

# Glosario

Este glosario contiene palabras clave, ecuaciones y términos del curso para la obtención del Diploma de Física IB.

## 13 Relatividad (Opción A)

### Nivel medio

En esta sección aparecen términos correspondientes a la Opción A, secciones A1, A2 y A3.

**Centelleo** Un suceso que produce fotones (luz) como consecuencia de la interacción de las partículas cargadas con determinados materiales.

**Contracción de la longitud** Contracción de la medida de la longitud de un objeto con respecto a la longitud propia del objeto debida al movimiento relativo de un observador.

**Contracción de la longitud, fórmula de la  $L = L_0/\gamma$** , donde  $L$  representa la longitud,  $L_0$  representa la longitud propia medida por un observador estacionario con respecto a la longitud que se mide y  $\gamma$  representa el factor de Lorentz.

**Dilatación del tiempo** Relativa a un observador que ve que dos sucesos ocurren en el mismo lugar y, por tanto, mide el tiempo propio entre los dos sucesos. Todos los demás observadores miden una reducción del intervalo de tiempo entre dos sucesos debida a que estos tienen lugar con mayor separación espacial. Cuanto más rápido se mueve un observador con respecto al tiempo propio medido por el observador, mayor es la dilatación del tiempo.

**Dilatación del tiempo, fórmula de la  $\Delta t = \gamma\Delta t_0$** , donde  $\Delta t_0$  representa el intervalo de tiempo propio medido por un observador que ve que el primer y el segundo suceso ocurren en el mismo lugar,  $\Delta t$  representa ese intervalo de tiempo entre los mismos dos sucesos medido por cualquier otro observador y  $\gamma$  representa el factor de Lorentz.

**Dipolo** Se trata de un objeto con un extremo cargado positivamente y el otro negativamente, o bien que tiene un polo norte magnético en un extremo y un polo sur magnético en el otro. Los imanes siempre se encuentran en forma de dipolos.

**Espacial** Relacionado con las dimensiones del espacio. Un intervalo espacial es una longitud en el espacio.

**Espacio-tiempo** Combinación del espacio y el tiempo en una única entidad que se hace en relatividad y que se utiliza para describir el tejido del universo. En relatividad y de forma fundamental, el tiempo y el espacio no son independientes entre sí y se observan de forma diferente en función del movimiento relativo de un observador.

**Espacio-tiempo, intervalo de,  $\Delta s_2$**  La distancia entre dos sucesos a través del espacio-tiempo. El intervalo de espacio-tiempo combina los elementos espaciales y temporales de espacio-tiempo en un único valor.

**Éter** Es una sustancia hipotética que se propuso como el medio a través del que viajaban las ondas electromagnéticas. En teoría, la Tierra se debería desplazar a través de este medio y, en la física newtoniana, el éter constituiría el único sistema de referencia en el que la medida de la velocidad de la luz en el vacío toma

exactamente el valor  $c$ , por tanto debería definir un sistema de referencia estacionario (inmóvil) para el universo.

**Experimento de la desintegración del muon** Un convincente experimento que corrobora tanto la dilatación del tiempo como la contracción de la longitud. En este experimento se comparan los niveles de los muones de alta energía que se detectan en la atmósfera a unos 10 km de altitud con los que se detectan en la superficie terrestre, utilizando la vida media del muon como método para la medida del tiempo. La física clásica predice que el número de muones que alcanzan la superficie terrestre debería ser una minúscula fracción de los que se forman. El resultado de la medida experimental de esta fracción, de aproximadamente un quinto, encaja con las predicciones de la relatividad.

**Experimento de Michelson-Morley** Experimento diseñado para medir la velocidad de la Tierra a través del éter. El famoso resultado nulo fue la primera razón para el abandono de la idea del éter, hecho que contribuyó al desarrollo de la relatividad especial.

**Experimento mental** Un experimento que se lleva a cabo de forma teórica, en la mente, en lugar de realizarse de la forma habitual, porque clarifica un determinado aspecto de una teoría o porque es imposible desde el punto de vista logístico.

**Factor de Lorentz,  $\gamma$**  Un factor de escala que resulta muy práctico a la hora de describir la distorsión de cantidades no invariantes cuando se trabaja con distintos sistemas de referencia relativistas:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $v$  es la velocidad relativa del segundo sistema de referencia. El factor de Lorentz toma valores comprendidos entre uno (aproximadamente y a velocidades clásicas) e infinito (cerca de la velocidad de la luz en el vacío).

**Intervalo de tiempo** La diferencia entre las coordenadas temporales de dos sucesos medidas desde un único sistema de referencia.

**Intervalo de tiempo propio** Intervalo de tiempo entre dos sucesos medido por un observador que registra que los dos sucesos ocurren en el mismo punto del espacio. Es el intervalo de tiempo entre sucesos más corto medido por un observador inercial.

**Invariante, magnitud invariante** La misma en todos los sistemas de referencia. Una magnitud cuyo valor es el mismo en todos los sistemas de referencia. Los siguientes son ejemplos en el área de la relatividad: velocidad de la luz en el vacío, intervalo de espacio-tiempo, intervalo de tiempo propio, longitud propia, masa en reposo y carga eléctrica.

**Línea de luz** Término utilizado por algunos autores para describir la línea de mundo que recorre un fotón a través del espacio-tiempo. Se suele trazar a 45° respecto a los ejes horizontal y vertical.

**Longitud propia** La longitud propia de un objeto es la longitud medida por un observador que se encuentra en reposo relativo con respecto a la longitud que se está midiendo. Para que la longitud sea la distancia entre dos sucesos, el observador se debe encontrar en reposo con respecto a un objeto virtual que conecta los dos sucesos, de manera que la distancia entre los dos sucesos sea independiente del tiempo. La longitud propia es siempre la longitud más larga medible por un observador; todos los demás observadores deben medir una longitud contraída.

**Mecánica relativista** Conjunto de reglas que describen el movimiento dentro de la teoría de la relatividad de Einstein.

**Monopolo** Una fuente de carga que es o bien positiva o bien negativa. Los imanes nunca se encuentran en forma de monopolos individuales, sino en forma de polos norte-sur denominados dipolos.

**Muon** Un miembro de la familia de los electrones con la misma carga que un electrón pero 207 veces su masa en reposo. Como consecuencia es inestable y se desintegra habitualmente en un electrón, un neutrino y un antineutrino con una semivida de  $1,5 \times 10^{-6}$  s.

**Observador inercial** Un observador que ni se acelera ni experimenta un campo gravitatorio.

**Paradoja de los gemelos** Una paradoja que parece desafiar a la teoría de la relatividad especial y que se basa en la imposibilidad de que cada uno de dos hermanos gemelos pueda decir que es mayor que el otro. Uno de los gemelos se queda en la Tierra, mientras que el otro viaja a una gran velocidad hasta una estrella lejana y vuelve. Ambos gemelos defienden que, en su propio sistema de referencia, son estacionarios y es el otro gemelo el que se mueve, de manera que la paradoja parece ser simétrica. Y sin embargo no lo es, porque el gemelo viajero no ha estado siempre en un sistema de referencia inercial y será más joven cuando regrese a la Tierra que el gemelo que ha permanecido en nuestro planeta.

**Permeabilidad magnética,  $\mu$**  Capacidad de una sustancia para sostener un campo magnético en su interior como respuesta a un campo magnético aplicado. Para una sustancia específica, la permeabilidad específica el flujo magnético generado por unidad de corriente alrededor de cada metro de hilo conductor activo. La permeabilidad del espacio libre es la permeabilidad del vacío.

**Permitividad eléctrica,  $\epsilon$**  Es la capacidad de transmitir un campo eléctrico que tienen distintas sustancias. Es una medida de la cantidad de flujo eléctrico (o campo eléctrico) que se genera por unidad de carga eléctrica en un medio determinado. La permitividad del espacio libre es la permitividad del vacío.

**Postulados de la física clásica o newtoniana** Una unidad de tiempo, espacio y masa es invariante en todo el universo. Las leyes de la mecánica se cumplen en todos los sistemas de referencia.

**Postulados de la relatividad especial** La velocidad de la luz en el vacío es la misma para todos los observadores inerciales. Las leyes de la física son las mismas para todos los observadores inerciales.

**Relatividad especial** Teoría desarrollada por Albert Einstein que se basa en dos postulados: las leyes del movimiento son las mismas para todos los sistemas de referencia inerciales (no acelerados) y la velocidad de la luz (en el vacío) es la misma para todos los sistemas de referencia inerciales. Las consecuencias son la dilatación del tiempo, la contracción de la longitud y la equivalencia entre masa y energía.

**Relativista** Algo que viaja a una fracción significativa de la velocidad de la luz, de manera que el factor de Lorentz ya no toma valores cercanos a 1.

**Reposo, masa en** Masa de una partícula (u objeto) en reposo o medida por un observador que se encuentra en reposo con respecto a la partícula. Según la teoría de la relatividad, como la energía de una partícula depende de su velocidad y la masa y la energía son equivalentes, cuando la velocidad de una partícula aumenta, su masa también debe aumentar.  $m = \gamma m_0$ , donde  $m_0$  representa la masa en reposo,  $m$  representa la masa total de una partícula y  $\gamma$  es el factor de Lorentz.

