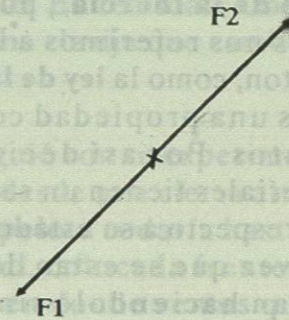


Tomemos, por ejemplo, el caso de una competencia de jalar una cuerda. Los dos equipos están sentados en la cubierta de una barca que navega a una velocidad uniforme por un río de corriente tranquila. Hay dos observadores que reportan el incidente, uno desde la misma barca y otro desde la orilla del río; cada uno, desde su propio marco de referencia. El observador de la barca dirá que las fuerzas de la cuerda están balanceadas y que permanece en reposo. El que está en la orilla reportará que las fuerzas están balanceadas y que la cuerda se encuentra en movimiento uniforme. ¿Cuál de los dos tiene la razón?. Ambos: la primera ley del movimiento de Newton se aplica a las dos observaciones, pues el hecho de que un cuerpo esté en reposo o en movimiento uniforme depende del marco de referencia que usemos para observar el hecho. En ambos casos, las fuerzas que actúan sobre el objeto en cuestión estarán balanceadas.



1-4 EL SIGNIFICADO DE LA PRIMERA LEY.

Las leyes de Newton tienen que ver con muchos conceptos filosóficos profundos. Pero estas leyes no son tan fáciles de usar; y podemos ver la importancia de la primera sin entrar en ninguna de las ideas complejas. Para mayor comodidad, vamos a hacer una lista de los puntos de vista importantes que nos proporciona la primera ley.

- Presenta la idea de la inercia como una propiedad básica de todos los objetos materiales. La inercia es la tendencia de cualquier objeto a mantener su estado de reposo o de movimiento uniforme.

- Señala la equivalencia entre estado de reposo y el estado de movimiento uniforme en línea recta. En ambos casos, la fuerza neta es igual a cero.
- Crea el concepto del marco de referencia. Un objeto que esté quieto según un observador, puede estar en movimiento según otro. Por lo tanto, se debe de especificar el marco de referencia, si es que queremos que las ideas de reposo y movimiento uniforme tengan algún sentido.
- Se le considera como una ley universal. Hace énfasis en el hecho de que un sólo esquema puede estudiar el movimiento en cualquier lugar del universo. Por primera vez, se hace una distinción entre los sucesos de la Tierra y de otros lugares del Universo. La misma ley se aplica a los objetos terrestres, así como a la Luna, los planetas y las estrellas, y también a las pelotas, los discos de hielo seco, los imanes, los núcleos de los átomos, los electrones, y ¡todo!
- La primera ley describe el comportamiento de los objetos cuando no hay fuerzas no balanceadas que actúen sobre ellos. Por lo tanto, prepara el terreno para la pregunta siguiente: ¿Qué es exactamente lo que sucede cuando una fuerza no balanceada llega a actuar sobre un objeto?.

1-5 LA SEGUNDA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON.

Hasta ahora hemos encontrado dos de nuestros tres objetivos: la explicación del reposo y del movimiento uniforme. En términos de la primera ley, ambos son equivalentes. Es decir, simplemente son modos diferentes de describir el estado de equilibrio, en el cual no hay ninguna fuerza no balanceada que actúe sobre el objeto en cuestión.

Habrán notado que no se estableció ninguna relación cuantitativa (matemática) entre la fuerza y la inercia. Estudiaremos por separado, las formas en que la fuerza y la inercia entran en la segunda ley. Posteriormente, en esta misma sección estudiaremos más cuidadosamente cómo medir la fuerza y la inercia. Pero primero, tomaremos algo de tiempo para asegurarnos de que la afirmación de Newton quedó clara. Vamos a considerar en primer lugar una situación en la que diferentes fuerzas actúan sobre el mismo cuerpo, y después tomaremos otra situación, en la que la misma fuerza actúe sobre diferentes objetos.

La fuerza y la aceleración. Con el objeto de hacer hincapié en el aspecto de la fuerza, la segunda ley de Newton puede expresarse como sigue:

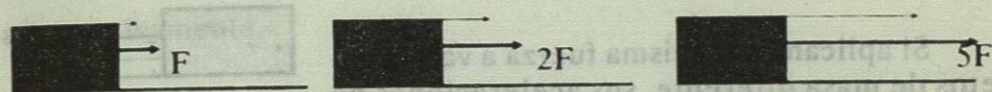
La fuerza neta no balanceada que actúa sobre un objeto está en proporción directa, y tiene la misma dirección, que la aceleración del objeto.

