

# BACHILLERATO

## FÍSICA Y QUÍMICA

### XII. LAS LEYES DE LA DINÁMICA



R. Artacho

Dpto. de Física y  
Química



### Índice

1. La masa y el momento lineal.
2. Las leyes de Newton
3. Conservación de momento lineal
4. Impulso y cantidad de movimiento
5. Relatividad y tercera ley



### 1 La masa y el momento lineal



*¿Es lo mismo una hormiga que un elefante?*

*¿Podríamos frenarlos a los dos de igual manera hasta pararlos?*

- ☞ La hormiga ofrece poca resistencia a alterar su movimiento, mientras que el elefante opone una gran resistencia.
- ☞ La resistencia a modificar el estado de movimiento se denomina **inercia**.

- La **inercia** es la tendencia que manifiestan los cuerpos a continuar en su estado de movimiento (o reposo)
- La **masa** es la medida cuantitativa de la inercia de un cuerpo.
- La masa se simboliza con la letra  $m$ , y su medida en el SI es el **kilogramo** (kg).

### 1 La masa y el momento lineal

#### 1.1. La cantidad de movimiento o momento lineal

☞ Como hemos visto, la velocidad no basta para caracterizar el estado de movimiento de un cuerpo, también es necesario conocer la masa.

La magnitud que relaciona la masa y la velocidad de un cuerpo fue denominada **cantidad de movimiento**, y posteriormente, **momento lineal**.

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

- La **cantidad de movimiento** o **momento lineal** es la magnitud que caracteriza el estado de movimiento de un cuerpo.
- La unidad de cantidad de movimiento en el SI es el **kg·m/s**.



1 La masa y el momento lineal

**EJERCICIO 1**

Un tenista lanza una pelota de 250 g de masa a 20 m/s. Su oponente la devuelve en sentido contrario a 15 m/s. Calcula la cantidad de movimiento de la pelota antes y después de la devolución.

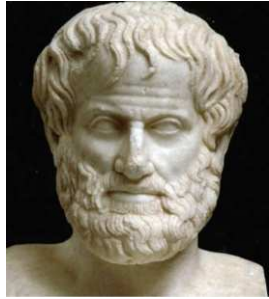
**EJERCICIO 2**

En un saque de tenis, una pelota de 200 g es lanzada a 225 km/h.

- ¿Cuál es el momento lineal en el instante en que sale despedida?
- Si el impacto con la malla de la raqueta dura 0,003 5 s, ¿cuál es la rapidez con que ha cambiado el momento lineal? ¿En qué unidades se mide?
- A la vista de dichas unidades, ¿se te ocurre a que puede equivaler esa rapidez con la que cambia el momento lineal?

2 Las leyes de Newton

2.1. La primera ley: ley de inercia



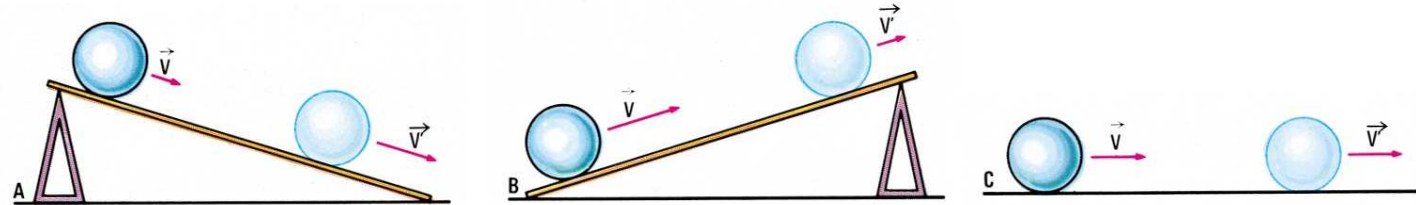
Aristóteles

☞ Para **Aristóteles** (384-322 a.C.) un cuerpo solo se puede mantener en movimiento mientras actúe sobre él una fuerza de forma continua.



Galileo

☞ **Galileo Galilei** (1564-1642) llegó a la conclusión contraria: los cuerpos podían mantenerse indefinidamente en movimiento sin necesidad de que sobre ellos actúe fuerza alguna.



