

## Preguntas teóricas

---

### Interacción gravitatoria

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

### Interacción electromagnética

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

### Ondas

- Clases de ondas
- Ondas electromagnéticas

### Óptica

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

### Física moderna

- Relatividad especial: Postulados y repercusiones
- Tipos de radiaciones nucleares
- Aplicaciones de la Física Nuclear.
- Partículas elementales

### Transversales

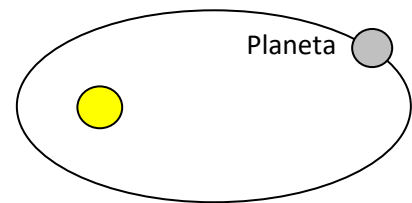
- Naturaleza de la luz. Dualidad onda-corpúsculo.
  - Interacciones fundamentales
  - Aplicaciones de la física: tecnología y sociedad
-

## LEYES DE KEPLER

---

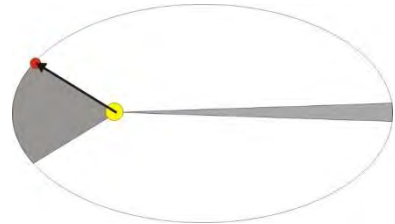
Son leyes empíricas enunciadas por Kepler en el siglo XVII para describir el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Son tres:

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:

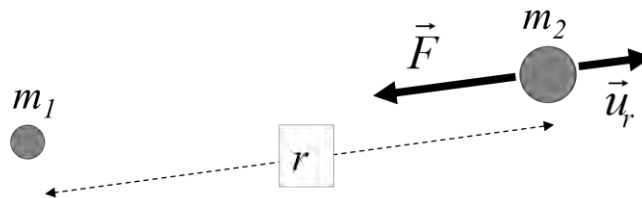
*“Todo cuerpo del universo atrae a cualquier otro cuerpo con una fuerza central que es proporcional a la masa de ambos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa”.*

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 los dos cuerpos de masas  $m_1$  y  $m_2$ ,  $r$  es la distancia que los separa, y  $\vec{u}_r$  es el 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  $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ .

fuerza ejercida por  $m_1$  sobre  $m_2$



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 las 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:

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

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:  $W_{AB} = m g y_A - m g y_B$ . Por tanto, la energía potencial en un punto a una altura  $h$  es:  $E_p = m g h$ , 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  $+|e|$ .

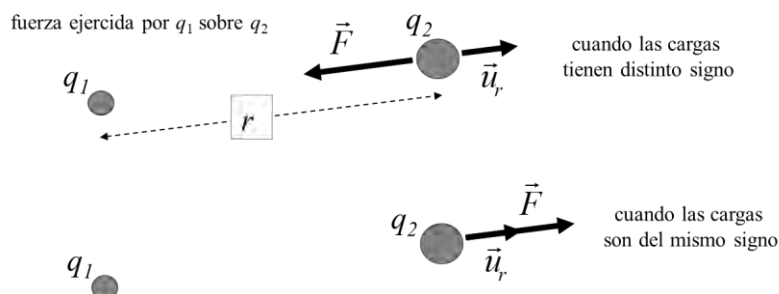
La unidad de carga en el SI es el Culombio (C).

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:

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

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.

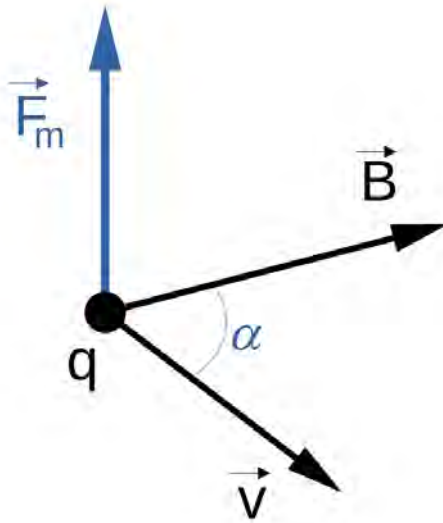
## FUERZA DE LORENTZ

A lo largo del siglo XIX, trabajos de Faraday, Thompson y Lorentz permitieron describir la **fuerza magnética** que sufren las cargas puntuales en movimiento en presencia de un campo magnético.

