

NōS

Oposicións

FÍSICA E QUÍMICA

TEMA 4. Cinemática. Elementos para la descripción del movimiento. Movimientos de especial interés. Métodos para el estudio experimental del movimiento.

www.nosoposicions.com

www.espazonos.com

ÍNDICE DE CONTIDOS

1. Cinemática
2. Elementos para la descripción del movimiento
 - 2.1. Posición
 - 2.2. Velocidad.
 - 2.3. Aceleración.
3. Movimientos de especial interés
 - 3.1. Movimientos en una dimensión. Movimientos rectilíneos.
 - 3.1.1. Movimiento rectilíneo uniforme.
 - 3.1.2. Movimiento rectilíneo con aceleración constante (Uniformemente acelerado).
 - 3.2. Movimientos en dos dimensiones.
 - 3.2.1. Movimientos de trayectoria parabólica.
 - 3.2.2. Movimientos de trayectoria circular.
4. Métodos para el estudio experimental del movimiento
 - 4.1. Métodos manuales.
 - 4.2. Métodos fotográficos.
 - 4.3. Métodos automáticos.
5. Bibliografía

1. CINEMÁTICA

La **mecánica** es la parte de la física que estudia los movimientos de los cuerpos.

El concepto fundamental de la mecánica es, por tanto, el de movimiento, entendiendo como tal el desplazamiento de un cuerpo respecto a los demás cuerpos.

Como toda ciencia natural, la mecánica establece sus postulados a partir de datos experimentales. Las leyes de lo que hoy conocemos como mecánica clásica o newtoniana fueron establecidas por Isaac Newton y son el resultado de las observaciones del movimiento en unas condiciones limitadas: cuerpos de dimensiones grandes que están compuestos por un número grande de átomos - objetos macroscópicos- y velocidades pequeñas. Para cuerpos con velocidades próximas a la velocidad de la luz en el vacío, 300.000 km/s, las leyes que describen el movimiento son las de la **mecánica relativista** (teoría desarrollada por Albert Einstein y publicada en 1905). Las leyes de la mecánica clásica también dejan de ser válidas en la descripción del movimiento de los átomos individuales y las partículas elementales. En este campo de dimensiones microscópicas las leyes que describen el movimiento son las de la **mecánica cuántica**.

La mecánica la podemos considerar dividida en dos partes:

- La **cinemática**, que consiste en determinar y describir las trayectorias de los cuerpos, sin atender a las causas que las pueden modificar. Para describir geoméricamente las trayectorias, basta con definir tres magnitudes que son función del tiempo: la posición, la velocidad y la aceleración.
- La **dinámica**, que se basa en el análisis de las causas que modifican el movimiento de los cuerpos.

El concepto de movimiento es un concepto relativo y no absoluto. El conjunto de cuerpos que se consideran fijos y con respecto a los cuales se refieren los movimientos de los otros cuerpos es lo que se conoce como **sistema de referencia**. El sistema de referencia puede elegirse arbitrariamente, pero sólo caracterizaremos un movimiento dado después de especificar en qué sistema se realiza la observación.

2. ELEMENTOS PARA LA DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO

La trayectoria de un cuerpo que se mueve puede quedar perfectamente descrita si conocemos su posición, velocidad y aceleración.

2.1. Posición

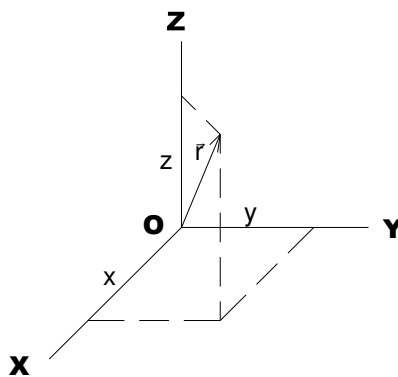
Se define la **posición** como el vector que une el origen del sistema de referencia elegido con el lugar ocupado por el cuerpo.

La definición de posición de un cuerpo nos lleva a adoptar una aproximación: si el cuerpo es considerado con sus dimensiones, la posición dependería de la parte de cuerpo elegida, que habitualmente es el centro de masas. De forma general, consideramos que el cuerpo no tiene dimensiones, y que es un punto material.

