

## Preguntas teóricas

---

### Tema 1. Fundamentos de mecánica

- Momento lineal y conservación
- Momento angular de una partícula
- Conservación de la energía

### Tema 2. Oscilaciones y ondas

- Clases de ondas
- Energía del movimiento armónico simple
- Principio de Huygens

### Tema 3. Interacción gravitatoria

- Leyes de Kepler
- Ley de la gravitación universal
- Energía potencial gravitatoria

### Tema 4. Interacción electromagnética

- Carga eléctrica. Ley de Coulomb
- Energía potencial y potencial eléctricos
- Inducción electromagnética: leyes de Faraday y Lenz

### Tema 5. Óptica

- Naturaleza de la luz
- Leyes de la reflexión y la refracción
- Defectos de la visión: ametropías

### Tema 6. Física moderna

- Relatividad especial. Postulados y repercusiones
- Concepto de fotón. Dualidad onda-corpúsculo
- Tipos de radiaciones nucleares

### Tranversales

- Interacciones fundamentales
  - Aplicaciones de la Física: tecnología y sociedad
-

## Momento lineal (cantidad de movimiento) y conservación

---

Se llama *momento lineal* o *cantidad de movimiento* de una partícula al producto de su masa por su velocidad:

$$\vec{p} = m \vec{v}$$

Es una magnitud vectorial que tiene la dirección y el sentido del vector velocidad. Se mide en kg·m/s en el SI.

El momento lineal da cuenta del movimiento de un cuerpo en proporción a su masa. Así, dos cuerpos tienen momentos lineales diferentes si sus masas son distintas, aunque se muevan a la misma velocidad (ej.: un camión a 20 km/h posee más cantidad de movimiento que una bicicleta a 20 km/h), o si se mueven a distinta velocidad aunque tengan igual masa. El momento lineal de un cuerpo puede cambiar a lo largo del tiempo si cambia su velocidad (ej.: un coche que acelera o frena), o si cambia su masa (ej.: un cohete que va quemando combustible).

El momento lineal de un sistema de partículas es la suma de los momentos lineales de cada una de las partículas que constituyen el sistema:

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i$$

En Dinámica se redefine la magnitud “fuerza” como la variación temporal del momento lineal:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m\vec{a} + \vec{v} \frac{dm}{dt}$$

Esta formulación permite deducir las leyes de Newton como un caso particular cuando la masa es constante.

### Principio de conservación del momento lineal

Como  $\vec{F} = d\vec{p}/dt$ , si  $\vec{F} = 0 \rightarrow \vec{p} = cte$ . Este resultado se conoce como *principio de conservación del momento lineal*, que puede expresarse así:

*Si tenemos un cuerpo aislado sobre el que no actúan fuerzas, o si la fuerza neta sobre el cuerpo es nula, su momento lineal se mantiene constante.*

El principio de conservación es fundamental en la dinámica de colisiones. Por ejemplo, para un sistema de dos partículas:  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = cte$ ; es decir, la suma de los momentos lineales de cada partícula vale lo mismo antes y después de la colisión; o dicho de otro modo: cuando dos partículas interaccionan, la variación de la cantidad de movimiento de una de ellas es igual y de sentido opuesto a la variación de la cantidad de movimiento de la otra.

La Física no admite excepciones al principio de conservación en la naturaleza. Cuando en algún experimento se observa que no se cumple, se propone la existencia de alguna partícula desconocida. Esta metodología ha llevado al descubrimiento, por ejemplo, del neutrón y del neutrino.

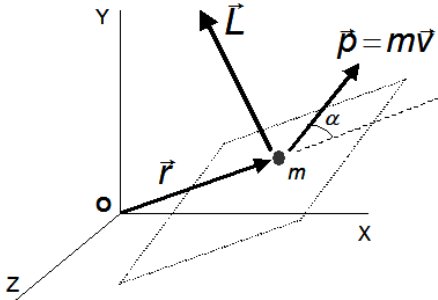
---

## Momento angular (cinético) de una partícula

El *momento angular* (o *momento cinético*) de una partícula con respecto a un punto O es el producto vectorial de su vector de posición ( $\vec{r}$ ), con respecto a dicho punto, por su momento lineal ( $\vec{p}$ ):

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

Como  $\vec{p} = m \vec{v}$ , donde  $m$  es la masa y  $\vec{v}$  la velocidad de la partícula, se puede reescribir la definición como:  $\vec{L} = m \vec{r} \times \vec{v}$ . El momento angular se mide en  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  en el SI.



$\vec{L}$  es una magnitud vectorial, perpendicular a  $\vec{r}$  y a  $\vec{v}$ . Su módulo es  $L = m r v \sin \alpha$ , donde  $\alpha$  es el ángulo que forman  $\vec{r}$  y  $\vec{v}$ .

Si  $\vec{r}$  y  $\vec{v}$  son paralelos, el momento angular es nulo.

El momento angular caracteriza el movimiento de rotación de la partícula.

