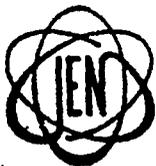


INSTITUTO DE ASUNTOS NUCLEARES

RADIOMETRIA AMBIENTAL



RAFAEL GAETA C.

Licenciado en Química

Doctor en Física

Jefe Sección de Proyectos del Instituto
de Estudios Nucleares

Junta de Energía Nuclear - España

Experto del OIEA en misión en el IAN -

Area de Química

BOGOTA, JULIO DE 1986

1. INTRODUCCION.

La vigilancia radiológica en las centrales nucleares, asegura un control adecuado sobre la concentración de radionucleidos en efluentes, a fin de poder estimar la exposición radiológica sobre la población, y mantenerla por debajo de límites máximos de tolerancia, establecidos legalmente sobre la base de una máxima seguridad, reflejada en un nivel de radiactividad ambiental, que no ocasione daños biológicos estadísticamente detectables.

Para esta finalidad, en las centrales nucleares se realizan regularmente un conjunto de medidas tendentes a la identificación cualitativa y cuantitativa de radionucleidos en efluentes, a fin de seguir sus vías de dispersión desde los puntos de descarga, hasta que alcanzan el entorno de poblaciones. Estos estudios pretenden conseguir básicamente información adecuada sobre los siguientes puntos: 1) Identidad y actividad de radionucleidos en efluentes. 2) Influencia del funcionamiento de la central en la descarga de radionucleidos. 3) Grado de dispersión o concentración en el ambiente. 4) Evaluación de la importancia relativa de radionucleidos y vías de acceso a colectividades humanas. 5) Magnitud de la exposición radiológica. 6) Aplicabilidad de métodos de medida a casos específicos.

La obtención de esta variada información plantea usualmente problemas típicos peculiares de las medidas de actividades débiles y muy débiles y en consecuencia, se estudiarán aquí las particularidades de estas técnicas, en sus vertientes específicas de análisis de productos de fisión, corrosión, y activación en bajas concentraciones, en el orden de actividades específicas entre 1 nCi/g. y 0.1 pCi/g. (37 Bq/g. a 3.7 mBq/g.).

2. PRINCIPIOS DE MEDIDA DE ACTIVIDADES DEBILES.

Los problemas básicos que suelen plantearse en las medidas de radionucleidos en baja concentración, son en general análogos a los que se presentan en las medidas de mayor actividad, ya que en ambos casos, el objetivo es la determinación cualitativa de la naturaleza de radionucleidos presentes en mezclas, a partir de la medida de las energías de los grupos de partículas o fotones presentes en la muestra, y la evaluación cuantitativa de las respectivas actividades, habitualmente a partir de las intensidades de dichos grupos. Es por ello, por lo que el estudio del detector más adecuado, y la optimización de las condiciones de medida, sean factores comunes en todas las medidas de actividad, pero en el caso de las débiles, reviste igualmente gran importancia el muestreo y la preparación de las fuentes radiactivas.

Generalmente, la primera condición que debe ser satisfecha es la disponibilidad de un sistema detector de alta calidad, cuya elección vendrá condicionada por el tipo de desintegración del radionucleido estudiado, así como las propiedades físicas de la muestra que lo contiene.

La precisión y la sensibilidad alcanzable en cada medida, viene limitada usualmente por la indeterminación estadística, que depende por una parte de la actividad neta máxima alcanzable con la fuente y de otra, de la presencia de cuentas espúreas o fondo: éste se mide usando una "fuente de fondo" que es lo más análoga posible a la fuente a medir, salvo a la ausencia del radionucleido estudiado. La actividad de la muestra se mide comparando el contaje neto de la muestra problema con otra patrón, que es idéntica a la anterior salvo en que contiene el radionucleido de interés en concentración conocida.

La actividad ambiental se suele encontrar en general en estado de gran dilución sobre flora, fauna, agua, suelos y aire. la técnica de muestreo debe ser precisa, representativa, y capaz de asegurar la captación de una cantidad de actividad suficiente para la ejecución de la medida.

Si la muestra debe sufrir cualquier posible tratamiento físico o químico tendente a concentrar la actividad, a fin de que la medida se realice en mejores condiciones, el rendimiento de concentración debe ser constante, y la operación conducida de forma tal, que se evite la contaminación, tanto isonucleídica, como heteronucleídica.

3. PRECISION Y EXACTITUD EN LA MEDIDA DE ACTIVIDADES DEBILES.

Las medidas radiológicas ambientales plantean problemas difíciles, no solo los genéricos propios de la Metrología Nuclear, sino también otros específicos, entre los que destaca alcanzar precisión (error estadístico bajo) y exactitud (error sistemático mínimo) suficientes, en las condiciones más o menos difíciles, pero siempre engorrosas, que imperan en este tipo de medidas.

En primer lugar, un problema importante deriva de la precisión estadística alcanzable en una medida de actividad débil. Supongamos que mediante un detector perfecto (tiempo de resolución y fondo nulos, totalmente estable) se realiza una serie de medidas consecutivas de la actividad de una muestra de periodo muy largo. Los resultados que se obtienen presentan una marcada variabilidad: la razón de este comportamiento, es que el proceso de desintegración es de carácter aleatorio, por cuya razón de las medidas fluctúan alrededor de un valor medio, al que se considera como el resultado más plausible de la medida.

Sin embargo, la medida experimental de esta media aritmética exigiría un gran número de medidas, a fin de que el valor obtenido fuera representativo, solución inaceptable por requerir un tiempo muy dilatado.

Afortunadamente, se sabe que la desintegración radiactiva sigue la distribución estadística de Poisson, lo que permite fijar un índice de precisión para el resultado de una única observación: y en efecto, si tomamos como intervalo de confianza del resultado de una medida, N , su raíz cuadrada (desviación típica) el resultado expresado en la forma $N \pm \sqrt{N}$, indica que la probabilidad de que la media aritmética, que obtendríamos en un gran conjunto de medidas, esté comprendida en el intervalo citado, es de 64%.

Sin embargo, en caso real, la situación es más complicada, ya que el detector registra un número variable de cuentas (fondo) en ausencia de muestra, y en estas condiciones se demuestra (si el fondo es de naturaleza radiactiva) que el error estadístico de la medida de la actividad neta, A (diferencia entre actividad total S y el fondo B es, $\pm \sqrt{S+B}$.

Esta situación supone una complicación importante en las medidas de baja actividad. Por ejemplo, si $S = 6$ cuentas/m, $B = 3$ cuentas/min, $A = 3 \pm \sqrt{9} = 3 \pm 3$ cuentas/m, o sea que el resultado adolece de una incertidumbre estadística de un 100%, si la duración de la medida es un minuto. Afortunadamente se puede disminuir el error relativo aumentando la duración de la medida, pero esta posibilidad viene limitada por la inestabilidad del sistema, y la existencia de fluctuaciones no ligadas a la desintegración de la muestra.

En estas condiciones y a fin de evaluar el comportamiento de un detector en la medida de actividades débiles, se usa un factor de mérito, correlacionado con las condiciones en las que

se puede alcanzar una máxima precisión estadística. Dicho factor es $F = S^2/B$ e indica que para mejorar la precisión de una medida, se debe bien disminuir el fondo del detector o lo que es más efectivo, aumentar su rendimiento.

En las medidas de actividad débil, es cuestión fundamental maximizar el factor de mérito, y éste es uno de los condicionantes que permiten en cada caso la elección del detector más adecuado.

4. EL FONDO EN LAS MEDIDAS DE BAJA ACTIVIDAD.

Como ya se ha visto en el capítulo precedente, la presencia de cuentas espúreas, que no proceden del radionucleido estudiado, reduce en mayor o menor grado la precisión en el cálculo de la actividad neta de la muestra. Este fondo está formado por varios componentes, comunes a todos los sistemas de medida, aunque su importancia relativa varía según el tipo de detector.

Existen dos fuentes fundamentales de cuentas de fondo, la primera de las cuales es la acción de radiación ionizante no procedente del radionucleido y de la muestra medida, al interactuar en el detector o materiales del mismo, y la segunda, en impulsos de origen instrumental (ruido electrónico, perturbaciones electromagnéticas, ruido termoiónico en fotomultiplicadores, descargas en aislantes etc.). Desde el punto de vista de su procedencia las fuentes de fondo se pueden clasificar en cuatro categorías:

- 1) Radiactividad ambiente.
- 2) Radiación cósmica.
- 3) Ruido instrumental.
- 4) Reactores o aceleradores próximos.

