

PRELIMINARES

MECÁNICA: Parte de la Física que estudia los movimientos y el equilibrio de los cuerpos.

- **Comprende**: la CINEMÁTICA, la DINÁMICA y la ESTÁTICA.
- **Por sus métodos**, se divide en:

Mecánica de los cuerpos rígidos (punto material, sólido rígido)

Mecánica de los cuerpos deformables (fluidos, sólido real)

- La *Mecánica Clásica o Newtoniana* se aplica a los movimientos donde las velocidades son pequeñas en relación a la velocidad de la luz en el vacío.
- La *Mecánica Relativista* es una generalización válida para todo tipo de velocidades.
- La *Mecánica Cuántica* sustituye a las anteriores cuando se analiza el movimiento a escala atómica.

DINÁMICA: Es la rama de la Mecánica que estudia los movimientos relacionándolos con las causas (*fuerzas*) que los producen (o modifican).

- **Objeto**: Conocidas las causas que producen o modifican el movimiento, encontrar la posición y velocidad para cada instante.

CONCEPTOS BÁSICOS

MASA: Propiedad de un cuerpo que determina la *aceleración* que adquiere éste cuando sobre él actúa una *fuerza*. [$m \equiv$ cantidad de masa].

FUERZA: Concepto físico-matemático utilizado para caracterizar cualitativa y cuantitativamente la *interacción* entre un *cuerpo* y el *medio* (resto del Universo)

INTERACCIÓN: Tipo de intercambio, existente entre el medio y el cuerpo.

INTERACCIÓN \equiv FUERZA (Cualitativamente)

PUNTO MATERIAL (PARTÍCULA): Ente, dotado de masa, cuyas dimensiones son despreciables frente a las distancias que le separan de otras partículas o cuerpos (sistemas) y, con los cuales, experimenta interacciones.

PARTÍCULA LIBRE: Partícula no sujeta a interacciones con el medio. Si posee movimiento, este es un MRU. [Estrictamente, la partícula libre no existe].

En la práctica, hay partículas que pueden considerarse como libres:

