

Física y Química: lo que hay que saber en la ESO y Bachillerato

J. F. G. H. (Master of Mystic Equations, Physics and Chemistry)
Physmatics Arts





The Strange Doctor/Doctor Strange will teach you Physics/Chemistry... And some bits of Mystic Equations (Arts) as well...

Índice

1. Reacciones	4
1.1. Tipos de reacciones químicas	4
1.2. Propiedades de las reacciones químicas	4
1.3. Efectos de las reacciones químicas	5
1.4. Relevancia de las reacciones químicas	6
2. Estequiometría	6
3. Física	7
3.1. Introducción	8
3.2. Cinemática	8
3.2.1. Movimiento rectilíneo uniforme(MRU)	9
3.2.2. Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado(MRUA)	10
3.3. Dinámica	11
3.4. Energía	13
3.5. Calor y energía térmica	15
3.6. Ondas y sonido: un resumen	16
4. Límites de magnitudes	16
5. Otras leyes	18
6. El vacío	19
7. Máquinas y el Universo	19



1. Reacciones

Una reacción química es toda transformación de unas sustancias llamadas reactivos en otras diferentes llamados productos, mediante la reorganización interna de los átomos o partículas.

Cuando la reacción química CAMBIA la naturaleza y composición de los átomos (número atómico, número de neutrones, número másico), hablamos de reacción nuclear (que no es el campo de la Química usual, puesto que las reacciones nucleares requieren mucha energía en general, salvo las desintegraciones espontáneas por radiación alfa o beta, o incluso gamma, de algunos núcleos y átomos inestables).

1.1. Tipos de reacciones químicas

Las reacciones químicas pueden ser de los siguientes tipos elementales:

- Síntesis o formación (solamente con un producto): $A_1 + A_2 + \dots \rightarrow X$.
- Descomposición o desintegración (solamente con un reactivo): $Y \rightarrow B_1 + B_2 + \dots$
- Desplazamiento (intercambio de un átomo o grupo de átomos): $AB + C \rightarrow AC + B$
- Doble desplazamiento o metátesis (intercambio de dos grupos de átomos o 2 átomos): $AB + CD \rightarrow AC + BD$
- Combustión (reacción con oxígeno): $X + O_2 \rightarrow Y$
- Ácido-base (reacción de compuesto con hidrógeno con un hidróxido): $HA + BOH \rightarrow AB + H_2O$. Ejemplos: $HI + LiOH \rightarrow LiI + H_2O$, $H_2S + Ca(OH)_2 \rightarrow CaS + 2H_2O, \dots$
- REDOX (tipo general de reacción en la que hay transferencia de electrones entre átomos), reducción-oxidación. Un átomo o grupo de átomos aumenta su valencia o número de oxidación (reductor) y otro átomo o grupo de átomos disminuye su valencia (oxidante).
- Polimerización (reacción en la que se agrupan varios átomos o grupos de átomos del mismo tipo): $nX \rightarrow X_n$

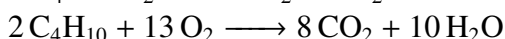
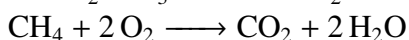
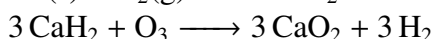
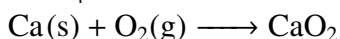
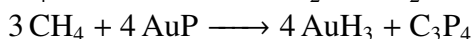
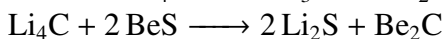
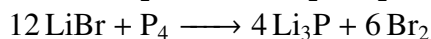
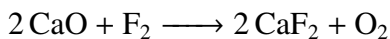
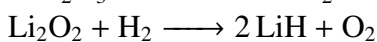
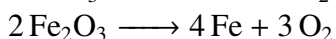
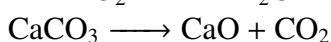
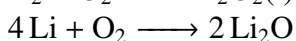
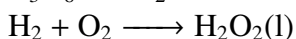
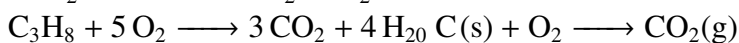
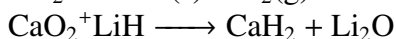
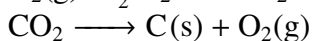
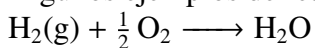
1.2. Propiedades de las reacciones químicas

Las reacciones químicas poseen unas características determinadas:

- Ley de las proporciones definidas. Las sustancias que intervienen en las reacciones químicas, reactivos y productos, no intervienen en cualquier cantidad sino solamente en proporciones fijas, dadas por números enteros sencillos. Estas proporciones definen unos números, habitualmente llamados coeficientes estequiométricos.
- Ley de conservación de la masa o ley de Lavoisier. La suma de la masa de todos los reactivos debe ser a la suma de la masa de todos los productos, suponiendo la reacción ocurre sin pérdidas, con los reactivos puros. La única excepción adicional a esta ley es la interconversión de masa en energía (radioactividad) que tiene lugar como consecuencia de interacciones nucleares por inestabilidad, y que se explica mediante la equivalencia masa-energía $E = mc^2$ en la teoría de la relatividad especial.

- Velocidad de reacción. Las reacciones químicas ocurren con una determinada velocidad. La velocidad de reacción depende de la naturaleza de reactivos y productos, el sustrato (superficie) o medio donde tiene lugar, la concentración de los reactivos, la temperatura (o presión) a la que ocurre, y la presencia de sustancias químicas inertes para las reacciones y que modifican la velocidad de reacción. Estas sustancias se llaman catalizadores. Los catalizadores que aumentan la velocidad de reacción se llaman activadores (catalizadores positivos), y los catalizadores que disminuyen la velocidad de reacción se llaman inhibidores (catalizadores negativos). Los catalizadores de tipo sustancia orgánica, que usan los seres vivos, se denominan enzimas.

Algunos ejemplos de reacciones químicas:



1.3. Efectos de las reacciones químicas

Los efectos más habituales que indican que una reacción química está teniendo lugar son:

- Cambio de color.
- Emisión de luz.
- Emisión (o absorción) de energía térmica (en forma de calor).
- Emisión de gases.
- Aumento o disminución del “desorden” atómico o molecular.