☞ **Newton**, en sus *Principia*, estableció como primera ley el **principio de inercia**:

Un cuerpo sobre el que la resultante de la fuerzas que actúan sobre él es nula, permanece en reposo o moviéndose con velocidad constante.



Newton



## 2 Las leyes de Newton

### 2.1. La primera ley: ley de inercia

- ➔ La constancia de la velocidad se extiende al módulo, dirección y sentido, por lo que el movimiento debe ser MRU.
- ➔ Como el movimiento de un cuerpo se caracteriza por su momento lineal, podemos establecer también el siguiente enunciado de la primera ley:

**El momento lineal o cantidad de movimiento** de un cuerpo aislado permanece constante.



2 Las leyes de Newton

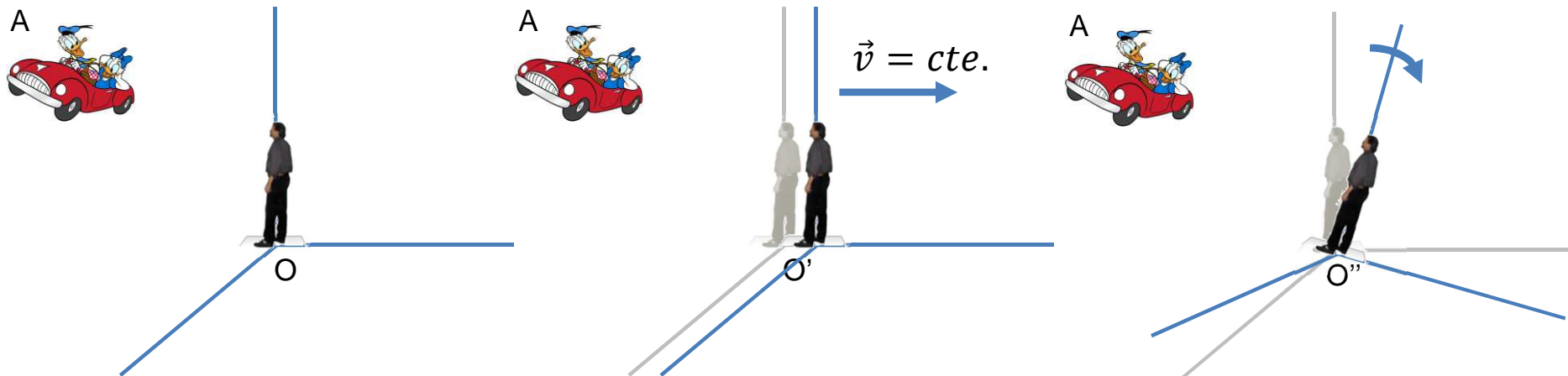
2.1. La primera ley: ley de inercia

La primera ley y los sistemas de referencia

Supongamos un cuerpo A en un hipotético reposo absoluto. Está siendo contemplado por tres observadores:

- O (que está en reposo con respecto a A)
- O' (que se está moviendo con velocidad constante respecto a A)
- O'' (que se halla en un sistema en rotación uniforme)

¿Los tres observadores concluirían que A cumple con la ley de inercia?





### 2 Las leyes de Newton

#### 2.1. La primera ley: ley de inercia

##### La primera ley y los sistemas de referencia

- ☞ Para el observador  $O$ , el cuerpo está en reposo. Para  $O'$  lo ve moviéndose con velocidad constante.
- ☞ Para  $O$  y  $O'$  el objeto cumple con la ley de inercia. Afirman que sobre  $A$  no actúa fuerza neta alguna. Constituyen un sistema de referencia equivalentes denominados “inerciales”.

Los sistema de referencia en reposo o con velocidad constante se denominan **sistemas de referencia inerciales**, pues en ambos se cumple por igual el principio de inercia y, en consecuencia, las leyes físicas.