La importancia relativa de estas cuatro fuentes de fondo depende de la propia medida, y del tipo y emplazamiento del detector. Veamos pues cuales son las peculiaridades de cada uno de estos.

4.1. FONDO RADIATIVO.

En este grupo se incluye la componente de fondo debida a radionucleidos distintos de los estudiados, que se encuentran diseminados en el medio ambiente, en componentes del detector o incluso en la propia muestra. Entre estos radiocontaminantes distinguiremos dos grupos: los naturales entre los que destacan el ^{40}K y los radionucleidos precedentes de las cadenas radiactivas del uranio, torio, y actinio, y los artificiales, tales como radionucleidos de fisión procedentes de reactores y pruebas nucleares, y de activación, utilizados en cantidad creciente en la industria.

La difusión de radionucleidos en el ambiente tiene como consecuencia, que se encuentren presentes en proporciones variables en la mayor parte de materiales utilizados en la construcción de blindajes o detectores. En general, los compuestos orgánicos, tales como los plásticos, contienen menos radiocontaminantes que los inorgánicos, pero esto no puede considerarse como regla general, y la única premisa útil es suponer la existencia de contaminación en todo tipo de material, mientras no se demuestre lo contrario. Incluso el aire en el caso más favorable, presenta una contaminación de ^{222}Ra que emana de la tierra y de algunos materiales de construcción tales como cemento y ladrillos.

El plomo, material usado abundantemente como blindaje, se encuentra a menudo contaminado con radionucleidos de las cadenas procedentes del ^{232}Th y ^{238}U , y el acero, con ^{60}Co , proceden-

te de los testigos de cobalto colocados en el refractario de los hornos altos. Los productos de fisión de periodo largo se encuentran igualmente diseminados entre los materiales citados.

4.2. FONDO DE RADIACION COSMICA.

La radiación cósmica que incide en la atmósfera exterior de nuestro planeta, está compuesta principalmente por núcleos ligeros, predominando los protones de alta energía. La mayor parte de estas partículas pesadas producen reacciones nucleares con los gases atmosféricos, dando lugar a partículas secundarias y fotones, que son los componentes que alcanzan la superficie terrestre.

La contribución de la radiación cósmica al fondo de detectores provistos de blindajes puede clasificarse en dos grupos: 1) La ocasionada directa o indirectamente por mesones μ 2) La producida por la componente nucleónica (esencialmente protones y neutrones).

La primera componente, sobre la que ejercen poca atención los blindajes habituales, produce impulsos tanto por acción directa en los detectores, como por interacciones secundarias en blindajes.

Respecto a la componente nucleónica, el efecto más importante se debe a fotones gamma originados en la captura de neutrones por los materiales del blindaje.

4.3. FONDO INSTRUMENTAL.

La contribución del ruido generado en la cadena electrónica es en principio la más fácil de reducir. En primer lugar se deben eliminar las perturbaciones que se propagan en las líneas de

energía eléctrica, instalando transformadores de aislamiento y filtros de red. Toda la instrumentación deberá estar provista de una buena toma de tierra, en la que se evitará la formación de lazos.

4.4. FONDO DE INSTALACIONES RADIATIVAS.

Las instalaciones radiactivas entre las que naturalmente se encuentran las centrales nucleares, aceleradores, etc. pueden por su propia naturaleza ocasionar incrementos sustanciales de fondo en laboratorios de medida cercanos: como norma, las instalaciones de medida de actividades débiles deben situarse lo más lejos de estas fuentes de perturbación, pero en casos en que no se pueda eludir una cierta proximidad, conviene que la separación mínima sea de unos 500 m.

5. PRINCIPIOS GENERALES DE REDUCCION DE FONDO.

5.1. BLINDAJES.

El apantallamiento radiactivo de un detector de actividad débil, comienza con la elección del emplazamiento del laboratorio y su construcción. Si la instalación se encuentra situada en el sótano de un edificio de varios pisos, se alcanza una atenuación drástica de la componente nucleónica de la radiación cósmica, aunque poco importante de la muónica. Por ejemplo, un espesor de 5 m. de cemento sobre el laboratorio reduce la componente nucleónica en un factor 400, pero solo en un factor 1.4 la muónica. Por ello, una reducción significativa de la componente muónica primaria o secundaria solo se alcanza en laboratorios subterráneos, solución idónea, aunque por razones prácticas, no siem-

pre factibles.

Los materiales de construcción del propio laboratorio deben estar cuidadosamente seleccionados para reducir el efecto de la radiación gamma procedente de radionucleidos naturales, en especial del ^{40}K y miembros de las cadenas naturales del uranio y torio, en particular la emanación del ^{222}Rn . Para reducir estos efectos, en especial en laboratorios subterráneos, se deben recubrir todas las superficies del recinto con una capa de unos 40 cm. de cemento, de muy bajo contenido de radiactividad. Por otra parte se debe prever una adecuada ventilación, para evitar la acumulación de radionucleidos procedentes de la desintegración del ^{222}Rn .

El propio detector debe estar igualmente provisto de un blindaje formado por materiales adecuados, cuya radiactividad intrínseca sea mínima, a fin de evitar los efectos residuales de fotones gamma y neutrones. En la selección de materiales se deben tener en cuenta ciertos detalles importantes. Por ejemplo, el plomo es un excelente componente de blindajes, pero a condición de que el metal proceda de un mineral, en el que el tiempo transcurrido desde su beneficio sea lo suficientemente largo, para que decaiga suficientemente el ^{210}Pb ($T = 20$ años). Por ello es actualmente muy buscado para esta finalidad, el plomo procedente del lastre de buques antiguos desguazados.

El mercurio, doble o triple destilado y contenido en recipiente de plástico o acero, es igualmente un buen material.

Se debe finalmente tener en cuenta que uno de los efectos de la interacción de la radiación cósmica en los elementos pesados de los blindajes, consisten en la "evaporación de neutrones", que termalizados y absorbidos en el blindaje pueden producir un fondo indeseable de radiación gamma de captura. Por evitar este efecto suelen usarse blindajes de absorción, de unos 15 cm. de es

pesor, formados por parafina borada.

5.2. DETECTORES DE ANTICOINCIDENCIA.

Dada la circunstancia de que una parte importante del fondo observado en detectores procede de la radiación cósmica, una idea conducente a su eliminación o al menos una importante reducción, consiste en rodear el detector principal con otro de guarda, que funciona usualmente respecto al primero en anticoincidencia, lo que significa que solo se registran impulsos procedentes del detector principal, que no coinciden temporalmente con otros procedentes del detector de guarda. Entre ambos detectores suele instalarse un blindaje de mercurio triplemente destilado, para eliminar la radiación gamma inducida por mesones μ sobre el blindaje exterior.

El sistema más económico para el manto de anticoincidencia, es un anillo de contadores Geiger o proporcionales, pero modernamente se usan detectores de centelleo formados por plástico o un cristal de INa(Tl), que aunque de mayor precio, cumple mucho mejor las condiciones requeridas. En la figura 1 se puede apreciar el esquema de un detector provisto de manto de anticoincidencia.

5.3. OTROS METODOS DE REDUCCION DE FONDO.

Aunque es muy efectiva, la reducción de fondo utilizando blindajes adecuados y detectores de guarda en autocoincidencia existen ciertas ocasiones en que se precisa una reducción de fondo drástica, al limite más extremo posible. Aunque no serán descritas aquí, merecen citarse los métodos basados en la energía total disipada (análisis de amplitud de impulsos), densidad de ionización (análisis de tiempo de elevación), alcance de las par

tículas, y coincidencias partícula-fotón, o fotón-fotón.

5.4. CONSTITUCIÓN TIPICA DE BLINDAJES.

Como indicación de la composición y estructura de un blindaje convencional, en detectores de bajo fondo, la disposición a partir del detector sigue una pauta análoga a la siguiente:

- 1) Blindaje interno, formado por 2-3 cm. de mercurio triplemente destilado en un recipiente de plástico o acero seleccionado, o 3 cm. de plomo o acero selecto. La parte interior debe tener un filtro mixto de rayos X formado por 0.5 mm. de cobre, y 0.5 mm. de cadmio.
- 2) Detector anular de anticoincidencia.
- 3) Blindaje neutrónico, compuesto por 15-20 cm de parafina borada (10% de ácido bórico).
- 4) Blindaje exterior formado por 20-25 cm. de acero, ó 10 cm. de plomo "anteriores a la era nuclear".