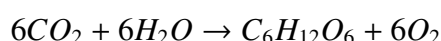
El calor que se desprende (o se absorbe) de (por) una reacción química, se mide mediante una magnitud llamada entalpía H . La entalpía se define como la energía más la presión por el volumen $H = U + PV$. De acuerdo a la primera ley de la termodinámica, la energía interna se manifiesta como cambio de calor más un trabajo $U = Q + W$. A volumen y presión constantes, el cambio de energía interna es el cambio de entalpía. Las reacciones que desprenden energía $\Delta H < 0$ tienen entalpía negativa y se llaman reacciones exotérmicas, las reacciones que absorben energía $\Delta H > 0$ se denominan reacciones endotérmicas. También existen reacciones exoentrópicas (aumentan la entropía o desorden S), endoentrópicas (disminuyen el desorden S). La segunda ley de la termodinámica indica que la entropía de un sistema aislado no puede decrecer con el tiempo, solo permanecer constante o aumentar.

La espontaneidad de una reacción química a una temperatura dada se mide con una función llamada energía libre de Gibbs $G = H - TS$. A temperatura constante, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$. Cuando $\Delta G = 0$ se dice que una reacción está en equilibrio químico. Una reacción se dice exergónica si $\Delta G < 0$, y también será espontánea. Una reacción se dice endergónica si $\Delta G > 0$, y será no espontánea en general. La espontaneidad de una reacción depende de si es exotérmica o endotérmica, de la temperatura y de la variación de entropía de la reacción (a presión constante).

1.4. Relevancia de las reacciones químicas

Las reacciones químicas tienen lugar continuamente, y son muy relevantes tanto para la vida como para la industria o la sociedad moderna. En particular:

- La vida puede entenderse como un conjunto complejo y complicado de reacciones químicas. El metabolismo o la fotosíntesis tienen lugar gracias a ciertas células. Por ejemplo, la fotosíntesis



- La industria química aprovecha las reacciones químicas y los aspectos de reacciones químicas que se estudian en esta Ciencia para producir los productos.
- Las reacciones químicas son fundamentales en los procesos de medio ambiente. Por ejemplo, en el cambio climático (causado por emisiones de las combustiones de hidrocarburos), en el efecto invernadero, y en la conservación (o destrucción) de la capa de ozono.

2. Estequiometría

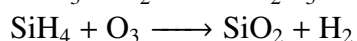
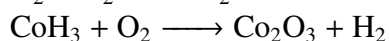
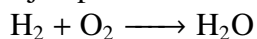
Toda reacción química ocurre mediante la combinación de unas determinadas proporciones simples de átomos y moléculas reactivos.

Se llama AJUSTAR, BALANCEAR o IGUALAR una reacción química, al proceso mediante el cual se introducen unos coeficientes numéricos sencillos delante de los reactivos y productos, de forma que el número total de átomos (y de cargas eléctricas en el caso de que la reacción tuviera cargas eléctricas) de cada tipo, en reactivos y productos, sea el mismo.

Los coeficientes estequiométricos, así introducidos, tienen una serie de significados:

- Indican el número de átomos o moléculas de cada tipo que reaccionan en los reactivos, y el número de átomos o moléculas que se producen en los productos. Dada la proporcionalidad entre número de átomos y moléculas, también indican el número de moles de reactivos que intervienen, y el número de moles de productos que resultan de la reacción.
- Mediante el uso de la relación entre moles y masas atómicas o moleculares, indican las cantidades de masas de cada reactivo y cada producto que se requieren para una reacción química.
- En reacciones gaseosas, indican el número de litros de cada gas que reaccionan, y el número de litros de cada gas que resultan, dadas unas condiciones concretas de presión y temperatura (En c.n., un mol son 22.4 L, en c.e., un mol son 24.4 L).

Ejemplos de reacciones no balanceadas o no ajustadas:



Métodos habituales para ajustar las reacciones:

- Método por tanteo.
- Método de los coeficientes indeterminados.
- Método del ión-electrón (REDOX).
- Método del número de oxidación (REDOX).
- Otros métodos no convencionales.

Para transformar coeficientes estequiométricos en masas, números de átomos o moléculas o volúmenes (en el caso de gases) se usan las siguientes ecuaciones:

- $N = nN_A$, donde N_A es la constante o número de Avogadro, de valor $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- $n = \frac{m(g)}{MM}$, donde m es la masa en gramos, y MM es la masa molar obtenida mediante la table de masas atómicas de la Tabla Periódica, si es un átomo, o sumando las masas atómicas de todos los átomos del compuesto, generalmente expresado en u o g/mol .
- Ecuación del gas ideal $PV = nRT$, donde $R = 0,082 \text{ atmL/Kmol} = 8,31 \text{ J/Kmol}$ es la constante del gas ideal, que se relaciona con el número de Avogadro y la constante de Boltzmann de la teoría cinética mediante la relación $R = N_A k_B$. Para 1 mol de gas ideal en c.n. ($P=1 \text{ atm}=760 \text{ mmHg}$, $T=0^\circ\text{C}=273 \text{ K}$), se tiene 22.4 L de volumen molar. Para 1 mol de gas ideal en c.e. ($P=1 \text{ atm}=760 \text{ mmHg}$, $T=25^\circ\text{C}=298 \text{ K}$), se tiene 24.4 L como volumen molar de gas. Estos dos números (22.4L, 24.4L) se obtienen por mera sustitución de los valores correspondientes en la ecuación de estado del gas ideal.
- Combinando las dos primeras relaciones, se obtiene la masa de un determinado número de moléculas o número de moles:

$$m(g)_N = \frac{N \cdot MM}{N_A}$$

o también el número de moléculas de una determinada cantidad de masa o número de moles:

$$N = \frac{N_A \cdot m(g)}{MM}$$

Fórmulas químicas abstractas

Para un compuesto de fórmula $X = A_i(B_jC_k)_n$, la masa molar se calcular conociendo el valor de las masas atómicas de A, B y de C (tabuladas en la Tabla Periódica), y haciendo la operación:

$$MM(X) = iMM(A) + njMM(B) + nkMM(C)$$

3. Física

La Física es la Ciencia que estudia todo el Universo, y todos los Universos posibles (Multiverso), sus leyes físicas y químicas, y su descripción de forma matemática.

3.1. Introducción

Entendemos como movimiento el cambio de la posición de un objeto (partícula o sistema) con el tiempo. La parte de la Física que estudia las leyes que rigen este movimiento, y las fuerzas que lo originan, se denomina Mecánica. Existe la Mecánica clásica, la Mecánica de fluidos, la Mecánica celeste, la Mecánica cuántica, ...

La Mecánica se considera dividida a su vez en dos partes: Cinemática (estudia solamente la descripción matemática del movimiento), y la Dinámica (estudia la descripción del movimiento atendiendo a sus causas, que son las fuerzas en Mecánica newtoniana clásica).

