

KFK-81

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

November 1961

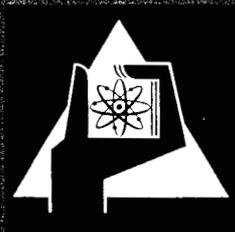
KFK 81

Strahlenmeßabteilung

Zur Messung von Quantenstrahlung im Energiebereich
von 3 bis 30 keV mit großflächigen Proportionalzählrohren.

H. Fessler, H. Kiefer und R. Maushart

KERNREAKTOR
Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.
Verwaltung der Zentralbibliothek



KERNREAKTOR

BAU- UND BETRIEBS-GESSELLSCHAFT M. B. H.

VERWALTUNG DER ZENTRALBIBLIOTHEK

Internationale Monatsschrift für angewandte Atomenergie in Industrie, Landwirtschaft, Naturwissenschaften und Medizin unter besonderer Berücksichtigung der Medizinischen Strahlenbiologie sowie des Strahlenschutzes

Schriftleiter: Professor Dr. rer. nat. Dr. med. E. H. Graul, Marburg/L., Ockerhäuser Allee 4 • Verlag G. Braun, Karlsruhe, Karl-Friedrich-Str. 14—18

Zur Messung von Quantenstrahlung im Energiebereich von 3 bis 30 keV mit großflächigen Proportionalzählrohren

Von H. Fessler, H. Kiefer und R. Maushart

Aus der Strahlenmeßabteilung des Kernforschungszentrums Karlsruhe

Einführung

Proportionalzähler sind aus verschiedenen Gründen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, zur Spektroskopie niederenergetischer Quantenstrahlung besonders geeignet [1, 2, 3, 4]. Allerdings blieb die Anwendung bisher im wesentlichen auf rein wissenschaftliche Probleme beschränkt. Dabei hat man es in gewissem Maße in der Hand, starke und nahezu punktförmige Strahlungsquellen zu benutzen, so daß die herkömmliche Ausführung des Proportionalzählrohrs mit zentralem Anodendraht und kleinem Eintrittsfenster zur Messung genügt. Dagegen war die Ausnutzung dieser Spektroskopiemethoden für bestimmte Probleme des Strahlenschutzes bisher dadurch erschwert, daß man es hier meist mit geringen Aktivitäten zu tun hat, die dazu noch in wechselnden Mengen inaktiver Substanz verteilt sind. Typische Beispiele sind die Messung und Identifizierung von K-Strahlern — etwa ^{55}Fe , das bei Abriebmessungen von bewegten Maschinenteilen häufig in Erscheinung tritt —, die Erfassung von Plutonium in Wasser, Luft und vor allem im lebenden Menschen oder der Nachweis von geringen Mengen Plutonium in Uran. Es sollte deshalb untersucht werden, inwieweit großflächige Proportionalzählrohre, wie sie in der letzten Zeit speziell für Strahlenschutz Zwecke entwickelt worden sind [5, 6, 7], auch auf die Probleme der Messung weicher Quantenstrahlung anwendbar sind.

Versuche mit einem Dreistufen-Proportionalzählrohr

An erster Stelle bei der Anwendung von Proportionalzählern zur Spektroskopie weicher Quantenstrahlung steht die Frage nach der Absorption im Zählgas. Großflächige Proportionalzähler werden im allgemeinen mit Methan im Durchfluß betrieben. Methan ist aber für Spektroskopiezwecke schlecht geeignet, da seine Dichte

zu gering ist. Man benötigt für eine ausreichende Absorption Zählgase größeren Atomgewichts, von denen Argon, Krypton oder Xenon — mit geringen Beimischungen zur Unterdrückung von Nachentladungen — gebräuchlich sind. Da im Handel nur ein Gemisch von 90% Argon und 10% Methan zu einem vertretbaren Preis erhältlich ist, beziehen sich die folgenden Untersuchungen auf dieses Zählgas. Krypton und Xenon sind so teuer, daß sie nur in geschlossenen Systemen mit Umlauffreinigung verwendet werden können. Dieser Aufwand wäre für Routineaufgaben des Strahlenschutzes nicht vertretbar. Dazu kommt bei Krypton noch erschwerend hinzu, daß es mehr und mehr mit dem Isotop Krypton-85 aus Kernbombentests vermischt auftritt [8, 16], so daß die Eigenradioaktivität des Gases seine Verwendung als Zählgas in Niederniveaüzählern ausschließt. Die Möglichkeit, zur Verbesserung der Absorptionseigenschaften den Druck im Zähler zu erhöhen, braucht nicht diskutiert zu werden, da man dazu anstatt der großen Fenster von wenigen mg/cm^2 Flächengewicht, auf die es hier gerade ankommt, stärkere Metallfenster verwenden müßte, die dem Druck gewachsen sind, aber dadurch wieder hohe Eigenabsorption haben. Die zu messende Probe völlig in eine Druckkammer einzubringen, ist nicht nur umständlich, sondern bleibt auch in vielen Fällen — etwa bei Messungen am lebenden Menschen — undurchführbar.

Die Absorption weicher Quantenstrahlung in Argon läßt sich einer Abbildung in der Arbeit von West [9] ent-

