

Las fuerzas fundamentales de la naturaleza

La misma fuerza que hace caer una llave al suelo mantiene a la Luna en su órbita, y la que hace que un globo frotado se pegue a la pared sostiene cada enlace químico de tu cuerpo. Cuatro interacciones bastan para explicar todo lo que se mueve, se une o se desintegra en la naturaleza; esta unidad las presenta y enseña a calcular las dos que se notan a simple vista.

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria

Material en revisión por el autor. Si ves un error, [avísanos](#).



Duración: 7 sesiones · Saberes: E.1 · Criterios: 2.2, 2.3, 4.1 · Requisitos previos: unidad 1 (notación científica y cifras significativas), unidad 3 (estructura del átomo) y unidad 6 (leyes de Kepler). No se presupone Física y Química de 1.º. Esta unidad abre el bloque «Las fuerzas que nos mueven».



Las anteriores han descrito la materia, la energía y el movimiento de los astros; ahora se trata de la causa: qué tira de qué, con cuánta intensidad y a qué distancia. La respuesta de la física actual es sorprendentemente corta.



§1

Cuatro interacciones para explicarlo todo

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



Fuerza e interacción

Una fuerza es la acción de un cuerpo sobre otro capaz de cambiar su movimiento o de deformarlo. Se mide en newtons (N): 1 N es la fuerza que comunica a una masa de 1 kg una aceleración de 1 m/s^2 , es decir, $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$. Para hacerse una idea, una manzana de 100 g pesa aproximadamente 1 N.



Las fuerzas siempre aparecen por parejas, por eso los físicos prefieren hablar de interacciones. Si la Tierra atrae a una manzana, la manzana atrae a la Tierra con una fuerza igual y de sentido contrario (tercera ley de Newton).



§ 2

La interacción gravitatoria

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



La ley de la gravitación universal

En 1687, en los Principia, Isaac Newton propuso que la fuerza que hace caer los cuerpos y la que mantiene a la Luna en su órbita son la misma. Dos cuerpos de masas m_1 y m_2 cuyos centros están separados una distancia r se atraen con una fuerza dirigida a lo largo de la línea que los une, de módulo $F = G \cdot m_1 m_2 / r^2$ donde G es la constante...



1798: Cavendish «pesa» la Tierra

Henry Cavendish publicó en 1798 la primera medida de la atracción gravitatoria entre objetos de laboratorio. Usó una balanza de torsión ideada por John Michell, que había muerto sin llegar a usarla, como explica el propio artículo: dos esferas pequeñas de plomo colgadas de una varilla giraban un ángulo diminuto al acercarles dos esferas g...



Peso y masa

El peso de un cuerpo es la fuerza con que lo atrae la Tierra (o el astro en el que esté). Cerca de la superficie, aplicando la ley de Newton con la masa M y el radio R de la Tierra: $P = G M m / R^2 = m \cdot g$, con $g = G M / R^2$ g es la intensidad del campo gravitatorio, o aceleración de la gravedad, y se mide en N/kg , que equivale a m/s^2 .



Peso y masa son magnitudes distintas

Con $GM = 3,9860 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ y $R = 6,371 \times 10^6 \text{ m}$ (NASA, radio medio), $g = 9,820 \text{ m/s}^2$. El valor real depende del lugar: según el modelo WGS 84, va de $9,780 \text{ m/s}^2$ en el ecuador a $9,832 \text{ m/s}^2$ en los polos. La masa mide la cantidad de materia y la inercia de un cuerpo.



El movimiento de los planetas

La unidad 6 presentó las leyes de Kepler como una descripción del movimiento planetario. La ley de Newton explica por qué se cumplen. Si un planeta de masa m describe una órbita circular de radio r alrededor del Sol, de masa M , la atracción gravitatoria es la fuerza que curva continuamente su trayectoria.



Para un movimiento circular con rapidez v , esa fuerza debe valer $m v^2/r$ (la llamada fuerza centrípeta). Igualando: $G M m / r^2 = m v^2 / r \rightarrow v = \sqrt{G M / r}$ La masa del planeta se simplifica: la órbita no depende de ella.



La ingravidez no significa ausencia de gravedad

«En la Estación Espacial no hay gravedad». Falso. A 420 km de altura, $g = GM / (R + h)^2 = 8,64 \text{ m/s}^2$, un 88 % del valor en la superficie. Los astronautas flotan porque la estación y ellos caen juntos alrededor de la Tierra (están en órbita), no porque la Tierra deje de atraerlos. «Los cuerpos pesados caen más deprisa».