### Variación del momento angular

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt} = \underbrace{\vec{v} \times \vec{p}}_0 + \underbrace{\vec{r} \times \vec{F}}_{\vec{M}} \rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$$

donde se ha definido el momento  $\vec{M}$  de la fuerza, con respecto al mismo punto O, como el producto vectorial de  $\vec{r}$  y  $\vec{F}$ .

Este resultado es fundamental para el estudio de las rotaciones: su significado físico es que el momento de la fuerza tiende a cambiar la dirección del movimiento.

### Teorema de conservación

Si el momento de la fuerza neta que actúa sobre la partícula es nulo, el momento angular se conserva:  $\vec{M} = 0 \rightarrow \vec{L} = \text{constante}$ . Esto ocurre cuando la fuerza neta es cero, o cuando la fuerza es paralela a  $\vec{r}$ , como ocurre en el caso de las fuerzas centrales.

## Conservación de la energía

---

Se define la *energía mecánica* de una partícula como la suma de su energía cinética y de su energía potencial:  $E = E_c + E_p$ .

El *teorema de las fuerzas vivas* o *teorema de la energía cinética* nos dice que el trabajo total realizado sobre una partícula por las distintas fuerzas actuantes es igual al cambio de energía cinética que experimenta la partícula:  $W = \Delta E_c$ .

El trabajo total es la suma del realizado por las fuerzas conservativas ( $W_C$ ) y el efectuado por las fuerzas no conservativas ( $W_{NC}$ ):  $W = W_{NC} + W_C$ .

(Recordemos que las fuerzas conservativas son las que pueden devolver el trabajo que se realiza para vencerlas, como la fuerza de un muelle o las fuerzas centrales.)

Por otra parte, el trabajo realizado exclusivamente por las fuerzas conservativas se puede expresar como una disminución de la energía potencial de la partícula:  $W_C = -\Delta E_p$ .

En resumen, podemos escribir:

$$W = \Delta E_c = W_{NC} + W_C = W_{NC} - \Delta E_p \rightarrow W_{NC} = \Delta E_c + \Delta E_p \rightarrow W_{NC} = \Delta E$$

Lo anterior expresa el resultado conocido como ***principio de conservación de la energía mecánica***:

*La energía mecánica de un cuerpo sujeto únicamente a fuerzas conservativas se mantiene constante.*

$$\text{Si } W_{NC} = 0 \rightarrow \Delta E = 0 \rightarrow E = \text{cte} \rightarrow \Delta E_c = \Delta E_p$$

Es decir: el aumento de energía cinética conlleva una disminución de energía potencial (y al revés). Ej.: la energía potencial gravitatoria de una piedra que cae desde un puente se transforma en energía cinética y la energía mecánica permanece constante durante toda la caída (si despreciamos la fricción con el aire).

*Cuando actúan también fuerzas no conservativas, el trabajo realizado por éstas produce una variación en la energía mecánica del cuerpo.* Por ejemplo, si existe rozamiento se disipa parte de la energía y el cuerpo se frena. Pero la energía mecánica disipada se transforma en algún otro tipo de energía; en el caso del rozamiento se produce un aumento de la energía interna del sistema cuerpo-superficie de fricción, que se manifiesta en un incremento de la temperatura.

Así llegamos al ***principio general de conservación de la energía***:

*Si consideramos el conjunto de todo el sistema como un todo aislado (sin interacción con ningún otro sistema), la energía total del sistema es constante.* La energía no puede crearse ni destruirse; en los procesos físicos ocurren intercambios de energía, pero siempre de forma que la energía total se mantenga constante.

---

## Clases de ondas

---

Existen varias clasificaciones posibles:

### Según el medio en el que se propaga la onda:

- Las que **No necesitan un medio material** para propagarse y pueden, por tanto, propagarse en el vacío. Éstas son las ondas electromagnéticas y las gravitatorias. Ejemplos de ondas electromagnéticas son: la luz, las ondas de radio, televisión y telefonía móvil, las microondas, los rayos ultravioleta, los rayos gamma, etc.

- Las que **Necesitan un medio material** para propagarse. A este tipo responden el resto de fenómenos ondulatorios que conocemos, como por ejemplo: el sonido, las olas, las vibraciones de una cuerda, etc. Este tipo de ondas son el resultado del movimiento ordenado de muchas partículas.

### Según la dirección de vibración:

- **Ondas Transversales**: la vibración se produce en alguna dirección perpendicular a la dirección de propagación. Ejemplos: cuerda sacudida transversalmente y ondas electromagnéticas.

- **Ondas Longitudinales**: la vibración se produce en la dirección de propagación. Ejemplo: ondas sonoras.

### Según el número de dimensiones del espacio en el que se propagan:

- **Unidimensionales** (ej.: vibraciones en una cuerda).

- **Bidimensionales** (ej.: olas en la superficie de un líquido o vibraciones en una membrana).

- **Tridimensionales** (ej.: la luz y el sonido).

