

Principios matemáticos de la filosofía natural



Isaac Newton · 1687

Audiolecciones ilustradas

Lecturized

Principios matemáticos de la filosofía natural

Audiolecciones ilustradas

Isaac Newton · 1687

Contado como lecciones ilustradas por Lecturized
lecturized.com

Del original: The Mathematical Principles of Natural Philosophy, translated by Andrew
Motte (first American edition, 1846)

Índice

Materia, movimiento y el tirón hacia el centro

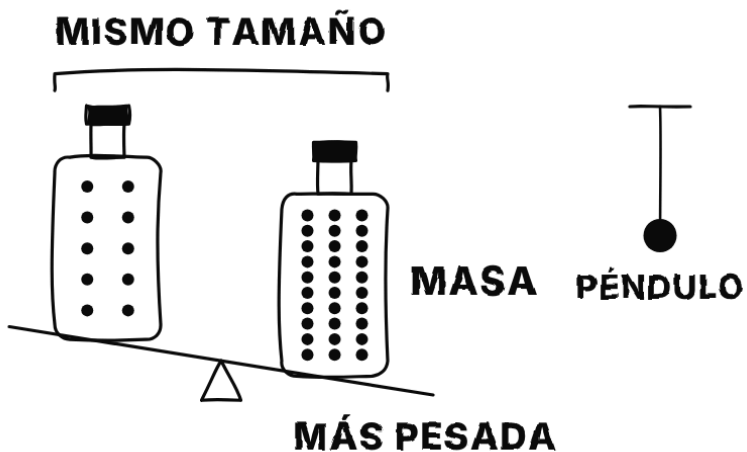
El peso, el tiempo y dónde están de verdad las cosas

El cubo que gira y los días desiguales

Hallar el movimiento verdadero

Materia, movimiento y el tirón hacia el centro

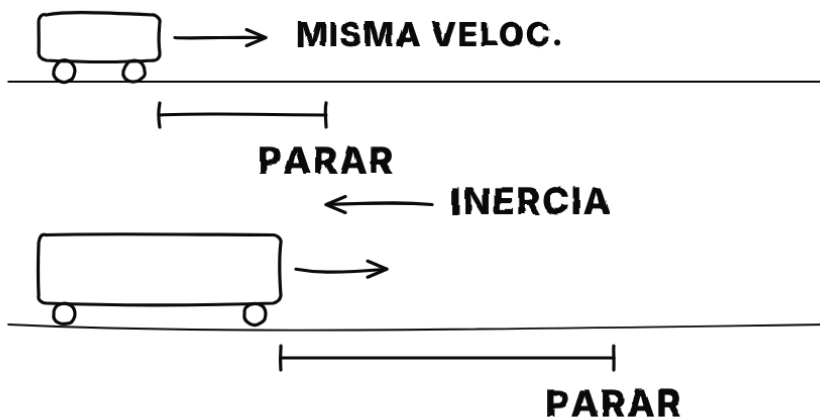
Tome dos botellas de agua rígidas idénticas, una con aire a presión normal y la otra inflada con una bomba de bicicleta hasta quedar dura. Tienen el mismo tamaño, pero una contiene mucho más aire que la otra. Así que lo grande que es una cosa no dice cuánta materia hay en ella. Newton abre su gran libro justo aquí, con la pregunta sencilla de cuánta materia tiene un cuerpo, antes de que aparezca una sola ley del movimiento.



Mismo tamaño, más materia

Su respuesta es que la cantidad de materia depende de dos cosas a la vez: lo apretada que está la materia y cuánto sitio ocupa. Apriete más el mismo aire, o déjelo ocupar más sitio, y habrá más; haga las dos cosas y los efectos se suman. La nieve prensada hasta hacerse hielo, o la harina comprimida en un bizcocho, cambia de tamaño y de apretamiento, pero no la cantidad de materia que contiene. Esta cantidad es lo que Newton llama masa, y observa algo sorprendente: siempre va de la mano del peso. Lo comprobó con experimentos muy cuidadosos con péndulos, que oscilan al mismo ritmo sea cual sea el material de sus pesas. Por eso la báscula del baño, que solo siente lo fuerte que usted la aprieta, puede decirle honradamente su masa en kilogramos.

