

MÉTODOS DE LAS COINCIDENCIAS SU APLICACIÓN AL ESTUDIO DE ESQUEMAS DE DESINTEGRACIÓN BETA

por CARLOS ALBERTO MALLMANN

De la Comisión Nacional de la Energía Atómica

Recibido el 6 de Mayo de 1953

SUMMARY

The possibilities of the coincidence method using coincidence beta ray spectrometers for the investigation of desintegration schemes of beta emitters are given.

It is proved that the experimental set up must fulfill the following conditions:

- A) The coincidence beta ray spectrometers must have
 - a) Independent energy measurement in the counter-spectrometer systems.
 - b) Big gathering power and good resolving power in the counter-spectrometer systems.
 - c) The possibility of reducing to a negligible value with absorbing materials, the counts produced by gamma rays.
 - d) An optimum location of the counters to make negligible the cosmic rays coincidence counts.
 - e) The counter outside of the magnetic field.
 - f) The possibility of observing angular correlation.
- B) The coincidence equipment must have the resolving time as small as possible.
- C) The radioactive specimen must have optimum intensity.

1. *Introducción.*

Se desea analizar un esquema de desintegración beta cualquiera, sea simple o complejo.

La dificultad de realizar esto consiste en que, al superponerse los distintos espectros beta parciales, en el espectro resultante es imposible distinguir los electrones que pertenecen a uno o a otro espectro (por tener las mismas propiedades).

La única característica que diferencia los unos respecto de los otros es que las energías de los rayos gamma emitidos en

correlación temporal con ellos, son distintas. Por lo tanto, si se logra separar los rayos gamma entre sí y luego se observa la correspondencia temporal entre uno de ellos y el espectro continuo, se detectarán solo los electrones pertenecientes al espectro parcial temporalmente relacionado al rayo gamma considerado.

El método de las coincidencias introducido por Bothe y aplicado por Bothe y v. Bayer⁽¹⁾ a experiencias en física nuclear, permite observar tales correspondencias temporales.

Los rayos gamma se pueden separar de acuerdo a sus energías recurriendo a los fenómenos fotoeléctricos (conversión interna y externa) y mediante el uso de un espectrómetro beta. El espectro de los fotoelectrones es discreto, la energía de los mismos difiere en una constante de la de los rayos gamma correspondientes.

Por lo tanto uno de los métodos que permite analizar un espectro beta cualquiera es el de observar las coincidencias entre las líneas del espectro (electrones de conversión interna) y los electrones del espectro continuo. Esta idea fué sugerida por Feather⁽²⁾ y para realizarla es necesario observar las coincidencias entre un detector que recorre el fondo continuo del espectro y otro que observa una línea del mismo. Llamaremos espectrómetros beta de coincidencias a los espectrómetros beta que permitan realizar esta experiencia.

Feather et al.⁽³⁾, fueron los primeros en construir un espectrómetro beta de coincidencias. Los clasificaremos en:

A) *Simples*: que son los que con dos detectores colocados en un mismo espectrómetro beta, observan simultánea e independientemente el espectro beta de una misma muestra radioactiva. Instrumentos de este tipo han sido construidos por Fowler et al.⁽⁴⁾ y por Katz et al.⁽⁵⁾.

B) *Dobles*: que son los que en dos espectrómetros beta observan simultánea e independientemente el espectro de una misma muestra radioactiva. Los instrumentos de Feather et al.⁽³⁾, Groshev et al.⁽⁶⁾ y Bell et al.⁽⁷⁾ son dobles. Aún no se han propuesto espectrómetros beta de coincidencias compuestos por dos espectrómetros beta con distintos principios de focalización.

Para estudiar con más detalle los esquemas de desintegración

K. Siegbahn⁽⁸⁾ ha construido un espectrogoniómetro beta de coincidencias. Consiste en un espectrómetro beta de coincidencias doble compuesto por dos espectrómetros de lente, uno de los cuales se puede girar. Puede de esta manera observarse la correlación angular entre las radiaciones emitidas por la muestra.

En lo que sigue se analizan las propiedades que deben tener el espectrómetro beta de coincidencias, el equipo de coincidencias y la muestra radioactiva para obtener óptimos resultados en el análisis de esquemas de desintegración beta. Feather⁽²⁾ ha hecho esto en el caso particular de su instrumento.

Después, damos un análisis de las posibilidades de este método.

