

## Cámara de niebla de gradiente de temperatura

JORGE ANDRADE HERRERA, RODOLFO P. MARTÍNEZ Y ROMERO  
*Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México*  
*Circuito exterior, Ciudad Universitaria*  
*Apartado Postal 70-542, 04510 México, D.F., México*

Y

CARLOS E. VARGAS MADRAZO  
*Facultad de Física, Universidad Veracruzana*  
*Av. Lomas del estadio S.N., 91000 Xalapa, Veracruz, México*

Recibido el 23 de marzo de 1993; aceptado el 7 de mayo de 1993

**RESUMEN.** Se describe la construcción de una cámara de niebla del tipo de gradiente de temperatura en donde, a diferencia de soluciones tradicionales, la atmósfera saturada se consigue por rocío desde la parte superior de la cámara, de una solución de alcohol. La cámara así construida resulta ser muy estable, manteniéndose en funcionamiento continuo por varias horas sin interrupción, con una clara definición de las trazas de las partículas que la atraviesan. Por otro lado, la sensibilidad y tamaño de los prototipos construidos resultaron ser lo suficientemente buenos como para detectar con claridad los rayos cósmicos. También se estudia la sensibilidad de la cámara para partículas  $\alpha$  que provienen de fuentes radiactivas externas.

**ABSTRACT.** We describe the construction of a temperature gradient type cloud chamber where, instead of the traditional solutions usually adopted, the saturated atmosphere is produced by dew of an alcoholic solution coming from the upside of the chamber. The resultant chamber turns out to be very stable, working for several hours without interruption and with a clear definition of the traces traversing it. On the other hand the size and sensibility of the prototypes we constructed where good enough to detect with clarity cosmic rays. We also study the sensibility of the chamber to  $\alpha$  particles coming from external radioactive sources.

PACS: 01.50.Mg; 01.50.Pa

### 1. INTRODUCCIÓN

Durante los cursos de física moderna es frecuente escuchar preguntas de los estudiantes relacionadas con la posibilidad de manejar experimentalmente los conceptos que se enseñan en esos cursos. De hecho, debido a las características del contenido de la física contemporánea, se tiene la idea de que incluso una partícula tan conocida como el muón, resulta tan exótica y difícil de detectar como el mesón de Higgs, una cuerda cósmica o el cuark tope (top) [1]. En estas circunstancias resulta muy importante poder construir algún dispositivo que permita introducir experimentalmente al estudiante a la física de las altas energías. Uno de los mejores candidatos es ciertamente la cámara de niebla.

Fue dentro de estas consideraciones, que nos planteamos la construcción de una cámara de niebla barata y sencilla de construir, pero con la sensibilidad y estabilidad suficientes

para detectar de manera clara inclusive rayos cósmicos. Rápidamente nos dimos cuenta que los modelos tradicionales, de diseño simple que se encuentran en los libros de texto [2], resultan demasiado pequeños para nuestros propósitos, y no se pueden agrandar porque utilizan el fenómeno de la capilaridad para hacer subir el líquido de la cámara por sus paredes. Por otro lado, en los modelos de gran rendimiento se emplean bombas eléctricas para subir el líquido que luego se convertirá en vapor saturado [3]. Esta alternativa nos pareció demasiado complicada para nuestros fines. La solución encontrada por nosotros consiste en hacer caer el líquido como si fuera rocío desde la parte superior de la cámara, con gotitas muy finas. El resultado neto es una saturación rápida de la atmósfera de la misma y por lo tanto un alto rendimiento.

En este artículo describiremos la construcción de una cámara de niebla siguiendo la idea anterior. El artículo está dividido de la manera siguiente: En la Sec. 2 describiremos la construcción de la cámara de niebla, en la Sec. 3 analizaremos brevemente su funcionamiento y en la Sec. 4 discutiremos algunas posibles extensiones y escribiremos nuestras conclusiones.

