

# DETECCION DE LA RADIATIVIDAD. CONTADORES DE PARTICULAS.



Por PILAR ESCUDERO  
Catedrática de Física y Química; y  
LORENZO MARTIN  
Doctor en Ciencias Químicas

**N**ORMAL y lógicamente, la radiación se detecta por los efectos que dicha radiación produce al interaccionar con los diversos materiales, efectos que pueden ser observables o medibles. La interacción puede tener diferentes manifestaciones y entre ellas las más útiles son las siguientes:

- Acumulación de carga en un indicador cualquiera.
- Ionización.
- Conversión de la energía de radiación en otra forma de energía.
- Fotoconductividad.
- Promoción o aceleración de una reacción química.
- Reacciones nucleares.

Iremos desarrollando punto por punto cada una de estas formas de manifestaciones:

1.º Acumulación de carga en un indicador; este primer punto se aplica directamente y solamente a las radiaciones  $\alpha$  y  $\beta$ , salvo que éstas incluyan reacciones secundarias. El aparato más sencillo utilizado como detector es el electroscopio para este fin, indicando la carga acumulada resultante de la ionización producida por dicha radiación.

2.º La ionización, que es un efecto normal de la interacción, es una de las bases más comunes para la medida y detección de la radiación y sobre ella están montados una gran diversidad de equipos comerciales tales como contadores Geiger, contadores proporcionales y cámaras de ionización.

3.º La energía de radiación, como tal energía, puede convertirse en otras formas de la misma, así puede transformarse en luz visible, calor, energía eléctrica, etc.

Ciertos materiales pueden producir y de hecho la producen, una luminiscencia al estar sometidos a la radiación, como el sulfuro de zinc, produciendo una emisión de un destello de luz al ser alcanzado por una partícula alfa. Tal fenómeno tiene una gran aplicación en los contadores llamados de centelleo.

Igualmente, la elevación o aumento de temperatura producida al ser absorbida la radiación podría ser una base para la detección de la radiación.

4.º Un aumento de la conductividad eléctrica de ciertos no metales al estar sujetos a la radiación es la fotoconductividad. El proceso en sí no es más que los fotones excitan a los

electrones hacia las bandas de conducción del material o la formación de huecos en la banda de valencia.

Existen diversos dispositivos industriales realizados sobre la base del efecto producido por la luz visible sobre la conductividad eléctrica de ciertos materiales tales como el cloruro potásico KCl y el sulfuro de cadmio CdS.

5.º En cuanto se refiere a la promoción de una reacción química, tenemos el efecto de la radiación sobre emulsiones de película fotográfica, la cual forma la base de la radiografía.

También se utiliza en películas adhesivas usadas por los empleados en las regiones donde puede estar presente la radiación, las cuales películas son reveladas periódicamente para dar una idea de la dosis de radiación acumulada.

6.º En lo referente a reacciones nucleares, la exposición de un material a la radiación puede dar lugar a las mismas, así por ejemplo el bombardeo con neutrones del B-10 da lito junto con una partícula alfa que puede detectarse por su capacidad para la ionización. De esta forma han nacido los detectores de neutrones.

**Electroscopios.**—Un método directo y rápido para determinar tales partículas cargadas es reunir las sobre un elemento y posteriormente mediante las fuerzas coulombianas producir un movimiento de este elemento.



Fig. 1

Uno de los dispositivos más simples de este tipo es como el de la figura 1, el cual consiste en una hoja muy delgada colgada sobre un soporte. Las partículas cargadas y acumuladas sobre las dos mitades de la hoja dan lugar a un movimiento relativo de tales mitades haciendo que se separen y el grado de separación nos dará la medida de la magnitud de la carga. Bien es verdad que el campo de radiación debe ser fuerte para darnos un resultado apreciable.

Los elementos esenciales de un tipo de electroscopio se han mostrado en la figura 2; tal instrumento es del tamaño de una «caja» gráfica «fountain pen» y se conoce corrientemente como una cámara de bolsillo o dosímetro:

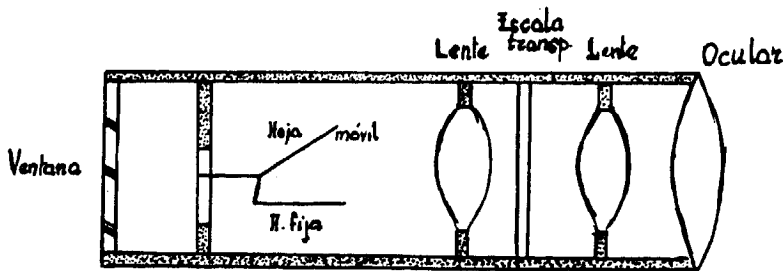


Fig. 2

Se forma un sistema conductor con una hoja móvil y otra fija construidas de fibra y conectadas juntas. Hay que cargarlo previamente conectándolo a una batería u otra fuente de voltaje que ponga una carga positiva sobre las hojas y cuando el instrumento está sujeto a la radiación el gas dentro de la cámara se ioniza y los iones negativos son atraídos hacia

las hojas dando una disminución en la carga de las fibras originando un movimiento de la hoja móvil hacia la otra fija y esta cantidad de movimiento se lee directamente sobre una escala mirando a través de la cámara hacia una luz. Hay diversas variedades de estos tipos.

Son resistentes al choque y por su tamaño se llevan en un bolsillo, de aquí su nombre de dosímetro de bolsillo, siendo utilizados en lugares donde es necesario conocer la dosis acumulada de un individuo.

**Cámaras de ionización.**—Es de todos sabido que una substancia radiactiva emite un número determinado de partículas que pueden ser  $\alpha$ ,  $\beta$  y de rayos  $\gamma$  por unidad de tiempo, tales partículas producen iones en el medio ya sea aire o cualquier otro gas y tales iones a unas condiciones determinadas de presión y temperatura son proporcionales al número de partículas emitidas, de aquí pues el amplio uso para la medida directa de una cierta substancia radiactiva.

La ionización provocada por partículas alfa y que es función de la energía y del alcance puede medirse expresándola mediante el concepto de ionización específica o número de pares iónicos formados por milímetro de trayectoria del haz considerado y siendo par iónico el formado por un electrón y un ión positivo resultante de la separación de un átomo. Tal proceso de ionización, requiere un gasto de la energía de tales partículas, aproximadamente 33,5 eV para cada par iónico formado, de manera que al final de su trayectoria, la energía y su velocidad han de haber disminuido considerablemente. Conforme aumenta la distancia entre partícula y fuente de origen también aumenta la ionización específica, al principio lentamente y después rápidamente hasta llegar al máximo, cayendo después abruptamente hasta llegar a cero.

La partícula alfa de una fuente radiactiva puede producir de 50.000 a 100.000 pares por centímetro de aire y las partículas beta, de energía similar pero más veloces y de menos carga dejarían unos cuantos centenares tan solo, pero al ser su trayectoria más o menos cien veces la de la primera la diferencia entre ambas no es notable. Los rayos gamma y otras radiaciones electromagnéticas similares como los rayos X, también pueden ionizar los gases.

Decíamos anteriormente que se necesita una cierta cantidad de energía para formar un par iónico, pues bien, esto es debido en parte a las interacciones, merced a las cuales sacan electrones orbitales y en segundo lugar, debido a la producción de excitaciones más bien que a las anteriores, tales excitaciones son relevadas por la emisión de fotones de baja energía y cambio al estado base; la detección de estos fotones es de difícil posibilidad y por tanto se conoce poco relativo a la pérdida de energía debida a las excitaciones, pero sin querer decir con esto que no sean importantes. Tales ionizaciones y excitaciones tienen lugar en todas las substancias, ya sean gas, líquido o sólido. Las velocidades enormemente grandes de colisión en los líquidos origina una rápida recombinación de los iones antes de que puedan ser recogidos y medidos, pero tal dificultad en los gases desaparece, por lo cual es la causa y razón de tantos artificios para su medida. Los detectores de radiación de sólidos operan sobre principios completamente diferentes y necesitarían discusión aparte.

De todo lo dicho podemos decir que una substancia que emita partículas  $\alpha$ ,  $\beta$  y rayos  $\gamma$  contribuyen todos a la ionización, pero al ser los primeros de acción más profunda, un electroscopio puede servir para detectarlas. Para las partículas  $\beta$  ha de colocarse una hoja de aluminio de 0,01 cm. de espesor sobre la muestra para absorber las primeras, aunque ciertamente se detectan las partículas  $\beta$  y los rayos  $\gamma$ , éstos al ser mucho más débiles que las partículas consideradas, se miden solamente las partículas beta. Para detectar los rayos  $\gamma$  debe rodearse la muestra en cuestión de un espesor suficiente de materia (2 ó 3 milímetros de plomo) el cual absorberá completamente el resto de radiación debida a otras partículas.