2. *Condiciones que deben cumplir los espectrómetros de coincidencias, los equipos de coincidencias y las fuentes radioactivas.*

Se quiere analizar un esquema de desintegración beta como el de la figura (1). Este es lo suficientemente general como para deducir las condiciones que deben cumplir los dispositivos experimentales.

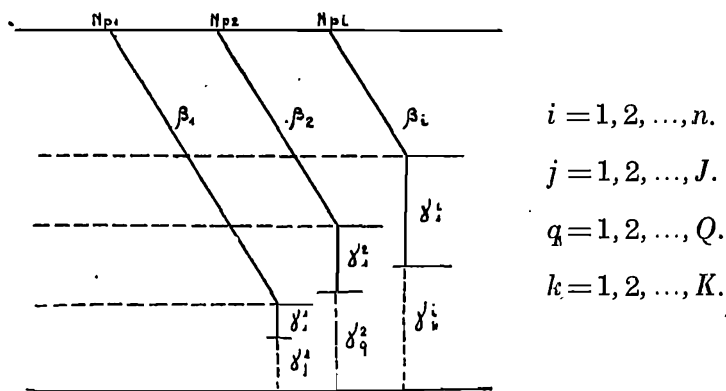


FIG. 1
Espectro beta a investigar

En la figura (1) se ha adoptado la siguiente nomenclatura:
 N_{p_i} es la intensidad del i -ésimo espectro beta parcial.
 γ_k^i es el k -ésimo rayo gamma que sigue al i -ésimo espectro beta parcial.

Si llamamos G_I al detector del espectrómetro beta de coincidencias que observa el fondo continuo del espectro beta, el número N_I de descargas que se producen en él por unidad de tiempo, es

$$N_I = N_{I\beta} + N_{I\gamma} + N_{Ic}$$

donde $N_{I\beta}$; $N_{I\gamma}$ y N_{Ic} son los números de descargas por unidad de tiempo en G_I debidas a electrones del espectro continuo, a rayos gamma y a rayos cósmicos respectivamente.

Si G_{II} es el detector del espectrómetro beta de coincidencias que observa una línea del espectro, el número N_{II} de descargas por unidad de tiempo observadas en él es

$$N_{II} = N_{II\beta} + N_{IIe-} + N_{II\gamma} + N_c$$

donde $N_{II\beta}$; $N_{II\gamma}$ y N_{IIe-} tienen el mismo significado de $N_{I\beta}$; $N_{I\gamma}$ y N_{Ic} pero para G_{II} y N_{IIe-} es el número de descargas por unidad de tiempo producidas por la línea del espectro en G_{II} .

El número C de coincidencias por unidad de tiempo es

$$C = (C_{\beta e-})_{ik} + C_{cc} + C_{ca} + C_{\gamma\gamma}$$

donde $(C_{\beta e-})_{ik}$; C_{cc} y $C_{\gamma\gamma}$ son los números de coincidencias por unidad de tiempo producidas por electrones del i -ésimo espectro beta parcial con electrones de conversión interna correspondientes al k -ésimo rayo gamma que sigue al i -ésimo espectro beta parcial, por rayos cósmicos y por rayos gamma respectivamente. C_{ca} es el número de coincidencias casuales por unidad de tiempo.

Deseamos observar $(C_{\beta e-})_{ik}$ por lo tanto todos los demás sumandos deben de ser lo más pequeños posibles para reducir el error estadístico medio.

a) C_{cc} se puede reducir colocando los detectores G_I y G_{II} en una posición relativa tal, que la probabilidad de observar una coincidencia debida a un rayo o una lluvia cósmica sea pequeña.

b) $C_{\gamma\gamma}$ se reduce, reduciendo las N_γ , y esto se logra intercalando suficiente absorbente entre la fuente radioactiva y los detectores.

c) C_{ca} es igual a $2N_I N_{II} \tau$, donde τ es el tiempo de re-

solución del equipo de coincidencias. Por lo tanto puede reducirse disminuyendo N_I ; N_{II} y τ . Un análisis más profundo del problema nos dice en que medida conviene reducirlos.

De lo anterior se deduce que podemos despreciar C_{cc} , $C_{\gamma\gamma}$ y N_γ siempre que el sistema espectrómetro-detector cumpla las condiciones pedidas. N_c se reduce reduciendo el tamaño del detector. También se puede despreciar.