Finalmente, en la tabla I se puede apreciar la reducción de fondo que se alcanza con la aplicación de los métodos descritos, en un detector proporcional de 1.5 l, lleno de metano a la presión de 1200 Torr.

TABLA I

<u>FORMA DE OPERACION</u>	<u>FONDO, CPM</u>
Sin blindaje	400
con blindaje (Fe + Pb)	170
con anticoincidencia	0.45
ventana ³ H	0.25
laboratorio subterraneo	0.05

6. METODOS ESPECIFICOS.

6.1. DETECTORES DE RADIACION GAMMA.

La medida de la radiación gamma o X emitida por radionucléidos, es un medio poderoso y de amplia utilización en la determinación de componentes radiactivos individuales o en mezclas. Las razones de esta preferencia son, por una parte el gran poder de penetración de la radiación, que simplifica la técnica de preparación de muestras, y por otra, la selectividad energética, que permite el análisis individual de componentes en mezclas complejas.

En general, los sistemas en el análisis de emisores gamma trabajan en régimen espectroscópico, de tal suerte que la interacción de fotones gamma monoenergéticos en el detector produce un espectro, cuyos componentes esenciales son, una distribución continua (zona Compton) y una línea fotoeléctrica de forma gaussiana (fig. 2). Esta última es la que presenta mayor interés analítico, ya que la abscisa de su máximo es proporcional a la energía de los fotones primarios, mientras que su área es proporcional a la actividad de la fuente.

Un parámetro importante en estos detectores es la resolución energética, que expresa en valor absoluto o relativo la anchura del pico fotoeléctrico, medida a la mitad de su altura. Es deseable que esta resolución sea lo mejor posible, para evitar que en los casos en que varias líneas se encuentran próximas, no se produzcan efectos de oclusión, situación en la que aparece un pico ancho único, en el que se pierde la información sobre los picos componentes.

En los detectores utilizados en espectrometría gamma los sistemas de centelleo provistos de cristales de Na(Tl) gozan de

grandes preferencias, ya que se pueden fabricar en tamaños grandes, y su rendimiento de detección es de los más elevados. La principal dificultad que presentan es su mediocre resolución en energía (8-10%), lo que tiene como consecuencia que este espectrómetro sea inutilizable en el estudio directo de mezclas complejas de radionucleidos. Cuando la resolución energética no sea una condición tan restrictiva (ausencia de radionucleidos que produzcan interferencia) estos detectores son preferibles en medidas de baja actividad, especialmente en el caso de muestras muy voluminosas.

En los casos en que resulte necesaria una resolución energética óptima, los espectrometros de Ge(Li) ocupan un lugar preferente y están desplazando a los detectores de INa(Tl) en muchas aplicaciones. Estos detectores presentan una resolución energética inferior a 2 keV (para la línea de 1.33 MeV del ^{60}Co) y su rendimiento es aceptable ya que existen comercialmente sistemas provistos de cristales de gran tamaño, hasta de 100 cm^3 . La dificultad principal, aparte de su precio elevado, es la necesidad de mantener el detector a la temperatura del nitrógeno líquido, lo cual plantea problemas de mantenimiento e instalación.

Las ventajas de los detectores de Ge(Li) son muy importantes. En primer lugar, la excelente resolución energética, unas 20 veces mejor que la del INa(Tl), permite la resolución de líneas gamma próximas en energía, con lo que se aminoran los efectos de interferencia y se facilitan las fases de separación radioquímica. Por otra parte, se puede reducir el fondo como consecuencia de la discriminación energética resultante de medir en ventanas de amplitud reducida.

Los sistemas de Ge(Li) para la medida de actividades débiles han alcanzado actualmente un grado de funcionalidad. Los sistemas más perfeccionados incluyen dos detectores de Ge(Li)

montados con un manto de anticoincidencia (figura 3).

Las cadenas electrónicas asociadas han adquirido un grado elevado de complejidad (figura 4), estando formados por unidades modulizadas que admiten una gran versatilidad de montaje. Por otra parte, los analizadores multicanales han sido substituidos por miniordenadores rápidos con una gran capacidad de memoria, y que permiten no solo la acumulación de un gran número de datos, sino también su tratamiento en tiempo real, lo que facilita la obtención de los parámetros deseados en la medida.

En los sistemas provistos de un manto de anticoincidencia, aparte de la ventaja esencial de reducción de fondo, presentan otra no menos importante y es la reducción de las distribuciones Compton, (figura 5) lo que facilita la detección de componentes de muy baja actividad que cabalgan en distribuciones de otros picos de mayor energía (figura 6). En la figura 7 se puede apreciar la ventaja del espectrometro de Ge(Li) en la medida de una muestra de liquen, en la que superponen los espectros tomados con este detector y otro de INa(Tl), en el que se observa la pérdida de la mayor parte de detalles. Las figuras 8, 9 y 10 incluyen espectros de musgo, filtros de aire, y suelos, como ejemplo de utilización en medidas ambientales.

7. DETECTORES DE PARTICULAS BETA.

7.1. CONTADORES DE IONIZACION.

Entre estos detectores, los contadores GM y proporcionales encuentran en el campo de medida de actividades débiles una gran aplicación. En especial, el hecho de que en el contador proporcional el impulso varíe linealmente con la energía disipada por la partícula en el detector, hace posible no solo la identifi

cación de radionucleidos, sino también permite una reducción substancial de fondo.

Las aplicaciones más importantes de ambos tipos de detectores se encuentra en el campo de los emisores beta, en especial los de baja energía no acompañados de emisión gamma, tales como el ^3H . En estos casos, si la muestra se cuenta con un detector de ventana, los procesos de autoabsorción de partículas en la propia fente y la absorción en la ventana reducen el rendimiento de de - tección y el factor de mérito, a valores muy bajos. Por ello, el procedimiento operativo consiste en gasificar la muestra, de forma que sea compatible con una adecuada mezcla de gas del contador: en este caso se pueden alcanzar rendimientos de hasta 95%. Los contadores utilizados en estas medidas adoptan la configuración de cilindros de metal o plástico, cuyo volumen varía de 0.1 a 10 l. según el tamaño de la muestra, y operan rodeados de un detector de anticoincidencia, y de un blindaje análogo al descrito en 5.2. Dado que en los emisores beta de baja energía, el alcance de estas partículas es inferior a las dimensiones del contador, las partículas cargadas disipan la totalidad de su energía en el gas del detector. Esta favorable situación facilita que el detector trabaje en condiciones espectrométricas, y dado que los espectros beta se extienden sobre zonas energéticas definidas mientras que el fondo abarca un intervalo efectivo mucho mayor, es posible, limitando el análisis a una ventana que comprenda únicamente el espectro beta, obtener una apreciable disminución de fondo.

7.2. DETECTORES DE LIQUIDO DE CENTELLEO.

Ya se ha visto en el capítulo anterior que un método para medir la actividad de emisores beta puros era introducir las muestras en forma de gaseosa en contadores proporcionales, a fin

de evitar los efectos de absorción y autoabsorción. Otro método, tendente a alcanzar la misma meta, es la disolución de la muestra en un líquido orgánico fluorescente, en el cual las partículas cargadas producen destellos luminosos, que se detectan mediante fotomultiplicadores.

Este sistema de medida, llamado detector de líquido de centelleo, constituye hoy día una herramienta imprescindible en la medida rutinaria de radionucleidos emisores alfa, beta y X de actividad media, tales como ^{239}Pu , ^3H , ^{89}Sr , ^{90}Sr - ^{90}Y , etc. Su ventaja más esencial es el elevado rendimiento de contaje, y la rapidez y facilidad de preparación de muestras, por lo que convenientemente adaptado, puede ser utilizado en casos favorables en medidas de actividades débiles.

Los espectrométros de líquido de centelleo modernos tienen los siguientes componentes: el vial, que contiene la muestra disuelta en el líquido de centelleo, es situado por medio de un cargador automático entre los fotocátodos de dos tubos fotomultiplicadores de ruido bajo, operados en coincidencia para reducir el fondo. La cadena electrónica está formada esencialmente por un amplificador cuya salida se conduce a un analizador monocanal seguido de la correspondiente escala.

