

# Movimiento (física)

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leaving\\_Yongsan\\_Station.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leaving_Yongsan_Station.jpg)

El movimiento es un cambio de posición respecto del tiempo medido por un cierto observador.

En mecánica, el movimiento es un cambio de posición en el espacio de algún tipo de materia de acuerdo con un observador físico.

La descripción y estudio del movimiento de un cuerpo exige determinar su posición en el espacio en función del tiempo respecto a un cierto sistema de referencia. Dado el carácter relativo del movimiento, este no puede ser definido como un cambio físico, ya que un observador inmóvil respecto a un cuerpo no percibirá movimiento alguno, mientras que un segundo observador respecto al primero percibirá movimiento del cuerpo.

## Introducción

La Mecánica comprende el estudio de las máquinas (Polea simple fija).

Un sistema físico real se caracteriza por al menos tres propiedades importantes:

1. Tener una ubicación en el espacio-tiempo.
2. Tener un estado físico definido sujeto a evolución temporal.
3. Poderle asociar una magnitud física llamada energía.

El movimiento se refiere al cambio de ubicación en el espacio a lo largo del tiempo, tal como es medido por un observador físico. Un poco más generalmente el cambio de ubicación puede verse influido por las propiedades internas de un cuerpo o sistema físico, o incluso el estudio del movimiento en toda su generalidad lleva a considerar el cambio de dicho estado físico.

La descripción del movimiento de los cuerpos físicos se denomina cinemática (que sólo se ocuparía de las propiedades 1 y 2 anteriores). Esta disciplina pretende describir el modo en que un determinado cuerpo se mueve y qué propiedades tiene dicho movimiento. La física clásica nació estudiando la cinemática de cuerpos rígidos.

Posteriormente el estudio de las causas que producen el movimiento y las relaciones cuantitativas entre los agentes que causan el movimiento y el movimiento observado llevó al desarrollo de la mecánica (Griego Μηχανική y de latín *mechanica* o 'arte de construir máquinas') que es la rama de la física que estudia y analiza el movimiento y reposo de los cuerpos, y su evolución en el tiempo, bajo la acción de fuerzas y agentes que pueden alterar el estado de movimiento. La mecánica teórica fue durante los siglos XVII, XVIII y principios del siglo XIX, la disciplina de la física que alcanzó mayor abstracción matemática y fue una fuente de mejora del conocimiento científico del mundo. La mecánica aplicada está usualmente relacionada con la ingeniería. Ambos puntos de vista se justifican parcialmente ya que, si bien la mecánica es la base para la mayoría de las ciencias de la ingeniería clásica, no tiene un carácter tan empírico como éstas y, en cambio, por su rigor y razonamiento deductivo, se parece más a la matemática.

Durante el siglo XX la aparición de nuevos hechos físicos, tanto la consideración de cuerpos físicos moviéndose a velocidades cercanas a la velocidad de la luz como el movimiento de las partículas subatómicas, llevaron a la formulación de teorías más abstractas como la mecánica relativista y la mecánica cuántica que seguían interesándose por la evolución en el tiempo de los sistemas físicos, aunque de una manera más abstracta y general de lo había hecho la mecánica clásica, cuyo objetivo era básicamente cuantificar el cambio de posición en el espacio de las partículas a lo largo del tiempo y los agentes responsables de dichos cambios.

## Mecánica clásica

**Artículo principal:** *Mecánica clásica*

La mecánica clásica es una formulación de la mecánica para describir mediante leyes el comportamiento de cuerpos físicos macroscópicos en reposo y a velocidades pequeñas comparadas con la velocidad de la luz.

Existen varias formulaciones diferentes, de la mecánica clásica para describir un mismo fenómeno natural, que independientemente de los aspectos formales y metodológicos que utilizan llegan a la misma conclusión.

- **La mecánica vectorial**, deviene directamente de las leyes de Newton, por eso también se le conoce con el gentilicio de newtoniana. Es aplicable a cuerpos que se mueven en relación a un observador a velocidades pequeñas comparadas con la de la luz. Fue construida en un principio para una sola partícula moviéndose en un campo gravitatorio. Se basa en el tratamiento de dos magnitudes vectoriales bajo una relación causal: la fuerza y la acción de la fuerza, medida por la variación del momentum (cantidad de movimiento). El análisis y síntesis de fuerzas y momentos constituye el método básico de la mecánica vectorial. Requiere del uso privilegiado de sistemas de referencia inercial.
- **La mecánica analítica** (analítica en el sentido matemático de la palabra y no filosófico). Sus métodos son poderosos y trascienden de la Mecánica a otros campos de la física. Se puede encontrar el germen de la mecánica analítica en la obra de Leibniz que propone para solucionar los problemas mecánicos otras magnitudes básicas (menos oscuras según Leibniz que la fuerza y el momento de Newton), pero ahora escalares, que son: la energía cinética y el trabajo. Estas magnitudes están relacionadas de forma diferencial. La característica esencial es que, en la formulación, se toman como fundamentos primeros principios generales (diferenciales e integrales), y que a partir de estos principios se obtengan analíticamente las ecuaciones de movimiento.

En mecánica newtoniana el movimiento de una partícula en el espacio tridimensional se representa por una función vectorial:

El conjunto imagen se denomina trayectoria y se obtiene integrando la ecuación diferencial anterior con las condiciones de contorno adecuadas. Dado que la ecuación diferencial puede ser complicada a veces se buscan integrales de movimiento que permitan encontrar la trayectoria más fácilmente. Para un sistema de  $n$  partículas libres

que ejercen acciones a distancia instáneas la idea anterior se generaliza: {{ecuación|

Si existen ligaduras en el movimiento puede resultar más sencillo y económico pasar a un sistema de coordenadas generalizadas y trabajar con una formulación abstracta típica de la mecánica analítica.

## **Mecánica relativista**

**Artículo principal:** *Teoría de la relatividad*

Para describir la posición de una partícula material, la mecánica relativista hace uso de un sistema de cuatro coordenadas definidas sobre un espacio-tiempo de cuatro dimensiones. El movimiento de una partícula material viene dado por una curva en una 4-variedad lorentziana, cuyo vector tangente es de tipo temporal. Además, las acciones a distancia instantáneas están excluidas ya que al propagarse más rápido que la velocidad de la luz dan lugar a contracciones en el principio de causalidad. Por lo que un sistema de partículas puntuales en interacción debe ser descrito con la ayuda de "campos retardados", es decir, que no actúan de manera instantánea, cuya variación debe determinarse como propagación a partir de la posición de la partícula. Esto complica razonablemente el número de ecuaciones necesarias para describir un conjunto de partículas en interacción.