Después viene la cantidad de movimiento, que hoy llamamos momento lineal: depende de cuánta materia se mueve y de lo rápido que se mueve. Un cuerpo es simplemente la suma de sus partes, así que el doble de materia moviéndose al mismo ritmo lleva el doble de movimiento, y hacerlo más rápido añade todavía más. Una furgoneta cargada que rueda a la misma velocidad que un coche pequeño lleva mucho más movimiento, y justo por eso necesita tanta más carretera para detenerse.

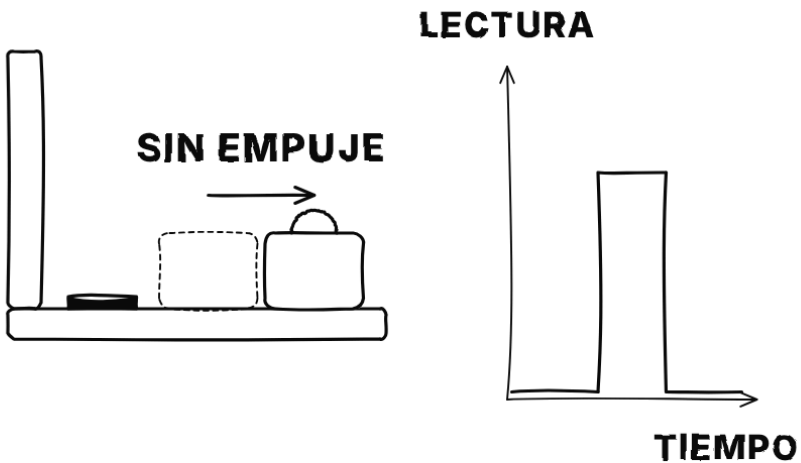


Pesado y rápido cuesta parar

Luego Newton da nombre a algo que todo el mundo ha sentido: la terquedad de la materia. Todo cuerpo, en la medida en que puede, sigue haciendo lo que ya hace: se queda quieto si está quieto y sigue deslizándose recto a ritmo constante si se mueve. Newton la llama fuerza de inactividad, y de su nombre en latín viene nuestra palabra inercia. Solo se muestra cuando algo intenta cambiar lo que el cuerpo hace; entonces se siente como resistencia desde un lado y como un empujón desde el otro. Y desliza una advertencia que cobrará importancia más adelante: si algo está «en reposo» o «en movimiento» suele juzgarse solo comparándolo con lo que lo rodea, y algo que parece quieto puede no estarlo de verdad.

Pruébelo

Ponga su teléfono plano en el asiento del copiloto de un coche y abra cualquier aplicación gratuita de sensores que muestre el acelerómetro. En una carretera recta a velocidad constante, la lectura apenas se mueve. Cuando el conductor frena, la lectura salta y una bolsa suelta en el asiento se desliza hacia delante. Nada empujó la bolsa: simplemente siguió adelante mientras al coche se le obligaba a parar, que es la inercia pillada en el acto.



La bolsa sigue adelante

Una fuerza, para Newton, es la acción que cambia lo que hace un cuerpo, y existe solo mientras actúa. Una vez terminado el empujón,