Aunque los sistemas comerciales de líquido de centelleo ofrecen la dificultad de un fondo relativamente alto, poseen dos ventajas importantes: rendimiento elevado y posibilidad de introducir una cantidad importante de muestra en el vial. Es por ello, por lo que se ha estudiado el fondo de estos sistemas con vistas a su minimización. Los componentes más importantes del fondo son:

- 1) Radiación gamma de componentes y entorno.
- 2) Ruido en fotomultiplicadores.
- 3) Radiación cósmica.

El primer componente puede reducirse introduciendo la cámara de detección en un blindaje de plomo de 5-10 cm, y utilizando fotomultiplicadores con ventana de cuarzo y viales de plástico, extremando en todos los componentes del sistema un mínimo de contaminación de emisores gamma.

El ruido en los fotomultiplicadores se aminora por selección de tubos y coincidencia con tiempo de resolución corto. En cuanto a la radiación cósmica, un manto de anticoincidencia deprime este efecto hasta un límite razonable.

Los espectrómetros de centelleo presentan otras dificultades tales como inestabilidad (evitable hasta límites tolerables utilizando mejores componentes en la cadena electrónica), o variaciones de fondo, así como efectos ligados a fosforescencia, quimio luminiscencia, y procesos de degradación de energía a calor en vez de luz (extinción). El evitar o corregir tales efectos supone simplemente una buena disciplina en la preparación de muestras y manejo del espectrómetro.

8. DETECCION DE PARTICULAS ALFA.

Este tipo de partículas se emiten en la desintegración de un gran número de radionucleidos naturales, en especial en miembros de las cadenas del uranio, torio y actinio. En contraposición a la emisión beta, la desintegración alfa no es común en el campo de los radionucleidos artificiales ya que se extiende practicamente solo en el dominio de los elementos pesados. Algunos de estos radionucleidos p.e. ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , etc., pueden alcanzar el medio ambiente en pequeñas concentraciones, pero dada su extremada toxicidad por ingestión, es muy importante su determinación en muestras ambientales.

Los procesos de detección de partículas alfa tienen dos peculiaridades de gran interés: la linealidad de conversión energía-impulso, y la señal de gran amplitud como consecuencia de la elevada energía de las partículas alfa. Por ello, es posible diseñar detectores alfa con una gran capacidad de discriminación frente a partículas beta y radiación gamma. Por esta razón, el fondo en estos detectores se debe casi exclusivamente a contaminación alfa, por lo que una cuidadosa selección de componentes puede conducir a fondos sumamente bajos.

Un inconveniente importante en la detección de partículas alfa, es que el alcance en la materia es muy pequeño, entre 20 y 100 μm en agua, por lo que en medidas de este tipo en actividades muy débiles es preciso, o bien usar detectores de gran superficie, o algún método de preparación de fuentes en el que se concentre la actividad en la superficie. Por ejemplo, en muchos casos prácticos se trata de medir actividades del orden de 0.1 pCi/g: la importancia de un detector de gran superficie queda patentizado por el hecho de que una fuente gruesa de este material emite tan solo 0.033 $\alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$.

Para la detección de partículas alfa se usan preferentemente detectores de centelleo en el que el medio luminiscente es una capa de microcristales de SZn(Ag) depositados uniformemente sobre un disco de plástico, con espesor másico de 5 mg/cm^2 . Tales detectores poseen un rendimiento de detección superior al 95%, una alta capacidad de discriminación frente a partículas beta o fotones gamma, y fondos del orden de 0.1 cuentas/ $\text{cm}^2 \cdot \text{h}$.

Modernamente se ha utilizado también detectores de barrera de silicio, con áreas hasta 10 cm^2 . Estos detectores, a diferencia del de SZn(Ag) permiten trabajar en condiciones espectroscópicas, lo que unido a la disponibilidad de fuentes finas y uniformes facilita la identificación de los radionucleidos alfa presen-

tes. El fondo de estos detectores es muy bajo, 0.05 cuentas/cm².h, pero se contaminan con facilidad, y en la mayor parte de casos es imposible la descontaminación sin que el detector resulte más o menos dañado.

9. TECNICAS DE PREPARACION DE MUESTRAS.

Los tratamientos de la muestra se refieren a procesos en los que se extrae el radionucleido a medir, separandolo del resto de componentes activos e inactivos, y a su conversión en una forma cuyas características físico-químicas sean adecuadas al tipo de detector. En la preparación de la muestra por otra parte se persiguen dos objetivos: de una parte aumentar la actividad mediante reducción de autoabsorción y por otra disminuir el fondo al disminuir la concentración de otros radionucleidos que ocasionan interferencias.

En un gran número de casos, se puede elegir la posibilidad de medir la emisión beta o gamma. Así por ejemplo, si la masa de la muestra es del orden de gramos y resulta imposible la concentración del radionucleido, presenta ventajas la medida de la radiación gamma. Si por el contrario se puede realizar la concentración en una pequeña masa, la medida de la emisión beta presenta mayores ventajas.

9.1. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS.

La primera fase en las medidas de radiactividad ambiental viene presentada por la toma de muestras, las cuales deben constituir una fracción representativa del material cuya actividad se desea conocer. En esta selección aparecen algunas dificultades peculiares, tales como la garantía de homogeneidad en la toma de la

muestras, así como el número, lugares, y clases de material, para que los resultados sean característicos del compuesto estudiado.

La fase inmediata en el proceso es el tratamiento de la muestra que como ya se ha citado, tiene como fin esencial la extracción total o parcial del radionucleido en estudio. Se deben extremar en esta etapa las precauciones para mantener constante y reproducible el rendimiento de separación.

El tratamiento de la muestra implica usualmente uno de los siguientes tipos genéricos:

- a) Extracción por medios físicos (evaporación, filtración)
- b) Tratamientos químicos (carbonización)
- c) Enriquecimiento isotópico.

La separación de la mayor parte de componentes carentes de interés en la muestra puede realizarse utilizando métodos de concentración relativamente simples, que generalmente representan la primera etapa de un proceso más complejo. Entre estos se encuentran por ejemplo técnicas de evaporación o liofilización, mediante las que se elimina agua en las muestras vegetales o animales. La filtración es un proceso que se usa por ejemplo, en muestras de aire para la separación de partículas en suspensión.

Entre los métodos químicos la forma más común de tratamiento es la combustión: en estos casos por ejemplo, los elementos metálicos se recuperan en las cenizas mientras que otros, tales como ^3H , ^{14}C , ^{35}S , se arrastran en los gases de combustión.

Otros tratamientos químicos selectivos son los basados en columnas de resinas de intercambio iónico, que ofrece un excelente método de fraccionamiento en grupos, de los productos de fisión contenidos en agua o leche. Combinando la espectrometría gamma de alta resolución con estos métodos de separación, se pueden analizar con buena precisión los productos de fisión incluso en

niveles de actividad baja.

Igualmente como ejemplo de separación de radionucleidos se pueden citar métodos basados en procesos de adsorción, tales como el tratamiento de grandes volúmenes de agua con dióxido de manganeso para aislar los productos de fisión.

Citaremos finalmente el enriquecimiento isotópico, método para la separación de nucleidos, según su número másico, A complementando las separaciones químicas según el número atómico Z . En el dominio de las actividades ambientales, las aplicaciones más importantes del enriquecimiento isotópico, se limitan a elementos ligeros, en los que las diferencias másicas introducen fuertes diferencias de comportamiento físico o incluso químico.

Estos métodos se han aplicado casi exclusivamente al ^{14}C y ^3H y requieren un cuidadoso control de la reproducibilidad del grado de enriquecimiento a fin de evitar contaminación o fraccionamiento isotópico incontrolados.

En el caso del ^3H se han aplicado a este fin métodos basados en destilación, difusión térmica, cromatografía de gases, y electrolisis: este último método es el más conocido y utilizado en medidas de tritio en muy bajas concentraciones.

