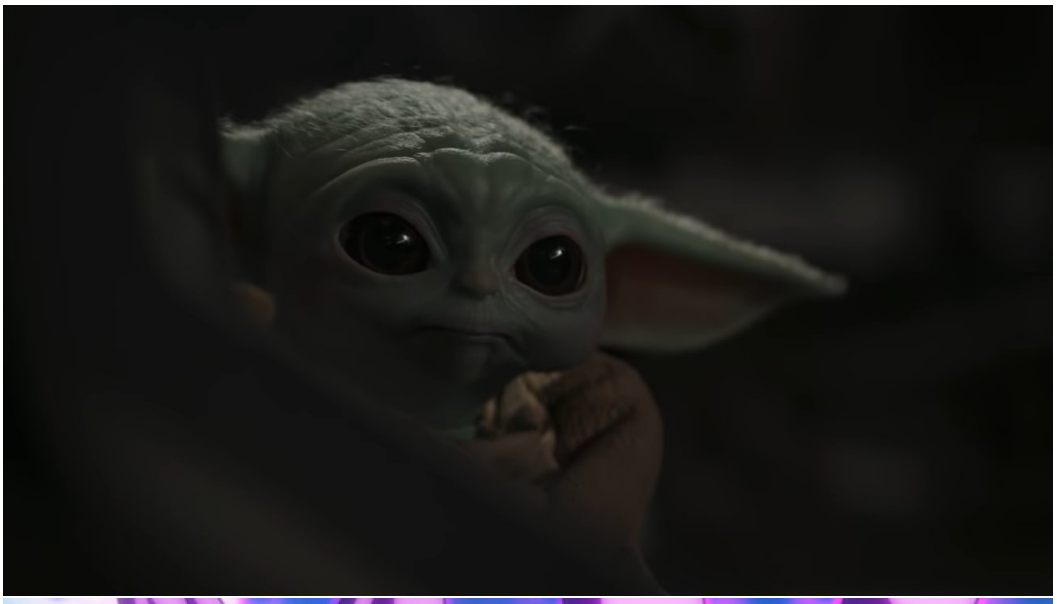
Física 3° ESO

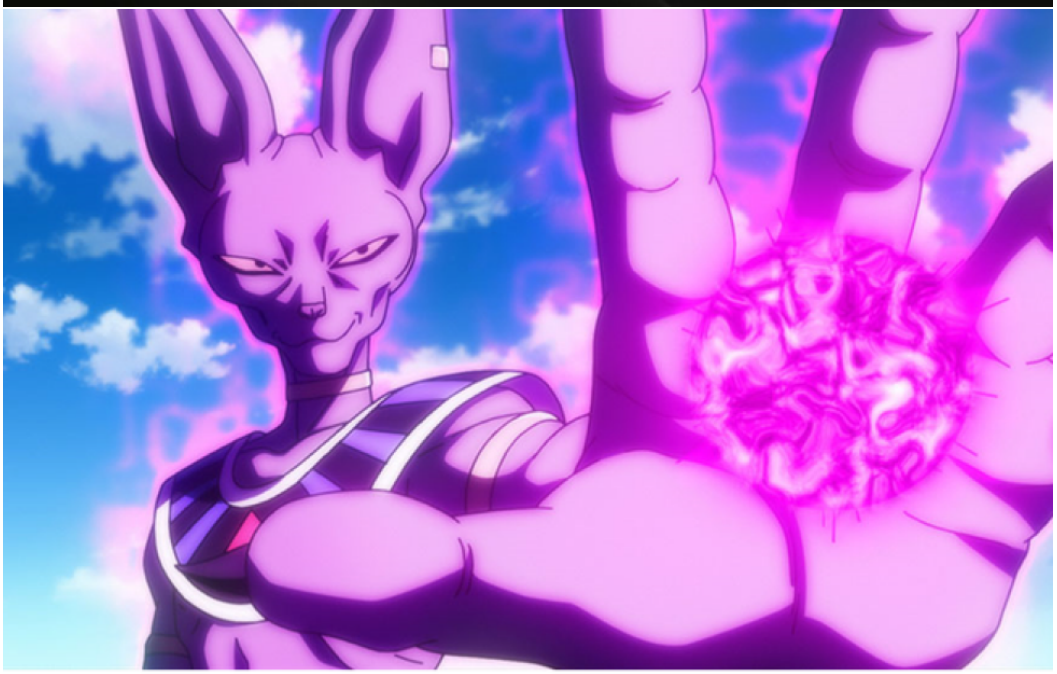
The Strange Doctor

Multiverse of Madness

Аннотация

Resumen con LaTeX en español de algunas fórmulas y deduccciones del tema de Física a nivel 3° ESO: cinemática (MRU, MRUA), y dinámica (fuerzas, composición y tipos de fuerzas).





Índice

1 El método científico (repaso) 3

2 Ciencia: Algunas definiciones adicionales 4

3 Movimiento y trayectoria 5

4 Magnitudes cinemáticas 5

5 MRU: Movimiento Rectilíneo Uniforme 6

6 MRUA 6

7 Gráficas del MRU y MRUA 6

8 Fuerzas 7

9 MCU(ampliación, no entra en tercero de la ESO) 10

10 MCUA(ampliación, no entra en tercero de la ESO) 10

11 Energía 10

12 Ondas 13

12.1 Ondas y su descripción 14
12.2 Ondas electromagnéticas y gravitacionales 14
12.3 Tipos de onda 14
12.4 Ondas sonoras y sonido 15
12.5 La luz 18
12.6 Propiedades generales de las ondas 18

13 Conceptos (repaso y ampliaciones) 19

1 El método científico (repaso)

¿Qué es el método científico? En este curso tomamos como definición la siguiente:

Es un PROCEDIMIENTO para la adquisición, organización, comprobación, transmisión y conservación (preservación) del CONOCIMIENTO. Está basado en la INTUCIÓN, la LÓGICA, el PENSAMIENTO, la RAZÓN Y LA EXPERIENCIA.

En cualquier momento, dicho procedimiento o método comunica o es capaz de comunicar sus resultados, de forma que se revisan y corrigen los posibles ERRORES.

La corrección de errores y de los resultados (o del método) requiere la REPRODUCIBILIDAD y COMPROBACIÓN DE LOS DATOS o conclusiones de forma INDEPENDIENTE.

En cualquier momento del proceso puede producirse la PUBLICACIÓN Y COMUNICACIÓN DE LOS RESULTADOS EN FORMA DE DATOS, o DESCUBRIMIENTOS, Y/O MODELOS/TEORÍAS/LEYES/PRINCIPIOS, incluso AXIOMAS en Matemáticas, O BIEN nuevas hipótesis o CONJETURAS.

En su versión moderna, comenzó con Galileo Galilei: "(...)Egli è scritto in lingua matematica(...)"

El método científico utiliza las Matemáticas desde entonces pero se fundamenta en la observación de la Naturaleza, los fenómenos naturales, las regularidades y anomalías que en ellos se producen. Está originado por la CURIOSIDAD.

En general, podemos considerar que el método científico está formado por una serie de etapas o pasos. A saber:

- 1. OBSERVACIÓN DE LOS FENÓMENOS NATURALES, sus PATRONES LÓGICOS/TEÓRICOS y las anomalías en los mismos.

- 2. ELABORACIÓN DE HIPÓTESIS CIENTÍFICAS, por inferencia o inducción lógica, en ocasiones por pura intución o sentido común, que se pueden comprobar/verificar o refutar/invalidar, mediante SIMULACIONES COMPUTACIONALES Y TEÓRICAS (en ordenadores, computadoras,...),mediante "experimentos mentales"/"thought experiments"/gedanken experiments.
- 3. Diseño y REALIZACIÓN DE EXPERIMENTOS CIENTÍFICOS, que nos proporcionan DATOS experimentales en laboratorios. Los datos son habitualmente NÚMEROS (cantidades) y las magnitudes físicas de los datos son PROPIEDADES(cualidades) que pueden ser medidas o cuantificadas.
- 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS EXPERIMENTALES mediante pensamiento lógico, matemático y razonado o intuitivo. Esto nos lleva a la refutación/invalidación de la/s hipótesis o la COMPROBACIÓN/VERIFICACIÓN de la/s hipótesis o conjeturas.
- 5. ELABORACIÓN DE UN MODELO.
- 6. FORMULACIÓN DE UNA TEORÍA.
- 7. ESTABLECIMIENTO DE LEYES Y PRINCIPIOS.
- 8. ENUNCIADO DE AXIOMAS Y POSTULADOS.

Comentario: Los pasos o etapas del método científico no siguen necesariamente el orden anterior. Por ejemplo, uno puede comenzar con una teoría y estudiar posibles nuevos fenómenos a observar en vez de elaborar la teoría a partir de la síntesis de unos fenómenos u observaciones.

2 Ciencia: Algunas definiciones adicionales

1) Una **conjetura** es un modelo incompleto, o una analogía (comparación) con otro dominio. Ejemplos: el llamado desplazamiento hacia el rojo cosmológico está causado por la luz que pierde energía cuando viaja a través del espacio (conjetura de la "luz cansada"), las leyes de la Física son constantes en el tiempo y el espacio en todo el Universo (hipótesis de universalidad o uniformización), las especies evolucionan a estadios superiores (evolución).