Todas sus experiencias llevaron a deducir que la fuerza magnética sobre una partícula de carga  $q$  que se mueve con velocidad  $\vec{v}$  en presencia de un campo magnético  $\vec{B}$  es proporcional a la carga y al producto vectorial entre la velocidad y el campo magnético:

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

por tanto, el módulo de la fuerza magnética es  $F_m = q v B \sin \alpha$  y la dirección y sentido vienen determinados por la regla del producto vectorial.



Esto recogía el hecho experimental de que la fuerza magnética era nula si la partícula estaba en reposo o  $\vec{v}$  era paralelo a  $\vec{B}$  y máxima si el vector  $\vec{B}$  y el vector velocidad eran perpendiculares. Además la fuerza era perpendicular tanto a  $\vec{v}$  como a  $\vec{B}$ .

Si la carga está sometida simultáneamente a un campo eléctrico,  $\vec{E}$ , y uno magnético,  $\vec{B}$ , la fuerza que actúa sobre dicha carga se conoce como **Fuerza de Lorentz** y es la suma de la fuerza eléctrica y la magnética:

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

La fuerza de Lorentz ha sido fundamental para el estudio del electromagnetismo y tiene múltiples aplicaciones, como el espectrómetro de masas, el selector de velocidades o aceleradores de partículas como el ciclotrón.

## 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:  $fem = -d\Phi/dt$*

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).

---



## 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**:

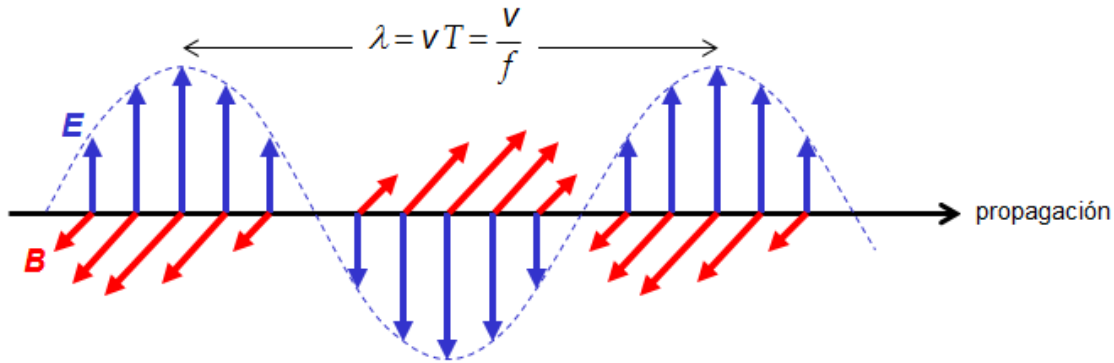
- **Unidimensionales** (ej.: vibraciones en una cuerda).

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

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

## ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

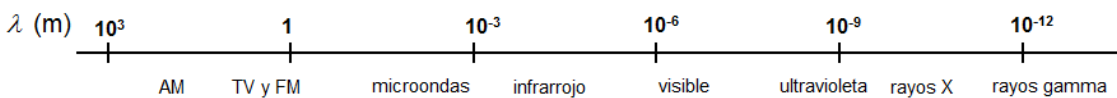
A mediados del siglo XIX, el físico escocés James C. Maxwell propuso un conjunto de ecuaciones que explicaban todos los fenómenos eléctricos y magnéticos conocidos, y además predecían las ondas electromagnéticas (oem) cuya existencia fue verificada después por Hertz de forma experimental. La teoría de **Maxwell** también demostró que la luz es una onda electromagnética y unificó así la óptica con el electromagnetismo.



Las oem son una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, y automantenidos, que se propagan a través del espacio transportando energía. Sus principales **características** son:

- Pueden viajar en el vacío.
- Se propagan a la velocidad de la luz (en el vacío:  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s).
- Son ondas transversales: los campos eléctrico y magnético son perpendiculares, y son a su vez perpendiculares a la dirección de propagación.
- Pueden expresarse como ondas armónicas con doble periodicidad espacial y temporal.

