

ESPECTROSCOPIA GAMMA

1.- Introducción

Uno de los métodos de identificación de elementos radioactivos más fiables es la espectroscopía.

Consiste ésta en almacenar, de alguna forma, datos acerca de las energías y el número de partículas asociado a una fuente radioactiva. Con estos datos podemos calcular varias magnitudes muy interesantes, además de realizar muchos otros experimentos si los datos son bastante fiables.

Para realizar un estudio espectroscópico precisamos básicamente dos cosas:

- Un aparato que recoja las partículas y/o su energía asociada y;
- Un computador capaz de almacenar esa información.

El aparato que recoge las partículas y su energía varía según la radiación a recoger.

Los aparatos capaces de transformar la radiación en una corriente eléctrica más o menos proporcional a una partícula incidente son de dos tipos esencialmente, detectores de gas y centelleadores.

Los detectores de gas se basan en la ionización que provoca la radiación incidente de un gas, de forma que provoca una ligera corriente eléctrica que convenientemente amplificada podemos medir. Este tipo de detectores tiene tres modos de funcionamiento, según el potencial aplicado a los electrodos que recogen el electrón ionizado.

El modo en el que el potencial aplicado es más bajo apenas amplifica la energía de la partícula ionizada.

En el segundo modo, la energía con la que sale ésta es proporcional a la energía que lo ionizó, pero no se suele usar porque la d.d.p. que podemos extraer es muy pequeña y difícil de medir, con lo que se hace muy complicado trabajar con ella.

Luego está el modo de funcionamiento más común, el llamado **Geiger-Muller**. En él, se aplica un potencial tal que los electrodos son capaces de recoger todo cuanto electrón ionizado se produce en el interior del tubo. Tiene el grave inconveniente de que es imposible medir la energía de las partículas incidentes. Se usa básicamente para medir radiación de tipo beta y alfa, pues la radiación gamma emite núcleos de Helio que no ionizan nada.

Los centelleadores utilizan una curiosísima propiedad de algunas sustancias, la llamada **fosforescencia**. O sea, la posibilidad de convertir en energía luminosa o de longitudes de onda próximas la energía que se desprende de un choque de una partícula lo suficientemente pesada. Estos materiales, ante el impacto de energía adecuado, emiten un fotón de una longitud de onda proporcional a la energía que llevaba la partícula incidente.

Por lo tanto, con ellos podríamos medir la energía de la partícula emitida. Para poder realizar esto, se usa un fotomultiplicador, capaz de convertir y amplificar hasta voltajes mensurables los fotones que emita el material fosforescente.

Se usa tan sólo para radiación gamma debido a que es esta la única capaz de provocar un fotón.

Para poder medir el amplio rango de energías que se pueden generar en esta desintegración, se suele utilizar un aparato que delimite en distintos **canales** las distintas energías que recoja. Luego, estos canales se dotan de unidades energéticas gracias a picos energéticos conocidos o cualquier otro método que nos permita decidir qué energía hay en un intervalo determinado de canales. Con esto podemos dotar de sentido toda cuanta medida hagamos, pues asignamos valores numéricos en alguna unidad conocida a los canales energéticos.

2.- Obtención Y Tratamiento De Datos:

Como resulta evidente de la exposición anterior, la recogida de datos es muy simple siempre y cuando tengamos automatizado el proceso, lo que sucede en el laboratorio de prácticas de Física Nuclear.

En realidad, la toma de datos se limita colocar muestras enfrente del detector y esperar un tiempo prudencial, para poder tener un número de muestras que supere al del ruido de fondo, cosa que se obtienen para elementos con una gran actividad con unos tiempos de una media hora, más o menos. De ahí que el tiempo empleado por nosotros sea de treinta minutos para todas las muestras.

Utilizamos para calibrar el aparato el espectro de un material que tenga un pico muy bien definido difícil de confundir con otros. Una vez que se les asocian las energías a los canales de los picos conocidos, el aparato ya puede medir el espectro que se desee.

Tan pronto como se calibró en energías el contador, se sacó un espectro del ruido de fondo, de forma que pudiéramos, con el programa adecuado, restarlo del espectro para poseer unas medidas más realistas.

