



# **XXIII OLIMPIADA ESPAÑOLA DE FÍSICA**

## **FASE LOCAL DE BURGOS**

### **9 de marzo de 2012**

**Examen elaborado con la colaboración de los profesores:**

**Verónica Tricio Gómez**  
**Rolando Valdés Castro**  
**Luis Román Rodríguez Cano**  
**Alberto Puebla Guezmes**  
**Isabel Gómez Ayala**  
**Fernando M. García Reguera**  
**M. Iván González Martín**  
**Andrés Serna Gutiérrez**

**Los ejercicios 1, 3 y 5 puntúan sobre 15 puntos**  
**2 y 4 sobre 10 puntos**



## PRUEBA Nº 1

### AÑO INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA SOSTENIBLE PARA TODOS

El año 2012 ha sido declarado por la ONU el “**Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos**”. Esto nos ofrece una valiosa oportunidad para profundizar la toma de conciencia sobre la importancia de incrementar el acceso sostenible a la energía, la eficiencia energética y la energía renovable en el ámbito local, regional, nacional e internacional. Este ejercicio es nuestra pequeña contribución.

El Sol es un gigantesco reactor nuclear de fusión en el que se consume hidrógeno para formar helio liberando energía. La energía radiante emitida por el Sol en forma de radiación electromagnética es la **energía solar**. Una parte de esta energía es interceptada por la Tierra. Su valor en el exterior de la atmósfera, expresada en unidades de energía por unidad de tiempo y de área normal a los rayos solares ( $\text{Wm}^{-2}$ ), se denomina **constante solar K**.

Esta constante puede determinarse por radiometría y por consideraciones de física nuclear.

a) *Estimación radiométrica.* Admitiendo que el Sol se comporta como un *cuerpo negro* cuya temperatura superficial es de 5776 kelvin, determine el valor medio de la constante solar  $K$ , sabiendo que el radio del Sol es  $6,96 \cdot 10^5$  km, la distancia media Tierra-Sol es  $1,496 \cdot 10^8$  km y que la *ley de Stefan-Boltzmann*:

$$E = \sigma T^4$$

establece que un cuerpo negro emite radiación térmica con una potencia emisiva superficial ( $\text{Wm}^{-2}$ ) proporcional a la cuarta potencia de su temperatura, siendo  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  la constante de Stefan-Boltzmann y  $T$  la temperatura del cuerpo en kelvin.

b) *Estimación nuclear.* En el centro del Sol se transforman aproximadamente 650 millones de toneladas de hidrógeno en 645,5 millones de toneladas de helio cada segundo, convirtiéndose la diferencia de masa (“defecto de masa”) en energía según la *ley de Einstein*  $E = mc^2$ . Determine de nuevo el valor medio de la constante solar  $K$ . Recuerde que la distancia media Tierra-Sol es  $1,496 \cdot 10^8$  km y que la velocidad de la luz en el vacío es  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

c) Las medidas experimentales realizadas mediante satélites dan como valor medio de esta constante  $K = 1366 \text{ Wm}^{-2}$ . ¿Cuál de los dos métodos anteriores es más certero? ¿Por qué cree que es así?

Cuestiones relacionadas:

d.1) Según la ley de *Stefan-Boltzmann* y considerando que la temperatura media de la superficie terrestre es de  $15^\circ\text{C}$ , ¿cuántas veces emite más energía el Sol que la Tierra, sabiendo que el radio de ésta es de 6370 km?

d.2) Admitiendo que la interacción de la radiación solar con la atmósfera da como resultado que en condiciones óptimas sólo un 73% de la misma alcanza la superficie de la Tierra, calcule la energía media mensual, en kWh, que recibe un captador solar cuya superficie es de  $1 \text{ m}^2$ , si está colocado sobre un seguidor solar de tal modo que los rayos del Sol le llegan con incidencia normal (perpendicularmente) durante ocho horas diarias.

d.3) Suponiendo que un 30% de la energía que llega a la superficie terrestre es reflejada al espacio exterior y que el equilibrio térmico implica que toda la energía absorbida sea reemitida, ¿cuál debería ser la temperatura de la superficie terrestre si no tuviera atmósfera y se la considerara un cuerpo negro? ¿Cómo interpreta la diferencia entre este valor y el que aparece en el apartado d.1)?

d.4) La ley de desplazamiento de Wien:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{0,0028976}{T} \quad (\text{m})$$

determina la longitud de onda a la que se produce el máximo de la potencia emisiva superficial de un cuerpo negro. Según esto, ¿cuál es la longitud de onda a la que el Sol presenta la potencia emisiva máxima?