Otra dificultad añadida es que no existe un tiempo universal para todos los observadores, por lo que relacionar las medidas de diferentes observadores en movimiento relativo es ligeramente más complejo que en la mecánica clásica. Una manera conveniente es definir el intervalo invariante relativista y parametrizar las trayectorias en el espacio-tiempo en función de dicho parámetro. La descripción campos de fuerzas o fluidos requiere definir ciertas magnitudes tensoriales sobre el espacio vectorial tangente al espacio-tiempo.

Mecánica cuántica

**Artículo principal: Mecánica cuántica**

La mecánica cuántica<sup>1 2</sup> es una de las ramas principales de la física, y uno de los más grandes avances del siglo XX para el conocimiento humano, que explica el comportamiento de la materia y de la energía. Su aplicación ha hecho posible el descubrimiento y desarrollo de muchas tecnologías, como por ejemplo los transistores que se usan más que nada en la computación. Igualmente la mecánica cuántica daba cuenta de las propiedades de la estructura atómica y de muchos otros problemas para los cuales la mecánica clásica da predicciones totalmente incorrectas. La descripción que hace la mecánica cuántica de las partículas abandona por el completo la noción de trayectoria, ya que debido al principio de incertidumbre no puede existir un estado cuántico convencional donde posición y el momento tengan valores perfectamente definidos. En su lugar, el objeto fundamental en la descripción cuántica de las partículas no son estados definidos por posición y momentum, es decir punto de un espacio de fases, sino distribuciones sobre un espacio fásico. Estas distribuciones pueden ser dotadas de estructura de espacio de Hilbert.

La mecánica cuántica tal como fue originalmente formulada no incorporaba la teoría de la relatividad en su formalismo, que inicialmente sólo podía ser tenida en cuenta mediante teoría de perturbaciones.<sup>3</sup> La parte de la mecánica cuántica que sí incorpora elementos relativistas de manera formal y con diversos problemas, es la mecánica cuántica relativista o ya, de forma más exacta y potente, la teoría cuántica de campos (que incluye a su vez a la electrodinámica cuántica, cromodinámica cuántica y teoría electrodébil dentro del modelo estándar)<sup>4</sup> y más generalmente, la teoría cuántica de campos en espacio-tiempo curvo. La única interacción que no se ha podido cuantificar ha sido la interacción gravitatoria.

La mecánica cuántica es la base de los estudios del átomo, los núcleos y las partículas elementales (siendo ya necesario el tratamiento relativista), pero también en teoría de la información, criptografía y química.

# Historia del concepto físico

Las cuestiones acerca de las causas del movimiento surgieron en la mente del hombre hace más de 25 siglos, pero las respuestas que hoy conocemos no se desarrollaron hasta los tiempos de Galileo Galilei (1564–1642) y Sir. Issac Newton (1642–1727).

- Anaximandro pensaba que la naturaleza procedía de la separación, por medio de un eterno movimiento, de los elementos opuestos (por ejemplo, (frío-calor), que estaban encerrados en algo llamado *materia primordial*.
- Demócrito decía que la naturaleza está formada por piezas indivisibles de materia llamadas átomos, y que el movimiento era la principal característica de éstos, siendo el movimiento un cambio de lugar en el espacio.
- Las paradojas de Zenón son una serie de paradojas o aporías ideadas por Zenón de Elea. Dedicado principalmente al problema del continuo y a las relaciones entre espacio, tiempo y movimiento, Zenón habría planteado — según señala Proclo — un total de 40 paradojas, de las cuales se han conservado nueve o diez descripciones completas (en la *Física*<sup>5</sup> <sup>6</sup> de Aristóteles y el comentario de Simplicio a esta obra).
- Aristóteles rechaza la tarea de retomar el concepto de átomo, de Demócrito, y de la energía, de Aristóteles, definiendo a la energía como indeterminación absoluta de la materia, lo que comprendemos como materia no másica y a los cuerpos como determinación absoluta de la materia, lo que comprendemos como materia másica. Recordemos que Epícuro es el primer físico absoluto, de ahí se dan dos importantes rasgos, que los cuerpos percibidos son materiales y que la energía, que provoca el movimiento en estos, también es material.

La importancia de esta tesis, epicúrea, es inconmensurable en la historia de la física, debido a que resuelve las problemáticas de las tesis expuestas antes de esta, y posteriormente tiene influencia en la física, sobre todo a partir de los s.XVI y s.XVII, gracias al redescubrimiento de Poggio Bracciolini y de Pierre Gassendi de las obras de Epícuro. Un ejemplo claro de influencia esta en Isaac Newton, que de hecho desvirtuó la teoría, llegando así a errores en su Ley de gravitación universal, un error claro es el fundamento que da al movimiento en la gravedad, analógicamente comparado con el determinismo mecanicista de Demócrito. Quienes que confirmaron definitivamente, con

sus trabajos, la tesis de Epicuro fueron Max Planck y Albert Einstein, después de veintiún siglos de duda sobre la tesis de Epicuro.

- Lucrecio, para evitar el determinismo mecanicista, ya criticado por Aristóteles, toma el pensamiento de Epicuro e introduce la tesis de que los átomos caen en el vacío y experimentan por sí mismos una declinación que les permite encontrarse. De esta forma se trata de imponer un cierto orden a la idea original que suponía que las cosas se formaban con un movimiento caótico de átomos.
- A partir de Galileo, los hombres de ciencia comenzaron a desarrollar técnicas de análisis que permitían una descripción cuantificable del fenómeno.

