

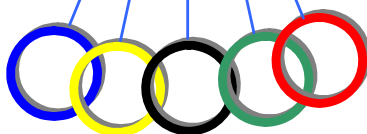
REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA

REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA

XXII Olimpiada

ESPAÑOLA DE
FÍSICA

FASE LOCAL DE LA RIOJA



25 de febrero de 2011

Esta prueba consiste en la resolución de dos problemas.

Razona siempre tus planteamientos

¡No olvides poner tus apellidos, nombre y datos del Centro en la primera hoja!



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

**Consejería de Educación, Cultura y
Deporte de La Rioja**

P1. Acelerómetro.

Un acelerómetro es, como su propio nombre indica, un dispositivo para medir aceleraciones. Un modelo sencillo consiste en un cilindro cuyo eje coincide con la dirección de la aceleración que se desea medir. Dentro del cilindro hay una bola sujeta a los extremos mediante dos muelles iguales, y un líquido viscoso que amortigua las oscilaciones de la bola cuando se produce un cambio en la aceleración. En ausencia de aceleración, la bola está en equilibrio en el centro del cilindro, como se representa en la figura 1a. Sin embargo, cuando el dispositivo sufre una aceleración en el sentido del eje OX indicado, la bola alcanza un nuevo estado de equilibrio dinámico, desplazada una distancia $x < 0$, como se indica en la figura 1b. Esta distancia no cambia mientras la aceleración sea constante.

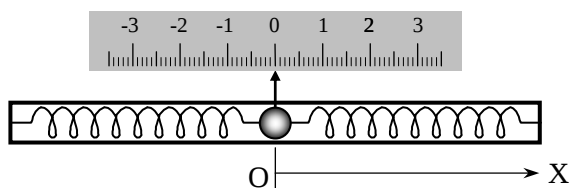


Fig. 1a

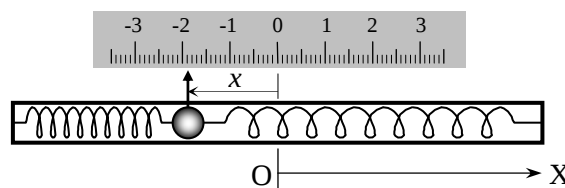


Fig. 1b

- El acelerómetro se sujeta horizontalmente en un vehículo, de forma que el eje del cilindro coincida con la dirección del movimiento (eje OX). En estas condiciones, determina el desplazamiento en equilibrio de la bola, x , en función de la aceleración del vehículo, a , la constante elástica de cada muelle, k , y la masa de la bola, M .
- Mientras el vehículo acelera uniformemente de 0 a 40 km/h en 3,0 s, el desplazamiento en equilibrio de la bola es $x = -3,0$ cm. Sabiendo que la masa de la bola es $M = 10$ g, calcula el valor de la constante k de cada uno de los muelles.
- La gráfica de la figura 2 muestra un registro de la posición x de la bola en función del tiempo t mientras un automóvil se mueve, desde $t = 0$ hasta $t = 20$ s. En esta gráfica se observan claramente tres intervalos de tiempo con aceleraciones diferentes. Calcula la aceleración del automóvil en cada uno de estos intervalos.
- Si el automóvil del apartado anterior ha partido del reposo en $t = 0$, representa gráficamente, de forma aproximada, su velocidad en función del tiempo entre $t = 0$ y $t = 20$ s.
- Calcula por último el espacio total que ha recorrido desde $t = 0$ hasta $t = 20$ s.

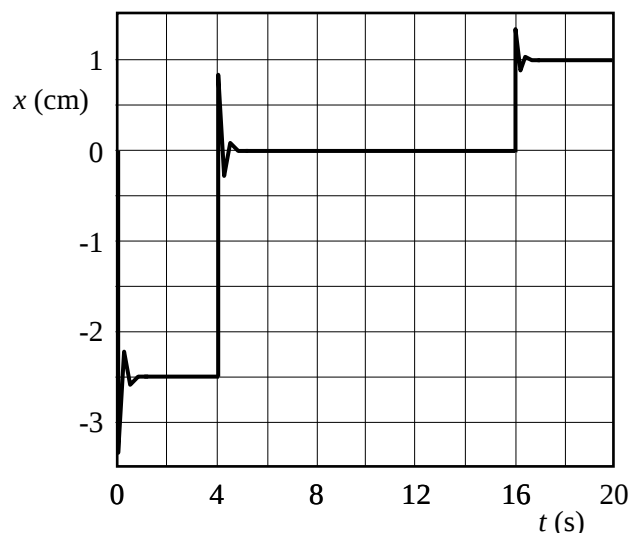


Fig. 2

P2. Tiro con arco.