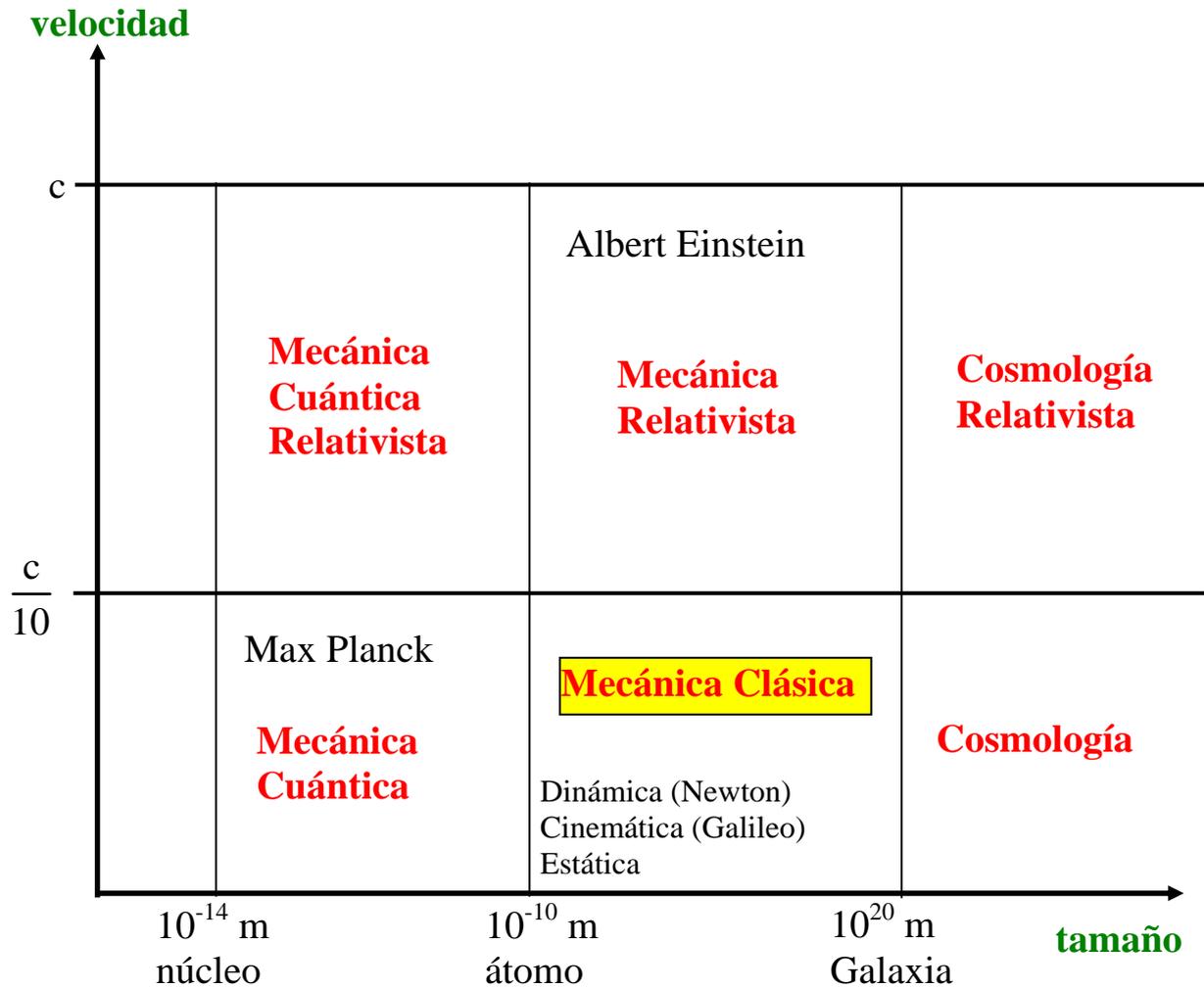
- Si las partículas del medio están tan alejadas que las interacciones pueden considerarse despreciables.
- Si la interacción resultante es nula.

MOMENTO LINEAL (o CANTIDAD DE MOVIMIENTO)

El momento lineal (\vec{p}) de un cuerpo o partícula se define como el producto de la cantidad de masa por su velocidad instantánea:

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

Marco de la Mecánica Clásica



PRIMERA LEY DE NEWTON (LEY DE INERCIA)

“Todo cuerpo permanece en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme (MRU) a menos que se le obligue a variar dicho estado mediante fuerzas que actúen sobre él”.

- La primera ley involucra una **definición cualitativa de fuerza**, como algo capaz de producir cambios de movimiento, es decir, de producir aceleraciones.
- La 1ª Ley de Newton establece la tendencia natural que tienen los cuerpos a no modificar su estado de movimiento cuando no se les perturba. A esta propiedad se le denomina **inercia**.

Sistemas de referencia inerciales y no inerciales:

- La primera ley de Newton (ley de inercia) es válida sólo para una **familia de sistemas de referencia**, respecto de los cuales, una partícula no presente aceleración. A este tipo de sistemas se les denomina **inerciales (SRI)**.
- Todo sistema de referencia que tenga un movimiento de traslación uniforme respecto de un **SRI** es también un **SRI**.
- Para el resto de los sistemas de referencia (**no inerciales, SRNI**) la partícula presenta siempre cierta aceleración.

SEGUNDA LEY DE NEWTON (LEY DEL MOVIMIENTO)

Newton: “La variación del movimiento es proporcional a la fuerza que actúa sobre el cuerpo y se realiza en la misma dirección de la recta en que actúa la fuerza”.

Otra forma: “El vector fuerza total que actúa sobre una partícula en cualquier instante, se define como el producto de la masa de la partícula por la aceleración que experimenta en dicho instante”.