## **Estudios del movimiento**

El gran filósofo griego Aristóteles (384 a. C. – 322 a. C.) propuso explicaciones sobre lo que ocurría en la naturaleza, considerando las observaciones que hacía de las experiencias cotidianas y su razonamiento, aunque no se preocupaba por comprobar sus afirmaciones. Aristóteles formuló su teoría sobre la caída de los cuerpos afirmando que los más pesados caían más rápido que los más ligeros, es decir entre más peso tengan los cuerpos más rápido caen. Esta teoría fue aceptada por casi dos mil años hasta que en el siglo XVII Galileo realiza un estudio más cuidadoso sobre el movimiento de los cuerpos y su caída, sobre la cual afirmaba: "cualquier velocidad, una vez impartida a un cuerpo se mantendrá constantemente, en tanto no existan causas de aceleración o retardamiento, fenómeno que se observará en planos horizontales donde la fricción se haya reducido al mínimo" Esta afirmación lleva consigo el principio de la inercia de Galileo la cuál brevemente dice: "Si no se ejerce ninguna fuerza sobre un cuerpo, éste permanecerá en reposo o se moverá en línea recta con velocidad constante" . Él fue estudiando los movimientos de diversos objetos en un plano inclinado y observó que en el caso de planos con pendiente descendente a una causa de aceleración, mientras que en los planos con pendiente ascendente hay una causa de retardamiento. De esta experiencia razonó que cuando las pendientes de los planos no son descendentes ni ascendentes no debe haber aceleración ni retardamiento por lo que llegó a la conclusión de que cuando el movimiento es a lo largo de un plano horizontal debe ser permanente. Galileo hizo un estudio para comprobar lo que había dicho Aristóteles acerca de la caída de los cuerpos, para hacerlo se subió a lo más alto de la torre de Pisa y soltó dos objetos

de distinto peso; y observó que los cuerpos caen a la misma velocidad sin importar su peso, quedando así descartada la teoría de la caída de los cuerpos de Aristóteles.

## Cinemática

**Artículo principal:** *Cinemática*

Una masa colgada de un muelle se mueve con un movimiento armónico simple.

La Cinemática (del griego *κινεω*, *kineo*, movimiento) es la rama de la mecánica clásica que estudia las leyes del movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen, limitándose, esencialmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo.

En la Cinemática se utiliza un sistema de coordenadas para describir las trayectorias, denominado sistema de referencia. La velocidad es el ritmo con que cambia la posición un cuerpo. La aceleración es el ritmo con que cambia su velocidad. La velocidad y la aceleración son las dos principales cantidades que describen cómo cambia su posición en función del tiempo.

El estudio de la cinemática usualmente empieza con la consideración de casos particulares de movimiento con características particulares. Usualmente se empieza el estudio cinemático considerando el movimiento de una partícula o cuerpo cuya estructura y propiedades internas pueden ignorarse para explicar su movimiento global. Entre los movimientos que puede ejecutar una partícula material libre son particularmente interesantes los siguientes:

- **Movimiento rectilíneo uniforme**. Un movimiento es rectilíneo cuando describe una trayectoria recta.
- **Movimiento circular**. El movimiento circular es el que se basa en un eje de giro y radio constante: la trayectoria será una circunferencia. Si, además, la velocidad de giro es constante, se produce el movimiento circular uniforme, que es un caso particular de movimiento circular, con radio fijo y velocidad angular referente. En este caso la velocidad vectorial no es constante, aunque sí puede ser constante la celeridad (o módulo de la velocidad).

- **Movimiento armónico simple**, que es un tipo de movimiento oscilatorio ejecutado por una partícula a partir de un centro o punto de equilibrio.
- **Movimiento parabólico**. Se denomina movimiento parabólico al realizado por un objeto cuya trayectoria describe una parábola. En mecánica clásica se corresponde con la trayectoria ideal de un proyectil que se mueve en un medio que no ofrece resistencia al avance y que está sujeto a un campo gravitatorio uniforme. También es posible demostrar que puede ser analizado como la composición de dos movimientos rectilíneos, un movimiento rectilíneo uniforme horizontal y movimiento rectilíneo uniformemente acelerado vertical.
- **Movimiento pendular**. El movimiento pendular es una forma de desplazamiento que presentan algunos sistemas físicos como aplicación práctica de movimiento cuasi-armónico. Existen diversas variantes de movimiento pendular: péndulo simple, péndulo de torsión y péndulo físico.

Los tres primeros son de interés tanto en mecánica clásica, como en mecánica relativista y mecánica cuántica. Mientras que el movimiento parabólico y el movimiento pendular son de interés casi exclusivamente en la mecánica clásica. El movimiento armónico simple también es interesante en mecánica cuántica para aproximar ciertas propiedades de los sólidos a nivel atómico.

Cuando se consideran medios continuos o medios materiales extendidos el movimiento de los cuerpos es más complejo ya que se requiere describir como se mueve cada punto material que forma parte del cuerpo. Algunos de los más simples de este tipo de movimiento son:

- **Movimiento de sólido rígido**, es el que se da en un sólido cuyas partículas se mueven conjuntamente de tal manera que las distancias relativas entre ellas permanecen constantes a lo largo del tiempo.
- **Movimiento ondulatorio**, se denomina movimiento ondulatorio al movimiento que se da sobre un medio continuo en el que una perturbación se propaga desde una partícula a las partículas vecinas sino que exista un flujo neto de masa, aun cuando sí halla transporte de energía en el medio.

Bastante más complejos matemáticamente resulta el movimiento de cuerpos deformables (que en el caso más simple posible se consideran como sólidos elásticos) y

el de los fluidos (el caso más simple es el de un fluido incompresible y sin viscosidad). El caso más general de los medios continuos es matemáticamente muy complejo e involucra la resolución de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales no lineales y que en términos prácticos sólo pueden resolverse de manera aproximada mediante métodos numéricos.

## **Movimiento rectilíneo**

Artículo principal: *Movimiento rectilíneo*

Un movimiento es rectilíneo cuando describe una trayectoria recta. En ese tipo de movimiento la aceleración y la velocidad son siempre paralelas. Usualmente se estudian dos casos particulares de movimiento rectilíneo:

- El **movimiento rectilíneo uniforme** cuya trayectoria además de ser una línea recta se recorre a velocidad constante, es decir, con una aceleración nula. Esto implica que la velocidad media entre dos instantes cualesquiera siempre tendrá el mismo valor. Además la velocidad instantánea y media de este movimiento coincidirán.
- El **Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado** es aquél en el que un cuerpo se desplaza sobre una recta con aceleración constante. Esto implica que en cualquier intervalo de tiempo, la aceleración del cuerpo tendrá siempre el mismo valor. Por ejemplo la caída libre de un cuerpo, con aceleración de la gravedad constante.