Por lo tanto

$$N_I = N_{I\beta} = N_{\omega I} \Delta E_I \sum_{i=1}^n p_i F_i(E_I) \quad (1)$$

donde $F_i(E)$ es la función de distribución de intensidades del i -ésimo espectro beta parcial, ω_I es el poder colector del sistema espectrómetro-detector G_I y ΔE_I es el intervalo de energías que se observan en el sistema espectrómetro-detector G_I . Está dado por $\Delta E_I = \frac{E_I}{P_I}$ donde P_I es el poder resolutor.

Además es

$$N_{II} = N_{II\beta} + N_{IIe-} = N_{\omega II} \Delta E_{II} \sum_{i=1}^n p_i F_i(E_{II}) + N p_{II} \omega_{II} \varepsilon_1^1 f \gamma_1^1 \quad (2)$$

donde ε_1^1 es un coeficiente que multiplicado por el coeficiente de conversión interna $f \gamma_1^1$ y por $N p \omega_{II}$ da el número N_{IIe-} de electrones de conversión interna observado por unidad de tiempo en G_{II} . El otro sumando es $N_{II\beta}$ y se obtiene en forma análoga a $N_{I\beta}$.

El número de coincidencias $(C_{\beta e-})_1^1$ es

$$(C_{\beta e-})_1^1 = N p_I \omega_I \omega_{II} \Delta E_I F_1(E_I) \varepsilon_1^1 f \gamma_1^1 \quad (3)$$

y la relación $(C_{\beta e-})_1^1 / C_{ca}$ es

$$\frac{(C_{\beta e-})_1^1}{C_{ca}} = \frac{1}{2N\tau} \cdot \frac{p_I F_1(E_I)}{\sum_{i=1}^n p_i F_i(E_I)} \cdot \frac{\varepsilon_1^1 f \gamma_1^1}{\Delta E_{II} \sum_{i=1}^n p_i F_i(E_{II}) + p_{II} \varepsilon_1^1 f \gamma_1^1} \quad (4)$$

$(C_{\beta e-})_1^1$ y la relación $(C_{\beta e-})_1^1 / C_{ca}$ deben ser lo más grandes posibles para reducir el error estadístico medio. Por lo tanto es necesario que:

- a) los sistemas espectrómetros-detector tengan poder colector ω_I y ω_{II} grande, poder resolutor bueno y flexibilidad en el ajuste de estos al valor indicado para la experiencia a realizar.
- b) el equipo de coincidencias tenga τ lo más chico posible.
- c) la fuente radioactiva tenga una intensidad N tal que no sea «demasiado chico» (3) ni (4). El significado cuantitativo de «demasiado chico» recién se puede dar en un caso particular.

Resumiendo, se puede afirmar que:

- A) los espectrómetros de coincidencias deben ser tales que:
 - 1) haya independencia en la observación de las energías en G_I y G_{II} .
 - 2) los sistemas espectrómetros-detector tengan gran poder colector, buen poder resolutor y flexibilidad en el ajuste de estos.
 - 3) exista la posibilidad de intercalar suficiente material absorbente entre la fuente radioactiva y los detectores.
 - 4) sea pequeño el número de coincidencias cósmicas.
 - 5) tengan el detector fuera del campo-magnético (utilización de contadores a escintilaciones).
 - 6) permitan la observación de correlaciones angulares.
 - B) el equipo de coincidencias debe tener tiempo de resolución τ lo más pequeño posible.
 - C) la fuente radioactiva debe ser de actividad óptima.
- Cumplidos estos requisitos, en cada caso particular habrá que hacer un análisis cuantitativo de los resultados obtenibles. Este se hace a base de las fórmulas anteriores.

3. Posibilidades del método.

Se ha visto que si el detector G_I recorre el fondo continuo del espectro y el G_{II} está observando una línea del espectro (por ejemplo la correspondiente al rayo γ_1^1) el número de coincidencias $(C_{\beta e-})_1^1$ observadas, está dado por (3). Este es directamente proporcional a la función $F_1(E_1)$ correspondiente al espectro parcial β_1 . Si G_{II} observa otra línea, que sigue al mismo espectro parcial, se obtiene nuevamente $(C_{\beta e-})_j^1$ proporcional a $F_1(E_1)$. En cambio si observa una línea perteneciente al espectro β_i se obtiene un $(C_{\beta e-})_k^i$ proporcional al $F_i(E_i)$.

