# Olimpíada Argentina de Física 2011

## Instancia Nacional

Prueba Experimental

18 de Octubre de 2011

**Nombre:** ...................................................................

**D.N.I.:** ........................................................................

- Antes de comenzar a resolver la prueba lea cuidadosamente TODO el enunciado de la misma.

- Escriba su nombre y su número de D.N.I. en el sitio indicado. **No escriba su nombre en ningún otro sitio de la prueba.**

- Escriba la solución en las hojas provistas y numérelas. Ejemplo: PE 2/5 (Prueba Experimental, hoja dos de cinco).

- Escriba con lapicera color azul o negra (no se puede usar ningún otro color)

- Si necesita más hojas pídalas al Bedel. **No use hojas personales.**

- **No escriba respuestas en las hojas del enunciado pues no serán consideradas.**

- Escriba de un solo lado de las hojas.

- Luego de finalizada la prueba, acomode y deje el equipo como lo encontró.

- Entregue la prueba en el sobre provisto. **No escriba en éste su nombre.**

**Introducción:** Consideremos el péndulo que se muestra en la Fig. 1, formado por un aro de masa *M*, diámetro interior *D* y espesor *e*, y un fiel de alambre de masa *m* y longitud $L_F$. El péndulo se encuentra suspendido de una cuchilla (C) como se muestra en la Fig. 1.

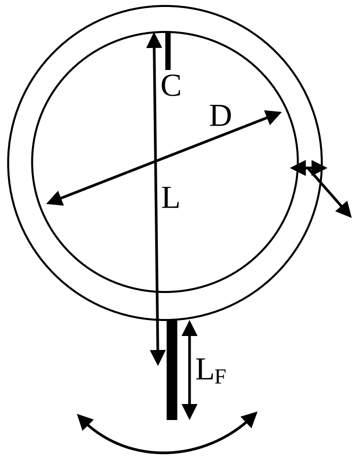



Figura 1. Esquema del péndulo a utilizar para medir la aceleración de la gravedad local. Las cantidades están definidas en el texto.

En el límite de pequeñas amplitudes de oscilación ($\theta_0 < 5º$) el período T de oscilación de un péndulo físico se puede aproximar de la siguiente manera:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_T}{M_T g d}} \qquad (1)$$

En donde hemos llamado $I_T$ al momento de inercia del péndulo (aro + fiel) con respecto a su eje de rotación, *d* a la distancia entre el punto de suspensión y el centro de masa del péndulo, $M_T$ a la masa total del péndulo y *g* a la aceleración de la gravedad local.
Para el péndulo de la Fig. 1, escribiendo adecuadamente $I_T$, $M_T$ y *d* en términos de las cantidades a medir directamente (masas y distancias), se llega a la siguiente expresión:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{D}{g}\frac{\left(1+\frac{e}{D}+\left(\frac{e}{D}\right)^2+\frac{m}{M}\left[\frac{1}{6}\left(\frac{L_F}{D}\right)^2+2\left(\frac{L}{D}\right)^2\right]\right)}{\left(1+2\frac{m}{M}\frac{L}{D}\right)}} \qquad (2)$$

*L* representa la distancia desde el eje de rotación hasta el centro de masa del fiel (ver Fig. 1). Esta expresión se puede utilizar para medir *g* en término de las restantes cantidades.
En el límite $D >> e$, $D >> L_F$ y $M >> m$, la ecuación se reduce a:

$$T = \sqrt{4\pi^2\frac{(D+e)}{g}} \qquad (3)$$

**Objetivo**: Determinar experimentalmente la aceleración de la gravedad local y el espesor promedio de los aros.

## Elementos disponibles

- Pie con espejo graduado y cuchilla
- 10 aros de madera de distinto diámetro y aproximadamente el mismo espesor
- Cronómetro
- Papel milimetrado
- Regla

## Procedimiento

a) Mida el diámetro *D* de cada aro.
b) Mida el espesor *e* de cada aro.