Supongamos un punto material P cuyo movimiento deseamos estudiar. Elijamos un sistema de referencia al que consideraremos fijo formado por los ejes X, Y y Z perpendiculares entre sí y que pasan por el origen O del sistema de referencia. La posición de la partícula P queda determinada conociendo en cada instante el vector $\vec{r}(t)$ que va desde O hasta P y que se denomina **vector de posición**. Las coordenadas de la partícula P en cada instante son las componentes del vector de posición, el cual puede escribirse en función de éstas de la forma:

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k} \quad [1]$$

Donde \vec{i}, \vec{j} y \vec{k} son los vectores unitarios en la dirección de los ejes coordenados X, Y y Z, respectivamente.



La expresión [1] se denomina **ecuación vectorial del movimiento** o **ecuación de posición**. Conocer el movimiento de la partícula es completamente equivalente a conocer las componentes del vector posición en función del tiempo:

$$\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \quad [2]$$

El espacio recorrido por la partícula en un intervalo de tiempo es la longitud del tramo de trayectoria por el que pasa la partícula en ese tiempo y se designa con la letra s .

$$s = s(t) \quad [3]$$

La unidad de posición en el Sistema Internacional es el metro (m).

Podemos considerar una partícula que describe una trayectoria curvilínea en el espacio. Supongamos que en un instante de tiempo t_1 el vector posición de la partícula es $\vec{r}_1 = \vec{r}(t_1)$ y que en un instante posterior t_2 el vector posición es $\vec{r}_2 = \vec{r}(t_2)$. Se define el **desplazamiento de la partícula** en ese intervalo de tiempo como: $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$

$$\text{Por tanto: } \Delta\vec{r} = [x(t_2)\vec{i} + y(t_2)\vec{j} + z(t_2)\vec{k}] - [x(t_1)\vec{i} + y(t_1)\vec{j} + z(t_1)\vec{k}]$$

El **desplazamiento** de la partícula en una magnitud vectorial cuya dirección es la de la línea que une las posiciones inicial y final de la partícula. El módulo del desplazamiento no es igual al espacio recorrido por la partícula en su movimiento, ya que éste es igual a la longitud del arco Δs sobre la trayectoria seguida por la partícula.

2.2. Velocidad.

Es la magnitud que especifica la rapidez con la que una partícula cambia su posición respecto del tiempo.

Supongamos una partícula cuyos vectores de posición en los instantes de tiempo t_1 y t_2 son, respectivamente, \vec{r}_1 y \vec{r}_2 . Se define la **velocidad media** de la partícula en ese

$$\vec{v}_m = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

intervalo de tiempo como:

La velocidad media es un vector cuya dirección y sentido coinciden con los del vector desplazamiento y cuyo módulo es $|\Delta\vec{r}/\Delta t|$. Su unidad en el Sistema Internacional es el metro dividido por segundo (m/s).

La precisión en la información de un movimiento requiere que el análisis del mismo se efectúe en intervalos de tiempo muy pequeños; cuanto más pequeños, más precisa será la información obtenida. De este modo, las velocidades medias, medidas en intervalos muy cortos, se convierten en **velocidades instantáneas**. En consecuencia:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

La velocidad de una partícula es un vector igual a la derivada del vector de posición con respecto al tiempo. Así pues, si conocemos la ecuación del movimiento, la velocidad instantánea se obtiene derivando la posición con respecto al tiempo:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k}, \quad \text{es decir:} \quad \vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$$

El módulo del vector velocidad lo podemos calcular en función de sus componentes como:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}$$

La dirección de la velocidad instantánea es la de la tangente a la trayectoria en el punto donde se encuentra la partícula. $\vec{v} = v\vec{u}_t$

Por otra parte, definimos **celeridad media** como $c_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

El límite de la celeridad media es la celeridad (módulo de la velocidad):

$$c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} c_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = v$$

El módulo de la velocidad media no coincide con el valor de la celeridad media, ya que, en general, se tiene que $|\Delta \vec{r}| \leq \Delta s$ para intervalos de tiempo finitos. La igualdad sólo se da en un movimiento rectilíneo y cuando la dirección de movimiento es invariable.

2.3. Aceleración.

Se define la **aceleración media** de una partícula en un intervalo de tiempo Δt como

$$\vec{a}_m = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

la rapidez con que cambia su vector velocidad en dicho intervalo.

