



Enseñando el concepto de Intensidad

Pedro Menares Álvarez
pedro.menares@umce.cl
Departamento de Física

Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

En este artículo el autor presenta el concepto físico de intensidad, el que se emplea en diversas áreas de la Física, tales como la intensidad de la lluvia que cae en una unidad de área, la radiación solar que incide en la superficie de la Tierra, definición de la constante solar a partir de la radiación solar incidente, la ley del inverso del cuadrado de la distancia, la emisión de radiactividad por sustancias y la obtención de películas delgadas. Por la variedad de fenómenos físicos que se pueden estudiar mediante ese concepto, manifiesta el autor que la intensidad es un concepto transversal en la Física. A partir de las gotas de lluvia que caen en una unidad de área, establece la definición del concepto de intensidad, el que aplica a otras áreas de la Física ya mencionados, ilustrando con ejercicios resueltos y planteados para el estudiante. El profesor puede utilizar este material en diversos niveles de la Educación Media y superior.

La intensidad: Un concepto transversal

La intensidad es el concepto que expresa la cantidad de partículas o de energía que pasa a través de una superficie en un intervalo de tiempo. Comencemos con un fenómeno cotidiano.

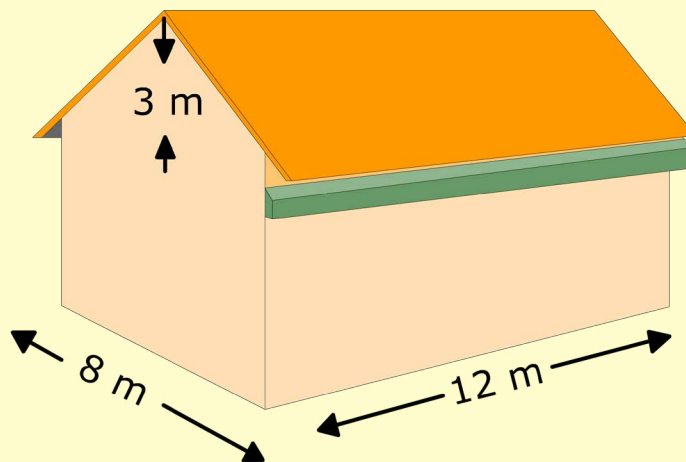
Gotas de lluvia

Un día de lluvia es una ocasión que nos permite presentar una gran diversidad de situaciones problemáticas, por ejemplo, podemos ejercitar el concepto de volumen, las potencias de 10, la idea de caudal, e introducir el concepto de intensidad. Para facilitar los razonamientos, supondremos que las gotas de lluvia caen verticalmente

La cantidad de agua caída durante una lluvia se expresa en mm. 1 mm de lluvia equivale a la caída de 1 litro de agua sobre cada m^2 de superficie horizontal, ya que al introducir un litro de agua en un recipiente que tiene $1 m^2$ de área basal, el nivel de agua alcanza una altura de 1 mm.

Actividades

1. Al construir un instrumento que nos permita medir el agua caída durante una lluvia, ¿es necesario que tenga 1 m^2 de área basal?
2. Si disponemos de varios recipientes cilíndricos, (tarros) de distinta área basal y todos recogiendo gotas de la misma lluvia, ¿la altura del nivel de agua en todos los tarros es el mismo en todo instante?
3. En una noche de lluvia cayeron 14 mm de agua. Calcular los litros de agua que cayeron en cada km^2 de terreno horizontal.
4. Una piscina tiene un área de 320 m^2 . Una lluvia que duró 7 h hizo subir el nivel del agua de la piscina en 14 mm . Calcular el caudal medio en cm^3/min que cayó sobre la piscina.
5. Las gotas de cierta lluvia las podemos considerar como esferas de $1,0 \text{ mm}$ de radio, calcular cuántas gotas se necesitan para juntar 1 litro de agua.
6. En un fin de semana llovió 60 mm de agua, y las gotas eran de $1,0 \text{ mm}$ de radio.
 - a) Calcular el número de gotas que cayeron sobre el techo de la casa mostrada en la figura siguiente:



- b) ¿Cuántas gotas cayeron sobre la pelota de la figura, si su diámetro es de 40 cm ?