Una cámara de ionización en su forma más simple consiste en un tubo de metal que contiene un alambre o electrodo aislado según la figura 3, y el tubo contiene a su vez un gas: aire, vapor, yoduro de metilo, etc.

Los iones gaseosos al estar en un campo eléctrico se encuentran sometidos a una fuerza

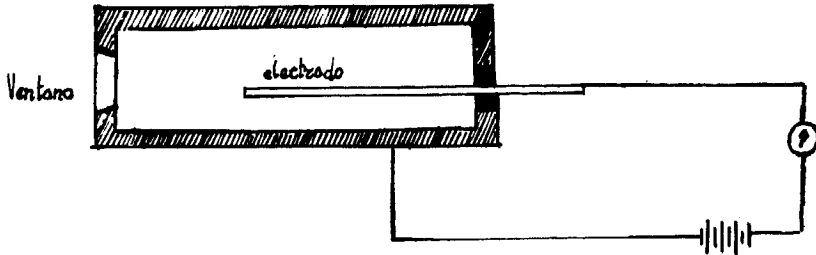


Fig. 3

y merced a ella se moverán con un movimiento desplazante en un sentido o en otro, dependiendo de su carga hasta que la pierdan sobre el electrodo ocasionando con ello una corriente eléctrica. El extremo del tubo contiene una ventana de mica u otro material cualquiera suficientemente delgado para permitir a la radiación  $\beta$  o radiación  $\alpha$  que penetre en la cámara.

Tal radiación ionizará alguno de los átomos o moléculas del gas en la cámara, entonces los iones cargados negativamente emigrarán hacia el centro del electrodo con una velocidad que dependerá del voltaje del electrodo, dando lugar a una corriente iónica en los alambres de la porción externa del circuito.

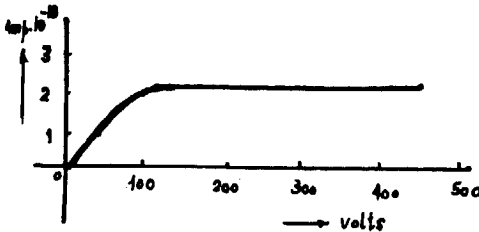


Fig. 4

Si la cantidad de radiación que entra por unidad de tiempo es constante, la corriente iónica eléctrica formada también será constante; si el voltaje

es bajo puede haber una recombinación de iones antes de que alcancen el electrodo al viajar lentamente hacia el mismo y al aumentar el voltaje aumentarán también su velocidad y disminuirá la oportunidad de recombinación, en otras palabras a mayor voltaje mayor corriente eléctrica creada. ¿Qué ocurrirá al seguir aumentando el voltaje?, pues que todos los iones negativos se concentrarán en el electrodo central y los iones positivos en el electrodo exterior. Si nosotros representamos en unos ejes coordenados tomando en abscisas voltajes aplicados y en ordenadas intensidades de corriente veremos, figura 4, cómo esta zona corresponde en la gráfica a la parte recta BC donde no existe una proporcionalidad entre  $V$  e  $i$ , en el primer tramo sin embargo se cumple la ley de Ohm, aunque con alguna aproximación; en este tramo BC la corriente alcanza el valor denominado «saturación». Al seguir aumentando la diferencia de potencial aplicado la intensidad crece rápidamente, es decir, los iones alcanzan velocidades tales que pueden ionizar por choque originando una avalancha de iones, saltando la corriente, en forma de chispa eléctrica.

En las cámaras de ionización primitivas la corriente era medida con la ayuda de un electrómetro; en la actualidad la consabida corriente o caída de potencial por la corriente es la que se mide con una resistencia. Al trabajar, pues, con una cámara de ionización es conveniente conservar el voltaje suficientemente alto, para mantener así a la saturación de la corriente de ionización en un campo de radiación constante. De esta forma la región operante de estas cámaras es la región de saturación, ya que en ésta la corriente es independiente de los pequeños cambios de voltaje; sin embargo, la corriente es pequeña y debe amplificarse para dar una señal perceptible.

Los instrumentos de cámara de ionización se dividen en los de tipo no integrador (pulsómetros), cada partícula capaz de causar ionización se registra por separado y los de tipo integrador en los cuales las pulsaciones no se separan habiendo un acumulamiento de carga. La diferencia entre ambos tipos está en el tiempo de respuesta del aparato con relación a la frecuencia de llegada de las partículas ionizantes.

Un esquema simplificado de una cámara de ionización (circuito) lo tenemos a continuación, figura 5.