## 2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Aunque los principios físicos en los que se basa una cámara de niebla son ampliamente conocidos, repetiremos aquí a grandes rasgos su funcionamiento [4]. Básicamente se trata de conseguir una atmósfera saturada con los vapores de algún líquido volátil (en nuestro caso alcohol), de tal manera que cuando una partícula cargada atraviese dicha atmósfera, la carga eléctrica alcanza a agrupar algunas gotitas del líquido empleado, dejando de esta manera una traza de gotitas a lo largo de su recorrido. Para lograr la atmósfera saturada se utilizan generalmente dos opciones, una por expansión adiabática, en las llamadas cámaras de expansión y la otra por gradiente de temperatura, en las llamadas de difusión. En el primer caso se disminuye, mediante una expansión adiabática, la presión interna de un recipiente cerrado herméticamente, que contiene generalmente alcohol. El resto de la tarea la realiza la presión de vapor del alcohol, dando como resultado una atmósfera saturada dentro del recipiente. Es claro que se pueden obtener los mismos efectos utilizando un gradiente de temperatura en lugar de la expansión adiabática. En este caso, la parte superior de la cámara se encuentra a una mayor temperatura que la inferior, produciéndose en consecuencia un gradiente de temperatura entre las dos tapas de la cámara. En la parte superior, que es la parte caliente de la misma, el alcohol se evapora para descender y condensarse en la parte fría, de una manera parecida a la condensación que ocurre con la humedad de nuestro aliento cuando se condensa en climas muy fríos. Debido a su sencillez fue este último tipo de cámara el elegido.

Se construyeron varios prototipos de diferente tamaño sin que, aparentemente, se haya llegado a los límites de la técnica que proponemos. A continuación pasaremos a describir uno de los prototipos con el que estuvimos trabajando.

Para la cámara usamos un matraz de cristalización PYREX del número 3140 de 19 cm de diámetro por 10 cm de alto y 0.03 cm de espesor. La tapa de vidrio común de 2 mm de grosor y de 20 cm de diámetro, cumple con un propósito doble: mantiene el interior de la cámara libre de turbulencias producidas por las corrientes de aire del exterior y evita que

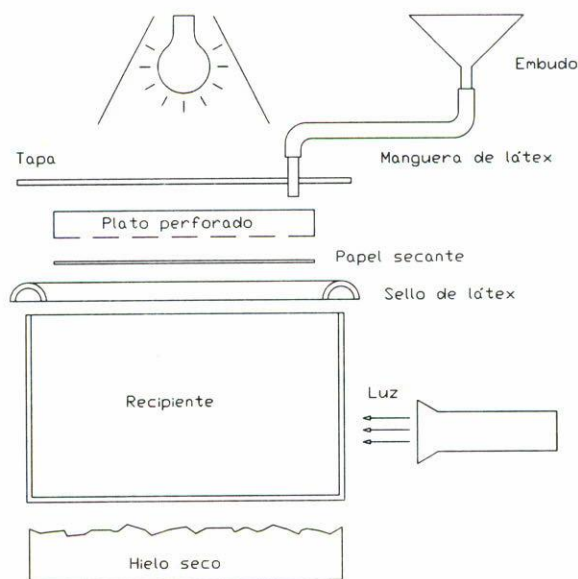


FIGURA 1. Diagrama de la cámara de niebla.

se salga el alcohol; aunque en realidad no es necesario mantener herméticamente sellada la cámara. Se colocó a manera de empaque una manguera de látex cortada longitudinalmente y enrollada sobre el borde de la tapa.

En el interior pusimos 40 ml de alcohol con tres gotas de tinta china para pluma fuente, con el objeto de oscurecer el fondo y obtener un contraste adecuado para la observación de las trazas. En la parte superior colocamos, mediante unas pequeñas columnas de aluminio, un plato construido con una hoja también de aluminio de 0.15 mm de grosor. Al plato le efectuamos 50 perforaciones (0.2 perf. por  $\text{cm}^2$ ) realizadas con una broca de 1/64 de pulgada, o con la punta de una aguja. Inmediatamente bajo el plato, colocamos con pequeños alambres un círculo de papel secante del mismo diámetro que la cámara. El dispositivo se encuentra representado en la Fig. 1.

Para que la cámara funcione añadimos el alcohol dentro del plato de aluminio, de tal manera que éste pase por los agujeros hacia el papel secante. Manteniendo caliente la parte superior por medio de un foco, el papel secante despidе vapores de alcohol. Es en este punto donde radica la diferencia con los modelos convencionales, en donde se obliga a subir al alcohol por medio de capilaridad. En nuestro caso el alcohol ya se encuentra arriba y solamente necesita de la gravedad y del calor para descender en forma de rocío. Para mantener húmedo el papel secante, colocamos una manguera de hule a través de la tapa de vidrio y conectada a un embudo por donde se vierte el alcohol. El flujo que utilizamos fue de 10 ml por cada 15 min.