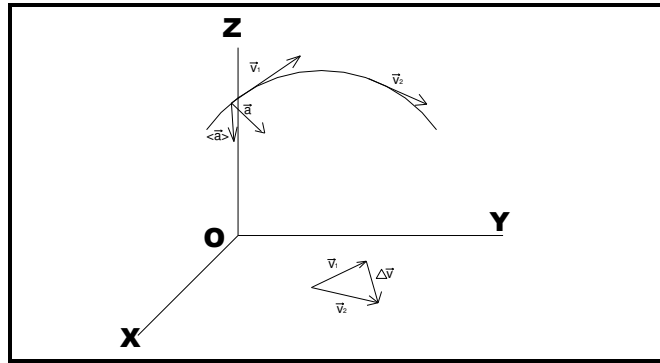
Esta definición implica que:

- Existe aceleración siempre que cambie cualquier atributo del vector velocidad: módulo, dirección o sentido.
- La dirección del vector aceleración media es la misma que la de la variación de la velocidad ($\Delta \vec{v}$).

A su vez, se define la **aceleración instantánea** o **aceleración** como el límite de la

aceleración media cuando el intervalo de tiempo tiende a cero: $\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

De esta definición vemos que el vector aceleración tiene la dirección de cambio instantáneo de la velocidad. Puesto que la variación de la velocidad se produce en la dirección en que se curva la trayectoria, el vector aceleración apuntará siempre hacia la concavidad de la curva.



Por tanto:
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt} \vec{i} + \frac{dv_y}{dt} \vec{j} + \frac{dv_z}{dt} \vec{k}$$

Es decir:
$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$

El módulo de la aceleración viene dado por:
$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Componentes intrínsecas de la aceleración.

La variación del vector velocidad de una partícula se puede producir porque cambie su módulo (celeridad) o porque lo haga su dirección.

- Si varía el módulo de la velocidad respecto al tiempo, decimos que la partícula posee aceleración tangencial.
- Si varía la dirección de la velocidad respecto al tiempo (es decir, no sigue una trayectoria rectilínea), decimos que la partícula posee aceleración normal o centrípeta.

en donde:
$$a_t = \frac{dv}{dt} \qquad a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

Las componentes \vec{a}_t y \vec{a}_n se denominan componentes intrínsecas de la aceleración. Por tanto: La **aceleración tangencial**, a_t , produce cambios en el módulo de la velocidad. La **aceleración normal** o **centrípeta**, a_n o a_c , aparece cuando los movimientos son curvilíneos y produce cambios en la dirección de la velocidad sin afectar al módulo.

Puesto que las dos componentes intrínsecas son perpendiculares, la aceleración total

será:
$$a = \sqrt{a_t^2 + a_c^2}$$

En función de los valores de los componentes intrínsecos de la aceleración, los movimientos se pueden clasificar según el siguiente esquema:

CLASIFICACIÓN DOS MOVIMIENTOS				
Componentes da aceleración		a_t		
		$a_t = 0$	$a_t = cte \neq 0$	$a_t \neq cte$
a_n	$a_n = 0$ rectilíneo	Movimiento rectilíneo uniforme (m.r.u.)	Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (m.r.u.a.)	Movimiento rectilíneo acelerado
	$a_n > 0$ $\rho = R = cte$ circular	Movimiento circular uniforme (m.c.u.)	Movimiento circular uniformemente acelerado (m.c.u.a.)	Movimiento circular acelerado
	$a_n > 0$ $\rho \neq cte$	Movimiento curvilíneo non circular		

3. MOVIMIENTOS DE ESPECIAL INTERÉS

3.1. Movimientos en una dimensión. Movimientos rectilíneos.

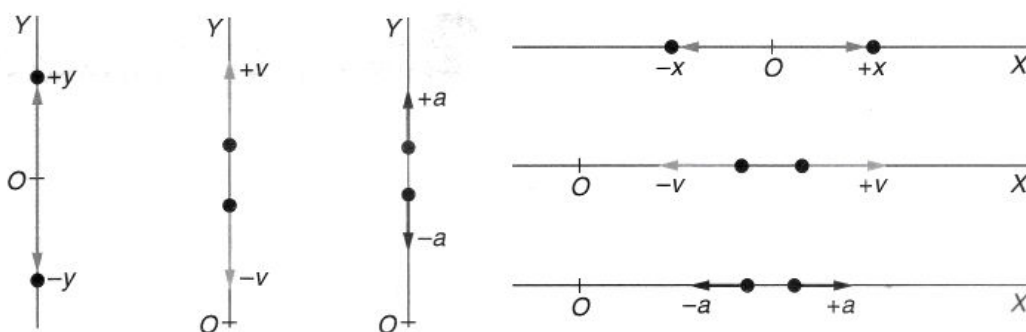
Los movimientos rectilíneos son los más fáciles de estudiar, puesto que podemos usar magnitudes escalares para expresar la posición, la velocidad y la aceleración. En estos movimientos usaremos el término velocidad para referirnos tanto a la celeridad como a la velocidad, pero indicaremos claramente el sentido cuando nos refiramos a esta última, para que en las ecuaciones aparezca con el signo correcto.

