XXXII Olimpiada ESPAÑOLA DE FÍSICA
Lugo
23-26 de abril, 2021

Real Sociedad Española de Física
R.S.E.F.

Departamento de Física
UNIVERSIDAD DE BURGOS

XXXII OLIMPIADA ESPAÑOLA DE FÍSICA
FASE LOCAL DE BURGOS
26 de febrero de 2021

Examen elaborado con la colaboración de los profesores:

Nicolás A. Cordero Tejedor
Fernando M. García Reguera
Mª Isabel Gómez Ayala
Manuel Iván González Martín
David López Hurtado
Rodrigo Martínez Mayo
Andrés Serna Gutiérrez
Verónica Tricio Gómez

POR FAVOR, REALICE CADA PRUEBA EN UNA HOJA APARTE

PRUEBA Nº 1

"Prueba de opción múltiple"

Deberá justificarse razonadamente la elección de la opción marcada en cada uno de los ejercicios

1.- El peso de un cuerpo de masa m en la superficie de un planeta 1 de densidad media ρ_1 y radio R_1 vale P_1 = 1960 N. ¿Cuál será el peso de dicho cuerpo en la superficie de un planeta 2 tal que $\rho_2 = \rho_1/6$ y $R_2 = 2R_1$.

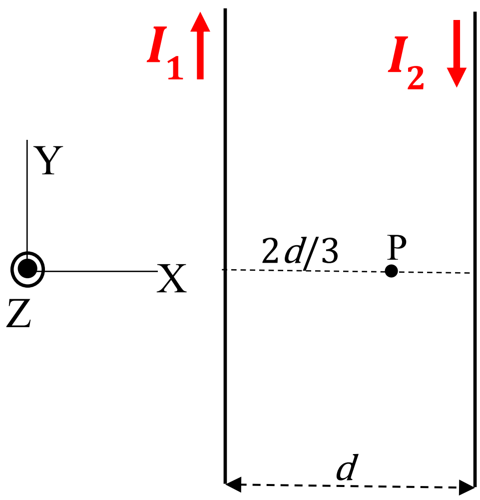
a) P_2 = 980 N **b)** P_2 = 653 N **c)** P_2 = 2940 N **d)** P_2 = 3920 N

2.- Considera el campo eléctrico debido a la siguiente distribución de cargas puntuales: q_1 = 2 nC situada en el punto A(-1, 0) m y q_2 = -3 nC situada en el punto B(2, 0) m. Determina el trabajo de las fuerzas del campo sobre una tercera carga q = -2 µC cuando se desplaza desde el punto C(0, 5) m hasta el punto D(0, -1) m.

DATOS: 1 µC = 10^{-6} C; 1 nC = 10^{-9} C

a) W_{CD} = 4,27 µJ **b)** W_{CD} = -8,54 µJ **c)** W_{CD} = -4,27 µJ **d)** W_{CD} = 8,54 µJ

3.- En el esquema de la figura se representan dos hilos conductores infinitos y paralelos que trasportan unas intensidades de corriente I_1 e I_2 cuyos sentidos son los indicados. Se conoce que el valor de I_1 es el doble de I_2 y que el módulo del campo magnético en P, debido a los dos hilos, vale: B_P = 5 µT. ¿Cuál es el valor de las intensidades de corriente I_1 e I_2?



DATOS: d = 48 cm; $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ T m A^{-1}; 1 µT = 10^{-6} T

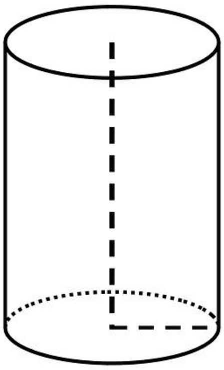
a) I_1 = 1 A; I_2 = 0,5 A **b)** I_1 = 2 A; I_2 = 1 A

c) I_1 = 3 A; I_2 = 1,5 A **d)** I_1 = 4 A; I_2 = 2 A

PRUEBA Nº 2

“Llenando depósitos”

Un depósito cilíndrico de 50 cm de diámetro y 120 cm de altura apoyado sobre su base se va llenando de líquido mediante un grifo que le suministra un caudal de $10\ \mathrm{dm}^3 \cdot \mathrm{min}^{-1}$.