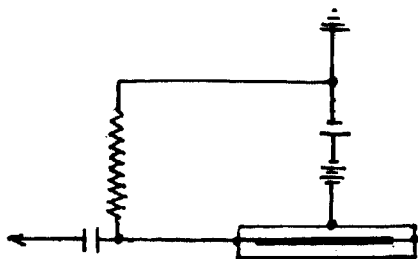


Fig. 5

Todo lo dicho es recomendable para el conteo de partículas alfa en presencia de partículas beta y radiación gamma. Para éstas puede emplearse una cámara con electrodos de placas paralelas, situadas a un centímetro o más de distancia. La substancia a examinar se coloca en la placa inferior del electrodo dentro de tal cámara o el material radiactivo se coloca fuera. En este caso se hacen pasar las partículas alfa a través de una ventanilla de nylon o plástico.

Uno de los instrumentos más empleados en estas cámaras de ionización es el analizador de impulsos o separador de golpes, el cual permite el paso sólo a impulsos que excedan de cierto número, los rechazados son los que corresponden a las partículas beta y rayos gamma, separándolas y contándolas por tamaños.

**Cámara de Wilson o cámara de niebla.**—Sirve para observar las trazas lineales formadas por pequeñas gotitas depositadas sobre los iones gaseosos o formados a lo largo del trayecto de las partículas ionizantes emitidas por una fuente radiactiva. Posteriormente se han realizado muchas modificaciones en la cámara original llegando a efectuar dos fotografías simultáneas de esta trayectoria, reconstruyéndola enteramente en el espacio.

**Contadores proporcionales.**—Aún cuando el uso de la anterior cámara de ionización es muy simple y sencillo, tiene el inconveniente de necesitar un electrómetro muy sensible o un amplificador de tubo al vacío. Así, pues, se han inventado otros instrumentos con un grado considerable de amplificación interna.

Observemos para ello la figura 6.

Si aumentamos el voltaje en el tubo contador de radiación apreciablemente superior al necesario para crear la corriente de saturación, el tamaño del pulso será mayor que en la de la cámara de ionización; en otras palabras existe una cierta amplificación interna del pulso y tal amplificación aumenta al aumentar el voltaje. Sin embargo, para determinado vol-

taje el tamaño del pulso está en proporción al número inicial de pares iónicos producidos en los electrodos. Por este motivo, a esta región se la denomina región proporcional.

De esta forma los electrones resultantes de la formación de los pares iónicos son atraídos al electrodo con una fuerza mayor y viajan con una velocidad vertiginosa, velocidad que puede causar la ionización de otros átomos y moléculas en el gas, a este efecto de multiplicación se le da el nombre ya conocido de cascada de Townsend en honor a su descubridor.

Al número total de pares iónicos producidos por un solo par iónico original se le llama factor de amplificación en gas. Este factor vale aproximadamente la unidad en las cámaras de ionización, pero puede aumentar hasta  $10^4$  o más en la región proporcional, aumentando así el tamaño del pulso producido por una sola partícula, de manera que se requiere mucha menor amplificación externa.

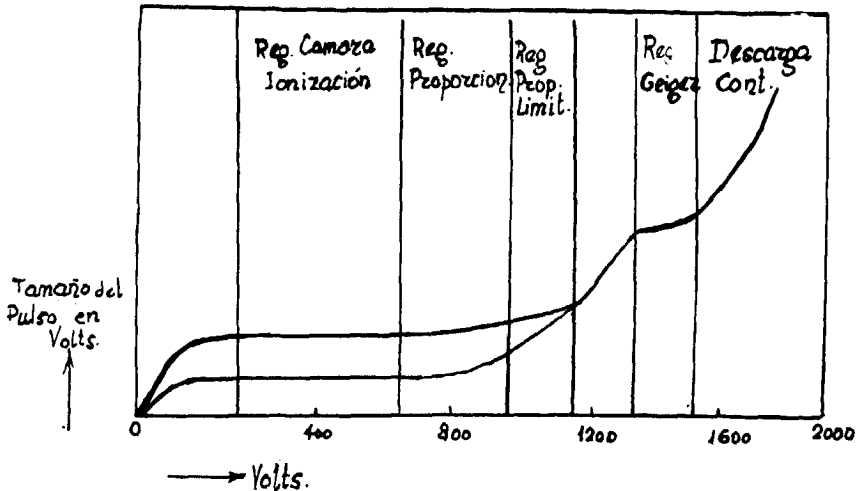


Fig. 6

El instrumento consiste en un tubo cilíndrico con un alambre en el centro, fijo éste al polo positivo del acumulador. La tensión aplicada varía entre los límites 500-800 voltios. Los gases de llenado de estos tubos son variados siendo en general una mezcla de un gas simple como el hidrógeno o argón y otro más complejo como el metano o dióxido de carbono.