En forma más breve, podemos escribir esta ley así: "La aceleración de un objeto es proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él". Si F_{net} representa la fuerza neta y a representa la aceleración, ponemos esta relación como sigue

$$a \propto F_{\text{net}}$$

Tanto a como F_{net} son vectores. Al decir que son proporcionales, también queremos decir que apuntan en la misma dirección.

El decir que una cantidad es proporcional a otra es hacer una afirmación matemática precisa. Aquí, significa que si una cierta fuerza neta (F_{net}) hace que un objeto se mueva con una cierta aceleración (a) entonces una fuerza nueva que equivalga al doble de la anterior, ($2F_{\text{net}}$) hará que el mismo objeto tenga una aceleración doble a la anterior, ($2a$). De la misma manera, una fuerza que sea 3 veces, etc. Usando símbolos, este principio puede expresarse como



sigue:

Si una fuerza F_{net} provoca a , entonces una fuerza igual a

$2F_{\text{net}}$ provocará $2a$.

$3F_{\text{net}}$ provocará $3a$.

$5.2F_{\text{net}}$ provocará $5.2a$.

y así sucesivamente.

Masa y Aceleración. Ahora podemos estudiar el aspecto de la inercia en la segunda ley, el efecto que tiene la misma fuerza neta sobre diferentes objetos. Al hablar de la primera ley, definimos la inercia como la resistencia de un objeto a cambiar su velocidad. Sabemos por experiencia y por observación, que hay objetos que tienen más inercia que otros. Por ejemplo, vamos a suponer que ustedes lanzaran una pelota de beisbol y después una bala de competencia. Ustedes saben que la pelota aceleraría más y por lo tanto, alcanzaría una rapidez mayor que la bala. Así vemos que la aceleración de un cuerpo depende tanto del cuerpo como de la fuerza que se le aplique. El concepto de la cantidad de inercia de un cuerpo, se expresa con la palabra **masa**.

Masa es una palabra común, pero sólo será útil en física si no se confunde con algunos de sus significados de todos los días, y que marca el sentido común. Por ejemplo, la masa a menudo se usa como un sinónimo de peso. Pero aunque ambos conceptos están estrechamente relacionados, no son exactamente la misma cosa. El peso es una fuerza con la que la gravedad está actuando sobre un objeto. Por otro lado, la masa es una medida de la resistencia del objeto a la

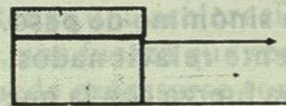
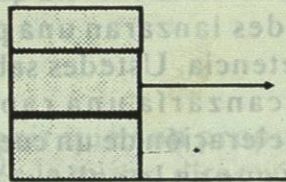
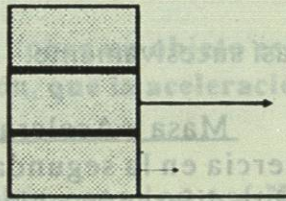
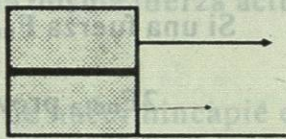
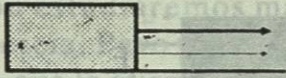
aceleración. Es cierto que sobre o cerca de la superficie de la Tierra, los objetos que son difíciles de acelerar, también son pesados.

Si aplicamos la misma fuerza a varios objetos de masa diferente, sus aceleraciones no serán iguales. Newton dijo que la aceleración resultante de cada objeto estaba en proporción inversa a la masa. Si usamos el símbolo m para la masa (es una cantidad escalar), y el símbolo a para la magnitud de la aceleración vectorial a podemos decir que "a es proporcional a $1/m$ o:

$$a \propto 1/m$$

Esta ecuación significa que si una determinada fuerza le da a un objeto una determinada aceleración, la misma fuerza hará que un objeto que tenga el doble de masa, obtenga la mitad de la aceleración. Un objeto que tenga tres veces la masa anterior, tendrá un tercio de la aceleración, un objeto con la quinta parte de la masa, tendrá 5 veces la misma aceleración, y así sucesivamente. Así vemos por ejemplo, que un camión necesita mucho más tiempo para alcanzar la misma rapidez, cuando está lleno que cuando está vacío. Usando símbolos, podemos expresar esta relación de la manera siguiente:

Si se le aplica una cierta fuerza F_{neta} , a un objeto con masa m experimenta a , entonces un objeto con masa $2m$ experimentará $1/2a$, con masa $3m$ experimentará $1/3a$,



con masa $1/5 m$ experimentará $5a$, con masa $2.5m$ experimentará $0.4a$, y así sucesivamente.

