. Es wurde bereits vorgeschlagen, zur Herstellung von Röntgenstrahlen hoher Durchdringungsfähigkeit sich eines veränderlichen, zur Beschleunigung und Führung der Elektronen dienenden Magnetfeldes zu bedienen. Bei den bekannten Vorrichtungen dieser Art nimmt die Intensität des Magnetfeldes von der Mitte nach dem Rand hin zu, was zur Folge hat, daß die Leistungsfähigkeit derartiger Apparaturen zur Erzeugung von Röntgenstrahlen begrenzt ist.

Ein Elektron bewegt sich mit geringer Geschwindigkeit in einem homogenen Magnetfeld im Hochvakuum auf einer Kreisbahn. Durch Steigerung des Magnetfeldes wird der Krümmungsradius der Elektronenbahn verkleinert. Gleichzeitig wird das Elektron durch die bei der magnetischen Feldänderung auftretenden elektrischen Wirbelfelder zusätzlich beschleunigt. Diese Beschleunigung des Elektrons wirkt der Verkleinerung des Krümmungsradius durch die Steigerung des magnetischen Feldes entgegen, ohne sie jedoch zu kompensieren. Die Geschwindigkeit des Elektrons nimmt so lange zu, als das Magnetfeld anwächst. Es zeigt sich, daß die in Volt gemessenen Geschwindigkeiten des Elektrons zu Beginn und zu Ende der Magnetfeldsteige-

runge sich direkt proportional den dabei verwendeten Magnetfeldern verhalten, wenn man von den relativistischen Massenänderungen des Elektrons absieht.

$$\frac{V}{V_0} = \frac{H}{H_0} \quad (1) \quad 35$$

Mit Berücksichtigung der relativen Massenänderungen ergibt sich:

$$\frac{H}{H_0} = \frac{V}{V_0} \frac{2m_0c^2 + V}{2m_0c^2 + V_0} \quad (2) \quad 40$$

darin bedeutet m_0 die Masse des Teilchens bei kleinen Geschwindigkeiten. Für ein Elektron folgt zahlenmäßig

$$\frac{H}{H_0} = \frac{V}{V_0} \frac{1,02 \cdot 10^6 + V}{1,02 \cdot 10^6 + V_0} \quad (3) \quad 45$$

wenn man die Energie in Volt (V_0 und V) und die Magnetfelder in Gauß (H_0 und H) mißt. Bemerkenswert ist, daß die Geschwindigkeit der Flußänderung in das Endresultat nicht mehr eingeht, sondern nur Anfangs- und Endfeldstärken.

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Verhältnisse wird bei der Erzeugung von

*) Von dem Patentsucher sind als die Erfinder angegeben worden:

Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. Reinhold Rüdberg in Northwood, Middlesex, England,
und Dr. Max Steenbeck in Berlin-Siemensstadt.

Röntgenstrahlen extrem hoher Energie so verfahren, daß durch Ausnutzung eines elektrischen Wirbelfeldes bei magnetischen Flußänderungen Elektronen hoher Geschwindigkeit (äquivalent einige Millionen Volt) mit verhältnismäßig einfachen Mitteln erzeugt werden können, ohne daß in der zur Erzeugung der Elektronen verwendeten Vorrichtung irgendwelche Hochspannungsführenden Teile vorkommen. In dem nachstehend angeführten Zahlenbeispiel werden die quantitativen Möglichkeiten näher behandelt.