Según la tabla adjunta ¿a qué color pertenece esta longitud de onda?

		Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Longitud de onda ( $\text{Å}$ )
Luz ultravioleta (UV)		menor a 0.4	menor a 4000
Luz visible	Violeta	0.46	4600
	Azul	0.5	5000
	Verde	0.56	5600
	Amarillo	0.59	5900
	Ambar	0.61	6100
	Rojo	0.66	6600
Luz infrarroja (IR)		mayor a 0.7	mayor a 7000

(Fuente: www.unicrom.com)

d.5) Y para la Tierra, ¿cuál será la longitud de onda a la que radia el máximo de energía? ¿En qué zona del espectro se encuentra dicha longitud de onda?

e) Teniendo en cuenta que el fotón es la partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético y que su energía es:

$$E_{\lambda} = \frac{hc}{\lambda}$$

donde  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ ,  $c$  la velocidad de la luz en el vacío y  $\lambda$  la longitud de onda asociada a la partícula,

e.1) ¿Cuál es el rango de energía de la radiación visible, en electronvoltios, sabiendo que la longitud de onda de esta radiación está comprendida entre:  $0,4 \leq \lambda \leq 0,7 \mu\text{m}$  y que  $1 \text{ eV}$  equivale a  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ?

e.2) ¿Cuál será la longitud de onda más adecuada para los sistemas de conversión de la energía solar en energía eléctrica o térmica?

## PRUEBA Nº 2

### SALTO BUNGEE

El actual “góming”, o salto con cuerda elástica, tiene sus orígenes en el salto bungee practicado por algunas tribus indígenas de Oceanía. El salto era un rito para demostrar que se había pasado de niño a valiente adolescente. La mejor forma de llevar a cabo dicha demostración era lanzándose al vacío con una liana atada a los tobillos desde torres de cañas con alturas hasta de 25 metros.

Alberto, gran amante de los deportes extremos, está muy ilusionado porque se va a ir el fin de semana de “góming”, aunque para mayor seguridad y sabiendo que sois unos excelentes alumnos de ciencias os pide que le ayudéis con algunos datos que desearía conocer.

Le han comentado que se va a lanzar desde un puente de 80 m de altura con sus tobillos sujetos a una cuerda elástica de 15 m de longitud y de constante elástica  $k = 50 \text{ Nm}^{-1}$ :

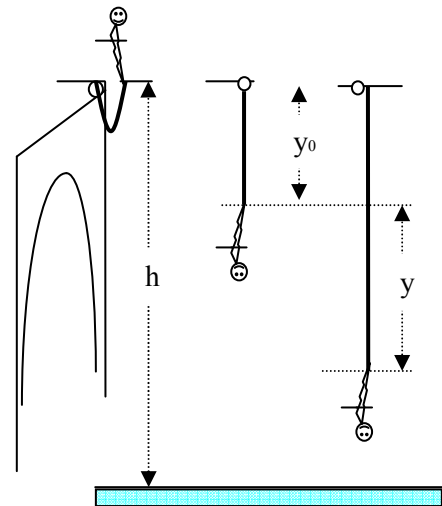
a.- ¿Será seguro el salto si su peso es de 75 kg?

b.- ¿Cuál será el peso máximo de una persona para que el salto pueda considerarse seguro si la cuerda elástica tuviera una constante  $k = 40 \text{ Nm}^{-1}$ ?

c.- ¿Con qué velocidad y aceleración pasará por un punto situado a 30 m por debajo del puente.

d.- Y hablando de aceleraciones, ¿en qué punto y qué valor tendrá la máxima aceleración que va a experimentar durante el vuelo?

e.- Finalmente, despreciando todo rozamiento ¿serías capaz de escribir la expresión o expresiones de la aceleración a la que está sometido en su vuelo de caída?



**Notas:** 1.- Se considera seguro el salto si la longitud de la cuerda estirada al máximo no excede del 70% de la altura total  $h$ .

2.- La cuerda elástica cumple la *ley de Hooke*.

