



Olimpiada de Física de la Región de Murcia 2023

1ª PARTE (duración: 1 h 30 min)

1. Fisix Mix

Tras la olimpiada nos han invitado al Fisix Mix, donde pincharán algunos de los mejores DJ.

- David Guetta ha olvidado el metrónomo. Le ayudamos construyendo un péndulo con un hilo y una bolita de chicle. Mientras suena un tema, ajustamos la longitud del hilo hasta que el péndulo marca el ritmo correctamente. A mitad del tema, Guetta quiere duplicar la velocidad de reproducción: ¿Debemos acortar o alargar el hilo? ¿En qué factor? (Justifica la respuesta.)
- Afrojack sube volumen y el público situado a 100 m de un altavoz recibe 80 dB. ¿Qué potencia emite el altavoz? Dato: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.
- Martin Garrix da paso al mejor tema de la noche, de 10 minutos de duración, y el público no para de saltar al son de la música a razón de un saltito por segundo. Suponemos que, al caer al suelo, tras cada salto, toda la energía cinética de una persona la ganan las suelas de sus zapatillas en forma de calor. Cada saltito es de 10 cm de altura. Supón que la masa media de una persona es de 70 kg y que la masa de la suela de sus dos zapatillas es de 100 g. Calcula el incremento de temperatura de las zapatillas al acabar la canción. Dato: calor específico de la goma de las suelas = 1300 J/(g·K).
- Para acabar la noche se lanza un globo gigante lleno de helio. La densidad del helio es 0,17 kg/m³ y la del aire es 1,3 kg/m³. Suponemos que el peso del material de que está hecho el globo es despreciable y que también el rozamiento con el aire es despreciable. Calcula la aceleración de subida del globo.

2. Dos cargas inquietas

En un laboratorio tenemos dos partículas idénticas, Q_1 y Q_2 , cargadas con 1 C cada una, separadas 1 m entre sí y que se mueven con velocidades de 1 m/s. Las situamos en dos posiciones fijas: Q_1 en la posición (0,0,0) m y Q_2 en la posición (0,1,0) m, respecto a unos ejes cartesianos. Preparamos dos experimentos distintos, cambiando las direcciones del movimiento de las partículas:

Velocidades en el primer experimento: $\vec{v}_1 = (0,0,1) \text{ m/s}$, $\vec{v}_2 = (1,0,0) \text{ m/s}$.

Velocidades en el segundo experimento: $\vec{v}_1 = (0,1,0) \text{ m/s}$, $\vec{v}_2 = (0,0,1) \text{ m/s}$.

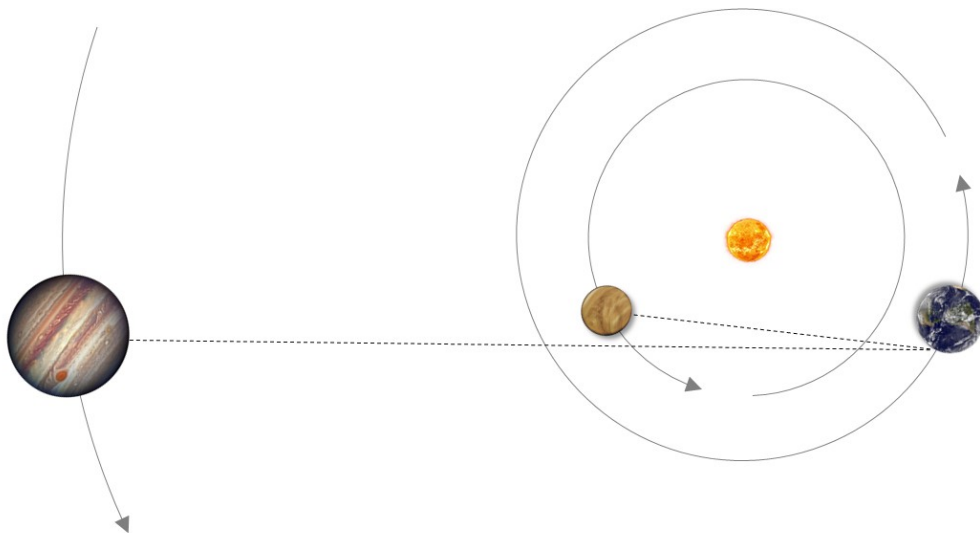
- Haz un dibujo que represente ambos experimentos en un sistema de coordenadas, es decir, dibuja la posición de cada partícula, sus vectores velocidad y el vector de posición \vec{r}_{12} de la partícula Q_2 respecto a la Q_1 .