Asiente cada aro suavemente sobre la cuchilla (no lo clave). Recuerde que la oscilación se debe producir sobre el plano que contiene al aro. (Ver Figura 1)

c) Haga oscilar de manera adecuada cada aro y mida el período *T* de oscilación. Informe en cada caso la amplitud máxima de oscilación (*A*).
d) Construya un tabla que contenga *e, A, D, T y* $T^2$.
e) Grafique los datos experimentales de tal manera de obtener una relación lineal.
f) A partir del gráfico determine el valor de *g* con su correspondiente incertidumbre.
g) A partir del gráfico determine el valor de *e* con su correspondiente incertidumbre.
h) A partir de los espesores medidos en el punto b, determine el espesor promedio y compárelo con el obtenido a partir de la gráfica indicando si estos valores son indistinguibles.
i) Concluya cual de los dos métodos utilizados es mejor para determinar *e*. Justifique.

## Datos útiles

- El error asociado a $T^2$ es: $\Delta(T^2) = 2\,T\,\Delta T$ .

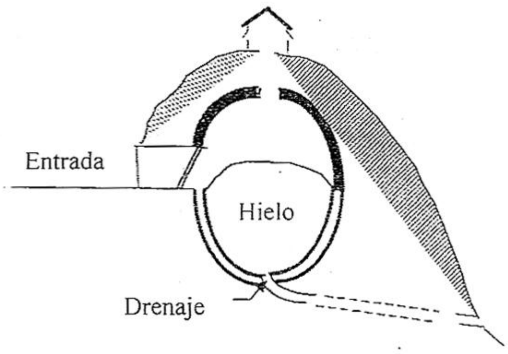
# Olimpíada Argentina de Física 2011

## Instancia Nacional

Prueba Teórica

**Problema 1: Casa del hielo.**

En aquellos lugares en donde se acumula mucho hielo durante el invierno, los habitantes que no tienen una heladera, juntan el hielo en un recinto conocido como “casa del hielo”.
Esta se construye con ladrillos, parcialmente hundida en el suelo con paredes bien aisladas. La “casa del hielo” tiene una salida para el drenaje del agua que resulta de la fusión del hielo y una salida superior para el vapor de agua (ver dibujo). El hielo que se introduce en la “casa del hielo” es previamente molido y luego compactado dentro del recinto correspondiente en la casa.




Esquema de una “casa del hielo”

Consignas:
Considere despreciable la masa de aire que hay dentro de la casa y la sublimación del hielo y suponga que las paredes de la casa son perfectamente aislantes. Así, llamando:
*E* a la energía por unidad de tiempo (potencia) que ingresa a la casa del hielo y que es absorbida por este,
*M* la masa de hielo que se funde (se derrite) por unidad de tiempo en el interior de la casa,
$M_v$ a la masa de vapor de agua que se evapora a partir de esta agua por unidad de tiempo y
$M_F$ a la masa de agua que finalmente fluye por unidad de tiempo al desagüe (drenaje),
“la ecuación de la casa del hielo”, esto es la masa de hielo que se funde por unidad de tiempo es:

$$M = \frac{(E - L_v\, M_v)}{L_F} \qquad (1)$$

Donde $L_v$ y $L_F$ son los calores de evaporación del agua y de fusión del hielo, respectivamente.

a) Usando la conservación de la energía, deduzca la “ecuación de la casa del hielo” (ecuación 1).
b)
   b$_1$) De una expresión de la masa de hielo por unidad de tiempo ($M_1$) que se fundiría si toda la potencia que ingresa a la casa de hielo solamente se empleara en fundir hielo; $M_v = 0$.
   b$_2$) De una expresión de la masa de hielo por unidad de tiempo ($M_2$) que se fundiría si toda el agua producida, finalmente, se transformara en vapor de agua; $M_F = 0$.
   b$_3$) Exprese el cociente entre $M_1$ y $M_2$ en términos de los datos y calcule su valor.
   b$_4$) ¿Cuál de las dos situaciones es el menos favorable para la conservación del hielo?

