



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

Veröffentlichungsnummer:

0 021 442
A1

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: 80103662.5

Int. Cl.³: **G 21 K 1/02**

Anmeldetag: 27.06.80

Priorität: 03.07.79 DE 2926841

Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** Berlin
und München, Postfach 22 02 61,
D-8000 München 22 (DE)

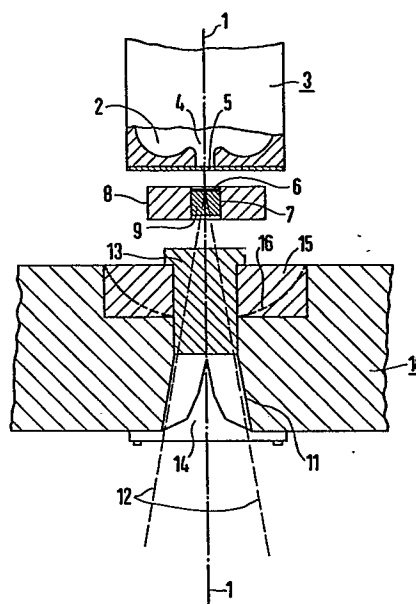
Veröffentlichungstag der Anmeldung: 07.01.81
Patentblatt 81/1

Benannte Vertragsstaaten: **DE FR GB SE**

Erfinder: **Taumann, Leonhard, Dipl.-Phys.**, 344 Shire
Oaks Court, Lafayette Calif. 94549 (US)

Elektronenbeschleuniger.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Elektronenbeschleuniger mit einem dem Elektronenstrahl (4) ausgesetzten Target (6), mit einem dem Target in Strahlenrichtung nachgeschalteten Elektronenabsorber (9, 13) und mit einem Kollimator (10) zur Begrenzung des Röntgenstrahlenkegels. Bei solchen Elektronenbeschleunigern wird die Strahlenbelastung des Patienten zusätzlich zu den therapeutisch erwünschten Röntgenquanten auch noch in höchst unerwünschter Weise durch Neutronen erhöht. Zur Reduzierung des Neutronenpegels sieht die Erfindung vor, daß die dem Target zugewandten Randzone des Kollimators aus einem Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n)-Prozesse gefertigt ist. Zur Dimensionierung dieser aus einem Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n)-Prozesse gefertigten Randzone sieht die Erfindung vor, daß diese radial zum Target eine Ausdehnung aufweist, die etwa der Halbwertstiefe der Röntgenstrahlung in diesem Material entspricht.



SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Berlin und München

Unser Zeichen
VPA 79 P 5904 EUR

5 Elektronenbeschleuniger

Die Erfindung bezieht sich auf einen Elektronenbeschleuniger mit einem dem aus der Beschleunigungsröhre austretenden Elektronenstrahl ausgesetzten Target, mit
10 einem dem Target in Strahlenrichtung nachgeschalteten Elektronenabsorber, mit einem Kollimator zur Ausblendung eines Röntgenstrahlenkegels und mit einem zur Ausblendöffnung des Kollimators zentrierten Ausgleichskörper.

15

Durch die US-PS 41 21 109 ist ein für den Einsatz in der Strahlentherapie bestimmter Elektronenbeschleuniger bekannt. Zur Erzeugung von Röntgenstrahlung wird bei diesem Elektronenbeschleuniger ein Target dem aus der
20 Beschleunigungsröhre austretenden Elektronenstrahl ausgesetzt. In Strahlenrichtung hinter dem Target sind ein Elektronenabsorber, in dem die übriggebliebenen Elektronen aus der Röntgenstrahlung herausgefiltert werden und ein Kollimator mit einer Durchlaßöffnung für die
25 Ausblendung des maximalen, zur Anwendung kommenden,



meist kegelförmigen Röntgenstrahlenfeldes angeordnet.
In der Durchlaßöffnung des Kollimators ist ein Ausgleichskörper eingebaut, durch den die Dosisleistung der austretenden Röntgenstrahlung über ihren gesamten Querschnitt hinweg ausgeglichen wird. Bei solchen Elektronenbeschleunigern wird es jedoch als nachteilig empfunden, daß zusätzlich zu den therapeutisch erwünschten Röntgenquanten auch noch Neutronen erzeugt werden, die die Strahlenbelastung des Patienten in höchst unerwünschter Weise erhöhen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Strahlenbelastung des Patienten insgesamt auf das therapeutisch Notwendige zu beschränken und insbesondere die Strahlenbelastung durch Neutronen zu verringern.