## **Movimiento circular**

Artículo principal: *Movimiento circular*

El movimiento circular es el que se basa en un eje de giro y radio constante: la trayectoria será una circunferencia. Si, además, la velocidad de giro es constante, se produce el movimiento circular uniforme, que es un caso particular de movimiento circular, con radio fijo y velocidad angular constante.

No se puede decir que la velocidad es constante ya que, al ser una magnitud vectorial esta tiene módulo y dirección. El módulo de la velocidad permanece constante durante

todo el movimiento pero la dirección está constantemente cambiando, siendo en todo momento tangente a la trayectoria circular. Esto implica la presencia de una aceleración que, si bien en este caso no varía al módulo de la velocidad, si varía su dirección.

**Onda estacionaria** formada por la interferencia entre una onda (azul) que avanza hacia la derecha y una onda (roja) que avanza hacia la izquierda.

## **Movimiento ondulatorio**

**Artículo principal:** *Movimiento ondulatorio*

Se denomina movimiento ondulatorio al realizado por un objeto cuya trayectoria describe una ondulación. Se corresponde con la trayectoria ideal de un cuerpo que se mueve en un medio que no ofrece resistencia al avance y que está sujeto a un campo gravitatorio uniforme. También es posible demostrar que puede ser analizado como la composición de dos movimientos rectilíneos, un movimiento rectilíneo uniforme horizontal y movimiento rectilíneo uniformemente acelerado vertical.

Un tipo de movimiento ondulatorio frecuente, el sonido que involucra la propagación en forma de ondas elásticas longitudinales (sean audibles o no), generalmente a través de un fluido (u otro medio elástico) que esté generando el movimiento vibratorio de un cuerpo.

## **Movimiento parabólico**

**Artículo principal:** *Movimiento parabólico*

Péndulo simple en movimiento armónico con oscilaciones pequeñas.

Se denomina movimiento parabólico al realizado por un objeto cuya trayectoria describe una parábola. Se corresponde con la trayectoria ideal de un cuerpo que se mueve en un medio, que no ofrece resistencia al avance y que está sujeto a un campo gravitatorio uniforme. También es posible demostrar que puede ser analizado como la composición de dos movimientos rectilíneos, un movimiento rectilíneo uniforme horizontal y movimiento rectilíneo uniformemente acelerado vertical.

## **Movimiento pendular**

El movimiento pendular es una forma de desplazamiento que presentan algunos sistemas físicos como aplicación práctica al movimiento armónico simple. A continuación hay tres características del movimiento pendular que son: péndulo simple, péndulo de torsión y péndulo físico.

Se llama movimiento - a la trayectoria que un objeto describe después de haber sido lanzado desde un punto cualquiera del espacio. Si el objeto tiene una densidad de masa suficientemente grande, los experimentos muestran que, a menudo, se puede despreciar la resistencia del aire y suponer que la aceleración del mismo es debida sólo a la gravedad.

## **Movimiento armónico simple**

**Artículo principal:** *Movimiento armónico simple*

Las ondas pueden ser representadas por un movimiento armónico simple.

El movimiento armónico simple (se abrevia m.a.s.), también denominado movimiento vibratorio armónico simple (abreviado m.v.a.s.), es un movimiento periódico que queda descrito en función del tiempo por una función armónica (seno o coseno). Si la

descripción de un movimiento requiriese más de una función armónica, en general sería un movimiento armónico, pero no un m.a.s..

En el caso de que la trayectoria sea rectilínea, la partícula que realiza un m.a.s. oscila alejándose y acercándose de un punto, situado en el centro de su trayectoria, de tal manera que su posición en función del tiempo con respecto a ese punto es una sinusoide. En este movimiento, la fuerza que actúa sobre la partícula es proporcional a su desplazamiento respecto a dicho punto y dirigida hacia éste.

## **Movimiento giroscópico**

**Artículo principal:** *Giróscopo*

De acuerdo con la mecánica del sólido rígido, además de la rotación alrededor de su eje de simetría, un giróscopo presenta en general dos movimientos principales: la precesión y la nutación.

En un giroscopio debemos tener en cuenta que el cambio en el momento angular de la rueda debe darse en la dirección del momento de la fuerza que actúa sobre la rueda.

## **Características del movimiento**

La descripción del movimiento de partículas puntuales o corpúsculos (cuya estructura interna no se requiere para describir la posición general de la partícula) es similar en mecánica clásica y mecánica relativista. En ambas el movimiento es una curva parametrizada por un parámetro escalar. En la descripción de la mecánica clásica el parámetro es el tiempo universal, mientras que en relatividad se usa el intervalo relativista ya que el tiempo propio percibido por la partícula y el tiempo medido por diferentes observadores no coincide.

La descripción cuántica del movimiento es más compleja ya que realmente la descripción cuántica del movimiento no asume necesariamente que las partículas sigan una trayectoria de tipo clásico (algunas interpretaciones de la mecánica cuántica sí asumen que exista una trayectoria única, pero otras formulaciones prescindan por completo del concepto de trayectoria), por lo que en esas formulaciones no tiene sentido hablar ni de posición, ni de velocidad.

Sin embargo, todas las teorías físicas del movimiento atribuyen al movimiento una serie de características o atributos físicos como:

- Posición
- La cantidad de movimiento lineal
- La cantidad de movimiento angular
- La fuerza existente sobre la partícula

En mecánica clásica y mecánica relativista todos ellos son valores numéricos medibles, mientras que en mecánica cuántica esas magnitudes son en general variables aleatorias para las que es posible predecir sus valores medios, pero no el valor exacto en todo momento.

## **Trayectoria**

Artículo principal: **Trayectoria**

Un relámpago es el destello emitido por una corriente eléctrica, la trayectoria de los electrones de dicha corriente es una trayectoria [aproximable por un] fractal.

En mecánica clásica y mecánica relativista, la trayectoria es el lugar geométrico de las posiciones sucesivas por las que pasa un cuerpo en su movimiento. La trayectoria depende del sistema de referencia en el que se describa el movimiento; es decir el punto de vista del observador.