Estas afirmaciones pueden demostrarse por medio de experimentos. ¿Pueden dar alguna idea de cómo podría realizarse esto?

Los papeles que juegan la fuerza y la masa en la segunda ley de Newton pueden combinarse en una sola oración:

La aceleración de un objeto es directamente proporcional, y tiene la misma dirección, que la fuerza no balanceada que actúa sobre él, y asimismo, está en proporción inversa a la masa del objeto.

Las ideas expresadas en esta larga oración, se pueden resumir por medio de la siguiente ecuación:

$$a = F_{neta}/m$$

Esta ecuación es sólo una de las formas posibles de expresar la segunda ley del movimiento de Newton. Por supuesto, la misma relación puede escribirse de la forma, igualmente correcta, siguiente:

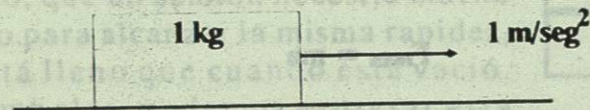
$$F_{neta} = ma$$

En cualquiera de las dos formas, ésta es posiblemente la ecuación más fundamental en la mecánica de Newton. De la misma manera que la primera ley, la segunda también tiene un amplio campo de aplicación. No importa que la fuerza sea mecánica, eléctrica o magnética, no importa que la masa sea la de una estrella o la de una partícula nuclear, no importa que la aceleración sea grande o pequeña, podemos usar esta ley para los problemas más simples

como para los más complicados. Al medir la aceleración que una fuerza neta desconocida produce en un objeto de masa conocida, podemos calcular el valor numérico de la fuerza, a partir de la ecuación $F_{\text{neta}} = ma$. O bien, al medir la aceleración que una fuerza neta conocida produce en un objeto de masa desconocida, podemos calcular el valor numérico de la masa a partir de la ecuación $m = F_{\text{neta}}/a$. Desde luego, que necesitamos medir dos de las tres cantidades para poder calcular la otra.

Unidades de fuerza y masa. Sin embargo, antes de poder realizar tales medidas, necesitamos establecer las unidades de masa y fuerza. Más aún, estas unidades deben ser constantes en relación a las unidades de aceleración, que ya se han definido en términos de normas de longitud y tiempo, por ejemplo, metros por segundo por segundo (m/seg^2).

Ahora podemos contestar a la pregunta de como asignar a un "empujón" o un "jalón" una unidad de fuerza. Definimos una unidad de fuerza, como aquélla que, actuando por si sola, hace que un objeto con una masa de un kilogramo, acelere a un ritmo de exactamente 1 metro/segundo/segundo.



Imaginemos un experimento en el que un objeto de un kilogramo fuera jalado por una balanza de resorte en dirección horizontal sobre una superficie plana y sin fricción. Se regularía el jalón para hacer que el objeto de un kg acelerara exactamente 1 m/seg^2 . La fuerza requerida tendría por definición, una magnitud de una unidad:

$$F_{\text{neta}} = 1\text{kg} \times 1\text{ m}/\text{seg}^2 = 1\text{ kg m}/\text{seg}^2$$

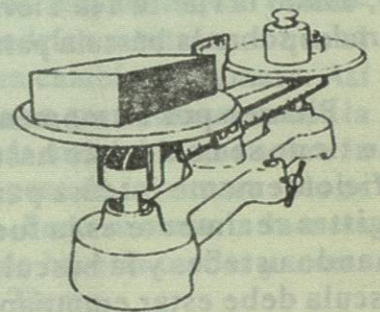
Por lo tanto, $1\text{ kg m}/\text{seg}^2$ de fuerza es una cantidad que ocasiona que un objeto con una masa de 1 kg acelere $1\text{ m}/\text{seg}^2$.