**Reposo, sistema en** Sistema de referencia en el que una partícula o un objeto determinados están en reposo.

**Sincronizados** Se dice que dos relojes están sincronizados cuando leen el mismo tiempo según un observador.

**Sistema de referencia** Sistema de coordenadas respecto al que se miden los sucesos en el espacio y en el tiempo. Normalmente es un conjunto de objetos que permanecen en reposo relativo entre sí y a partir del que se pueden realizar medidas espaciales y un sistema de medida del tiempo que consiste en un conjunto de relojes virtuales.

**Sistema inercial** Un sistema de referencia en el que los cuerpos no sometidos a fuerzas que no se encuentran en equilibrio obedecen la primera ley de Newton, es decir, se mueven en línea recta con velocidad constante. En un sistema inercial son válidos los postulados de la relatividad especial.

**Suceso** Un punto individual en el espacio-tiempo; una ubicación específica en el espacio en un instante específico de tiempo. Un suceso debe poseer unas coordenadas de posición y tiempo concretas en cada sistema de referencia.

**Sucesos simultáneos** Sucesos que ocurren al mismo tiempo en un sistema de referencia específico, de manera que en este sistema tienen las mismas coordenadas temporales. Los sucesos que son simultáneos en un sistema de referencia pueden no serlo en otro sistema.

**Suma de velocidades (relativistas)** Si la velocidad de un objeto A es  $u$  y la velocidad de un objeto B es  $v$  cuando se observan desde el sistema de referencia del objeto C, entonces la velocidad  $u'$  de A respecto a B es:

$$\frac{u+v}{1+\frac{uv}{c^2}}$$

**Temporal** Relacionado con el tiempo. Un intervalo temporal es un intervalo de tiempo.

**Transformación de Lorentz** Fórmulas matemáticas utilizadas para calcular las nuevas coordenadas de la posición y del tiempo (o los intervalos espaciales y temporales) cuando se produce un cambio de un sistema de referencia a otro.

**Transformación galileana** Es el método matemático newtoniano y no relativista que permite relacionar las observaciones obtenidas en dos sistemas de referencia distintos.

## Nivel superior avanzado

En esta sección se recogen términos de la Opción A, secciones A4 y A5

**Agujero negro** Un objeto cuya masa y densidad son tan elevadas que el espacio-tiempo se estira infinitamente, de modo que la luz, la información y las partículas son incapaces de escapar. El horizonte de sucesos marca los límites de un agujero negro.

**Desplazamiento hacia el rojo por efecto gravitatorio** Nombre general que se le otorga al desplazamiento de la frecuencia o de la longitud de onda de un fotón que se mueve hacia arriba o hacia abajo en un campo gravitatorio. El efecto consiste en un desplazamiento hacia el rojo cuando el fotón se desplaza hacia arriba y en un desplazamiento hacia el azul cuando se desplaza hacia abajo.

**Dilatación del tiempo por efecto gravitatorio** Ralentización del tiempo que se produce en regiones de gravedad intensa.

**Ecuación energía – momento** La relación  $E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$  entre la energía total y el momento.

**Efecto de lente gravitatoria** Curvatura de la luz debida a la curvatura del espacio-tiempo alrededor de objetos con mucha masa. El resultado son desplazamientos minúsculos en las posiciones aparentes de las estrellas cercanas al Sol y distorsiones o multiplicidad en las imágenes de las estrellas debidas al efecto de lente producido por las galaxias más cercanas.

**Energía cinética (relativista)** La magnitud  $E_c = (\gamma - 1)m_0c^2$ . La energía total menos la energía en reposo.

**Energía en reposo** La energía mínima necesaria para crear una partícula,  $E = m_0c^2$ .

**Energía total (relativista)** Es la combinación de la energía potencial más la energía cinética de un objeto. Normalmente corresponde a la suma de la energía en reposo más la energía cinética.  $E = \gamma m_0c^2$ .

**Gravedad (interpretación relativista)** En relatividad general, la gravedad se explica como una consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo inducida por la presencia de un objeto con mucha masa.

**Horizonte de sucesos** Una superficie esférica imaginaria alrededor de un agujero negro para la que la velocidad de escape es igual a la velocidad de la luz en el vacío. Se utiliza para definir las dimensiones del agujero negro. Dentro del horizonte de sucesos las leyes de la física se vuelven inciertas, si bien se pueden realizar algunas predicciones.

**Masa gravitatoria** Masa calculada mediante la medida del peso de un objeto dividida por la intensidad del campo gravitatorio.

**Masa inercial** La medida de la masa de un objeto obtenida mediante la comparación de una fuerza no equilibrada sobre un objeto con la aceleración adquirida por este. La masa inercial es igual a la fuerza no equilibrada dividida entre la aceleración.

**Masa solar** Unidad de masa que se basa en la masa del Sol. 1 masa solar =  $1,99 \times 10^{30}$  kg.

**Momento relativista**  $p = \gamma p_0 = \gamma m_0 v$ . Como la masa ya no es invariante, es simplemente el momento clásico multiplicado por el factor de Lorentz.

**Principio de equivalencia** Es la idea de que los efectos de una aceleración y un campo gravitatorio son completamente indistinguibles. Tiene enormes implicaciones y comporta que las leyes físicas que se cumplen en un sistema de referencia acelerado también se deben cumplir en un sistema de referencia gravitatorio, lo cual implica que, como el espacio-tiempo está curvado en un sistema de referencia acelerado, los campos gravitatorios y, por tanto, la masa también deben distorsionar el espacio-tiempo.

**Radio de Schwarzschild,  $R_s$**  El radio del horizonte de sucesos de un agujero negro simple, sin carga y no giratorio. El radio de Schwarzschild define una superficie esférica donde la velocidad de escape es exactamente la velocidad de la luz en el vacío y que se utiliza para especificar los límites de un agujero negro simple.

**Singularidad** Un punto donde la curvatura del espacio-tiempo se hace infinita y donde, en consecuencia, se violan las leyes de la física. Durante la formación de un agujero negro, la superficie de la estrella se colapsa hacia su interior hasta convertirse en un punto, que constituye un ejemplo de singularidad.

**Teoría general de la relatividad** Generalización de la relatividad especial debida a Einstein en la que se incluye a todos los observadores, no solo aquellos que se encuentran en sistemas de referencia inerciales. Las principales implicaciones de la teoría son la descripción de las distorsiones del espacio-tiempo en sistemas de referencia acelerados y la distorsión del espacio-tiempo debida a la presencia de masa.

**Velocidad de escape** La mínima velocidad necesaria para escapar a una distancia infinitamente grande de un punto específico en el interior de un campo gravitatorio.

## 14 Física para la ingeniería (Opción B)

### Nivel medio

En esta sección aparecen términos correspondientes a la Opción B, secciones B1 y B2.

**Aceleración angular,  $\alpha$**  Tasa de variación de la velocidad angular respecto al tiempo,  $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ . Unidad:  $\text{rad s}^{-2}$ .  $\alpha = \frac{\omega_t - \omega_i}{t}$ . Está relacionada con la aceleración lineal de un punto sobre la circunferencia mediante  $\alpha = \frac{a}{r}$ .

**Adiabático** Un proceso que tiene lugar sin transferencia de energía térmica hacia el interior o el exterior del sistema.  $Q = 0$ . Es una situación ideal aunque aproximada cuando se producen cambios rápidos en sistemas bien aislados. Cuando se produce un cambio adiabático en un gas ideal monoatómico se cumple  $pV^{\frac{5}{3}} = \text{constante}$ .

**Análogos** Describe distintos sistemas o teorías que presentan similitudes prácticas.

**Bomba de calor** Máquina diseñada para desplazar la energía térmica en sentido opuesto al de su flujo espontáneo (de más caliente hacia más frío).

**Ciclo (termodinámico)** Una serie de procesos termodinámicos que devuelven a un sistema a su estado original (por ejemplo, el ciclo de Carnot).

**Ciclo de Carnot** Es el ciclo termodinámico más eficaz y consta de una expansión isotérmica seguida por una expansión adiabática; a continuación el gas vuelve a su estado original mediante compresiones isotérmicas y adiabáticas.

**Compresión (de un gas)** Descenso del volumen. Comparar con *expansión*.

**Conservación del momento angular** El momento angular resultante total de un sistema es constante siempre que no actúe sobre él un momento de torsión externo resultante.

**Cuerpo rígido** Un objeto que conserva su forma.

**Diagrama  $pV$**  Forma de representación gráfica de los cambios de estado de un gas durante un proceso termodinámico.

**Dinámica rotatoria** Rama de la física y la ingeniería que estudia los objetos rotatorios.

**Ecuaciones del movimiento rotatorio**

$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha\theta$$

**Eficacia (termodinámica),  $\eta$**  Trabajo útil realizado/energía de entrada. La eficacia máxima de un ciclo de Carnot,

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{frío}}}{T_{\text{caliente}}}$$

**Eje de rotación** Línea respecto a la cual rota un objeto.

**Émbolo (pistón)** Un cilindro sólido que encaja en el interior de un cilindro hueco y que (normalmente) contiene un gas. Está diseñado para desplazarse como resultado de las diferencias de presión.