2) Una **hipótesis** (o conjetura verosímil) es un modelo basado en todos los datos de un determinado dominio, sin contraejemplos e incorporando una nueva predicción que debe ser validad por hechos empíricos o experimentales (o bien lógico-formales en un sistema axiomático usado en las Matemáticas). Ejemplos: el envejecimiento mental puede ser retrasado mediante el uso del "úsalo o piérdelo", "el desplazamiento hacia el rojo es un desplazamiento Doppler".

3) Una **teoría** es una hipótesis refrendada o validada con al menos un dato, idea o predicción no trivial. Ejemplos: relatividad, Cosmología del Big Bang, teoría de la Evolución, teoría cinético-molecular, teoría del caos,. . . .

4) Una **ley** es una teoría que ha recibido validación en todas las posibles ramificaciones y formas, y que es conocida y válida hasta cierto nivel de exactitud o aproximación. Ejemplos: Mecánica newtoniana, gravitación universal, ley de Henry, leyes de la Termodinámica.

5) Un **principio** es una ley verificada que usamos, sin demostrar, en la deducción de nuevas hipótesis o conjeturas, de nuevos fenómenos, por el método lógico-matemático-formal.

6) Un **axioma** es una regla matemática aceptada como universalmente cierta o verdadera. Ejemplo: la propiedad conmutativa de la suma, la propiedad distributiva, la existencia de un elemento neutro, el axioma de elección,. . .

7) Un **modelo** es una representación o "imagen", o aproximación simplificada, simplificación de un sistema (real o imaginario) que usamos para explicar su funcionamiento real (físico) o virtual (imaginario). Ejemplos: Modelo Estándar, Modelo Cosmológico Estándar, Modelo de Capas, Modelo de Bolas, Modelo de Cuerdas, Modelo de Thomson, Modelo de la partícula puntual. . .

8) **Ciencia** es cualquier área del saber que usa el método científico (y no un sucedáneo) para obtener conocimiento. ¡Rechaza imitaciones! No son ciencias ni la Astrología (sí lo es en cambio la Astronomía), ni la religión, ni sectas como la Cienciología y muchas otras "pseudociencias". Atención: esto no significa que la Ciencia pueda explicarlo todo, ni que ésas otras áreas de la Humanidad como la Religión, la Mitología, o la superchería no puedan tener aplicaciones, en ocasiones bastante terribles. Generalmente las ciencias se dividen en **exactas o naturales** e **inexactas o sociales** (aunque es una división algo ad hoc y tal vez obsoleta ya en los tiempos en que vivimos, cada vez más matematizados).

Del estudio del movimiento se encargan dos partes de la Física: la **Cinemática** y la **Dinámica**.

La Cinemática estudia y describe el movimiento SIN ATENDER a las causas que lo producen. La Dinámica estudia el movimiento ATENDIENDO a las causas que lo producen (las fuerzas o interacciones). La Cinemática y la Dinámica integran unidas una de las partes más importantes de la Física, llamada **Mecánica**.

3 Movimiento y trayectoria

Movimiento

Movimiento es todo cambio en la posición de un objeto, respecto de un punto y sistema de referencia. Un sistema de referencia es un sistema para localizar el punto, basado en un punto de origen, y una serie de objetos abstractos en general llamados vectores. Generalmente, la posición se especifica con una serie de números. Es por tanto lo que se llama una magnitud vectorial o vector.

Trayectoria

Trayectoria es el conjunto de puntos o lugar geométrico por los que pasa un móvil en su movimiento. Puede ser rectilínea (línea recta) o curvilínea (parabólica, hiperbólica, elíptica, lemniscática, ...)

4 Magnitudes cinemáticas

Desplazamiento

El desplazamiento es el cambio en la posición de un objeto. Respecto de un eje de coordenadas, X ó Y, puede ser denotado por

$$\Delta x = x - x_0 \quad \Delta y = y - y_0 \tag{1}$$

en donde x_0, y_0 son las posiciones iniciales en x e y del móvil o cuerpo(sistema) considerado. Se mide generalmente en metros en el S.I.

Velocidad media

Se llama velocidad media al ritmo de cambio del desplazamiento en un intervalo de tiempo dado $\Delta t = t - t_0$, donde t es el tiempo final y t_0 es el tiempo inicial. Matemáticamente, es el cociente

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0} \tag{2}$$

En el S.I., se mide generalmente en $m/s = m \cdot s^{-1}$, o también en km/h (ó m.p.h, millas por hora, en el mundo anglosajón). Es también una magnitud vectorial.

Aceleración media

Se llama aceleración media al ritmo de cambio de la velocidad en un intervalo de tiempo dado $\Delta t = t - t_0$, donde t es el tiempo final y t_0 es el tiempo inicial. Matemáticamente, es el cociente

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} \tag{3}$$

En el S.I. se mide generalmente en $m/s^2 = m \cdot s^{-2}$, aunque también se puede medir en cm/s^2. El cm/s^2 es una unidad usada en gravimetría y se denomina galileo (gal), $1gal = 1cm/s^2$. Es también, la aceleración, una magnitud vectorial.

5 MRU: Movimiento Rectilíneo Uniforme

El movimiento da lugar a que la posición cambie durante el tiempo. El conjunto de posiciones en un movimiento rectilíneo uniforme tiene aceleración nula y la trayectoria es una recta. Por tanto, las ecuaciones son:

$$a = 0m/s^2 = \text{constante} \tag{4}$$

$$v = (\text{constante}) \;\; m/s \tag{5}$$

$$x = x_0 + v(t - t_0) \;\; m \leftrightarrow \Delta x = v\Delta t \;\; m \tag{6}$$

6 MRUA

El movimiento que da lugar a que la posición cambie de forma no constante respecto del tiempo es un movimiento acelerado. Si la aceleración es constante, y la trayectoria rectilínea, tenemos un MRUA(Movimiento Rectilíneo Uniformemente acelerado). Matemáticamente, sus ecuaciones son:

$$a \neq 0m/s^2 = \text{constante} = a_0 \;\; m/s^2 \tag{7}$$

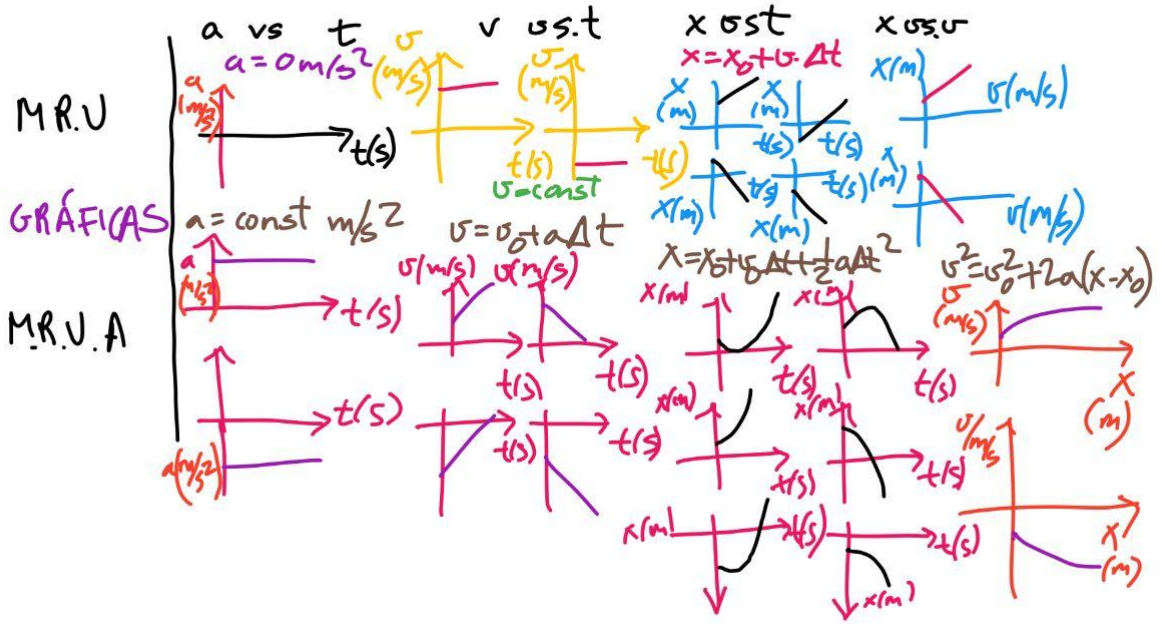
$$v \neq (\text{constante}) \longrightarrow v = v_0 + a(t - t_0)m/s \leftrightarrow \Delta v = a\Delta t \;\; m/s \tag{8}$$

$$x = x_0 + v(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2 \;\; m \leftrightarrow \Delta x = v\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2 \;\; m \tag{9}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \;\; m^2/s^2 \leftrightarrow \Delta(v^2) = 2a\Delta x \;\; m^2/s^2 \tag{10}$$

7 Gráficas del MRU y MRUA

A continuación, unos dibujos esquemáticos de cómo son cualitativamente las gráficas del MRU y del MRUA:



8 Fuerzas

La Dinámica se ocupa de estudiar el movimiento teniendo en cuenta la causa que lo producen: las fuerzas. hay dos tipos fundamentales de fuerzas:

- Fuerzas a distancia. Son las más fundamentales. En realidad se deben generalmente a las interacciones con partículas de campos de masa nula. Son la gravedad, el electromagnetismo y la interacción nuclear fuerte. En menor medida, la interacción nuclear débil se debe a la interacción a distancia de partículas con masa.
- Fuerzas de contacto. Son las más usuales y frecuentes. Ejemplo: la fricción, las fuerzas de deformación en sólidos y fluidos, y otras varias.