Un cuerpo realiza un movimiento rectilíneo cuando su trayectoria es una línea recta.

Todo movimiento rectilíneo presenta las siguientes características:

- No tiene aceleración normal. Al ser una trayectoria rectilínea, la velocidad no cambia de dirección. Por lo tanto, la aceleración total coincide con la tangencial y solo existe aceleración si varía el módulo de la velocidad.
- Las magnitudes cinemáticas \vec{r} , $\Delta\vec{r}$, \vec{v} y \vec{a} tienen la misma dirección: la de la trayectoria, y las podemos expresar mediante magnitudes escalares con signo; las denominamos magnitudes lineales (x , v y a).

El valor absoluto de cada magnitud escalar coincide con el módulo de la correspondiente magnitud vectorial, y su signo nos indica su sentido. En la siguiente figura se muestra el criterio de signos que normalmente se usa para indicar el sentido de cada magnitud.



3.1.1. Movimiento rectilíneo uniforme.

Un cuerpo realiza un movimiento rectilíneo uniforme (MRU), cuando se mueve en línea recta con velocidad constante.

Un m.r.u. presenta las siguientes características:

- No tiene ningún tipo de aceleración, $a = 0$. No hay aceleración normal, puesto que la velocidad no cambia de dirección, y no hay aceleración tangencial, ya que el módulo de la velocidad permanece constante.
- La velocidad instantánea coincide con la velocidad media, $v = v_m$, por ser la velocidad constante; además, su valor inicial no varía: $v = v_0$.
- El móvil recorre espacios iguales en tiempos iguales.

Ecuaciones y gráficas del movimiento (posición, velocidad y aceleración)

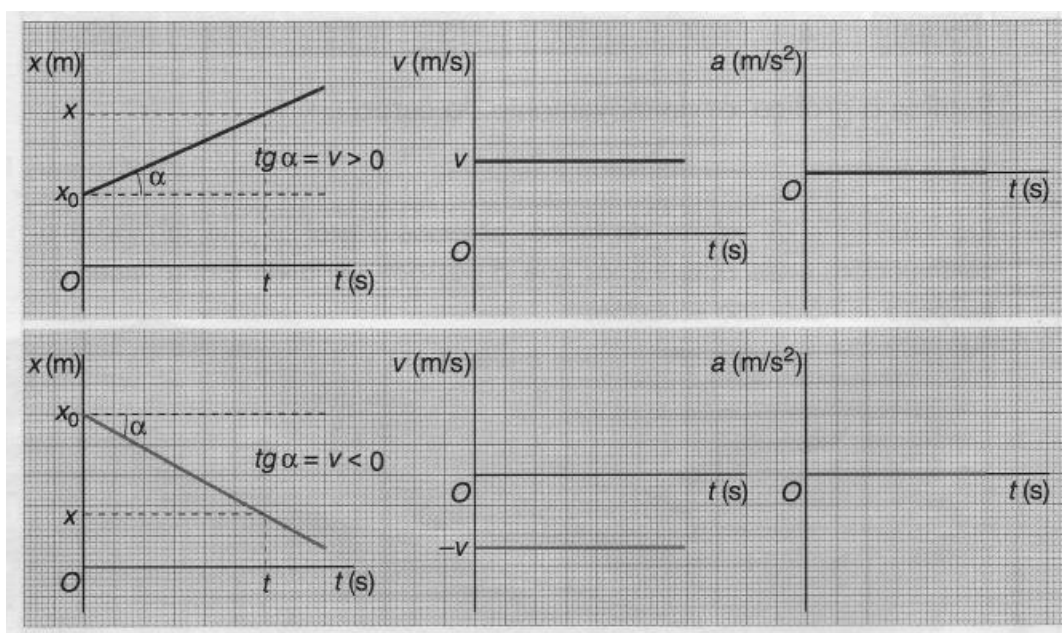
Sus ecuaciones se deducen del hecho de los dos componentes intrínsecos de la aceleración sean nulos: $a_n = 0$ y $a_t = 0$, luego $v = cte$ y $v_m = v$. Entonces:

$$v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt \Rightarrow x - x_0 = \int_{t_0}^t v dt$$