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (\text{SRI})$$

- La **fuerza** es una **magnitud vectorial** con la misma dirección y sentido que la aceleración.
- Si sobre un cuerpo actúan varias fuerzas, la fuerza resultante \vec{F} se obtiene mediante **la regla del paralelogramo** (*principio de superposición de las fuerzas*):

$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i = m \vec{a}$$

Relación entre la fuerza y el momento lineal (cantidad de movimiento):

Lo que Newton llamaba “movimiento” en la expresión de la segunda ley es lo que hoy se conoce como cantidad de movimiento:

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



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

Esta formulación constituye otra forma de expresar la 2ª ley de Newton.

OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE EL CONCEPTO DE MASA

- La masa es una propiedad **intrínseca** del cuerpo que no depende del entorno del mismo, de ningún agente externo ni del tipo de fuerza que usemos para medirla.
- Cuanto mayor es la masa de un cuerpo menor será la aceleración que adquiere bajo la acción de una fuerza. Así, la **masa** de un cuerpo es una **medida cuantitativa de la inercia** o resistencia que presenta ese cuerpo a modificar su estado de movimiento bajo la acción de fuerzas. También se le suele llamar **masa inercial (m)**.

PROPIEDADES

- 1) Para una misma sustancia, la masa es proporcional al tamaño.
- 2) Es una cantidad aditiva (ESCALAR).
- 3) Se conserva en las reacciones químicas.
- 4) En la Mecánica Clásica o Newtoniana, es independiente del estado de movimiento del cuerpo (no así en la Mecánica Relativista).

Masa pesante (o gravitatoria) M:

Peso:
$$P = G \frac{M_T M}{r^2} = Mg$$
 (Fuerza que ejerce la Tierra sobre un cuerpo)

- En las proximidades de la superficie terrestre todos los cuerpos caen con la misma aceleración ($g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$)

Relación entre la masa inerte y la masa gravitatoria

De resultados experimentales:
$$\frac{M}{m} = 3 \times 10^{-11}$$

- La masas inerte (m) y gravitatoria (M) de un cuerpo son prácticamente coincidentes, razón por la cual, en lo sucesivo, hablaremos sólo de **masa**.

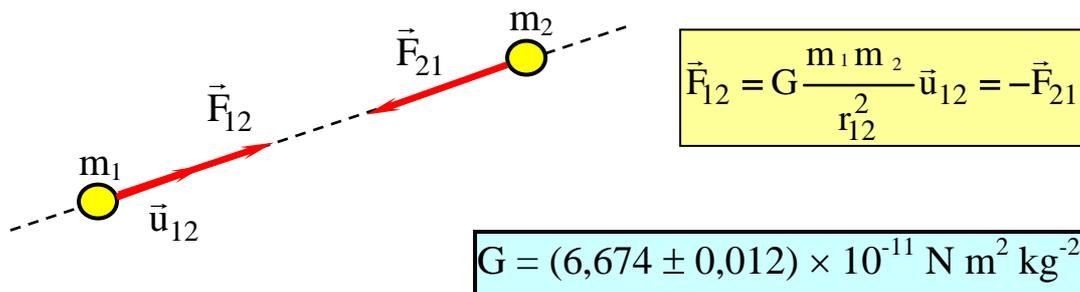
Masa patrón: **Kilogramo patrón:** Cilindro de platino e iridio que se conserva en la Oficina internacional de Pesas y Medidas de Sèvres (París).

- Por comparación con la masa patrón, pueden obtenerse las masas de otros cuerpos.

LAS FUERZAS FUNDAMENTALES DE LA NATURALEZA

LA FUERZA GRAVITATORIA

Ley de Newton: Toda partícula del Universo atrae a cualquier otra partícula con una fuerza que es directamente proporcional al producto de las masas de ambas partículas, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (r_{12}) que las separa, y dirigida según la recta que los une.