De este espectro de ruido de fondo, la primera de las gráficas presentadas, se pueden deducir los picos de esta energía.

En estos picos hay dos datos que son representativos del elemento que se esté descomponiendo; la **energía** y el **número de cuentas del máximo** del pico.

Para hallarlos experimentalmente los he representado aparte y ajustado a funciones con un pico muy pronunciado, como Gaussianas, Lorentzianas o en algún caso en el que la curva no estuviera muy definida, opté por usar polinomios de tercer grado. De ellos deducía los valores máximos de la función de aproximación y de la energía necesaria, considerándola con un error equivalente al de la aproximación funcional.

Para poder obtener una serie de datos que fueran más o menos buenos, se dejó al aparato tomar medidas de las muestras durante unos treinta minutos, si bien en algunas especialmente poco activas se esperó durante varias horas.

Para restar el fondo empleé un programa especialmente diseñado al efecto. Estaba en el ordenador que recogía los datos y los interpretaba gracias a un programa llamado MCA.

Éste presenta los datos sólo de forma numérica, con la forma que se adjunta en el primer apéndice. Por ello, para iniciar su tratamiento tuve que copiarlos a mano en el ordenador.

Los espectros realizados, además del de fondo, son los del Cs13755, y varios espectros del Eu15563 con unas láminas de Al delante para atenuar la radiación y poder deducir una ley de atenuación.

El espectro empleado para la calibración fue el del Bi20783, pues tiene unos picos muy característicos fácilmente identificables.

3.- Medidas Realizadas Y Conclusiones:

De los espectros de los elementos, tratamos de deducir la presencia de los mismos sólo por el valor de las energías de los picos gamma, usando unos valores ya tabulados de energías gamma. De ellos se puede deducir el elemento al que pertenece una determinada traza.

EL espectro del ruido de fondo (Gráficas 1 a 6) nos muestran una serie de picos que deberían pertenecer a isótopos que se encuentren en el ambiente del laboratorio.

Así, el primero de ellos es el que se muestra centrado en una energía de $0'064 \pm 0'002 \text{ Mev}$. De esa energía exactamente no hay ningún isótopo, pero hay dos que están dentro del intervalo de error con energías tan próximas que son imposibles de separar con esa resolución. Son los isótopos Th234 y Yb169, ambos con una vida media similar. Para decidirme porque la traza fuera de uno de ellos, consideré las coincidencias con picos de otros espectros. Así, hay otro pico en el Cs que se puede identificar con el **Yb**, por lo que creo que es este el elemento presente.

El segundo pico se encuentra centrado en $0'6 \pm 0'14 \text{ Mev}$. Para él también hay dos isótopos que podrían ser los causantes del mismo. Estos son el Ga72 y el Sb125. De ellos, el Galio es un elemento que es muy poco común y difícil de encontrar mientras que el antimonio es más fácil de encontrar. Así considero que este pico pertenece al **Sb125**.

Podemos encontrar un tercer pico con una energía máxima de $1 \pm 0'6 \text{ Mev}$. Los isótopos que se corresponden con esta energía son el Eu154 y el Sc48, de vida media 43'7 h. y energía 0'983 Mev, pero dado que en el laboratorio había Eu154 y nosotros no siempre apartábamos las fuentes y las aislábamos del detector, es muy plausible que se colara parte de la radiación de forma que formara el pico que se ve.

Por ello, considero que el pico es del **Eu154**.

El cuarto pico que podemos encontrar se centra energéticamente en un valor de $1'43 \pm 0'023 \text{ Mev}$. Con esta energía e intervalo de error hay tres posibilidades para considerarlos como causantes del pico. Son el Cs138 de $T_{1/2}=32'2 \text{ m.}$ y energía 1'436 Mev, el V52 de vida media 3'75 m. y energía de 1'434 Mev y por último el Mn52 con una energía de 1'434 Mev y $T_{1/2}=5'59 \text{ m.}$

El Vanadio es un metal raro, por lo tanto resulta poco creíble su presencia en un laboratorio normal. El Cs138 quizás sea más abundante, pero sin duda el más común de los tres es el Manganeseo. Deduzco, pues, que este es el isótopo que provocó el pico encontrado, el **Mn52**.