**Energía cinética de rotación,  $E_{\text{Crot}}$**  Energía cinética debida a la rotación y no a la traslación.  $E_{\text{Crot}} = \frac{1}{2} I \omega^2$

**Energía interna de un gas ideal,  $U$**  La suma de las energías cinéticas de traslación de todas las moléculas.  $U = \frac{3}{2}nRT$

**Energía térmica,  $Q$**  Energía no mecánica transferida por una diferencia de temperatura.

**Entropía** Una medida del desorden de un sistema termodinámico.

**Entropía, variación de** Cuando a un sistema a temperatura  $T$  se le añade o se le extrae una cantidad de energía térmica,  $\Delta Q$ , la variación de entropía asociada,  $\Delta S$ , se puede calcular a partir de la ecuación  $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$ . Las unidades de la entropía son los  $\text{JK}^{-1}$ .

**Equilibrio de rotación** Describe un objeto que rota con velocidad angular constante (o que está inmóvil). Se produce cuando no actúa ningún momento de torsión resultante.

**Expansión (de un gas)** Aumento de volumen del gas. Comparar con *compresión*.

**Inercia** Propiedad de un objeto que resiste los cambios de movimiento (aceleraciones).

**Isobárico** Un proceso que tiene lugar a presión constante.  $\Delta p = 0$

**Isotérmico** Un proceso que tiene lugar a temperatura constante. No hay variación de la energía interna:  $\Delta U = 0$ .  $pV = \text{constante}$ . Es una situación ideal, aunque aproximada en caso de cambio lento.

**Isovolúmetrico** Un proceso que tiene lugar a volumen constante, de manera que el trabajo realizado es nulo:  $W = 0$

**Línea de acción (de una fuerza)** Una línea recta que muestra la dirección y el sentido en el que se aplica una fuerza (a través del punto de aplicación).

**Momento (de una fuerza)** A veces se utiliza como una alternativa al momento de torsión, especialmente si la rotación es incompleta.

**Momento angular,  $L$**  Momento de inercia multiplicado por la velocidad angular:  $L = I\omega$ . Unidad:  $\text{kgm}^2\text{s}^{-1}$

**Momento de inercia,  $I$**  La resistencia a un cambio de movimiento rotatorio de un objeto, que depende de la distribución de masa alrededor del eje de rotación escogido. El momento de inercia de una masa puntual viene determinado  $I = mr^2$ . Unidad:  $\text{kgm}^2$ . El momento de inercia de una masa real extendida puede ser determinado por la suma de los momentos de inercia individuales de sus partículas y se representa mediante  $I = \Sigma mr^2$ .

**Momento de torsión,  $\Gamma$**  Producto de una fuerza por la distancia perpendicular desde el eje de rotación hasta su línea de acción:  $\Gamma = Fr \sin \theta$ . Unidad:  $\text{Nm}$

**Orden y desorden (molecular)** La forma en la que están dispuestas las moléculas o en la que está distribuida la energía se puede describir (y medir) en términos del alcance de los patrones y las similitudes (si existen).

**Par (de fuerzas)** Dos fuerzas del mismo módulo que tienen distintas líneas de acción, pero son paralelas y actúan en sentidos contrarios, de modo que tienden a provocar una rotación.

**Partícula puntual** Partícula teórica que no ocupa espacio, de forma que sus propiedades no dependen ni de su tamaño ni de su forma.

**Pivote** Punto de rotación de un brazo elevador.

**Primera ley de la termodinámica** Cuando se transfiere a un sistema una cantidad de energía térmica,  $+Q$ , el sistema gana energía interna,  $+\Delta U$ , y/o se expande y realiza un trabajo sobre el entorno,  $+W$ :  $Q = \Delta U + W$ . (Es una aplicación del principio de conservación de la energía.)

**Principio de los momentos** Si un objeto se encuentra en equilibrio de rotación, la suma de los momentos en sentido horario es igual a la suma de los momentos en sentido antihorario.

**Proceso irreversible** Un proceso en el que la *entropía* aumenta; todos los procesos reales son irreversibles.

**Reservorio (térmico)** Parte del entorno de un sistema termodinámico que se mantiene a temperatura aproximadamente constante y se usa para favorecer el flujo de energía térmica.

**Rodadura** Rotación de un objeto a lo largo de una superficie de forma que el punto más bajo del objeto se encuentra estacionario (inmóvil) de forma instantánea si la superficie es horizontal. Requiere fricción. Comparar con *deslizamiento*.

**Rotación** Movimiento circular alrededor de un punto o un eje.

**Segunda ley de la termodinámica** La entropía total del universo siempre aumenta. Esto implica que la energía no se puede transferir desde un lugar a una temperatura más baja hacia un lugar con una temperatura más elevada. O bien, según la versión de Kelvin-Planck: cuando extraemos energía de un reservorio caliente es imposible convertirla totalmente en trabajo.

**Segunda ley de Newton para el movimiento angular**  $\Gamma = I\alpha$

**Sustancia activa** La sustancia (normalmente un gas) que se utiliza en los procesos termodinámicos para realizar un trabajo útil.

**Trabajo realizado cuando un gas cambia de estado,  $W$**  El trabajo es realizado por el gas cuando se expande ( $W$  es positivo). El trabajo se realiza sobre el gas cuando se comprime ( $W$  es negativo). A presión constante  $W = p\Delta V$ . Si la presión varía, se puede determinar el trabajo realizado a partir del área bajo el diagrama  $pV$ .

**Velocidad angular,  $\omega$**  Tasa de variación del desplazamiento angular respecto al tiempo,  $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ . Unidad:  $\text{rads}^{-1}$ .  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ .

**Volante (de una máquina)** Masa densa y cilíndrica (normalmente) con un momento de inercia elevado que se añade a los ejes de la maquinaria en rotación para resistir los cambios de movimiento y/o almacenar energía cinética de rotación.

## Nivel superior avanzado

En esta sección se recogen términos de la Opción B, secciones B3 y B4

**Amortiguación** Cuando las fuerzas de resistencia actúan sobre un sistema oscilante, disipan energía y reducen la amplitud. La amortiguación se puede describir según su grado: sobreamortiguación (las fuerzas de resistencia son tan intensas que la amplitud se reduce con relativa lentitud y no se producen oscilaciones), infraamortiguación (se producen muchas oscilaciones porque las fuerzas de resistencia son relativamente pequeñas), o *amortiguación crítica*.

**Amortiguación crítica** Se produce cuando un sistema oscilante vuelve rápidamente a su posición de equilibrio sin oscilar.

**Bernoulli, ecuación de** Ecuación que representa el flujo constante de un fluido ideal a través de un sistema cerrado. Se obtiene considerando la conservación de la energía cuando el fluido cambia de velocidad y/o de altura:  $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gz + p = \text{constante}$ .

**Bernoulli, efecto de** Una aplicación de la ecuación de Bernoulli: cuando la velocidad de un fluido que circula por una superficie aumenta, el fluido ejerce menos presión.

**Caudal de volumen** Volumen de un fluido ideal que pasa por un punto cualquiera por unidad de tiempo. Unidades  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$

**Curva de respuesta de frecuencia** Gráfica que se utiliza para mostrar la respuesta de la amplitud de las oscilaciones de un sistema a distintas frecuencias impulsoras.

**Dinámica de fluidos** Estudio del movimiento de los fluidos.

**Ecuación de continuidad** El volumen de un fluido ideal que pasa por un punto cada segundo en un sistema cerrado debe ser constante:  $Av = \text{constante}$  (también se denomina *caudal de volumen*).

**Empuje** Nombre alternativo que recibe la fuerza vertical ascendente de flotación.

**Energía de un oscilador** Es proporcional a su amplitud al cuadrado.

**Equilibrio hidrostático** Fluido que se encuentra en reposo o cuyas partes móviles se mueven a velocidad constante.

**Estímulo periódico** Véase *resonancia*

**Flotabilidad** Capacidad de un fluido para proporcionar una fuerza en sentido ascendente (*empuje*,  $E$ ) sobre un objeto sumergido total o parcialmente en el fluido. Empuje,  $E = \rho_f V_f g$

**Fluido** Sustancia que puede fluir (normalmente un gas o un líquido).

**Fluido ideal** Un fluido incompresible, no viscoso y que se mueve a un flujo constante.

**Flujo aerodinámico** Véase *flujo laminar*

**Flujo laminar** Modelo idealizado del flujo de un fluido (a velocidades relativamente bajas) según el cual las capas paralelas de fluido se visualizan moviéndose independientemente unas de otras. A veces se denomina *flujo aerodinámico*.

