



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **243 838 A3**

4(51) G 01 T 1/29

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP G 01 T / 263 379 7	(22)	25.05.84	(45)	18.03.87
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71) Friedrich-Schiller-Universität Jena, 6900 Jena, August-Bebel-Straße 4, DD

(72) Geske, Gerhard, Dr. rer. nat. habil., DD

(54) **Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung bis etwa 50 MeV. Ziel der Erfindung ist die Schaffung einer Anordnung, mit welcher auf einfache, sichere, ausreichend genaue und zeitlich kontinuierliche Weise mit geringem technischem und zeitlichem Aufwand diese Messung möglich ist. Erreicht wird dies unter Ausnutzung bekannter Energie-Reichweitebeziehungen bei der Absorption von Elektronenstrahlung in Materie durch Verwendung eines Absorbers mit in ihm in Richtung der Elektronenstrahlung eingebetteten Strahlungsdetektoren, welche erfindungsgemäß in zwei hintereinanderliegende Gruppen im Einwirkungsbereich der Elektronenstrahlung zusammengeschaltet werden. Der Quotient aus den Signalen dieser beiden Gruppen ist ein Maß für die wahrscheinlichste Energie der Elektronenstrahlung vor Eintritt in diese Anordnung.

Erfindungsanspruch:

1. Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung mit einem beliebigen, aber definierten Energiespektrum, die aus einem Absorber besteht, der in Einstrahlrichtung der Elektronen aus mehreren elektrisch isolierten Absorberabschnitten aufgebaut ist oder in dem Strahlungsdetektoren eingefügt sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Einwirkungsbereich der Elektronen mindestens zwei Abschnitte aus mehreren hintereinanderliegenden signalmäßig parallel geschalteten Strahlungsdetektoren gebildet sind.
2. Anordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der erste Abschnitt im Einwirkungsbereich der Elektronen im Absorber für den niedrigsten Wert der zu messenden wahrscheinlichsten Energie der Elektronenstrahlung liegt.
3. Anordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der zweite oder weitere Abschnitte in dem Bereich des Absorbers liegen, der von Elektronen mit der niedrigsten zu messenden wahrscheinlichsten Energie nicht mehr erreicht, aber von Elektronen mit der höchstens zu messenden wahrscheinlichsten Energie voll beeinflußt wird.
4. Anordnung nach Punkt 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Signal des ersten Abschnittes gemäß Punkt 2 das Referenzsignal und das Signal des zweiten oder weiterer Abschnitte gemäß Punkt 3 das Meßsignal bilden.
5. Anordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß weitere Abschnitte in dem Teil des Absorbers liegen, in dem nur Bremsstrahlung wirksam ist.
6. Anordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strahlungsdetektoren vorzugsweise Ionisationskammern sind.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung. Sie findet Anwendung für Elektronenbeschleuniger, die in der Medizin für die Strahlentherapie eingesetzt werden. Sie kann verwendet werden für industriell genutzte Elektronenbeschleuniger (z. B. eingesetzt für Kunststoffpolymerisation) sowie für Elektronenbeschleuniger in der Forschung, soweit deren Energie einen Wert von etwa 50 MeV nicht überschreitet und das Auflösungsvermögen der Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung ausreichend ist.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Das Prinzip der Bestimmung der wahrscheinlichsten Energie $F_{p,0}$ (Definition z. B. in „Procedures in External Radiation Therapy Dosimetry with Electron and Photon Beams with Maximum Energies between 1 and 50 MeV“ der Nordic Association of Clinical Physicists (NACP), Acta Radiologica Oncol. Radiat. Phys. Biol. Stockholm 1979 [Preprint]) aus der praktischen Reichweite R_p von Elektronen in einem als Absorber dienenden Medium niedriger Ordnungszahl (z. B. Wasser oder Aluminium) ist seit langem bekannt. R_p ist die Entfernung zwischen dem Eintrittspunkt der Achse der Elektronenstrahlung in das Medium und dem Schnittpunkt der Wendepunkt tangente der Tiefendosis Kurve der Elektronen in dem Medium mit der rückwärtigen Extrapolation des Bremsstrahlungsausläufers der Tiefendosis Kurve (Siehe z. B. Harder, D.; Korpuskularstrahlen; in „Dosimetrie und Strahlenschutz“, herausgegeben von Jaeger, R. G. und W. Hübner, G. Thieme Verlag Stuttgart 1974, Seite 108). Aus R_p kann $E_{p,0}$ nach bekannten Energie-Reichweite-Beziehungen für das betreffende Medium berechnet werden.

