

CUESTIONES DE SELECTIVIDAD



2º BACHILLERATO

Cayetano Gutiérrez Pérez

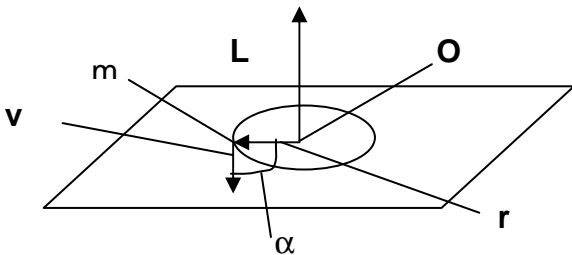
Cartagena, 2010.

PREGUNTAS DE SELECTIVIDAD

1. MOMENTO ANGULAR DE UNA PARTÍCULA

Se llama **momento angular de una partícula**, de masa "m", que se mueve con una velocidad "v", con respecto a un punto "O", al momento de su momento lineal o cantidad de movimiento.

El momento angular, "L", es un vector, de módulo "r.m.v.sen α"; de dirección, perpendicular al plano formado por r y v; y cuyo sentido, es el de avance de un sacacorchos, que apoyada su punta en el punto "O", girase en el sentido de la velocidad o del movimiento.



$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = \mathbf{r} \times m \cdot \mathbf{v}$$

$$L = r \cdot m \cdot v \cdot \text{sen } \alpha$$

α, es el ángulo que forma r y v.

En general, L de una partícula cambia en módulo y dirección, durante el movimiento. Sin embargo, si la partícula se mueve en el plano, y el punto "O" está situado en él, la dirección del momento angular permanece invariable. Éste es el caso del movimiento circular uniforme, donde "O" es el centro del círculo.

Su unidad, en el S.I., es el kg.m²/s

$$\mathbf{L} = m(\mathbf{r} \times \mathbf{v}) = m \cdot \begin{vmatrix} i & j & k \\ x & y & z \\ v_x & v_y & v_z \end{vmatrix}$$

2. LEYES DE KEPLER

Tycho Brahe había realizado observaciones extraordinariamente exactas de las posiciones de los planetas, pero no supo interpretar coherentemente los datos que con tanta exactitud había medido. Después de su muerte, el matemático y astrónomo alemán Kepler, convencido de la teoría heliocéntrica de Copérnico, supo dar a los datos de Tycho una interpretación más ajustada a la realidad, que plasmó en su tres leyes.

Fueron enunciadas a comienzos del siglo XVII y describen los movimientos de los planetas en su recorrido alrededor del sol.

1ª Ley: LEY DE LAS ÓRBITAS: Los planetas en su movimiento de traslación alrededor del sol, se mueven en órbitas elípticas, en uno de cuyos focos está el sol.

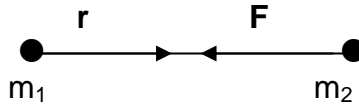
2ª Ley: LEY DE LAS ÁREAS: En su movimiento, el radio vector que une el sol con los planetas barre áreas iguales, en tiempos iguales.

3ª Ley: LEY DE LOS PERÍODOS: Los cuadrados de los períodos de revolución de los planetas alrededor del sol son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas.

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$$

3. LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Dos partículas materiales experimentan una fuerza de interacción gravitatoria directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.



$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

m_1 y m_2 , son las masas de las partículas; G , es la constante de gravitación universal; y r , es la distancia que las separa.

La expresión matemática de la ley de gravitación universal en forma vectorial, es la siguiente:

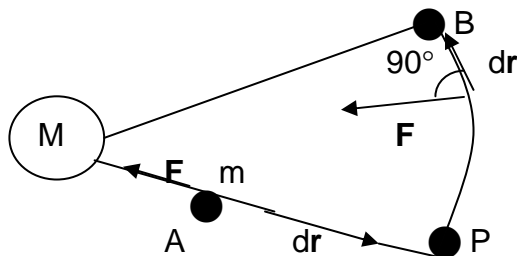
$$\vec{F} = -G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^3} \cdot \vec{r}$$

El signo menos se debe a que la fuerza tiene sentido contrario al del vector posición.

En caso de cuerpos materiales, y no de partículas, la distancia entre ellos es la que une sus respectivos centros de masa.

4. ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA

Consideremos un cuerpo de masa "m", situado alrededor de una masa "M", fija, que se desplaza desde el punto "A" al punto "B". El trabajo que realiza la fuerza gravitatoria en este desplazamiento, que pasa por "A", "P" y "B", marcado en la figura es:



$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_A^B |\mathbf{F}| \cdot |d\mathbf{r}| \cdot \cos \alpha = \int_A^P |\mathbf{F}| \cdot |d\mathbf{r}| \cdot \cos 180^\circ + \int_P^B |\mathbf{F}| \cdot |d\mathbf{r}| \cdot \cos 90^\circ = \int_A^P -G \cdot M \cdot m \cdot dr / r^2$$

Como $\cos 90^\circ = 0$, pues $\int_P^B |\mathbf{F}| \cdot |d\mathbf{r}| \cdot \cos 90^\circ = 0$

$$W_{A \rightarrow B} = -G \cdot M \cdot m \int_A^P dr / r^2 = -G \cdot M \cdot m \left[-\frac{1}{r} \right]_A^P = G \cdot m \cdot m \left[\frac{1}{r_P} - \frac{1}{r_A} \right] = G \frac{M \cdot m}{r_B} - G \frac{M \cdot m}{r_A}$$

ya que $r_P = r_A$. Al ser la fuerza gravitatoria conservativa, podemos definir una función energía asociada a la posición, llamada **energía potencial**, tal que se cumpla:

$$W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_p = -[E_p(B) - E_p(A)] = -E_p(B) + E_p(A) = G \frac{M \cdot m}{r_B} - G \frac{M \cdot m}{r_A}$$

Por identificación de términos, tendremos que para cualquier cuerpo que se encuentre en un punto "x", la energía potencial asociada es:

$$E_p(x) = -G \frac{M \cdot m}{r_x}$$

La energía potencial gravitatoria de una partícula, de masa "m", en un punto, es el trabajo que realiza la fuerza gravitatoria al trasladar la masa "m", desde el punto al infinito.

5. ENERGÍA DEL MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

Una partícula sometida a un M.A.S., tiene energía cinética y energía potencial, y en dicho oscilador armónico hay una transformación continuada de energía cinética y potencial, pero, en cualquier instante, su suma es constante para ese oscilador.

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}m.v^2 + \frac{1}{2}k.x^2 = \frac{1}{2}k.A^2 = \frac{1}{2}m.v^2_{m\acute{a}x.}$$

$$\text{De donde } E_c = \frac{1}{2}m.v^2 = \frac{1}{2}k.A^2 - \frac{1}{2}k.x^2 = \frac{1}{2}k.(A^2 - x^2)$$

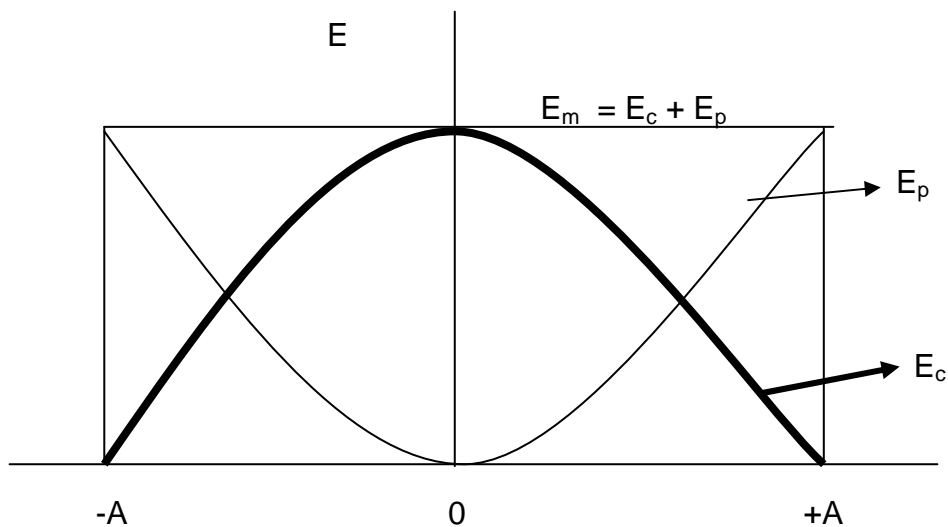
$$\text{Si comparamos } \frac{1}{2}m.v^2 = \frac{1}{2}k.(A^2 - x^2), \text{ se deduce que } v = \pm\sqrt{\frac{k}{m}.(A^2 - x^2)}.$$

$$\text{Y como } K = m.\omega^2, \text{ entonces } v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$$

Para $x = 0$, $v = \pm A.\omega$. En la posición de equilibrio.