---

## Energía del movimiento armónico simple

La energía de una partícula que realiza un movimiento armónico simple está formada por dos contribuciones: la energía cinética  $E_c$ , asociada a la velocidad de la partícula, y la energía potencial  $E_p$ , debida a la fuerza recuperadora.

El desplazamiento del movimiento viene descrito por la expresión  $x = A \operatorname{sen}(\omega t + \varphi)$ , la velocidad es  $v = dx/dt = A\omega \cos(\omega t + \varphi)$ , y la fuerza actuante ( $F = -k \cdot x$ ) tiene asociada una energía potencial de tipo elástico  $E_p = \frac{1}{2} k x^2$ .

Así, la **energía potencial** es:

$$E_p = \frac{1}{2} k A^2 \operatorname{sen}^2(\omega t + \varphi)$$

y la **energía cinética**:

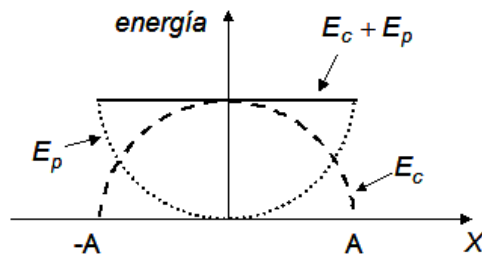
$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \cos^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2} k A^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$$

donde  $k = m \omega^2$ .

Por tanto, la **energía total** resulta:

$$E = E_c + E_p = \frac{1}{2} k A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) + \frac{1}{2} k A^2 \operatorname{sen}^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2} k A^2 = \frac{1}{2} k v_{\max}^2$$

La **energía total** del movimiento armónico simple permanece constante. Es igual al valor máximo de la energía cinética, e igual al valor máximo de la energía potencial. Hay una transformación continua de energía cinética en potencial, y viceversa.



## Principio de Huygens

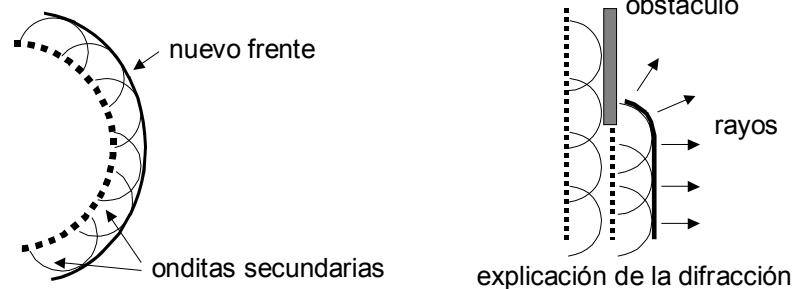
---

Se trata de un mecanismo sencillo para la construcción de frentes de ondas a partir de frentes en instantes anteriores. Un *frente de ondas* es cada una de las superficies que pasan por los puntos donde una onda oscila con la misma fase. El principio dice que:

*Los puntos situados en un frente de ondas se convierten en fuentes de ondas secundarias, cuya envolvente constituye un nuevo frente de ondas primario.*

La forma de aplicarlo es la siguiente: se trazan pequeños semicírculos de igual radio con centros en diferentes puntos de un frente de ondas, y luego se traza la envolvente de los semicírculos, la cual constituye el nuevo frente de ondas.

La figura muestra un ejemplo de aplicación a un frente de ondas esférico y otro ejemplo para explicar la difracción de un frente de ondas plano producida por un obstáculo.



Una consecuencia del principio de Huygens es que todos los rayos tardan el mismo tiempo entre dos frentes de onda consecutivos. Los rayos son líneas perpendiculares a los frentes de onda que indican la dirección de propagación de la onda.

Aunque Huygens lo formuló para las ondas materiales, que eran las únicas conocidas en su época, su principio es válido para todo tipo de ondas. Kirchhoff extendió el método a las ondas electromagnéticas, una vez que fueron descubiertas.

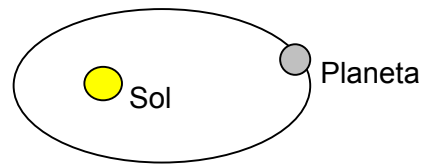
---

## Leyes de Kepler

---

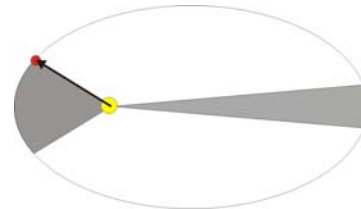
Son leyes empíricas enunciadas por Kepler en el siglo XVII para describir el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Son tres:

1ª Ley (ley de las órbitas): *Los planetas describen órbitas planas elípticas en uno de cuyos focos se encuentra el Sol.*



2ª Ley (ley de las áreas): *El vector de posición con respecto al Sol de un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.*

Es decir, *la velocidad areolar es constante.* Esto implica que la velocidad lineal del planeta es mayor cuanto más cerca se encuentra del Sol. Esta ley es equivalente a la conservación del momento angular del planeta con respecto al Sol.