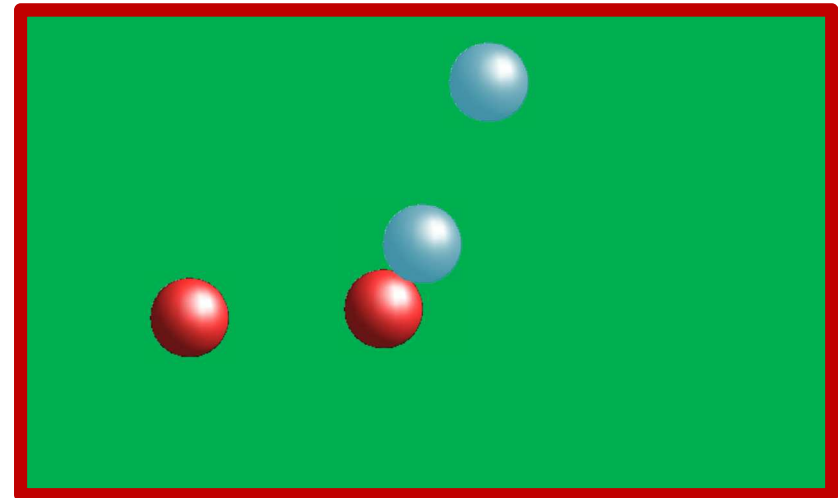
- ☞ Para  $O''$  vería que  $A$  gira a su alrededor, estaría dotado de aceleración centrípeta, lo que exige una fuerza responsable. Su descripción no concuerda con la de los observadores “inerciales”.

Los sistema de referencia en rotación o, en general, acelerados constituyen **sistemas de referencia no inerciales**, y en ellos no se cumplen las leyes de Newton del mismo modo que en los inerciales..



### 2 Las leyes de Newton

#### 2.2. La segunda ley: concepto de interacción y fuerza



#### Interacción:

- ☞ Acción mutua (sin necesidad de contacto) entre dos o más cuerpos
- ☞ Simultánea
- ☞ Produce cambios:
  - Posición
  - Movimiento
  - Deformaciones
- ☞ La medida de su intensidad es la **fuerza**

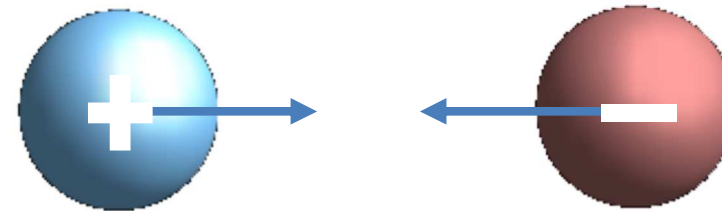
2 Las leyes de Newton

2.2. La segunda ley: concepto de interacción y fuerza

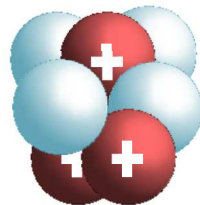
Interacciones en el modelo estándar



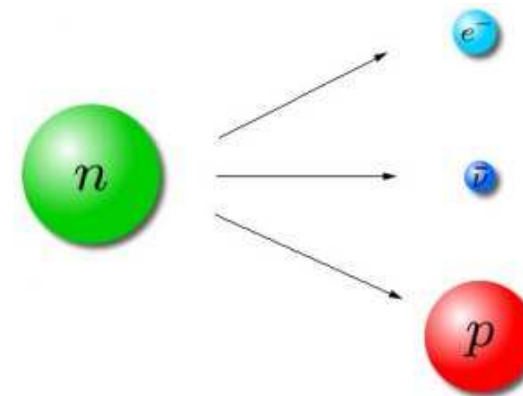
*Interacción gravitatoria*



*Interacción electromagnética  
(Ej. Fuerzas de "contacto")*



*Interacción nuclear fuerte*



*Interacción nuclear débil*

2 Las leyes de Newton

2.2. La segunda ley: concepto de interacción y fuerza

Conclusiones:

- ☞ En toda **interacción** aparecen **dos fuerzas iguales, de sentido contrario y aplicadas a cuerpos distintos**.
- ☞ El cambio en el movimiento supone la **modificación del momento lineal o cantidad de movimiento**.
- ☞ La **rapidez con la que varía el momento lineal** de un cuerpo nos da la medida de la fuerza que actúa sobre él:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

- ☞ Esta expresión es la **ecuación fundamental de la dinámica de traslación** y constituye la expresión matemática de la **segunda ley del movimiento**.
- ☞ Lleva implícita la primera ley. En efecto, si  $\vec{F} = 0$ :

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta \vec{p} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{p} = cte.$$

### 2 Las leyes de Newton

#### 2.2. La segunda ley: concepto de interacción y fuerza

##### Fuerza es masa por aceleración

- La expresión anterior es la fórmula general de la fuerza, que podemos expresar como:

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

- En el caso de que la **masa se mantenga constante**,  $dm/dt$  es cero:

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} \quad \vec{F} = m\vec{a}$$

- Que permite establecer el modo operativo para calcular la masa (**inercial**) de los cuerpos.
- La unidad de fuerza en el SI es el **newton (N)**.