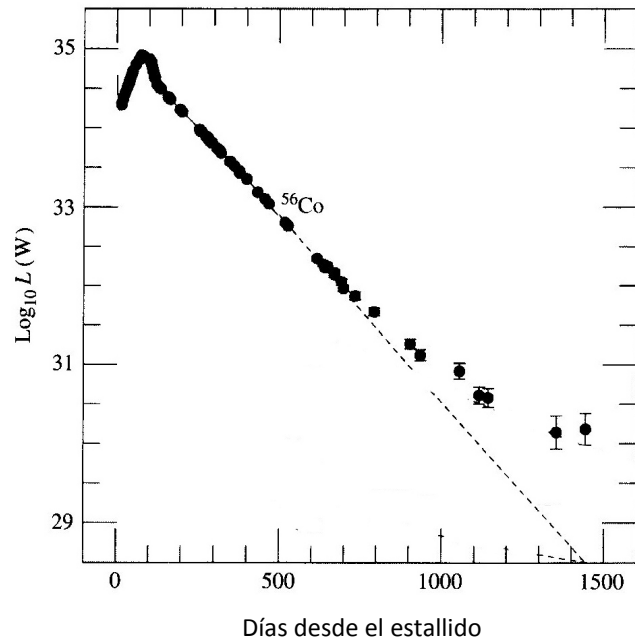
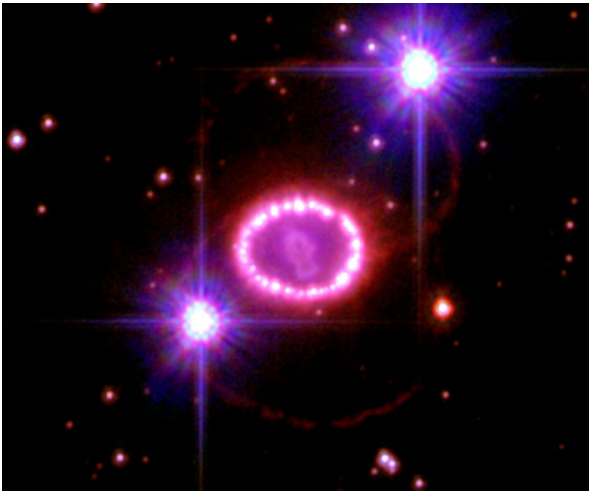
3.- Desprecie todo rozamiento y considere  $g = 10 \text{ m s}^{-2}$  para todos sus cálculos.

### PRUEBA Nº 3

#### CURVA DE LUZ DE LA SUPERNOVA 1987A

Algunas estrellas más grandes que el Sol, cuando agotan el combustible nuclear que les permite lucir, “fallecen” en un suceso explosivo conocido como **supernova**, durante el que la estrella emite cantidades ingentes de energía.

La supernova mejor estudiada hasta la fecha explotó en 1987, aunque no pudo verse desde la zona templada del Hemisferio Norte. La bonita foto de la derecha muestra los restos de la Supernova 20 años después, y fue captada por el Telescopio Espacial Hubble.

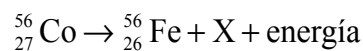


La otra figura<sup>1</sup> representa el logaritmo (en base 10) de la luminosidad de la estrella en función del tiempo transcurrido desde el estallido en días. Esa gráfica es el resultado de las medidas de muchos astrónomos en los días posteriores al estallido. La luminosidad es simplemente la cantidad de energía que emite la supernova por unidad de tiempo y se mide en vatios.

La primera pregunta tiene que ver con la relación de luminosidades entre la supernova y el Sol. A cada m<sup>2</sup> de superficie de la Tierra llegan, procedentes del Sol, unos 1350 julios cada segundo, y la distancia Tierra-Sol es de unos 150 millones de kilómetros.

- a) Sabiendo que el Sol emite por igual en todas direcciones y que la superficie de una esfera de radio R es  $4\pi R^2$ , calcule la luminosidad del Sol en vatios y el tiempo que necesita el Sol para emitir la misma energía que emite la supernova en un segundo en el momento de su máximo brillo.

Abrumador, ¿verdad? Volviendo a la gráfica verá que hay un tramo, días después del máximo de luminosidad, en que la curva es prácticamente recta. Los astrónomos han averiguado que durante este intervalo de tiempo la luz que emite la supernova se debe casi exclusivamente a la desintegración radiactiva de un isótopo de cobalto que se formó tras la explosión. La reacción de desintegración es:



<sup>1</sup> Adaptada de B.W. Carroll and D. A. Ostlie, *An Introduction to Modern Astrophysics* (2<sup>nd</sup> Edition), Pearson 2007



La energía liberada por cada átomo que se desintegra es  $E_0=5,95 \cdot 10^{-13}$  J.

b) Por el momento intente averiguar qué puede ser el objeto rotulado como “X”.

