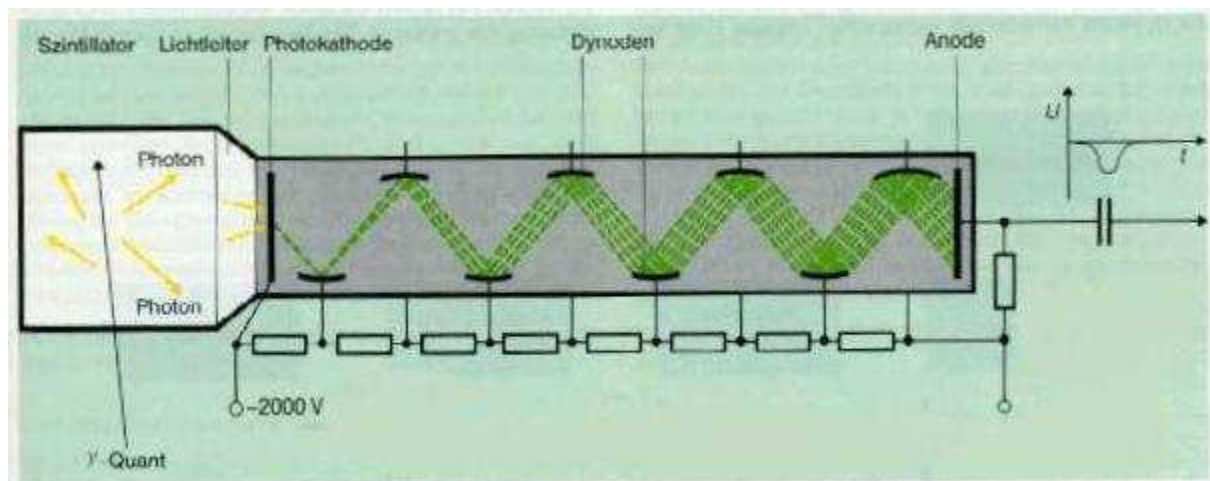


Der Szintillationszähler

Wir hatten bis jetzt keine Probleme damit, die Energien von Alpha- und Betastrahlung zu bestimmen. Sie transportieren elektrische Ladung und können abgelenkt werden. Somit können wir, wie in der β - Ablenkammer, die Energien bestimmen.

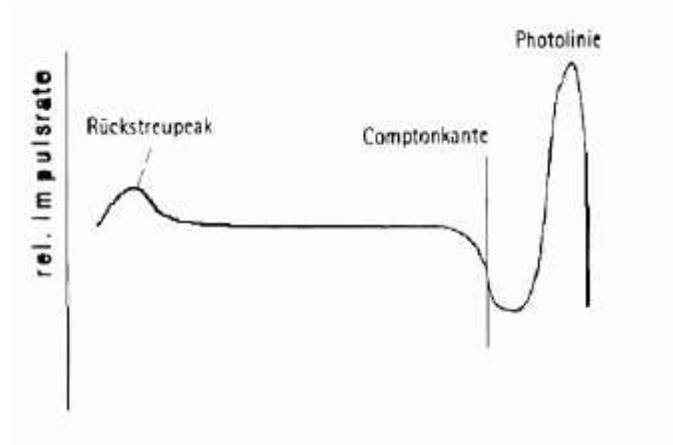
Wie ist das aber bei γ -Strahlung, die keine elektrische Energie transportiert?

Das ist mit dem Szintillationszähler möglich. Als Szintillation bezeichnet man die Lichterscheinungen, wenn radioaktive Strahlung auf geeignetes Material trifft. Man macht sich diese Wechselwirkungen der γ -Strahlen mit Materie zunutzen. Ein Szintillationszähler besteht aus einem mit Thallium-Atomen dotierten Natriumjodid-Kristall. Hier emittiert die γ -Strahlung eines radioaktiven Präparats Lichtquanten (Photoeffekt, Comptoneffekt). Nachgeschaltet ist eine Photokathode, die bei Lichteinfall wiederum ein Elektronen emittiert. Diese Elektronen gelangen in den Photomultiplier. Er besteht aus mehreren Elektroden, den s.g. Dynoden, zwischen denen eine Spannung von jeweils ca. 200 V anliegt. Treffen die Photoelektron auf eine Dynode, lösen sie jeweils 2-5 Sekundärelektronen aus dieser heraus. Die hohe Spannung beschleunigt die Elektronen, die aus der nächsten Dynode wieder mehrere Elektronen herauslösen. Der Multiplier dient also als Verstärker der ursprünglichen Lichtquanten, mit einem Gesamtverstärkungsfaktor von bis zu 10^9 . Schließlich werden die Elektronen von einer Anode eingefangen und erzeugen an einem Arbeitswiderstand einen Spannungsimpuls.