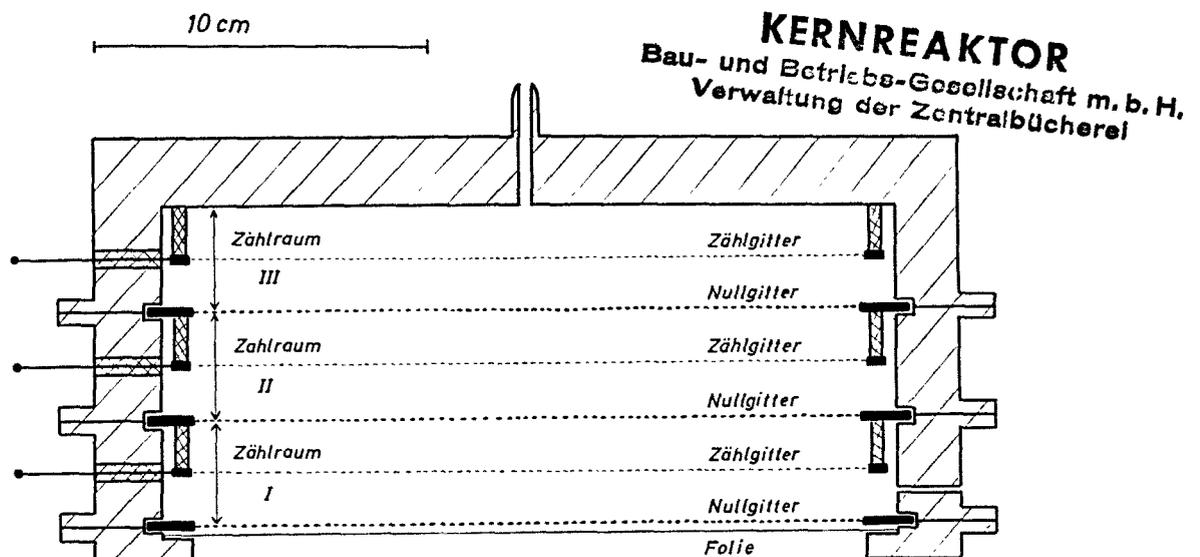


Abb. 1. Schematischer Aufbau des Dreistufen-Proportionalzählrohrs. Die drei Zählräume haben die Form flacher Zylinder und sind nur elektrisch durch geerdete Gitter voneinander getrennt. Jeder Zählraum ist 30 mm hoch und hat 200 mm \varnothing . Die für die beschriebenen Versuche verwendete Ausführung des Zählers besteht im wesentlichen aus Rotguß (RG 5, 85% Kupfer, 5% Zinn, 7% Zink, 3% Phosphor), alle Isolatoren sind Teflon. Die Fensterfolie aus Kunststoff ist gerade so dick ($10 \text{ mg}/\text{cm}^2$), daß keine α -Strahlung in den Zählraum I eintreten kann. Die Zählgitter bestehen aus Molybdändrähten von $50 \mu\text{m}$ \varnothing in 10 mm Abstand von-

einander, die Nullgitter aus Konstantandrähten von $200 \mu\text{m}$ \varnothing im gleichen Abstand. Das Nullgitter deckt demnach nur 2% der Eintrittsfläche ab. Da es sich um einen geschlossenen Zähler handelt, sind im Inneren keine besonderen Führungen für das Zählgas vorgesehen. Bei sehr genauen Messungen müssen die Änderungen der Gasdichte im Zähler infolge der barometrischen Luftdruckschwankungen berücksichtigt werden. Ebenso ist beim Anschluß einer neuen Flasche des Argon-Methan-Gemisches im allgemeinen eine Änderung der Gemischzusammensetzung zu erwarten, so daß jedesmal die Eichung kontrolliert werden muß.

nehmen, wo für verschiedene Zählgase theoretisch berechnete Absorptionskurven in Abhängigkeit von der Energie dargestellt sind. Abweichungen einiger unserer Meßwerte von Abschätzungen, die auf Grund dieser Kurven durchgeführt wurden, waren Anlaß, die Absorptionswerte in Argon experimentell zu überprüfen, zumal uns auch zu dieser Frage keine anderen Untersuchungen bekannt waren. Dazu wurde ein Dreistufen-Proportionalzählrohr verwendet, das im folgenden beschrieben werden soll.

Meßanordnung

Um eine Absolutbestimmung der Quellstärke des verwendeten Strahlers zu vermeiden, benützt man zur Messung der Absorption mehrere hintereinander liegende Zähler. Diese Zähler dürfen nicht durch Fenster voneinander getrennt sein. Das gelingt durch die abwechselnde Anordnung von Nullgittern und Zählgittern, die auf positivem Potential liegen, in einem gemeinsamen Gasraum. Diese Gitter bilden drei Zählräume mit völlig identischen Abmessungen (Abb. 1).

Die Impulse jedes Zählraums werden mit rauscharmen Proportionalvorverstärkern eigener Bauart, aber konventioneller Röhrenschaltung um etwa den Faktor 100 verstärkt und dann in einen Transistor-Vielkanalanalysator der Firma Technical Measurements Corporation eingespeist. Die für spätere Versuche verwendete Antikoinzidenzstufe ist in dem Vielkanalanalysator mit enthalten. Die Hochspannung kann für jeden Zählraum getrennt eingestellt werden, sie liegt bei den Messungen zwischen 3 und 4 kV. Bei einer Spannung von 3,5 kV liefert der Zähler am Ausgang für je 3 keV Quantenenergie Impulshöhen von 500 μ V.

Absorptionsmessung

Durch die Stufenanordnung der drei Zählräume läßt sich für einen ausgeblendeten Strahl durch Vergleich der Zählraten die Absorption unmittelbar bestimmen. Als Eichstrahler wurden die in Tabelle 1 angeführten Isotope verwendet. Eine Schwierigkeit bei diesen Messungen besteht darin, daß bei Eisen, Zink und Cadmium die K_{α} - und K_{β} -Linie gleichzeitig auftreten, aber vom Zähler nicht mehr aufgelöst werden. Dadurch wird für die Strahlung des jeweiligen Isotops eine mittlere Energie gemessen, die sich beim Durchgang durch die einzelnen Schichten des Zählers infolge der unterschiedlichen Absorption der beiden Linien geringfügig verschiebt. Man versucht daher, durch „kritische Absorber“, deren Absorptionskante zwischen der Energie der K_{α} - und K_{β} -Linie liegt, die K_{α} -Linie bevorzugt zu absorbieren, so daß die K_{β} -Linie allein als monochromatische Strahlung übrigbleibt. Während Messungen an ^{109}Cd mit einem Palladium-Absorber zeigen, daß hier die K_{β} -Linie nur ganz schwach auftritt und deshalb nicht stört (siehe Abb. 10), kommen bei Zink (kritischer Absorber: Nickel) beide Linien etwa in gleicher Intensität vor (vgl. auch [11]). Daher wurde bei den folgenden Messungen für Eisen und Zink eine mittlere Energie von 6,2 bzw. 8,5 keV zum Ansatz gebracht, aber jedesmal eine Fehlerbreite angegeben, die dem Abstand der Energie der beiden Linien entspricht. Beim Plutonium tritt diese Schwierigkeit nicht auf, da der Zähler, wie später noch gezeigt wird, die Plutonium-Linien auflöst.