Dieses Prinzip wird angewendet durch Messung der Ionendosis bei Verwendung von unterschiedlich dicken Absorberschichten aus Plexiglas und Variation der Elektronenenergie (Pohlitz, W.; Dosimetrie und Betatrontherapie; G. Thieme Verlag Stuttgart 1965, Seite 20–24). Nachteilig ist die 10 Minuten erfordernde lange Meßdauer pro Energiewert.

Weiterhin ist ein bekanntes Verfahren, Tiefendosis Kurven von Elektronenstrahlung in Wasser zu messen und daraus wie beschrieben die wahrscheinlichste Energie der betreffenden Elektronenstrahlung zu ermitteln (ICRU Report 21 „Radiation Dosimetry: Electrons with Initial Energies Between 1 and 50 MeV“; Washington 1972, Seite 5). Dieses Verfahren ist sehr zeitaufwendig und gestattet nur die Kontrolle oder Kalibrierung von Geräten und Einrichtungen zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung.

Ebenfalls bekannt ist die Verwendung von zwei Ionisationskammern, die in Strahlrichtung hintereinander in einem Absorber liegen (Naylor, G. P.; P. C. Williams; Dose distribution and stability of radiotherapy electron beams from a linear accelerator; Brit. R. Radiology **45** [1972] 603). Das Verhältnis der Meßsignale beider Kammern ist bei einer der wahrscheinlichsten Energie der Elektronenstrahlung angepaßten Lage der hinteren Kammer im Absorber ein Maß für die wahrscheinlichste Energie der Elektronenstrahlung. Nachteilig ist der geringe Energiemeßbereich der Anordnung bei vorgegebener Lage der beiden Kammern im Absorber. Bei Energiewechsel muß die Anordnung verändert werden.

Ein ähnliches Verfahren (Saunders, J. E.; The Application of the Logarithmic Response of Silicon Diodes to Monitoring Beam Symmetry and Electron Energy; Phys. Med. Biol. **19** [1974] 371) verwendet Silizium Dioden als Strahlungsdetektoren mit dem zusätzlichen Nachteil einer Empfindlichkeitsänderung der Dioden durch die Einwirkung von Elektronenstrahlung (Dixon, R. L., K. E. Exstrand; Silicon Diode Dosimetry; Int. J. Appl. Radiat. Isot. **33** [1982] 1171).

Ein weiteres bekanntes Verfahren benutzt eine in Richtung der Elektronenstrahlung lineare Anordnung von Silizium-Dioden in einem Perspex-Absorber (Procter, N. M.; A device for checking electron energies; Phys. Med. Biol. 28 [1983] 739). Dioden innerhalb der praktischen Reichweite von Elektronenstrahlung im Absorber liefern ein Signal, das mit Leuchtdioden angezeigt wird. Jede als Strahlungsdetektor benutzte Siliziumdiode besitzt als Indikator eine Leuchtdiode mit entsprechendem Verstärker mit Halteschaltung. Nachteilig ist der sehr hohe Aufwand an Detektoren mit ihren zugehörigen Verstärkern, wenn ein großes Energieauflösungsvermögen erreicht werden soll.