§ 3

La interacción electromagnética

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



La carga eléctrica

La carga eléctrica es una propiedad de la materia, como la masa, pero con dos signos. Los protones tienen carga positiva, los electrones negativa, y en un átomo neutro el número de ambos es igual (unidad 3). Cargas del mismo signo se repelen y de signo contrario se atraen.



La carga se mide en culombios (C) y tiene dos propiedades experimentales básicas: Se conserva: no se crea ni se destruye, solo pasa de unos cuerpos a otros. Al frotar un globo con lana, los electrones pasan de un material al otro y los dos quedan cargados con cargas opuestas.



14.1 · Dos protones: gravedad frente a electricidad

Enunciado Dentro de un núcleo atómico, dos protones están separados una distancia $r = 2,0 \times 10^{-15}$ m. a) Calcula la fuerza eléctrica entre ellos. b) Calcula la fuerza gravitatoria. c) ¿Cuántas veces es mayor una que otra? ¿Depende el resultado de la distancia? Datos (CODATA 2022): $G = 6,674\,30 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$;

1. Constante de Coulomb: $k = 1 / (4\pi \epsilon_0) = 1 / (4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}) = 8,988 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$.
2. Fuerza eléctrica: $F_e = k e^2 / r^2 = 8,988 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2} \times (1,602 \times 10^{-19} \text{ C})^2 / (2,0 \times 10^{-15} \text{ m})^2 = 8,988 \times 10^9 \times 2,567 \times 10^{-38} / 4,0 \times 10^{-30} \text{ N} = 58 \text{ N}$, de repulsión.
3. Fuerza gravitatoria: $F_g = G m_p^2 / r^2 = 6,674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \times (1,673 \times 10^{-27} \text{ kg})^2 / (2,0 \times 10^{-15} \text{ m})^2 = 6,674 \times 10^{-11} \times 2,798 \times 10^{-54} / 4,0 \times 10^{-30} \text{ N} = 4,7 \times 10^{-35} \text{ N}$, de atracción.
4. Cociente: $F_g / F_e = G m_p^2 / (k e^2) = 1,867 \times 10^{-64} / 2,307 \times 10^{-28} = 8,09 \times 10^{-37}$. La eléctrica es $1,24 \times 10^{36}$ veces mayor: unos 36 órdenes de magnitud.
5. ¿Depende de r ? No: las dos fuerzas disminuyen con $1/r^2$ y r^2 se simplifica. El cociente vale lo mismo a cualquier distancia.



La interacción electromagnética en el entorno

La electricidad y el magnetismo son dos manifestaciones de una misma interacción, como mostró Maxwell en el siglo XIX; la luz es una onda electromagnética. En el entorno natural aparece en todas partes: La materia y la química: el enlace químico (unidad 3), la cohesión de los sólidos y líquidos, la tensión superficial y la forma de las bi...



Mayo de 2024: una tormenta geomagnética de nivel máximo

El 10 de mayo de 2024, el Centro de Predicción del Clima Espacial de la NOAA (Estados Unidos) informó de que se observaban en la Tierra condiciones G5, el nivel más alto de su escala de tormentas geomagnéticas. La causa eran nubes de partículas cargadas expulsadas por el Sol.



§ 4

Las interacciones nucleares

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



La interacción fuerte: lo que mantiene unido el núcleo

El ejercicio 14.1 deja una pregunta: si dos protones del núcleo se repelen con unos 58 N, ¿qué los mantiene juntos? La interacción nuclear fuerte. Actúa entre los quarks que forman protones y neutrones y, como efecto residual, entre los propios protones y neutrones (nucleones).



Lise Meitner y la explicación de la fisión

A finales de 1938, Otto Hahn y Fritz Strassmann encontraron bario después de bombardear uranio con neutrones, un resultado que no sabían interpretar. Lise Meitner, física austriaca que había colaborado con Hahn durante tres décadas y que ese año tuvo que huir de Alemania por su origen judío, lo explicó desde Suecia junto con su sobrino Ot...



La interacción débil: cuando un neutrón se convierte en protón

La interacción nuclear débil es la responsable de la desintegración beta: un neutrón de un núcleo se transforma en un protón y emite un electrón y un antineutrino (o, en el proceso inverso, un protón se convierte en neutrón y emite un positrón y un neutrino).

Hasta aquí la teoría

Continúa en el libro de la unidad.