Fuerza

Fuerza es todo agente o causa capaz de modificar el estado de reposo o de MRU de un cuerpo. Matemáticamente, la segunda ley de Newton dice que la suma o resultante de todas las fuerzas es igual al producto de la masa por la aceleración que le produce al cuerpo o sistema

$$\sum F = \sum_{i=1}^{n} F_i = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = ma \tag{11}$$

Las unidades de fuerza son los newton en el S.I. y las dinas en el sistema C.G.S. $1N = 1kg \cdot 1m/s^2$. Y también $1dina = 1g \cdot 1cm/s^2$. $1N = 10^5 dinas$. Otras unidades de fuerza son el kilogramo-fuerza o kilopondio kp, donde $1kp = 9{,}8N$. Las fuerzas son magnitudes vectoriales, y se suman vectorialmente.

Como la fuerza es un vector, la "suma" de fuerzas es un proceso vectorial. Casos particulares usuales de suma de fuerzas:

- La suma de fuerzas en la misma dirección y sentido es igual a la suma de las fuerzas:$F = F_1 + F_2$.
- La suma de fuerzas en la misma dirección y sentidos opuestos es igual a la resta o diferencia de las fuerzas: $F = F_1 - F_2$.
- La suma de fuerzas perpendiculares u ortogonales es igual a la suma pitagórica $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$. O también $F^2 = F_1^2 + F_2^2$.

Un caso particular de fuerza es el peso. El peso es la fuerza con la que la Tierra (o más generalmente un planeta o cualquier cuerpo celeste) atrae a los cuerpos en su superficie. Matemáticamente, el peso es

Peso

El peso es una fuerza igual al producto de la masa del cuerpo por la aceleración de la gravedad g.

$$P = mg \tag{12}$$

El peso está relacionado con la Ley de Gravitación Universal de Newton:

$$F = G\frac{Mm}{R^2}$$

donde F es la fuerza con la que se atraen (la gravedad es siempre una fuerza atractiva) dos masas M, m en kilogramos, situadas a una distancia R en metros. La constante G es la llamada constante de gravitación universal de Newton, que vale en unidades del S.I.:

$$G = G_N = 6{,}674 \cdot 10^{-11} Nm^2/kg^2$$

Una fuerza muy similar a esta gravedad universal es la fuerza eléctrica entre cargas puntuales. La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales Q, q viene dada por la expresión de la Ley de Coulomb

$$F_e = K_C\frac{Qq}{R^2}$$

donde ahora Q, q son cargas expresadas en culombios (C), F_e es la fuerza eléctrica (que puede ser atractiva si las cargas son de diferente signo o repulsiva si las cargas son de igual signo), R es de nuevo la distancia entre cargas en metros y la constante de Coulomb es en el S.I.:

$$K_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 Nm^2/C^2$$

La carga eléctrica está cuantificada en la Naturaleza: es siempre un múltiplo de una unidad fundamental que podemos tomar como la carga del electrón (ó 1/3 de su valor si tomamos de referncia la carga eléctrica del quark más simple):

$$Q = Ne$$

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} C$$

Otra magnitud dinámica útil es el momento o momento lineal (cantidad de movimiento, ímpetu o impulso son otros nombres dados a esta cantidad a lo largo de la historia de la Física):

Momento lineal

El momento lineal, ímpetu o cantidad de movimiento, es la producto de la masa por la velocidad de un cuerpo. Matemáticamente:

$$p = mv \tag{13}$$

Sus unidades en el S.I. son los $kg \cdot m/s = N \cdot s$. La utilidad del momento es que permite reescribir la segunda ley de Newton de una forma incremental

$$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = ma \tag{14}$$

Nota que esta ley es la más general relación, siendo solamente igual a $F = ma$ cuando la masa no varía, que es el caso más habitual pero no el más general posible.

Una máquina es una artefacto que transforma fuerzas o energías de diferente tipo. Existen máquinas térmicas, mecánicas, electromecánicas, etc. Las máquinas puedes ser simples o compuestas. Ejemplos de máquinas simples: la palanca, el plano inclinado y la polea. Además son máquinas mecánicas sin motor estas tres.

Ley de la palanca

El producto de la fuerza de cada barra de una palanca por la longitud de su brazo es constante (llamado también momento de una fuerza). Matemáticamente:

$$F_1 d_1 = F_2 d_2 \tag{15}$$

La fuerza aplicada a una palanca se denomina potencia, y la que queremos vencer resistencia. El punto de apoyo de la palanca se suele denominar fulcro. La distancia del fulcro al punto de apoyo se denomina brazo de la palanca. Para un plano inclinado de altura h y longitud de cuña inlcinada d, se cumple que el producto de la fuerza F por la distancia d equilibra el peso o resistencia R a una altura h: $Fd = Rh$.

Es curiosa la similitud formal entre la Ley de Gravitación Universal y la Ley de Coulomb, pero hay diferencias notables, como es la intensidad relativa de las fuerzas. Esto puede verse comparando la fuerza eléctrica entre dos electrones a la misma distancia con la fuerza gravitacional:

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{K_C e^2}{G_N m_e^2} \approx 4{,}2 \cdot 10^{42}$$

Las fuerzas eléctricas o gravitacionales llevan asociadas cantidades conservadas, denominadas energía mecánicas. Eso permite definir un potential. Para el caso eléctrico, el potencial eléctrico se relaciona con la intensidad de corriente eléctrica mediante una ley conocida como ley de Ohm:

Ley de Ohm

Para un conductor lineal u óhmico, se satisface la ley de Ohm, que indica que el producto de la intensidad de corriente eléctrica I, en amperios en el S.I., por la resistencia eléctrica, R, en ohmios Ω en el S.I., es igual al potencial eléctrico V, en voltios ($1V = 1A \cdot 1\Omega$):

$$V = IR \tag{16}$$

La suma de varias resistencias en serie, se suman como sumamos otras cantidades aditivas

$$R_t = \sum_i R_i = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \rightarrow R = R_1 + R_2, .$$

pero la suma de resistencias en paralelo usa una ley de reciprocidad

$$\frac{1}{R_t} = \sum_i \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \cdot + \frac{1}{R_n} \rightarrow R_t = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \text{si n=2.}$$

9 MCU(ampliación, no entra en tercero de la ESO)

$$\alpha = 0 rad/s^2 = \text{constante} \tag{17}$$
$$\omega = (\text{constante}) \;\; rad/s \tag{18}$$
$$\varphi = \varphi_0 + \omega(t - t_0) \;\; rad \leftrightarrow \Delta\varphi = \omega\Delta t \;\; rad \tag{19}$$
$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \;\; m/s^2 \neq 0(\text{constante}) \tag{20}$$
$$s = \varphi R \;\; m \leftrightarrow \Delta s = \Delta\varphi R, \Delta s \neq (constante) \;\; \text{pero} \;\; R = \text{constante} \tag{21}$$
$$v = \omega R \;\; m/s \;\; v = constante \tag{22}$$
$$N = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \tag{23}$$
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \;\; s \tag{24}$$
$$f = \frac{1}{T} \;\; s^{-1}(Hz) \tag{25}$$
$$\omega = 2\pi f \;\; rad/s \tag{26}$$

10 MCUA(ampliación, no entra en tercero de la ESO)

$$\alpha \neq 0 rad/s^2 = \text{constante} \tag{27}$$
$$\omega \neq (\text{constante}) \longrightarrow \omega = \omega_0 + a(t - t_0) rad/s \leftrightarrow \Delta\omega = \alpha\Delta t \;\; rad/s \tag{28}$$
$$\varphi = \varphi_0 + \omega(t - t_0) + \frac{1}{2}\alpha(t - t_0)^2 \;\; rad \leftrightarrow \Delta\varphi = \omega\Delta t + \frac{1}{2}\alpha(\Delta t)^2 \;\; rad \tag{29}$$
$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\alpha(\varphi - \varphi_0) \;\; rad^2/s^2 \leftrightarrow \Delta(\omega^2) = 2\alpha\Delta\varphi \;\; rad^2/s^2 \tag{30}$$
$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \;\; m/s^2 \neq 0(\text{no constante}) \tag{31}$$
$$a_t = \alpha R \;\; m/s^2(\text{constante}) \tag{32}$$
$$a^2 = a_c^2 + a_t^2 \;\; m^2/s^4(\text{aceleración total no constante}) \tag{33}$$
$$a^2 = R^2(\omega^4 + \alpha^2) \;\; m^2/s^4(MCUA) \tag{34}$$

11 Energía

El concepto de energía subyace al de fuerza y, en cierto momento, es fundamental.