### 3. FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA

Una vez armada la cámara procedemos a hacerla funcionar. Para este fin sacamos el plato metálico y humedecemos el papel secante con alcohol; colocamos un poco de alcohol en el

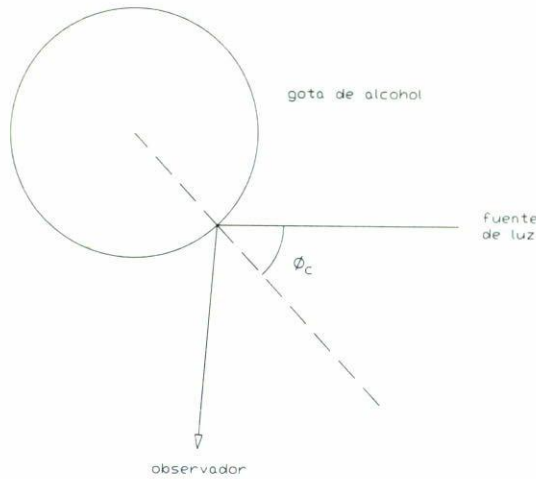


FIGURA 2. Para ángulos mayores al ángulo crítico  $\phi_c$ , los rayos de luz ya no penetran en la gota de alcohol.

plato y lo volvemos a colocar dentro de la cámara. Notemos que por tensión superficial, el alcohol del plato pasa al papel secante manteniéndolo húmedo. Colocamos en su lugar la tapa de vidrio con su sello de hule y ponemos todo el dispositivo sobre hielo seco (Fig. 1). El tipo de hielo empleado (amoníaco) tiene una temperatura de evaporación de  $-76^{\circ}\text{C}$  al ser medida con un termopar previamente calibrado para este propósito.

Para calentar el alcohol y lograr su evaporación, colocamos un foco de 40 watts sobre la tapa superior de vidrio de la cámara, a aproximadamente 10 cm de distancia. Para aumentar la eficacia de calentamiento, rodeamos al foco con una hoja de aluminio. La temperatura registrada en la cara interna superior de la cámara fue de  $59.3^{\circ}\text{C}$ , mientras que la del alcohol en la parte inferior fue de  $-37^{\circ}\text{C}$ .

Una vez colocada la cámara sobre el hielo y con el foco encendido, transcurren entre 10 y 15 min antes de empezar a funcionar y puede durar más de 6 horas trabajando con sólo medio kilogramo de hielo, si se aísla bien el hielo del exterior con un trapo grueso. El alcohol usado fue metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), pero sorprendentemente, pudimos constatar que incluso se puede usar alcohol de caña de  $96^{\circ}\text{GL}$ . La diferencia radica en que la temperatura de evaporación del alcohol de caña es de  $80^{\circ}\text{C}$ , por lo que hay que acercar un poco más el foco a la tapa de la cámara.

Para observar las trazas, oscurecimos parcialmente la habitación y utilizamos una lámpara para iluminar la zona de niebla, observando que es conveniente colocarse a partir de alrededor de  $100^{\circ}$  en adelante (Fig. 2), siendo la posición ideal alrededor de  $150^{\circ}$  o  $160^{\circ}$ . Para ángulos mayores, la iluminación directa de la lámpara nos impide ver las trazas. La razón de este comportamiento la podemos ver con la ayuda de la Fig. 2, en donde aparece una gotita de alcohol iluminada desde la derecha. Observamos que a partir de 2 veces el ángulo crítico, los rayos de luz ya no son absorbidos por la gota sino que son reflejados. Como el índice de refracción para el alcohol es de 1.36 [5], tenemos entonces que por la

ley de Snell [6]

$$\text{sen } \phi_c = \frac{1}{1.36}, \quad (1)$$

lo que da para el doble del ángulo crítico el valor de  $95^\circ$ , aproximadamente. Evidentemente a medida que nos coloquemos en ángulos cada vez mayores, más y más luz reflejada estaremos viendo y por lo tanto podremos observar mejor las trazas. El grosor de la capa en donde se observan las trazas es de aproximadamente 2 cm, localizada justo por encima del fondo del recipiente.