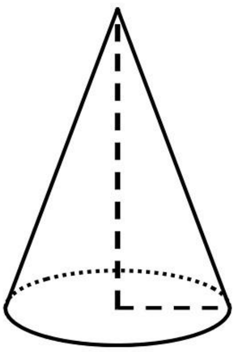
a) ¿Cuánto tardará en llenarse el depósito?

b) Determina el volumen de líquido que tiene el depósito en función del tiempo.

c) Calcula a qué velocidad asciende el nivel de líquido por el depósito.

d) ¿Qué ocurriría con la velocidad a la que asciende el nivel de líquido si tuviéramos un depósito cónico de iguales altura y diámetro de apoyo?

e) Estime cualitativamente cómo variaría dicha velocidad en el depósito cónico y realice una representación, en un mismo gráfico, de la velocidad en función de la altura del nivel de agua para ambos depósitos.



PRUEBA Nº 3

"Estudio dinámico del levantamiento de pesas"

El señor tan orondo que tiene en las fotografías adjuntas es levantador de pesas. Se llama Lasha Talakhadze, es georgiano y es campeón olímpico en la máxima categoría, la de los levantadores cuyo peso es de más de 105 kg.

Las imágenes que se aportan son una secuencia parcial del momento en que estableció la plusmarca mundial en la modalidad de dos tiempos, cuando levantó una haltera de 264 kg de masa. Cada fotograma incluye una escala graduada en cm y una indicación del tiempo transcurrido a partir del momento en que la haltera se despega de la tarima.

Se pide:

- **a)** Cumplimente una tabla como la que se muestra abajo, en cuya primera columna figuren los tiempos y en cuya segunda columna aparezcan las alturas de la pesa, medidas a partir de su posición inicial.

Cumplimente las columnas adicionales de la tabla con las siguientes magnitudes de la haltera:

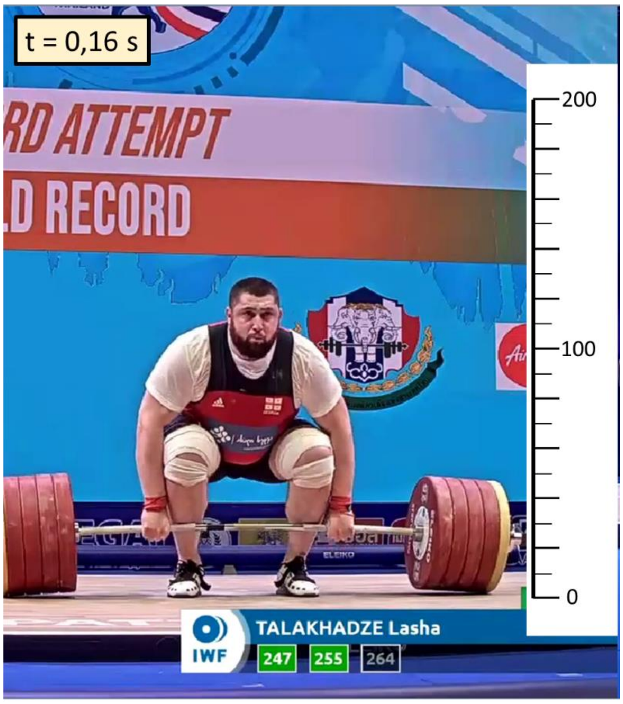
- **b)** Velocidades en cada instante.
- **c)** Aceleraciones. Interprete claramente los signos de las aceleraciones que obtenga.
- **d)** Fuerzas ejercidas por los músculos del levantador sobre la haltera.
- **e)** Energías potenciales, cinéticas y totales.
- **f)** Potencias desarrolladas por los músculos al levantarla.