Definición de energía

Energía es la capacidad de un sistema, material o no, para producir cambios o desplazamientos en otro sistema o sobre sí mismo. Energía, así, es la capacidad de realizar un "trabajo". Matemáticamente, trabajo es:

$$W = Fd = E \tag{35}$$

La energía y trabajo, en el sistema internacional o S.I., se mide en julios(J). Además, bajo circunstancias muy generales, la energía es una cantidad que ni se crea ni se destruye, solamente se transforma. Esta afirmación es el principio de conservación de la energía o Primera Ley de la Termodinámica.

Un sistema físico puede ser de diferente tipo de acuerdo al intercambio o no de materia y energía en forma de radiación. Así, se distinguen:

- Sistemas abiertos: intercambian materia y energía con el entorno.
- Sistemas cerrados: intercambian energía pero no materia con el entorno.
- Sistemas aislados: no intercambian ni energía ni materia con el entorno.

En un sistema aislado, la energía SIEMPRE se conserva.

Energía cinética

Se llama energía cinética E_c (kinetic energy) a la energía que posee un cuerpo en movimiento. Matemáticamente, para una partícula no relativista, que se mueve a velocidad pequeña en comparación a la velocidad de la luz, la energía cinética es:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \tag{36}$$

y donde v es la velocidad en metros por segundo, y m la masa de la partícula o sistema. En el caso no relativista, la energía cinética sería

$$E_c = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2 \tag{37}$$

donde $c = 299792458 \approx 300000000 m/s$ es la velocidad de la luz en el vacío.

Energía potencial

Ciertas fuerzas especiales, denominadas conservativas, tienen la capacidad potencial de producir cambios asociados a campos de fuerzas de forma permanente o continua al desplazarse entre diferentes localizaciones en el espacio. En el caso gravitacional, la energía potencial gravitacional en un punto situado a una distancia r del centro de fuerzas es

$$E_p(g) = -G_N\frac{Mm}{r} \tag{38}$$

En un punto cercano de la superficie de un cuerpo de simetría esférica como un planeta, esta expresión se reescribe como

$$E_p(g,h) = mgh \tag{39}$$

En el caso electrostático, se tiene una energía potencial

$$E_c(el) = K_C\frac{Qq}{r} = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r} \tag{40}$$

Y donde $G_N = 6{,}674 \cdot 10^{-11} Nm^2/kg^2$, $K_C = 9 \cdot 10^9 Nm^2/C^2$.

En el caso de fuerzas debida a cuerpos elásticos, las deformaciones si la fuerza fuerza sigue una ley de Hooke $F = k\Delta x$ producen cambios de energía potencial elástica:

Energía potencial elástica

La energía potencial elástica, de un cuerpo con constante de deformación k (N/m), es igual a

$$E_p(e) = \frac{1}{2}kx^2 \tag{41}$$

Las energías potenciales, o cinéticas, están definidas siempre salvo una constante arbitraria de referencia. La energía eléctrica está asociada a las corrientes o potenciales eléctricos, y las cargas eléctricas. La energía química está asociada a los enlaces químicos que mantienen unidos a los átomos en los compuestos químicos. La energía núclear está asociada a la energía que mantiene unido a los constituyentes del núcleo atómico mediante fuerzas nucleares.

Energía mecánica

Se llama energía mecánica a la suma de energía cinética y potencial, entendiendo energía cinética a la total de todas las partículas o sistemas que pueda tener, y energía potencial como la energía de todos los posibles tipos de fuerzas que posean energía potencial. Matemáticamente:

$$E_m = E_c + E_p = \sum_i E_c(i) + \sum_j E_p(j) \tag{42}$$

Energía térmica

Se llama energía térmica a la energía asociada al movimiento de las partículas constituyentes del sistema, y su agitación desordenada. Es decir, las fluctuaciones en la posición de las partículas genera un movimiento caótico que define la energía térmica y la temperatura absoluta en virtud de la teoría cínético-atómico-molecular. Matemáticamente:

$$E_c = E_Q = \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}k_B T \tag{43}$$

y donde $k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23} J/K$ es la constante de Boltzmann, y T la temperatura es escala absoluta o de Kelvin, medida en kelvin.

Escalas termométricas

Generalmente, las 3 escalas termométricas más usadas para medir la temperatura son la escala absoluta o Kelvin (unidades grados Kelvin o kelvin), la escala centígrada (unidades grados Celsius o celsius) y la escala anglosajona de grados Fahrenheit (unidades grados Fahrenheit o fahrenheit). Para pasar de una a otra se usan las expresiones

$$T(K) = T(^\circ C) + 273 \leftrightarrow T(^\circ C) = T(K) - 273 \tag{44}$$

$$\frac{T(^\circ C)}{100} = \frac{T(^\circ F) - 32}{180} \leftrightarrow T(^\circ F) = 32 + T(^\circ C) \cdot 1{,}8 \tag{45}$$

Existe una relación entre los conceptos explicados de energía térmica o calor, trabajo, mediante la idea de energía en tránsito o movimiento. Dos cuerpos a diferente temperatura intercambian calor hasta que se alcanza el equilibrio térmico y las temperaturas de ambos se igualan o balancean. El calor se medía tradicionalmente en unidades llamadas calorías. Hoy día, se usan los julios gracias a la equivalencia mecánica del calor dada por:

$$1cal = 4{,}186J \leftrightarrow 1J = 0{,}239cal \approx 0{,}24cal$$

Aunque calor y temperatura son magnitudes distintas, al medirse de hecho en sistemas diferentes de unidades, están relacionadas, por medio de la equivalencia mecánica del calor y por la interpretación microscópica de la temperatura, debidas respectivamente a Joule y a Boltzmann. El calor, además, produce una serie de efectos físicos en la materia:

- Variación de temperatura. $\Delta Q = C\Delta T = mc_e\Delta T$.
- Cambios de estado. $\Delta Q = mL$.
- Variaciones de dimensiones, mediante contracción o dilatación. Si la dilatación es lineal

$$\frac{\Delta L}{L} = h = \varepsilon_t = \alpha_L \Delta T$$

donde α_L es el coeficiente de dilatación lineal y h es el "strain" (estiramiento). En el caso de una dilatación superficial, se tiene que

$$\frac{\Delta A}{A} = \alpha_A \Delta T = \beta \Delta T$$

y donde β es el coeficiente de dilatación superficial. Finalmente, en el caso de un cambio de dimensiones volúmico, se tiene que

$$\frac{\Delta V}{V} = \gamma \Delta T$$

y donde γ es el coeficiente de dilatación volúmico. Para materiales isótropos, se cumple que $\alpha_V = \gamma = 3\alpha_L$, ya que si $V = L^3$, usando el binomio de Newton:

$$V + \Delta V = (L + \Delta L)^3 = L^3 + 3L^2\Delta L + 3L\Delta L^2 + \Delta L^3 \simeq V + \frac{3V\Delta L}{L}$$

Y similarmente se podría demostrar que $\beta = 2\alpha_A$.

El calor también produce cambios químicos o reacciones químicas en algunas sustancias o sistemas materiales. El calor puede propagarse y transmitirse por diferentes medios:

- Conducción: mecanismo de transferencia de calor fundamentalmente en sólidos. No hay transporte de materia.
- Convección: mecanismo de transferencia de calor fundamentalmente en fluidos. Hay transporte de materia. Está asociado a los cambios de densidad del sistema.
- Radiación: mecanismo de transferencia de calor en el vacío, en ausencia de material, mediante ondas electromagnéticas (o gravitacionales o de otro tipo). La radiación también se produce en medios que no sean el vacío. Todos los cuerpos emiten una radiación característica por el hecho de poseer una temperatura. Esta radiación térmica se denomina radiación del cuerpo negro.

Según la capacidad de un sistema para transferir calor, los sistemas pueden ser:

- Aislantes térmicos: sistema que posee conducción muy lenta o nula.
- Conductores térmicos: sistema que posee conducción muy rápida del calor.
- Aislantes topológicos: sistemas que conducen en superficie pero no en el espacio sólido total el calor.
- Superconductores: aquellos sistemas que conducen el calor sin pérdidas. Son sistemas ideales.

Trabajo es la forma de transferencia de energía en un sistema que conlleva un desplazamiento entre partículas o sistemas. Una fuerza disipativa es aquella fuerza en el que parte de la energía se pierde en forma de energía térmica. Ejemplos de fuerzas disipativas son las fuerzas de rozamiento o fricción, y algunos tipos de fuerzas entre campos de fuerzas o en fluidos. En ausencia de fuerzas disipativas, se verifica el principio de conservación de la energía mecánica.