## **Posición y desplazamiento**

Artículo principal: **Desplazamiento**

En mecánica clásica es perfectamente posible definir unívocamente la longitud  $L_c$  de la trayectoria o camino recorrido por un cuerpo humano. También puede definirse sin ambigüedad la distancia  $d$  que hay entre un punto inicial y el final de su trayectoria; está representado por la longitud de la línea recta que une el punto inicial con el punto final. Ambas magnitudes están relacionadas por la desigualdad siguiente:

En relatividad especial sin embargo el concepto de desplazamiento de un móvil o longitud recorrida depende del observador y aunque para cada observador la longitud recorrida es mayor o igual que el desplazamiento alcanzado no puede definirse de manera objetiva una "longitud recorrida" por el móvil en la que puedan coincidir todos los observadores.

## **Velocidad y rapidez**

**Artículos principales:** *Velocidad* y *Rapidez*.

Vuelo del F-22 Raptor a velocidad supersónica.

La velocidad es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo. En el lenguaje cotidiano se emplea las palabras rapidez y velocidad de manera indistinta. En física se hace una distinción entre ellas. De manera muy sencilla, la diferencia es que la velocidad es la rapidez en una dirección determinada. Cuando se dice que un auto viaja a 60 km/hora se está indicando su rapidez. Pero al decir que un auto se desplaza a 60 km/h hacia el norte se está especificando su velocidad. La rapidez describe qué tan aprisa se desplaza un objeto; la velocidad describe que tan aprisa lo hace y en que dirección.

La velocidad de movimiento en un instante dado depende del observador tanto en mecánica clásica como en teoría de la relatividad. En mecánica cuántica la velocidad de un móvil al igual que su trayectoria no tiene porqué estar definida en un instante dado, de acuerdo con algunas interpretaciones de la teoría. El fenómeno del Zitterbewegung sugiere que un electrón podría tener un movimiento oscilatorio transversal alrededor de lo que su "trayectoria" clásica (es decir, el camino que debería seguir si la descripción clásica fuera correcta).

La rapidez o también llamada celeridad es la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado en recorrerla. Un auto, por ejemplo, recorre un cierto número de kilómetros en una hora que puede ser de 110km/h. La rapidez es una medida de que tan veloz se mueve un objeto. Es la razón de cambio a la que se recorre la distancia, ya que la expresión razón de cambio indica que estamos dividiendo alguna cantidad entre el

tiempo, por lo tanto, la rapidez se mide siempre en términos de una unidad de distancia dividida entre una unidad de tiempo.

## **Aceleración**

**Artículo principal:** *Aceleración*

En física el término aceleración es una magnitud vectorial que se aplica tanto a los aumentos como a las disminuciones de rapidez en una unidad de tiempo, por ejemplo, los frenos de un auto pueden producir grandes aceleraciones retardantes, es decir, pueden producir un gran decremento por segundo de su rapidez. A esto se le suele llamar desaceleración o aceleración negativa. El término aceleración se aplica tanto a cambios de rapidez como a cambios de dirección. Si recorres una curva con una rapidez constante de 50 km/h, sientes los efectos de la aceleración como una tendencia a inclinarte hacia el exterior de la curva (inercia). Se puede recorrer la curva con rapidez constante, pero la velocidad no es constante ya que la dirección cambia a cada instante, por lo tanto, el estado de movimiento cambia, es decir, se está acelerando.

La aceleración normal es una medida de la curvatura de la trayectoria, diferentes observadores en movimiento no uniforme respecto a ellos observarán fuerzas y aceleraciones diferentes y por tanto trayectorias diferentes. Si un observador inercial examina la trayectoria de una partícula que se mueve en línea recta y con velocidad uniforme (trayectoria de curvatura cero), cualquier otro observador inercial verá la partícula moverse en línea recta y con velocidad uniforme (aunque no la misma recta), en el caso de observadores arbitrarios en movimiento acelerado entre ellos las formas de las trayectorias pueden diferir notablemente, ya que al medir los dos observadores aceleraciones completamente diferentes, la trayectoria de la partícula se curvará de maneras muy diferentes para uno y otro observador.

## **Fuerza**

**Artículo principal:** *Fuerza*

En física, la fuerza es una magnitud física que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas (en lenguaje de la física de partículas se habla de interacción). Según una definición clásica, fuerza es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los cuerpos materiales.

En el Sistema Internacional de Unidades, la fuerza se mide en "Newtons (N)".

## **Energía**

**Artículo principal:** *Energía*

En física, la energía se define como la capacidad para realizar un trabajo, se manifiesta en los cambios físicos, por ejemplo, al elevar un objeto, transportarlo (movimiento), deformarlo o calentarlo. La energía no es un estado físico real, ni una "sustancia intangible" sino una magnitud escalar que se le asigna al estado del sistema físico, es decir, la energía es una herramienta o abstracción matemática de una propiedad de los sistemas físicos. Por ejemplo, se puede decir que un sistema con energía cinética nula está en reposo. La energía se mide con la unidad "joule (J)".

## **Movimiento en mecánica clásica**

La primera y segunda ley de Newton, en latín, en la edición original de su obra *Principia Mathematica*.

Una ley de movimiento es una relación cuantitativa entre variables necesarias para describir el movimiento de los cuerpos. Históricamente la mecánica clásica surgió tras la formulación por parte de Isaac Newton de tres "leyes" cuantitativas que describían el movimiento de una partícula material.

## **Leyes de Newton**

**Artículo principal:** *Leyes de Newton*

Las Leyes de Newton, también conocidas como Leyes del movimiento de Newton, son tres principios a partir de los cuales se explican la mayor parte de los problemas planteados por la dinámica, en particular aquellos relativos al movimiento de los cuerpos. Revolucionaron los conceptos básicos de la física y el movimiento de los cuerpos en el universo.

En tanto que constituyen los cimientos no sólo de la dinámica clásica sino también de la física clásica en general. Aunque incluyen ciertas definiciones y en cierto sentido pueden verse como axiomas, Newton afirmó que estaban basadas en observaciones y experimentos cuantitativos; ciertamente no pueden derivarse a partir de otras relaciones más básicas. La demostración de su validez radica en sus predicciones y la validez de esas predicciones fue verificada en todos y cada uno de los casos durante más de dos siglos.