Ejemplo: Dos bolas de plomo de 1 kg cada una (separación: 10 cm):

$$F = 6,674 \times 10^{-9} \text{ N}$$

Ejemplo: Fuerza gravitatoria entre la Tierra y la Luna:

$$M_{\text{Luna}} = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$$

$$M_{\text{Tierra}} = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$d_{\text{Tierra-Luna}} = 3,84 \times 10^8 \text{ m}$$

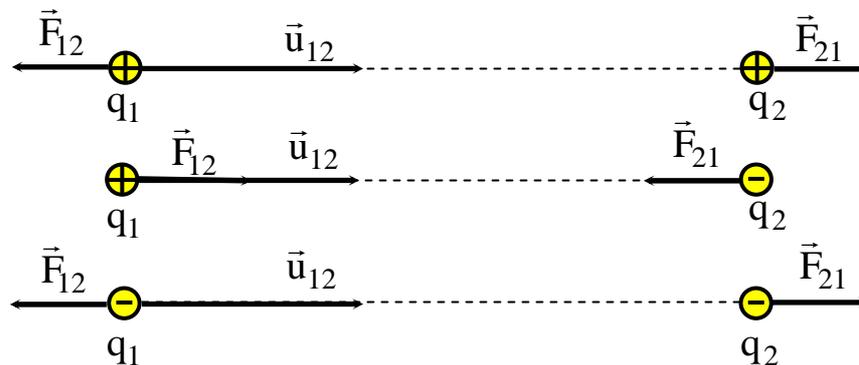
$$F = 2 \times 10^{20} \text{ N}$$

LAS FUERZAS FUNDAMENTALES DE LA NATURALEZA

LA FUERZA ELECTROMAGNÉTICA

Fuerza electrostática

Ley de Coulomb: Entre dos partículas cargadas (en reposo) existe una fuerza atractiva o repulsiva que es proporcional al producto de las cargas, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, siendo su dirección la de la recta que las une.



$\vec{F}_{12} = -k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{u}_{12} = -\vec{F}_{21}$	$F_{12} = F_{21} = k \frac{ q_1 q_2 }{r_{12}^2}$
$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}$	$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2}$

Cuando las cargas se mueven generan, en su entorno, campos magnéticos. Por tanto, a la fuerza electrostática hay que sumarle la fuerza magnética. La resultante de ambas fuerzas es la **fuerza electromagnética**:

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

Fórmula de Lorentz

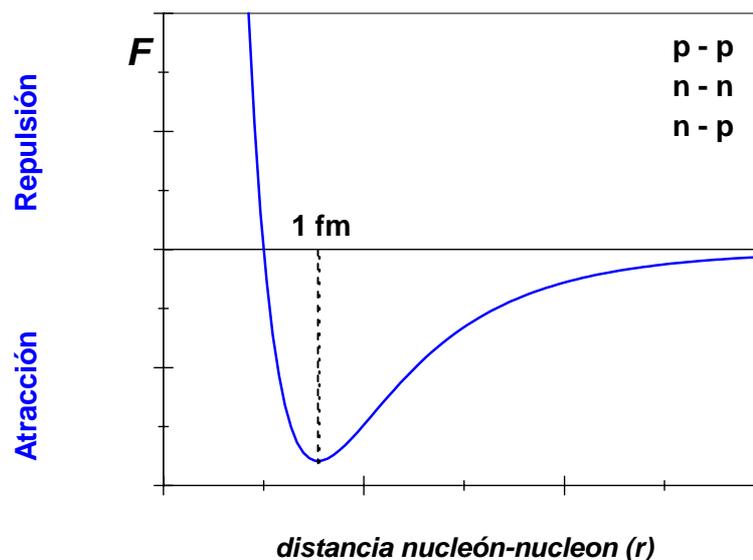
E \equiv Intensidad del campo eléctrico
 B \equiv Intensidad del campo magnético
 v \equiv velocidad de la partícula (q)

LAS FUERZAS FUNDAMENTALES DE LA NATURALEZA

FUERZA NUCLEAR FUERTE

Es la fuerza responsable de la estabilidad de los núcleos atómicos (interacción entre nucleones).