Tabelle 1 Zusammenstellung der verwendeten Strahler und ihrer Energien in keV

| | K_{α} | K_{β} | L_{α} | L_{β} | L_{γ} |
|------------------------|--------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| ^{55}Fe [9] | 5,9 | 6,5 | | | |
| ^{65}Zn [9] | 8,1 | 8,9 | | | |
| ^{109}Cd [9] | 22,1 | 24,9 | | | |
| ^{239}Pu [10] | | | 13,6 (1,4%) | 16,9 (2,1%) | 20,2 (0,4%) |

Zur Messung der Absorption wurde für jeden Zählraum das Spektrum des jeweiligen Eichstrahlers aufgenommen. Die Absorption ergibt sich aus dem Verhältnis der über der Linie summierten Impulszahlen für zwei benachbarte Zählräume.

Dieses Verhältnis muß für einen ausgeblendeten monoenergetischen Strahl von Zählraum II zu Zählraum I das gleiche sein wie von Zählraum III zu Zählraum II. Das war beim Plutonium und beim Cadmium auch innerhalb der Fehlergrenzen des Versuchs der Fall. Geringfügige Abweichungen bei den niederenergetischen Eichstrahlern lassen sich durch die doppelten Linien erklären. Sie sind jedoch durch die für den Meßpunkt angegebene Fehlerbreite berücksichtigt.

Abb. 2 zeigt das Ergebnis dieser Versuche im Vergleich mit der theoretisch berechneten Absorption. Die Meßwerte liegen deutlich höher, und zwar um so mehr, je weiter man sich von der Absorptionskante des Argons bei rund 3 keV entfernt. Dadurch wird gerade bei Plutonium-Messungen die Absorption im Argon wesentlich günstiger, als die Theorie das erwarten ließ.

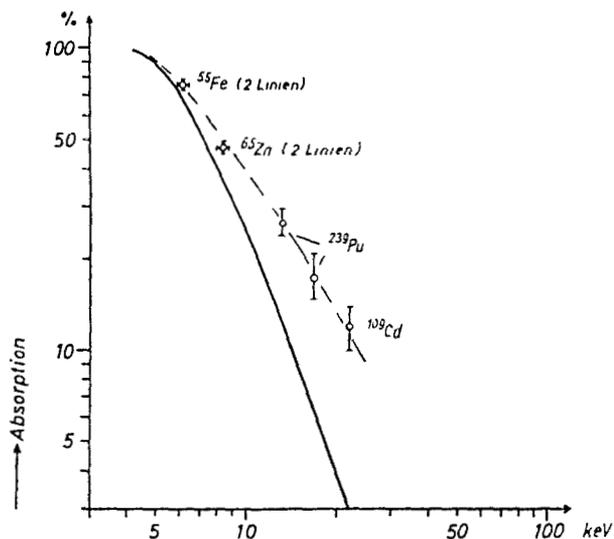


Abb. 2. Meßwerte für die Absorption einer Quantenstrahlung in Argon bei senkrechtem Durchgang im Vergleich mit der berechneten [9] Abhängigkeit von der Energie der Strahlung. Die Werte gelten für eine 90% Argon/10% Methan-Schicht von 3 cm Dicke, entsprechend einer reinen Argon-Schicht von 2,7 cm Dicke. Die Messungen wurden mit einem stark ausgeblendeten Strahl vorgenommen, so daß der größte Schragdurchgang nicht mehr als 3% Verlängerung des Weges für senkrechten Durchgang ausmacht (siehe auch Abb. 6). Bei den Eichstrahlern mit zwei Linien wurde als Energie-Fehlerbreite der Abstand der beiden Energien eingetragen

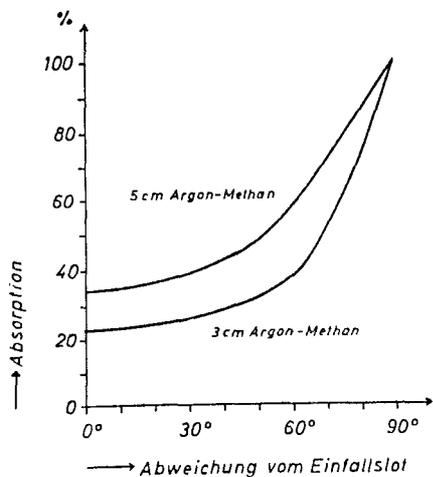


Abb. 3. Zunahme der Absorption von ^{239}Pu -Strahlung mit wachsendem Schragdurchgang durch eine absorbierende Argon-Methan-Schicht mit unendlicher Ausdehnung. (Bei einer direkt an dem Zählraum angebrachten punktförmigen Probe hat etwa 87% der in den Zähler eingetretenen Strahlung einen Winkel zum Einfallslot von $> 30^\circ$, etwa 50% einen Winkel von $> 60^\circ$.)

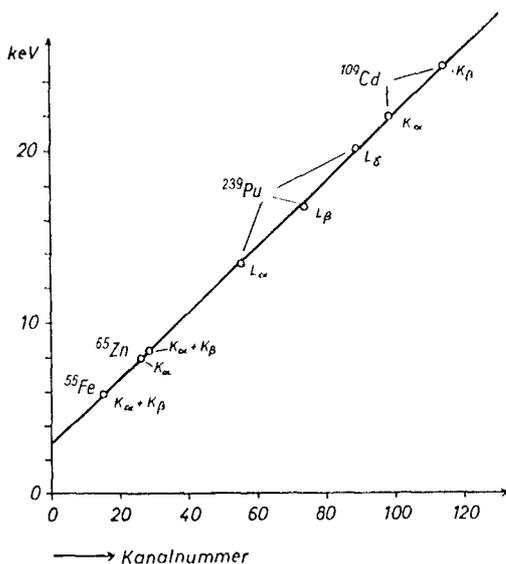
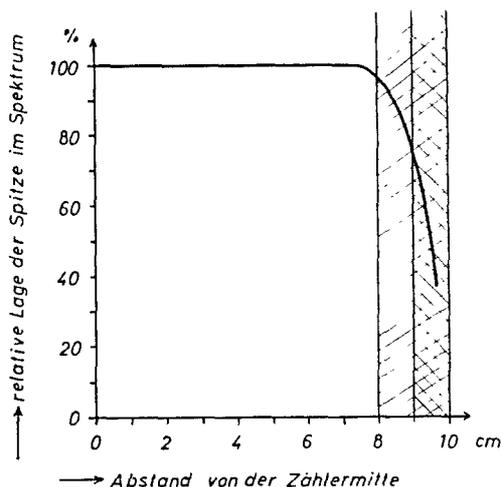


Abb. 4. Energieeichung, Zählraum II



Wenn man nicht mehr im ausgeblendeten Strahl, also im senkrechten Durchgang durch die absorbierende Schicht, sondern mit unausgeblendetem Strahl arbeitet, erhöht sich die Absorption weiterhin, da ein großer Teil der einfallenden Strahlenquanten die absorbierende Schicht schräg, d. h. auf einer längeren Wegstrecke durchsetzt (Abb. 3). Dadurch erreicht man in der Praxis schon bei Zählerstärken von einigen Zentimetern brauchbar hohe Wirkungsgrade.