**Flujo turbulento** Flujo no laminar de un fluido, que se suele producir con los caudales más elevados.

**Frecuencia impulsora** Frecuencia de una fuerza oscilante (*estímulo periódico*) que actúa sobre un sistema desde fuera. En ocasiones se la denomina *frecuencia forzada*.

**Frecuencia natural** Frecuencia a la que oscila un sistema cuando experimenta una perturbación y se deja oscilar libremente, sin influencia del exterior.

**Hidrostática** Estudio de los fluidos estacionarios.

**Incompresible** El volumen no puede disminuir.

**Líneas de flujo laminar** Líneas que muestran las trayectorias que seguirían los objetos (sin masa) bajo la acción del flujo de un fluido.

**Maquinaria hidráulica** Máquinas que utilizan fluidos encerrados para transferir y aumentar las fuerzas.

**Oscilaciones forzadas** Oscilaciones de un sistema producidas por una fuerza periódica externa.

**Perfil alar o plano aerodinámico** Forma de la sección transversal de un ala de avión que está diseñada para producir una elevación utilizando el efecto de Bernoulli y la fuerza procedente del aire que incide sobre el ala. Se usan formas similares en sentido contrario para producir una fuerza en sentido descendente en los coches y en sentido ascendente en las hidroalas o aliscafos (para su uso en agua).

**Presión atmosférica  $p_0$**  Se puede considerar debida el peso del aire sobre un área de  $1 \text{ m}^2$ . Actúa de forma equitativa en todas direcciones.

**Presión hidrostática** Presión ejercida sobre un punto de un fluido estacionario como consecuencia del peso de fluido sobre este punto.  $p = \rho_f g d$ . La presión hidrostática actúa de forma equitativa en todas direcciones. Si el fluido se encuentra bajo aire, la presión total se puede determinar a partir de  $p = p_0 + \rho_f g d$ .

**Principio de Arquímedes** Cuando un objeto se encuentra total o parcialmente sumergido en un fluido experimenta una fuerza vertical ascendente (empuje) igual al peso de fluido desalojado.

**Principio de Pascal** Una presión ejercida en cualquier punto de un líquido estático encerrado se transfiere de forma igualitaria a todas las demás partes del líquido.

**Q, factor de calidad** Es una representación numérica del grado de amortiguación de un sistema.  $Q = 2\pi \times$  (energía almacenada en el oscilador/energía disipada por ciclo) o bien, para una sistema en oscilación resonante regular,  $Q = 2\pi \times$  frecuencia de resonancia  $\times$  (energía almacenada en el oscilador/pérdida de potencia).

**Resonancia** Aumento en la amplitud que tiene lugar cuando un sistema está bajo la acción de una fuerza periódica externa cuya

frecuencia equivale a su frecuencia natural. La fuerza impulsora debe estar en fase con las oscilaciones naturales del sistema.

**Reynold, número de,  $R$**  Número que se utiliza para predecir las condiciones de flujo turbulento.  $R = \frac{v r \rho}{\eta}$  (sin unidades). Los distintos números de Reynold se aplican en situaciones distintas, pero, como norma, si  $R < 1000$  podemos esperar un flujo laminar.

**Sistema de frenado hidráulico** Los coches y otros vehículos utilizan aceite contenido en tubos y cilindros para ejercer fuerzas intensas sobre los engranajes con el objeto de frenar.

**Stokes, ley de** Retardo viscoso que actúa sobre un objeto liso y esférico que está sometido a un flujo laminar.  $F_D = 6\pi\eta r v$

**Tubo de Venturi** Aparato que contiene un tubo estrecho en el que se reduce la presión del fluido (efecto Bernoulli).

**Tubo Pitot** Se utiliza para medir la velocidad del flujo de un fluido o la velocidad de un objeto a través de un fluido. Se basa en la comparación de la presión en un punto sometido al flujo directo del fluido con la presión en otro punto cualquiera no sometido a flujo directo.

**Túnel de viento** Aparato mediante el que se observa el flujo de aire que pasa por un objeto estacionario.

**Velocidad terminal** Velocidad máxima que alcanza un objeto en equilibrio de traslación que cae verticalmente a través de un fluido. Se produce cuando el peso del objeto equivale al retardo viscoso + empuje.

**Vibración** Oscilación mecánica.

**Viscosidad** Medida de la resistencia de un fluido al flujo. Está cuantificada por el coeficiente de viscosidad,  $\eta$  (unidades Pa s).

## 15 Imágenes (Opción C)

### Nivel medio

En esta sección se recogen términos de la Opción C, secciones C1, C2 y C3

**Aberración, cromática** Incapacidad de una lente para trasladar la luz de distintos colores (proveniente del mismo lugar) al mismo foco.

**Aberración, esférica** Incapacidad de una lente o de un espejo con superficies esféricas para trasladar la luz (proveniente del mismo lugar) al mismo foco.

**Absorción (ondas EM)** Transferencia de la energía de una onda/ un fotón a otras formas de energía en el interior de un medio, de forma que no hay ni transmisión ni dispersión.

**Ángulo crítico,  $c$**  El menor ángulo de incidencia que da lugar a reflexión interna total.  $n = \frac{1}{\sin c}$

**Antena** Conductor metálico conectado a un circuito electrónico que está diseñado para transmitir o recibir de forma eficaz las ondas electromagnéticas (normalmente ondas de radio o microondas).

**Atenuación** Pérdida gradual de intensidad de una señal cuando atraviesa un material. Atenuación (dB) =  $10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)$ . Se considera que la intensidad de un cable óptico varía exponencialmente con la distancia y la atenuación se suele dar en dB  $\text{km}^{-1}$ . Véase *escala en decibelios*

**Aumento, angular,  $M$**  Se define como el ángulo subtendido en el ojo por la imagen/ángulo subtendido en el eje por el objeto:  $M = \theta_i/\theta_o$ .

**Aumento, lineal,  $m$**  Se define como la altura de la imagen/ altura del objeto:  $m = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{v}{u}$  (sin unidades).

**Cable coaxial** Cable en el que el hilo de cobre central está rodeado por un aislante y por una malla externa de cobre. La malla sirve de apantallamiento para el hilo central frente al *ruido electromagnético* (interferencia).

**Cable trenzado** Cable que transporta uno o más pares de hilos conductores aislados trenzados. El trenzado reduce los efectos del ruido electrónico (interferencias).

**Centro de curvatura** Cuando los espejos y las lentes están fabricados con superficies que son pequeñas partes de esferas, al centro de esa esfera se le llama centro de curvatura de la lente o de la superficie del espejo.

**Cristal de aumento (simple)** Lente convergente simple que se utiliza para producir una imagen aumentada, derecha y virtual de un objeto situado más cerca de la lente que del foco. Si la imagen se forma en el punto cercano, el aumento angular es máximo:  $M_{\text{punto cercano}} = \frac{D}{f} + 1$ . El ojo también puede estar más relajado cuando la imagen se encuentra en el infinito, entonces  $M_{\text{infinito}} = \frac{D}{f}$ .

**Decibelios (dB), escala en** Escala logarítmica que se utiliza para comparar potencias o intensidades en las que se produce una gran variación de valores.

**Diagramas de rayos** Representaciones a escala que muestran las trayectorias de los rayos procedentes de un objeto a través de un sistema óptico hasta formar una imagen. Por lo general se pueden predecir las trayectorias de tres rayos y estas se pueden utilizar, a su vez, para determinar las propiedades de la imagen.

**Digital, comunicación** Los datos se transfieren en forma de señal que contiene solo un número muy elevado de pulsos y cada uno de ellos únicamente puede tomar un valor entre dos valores posibles (0 o 1). Véase *número binario*.

**Dioptría, D** La unidad de medida de la potencia óptica. La potencia en dioptrías =  $\frac{1}{\text{distancia focal en metros}}$

**Dispersión** La propagación (en tiempo y en longitud) de un pulso cuando recorre una distancia cada vez mayor. La consecuencia es una amplitud en descenso. Los límites de la dispersión los marca la tasa de transmisión de los datos. Véanse *dispersión de la guía de ondas* y *dispersión del material*.

**Dispersión (ondas EM)** Diversos procesos por los que las direcciones de las ondas cambian cuando atraviesan un medio.

**Dispersión de la guía de ondas** Las ondas que pasan por una fibra óptica pueden seguir trayectorias ligeramente distintas que pueden tener, a su vez, longitudes de onda ligeramente distintas. Como consecuencia, puede ocurrir que las ondas que comenzaron juntas acaben dispersándose cuando han recorrido una larga distancia. Este problema se puede resolver mediante el uso de *fibras de salto de índice*.

**Dispersión del material** Dispersión que se produce en una fibra óptica como consecuencia de las distintas velocidades a las que viajan las distintas longitudes de onda y a sus distintos índices de refracción. Se puede contrarrestar utilizando radiación monocromática (p.ej. radiación procedente de un LED de infrarrojos).

**Distancia focal, f** Se define como la distancia entre el centro de la lente (o el espejo) y el foco.

**Ecuación de las lentes delgadas** Ecuación que relaciona la distancia a la que se encuentra la imagen,  $v$ , con la distancia a la que se encuentra el objeto,  $u$ , y la distancia focal,  $f$ :  $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ . Esta ecuación se usa ampliamente, pero solo es válida para rayos cercanos al eje principal de una lente delgada.