Suponiendo que una fracción *f* de la masa de hielo derretido se evapora, lo que es equivalente a decir que la relación entre la masa de hielo que se derrite por unidad de tiempo (*M*) y la masa de agua que se evapora por unidad de tiempo ($M_v$) están vinculadas de la forma:

$$M_v = f\,M \qquad (2)$$

c) Demuestre que la ecuación (1) resulta:

$$M = \frac{E}{L} \qquad \text{donde} \qquad L = L_F + f\,L_v \qquad (3)$$

Considere que el lugar en donde se aloja el hielo, dentro de la “casa del hielo”, tiene la forma de un cilindro de radio *r* y profundidad *h*. Suponga que el intercambio de calor con el hielo se produce a través de una de las superficies circulares del cilindro; esto es, a través de una de las tapas de área *A*, dada por:

$$A = \pi\,r^2 \qquad (4)$$

Suponga que durante el proceso de fusión del hielo, la altura *h* permanece constante; es decir, la fusión del hielo solo modifica la sección del cilindro de hielo.
Con estas condiciones, la energía por unidad de tiempo (*E*) que ingresa al hielo se puede expresar como:

$$E = -k\,A\,\Delta T \qquad (5)$$

donde *k* es una constante que representa el intercambio de calor con el exterior (coeficiente de conducción externa) y *ΔT* es la diferencia de temperatura (salto térmico) entre el hielo y el medio exterior con el que intercambia calor la “casa del hielo” (el hielo).

d) Utilizando ecuación (3) y las consideraciones expresadas en el párrafo anterior, demuestre que:

$$M = \frac{-k\,m\,\Delta T}{\rho\,L\,h} \qquad (5)$$

donde m es la masa de hielo presente en la “casa del hielo” al tiempo *t* y $\rho$ la densidad del hielo.

A partir de la ecuación (5) se puede obtener la forma en la que varia la masa total de hielo que hay dentro de la “casa del hielo”, *m*, en función del tiempo. Esta función es de la forma:

$$m(t) = m_0\,e^{-bt} \qquad (5)$$

donde $m_0$ es la masa inicial de hielo (la que se depositó en la “casa del hielo” al inicio) y *b* es una constante dada por:

$$b = \frac{k\,\Delta T}{\rho\,L\,h} \qquad (6)$$

e) A partir de las ecuaciones (5) y (6) encuentre el tiempo para el cual la masa de hielo se reduce a la mitad, en las condiciones siguientes:

e$_1$) Cuando $f = 0$ (no hay evaporación)

e$_2$) Cuando $L = 2L_F$. Para esta situación, además, calcule el valor correspondiente de *f*.

Exprese ambos resultados en años.

$e_3$) ¿Cuál de los dos casos es el más favorable para la conservación del hielo?

Los valores de las constantes para los cálculos son:
$k$ = 2 W / m$^2$K
$L_F$ = 0,33 x 10$^6$ J / kg
$L_V$ = 2,26 x 10$^6$ J / kg
$\rho$ = 800 kg / m$^3$
$\Delta T$ = 20 K
$h$ = 5 m

**Problema 2: Shazam!**

**Introducción y Generalidades.**

El movimiento del aire dentro de las nubes produce una separación de cargas eléctricas que luego son desplazadas a diferentes partes de la misma, generando múltiples celdas o centros de carga. Debido a la presencia de estos centros de carga en la nube, se generan en la tierra centros de carga de signo opuesto por un proceso de inducción ya que la tierra es un buen conductor. Así, centros de carga negativa se generan en la tierra como imagen de los centros de carga positiva en la nube y viceversa.