Las oem se diferencian por su frecuencia (que no varía aunque la onda cambie de medio). El **espectro electromagnético** es el conjunto de todas las oem ordenadas según su longitud de onda y contiene: ondas de radio (AM y FM) y de televisión, ondas de telefonía móvil, microondas (como las emitidas por los hornos), luz infrarroja, luz visible, luz ultravioleta, rayos X y rayos gamma, entre otras.



Las oem de mayor frecuencia (menor longitud de onda) son las más perjudiciales para los tejidos vivos, aunque se utilizan en medicina de forma controlada en el diagnóstico (radiografías) y tratamiento de enfermedades (radioterapia). En el caso de la luz visible, la frecuencia determina los distintos colores que vemos. Las oem que emiten los cuerpos celestes nos permiten conocer el universo. Desde el punto de vista tecnológico, las oem son la base de las telecomunicaciones inalámbricas.

## LEYES DE LA REFLEXIÓN Y LA REFRACCIÓN

---

Cuando una onda incide sobre la superficie de separación entre 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:

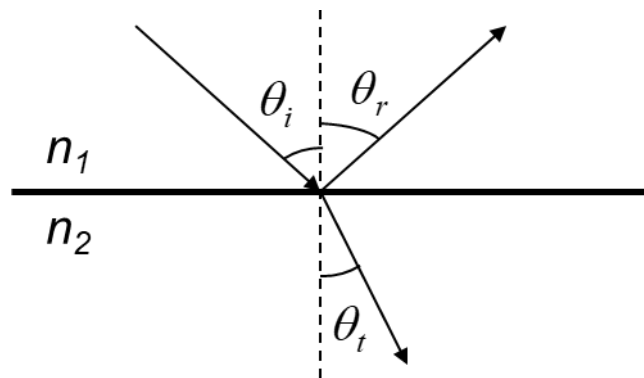
- Los rayos incidente, reflejado y refractado están en un mismo plano, llamado plano de incidencia, que es perpendicular a la superficie.

- 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 de refracción 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: AMETROPIAS

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.

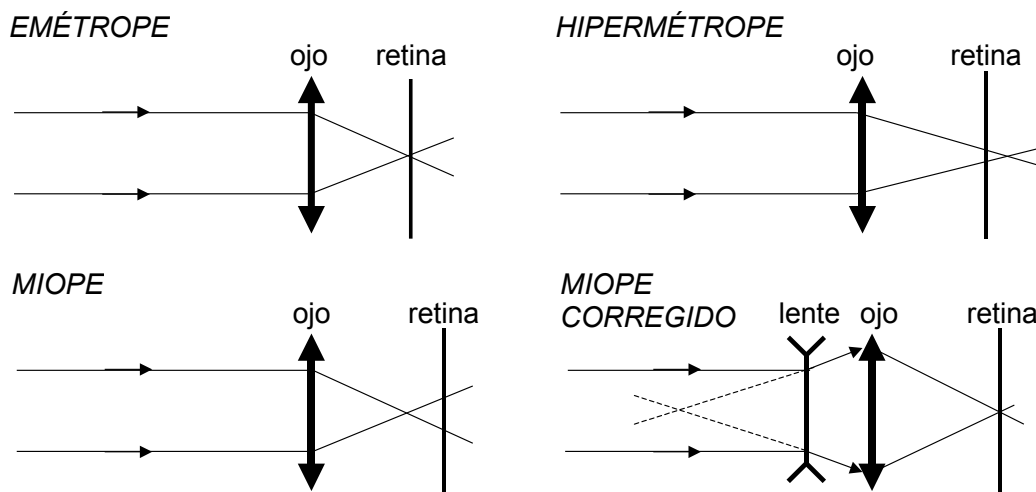
Hay tres **tipos de ametropías**: miopía, hipermetropía y astigmatismo.