Para $x = \pm A$, $v = 0$. En los extremos.

Si $x = 0 \Rightarrow E_p = 0$ y E_c es máxima. Si $x = \pm A \Rightarrow E_c = 0$ y $E_p = \frac{1}{2}k.A^2$



6. CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS

Se pueden clasificar atendiendo a varios criterios:

1. Según el tipo de energía que propagan:

- a. **Ondas mecánicas:** Requieren un medio material para su propagación. Transportan energía mecánica. Ej. el sonido, la onda sobre una cuerda, la onda sobre la superficie de un líquido, etc.
- b. **Ondas electromagnéticas:** No requieren medio material para su propagación. Transportan energía electromagnética. Ej. la luz, las ondas de radio y TV, microondas, Rayos X, láser, etc.

2. Según la dirección de propagación y vibración:

- a. **Ondas transversales:** Son aquellas en las que la dirección de propagación es perpendicular a la de vibración. Ej. ondas electromagnéticas, la onda sobre una cuerda, la onda sobre la superficie de un líquido, etc.
- b. **Ondas longitudinales:** Son aquellas en las que la dirección de propagación y la de vibración coinciden. Ej. el sonido.

3. Según las dimensiones en que se propagan:

- a. **Ondas unidimensionales:** Si se propagan en una sola dirección. Ej. la onda de una cuerda.
- b. **Ondas bidimensionales:** Si se propagan en dos direcciones. Ej. la onda sobre una superficie de un líquido.
- c. **Ondas tridimensionales:** Si se propagan en todas las direcciones. Ej. el sonido, las ondas electromagnéticas.

4. Según el tiempo que dure la propagación:

- a. **Onda o pulso:** Si la perturbación es instantánea. Ej. La onda de choque de una explosión.
- b. **Tren de ondas:** Si la perturbación dura un cierto intervalo de tiempo o es continua. Ej. varios pulsos en una cuerda.

7. AMPLITUD, LONGITUD DE ONDA, FRECUENCIA Y PERÍODO DE UNA ONDA

Estas cuatro magnitudes física son algunos de los parámetros que definen el movimiento ondulatorio.

La **amplitud** es el valor máximo de la perturbación. Se designa por la letra "A", y se mide en "m", en el S.I.

La **longitud de onda** es la distancia entre dos puntos consecutivos que se encuentran en el mismo estado de vibración. Se designa por la letra " λ ", y se mide en "m", en el S.I.

La **frecuencia** es el número de ondas propagadas en la unidad de tiempo. Se designa por la letra "f", y se mide en "Hz" (hertzios), en el S.I.

El **período** es el tiempo que tarda la onda en propagarse una distancia igual a la longitud de onda. Se designa por la letra "T", y se mide en "s", en el S.I.

Los demás parámetros que se utilizan para definir el movimiento ondulatorio son:

La **velocidad de propagación** es el cociente entre la longitud de onda y el período. Se designa por la letra " v_p ", y se mide en "m/s", en el S.I.

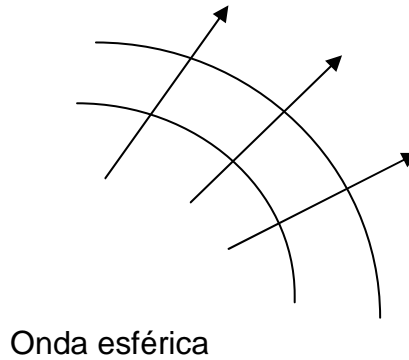
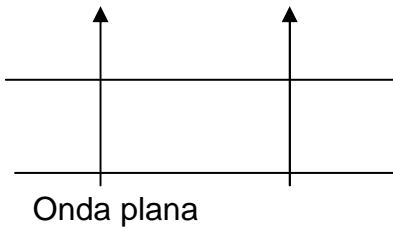
La **pulsación o frecuencia angular** es el cociente entre $2\pi/T = 2\pi \cdot f$. Se designa por la letra " ω ", y se mide en "rad/s", en el S.I.

El **número de ondas** representa el número de longitudes de onda u ondas completas contenidas en una longitud de 2π m. Es el cociente entre $2\pi/\lambda$. Se designa por la letra "k", y se mide en "rad/m", en el S.I.

8. PRINCIPIO DE HUYGENS

En el siglo XVII, el físico inglés Robert Hooke, propuso una teoría ondulatoria de la luz que más tarde el físico holandés Huygens la amplió, obteniendo un modelo general de propagación de ondas.

Todos los puntos de un frente de ondas se comportan como focos emisores de ondas elementales o secundarias (de igual velocidad y frecuencia que la onda inicial), que se propagan en todas direcciones; en un instante dado, el nuevo frente de ondas es la envolvente de las ondas secundarias.



El principio de Huygens permitió deducir las leyes de la reflexión y refracción, así como explicar el fenómeno de la difracción.

9. CARGA ELÉCTRICA. LEY DE COULOMB

CARGA ELÉCTRICA:

La carga eléctrica es una propiedad que frecuentemente posee la materia, en mayor o menor grado.

Cuando se frotran dos cuerpos, tiene lugar el fenómeno de electrización, y ambos cuerpos se cargan con electricidades de signo contrario, llamadas, convencionalmente, positiva y negativa.

Características de la carga eléctrica:

- 1ª. Los cuerpos con carga del mismo signo se repelen, y si la carga es de signo contrario se atraen, cuando se les sitúa a cierta distancia.
- 2ª. Las cargas positivas y negativas interactúan cuando entran en contacto y neutralizan sus efectos total o parcialmente, según sea el número de cargas de cada signo.
- 3ª. En los átomos, las únicas partículas móviles son los electrones. Cuando la materia se electriza, los átomos ceden o toman electrones, en concreto, los electrones más externos del átomo, llamados electrones de valencia.
- 4ª. En un sistema aislado eléctricamente, la carga total se conserva (**principio de conservación de la carga**).
- 5ª. La carga eléctrica se halla **cuantizada**, es decir, cualquier carga localizada en un cuerpo, es siempre múltiple entero, de la unidad natural de carga, que es la del electrón (si es -) o de protón (si es +). $Q = \pm n |e|$.

Como consecuencia de esas características, podemos redefinir la carga eléctrica: Se denomina carga eléctrica o cantidad de electricidad (+ ó -) al defecto o exceso de electrones, respecto al número de protones. Es una magnitud escalar.

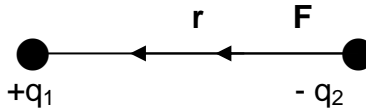
Unidades:

Como la carga del electrón es la que existe en la naturaleza, en estado libre, se ha tomado la misma como unidad natural de carga, pero por ser muy pequeña, se utiliza el culombio (C), en el S.I. El valor de la carga del electrón fue deducido por el físico norteamericano Millikan (s. XX).

