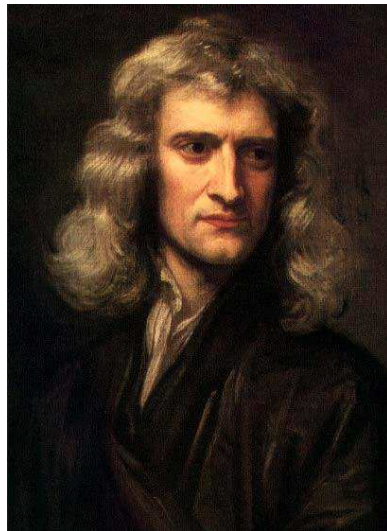


APOYO PARA LA PREPARACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

FÍSICA (PREPARACIÓN A LA UNIVERSIDAD)



Unidad 8: Las leyes de Newton

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

15 de abril de 2010

8.1. Planificación de la Unidad

8.1.1. Objetivos

1. Recordar el concepto básico de masa.
2. Repasar las tres leyes de Newton, y el concepto básico de masa.

8.1.2. Actividades

1. Lectura del tema
2. Realización del cuestionario de la unidad (enlace)
3. Resolución de los ejercicios propuestos básicos
4. Resolución de los ejercicios avanzados
5. Actividades complementarias:
 - a) Buscar información sobre dinámica en el ámbito de tu titulación. Listado de asignaturas que se relacionan, directa o indirectamente, con ella.
 - b) Redactar una pequeña reseña (máximo 1 página).

8.1.3. Bibliografía

1. Libros de primero y segundo de Bachillerato
2. P.A. Tipler y G. Mosca, *Física para Ciencias e Ingeniería*, 5ª edición, Editorial Reverté, 2005. Capítulo 4.

8.1.4. Enlaces relacionados

1. Proyecto Newton:
 - a) [Dinámica](#)
2. Prof. Ángel Franco (UPV): [dinámica](#)
3. Wikipedia:
 - a) [Leyes de Newton](#)

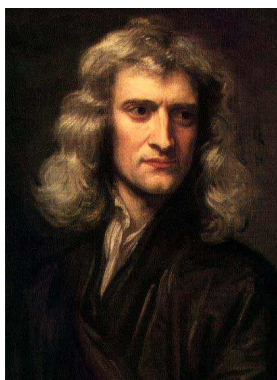


Figura 8.1: Sir Isaac Newton a los 46 años, dos años después de la publicación de los *Principia*; retrato de Godfrey Kneller. De [wikipedia commons](#).

8.2. Las leyes de Newton

Las fundamentales de la dinámica clásica fueron establecidas por Isaac Newton en 1687, como parte de su monumental obra *Principia* (el título completo es *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*). En esta obra postuló los fundamentos de la dinámica y, además, estableció las leyes de la gravitación universal.

Las leyes de la dinámica newtoniana son tres, que pasamos a describir por separado.

8.2.1. La primera ley

Desde los griegos se pensaba que un cuerpo debe tender a detenerse si sobre él no se efectúa una acción directa. Así, una de las paradojas clásicas consiste en explicar cómo vuela una flecha una vez está en el aire; para ello se invocaban complicados remolinos de aire que empujaban a la flecha desde atrás (estos existen, de hecho, pero su influencia no es tan importante).

Newton, pensando sobre todo en los cuerpos celestes, reemplazó esta idea con otra: un cuerpo libre que se mueve en línea recta con cierta velocidad *continúa con la misma velocidad*, y en la misma línea. De hecho, recordando nuestros conocimientos de vectores, basta con decir que el vector velocidad no cambia: un cambio de línea supondría un cambio en la dirección de la velocidad (aunque su módulo no cambie).

Esto choca con nuestra intuición, ya que según nuestra experiencia los cuerpos acaban frenándose; sin embargo, esto es debido a fuerzas externas. Si estas fuerzas disminuyen (pensemos en una pista de hielo), la primera ley se cumple más perfectamente. En el vacío, y lejos de otros cuerpos, resulta ser una aproximación excelente.

A pesar de todo, la intuición nos sigue traicionando: en numerosas películas de ciencia ficción las naves se detienen cuando sus máquinas dejan de funcionar, en clara violación de la primera ley de Newton.

También hay que enfatizar que esta ley (y las demás) presuponen un *sistema de referencia* de los llamados inerciales. Un sistema de referencia es, básicamente, una especificación de las coordenadas espaciales y de los tiempos.