Cuando la concentración de cargas positivas y/o negativas alcanza un nivel crítico, los electrones se mueven atraídos por alguna de las celdas de cargas positivas a través del camino de menor resistencia produciendo una descarga eléctrica. Algunas veces la descarga se produce entre la nube y la tierra, y otras veces entre centros de carga de nubes distintas o entre centros de una misma nube.

Un rayo es una descarga entre un centro de carga de una nube y el centro de carga en la tierra. Cuando la diferencia de potencial entre algún centro de carga de la nube y la superficie terrestre alcanza el voltaje de ruptura del aire ($\Delta V_r$), se produce el rayo.

El rayo comienza como una serie de pasos o segmentos de alrededor de 100 metros desde la nube hacia la tierra. Estos segmentos no transportan mucha carga y por lo tanto no emiten mucha luz pero son responsables de generar el canal por el cual se producirá el rayo. A medida que este canal se acerca a la superficie, una segunda descarga se propaga desde la tierra hacia la nube. Cuando las dos descargas hacen contacto se completa el canal produciendo un corto-circuito que baja la mayoría de la carga desde la nube a la tierra. Esta descarga, o corto-circuito, dura una milésima de segundo y se puede repetir varias veces a través del mismo canal. Lo que se conoce como rayo esta generalmente compuesto de varias descargas y dura una fracción de segundo.

Cuando se produce un rayo, la descarga eléctrica deposita una gran cantidad de energía en el canal produciendo que este alcance una alta temperatura. Esta energía se deposita muy rápidamente (unas millonésimas de segundo) por lo cual la sección del canal no tiene tiempo de expandirse y la presión aumenta entre 10 y 100 veces. Esta gran presión rápidamente se propaga hacia el aire alrededor del canal produciendo una onda de choque que eventualmente se convierte en el sonido que llamamos trueno.

**Problema**

La altura de la base de una nube de tormenta, respecto de tierra, es de aproximadamente 1000 m. La carga eléctrica negativa ubicada en su región inferior se puede considerar concentrada en un punto ubicado a una altura de 5000m sobre un eje que pasa por el centro de la nube y tiene una magnitud Q=-40C. La presencia de esta carga induce una densidad de carga sobre la superficie terrestre, la cual puede ser modelada por una carga puntual -Q ubicada a una distancia de 5000 m por debajo del nivel de tierra.

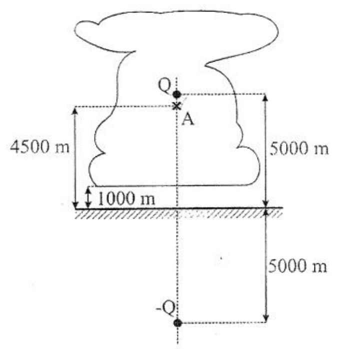



Figura 1

1- Determine el campo eléctrico, E, que producen estas cargas (Q y -Q) sobre el segmento que las une y a una altura h=4500M (Punto A) (Ver figura 1).
2- ¿Cuál es el valor que deberá tener Q para que en el punto A el campo eléctrico alcance el valor de ruptura?

Suponga que una vez alcanzado el valor $E_r$ en el punto A, se forma un canal ionizado entre dicho punto y la superficie terrestre. Este canal se comporta como un conductor que tiene una resistividad eléctrica de 50 Ω cm dentro de la nube y de 350 Ω cm fuera de la misma. Considerando que el canal es rectilíneo y que tiene un diámetro constante de 46 cm,

3- Calcule la resistencia eléctrica del canal dentro de la nube ($R_{c1}$) y fuera de la misma ($R_{c2}$).
4- Calcule la resistencia eléctrica total del canal ($R_c$).
5- Calcule la diferencia de potencial ($\Delta V_r$) entre los extremos del canal.

En este canal se establece una corriente eléctrica ($i_r$) que baja carga desde la nube a la tierra. Suponiendo que la diferencia de potencial se mantiene constante durante la descarga eléctrica.