3ª Ley (ley de los períodos): *Los cuadrados de los períodos de revolución de los planetas son proporcionales al cubo de sus distancias medias al Sol.*

Una consecuencia es que la velocidad lineal de los planetas no es constante, sino que depende del radio orbital: un planeta gira más rápido cuanto más pequeña es la órbita que describe.

Las leyes de Kepler se demostraron teóricamente más tarde gracias a la ley de la gravitación de Newton.

---

## Ley de la Gravitación Universal

---

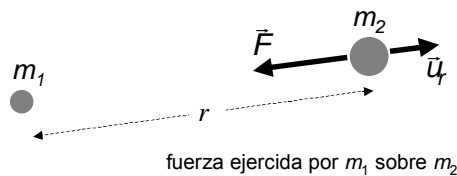
Fue enunciada por Newton en el siglo XVII y permitió explicar todos los efectos gravitatorios conocidos en su época (entre ellos: el movimiento de los astros en el sistema solar, las mareas, o la caída de los cuerpos sobre la Tierra). La ley dice que:

*Todo cuerpo del universo atrae a cualquier otro cuerpo con una fuerza central que es proporcional a la masa de ambos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.*

Matemáticamente se formula así:

$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{u}_r$$

donde  $\vec{F}$  es la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos de masas  $m_1$  y  $m_2$ ,  $r$  es la distancia que los separa, y  $\vec{u}_r$  es un vector unitario que va del cuerpo que ejerce la fuerza al que la sufre. El signo menos indica que la fuerza es atractiva.  $G$  es una constante denominada "constante de la gravitación universal" que se mide experimentalmente y cuyo valor es  $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ .



La ecuación de la fuerza gravitatoria se aplica por igual a las dos masas. Así, por ejemplo, la fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre la Luna es igual y de sentido contrario a la que ejerce la Luna sobre la Tierra.

Si tenemos un conjunto de partículas, la fuerza gravitatoria que sufre cada una de ellas es la suma vectorial de las fuerzas producidas por el resto de partículas.

---

## Energía potencial gravitatoria

---

La fuerza gravitatoria, por ser conservativa, tiene asociada una función energía potencial gravitatoria,  $E_p$ , tal que el trabajo realizado por la fuerza entre dos puntos A y B es igual a la disminución de esta energía potencial:

$$E_p(A) - E_p(B) = W_{AB} = \int_A^B \left[ -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{u}_r \right] d\vec{r} = -G m_1 m_2 \cdot \int_A^B \left[ \frac{dr}{r^2} \right] = -G m_1 m_2 \left( \frac{-1}{r} \right)_A^B = -G \frac{m_1 m_2}{r_A} + G \frac{m_1 m_2}{r_B}$$

Así se deduce que la energía potencial gravitatoria de una partícula de masa  $m_1$  a una distancia  $r$  de otra masa  $m_2$  es igual a

$$E_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}$$

donde se toma la energía potencial en el infinito igual a cero.

Como se trata de una energía, es una magnitud escalar cuya unidad en el SI es el Julio.

Debido a la acción de la fuerza gravitatoria, los cuerpos tienden a caer espontáneamente hacia las regiones de menor energía potencial.

Para un sistema formado por más de dos masas, la energía potencial gravitatoria del sistema es la suma de las energías potenciales de todos los pares distintos de masas que se pueden formar.

### Energía potencial en las cercanías de la superficie terrestre

La fuerza gravitatoria que actúa sobre un cuerpo de masa  $m$  es su peso:  $\vec{F} = -mg\vec{j}$ . Considerando constante el valor de  $g$  en las proximidades de la Tierra, el trabajo realizado por la fuerza peso cuando el cuerpo se desplaza verticalmente desde el punto A al B resulta:  $W_{AB} = mgy_A - mgy_B$ . Por tanto, la energía potencial en un punto a una altura  $h$  es:  $E_p = mgh$ , donde hemos elegido el origen de energía en  $h = 0$ .

---

## Carga eléctrica. Ley de Coulomb

La **carga eléctrica** es la propiedad de la materia responsable de la interacción electromagnética. Tiene las siguientes propiedades:

- Puede ser positiva o negativa.
- La carga total de un conjunto de partículas es la suma algebraica con el signo de sus cargas individuales.
- La carga eléctrica total de un sistema aislado se conserva.
- La carga está "cuantizada": solamente se presenta en cantidades discretas que son múltiplos enteros de una cantidad elemental:  $|e| = 1.6 \cdot 10^{-19}$  C. La carga del electrón es  $-|e|$  y la del protón  $+|e|$ .