**Eje principal** Línea recta imaginaria que atraviesa el centro de una lente o de un espejo curvo y que es perpendicular a las superficies.

**Enfocar** Hacer que la radiación (especialmente la luz) converja hacia (o parezca divergir desde) un punto, por lo general con la intención de formar una imagen.

**Espejo convergente** También llamado espejo cóncavo. Los rayos paralelos al eje principal convergen en un foco real que está a mitad de camino entre el espejo y el *centro de curvatura* de la superficie del espejo.

**Espejo divergente** También llamado espejo convexo. Los rayos paralelos al eje principal experimentan una divergencia desde un foco virtual que está a medio camino entre el espejo y el *centro de curvatura* de la superficie del espejo.

**Fibra óptica (comunicación)** Fibra que transfiere datos utilizando un gran número de pulsos (normalmente) de radiación infrarroja. Estas fibras poseen una atenuación mucho menor que la de los hilos de cobre y pueden transmitir un número de datos muy superior para unas dimensiones similares.

**Fibras de índice gradual** Fibras ópticas con un índice de refracción no constante. El valor del índice de refracción es menor en la circunferencia y aumenta progresivamente hacia el centro, lo cual tiene como efecto el confinamiento de los rayos en el interior de trayectorias curvas cercanas al centro de la fibra y, por tanto, la reducción de la *dispersión de la guía de ondas*. Véase *fibras de salto de índice*.

**Fibras de salto óptico** Fibras cuyo índice de refracción es constante, aunque hay una diferencia (salto) entre el índice de refracción del núcleo y el índice de refracción del revestimiento.

**Foco** En el caso de una lente (o espejo) convergente, se define como el punto a través del que convergen todos los rayos paralelos al eje principal después de atravesar la lente (o reflejarse en el espejo). En el caso de una lente (o espejo) divergente, el foco es el punto desde el que parecen divergir los rayos tras atravesar la lente (o reflejarse en el espejo).

**Guía de ondas** Estructura diseñada para transferir ondas a lo largo de una determinada trayectoria.

**Imagen** Representación de un objeto que «ven» nuestros ojos y nuestro cerebro.

**Imagen, propiedades de la** Posición, aumento, derecha o invertida y real o virtual.

**Imagen real** Imagen formada en un lugar donde los rayos de luz/las ondas convergen.

**Imagen virtual** Imagen formada en un lugar desde donde parecen divergir los rayos de luz/las ondas.

**Instrumentación** Equipamiento científico para la observación y la medida. El desarrollo obtenido en la formación de imágenes depende principalmente del perfeccionamiento de la instrumentación.

**Interferencia (electrónica)** Véase *ruido*

**Lente** Material transparente con superficies curvas regulares que se puede utilizar para formar imágenes. Las lentes *convergentes* (convexas) por lo general hacen converger los rayos en una imagen real, mientras que las *divergentes* (cóncavas) hacen divergir los rayos (separarse) desde una imagen virtual.

**Microscopio, compuesto** Dos lentes convergentes que se utilizan para producir un aumento de un objeto cercano mayor del que se obtendría con una lente de aumento simple. El *ajuste normal* significa que la imagen se forma en el punto cercano al observador. El aumento angular es igual al producto del aumento lineal del objetivo por el aumento angular del ocular.

**Microscopio, electrónico** Microscopio que alcanza una gran resolución mediante el uso de electrones en lugar de luz (ya que los primeros tienen una menor longitud de onda).

**Número binario** Número en el que cada uno de los dígitos solo puede tomar un valor entre dos valores posibles (normalmente 0 o 1).

**Objetivo** Lente o espejo de un instrumento óptico que recibe la luz procedente de un objeto. La calidad y el diámetro del objetivo son factores importantes en la calidad de la imagen final producida por el instrumento.

**Objeto** Término utilizado para describir el lugar/los lugares desde los que los rayos/las ondas divergen antes de que el sistema óptico produzca una imagen. Los objetos pueden ser *puntuales* o, de forma más realista, *ampliados*.

**Ocular** Lente de un instrumento óptico más cercana al ojo.

**Opaco** Describe un material que no puede transmitir la luz.

**Potencia (óptica), P** La potencia de una lente es la recíproca de su distancia focal:  $P = \frac{1}{f}$ . Si la distancia focal se mide en metros, la potencia se mide en dioptrías, *D*. Los efectos de difracción son mayores en las lentes más potentes. Cuando varias lentes se colocan juntas, su potencia combinada es igual a la suma de sus potencias individuales.

**Punto cercano** Punto más cercano al ojo en el que se puede enfocar claramente un objeto (sin forzar la visión al límite). Se suele aceptar que, para un ojo sano, se encuentra a 25 cm del ojo. A esta distancia se le suele asignar el símbolo *D*.

**Punto lejano** Punto más alejado que puede enfocar claramente un ojo humano; se suele aceptar que está en el infinito cuando la visión es normal.

**Radioastronomía** Estudio del universo mediante ondas de radio.

**Radiointerferómetros** Dos o más radiotelescopios sincronizados y unidos probablemente formando una disposición concreta (*red*). La resolución proporcionada por las señales combinadas de un patrón de interferencias es superior a la que proporciona un único reflector (plato).

**Radiotelescopio** Telescopio que forma imágenes utilizando las ondas de radio emitidas desde todo el universo. Una antena en forma de reflector parabólico (plato) enfoca las ondas, pero la resolución puede verse limitada por la longitud relativamente larga de las ondas de radio. Véase radiointerferómetros.

«**Real positivo, virtual negativo**» A las distancias focales de las lentes divergentes y a las distancias a imágenes virtuales se les asignan valores negativos, de manera que cuando se utiliza la ecuación  $m = \frac{-v}{u}$ , a las imágenes derechas (virtuales) siempre les corresponderán aumentos positivos y a las imágenes invertidas (reales) siempre les corresponderán aumentos negativos.

**Reflector parabólico** Utilizado para enfocar un haz paralelo en un punto o para generar rayos paralelos a partir de una fuente situada en el foco.

**Resolución** Capacidad para ver con detalle una imagen. Medida en términos del ángulo subtendido por dos puntos que se empiezan a distinguir. El criterio de Rayleigh predice que si el ángulo subtendido por dos puntos  $> 1,22\lambda/b$ , los dos puntos se pueden resolver (distinguir).

**Retina** Superficie en la parte posterior del ojo sobre la que se forman normalmente las imágenes.

**Revestimiento metálico (de una fibra óptica)** Capa de vidrio que rodea el núcleo central y lo protege. El revestimiento también impide que los distintos núcleos entren en contacto. El índice de refracción del revestimiento debe ser inferior al del núcleo.

**Ruido (electromagnético)** Fuerzas electromotrices indeseadas e irregulares inducidas en un conductor que transmite una señal. Se inducen cuando las ondas electromagnéticas oscilantes procedentes de otras fuentes atraviesan el conductor. Al ruido se le suele llamar a menudo *interferencia*, pero no se debe confundir con el efecto de superposición de ondas. Si se produce un con-

tacto entre los distintos hilos conductores del interior del mismo cable se dice que se ha producido un *cruce*.

**Señal** Información transferida en un circuito o en un sistema de comunicaciones.

**Telescopio, montado en un satélite** Un telescopio colocado en un satélite en órbita con el objetivo de evitar los efectos de la atmósfera terrestre sobre la radiación incidente.

**Telescopio, reflector** Telescopio que utiliza como objetivo un espejo convergente en lugar de una lente convergente. En un montaje newtoniano, se utiliza a continuación un espejo plano para reflejar los rayos al ocular situado al lado. En un montaje Cassegrain, un espejo divergente produce un aumento adicional y permite al observador mirar en la misma dirección de la fuente de luz.

**Telescopio, refractor** Dos lentes utilizadas para producir un aumento angular de un objeto lejano. La imagen está invertida. En modo de ajuste normal, la imagen final está en el infinito y el aumento angular,  $M = \frac{f_o}{f_e}$ .

**Telescopios, con base terrestre** Telescopios situados en la superficie de la Tierra. También se les llama terrestres.

**Transmisión (ondas EM)** Envío de ondas de un lugar a otro sin absorción y/o dispersión.

**Transparente** Descripción de un medio a través del que se transmiten las ondas electromagnéticas sin absorción y/o dispersión. Las imágenes se pueden formar a partir de la luz que atraviesa materiales transparentes.

**Traslúcido** Descripción de un medio que transmite las ondas electromagnéticas pero en el que la dispersión impide la formación de imágenes.

## Nivel superior avanzado

En esta sección se recogen términos de la Opción C, sección C4

**Análisis de riesgos** Los avances científicos y tecnológicos pueden tener efectos adversos que pueden comportar riesgos para la salud (directos o indirectos). Se debe realizar todo el esfuerzo posible para anticipar estos riesgos y evaluar las ventajas y los inconvenientes de cualquier investigación o del uso consiguiente de la tecnología.