Uno de los puntos que nos interesa estudiar es la sensibilidad de la cámara, definida como la mínima energía necesaria para que una partícula pueda formar una traza, cuando la fuente radiactiva se encuentra en el exterior de la misma. Este punto está determinado por la pared de vidrio de la cámara. Si la partícula tiene la energía suficiente para atravesar la pared de vidrio, entonces puede llegar a la zona de niebla y formar una traza. En particular estamos interesados en el comportamiento de las partículas  $\alpha$ , debido a que son las que menos posibilidades tienen de atravesar las paredes de vidrio. Para estudiar este punto utilizaremos la ecuación de Bethe-Bloch [7], que nos da la pérdida de energía por ionización al penetrar una partícula de carga  $z|e|$  en un medio material:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} = z^2 D \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[ \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2 T_{\max}}{(1-\beta^2)I^2} \right) - 2\beta^2 \right]. \quad (2)$$

Aquí,  $D = 0.1535 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$ ,  $Z$  y  $A$  son la carga y número atómico del material, respectivamente, y  $\beta = v/c$  es la velocidad de la partícula en unidades de la velocidad de la luz. La cantidad  $I$  se llama potencial de ionización medio y en nuestro caso vale  $I \approx 10Z$ . La densidad del material es  $\rho$  y  $m_e$  es la masa del electrón. Para  $T_{\max}$  tomaremos

$$T_{\max} \approx 2\beta\gamma^2 m_e c^2. \quad (3)$$

La Ec. (2) vale solamente en el caso de elementos puros; para el caso del vidrio tomaremos la ley de aditividad de Bragg [8]

$$\left( \frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_{\text{mezcla}} \approx \sum_i \left( \frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_i f_i, \quad (4)$$

en donde la  $i$  significa cada uno de los componentes de la mezcla y la  $f_i$  el porcentaje de cada componente con respecto al total. En el caso del vidrio Pyrex dichos componentes y porcentajes son [9]:  $\text{SiO}_2$  (80.5%) +  $\text{B}_2\text{O}_3$  (12.9%) +  $\text{Na}_2\text{O}$  (3.8%) +  $\text{K}_2\text{O}$  (0.4%) +  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2.2%).

La curva A de la Fig. 3 muestra la integración de la ecuación de Bethe-Bloch, realizada numéricamente, para el ancho de las paredes de vidrio de la cámara. Dicho de otra manera, la curva A nos muestra la pérdida de energía en función de la velocidad de la partícula incidente. Es claro que las partículas  $\alpha$  penetran en la cámara cuando su energía cinética (curva B) supera la pérdida de energía en las paredes. A pesar de que éstas son relativamente delgadas, observamos que para poder penetrar en la cámara de niebla, las

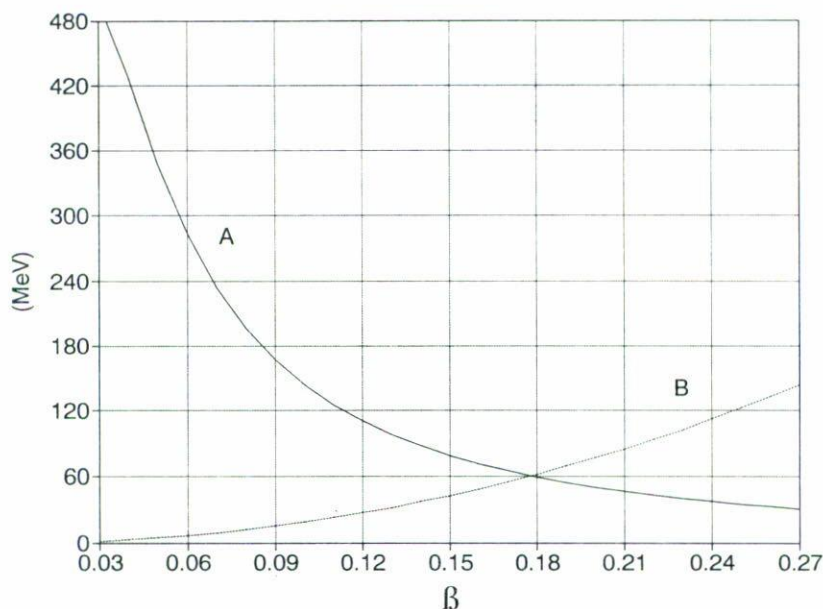


FIGURA 3. La curva A representa la pérdida de energía de una partícula  $\alpha$  cuando atraviesa las paredes de vidrio de la cámara. Esta curva es calculada numéricamente a partir de la ecuación de Bethe-Bloch. La curva B representa la energía cinética de la misma partícula en función de la velocidad relativa  $\beta = v/c$ . Cuando la energía cinética supera la pérdida de energía en las paredes, la partícula  $\alpha$  penetra en la cámara.