Teorema de conservación de la energía mecánica

La variación de energía mecánica es igual al trabajo que realicen las fuerzas disipativas. En ausencia de fuerzas disipativas, la variación de energía mecáncia es nula o cero, y la energía mecánica permanece constante:

$$\Delta E_m = W(F_d) \rightarrow E_m(\text{inicial}) = E_m(\text{final}), \text{si } F_d = 0 \tag{46}$$

12 Ondas

Una onda es la propagación dinámica de una perturbación, roto un equilibrio, de un medio con cierta propiedad de periodicidad y descrita matemáticamente por algún tipo de ecuación. No es preciso decir hoy día que una onda es la transmisión de una perturbación desde un punto o foco emisor, con trasporte de energía pero sin transporte de materia, porque dichos conceptos están relacionados. Hay varios tipos de ondas según dimensionalidad: unidimensionales, bidimensionales, tridimensionales,...Pero generalmente se distinguen dos categorías más fundamentales. Según la dirección de propagación vs. dirección de vibración de las partículas las ondas pueden ser longitudinales o transversales. Las ondas longitudinales son aquellas en las que las partículas vibran

en la misma dirección en la que se propagan (ondas sonoras, ondas sísmicas tipo P,...). Las ondas transversales son aquellas en las que las partículas vibran en una dirección perpendicular a la de propagación (ondas electromagnéticas, ondas gravitacionales, ondas sísmicas de tipo S,...). Según el medio en que se propagan pueden ser ondas mecánicas u ondas "en el vacío". Las ondas en el vacío pueden ser electromagnéticas, electrodébiles, gravitacionales, ondas de color en la interacción nuclear fuerte, las ondas del campo de Higgs y otras varias.

12.1 Ondas y su descripción

Las ondas se especifican mediante una serie de magnitudes:

- Amplitud (A). Es la máxima separación de puntos que oscilan respecto su posición de equilibrio. Se mide en metros en el S.I.
- Longitud de onda (λ). Es la distancia entre dos máximos o dos mínimos con igual elongación (separación respecto respecto de posición de equilibrio) y estado de vibración. Se mide en metros en el S.I.
- Período T. Es el tiempo que tarda una onda en recorrer una distancia igual a su longitud de onda.
- Frecuencia f. Es el número de oscilaciones por segundo o número de longitudes de onda que atraviesa la onda cada segundo. Su unidad es el hertzio (Hz). $f = 1/T = \omega/2\pi$. ω es la frecuencia angular de la onda en radianes por segundo (rad/s).
- Número de onda k. Es una suerte de periodicidad espacial de la onda, es el número de longitudes de onda por cada metro. $\overline{k} = 1/\lambda = k/2\pi$. k es le número de onda angular medido en rad/m.
- Velocidad de propagación V_P. Es la velocidad con la que se desplaza la perturbación ondulatoria. Es diferente en general a la velocidad de fase o de vibración de un punto de la onda y puede ser también diferente a la velocidad de un grupo de ondas emitidas en paquetes, llamada velocidad de grupo. Se mide en m/s. Matemáticamente: $v_p = \lambda f = \omega/k$, para una onda "plana" y "armónica", en la que la velocidad de grupo y de propagación coinciden. La relación entre ω y k, definida como una función $\omega(k)$ se llama generalmente reelación de dispersión de la onda. En ondas no lineales puede ser una expresión complicada y compleja.

12.2 Ondas electromagnéticas y gravitacionales

Las ondas electromagnéticas son una forma de transmisión del calor mediante radiación. También las ondas gravitacionales y otras ondas como las ondas escalares del campo de Higgs, y otras varias. En las ondas electromagnéticas, lo que oscila no es materia sino campos eléctricos y magnéticos "en el vacío" u otro medio material. En el caso de las ondas gravitacionales, lo que oscila no es materia sino es espacio-tiempo mismo (la gravedad es un efecto de la distorsión o "warp" del espacio-tiempo). En el caso del campo de Higgs, lo que oscila es un campo abstracto que permea el vacío en todo el espacio tiempo, cuyas interacciones con él producen la masa de las partículas elementales subatómicas. La masa de objetos no fundamentales proviene por una parte del campo de Higgs, y por otra parte de la dinámica de la interacción nuclear fuerte y su campo gluónico de color.

12.3 Tipos de onda

Según la dirección de vibración y propagación:

- Ondas longitudinales. Son aquellas en las que la velocidad de vibración y propagación son paralelas. Ejemplos: sonido, ondas sísmicas de tipo P.
- Ondas transversales. Son aquellas en las que la velcoidad de vibración y propagación son perpendiculares. Ejemplos: ondas en una cuerda, luz (onda electromagnética), ondas electromagnéticas arbitrarias (rayos X, rayos gamma, ondas de radio, microondas,...), ondas gravitacionales, ...

Según el medio en que se propagan:

- Ondas mecánicas. Son también llamadas ondas materiales, y necesitan medio material para propagarse. Ejemplos: ondas sonoras, ondas en una cuerda, ondas de presión en un sólido o fluido,...

- Ondas electromagnéticas. Se propagan en el vacío.
- Ondas gravitacionales. Se propagan en el vacío.
- Ondas de campos materiales fundamentales (espinoriales). Son ondas de campos de materia. La materia de estos, fundamentales si no entidades compuestas como los hadrones, viene de interacción con el campo de Higgs.
- Ondas de campos bosónicos (ondas del campo de Higgs, ondas W, Z, ondas de color). Se propagan en el vacío, pero son de corto alcance, en el caso de la interacción nuclear, salvo el caso del Higgs, cuyo valor de vacío permea todo el Universo.

Según la dimensionalidad de la onda: pueden ser unidimensionales (1d), bidimensionales (2d), tridimensionales(3d), tetradimensionales(4d),. . . , n-dimensionales (nd).

12.4 Ondas sonoras y sonido

El sonido es la propagación de la vibración de los cuerpos a través de un medio material como el aire, el agua,. . . El sonido tiene una serie de propiedades interesantes:

- Intensidad. Está relacionada con la energía que transporta la onda sonora. El término cotidiano de volumen es impreciso. La intensidad sonora se mide en escala de dB (decibelios).
- Tono. El tono está relacionado con la frecuencia de la onda sonora. El oido humano percibe generalmente frecuencias entre 20Hz y 20kHz. Las frecuencias bajas son graves, las frecuencias altas son agudas.
- Timbre. Si dos instrumentos musicales tienen o emiten la misma nota, con el mismo volumen, podemos diferenciarlos. Esto se debe a que las ondas que generan son diferentes y sus sonidos tienen distinto timbre.
- Reflexión y eco. Si el sonido alcanza una barrera, parte de la energía se transfiere a la pared, pero otra se refleja y vuelve. Este fenómeno se llama eco.
- La reverberación es el fenómeno que tiene lugar cuando el sonido en un lugar permanece como consecuencia de la llegada de diversas reflexiones. Es decir, la reverberación es la persistencia del sonido en un lugar como consecuencia de la superposición o unión de diferentes reflexiones del mismo.
- Velocidad de propagación. Depende de la densidad y temperatura del medio en general.

La contaminación acústica o ruido hace referencia al exceso de sonido molesto creado por la actividad humana o natural (explosión de volcán, etcétera). Los sonidos se clasifican según su intensidad sonora en una escala de **decibelios**.

140 dB	Disparo de escopeta / Umbral de dolor
130 dB	Avión despegando / fuegos artificiales
120 dB	Motor de avión / martillo neumático
110 dB	Concierto de rock
100 dB	Taladro
90 dB	Atasco de tráfico en una ciudad
80 dB	Tren / secador de pelo
70 dB	Tráfico tranquilo / aspiradora
60 dB	Conversación normal
50 dB	Sonido ambiental en una oficina
40 dB	Conversación susurrada / lluvia
30 dB	Sonido ambiental en el campo
20 dB	Estudio de grabación vacío
10 dB	Respiración tranquila
0 dB	Umbral de audición normal

El sonido es la propagación de la vibración de los cuerpos en un medio material. Es decir, las ondas acústicas o sonoras no son más que desplazamientos de los consituyentes de un cuerpo vibrante. El sonido no se propaga pues en el vacío. El sonido tiene puede contaminar, y entonces se le llama ruido sonoro o simplemente ruido(aunque la noción de ruido es más general):

- Contaminación acústica o ruido es el exceso de ondas sonoras molestas sobre las ondas de sonido con información o señales sonoras. En el sonido y otras ondas, existe una teoría y diferentes tipos del ruido.