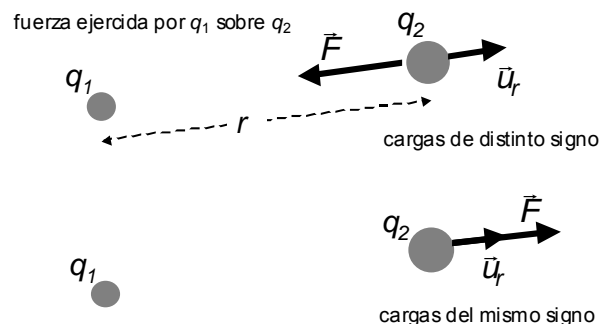
La unidad de carga en el SI es el Culombio (C).

La **ley de Coulomb** describe la interacción entre cargas eléctricas en reposo. La ley dice que:

*La fuerza ejercida por una carga puntual  $q_1$  sobre otra  $q_2$  es proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia,  $r$ , que las separa. Se trata de una fuerza central dirigida según la línea que une las cargas. Es repulsiva si las cargas tienen el mismo signo y atractiva si tienen signos opuestos. Matemáticamente:*

$$\vec{F} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_r$$

donde  $\vec{u}_r$  es el vector unitario que va de  $q_1$  a  $q_2$ . La constante de proporcionalidad se denomina "constante de Coulomb" y su valor:  $K = 1 / 4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$  N m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>, donde  $\epsilon_0$  es la *permitividad o constante dieléctrica* del vacío. En otros medios que no sean el vacío, la constante tiene otros valores.



La carga  $q_2$  ejerce sobre  $q_1$  una fuerza igual y de sentido contrario a la que  $q_1$  realiza sobre  $q_2$ .

Las fuerzas electrostáticas cumplen el principio de superposición: la fuerza neta que ejerce un conjunto de cargas sobre otra es la suma vectorial de todas las fuerzas ejercidas sobre ella.

## Energía potencial y potencial eléctricos

---

Como la fuerza eléctrica entre dos cargas es conservativa, tiene asociada una función **energía potencial eléctrica**  $E_p$ , cuya diferencia entre dos puntos corresponde al trabajo realizado por la fuerza eléctrica entre esos puntos:

$$\begin{aligned} E_p(A) - E_p(B) &= W_{AB} = \\ &= \int_A^B \left[ K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u} \right]_r d\vec{r} = K q_1 q_2 \int_A^B \left[ \frac{dr}{r^2} \right] = K q_1 q_2 \left( \frac{-1}{r} \right)_A^B = K \frac{q_1 q_2}{r_A} - K \frac{q_1 q_2}{r_B} \end{aligned}$$

Así se deduce que la energía potencial eléctrica entre dos cargas es

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}$$

donde se toma la energía potencial en el infinito igual a cero. Como es una energía, se trata de una magnitud escalar cuya unidad en el SI es el Julio.

Bajo la única acción de la fuerza eléctrica, las cargas se mueven hacia posiciones que corresponden a una configuración de mínima energía potencial eléctrica.

La energía potencial eléctrica total de un conjunto de cargas es la suma de las energías potenciales de todos los pares distintos de cargas que se pueden formar.

El campo eléctrico  $\vec{E}$  también es conservativo; por tanto, tiene asociado un campo escalar denominado **potencial eléctrico**. El potencial eléctrico producido por una carga puntual  $q$  situada en el origen es

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

En el SI el potencial se mide en Voltios (V). A la diferencia de potencial entre dos puntos también se le llama "voltaje".

El potencial debido a un conjunto de cargas es la suma escalar de los potenciales debidos a cada una de las cargas.

---

## Inducción electromagnética: leyes de Faraday y Lenz

---

La inducción electromagnética es la producción de electricidad mediante magnetismo en determinadas condiciones. Los primeros científicos que la estudiaron fueron Faraday y Henry, quienes observaron que **en un circuito se genera una corriente eléctrica en las siguientes circunstancias:**

- Si se acerca un imán al circuito, o se aleja del mismo. O bien el circuito se mueve con respecto al imán.
- Si hay un movimiento relativo entre el circuito y otro circuito por el que circule una corriente continua.
- Si el segundo circuito transporta una corriente variable, aunque ambos estén en reposo.
- Si se deforma el circuito en el seno de un campo magnético.

Todos los hechos anteriores pueden explicarse mediante la **ley de Faraday**, que dice que

*La variación temporal del flujo  $\phi$  del campo magnético a través de un circuito genera en él una fuerza electromotriz:  $f e m = -d\phi / dt$*

La *f.e.m.* es el trabajo por unidad de carga que se realiza en el circuito. Se mide en Voltios en el SI.

El flujo (como es el producto escalar del campo por la superficie,  $\vec{B} \cdot \vec{S}$ ) varía si cambia el campo magnético, la forma del circuito, o la orientación entre el campo y el circuito. En estos casos habrá corrientes inducidas.

El signo negativo en la ley de Faraday indica el sentido en que circula la corriente inducida. Esto se expresa en un principio físico conocido como **ley de Lenz**: *la f.e.m. inducida origina una corriente cuyo campo magnético se opone a la variación del flujo magnético que la origina.*

Una de las aplicaciones del principio de inducción electromagnética es en la generación de corriente eléctrica por transformación de trabajo mecánico en electricidad (por ejemplo, en las centrales hidroeléctricas).