**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  $E = m c^2$ .

## TIPOS DE RADIACIONES NUCLEARES

---

A principios del XX, gracias a los estudios principalmente de Becquerel, Rutherford y el matrimonio Curie, se descubrió que algunos núcleos atómicos no son estables y que podían desintegrarse emitiendo radiación. Existen tres tipos principales de desintegración radiactiva, 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 gracias a la interacción nuclear débil: 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.

## APLICACIONES DE LA FÍSICA NUCLEAR

---

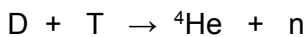
Desde el descubrimiento del núcleo atómico por Rutherford en 1905 y del neutrón por Chadwick en 1932, el avance del conocimiento del núcleo atómico ha conllevado importantes desarrollos en varios campos científicos como son la **producción de energía** y el uso **médico e industrial** de la energía nuclear.

- Los reactores de **fisión** son instalaciones en que se produce energía al romper (fisionar) núcleos pesados como el U235. Cuando un neutrón colisiona con un núcleo de U235 se produce un isótopo excitado del uranio, el U236, que es inestable y tiende a ir a un estado de menor energía dividiéndose en dos núcleos más ligeros y emitiendo a la vez varios neutrones.



Este proceso libera mucha energía (unos 200 MeV por cada núcleo fisionado). Los neutrones así producidos fisionan más núcleos de U235 y así sucesivamente, lo que se conoce como reacción en cadena. Esta energía liberada se aprovecha para calentar agua cuyo vapor mueve una turbina que genera corriente eléctrica. La principal **ventaja** es que no emite gases de efecto invernadero y el principal **inconveniente** es que los núcleos hijos producidos en cada fisión son altamente radiactivos.

- Los reactores de **fusión**, actualmente en desarrollo e investigación, se basan en la producción de energía al unir (fusionar) dos núcleos muy ligeros, como deuterio (D) y tritio (T), formando un tercero algo más pesado, como He4, que se encuentra en un estado de menor energía.



La energía liberada se puede aprovechar para producir energía eléctrica. La principal **ventaja** es que apenas se emiten residuos radiactivos y el **inconveniente** es que para producir la fusión se necesitan temperaturas de cientos de millones de grados lo que dificulta extremadamente el diseño y construcción del reactor. El proyecto ITER es una colaboración internacional que trata de demostrar su viabilidad en las próximas décadas.

La fusión es también el origen de la energía que se produce en el interior de las **estrellas** como el Sol, aunque en este caso la fusión es de dos protones produciendo deuterio:



- **Aplicaciones médicas:** Las radiaciones pueden utilizarse para diagnosticar ciertas enfermedades (radiodiagnóstico) y para tratar algunas enfermedades cancerosas (radioterapia). En radiodiagnóstico se introducen ciertos isótopos radiactivos cuya radiación es detectada por dispositivos externos creando una imagen de los tejidos donde se absorbieron los isótopos. En radioterapia se utilizan radiaciones ionizantes para destruir células cancerosas.

## PARTÍCULAS ELEMENTALES

Los atomistas de la antigua Grecia intuyeron que el universo estaba compuesto de elementos indivisibles que llamaron “átomos”. En el siglo XIX la teoría atómica permitió explicar las reacciones químicas y el comportamiento de los gases con un modelo de átomo indivisible. Más tarde se demostró que el átomo está formado por protones y neutrones en el núcleo, y electrones en la corteza. Pero esta estructura atómica no podía explicar fenómenos como la desintegración radiactiva, de manera que se fueron proponiendo y descubriendo otras partículas (en rayos cósmicos y en aceleradores de partículas) hasta llegar a la teoría actual, llamada “modelo estándar”.

Según el **modelo estándar** de la física de partículas, la materia está formada por 12 partículas elementales (no compuestas de otras más simples), que se clasifican en dos grupos:

- **Quarks:**  $u$ ,  $d$ ,  $c$ ,  $s$ ,  $t$  y  $b$ , donde las letras denotan *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top* y *bottom*.

- **Leptones:** electrón  $e$ , muón  $\mu$ , partícula tau  $\tau$  y tres neutrinos asociados (neutrino electrónico  $\nu_e$ , neutrino muónico  $\nu_\mu$  y neutrino tau  $\nu_\tau$ ).