Las magnitudes que tipifican o caracterizan las ondas son:

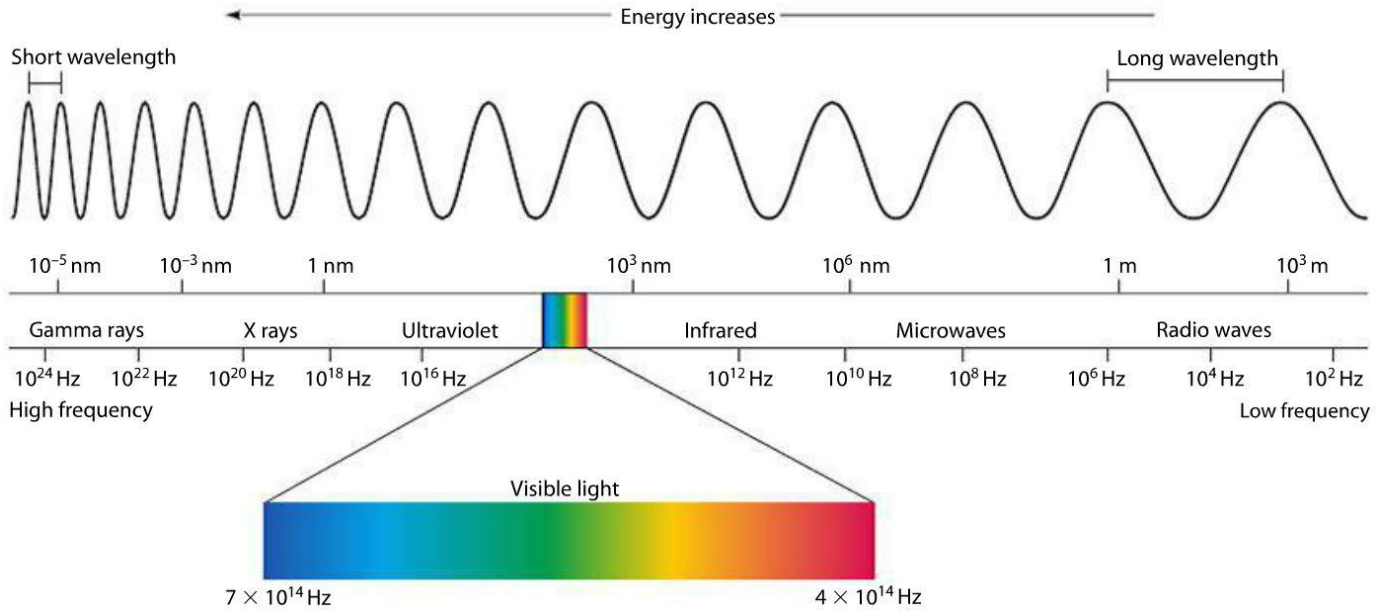
- Amplitud(A). Es la máxima separación de puntos que oscilan o vibran respecto a su posición de equilibrio. En el S.I. se mide en metros.
- Longitud de onda λ. Es la distancia mínima entre dos puntos con el mismo estado de vibración, equivalentemente, la mínima distancia entre dos crestas o valles. Unidades: metro.
- Período(T). Es el tiempo que tarda una onda en recorrer una longitud igual a su longitud de onda. Unidad: segundo (SI).
- Frecuencia(f): $f = 1/T$, es el número de oscilaciones que realiza en un segundo. Unidades: hertzio (Hz), 1 Hz=$1s^{-1}$.
- Frecuencia angular: $\omega = 2\pi/T$, número de vueltas circulares en un tiempo dado.
- Número de onda: $k = 2\pi/\lambda$, es la periodicidad espacial de la onda(unidades: radianes partido por metro, rad/m). El número de onda por oscilación circular, o bien, el desplazamiento de la onda por cada longitud de onda es el llamado número de onda. $\overline{k} = \dfrac{1}{\lambda}$. Unidades: m^{-1}.

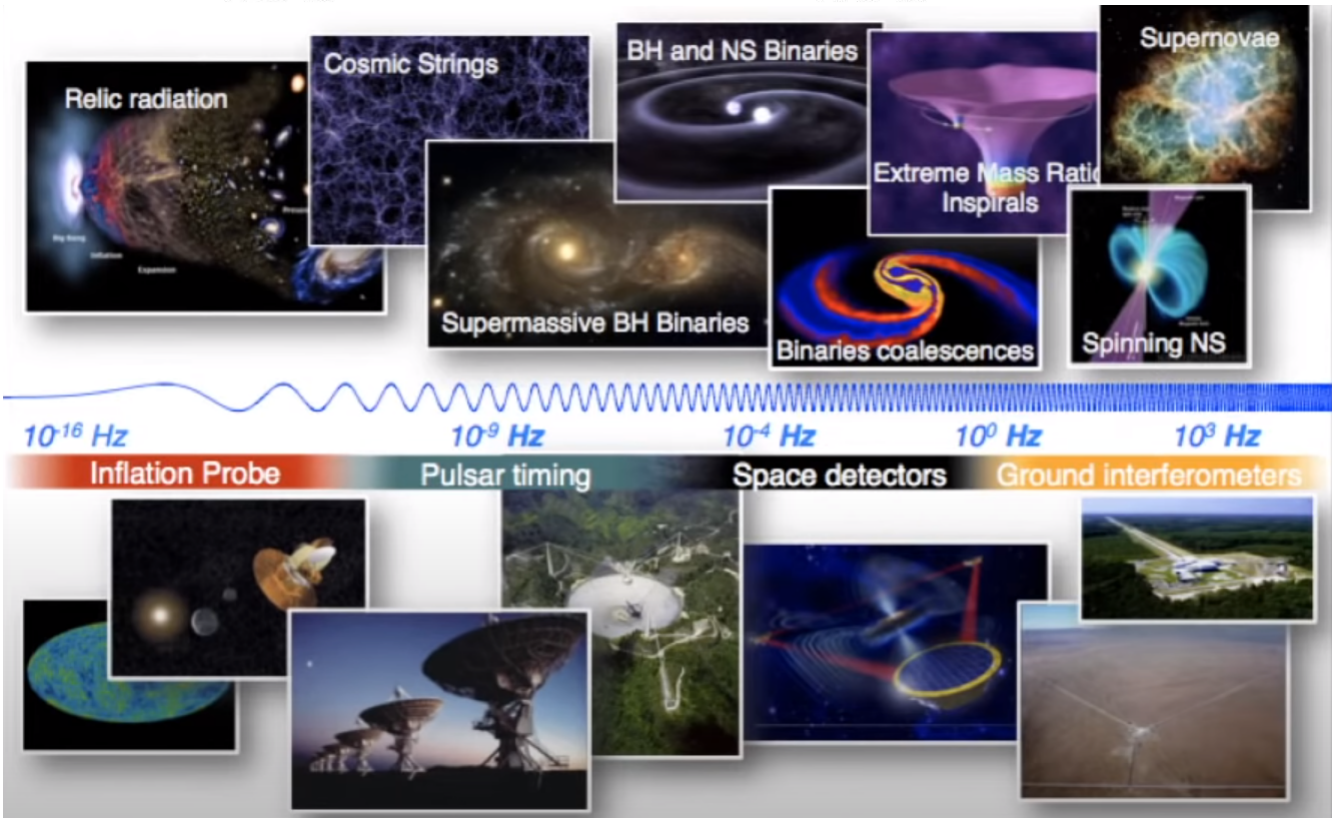
- Velocidad de propagación de la onda. $v_p = \lambda f = \dfrac{\omega}{k} = \dfrac{\lambda}{T}$, es la velocidad con la que se mueve o desplaza la onda.

Espectro electromagnético

El conjunto de todas las frecuencias (o longitudes de onda) de las ondas electromagnéticas se llama espectro electromagnético.

Frecuencias generales del visible están comprendidas entre unos 400 y 700 nanómetros. Según la opacidad de la luz, los cuerpos pueden ser transparentes, translúcidos u opacos. Generalmente, la luz se propaga en línea recta. A continuación una imagen del espectro de frecuencias electromagnético y gravitacional:





12.5 La luz

La luz, de acuerdo a los descubrimiento del siglo XIX, es una onda electromagnética en cierto rango de frecuencia (Maxwell sintetizó esta idea a partir de los descubrimientos electromagnéticos de Faraday). Las ondas electromagnéticas se emiten por cuerpos incandescentes, y se pueden entendere como un tipo de radiación térmica. El espectro visible es muy pequeño en comparación al espectro electromagnético total.

La velocidad de la luz depende del medio. Si el medio es el vacío, la luz se mueve a 299792458 m/s, aproximadamente 300000 km/s. Hay medios opacos a la luz, medios translúcidos y medios transparentes a la luz. Además, algunos materiales dejan pasar ciertas frecuencias y no todas. La luz se propaga de forma natural en línea recta, más generalmente emplea el mínimo tiempo para atravesar dos puntos. En un contexto relativista, la luz es afectada por la gravedad y se propaga de forma curvilínea en grandes distancias cósmicas cuando hay objetivos masivos en el espacio. Esto explica la sombra o umbra, y la penumbra

12.6 Propiedades generales de las ondas

Una onda arbitraria, no necesariamente luminosa/electromagnética, o sonora, se describe con un instrumento matemático llamado función de onda Ψ, y manifiesta los siguientes fenómenos físicos:

- Dimensionalidad.
- Ecuación de onda.
- Velocidad de fase, propagación y de grupo.
- Reflexión.
- Refracción.
- Eco y reverberación (ondas acústicas y otras ondas).
- Polarización (solamente ondas transversales).
- Linealidad/no linealidad.
- Interferencia y superposición.
- Difracción.
- Atenuación y amortiguamiento.
- Dispersión.
- Efecto Doppler.
- Forzamiento.
- Resonancia.
- Modulación y pulsación.