- b) Calcula la fuerza magnética entre ambas cargas en los dos experimentos, y dibuja su dirección y sentido sobre la carga.
- c) Comprueba matemáticamente si se cumple o no la 3ª ley de Newton para la fuerza magnética en cada uno de estos dos experimentos. (Recuerda que para comprobar la 3ª ley de Newton debes comparar la fuerza que Q_1 ejerce sobre Q_2 con la fuerza que ejerce Q_2 sobre Q_1). ¿Qué consecuencias deduces de los resultados obtenidos?
- d) Respecto al segundo experimento, ¿cuál es la relación que existe entre el campo magnético creado por la carga Q_1 en el punto donde está la carga Q_2 y el campo creado por la carga Q_2 en el punto donde está la carga Q_1 ?
- e) En el segundo experimento ahora cambiamos la partícula Q_1 por otra partícula cargada con -1 C, manteniendo Q_2 en la misma posición y con la misma velocidad. ¿Qué velocidad (módulo, dirección y sentido) tendría que llevar la nueva partícula Q_1 para que la fuerza sobre ella sea $(0,1,1) \cdot 10^{-7}$ N?

Dato: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T·m/A .

3. Conjunciones

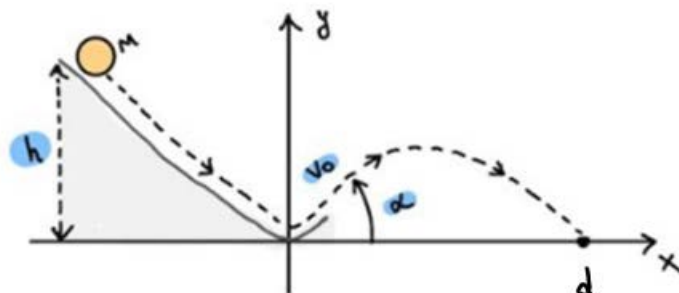
Dos astros están en conjunción cuando observados desde un tercero (generalmente la Tierra) se ven alineados o casi alineados. Hace un par de semanas, el 2 de marzo, se produjo una conjunción de Júpiter y Venus. Vistos desde la Tierra, parecían estar casi pegados (sólo les separaba una distancia angular de $0,5^\circ$, que es el tamaño de la Luna llena), aunque en realidad se encontraban a 600 millones de km el uno del otro. Los radios medios orbitales, en millones de km, son 108, 150 y 778 para Venus, Tierra y Júpiter, respectivamente.



- a) La figura (no está a escala real) muestra la conjunción de Júpiter y Venus vistos desde un punto que, en el dibujo, está en un lateral de la Tierra. ¿Por qué crees que el ilustrador ha situado el punto en ese lateral?
- b) Calcula el período orbital de Venus y el de Júpiter (expresados en años terrestres).
- c) La masa del Sol es 1000 veces mayor que la de Júpiter. Calcula cuántas veces mayor es la atracción gravitatoria del Sol sobre Venus que la de Júpiter sobre Venus.
- d) Considera una conjunción Sol-Venus-Júpiter (es decir, los tres astros alineados). Calcula cuánto tiempo (en días) transcurre hasta que los tres astros están de nuevo alineados.

4. La Tierra contra Marte

Hacemos el siguiente experimento tanto en la Tierra como en Marte: soltamos una masa que desliza sin rozamiento por un plano inclinado y al llegar abajo sale con un ángulo α tal como muestra el dibujo:



- Demuestra que el alcance, d , sería igual en Marte y en la Tierra.
- Si existiera rozamiento (de coeficiente μ) entre la masa y el plano inclinado, ¿en qué planeta llegaría más lejos la masa?
- Supongamos ahora que no hay rozamiento con el plano inclinado, pero sí con el aire a partir del momento en que la masa sale volando. Si dicha fuerza de rozamiento es proporcional al módulo, v , de la velocidad y de sentido contrario a ella, es decir, $\vec{F} = -\beta\vec{v}$, y suponiendo que β fuera la misma en ambas atmósferas, razona cualitativamente (no hace falta hacer cálculos explícitos) en qué planeta llegaría más lejos la masa.

Dato: la gravedad en la superficie de Marte es menor que en la Tierra.

5. Polvo lunar

Cuando los astronautas del programa Apollo llegaron a la Luna vieron que existía una tenue neblina consistente en polvo lunar levitando. Para explicar este fenómeno, vamos a proponer un modelo muy simplificado según el cual el polvo levita debido a que se carga eléctricamente por *efecto fotoeléctrico**



Modelo. La superficie del suelo lunar, llamada *regolito*, consiste en una capa de partículas sueltas de polvo. Consideramos que todos los granos de polvo son iguales, y que son esferas de radio $a = 1 \mu\text{m}$ y densidad $\rho = 3 \text{ g/cm}^3$. Los fotones (de la parte del ultravioleta lejano del espectro) provenientes del Sol arrancan electrones de los átomos del regolito. De esa manera, el suelo se carga positivamente con una densidad superficial de carga σ (carga por unidad de área) y cada grano de polvo adquiere una carga q . Los granos más superficiales se despegan del suelo y levitan debido a la repulsión coulombiana con el resto de granos cargados.