Intensidad de la lluvia

La intensidad de la lluvia la podemos expresar indicando el número de gotas que caen en cada metro cuadrado de superficie horizontal en cada segundo. Sobre la base de esta definición, realiza las siguientes actividades.

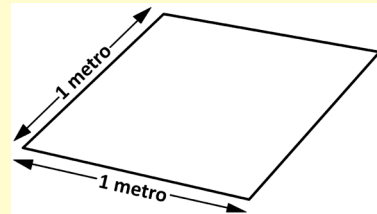
Actividades

1. Cierta día que llovió durante 8 horas, cayeron 16 mm de agua. Si las gotas de aquella lluvia las consideramos como esferas de 1,2 mm de diámetro, calcular:
 - a) El nº de gotas que cayeron en cada metro cuadrado de terreno.
 - b) La intensidad de la lluvia que cayó ese día.



Diremos que una lluvia es homogénea si la intensidad es la misma en todas partes y en todo intervalo de tiempo.

2. En una región de $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ llueve en forma homogénea durante 12 horas. Si en promedio caían 4800 gotas sobre cada m^2 en cada minuto, calcular el total de gotas caídas sobre la región.



3. En un día de lluvia caían 500 gotas por cada metro cuadrado y en cada segundo. Si cada gota podemos considerarla como una esferita de 1mm de diámetro, calcular el tiempo que tarda en llenarse un frasco de 250 cm^3 de capacidad y que tiene una boca circular de 5 cm de diámetro.



4. Un embudo que tiene 12 cm de diámetro en su parte más ancha, recibe las gotas de lluvia que luego se depositan en una probeta graduada de 4 cm de diámetro. Si al final de la lluvia la columna de agua en la probeta es de 135 mm, ¿cuántos litros de agua cayeron en cada kilómetro cuadrado de terreno?



5. En una región llueve en forma homogénea. Las gotas de lluvia pueden considerarse como esferas de 1,4 mm de diámetro. Un tarro cilíndrico de 6 cm de altura y de 15 cm² de área basal se llenó en 18 h de lluvia, calcular:

- Lo que tarda en llenarse un tarro de 3 cm de altura y 30 cm² de área basal.
- La intensidad de la lluvia.



6. Si por efecto del roce con el aire, las gotas de lluvia del problema anterior bajan con una rapidez constante de 4 m/s, ¿cuántas gotas se encuentran dentro de un cilindro imaginario de 2 m² de área basal y 20 m de alto? ¿Cuál es la densidad de gotas en el aire?



7. Cierta día que llovió durante 20 horas, las gotas tenían 1,4 mm de diámetro y caían con una rapidez constante de 4 m/s. Si la intensidad media de la lluvia fue 12 000 gotas/(m² min), calcular la cantidad de lluvia caída y estimar el número de gotas que, en todo instante, se encontraban en cada m³ de la baja atmósfera.



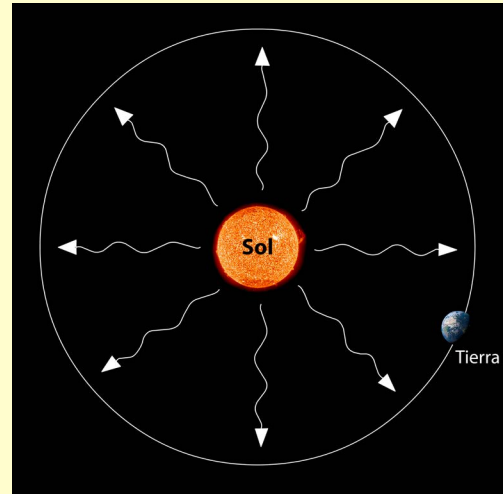
Emisores Isotrópicos

En diversas situaciones futuras, deberemos analizar el caso de fuentes localizadas que emiten partículas o energía. Cuando esta emisión tiene simetría esférica, es decir, que sale en todas direcciones y con igual intensidad, diremos que la emisión es isotrópica, como ocurre, por ejemplo, con la luz emitida por el Sol y en la emisión de partículas radiactivas.