	LEPTONES		QUARKS		protón	neutrón
1ª generación	$e$	$\nu_e$	$u$	$d$	$\begin{matrix} u & u \\ & d \end{matrix}$	$\begin{matrix} d & d \\ & u \end{matrix}$
2ª generación	$\mu$	$\nu_\mu$	$c$	$s$		
3ª generación	$\tau$	$\nu_\tau$	$t$	$b$		
Carga eléctrica:	$- e $	0	$+2/3 e $	$-1/3 e $		

masa creciente ↓

Las partículas elementales se caracterizan por tres magnitudes: **carga eléctrica**, **masa** y “**espín**” (momento angular intrínseco). Los neutrinos no tienen carga, mientras que el electrón, el muón y la tau tienen carga negativa  $-|e|$ . Los quarks pueden tener carga  $-1/3|e|$  o  $+2/3|e|$ .

Existen **tres generaciones** de partículas. Cada generación es similar a la anterior pero con partículas cada vez más masivas.

Cada partícula tiene su correspondiente **antipartícula** con carga opuesta. Por ejemplo, la antipartícula del electrón es el positrón. Las antipartículas constituyen la antimateria.

Los quarks sienten la interacción fuerte y no pueden existir aislados: se agrupan formando **hadrones**, que pueden ser **bariones** (formados por tres quarks), como el protón (uud) o el neutrón (udd) o **mesones** (formados por un quark y un antiquark) como el pión o el kaón, por ejemplo. Los átomos están formados por partículas de la 1ª generación.

Las partículas también se clasifican según su **espín** en:

- **Fermiones:** espín semiimpar, como los leptones y quarks que tienen espín  $1/2$ , que forman la materia ordinaria

- **Bosones,** espín entero, como las partículas mediadoras de las interacciones como los fotones (que median la interacción electromagnética), los bosones W y Z (interacción débil) y los gluones (interacción fuerte).



## NATURALEZA DE LA LUZ. DUALIDAD ONDA-CORPÚSCULO

---

Hasta el principio del siglo XX había dos teorías contrapuestas para explicar la naturaleza de la luz que parecían incompatibles entre sí:

- la teoría **corpúscular**, que considera que la luz está compuesta de partículas (o corpúsculos), y cuyo principal defensor fue Newton, y
- la teoría **ondulatoria**, que defiende que la luz se comporta como una onda.

Aunque las dos teorías explicaban los fenómenos de reflexión y de refracción, solo la teoría ondulatoria pudo explicar satisfactoriamente los fenómenos de interferencia y de difracción. Esto, junto al desarrollo del electromagnetismo por Maxwell, consolidó la idea a final del siglo XIX de que la luz era una **onda electromagnética**.

Sin embargo, a principios del siglo XX, Einstein retomó la teoría corpuscular de la naturaleza de la luz para explicar el efecto fotoeléctrico. 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.

Posteriormente, De Broglie postuló, en el contexto de la mecánica cuántica, que la materia también presenta la dualidad onda-corpúsculo, de forma que cualquier partícula de momento lineal  $p$  tiene asociada una onda cuántica de longitud de onda  $\lambda$  tal que también se satisface  $p = h/\lambda$ . Esta dualidad en materia es fundamental en el desarrollo de la física cuántica y se ha comprobado experimentalmente en multitud de ocasiones al observar fenómenos propios de ondas, como la difracción, al interactuar haces de partículas materiales, como electrones, contra redes cristalinas.

## **INTERACCIONES FUNDAMENTALES**

---

La explicación a nivel cuántico de las fuerzas en la naturaleza es que la interacción entre dos partículas es debida al intercambio entre ellas de una tercera partícula mediadora.

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 corto alcance (no se aprecia fuera del núcleo atómico). 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. La partícula mediadora es el gluón.

**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 y de todas las interacciones que observamos a nivel macroscópico, si descontamos la gravedad. La partícula mediadora es el fotón.

**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. Las partículas mediadoras son los bosones W y Z.

**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. La partícula mediadora, el gravitón, aún no ha sido observada experimentalmente.

## **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.