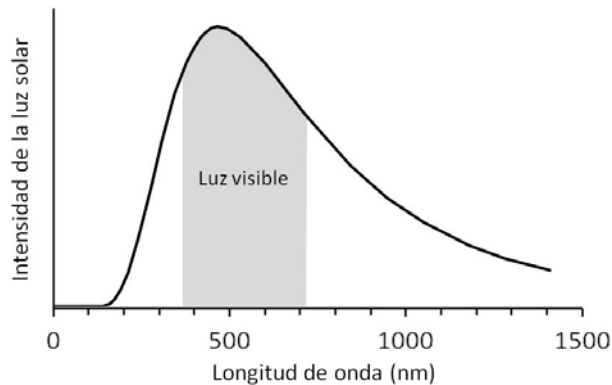
* **Efecto fotoeléctrico.** Consiste en la emisión de electrones por un material cuando se ilumina con luz cuyos fotones tienen una energía mayor o igual que el llamado *trabajo de extracción*, que es la energía umbral necesaria para extraer un electrón de dicho material. Si eso sucede, cada fotón es absorbido por un electrón, y la energía del fotón se invierte en extraer al electrón y, el resto, en suministrarle energía cinética. La ecuación que describe el efecto fotoeléctrico es

$$E_{\gamma} = W_0 + E_c ,$$

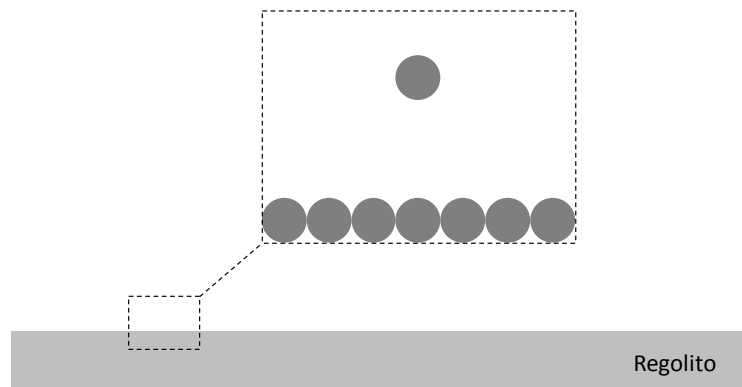
donde W_0 es el trabajo de extracción del material, E_c la energía cinética del electrón extraído, y $E_{\gamma} = hf$ es la energía del fotón siendo h la constante de Planck y f la frecuencia de la luz.

Datos para todo el problema: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, gravedad en la superficie lunar $g = 1/6$ de la terrestre, radio de la Luna = 1734 km, masa del electrón = $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, carga del electrón $e = -1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)$.

- a) Sabiendo que el trabajo de extracción del regolito lunar es de 5 eV, calcula la longitud de onda umbral para arrancar electrones por efecto fotoeléctrico.
- b) La siguiente gráfica muestra la forma aproximada de la curva del espectro de luz solar. Divide la curva en dos regiones trazando una línea vertical que pase por la longitud de onda umbral. Escribe en cada lado si las longitudes de onda de esa región arrancan o no electrones del regolito.



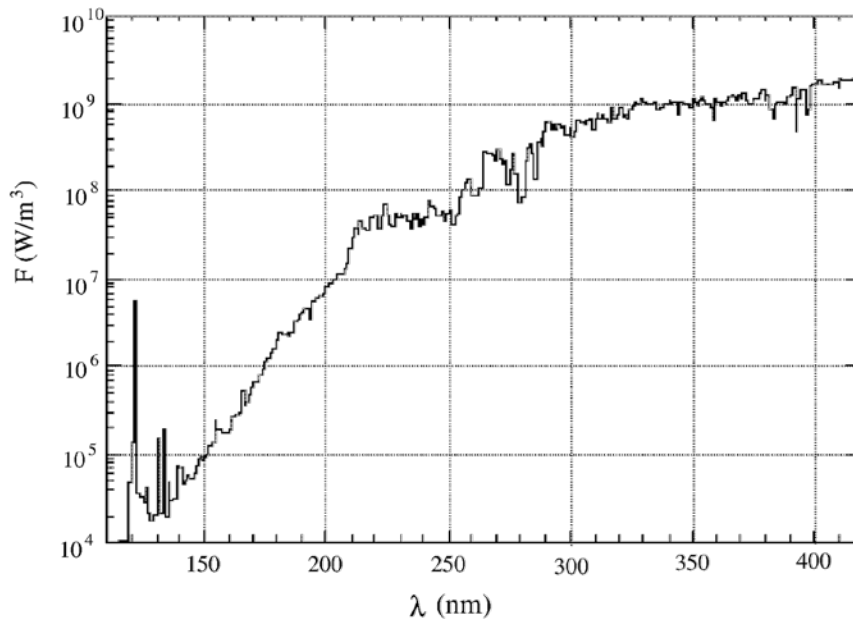
- c) Calcula la velocidad de escape desde la superficie de la Luna. Razona si los electrones emitidos en el efecto fotoeléctrico podrían escapar de la Luna.
- d) Recordemos que, según el modelo, los granos de polvo adquieren carga q al perder electrones. En la figura se muestra una región ampliada del regolito. Dibuja todas las fuerzas que actúan sobre el grano que está levitando, limitándote a mostrar las producidas por los granos del suelo que aparecen en el recuadro ampliado. Justifica por qué los granos no se desplazarán en sentido horizontal.