6- Calcule el valor de dicha corriente.

Suponga al aire como un gas ideal diatómico y que inicialmente todo el canal tiene una atmósfera de presión y una temperatura de 20°C.

7- Calcule el número de moles (n) de gas que hay en el canal.

El paso de corriente por el canal conductor incrementa la temperatura del mismo. Como el proceso es sumamente rápido (25 μs) se puede considerar que el calentamiento del canal se produce sin que el mismo cambie su volumen. Despreciando la energía luminosa irradiada, esto es suponiendo que toda la energía recibida por el canal por el paso de la corriente se entrega al gas que forma el canal y que no se pierde energía por conducción al gas fuera del canal,

8- Calcule la temperatura final ($T_f$) del canal.
9- Calcule la presión final ($P_f$) dentro del canal.

La diferencia de presión entre el interior y el exterior del canal provoca una onda de choque, cuya señal audible denominamos trueno. En una buena aproximación, se puede considerar que la señal audible que detectamos viaja desde su emisión (en el canal) hasta el detector, a la velocidad del sonido.
Considere un sistema de detección y ubicación de rayos que consta de tres antenas. Las antenas se encuentran ubicadas en el los vértices de un triángulo equilátero de 10km de lado.

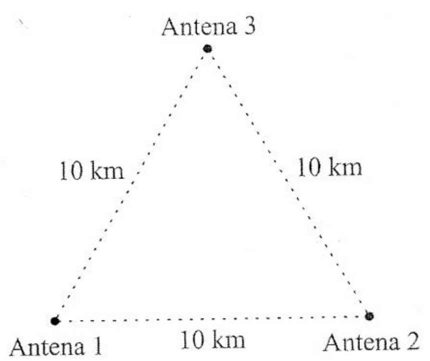



Figura 2

Cada antena detecta la señal luminosa y la señal sonora producidas por el rayo. En buena aproximación, se puede suponer que las señales detectadas por las antenas son emitidas por el rayo a nivel del suelo. Cada antena mide la diferencia en el tiempo de llegada de las dos señales ($\Delta t$) con una precisión de $3 \times 10^{-2}$s. Si la antena 1 midió un $\Delta t_1$=24.43s, la 2 midió $\Delta t_2$=15.51s y la antena 3 midió $\Delta_3$=38.85s,

10- Determine las distancias, sobre la superficie de la tierra, entre el lugar en donde cayó el rayo y cada una de las antenas. Exprese estas cantidades con su incerteza.

11- Determine gráficamente los lugares posibles de emisión de las señales detectadas por cada una de las antenas. Para ello, utilice la hoja milimetrada provista. En el gráfico indique la posición donde cayó el rayo.

12- Estime del gráfico el valor del error en la posición donde cayó el rayo.

Suponga que el campo de ruptura del aire es de 3000 V/mm.
Suponga que la permitividad del aire es igual a la permitividad del vacío, $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C}{Vm}$ .
La constante universal de los gases es $R = 8.32 \frac{J}{mol\,K}$ .
Suponga que la velocidad de propagación de la señal luminosa es $c = 300000 \frac{km}{s}$ y que la velocidad del sonido es $u = 330 \frac{m}{s}$ .
Para un gas ideal diatómico la capacidad calorífica molar a volumen constante es $C_v = \frac{5}{2} R$
$1\ atm = 1.01325 \times 10^5 Pa$