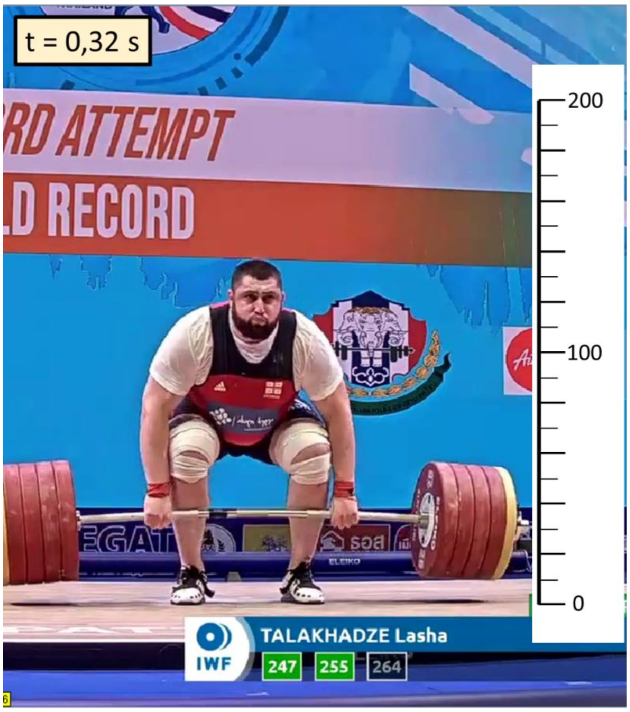
No es necesario que escriba explícitamente todas las operaciones, pero es imprescindible que describa el <u>procedimiento de cálculo</u> para cada magnitud. **No olvide indicar las unidades en la segunda fila de la tabla.**

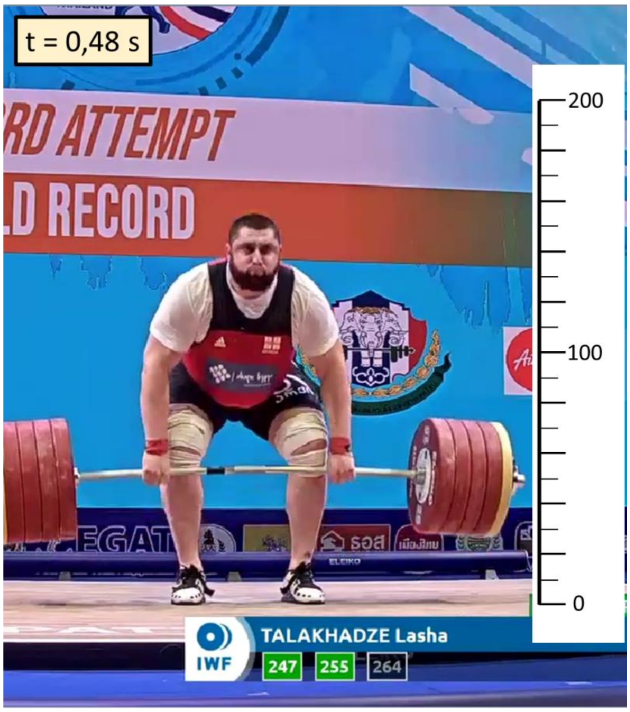
- **g)** Calcule también la potencia promedio ejercida durante la secuencia de fotogramas.