Dado que la velocidad es constante, sale fuera de la integral, con lo que cabe concluir que: $x - x_0 = v(t - t_0)$

como t_0 se considera habitualmente cero, obtenemos: $x = x_0 \pm vt$

En esta ecuación hemos considerado la doble posibilidad de que el cuerpo se aleje del observador (signo +) o se dirija hacia él (signo -). Las gráficas x-t, v-t y a-t de un m.r.u. de un m.r.u. de velocidad positiva (figuras superiores) y las de uno de velocidad negativa (figuras inferiores) son:



3.1.2. Movimiento rectilíneo con aceleración constante (Uniformemente acelerado).

Un cuerpo realiza un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, m.r.u.a., cuando se mueve en línea recta con aceleración constante.

Las características de un m.r.u.a. son:

- No tiene aceleración normal, pues su trayectoria es una línea recta.
- Su aceleración tangencial es constante (es uniformemente acelerado), luego, la aceleración media y la instantánea coinciden: $a = a_m$.
- El módulo de la velocidad varía de manera uniforme; es decir, aumenta (o disminuye) en la misma cantidad en cada unidad de tiempo.

Por tanto, el movimiento quedará perfectamente descrito cuando se conozca:

- La ecuación de la velocidad en función del tiempo.
- La ecuación de posición en función del tiempo.

Ecuaciones y gráficas del movimiento

Como el movimiento es rectilíneo y la aceleración constante:

$$a_n = 0; a = a_m = a_t = cte$$

$$a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = a \cdot dt \quad \Rightarrow \quad v - v_0 = a \cdot \int_{t_0}^t dt$$

Como la aceleración es constante, obtenemos: $v = v_0 + a(t - t_0)$

Teniendo en cuenta que t_0 suele ser cero, la ecuación general de la velocidad, contemplando los dos posibles sentidos de actuación de las magnitudes, es la siguiente:

$$v = \pm v_0 \pm at$$

El signo negativo será considerado, en general, cuando ambas magnitudes estén dirigidas hacia el observador (hacia el semieje negativo), mientras que serán positivas cuando se dirijan en sentido contrario al del observador.

Para el cálculo de la ecuación de posición procedemos de la siguiente forma:

$$v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt$$

Resolviendo las integrales y considerando $t_0 = 0$, obtenemos la ecuación general de la posición:

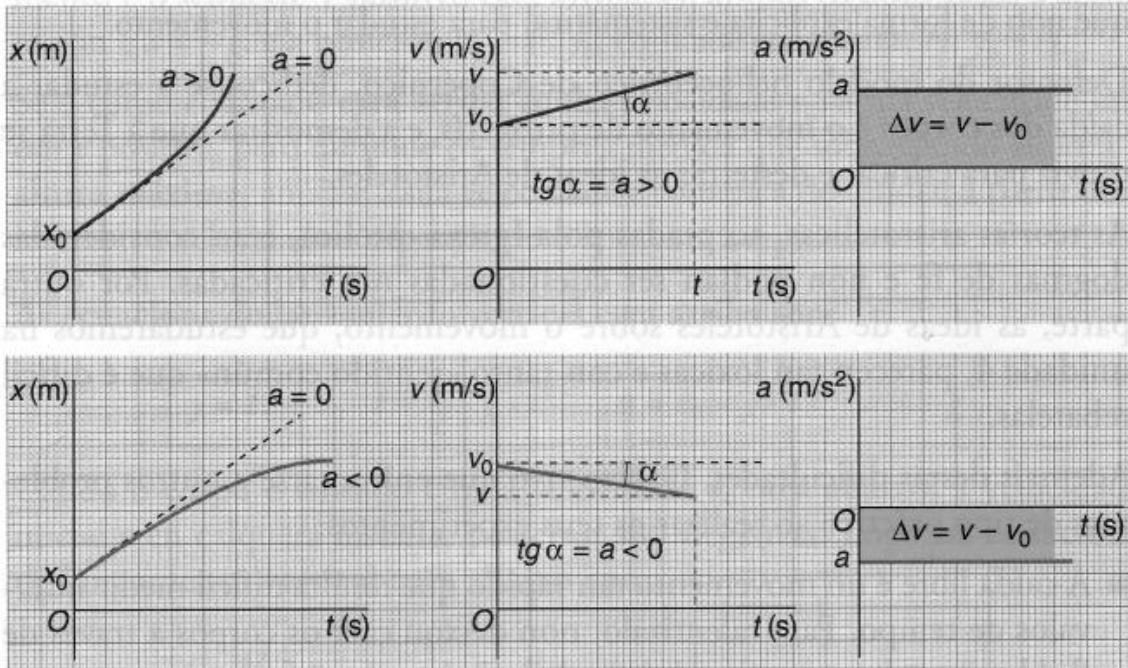
$$x - x_0 = \int_{t_0}^t v dt = \int_{t_0}^t (\pm v_0 \pm at) dt = \pm v_0 \int_{t_0}^t dt \pm a \int_{t_0}^t t dt$$