La radiación solar

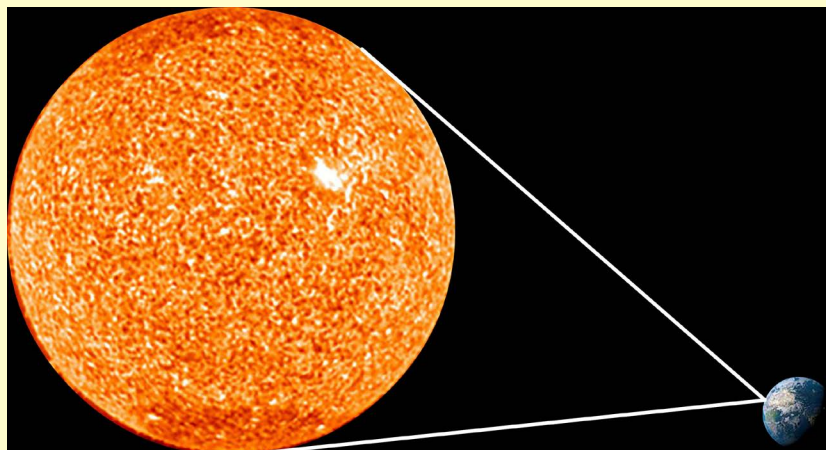
El Sol es una fuente de radiación que emite energía electromagnética (luz) en forma continua y constante. Esta cantidad de energía que sale del Sol se propaga isotrópicamente en el sistema solar. Como el Sol se encuentra muy alejado de la Tierra, solo una pequeñísima parte de dicha energía llega a nuestro planeta.

Sea P la cantidad de energía que el Sol irradia en cada segundo. Si imaginamos una superficie esférica de radio r , concéntrica con el Sol, por simetría podemos asegurar que la intensidad con que la energía luminosa atraviesa esa superficie, tiene el mismo valor en todos los puntos de dicha superficie.

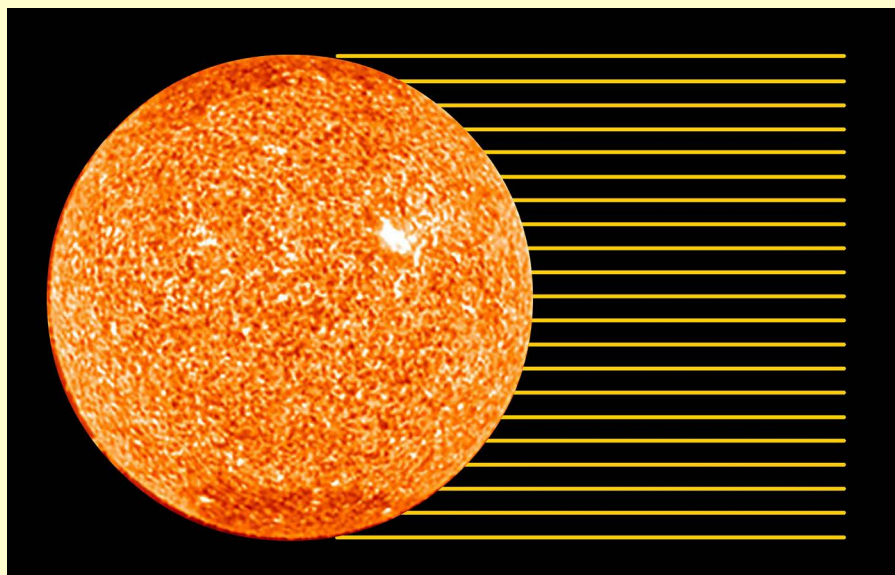


Análisis de la disposición geométrica del sistema Sol-Tierra

Si el Sol y la Tierra estuviesen muy cerca, a la Tierra llegarían rayos formando ángulos en un amplio rango de valores. El ángulo máximo con que dos rayos de luz llegan a la Tierra, llamado también diámetro angular del Sol, está determinado por las tangentes al Sol trazadas desde cualquier punto de la Tierra.