Se ve entonces, que de esta manera pueden obtenerse algunos espectros parciales con sus características y determinar

cuáles son los rayos gamma que los siguen. Algunos, por que habrá espectros parciales cuya intensidad relativa y de líneas de conversión interna sea demasiado pequeña para ser observada con el sistema espectrómetro-equipos de coincidencias utilizado. Es por esta causa que es de importancia el cumplimiento de todas las condiciones mencionadas en el inciso anterior.

De (3) se deduce que

$$\frac{(C_{\beta e-})_1^1}{(C_{\beta e-})_2^1} = \frac{\varepsilon_1^1 f \gamma_1^1}{\varepsilon_2^1 f \gamma_2^1}.$$

Esta relación es de interés, puesto que si se conocen ε_1^1 y ε_2^1 queda determinada la relación $f \gamma_1^1 / f \gamma_2^1$.

Si ahora, a N_{II} le restamos el fondo continuo obtenemos

$$N_{II} - F_c = N p_1 \omega_{II} \varepsilon^i_k f \gamma^i_k$$

y por lo tanto

$$\frac{(C_{\beta e-})^i_k}{N_{II} - F_c} = R_i = \omega_1 \Delta E_1 F_i(E_1)$$

que debe ser igual para todo k . Resulta además

$$\frac{R_i}{R_j} = \frac{F_i(E_1)}{F_j(E_1)}.$$

Se puede obtener muchas relaciones más del tipo de las anteriores, a partir de las cuales se pueden deducir otros datos. En la práctica, la obtención de estos datos estará supeditada a las condiciones experimentales. Pero, de todas maneras, es de interés conocer y tener presentes estas relaciones, puesto que habrá casos particulares en que encuentren aplicación.

Además de estas experiencias, se pueden estudiar mediante razonamientos análogos a los aquí desarrollados las experiencias de coincidencias entre fotoelectrones secundarios (conversión externa) y rayos beta del fondo continuo del espectro y las de fotoelectrones secundarios con fotoelectrones secundarios. Los resultados de este estudio son también de interés.

BIBLIOGRAFIA

- (1) W. BOTHE y H. v. BAYER, Göttinger Nachr. 1, 195, 1935.
- (2) N. FEATHER, Proc. Camb. Phil. Soc. 36, 224 (1940).
- (3) N. FEATHER, J. KYLES y R. W. PRINGLE, Proc. Phys. Soc. 61, 466 (1948).
- (4) C. FOWLER y R. SHREFFLER, Rev. Sc. Instr. 21, 740 (1950).
- (5) R. KATZ, R. D. HILL y M. GOLDBERGER, Phys. Rev. 78, 9 (1950).
- (6) L. V. GROSHVY y L. YA SHAVTVALOV. Dokl. Akad. N. SSSR. 68, 2, 257 (1949).
- (7) R. E. BELL y R. L. GRAHAM Phys. Rev. 86, 212 (1952).
- (8) K. SIEGBAHN, Ark. f. Fysik, 4, 10 (1952).

ESPECTROMETRO BETA DOBLE DE
COINCIDENCIAS

TEORIA

por CARLOS ALBERTO MALLMANN

De la Comisión Nacional de la Energía Atómica
(Recibido el 6 de mayo de 1953)

SUMMARY

The theory of a double magnetic beta coincidence spectrometer which fulfills the fundamental conditions for coincidence beta spectrometers is developed.

The magnetic field \vec{H} referred to cylindrical coordinates (z, r, Φ) is $H_z = H_r = 0$; $H_\Phi = A/r$ where A is a constant.

Each of the beta spectrometers components of the double beta coincidence spectrometer, has in theory a gathering power of 8 % of 4π and a base resolving power 100 if the diameter of the radioactive specimen is 0.6 cm. and the distance between source and focus is 54 cm.

§ 1. Introducción.

El análisis de las posibilidades del método de las coincidencias utilizando un espectrómetro beta de coincidencias⁽¹⁾, muestra que este instrumento debe cumplir las siguientes condiciones:

- 1) Independencia en la observación de las energías en los sistemas espectrómetro-detector.
- 2) Sistemas espectrómetro-detector con gran poder colector, buen poder resolutor y flexibilidad en el ajuste de estos.
- 3) Posibilidad de intercalar suficiente material absorbente entre la fuente radioactiva y los detectores para reducir a un