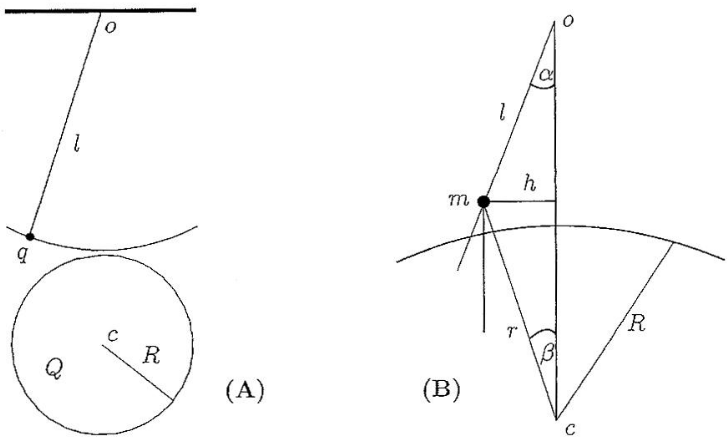
**Exprese todos sus resultados en unidades correspondientes al sistema internacional.**

**Problema 3: Un péndulo ingrávido.**

El día miércoles 24 de agosto de este año, la nave espacial rusa *Progress* M-112M, despegó desde el cosmódromo de Baikonur en Kazakhstan con destino en la estación espacial internacional (ISS). Sin embargo, luego de 325s de vuelo el cohete ruso Soyuz-U se apagó de manera imprevista y la carga de varias toneladas con suministros para al ISS se desintegró en la caída. La carga útil destruida, además de alimentos, combustible y suministros para el normal funcionamiento de la ISS, contenía varios experimentos científicos para ser realizados en el espacio. La siguiente nave con suministros, *Progress* M-13M/Soyuz U, tiene previsto su vuelo recién para el 30 de octubre próximo. Por lo tanto, la tripulación 29 de la ISS en vuelo, compuesta por Sergey Volkov, Michael E. Fossum y Satoshi Furukawa, al no tener como realizar los experimentos previstos, dispone de más tiempo libre.

Para entretenerse en sus ahora largos ratos de ocio, la tripulación se dispuso a diseñar un péndulo que funcione en las condiciones de ingravidez en la que se encuentra dentro de la ISS. A tal fin, recuperaron una esfera de material no conductor de radio $R$ = 20 cm. Al frotarla con una tela sintética, la esfera adquirió una carga eléctrica positiva $Q$ = 2 $\mu$C, la cual puede suponerse que se encuentra homogéneamente distribuida sobre toda la superficie de la esfera. Luego, soldaron una diminuta esfera, de un metal pesado, cuya masa $m$ = 50 g era conocida de antemano, a un muy fino alambre inextensible y no conductor de largo $l$ = 2,30 m. Este hilo, a todo fin práctico, puede considerarse de masa despreciable. Para armar el péndulo, pegaron la esfera cargada en una de las paredes del módulo *Columbus*, de forma que quedara inmóvil y fijaron el extremo libre del hilo en el punto *o*, de la pared opuesta, de forma tal que la pequeña esfera metálica queda "casi" tocando la esfera cargada (pero sin contacto) cuando el hilo está completamente estirado, según se muestra en el diagrama (A) de la figura. De esta manera, la distancia entre el punto de sujeción del hilo, *o*, y el centro de la esfera, *c*, se mantiene constante igual a $R$ + $l$.

Finalmente, para que ambas esferas se atraigan entre sí, transfirieron una carga negativa $q$ = -1 $\mu C$ a la esferita metálica. En uno de los laboratorios de la ISS, disponen de instrumental para transferir la carga deseada de forma controlada.




**Preguntas:**

(a) *Calcular la tensión del hilo en la posición de reposo en equilibrio estable*.

(b) Para calcular el período del péndulo, la primera idea consiste en recordar la similitud entre la ley de gravitación universal de Newton y la ley de Coulomb. Teniendo en cuenta la relación entre ambas leyes y el hecho de que la aceleración en ambos casos viene definida por la relación $F = m\,a$, donde $a = g$

en el caso gravitatorio y $a = g_e$ en el caso eléctrico, *calcular el valor de la correspondiente aceleración* $g_e$ *para el caso eléctrico*.

(c) A partir de la expresión del período de un péndulo simple en el caso gravitatorio, *calcular el valor resultante para el correspondiente período del péndulo ingrávido*.