Energieeichung

Ein Detektor, der zur Spektroskopie verwendet wird, soll eine lineare Energieskala besitzen. Es genügen dann zwei Meßpunkte, um diese Skala festzulegen. Abb. 4 zeigt die Eichkurve des hier verwendeten Zählers. Die Trennung von K $_{\alpha}$ - und K $_{\beta}$ -Linie bei Cadmium und Zink wurde, wie schon erwähnt, mit kritischen Absorbieren erreicht. Die Energie für die Strahlung des Plutoniums wurde der Arbeit von Clarke [10] zufolge mit den in Tab. 1 vermerkten Werten angenommen. Auf Grund dieser Eichung scheinen aber die beiden mit 13,6 und 16,9 keV angegebenen Linien etwas höher zu liegen, und zwar bei rund 14 und 17,4 keV (siehe auch [12]).

Auflösungsvermögen

Um ein hohes Auflösungsvermögen zu erreichen, muß ein Proportionalzähler an jeder Stelle des Zählraums die gleiche Gasverstärkung haben. Weiter muß das absorbierte Quant seine gesamte Energie im Innern des Zählraums abgeben. Im Argon wird ein Quant des hier betrachteten Energiebereichs so gut wie ausschließlich durch Photoeffekt absorbiert. Es löst aus der K-Schale ein Elektron ab, das die Quantenenergie minus der Bindungsenergie in der K-Schale mit sich führt und auf einer Wegstrecke von einigen Millimetern in einzelnen Ionisationsprozessen im Gas abgibt. Der leere Platz in der K-Schale wird durch ein äußeres Elektron wieder aufgefüllt, wobei die charakteristische K-Strahlung des Argons mit einer Energie von etwas unter 3 keV als Röntgenquant abgestrahlt wird. Dieses Röntgenquant kann den Zählraum verlassen. Wir erhalten dann zur Linie, die der vollen Energie des absorbierten Primärquants entspricht, eine weitere Linie, die um die Bindungsenergie der Argon-K-Schale tiefer liegt, den sogenannten Escape-Peak. In der Praxis ist dieser Escape-Peak allerdings im Argon nur sehr schwach ausgeprägt, da das K-Röntgenquant sich fast immer in ein Auger-Elektron umwandelt. In dem von uns betrachteten flachen Zähler wird das Auflösungsvermögen daher nur durch diejenigen Elektronen beeinträchtigt, die so nahe an der oberen oder unteren Grenzschicht entstehen, daß sie zum Teil in den Nachbarzählraum eintreten. Der Prozentsatz dieser nur zum Teil erfaßten Elektronen nimmt bei steigender Energie des Primärquants zu, da

Abb. 5. Energieverschiebung der Spitze im Spektrum infolge der Randverzerrungen des elektrischen Feldes im Zähler. Die Messung erfolgte mit einem eng ausgeblendeten Strahl bei senkrechtem Einfall. Die prozentuale Verschiebung ist innerhalb der Meßgenauigkeit unabhängig von der Energie. Das kommt daher, daß die feldverzerrte Zone selbst für die Strahlung des ^{109}Cd noch größer ist als die Reichweite der Elektronen, die beim Cadmium $22,1-2,9 = 19,2$ [keV] Energie besitzen. Für genaue spektroskopische Messungen kann der durch die beiden gestrichelten Felder bezeichnete Raum nicht mehr verwendet werden (siehe auch Abb. 6), während für einfache Zahlungen nur der doppelt schraffierte Bereich unbrauchbar ist

dann die Reichweite der Elektronen im Gas und damit auch die Grenzschicht, aus der sie austreten können, größer wird.

Der andere Effekt, der das Auflösungsvermögen verschlechtert, ist der sogenannte Randeffect, d. h. die Feldverzerrungen an den Halterungen der Zähldrähte. Mit einem sehr eng ausgeblendetem, senkrecht zur Fläche des Zählers eingeschossenem Strahlenbündel läßt sich bestimmen, wie weit in den Zählraum hinein der Einfluß des Randeffects reicht (Abb. 5).

In Abb. 6 sind in einer maßstäblichen Darstellung der Zählräume die entsprechenden Schichten angedeutet, in denen die Randverzerrungen so groß werden, daß sie für Spektroskopiezwecke bzw. für reine Zählzwecke ausscheiden. Den Einfluß dieser Randverzerrungen auf die Form eines Spektrums und auf die Lage der Linien zeigt Abb. 7.

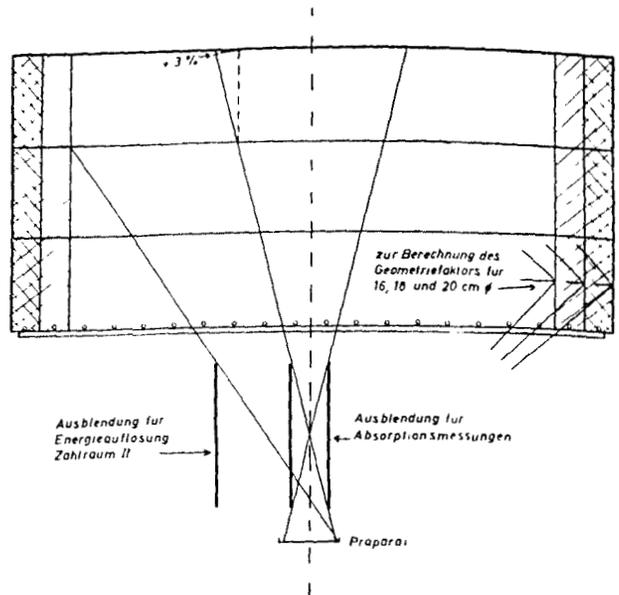


Abb. 6. Darstellung der genauen räumlichen Verhältnisse, unter denen die in Abb. 2, 4, 7, 8 und 10 sowie die in Tabelle 3 und 4 gezeigten Werte gewonnen wurden