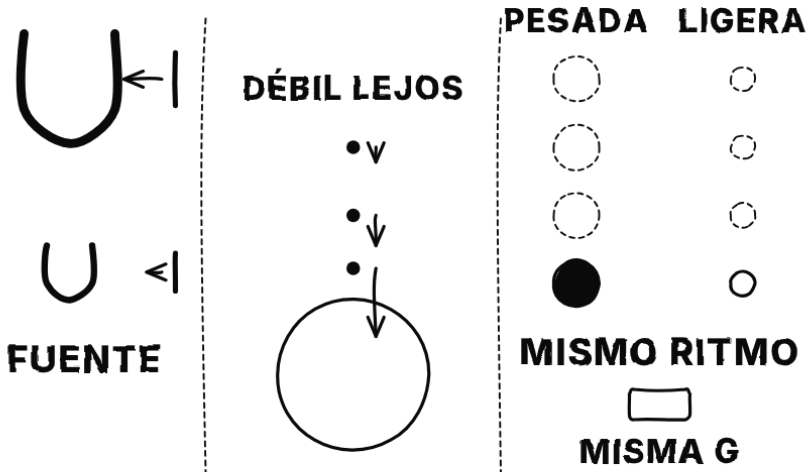
el cuerpo no guarda nada de él dentro; simplemente sigue en su nuevo estado por inercia. Los empujones vienen de golpes, de la presión y de los tirones hacia un centro. Los frenos funcionan solo mientras su pie aprieta el pedal; una vez que el coche ha frenado, mantiene su nueva velocidad sin que nada apriete.

El tirón hacia un centro es la fuerza de la que trata todo su libro, y la llama centrípeta, la que busca el centro. La gravedad tira de las cosas hacia el centro de la Tierra, un imán atrae el hierro hacia sí, y alguna fuerza sigue curvando a los planetas desde caminos rectos hacia sus órbitas. Su imagen es una piedra que se hace girar en una honda: tira para escapar, más fuerte cuanto más rápido va, y el tirón de la honda de vuelta hacia la mano es lo que la hace seguir girando. Suéltela, y la piedra sale disparada en línea recta, como lo haría cualquier cuerpo en órbita sin un tirón así.

Luego viene su imagen más famosa: un cañón en la cima de una montaña que dispara una bala a ras del suelo. Dispárela más rápido y cae más lejos; más rápido todavía y la curva de su caída coincide con la curva de la Tierra, así que nunca cae y sigue cayendo alrededor del planeta. La Luna se sostiene del mismo modo, con un tirón de la fuerza exacta: demasiado débil y se alejaría, demasiado fuerte y caería. Cada satélite GPS que escucha su teléfono es la bala de cañón de Newton, que se mueve tan rápido de lado que cae alrededor de la Tierra para siempre. Newton declara que la tarea de las matemáticas es hallar el tirón a partir del camino, y el camino a partir del tirón, y eso es lo que hace el resto del libro.

Por último empieza a medir esos tirones de más de una manera. Una manera mira la fuente: un imán grande y fuerte tiene más poder de atracción que uno pequeño y débil. Otra mira lo rápido que el tirón

acelera las cosas allí donde están: un imán atrae más de cerca que de lejos, y la gravedad es un poco más fuerte en un valle que en una montaña muy alta, y más débil todavía lejos, en el espacio. Sin embargo, a la misma distancia del centro de la Tierra, la gravedad acelera todo por igual, pesado o ligero, grande o pequeño, una vez que se quita el aire de en medio. El mismo acelerómetro que pilló a la bolsa deslizándose lee el mismo tirón de la gravedad tanto si el teléfono está solo como si está bajo un libro pesado.



Medir un tirón

Para recordar

Newton empieza contando la materia, por lo apretada que está y cuánto sitio ocupa a la vez, y llama a esa cantidad masa, que siempre coincide con el peso. El movimiento cuenta la materia y la velocidad juntas, y por eso las cosas pesadas y rápidas cuestan tanto de parar. La inercia es la terquedad de la materia, y una fuerza es solo la acción que la cambia, que dura mientras actúa. Un tirón hacia un centro convierte el movimiento recto en una órbita, y así la honda sostiene la piedra, la Tierra sostiene la Luna y los satélites se mantienen arriba. Ese tirón puede medirse por la fuerza de su fuente o por lo rápido que acelera las cosas, y a la misma distancia la gravedad acelera todo por igual.

Preguntas

1. Dos botellas rígidas del mismo tamaño contienen cantidades distintas de aire. ¿Qué muestra esto sobre la cantidad de materia de Newton?
 - a. Depende del apretamiento y del sitio a la vez, no solo del tamaño
 - b. Depende solo del tamaño del recipiente
 - c. Depende solo de lo pesado que es el recipiente
 - d. No puede medirse en el caso del aire
2. Después de que los frenos han reducido la velocidad del coche y se suelta el pedal, ¿por qué mantiene el coche su nueva

velocidad?