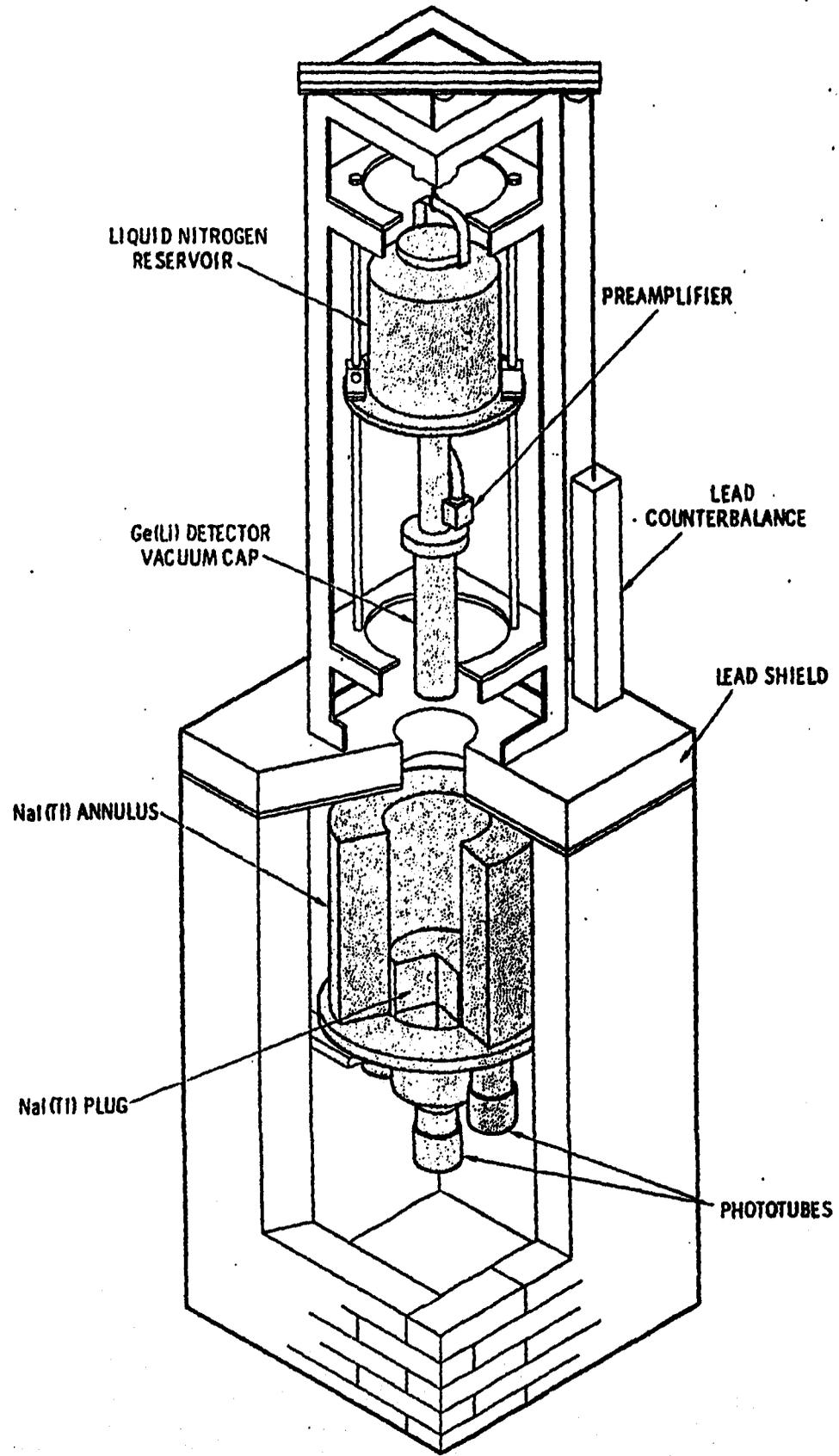


Figura.. 1

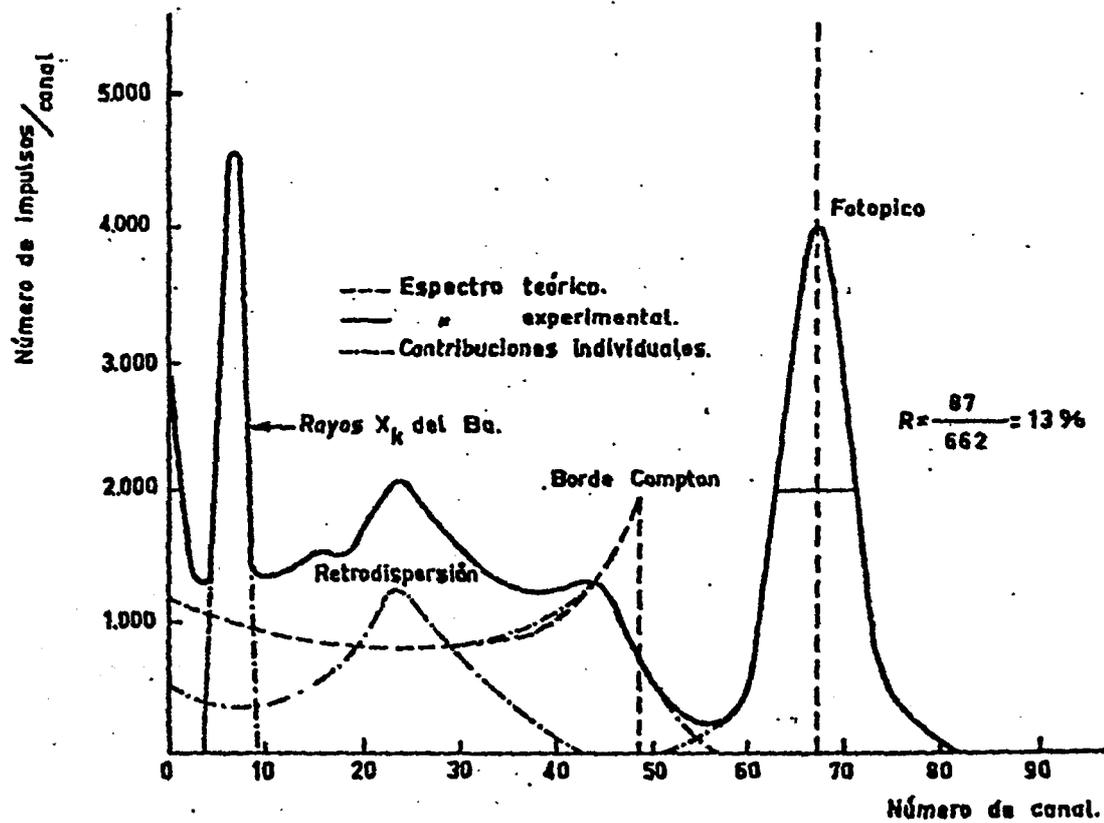


Figura. 2

ANTICOINCIDENCE SPECTROMETER SYSTEM