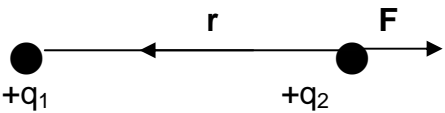
LEY DE COULOMB:

La intensidad de las fuerzas de atracción o repulsión entre cuerpos cargados fue medida por el físico francés Charles de Coulomb (s. XVIII), utilizando una balanza de torsión parecida a la utilizada por Cavendish. El resultado fue la ley que lleva su nombre.

La fuerza de atracción o repulsión entre dos cuerpos puntuales cargados eléctricamente es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional a la distancia al cuadrado que los separa.

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$


Cargas de signo contrario.



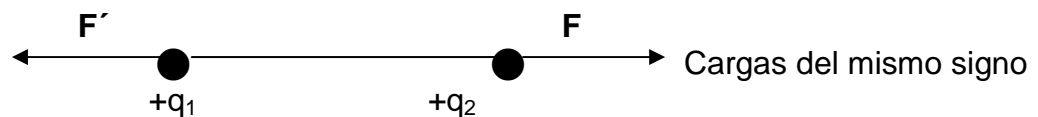
Cargas del mismo signo

Donde q_1 y q_2 , son las cargas de los cuerpos puntuales; r , es la distancia que las separa; y K , es la constante de Coulomb, que depende del medio material en el que se encuentran las cargas, en el S.I. y en el vacío vale $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$. Pero además, K está relacionada con la permitividad dieléctrica del medio (ϵ):

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0} \quad \epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Donde ϵ_r , es la permitividad dieléctrica relativa; y ϵ_0 , es la permitividad dieléctrica del vacío.

En cada uno de los cuerpos cargados, por el principio de acción y reacción, se aplica una fuerza. Dichas fuerzas son iguales en módulo y dirección, pero diferentes en sentido y punto de aplicación.



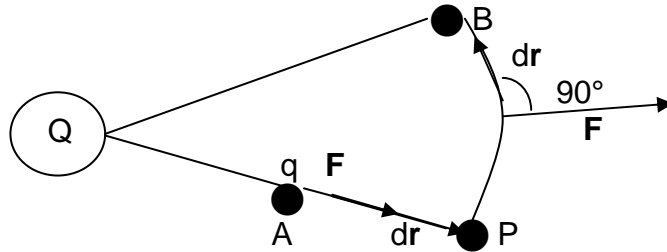
La expresión matemática de la ley de Coulomb en forma vectorial, es la siguiente:

$$\mathbf{F} = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^3} \mathbf{r}$$

Donde \mathbf{r} , es el radio vector que une el punto donde está una de las cargas y el punto donde está aplicada la fuerza, que es la otra carga.

10. ENERGÍA POTENCIAL Y POTENCIAL ELÉCTRICOS

Consideremos una carga puntual "q", situado alrededor de otra carga puntual "Q", fija, que se desplaza desde el punto "A" al punto "B". El trabajo que realiza la fuerza electrostática en este desplazamiento, que pasa por "A", "P" y "B", marcado en la figura es:



$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_A^B |\mathbf{F}| \cdot |d\mathbf{r}| \cdot \cos \alpha = \int_A^P |\mathbf{F}| \cdot |d\mathbf{r}| \cdot \cos 0^\circ + \int_P^B |\mathbf{F}| \cdot |d\mathbf{r}| \cdot \cos 90^\circ = \int_A^P K \cdot Q \cdot q \cdot dr / r^2$$

Como $\cos 90^\circ = 0$, pues $\int_P^B |\mathbf{F}| \cdot |d\mathbf{r}| \cdot \cos 90^\circ = 0$

$$W_{A \rightarrow B} = K \cdot Q \cdot q \int_A^P dr / r^2 = K \cdot Q \cdot q \left[-\frac{1}{r} \right]_A^P = K \cdot Q \cdot q \left[-\frac{1}{r_P} + \frac{1}{r_A} \right] = -K \frac{Q \cdot q}{r_B} + K \frac{Q \cdot q}{r_A}$$

ya que $r_P = r_B$. Al ser la fuerza electrostática conservativa, podemos definir una función energía asociada a la posición, llamada **energía potencial**, tal que se cumpla:

$$W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_p = -[E_p(B) - E_p(A)] = -E_p(B) + E_p(A) = -K \frac{Q \cdot q}{r_B} + K \frac{Q \cdot q}{r_A}$$

Por identificación de términos, tendremos que para cualquier cuerpo que se encuentre en un punto "x", la energía potencial eléctrica asociada es:

$$E_p(x) = K \cdot \frac{Q \cdot q}{r_x} + C$$

La "C" es una constante, que depende de la elección del origen de E_p . Si el origen de E_p se toma en el ∞ , esa constante vale cero, ya que si $r_x = \infty$, $E_p = 0$

La energía potencial eléctrica en un punto del campo eléctrico es el trabajo realizado por la fuerza electrostática para trasladar una carga "q", desde el punto al infinito. Si "Q" y "q" son del mismo signo, E_p es + y si son de signo contrario es -.

A partir de la energía potencial eléctrica se establece el concepto de potencial eléctrico. **Se llama potencial eléctrico en un punto del campo eléctrico a la energía potencial que posee la unidad de carga positiva colocada en dicho punto.** La unidad en el S.I. es el voltio.

$$V = \frac{E_p}{q} = K \cdot \frac{Q}{r} + C$$

I.E.S. "POLITÉCNICO", CARTAGENA. FÍSICA DE 2º DE BACHILLERATO

La "C" es una constante, que depende de la elección del origen de E_p . Si el origen de E_p se toma en el ∞ , esa constante vale cero.

Por otra parte, si se conoce el potencial en los puntos "A" y "B", se puede calcular fácilmente el trabajo realizado al desplazar la carga "q" de uno a otro punto.

$$W_{A \rightarrow B} = E_p(A) - E_p(B) = q \cdot V_A - q \cdot V_B = q (V_A - V_B).$$

11. FUERZA DE LORENTZ

Si un campo magnético ejerce una fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente eléctrica, también lo hará sobre cualquier cuerpo cargado que se mueva en su seno. En efecto, experimentalmente se comprueba que si se coloca un cuerpo cargado, en reposo, en un campo magnético, no sufre la acción de fuerza alguna, pero sí se observan cambios en el estado de movimiento de un haz de partículas cargadas que se mueven en su seno. Consecuentemente, según la segunda ley de Newton, se concluye que debe existir una fuerza que actúa sobre las partículas del haz.

Consideremos que un haz de partículas cargadas, con carga "q" y masa "m", se lanzan con una velocidad "v", en un campo magnético uniforme "B". Si se analizan las diferentes variables que pueden intervenir en el proceso, de las cuales dependería la fuerza, parece razonable que sean: La **carga** de las partículas, ya que, si las partículas no están cargadas, el campo magnético no actúa sobre ellas, salvo que tuvieran momento magnético y se orientaran en el sentido del campo; la **velocidad** de las mismas, ya que si están en reposo no sufren ninguna alteración; y el **campo magnético** que es el responsable de los fenómenos observados.

La fuerza que actúa sobre las partículas del haz es:

- Directamente proporcional a "q"
- Directamente proporcional al módulo de "v".
- Directamente proporcional al módulo de "B"
- Perpendicular a "B" y "v", es decir, al plano formado por **v** y **B**. Por tanto, tiene la dirección del producto vectorial de (**v** x **B**).
- Su sentido es el avance de un sacacorchos que gira en el sentido que va de "v" a "B", por el camino más corto, si la carga es positiva, y el opuesto, si es negativa. Es decir, tiene el sentido del producto vectorial (**v** x **B**) o el opuesto, respectivamente, según el signo de la carga.

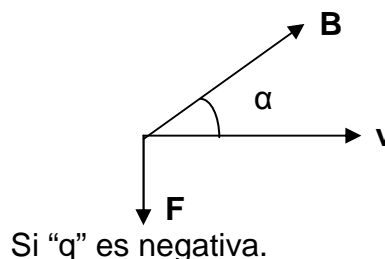
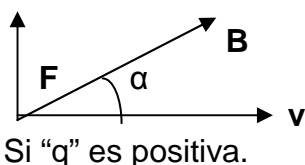
Es decir, matemáticamente **F** será igual:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Si además del campo magnético existe, en el espacio donde se mueve la carga, un campo eléctrico, se cumplirá:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

expresión que se llama **fuerza de Lorentz**.



12. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Los trabajos de Faraday sobre inducción electromagnética, sentaron las bases que permitieron la producción y el transporte de corriente alterna.

Faraday se planteó que si una corriente eléctrica era capaz de crear un campo magnético (experiencia de Oersted), por qué no podía crear un campo magnético una corriente eléctrica.

La idea se hace más plausible si se admite la teoría de Ampere, que mantenía que el magnetismo era debido a minúsculas corrientes que circulan en torno a los constituyentes elementales de la materia.

Con estas ideas, Faraday, consigue realizar varios experimentos, que aportan las siguientes conclusiones:

- Cuando se abre o cierra un circuito, en presencia de otro, cerrado y próximo al primero, se induce una corriente eléctrica.
- La corriente inducida se incrementa si ambos circuitos se encuentran arrollados, en forma de bobinas, en torno a un núcleo de hierro dulce (con poco C).
- Si se hace girar un circuito cerrado en el campo magnético de un imán, de manera que varíe el número de líneas de fuerza del campo que corta el circuito, se induce en él una corriente eléctrica. Es decir, siempre que varía el flujo magnético a través de un circuito cerrado, se originará en él una fuerza electromotriz inducida

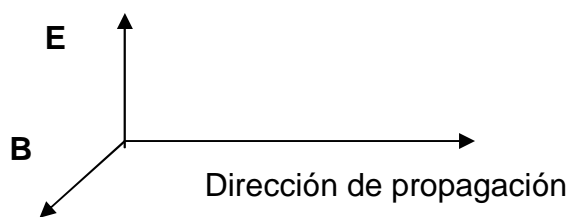
El circuito cerrado donde se origina la corriente recibe el nombre de inducido; el cuerpo que crea el campo magnético, inductor, y puede estar constituido por un imán permanente, por un electroimán, por una bobina recorrida por una corriente alterna o por una bobina recorrida por una corriente continua que es interrumpida miles de veces en cada segundo.

13. NATURALEZA DE LA LUZ

La **teoría corpuscular de Newton** (s. XVIII) mantenía que los focos luminosos emiten minúsculas partículas que se propagan en línea recta, en todas las direcciones y, al chocar con nuestros ojos, producen la sensación luminosa. Esta hipótesis justificaba la propagación rectilínea de la luz, la reflexión y la refracción (aunque tenía que suponer que la velocidad de propagación de la luz en el agua era mayor que en el aire, lo cual es falso), pero no explicaba la difracción.

La **teoría ondulatoria de Huygens** suponía que la luz consiste en la propagación de una perturbación ondulatoria del medio. Esta hipótesis explica los fenómenos de reflexión y refracción, pero no experimentaba fenómenos típicamente ondulatorios como la difracción (ya que la λ de la luz es muy pequeña).

En el s. XIX, **Maxwell** estableció la **teoría electromagnética de la luz**, y propuso que la luz no era una onda mecánica, sino electromagnética de alta frecuencia. Las ondas luminosas consisten en la propagación, sin necesidad de soporte material, de un campo eléctrico y de un campo magnético, perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación.



Pero Hertz descubre el efecto fotoeléctrico, según el cual, cuando se hace incidir la luz de una determinada frecuencia sobre una superficie metálica, ésta emite electrones. Este efecto no podía explicarse mediante la teoría ondulatoria. Esto permitió a **Einstein**, en 1.905, que propusiera que **la luz estaba formada por un haz de pequeños corpúsculos o cuantos de energía, también llamados fotones**.

Por tanto, **la luz tiene una doble naturaleza, corpuscular y ondulatoria**. Se propaga mediante ondas electromagnéticas y presenta los fenómenos típicamente ondulatorios, pero en su interacción con la materia, en ciertos fenómenos de intercambio de energía, manifiesta su carácter corpuscular. Sin embargo, la luz nunca manifiesta simultáneamente ambas características, en un fenómeno concreto se comporta o como onda o como partícula.

Se ha comprobado que la doble naturaleza de la luz es aplicable también al comportamiento de ciertas partículas como los electrones, según propuso de Broglie, y este hecho constituye uno de los fundamentos básicos de la física moderna.

14. LEYES DE LA REFLEXIÓN Y LA REFRACCIÓN

Sea un movimiento ondulatorio que se propaga en un medio (I) y en su propagación se encuentra con otro medio (R). Al encontrarse en la superficie de separación de los dos medios, el movimiento ondulatorio puede experimentar reflexión y/o refracción. En la reflexión, la onda sigue propagándose por el medio de incidencia, mientras que, si se refracta, pasa a propagarse por el otro medio.

Se define "normal" como la línea imaginaria perpendicular a la superficie de separación, en el punto de incidencia. El estudio experimental de estos dos fenómenos ondulatorios permiten establecer las siguientes leyes:

LEYES DE LA REFLEXIÓN:

1. El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en el mismo plano.
2. El ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales.

LEYES DE LA REFRACCIÓN:

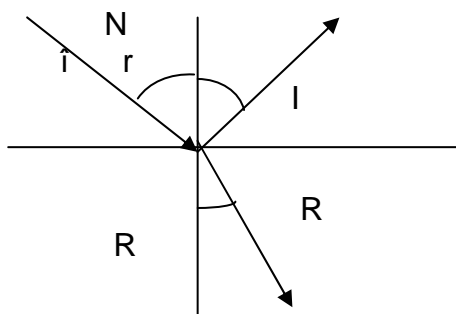
1. El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en el mismo plano.
2. Si un rayo incide oblicuamente sobre la superficie de separación de dos medios, la relación entre las velocidades de propagación en los medios de incidencia y de refracción vienen dada por la LEY de SNELL.

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } R} = \frac{v_i}{v_R}$$

Como $n = c/v_m$, pues la Ley de Snell, también puede expresarse así:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } R} = \frac{v_i}{v_R} = \frac{n_R}{n_i}$$

Si el rayo incidente es perpendicular a la superficie, el ángulo de incidencia es nulo y también son nulos el ángulo de reflexión y el de refracción.



Si el movimiento ondulatorio pasa a propagarse a un medio más refringente, se acerca a la normal, pero si pasa a otro menos refringente, se aleja de la normal.

15. POTENCIA Y DISTANCIAS FOCALES DE UNALENTE

El inverso de la distancia focal imagen se conoce como potencia o convergencia de una lente:

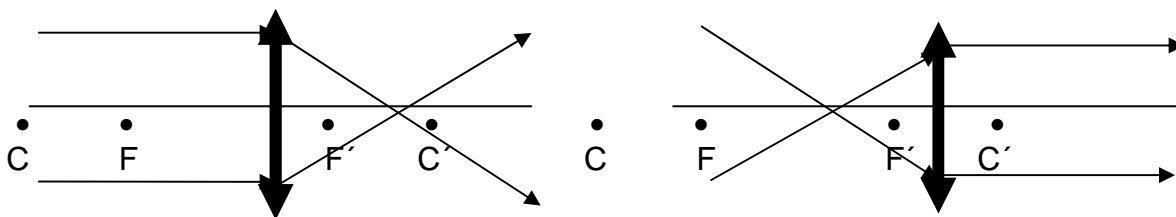
$$P = \frac{1}{f'}$$

La unidad de potencia es la dioptría, siempre y cuando la distancia focal se exprese en metros. Una lente tienen una potencia de una dioptría si su distancia focal es de un metro.

La distancia focal imagen de las lentes convergentes es positiva, luego su potencia también será positiva, pero en las lentes divergentes es negativa, ya que la distancia focal también lo es.