$$x = x_0 \pm v_0 t \pm \frac{1}{2} at^2$$

Si despejamos t en la ecuación de velocidad y la sustituimos en la que proporciona la posición, obtenemos:

$$v^2 - v_0^2 = 2 \cdot a \cdot (x - x_0)$$

Las gráficas $x-t$, $v-t$ y $a-t$ de un m.r.u.a. son las que se muestran a continuación. Las superiores representan un movimiento en el que la aceleración es positiva; y las inferiores, otro de aceleración negativa.



3.2. Movimientos en dos dimensiones.

Los movimientos en dos dimensiones (es decir, en un plano) pueden ser de dos tipos según su trayectoria: parabólicos o circulares.

3.2.1. Movimientos de trayectoria parabólica.

Los movimientos parabólicos pueden ser considerados como la composición de dos movimientos rectilíneos, siendo uno de ellos acelerado:

- Lanzamiento horizontal = MRU (horizontal) + caída libre.
- Movimiento parabólico completo o tiro oblicuo = MRU (horizontal) + lanzamiento hacia arriba (vertical).

Por tanto, usaremos las ecuaciones de los movimientos componentes para analizar los movimientos parabólicos.

Lanzamiento horizontal

Este tipo de movimiento es el que describe un objeto lanzado en dirección horizontal con una velocidad inicial v_0 . Debido a la existencia de g , la trayectoria se curva y da lugar a una parábola.

- **Ecuación de posición.** La posición en cualquier instante tiene dos componentes: una de avance horizontal y otra de caída libre.
 - Componente de avance: $x = v_0 t$
 - Componente de caída: $y = y_0 - \frac{1}{2} g t^2$
- **Ecuación de velocidad.** Tiene también dos componentes: una horizontal y constante en todo momento (igual a v_0) y otra vertical que aumenta con el tiempo.
 - Velocidad de avance horizontal: $v_x = v_0$
 - Velocidad de caída: $v_y = -gt$

Así pues, las ecuaciones vectoriales de posición, velocidad y aceleración son:

$$\vec{r} = (v_0 t) \vec{i} + (y_0 - \frac{1}{2} g t^2) \vec{j}$$

$$\vec{v} = v_0 \vec{i} - g t \vec{j}$$

$$\vec{a} = -g \vec{j}$$

La trayectoria de un lanzamiento horizontal es una parábola.

Movimiento parabólico completo o tiro oblicuo

Este movimiento tiene lugar siempre que la velocidad inicial forme cierto ángulo, α , con el suelo. Así, la velocidad inicial tiene dos componentes que producen el avance horizontal ($v_{0x} = v_0 \cos \alpha$) y la elevación ($v_{0y} = v_0 \sin \alpha$).