Ante las "necesidades" de la caza y de la guerra, la humanidad ha desarrollado a lo largo de su historia el tiro con arco. En la actualidad, salvo algunos pueblos primitivos que siguen utilizándolo para cazar, solo se usa como una modalidad deportiva.

Los constructores de arcos antiguos no necesitaron conocer las leyes de la física, pero hoy en día la tecnología basada en detallados estudios físicos permite mejorar sus prestaciones con diseños que en nada recuerdan a los antiguos arcos medievales. En este problema te proponemos que realices unos cálculos basados en dos modelos físicos de arco.

En una primera aproximación, podemos considerar que un arco medieval tiene un comportamiento análogo a algo que encanta a los físicos: un muelle de constante K . Con este *modelo lineal* de arco (ley de Hooke) se supone que la fuerza F de tensado del arco es proporcional a la longitud x que se deforma (figura 1).

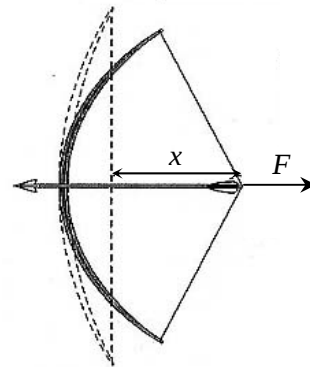


Fig. 1

- Cuando el arquero ejerce una fuerza F_1 , la distancia de tensado es x_1 . Determina, en función de F_1 y x_1 , el trabajo W_1 que ha realizado el arquero para tensar el arco. Calcula su valor para $F_1 = 700$ N y $x_1 = 0,58$ m.
- Cuando el arquero efectúa el disparo, la mayor parte de la energía potencial almacenada en el arco se transfiere a la flecha, y el resto se invierte en energía cinética de las partes móviles del propio arco. Si la masa de la flecha es $m_1 = 0,060$ kg y admitimos que recibe el 80% de la energía almacenada en el arco, calcula la velocidad de la flecha cuando abandona el arco.

Los modernos arcos compuestos, como el de la figura 2, están dotados de unas complicadas poleas excéntricas y no tienen un comportamiento lineal; el modelo del muelle no sirve para ellos. La fuerza F para tensarlo y el desplazamiento x siguen una relación no lineal, como la representada en la gráfica de la figura 3. La fuerza que hay que aplicar para mantenerlo tensado con su deformación máxima es mucho menor que con un arco tradicional, lo que evita temblores musculares del arquero y mejora notablemente la puntería.

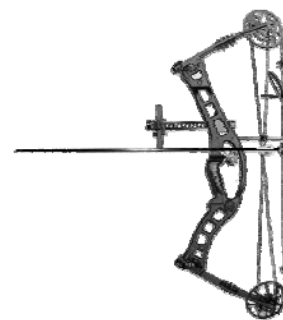


Fig. 2

- Admitiendo que en los arcos compuestos prácticamente toda la energía potencial almacenada se transmite a la flecha, haz una estimación razonada de la masa m_2 que debe tener la flecha para que cuando se tense el arco una distancia máxima $x_2 = 0,50$ m, su velocidad de salida sea igual a la calculada en el apartado b) para el arco medieval.

Ayuda: recuerda que, para una distancia máxima de tensado x_m , el área comprendida entre la curva $F(x)$ y el eje de abscisas hasta x_m es proporcional al trabajo realizado por F hasta alcanzar esa deformación.