- Cuando la distancia entre dos nucleones es $r \approx 1 \text{ fm}$ (1 fermi = $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m} \approx$ radio medio de un núcleo atómico) la fuerza nuclear es atractiva y unas 100 veces más grande que la fuerza electrostática repulsiva entre dos protones a esa misma distancia.
- La fuerza nuclear no es sólo atractiva. A pequeñas distancias es repulsiva (evitando así que el núcleo atómico se colapse)



LA FUERZA NUCLEAR DÉBIL

Es la fuerza presente en las desintegraciones espontáneas de las partículas atómicas en otras más ligeras (Desintegración β).

- La interacción débil existe entre todo par de partículas elementales, por lo que suele denominársela la **interacción universal de Fermi**.

LAS CUATRO INTERACCIONES FUNDAMENTALES DE LA NATURALEZA

FUERZA	NUCLEAR FUERTE	ELECTROMAGNETICA	DÉBIL	GRAVITATORIA
Intensidad relativa	1	10^{-2}	$10^{-12} \cdot 10^{-14}$	$10^{-38} \cdot 10^{-40}$
Alcance	Corto ($\cong 10^{-16}$ m)	Largo (∞)	Corto (10^{-18} m)	Largo (∞)
Partículas intercambiadas	Gluones	Fotones	Bosones vectoriales intermedios W^+, W^-, Z^0	Gravitones
Partículas sobre las que actúa	Hadrones (quarks)	Partículas cargadas	Hadrones (quarks) Leptones (e, ν)	Todas las partículas
Naturaleza de la fuerza entre partículas idénticas	Repulsiva	Repulsiva	Repulsiva	Atractiva
Espín de las partículas intercambiadas	1	1	1	2
Escenario	Núcleos atómicos	Átomos y moléculas	Desintegración nuclear (β)	Cosmos
Propiedad de la materia	Carga de "color"	Carga "débil"	Carga eléctrica	Masa

MANIFESTACIONES MACROSCÓPICAS DE LAS FUERZAS ELECTROMAGNETICAS

- Todas las fuerzas que existen en la naturaleza pueden entenderse como manifestaciones de las cuatro interacciones fundamentales vistas anteriormente.
- Las fuerzas intermoleculares son de origen electromagnético. Algunas de sus manifestaciones macroscópicas son las siguientes:

Fuerzas de contacto (fuerzas de presión, normales a las superficies en contacto, tensiones en cuerdas, etc.)

Fuerzas de cohesión (entre moléculas de la misma especie química)

Fuerzas de adhesión (entre moléculas de distinta especies químicas)

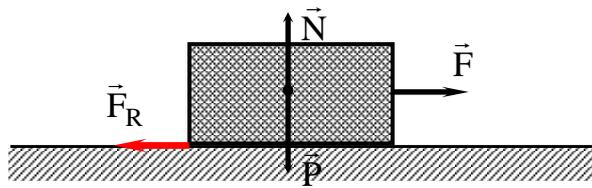
Fuerzas de tensión superficial (líquidos + fenómeno de capilaridad)

Fuerzas de rozamiento (se oponen al movimiento relativo entre dos sólidos en contacto)

Fuerzas de viscosidad (se oponen al movimiento relativo interno de los fluidos y al movimiento de sólidos en el seno de los mismos)

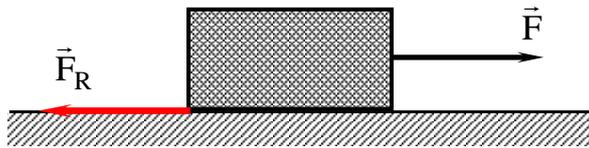
Fuerzas elásticas (muelles comprimidos o estirados, deformación de sistemas). Para deformaciones pequeñas es aplicable la ley de Hooke.