- **Ecuación de posición.** Viene dada por dos componentes, una de avance horizontal, x , y otra de altura, y :
 - Componente horizontal de avance: $x = v_{0x}t$
 - Componente vertical de altura: $y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$
- **Ecuación de velocidad.** Tiene, igualmente, dos componentes: una de avance (constante) y otra de ascenso-descenso (variable):
 - Velocidad de avance horizontal: $v_x = v_{0x}$
 - Velocidad de ascenso-descenso: $v_y = v_{0y} - gt$

Así pues, las ecuaciones vectoriales de posición, velocidad y aceleración son:

$$\begin{aligned}\vec{r} &= (v_{0x}t)\vec{i} + (y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2)\vec{j} \\ \vec{v} &= v_{0x}\vec{i} + (v_{0y} - gt)\vec{j} \\ \vec{a} &= -g\vec{j}\end{aligned}$$

En este tipo de movimiento se comprueba que: en el punto de altura máxima, la componente v_y de la velocidad se hace cero. En el punto de aterrizaje del objeto (alcance máximo), la altura vuelve a ser cero.

A partir de las ecuaciones anteriores se puede obtener la ecuación de la trayectoria:

$$y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta}x^2 + x \tan \theta$$

y tres magnitudes importantes en este tipo de movimiento: altura máxima h , el tiempo que permanece en el aire t' y el alcance A .

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \quad A = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad t' = \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$$

3.2.2. Movimientos de trayectoria circular.

Una partícula describe un movimiento circular si su trayectoria es una circunferencia.

Para analizar este movimiento podemos usar magnitudes vectoriales: posición, velocidad y aceleración. Como, además, conocemos su trayectoria, lo podemos estudiar usando magnitudes lineares (escalares con signo) como espacio, rapidez, aceleración tangencial y aceleración normal. Y por último también se puede estudiar usando magnitudes angulares (posición angular (θ) , velocidad angular (ω) y aceleración angular (α)).

Expondremos las ecuaciones para el movimiento circular uniforme y el movimiento circular uniformemente acelerado usando magnitudes angulares.

Si el movimiento de la partícula es un movimiento circular uniforme, las características son:

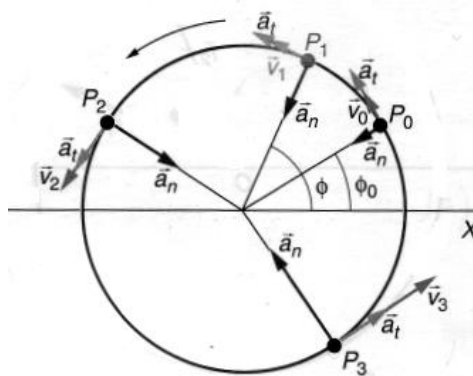
- Posee aceleración normal, ya que el vector velocidad cambia de dirección.
- No tiene aceleración tangencial ($a_t = 0$) ni aceleración angular ($\alpha = 0$) ya que la rapidez es constante.
- Su velocidad angular es constante ($\omega = cte$) y, por lo tanto, describe ángulos iguales en tiempos iguales.
- Es un movimiento periódico.

Por tanto, las ecuaciones angulares del movimiento quedan de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\omega &= \omega_0 \\ \theta &= \theta_0 + \omega t\end{aligned}$$

Para el movimiento **circular uniformemente acelerado (m.c.u.a.)**, sus características son:

- La aceleración angular es constante. Por lo tanto, la aceleración angular media e instantánea coinciden: $\alpha = \alpha_m$.
- El cuerpo tiene aceleración tangencial y normal. La aceleración tangencial es constante, puesto que tanto α como R lo son. No obstante, la aceleración normal no es constante, ya que la rapidez varía.
- La velocidad angular varía de manera uniforme; es decir, aumenta o disminuye en la misma cantidad en intervalos regulares de tiempo



En el m.c.u.a., el vector de posición no describe el mismo ángulo en cada unidad de tiempo.

Por tanto:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\theta = \theta_0 + \omega t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

Como el MCU es un movimiento periódico, la velocidad angular se puede expresar:

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

Por último, recordar que un movimiento circular es siempre un movimiento acelerado, pues como mínimo siempre posee aceleración normal.

4. MÉTODOS PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL MOVIMIENTO

El tipo de material empleado puede ser muy variado, por lo que, atendiendo a su grado de sofisticación:

4.1. Métodos manuales.

Bajo este nombre se agrupan aquellos desarrollos experimentales en los que se utilizan los elementos más simples para la medición de las magnitudes cinemáticas, como pueden ser un cronómetro y una regla graduada.

Los movimientos que se proponen estudiar con este método son movimientos que tienen lugar en un plano inclinado en los que la aceleración del movimiento la podemos controlar variando el ángulo de inclinación del plano.