Los instrumentos de contaje proporcional son muy útiles para las partículas alfa en presencia de partículas beta y radiación gamma, aunque también pueden emplearse para el conteo de las partículas beta como indicábamos al hablar de las cámaras de ionización, y además se puede adaptar para la detección de neutrones.

**Contadores Geiger-Müller.**—Cuando el voltaje en el tubo aumenta todavía más se producen tantos pares iónicos secundarios, que la formación de un solo par iónico por una partícula, da por resultado una ionización total, tan grande como la causada por una partícula que entre y que produzca muchos pares iónicos primarios. Así, pues, la formación de un solo par iónico puede activar la ionización de todo el gas de la cámara. De esta forma el aparato da la misma salida para una partícula con baja energía de pérdida que la de una partícula con alta pérdida de energía. Esto está marcado en la figura 6 con dos trazos: el

inferior para una pérdida de energía pequeña y la superior para el caso contrario. Al llegar a 1.200 voltios no se puede hacer una distinción entre ambas. Existe una plataforma aproximadamente en 1.400 voltios, que se conoce como plataforma de Geiger y que es muy útil, porque en ella las variaciones pequeñas en el suministro de alta tienen un efecto despreciable sobre el tamaño de los pulsos y ello reduce en beneficio y eficiencia del contador. Tal contador se conoce con el nombre de Contador Geiger.

La diferencia esencial entre las regiones proporcional y Geiger estriba en que en la primera un electrón de un par iónico probablemente produce una avalancha en un solo punto y en la segunda tal avalancha se extiende a lo largo del alambre central. Así, el pulso en la región proporcional varía según el número de pares iónicos primarios u originales y en la región Geiger la amplificación es tan grande que el pulso es casi independiente de los pares iónicos.

El voltaje aplicado depende del diseño del contador y de la naturaleza y posición del gas que contiene, la mayoría de los contadores G. M. están llenos de gas a presión inferior a la atmosférica: argón y metano, etano o alcohol etílico. El voltaje de operación se elige generalmente para ser un poco menos que el valor de la mitad de la meseta que debe extenderse desde 800 a 1.500 voltios. El factor de amplificación en gas puede llegar a ser hasta  $10^8$  en una partícula de ionización débil.

Una de las características molestas de un contador G. M. es que, cuando una partícula ionizante produce una avalancha, el pulso de descarga puede continuar durante cierto tiempo y, si entra otra partícula antes que se haya completado la anterior tal pulso se confundirá con el precedente, etc. Es decir, no tiene poder resolutorio y no se pueden contar los impulsos. Existen, sin embargo, diversos métodos para subsanar estas deficiencias y mejorar con ello su poder resolutorio introduciendo gases de llenado del tubo convenientemente, así últimamente se ha utilizado gas halógeno como cloro o bromo en vez de un compuesto orgánico. Cuando un tubo G. M. esté debidamente templado tiene que tener un tiempo de resolución de aproximadamente  $2 \cdot 10^{-4}$  de segundo, es decir, las partículas que lleguen a intervalos no menores de éste darán pulsos separados.

El contador de forma de tubo consiste en un alambre delgado de wolframio montado en el eje de un cilindro el cual contiene el gas a presión ya señalado, el cilindro puede ser de metal, cobre y envuelto a su vez por un tubo de vidrio. El esquema del mismo lo tenemos en la figura 7.

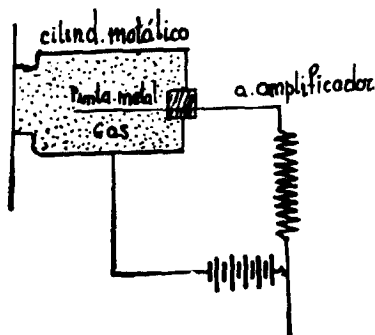


Fig. 7

Se han diseñado detectores G. M. para la medida de partículas alfa, beta y radiación gamma, pero actual y prácticamente sólo son empleados para la detección de las dos últimas, debido a que es muy difícil construir tubos con ventanas suficientemente delgadas para permitir el paso de las partículas alfa.

Por último, cuando se hace un conteo absoluto, es necesario conocer la geometría del contador, es decir la fracción o porcentaje del número total de partículas emitidas por la muestra, lo cual se efectúa mediante una fuente radiactiva standar o patrón de partículas.