FUERZA DE ROZAMIENTO (Rozamiento seco)



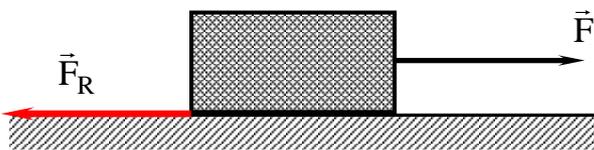
$$F_R = F_{R,e} = F$$

no hay movimiento



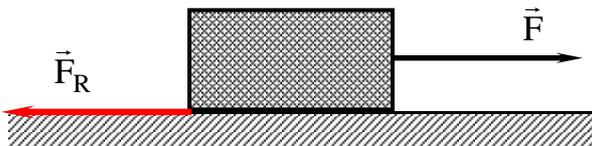
$$F_R = F_{R,e} = F$$

no hay movimiento



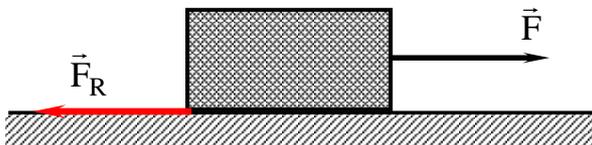
$$F_R = (F_{R,e})_{\max} = \mu_e N = F$$

movimiento inminente



$$F_R = F_{R,d} = \mu_d N < F$$

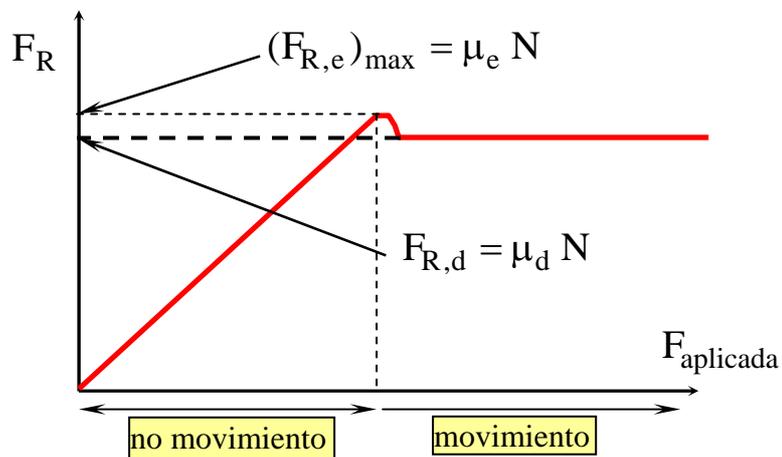
movimiento acelerado



$$F_R = F_{R,d} = \mu_d N = F$$

Movimiento uniforme

μ_e \equiv coeficiente de rozamiento estático
 μ_d \equiv coeficiente de rozamiento dinámico



FUERZA DE ROZAMIENTO (Rozamiento seco) - Continuación

La fuerza de rozamiento estática:

- Es aproximadamente independiente del área (macroscópica) de contacto (dentro de un amplio margen).
- Es proporcional a la fuerza normal de presión entre las superficies en contacto

$$F_{R,e} \leq \mu_e N$$

donde la igualdad se corresponde con el valor máximo de la fuerza de rozamiento estático.

La fuerza de rozamiento dinámica (cinético):

$$F_{R,d} = \mu_e N$$

- La fuerza de rozamiento dinámica cumple con las leyes expuestas para el rozamiento estático, y además:
- Es independiente de la **velocidad relativa** de las superficies de las superficies de contacto (al menos, cuando ésta es moderada).
- Es, normalmente, menor que la fuerza de rozamiento estático, entre las mismas superficies.