En el caso del espectro del Bismuto la identificación fue muy fácil, porque tiene unos picos muy bien diferenciados y de unas energías muy específicas (Ver gráficas 7 a 9). Así, como se muestra en el espectro y en los picos siguientes, tiene dos picos, uno centrado en una energía de $1'075 \pm 0'0002 \text{ Mev}$ y otro centrado en $0'5794 \pm 0'0002 \text{ Mev}$, ambos fácilmente identificables con el Bismuto, y en concreto con el isótopo que usamos en el laboratorio.

Para el Cs la identificación se hace más difícil, porque tenemos varios picos y algunos de los picos finales no se identifican muy claramente (Gráficas 10 a 15). De todas formas, si observamos un esquema de desintegración del Cs, veremos que casi toda su actividad se debe únicamente a un pico muy bien definido, que es la marca que lo identifica de forma radical. Es el tercer pico del Cs, que sitúa su máximo en $0'6677 \pm 0'0002 \text{ Mev}$ y que sólo puede corresponder a este elemento.

Sin embargo, observamos otros picos a distintas energías, como son el primero, con una energía de $0'197 \pm 0'013 \text{ Mev}$ que no se corresponde con ninguna energía conocida del Cs. Pero en unión con otros picos que se encuentran en otros espectros, se puede deducir que pertenece a un pico del **Yb198**, cuya vida media es de aproximadamente un mes. La razón de que se "cuele" su pico con el del Cs es la poca actividad del Cs, que es incapaz de no evitar el solape con esta traza, que deberemos asociar con el ambiente del laboratorio, por la

observación del ruido de fondo.

El tercer pico observado y representado se centra en una energía de $0'4209 \pm 0'0001$ Mev. El problema es que no corresponde a ninguna traza conocida. Ante esta situación caben, pues, dos opciones; o bien se descubrió en el transcurso de las prácticas un nuevo isótopo aún no descubierto por el hombre, o bien no hay tal pico, y la ligera elevación que se observa se debe a otro tipo de efectos que nada tienen que ver con descomposición radioactiva y también podemos emplear la eterna respuesta del error experimental.

Particularmente opto por la segunda opción, mucho más coherente que la primera, aunque también mucho más aburrida.

La posible causa de este efecto es, a mi juicio, algún problema con el ruido de fondo, que no resta algo que debiera restar, por lo que se representa una zona plana vacía de contenido físico.

Otra posibilidad es que realmente corresponda a un elemento, pero desplazada la energía por efectos que no sé cuantificar muy bien. En ese caso podría corresponder a sólo tres elementos, cuyas energías están relativamente cerca de la hallada. Son el Ba140, el Nd149 y el I130, con energías de 0'4237, 0'4236 y 0'418 Mev respectivamente. Si hubiera que escoger uno, yo me quedaba con el **I130**, pues encontré en otro espectro trazas de I132, como explicaré más adelante.

Luego también se realizó el espectro de un pedazo de carne de reno que tuvo la mala suerte de vivir cerca de Chernobil en 1986 (Gráficas 16 a 19). A pesar del tiempo pasado desde que se recogió la muestra y de la escasa vida media de la mayoría de los elementos implicados, en el espectro se pueden observar unos picos que no son de origen natural.

Así, el primer pico importante que se observa se puede centrar en una energía de $0'285 \pm 0'0016$ Mev. Observando la tabla de gammas y elementos a las que pertenecen, se observa que con ese error pueden ser dos elementos distintos, teniendo en cuenta un pequeño desplazamiento de energía que parece una constante en todo el experimento. Son estos el Pm149 y el I131, de forma que cualquiera de ellos podría ser. Pero sus vidas medias son del orden de semanas, 1'15 y 0'6 respectivamente, de forma que si estuviéramos observando sus trazas desde aquella tendríamos ahora una actividad del orden de 0'1% la inicial, lo que se supone debería confundirse con el ruido de fondo de forma notoria.

Por ello no puedo decidir qué es lo que realmente pasa, pero hay una tercera posibilidad bastante plausible.