Trifft ein γ -Quant mit der Energie W_γ auf ein Hüllenelektron, gibt es entweder ganz- oder teilweise seine Energie ab. Das angeregte Elektron emittiert beim Rückfall in seinen energetischen Grundzustand ein Röntgenquant, das seine Energie wiederum durch Photo- oder Comptoneffekte an Elektronen im Kristall abgibt. Diese Vorgänge laufen jedoch so schnell ab, dass vom Zähler nur ein Fluoreszenzblitz registriert wird, der einen bestimmten Spannungsimpuls erzeugt. Die Spannungsamplitude U_m ist also ein Maß für die übertragene Energie des γ -Quants.

Die verschiedenen Spannungsimpulse kann man nun, z.B. durch einen Einkanalspektrometer, in ein Impulshöhenspektrum umgewandelt werden. Neben einer Verstärkungs- und einer Zählinheit gibt es in diesem Messgerät einen s.g. Diskriminator, mit dem es möglich ist, nur Impulse einer bestimmten Höhe und damit Energie im Zähler zu registrieren. Die mittlere Impulshöhe des Diskriminators wird schrittweise geändert und die zugehörige Impulsrate gemessen. Ein solches Energiespektrum eines γ -Strahlers sieht schematisch so aus:



Der hohe Peak ist die s.g. Photolinie. Lichtquanten dieser Energie werden registriert, wenn das γ -Quant durch einen Photoeffekt oder mehrere Comptoneffekte seine Energie an ein bzw. mehrere Elektronen abgibt. Dieser Effekt trifft am häufigsten auf, also kann man an der Photolinie die Energie W_γ ablesen.

Verlässt das γ -Quant jedoch nach einer Comptonstreuung den Kristall so wird nur die Energie des einen Comptonelektrons gemessen. Das kontinuierliche Spektrum vor dem Photopeak, wird durch Compton- Streuprozesse mit einem Streuwinkel kleiner als 180° erzeugt. Die maximale Energie hat das Comptonelektron an der Comptonkante.

Ferner kann man einen weiteren Peak beobachten, den s.g. Rückstreupeak. Er wird von γ -Quanten verursacht, die aus Comptonstreuungen außerhalb des Szintillationskristalls stammen und deren Comptonelektronen den Kristall nicht erreichen.

Das die Photolinie eine bestimmte Breite ΔE hat, lässt sich damit erklären, dass nicht jedes entstandene Lichtquant zur Photokathode gelange und dort auch nicht zu 100% ein Elektron aus der Kathode löst. Deshalb unterliegt der Peak einem Messfehler, weshalb er nicht so scharf gemessen werden kann, wie er eigentlich ist.

Bei Energien von mehr als $2m_e c^2 = 1,02 \text{ MeV}$ kann es zu Paarbildungen kommen. Das Photon wandelt sich durch einen Stoß z.B. mit einem Atomkern in ein Elektron-Positron-Paar. Bei hohen Energien ist die Paarzeugung sehr häufig. Die Energie der beiden Teilchen wird im Szintillationskristall in Fluoreszenzlicht umgewandelt. Das Positron zerstrahlt, nachdem es abgebremst wurde zu zwei γ -Quanten der Energie $0,51 \text{ MeV}$, die aufgrund der Impulserhaltung in entgegengesetzte Richtungen fliegen. Werden beide Quanten im Zähler absorbiert, so erhält man einen elektrischen Impuls, der proportional zu W_γ ist. Entweichen hingegen beide oder eines der γ -Quanten, so erhält man im Energiespektrum zwei verschiedene Peaks bei $W = W_\gamma - 1,02 \text{ MeV}$ oder $W = W_\gamma - 0,51 \text{ MeV}$.

Es gibt auch Positronenstrahler, wie z.B. Na-22. Hier verbinden sich die Positronen gleich mit einem Elektron, sodass zwei γ -Quanten entstehen. Im Energiespektrum erhält man deshalb zwei diskrete Energiewerte:

$W_1 = 511 \text{ keV}$; $W_2 = 1270 \text{ keV}$. Die genaue Bestimmung der Energien erfolgt über eine Eichung des jeweiligen Szintillationszählers mit Hilfe eines γ -Strahlers mit bekannten Energien. Die Energie W_1 ist die Ruheenergie eines Positrons oder Elektrons. Die kinetische Energie, die das Positron hatte, wird also ungleichmäßig auf die beiden Quanten aufgeteilt. Das Quant mit der Energie W_2 hat zusätzlich zu der Ruheenergie noch die gesamte kinetische Energie des Positrons übernommen. Man kann mit dieser Überlegung auch leicht die kinetische Energie bestimmen, die das Positron hatte: $W_{\text{kin}} = W_2 - W_1$ (oder auch Ruheenergie eines Elektrons) $= 879 \text{ keV}$.