Si comparamos ahora con más conocimientos los contadores proporcionales con los contadores G. M., podemos decir que la al-

tura del impulso en el primero es mayor a medida que aumentan los electrones y es proporcional al potencial de ionización, mientras que en el segundo los impulsos son todos iguales. La ventaja del G. M. sobre el proporcional es que el impulso de salida es muy grande aunque no discrimina entre partículas. Tanto en uno como en el otro tienen un cátodo cilíndrico y un ánodo que es un alambre.

Con esto hemos visto todos los contadores basados en la ionización que son: cámara de ionización, Geiger-Müller y proporcionales.

Veamos, pues, ahora los contadores basados en la excitación de los cuales tenemos como ejemplos los de centelleo y placas fotográficas.

**Métodos de centelleo.**—El contador de centelleo está basado en el hecho de que ciertos cristales luminiscentes activados con pequeñas cantidades de impurezas, producen un destello de luz cuando una partícula nuclear o un fotón pasan a través del cristal o son absorbidas por éste.

A partir de 1947 se han hecho modificaciones y descubrimientos en este método que es quizás uno de los más antiguos para el conteo de partículas. El mecanismo de formación de este centelleo es ciertamente complejo implicando la formación inicial de un estado electrónico de mayor energía de las moléculas de ciertos cuerpos inorgánicos y tal exceso de energía producida por la radiación nuclear es emitida entonces en un breve espacio de tiempo en forma de ráfaga de luz o destello de luz.

Durante las primeras experiencias realizadas por Becquerel sobre la radiactividad, descubrió en 1899 que las radiaciones tales como los rayos X y catódicos son capaces de producir luminiscencia sobre gran número de sustancias tales como sulfato de zinc, de bario, platino-cianuro y diamante. Regener en Alemania fue el primero que intentó el conteo de partículas alfa en 1908 en un diamante, siguiéndole en este intento Rutherford y Geiger, etc., etc.

Hacia el año 1930, con el descubrimiento de los tubos de vacío parece ser que estos contadores cayeron un poco en desuso, por su cansada observación, pero al descubrirse poco después que ciertos compuestos orgánicos y otros sólidos inorgánicos producían centelleo y eran transparentes a la luz que emitían junto con la llegada del tubo amplificador de electrones cátodo fotomultiplicador (fotomultiplicador), comenzó a ampliarse su uso.

Los métodos de centelleo pueden dividirse en: 1.º: Contadores sólidos. 2.º: Contadores de cristal, y 3.º: Detectores de Cerenkov. Todos ellos los estudiaremos a continuación.

**Contadores sólidos.**—Ya hemos dicho que las pantallas fluorescentes sirven para detectar rayos X o los catódicos y como las partículas beta son electrones y la radiación gamma está compuesta de fotones, también debían servir dichas pantallas para estos últimos; en cuanto a las partículas alfa son fácilmente detectables por sus centelleos producidos en una placa fluorescente tal como la de sulfuro de zinc. Ahora bien el número de las partículas beta y de la radiación gamma es demasiado pequeño para producir un efecto visible.

Hoy ya se han hallado cristales que centellean bajo la acción de estas partículas beta y rayos gamma, tales cristales están basados en el fenómeno de la fluorescencia. Además, tales métodos en unión de células fotoeléctricas y fotomultiplicadores constituyen los contadores de centelleo. Fue Kallmann en Alemania el que empleó un cristal grande, naftalina, como material fosfórico conjuntamente con un fotomultiplicador; siguiendo tal camino el mejor que resultó fue el de antracero, etc.

**Contadores de cristal.**—Cuando una radiación ionizante pasa por un cristal, al recorrerlo liberan electrones, conectando un campo eléctrico debido y propio y previa amplificación podemos detectarlos y medirlos. Los cristales más usados son de Na, BrAg y mezclas de bromuros y yoduros de talio, etc.



Un material líquido empleado para centelleo consta de dos ingredientes principales: un disolvente (tolueno o xileno) y la sustancia disuelta (terpenil). Otro sistema de centelleo podemos clasificarlo entre el cristal sólido y el líquido, y tiene plástico como base. También y a partir de 1954 se ha intentado la posibilidad de emplear centelleadores gaseosos tales como el argón, criptón y xenón, predominando la ventaja a favor del xenón en forma sólida o líquida.