Al observar el disco solar, vemos que tiene un diámetro angular de aproximadamente $0,5^\circ$. Esto significa que la distancia entre el Sol y la Tierra es mayor que 100 diámetros solares. ¿Por qué? Luego, la distancia entre el Sol y cualquier punto de la Tierra debe ser aproximadamente la misma. Para efectos prácticos, vamos a considerar que los rayos del Sol llegan paralelos a la superficie de la Tierra.



En cualquier punto de la superficie terrestre los rayos de luz llegan en forma inclinada, inclinación que varía a lo largo del día y, además, las condiciones atmosféricas varían a lo largo del año. En consecuencia, la intensidad de la energía luminosa que incide en cualquier punto de la Tierra no es constante.

Medición de la intensidad de la radiación solar en la superficie terrestre.

Un hecho más evidente de la energía que nos llega, mediante la luz proveniente del Sol, es el calentamiento de los objetos y sustancias materiales sobre los cuales incide. Una moneda expuesta a la radiación solar durante una hora, cualquier día de verano, puede alcanzar una temperatura que no nos permite sostenerla en la mano.

Esa elevación de temperatura que se manifiesta en las diferentes sustancias, nos permitirá medir la intensidad de la radiación solar en algún punto de la superficie de la Tierra, es decir, la cantidad de energía que incide en cada metro cuadrado, perpendicular a los rayos de luz, y en cada segundo.

Análisis de un experimento pensado

Objetivo: Comprender un método experimental que nos permita medir la intensidad de la radiación solar en la superficie terrestre.

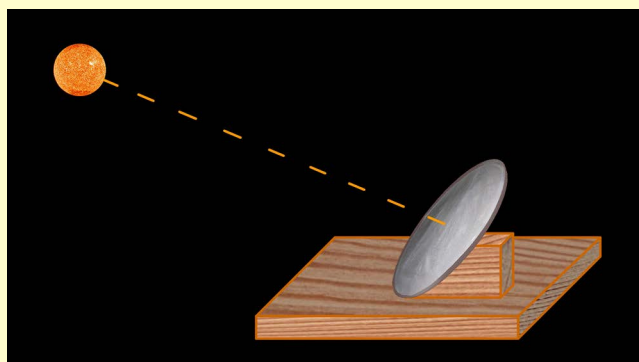
Materiales

2 tapas de café chico
1 jeringa de 10 cm³
1 reloj
1 termómetro
1 taza
congelador de un refrigerador
agua



Preparación del sistema

En las dos tapas de café, usando las medidas de la jeringa, se vierten 10 cm³ de agua. Con el propósito de formar 2 galletas de hielo idénticas, las tapas con agua se ponen en el congelador del refrigerador.



Método de medición

En la taza con 200 cm³ de agua, se pondrá una de las tapas con su galleta de hielo incluida. Medimos la temperatura inicial del agua, antes de echar la tapa con el hielo, y una vez que se haya derretido el hielo, se revuelve suavemente, y se mide la temperatura final del agua.

La otra tapa, con su galleta de hielo incluida, se pone directamente bajo la acción de los rayos del Sol, teniendo el cuidado de ponerla con la inclinación adecuada para que los rayos incidan perpendicularmente sobre ella. Medimos el tiempo que tardará la galleta de hielo en derretirse totalmente.

Mediciones

Para el agua de la taza se midieron: $t_i = 15\text{ }^\circ\text{C}$ $t_f = 9\text{ }^\circ\text{C}$
El tiempo que demoró la segunda galleta en derretirse al Sol fue: $\Delta t = 28\text{ min}$

Análisis y procesamiento de las mediciones

Vamos a suponer que, en el intervalo de tiempo que duró el proceso, toda la energía solar transportada por los rayos que incidieron sobre la segunda tapa se utilizó en fundir la galleta de hielo. La cantidad de energía necesaria para fundir la galleta de hielo se puede obtener de las mediciones realizadas en la primera tapa.