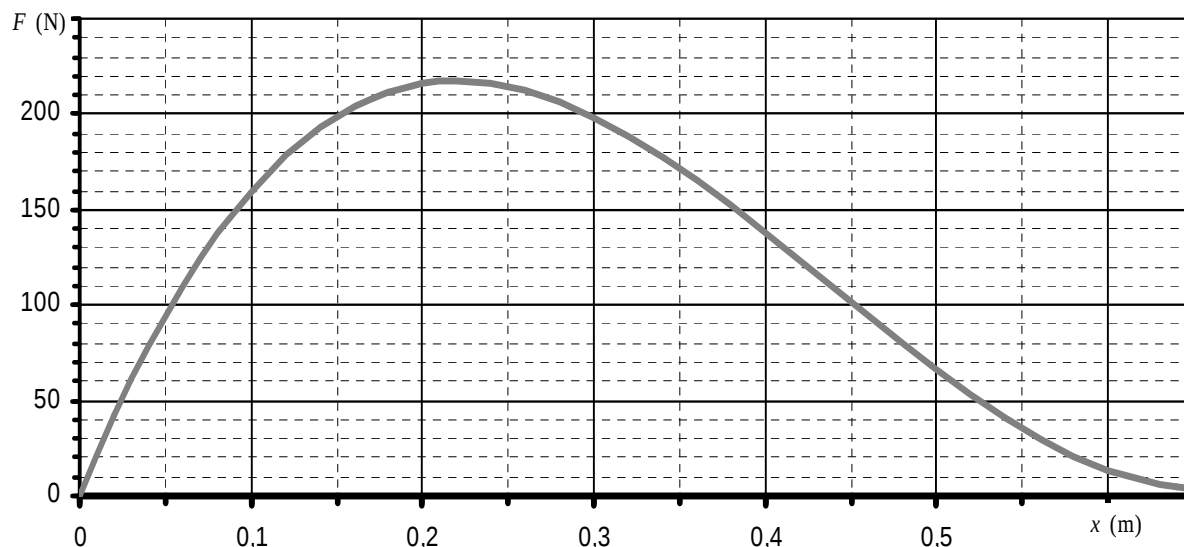


Fig. 3

P3.

Espectrómetro de Bainbridge.

Para estudiar la estructura y la composición de la materia se utilizan técnicas experimentales conocidas como *espectroscopía de masas*, consistentes en medir la masa y la abundancia relativa de los iones de una muestra. En la figura 1 se muestra el esquema de un *espectrómetro de Bainbridge* utilizado para estudiar iones que tienen la misma velocidad.

Los iones que provienen de una cámara de ionización, atraviesan las rendijas colimadoras S para delimitar su dirección de propagación. A partir de ahí penetran en una región del espacio (*selector de velocidades*) donde coexisten un campo electrostático uniforme E_1 , producido por dos placas planoparalelas sometidas a una diferencia de potencial V , y un campo magnetostático uniforme B_1 perpendicular al campo eléctrico.

Los iones que atraviesan esta región sin desviarse penetran en otra región en la que existe un segundo campo magnético uniforme B_2 , paralelo a B_1 y, como consecuencia de ello, describen órbitas semicirculares e impactan sobre una placa fotográfica F.

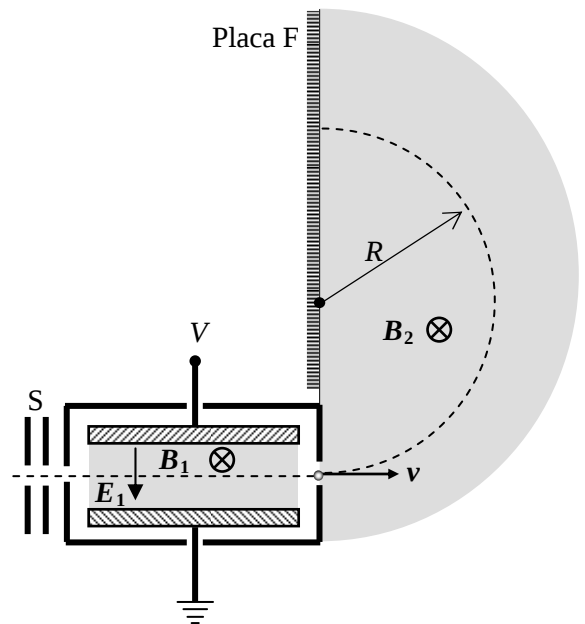


Fig. 1

Considera un espectrómetro que opera con $E_1 = 15 \text{ kV/m}$, $B_1 = B_2 = 0,50 \text{ T}$.