- a. Los frenos dejan algo de fuerza almacenada en el coche
 - b. La gravedad lo arrastra a esa velocidad
 - c. Sigue en su nuevo estado por inercia
 - d. La carretera lo empuja hacia delante
3. Según la imagen de Newton, ¿qué mantiene a la Luna en su órbita?
- a. Solo su inercia, que la hace moverse en círculos
 - b. El aire que rodea la Tierra
 - c. Un tirón hacia la Tierra de la fuerza justa
 - d. Un empujón del Sol desde detrás
4. A la misma distancia del centro de la Tierra, sin aire de por medio, ¿cómo caen un cuerpo pesado y uno ligero?
- a. El pesado acelera más rápido
 - b. El ligero acelera más rápido
 - c. Aceleran por igual
 - d. Solo el pesado es atraído

Respuestas

- 1. a)** La cantidad de materia depende de dos cosas a la vez: lo apretada que está y cuánto sitio ocupa, así que el tamaño por sí solo no lo dice.
- 2. c)** Una fuerza dura solo mientras actúa; una vez terminado el empujón, el cuerpo no guarda nada de él y sigue en su nuevo estado por inercia.
- 3. c)** La Luna se sostiene por un tirón de la fuerza exacta: demasiado débil y se alejaría, demasiado fuerte y caería.

4. c) A la misma distancia del centro de la Tierra, la gravedad acelera todo por igual, pesado o ligero, grande o pequeño, una vez que se quita el aire de en medio.

Ejercicios

1. Un amigo dice que una furgoneta cargada cuesta más de parar que un coche pequeño solo porque es más grande. Usando la cantidad de movimiento de Newton, ¿cómo lo corregiría?

Pista: Pregúntese de qué depende la cantidad de movimiento, además de la velocidad.

Respuesta: Lo que importa no es el tamaño sino la cantidad de materia que se mueve, junto con su velocidad. Una furgoneta cargada a la misma velocidad que un coche pequeño lleva mucha más materia, así que lleva mucho más movimiento, y por eso necesita tanta más carretera para detenerse.

2. ¿Por qué una bala de cañón disparada lo bastante rápido desde una montaña puede no caer nunca, aunque la gravedad no deje de atraerla?

Pista: Piense en qué le pasa a su trayectoria curva cuando va más rápido.

Respuesta: Cuanto más rápido va, más plana es la curva de su caída. Lo bastante rápido, la curva de su caída coincide con la curva de la Tierra, así que sigue cayendo alrededor del planeta sin llegar nunca al suelo, y así se mantienen arriba los satélites.

3. Newton mide un tirón por la fuerza de su fuente y por lo rápido que acelera las cosas en un lugar. ¿Por qué son dos medidas distintas?

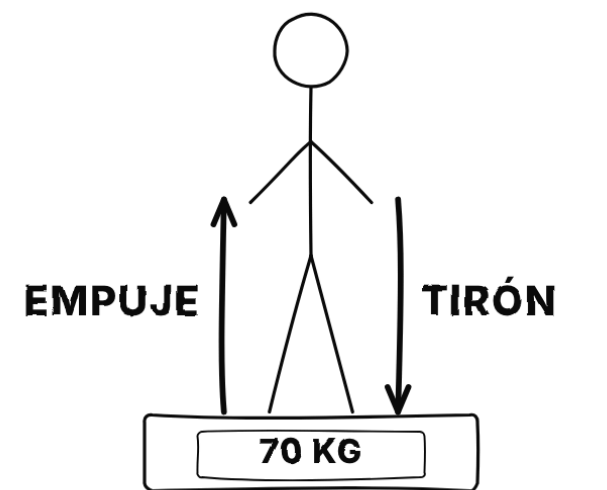
Pista: Piense en un imán sostenido cerca y lejos de un clip.