**Atenuación de los rayos X** La absorción y la dispersión provocan el decrecimiento exponencial de la intensidad de un haz paralelo con la distancia, *x*, recorrida a través de un medio, lo que se puede representar mediante la ecuación  $I = I_0 e^{-\mu x}$ , donde  $\mu$  es una constante llamada *coeficiente de atenuación lineal*. La atenuación (dB) =  $10 \log \left( \frac{I_1}{I_0} \right)$ .

**Atenuación lineal, coeficiente de,  $\mu$**  Constante que representa la magnitud de la atenuación de los rayos X por unidad de longitud en un medio concreto (para la radiación de una longitud de onda especificada). La unidad habitual son los  $\text{cm}^{-1}$ . Está relacionada con el *espesor del valor mitad* mediante la ecuación  $\mu x_{1/2} = \ln 2$ .

**Atenuación másico, coeficiente de** Constante que representa la magnitud de la atenuación de los rayos X por unidad de masa. El coeficiente de atenuación másico = coeficiente de atenuación lineal / densidad =  $\mu/\rho$ . Unidad habitual:  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ .

**Bobinas de RF (RMN)** Bobinas que emiten y reciben las ondas de radio en la RMN.

**Calidad de los rayos X** Describe el poder de penetración de un haz de rayos X (que está determinado por el voltaje utilizado en

el tubo de rayos X). Los rayos X más penetrantes se describen a menudo como «duros».

**Campo de gradiente** Además del campo magnético primario muy intenso utilizado en RMN (resonancia magnética nuclear), también se aplica al paciente un campo secundario variable (gradiente), que sirve para asegurar que los distintos planos del cuerpo están sometidos a campos magnéticos también ligeramente distintos, dando lugar a diferentes *frecuencias de Larmor*.

**Colimación** Creación de un haz paralelo.

**Contraste** Diferencia de intensidad.

**Dispositivo de carga acoplada (CCD, por sus siglas en inglés)**

Componente ampliamente utilizado en la obtención de imágenes digitales. Los diminutos CCD registran la llegada de la radiación electromagnética incidente (fotones) y la convierten en datos digitales.

**Ecografía** Método de obtención de imágenes médicas especialmente útil para la identificación de ligeros cambios de densidad entre distintos tejidos blandos. Es inocuo, móvil y barato, aunque la resolución no es demasiado buena.

**Ecografía bidimensional (en modo B)** Ecografía que produce una imagen de video bidimensional en tiempo real.

**Ecografía, frecuencia** Las frecuencias más altas (longitudes de onda más bajas) producen mejor resolución de imagen pero la atenuación es mayor.

**Ecografía unidimensional (en modo A)** Ecografía que produce una gráfica amplitud (o intensidad)-tiempo en la que se muestran las reflexiones producidas en las fronteras entre diferentes medios del cuerpo humano. Las ecografías en modo A permiten medidas exactas de la localización y las dimensiones de diferentes partes del cuerpo.

**Efecto piezoeléctrico** Determinados materiales adquieren una diferencia de potencial entre sus extremos cuando son deformados. Esta diferencia de potencial se puede utilizar para convertir las oscilaciones mecánicas en señales eléctricas oscilantes y las corrientes eléctricas oscilantes en vibraciones mecánicas, como un transductor de ultrasonidos.

**Escáner (médico)** Obtención de una representación visual del interior del cuerpo usando ondas electromagnéticas o ultrasonidos.

**Espesor del valor mitad,  $x_{1/2}$**  Se define como el espesor de un medio que reduce la intensidad transmitida de un haz de rayos X a la mitad de su valor original.

**Frecuencia de Larmor** Frecuencia de *precesión* de los protones alrededor de un campo magnético aplicado externamente. Las frecuencias de Larmor se producen dentro de la región del espectro electromagnético correspondiente a las ondas de radio y son proporcionales a la intensidad del campo magnético.

**Frecuencia de repetición de pulsos** Frecuencia de los pulsos de ultrasonidos, que se puede ajustar para dejar tiempo a que la onda reflejada vuelva a ser recibida por la sonda antes de que se emita el pulso siguiente.

**Gel (sonda de ecografía)** Gel de impedancia acústica apropiada que se aplica entre la sonda y la piel con el objetivo de mejorar la transmisión de ultrasonidos en el interior del cuerpo.

**Imágenes nítidas** Imágenes con los bordes bien definidos y alta resolución.

**Imágenes por resonancia magnética (IRM)** Nombre alternativo que recibe la RMN en medicina.

**Impedancia acústica,  $Z$**  Una medida de la oposición que presenta un medio determinado al flujo de sonido a su través. Se calcula a partir de  $Z = \rho c$  (unidades  $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). La magnitud de la reflexión de los ultrasonidos procedentes de las fronteras entre los medios depende de la comparación entre sus impedancias

acústicas: cuanto mayores son estas últimas, mayor es el porcentaje de ondas incidentes que son reflejadas.

**Material fluorescente** Material que emite luz visible después de la absorción de cualquier otro tipo de radiación.

**Pantalla de intensificación** Pantalla que contiene un material fluorescente que se utiliza para intensificar (aumentar la intensidad de) una imagen formada a partir de los rayos X.

**Precesión** Giro de un objeto rotatorio alrededor de otro eje a una frecuencia menor.

**Relajación (RMN)** Periodo de tiempo durante el que los protones excitados vuelven a su estado previo. La duración de este periodo depende del tipo de tejido afectado y la información mejora la calidad de la imagen.

**Resonancia** Efecto por el que un sistema (que puede oscilar) absorbe energía procedente de otra fuente oscilante externa, de manera que aumenta la amplitud a medida que se transfiere energía.

**Resonancia magnética nuclear (RMN)** Técnica de obtención de imágenes médicas en la que se hacen girar los protones de los átomos de hidrógeno dentro de un campo magnético de gran intensidad. La radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF) se utiliza a continuación para la alineación del giro de los protones (un efecto de resonancia) de modo que generen un campo magnético detectable. Cuando la RF se desconecta, los cambios producidos permiten determinar la ubicación de los protones.

**Sonda (ultrasonidos)** Nombre que recibe habitualmente un transductor de ultrasonidos.

**Tomografía computarizada (TC)** Uso controlado por ordenador de los rayos X que rotan alrededor de un paciente para la obtención de imágenes de alta resolución (escáneres) de múltiples secciones del cuerpo. También se les llama escáneres TAC (tomografía axial computarizada).

**Tomografía** Obtención de imágenes de un objeto tridimensional como una serie de secciones o «rodajas». Véase *tomografía computarizada*.

**Transductor** Aparato que convierte una señal de un tipo de energía en otro, normalmente hacia energía eléctrica o desde esta. Véase *sonda*.

**Ultrasonidos** Ondas de sonido con frecuencias superiores a las que puede oír un ser humano ( $\approx 20$  kHz).

## 16 Astrofísica (Opción D) Nivel medio

En esta sección aparecen términos correspondientes a la Opción D, secciones D1, D2 y D3.

**Agujero negro** Después de una supernova, el núcleo restante de una supergigante roja, que tiene demasiada masa para formar una estrella de neutrones, se convierte en un agujero negro con unas fuerzas gravitatorias tan elevadas que impiden que la luz pueda escapar.

**Ángulo de paralaje (estelar),  $P$**  Es la mitad del ángulo que forman dos líneas imaginarias que unen la Tierra con la posición de una estrella cercana (sobre el fondo de las estrellas más distantes) y que se trazan con 6 meses de diferencia.