---

## Naturaleza de la luz

---

La cuestión sobre cuál es la naturaleza de la luz ha supuesto un problema desde la antigüedad hasta el siglo XX. A lo largo de la historia se han desarrollado principalmente dos teorías contrapuestas:

- la teoría corpuscular, que considera que la luz está compuesta de partículas o corpúsculos, y cuyo principal representante fue Newton, y
- la teoría ondulatoria, que defiende que la luz se comporta como una onda.

Las dos teorías explicaban los fenómenos de reflexión y de refracción. Sin embargo, sólo la teoría ondulatoria pudo explicar satisfactoriamente los fenómenos de interferencia y de difracción y el hecho de que la velocidad de la luz es mayor en los medios menos densos. Esto, junto al desarrollo del electromagnetismo por Maxwell, consolidó como válida la teoría ondulatoria. En el siglo XIX la cuestión quedó zanjada y se admitió que la luz era una onda electromagnética.

Sin embargo, a principios del siglo XX, Einstein tuvo que recurrir de nuevo a la naturaleza corpuscular de la luz para explicar ciertos fenómenos de emisión y absorción de luz por la materia, como el efecto fotoeléctrico. A partir de entonces se introdujo en Física la *dualidad onda-corpúsculo* de la luz, que significa que la luz tiene las dos naturalezas: en unos fenómenos se comporta como una onda electromagnética de una cierta frecuencia, y en otros se comporta como un flujo de partículas llamadas fotones con una determinada energía.

---

## Leyes de la reflexión y la refracción

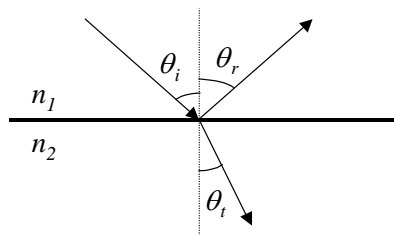
---

Cuando una onda incide sobre la superficie de separación de dos medios de distinto índice de refracción, una parte de la onda se refleja y otra parte se refracta (se transmite al otro medio). Las leyes de la reflexión y la refracción nos dicen que:

- Los rayos incidente, reflejado y refractado están en un mismo plano, llamado plano de incidencia, que es perpendicular a la superficie.
- El ángulo de incidencia,  $\theta_i$ , y el ángulo de reflexión,  $\theta_r$ , son iguales.
- El ángulo de incidencia y el ángulo de transmisión o refracción,  $\theta_t$ , están relacionados por la ley de Snell:

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_i = n_2 \operatorname{sen} \theta_t,$$

donde  $n_1$  y  $n_2$  son los índices en el primer y segundo medios.



La ley de Snell implica que si la luz pasa a un medio de índice mayor, los rayos se acercan a la normal (se alejan de la normal si el segundo medio posee un índice menor).

La ley de Snell también puede expresarse en función de las velocidades de la luz en los dos medios, teniendo en cuenta que  $n = c/v$ . Así:

$$\frac{\operatorname{sen} \theta_i}{\operatorname{sen} \theta_t} = \frac{v_1}{v_2}$$


---

## Defectos de la visión: ametropías

Las *ametropías* son defectos refractivos del ojo debidos a un exceso o defecto de potencia óptica, que tienen como consecuencia que la imagen formada por el ojo en la retina esté desenfocada.

(La retina es el tejido de la parte posterior del ojo donde están los fotorreceptores que envían la señal al cerebro a través del nervio óptico.)

Decimos que un ojo es *emétrope* cuando no presenta ametropías, es decir, cuando su potencia es la adecuada en relación con su tamaño, de manera que el foco imagen está situado en la retina y las imágenes están enfocadas.

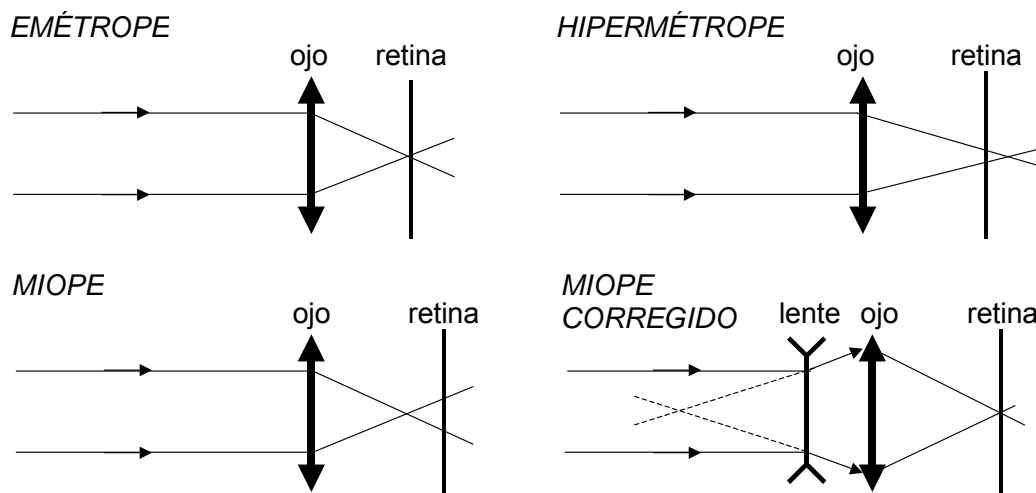
Hay tres tipos de ametropías: miopía, hipermetropía y astigmatismo.