En los sistemas de referencias inerciales se cumple la primera ley: un cuerpo libre de fuerzas se desplaza en línea recta con velocidad constante. Esta definición parece circular (la primera ley vale para sistemas inerciales, y éstos son aquellos donde se cumple); sin embargo, es posible diseñar o, por supuesto, imaginar situaciones físicas donde la definición está muy clara. Por ejemplo, una nave espacial muy alejada de cualquier cuerpo (en el espacio intergaláctico, pur supuesto). Si los cuerpos externos (por ejemplo, las galaxias lejanas) se desplazan con velocidad uniforme, el sistema de referencia es inercial. Si, por ejemplo, dan vueltas, no lo es. Este último caso se daría si la nave estuviera en rotación; en efecto, en este caso se sabe que aparecen fuerzas adicionales (centrífuga y de Coriolis) debido a que el sistema de referencia no es inercial.

8.2.2. La segunda ley

Pongamos que la primera ley no se cumple: un cuerpo dado *no* se mueve en línea recta, o lo hace con velocidad constante. (Como hemos dicho, basta con decir que el vector velocidad no es constante.) Esto significa que el cuerpo no está aislado, es decir, sobre él se ejercen fuerzas. La segunda ley establece una conexión directa entre fuerza y cambio en la velocidad. De hecho, lo que dice es que la fuerza es el cambio de *momento*, que (recordemos) es un vector resultante de multiplicar la masa por la velocidad:

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

Aparece por tanto una magnitud muy importante, la *masa* de una partícula. Este es un escalar, es decir, un simple número (no un vector) que caracteriza la “inercia” de un móvil. A igual velocidad, mayor masa significa mayor momento. Como la fuerza es el cambio de momento, hará falta una fuerza mayor para cambiarlo. (O, al revés: la misma fuerza provoca un cambio más pequeño en un cuerpo con masa mayor.) En el cuadro 8.1 proporcionamos una lista de órdenes de magnitud de distintas masas. Como se puede ver, el rango es enorme, desde la masa de 10^{-30} kg del electrón (la masa de los neutrinos es probablemente un millón de veces menor, pero a día de hoy no se ha medido con precisión) a la estimación de 10^{52} kg para la masa de todo el Universo.

La segunda ley es:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

Objeto	Masa aprox. (kg)
Neutrino	10^{-36} (?)
Electrón	10^{-30}
Protón	10^{-27}
Aminoácido	10^{-25}
Ameba	10^{-8}
Hormiga	10^{-4}
Persona	10^2
Buque mediano	10^5
Pirámide egípcia	10^{10}
La Tierra	10^{24}
El Sol	10^{30}
Vía Láctea	10^{41}
Universo	10^{52}

Cuadro 8.1: Lista de órdenes de magnitud de distintas masas de interés

donde \vec{F} es la fuerza sobre el cuerpo (en rigor, la fuerza neta, porque puede que haya varias fuerzas actuando a la vez). Esta fuerza es una magnitud también vectorial, con módulo, dirección y sentido.

Es muy común que la masa no cambie a lo largo del movimiento; en este caso, la segunda ley es

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

donde hemos identificado el cambio en la velocidad con la aceleración. De nuevo, queda clara la relevancia de la masa: es la constante de proporcionalidad entre fuerza y aceleración. Si escribimos

$$\vec{a} = \frac{1}{m} \vec{F},$$

queda claro que, a mayor masa menos aceleración para una fuerza fija; viceversa, a menor masa, más aceleración. Esto es válido en general; luego veremos que en el caso particular de la fuerza gravitatoria, la propia fuerza es proporcional a la masa, así que la aceleración resultante acaba siendo independiente de la masa.

En términos prácticos, la segunda ley nos da una “receta” para, conociendo una fuerza dada, calcular la aceleración resultante. Fijémonos en que una fuerza dada aplicada a un objeto con masa elevada da lugar a una aceleración pequeña, y al revés: si la masa es pequeña la aceleración será elevada.

Ejemplo 8.1 *Explicar qué sucede según la segunda ley si la fuerza neta sobre un cuerpo es nula.*

Si la fuerza es nula, entonces la segunda ley expresa que la velocidad será constante. Es decir, la segunda ley se reduce a la primera cuando no hay fuerzas netas.