Nach DE-OS 3106428 A 1 ist ein lageempfindlicher Strahlungsdetektor bekannt, der eine Vorrichtung zum Erfassen der Lage mittels empfangener Strahlung darstellt, bei der eine Vielfalt diskreter Fühler in einer Erfassungsebene beabstandet und in mindestens zwei Gruppen angeschlossen sind, wobei die Dichte der Fühler in jeder Gruppe verläuft, wobei jede Gruppe eine unterschiedliche Änderung besitzt und mindestens ein Fühler in jeder Gruppe von der empfangenen Strahlung beeinflusst ist. Das Verhältnis der Summe des Einflusses auf alle Gruppen ergibt ein Maß für die Lage der empfangenen Strahlung. Diese Anordnung ist zur Bestimmung der räumlichen Lage eines außerhalb der Anordnung liegenden Raumelementes durch von diesem Raumelement ausgehende und auf die Anordnung einwirkende Strahlung gedacht. Sie kann prinzipiell auch zur Messung der praktischen Reichweite R_p von Elektronenstrahlung und daraus zur Bestimmung der wahrscheinlichsten Energie dieser Strahlung benutzt werden. Der Nachteil dieser technischen Lösung bei Verwendung für diesen Zweck besteht darin, daß die Dichten der Fühler sich ändern müssen und sich alle Gruppen längs im wesentlichen der Erfassungsrichtung erstrecken müssen und daß mindestens ein Fühler jeder Gruppe von der Strahlung beeinflusst ist. Dadurch müssen die Gruppen ineinander verschachtelt werden und eine vorgegebene Fühlerdichtestruktur haben, was zu einer sehr aufwendigen Herstellungstechnologie führt. Weiterhin ist die Verwendung von Mehrleiter-Proportionalkammern MWPC als Fühler mit ihrer zugehörigen Signalverarbeitungselektronik sehr aufwendig. Ferner ist nach DE-OS 3138731 A 1 eine Überwachungsanordnung für die Beschleunigerenergie eines Elektronenbeschleunigers bekannt, wobei der Absorber hinter dem Target in elektrisch voneinander isolierte Abschnitte unterteilt und diese Abschnitte ein jeder für sich an je einen Eingang eines Meßverarbeitungssystem angeschlossen ist. Nachteilig ist hierbei der hohe apparative Meßaufwand und ein ungünstiges Signal-Rausch-Verhältnis.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, die Nachteile der bekannten technischen Lösungen zu vermeiden und die wahrscheinlichste Energie gerichteter Elektronenstrahlung auf einfache, sichere, ausreichend genaue und zeitlich kontinuierliche Weise mit sehr geringem technischen und zeitlichen Aufwand zu messen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie $E_{p,0}$ von gerichteter Elektronenstrahlung, insbesondere mit einem definierten Energiespektrum im Energiebereich bis etwa 50 MeV zu entwickeln. Die Anordnung soll folgende wesentliche Eigenschaften haben:

- Einbau in den Strahlerkopf eines Elektronenbeschleunigers oder Verwendung als autonomes Meßgerät möglich.
 - Erfassung eines großen Intervalls der wahrscheinlichsten Energie (z. B. 5–25 MeV) von gerichteter Elektronenstrahlung ohne Umschaltmaßnahmen an der Anordnung oder der nachfolgenden Einrichtung zur Signalverarbeitung möglich.
 - Kontinuierliche Messung der wahrscheinlichsten Energie einer gerichteten Elektronenstrahlung und damit Erfassung ihrer zeitlichen Änderungen möglich.
 - Geringer zeitlicher Aufwand bei Einsatz der Anordnung als autonomes Gerät z. B. zur Messung der wahrscheinlichsten Energien des gerichteten Elektronenstrahles eines Elektronenbeschleunigers bei Überprüfung von dessen Energieskala.
 - Linearer Zusammenhang zwischen Ausgangssignal der Anordnung und der wahrscheinlichsten Energie der auf sie einwirkenden gerichteten Elektronenstrahlung im Rahmen der Genauigkeitsgrenzen der Anordnung von besser als $\pm 0,4$ MeV durch entsprechende konstruktive Gestaltung.
 - Unempfindlichkeit der Anordnung gegenüber dem elektromagnetischen Störpegel eines Beschleunigers und gegenüber wesentlichen Parametern der Umgebung der Anordnung wie Luftdruck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit.
 - Geringer Aufwand an Material und Bauelementen sowie geringe Anforderungen an die Fertigungstechnologie zur Herstellung der Anordnung.
 - Hohe Lebensdauer im Hinblick auf die absorbierte Dosis durch die auf die Anordnung einwirkende Elektronenstrahlung.
- Die Lösung der Aufgabe gelingt unter Ausnutzung der Energie-Reichweite-Beziehung für Elektronenstrahlung in einem materiellen Medium mit einer Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung mit einem beliebigen aber definierten Energiespektrum, wobei ein Absorber verwendet wird, in welchem in Richtung der Strahlung in ihrem gesamten Einwirkungsbereich, festgelegt durch den größten Wert der zu messenden wahrscheinlichsten Energie der Elektronenstrahlung und damit der größten dazu auftretenden praktischen Reichweite R_p , und darüber hinaus Strahlungsdetektoren eingefügt sind, die erfindungsgemäß zu mindestens zwei hintereinanderliegende Gruppen von Strahlungsdetektoren zusammengefaßt werden, wobei die Zusammenfassung in einer signalmäßigen Parallelschaltung der zu einer Gruppe gehörigen Strahlungsdetektoren besteht und eine Gruppe im gesamten Einwirkungsbereich der Elektronenstrahlung mit der niedrigsten zu messenden wahrscheinlichsten Energie im Absorber verteilt ist und eine weitere im in Strahlrichtung anschließenden Einwirkungsbereich der Elektronenstrahlung, dessen Grenze durch die praktische Reichweite R_p bei der zu messenden maximalen wahrscheinlichsten Energie von Elektronenstrahlung bestimmt wird. Der Quotient Q aus dem Signal M (Meßsignal) dieser Gruppe zum Signal R (Referenzsignal) der erstgenannten Gruppe ist ein Maß für die wahrscheinlichste Energie $E_{p,0}$ der einwirkenden gerichteten Elektronenstrahlung in der Ebene seines Eintritts in die Anordnung. Das für die Anordnung verwendete Absorbermaterial sollte aus Atomsorten mit möglichst niedriger Ordnungszahl in Form eines reinen Stoffes, Mischungen aus reinen Stoffen, einer chemischen Verbindung, Mischungen aus chemischen Verbindungen oder Mischungen aus reinen Stoffen und chemischen Verbindungen bestehen, um eine hohe Bremsstrahlungserzeugung durch die

Die Strahlungsdetektoren, die vorteilhafterweise in Ionisationskammern bestehen, sollen einen möglichst linearen Zusammenhang zwischen Signalamplitude und Ionendosisleistung im empfindlichen Detektorvolumen für den gesamten Intensitätsbereich der zu messenden Elektronenstrahlung aufweisen. Dabei ist besonders die Verwendung flacher Ionisationskammern zu empfehlen, welche z. B. aus elektrisch leitfähigen Elementen des Absorbers aufgebaut werden können. Vorzugsweise wird Luft als Kammerngas eingesetzt, wobei die Kammervolumina sämtlicher Strahlungsdetektoren in geeigneter Weise miteinander verbunden sind.

Das Signal einer weiteren Gruppe oder Gruppen von Strahlungsdetektoren, welche außerhalb des Einwirkungsbereiches der Elektronenstrahlung im Absorber in Strahlrichtung und demzufolge im Einwirkungsbereich von Bremsstrahlung liegen, die zum Teil bereits vor Eintritt des Elektronenstrahls in die Anordnung in ihm enthalten ist und zum Teil in der Anordnung erst entsteht, kann dazu verwendet werden, ein weiteres oder weitere Signale zu gewinnen, mit dem oder denen das Meßsignal M und das Referenzsignal R hinsichtlich der in ihnen enthaltenen unerwünschten Signalanteile durch Bremsstrahlung vor der Quotientenbildung korrigiert werden können.