- Año luz, al** Unidad de distancia que utilizan los astrónomos y que equivale a la distancia recorrida por la luz en el vacío en 1 año.
- Banda de inestabilidad** Una región del diagrama HR que contiene estrellas variables pulsátiles, como las variables Cefeidas.
- Brillo aparente,  $b$**  Intensidad (potencia / área) de radiación recibida en la Tierra procedente de una estrella. Unidad:  $\text{Wm}^{-2}$ . Está relacionada con la luminosidad mediante la ecuación:  $b = \frac{L}{4\pi d^2}$
- Cefeida, estrella variable** Tipo de estrella que es muy útil para determinar la distancia a las galaxias. La luminosidad de una estrella variable Cefeida cambia de una forma predecible y se puede estimar a partir de la medida de su periodo. Véase la *relación periodo-luminosidad*.
- Chandrasekhar, límite de** Masa máxima de una estrella blanca estable que soporta la presión de degeneración electrónica frente a la gravedad ( $= 1,4 \times$  masa solar). Las estrellas con masas superiores se convertirán en estrellas de neutrones o en agujeros negros.
- Cometa** Objeto relativamente pequeño compuesto de hielo, polvo y roca que describe órbitas alrededor del Sol, por lo general con una órbita muy elíptica y un periodo muy largo. Algunos tienen «colas» visibles desde la Tierra a simple vista cuando pasan cerca del Sol.
- Constelación** Una región del cielo nocturno definida y nombrada según el patrón de estrellas visibles que contiene. Las estrellas pueden parecer relativamente cercanas entre sí pero en la práctica pueden estar muy alejadas y no conectadas. Compárese con *cúmulo estelar*.
- Cosmología** Estudio del universo (cosmos).
- Cúmulo de galaxias** Grupo de galaxias que se mantiene unido por las fuerzas gravitatorias. Véase *supercúmulos*. (No se deben confundir con los *cúmulos galácticos*, que son cúmulos de estrellas en el interior de una galaxia determinada.)
- Cúmulo estelar** Un grupo de estrellas formado a partir de la misma nebulosa que se mantienen relativamente cerca y se mueven en grupo porque están unidas mediante la fuerza de la gravedad. Compárese con las *constelaciones*. Los *cúmulos globulares* son aproximadamente esféricos (como un globo) porque contienen muchos miles de estrellas. Los *cúmulos abiertos* contienen muchas menos estrellas, por tanto las fuerzas gravitatorias totales son menos uniformes y el cúmulo tiene una forma mal definida.
- Desplazamiento hacia el azul** Los espectros de radiación recibidos desde las estrellas y las (relativamente pocas) galaxias que se mueven hacia la Tierra se desplazan hacia longitudes de onda más cortas.
- Desplazamiento hacia el rojo** Desplazamiento de un espectro de líneas hacia frecuencias más bajas que se produce a causa del aumento de la distancia entre la fuente y el observador. (Similar al *efecto Doppler*). El desplazamiento hacia el rojo de la radiación que recibimos procedente de las galaxias lejanas es una prueba experimental de la expansión del universo. Está cuantificado por la ecuación  $z = \Delta\lambda/\lambda_0 \approx v/c$  (sin unidades)
- Diagrama Hertzsprung-Russell (HR)** Diagrama que ordena la aparente diversidad de las estrellas mediante la representación gráfica de la luminosidad de la estrella en función de su temperatura superficial.
- Elíptica** En forma de elipse (ovalada). Una elipse tiene dos focos sobre su eje principal.
- Energía oscura** Forma de energía desconocida cuya existencia se ha postulado para explicar la expansión acelerada del universo. Se cree que representa cerca del 68% de la masa-energía total del universo.
- Equilibrio estelar** Las estrellas de la *secuencia principal* están en equilibrio bajo los efectos de la *presión de gas térmico* y la *presión de radiación*, que actúan hacia el exterior y que se oponen a la *presión gravitatoria*, que actúa hacia el interior.
- Espectros estelares** Los espectros que emiten o absorben las estrellas y que se utilizan para determinar los elementos presentes.
- Estrella** Esfera masiva de plasma que se mantiene unida mediante las fuerzas de la gravedad. Sus altas temperaturas permiten la fusión nuclear y la emisión de radiación.
- Estrellas de neutrones** Las estrellas de la *secuencia principal* cuya masa es superior a 8 masas solares se transforman en supergigantes rojas al final de su tiempo en la secuencia principal. Aquellas cuya masa original es inferior a unas 40 masas solares se transformarán en estrellas de neutrones muy densas tras una supernova. Ya no se siguen colapsando más gracias a la *presión de degeneración electrónica*.
- Estrellas enanas blancas** Estrellas relativamente calientes, de manera que son de color blanco-azulado, aunque su luminosidad es baja a causa de su pequeño tamaño. Se forman al final de la vida en la secuencia principal de estrellas cuya masa  $< 8$  masas solares. Las capas exteriores de la estrella se eyectan en forma de *nebulosa planetaria* y el núcleo interno, que en un principio es extremadamente caliente y luminoso, se enfría y se atenúa hasta transformarse en una enana blanca.
- Expansión del universo** Sabemos que el universo se ha expandido desde el *Big Bang* y que actualmente su velocidad de expansión va en aumento, aunque se desconoce el comportamiento de las velocidades correspondientes al pasado y el futuro. Las diversas posibilidades se suelen representar en una gráfica factor de escala cósmico-tiempo.
- Factor de escala cósmico,  $R$**  Los astrónomos lo utilizan para representar el tamaño del universo mediante la comparación de la distancia entre dos lugares específicos (por ejemplo, dos galaxias) en dos instantes de tiempo distintos, uno de los cuales se suele considerar el instante actual. (Por tanto, el factor de escala cósmico del momento actual es 1). Tanto las distancias como el factor de escala cósmico aumentan con el tiempo porque el universo está en expansión.  $R$  está estrechamente vinculado al desplazamiento hacia el rojo:  $z = \frac{R}{R_0} - 1$ .
- Fusión nuclear** Proceso mediante el cual los núcleos ligeros se unen para formar un núcleo más pesado, liberándose energía. La fusión nuclear es la principal fuente de energía de las estrellas.
- Galaxia** Un número muy elevado de estrellas (y otra materia) que se mantienen unidas en un grupo por las fuerzas de la gravedad.
- Gigante roja (y supergigante roja)** Estrellas relativamente frías, de modo que son de color amarillo-rojizo, y cuya luminosidad es elevada debido a su gran tamaño. La mayoría de estrellas se transforman en gigantes rojas (o en supergigantes rojas) al final de su vida en la secuencia principal.
- Grupo de cúmulos de galaxias.** Pueden ser las «estructuras» más grandes del universo.
- Isótopo** Igual en todas direcciones.
- Ley de desplazamiento de Wein** Ley que conecta la longitud de onda a la que se emite la intensidad de emisión más elevada de una estrella con su temperatura superficial (véase Capítulo 8):  $\lambda_{\text{máx}} T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m K}$ .
- Ley de Hubble** La actual velocidad de recesión (la velocidad a la que parece que se aleja una estrella de la Tierra),  $v$ , de una galaxia es proporcional a la distancia que la separa de la Tierra,  $d$ .  $v = H_0 d$ , donde  $H_0$  es la constante de Hubble, que se puede utilizar para estimar la edad del universo:  $T \approx \frac{1}{H_0}$ .

**Límite de Oppenheimer-Volkoff** Máxima masa de una estrella de neutrones estable que soporta la presión de degeneración electrónica contra la gravedad ( $\approx 3 \times$  masa solar). Las estrellas con más masa se transforman en agujeros negros.

**Luminosidad,  $L$**  Potencia total irradiada por una estrella (unidad: W). Del Capítulo 8:  $L = e\sigma AT^4$ . (Se suele suponer que la emisividad,  $e$ , de las estrellas es igual a 1.)

**Lunas (o satélites naturales)** Objetos con mucha masa que describen órbitas alrededor de los planetas.

**Mapa estelar** Representación bidimensional de las posiciones relativas de las estrellas vistas desde la Tierra (por lo general o bien desde el hemisferio norte o bien desde el hemisferio sur).

**Materia interestelar** Materia que hay entre las estrellas, principalmente gases (en su mayoría hidrógeno y helio) y polvo.

**Modelo de la Gran Explosión (Big Bang)** Modelo del universo que se acepta en la actualidad y según el cual la materia, el espacio y el tiempo comenzaron en un punto hace 13,7 miles de millones de años y el universo se ha expandido desde entonces. A veces se le denomina modelo del Big Bang *caliente* porque las temperaturas del universo primigenio eran excepcionalmente elevadas.

**Modelo newtoniano del universo** Un universo infinito, uniforme y estático.

**Navaja de Occam** Si necesitas escoger entre dos o más teorías posibles, escoge la que presenta menos suposiciones.

**Nebulosa** «Nube» difusa de *materia interestelar*, formada principalmente por gases (en su mayoría hidrógeno y helio) y polvo.

**Nebulosa planetaria** Material emitido por las capas externas de una estrella gigante roja al final de su vida. El núcleo se transforma en una enana blanca.

**Paralaje estelar** Método de determinación de la distancia,  $d$ , a una estrella cercana a partir de la medida de su ángulo de paralaje:  $d$  (parsec) =  $1/p$  (segundos de arco), donde  $p$  es el ángulo de paralaje de la estrella.

**Parsec, pc** Unidad de distancia utilizada por los astrónomos y que equivale a la distancia a una estrella cuyo ángulo de paralaje es de 1 segundo de arco.

**Periodo,  $T$**  Tiempo que se tarda en completar una órbita (u otro suceso que se repite regularmente).

**Plasma** Estado de la materia que contiene una elevada proporción de partículas cargadas independientes (protones, iones y electrones).

**Presión de degeneración electrónica** Proceso que tiene lugar en el interior de las estrellas enanas blancas y que las mantiene estables, impidiendo su colapso.

**Presión de gas térmico (en una estrella)** Presión en una estrella debida al movimiento de las partículas en su interior.

**Presión de radiación** Presión en una estrella debida a la radiación que emite.

**Presión gravitatoria (en una estrella)** Presión que actúa hacia el interior de una estrella debida a las fuerzas gravitatorias.

**Radiación del fondo de microondas cósmico (CMB, por sus siglas en inglés)** Espectro de radiación electromagnética que se recibe de forma prácticamente equitativa desde todas las direcciones (véase *isótropo*) y cuya temperatura característica es de 2,76 K. La radiación CMB es una prueba experimental que corrobora el modelo del *Big Bang*.