13 Conceptos (repaso y ampliaciones)

- **Magnitudes.**
  Se llama magnitud a todo aquello que es mensurable, es decir, a todo lo que se puede medir. Las magnitudes pueden ser fundamentales o derivadas. Hay 7 magnitudes fundamentales en el Sistema Internacional (S.I.) de unidades: longitud (L), tiempo (T), masa (M), temperatura absoluta (t), cantidad de sustancia (n), intensidad de corriente eléctrica (I) y la intensidad luminosa (I_L). Estas 7 magnitudes se miden, respectivamente, en las unidades siguientes: metro (m), segundo (s), kilogramo (kg), grado kelvin (K), mol (mol), amperio (A) y candela (cd). Ejemplos de magnitudes derivadas en el S.I. son: la velocidad, el área, el volumen, la presión, la aceleración, la carga eléctrica, la densidad,... Además hay toda una serie de prefijos para denotar múltiplos y submúltiplos en el S.I.

  Las magnitudes se pueden clasificar en escalares o vectoriales. Las magnitudes escalares quedan totalmente especificadas si aparte de la unidad correspondiente, damos un número. Por ejemplo, son escalares la temperatura, la densidad, la masa, el tiempo,... Las magnitudes vectoriales necesitan, aparte de un número, especificar una dirección, un sentido y un punto de aplicación. Matemáticamente, las magnitudes vectoriales son vectores con ciertas propiedades y físicamente pueden visualizarse como segmentos orientados en el espacio. Son vectoriales, exempli gratia, la posición (o el desplazamiento), la velocidad, la aceleración, la fuerza, ...

  Curiosidad: existen, además de las magnitudes escalares y vectoriales, otras magnitudes más complicadas. Son los denominados pseudoescalares, los pseudovectores, los tensores y los pseudotensores. También en ciertas teorías se usan cantidades de tipo "espinorial", "twistorial" y otros tipos más sutiles de magnitudes de tipo matemático que no entran en este curso, de tipo multivectorial.

- Prefijos para múltiplos: deca (da) 10, hecta (h) 10^2, kilo (k) 10^3, mega (M) 10^6, giga (G) 10^9, tera (T) 10^{12}, peta (P) 10^{15}, exa (E) 10^{18}, zetta (Z) 10^{21}, yotta (Y) 10^{24}.

- Prefijos para submúltiplos: deci (d) 10^{-1}, centi (c) 10^{-2}, mili (m) 10^{-3}, micro (μ) 10^{-6}, nano (n) 10^{-9}, pico (p) 10^{-12}, femto (f) 10^{-15}, atto (a) 10^{-18}, zepto (z) 10^{-21}, yocto (y) 10^{-24}.

- **Movimiento.**
  Se llama *movimiento* al cambio de la posición de un móvil o cuerpo respecto de un sistema de referencia con respecto al tiempo.
  Un sistema de referencia está formado por un eje de coordenadas y un punto de origen O. Si no hay movimiento, porque el cuerpo permanece fijo, se dice que estamos en reposo.
  El estado de movimiento es siempre *relativo* a un observador y un concreto sistema de referencia.

- **Posición.** La posición de un objeto es una magnitud fundamental. Es una magnitud vectorial que indica la ubicación de un objeto respecto de un punto tomado como origen en un sistema de referencia concreto.

- **Trayectoria. Espacio recorrido y desplazamiento**. Se llama *trayectoria* al conjunto de todas las posiciones por las que pasa un móvil en su movimiento. El *espacio recorrido* $S = \Delta s = s - s_0$ entre dos puntos es la longitud medida sobre la trayectoria del móvil u objeto desplazado que ha recorrido. El *desplazamiento* es la diferencia entre las posiciones iniciales y final $X = \Delta x = x - x_0$, y se mide en línea recta. Sólo en los movimientos rectilíneos el espacio recorrido coincide con el desplazamiento del objeto, en general. Según la trayectoria, el movimiento puede ser rectilíneo o curvilíneo. Entre los movimientos curvilíneos más importantes destacan los circulares, parabólicos, hiperbólicos y elípticos, pero cualquier tipo de curva puede ser posible en principio.

- **Velocidad.** Se llama *velocidad media* al ritmo de cambio de la posición con respecto del tiempo. Es una magnitud vectorial como la posición. Tiene dimensiones físicas de LT^{-1} y se mide en m/s en el S.I. de unidades. Matemáticamente:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0}$$

Importante: la velocidad es un vector TANGENTE a la trayectoria en cada uno de sus puntos.
Se llama velocidad instantánea al límite de la velocidad media cuando el intervalo de tiempo considerado es muy pequeño y "tiende" a cero. Matemáticamente:

$$v = v_i = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = x'(t)$$

- **Velocidad angular.** Se llama velocidad angular al ritmo de cambio del ángulo respecto del tiempo en un movimiento circular (o curvilíneo más generalmente). Matemáticamente:

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{\varphi - \varphi_0}{t - t_0}$$

Las dimensiones físicas de la velocidad angular son T^{-1} y se mide en rad/s en el S.I. Hay unas relaciones sencillas entre la velocidad angular y el MCU con la velocidad usual y el MRU.

Otras unidades comunes de la velocidad angular son las revoluciones por minuto (r.p.m.). La equivalencia entre rad/s y r.p.m. se puede hacer mediante un cambio simple de unidades o por factores de conversión como sigue:

$$1r.p.m. = \frac{1vuelta}{1min} = \frac{1vuelta}{1min}\frac{2\pi\ \ rad}{1vuelta}\frac{1min}{60s} = \frac{2\pi\ \ rad}{60s} = \frac{\pi}{30} rad/s$$

- **Aceleración.** Se llama aceleración media al ritmo de cambio de la velocidad respecto del tiempo. Sus dimensiones físicas son LT^{-2} y se mide en m/s^2 en el S.I. de unidades. Matemáticamente es igual a

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Se llama aceleración instantánea al límite de la velocidad media cuando el intervalo de tiempo considerado es muy pequeño y "tiende" a cero. Matemáticamente:

$$a = a_i = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = v'(t)$$

- **Aceleración angular.** La aceleración angular es el ritmo de cambio de la velocidad angular con respecto al tiempo. Matemáticamente se define como sigue:

$$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0}$$

Sus dimensiones físicas son T^{-2} y sus unidades rad/s^2 en el S.I.

- **Radián.** Un radián es el ángulo que abarca una longitud de arco igual al radio de la circunferencia en la que se encuentra inscrito dicho arco. El radián es la unidad fundamental de ángulo y desplazamiento angular en el S.I. y no tiene dimensiones físicas. Su símbolo es rad. La equivalencia entre radianes, los grados sexagesimales y los grados centesimales (gradianes o gones) es como sigue

$$\boxed{2\pi\ \ rad = 360^\circ = 400^g}$$

- **Aceleración centrípeta, aceleración tangencial y aceleración total.** En los movimientos circulares (y también en los generales curvilíneos) se pueden definir diferentes nociones o conceptos de aceleración. Incluso pese a que en módulo o "valor numérico" la velocidad lineal es constante en un MCU, en dicho movimiento existe una aceleración llamada aceleración normal o centrípeta que mide el cambio de la dirección de la velocidad. Matemáticamente esta aceleración es igual a

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

En un MCUA, además de aceleración centrípeta, hay aceleración tangencial. Esta aceleración vale

$$a_t = \alpha R$$

en donde α es la aceleración angular y R es el radio de la circunfurencia. La aceleración total se calcula usando el teorema de Pitágoras sobre a_c y a_t, para obtener:

$$a^2 = a_c^2 + a_t^2$$

- **Caracterización simple de los estados de reposo y tipos de movimiento estudiados.**

  Reposo (respecto observador fijo): $X = x_0 = constante$, $v = 0m/s$, $a = 0m/s^2$.

  MRU (respecto un sistema de referencia concreto): $X \neq constante$, $v = constante$, $a = 0m/s^2$.

  *MRU*A (respecto un sistema de referencia concreto): $X \neq constante$, $v \neq constante$, $a = constante$.

  Movimiento variado (acelerado no uniformemente): $X \neq constante$, $v \neq constante$, $a \neq constante$.

  MCU: $s \neq constante$, $\varphi \neq constante$, $\omega = constante$, $\alpha = 0$,
  $a_c = \omega^2 R = \frac{v^2}{R} = constante$, $a_t = 0$.

  MCUA: $s \neq constante$, $\varphi \neq constante$, $\omega \neq constante$, $\alpha = 0$,
  $a_c = \omega^2 R = \frac{v^2}{R} \neq constante$, $a_t = constante \neq 0$, $a^2 = a_c^2 + a_t^2$.

  Los movimientos se clasifican según la trayectoria en rectilíneos o curvilíneos, como hemos visto ya antes, y según haya o no aceleración en acelerados y no acelerados. Si la aceleración no es constante, el movimiento se llama variado. Si el movimiento tiene aceleración constante se llama uniformemente acelerado (la aceleración puede ser positiva o negativa, si ésta es de frenado). Si la aceleración es nula, el movimiento se denomina uniforme. En un MCU hay una aceleración, sin embargo, debido al cambio del vector velocidad con la dirección (aceleración normal o centrípeta). En el MRU y el MCU son constantes, respectivamente, la velocidad lineal (velocidad media, que coincide con la instantánea) y la velocidad angular. El reposo puede verse como un caso especial de MRU respecto de un sistema de referencia determinado. Además, hay unas relaciones o analogías (similitudes) entre el MRU y el MCU, y entre el MRUA y el MCUA a nivel de ecuaciones.