Lo que viene ahora seguramente le sonará. La ley que rige la desintegración del cobalto y de cualquier otro núcleo radiactivo se escribe así:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

donde  $N_0$  es el número de átomos de cobalto en el momento en que se inicia la desintegración,  $N(t)$  es el número de átomos de cobalto que quedan al cabo de un tiempo  $t$  y  $\lambda$  es la constante de desintegración radiactiva.

c) Calcule en función de  $\lambda$  el período de semidesintegración  $\tau$ , que es el tiempo que tarda el número de átomos de cobalto en reducirse a la mitad.

d) Derive la *ley de la desintegración* para determinar, en función de  $t$ , el número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo. A partir de esta expresión escriba razonadamente la relación  $L(t)$  que da la luminosidad de la estrella en función del tiempo. A continuación calcule el logaritmo (en base 10) de  $L$ , también en función del tiempo.

El logaritmo que acaba de calcular está listo para confrontarlo directamente con el tramo recto de la curva de luminosidad.

e) Tomando medidas directamente sobre la gráfica calcule la ecuación de su tramo recto (con su pendiente y su ordenada en el origen). Para mayor comodidad, tome como instante  $t=0$  el momento en que la curva comienza su tramo recto.

f) Identificando los resultados de los apartados d) y e) determine la constante  $\lambda$  para el Cobalto-56, el período de semidesintegración, el número inicial de átomos de cobalto y la masa total de cobalto formada en la explosión de la supernova. Compare con la masa de la Tierra, que es de unos  $6 \cdot 10^{24}$  kg. Recuerde que la unidad de masa atómica es  $1,66 \cdot 10^{-27}$  kg.



## PRUEBA Nº 4

### UTILIZACIÓN DE PILAS DE COMBUSTIBLE EN EL TRANSPORTE

Actualmente un coche movido con pila de combustible tiene una autonomía de aproximadamente unos 400 km, al cabo de los cuales debe repostar unos 4 kg de  $H_2$ .

Suponiendo que la distancia media recorrida al día por un automóvil es  $L_m \approx 30$  km

- Estime el consumo medio por hora que tiene un automóvil de este tipo.
- Calcule cuántos vehículos pueden ser abastecidos por una planta de producción de hidrógeno electrolítico, capaz de satisfacer la demanda media anual de  $1,7 \text{ Nm}^3/\text{h}$  de gas de esa sustancia.
- Estime al cabo de cuánto tiempo es necesario reabastecer de combustible un coche si con una carga se introducen  $m = 4$  kg del combustible.

Nota: \*  $\text{Nm}^3/\text{h}$  significa  $\text{m}^3/\text{h}$  en condiciones normales de presión y temperatura ( $10^5$  Pa y 273,15 K)  
\*\* Constante de los gases ideales:  $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$



## PRUEBA Nº 5

### JUGANDO AL BALONCESTO

En el partido de la NBA: Minnesota Timberwolves – Toronto Raptors el resultado, a falta de 1,3 s del final, es 88-90. En ese instante el base de los Wolves, Ricky Rubio, lanza un triple desde una distancia de 7,30 m a la canasta. El tiro en suspensión lo ejecuta desde una altura de 2,45 m y a una velocidad de 9,00 m/s. Se pide:



- a) ¿Cuáles son los posibles ángulos de lanzamiento, respecto a la horizontal, con los que Ricky conseguirá un tiro limpio y así ganar el partido? La canasta se encuentra a 3,05 m del suelo.

En el instante en que Ricky lanza a canasta, José Manuel Calderón, el base de los Raptors, se encuentra a 1 m de distancia. Calderón salta con intención de taponar el tiro. Suponiendo que con sus manos extendidas y con su capacidad de salto llega hasta los 3,35 m:

- b) ¿Logrará su objetivo de interrumpir la trayectoria del balón? Analice el resultado para los posibles ángulos obtenidos en el apartado a).

Si consideramos la solución en que Calderón no logra taponar el tiro y éste acaba entrando en la canasta:

- c) ¿El tiro entrará antes de que suene la bocina de final de partido?

Nota:  $\frac{1}{\cos^2 \theta} = \text{tg}^2 \theta + 1$