Die Anordnung hat folgende vorteilhafte Eigenschaften und Wirkungen:

- Bei Verwendung von Strahlungsdetektoren mit elektrischen Strömen als Signalen können handelsübliche Strahlungsdosimeter, wie sie bei jedem Elektronenbeschleuniger als Meßzubehör vorhanden sind, zur Signalverarbeitung verwendet werden. Bei Zweikanalausführung des Dosimeters mit der Möglichkeit einer Quotientenbildung (analog oder digital) ist die Signalverarbeitung besonders einfach.
- Eine kontinuierliche Registrierung und damit Überwachung der wahrscheinlichsten Energie eines Elektronenstrahls bei seiner Nutzung ist möglich. Damit kann auch das beschleunigerinterne Energieregelsystem oder eine Warn- bzw. Abschaltautomatik beim Überschreiten von Toleranzgrenzen der wahrscheinlichsten Energie der Elektronenstrahlung kontrolliert werden.
- Die erstmalige wie auch wiederholte Kalibrierungen der Anordnung können mit Hilfe eines Wasserphantoms durch den Elektronenstrahl des betreffenden Elektronenbeschleunigers vorgenommen werden. Teure und zeitaufwendige Kalibrierungen in einem Standardlaboratorium entfallen dadurch.
- Der Zeitaufwand für periodische Kontrollen beschleunigerinterner Energieeinstell- und Energieregelsysteme durch die Anordnung ist minimal. Dadurch wird teure Elektronenbeschleunigerzeit eingespart.
- Es erfolgt eine Steigerung der Patientensicherheit bezüglich des physikalischen Ergebnisses von Bestrahlungen bei medizinisch genutzten Elektronenbeschleunigern bei Einsatz der Anordnung zur kontinuierlichen oder periodischen Kontrolle des internen Systems zur Einstellung, Stabilisierung und Messung der wahrscheinlichsten Energie der Elektronenstrahlung.

Die Verwendung dieser Anordnung bei industriell genutzten Elektrobeschleunigern kann von Vorteil für die Qualität und/oder die Quantität des Bestrahlungsgutes und/oder für die Effektivität der Bestrahlungsanlage sein, wenn diese Größen von der Einhaltung einer definierten wahrscheinlichsten Energie der Elektronenstrahlung abhängen, vor allem dann, wenn in Abhängigkeit vom Produktionsprozeß diese Energie häufig geändert werden muß.

Ausführungsbeispiel

Das Wesen der Erfindung soll anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1: Prinzipschema der erfindungsgemäßen Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung

Fig. 2: Querschnitt durch eine Anordnung nach Fig. 1 mit Ionisationskammern als Strahlungsdetektoren

Fig. 3: Querschnitt durch eine Anordnung nach Fig. 2, eingebaut in den Strahlerkopf eines Elektronenbeschleunigers.

Das in Fig. 1 dargestellte Prinzipschema der erfindungsgemäßen Anordnung weist in einem Absorber 1 in Strahlrichtung x hintereinanderliegende Strahlungsdetektoren 2 auf, die in drei Gruppen 3, 4 und 5 durch signalmäßige Parallelschaltung zusammengefaßt sind. Die Gruppe 3 der Strahlungsdetektoren 2 liegt in dem Einwirkungsbereich der Elektronenstrahlung im Absorber 1, der durch den niedrigen Wert der zu messenden wahrscheinlichsten Energie bestimmt wird. Das Signal dieser Gruppe 3 bildet das Referenzsignal R. Die Gruppe 4 der Strahlungsdetektoren 2 befindet sich in dem Bereich des Absorbers 1, der von Elektronen mit der niedrigsten zu messenden wahrscheinlichsten Energie nicht mehr beeinflußt wird, aber in dem Elektronen mit der höchsten zu erfassenden wahrscheinlichsten Energie voll wirksam sind. Das Signal dieser Gruppe 4 führt zu dem Meßsignal M. Die Strahlungsdetektoren der dritten Gruppe 5 liegen in dem Teil des Absorbers 1, in welchem nur Bremsstrahlung wirksam ist, welche in der Elektronenstrahlung bereits vor Eintritt in die Anordnung enthalten ist und/oder im Absorbermaterial durch die Elektronenstrahlung erzeugt wird. Das Signal dieser Gruppe 5 kann zur Korrektur von Meßsignal M und Referenzsignal R verwendet werden, um die in den Strahlungsdetektoren 2 der Gruppen 3 und 4 durch Bremsstrahlung erzeugten unerwünschten Signalanteile einzuschränken.