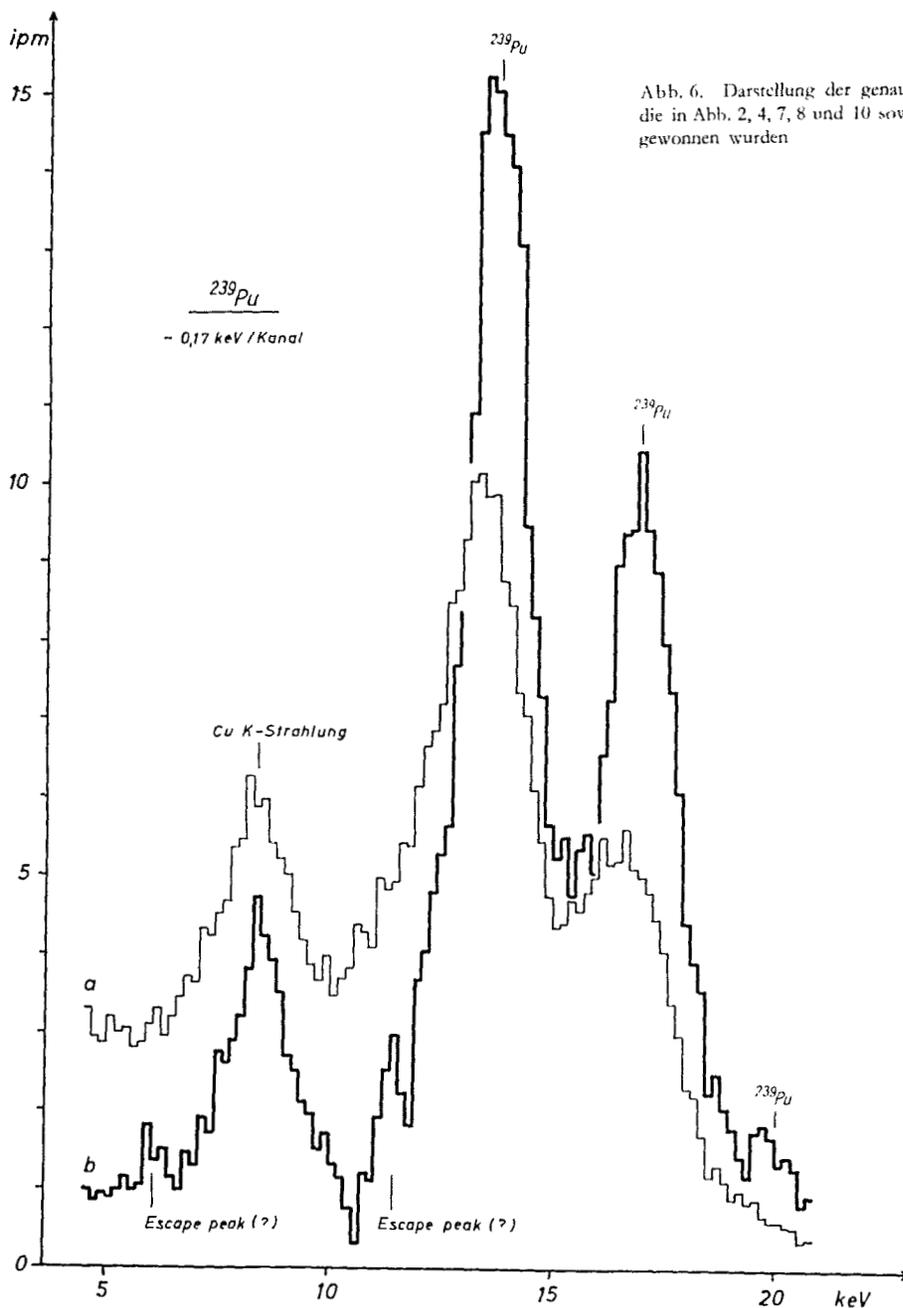


Abb. 7. Vergleich zweier Spektren im Zählraum II mit nicht ausgeblendetem (Kurve a) und ausgeblendetem (Kurve b) Strahl. Die Spektren sind auf gleiche Gesamtimpulszahl normiert. Man erkennt den starken Einfluß der Randgebiete des Zählers auf das Auflösungsvermögen. Die Linien des nicht ausgeblendetes Strahls sind breiter und nach niedriger Energie hin verschoben. Bei 8,6 keV liegt eine Spitze, die der aus dem Kupfer des Rotgüßmantels stammenden K-Strahlung zugeschrieben wird. Bei dieser Spitze tritt keine Energieverschiebung auf, da sie ja in jedem Fall die Randgebiete durchsetzt. Jeweils 2,9 keV unterhalb der einzelnen Linien sind schwache Argon-, „Escape-Peaks“ zu erwarten [9]. Die im Spektrum an diesen Stellen sichtbaren Linien haben jedoch eine Energiedifferenz von nur etwa 2,6 keV zur Hauptlinie

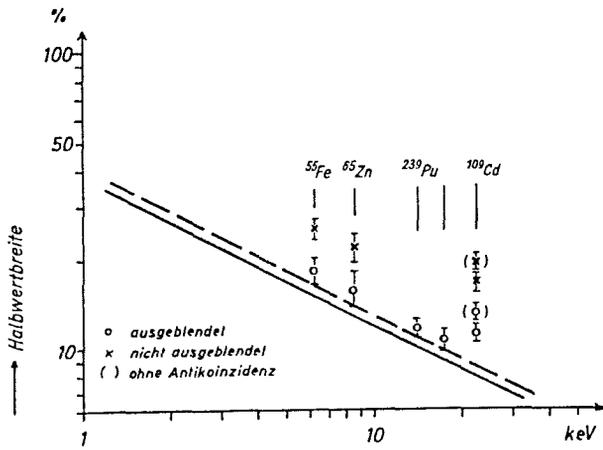


Abb. 8. Gemessene Halbwertbreite im Vergleich mit den theoretisch für Proportionalzählrohre erreichbaren [9, 15] Werten. Bei den mit nicht ausgeblendetem Strahl gewonnenen Meßpunkten wird durch den Einfluß der Randzonen die Auflösung verschlechtert. Die Werte sind im Zahlraum II aufgenommen, wobei Zahlraum I und III in Antikoinzidenz betrieben wurden (siehe auch Abb. 10)

Abb. 8 vergleicht die von uns gemessenen Halbwertbreiten mit den theoretischen Berechnungen [9]. Trotz der großen Fläche, die hier zur Spektroskopie ausgenutzt werden kann, wird das theoretisch mögliche Auflösungsvermögen beinahe erreicht. Nicht zuletzt dieses hohe Auflösungsvermögen macht einen Proportionalzähler zur Spektroskopie weicher Quantenstrahlung besser geeignet als einen Szintillationszähler, dessen Auflösungsvermögen schon theoretisch weitaus ungünstiger liegt (siehe dazu [13]).