En efecto, como la densidad del agua es 1 g/cm^3 , al comienzo tenemos 200 g de agua a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ con 10 g de hielo y al final tenemos 210 g de agua a $9 \text{ }^\circ\text{C}$. Con estos datos podemos calcular la energía utilizada para fundir la galleta de hielo.

Recordemos que una caloría es la energía necesaria para elevar en $1 \text{ }^\circ\text{C}$ la temperatura de 1 g de agua. En este caso, los 200 g de agua inicial redujeron su temperatura en $6 \text{ }^\circ\text{C}$, con lo cual transfirieron a la tapa 1200 cal. Esta cantidad de calor se utilizó en fundir el hielo y luego en elevar en $9 \text{ }^\circ\text{C}$ los 10 g de agua provenientes del hielo. En este último proceso se necesitaron 90 cal; en consecuencia, la energía requerida para fundir la galleta de hielo es 1110 cal que corresponden a 4640 J.

Con la segunda tapa, medimos el tiempo que demoraron los rayos del Sol en fundir la galleta de hielo: fueron 28 min = 1680 s. Por lo tanto, en ese tiempo la tapa absorbió 4640 J, y como la tapa tiene un diámetro de 5,6 cm, la superficie de ella es $24,6 \text{ cm}^2$. Entonces, como la intensidad de la radiación solar está definida como la cantidad de energía que incide en cada m^2 y en cada segundo, con las mediciones realizadas obtenemos el valor:

$$\frac{4640}{1680 \cdot 24,6} = 0,1122 \frac{\text{watt}}{\text{cm}^2} = 1122 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

¿Cómo influye el material de la tapa en el valor obtenido para la radiación solar incidente? ¿Qué otras consideraciones debemos hacer para perfeccionar la medición de la intensidad de la radiación solar?

Actividad

- Estimar la cantidad de energía solar que cae sobre un kilómetro cuadrado del desierto de Atacama en un día.
- Si técnicamente pudiésemos transformar el 25% de esa energía luminosa en energía eléctrica ¿cuál sería la potencia de esa central helio-eléctrica?
- Indiquen todas las suposiciones que hagan R:150 MW

LA CONSTANTE SOLAR

La intensidad de la radiación solar a las alturas, fuera de la atmósfera, es la magnitud física que llamamos constante solar. Tiene un valor de $1368 \text{ joule/m}^2\text{s}$, valor numérico que se ha obtenido de mediciones realizadas por satélites artificiales, para evitar la absorción de energía en la atmósfera.

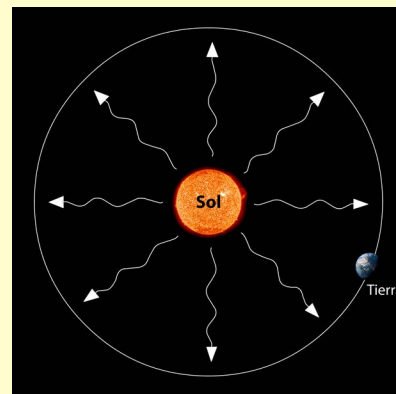
Sea P la cantidad de energía que el Sol irradia en cada segundo, si imaginamos una superficie esférica de radio r , concéntrica con el Sol, nos daremos cuenta de que toda la energía que el Sol irradia, atraviesa a través de esa superficie esférica. Como la trayectoria de la Tierra es casi circunferencial, podemos considerar que toda la órbita está contenida en una superficie esférica con centro en el Sol y de $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ de radio.

Actividades

1. La energía solar es transportada principalmente por la luz visible y llega a la Tierra con una intensidad de $1368 \text{ joules/ m}^2\text{s}$. Calcular la energía total que llega a la Tierra en un día.
R: $1,49 \times 10^{22} \text{ J}$
2. En el espacio tenemos un laboratorio espacial en forma de disco de 50 m de radio. Si la superficie externa del disco está cubierta completamente con baterías solares, ¿cuál es la máxima cantidad de energía que las baterías pueden absorber en cada minuto?
R: $64 \times 10^7 \text{ J}$
3. La luz al atravesar la atmósfera y llegar a la superficie de la Tierra origina una serie de fenómenos y efectos ópticos, térmicos, bioquímicos y mecánicos. Identifiquen y describan al menos dos fenómenos, en cada una de las categorías indicadas.