4.2. Métodos fotográficos.

El estudio de algunos movimientos, como, por ejemplo, el de un cuerpo en caída libre utilizando medidas manuales de tiempo no son fiables, ya que, por efecto de la gravedad, al aumentar la velocidad $9,8 \text{ m/s}^2$ cada s , recorre un espacio muy grande en un intervalo corto de tiempo.

Por ello, los tiempos que tarda el móvil en recorrer espacios del orden de las dimensiones del laboratorio son muy cortos y por tanto el error en la medida del tiempo se hace muy grande.

Por otra parte, en el estudio de movimientos con trayectorias curvilíneas, como el movimiento de proyectiles, es difícil determinar el instante de tiempo en el que el móvil se encuentra en un punto de su trayectoria. Para abordar el estudio de estos tipos de movimiento hay que utilizar otros métodos, como, por ejemplo, el **método de la fotografía estroboscópica**.

El método consiste en fotografiar sobre el mismo negativo la imagen del móvil en distintas posiciones a lo largo de su trayectoria. Se utiliza un estroboscopio, que consiste en una lámpara que emite destellos de luz a intervalos de tiempo regulares. Utilizando una cámara fotográfica con el obturador abierto y un estroboscopio, la cámara graba para cada destello de la lámpara la posición del objeto. De esta manera se obtiene una fotografía con imágenes superpuestas que nos permite conocer la trayectoria del móvil.

Puesto que la separación temporal de dos imágenes en la fotografía es igual al intervalo de tiempo entre dos destellos del estroboscopio y es conocido, midiendo la separación espacial entre las imágenes podemos obtener representaciones gráficas de la posición en función del tiempo. Y a partir de éstas, determinar la velocidad y aceleración del móvil.

4.3. Métodos automáticos.

Estos métodos se caracterizan por el uso de dispositivos electrónicos o de ordenadores para la medida del tiempo. Su uso va acompañado, generalmente, de la utilización de otros dispositivos que sirven para accionar o detener el medidor de tiempo.

Un medidor de tiempo electrónico consiste en un reloj digital de entradas que permiten su puesta en marcha, o su detención, mediante señales eléctricas. Para su funcionamiento necesitamos dos dispositivos:

- el primero, para generar una señal al iniciarse el movimiento y que sirva para accionar el medidor de tiempo
- el segundo, para generar la señal que sirva para detener el contador de tiempo.

Unos dispositivos muy útiles para el accionamiento de los medidores electrónicos de tiempo son las foto-puertas (photogates) que están compuestas fundamentalmente por un circuito electrónico y una fotocélula.

Una fotopuerta, puede utilizarse, por ejemplo, para medir con precisión la velocidad del móvil en un punto de su trayectoria.

Cuando el móvil bloquee la fotocélula utilizaremos esa interrupción para accionar el medidor de tiempo y la restauración de la corriente en el circuito de la fotopuerta, que se produce al desbloquear el móvil la fotocélula, utilizándola para detener el contador.

De esta manera determinamos el tiempo de interrupción de la corriente eléctrica en el circuito de la fotopuerta, Δt , y midiendo la longitud del móvil l calculamos su velocidad

$$v = l / \Delta t$$

Se puede obtener mayor flexibilidad en el uso de las fotopuertas y otros tipos de sensores si se usan conjuntamente con un ordenador personal y una interfaz de adquisición de datos. De esta forma, y utilizando el software adecuado, comercial o no, se puede automatizar completamente el estudio del movimiento de un objeto.

Por otra parte, el uso del ordenador permite simular problemas reales que no son reproducibles en el laboratorio, como puede ser el movimiento de partículas cargadas en el seno de un campo magnético o abordar el estudio del movimiento de los planetas en el sistema solar.

5. BIBLIOGRAFÍA

- **López Rupérez, F. y otros:** Física (Energía, COU). Ed. SM, Madrid, 1992
- **Zubiaurre, S y otros:** Física y Química 1º Bachillerato. Ed. Anaya, 2008
- **Gettys, W.E., Keller, F.J. y Skove, M.J.:** Física clásica y moderna. McGraw-Hill, Madrid, 1991
- **Giancoli, D.C.:** Física General. Prentice Hall, México, 1988
- **Tipler, P.A.:** Física. Editorial Reverté. Barcelona, 2010