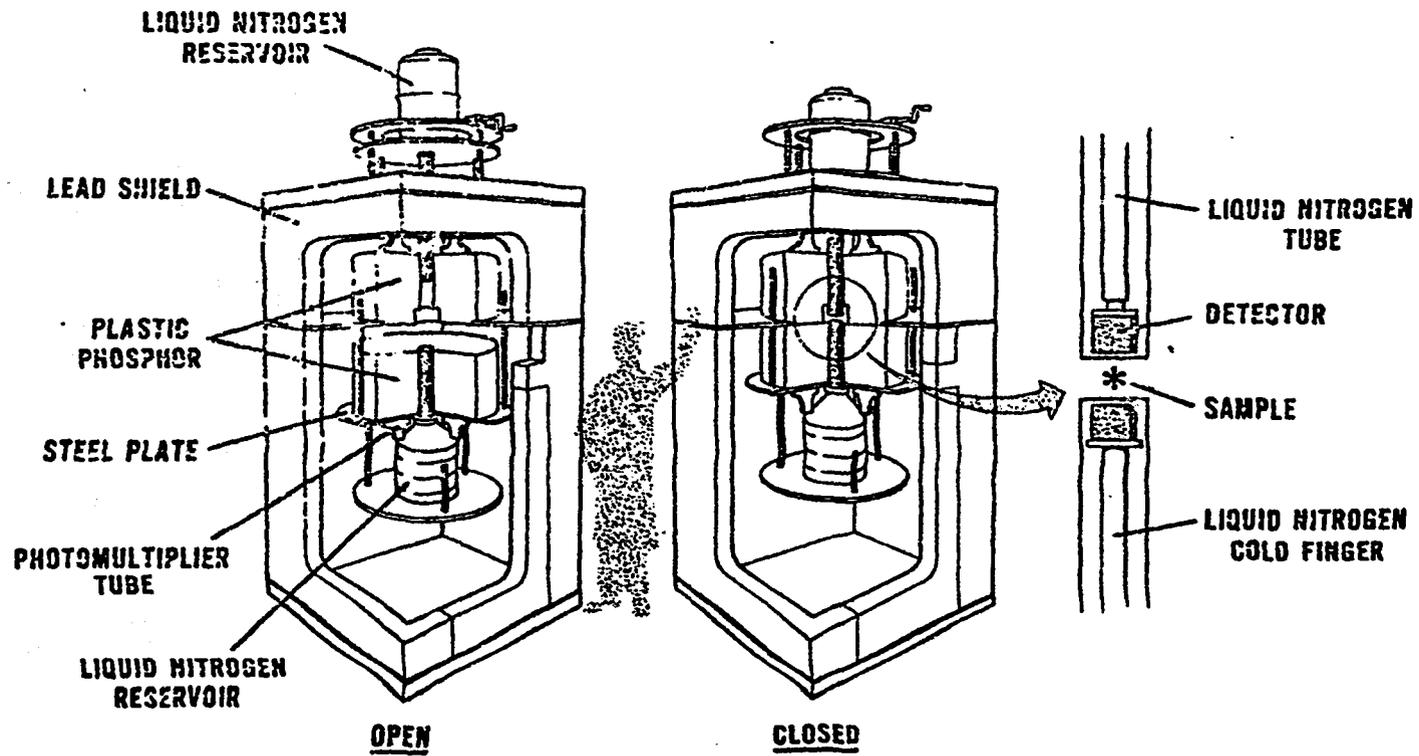


Figura.3

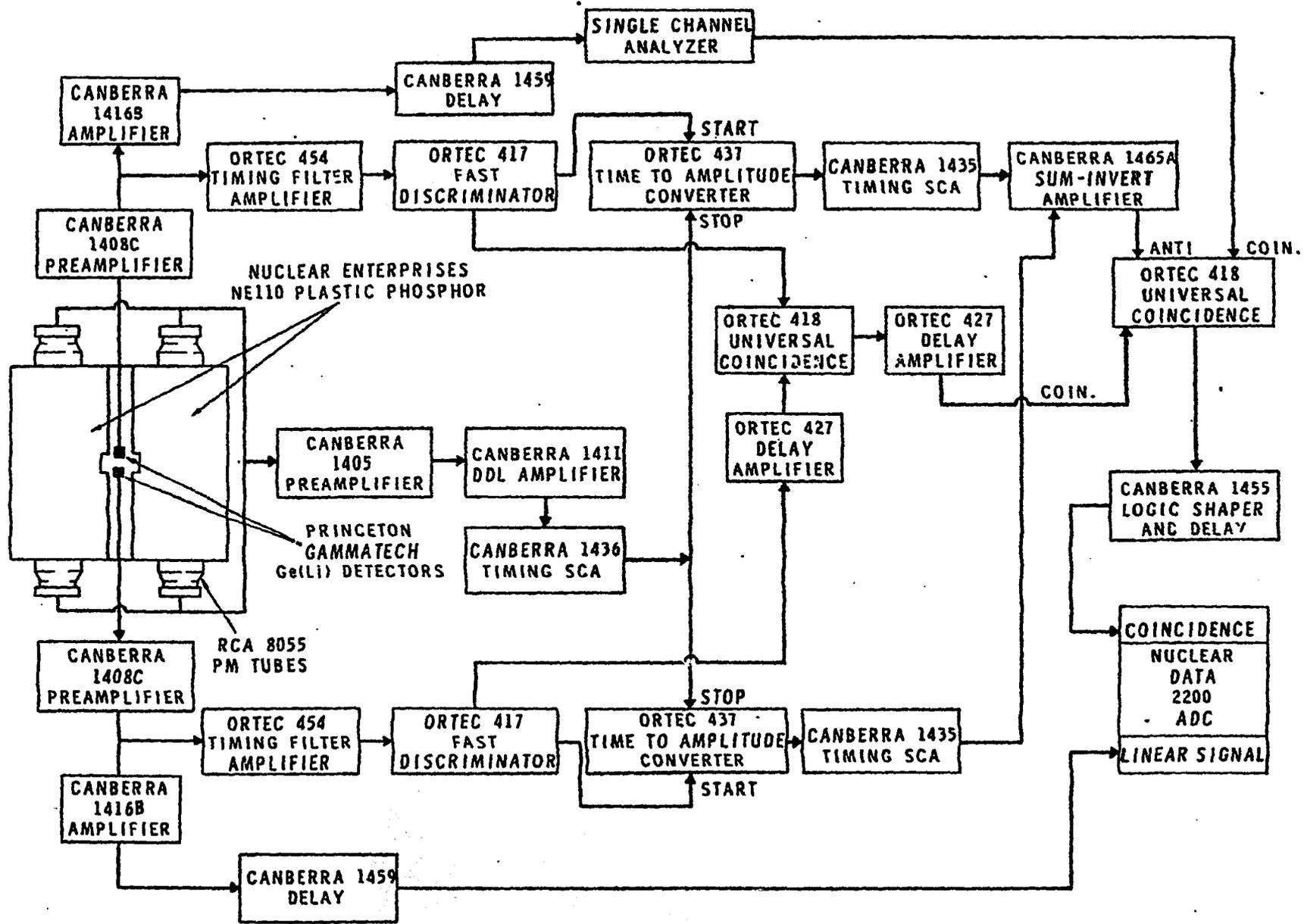


Figura. 4

GAMMA-RAY SPECTRA OF ¹³⁷Cs