Las fuerzas son las causas que producen el movimiento, y son generalmente de dos tipos: fuerzas fundamentales (gravitacional, eléctrica, magnética, nuclear) o a distancia, y fuerzas de contacto o derivadas. Las fuerzas fundamentales se deben a un tipo de característica de la materia (energía) de los sistemas o partículas (masa o energía, carga eléctrica, carga débil, carga de color o carga fuerte). Las fuerzas fundamentales a distancia definen los llamados campos de fuerza básicos del Universo (hoy día entendemos existen en el Universo 4 fuerzas fundamentales: la fuerza gravitacional, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear débil y la fuerza nuclear fuerte). A Energías elevadas, el electromagnetismo o fuerza electromagnética y la fuerza nuclear débil están unificados en una única fuerza llamada fuerza electrodébil. Se cree que a elevadas energías, la fuerza fuerza o incluso la gravitacional están unificadas en una única fuerza (hipótesis de la Gran Unificación, GUT, o de la teoría de campo unificada o del todo, TOE).

Ejemplos de fuerzas de contacto: fuerzas de fricción o rozamiento entre sólidos o fluidos, fuerzas de dilatación o contracción térmica, fuerzas viscosas, fuerzas elásticas, tracciones en sólidos, ...

3.2. Cinemática

La Cinemática estudia el movimiento sin tener en cuenta las causas (las fuerzas). Los movimientos pueden clasificarse según la trayectoria (camino que recorre un móvil en su movimiento):

- Rectilíneos.
- Curvilíneos (circulares, elípticos, parabólicos, hiperbólicos, sinusoidales, lemniscáticos, ...).

Las magnitudes que permiten estudiar el movimiento son las siguientes:

- Velocidad media. Es el cambio de la posición de un móvil en un intervalo de tiempo, matemáticamente

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0} \quad (1)$$

Las unidades de la velocidad son los m/s en el S.I., aunque se pueden usar otras unidades como los *cm/s*, *km/h*, *m.p.h* (millas por hora), etc.

- Aceleración media. Es el cambio de la velocidad de un móvil en un intervalo de tiempo, matemáticamente

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{\Delta}{\Delta t} \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right) = \frac{\Delta^2 x}{\Delta t^2} \quad (2)$$

Las unidades habituales de la aceleración son los m/s^2 , aunque también se pueden usar otras unidades como los cm/s^2 ($1 cm/s^2 = 1 gal = 1 galileo$), km/h^2 , etc.

Los movimientos, según exista o no una aceleración no nula, se clasifican en movimientos acelerados o no acelerados. Dentro de los movimientos acelerados, distinguimos entre los que poseen aceleración constante (uniformemente acelerados) y los movimientos variados (movimientos con aceleración no uniforme).

3.2.1. Movimiento rectilíneo uniforme(MRU)

Es un movimiento de trayectoria rectilínea y velocidad constante, por lo que la aceleración es cero o nula. Matemáticamente, la descripción del movimiento viene dada por las siguientes ecuaciones:

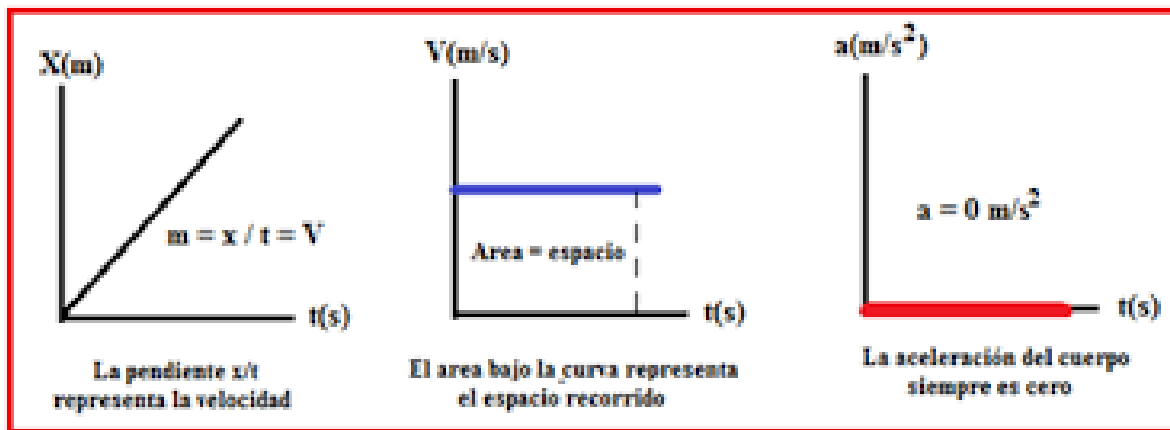
MRU

$$a = 0\text{m/s}^2 \leftrightarrow a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3)$$

$$v = \text{constante } \text{m/s} \quad (4)$$

$$x = x_0 + v(t - t_0) \leftrightarrow \Delta x = v\Delta t \quad (5)$$

Un MRU tiene las siguientes posibles gráficas (no exhaustivas):



3.2.2. Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado(MRUA)

Es un movimiento con aceleración constante no nula. Matemáticamente, viene descrito por las siguientes ecuaciones:

MRUA

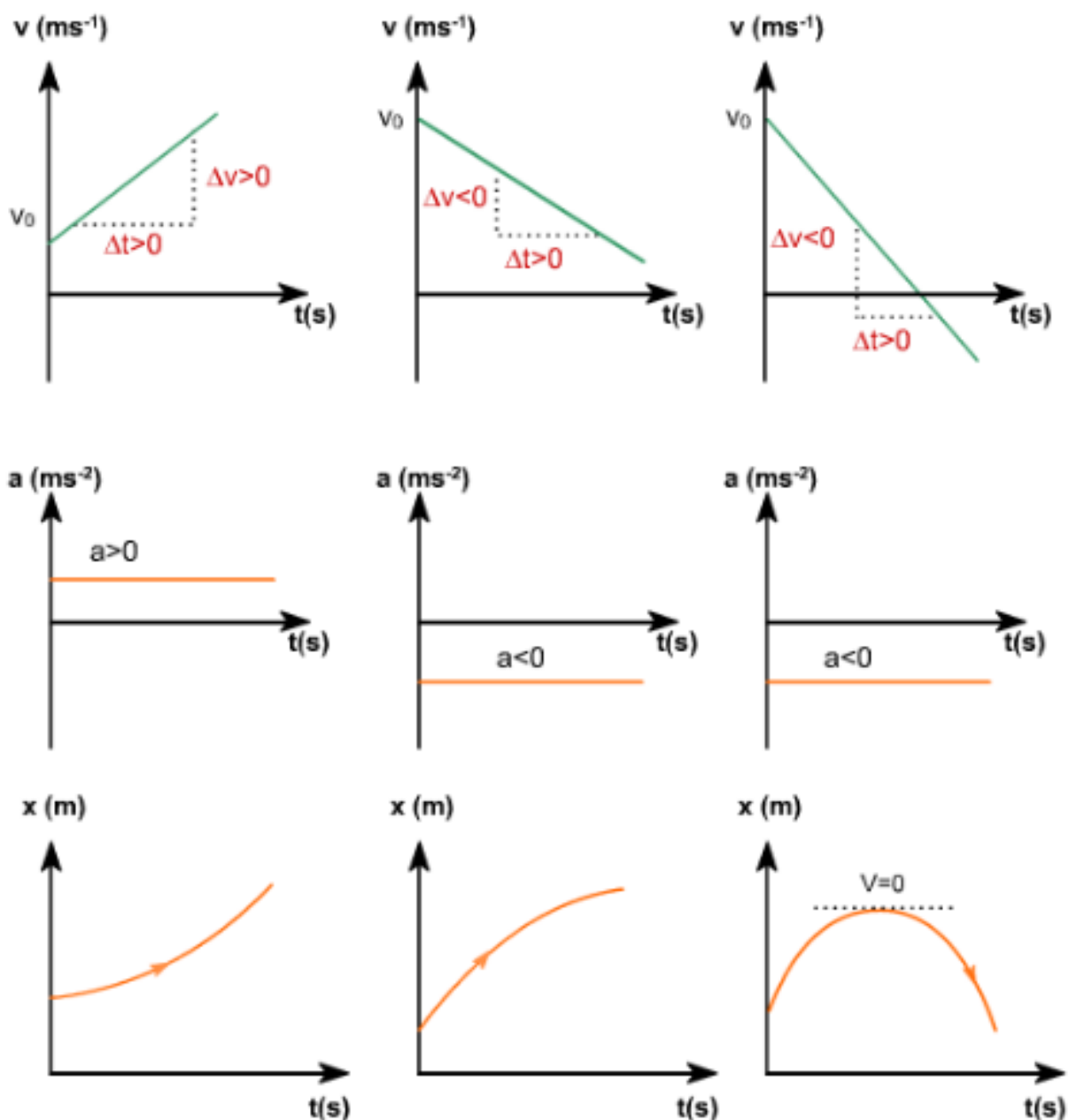
$$a \neq 0, \text{ m/s}^2 \quad a = \text{constante} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (6)$$

$$v = v_0 + a(t - t_0) \leftrightarrow \Delta v = a\Delta t \quad (7)$$

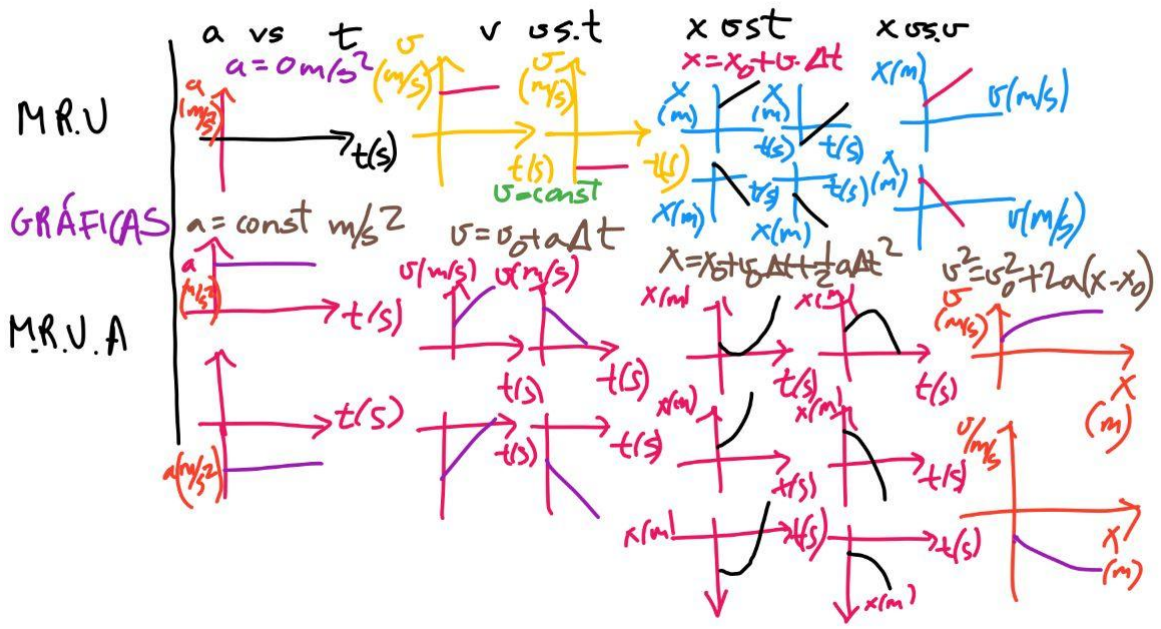
$$x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2 \leftrightarrow \Delta x = v_0\Delta t + \frac{1}{2}\Delta t^2 \quad (8)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \leftrightarrow \Delta v^2 = 2a\Delta x \quad (9)$$

Las gráficas del MRUA son las siguientes:



Manuscritas, las gráficas posibles del MRU y MRUA exhaustivas, son las siguientes:



3.3. Dinámica

Se llama momento lineal (ímpetu, cantidad de movimiento, impulso) al producto de la masa por la velocidad, matemáticamente

$$p = mv \tag{10}$$

Tiene unidades de $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = \text{kgm/s}$. Es una magnitud interesante porque permite definir mejor las fuerzas. La segunda ley de Newton, o ley fundamental de la Dinámica, indica que la suma de fuerzas actuando sobre un objeto (cuerpo, partícula o sistema de partículas) es igual a la variación temporal del impulso, que cuando la masa es constante, equivale al producto de la masa por la aceleración. Matemáticamente:

Segunda ley de Newton

$$\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = m\vec{a} \tag{11}$$

Cuando el movimiento es unidimensional, podemos prescindir de la notación de flechas o vectorial, y escribir $F_t = ma = \Delta p / \Delta t$.

La flecha indica que es una magnitud vectorial (o dirigida). Una fuerza es una magnitud que no solamente depende de su valor numérico, sino también de la dirección, sentido y punto de aplicación. Estas magnitudes dirigidas se llaman vectores. También son vectores el vector de posición o posición de una partícula \vec{r} , el desplazamiento $\Delta \vec{r}$, la velocidad \vec{v} , o la aceleración \vec{a} y el momento \vec{p} . Las unidades de las fuerzas se llaman newtons en el S.I.. 1 newton equivale a la fuerza que comunicada a una masa de 1 kg, le proporciona una aceleración igual a 1 m/s^2 . $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$. Otras unidades de fuerza son las dinas ($1 \text{ dina} = 1 \text{ g} \cdot 1 \text{ gal} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2$), o los kilogramos-fuerza (kilopondios):

1kp=9.8N).