Respuesta: La misma fuente puede acelerar mucho las cosas de cerca y solo un poco de lejos, así que lo fuerte que es la fuente y lo rápido que acelera las cosas en un lugar concreto no son lo mismo; un imán grande

tiene más poder de atracción que uno pequeño, pero cualquiera de los dos atrae más de cerca.

El peso, el tiempo y dónde están de verdad las cosas

Súbase a una báscula de baño y observe cómo se asienta el número. La báscula no puede ver su cuerpo; lo único que hace es empujar hacia arriba justo lo necesario para que usted no se hunda, e informar de cuánto empuja. Newton define el peso exactamente así, y es la última de sus tres maneras de medir un tirón.

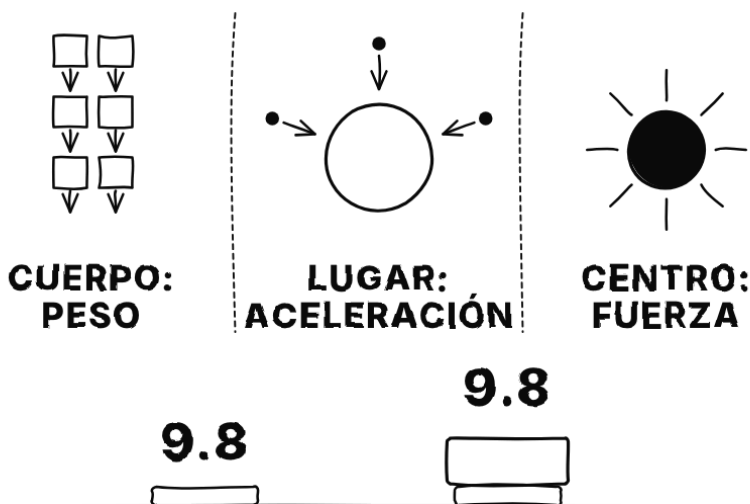


La báscula empuja de vuelta

Ya hemos visto dos: la fuerza de la fuente, como un imán grande gana a uno pequeño, y lo rápido que el tirón acelera las cosas en un punto

dado. La tercera mira un cuerpo entero y pregunta cuánto movimiento le da el tirón, y Newton dice que eso es simplemente su peso, la inclinación del cuerpo entero hacia el centro. Un cuerpo mayor pesa más, y el mismo cuerpo pesa más cerca de la Tierra y menos lejos. Y el peso se conoce siempre por el empuje igual en sentido contrario que justo impide que el cuerpo caiga, que es el trabajo de la báscula. Su báscula le empuja hacia arriba exactamente tanto como la Tierra tira de usted hacia abajo, y ese equilibrio es el número que muestra.

Newton da a cada medida su sitio. El peso pertenece al cuerpo, como la suma de los tirones sobre todas sus pequeñas partes. La aceleración pertenece al lugar, como un poder repartido desde el centro a cada punto a su alrededor. La fuerza pertenece al propio centro, a lo que sea que cause el tirón: un imán, la Tierra o algo que nadie ha encontrado todavía. Tiene cuidado de decir que solo da a estos tirones un significado matemático; qué son realmente y cómo actúan, lo deja abierto.



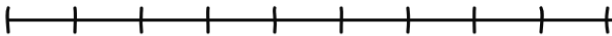
Tres sitios para un tirón

Las tres encajan con limpieza. Igual que el movimiento de un cuerpo es su velocidad aplicada a toda su materia, su peso es la aceleración del lugar aplicada a toda su materia. Así que cerca de la Tierra, donde la aceleración es la misma para todo, el peso simplemente sigue a la cantidad de materia. Suba lo bastante alto para que la aceleración de la gravedad se debilite, y el peso de todo cuerpo se debilita con ella, mientras su materia sigue exactamente igual. El acelerómetro de su teléfono muestra esta igualdad cada día: sobre una mesa, lee el mismo tirón de la gravedad tanto si está desnudo como si está bajo un libro pesado.