El origen de la energía solar

La Tierra se encuentra sobre la superficie de una esfera imaginaria, con centro en el Sol y de $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ de radio. Toda esa superficie es atravesada por un flujo constante de energía proveniente del Sol. Ahora sabemos que por cada m^2 de dicha superficie pasan 1368 joule de energía luminosa en cada segundo.



Actividades

1. Calcular la energía total que atraviesa la superficie de la esfera en cada segundo. Esta es la cantidad de energía que irradia el Sol en cada segundo. R: $3,84 \times 10^{26}$ J
2. Calcular la energía total irradiada por el Sol durante toda su existencia, si suponemos que tiene una edad de 4600 millones de años. R: $5,57 \times 10^{43}$ J
3. ¿Cuál es el origen de esa increíble cantidad de energía?
4. Si suponemos que el Sol es un reactor nuclear, que en forma natural permite la conversión de masa en energía, y que en ese proceso se cumple la ecuación de Einstein $E = m c^2$, ¿qué cantidad de masa del Sol se ha transformado en energía desde su nacimiento? R: 2×10^{27} kg
5. Comparen la masa perdida con la masa actual del Sol y de allí, estimen cuánto tiempo más podría seguir funcionando como fuente de energía.

La intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia de la fuente

Sea P la cantidad de energía que el Sol irradia en cada segundo, si imaginamos una superficie esférica de radio r , concéntrica con el Sol, podemos suponer que toda la energía que el Sol irradia, pasará a través de ella. Como la emisión es isotrópica, la intensidad de la radiación solar en cualquier punto de dicha superficie tendrá el mismo valor, y la expresamos por:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Si ahora consideramos otra superficie concéntrica de radio mayor R , tendremos que la energía que la atraviesa en cada segundo nuevamente es P , pero la cantidad de energía que en cada segundo atraviesa un m^2 de ella disminuyó, lo que se expresa como:

$$I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

Actividad

Imaginemos una superficie cerrada que contiene al Sol en su interior. ¿Qué podemos decir respecto a la cantidad de energía que atraviesa dicha superficie en cada segundo? ¿Qué podemos decir respecto a la intensidad luminosa en los diferentes puntos de dicha superficie? ¿Es necesario que la superficie cerrada sea esférica?

Conclusión: A través de cualquier superficie que tenga el Sol en su interior, va a pasar una cantidad P de energía en cada segundo; y corresponde a la energía emitida por aquel en un segundo.

La emisión radiactiva

La radiactividad es un fenómeno natural que se produce en algunas sustancias que poseen la propiedad de emitir permanentemente partículas subatómicas y ondas electromagnéticas de alta energía. Cada partícula emitida corresponde a la desintegración de un núcleo atómico de la sustancia en cuestión.

Las partículas emitidas por una muestra salen en todas direcciones con igual probabilidad, dando como resultado una "emisión isotrópica" de las mismas.

Las partículas emitidas por una muestra radiactiva las podemos contar con un instrumento llamado "contador Geiger"; este consiste en un tubo cilíndrico con un filamento central conectado a una diferencia de potencial muy alta, de modo que al entrar una partícula en el tubo se produce una descarga eléctrica. Mediante un dispositivo electrónico, se cuenta el número de descargas eléctricas.

La actividad de una muestra radiactiva se define como el número de desintegraciones que en cada segundo se producen en ella. La unidad de actividad es el Curie y se define así:

1 Curie = $3,7 \cdot 10^{10}$ desintegraciones
en cada segundo

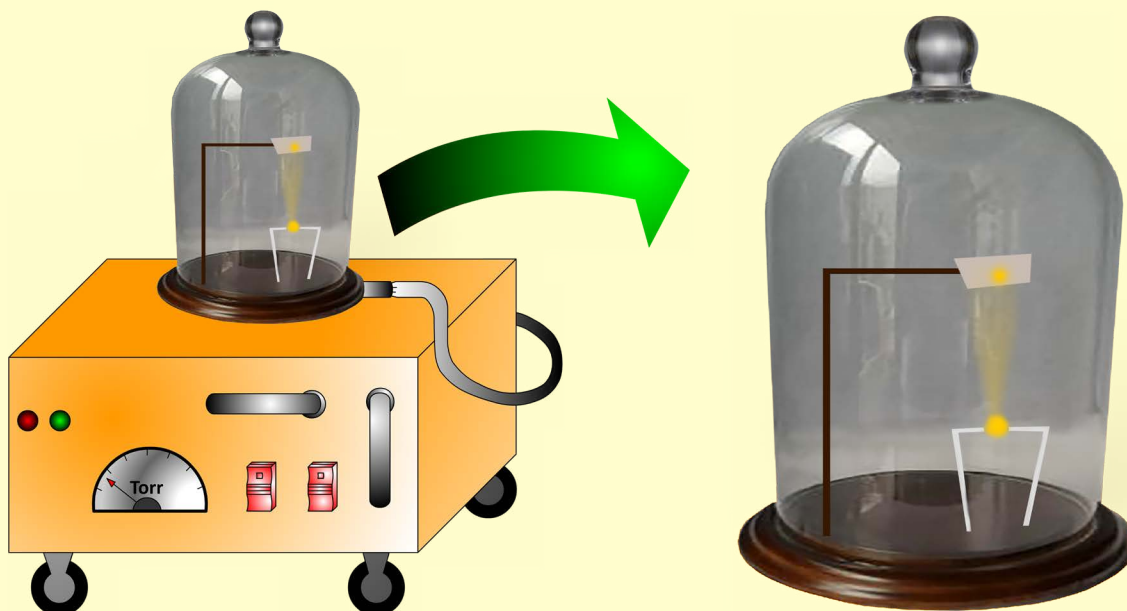


Actividades

1. Una pequeña muestra radiactiva tiene una actividad de $120 \mu\text{Curie}$. Calcular cuántas de las partículas emitidas entran, en cada minuto, al tubo de un contador Geiger, que tiene 3 cm de diámetro y que se encuentra a 30 cm de la muestra.
2. Una pequeña muestra radiactiva se ubica a 20 cm del tubo de un contador Geiger, tal como se muestra en la figura anterior. El diámetro del tubo es de 2 cm y el instrumento cuenta 7000 partículas en 90 segundos. Calcular: (i) ¿Cuántas partículas emite la muestra en cada minuto?; (ii) ¿Cuántas partículas contará el instrumento si la ventana del tubo se ubica a 60 cm de la muestra?; (iii) ¿Cuál es la actividad de la muestra?

Películas delgadas

Otro ejemplo de emisión isotrópica lo tenemos en la fabricación de "películas delgadas" (láminas metálicas de espesor inferior a una milésima de milímetro). En ese proceso se utiliza la técnica de evaporación en alto vacío, en el cual pedacitos del metal que se desea evaporar se ponen sobre un filamento por el cual circulará una corriente eléctrica controlada desde el exterior. Una vez realizado el vacío, se calienta el filamento hasta fundir el metal, la gota así formada se va evaporando en forma isotrópica y los átomos del metal se recogen en una placa de vidrio que se ubica a unos 20 o 30 cm del filamento.



Actividades

1. Si se evaporan 0,523 gramos de oro y la placa de vidrio es de 6 cm^2 , ubicada a 25 cm del filamento, calcular:

- El volumen de la gota que se forma en el filamento.
- La superficie de un casquete esférico de 25 cm de radio con centro en la gota metálica.
- La densidad superficial de la película que se formaría en este casquete.
- La masa de oro depositado en la placa.
- El espesor de la película formada.

2. Para fabricar un semiespejo, se necesita depositar sobre una placa de vidrio de 6 cm^2 una película de plata de 0,0005 mm de espesor. Si la placa se ubica a 30 cm del filamento, calcular:

- a) La masa de plata depositada en la placa.
- b) La masa que se evaporó en el filamento.