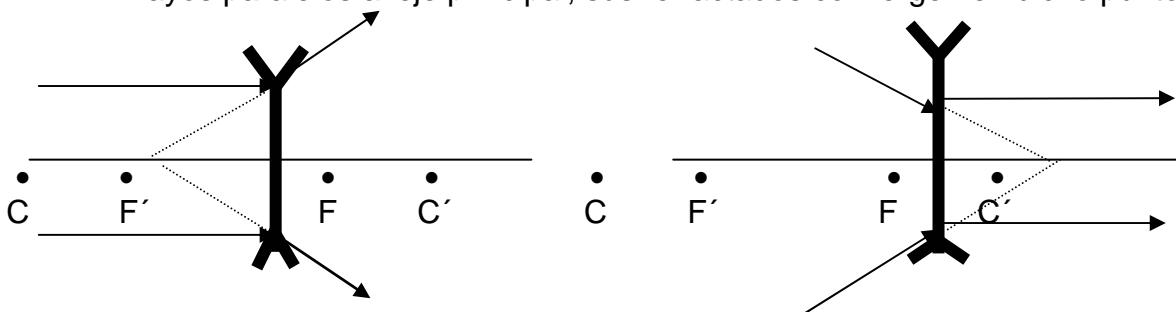
En una lente convergente:

- El foco objeto, F, es un punto del eje principal, que se encuentra a la izquierda de la lente, y que cumple la condición de que todo rayo luminoso que pasa por él, al refractarse en la lente, emerge paralelo al eje principal.
- El foco imagen, F', es un punto del eje principal, que se encuentra a la derecha de la lente, y que tiene la propiedad de que si sobre la lente inciden rayos paralelos al eje principal, sus refractados convergen en dicho punto.



En una lente divergente:

- El foco objeto, F, es un punto del eje principal, que se encuentra a la derecha de la lente, y que cumple la condición de que todo rayo luminoso cuya prolongación pase por él, al refractarse en la lente, emerge paralelo al eje principal.
- El foco imagen, F', es un punto del eje principal, que se encuentra a la izquierda de la lente, y que tiene la propiedad de que si sobre la lente inciden rayos paralelos al eje principal, sus refractados convergen en dicho punto.



16. RELATIVIDAD ESPECIAL. POSTULADOS

A finales del siglo XIX, pese al gran avance de la física, se mantenía que todos los fenómenos ondulatorios conocidos, necesitaban de un medio material para su propagación. En este sentido, como la luz se propagaba en el vacío, necesitaba de la existencia de un medio material, que llenara todo el espacio (densidad despreciable) y que no interactuara con la materia. A ese medio material se le llamó "éter".

Pero el experimento para medir la velocidad de la Tierra, con respecto al éter, que realizaron los científicos Michelson y Morley, también a finales de siglo XIX, creaba un dilema: o bien el éter no existía, o bien existía y los cuerpos se movían en su seno, pero había ciertos mecanismos de compensación que anulaban los efectos del éter.

Para Einstein, el resultado del experimento de Michelson-Morley, pone de manifiesto que **la velocidad de la luz en el vacío, "c", referida a un sistema inercial cualquiera, es independiente de cómo se mueve el sistema**. De aquí se deduce inmediatamente que no existe ningún fenómeno físico que pueda dar información sobre el movimiento de dicho sistema de referencia (si está en reposo o con M.R.U.). Por tanto, es imposible conocer la velocidad absoluta de un móvil. Sólo pueden observarse, en la naturaleza, los movimientos relativos de unos sistemas respecto a otros.

La conclusión de que no existe ningún fenómeno físico que permita distinguir un sistema de otro llevó a Einstein a enunciar su **primer postulado**:

Todas las leyes de la física, y no sólo las de la mecánica, son invariantes respecto a las transformaciones entre sistemas de referencia inerciales.

Esto quiere decir, que las leyes de la física tienen la misma expresión sea cual fuere el sistema de referencia inercial, en el que se observe el fenómeno. Este postulado, que recibe el nombre de **principio de la relatividad especial**, es la extensión natural del principio de relatividad de Galileo, al resto de las leyes de la Física.

El **segundo postulado** dice: ***La velocidad de la luz en el vacío, toma al mismo valor en todos los sistemas de referencia inerciales.***

Esto implica que el valor de "c", en el vacío es independiente del movimiento del observador o de la fuente.

Este segundo postulado, destruye de raíz la hipótesis del éter, que además tiene otra consecuencia: El tiempo no transcurre de la misma manera, en todos los sistemas de referencia inerciales. Es decir, el tiempo no es absoluto, sino que depende del sistema de referencia. Si dos sucesos son simultáneos, en un mismo sistema de referencia, no lo serán en cualquier otro sistema que se mueva, respecto al primero, con movimiento rectilíneo y uniforme.

17. CONCEPTO DE FOTÓN. DUALIDAD ONDA-CORPÚSCULO

Planck estableció la hipótesis de que la energía radiante se emite de forma discontinua, en forma de cuantos de luz o fotones, cuya $E = h \cdot f$. El fotón es un cuanto de energía transportado por la radiación, de manera discontinua. El fotón es una partícula cuya masa, en reposo, es nula y que se mueve a la velocidad de la luz.

A lo largo de la historia de la Física se observan algunas tendencias recurrentes en el pensamiento científico. Así, se intenta siempre elaborar teorías que expliquen el mayor número de fenómenos posible; como ejemplos, pueden citarse: el de la unificación de la electricidad, el magnetismo y la óptica que culminó Maxwell; y el que consiste en la unificación de las cuatro interacciones fundamentales conocidas: fuerte, débil, electromagnética y gravitatoria, en una sola, todavía inacabado.

El pensamiento científico también se esfuerza en la búsqueda de simetrías. Recuérdese, por ejemplo, la pregunta que se hace Faraday: dado que es posible producir campos magnéticos con corrientes eléctricas, ¿no será posible, también, producir corrientes eléctricas por la acción de campos magnéticos?

Siguiendo esta línea de pensamiento, Louis De Broglie se pregunta que, puesto que la luz tiene un doble comportamiento, ondulatorio y corpuscular, que se pone de manifiesto según el fenómeno, ¿no sería posible que las partículas materiales tuvieran, también, un comportamiento dual? Esta convicción le lleva a proponer, en 1924, la hipótesis que lleva su nombre (**Hipótesis de De Broglie**), que provocó un cambio fundamental en los conceptos físicos y que constituye uno de los principios sobre los cuales se asienta la mecánica cuántica: ***Toda partícula de masa «m», que se mueve con velocidad «v», lleva asociada una onda cuya longitud de onda y frecuencia vienen dadas por:***

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{h}{p}, f = \frac{E}{h}$$

donde: h , es la constante de Planck; $p = m \cdot v$, es la cantidad de movimiento o momento lineal de la partícula; y E , es su energía.

De Broglie piensa que las partículas, como la luz, tienen un doble comportamiento, corpuscular y ondulatorio, poniéndose de manifiesto uno u otro en función del fenómeno considerado.

Cuando la luz producida por un foco puntual atraviesa un agujero grande realizado en una pantalla se notan las zonas de luz y de sombra típicas: la luz tiene un comportamiento corpuscular. Si se va reduciendo el tamaño del agujero en la pantalla, cuando ese tamaño es parecido a la longitud de onda de la luz, se observa el fenómeno de difracción, es decir, su comportamiento es ondulatorio.

Bastaría hacer pasar electrones por agujeros de tamaño comparable a su longitud de onda asociada de De Broglie para comprobar la hipótesis. Sin embargo, en el efecto fotoeléctrico, los electrones se comportan como corpúsculos.

18. PRINCIPIO DE INDETERMINACIÓN

La física clásica, e incluso, la llamada antigua teoría cuántica, era una física determinista, en la que se consideraba que conocidos la posición y la velocidad de una partícula, en un instante determinado, era posible determinar su posición y velocidad en otro instante cualquiera.