Los estudios que él realizó se pueden definir con las siguientes tres leyes que postuló:

- La primera ley del movimiento rebate la idea aristotélica de que un cuerpo sólo puede mantenerse en movimiento si se le aplica una fuerza. Newton expone que:

***Todo cuerpo permanece en su estado inicial de reposo o movimiento uniforme rectilíneo a menos que sobre él se ejerza una fuerza exterior no equilibrada.***

El ser la primera de las tres leyes de Newton suele inducir a un error muy común atribuyendo el descubrimiento de esta propiedad al propio Newton cuando, en realidad, fue Galileo Galilei en el siglo XVI el primero en observar, estudiar y formalizar dicha propiedad y posteriormente, ya en el siglo XVII, fue tomada por Newton. Esta ley postula, por tanto, que un cuerpo no puede cambiar por sí solo su estado inicial, ya sea en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, a menos que se aplique una fuerza o una serie de fuerzas cuyo resultante no sea nulo sobre él. Newton toma en cuenta, así, el que los cuerpos en movimiento están sometidos constantemente a fuerzas de roce o fricción, que los frena de forma progresiva, algo novedoso respecto de concepciones anteriores que entendían que el movimiento o la detención de un cuerpo se debía

exclusivamente a si se ejercía sobre ellos una fuerza, pero nunca entendiendo como esta a la fricción.

- **La segunda ley del movimiento de Newton afirma que:**

*El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.*

Esta ley explica qué ocurre si sobre un cuerpo en movimiento (cuya masa no tiene por qué ser constante) actúa una fuerza neta: la fuerza modificará el estado de movimiento, cambiando la velocidad en módulo o dirección. En concreto, los cambios experimentados en la cantidad de movimiento de un cuerpo son proporcionales a la fuerza motriz y se desarrollan en la dirección de esta; esto es, las fuerzas son causas que producen aceleraciones en los cuerpos. A diferencia de la primera ley de Newton que es descriptiva, la segunda ley también conocida como ley del movimiento permite calcular cuantitativamente las fuerzas, las masas y aceleraciones de los cuerpos.

Donde:

F, fuerza que se mide en Newton (N)

m, masa que se mide en kilogramos o gramos (Kg, g)

a, aceleración que se mide en metros sobre segundos al cuadrado (m/s<sup>2</sup>)

Nota: hay que tomar en cuenta que  $1 \text{ N} = \text{kg m/s}^2$

- **La Tercera ley de Newton afirma que:**

*Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: o sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y de dirección contraria.*

La tercera ley es completamente original de Newton (pues las dos primeras ya habían sido propuestas de otras maneras por Galileo, Hooke y Huygens) y hace de las leyes de la mecánica un conjunto lógico y completo. Expone que por cada

fuerza que actúa sobre un cuerpo, este realiza una fuerza de igual intensidad, pero de dirección contraria sobre el cuerpo que la produjo. Dicho de otra forma, las fuerzas, situadas sobre la misma recta, siempre se presentan en pares de igual magnitud y opuestas en dirección. Es importante observar que este principio de acción y reacción relaciona dos fuerzas que no están aplicadas al mismo cuerpo, produciendo en ellos aceleraciones diferentes, según sean sus masas.

Por lo demás, cada una de esas fuerzas obedece por separado a la segunda ley. Junto con las anteriores leyes, ésta permite enunciar los principios de conservación del momento lineal y del momento angular.

### **Cinemática clásica y sus fundamentos**

La cinemática trata del estudio del movimiento de los cuerpos en general, y, en particular, el caso simplificado del movimiento de un punto material. Para sistemas de muchas partículas, tales como los fluidos, las leyes de movimiento se estudian en la mecánica de fluidos. El movimiento trazado por una partícula lo mide un observador respecto a un sistema de referencia. Desde el punto de vista matemático, la Cinemática expresa cómo varían las coordenadas de posición de la partícula (o partículas) en función del tiempo. La función que describe la trayectoria recorrida por el cuerpo (o partícula) depende de la velocidad (la rapidez con la que cambia de posición un móvil) y de la aceleración (variación de la velocidad respecto del tiempo).

El movimiento de una partícula (o cuerpo rígido) se puede describir según los valores de velocidad y aceleración, que son magnitudes vectoriales.

- Si la aceleración es nula, da lugar a un movimiento rectilíneo uniforme y la velocidad permanece constante a lo largo del tiempo.
- Si la aceleración es constante con igual dirección que la velocidad, da lugar al movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y la velocidad variará a lo largo del tiempo.
- Si la aceleración es constante con dirección perpendicular a la velocidad, da lugar al movimiento circular uniforme, donde el módulo de la velocidad es constante, cambiando su dirección con el tiempo.

- Cuando la aceleración es constante y está en el mismo plano que la velocidad y la trayectoria, tenemos el caso del movimiento parabólico, donde la componente de la velocidad en la dirección de la aceleración se comporta como un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, y la componente perpendicular se comporta como un movimiento rectilíneo uniforme, generándose una trayectoria parabólica al componer ambas.
- Cuando la aceleración es constante pero no está en el mismo plano que la velocidad y la trayectoria, se observa el efecto de Coriolis.
- En el movimiento armónico simple se tiene un movimiento periódico de vaivén, como el del péndulo, en el cual un cuerpo oscila a un lado y a otro desde la posición de equilibrio en una dirección determinada y en intervalos iguales de tiempo. La aceleración y la velocidad son funciones, en este caso, sinusoidales del tiempo.

Al considerar el movimiento de traslación de un cuerpo extenso, en el caso de ser rígido, conociendo como se mueve una de las partículas, se deduce como se mueven las demás. Así basta describir el movimiento de una partícula puntual tal como el centro de masa del cuerpo para especificar el movimiento de todo el cuerpo. En la descripción del movimiento de rotación hay que considerar el eje de rotación respecto del cual rota el cuerpo y la distribución de partículas respecto al eje de giro. El estudio del movimiento de rotación de un sólido rígido suele incluirse en la temática de la mecánica del sólido rígido por ser más complicado. Un movimiento interesante es el de una peonza, que al girar puede tener un movimiento de precesión y de nutación

Cuando un cuerpo posee varios movimientos simultáneamente, tal como uno de traslación y otro de rotación, se puede estudiar cada uno por separado en el sistema de referencia que sea apropiado para cada uno, y luego, superponer los movimientos.