Una vez construido el péndulo, los astronautas notaron que el período calculado difería bastante respecto del medido con un cronómetro, el cual resulta bastante más breve. Con buen criterio, Michael E. Fossum, que cuenta con una maestría en Física, concluyó que no se cumplen las condiciones bajo las cuales es válida la fórmula del período de un péndulo simple en el caso del péndulo ingrávido construido. Con el fin de encontrar la expresión correcta para este caso, procedió a realizar los siguientes cálculos que debemos reproducir:

(d) Se desplaza la esferita de masa *m*, de manera que el hilo forma un pequeño ángulo *α* con respecto a la línea $\overline{oc}$. *Dibujar un diagrama de cuerpo aislado para la masa m, trazando cualitativamente todos los vectores de las fuerzas que actúan sobre ella*.

(e) En la situación del ítem anterior, *escribir la expresión analítica para la intensidad de la fuerza de atracción entre las esferas*.

(f) Utilizando el diagrama en el esquema (B) de la figura, *descomponer los vectores fuerza en componentes a lo largo de la dirección del hilo (componente centrípeta) y perpendicular a esta (componente tangencial)*.

(g) *Escribir la segunda ley de Newton correspondiente a la dirección del hilo y a la dirección tangencial, utilizando las componentes calculadas en el ítem anterior*.

(h) Recordando que la aceleración tangencial, *a*, está relacionada con la aceleración angular, $\gamma$, según $a = l\ \gamma$, *escribir la segunda ley de Newton correspondiente a la dirección tangencial para pequeñas oscilaciones del péndulo; es decir, en* ***primer orden (o lineal)*** *en el ángulo α*.

(i) *Escribir la expresión para la frecuencia angular* $\omega$ *de pequeñas oscilaciones del péndulo ingrávido*.

(j) *Calcular el valor numérico resultante para el período del péndulo, en el caso particular construido por los astronautas.*

(k) A partir de la expresión de la frecuencia angular $\omega$ calculada en el ítem (i), *¿qué condición debe cumplirse entre los valores de R y L para obtener el resultado calculado en el ítem (c)?*

(l) A partir de la expresión de la frecuencia angular $\omega$ calculada en el ítem (i), *analizar como es la dependencia de la frecuencia angular* $\omega$ *en el caso límite en el cual* $l >> R$.

**Información útil:**

(1) La constante de Coulomb es $k = (4\pi\epsilon_0)^{-1}$, donde $\epsilon_0$ es la constante dieléctrica del vacío. Así, $k = 9\ \times\ 10^9\ N\, m^2/C^2$.

(2) Las siguientes relaciones trigonométricas son siempre válidas:
$sen(\alpha + \beta) = sen(\alpha)\cos(\beta) + \cos(\alpha)\, sen(\beta)$,
$\cos(\theta) = \sqrt{1 - sen^2(\theta)}$.

(3) Utilizando relaciones trigonométricas en el diagrama del esquema (B) de la figura, resulta:
$sen(\alpha) = h/l$,
$sen(\beta) = h/r$.

(4) Usando el teorema del coseno en el diagrama del esquema (B) de la figura, resulta:

$$r^2 = l^2 + (l + R)^2 - 2l\,(l + R)\cos(\alpha).$$

(5) Si el ángulo $\theta$ es pequeño, y está expresado en radianes, son válidas las siguientes aproximaciones:

$$sen(\theta) \approx \theta, \qquad \cos(\theta) \approx 1 - \theta^2/2.$$

(6) Si $x \ll 1$, entonces es válida la siguiente aproximación:

$$\sqrt{1 - x^2} \approx 1 - x^2/2.$$

(7) La ecuación de movimiento de un péndulo para pequeñas oscilaciones, es decir en **primer orden (o lineal)** en el ángulo $\alpha$, es

$$\gamma = \omega^2 \alpha.$$