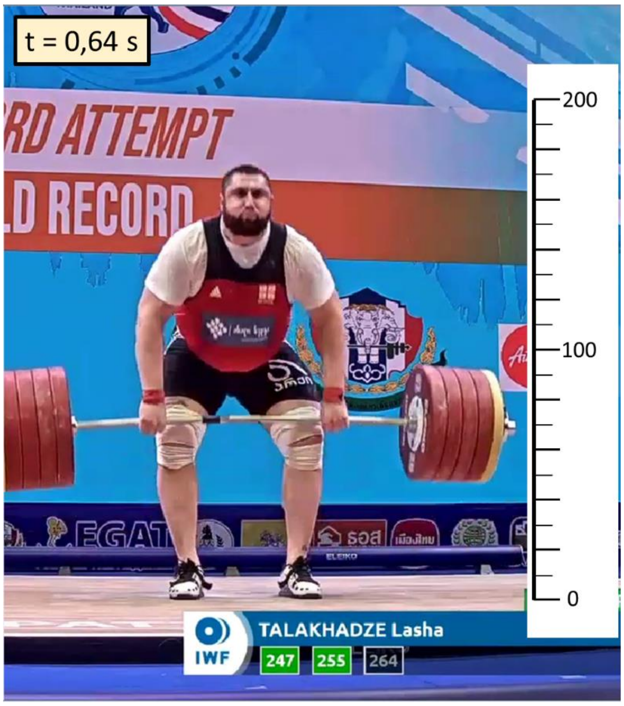
t	z	v	a	F	Ep	Ec	Et	P
s								

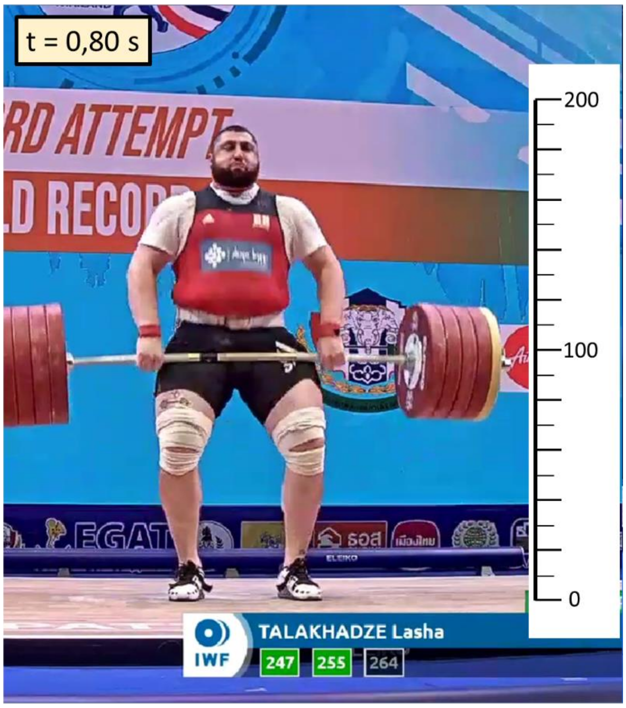

t = 0,00 s
200
100
0
RD ATTEMPT
LD RECORD
TALAKHADZE Lasha
IWF
247
255
264


t = 0,16 s
200
100
0
RD ATTEMPT
LD RECORD
TALAKHADZE Lasha
IWF
247
255
264

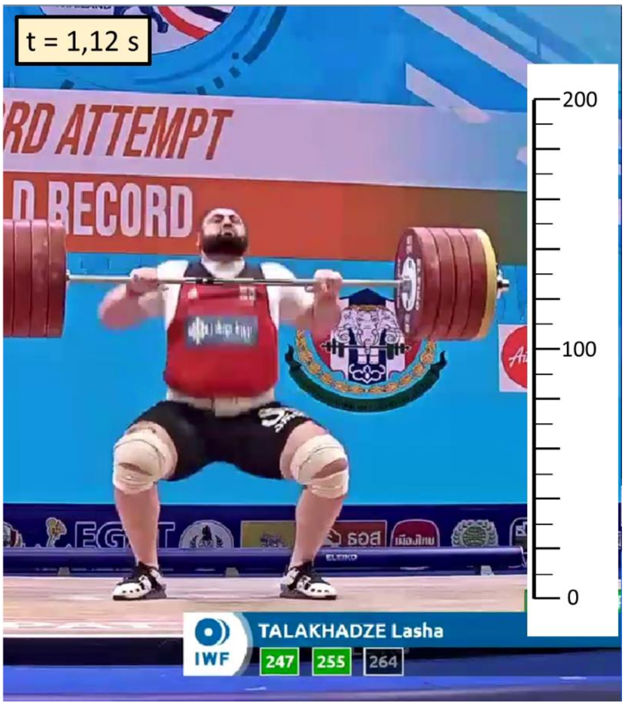

t = 0,32 s
200
100
0
RD ATTEMPT
LD RECORD
TALAKHADZE Lasha
IWF
247
255
264


t = 0,48 s
200
100
0
RD ATTEMPT
LD RECORD
TALAKHADZE Lasha
IWF
247
255
264


t = 0,64 s
200
100
0
TALAKHADZE Lasha
IWF
247 255 264


t = 0,80 s
200
100
0
TALAKHADZE Lasha
IWF
247 255 264


t = 0,96 s
200
100
0
TALAKHADZE Lasha
IWF
247 255 264


t = 1,12 s
200
100
0
TALAKHADZE Lasha
IWF
247 255 264

PRUEBA Nº 4

"Afinando el órgano de la Catedral de Burgos"