**Contadores Cerenkov.**—En 1934 el físico ruso Cerenkov encontró que el agua y otras sustancias transparentes como el cristal y la mica emitían una débil luminosidad azulada al ser expuestas a la radiación gamma, tal luz era producida en la dirección del haz de luz de los rayos gamma y se explicaba tal luminosidad como un efecto de una especie de onda de choque electromagnética producida al desplazarse una partícula con carga eléctrica a través de un medio con una velocidad superior a la de la luz.

Hoy sabemos que cuando una partícula cargada pasa a través de un sólido transparente con una velocidad superior a la de la luz, tiene una pérdida de energía, y que esta pérdida da lugar a la emisión de una radiación llamada radiación Cerenkov, comparable a una onda de Mach.

Las partículas de alta potencia entran en un recipiente que contiene líquido transparente: agua o bloque de cristal, las paredes de este recipiente están plateadas o pintadas de blanco para reflejar toda la luz que se produce en el cátodo de un fotomultiplicador muy sensible, contándose así los impulsos producidos.

Los contadores Cerenkov han encontrado una gran aplicación en el estudio de mesones, rayos cósmicos, fotones de alta energía, etc. Ya hemos dicho que se producía una luminosidad en la misma dirección del haz, pero respecto al ángulo entre la dirección de la emisión de luz y la trayectoria no hemos hablado y sí podemos decir que depende de la velocidad de esta última, es decir de la trayectoria de la partícula ionizante, así como de la velocidad de la luz y de la partícula en el medio. En consecuencia, un contador Cerenkov puede adaptarse a la determinación de la velocidad de las partículas.

**Cámara de burbujas.**—Al hablar antes muy someramente de la cámara de niebla de Wilson, decíamos que se habían realizado en ella muchas modificaciones; así llegamos a la cámara de niebla de difusión que era un tanto complicada y que hasta años más tarde cuando se construyeron cámaras más sencillas no tuvieron una aplicación sensible.

La desventaja de estas cámaras, tanto del tipo expansión como del de difusión es que debido a la baja densidad del gas los fenómenos importantes son poco frecuentes, tal estado de cosas mejora si aumentamos la presión del gas.

Glaser, de la Universidad de Michigan tuvo la idea de emplear un líquido sobrecalentado para observar las trayectorias de las partículas ionizantes, al igual que la cámara de niebla utilizaba el vapor sobresaturado. El instrumento basado en este concepto es el conocido bajo el nombre de «cámara de burbujas», y se llama así porque la trayectoria descrita consiste en una sucesión de burbujas similar a las de las gotitas de agua de las primitivas.

En el año 1958 quedó ultimada una cámara de burbujas de hidrógeno líquido de más de 500 litros de capacidad, en las primeras de ellas se usaba éter común y posteriormente y además del hidrógeno líquido se empleaban nitrógeno, isopentano, etc. Dicho líquido hervirá con una evaporación de burbujas de vapor al llegar al punto de ebullición pero si el recipiente está limpio y sin superficies rugosas es posible sobrecalentar el líquido a más del punto de ebullición sin entrar en ebullición a una presión determinada; si se mantiene a dicha presión y violentamente le pasamos a otra menor el líquido quedará inestable y sobrecalentado sin hervir y de esta forma el paso de una partícula ionizante provocará la formación de burbujas y la correspondiente traza que podrá ser fotografiada.

**Cámara de chispas.**—Inventada por los japoneses Fukui y Miyamoto; en tal cámara y como indica su nombre, la partícula pasa a través de un gas existente entre varias placas paralelas que están a una diferencia de potencial de algunos kilowatios originándose una descarga, chispa, entre cada dos placas y dejando por consiguiente su traza correspondiente que puede ser fotografiada como en las cámaras anteriores.

**Efecto de la radiación sobre emulsiones de película fotográfica.**—En las últimas décadas ha habido un renovado interés por el uso de películas y placas fotográficas para el estudio de las partículas ionizantes. Al principio se observó que las regiones ennegrecidas de una placa fotográfica revelada al ser expuesta a las partículas alfa parecían ser granos solitarios e individuales sin relación entre la distribución de tales gránulos y la trayectoria de estas partículas. Poco tiempo después se descubrió que esa distribución de los gránulos concordaba con la trayectoria de las partículas alfa.

En sus primeros tiempos se utilizaban placas fotográficas corrientes para tal fin; ya últimamente la composición de las emulsiones se ha fabricado «ad hoc» para facilitar dicho estudio, si agregamos boro o litio pueden detectarse neutrones; las emulsiones modernas tienen bromuro de plata en un 80 por 100 del peso seco, mucho mayor que en las películas ordinarias y los granos del haluro son sumamente pequeños.