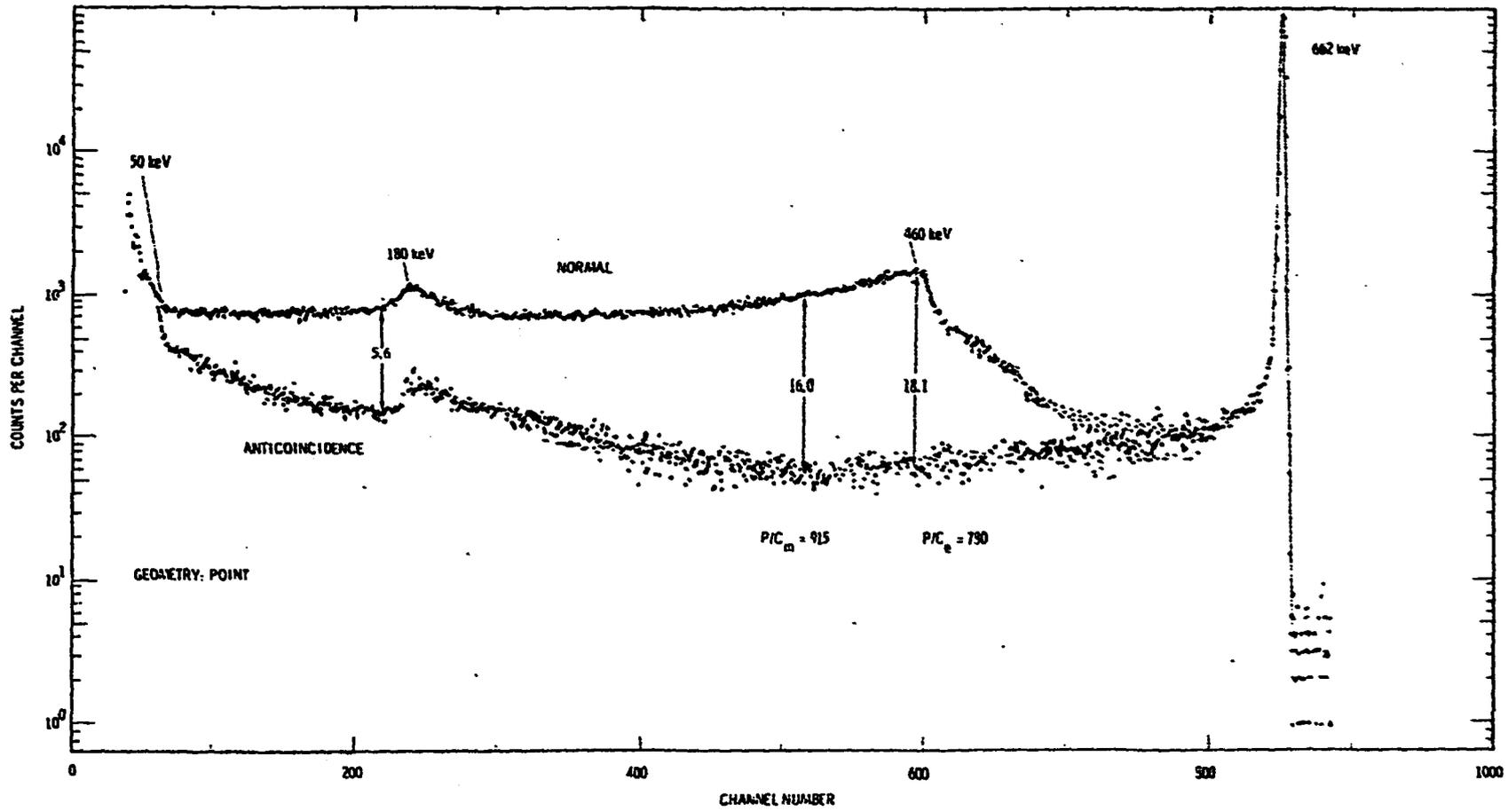


Figura. 5

GAMMA-RAY SPECTRA OF ^{60}Co plus ^{137}Cs

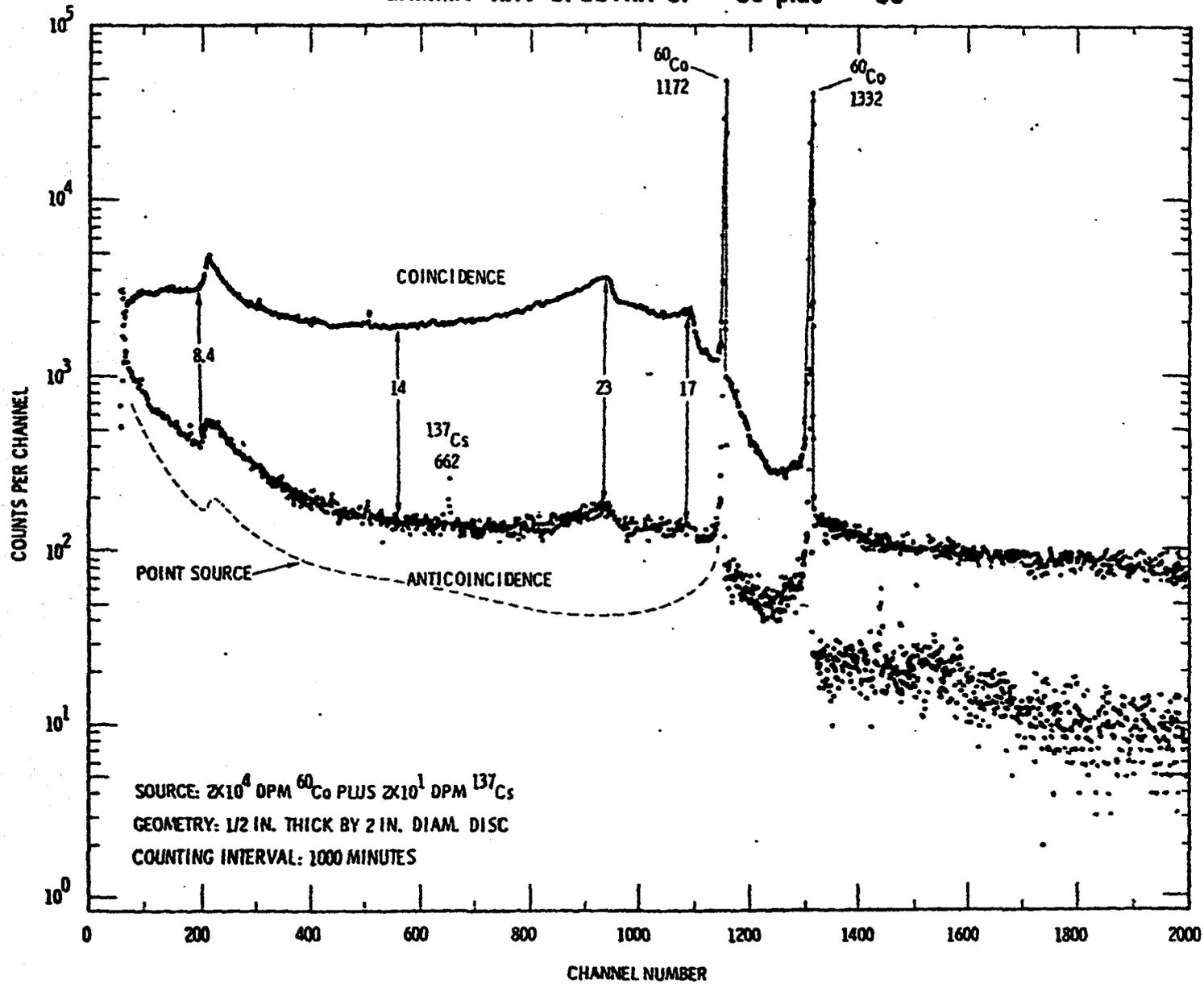


Figura. 6