- Sabiendo que la separación entre las placas es $d = 4 \text{ mm}$, determina la diferencia de potencial V entre ellas.
- Determina la velocidad v de los iones que pueden penetrar en la segunda región del espectrómetro.
- Demuestra que la relación q/m (carga/masa) de los iones que impactan en la placa F viene dada por

$$\frac{q}{m} = \frac{E_1}{RB_1B_2}$$

donde R es el radio de la trayectoria circular seguida por el ión.

- Si la fuente iónica inyecta los tres isótopos del magnesio $^{24}\text{Mg}^+$, $^{25}\text{Mg}^+$ y $^{26}\text{Mg}^+$, que tienen carga $+e$, calcula la separación entre las líneas que aparecen impresionadas en la placa F por el impacto de los tres tipos de iones. Considera que las masas atómicas de los isótopos son, en unidades de masa atómica, iguales a su número másico.

Datos: unidad de masa atómica $u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; carga elemental $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

4º Problema experimental. Emulando a Galileo¹

Galileo Galilei es universalmente considerado uno de los padres de la Ciencia moderna. De entre sus múltiples aportaciones en Astronomía, Matemáticas y Física, vamos a recordar aquí sus estudios experimentales sobre la trayectoria que describe un cuerpo en caída libre.

Por ejemplo, en un manuscrito de 1608 aparece la gráfica de la figura 1, en la que anotó los alcances horizontales de una bolita que caía libremente una cierta altura, para diversos valores de la velocidad inicial horizontal.

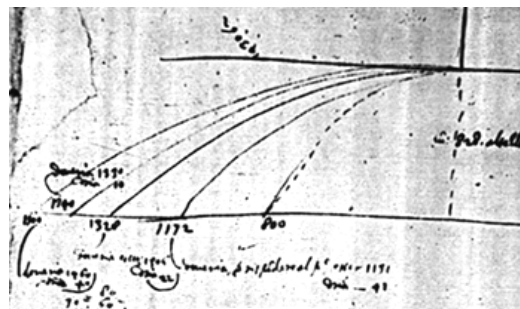


Fig. 1

A partir de estudios experimentales de este tipo para varias alturas de caída, Galileo dedujo que, si la fricción con el aire es despreciable, la distancia recorrida en horizontal es proporcional al tiempo de vuelo, es decir que la componente horizontal de la velocidad es constante (equivalente a la Ley de Inercia). También comprobó que, para velocidad inicial horizontal, la distancia recorrida en vertical es proporcional al cuadrado del tiempo. Componiendo ambos movimientos, Galileo demostró que la trayectoria de la caída es parabólica.

Los métodos e instrumentos que empleó Galileo para medir distancias y tiempos fueron rudimentarios, aunque notablemente precisos. Con medios más modernos, podríamos emular a Galileo y estudiar experimentalmente una caída libre de la siguiente forma:

Lanzamos una bolita por una mesa horizontal y grabamos lateralmente con una cámara de video de "alta velocidad" su caída al suelo tras abandonar la mesa. Posteriormente extraemos imágenes grabadas a intervalos de tiempo regulares $T = 0,040$ s, partiendo del instante $t = 0$ en que la bolita abandona la mesa y comienza su caída libre. En la figura 2 se presentan estas imágenes superpuestas. Se ha tomado origen de coordenadas, O, en el centro de la bolita en su posición inicial de caída, justo cuando abandona la mesa, eje OX horizontal y paralelo a la velocidad inicial de movimiento, v_0 , y eje OY vertical.