{ La unidad $\text{kg m}/\text{seg}^2$ ha conseguido tener el nombre más corto, **NEWTON**, se abrevia N. El newton es una unidad derivada, se define en términos de una relación especial entre el metro, el kilogramo y el segundo. Por lo tanto, el newton forma parte del sistema de unidades M.K.S., que se usa casi universalmente en las obras científicas modernas. }

Newton no "descubrió" los conceptos de fuerza y masa, pero reconoció que son básicas para comprender el movimiento. Aclaró estos conceptos y encontró una manera de expresarlos con valores numéricos, haciendo posible así, la ciencia de la dinámica.

1-6 MASA, PESO Y CAÍDA LIBRE.

La idea de la fuerza dentro de la física incluye mucho más que empujones y jalones musculares. Cada vez que observamos una aceleración, sabemos que existe una fuerza que esta actuando. Las fuerzas no necesitan ser "mecánicas" (ejercidas solo por el contacto). También pueden resultar de la gravedad, de la electricidad, el magnetismo y otras acciones. Las leyes de Newton funcionan con todas las fuerzas.



La fuerza de gravedad actúa sobre los objetos aún sin que exista un contacto directo. Tales objetos pueden estar separados por uno cuantos metros de aire, como en el caso de la Tierra y una piedra que cae, o pueden estar separados por muchos kilómetros de espacio vacío, como en el caso de los satélites artificiales con respecto a la Tierra.

Usaremos el símbolo F_g para la fuerza de gravedad. La magnitud de esta es casi la misma en toda la superficie de la Tierra, con respecto a un cierto objeto. Si quisieramos ser muy precisos, tendríamos que tomar en cuenta que en la Tierra no es exactamente esférica, y que existen irregularidades en la composición de la corteza, las cuales pueden causar ligeras diferencias (hasta un 2%) en la fuerza de gravedad sobre el mismo objeto en diferentes lugares de la Tierra. Un objeto que tenga una masa constante de 1 kg, experimentará una fuerza de gravedad de 9.812 newtons en Londres, pero solamente 9.796 newtons en Denver, Colorado. Los geólogos se valen de estas variaciones para localizar petróleo y otros depósitos minerales.

La palabra peso se usa a menudo en la conversación diaria como si quisiera decir lo mismo que la masa. En la física, definimos el peso de un objeto como la fuerza gravitatoria que actúa sobre él. El peso es una cantidad vectorial, como lo son todas las fuerzas. El peso de cada uno de ustedes consiste en la fuerza que nuestro planeta ejerce sobre ustedes, ya sea que esten parados o sentados, volando o cayendo, dando la vuelta a la Tierra en un vehículo espacial o simplemente parados sobre la báscula para "pesarse".

Piensen por un momento en lo que hace una báscula. El resorte que tiene se comprime hasta que ejerce una fuerza hacia arriba lo suficientemente intensa para sostenerlos. Así que lo que la báscula registra realmente es la fuerza que hace empujando bajo sus pies. Cuando ustedes y la báscula se quedan en reposo y no aceleran, la báscula debe estar empujando bajo sus pies con una fuerza igual en magnitud al peso de ustedes. Es por eso que estan en equilibrio, la

suma de todas las fuerzas sobre ustedes es igual a cero.

Ahora imaginen por un momento un experimento pensado que es ridículo pero instructivo. Mientras ustedes están parados sobre la báscula, el piso cede de repente (el cual había estado empujando a la báscula para arriba). Tanto ustedes como la báscula caen dentro de un profundo pozo en caída libre. En todo momento, la rapidez de caída de ustedes y la de la báscula serán iguales, puesto que caen con la misma aceleración. Ahora sus pies tocan la báscula en forma muy ligera (si no es que no la tocan para nada). Si observan el marcador, verán que registra cero. Esto no quiere decir que hayan perdido peso, eso sólo podría ocurrir si la Tierra desapareciera repentinamente, o si fueran transportados muy lejos, al espacio interestelar. No, F_g sigue actuando sobre ustedes como antes y acelerando su caída, pero como la báscula acelera junto con ustedes, ya no están empujándola hacia abajo, ni ella tampoco les empuja hacia arriba.