1 N es la fuerza que debe aplicarse a un cuerpo de 1 kg de masa para comunicarle una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup>: 1 N = 1 kg · 1 m/s<sup>2</sup>.



2 Las leyes de Newton

**EJERCICIO 3**

Un cuerpo de 5 kg se mueve según la ecuación:  $\vec{r} = 3t^2\hat{i} - 2t\hat{j} + 5\hat{k}$  m. Calcula la fuerza que actúa sobre él e indica en qué dirección lo hace.

**EJERCICIO 4**

Un cuerpo de 10 kg se encuentra inicialmente en la posición  $\vec{r}_0 = 2\hat{i} + 5\hat{j}$  m y sobre él comienza a actuar una fuerza constante  $\vec{F} = 8\hat{i}$  N. Determina cuál será la ecuación de posición en función del tiempo y calcula el desplazamiento efectuado bajo la acción de dicha fuerza en los diez primeros segundos.

2 Las leyes de Newton

2.2. La tercera ley: ley de “acción y reacción”

- La definición del concepto de interacción permite definir la **tercera ley** de esta forma:

Cuando dos cuerpos interaccionan, se ejercen mutuamente fuerzas iguales y de sentidos contrarios (aplicadas a cuerpos distintos y, por tanto, **producen efectos distintos**).

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



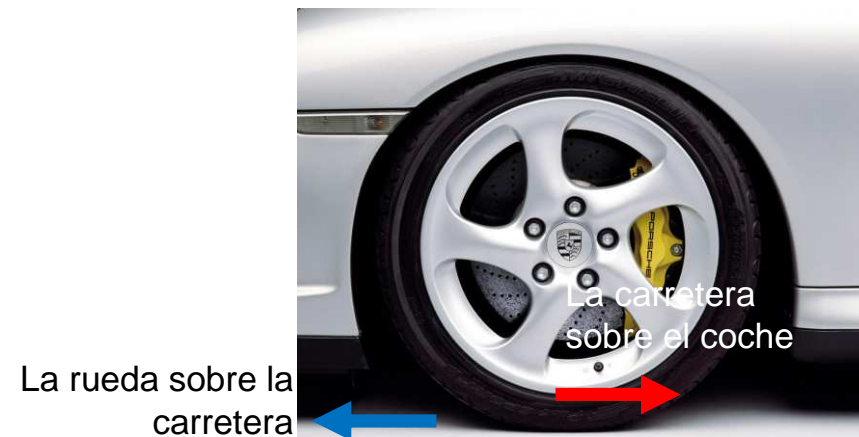
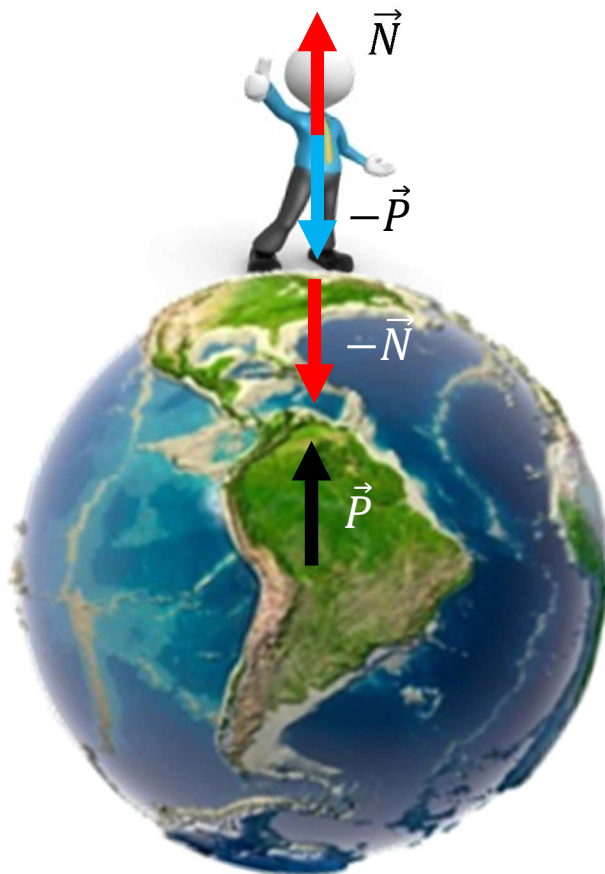