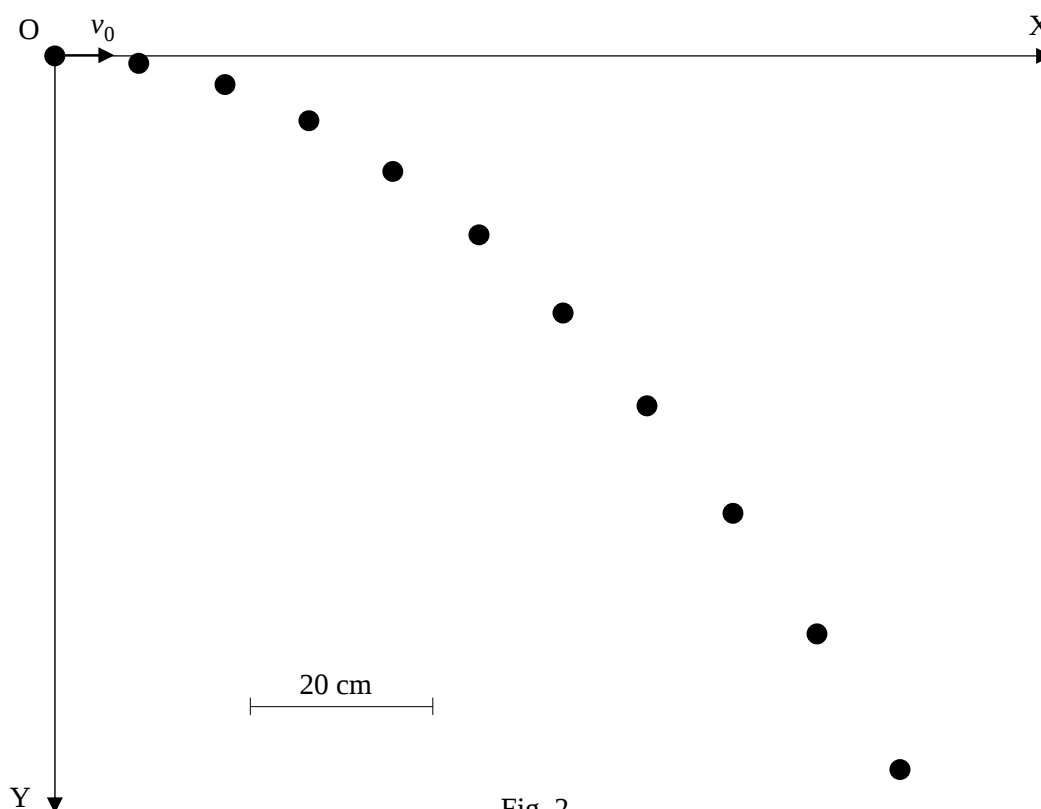


Fig. 2

¹ Este problema experimental está inspirado en una de las pruebas que propuso el Comité Académico local en la XV Olimpiada Iberoamericana de Física (Panamá, 2010).

- a) Midiendo con una regla sobre la figura 2 y teniendo en cuenta la escala indicada en ella, construye una tabla con los valores de t , x e y en las sucesivas posiciones de la bolita. Añade en otra columna los valores de t^2 , que necesitarás más adelante.
- b) Determina, con la mayor precisión posible, el valor de v_0 .
- c) En una gráfica con t^2 en abscisas e y en ordenadas, dibuja los puntos correspondientes y obtén la pendiente de la recta que, pasando por el origen, mejor se ajusta a dichos puntos.
- d) Deduce el valor de la aceleración de la gravedad, g , y haz una estimación de su incertidumbre, Δg .
- e) Si la altura de la mesa es $h = 80,0$ cm, calcula el alcance del tiro parabólico, es decir la x final en el instante del impacto de la bolita con el suelo (supuesta de radio despreciable). Calcula la incertidumbre del alcance debida a la incertidumbre Δg obtenida en el apartado anterior.

Hasta ahora hemos dado por supuesto que, durante la caída, y es proporcional a t^2 . Pero Galileo no lo sabía a priori. Intentando de nuevo emular su trabajo, planteemos la hipótesis de que nuestros datos experimentales se ajustan a una dependencia de la forma

$$y = kt^n$$

donde tanto la constante k como el exponente n son desconocidos.

- f) ¿Cómo podría demostrarse que la hipótesis es correcta, y que el mejor ajuste corresponde a $n = 2$? (Es suficiente con que expliques el método que propones; no es necesario que lo apliques a los datos)