Bei einem Elektronenbeschleuniger der eingangs genannten Art ist daher erfindungsgemäß die dem Target zugewandte Randzone des Kollimators zur Reduzierung der Neutronenerzeugung aus einem Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse gefertigt. Dieser Lösung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, daß die Neutronen nur zu einem sehr geringen Teil in den im Nutzstrahlenkegel eingebauten Teilen, d.h. dem Target, dem Elektronenabsorber oder dem Ausgleichskörper, erzeugt werden. Der überwiegende Teil der Neutronen wird auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite des Kollimators erzeugt. Die dort erzeugten Neutronen durchdringen den Kollimator und führen zu der beobachteten diffusen Bestrahlung der Umgebung. Die Verwendung eines Materials mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse für die dem Target zugewandte Randzone des Kollimators führt zu einer ganz entscheidenden Herabsetzung der Zahl der je Zeiteinheit insgesamt erzeugten Neutronen. Da Isotope

mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse
durchweg unter den Elementen mit geringer Ordnungszahl
zu finden sind, eignen sie sich nicht für Röntgenstrah-
lenkollimatoren. Anders ausgedrückt, werden gerade bei
5 Kollimatoren, wegen der besseren Röntgenstrahlenab-
sorption, üblicherweise gerade solche Materialien ver-
wandt, die eine höhere Ordnungszahl und damit auch
einen sehr viel höheren Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-
Prozesse aufweisen. Durch die Beschränkung der Verwen-
10 dung von Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für
(γ , n)-Prozesse auf jene dem Target zugewandten Be-
reiche des Kollimators werden einerseits die spezifi-
schen Absorptionseigenschaften des Kollimators für
Röntgenstrahlen nur in geringem, durch Vergrößerung
15 der Wandstärke noch kompensierbarem Maße verschlech-
tert und wird zugleich die Erzeugung von Neutronen ge-
rade in jenen Bereichen mit größerer Röntgenstrahlen-
dichte reduziert oder je nach Art des verwendeten
Materials und der maximal benutzten Quantenenergie
20 ganz unterbunden.

In zweckmäßiger Weiterbildung der Erfindung kann die
aus Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für
(γ , n)-Prozesse gefertigte Randzone radial zum Target
25 eine Ausdehnung aufweisen, die etwa der Halbwertstiefe
der Röntgenstrahlung in diesem Material entspricht.
Diese Relation gibt einen guten Anhaltspunkt für die
Optimierung des Kollimators. Denn in den tieferen
Schichten des Kollimators, d.h. nach Durchlaufen der
30 Halbwertstiefe für die Röntgenstrahlung, ist sowohl
wegen der Absorption der Röntgenstrahlung als auch we-
gen des quadratischen Abstandsgesetzes nur noch mit
einer vergleichsweise geringen Röntgenquantendichte
und somit geringeren Erzeugungsrate für die Neutronen
35 zu rechnen. Jene Teile können daher ohne allzugroßen

Einfluß auf die Neutronenproduktion aus einem die Röntgenquanten gut abschirmenden Schwermetall, wie z.B. Wolfram oder Blei, gefertigt werden.

- 5 Eine weitere Optimierung des Kollimators läßt sich dadurch erreichen, daß die aus Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse gefertigte Randzone sich quer zur Richtung der Symmetrieachse der Ausblendöffnung bis in einen Abstand vom Target er-
10 streckt, der etwa das 1,5fache des Abstandes zwischen dem Target und dem dem Target nächstliegenden Rand der Ausblendöffnung des Kollimators beträgt. Das führt dazu, daß nur ein verhältnismäßig kleiner Teil des Kollimators aus einem Röntgenstrahlen weniger gut absor-
15 bierenden Material gefertigt werden muß. Die vom Target weiter entfernten Zonen des Primärkollimators werden wegen des quadratischen Abstandsgesetzes ohnehin mit einer geringeren Röntgenquantendichte beaufschlagt, so daß auch in diesem Bereich weniger Neutronen durch
20 (γ , n)-Prozesse erzeugt werden. Ihre Auskleidung mit einem Material mit geringerem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse ergäbe daher keine so große Reduzierung der Neutronenproduktion, daß man dafür eine Verschlechterung der Röntgenstrahlenabsorption in
25 Kauf nehmen sollte.

Weitere Einzelheiten der Erfindung werden anhand des in der Figur gezeigten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

30

- Die Figur zeigt eine schematische Darstellung eines Elektronenbeschleunigers mit einem Target für die Erzeugung von Röntgenbremsstrahlung und mit einem erfindungsgemäßen Kollimator zur Ausblendung eines Rönt-
35 genstrahlenkegels.