## **Ecuaciones de movimiento en mecánica clásica**

**Artículo principal:** *Ecuación del movimiento*

Históricamente el primer ejemplo de ecuación del movimiento que se introdujo en física fue la segunda ley de Newton para sistemas físicos compuestos de agregados partículas materiales puntuales. En estos sistemas el estado dinámico de un sistema quedaba fijado

por la posición y velocidad de todas las partículas en un instante dado. Hacia finales del siglo XVIII se introdujo la mecánica analítica o racional, como generalización de las leyes de Newton aplicables a sistemas de referencia inerciales. Se concibieron dos enfoques básicamente equivalentes conocidos como mecánica lagrangiana y mecánica hamiltoniana, que pueden llegar a un elevado grado de abstracción y formalización. Los ejemplos clásicos de ecuación del movimiento más conocidos son:

1. La segunda ley de Newton que se usa en mecánica newtoniana:
2. Las ecuaciones de Euler-Lagrange que aparecen en mecánica lagrangiana:
3. Las ecuaciones de Hamilton que aparecen en mecánica hamiltoniana:

## **Mecánica newtoniana**

Artículo principal: *Mecánica newtoniana*

Históricamente el concepto de cantidad de movimiento surgió en el contexto de la mecánica newtoniana en estrecha relación con el concepto de velocidad y el de masa. En mecánica newtoniana se define la cantidad de movimiento lineal como el producto de la masa por la velocidad

La idea intuitiva tras esta definición está en que la "cantidad de movimiento" dependía tanto de la masa como de la velocidad: si se imagina una mosca y un camión, ambos moviéndose a 40 km/h, la experiencia cotidiana dice que la mosca es fácil de detener con la mano mientras que el camión no, aunque los dos vayan a la misma velocidad. Esta intuición llevó a definir una magnitud que fuera proporcional tanto a la masa del objeto móvil como a su velocidad.

## **Mecánica lagrangiana y hamiltoniana**

Artículo principal: *Mecánica hamiltoniana*

En las formulaciones más abstractas de la mecánica clásica, como la mecánica lagrangiana y la mecánica hamiltoniana, además del momento lineal y del momento angular se pueden definir otros momentos, llamados momentos generalizados o momentos conjugados, asociados a cualquier tipo de coordenada generalizada. Se generaliza así la noción de momento.

Si se tiene un sistema mecánico definido por su lagrangiano  $L$  definido en términos de las coordenadas generalizadas  $(q_1, q_2, \dots, q_N)$  y las velocidades generalizadas, entonces el momento conjugado de la coordenada  $q_i$  viene dado por:

Cuando la coordenada  $q_i$  es una de las coordenadas de un sistema de coordenadas cartesianas, el momento conjugado coincide con una de las componentes del momento lineal, y, cuando la coordenada generalizada representa una coordenada angular o la medida de un ángulo, el momento conjugado correspondiente resulta ser una de las componentes del momento angular.

## **Cantidad de movimiento de un medio continuo**

Si estamos interesados en averiguar la cantidad de movimiento de, por ejemplo, un fluido que se mueve según un campo de velocidades es necesario sumar la cantidad de movimiento de cada partícula del fluido, es decir, de cada *diferencial de masa* o elemento infinitesimal:

## **Magnitudes asociadas al movimiento**

### **Trabajo**

Trabajo realizado por una fuerza constante.

En mecánica clásica, el trabajo que realiza una fuerza se define como el producto de ésta por el camino que recorre su punto de aplicación y por el coseno del ángulo que forman el uno con el otro.<sup>7</sup> El trabajo es una magnitud física escalar que se representa

con la letra  $W$  (del inglés *Work*) y se expresa en unidades de energía, esto es en julios o *joules* (J) en el Sistema Internacional de Unidades.

Donde  $W$  es el trabajo mecánico,  $F$  es la magnitud de la fuerza,  $s$  es el desplazamiento y  $\theta$  es el ángulo que forman entre sí el vector fuerza y el vector desplazamiento (véase dibujo).

Cuando el vector fuerza es perpendicular al vector desplazamiento del cuerpo sobre el que se aplica, dicha fuerza no realiza trabajo alguno. Asimismo, si no hay desplazamiento, el trabajo también será nulo.

## **Cantidad de movimiento lineal**

Artículo principal: *Momento lineal*

## **Cantidad de movimiento angular**

Artículo principal: *Momento angular*

## **Transformaciones de la energía mecánica**

En la naturaleza se realizan diferentes transformaciones de energía. Los seres humanos siempre han necesitado energía para mover los objetos. Cuando se logra que un objeto se mueva o cambie de lugar, decimos que se produce un trabajo mecánico. Los alimentos son la fuente de energía que las personas necesitan y requieren para aplicar una fuerza y así mismo mover un objeto o cuerpo, y algunas máquinas necesitan la energía química de los combustibles como la gasolina o el diésel para poder funcionar y mover un objeto y así mismo generar el trabajo.

Cuanta más energía posea un objeto, este tendrá mayor capacidad de realizar un trabajo

Al girar de las ruedas, al fluir el agua, el vuelo de las aves, el galopar de un caballo, al correr una persona, todos los movimientos sin excepción son manifestaciones de una forma de energía activa, que permite el movimiento, por lo que es llamada energía cinética.

Los cuerpos no siempre están en movimiento y no quiere decir que estos no tengan energía, al contrario si la hay por lo que se llama energía potencial. Por ejemplo un

automóvil situado en la cumbre de una montaña parado este posee energía potencial debido a su posición y su reposo, sin embargo al descender esa energía potencial se convertirá en energía cinética ya que el automóvil cambio de un estado de reposo a un estado en movimiento.

La **energía potencial** se expresa:

Donde:

m = masa   g = aceleración de la gravedad   h = altura

## Registro del movimiento

La tecnología hoy en día nos ofrece muchas formas de registrar el movimiento efectuado por un cuerpo. Así, para medir la velocidad se dispone del radar de tráfico cuyo funcionamiento se basa en el efecto Doppler. El taquímetro es un indicador de la velocidad de un vehículo basado en la frecuencia de rotación de las ruedas. Los caminantes disponen de podómetros que detectan las vibraciones características del paso y, suponiendo una distancia media característica para cada paso, permiten calcular la distancia recorrida. El vídeo, unido al análisis informático de las imágenes, permite igualmente determinar la posición y la velocidad de los vehículos.