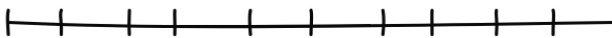
Aquí terminan las definiciones, y Newton añade una larga nota explicativa sobre cuatro palabras que se niega a definir, porque todo

el mundo cree conocerlas: tiempo, espacio, lugar y movimiento. El problema, dice, es que la gente solo las conoce a través de las cosas que ve y toca, y eso engendra ideas falsas. Así que divide cada una en dos: una versión verdadera y absoluta, y una versión relativa que de verdad podemos medir.

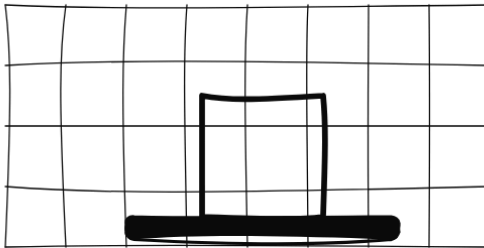
TIEMPO REAL



RELOJES



AIRE



**ESPACIO
REAL**

TIERRA

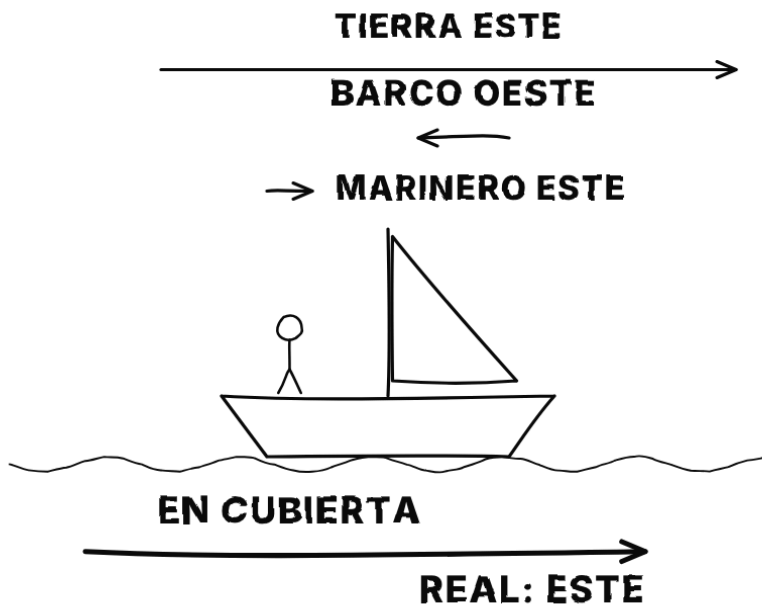
Tiempo y espacio verdaderos y medidos

El tiempo verdadero fluye uniformemente por sí solo, pase lo que pase en el mundo, y su otro nombre es duración. El tiempo que usamos, horas, días, meses y años, es solo una medida de ese fluir hecha por algún movimiento que podemos observar, la Tierra que gira o el péndulo que oscila, y esas medidas pueden ser ligeramente desiguales. El reloj de su teléfono es tiempo relativo exactamente en este sentido: cuenta las vibraciones de un diminuto cristal y se

mantiene al paso de los relojes de los satélites, pero solo mide el tiempo, no es el tiempo mismo.

El espacio verdadero es igual en todas partes y nunca se mueve. El espacio que medimos, la habitación, el aire sobre la ciudad, el cielo visto desde aquí, se fija por su posición entre los cuerpos, así que puede moverse con ellos. Si la Tierra se mueve, el trozo de aire que siempre nos rodea está, en el espacio verdadero, pasando por un lugar tras otro. El lugar de un cuerpo es la parte del espacio que llena, no solo su superficie exterior o su posición, y el lugar de un todo es la suma de los lugares de sus partes.