Para sumar fuerzas, si son de la misma dirección y sentido se suman sus valores numéricos. Si son de sentidos opuestos se restan, y si son perpendiculares se usa el teorema de Pitágoras. Para un caso que no sea ninguno de estos tres, se usan técnicas de análisis y geometría vectorial. Así:

- $F_t = F_1 + F_2$, si F_1, F_2 son fuerzas de la misma dirección y sentido.
- $F_t = F_1 - F_2$, si F_1, F_2 son fuerzas de la misma dirección y sentidos opuestos.
- $F_t = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$, si F_1, F_2 son fuerzas perpendiculares.

Un ejemplo particular importante de fuerza es el peso.

Peso

Se llama peso a la fuerza con que la Tierra, u otro objeto, atrae los cuerpos a su superficie. Matemáticamente:

$$P = mg \leftrightarrow \vec{P} = m\vec{g} \quad (12)$$

A veces se confunde masa con peso, porque una forma de medir la masa es pesándolo. En la superficie terrestre, supuesta esférica, se tiene que $g = 9,81m/s^2 \approx 9,8m/s^2 \approx 10m/s^2$ (en el ecuador es $9.78m/s^2$ y en los polos es $9.83m/s^2$).

El campo gravitacional realmente NO es constante, sino que varía con la distancia a la superficie o al centro de la Tierra. Newton también estableció la llamada ley de gravitación universal:

Ley de gravitación universal de Newton

Entre 2 masas cualesquiera del Universo, separadas una distancia d , existe una fuerza atractiva gravitacional universal directamente proporcional al producto de sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que separan dichos cuerpos. Matemáticamente:

$$F_N = G_N \frac{Mm}{d^2} \leftrightarrow \vec{F} = -G_N \frac{Mm}{R^2} \vec{u}_r \quad (13)$$

y donde $G_N = 6,674 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2} = 6,674 \cdot 10^{-11} m^3 \cdot s^{-2} \cdot kg^{-1} (m^3 / (kg \cdot s^2))$.

Si llamamos campo gravitacional a la fuerza gravitacional newtoniana por unidad de masa, esto produce una definición de campo o aceleración gravitacional:

Campo gravitacional

Se llama campo gravitacional a la cantidad:

$$\vec{g} = -G_N \frac{M}{R^2} \vec{u}_r \leftrightarrow g = \frac{GM}{R^2} \quad (14)$$

y que tiene unidades de $N/kg = m/s^2$ (equivalente a una aceleración). Este campo gravitacional, evaluado para la Tierra $M = M_T = 5,98 \cdot 10^{24} kg$, $R = R_T = 6380 km = 6,38 \cdot 10^6 m$, produce la aceleración de la gravedad antes mencionada de $9.8m/s^2$, aunque es una expresión más general, pues vale para cualquier altura $R = R_T + h$.

El hecho de que la masa que aparece en la ley gravitacional, es la misma que la masa que aparece en la segunda ley de Newton es un principio llamado principio de equivalencia. La igualdad de las llamadas masas inerciales y gravitacionales fueron intuitadas por Galileo, $m_i = m_g^A = m_g^P$, y formalizadas

por Einstein y otros investigadores. La demostración de la equivalencia es un hecho empírico, mientras que su hipótesis es un principio abstracto o axiomático profundo de las leyes físicas del Universo.

Otra ley dinámica es la ley de Coulomb, que versa sobre la fuerza entre cargas puntuales eléctricas:

Ley de Coulomb

Entre dos cargas eléctricas cualesquiera, separadas una distancia d , hay una fuerza eléctrica (atractiva o repulsiva según el signo relativo de las cargas) directamente proporcional al producto de cargas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre cargas. Matemáticamente:

$$\vec{F}_C = K_C \frac{Qq}{R^2} \vec{u}_r \leftrightarrow F_C = K_C \frac{Qq}{d^2} \quad (15)$$

y donde la constante de Coulomb $K_C = 9 \cdot 10^9 Nm^2C^2$ se mide experimentalmente. También se puede escribir $K_C = 1/4\pi\epsilon_0$, con $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} C^2/Nm^2$, la permitividad dieléctrica del espacio vacío. El campo eléctrico se define como

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_C}{q} = K_C \frac{Q}{R^2} \vec{u}_r \quad (16)$$

y tiene unidades de N/C

Finalmente, una ley diferente es la llamada ley de Hooke (que también puede modelizar la repulsión cósmica universal) de los cuerpos elásticos:

Ley de Hooke

Un cuerpo elástico, desplazado una distancia $\Delta\vec{r}$, experimenta una fuerza recuperadora igual a

$$\vec{F}_e = -k\Delta\vec{r} \quad (17)$$

donde k tiene unidades de N/m . En el caso cósmico el signo es el opuesto, siendo

$$\vec{F}_\Lambda = +\frac{\Lambda M_U c^2}{3} \Delta\vec{R} \quad (18)$$

3.4. Energía

El concepto de energía está basado en la noción intuitiva de trabajo, i.e., en la capacidad de una fuerza de desplazar un objeto una determinada distancia. Matemáticamente

Trabajo y energía

Se llama trabajo a la cantidad

$$W = F\Delta x \quad (19)$$

Las unidades del trabajo son los julios (J) en el S.I. $1J = 1N \cdot 1m$. Otras unidades son los ergios $1erg = 1dina \cdot 1cm$, los FOE ($1FOE = 10^{51}erg$), los electrón-voltios, los kWh (kilovatios-hora) o las calorías (equivalente térmico del trabajo, $1cal=4.186J$). $1J = 1kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$.

La energía asociada al movimiento se llama energía cinética

Energía cinética

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} \quad (20)$$

donde $p = mv$. O bien $E_c = m(\gamma - 1)c^2$ si la partícula es relativista, con $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$. La versión no relativista puede obtenerse con un argumento sencillo a partir de la idea de que la energía cinética (o vis viva de Descartes) es la cantidad invariante de un objeto inercial que se mueve según las leyes de Newton:

$$F = ma = 0 \rightarrow m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = p \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(p^2/2)}{\Delta t} = 0 \rightarrow \frac{\Delta E_c}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv^2/2)}{\Delta t} = 0$$

donde hemos usado que $\Delta p^2/\Delta t = 2p\Delta p/\Delta t$. Equivalentemente, se puede demostrar que en general

$$\frac{\Delta E_c}{\Delta t} = \frac{1}{2}2m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma = F \rightarrow pa = mva = Fv = F \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \mathcal{P}$$

es decir, la variación de la energía cinética respecto del tiempo es la potencia.