Error habitual:

Atención al uso de la palabra “neta”. Puede que sobre un objeto existan fuerzas, pero que estas se compensen, de tal manera que su aceleración sea nula. Esto sucede en el equilibrio de los cuerpos de nuestro entorno: la gravedad actúa sobre ellos, pero otras fuerzas (por lo general, fuerzas normales) actúan para equilibrarlos.

Ejemplo 8.2 *Describir la aceleración debida a una fuerza constante en dirección vertical*

Una fuerza constante en dirección vertical, $\vec{F} = f\vec{k}$, da lugar, según la segunda ley, a una aceleración también vertical $\vec{a} = f/m\vec{k}$. En el caso de la gravedad, $f = -mg$ (signo menos porque es hacia abajo), así que $\vec{a} = -g\vec{k}$. La aceleración es constante porque en los problemas de gravedad la masa siempre acaba cancelándose. Más sobre esto en la siguiente sección.

8.2.3. La tercera ley

Por último, Newton se preguntó qué pasaría no sólo con el objeto sobre el que se ejerce la fuerza (llamémosle A), sino también con el objeto que la realiza (que llamaremos B). Él razonó que la fuerza total sobre un sistema global, que incluya los dos cuerpos, debe ser nula. Esto sólo puede suceder si la fuerza sobre A, \vec{f}_A causa una fuerza sobre B igual pero de signo contrario \vec{f}_B . Como las fuerzas son vectoriales, el signo contrario significa que las dos fuerzas tienen mismo módulo y dirección, pero sentido opuesto.

Ejemplo 8.3 *Describir la situación en la que un planeta atrae a otro*

Ejemplo Si un planeta A atrae a otro B, el planeta B también atrae al A con una fuerza igual en intensidad (aunque opuesta). Esto queda claro en los casos en los que los planetas son parecidos: en vez de orbitar uno alrededor de otro, acaban girando los dos en torno a un punto intermedio. Esto sucede, de hecho, con Plutón y su luna Caronte.

En todo caso, si uno de los planetas es mucho más ligero la aceleración del cuerpo mayor es despreciable. El lector (o lectora) podría ser uno de estos “planetas”: la fuerza que la Tierra ejerce sobre cada uno de nosotros es igual a la que ejercemos sobre ella. La segunda ley deja claro que, dado que la masa de la Tierra es enorme, nuestra influencia sobre ella es despreciable.

Ejemplo 8.4 *Discutir el retroceso de las armas de fuego en términos de la tercera ley*

El fenómeno del retroceso en las armas de fuego es una consecuencia directa de esta ley:

un cuerpo pesado (el arma) causa una gran aceleración en otro ligero (el proyectil); y viceversa. Por ello, las armas que disparan proyectiles pequeños (como las escopetas de perdigones) apenas tienen retroceso, pero en aquellas en las que la masa de los proyectiles es comparable a la del arma el retroceso es importante (revólveres, cañones).

8.3. Problemas

1. En el espacio remoto, desde un sistema de referencia se ve un cuerpo en reposo; desde otro, en movimiento rectilíneo uniforme; y desde otro, describiendo un movimiento circular uniforme. ¿Qué puedes decir de ellos?
2. La aceleración de la gravedad es aproximadamente la misma para todos los cuerpos en la superficie de la tierra. Esta aceleración se deriva del peso, una fuerza. ¿Por qué no caen todos los cuerpos, entonces?
3. ¿Puedes pensar en algún caso en el que un cuerpo se mueve en línea recta, pero a velocidad que no es constante? ¿Existe una fuerza sobre él?
4. Análogamente, ¿puedes pensar en algún caso en el que un cuerpo se mueve a velocidad constante, pero en un círculo? ¿Existiría una fuerza sobre él?
5. Dada una fuerza fija de 10 N, calcular la aceleración que produciría sobre a) un piano de 500 kg, b) una persona de 70 kg, c) un grano de arena de 1 g.
6. Si un arma de 1 kg dispara un proyectil de 10 g a una velocidad de 300 m/s, ¿cuál sería su velocidad de retroceso?
7. La Tierra ejerce una aceleración de aproximadamente 10 m/s^2 sobre una persona de 100 kg. Calcular la aceleración que esta persona imprime a la Tierra de vuelta.
8. **Avanzado.** Repetir el cálculo anterior con el sistema Tierra-Luna. La masa de la Luna es 0,0123 la de la Tierra, y la aceleración de la gravedad terrestre a la distancia a la que está es de unos $2,7 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$.