El movimiento se divide del mismo modo. El movimiento verdadero es el paso de un cuerpo de un lugar verdadero a otro; el movimiento relativo es su paso de un lugar a otro entre las cosas que lo rodean. La imagen de Newton es un barco a vela: un pasajero sentado quieto en un camarote está en reposo respecto al barco, pero si el barco se mueve, el pasajero se mueve con él. Y si la propia Tierra se mueve, el movimiento verdadero del pasajero se compone del movimiento de la Tierra, de la navegación del barco sobre la Tierra y de lo que el pasajero camine por cubierta, todo sumado. En su ejemplo, la Tierra lleva el barco hacia el este muy rápido, el barco navega despacio hacia el oeste y un marinero pasea un poco hacia el este, de modo que el marinero, que parece ir a la deriva hacia el oeste comparado con la costa, en realidad corre hacia el este por el espacio. Su teléfono le dice lo rápido que camina por un tren en marcha solo respecto al suelo; su velocidad por el espacio verdadero sumaría también el enorme movimiento de la propia Tierra.



El barco y el marinero

Para recordar

El peso es la tercera medida de un tirón: el movimiento que da a un cuerpo entero, conocido por el empuje que impide que el cuerpo caiga, como hace una báscula de baño. El peso pertenece al cuerpo, la aceleración al lugar y la fuerza al centro, y Newton les da solo un significado matemático. Cerca de la Tierra la aceleración es la misma para todo, así que el peso sigue a la cantidad de materia. El tiempo verdadero fluye uniformemente por sí solo, y los relojes solo lo miden; el espacio verdadero nunca se mueve, mientras que los espacios que medimos viajan con los cuerpos que nos rodean. Un cuerpo en reposo en un barco a vela sigue moviéndose por el espacio verdadero, y su movimiento verdadero suma los movimientos de la Tierra, del barco y del propio cuerpo.

Preguntas

1. ¿Cómo conoce una báscula de baño su peso, en el sentido de Newton?
 - a. Ve cuánta materia contiene usted
 - b. Empuja hacia arriba justo lo necesario para que usted no caiga, y ese empuje es igual a su peso
 - c. Mide lo rápido que usted se mueve
 - d. Mide su estatura
2. ¿A qué asigna Newton la aceleración de un tirón?

- a. Al cuerpo atraído
 - b. Al lugar donde está el cuerpo
 - c. A la fuente en el centro
 - d. Al observador
3. ¿Por qué el reloj de su teléfono es solo tiempo relativo?
- a. Porque muestra una hora equivocada
 - b. Porque mide el tiempo contando un movimiento, que solo mide el tiempo verdadero
 - c. Porque el tiempo verdadero se detiene cuando el teléfono está apagado
 - d. Porque lo ajustan los satélites
4. Un pasajero está sentado quieto en el camarote de un barco a vela. ¿Qué es cierto de su movimiento?
- a. Está de verdad en reposo
 - b. Está en reposo respecto al barco, pero se mueve con él
 - c. Solo se mueve si camina
 - d. Solo se mueve respecto al camarote

Respuestas

- 1. b)** El peso se conoce siempre por el empuje igual en sentido contrario que justo impide que el cuerpo caiga, que es lo que hace la báscula.
- 2. b)** La aceleración pertenece al lugar, como un poder repartido desde el centro a cada punto a su alrededor.
- 3. b)** El tiempo que usamos es solo una medida del fluir verdadero hecha por algún movimiento que podemos observar; el teléfono cuenta las vibraciones de un cristal, así que mide el tiempo pero no es el tiempo mismo.

4. b) Un pasajero sentado quieto está en reposo respecto al barco, pero si el barco se mueve, el pasajero se mueve con él.

Ejercicios

1. Explique por qué, cerca de la Tierra, el peso de un cuerpo sigue a su cantidad de materia.

Pista: Pregúntese qué es igual para todo cuerpo en un mismo lugar.

Respuesta: El peso es la aceleración del lugar aplicada a toda la materia de un cuerpo. Cerca de la Tierra la aceleración es la misma para todo, así que lo único que cambia de un cuerpo a otro es la cantidad de materia, y el peso la sigue.

2. ¿Por qué un marinero que parece ir a la deriva hacia el oeste comparado con la costa podría estar en realidad corriendo hacia el este por el espacio?

Pista: Piense en todo lo que lleva al marinero.

Respuesta: El movimiento verdadero del marinero suma el movimiento de la Tierra, el movimiento del barco sobre la Tierra y lo que el propio marinero camina. Si la Tierra lo lleva todo hacia el este muy rápido, eso puede pesar más que la lenta deriva hacia el oeste que se ve desde la costa.