2 Las leyes de Newton

2.2. La tercera ley: ley de “acción y reacción”

Identificación de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo

En cualquier interacción siempre hay que identificar las dos fuerzas que actúan sobre cada uno de los cuerpos.



### 3 Conservación del momento lineal

➔ En un sistema formado por **dos cuerpos aislados** (solo interaccionan entre sí).

➔ Según la tercera ley:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

➔ Teniendo en cuenta el segundo principio:

$$\frac{\Delta \vec{p}_1}{\Delta t} = -\frac{\Delta \vec{p}_2}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)}{\Delta t} = 0$$

➔ Lo que significa que el momento lineal del sistema permanece constante:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \text{constante}$$

En ausencia de fuerzas externas, si entre dos cuerpos actúan solamente sus fuerzas internas, el momento lineal total del sistema permanece constante en el tiempo.

## 2.2. La tercera ley: ley de “acción y reacción”

### Colisiones

- Supongamos dos partículas que colisionan entre sí sin estar sujetas a otras interacciones.
- Se cumple que:

$$\vec{p}_{total\ antes} = \vec{p}_{total\ después} \quad \Rightarrow \quad \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$$

- Que conduce a:

$$\vec{p}_1 - \vec{p}_1' = \vec{p}_2' - \vec{p}_2 \quad \Rightarrow \quad \Delta\vec{p}_1 = -\Delta\vec{p}_2$$

En un proceso en el que no intervienen fuerzas externas, se produce una transferencia del momento lineal de una partícula a la otra



### 4 Impulso y cantidad de movimiento

- El cambio en el movimiento de un cuerpo depende de la intensidad de la fuerza que actúa sobre él y también de la duración de la interacción.

El **impulso mecánico** es la magnitud que combina la fuerza aplicada y el tiempo que dura su aplicación.

$$\vec{I} = \vec{F} \Delta t$$

- Teniendo en cuenta la expresión de la segunda ley:

$$\vec{I} = \vec{F} \Delta t = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \Delta t \quad \Rightarrow \quad \vec{I} = \Delta \vec{p}$$

- La unidad de impulso en el SI es el **newton por segundo** (N s)

### 4 Impulso y cantidad de movimiento

#### EJERCICIO 5

Una pelota de 160 g de masa llega a la pared de un frontón con una velocidad de 50 m/s. Si permanece en contacto con la pared durante 0,02 s y sale rebotada en la misma dirección con igual velocidad, calcula: a) El impulso que la pared ejerce sobre la pelota; b) La fuerza media que opone la pared.

#### EJERCICIO 6

Sobre un cuerpo en reposo de 25 kg de masa actúa, en un caso, una fuerza de 10 N durante 10 s, y en otro, una fuerza de 50 N durante 2 s. Responde:

- ¿En cuál de las dos situaciones se le comunica al cuerpo mayor velocidad?
- ¿Cuánto valdrá dicha velocidad?

#### EJERCICIO 7

Calcula la fuerza media que ha ejercido un cinturón de seguridad sobre un conductor de 75 kg cuyo vehículo ha colisionado contra un obstáculo fijo, sabiendo que circulaba a 110 km/h y que el impacto ha durado 0,06 s.



5 Relatividad y tercera ley

- ☞ Desde Newton hasta hoy se ha sustituido la noción de acción a distancia por la noción de **campo**.
- ☞ La **teoría de la relatividad especial** de Einstein postula que la velocidad de la luz en el vacío es la velocidad con la que se transmite una interacción (Newton consideraba que era instantánea).
- ☞ ¿Significa eso que durante un cierto tiempo no se conserva el momento lineal?
- ☞ En estas condiciones se exige una revisión total del concepto de **campo** e **interacción**.