**Relación masa-luminosidad** Las estrellas de la *secuencia principal* con más masa tienen mayores temperaturas y mayores tasas de fusión, lo que implica que sus vidas son más cortas. La ecuación que indica la relación aproximada entre masa y luminosidad es  $L \propto M^{3,5}$ .

**Relación periodo-luminosidad** Gráfica que se utiliza con las variables Cefeidas para determinar su luminosidad a partir del cono-

cimiento de las oscilaciones de su luminosidad, lo que permite determinar su distancia a la Tierra.

**Secuencia principal** Es la banda de estrellas estables situada entre el extremo superior izquierdo y el extremo inferior derecho del *diagrama Hertzsprung-Russell*. La mayoría de estrellas están situadas en la secuencia principal.

**Segundo de arco**  $\frac{1}{3600}$  de un grado.

**Sistema binario** Dos estrellas relativamente cercanas que orbitan alrededor de su centro de masas común.

**Sistema planetario** Un conjunto de masas (no estelares) que orbitan alrededor de una estrella individual.

**Sistema Solar** Está formado por el Sol y todos los objetos que orbitan a su alrededor.

**Sol** El objeto alrededor del cual orbita la Tierra. Una estrella de la *secuencia principal*.

**Supercúmulo (de galaxias)** Grupo de los cúmulos de galaxias. Pueden ser las mayores "estructuras" en el universo.

**Supernova** Explosión estelar repentina, impredecible y muy luminosa. Las supernovas de tipo Ia tienen una luminosidad conocida, lo que las hace muy prácticas como *velas estándar*.

**Trayectoria de la evolución estelar** Representación sobre el *diagrama HR* de los cambios que tienen lugar en la temperatura y la luminosidad de una estrella después de abandonar la secuencia principal.

**Unidad astronómica (UA)** Unidad de distancia utilizada por los astrónomos y que equivale a la distancia media acordada entre el Sol y la Tierra.

**Universo** Toda la materia, el espacio y la energía existentes; también se denomina cosmos. Pueden existir muchos universos.

**Universo (observable)** La parte de nuestro universo que en teoría podemos observar desde la Tierra en este instante. Lo que podemos observar está limitado por la edad del universo y la velocidad de la luz.

**Universo acelerado** La velocidad de recesión de las galaxias lejanas (determinada a partir del desplazamiento hacia el rojo de las supernovas de Tipo Ia) proporciona pruebas de que la velocidad de expansión del universo va en aumento.

**Velas estándar** Término usado por los astrónomos para describir el modo en que se puede estimar la distancia a una galaxia a partir de la luminosidad de un determinado tipo de estrellas que hay en su interior (como las variables Cefeidas o determinado tipo de supernova).

**Velocidad de recesión** Velocidad con la que una galaxia (o una estrella) se aleja de la Tierra.

**Vía Láctea** Es la galaxia en la que se encuentra nuestro Sistema Solar.

## Nivel superior avanzado

En esta sección se recogen términos de la Opción D, secciones D4 y D5

**Anisótropo** Variable con la dirección. Compárese con *isótropo*.

**Ciclo protón-protón** Véase *fusión nuclear del hidrógeno*.

**COBE, Explorador del fondo cósmico (por sus siglas en inglés)** Satélite lanzado en 1989 para estudiar la radiación del fondo de microondas cósmico.

**Criterio de Jeans** Condición necesaria para la formación de una estrella: el colapso de una nube interestelar para formar una estrella solo puede comenzar si su masa  $M > M_J$ , donde  $M_J$  se conoce como masa de Jeans.

**Curva de rotación** Gráfica que representa la variación de la velocidad de rotación de las estrellas con la distancia al centro de la galaxia. La física clásica predice que las velocidades cercanas al centro de la galaxia vienen dadas por  $v = \sqrt{\frac{4\pi G\rho}{3}}r$  y que a dis-

tancias mayores  $v \propto \sqrt{\frac{1}{r}}$ , pero las curvas teóricas no concuerdan con las observaciones.

**Densidad crítica (del universo),  $\rho_c$**  Densidad teórica para la que se comenzaría a detener la expansión del universo tras un tiempo infinito. La ecuación  $\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$  se puede derivar a partir de la teoría física clásica.

**Desplazamiento hacia el rojo, cosmológico** El desplazamiento hacia el rojo se debe al hecho de que la fuente y el observador se han expandido durante el tiempo transcurrido entre la emisión de la radiación y su recepción. Es una prueba experimental del modelo del *Big Bang*.

**Desplazamiento hacia el rojo, efecto Doppler** Desplazamiento hacia el rojo debido al hecho de que el observador y la fuente se alejan (en un espacio invariable).

**Fusión nuclear del hidrógeno** Es la principal fuente de energía de las estrellas de la *secuencia principal*. La fusión del hidrógeno en helio tiene tres etapas que se representan en el *ciclo protón-protón*.

**Gráficas factor de escala cósmico-tiempo** Manera práctica de representación de los posibles futuros del universo, con energía oscura o sin ella.

**Homogéneo** Todas las partes son similares.

**MACHO (Objeto astrofísico masivo de halo compacto, por sus siglas en inglés)** Término general que se usa para cualquier tipo de cuerpo astrofísico masivo y que podría explicar la presencia aparente de materia oscura en el universo.

**Materia oscura** Materia que no se ha detectado directamente porque ni emite ni absorbe radiación. La existencia de materia oscura es necesaria para explicar las velocidades de rotación de las estrellas en el interior de las galaxias, superiores a las esperadas.

**Nucleosíntesis** La creación de los núcleos de los elementos químicos mediante la fusión o la captura de neutrones en el interior de las estrellas. En general, el colapso de las estrellas de la secuencia principal con mayores masas da lugar a temperaturas más elevadas y, como consecuencia, los núcleos poseen energías cinéticas mayores, lo que les permite superar las enormes fuerzas de repulsión eléctricas asociadas a la fusión de los elementos más pesados.

**Observatorio espacial Planck (Misión Planck)** Satélite lanzado en 2009 cuyo principal objetivo era el estudio de las variaciones en la radiación CMB y cuya resolución era mucho mejor que la alcanzada por los primeros satélites.

**Principio cosmológico** El universo es homogéneo e isotrópico (a gran escala).

**Proceso r (captura de neutrones rápidos)** Nucleosíntesis relativamente rápida de los elementos más pesados. Se produce en supernovas con temperaturas y densidades electrónicas elevadas, de forma que las capturas de neutrones son más probables que las desintegraciones beta.

**Proceso s (captura de neutrón térmico)** Nucleosíntesis relativamente lenta de elementos pesados (pero ninguno de ellos más pesado que el Bi-209) que tiene lugar en algunas gigantes rojas, en las que las capturas de neutrones son menos probables que las desintegraciones beta.

**Radiación del fondo de microondas cósmico (CMB), fluctuaciones de la Minúsculas variaciones en la radiación CMB (*anisotropías*) que ofrecen pruebas experimentales sobre el universo primigenio.**

**Sesgo cognitivo** Se produce cuando el juicio de una persona se ve influido erróneamente por sus propias experiencias y opiniones.

**Supernova, Tipo Ia** Se produce cuando dos estrellas de un sistema binario se unen de forma que la *presión de degeneración electrónica* ya no es suficiente para impedir el colapso del sistema. Como solo ocurre cuando el sistema ha adquirido una determinada masa (bien conocida), las luminosidades de las supernovas de tipo Ia son siempre aproximadamente las mismas y se pueden utilizar como *velas estándar*.

**Supernova, Tipo II** Se produce al final de la vida de una supergigante roja y su resultado es una *estrella de neutrones* o un *agujero negro*.

**Temperatura del universo (media)** Disminuye a medida que el universo se expande y el factor de escala cosmológico aumenta:  $T \propto \frac{1}{R}$ .

**Universo abierto ( $\rho < \rho_c$ )** Un posible futuro en el que el universo sigue expandiéndose de forma indefinida.

**Universo cerrado ( $\rho > \rho_c$ )** Un posible futuro en el que el universo se deja de expandir y comienza a contraerse, para acabar al cabo del tiempo en una «Gran contracción (*Big Crunch*)».

**Universo isotrópico** Lo que podemos observar es esencialmente lo mismo en todas direcciones. Esto implica que el universo no tiene ni centro ni bordes.

**Universo plano ( $\rho = \rho_c$ )** Un posible futuro en el que el universo se aproxima a un tamaño limitado en un tiempo infinito.

**Vida de una estrella de la secuencia principal** Depende de su masa. Una masa mayor significa una tasa de fusión mayor y una vida más corta.  $T \propto \frac{1}{M^{2.5}}$

**WIMP (Partículas masivas que interactúan débilmente, por sus siglas en inglés)** Término general que se utiliza para las partículas (actualmente no detectadas) que podrían explicar la aparente presencia de materia oscura en el universo.

**WMAP (Sonda de anisotropía de microondas Wilkinson)** Satélite lanzado en 2001 cuyo principal objetivo era el estudio de las variaciones en la radiación CMB.