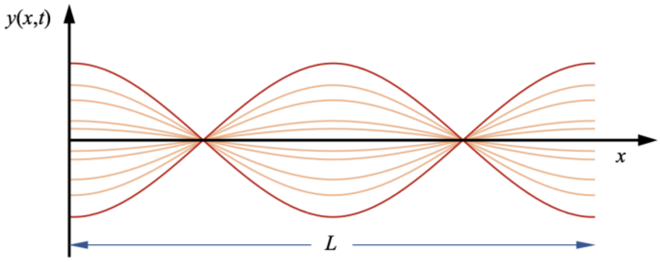
Como bien sabe, este año se cumple el 800 aniversario de la colocación de la primera piedra de la Catedral de Burgos. Para prepararse para este importante evento, en los últimos años se ha avanzado en la restauración de los diferentes elementos de la seo.

En 2020 se restauraron y limpiaron los órganos del coro, uno barroco de 1626 (mostrado en la imagen) y otro diez años posterior. Ambos muy desgastados y sucios por el polvo y el paso del tiempo.

Para que en un instrumento musical suene una nota afinada, es necesario que en el interior del tubo se produzca una onda sonora estacionaria cuya ecuación característica es:

$$y(x,t) = 2A\cos(k \cdot x) \cdot \mathrm{sen}(\omega \cdot t)$$

Si ese instrumento está abierto en sus dos extremos, como una flauta o un tubo de órgano, la longitud del tubo L, debe ser tal que en los extremos del mismo la onda forme vientres. Un ejemplo de esta onda se muestra en la siguiente imagen.



Esto se cumple si $L = \frac{n \cdot \lambda}{2}$ donde λ es la longitud de onda.

a) Deduzca la expresión que relaciona la frecuencia f de la onda estacionaria con la longitud del tubo. ¿Qué representa n físicamente, y qué valores puede tomar?

En el apartado anterior habrá deducido un valor para la frecuencia dado por $f = \frac{n \cdot v}{2 \cdot L}$. Asuma a continuación $n = 3$.

La nota *La* se utiliza como base para definir el resto de las frecuencias musicales. Hasta el siglo pasado, la afinación natural se realizaba con *La* = 432 Hz. En 1939, en Alemania se decretó la afinación perfecta a partir de *La* = 440 Hz. El órgano barroco de la catedral de Burgos está realizado obviamente, con la afinación de su época.

b) Asumiendo una velocidad del sonido de 340 m/s, calcule la longitud de un tubo de órgano de la Catedral que produce un *La*. Exprese la longitud en pies, que es la medida utilizada para los tubos de órganos (1 m = 3,28 pie)

c) Hasta el año pasado, el tubo más largo, de 32 pies, estaba obstruido y no se podía utilizar. Hoy suena en todo su esplendor. ¿Cuál es la frecuencia del sonido que produce este tubo?

Sin embargo, tener en cuenta que el sonido tiene una velocidad constante en el aire, es una simplificación muy grande cuando hablamos de afinar un instrumento musical.

La velocidad del sonido en el aire puede calcularse mediante esta expresión $v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$, donde γ es el coeficiente de dilatación adiabática (1,4 para el aire), R es la constante universal de los gases (8,314 J/(mol·K)), T la temperatura en kelvin y M la masa molar del gas (0,029 kg/mol).

d) Calcule cómo influye la variación de temperatura media de la Catedral entre invierno ($T \cong 5$ºC) y verano ($T \cong 17$ºC) en el sonido que produce un tubo de 3,9 pies.

e) Si este tubo se afinó para producir un La = 432 Hz ¿Cuál era la temperatura de la Catedral cuando se afinó?