ROZAMIENTO EN FLUIDOS

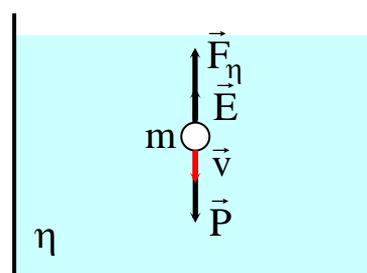
Cuando un objeto se mueve en un fluido (líquido ó gas), la **viscosidad** de éste puede originar una fuerza contraria al movimiento, normalmente, es **proporcional a la velocidad** del objeto:

$$\vec{F}_R = -k v^n \vec{u}_T$$

Ley de STOKES:

$$\vec{F}_R = -6\pi r\eta \vec{v}$$

Esferilla de radio (r) cayendo en el seno de un líquido viscoso.



MOMENTO ANGULAR

El *momento angular* (o cinético) es una magnitud vectorial definida por:

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

Teorema del momento angular

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{M}$$

“*En cada instante, la variación instantánea del momento angular coincide con el momento de la fuerza resultante que actúa sobre la partícula* [\vec{M} y \vec{L} deben evaluarse respecto del mismo punto, p.e., el origen O del triedro de referencia OXYZ]”.

Impulso angular

El impulso angular suministrado a una partícula por una fuerza, en el intervalo de tiempo comprendido entre t_1 y t_2 viene dado por:

$$\vec{I}_A = \int_{t_1}^{t_2} \vec{M} dt = \vec{L}_2 - \vec{L}_1$$

Teorema de conservación del momento angular

Si en movimiento $\vec{M} = \vec{0} \Rightarrow \vec{L} = \vec{cte}$, es decir, **SE CONSERVA**:

- su módulo es constante $|\vec{L}| = mr^2 \frac{d\phi}{dt} = cte$
- su dirección es constante [**el movimiento es PLANO**]

La conservación de L se produce cuando:

- No actúan fuerzas sobre la partícula (**partícula libre**).
- La fuerza resultante sobre la partícula es nula ($\forall t$).
- Cuando ($\forall t$), se verifica que \vec{r} y \vec{F} son paralelos (**la fuerza es central**)

MOVIMIENTO RESPECTO A UN SRNI. Fuerzas de inercia

La ley del movimiento de Newton, válida para los **SRI**, puede escribirse:

$$\vec{F}_{\text{SRI}} = m \vec{a}_{\text{SRI}}$$

donde la fuerza es la resultante de las interacciones reales que actúan sobre la partícula y la aceleración es la medida por un observador inercial.

Para los sistemas de referencia no inerciales (SRNI), la ecuación del movimiento se puede escribir también como:

$$\vec{F}_{\text{SRNI}} = m \vec{a}_{\text{SRNI}}$$

donde:

$$\vec{F}_{\text{SRNI}} = \vec{F}_{\text{SRI}} + \vec{F}_{\text{inercia}}$$

con

$$\vec{F}_{\text{inercia}} = -m[\vec{a}_{O'} + \vec{\alpha} \times \vec{r}' + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}')] - 2m(\vec{\omega} \times \vec{v}_r) = \vec{F}_{\text{arrastre}} + \vec{F}_{\text{Coriolis}}$$

- Para obtener las expresiones anteriores, basta con multiplicar por la masa la ecuación que relaciona las velocidades absoluta y relativa y asociando el movimiento absoluto al SRI y el relativo al SRNI.
- Las aceleraciones medidas por los observadores INERCIAL y NO INERCIAL son, por lo general, diferentes.
- La denominada **fuerza de inercia** es el resultado de cuatro sumandos, cada uno de los cuales es, a su vez, una fuerza de inercia. Estas fuerzas de inercia no son fuerzas reales en el sentido que no proceden de una interacción real. Simplemente, son términos, con dimensiones de fuerza, que precisan ser añadidos a la fuerza real total para que las formulaciones de la ley del movimiento para los SRI y los SRNI presenten la misma formulación.