In der Figur erkennt man das strahlenaustrittsseitige, in der Ebene der Symmetrieachse 1 des letzten Hohlraumresonators 2 aufgeschnittene Ende der Beschleunigungsröhre 3 eines Elektronenbeschleunigers. In der
5 Schnittebene erkennt man die zylindersymmetrische Form des letzten Hohlraumresonators 2 mit dem längs der Symmetrieachse beschleunigten Elektronenstrahl 4 und die Anordnung des die Beschleunigungsröhre aus- trittsseitig vakuumdicht abschließenden, für Elektro-
10 nen durchlässigen Fenster 5. In Strahlenrichtung hinter dem Fenster 5 ist eine Bleifolie als Target 6 angeordnet. Das Target 6 ist in einer Bohrung 7 einer Trägerplatte 8 gelagert. Unmittelbar hinter dem Target befindet sich noch in der Bohrung 7 der Träger-
15 platte 8 ein erster Elektronenabsorber 9. Er besteht aus einer etwas 20 mm starken Kupferscheibe. In Strahlenrichtung hinter diesem Elektronenabsorber ist ein Kollimator 10 für die Röntgenstrahlung angeordnet. Der Kollimator 10 ist mit einer kegelförmigen Aus-
20 blendöffnung 11 für den Durchtritt des maximalen Nutzstrahlenkegels 12 versehen. Der dem Target zugewandte vordere Abschnitt dieser kegelförmigen Ausblendöffnung 11 ist zur Aufnahme eines weiteren, aus Aluminium gefertigten Elektronenabsorbers 13 zylindrisch
25 aufgebohrt. Hinter diesem weiteren Elektronenabsorber 13 ist ein Ausgleichskörper 14 am Kollimator 10, in dessen kegelförmige Ausblendöffnung 11 hineinragend, befestigt.

30 Die dem Target 6 zugewandte Randzone der kegelförmigen Ausblendöffnung 11 des Kollimators 10 ist zylinderförmig ausgenommen. Das herausgenommene Volumenelement ist mit einem in seinen äußeren Abmessungen angepaßten ringförmigen Körper 15 aus einem Material
35 mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ, n) -Prozesse

ersetzt. Die Stärke dieses ringförmigen Körpers wird in Strahlenrichtung zweckmäßigerweise etwa so groß gewählt wie die Halbwertstiefe für Röntgenquanten in diesem Material. Die Ausdehnung dieses ringförmigen Körpers 15 quer zur Symmetrieachse 1 der kegelförmigen Ausblendöffnung 11 des Kollimators 10 erstreckt sich bis zu einem Abstand vom Target 6, der 1,5 mal so groß ist wie der Abstand des Targets 6 von dem ihm nächstliegenden Randabschnitt der Ausblendöffnung 11 10 des Kollimators 10 einschließlich des ringförmigen Körpers 15.

Bei der Inbetriebnahme des Elektronenbeschleunigers treffen die beschleunigten Elektronen, die das Fenster 15 5 der Beschleunigungsröhre 3 durchdrungen haben, auf das Target 6 auf und erzeugen dort Röntgenbremsstrahlung. Die so erzeugten Röntgenquanten erzeugen im Target 6 aufgrund von (γ , n)-Prozessen auch Neutronen. Dies läßt sich nicht vermeiden, weil jene Elemente 20 höherer Ordnungszahl, die einen guten Wirkungsgrad bei der Erzeugung von Röntgenquanten aufweisen, auch eine niedrige Energieschwelle und zugleich einen verhältnismäßig hohen Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse aufweisen. Dennoch ist die Zahl der insgesamt 25 im Target 6 erzeugten Neutronen wegen des verhältnismäßig kleinen Volumens des Targets, im vorliegenden Fall eine ca. 0,3 mm starke Bleifolie, vernachlässigbar gering. Die übrigen, im Nutzstrahlenkegel 12 befindlichen Elemente, wie Elektronenabsorber 9, 13 und 30 Ausgleichskörper 14, bestehen aus Kupfer, Eisen oder Aluminium und haben daher schon von Haus aus einen deutlich niedrigeren Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse. Sie tragen daher auch kaum zur Erzeugung von Neutronen bei.