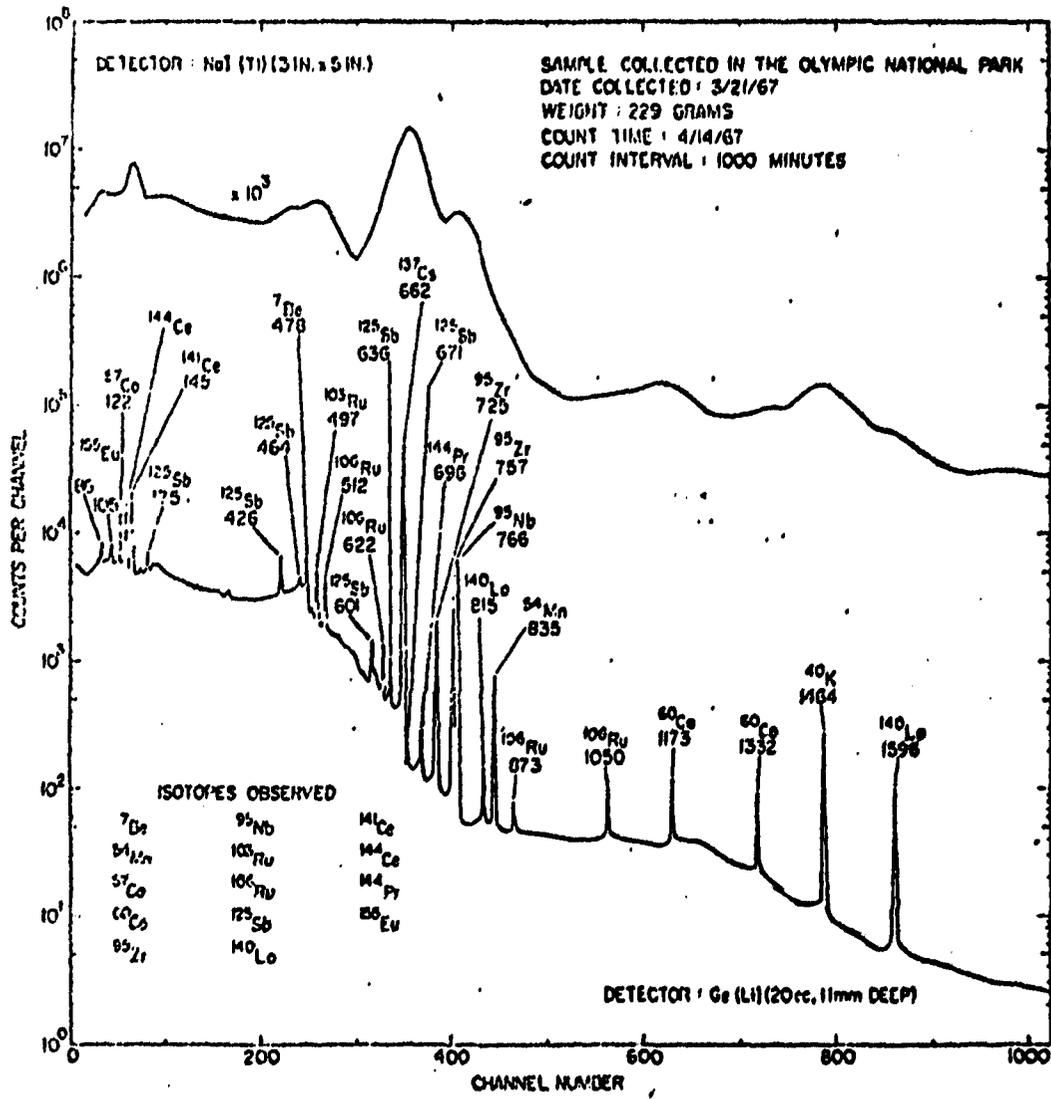


Figura. 7

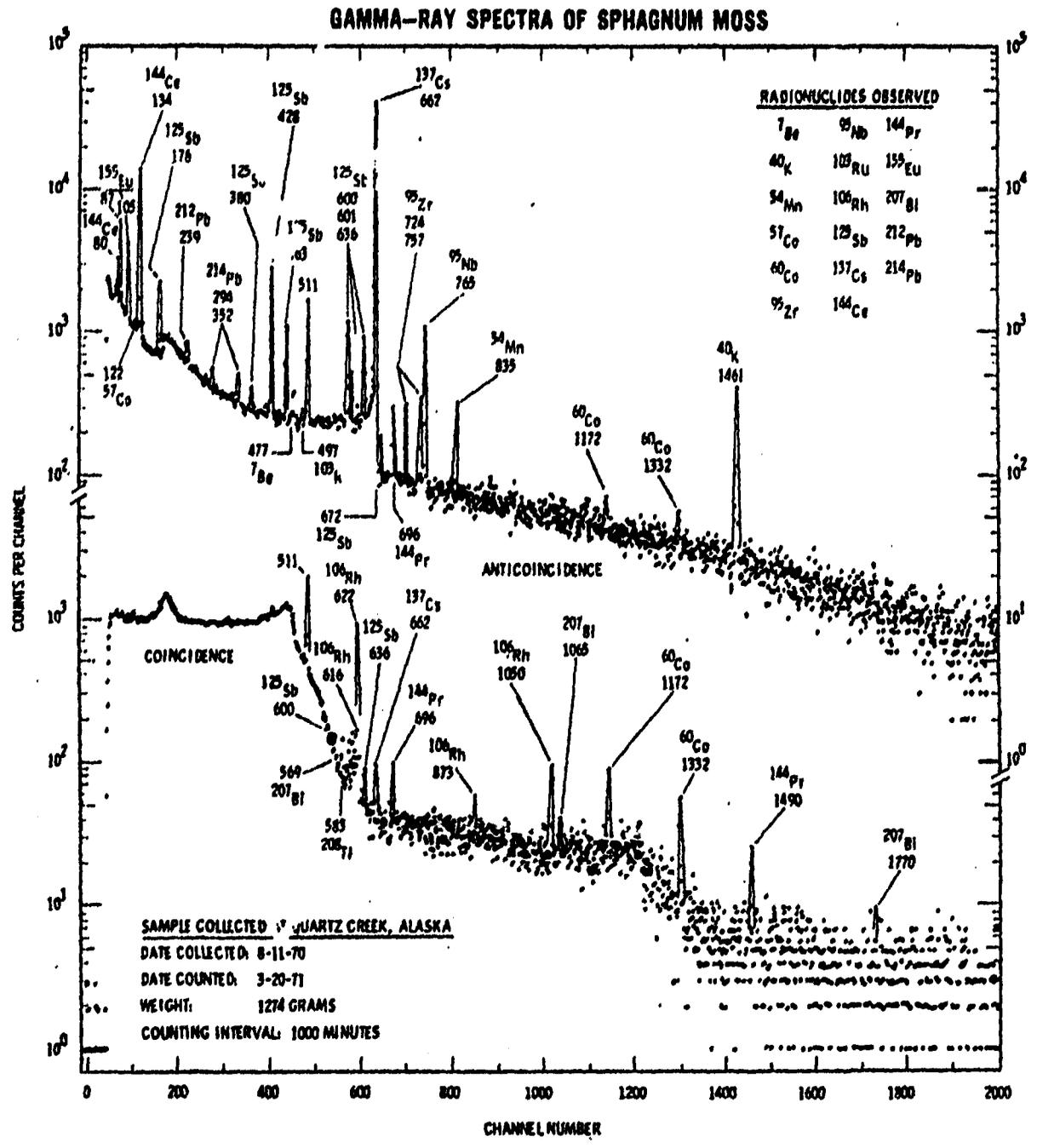


Figura.8

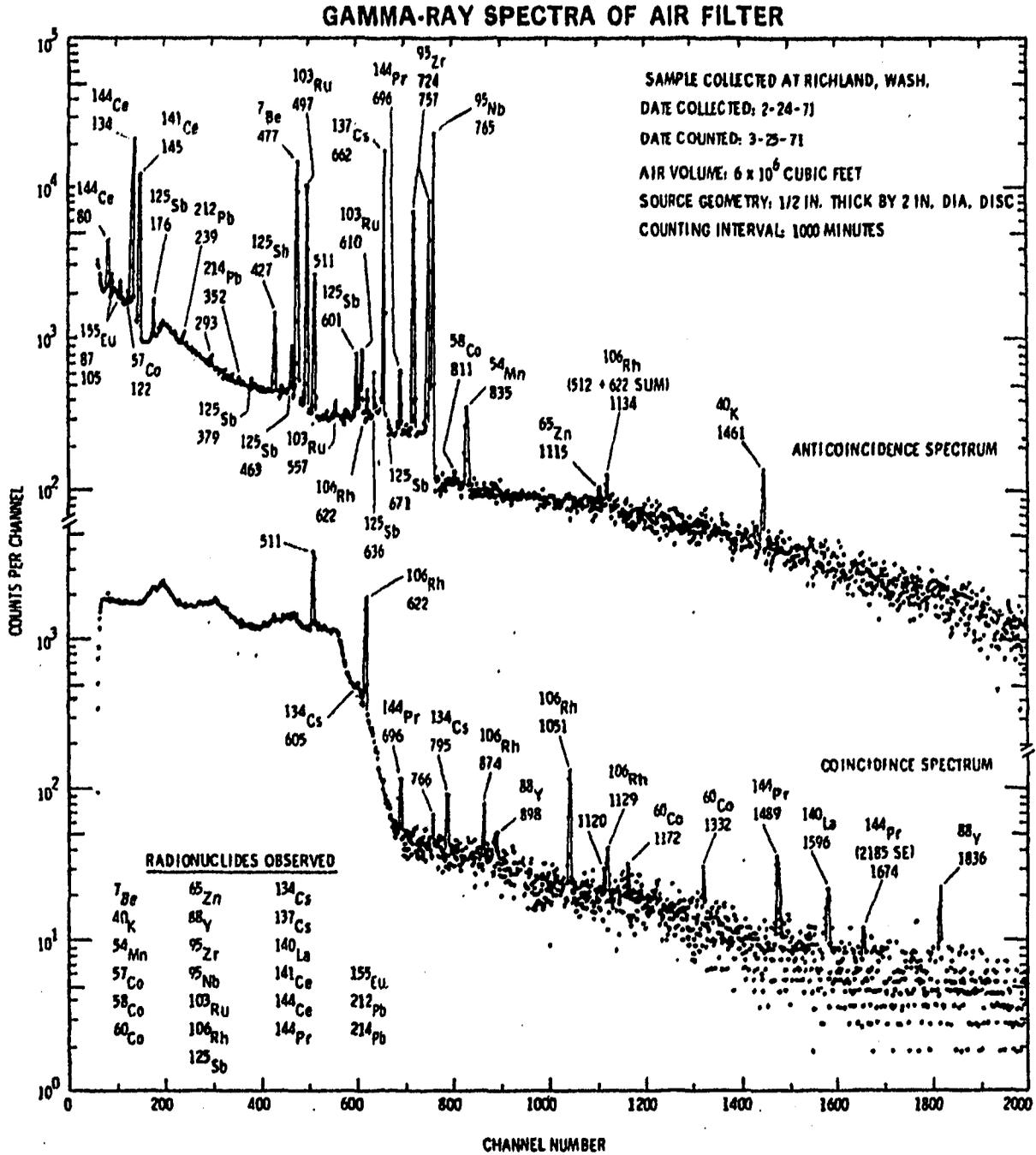


Figura. 9