Als Strahlungsdetektoren 2 eignen sich Ionisationskammern in flacher Ausführung, welche aus Elementen des Absorbers 1 gebildet werden. Der Absorber 1 ist aus Aluminium hergestellt. Fig. 2 zeigt den Querschnitt dieser Anordnung. Die Meßelektroden 8 wie auch die Polarisierungsspannungselektroden 9 für die als Strahlungsdetektoren 2 dienenden flachen Ionisationskammern sind aus relativ dickem (2 bzw. 5 mm) Aluminiumelementen des Absorbers 1 hergestellt und ineinander verschachtelt. Dieser Elektrodenanordnung ist untereinander und gegen einen sie umgebenden geerdeten Abschirmmantel 7 aus 1 mm dickem Aluminium durch Isoliermaterial 6 elektrisch getrennt. Fig. 3 zeigt den Einbau der erfindungsgemäßen Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung in einem Basiskörper 10 für Elektronentubes 13, wie er an den Strahlerkopf eines Elektronenbeschleunigers bei Elektronenstrahlbetrieb montiert wird. Die erfindungsgemäße Anordnung bildet einen Rahmen, der den größtmöglichen Querschnitt 11 (quadratisch, bedingt durch die Struktur der verstellbaren Schwermetallblenden für Bremsstrahlungsbetrieb mit denen in den meisten Fällen auch eine Vorausbildung des Elektronenstrahls bei Elektronenstrahlbetrieb erfolgt) des Nutzstrahls umfaßt und von den Elektronen des daran anschließenden Randstrahlbereiches 12 beeinflußt wird.

Die Anordnung besteht aus vier identischen erfindungsgemäßen Anordnungen zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung 14 gemäß Fig. 1 mit einem Querschnitt gemäß Fig. 2 bei einer Länge von 120 mm des aktiven Volumens als Strahlungsdetektoren 2 wirkenden Ionisationskammern. Die Gruppen 3 bzw. 4 der vier Anordnungen 14 werden signalmäßig parallel geschaltet.

Eine Abschätzung ergibt folgende Werte für die zu erwartenden Signalströme bei einer Dosisleistung der Elektronenstrahlung von 1 Gy/min im Maximum ihrer Tiefendosiskurve von Aluminium oder Wasser, bei einer rahmenförmigen Anordnung wie beschrieben:

Wahrscheinlichste Energie $E_{p,0}$ in MeV	Referenzsignal R in nA	Meßsignal M in nA
10	} 50	0
15		12
20		36
25		47

Diese Ströme lassen sich mit den derzeit zur Verfügung stehenden Meßgeräten (Dosimeter) bzw. Bauelementen (Operationsverstärker, FET-Eingang) sicher verarbeiten.

Wenn eine Querabmessung der erfindungsgemäßen Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung nach Fig. 1 klein ist gegenüber der Abmessung in Strahlrichtung x für die Bereiche der Gruppen 3 und 4 der Strahlungsdetektoren 2 im Absorber 1, dann ist in sehr guter Näherung der Zusammenhang zwischen der wahrscheinlichsten Energie $E_{p,0}$ der in die Anordnung eintretenden gerichteten Elektronenstrahlung und dem relativen Signal $Q = M/R$ linear:

$$E_{p,0} = mQ + n$$

Dies wurde experimentell ermittelt und folgt auch aus Modellrechnungen unter Verwendung von Tiefendosiskurven von Elektronenstrahlung, wie sie auftreten, wenn der Strahldurchmesser kleiner ist als die Reichweite der Elektronen in dem betreffenden Medium. Diese Eigenschaft ist wesentlich für Kalibrierungen der erfindungsgemäßen Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie gerichteter Elektronenstrahlung, weil dann dafür nur wenige Meßpunkte, d.h. Energiewerte genügen.