Para cuerpos con fuerzas denominadas conservativas, como el peso, o la fuerza eléctrica o la fuerza elástica, cabe definir un concepto denominado energía potencial asociado al cambio de la posición en el campo gravitacional, el campo eléctrico o en el cuerpo elástico. Las energías potenciales gravitacional, eléctrica o elástica son matemáticamente

Energía potencial gravitacional

$$E_p(g) = -G_N \frac{Mm}{R} \simeq mgh \quad (21)$$

donde la última igualdad supone objetos cercanos a la superficie del objeto.

Energía potencial eléctrica

$$E_p(el) = K_C \frac{Qq}{R} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (22)$$

Energía potencial elástica

$$E_p(e) = \frac{k\Delta x^2}{2} \quad (23)$$

o bien

$$E_p(\lambda) = -\frac{\Lambda M_U c^2 \Delta R^2}{6} \quad (24)$$

Para un sistema con fuerzas conservativas la suma de energías cinéticas y potenciales, llamada energía mecánica, permanece constante.

Teorema de la energía mecánica

Para un sistema con fuerzas conservativas solamente, la variación de energía mecánica es nula, equivalentemente, la energía mecánica total permanece constante. Matemáticamente:

$$E_m = E_c + E_p = \text{constante} \leftrightarrow \Delta E_m = 0 \leftrightarrow \frac{\Delta E_m}{\Delta t} = 0, \quad (25)$$

Se llama potencia al ritmo de cambio o variación temporal del trabajo o energía por unidad de tiempo:

Potencia

Se llama potencia a la magnitud:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = Fv \quad (26)$$

Unidades de la potencia: vatios, W, (S.I.). $1W = 1J/1s$ (1 vatio es 1 julio dividido por 1 segundo). $1kWh = 3,6MJ$ (1kWh=unidad de energía=kilovatio-hora=3.6megajulios).

3.5. Calor y energía térmica

La teoría cinética relaciona temperatura con energía cinética de los constituyentes. Así se define la escala absoluta de temperatura:

$$E_c = \frac{k_B T}{2}$$

por cada grado de libertad, o bien

$$\overline{E_c} = \frac{3k_B T}{2}$$

para 3 grados de libertad en el espacio. Nótese que $E_c = mv^2/2$ o $E_c = m(\gamma - 1)c^2$, según el caso.

Escala de temperatura celsius: $T(K) = T(^{\circ}C) + 273$.

Escala de temperatura Fahrenheit: $\frac{T(^{\circ}C)}{100} = \frac{T(^{\circ}F) - 32}{180}$

La presión de las partículas sobre una superficie es el cociente de la fuerza que ejercen sobre la superficie, matemáticamente:

Presión

$$P = \frac{F}{S} \quad (27)$$

Las unidades de presión en el S.I. son los pascales(Pa), siendo 1 pascal la presión de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado, i.e., $1Pa = 1N/m^2 = 1N \cdot m^{-2}$. Otras unidades de presión son conocidas: atmósfera (atm), milímetro de mercurio (mmHg), torricellis (torr), bares (bar) o milibares (mb), psi (pounds per squared inch),...

El calor de cambio de estado se llama calor latente: $\Delta Q = mL$.

El calor de cambio de temperatura define propiedades de objetos llamadas capacidad calorífica C o calor específico c_e : $\Delta Q = C\Delta T = mc_e\Delta T$.

La temperatura de un sistema, en equilibrio, es la misma para todas sus partes (principio cero de la Termodinámica). El primer principio de la Termodinámica dice que la energía total se conserva (como suma de calor y trabajo sobre el sistema y su entorno). El segundo principio de la Termodinámica señala que la eficiencia de la transformación del calor en trabajo no es nunca 100 % o que, equivalentemente, la entropía de un sistema aislado no puede disminuir nunca $\Delta S \geq 0$, $\Delta S/\Delta t \geq 0$. El tercer principio de la Termodinámica indica que el cero absoluto no puede alcanzarse nunca, y así, $T > 0K$ siempre.

Se especula con un cuarto principio (que indicaría la presencia de una máxima temperatura absoluta).

$$\text{Así, que } T < T_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G_N k_B^2}} = 10^{32} K.$$

3.6. Ondas y sonido: un resumen

Una onda es una perturbación de un medio que se propaga mediante cierto tipo de perturbación de forma periódica o casiperiódica en el espacio. Las ondas poseen una serie de propiedades generales:

- Espectro (conjunto de frecuencias o longitudes de onda o energía de las ondas).
- Linealidad y no-linealidad.
- Velocidad de propagación.
- Longitud de onda, frecuencia, número de onda, período, fase.
- Interferencia.
- Atenuación o absorción.
- Difracción.
- Reflexión.
- Refracción.
- Polarización (solamente para ondas llamadas transversales).
- Efecto Doppler.
- Reverberación.
- Resonancia.
- Difusión (efusión).
- Intensidad.
- Potencia ($P=IA$, potencia=intensidad x área).

Para ondas de tipo sonoro, además, se puede definir también magnitudes llamadas timbre, tono y sonoridad (nivel de intensidad, medido en decibelios, dB). La escala de decibelios es una escala complicada, que usa una operación matemática llamada logaritmo. El nivel de intensidad es pues $\beta = N.I. = 10 \log_{10}(I/I_0)$, o equivalentemente, $I = I_0 10^{\frac{\beta}{10}}$.