Heisenberg enunció el principio de incertidumbre, del que se deduce que no es posible desarrollar una física determinista a nivel microscópico. Este hecho se ha demostrado con experiencias relativas a la difracción de electrones, que pone de manifiesto que se trata de un fenómeno ondulatorio, lo que hace imposible la determinación simultánea y exacta de su posición y velocidad.

Para los electrones, lo único que podemos suponer, es que el electrón está dentro de un grupo de ondas que se extienden a una pequeña región del espacio y que su posición en un cierto instante no puede especificarse con el deseado grado de precisión.

El principio de indeterminación dice que siempre que se opere con variables conjugadas (que son aquellas cuyo producto tiene las dimensiones de la constante de Planck: posición "x" y momento lineal "p" o energía "E" y tiempo "t") el producto de los errores cometidos en la determinación simultánea de ambas variables ha de ser igual o mayor que el cociente de la constante de Planck entre 2π .

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$$

O bien así: ***Es imposible, en un instante dado, determinar, simultáneamente, la posición y el momento lineal de una partícula.***

19. TIPOS DE RADIACIONES NUCLEARES

En la naturaleza existen unas radiaciones, llamadas radiaciones ionizantes, que son emitidas por las sustancias radiactivas y por los Rayos X.

Estas radiaciones pueden ser emitidas tanto por fuentes naturales (sustancias radiactivas naturales, radiación cósmica), como por fuentes artificiales (aparatos o sustancias radiactivas artificiales).

Si sobre un átomo incide una radiación ionizante puede suceder que uno o más electrones escapen de la atracción nuclear y, por tanto, que dicho átomo se ionice. Esa es la diferencia con las radiaciones no ionizantes, en las que el átomo no se llega a ionizar.

Las radiaciones emitidas por las sustancias radiactivas naturales son de tres tipos: radiaciones α , β y γ .

Las radiaciones α : son núcleos de Helio (${}^4_2\text{He}$). Su velocidad depende del núcleo que las emite y oscila entre un 5 y 7'5 % de la velocidad de la luz en el vacío.

Las radiaciones β : son electrones originados en una transformación del núcleo, en la que un neutrón \rightarrow protón + electrón + antineutrino, la velocidad de las radiaciones β es del 90% de "c".

Las radiaciones γ : son radiaciones electromagnéticas, por lo que se propagan a la velocidad de la luz.

En general, una sustancia radiactiva emite radiaciones α o β , acompañadas, en ocasiones, de la γ .

Las emisiones radiactivas interactúan con la materia, durante su recorrido le van cediendo energía y provocan alteraciones tales como ionización, excitación, etc. En las radiaciones radiactivas interesa conocer su **poder de ionización y su poder de penetración**. Estos efectos dependen de la carga eléctrica, de la masa y de la "v" de la radiación (α o β).

Las α tienen un poder de ionización alto y poder de penetración muy bajo, ya que al tener dos cargas positivas, toman electrones de otros átomos rápidamente, para convertirse en Helio.

Las β al ser más pequeñas y tener menos carga, tienen un poder de penetración medio y un poder de ionización medio.

Las γ tienen un gran poder de penetración y bajo poder de ionización.

20. INTERACCIONES FUNDAMENTALES

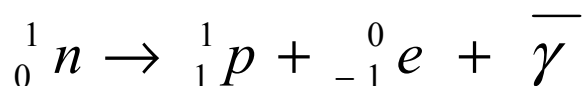
Son aquellas fuerzas del universo que no se pueden explicar en función de otras más básicas

Las cuatro interacciones fundamentales son: La interacción gravitatoria, la electromagnética, la interacción fuerte y la interacción débil. Estas interacciones poseen las siguientes características:

	Gravitatoria	Electromagnética	Interacción Fuerte	Interacción Débil
Alcance	Infinito	Infinito	10^{-15} m	10^{-17} m
Intensidad relativa	La más débil	Es la 2ª en intensidad	Es la más intensa	Es la 3ª en intensidad
Cuerpos sobre los que actúa	Toda la materia	Cuerpos cargados	Protones y neutrones	Protones, neutrones y electrones
Fenómenos que explica	Gravitación	Electromagnetismo y Enlace Químico	Fuerzas nucleares	Emisiones β

La interacción fuerte es la que mantiene unidos los nucleones en el núcleo, es más intensa que la repulsión electrostática entre los protones.

La desintegración " β " de los neutrones se explica mediante la interacción débil, que conduce a que un neutrón se desintegre en un protón, un electrón y un antineutrino.



CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS

Se pueden clasificar atendiendo a varios criterios:

1. Según el tipo de energía que propagan:

- a. **Ondas mecánicas:** Requieren un medio material para su propagación. Transportan energía mecánica. Ej. el sonido, la onda sobre una cuerda, la onda sobre la superficie de un líquido, etc.
- b. **Ondas electromagnéticas:** No requieren medio material para su propagación. Transportan energía electromagnética. Ej. la luz, las ondas de radio y TV, microondas, Rayos X, láser, etc.

2. Según la dirección de propagación y vibración:

- a. **Ondas transversales:** Son aquellas en las que la dirección de propagación es perpendicular a la de vibración. Ej. ondas electromagnéticas, la onda sobre una cuerda, la onda sobre la superficie de un líquido, etc.
- b. **Ondas longitudinales:** Son aquellas en las que la dirección de propagación y la de vibración coinciden. Ej. el sonido.

3. Según las dimensiones en que se propagan:

- a. **Ondas unidimensionales:** Si se propagan en una sola dirección. Ej. la onda de una cuerda.
- b. **Ondas bidimensionales:** Si se propagan en dos direcciones. Ej. la onda sobre una superficie de un líquido.
- c. **Ondas tridimensionales:** Si se propagan en todas las direcciones. Ej. el sonido, las ondas electromagnéticas.

4. Según el tiempo que dure la propagación:

- a. **Onda o pulso:** Si la perturbación es instantánea. Ej. La onda de choque de una explosión.
- b. **Tren de ondas:** Si la perturbación dura un cierto intervalo de tiempo o es continua. Ej. varios pulsos en una cuerda.

ESTUDIO ENERGÉTICO DE LAS TRAYECTORIAS DE UN CUERPO BAJO LA ACCIÓN DE UN CAMPO GRAVITATORIO

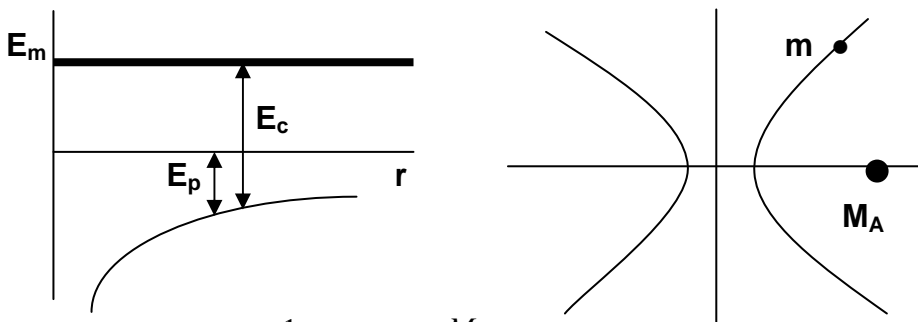
Sea un cuerpo de masa "m", que se mueve con una velocidad "v", en un campo gravitatorio, alrededor de un astro de masa "M_A", a una distancia "r", del centro del astro, de tal manera que $m \ll M_A$.

Como la fuerza gravitatoria es conservativa, la energía mecánica se conservará, según el principio de conservación de la energía.