Antikoinzidenzbetrieb

Eine solche Dreistufen-Anordnung, wie sie hier verwendet wurde, ist zur Reduzierung des Nulleffekts durch Antikoinzidenz besonders geeignet (Abb. 9). Der Vergleich verschiedener Nulleffekte in Tabelle 2 zeigt die hohe Wirksamkeit einer doppelseitigen Antikoinzidenz (Zählraum II: Meßzähler, Zählraum I und III: Antikoinzidenzschirm). Da sich keinerlei absorbierende Schicht zwischen den Zählräumen befindet, wird durch die Antikoinzidenz vor allem auch bei der Quantenmessung störende β -Strahlung aus dem Meßpräparat und aus dem Wandmaterial des Zählers eliminiert. So läßt

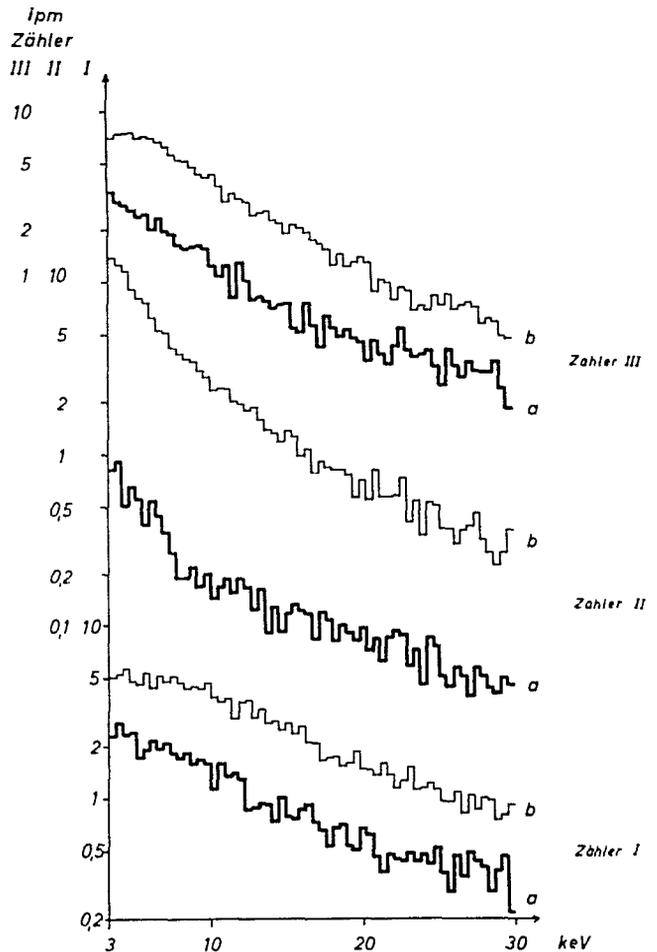


Abb. 9. Nulleffekt-Spektren der drei Zahlräume mit (Kurve a) und ohne (Kurve b) Antikoinzidenz der jeweils benachbarten Zählräume (vgl. dazu auch Tabelle 2). Die Spektren sind in einem oberirdischen Laborraum ohne jede Abschirmung des Zählers aufgenommen worden

sich der ungewöhnlich niedrige Nulleffekt von weniger als $0,03 \text{ Imp/cm}^2 \cdot \text{min}$ schon ohne jede zusätzliche Abschirmung erzielen.

Die Antikoinzidenz unterdrückt auch jene in der Grenzschicht entstehenden Elektronen, die nur einen Teil ihrer Energie im Meßzählraum abgeben und anschließend in einen der Schutzzählräume eintreten. Abb. 10 zeigt den Einfluß dieses Effektes auf das Auflösungsvermögen.

Tabelle 2 Nulleffekt [ipm]; Meßzeit 100 min

| Zählraum Nr. | Energiebereich | ohne Abschirmung | | | |
|--------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | ohne Antikoinzidenz | mit Antikoinzidenz | ohne Antikoinzidenz | mit Antikoinzidenz |
| I | 3—30 | 322 | 114 | 148 | 75 |
| | 10,5—22,5 | 122 | 41,8 | 38 | 17 |
| II | 3—30 | 276 | 16,4 | 123 | 6,8 |
| | 10,5—22,5 | 53,2 | 7,4 | 18 | 3,2 |
| III | 3—30 | 301 | 108 | 126 | 63 |
| | 10,5—22,5 | 105 | 32,6 | 34 | 14 |

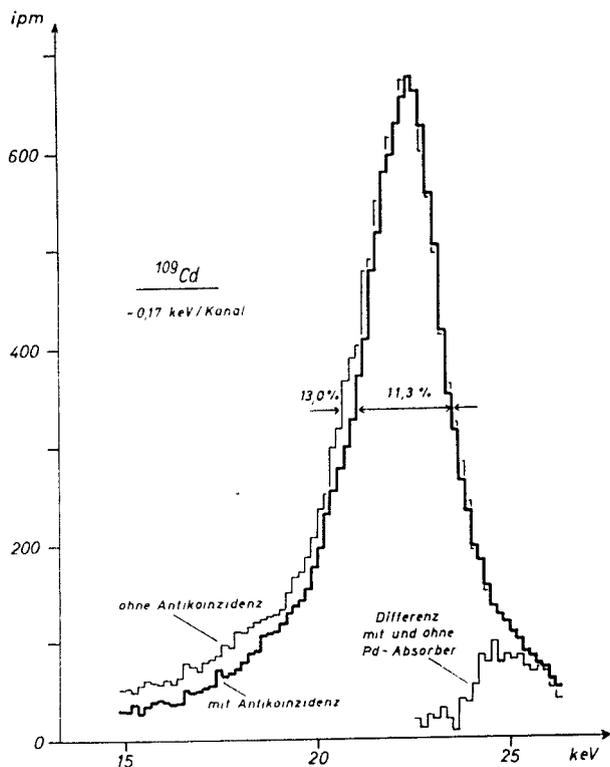


Abb. 10. Einfluß einer Antikoinzidenzschaltung der benachbarten Zahlräume auf die Form des ^{109}Cd -Spektrums im Zahlraum II. Für die übrigen hier verwendeten Strahler mit schwächerer Energie ist eine Änderung der Linienbreite innerhalb der Meßgenauigkeit nicht mehr nachweisbar, da hier die Reichweite der Elektronen und damit auch die Grenzschicht, aus der sie in die benachbarten Zahlräume entkommen können, im Verhältnis zu den übrigen Zahlraumabmessungen sehr klein ist. Die Kurve „Differenz mit und ohne Pd-Absorber“ entspricht der $K\beta$ -Linie mit einer Energie von 24,9 keV. Sie ist durch Subtraktion des Spektrums mit Palladium-Absorber von dem ohne Absorber nach Normierung der $K\alpha$ -Linie auf gleiche Höhe gewonnen