4. Límites de magnitudes

- Espacio: longitud de Planck. $L > L_p = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \sim 10^{-35} m.$
- Tiempo: tiempo de Planck. $t > t_p = \frac{L_p}{c} = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^5}} \sim 10^{-43} s.$

- Espacio cósmico: $L < L_U = \frac{c}{H_0} \sim 10^{27} m$.
- Tiempo cósmico: $t > t_U = \frac{1}{H_0} \sim 10^{18} s$.
- Velocidad de la luz unitemporal: $v \leq c = 3 \cdot 10^8 m/s$.
- Masa de Planck: $M > M_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G_N}} \sim 2 \cdot 10^{-8} kg$.
- Masa universal: $M < M_U = \frac{c^3}{2GH_0} \sim 10^{53} kg$.
- Energía de Planck: $E > M_p c^2 = \sqrt{\frac{\hbar c^3}{G_N}} \sim 1 \cdot 10^9 J = 10^{19} GeV/c^2$.
- Energía universal: $E < E_U = \frac{c^5}{2GH_0} \sim 10^{70} J =$.
- Temperatura: $T > 0K, T < T_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G_N k_B^2}} \sim 10^{32} K$.
- Carga eléctrica: $Q \geq 0C, q \geq q_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{K_C}} \sim 2 \cdot 10^{-18} C$.
- Aceleración de Planck: $a_p = \sqrt{\frac{c^7}{G\hbar}} \sim 10^{52} m/s^2$.
- Aceleración de Caianiello: $a_c = \frac{mc^3}{\hbar} = g_c$ (dependiente de la masa).
- Campo eléctrico y magnético crítico: $E_c = \frac{q^2 c^3}{\hbar m} \sim 10^{18} V \cdot m, E = Bc$ implica $B_c = \frac{q^2 c^2}{\hbar m} \sim 10^{10} T$.
- Para protones, $E_c \sim 10^{24} Vm (B_c \sim 10^{16} T), g_c \sim 10^{32} m/s^2$.

5. Otras leyes

Ley de Ampère y fuerza electromagnética

$$F_m = \frac{\overline{K}_m pP}{R^2} \quad (28)$$

donde

$$\overline{K}_m = 2 \cdot 10^{-7} N \cdot A^{-2} = \frac{\mu_0}{2\pi} \quad (29)$$

es la constante magnética K_m y permitividad magnética del vacío μ_0 .

$$\frac{F_m}{L} = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi R} \quad (30)$$

aunque en general se tiene que

$$\vec{F}_m = I \int Id\vec{l} \times \int \frac{I'd\vec{l}' \times \vec{u}_r}{r^2} = K_m \frac{II'LL'}{r^2} \quad (31)$$

La fuerza electromagnética es igual a la suma:

$$\vec{F}_{em} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

La fuerza magnética es habitualmente $\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B} = I\vec{L} \times \vec{B}$.

Las ondas electromagnéticas en el vacío se propagan con velocidad:

$$v_{em} = c = \sqrt{\frac{K_C}{K_m}} = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Fuerzas nucleares

Las fuerzas nucleares están gobernadas por un potencial llamado potencial de Yukawa:

$$V_Y = g^2 \frac{e^{-r/r_0}}{r} = g^2 \frac{e^{-mr}}{r} \quad (32)$$

La fuerza de Yukawa es $F = -dV/dr$:

$$F = -g^2 \frac{e^{-r/r_0}}{r^2} \left(1 + \frac{r}{r_0} \right) \quad (33)$$

Los límites de la Fuerza: fuerza de Planck. $F \leq F_P = \frac{c^4}{G_N} \sim 10^{44} N$.

Los límites de la Potencia: potencia de Planck. $P \leq P_P = \frac{c^5}{G_N} \sim 10^{52} W$.

Los límites de la densidad de masa: densidad de Planck. $\rho_P(m) = \frac{c^5}{G_N^2 \hbar} \sim 10^{97} kg/m^3$.

Los límites de la densidad de energía: densidad de energía de Planck

$$\rho_P(E) = \rho_{P_m} c^2 = \frac{c^7}{G_N^2 \hbar} \sim 10^{114} J/m^3.$$

6. El vacío

El vacío medido por el espacio cósmico arroja una densidad no nula (sorprendentemente). Así, se define:

$$\rho_{\Lambda}(E) = -\frac{\Lambda c^4}{8\pi G_N} \quad (34)$$

$$\rho_{\Lambda}(M) = -\frac{\Lambda c^2}{8\pi G_N} \quad (35)$$

Esta densidad es equivalente a una presión del vacío negativa. $P = F/A = FL/AL = E/V$.

La presión entre la densidad es el llamado parámetro ω :

$$\omega = \frac{P}{\rho} = \frac{\frac{1}{2}\dot{Q}^2 - V}{\frac{1}{2}\dot{Q}^2 + V} = \frac{L/m}{H/m} = \frac{L}{H} \quad (36)$$

Cuando $\dot{Q} = 0$, límite estático de la quintaesencia, $\omega = -1$ y tenemos la presión del vacío de la llamada constante cosmológica (energía asociada al espacio vacío puro mismo).

Casos críticos son:

- $-1 < \omega < 0$. Campo dinámico quintaesencia Q .
- $\omega = -1$. Constante cosmológica, energía del vacío, presión del vacío.
- $\omega < -1$. Energía fantasma. La densidad de energía aumenta con la expansión cósmica, lo que indicaría que podría ocurrir en el futuro un Big Rip en un tiempo

$$t_{BR} - t_0 = \frac{2}{3|1 + \omega|} \frac{1}{H_0} \frac{1}{\sqrt{1 - \Omega_m}}$$

El Big Rig destrozaría todo (galaxias, planteas, átomos, núcleos,...), tal vez incluso partículas subatómicas. Pero no está claro esto, ni si ocurrirá seguro.

7. Máquinas y el Universo

Hay tres máquinas simples fundamentales: plano inclinado, polea y la palanca. El principio de la palanca señala que $F_1 d_1 = F_2 d_2$.

El Universo (o Multiverso) podría ser una Máquina o Mecanismo (Deus Ex Machina).

El destino del Universo se debate en la actualidad. Cosmológicamente, hacen falta unos parámetros para determinar su estudio y evolución global. Así, hay varios escenarios plausibles hipotéticos:

- Muerte térmica (expansión infinita).
- Recolapso (Big Crunch).
- Big Rig.
- Colapso parcial y rebote (Big Bounce).
- Universo cíclico o de aeones (cosmología cíclica de Penrose) o Universo Fénix.

- Decaimiento del vacío desde nuestro falso vacío actual (Big Decay).
- Universo ekpirótico (teoría de cuerdas).
- Universo de branas (teoría de Dp-branas).
- Multiverso.

Por otra parte, hay especulaciones acerca del destino final que tienen en cuenta los siguientes aspectos no entendidos:

- Destino final de la evaporación de agujeros negros (y sus posibles singularidades espacio-temporales).

- Principio holográfico: $S(BH) = \frac{k_B c^3 A}{4G\hbar} = \frac{k_B A}{4L_p^2}$.

- Principio de Landauer: $E(bit) \geq k_B T \ln 2J$.