- e) Determina la carga mínima, q_{\min} , a partir de la cual un grano deja de estar en contacto con el suelo. Expresa el resultado en función de α, g, ρ, σ y ϵ_0 . (Ayuda: considera el campo eléctrico que crea un plano infinito cargado con densidad superficial σ). (Si no logras resolver este apartado, indica al menos cómo depende dimensionalmente q_{\min} del resto de variables.)

En los siguientes apartados vamos a tratar de estimar los valores numéricos de σ y q .

La figura a continuación muestra en escala logarítmica el flujo espectral, F , de la luz solar que llega a la superficie de la Luna, que se define como la potencia por unidad de área y por unidad de longitud (de la longitud de onda), de tal forma que el producto $F \cdot d\lambda$ es la intensidad (potencia por unidad de área) de la luz que llega con longitudes de onda comprendidas entre λ y $\lambda + d\lambda$.



- f) Estima de forma aproximada (basta con dar el orden de magnitud) la intensidad de la luz solar capaz de producir efecto fotoeléctrico (suponemos que los rayos inciden perpendicularmente al suelo). (Ayuda: No es necesario hacer ninguna integral, simplemente observa la forma de la gráfica en el intervalo de longitudes de onda de interés y haz las aproximaciones que consideres pertinentes).
- g) A partir del apartado anterior, estima también el número de fotones por unidad de área y por unidad de tiempo que llegan a la superficie lunar capaces de producir efecto fotoeléctrico. En lo sucesivo llamaremos μ a esa cantidad.
- h) Supongamos que cada fotón de los anteriores (es decir, con energía mayor que la umbral) efectivamente arranca un electrón del regolito. A partir del valor estimado para μ , calcula la carga por unidad de área y por unidad de tiempo que se induce en el suelo y la carga por unidad de tiempo que adquiere un grano de polvo lunar.
- i) Si inicialmente tenemos un suelo en la oscuridad y comienza a incidir la luz del Sol, el tiempo que tardaría un grano de polvo en despegarse del suelo es

$$t_{\min} = \sqrt{\frac{8 \alpha \rho g \epsilon_0}{3 \mu^2 e^2}}.$$

Demuestra la expresión anterior y calcula su valor numérico.

En realidad, la carga del suelo no crece indefinidamente con el tiempo pues hay otros factores que hacen que se alcance un equilibrio. El principal es que los granos de polvo cargados positivamente se mezclan con los electrones arrancados por efecto fotoeléctrico creando lo que se llama un *plasma*. Así, el campo eléctrico no es constante con la altura como habíamos supuesto hasta ahora. Se puede demostrar, con un modelo más elaborado, que el potencial eléctrico que se crea en la nube de polvo en función de la altura z desde el suelo viene dado por

$$V(z) = V_0 - E_0 \lambda_D \ln \left(1 + \frac{z}{\lambda_D} \right),$$

donde E_0 es el campo eléctrico en la superficie ($z = 0$), V_0 el potencial en $z = 0$, y λ_D una constante.

- j)** Obtén el campo eléctrico en función de la altura, $E(z)$.
- k)** Demuestra que la densidad de electrones (número de electrones por unidad de volumen) producidos por efecto fotoeléctrico cerca del suelo viene dada por

$$N_V = \frac{\mu}{v},$$

donde v es una velocidad típica de los electrones emitidos (si consideramos que van hacia arriba perpendicularmente al suelo) y μ está definido en el apartado g).

- l)** La gráfica siguiente representa la fuerza electrostática que sufre un grano de polvo en función de la altura z . Estima gráficamente la altura máxima que alcanzará la capa de polvo. (Ayuda: representa en la figura el valor de la fuerza gravitatoria sobre un grano.)