Así, pues, dicha película expuesta a la radiación dará por resultado un ennegrecimiento de la misma al ser revelada. La cantidad de ennegrecimiento es proporcional a la ionización, que depende a su vez del flujo y de la energía de la radiación.

Este efecto se emplea en las películas adhesivas que utilizan los trabajadores en las áreas en donde la radiación puede estar presente; la película registra una dosis acumulativa y se reemplaza a intervalos determinados, generalmente dos semanas, revelándola a continuación.

**Detección química.**—La estructura de muchos plásticos se altera por y a causa de la radiación con efectos fácilmente observables, el cambio es una alteración o modificación de los enlaces de los polímeros dando lugar a variaciones en la conductividad, densidad, transparencia, color y propiedades mecánicas.

Estos cambios de color se miden con un espectrofotómetro. El método Fricke, por ejemplo, usa una solución acuosa de 0,001 M  $\text{FeSO}_4$ , 0,001 M de  $\text{NaCl}$  y 0,4 M de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , en otros diferentes modelos de dosímetros químicos utilizan sulfato de cerio, azul de metileno, plástico coloreado, etc.

También se ha considerado ya el uso de organismos tales como los microbios, como dispositivos para la medida de la radiación y según sea el porcentaje de organismos muertos por la radiación así lo relacionaremos con el nivel de radiación.

Una gran precisión en la localización de material radiactivo se ha alcanzado con el uso de los que se conoce con el nombre de «radioautografía» en la cual se emplea la acción de las radiaciones de dichos cuerpos radiactivos sobre la emulsión fotográfica, así si queremos ver la distribución de un radioelemento inyectado sobre algún órgano vital de la planta, se colocan en contacto con una placa fotográfica posteriormente y después se revelará; las partes más claras representarán las concentraciones mayores del isótopo en cuestión.

**Reacciones químicas. Detección de neutrones.**—Los métodos para la detección de neutrones engloban la reacción, ya mencionada, n<sub>0</sub> con B-10; los efectos de ionización de los fragmentos de fisión resultantes de la fisión del uranio, la dispersión de protones que a su vez pueden producir ionización y, por último, la activación de hojas delgadas de metal.

En el primer caso, un contador cualquiera o una cámara de ionización se reviste con un

compuesto de B-10 o se llena de  $F_3B$  u otro gas que contenga boro. Los neutrones producirán una reacción con el B-10 dando una energía propia de la misma reacción. Tales impulsos de energía se pueden contar y detectar.

Los neutrones también se pueden detectar con una cámara de ionización, forrada de uranio. Si el uranio es U-238 sólo se detectarán neutrones rápidos, pero si se utiliza U-235 la cámara responderá principalmente a neutrones lentos. No es necesario decir que si el uranio presente es una mezcla de ambos isótopos, responderá tanto a unos como a otros y entonces se hará una lectura total y luego una segunda lectura con el contador rodeado de cadmio, pues ya sabemos que este metal absorbe los neutrones lentos y de esta forma la lectura corresponderá a los rápidos.

**Dispositivos o contadores portátiles.**—Los dispositivos o contadores portátiles para la detección de la radiación usados principalmente para la seguridad del personal, pueden clasificarse en tres grandes grupos: 1.º: Cámaras de ionización para medir los niveles de radiación en una región determinada y específica; 2.º: Cámaras de ionización de bolsillo para detectar dosis acumulativas, y 3.º Películas adhesivas que registran dosis integradas.

## El Premio “Alejandro Aguado” para cuatro alumnos del Instituto “San Isidoro” de Sevilla

El Jurado del Premio “Alejandro Aguado” (instituido por la Embajada de la República Argentina en homenaje a la memoria del insigne amigo y protector español del general San Martín, y consistente en un trabajo monográfico de carácter literario, histórico o científico, acerca de la República Argentina), integrado por el Embajador argentino, el Inspector General de Enseñanza Media y el Agregado Cultural de la Embajada, ha otorgado el primer premio —dotado con 25.000 pesetas, medalla de oro, diploma y libros— al trabajo “Intentos de establecimiento en la Patagonia en la segunda mitad del siglo XVIII”.

Son autores del trabajo los componentes de un equipo de alumnos del Instituto “San Isidoro”, de Sevilla, integrado por Antonio Díaz Ruiz, Jesús Fernández Alonso, Julián Gamito García y Fernando Sáez de Valdosera.

La entrega de premios se efectuó en la Embajada Argentina el 29 de febrero.