Pueden darse una idea bastante buena sobre la diferencia que existe entre las propiedades del peso y de la masa tomando un libro grande con sus manos. Primero, pongan el libro sobre una mano, y sientan el peso del libro que empuja hacia abajo. Ahora, tomen el libro y agítelo hacia los lados. Seguirán sintiendo el peso hacia abajo, pero también podrán darse cuenta de lo difícil que es acelerarlo hacia los lados. Esta resistencia a la aceleración constituye la masa del libro. Podrían "cancelar" la sensación del peso colgando el libro de un cordón, pero la sensación de su inercia al tratar de agitarlo sería la misma. Esta es solamente una demostración muy burda, sin embargo, hay experimentos más elaborados que podrían mostrarnos que el peso puede cambiar, sin que también haya un cambio en la masa. Así podemos ver que cuando un astronauta usa una gran cámara sobre la superficie de la Luna, la encuentra mucho más manuable que sobre la Tierra. En términos de la gravedad lunar, el peso de la cámara sólo es una sexta parte de lo que sería en la Tierra. Pero su masa o inercia no disminuye, así que sería tan difícil tratar de hacerla oscilar y tomar una nueva posición, como lo sería aquí en la Tierra.

Ahora podemos entender más claramente los resultados del experimento de Galileo sobre los objetos que caen. Galileo mostró que cualquier objeto determinado (en un lugar determinado) cae con una aceleración uniforme a_g . ¿Cuál es la causa de esta aceleración uniforme?? Una fuerza neta constante, que en este caso de caída libre, es simplemente F_g . Ahora bien, la segunda ley de Newton expresa la relación entre esta fuerza y la aceleración resultante. Si aplicamos la ecuación $F_{\text{neta}} = ma$ en este caso, en que $F_{\text{neta}} = F_g$ y que $a = a_g$, podemos decir que:

$$F_g = ma_g$$

Desde luego que podemos escribir la ecuación en una forma distinta:

$$a_g = F_g/m$$

A partir de la segunda ley de Newton, podemos ver ahora por qué la aceleración de un cuerpo en caída libre es constante. La razón es que, para un objeto con una cierta masa m , la fuerza de gravedad F_g sobre distancias normales de caída es casi constante.

Sin embargo, Galileo hizo más que decir que los objetos caen con una aceleración constante: él descubrió que en cualquier lugar determinado, todos los objetos caen con una misma aceleración uniforme. Ahora sabemos que en la superficie de la Tierra, esta aceleración tiene un valor aproximado de 9.8 m/seg^2 . Sin importar cuál sea la masa m , o el peso F_g , todos los cuerpos en caída libre (en el mismo lugar) tienen la misma aceleración a_g .

1-7 TERCERA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON.

En su primera ley, Newton describió el comportamiento de los objetos que se encuentran en estado de equilibrio; es decir, cuando la fuerza neta que actúa sobre ellos es igual a cero. Su segunda ley explica cómo cambia su movimiento cuando la fuerza neta no es igual a cero. La tercera ley de Newton añade un nuevo y sorprendente punto de vista sobre las fuerzas.

Consideremos este problema: en una carrera de 100 metros, un atleta parte desde el reposo hasta casi la rapidez máxima en menos de 1 seg. Podríamos medir su masa antes de que empiece la carrera, y podríamos usar fotografía de alta velocidad para medir su aceleración inicial. Al saber su masa y aceleración, podríamos usar la ecuación para encontrar la fuerza que actúa sobre él durante la aceleración inicial. ¿Pero de dónde viene esa fuerza?. Debe tener algo que ver con el corredor mismo. ¿Es posible que él ejerza una fuerza sobre sí mismo en forma global? Por ejemplo, ¿es posible que él mismo se levante estirando las correas de sus zapatos?

La tercera ley de Newton nos ayuda a comprender justamente estas situaciones sorprendentes. Primero, vamos a ver qué es lo que dice la tercera ley. En las propias palabras de Newton es como sigue:

Para toda acción hay una reacción igual y opuesta; o bien, las acciones mutuas de dos cuerpos que actúan cada uno sobre el otro, siempre son iguales y en dirección opuesta.

Esta es una traducción palabra por palabra de los principios. Sin embargo, se ha aceptado en forma generalizada que se puede sustituir la palabra acción por la expresión fuerza que actúa sobre un objeto, así como las palabras reacción igual y opuesta por la expresión fuerza igualmente grande sobre otro objeto. Leanla con estos cambios.