- Cota de Bekenstein: $S \leq \frac{2\pi k_B ER}{\hbar c}$, o bien

$$I \leq \frac{2\pi ER}{\hbar c} \text{ nats}$$

$$I \leq \frac{2\pi ER}{\hbar c \ln 2} \text{ bits}$$

- Teorema de Margolus-Levitin:

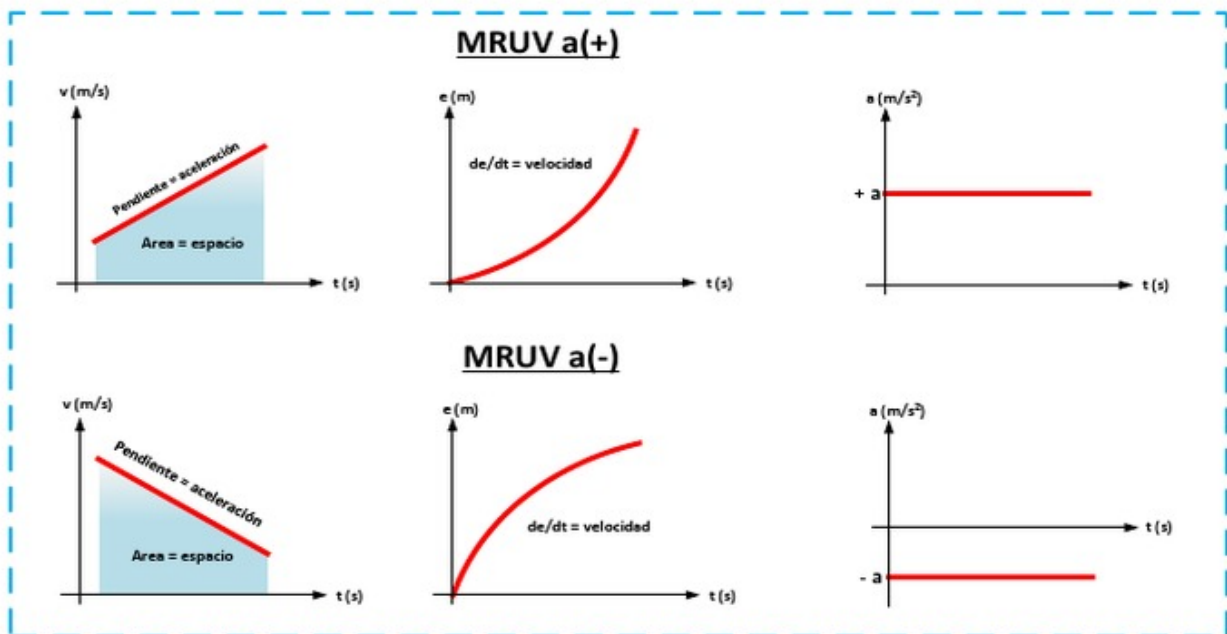
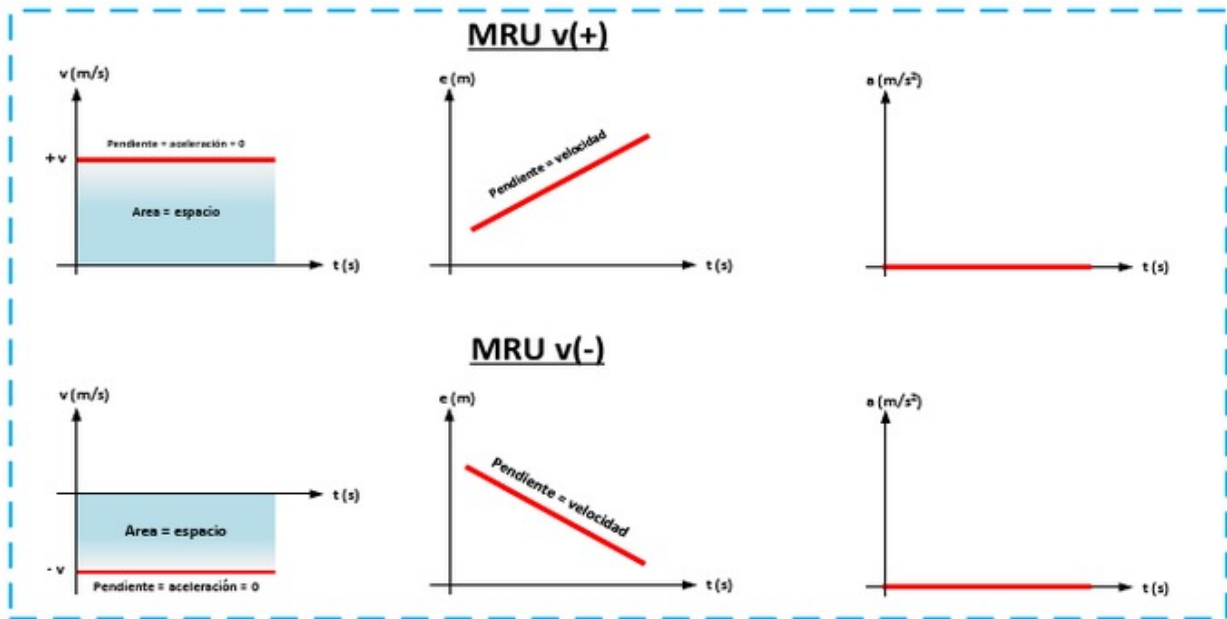
$$t_{\perp} = \frac{h}{4E_{\perp}}$$

$$t_{\perp} = \frac{\pi\hbar}{2\Delta E}$$

- Dualidad AdS/CFT.
- Dualidad Kerr/CFT.
- Dualidad ER=EPR, y conjetura de máxima complejidad. Entrelazamiento cuántico(origen).
- Conjetura de la gravedad débil.
- Conjetura $YM^2 = Gravedad$.
- Modelos de (super)cuerdas y branas. Teoría M(F, S, ...)
- Gravitación cuántica.
- Problemas conceptuales de la Mecánica Cuántica: problema de la medida y la paradoja de la información en los agujeros negros.
- El problema del tiempo (clásico) y su direccional (flechas del tiempo: entrópica, cosmológica y psicológica).
- Existencia y naturaleza de las singularidades espacio-temporales a nivel cuántico. Emergencia del espacio-tiempo.
- Espacio-tiempo cuántico. Ecuación de Schrödinger y origen de la regla de Born: $H|\Psi\rangle = i\hbar \frac{d}{dt} |\Psi\rangle$
- Principios de indeterminación generalizados y extendidos.

Hay aún mucho que entender y conocer, dado que nuestras mejores teorías solamente explican más o menos el 5 % del Universo, el resto son materia y energía oscuras.

Comparación MRU y MRUV(MRUA):



MRU

$$e = v \cdot t$$

MRUV

$$a = \frac{v_f - v_o}{t}$$

$$a = \frac{v_f^2 - v_o^2}{2e}$$

$$e = v_o t + \frac{at^2}{2}$$