$\alpha$  necesitan una velocidad relativamente alta, aproximadamente 18% de la velocidad de la luz.

Una discusión detallada de las condiciones de validez de la aproximación que hemos tomado se encuentra en la Ref. [10]. Sin embargo, para propósitos de este artículo, baste señalar que la ecuación de Bethe-Bloch es correcta, si no se busca una gran precisión. Afortunadamente, los cálculos realizados por nosotros muestran que el resultado final es en realidad muy poco sensible tanto a las correcciones usualmente empleadas para esta ecuación como a la composición exacta del vidrio, la cual es muy difícil de conocer con precisión por tratarse de un vidrio comercial. Entonces, nuestras aproximaciones son una buena indicación, hasta algunos puntos porcentuales, de la pérdida de energía de una partícula  $\alpha$  en las paredes de la cámara.

#### 4. CONCLUSIONES

La cámara de niebla representa uno de los aparatos de detección en física de partículas, al nivel de enseñanza, más sencillos de construir. Con materiales que se pueden conseguir fácilmente en el comercio, se puede construir un modelo con funcionamiento aceptable. Hemos encontrado que ni siquiera es necesario usar un tipo de alcohol especial, basta el alcohol de caña.

Los prototipos fabricados por nosotros son capaces de detectar incluso rayos cósmicos y, aparentemente, con la técnica propuesta se pueden construir modelos más grandes y de mejor rendimiento. Una de las dificultades de esta técnica consiste en la baja sensibilidad de la cámara para partículas  $\alpha$ . Sin embargo, recordemos que el 75% de los rayos cósmicos son mesones  $\mu$  Ref. [10], los cuales sí se pueden detectar fácilmente con este tipo de cámaras.

¿De qué manera se puede mejorar el diseño sin aumentar prohibitivamente el costo? Los diseños de alto rendimiento utilizan un refrigerador y una bomba eléctrica para hacer circular el alcohol, además de dispositivos electrónicos de control relativamente sofisticados [3]; elementos que están fuera del alcance de la mayor parte de los estudiantes. Actualmente estamos trabajando en una alternativa sencilla, la cual consiste en emplear un oscilador de ultrasonido conectado a un transductor de cuarzo para crear la atmósfera saturada, trabajando de una manera parecida a la de los humidificadores de ambiente.

En algunos artículos consultados [4] se reporta el uso de dos placas en el interior de la cámara, conectadas a una diferencia de potencial, para crear un campo eléctrico que limpie la atmósfera de las trazas ya formadas. Observamos que en nuestro caso esto no es necesario, debido a que por su propio peso las trazas formadas caen en el alcohol y la atmósfera se mantiene libre de iones, al menos cuando no importan mucho los tiempos muertos largos.

#### AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Darío Moreno y Héctor Rivero el haber leído el manuscrito así como sus comentarios y sugerencias. También queremos agradecer al Laboratorio de Óptica y de Física Moderna de la Facultad de Ciencias de la UNAM el habernos facilitado parte de sus instalaciones para poder realizar el presente trabajo.

#### REFERENCIAS

1. C. Quigg, *Gauge theories of strong, weak, and electromagnetic interactions*, Addison Wesley Publishing Company (1983).
2. PSSC, *Physics*, Editorial Reverté, España (1963).
3. H.G. Meiners, *Physics, demonstration experiments*, Vol. II, The Ronald Press Company, New York (1970); PHIWE (información técnica), Phybe Systeme GmbH. P.O.Box 3062, D-3400, Gotinga, Alemania.
4. T.B. Brown, *The Lloyd William Taylor manual of advanced undergraduate experiments in physics*, Addison Wesley Publishing Company (1961); Harry F. Meiners, Walter Eppenstein, Ralph A. Oliva, Thomas Shannon *Laboratory physics*, Segunda edición, John Wiley and Sons (1987).
5. *Handbook of Chemistry and Physics* Edición 63, 1982-1983, (1983).
6. F.A. Jenkins y H.E. White, *Fundamentals of Optics*, McGraw-Hill (1976).
7. T.G. Trippe, *Reviews of Modern Physics* 48 parte II, (1976) 44.
8. T.G. Trippe, *Ibid.*, p. 45.
9. G.W. Morey, *The properties of glass*, Reinhold Publishing Corporation, monograph series (1938).
10. *Particle properties data booklet*, Particle Data Group, Ed. 92-93, MS 50-308 Lawrence Berkeley Lab., CA 94720 USA (1992).