Im allgemeinen Fall ist die Charakteristik $E_{p,0} = f(Q)$ der erfindungsgemäßen Anordnung zur Messung der wahrscheinlichsten Energie $E_{p,0}$ gerichteter Elektronenstrahlung schwach nichtlinear, und die Steilheit dQ/dE der Charakteristik wächst mit der Energie.

Die Anordnung gemäß Fig. 2 ist unabhängig von Druck und Temperatur der sie umgebenden Luft, weil beide Gruppen 3 und 4 der Ionisationskammern mit ihren Kammervolumina druckmäßig verbunden sind und Aluminium als Material für die Anordnung wegen seiner sehr guten Wärmeleitfähigkeit keinen Temperaturgradienten der Kammerwände unter normalen Bedingungen entstehen läßt. Bei Änderungen von Druck und/oder Temperatur der Umgebung der Anordnung werden Referenzsignal R und Meßsignal M um den gleichen Faktor geändert, so daß sich dieser bei der Bildung des Quotienten Q heraushebt.

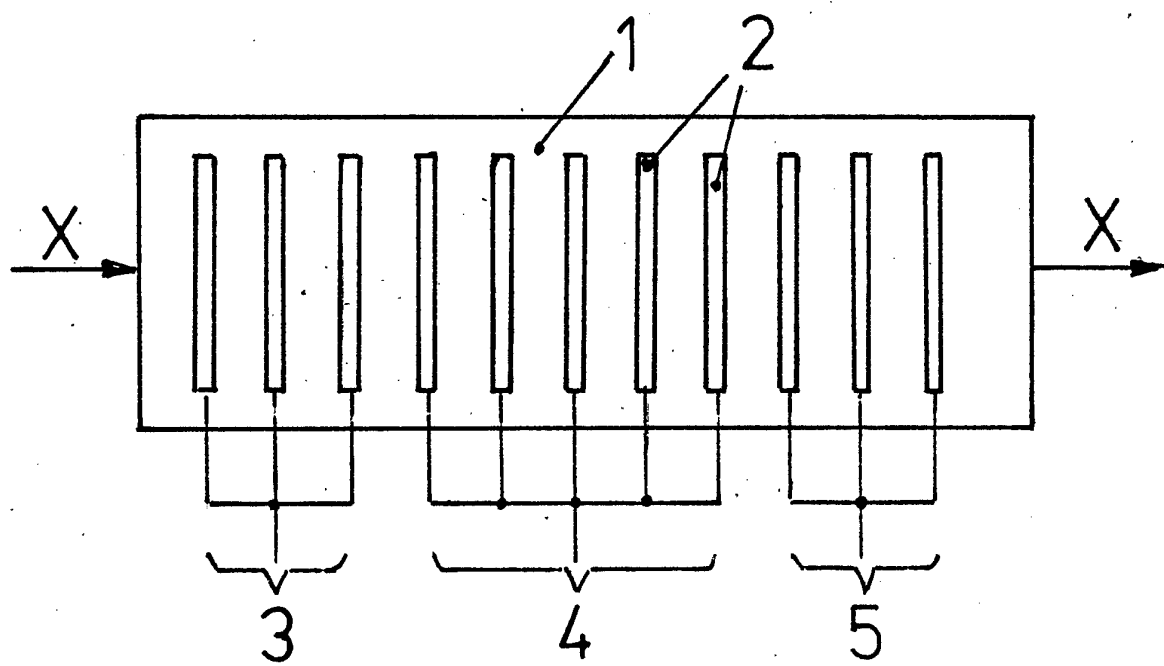


Fig. 1



Fig. 2

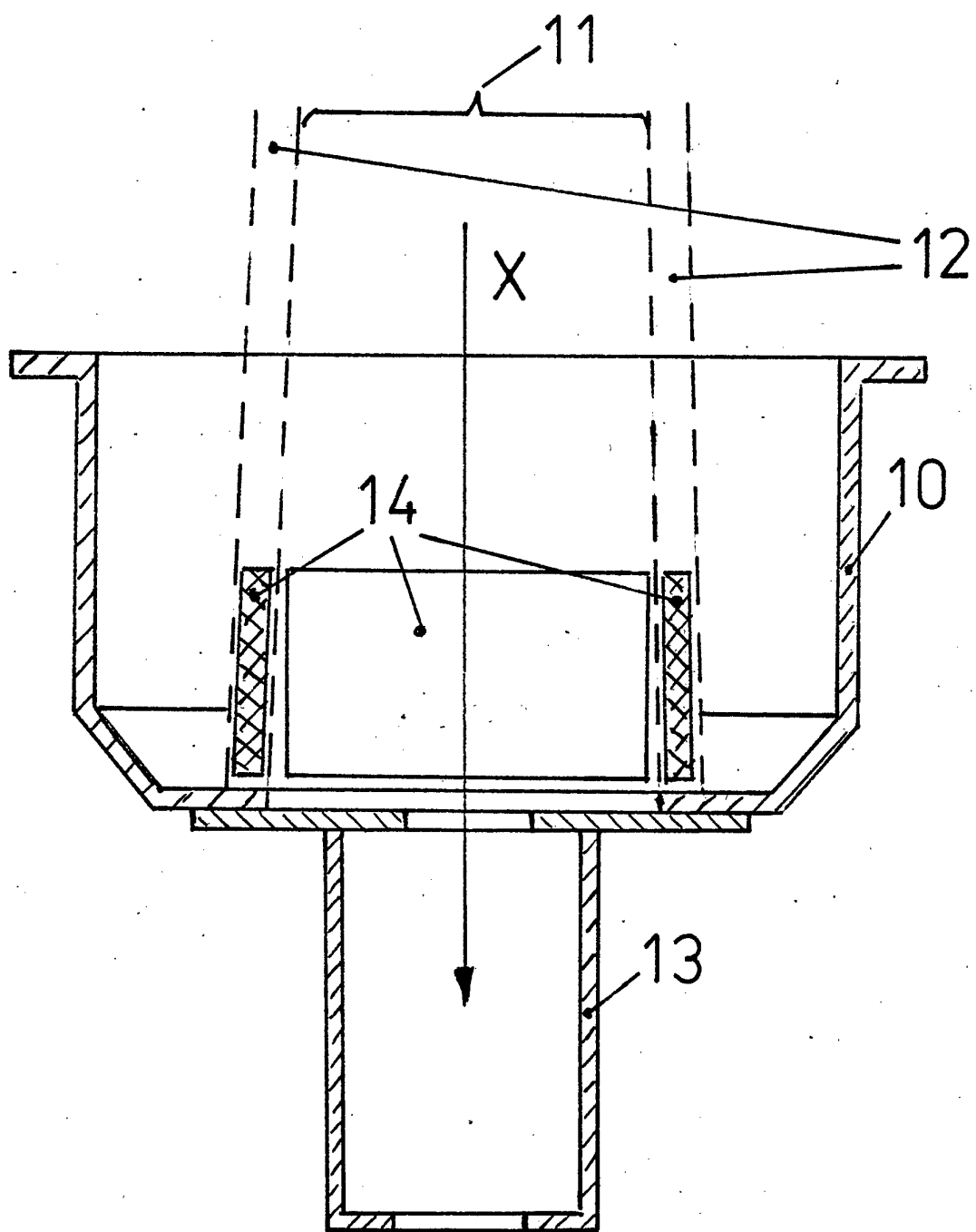


Fig. 3