Anders sieht es mit dem dem Röntgenstrahlenkegel begrenzenden Kollimator 10 aus. Er besteht wegen des geforderten hohen Absorptionskoeffizienten für Röntgenstrahlung aus einem Material hoher Ordnungszahl, vorzugsweise aus Wolfram, Tantal oder Blei. Auch ist sein durchstrahltes Volumen verhältnismäßig groß. Im allgemeinen werden 80 % aller bei solchen Anlagen erzeugten Neutronen in ihm erzeugt. Und zwar tragen dabei insbesondere die Bereiche des Kollimators zur Neutronenerzeugung bei, in denen die Röntgendosisleistung besonders hoch ist. Das sind insbesondere die dem Target 6 nächstliegenden Bereiche des Kollimators 10. Die Produktionsrate von Neutronen nimmt direkt proportional mit der Röntgenquantendichte im Material des Kollimators ab.

Wird das Material des Kollimators 10 bis in einer Tiefe, die der Halbwertstiefe für Röntgenstrahlen entspricht, durch ein Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse ersetzt, so wird die Neutronenproduktion bei minimalem Materialaustausch relativ stark reduziert. In diesem Fall ist in Strahlenrichtung hinter diesem ringförmigen Körper 15 die Dichte der Röntgenquanten so stark abgesunken, daß ein Ersatz auch dieses Bereiches durch ein Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse wenig sinnvoll erscheint. Denn eine zusätzliche geringfügige Verringerung der Neutronenproduktion würde durch eine stärker ins Gewicht fallende Verringerung der Abschirmung der Röntgenstrahlung erkauft werden. Anderes würde nur gelten, wenn infolge einer Vergrößerung der gesamten Wandstärke des Kollimators die Vergrößerung der Schichtdicke der aus Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse bestehenden Abschnitte nicht auf Kosten der Stärke der

aus einem Material mit hoher Ordnungszahl bestehenden Wandabschnitte erfolgen würde. In diesem Fall müßte die Wandstärke des Kollimators vergrößert werden. Aus dem gleichen Grunde ist auch die seitliche Ausdehnung
5 des ringförmigen Körpers quer zur Symmetrieachse der kegelförmigen Ausblendöffnung 11 des Kollimators 10 auf einen Abstand vom Target zu begrenzen, der etwa dem 1,5fachen des Abstandes des Targets vom nächst-
liegenden Randabschnitt der Ausblendöffnung des Kollim-
10 mators entspricht. Auch in diesem Fall würde eine weitere Vergrößerung des aus einem Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse bestehenden ringförmigen Körpers quer zur Symmetrieachse der Aus-
blendöffnung nur noch eine relativ geringe Herabset-
15 zung der Neutronenproduktion bewirken. Eine fertigungs-
technisch etwas aufwendigere, aber besonders rationelle Ausnutzung des Materials mit geringem Querschnitt für (γ , n)-Prozesse ergibt sich daher, wenn der
ringförmige Körper 15 zum Kollimator 10 hin die Form
20 einer Kugelkalotte 16 erhält.

Als Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse sind Kohlenstoff, Aluminium, Beryllium, Calcium, Eisen und allenfalls noch Kupfer zu
25 nennen. Während Kohlenstoff und Aluminium besonders geringere Wirkungsquerschnitte für (γ , n)-Prozesse aufweisen, ist dafür bei Eisen und Kupfer mit einer geringeren Reichweite der Röntgenquanten zu rechnen, die den Nachteil des etwas größeren Wirkungsquer-
schnittes für (γ , n)-Prozesse, bezogen auf die Ab-
30 messung der gewählten Abschirmung, wieder etwas kompensieren.

Patentansprüche

1. Elektronenbeschleuniger mit einem dem aus der Beschleunigungsröhre austretenden Elektronenstrahl ausgesetzten Target, mit einem dem Target in Strahlrichtung nachgeschalteten Elektronenabsorber, mit einem Kollimator zur Ausblendung eines Röntgenstrahlenkegels und mit einem zur Ausblendöffnung des Kollimators zentrierten Ausgleichskörper, d a d u r c h
5 g e k e n n z e i c h n e t , daß die dem Target (6) zugewandte Randzone (15) des Kollimators (10) zur Reduzierung der Neutronenerzeugung aus einem Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse gefertigt ist.
- 15 2. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die aus Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse gefertigte Randzone (15) radial zum
20 Target (6) eine Ausdehnung aufweist, die etwa der Halbwertstiefe der Röntgenstrahlung in diesem Material entspricht.
3. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, d a -
25 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die aus Material mit geringem Wirkungsquerschnitt für (γ , n)-Prozesse gefertigte Randzone (15) sich quer zur Richtung der Symmetrieachse der Ausblendöffnung bis in einem Abstand vom Target (6) erstreckt, der
30 etwa das 1,5fache des Abstandes zwischen dem Target und dem dem Target nächstliegenden Rand der Ausblendöffnung (6) des Kollimators (10) beträgt.

4. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, da -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die
Randzone (15) die Form eines Ringes mit rechteckigem
Querschnitt hat.

5

5. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 1, da -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die
Randzonge (15) die Form einer Kugelkalotte (16) mit
zentraler Bohrung hat.

10

6. Elektronenbeschleuniger nach Anspruch 5, da -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß sich
der Kugelmittelpunkt mit dem Target deckt.

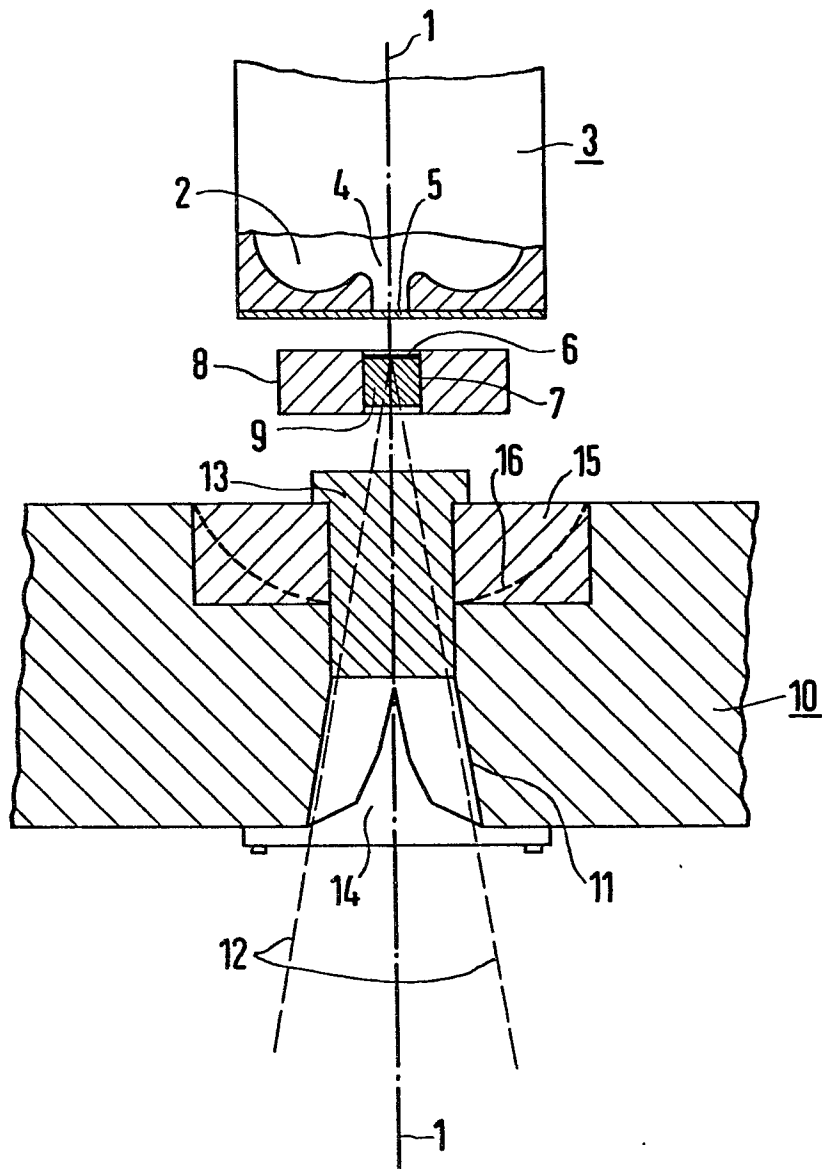
15

20

25

30

35





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0021442
Nummer der Anmeldung
EP 80 10 3662

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. ³)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch	
X	FR - A - 2 406 889 (SIEMENS AKTIEN-GESELLSCHAFT) * Seite 1, Zeilen 1-5; Seite 3, Zeilen 17-23; Seite 4, Zeile 36 - Seite 5, Zeile 10; Figuren 1-5 * -----	1	G 21 K 1/02
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. ³)
			H 01 J 35/00 33/00 G 21 K 1/02 1/10
			KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE
			X: von besonderer Bedeutung A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: kollidierende Anmeldung D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus andern Gründen angeführtes Dokument &: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument
☒ Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
Den Haag	15-10-1980	VILLEMIN	