Einige Anwendungsmöglichkeiten im Strahlenschutz

Neben der Messung und Identifizierung von K-Strahlern ist ein solcher Zähler vor allem zum Nachweis von Plutonium geeignet, besonders wenn sich dieses Plutonium in so viel Material verteilt findet, daß α -Messungen oder gar α -Spektroskopie unmöglich sind, oder wenn es auf die sichere Identifizierung in einem Gemisch mehrerer Strahler ankommt.

Die Empfindlichkeit für die Plutonium-Messung geht aus Tabelle 3 hervor, wo einige mit Plutonium-Quellen bekannter Aktivität gemessene Impulszahlen mit den theoretisch zu erwartenden Werten verglichen werden. Für die Berechnungen ist außer der Absorption in Argon auch der Wert für die Absorption der Plutonium-Strahl-

Tabelle 3 Vergleich der berechneten mit der gemessenen Impulsrate eines ^{239}Pu -Präparats in verschiedenen Abständen vom Zähler. Für die Messungen im Energiebereich von 3 bis 30 keV wurde ein Zähler mit Aluminium-Gehäuse verwendet, um die störende Kupfer-K-Strahlung zu vermeiden

| ipm 0,1 $\mu\text{C Pu}$ | Aluminium-Zähler 3—30 keV | | Rotgüß-Zähler 10,5—22,5 keV | |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | 10 cm Abstand nicht ausgeblendet | 7,5 cm Abstand nicht ausgeblendet | 7,5 cm Abstand ausgeblendet | 7,5 cm Abstand ausgeblendet |
| Meßwert mit Antikoinzidenz | | 127* \pm 3 | | 4,1 \pm 0,2 |
| Meßwert ohne Antikoinzidenz | 151 \pm 3 | 131 \pm 3 | | |
| berechnet mit: | | | | |
| 20 cm wirksamem \varnothing | 150 | 196 (— 35%) | | 5,2 (— 21%) |
| 18 cm wirksamem \varnothing | | 173 (— 26%) | | |
| 16 cm wirksamem \varnothing | | 149 (— 15%) | | |
| Absorption Argon | 0,25 | 0,28 | | 0,22 |
| Absorption Luft | 0,43 | 0,38 | | 0,31 |
| Absorption Folie | 0,10 | 0,10 | | 0,10 |
| Absorption Gitter | 0,02 | 0,02 | | 0,02 |

* 3—30 keV, Impulse des
Cu K-Peaks graphisch abgezogen
172 \pm 8

Tabelle 4 Eliminierung der β -Strahlung durch die Antikoinzidenz

| Präparat in 2 cm Abstand | Energiebereich keV | ipm/0,1 μC | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | Zahlraum I | | Zahlraum II | |
| | | ohne Antikoinzidenz | mit Antikoinzidenz | ohne Antikoinzidenz | mit Antikoinzidenz |
| ^{204}Tl sehr dünne Schicht | 3—30 | 59 300 | 27 880 | 14 800 | 7 100 |
| | 10,5—22,5 | 25 220 | 13 140 | 4 140 | 340 |
| Uran in 50 mg/cm ² Schicht 0,1 $\mu\text{C} \approx 3 \cdot 10^{-1}$ g | 3—30 | 63 200 | 29 690 | 17 660 | 2 580 |
| | 10,5—22,5 | 21 100 | 12 620 | 3 670 | 547 |
| ^{239}Pu 0,1 $\mu\text{C} \approx 1,62 \cdot 10^{-6}$ g | 10,5—22,5 | 339 | 332 | 153 | 145 |

lung in Luft nötig, der mit einem ausgeblendeten Strahl durch Messung in verschiedenen Abständen vom Zähler bestimmt wurde (Abb. 11). Man sieht, daß in dem Energiebereich von 10,5 bis 22,5 keV — den man bei Plutonium-Messungen im Interesse eines optimalen Verhältnisses Nutzeffekt zu Nutzeffekt nicht mehr größer wählen sollte — etwa 80% der absorbierten Strahlung zur Messung gelangen, wenn man bei der Berechnung die in Tabelle 1 in Klammern hinzugefügte Emissionswahrscheinlichkeit für die einzelnen Plutonium-Linien zugrunde legt.

Tabelle 4 zeigt die Wirksamkeit der Doppelantikoinzidenzanordnung bei der Eliminierung störender β -Strahlung aus dem Meßpräparat. Als Beispiel wurde der Nachweis von Plutonium in Uran gewählt. In der beschriebenen Anordnung ist Plutonium noch meßbar, wenn es im Gewichtsverhältnis von 1:10⁶ vorliegt, wobei eine Uranprobe von etwa 10 mg zur Messung ausreicht.

Eine große 4 π -Meßanordnung, die speziell zum Nachweis inkorporierten Plutoniums im Strahlenschutz verwendet wird und die ebenfalls mit großflächigen Proportionalzählern in Antikoinzidenzanordnung arbeitet, ist an anderer Stelle näher besprochen [7, 14].

Für ihre wertvolle Mithilfe bei den Messungen danken wir besonders unserer Mitarbeiterin Fräulein D. Coste.