Die Wirkungsweise einer solchen Anordnung ist folgende:

Die dem Elektron auf seinen zahlreichen Kreisbahnen zusätzlich erteilte Geschwindigkeit ist gleich der Spannung in einem Transformator mit einer Windungszahl, die gleich ist der Anzahl der Umläufe des Elektrons. Wird das magnetische Feld rasch gesteigert, so wandert das Elektron rasch nach innen, d. h. mit wenig Umläufen. Der Ersatztransformator hat also nur wenig Sekundärwicklungen, jedoch eine starke zeitliche Flußänderung und darum eine hohe Spannung. Wird das Magnetfeld dagegen langsam gesteigert, so muß das Elektron sehr zahlreiche Umläufe machen, ehe die Feldänderung beendet ist. Der Ersatztransformator hat eine sehr hohe Sekundärwicklungszahl, dafür eine kleine zeitliche Flußänderung. Die in beiden Fällen erreichte Spannung ist unter dem Einfluß dieser sich aufhebenden Wirkungen unabhängig von der Änderungsgeschwindigkeit des Magnetfeldes.

Zur Erläuterung des vorerwähnten Problems dient die Zeichnung, die die Pole eines Magneten zeigt, zwischen denen bei 1 die Elektronenebene liegt. Sobald ein in der Elektronenebene befindliches Elektron nach rechts oder links aus seiner Ebene herausfliegt, gerät es in Gebiete mit radialen Magnetfeldkomponenten, die es wieder in die anfängliche Mittelebene zurücktreiben.

Nimmt man beispielsweise einen Anfangskrümmungsgrad der Elektronenbahn von 10 cm an und ein Anfangsfeld H_0 von 50 Gauß, so muß in diesem Feld das Elektron anfänglich in bekannter Weise mit einer Spannung $V_0 = 22$ kV beschleunigt worden sein. Steigert man nun das Magnetfeld auf $H = 6500$ Gauß, so beträgt die dem Elektron hierdurch erteilte Geschwindigkeit nach der Formel (3) $V = 1\,300\,000$ Volt. Hätte man den gleichen Magneten bis zur Sättigung $H = 14\,000$ Gauß erregt und bereits anfänglich Elektronen von 50 kV Geschwindigkeit verwendet, so hätte man nach der Formel (3) sogar Elektronen von einer Geschwindigkeit $V = 2\,700\,000$ Volt erwarten müssen. Für die praktische Ausführung ist eine möglichst rasche Änderung des

Feldes erwünscht, damit die Elektronenbahn möglichst kurz wird und daher möglichst wenig Elektronen durch Zusammenstöße mit Gasmolekülen abgefangen werden. Erregt man das Magnetfeld mit 50periodischem Wechselstrom, so erfolgt die Magnetfeldsteigerung von 0 auf seinen Scheitelwert in 5 bis 10^{-3} Sek. Das bedingt ein mit den heutigen Mitteln noch erreichbares Vakuum von etwa $7 \cdot 10^{-7}$ mm Hg. Damit das Elektron bei seinen zahlreichen Umläufen nicht aus seiner anfänglichen Ebene herausfliegt, kann ein etwas inhomogenes Magnetfeld verwendet werden, in der Weise, daß das Magnetfeld in der anfänglichen Elektronenebene schwächer ist als an den benachbarten Stellen. Dabei gerät das Elektron in radiale Komponenten des Magnetfeldes, die elektrodynamische Kräfte auf das fliegende Elektron ausüben, welche das Elektron wieder in die Mittelebene zurücktreiben. Diese Inhomogenität des Magnetfeldes stabilisiert also die Elektronenbahn in der Mittelebene und verhindert damit, daß das Elektron vorzeitig an irgendwelche Wandungen des Gefäßes fliegt.