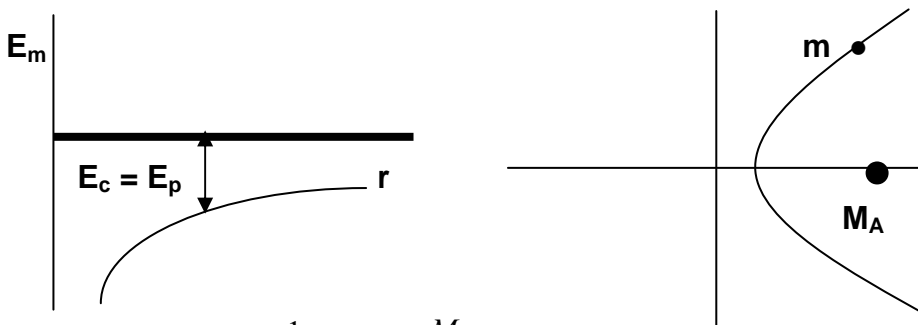
$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 - G \cdot \frac{M_A \cdot m}{r} = Cte.$$

En este sentido, se nos pueden presentar 3 situaciones diferentes:

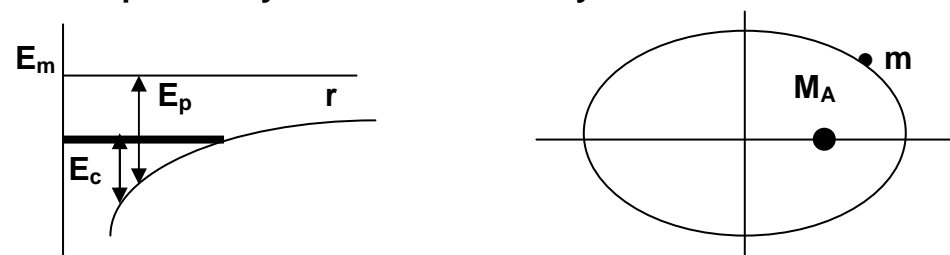
1º. Si $E_m > 0 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 > G \cdot \frac{M_A \cdot m}{r}$. La trayectoria del cuerpo es una curva abierta (Hipérbola), con el foco en el centro de fuerzas. El cuerpo puede llegar al ∞ con Energía cinética. Es el caso de los satélites que se lanzan a otros astros.



2º. Si $E_m = 0 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = G \cdot \frac{M_A \cdot m}{r}$. La trayectoria del cuerpo es una curva abierta (Parábola), con el foco en el centro de fuerzas. El cuerpo puede llegar al ∞ , pero con Energía cinética nula, por tanto, con $v = 0$. Es el caso de los cometas.



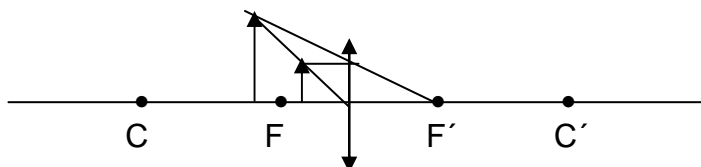
3º. Si $E_m < 0 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 < G \cdot \frac{M_A \cdot m}{r}$. La trayectoria del cuerpo es una curva cerrada (Elipse), con el foco en el centro de fuerzas. El cuerpo queda ligado al planeta o astro, por no tener suficiente energía cinética para escapar de él. Es el caso de los planetas y satélites naturales y artificiales.



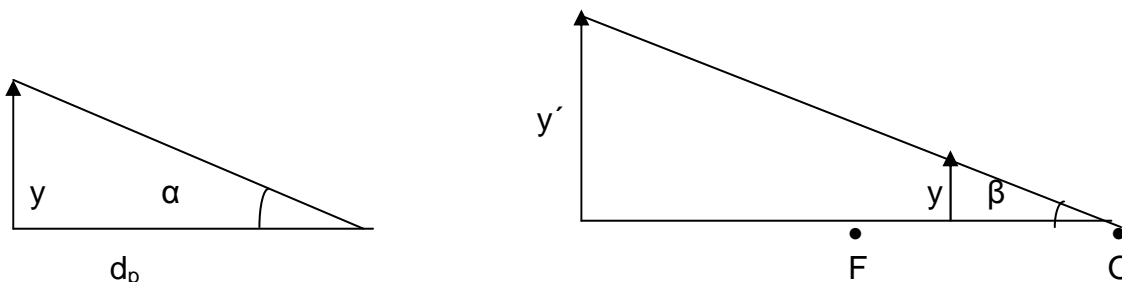
LA LUPA

La lupa o microscopio simple es una lente convergente de pequeña distancia focal (y, por tanto, de gran potencia) que se interpone entre el ojo y el objeto a observar, para aumentar el tamaño de la imagen formada en la retina.

Si el objeto se coloca entre el foco y la lente convergente la **imagen será virtual, derecha y de mayor tamaño.**



Para ver un objeto con detalle se acerca a los ojos para aumentar el ángulo de visión, hasta el punto próximo (25 cm). Con la lupa, cuando se enfoca, la imagen obtenida con ella se forma en el punto próximo (distancia del punto próximo: d_p .)



Se define **aumento de una lupa** como el cociente entre el ángulo bajo el cual se ve la imagen con la lupa y el ángulo con el que se observa el objeto directamente con el ojo situado a la mínima distancia de visión distinta.

$A = \frac{\alpha}{\beta}$, en la zona paraxial, los ángulos en radianes coinciden con sus tangentes.

$$A = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{\frac{y'}{d_p}}{\frac{y}{d_p}} = \frac{y'}{y}, \text{ pero como } \operatorname{tg}\beta = \frac{y'}{-d_p} = \frac{y}{-s}, \text{ entonces } \frac{y'}{y} = \frac{-d_p}{-s} = \frac{d_p}{s}$$

Además, $\frac{1}{f'} = \frac{1}{s'} - \frac{1}{s}$, implica que $\frac{1}{s} = \frac{1}{s'} - \frac{1}{f'}$, y finalmente :

$$A = d_p \left(\frac{1}{s} \right) = d_p \left(\frac{1}{s'} - \frac{1}{f'} \right) = d_p \left(\frac{1}{d_p} - \frac{1}{f'} \right) = 1 - \frac{d_p}{f'} \quad \text{,, ya que } d_p = s'.$$

SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES

Superficie equipotencial es aquella que tienen en todos sus puntos el mismo potencial. O bien, es el lugar geométrico de los puntos en los que el potencial toma el mismo valor.

Propiedades:

1. El trabajo necesario para trasladar una carga de un punto a otro de una superficie equipotencial es nulo, ya que lo es la diferencia de potencial entre ambos puntos.

$$W_{(A \rightarrow B)} = q \cdot (V_A - V_B) = q \cdot 0 = 0, \text{ ya que } V_A = V_B.$$

2. La intensidad de campo eléctrico es perpendicular a las superficies equipotenciales.

Como $W_{(A \rightarrow B)} = q \cdot (V_A - V_B) = q \cdot 0 = 0$, ya que $V_A = V_B$, se cumplirá que :

$$W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B F \cdot dr \cdot \cos \alpha = 0 \Rightarrow \cos \alpha = 0 \Rightarrow \alpha = 90^\circ, \text{ ya que ni } \mathbf{F}, \text{ ni } d\mathbf{r} \text{ son nulos.}$$

3. El campo eléctrico va en sentido de los potenciales decrecientes, ya que $dV = -\mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$.
4. Las superficies equipotenciales no se cortan, ya que si se cortasen en el punto de corte el campo eléctrico tendría dos direcciones, lo cual es imposible.

DIFERENCIAS Y ANALOGÍAS ENTRE LOS CAMPOS GRAVITATORIO Y ELÉCTRICO

ANALOGÍAS	
1ª	Ambos son campos conservativos.
2ª	Las líneas de campo son abiertas, es decir, empiezan en algún punto (fuentes del campo o en el infinito) y terminan en algún punto (sumideros del campo o infinito).
3ª	En ambos, por ser conservativos, se puede definir una función potencial escalar y, a partir de ella, construir superficies equipotenciales. Las líneas de campo son perpendiculares a las superficies equipotenciales.
4ª	Las fuerzas de ambos campos son centrales.
5ª	Las fuerzas gravitatorias y eléctricas tienen siempre la dirección del campo.