Literatur

- [1] Kirkwood D. H. W., Pontecorvo B. und Hanna G. C.: Phys. Rev. 74, 497 (1948)
- [2] Curran S. C., Angus J. und Cockroft A. L.: Nature 162, 302 (1948)
- [3] Kahn J. H.: O.R.N.L. 1089 (1951)
- [4] Amichn H. und Kulenkampff H.: Z. f. Physik 140, 452 (1955)
- [5] Dannecker A., Kiefer H. und Maushart R.: Nukleonik 1, H. 8, 319 (1959)
- [6] Fessler H., Kiefer H. und Maushart R.: Kerntechnik 3, H. 4, 151 (1961)
- [7] Kiefer H. und Maushart R.: Nuclonics H, 12 (1961)
- [8] Delibrias G. und Jehanno C.: Bulletin d'Information Nr. 30 14 (1959)
- [9] West D.: Progress in Nuclear Physics 3, 18 (1953)

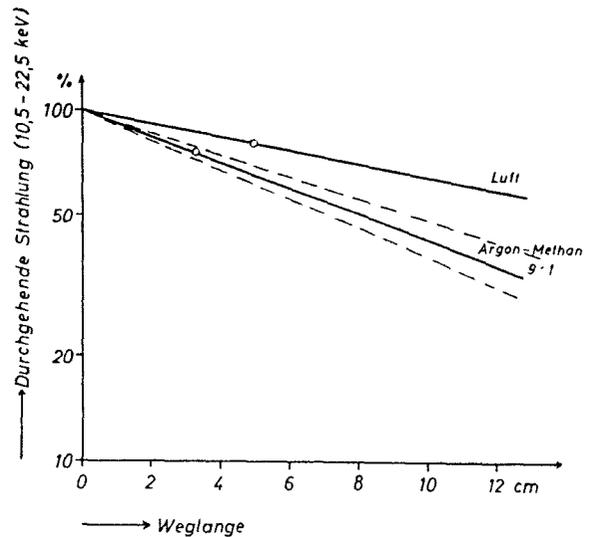


Abb. 11 Aufgrund von Messungen im Energiebereich von 10,5 bis 22,5 keV berechneter Durchgang der ²³⁹Pu-Strahlung durch Argon-Methan und Luft in Abhängigkeit von der Weglänge im Gas. Da es sich hier um mehrere Strahlungskomponenten mit verschiedener Energie handelt, ändert sich die mittlere Energie der Strahlung mit wachsender Absorptionsschicht, weshalb die gezeichnete Gerade nur einen Näherungswert darstellt. Die wirkliche Kurve muß aber auf jeden Fall innerhalb der beiden gestrichelt gezeichneten Linien verlaufen, die der Absorption für die beiden Linien mit der höchsten und niedersten Energie entsprechen

- [10] Clarke N. T.: IAEA Conference on Nuclear Electronics, Belgrade 1961, Paper NI/107
- [11] Rothwell P. und West D.: Proc. Phys. Soc. A 63, 541 (1950)
- [12] Trouble M.: CEA-DE/1312/SE.AEP 169 (1960)
- [13] Crouthamel C. E.: „Applied γ -Ray Spectrometry“, New York 1960, S. 31
- [14] Kiefer H. und Maushart R.: IAEA Conference on Whole Body Counting, Wien 1961
- [15] Fano L.: Phys. Rev. 72, 26 (1947)
- [16] Rundo J.: IAEA Conference on Whole Body Counting, Wien 1961

Anschrift der Verfasser: Dipl.-Phys. Hans Fessler, Dr. rer. nat. Hans Kiefer, Dr. rer. nat. Rupprecht Maushart, Strahlenmeßabteilung des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Weberstr. 5

Zur Messung von Quantenstrahlung im Energiebereich von 3—30 keV mit großflächigen Proportionalzählrohren

Es wird ein großflächiges Dreistufen-Proportionalzählrohr beschrieben, das in einem gemeinsamen zylindrischen Gehäuse drei flache, nur elektrisch durch Nullpotentialgitter voneinander getrennte Zählräume von etwa 300 cm² wirksamer Zählfläche enthält. Mit diesen Zählern wurde die Absorption niederenergetischer Quantenstrahlung in Argon bestimmt und mit der Theorie verglichen. Dadurch, daß die beiden Außenzählräume in Antikoinzidenz zu dem inneren Zählraum geschaltet wurden, läßt sich in dem für die Plutonium-Messung verwendeten Energiebereich von 10,5—22,5 keV der extrem niedere Nulleffekt von <0,03 Imp/cm² · min ohne zusätzliche Abschirmung erreichen. Die Halbwertbreite der 14 keV-Plutoniumlinie beträgt 11%. Einige Anwendungsmöglichkeiten für die Praxis des Strahlenschutzes werden erwähnt, insbesondere die meßtechnische Trennung von Plutonium in Uran im Gewichtsverhältnis 1 : 10⁶, sowie die in vivo-Messung von Plutonium im Menschen.

Measurement of Quantum Radiation in the Energy Range of 3—30 keV with Large-Surface Proportional Counters

The article describes a large-area three-stage proportional counter containing three flat counting chambers with an effective counting surface of about 300 cm². These chambers are housed together in a cylindrical case and are separated from one another electrically by a zero-potential grid. The absorption of low-energy quantum radiation in argon was determined with these counters and compared with the theoretical values. The two outer chambers are connected with the inner chamber by an anticoincidence circuit, thus making possible an extremely low background effect of 0.03 imp/cm² · min in the energy range of 10.5—22.5 keV used for plutonium measurements without additional shielding. The half width of the 14 keV plutonium line is 11%. Certain practical applications of this device in radiation protection are mentioned, especially the separation of plutonium in uranium at a weight ratio of 1 : 10⁶, and in vivo measurements of plutonium in man.

Sur la mesure de rayons-γ de 3 à 30 keV au moyen de compteurs proportionnels à grande surface

Un compteur proportionnel à trois étages comportant dans un tube cylindrique commun trois espaces compteurs plats, séparés uniquement par des grilles mises à la masse, représentant une surface de comptage efficace de 300 cm², est décrit. Au moyen de ces compteurs l'absorption dans l'argon de rayons-γ de faible énergie a été mesurée et comparée avec la théorie. Par le montage en antikoïncidence des deux espaces compteurs extérieurs par rapport à l'espace compteur intérieur, on peut obtenir dans la gamme énergétique de 10,5 à 22,5 keV, utilisée pour la mesure du rayonnement-γ du plutonium, le bruit de fond extrêmement bas de moins que 0,03 impulsions/cm² · min sans protection supplémentaire. La demi-largeur de la raie de 14 keV du plutonium est de 11%. Quelques applications pour la pratique du contrôle des radiations sont mentionnées, en particulier la séparation métrologique du plutonium contenu dans l'uranium dans la proportion 1 : 10⁶, ainsi que la mesure in vivo du plutonium dans le corps humain.