**Miopía:** El ojo tiene un exceso de potencia con relación a su tamaño, por lo que el foco imagen está situado antes de la retina. En los ojos miopes las imágenes de objetos lejanos estarían enfocadas en un plano anterior, pero son borrosas en el plano de la retina.

La miopía se corrige con una lente divergente con la potencia (negativa) adecuada para restar el exceso de potencia del ojo y conseguir que los rayos se enfoquen en la retina.

**Hipermetropía:** Ocurre lo contrario que en la miopía: el foco imagen cae por detrás de la retina debido a un defecto de potencia en relación con la longitud del ojo.

Se corrige mediante una lente convergente (potencia positiva) que compensa el defecto de potencia del ojo.



**Astigmatismo:** Ocurre cuando el ojo tiene distinta potencia óptica a lo largo de dos meridianos perpendiculares (debido a que alguna de las superficies del ojo no tiene simetría de revolución o a que está inclinada respecto a las demás).

(Por ejemplo: un ojo puede ser miope de  $-2$  D en el meridiano horizontal y miope de  $-3$  D a lo largo del meridiano vertical; decimos que el ojo es miope de  $-2$  D con un astigmatismo de  $-1$  D.)

El astigmatismo se corrige mediante lentes tóricas, las cuales poseen dos curvaturas distintas a lo largo de sendos ejes perpendiculares.

## Relatividad especial. Postulados y repercusiones

---

Un problema fundamental en Física a finales del siglo XIX, era que las leyes del electromagnetismo variaban al cambiar de sistema de referencia, violándose el principio de relatividad de Galileo que era la base de la mecánica de Newton. Así, observadores en movimiento relativo obtendrían diferentes resultados al estudiar los fenómenos electromagnéticos. En 1905, Einstein concilió las dos teorías (la mecánica y el electromagnetismo) mediante su Teoría Especial de la Relatividad, que se basa en los dos postulados siguientes:

1º Principio, de relatividad: *Todas leyes de la física tienen la misma forma en los sistemas de referencia inerciales (es decir, para diferentes observadores).*

2º Principio, de constancia de la velocidad de la luz: *La velocidad de la luz en el vacío es una constante universal.*

La teoría de Einstein conduce a algunas conclusiones que nos obligan a cambiar las concepciones clásicas de espacio, tiempo, masa y energía:

- El espacio y el tiempo no son absolutos: observadores en diferentes sistemas inerciales miden distintos intervalos de tiempo para un mismo suceso y distintas longitudes para un mismo objeto.
  - Ningún cuerpo puede viajar a una velocidad superior a la velocidad de la luz en el vacío.
  - La masa y la energía son equivalentes, puede transformarse la una en la otra según la ecuación  $E = mc^2$ .
-

## Concepto de fotón. Dualidad onda-corpúsculo

---

Para explicar ciertos fenómenos de emisión y absorción de luz por la materia, entre ellos el efecto fotoeléctrico, Einstein retomó la teoría corpuscular de la naturaleza de la luz. Supuso que la energía de la radiación electromagnética no era continua sino discreta, de modo que una onda electromagnética de frecuencia  $\nu$ , se podía considerar compuesta por cuantos o corpúsculos que viajan a la velocidad de la luz, cada uno de los cuales posee una energía  $E = h\nu$  (donde  $h$  es la constante de Planck) y un momento lineal  $p = h/\lambda$ . A estos cuantos se les llamó **fotones**.

La teoría de Einstein no invalidó la teoría electromagnética de la luz. La física moderna tuvo que introducir la **dualidad onda-corpúsculo**, admitiendo que la luz posee simultáneamente cualidades ondulatorias y corpusculares. Cuando la luz interactúa con la materia se comporta como un chorro de partículas (fotones) con energía y momento lineal; cuando se propaga o sufre fenómenos de difracción o interferencia, la luz se comporta como una onda caracterizada mediante su longitud de onda y frecuencia.

Más tarde, De Broglie propuso por razones de simetría que la materia también presenta la dualidad onda-corpúsculo, de forma que cualquier partícula tiene asociada una onda. La longitud de onda asociada es pequeñísima a escalas macroscópicas, de forma que el carácter ondulatorio de la materia sólo se manifiesta al nivel microscópico.