DIFERENCIAS	
1ª	El campo gravitatorio no tiene fuentes, sus líneas empiezan en el infinito.
	El campo eléctrico tiene fuentes (+) y sumideros (-).
2ª	Las fuerzas del campo gravitatorio son siempre de atracción.
	Las fuerzas del campo eléctrico pueden ser de atracción o repulsión.
3ª	Un punto material sólo crea campo gravitatorio, tanto se esta en reposo, como en movimiento.
	Una carga eléctrica crea campo eléctrico, si está en reposo; y campo eléctrico y magnético, si está en movimiento.
4ª	Cualquier punto material crea un campo gravitatorio.
	Para crear el campo eléctrico hace falta que el cuerpo este cargado.
5ª	Una partícula material, en reposo, abandonada en un campo gravitatorio, inicia su movimiento, en la dirección y sentido de éste.
	Sin embargo, una carga, en reposo y abandonada a la acción de un campo eléctrico, lo hace en la dirección del campo, pero su sentido de movimiento es el del campo, si la carga es positiva, y contrario si es negativa.

ÍNDICE DE ELECTROMAGNETISMO: U.D.-6 , U.D.-7 Y U.D.-8

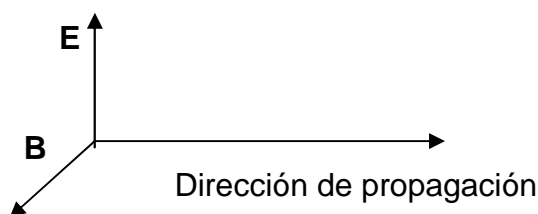
1. MAGNETISMO (1, U.D.-6).
2. CAMPO MAGNÉTICO (1, U.D.-6).
3. EXPERIENCIA DE OERSTED (1, U.D.-6).
4. ACCIÓN DE UN CAMPO MAGNÉTICO SOBRE UNA CARGA MÓVIL: FUERZA DE LORENTZ (2, U.D.-7).
5. MOVIMIENTO DE UNA PARTÍCULA CARGADA EN UN CAMPO MAGNÉTICO (3, U.D.-7).
6. ACCIÓN DE UN CAMPO MAGNÉTICO SOBRE UN CONDUCTOR DE CORRIENTE (4, U.D.-7).
7. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS (POR APUNTES. P. 180).
8. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA CORRIENTE RECTILÍNEA E INDEFINIDA: LEY DE BIOT Y SAVART (2, U.D.-6).
9. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA ESPIRA CIRCULAR (3, U.D.-6).
10. ACCIONES ENTRE CORRIENTES (6, U.D.-7).
11. MAGNETISMO NATURAL (7, U.D.-6).
12. DIFERENCIAS ENTRE CAMPO GRAVITATORIO, ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO (8, U.D.-6).
13. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA (POR APUNTES, P. 229. 1, U.D.-8).

ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS (Pág. 246)

Las ondas electromagnéticas **son producidas** por vibraciones de campos eléctricos y magnéticos.

Las ondas electromagnéticas **se propagan** en el vacío, **sin necesidad de soporte material, a la velocidad de la luz.**

Las ondas electromagnéticas **son ondas transversales**, en las que el campo eléctrico y magnético son perpendiculares entre sí y a su vez perpendiculares a la dirección de propagación.



Como en todo movimiento ondulatorio, las ondas electromagnéticas **transportan energía y momento lineal, de un punto al otro del espacio, sin que exista un transporte neto de materia**

El origen de las ondas electromagnéticas está en que: Las cargas eléctricas en movimiento acelerado crean a su alrededor un campo electromagnético, cuyas componentes eléctrica y magnética son perpendiculares entre sí. Dichos campos eléctrico y magnético, son variables con el tiempo.

La velocidad de propagación de la onda, en un medio cuya constante dieléctrica y permeabilidad magnética son, respectivamente, ϵ y μ , es:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

En el vacío $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0} = 3 \cdot 10^8$ m/s, que es la velocidad de propagación de la luz en el vacío.

Las ondas electromagnéticas suelen clasificarse, atendiendo a su frecuencia, en diferentes grupos, que juntos forman el llamado **espectro electromagnético**. En el que suelen diferenciarse las siguientes zonas (de menor a mayor frecuencia): **radioondas, microondas, infrarrojos, luz visible, ultravioleta, rayos X, rayos gamma**

Cuanto mayor es su frecuencia, mayor es su energía.

PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA (Pág. 257)

El medio juega un papel importante, tanto en el campo eléctrico, como en el magnético; pero mientras que la existencia de un medio material supone siempre una disminución de la intensidad de campo eléctrico, en el campo magnético la variación de la intensidad depende del tipo de sustancia que constituye el medio.

Con respecto a la influencia del medio en la intensidad del campo magnético, podemos clasificar las sustancias en 3 tipos:

- **Sustancias diamagnéticas** (como el oro, plata, cobre, agua, etc.). Tienen valores de μ algo menores que la del vacío $\mu < \mu_0$, por lo que la intensidad del campo en su interior es ligeramente menor que la que existe en el vacío.
- **Sustancias paramagnéticas** (como el platino, aluminio, cromo, manganeso, oxígeno, etc.). Tienen valores de μ algo mayores que la del vacío $\mu > \mu_0$, por lo que la intensidad del campo en su interior es ligeramente mayor que la que existe en el vacío.
- **Sustancias ferromagnéticas** (como el hierro, cobalto, níquel, etc.). Tienen valores de μ mucho mayores que la del vacío $\mu \gg \mu_0$, por lo que la intensidad del campo en su interior es mucho mayor que la que existe en el vacío.

Todos estos fenómenos se pueden explicar a través de la mecánica cuántica.

RELACIÓN MASA ENERGÍA (Pág. 371)

Einstein dedujo que la energía total (o energía relativista), de una partícula libre, en movimiento, venía dado por $E = mc^2$; donde "c", es la velocidad de la luz; y m, la masa relativista, que no coincide con la masa inercial de Newton y que llamaremos m_0 (masa en reposo). La energía de una partícula en reposo es $E_0 = m_0 \cdot c^2$.

Se demuestra que $E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, y teniendo en cuenta las dos expresiones anteriores

se deduce que $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

De esta última expresión, no se concluye que la masa de las partículas aumente con la velocidad, sino que **la masa relativista es la que aumenta con la velocidad**, pero no es una magnitud real, en el mismo sentido que la masa en reposo.

De esa misma expresión, también se deduce que la masa de un fotón en reposo es 0, ya que como su velocidad es la velocidad de la luz ($v = c$).

$$m_0 = m \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = m \sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}} = m \sqrt{1 - 1} = m \sqrt{0} = 0$$

Como consecuencia la energía total de una partícula será:

$$E = mc^2 = E_c + m_0 c^2; \quad \frac{1}{2} m_0 v^2 = E_c = E - m_0 c^2 = mc^2 - m_0 c^2 = c^2 (m - m_0) = c^2 \Delta m$$

donde E, es la energía total de la partícula; E_c , es su energía cinética relativista y $m_0 \cdot c^2$, es su energía en reposo.

De esta última expresión se deduce el **principio de equivalencia entre la masa y la energía**, que dice lo siguiente:

"Si la partícula experimenta un cambio en su energía, ΔE , su masa sufrirá una variación $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$ ".

La equivalencia entre la masa y la energía permite sacar dos consecuencias:

1. Las leyes de conservación de la masa y de la energía se funden en una misma ley de conservación, que para un sistema cerrado es:

$$\sum (m_0 \cdot c^2 + E_c) = cte. = \text{energía}_{TOTAL}$$

2. Si la energía cambia en ΔE , la masa del cuerpo cambia en el mismo sentido en $\Delta E / c^2$. Estos cambios sólo se aprecian en los procesos nucleares, donde la conversión entre masa y energía se aprovecha para obtener energía en las reacciones nucleares.