## Movimiento molecular

Artículo principal: *Dinámica molecular*

Ejemplo de de una simulación de un sistema simple por el método de dinámica molecular: deposición de un Átomo de Cu en una superficie de Cu (001). Cada círculo ilustra la posición de un átomo; note que las verdaderas interacciones atómicas usadas en simulación son más complejas que las bidimensionales mostradas en la figura.

La dinámica molecular (DM) es una técnica de simulación en la que se permite que átomos y moléculas interactúen por un período, permitiendo una visualización del

movimiento de las partículas. Originalmente fue concebida dentro de la física teórica, aunque hoy en día se utiliza sobre todo en biofísica y ciencia de materiales. Su campo de aplicación va desde superficies catalíticas hasta sistemas biológicos como las proteínas. Si bien los experimentos de cristalografía de rayos X permiten tomar "fotografías estáticas" y la técnica de RMN nos da indicios del movimiento molecular, ningún experimento es capaz de acceder a todas las escalas de tiempo involucradas. Resulta tentador, aunque no es enteramente correcto, describir a la DM como un "microscopio virtual" con alta resolución espacial y temporal.

En general, los sistemas moleculares son complejos y consisten de un gran número de partículas, por lo cual sería imposible encontrar sus propiedades de forma analítica. Para evitar este problema, la DM utiliza métodos numéricos. La DM representa un punto intermedio entre los experimentos y la teoría. Puede ser entendida como un experimento en la computadora.

Sabemos que la materia está constituida de partículas en movimiento e interacción al menos desde la época de Boltzmann en el siglo XIX. Pero muchos aún se imaginan a las moléculas como los modelos estáticos de un museo. Richard Feynman dijo en 1963 que "todo lo que hacen los seres vivos puede ser entendido a través de los saltos y contorsiones de los átomos.

Una de las contribuciones más importantes de la dinámica molecular es crear conciencia de que el DNA y las proteínas son máquinas en movimiento. Se le utiliza para explorar la relación entre estructura, movimiento y función.

La dinámica molecular es un campo multidisciplinario. Sus leyes y teorías provienen de las Matemáticas, Física y Química. Emplea algoritmos de las Ciencias de la Computación y Teoría de la información. Permite entender a los materiales y las moléculas no cómo entidades rígidas, sino como cuerpos animados. También se le ha llamado "estadística mecánica numérica" o "la visión de Laplace de la mecánica Newtoniana", en el sentido de predecir el futuro al animar las fuerzas de la naturaleza.

Para utilizar esta técnica de forma correcta, es importante entender las aproximaciones utilizadas y evitar caer en el error conceptual de que estamos simulando el comportamiento real y exacto de un sistema molecular. La integración de las ecuaciones

de movimiento están mal condicionadas, lo cual genera errores numéricos acumulativos, que pueden ser minimizados seleccionando apropiadamente los algoritmos, pero no eliminados del todo. Por otro lado, las interacciones entre las partículas se modelan con un campo de fuerza aproximado, que puede o no ser adecuado dependiendo del problema que queremos resolver. De cualquier forma, la dinámica molecular nos permite explorar su comportamiento representativo en el espacio fásico.

En la DM, hay que balancear el costo computacional y la fiabilidad en los resultados. En la DM clásica se utilizan las Ecuaciones de Newton, cuyo costo computacional es mucho menor que el de las de la mecánica cuántica. Es por ello que muchas propiedades que pueden resultar de interés, como la formación o ruptura de enlaces no puedan ser estudiadas mediante este método ya que no contempla estados excitados o reactividad.

Existen *métodos híbridos* denominados QM/MM (*Quantum Mechanics/Molecular Mechanics*) en los que un centro reactivo es tratado de modo cuántico mientras que el ambiente que lo rodea se trata de modo clásico. El desafío en este tipo de métodos resulta en la definición de manera precisa de la interacción entre los dos formas de describir el sistema...

El resultado de una simulación de dinámica molecular son las posiciones y velocidades de cada átomo de la molécula, para cada instante en el tiempo discretizado. A esto se le llama trayectoria.

## Véase también

- Física
- Cantidad de movimiento
- Cinemática del sólido rígido
- Mecánica
- Fuerza de empuje
- Velocidad relativa
- Aceleración centrípeta

## Referencias

1. De Broglie (1926): *Ondes et mouvements*, París, Gauthier-Villars
2. Schrödinger, [*Quantisierung als Eigenwertproblem (Erste Mitteilung.)*], Ann. Phys., 79, p. 361-376, (1926)1924 & 1926
3. [Cohen-Tannoudji](#), Claude; Bernard Diu, Franck Laloë (1977). *Quantum Mechanics*. vol.1 (3ª edición). París, Francia: Hermann. pp. 898. [ISBN 0-471-16432-1](#).
4. [Halzen, Francis](#); D.Martin, Alan (1984). [Universidad de Wisconsin](#). ed. *Quarks and Lepons: An Introductory Course in Modern Particle Physics*. [Universidad de Durham](#) (1ª edición). Canadá: Wiley. pp. 396. [ISBN QC793.5.Q2522H34](#).
5. [Aristotle's Physics](#) "Física" de Aristóteles traducida al inglés por R. P. Hardie de R. K. Gaye
6. [Física - Aristóteles](#) "Física", Bibliotheca Scriptorum Graecorum et Romanorum Mexicana Obras (Aristóteles (Universidad Nacional Autónoma de México))), traducción de Ute Schmidt Osmanczik, UNAM 2001, [ISBN 968-36-8136-0](#), [ISBN 978-968-36-8136-2](#)
7. [\[1\]](#) Definición de la RAE

## Bibliografía

- *Una pequeña parte de este artículo corresponde a la información adquirida por el libro enciclopédico Estudios de la naturaleza, Yaditzha Irausquin (2008).*
- *Physics – Physical Science Study Committee (1966).* [ISBN 978-0-669-97451-5](#)
- *Physics (second edition 1996)*