---

## Tipos de radiaciones nucleares

---

Existen los tres tipos siguientes, que se diferencian por el tipo de partículas emitidas y por su poder de penetración en la materia:

**Radiación alfa.** Está constituida por partículas alfa, que son núcleos de helio formados por dos protones y dos neutrones,  ${}^4_2\text{He}$ . Se producen al desintegrarse un núcleo padre en un núcleo hijo que posee dos neutrones y dos protones menos. Las partículas alfa tienen carga eléctrica positiva y penetran muy poco en la materia.

**Radiación beta.** También está formada por partículas, en este caso electrones. Estos electrones no proceden de la corteza sino de la desintegración de neutrones del núcleo: un neutrón de un núcleo padre origina un electrón, un protón y otra partícula sin carga llamada antineutrino. El núcleo hijo posee, por tanto, un protón más y un neutrón menos. La radiación beta posee carga negativa y su poder de penetración es mayor que el de las partículas alfa.

**Radiación gamma.** Es de naturaleza electromagnética; está formada por fotones. Se produce porque los núcleos pueden estar en diferentes estados energéticos. Cuando un núcleo pasa de un estado excitado a otro de menor energía, se emite un fotón de alta frecuencia. Como los fotones no tienen carga, la radiación gamma no sufre desviación al atravesar un campo eléctrico o magnético. La radiación gamma es la que mayor poder de penetración tiene.

---

## Interacciones fundamentales

---

Todas las fuerzas de la naturaleza se reducen a cuatro interacciones fundamentales: nuclear fuerte, nuclear débil, electromagnética y gravitatoria.

**Nuclear Fuerte:** Es la más intensa. Es de muy corto alcance (no se aprecia fuera del núcleo). Mantiene unidos a los protones y neutrones que componen el núcleo de los átomos. Los núcleos no serían estables si no existiera esta fuerza, que es más intensa que la repulsión electrostática entre los protones que lo forman.

**Electromagnética:** Es la segunda en intensidad. Es de largo alcance. Actúa sobre partículas cargadas eléctricamente y puede ser atractiva o repulsiva. Es la responsable de que los átomos y moléculas de la materia estén ligados.

**Nuclear Débil:** Es la tercera en intensidad. Como la nuclear fuerte, es de muy corto alcance. Es la causante de algunas reacciones nucleares como la radiación beta.

**Gravitatoria:** Es la más débil de todas. Se produce entre todos los cuerpos. Es siempre atractiva y de largo alcance. Es responsable del movimiento de los astros, de que los cuerpos caigan, de las mareas, etc.

---

## Aplicaciones de la Física: tecnología y sociedad

---

La Física, tanto como disciplina científica básica como por sus aplicaciones, es el paradigma de lo que hoy llamamos Ciencia y uno de los pilares de la tecnología. Sus aportaciones han revolucionado nuestra comprensión de la realidad y nuestro modo de vida. A modo de ejemplos, mencionamos a continuación una lista no exhaustiva de aplicaciones de gran repercusión sobre la sociedad:

La Mecánica nos enseña cómo se mueven los cuerpos y dicta las leyes de la aeronáutica y de la estática que permiten diseñar naves y construcciones. También explica cómo se comporta el sonido, lo que ha llevado a avances técnicos como el sónar y la ecografía. Gracias a la Termodinámica, que trata con la energía y el calor, sabemos por ejemplo hacer frigoríficos y motores de combustión.

El Electromagnetismo establece los fundamentos de los motores eléctricos y de los generadores de electricidad. Esta rama de la Física es también fundamental para la exploración y desarrollo de fuentes renovables de producción de energía eléctrica. Por otra parte, el conocimiento de las ondas electromagnéticas ha permitido un desarrollo vertiginoso de las telecomunicaciones.

La Óptica nos permite manipular la luz y construir instrumentos ópticos, por ejemplo: dispositivos para diagnosticar y tratar problemas de visión, sistemas de registro y visualización de imágenes como cámaras y pantallas, aparatos de uso en medicina como endoscopios y sistemas de cirugía láser, etc. Además, el láser forma parte ya de nuestra vida cotidiana al estar presente en los sistemas de reproducción de CD y DVD.

La Teoría de la Relatividad establece la equivalencia entre masa y energía, que llevó tristemente a la bomba atómica pero también a la energía nuclear necesaria hoy día para buena parte del suministro eléctrico. La Física Cuántica ofrece, junto a la Óptica, el fundamento para el láser y las células fotoeléctricas. La Física de la Materia Condensada estudia nuevos materiales con propiedades increíbles y está detrás del desarrollo de la Nanotecnología con aplicaciones, por ejemplo, en la industria y en informática.

Por su parte, la Física de Partículas y la Astrofísica han cambiado nuestra visión de la naturaleza, desde la descripción de la composición de la materia a una escala pequeñísima hasta las teorías sobre el origen del universo. También se han derivado aplicaciones de gran utilidad para la sociedad como el uso médico de la radioactividad.