Sollen nicht nur einmalig, sondern fortgesetzt rasche Elektronen entstehen, so wird zweckmäßig das Magnetfeld durch Wechselstrom erzeugt. Für das durchgerechnete Zahlenbeispiel ist dazu ein Magnet mit Polschuhen von 10 cm Radius und etwa 3 cm Polschuhabstand erforderlich. Zum Aufbau eines Feldes von 6- bis 7000 Gauß würde ein solcher Magnet etwa 90 bis 100 kVA Blindlast verbrauchen (Streuungszuschlag eingerechnet) bei 1,5 kW Kupfer- und etwa 1,1 kW Eisenverlust (etwa 350 kg Eisen und 40 kg Kupfer). Diese Anordnung könnte dauernd die oben berechneten $1,3 \cdot 10^6$ -Voltelektronen liefern und in kurzzeitiger Überlastung auch Elektronen bis etwa 2,5 bis 10^6 Volt. Nimmt man einen Emissionsstrom der Glühkathode von 1 mA an, von denen etwa 1 Proz. in den Elektronenstrahl gelangen, berücksichtigt man, daß nur etwa 1 Proz. der Elektronen gerade zu Zeiten emittiert werden, in denen das Magnetfeld H_0 50 Gauß beträgt, und schätzt man den Elektronenverlust durch Zusammenstöße mit Gasmolekülen auf 90 Proz., so erhält man einen Strom von etwa 10^{-8} Amp. vollbeschleunigter Elektronen, entsprechend der $\beta + \delta$ -Strahlung von etwa 1 bis 10 g Radium.

Die dauernde Erzeugung rascher Elektronen von $1,3 \cdot 10^6$ Volt auf dem angegebenen Wege ist also heute mit relativ geringen Mitteln in ausreichender Intensität möglich.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird also bei der Herstellung von Röntgenstrahlen hoher Durchdringungsfähigkeit unter Verwendung eines bekannten, wie oben beschrie-

ben wirkenden veränderlichen Magnetfeldes so verfahren, daß das Magnetfeld von der Mitte nach dem Rand hin abfällt und daß in der Bahn der Elektronen in der Mitte des Magnetfeldes ein Körper angeordnet ist, der durch das Auftreffen schnellfliegender Elektronen zum Aussenden von Röntgenstrahlen angeregt wird. Zur Herstellung von Röntgenstrahlen hoher Durchdringungsfähigkeit empfiehlt es sich, in der Bahn der Elektronen eine kleine Wolframkugel anzuordnen. Das Magnetfeld und die dieses erzeugenden Elektroden werden vorteilhaft so angeordnet und bemessen, daß die Elektroden jeweils beim Maximum des Stromes oder etwas vorher den Röntgenstrahlen emittierenden Körper erreichen. Es empfiehlt sich, für eine möglichst schlagartige Emission der Röntgenstrahlen den Magneten durch einen kurzen, aber sehr starken Stromstoß zu speisen und die Anordnung so zu bemessen, daß die Elektronen beim Maximum des Stromes oder etwas vorher die Wolframkugel erreichen. Es ist aber auch möglich, für stationäre Betriebe den Magneten mit normalen technischen, beispielsweise 50periodischen Wechselströmen zu speisen. Je nach der Bemessung und der Stärke des Magnetfeldes lassen sich mit der neuen Anordnung spiralig verlaufende Elektronenstrahlen von sehr unterschiedlichen und leicht einstellbaren Geschwindigkeiten einstellen, so daß man Röntgenstrahlen erhält, die zwischen sehr kurzer und sehr langer Wel-

lenlänge bequem einstellbar sind. Von besonderem Vorteil ist es, daß bei dem neuen Verfahren keinerlei Hochspannung benötigt wird, sondern daß man mit einfachen und gefahrlosen elektrotechnischen Mitteln auskommt.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Herstellung von Röntgenstrahlen hoher Durchdringungsfähigkeit unter Verwendung eines veränderlichen, zur Beschleunigung und Führung der Elektronen dienenden Magnetfeldes, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetfeld von der Mitte nach dem Rand hin abfällt und daß in der Bahn der Elektronen in der Mitte des Magnetfeldes ein Körper angeordnet ist, der durch das Auftreffen schnellfliegender Elektronen zum Aussenden von Röntgenstrahlen angeregt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der Bahn der Elektronen eine kleine Wolframkugel angeordnet ist.

3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetfeld und die dieses erzeugenden Elektroden so angeordnet und bemessen sind, daß die Elektronen jeweils beim Maximum des Stromes oder etwas vorher den Röntgenstrahlen emittierenden Körper erreichen.