Consideremos la radioactividad ambiental y los elementos que la componen. Si realizamos un espectro de fondo, es lógico suponer que sus picos quedarán registrados. Por ello cuando se restase el ruido de fondo deberían también eliminarse estos picos generales. Pero el programa que realiza la resta va restando canal a canal por unidad de tiempo. Claro, cuando los tiempos del espectro y del fondo no coinciden, la resta se realiza sobre canales que no poseen el mismo número de partículas, puesto que la actividad depende del tiempo con una proporción directa. Por lo tanto, al programa de resta se pueden escapar perfectamente canales en los que haya un número de cuentas suficientes como para resultar estadísticamente significativos. Así, encontraríamos en espectros de elementos únicos picos correspondientes a otros elementos, e incluso en espectros de sustancias recogidas hace ya años, picos de elementos de vida media muy corta, por ejemplo de horas.

Así sucede en este caso. Se han encontrado picos para elementos de vida media de semanas, cuando la muestra tiene años. Este punto nos permite suponer que los picos encontrados pertenecen a elementos característicos de la radiación ambiental. Si así fuera, reforzaría la hipótesis de que es un pico de **I131**, además de ser un argumento a favor de los que afirman que la mayoría de la radiación que se desprendió en Chernobil ya no es activa (Aunque habría que preguntarse si eso mismo puede decirse del notable aumento de la tasa de mutaciones en la zona).

El segundo pico que podemos observar es un pico que resulta cuando menos, curioso. Según mis cálculos, deducidos de una aproximación funcional a la forma del pico, como todos los demás, estaría centrado en una energía de $0'58 \pm 0'342 \text{ Mev}$. Este valor tiene la curiosa propiedad de poder pertenecer con esa tasa de error a unos cuantos valores, todos ellos muy convincentes para ser el auténtico. Los posibles elementos son Ir192, Mo101, Bi207, Cs134. Los dos primeros tienen unas vidas medias muy cortas, minutos para el Ir y de días para el molibdeno. Los dos últimos son materiales que estaban en el laboratorio.

Por lo tanto, caben dos posibilidades. O bien nos creemos que si bien la vida media del Ir es tal que no se vería reflejada en un espectro de 30 minutos, no sucede lo mismo para el Molibdeno y por lo tanto podemos considerar que este pico le pertenece, llegando a la conclusión de que en la muestra hay **Molibdeno** que no se recoge en ningún otro de los espectros realizados. Por lo tanto, este isótopo provendría de la descomposición de algún otro isótopo que el detector de canales no es capaz de contar por la limitación en energías, pues la larga vida de la muestra frente a la vida media del isótopo, nos lleva a pensar que si hubiera Mo entre sus componentes iniciales, ya estaría totalmente agotado.

Pero esta hipótesis no es comprobable sin un espectro que recoja un rango más amplio de energías (más canales).

La otra posibilidad es deducir de la existencia de las trazas de los dos elementos que se hallaban en el laboratorio y estaban cerca las muestras y contaminaban el espectro. Pero dada la alta directividad del contador, por el blindaje que poseía, resulta una posibilidad un poco increíble. Deduzco pues de este pico que, como Aristóteles, no se nada.

En realidad me inclino a creer que el pico pertenece al Mo, pues la posibilidad de que se "cuelen" en el detector las suficientes partículas como para dejar huellas no es realmente creíble y la otra hipótesis parece mucho más plausible.

El tercer pico se encuentra situado en una energía de $0'667 \pm 0'0096 \text{ Mev}$. Este pico tiene una identificación muy fácil (ya iba siendo hora) puesto que con esta energía sólo hay un isótopo que irradie gammas. Se trata del **I132**. Pero su vida media vuelve a ser de horas, por ello pensaremos igual que en el caso anterior, que proviene de la descomposición de algún isótopo más grande que no refleja el detector.

Otro de los espectros realizados es el del Eu152 (Gráficas 20 y 21). En el podemos observar que de todos los picos del mismo, el único que pertenece al Eu es el que está ampliado, cuyo máximo está sobre $1'11 \pm 0'009 \text{ Mev}$. Comprobando a qué isótopo pertenece esta traza, veremos que es una de las huellas del Eu152. Los otros picos que aparecen se deben achacar, o bien a desviaciones estadísticas del cero para los últimos picos, muy poco visibles, o bien a elementos ya identificados antes, como el pico de $0'11 \text{ Mev}$ correspondiente al **Yb169**. El pico centrado en $0'35 \text{ Mev}$ puede pertenecer a dos isótopos distintos, como son el Ba133 y el Zr97. El Ba tiene una vida media de años, 10'5 a., mientras que el Zr de horas, 16'9 h., por ello creo que en realidad el isótopo que irradia es el **Ba133**.