Por otro lado, una variación de temperatura también puede hacer que los tubos se dilaten o se contraigan según la ecuación: $L_f = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$, donde α es el coeficiente de dilatación térmica cuyo valor para el acero es 0,0110 mm/(m·K)

f) Discuta y justifique si este fenómeno físico debería ser relevante en la afinación del órgano de la Catedral.

PRUEBA Nº 5

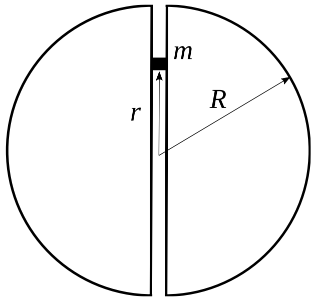
"El tren gravitatorio"

Al parecer, Isaac Newton descubrió su ley de gravitación universal en el año 1666. Sin embargo, no la publicó hasta 1687 en sus famosos *Principia* [1]. La hipótesis más aceptada sobre este gran retraso en su publicación es que Newton quería demostrar que era aplicable a cuerpos con simetría esférica y no solo a masas puntuales [2]. En las proposiciones LXX y LXXI (teoremas XXX y XXXI) de esta obra, enuncia lo que se conoce como los teoremas de la cáscara esférica y que en términos modernos podríamos enunciar de la siguiente forma [3]:

- Una masa con simetría esférica ejerce una fuerza gravitatoria sobre otra masa puntual que es equivalente a la que ejercería sobre ella toda su masa concentrada en su centro.
- No se ejerce fuerza gravitatoria neta sobre una masa puntual situada en cualquier punto del interior de una cáscara esférica de densidad constante.

Estos teoremas tienen una curiosa consecuencia que se conoce como el nombre de tren gravitatorio [4]. Vamos a estudiar este fenómeno.

Consideremos que la Tierra es una esfera sólida homogénea e inmóvil de radio R y que practicamos en ella un túnel rectilíneo que une un punto de su superficie con el situado en sus antípodas pasando por el centro de esta esfera. Vamos a estudiar cómo se movería un objeto de masa m que consideraremos prácticamente puntual (y que llamaremos tren gravitatorio) abandonado en reposo en una de las bocas de este túnel.



1) Teniendo en cuenta la ley de gravitación universal y los teoremas de la cáscara esférica, demuestra que el módulo de la intensidad del campo gravitatorio (también conocida como aceleración de la gravedad) en un punto del interior de la Tierra situado a una distancia r de su centro viene dado por
$$g(r) = \frac{r}{R} g_0$$
donde g_0 es la aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra.
2) Determina el peso del tren en función de su distancia al centro de la Tierra $w(r)$. Como casos particulares calcula su peso en la superficie ($r = R$) y en el centro de la Tierra ($r = 0$). Dibuja la gráfica de $w(r)$ entre $r = 0$ y $r = R$.
3) Escribe la segunda ley de Newton para el tren y demuestra que éste describe un movimiento oscilatorio armónico simple cuyo origen coincide con el centro de la Tierra.
4) Demuestra que el periodo de oscilación de este movimiento viene dado por
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g_0}}$$
5) Calcula el tiempo que tardaría este tren en atravesar la Tierra si suponemos que $R \cong 6370$ km y que $g_0 \cong 9{,}81\ \mathrm{m\ s^{-2}}$.

Para descubrir más curiosidades sobre este tren puedes consultar la referencia [5] y las referencias citadas en ella.

Bibliografía:

[1] Newton, I., *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, Londres, 1687
http://cudl.lib.cam.ac.uk/view/PR-ADV-B-00039-00001/ (original en latín)
https://books.google.es/books?id=Tm0FAAAAQAAJ (traducción al inglés)
[2] Cajori, F., *Sir Isaac Newton on Gravitation*. The Scientific Monthly, 27(1), 47-53 (1928). http://www.jstor.org/stable/7963
[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Shell_theorem
[4] https://es.wikipedia.org/wiki/Tren_gravitacional
[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Gravity_train