- Se llama **período** (T) (o revolución) en un movimiento circular (y también en los llamados movimientos oscilatorios o vibratorios/ondulatorios) al tiempo que tarda en dar una vuelta completa el móvil. Se mide en segundos y está relacionado con la velocidad angular con la ecuación:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

- Se llama **frecuencia** (f) al número de vueltas que da un móvil con trayectoria circular (u oscilatoria) en un segundo. La frecuencia se relaciona con el período y la velocidad angular con las siguientes ecuaciones:

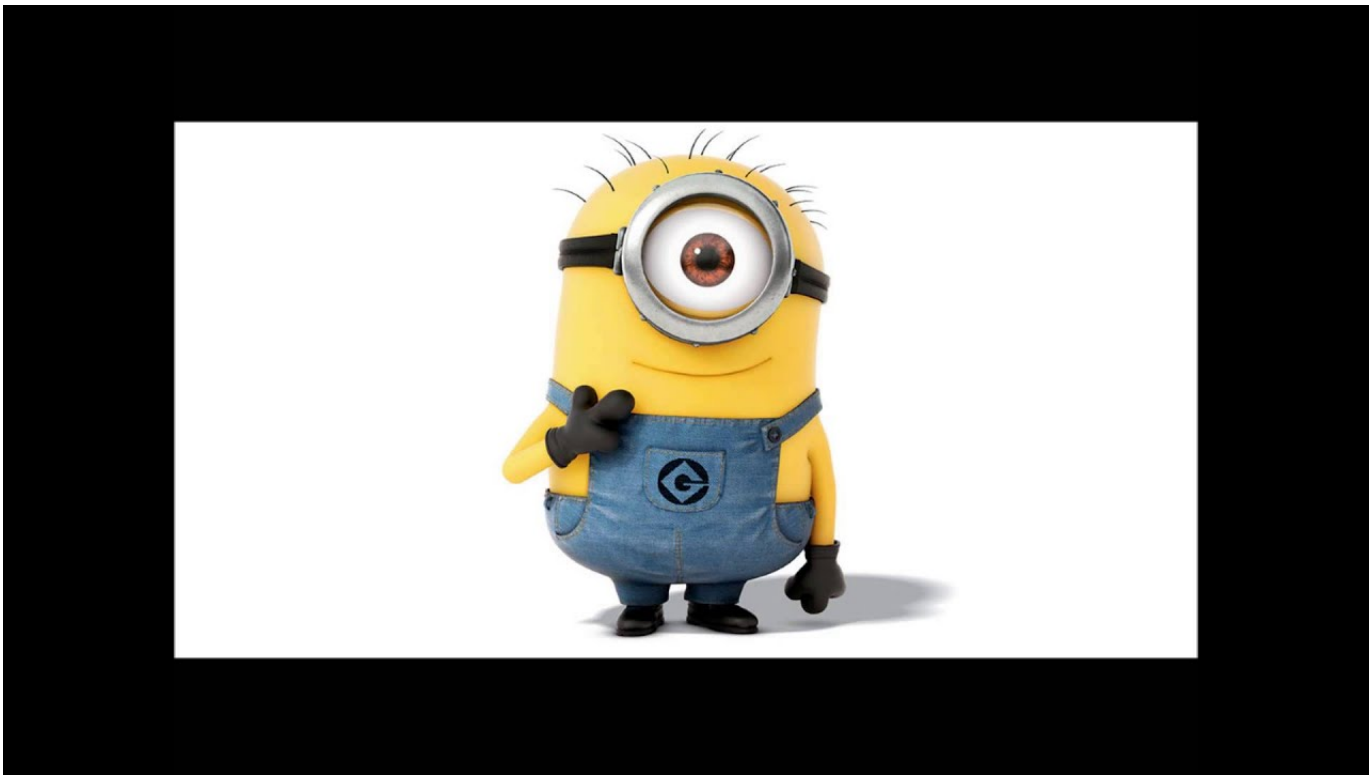
$$f = \frac{1}{T} \qquad \omega = 2\pi f$$

  La frecuencia tiene dimensiones físicas de T^{-1} y sus unidades son el s^{-1}, también llamado hertzio (Hz).

- El **número de vueltas** (N) en un movimiento circular arbitrario puede calcularse con la siguiente ecuación (una vez hemos calculado u obtenido el ángulo recorrido $\Delta\varphi$):

$$N = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$$

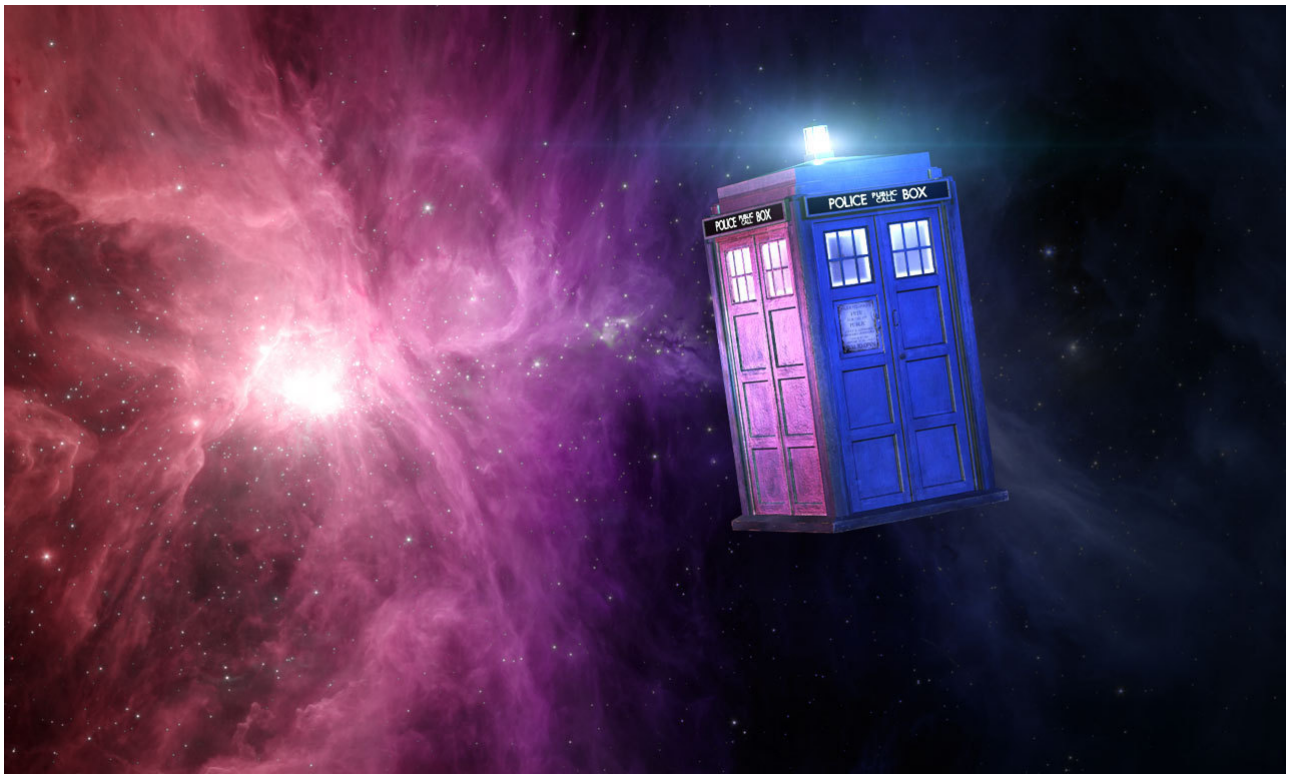
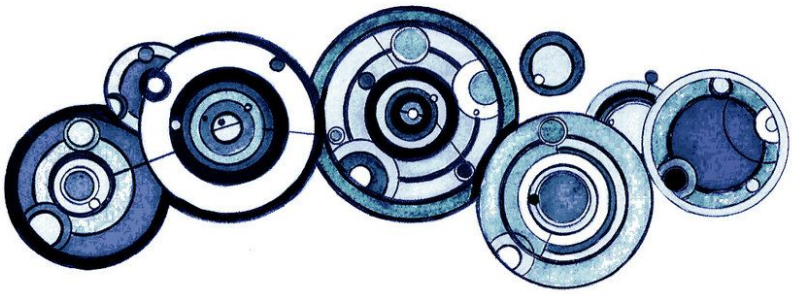
  N no tiene dimensiones físicas, y por lo tanto es adimensional (no tiene unidades, es un número puro).



Планета есть колыбель разума, но нельзя вечно жить в колыбели.

Licencia copy-left. La única condición es que se indique su origen para poder usarse. Documento escrito por

Doctor Who?

ϘΔΞΘΣШЖЮ

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|\heartsuit\heartsuit\rangle + |\heartsuit\heartsuit\rangle\right) \qquad \oint_{\partial\Sigma}\Theta = \int_{\Sigma} d\Theta$$