Otro de los experimentos realizados consistió en comprobar como la eficiencia del detector dependía de la energía e intentar hallar una forma funcional de esta dependencia.

Llamamos **eficiencia del detector** a la capacidad de un detector de observar las partículas que llevan asociadas una determinada energía. La razón de que cambie con la energía estriba, lógicamente en el proceso físico que nos permite cuantificar el número de partículas. Resulta que hemos de provocar la aparición de un fotón para poder cuantificar la energía.

Pero la probabilidad de que la energía que lleva el electrón se disperse en forma electromagnética no es una función constante.

Esto debería reflejarse en la eficiencia del detector, como así sucede. Podemos observar en la **gráfica 22** que se observa con claridad una ley exponencial decreciente. También comprobamos como en seguida se estanca acercándose a una **constante de eficiencia**, en trono al 0'7 %, que sería el error que habría que tener en cuenta si quisiéramos sacar de los datos obtenidos algún tipo de datos acerca de la actividad de algún elemento.

Una última posibilidad de estos aparatos estriba en la posibilidad de hallar la atenuación de radiación que es capaz de provocar un determinado compuesto o elemento de la radiación gamma (Gráficas 23 a 29). La atenuación de radiación se produce por choques da la radiación con los átomos del material y sigue una ley exponencial decreciente, como casi todo en la física nuclear si no consideramos explicaciones cuánticas para estos fenómenos. Esta exponencial depende de dos factores. El espesor del material atenuante y su densidad. Para integrar ambos en la misma ecuación y evitar también una excesiva dependencia del material a utilizar que impediría observar generalidades, se define el **espesor másico** como el espesor del material dividido por su densidad.

En función del espesor másico de varias **muestras de Al**, intentamos comprobar la veracidad de esta ley. Por las gráficas 23 a 27 podemos comprobar ya de forma cualitativa esta afirmación, la caída del número de partículas cuando aumenta el espesor másico. En las dos gráficas siguientes, la 28 y 29 podemos comprobar esta ley para los dos picos energéticos más intensos de las gráficas anteriores. Expresé esta ley en función de la atenuación relativa, que no es más que el número de partículas dividido por el máximo de ellas que se recogió. Así también podemos observar que para cada energía la función exponencial es distinta. Fijémonos en las dos posibilidades.

Cuando la energía del pico es de **0'11 Mev** , podemos observar una ley de atenuación que cae rapidísimamente. La función se acerca muy rápidamente a una constante que indicaría que de toda la radiación incidente, hay una cantidad que ningún espesor es capaz de atenuar.

Si consideramos el pico de **0'34 Mev**, podemos comprobar como la función exponencial decae mucho más despacio y mucho más suavemente. Sin embargo, para aceptar que cuanta más energía de las partículas incidentes más se suaviza la curva de atenuación, deberíamos tener datos más concluyentes pues podemos observar que el error de este pico es realmente amplio, de forma que no podemos decidir realmente si esa curva se ajusta a la realidad o no.

3.- Conclusiones

Ya para terminar podríamos afirmar que sí se observa experimentalmente la atenuación gamma por parte del Al y la ley exponencial que lo gobierna.

Como ya comenté en el análisis de los espectros, me resultó muy dificultoso dilucidar qué elementos se situaban en los picos que encontramos. Para poder subsanar este error sería interesante poder disponer de más tiempo para realizar los espectros, además de una publicación de los datos más adecuada a su tratamiento, por ejemplo que los datos salieran en código ASCII, como sucede en casi todos los programas científicos.

En general se recogieron una serie de datos que, si bien podían ser mejores, son lo suficientemente buenos como para entender y observar de forma experimental algún fenómeno radioactivo de la máxima importancia, con lo cual nos encontramos ante unas prácticas que cumplen su trabajo, si bien sale del pellejo de los que las realizamos

Laboratorio De Nuclear – Espectroscopía Gamma