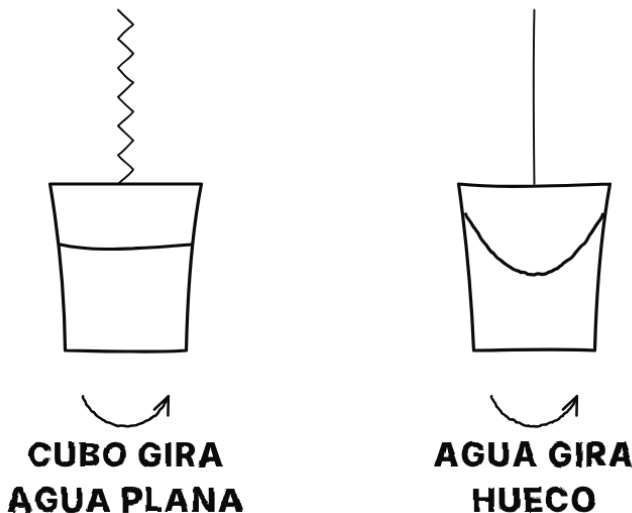
3. ¿Por qué dice Newton que el trozo de aire que nos rodea puede estar cambiando en el espacio verdadero, aunque parezca quedarse quieto?

Pista: Pregúntese desde dónde se mide ese trozo de aire.

Respuesta: Fijamos ese trozo de aire por su posición respecto a la Tierra. Si la Tierra se mueve, el aire se mueve con ella, así que en el espacio verdadero pasa por un lugar tras otro, aunque respecto a nosotros siga siendo el mismo.

El cubo que gira y los días desiguales

Cuelgue un cubo pequeño con agua de una cuerda larga, retuerza la cuerda muchas veces, sujete el cubo quieto y luego suéltelo. Mientras la cuerda se desenrolla, el cubo gira cada vez más rápido, pero al principio el agua de dentro se mantiene plana y en calma. Poco a poco el agua empieza a girar con el cubo, su centro se hunde y sube por las paredes formando un hueco, hasta que cubo y agua giran juntos. Newton hizo esto él mismo, y es su mejor prueba de que algún movimiento es real y no solo cuestión de con qué se compara.



Antes del cubo, se ocupa del tiempo. Los astrónomos, dice, separan el tiempo verdadero del tiempo cotidiano mediante una corrección, porque los días naturales, de mediodía a mediodía según el Sol, no duran todos lo mismo, aunque todo el mundo los trata como iguales. Quizá ningún movimiento en ninguna parte sea perfectamente uniforme, de modo que el tiempo nunca pueda medirse con exactitud; todo movimiento puede acelerarse o frenarse, pero el tiempo verdadero sigue fluyendo sin cambio. Las cosas duran lo mismo tanto si los movimientos a su alrededor son rápidos como lentos o no existen, así que la duración debe mantenerse aparte de los relojes que la miden. Los relojes de péndulo y los tiempos de las lunas de Júpiter muestran que la corrección es necesaria. Un reloj de sol en su jardín se desplaza un cuarto de hora en un sentido u otro frente al reloj constante de su teléfono a lo largo del año, y esa es la misma desigualdad de los días.

PÉNDULO

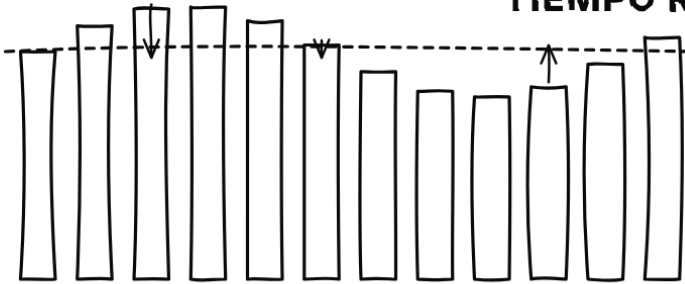


LUNAS DE JÚPITER



CORRECCIÓN

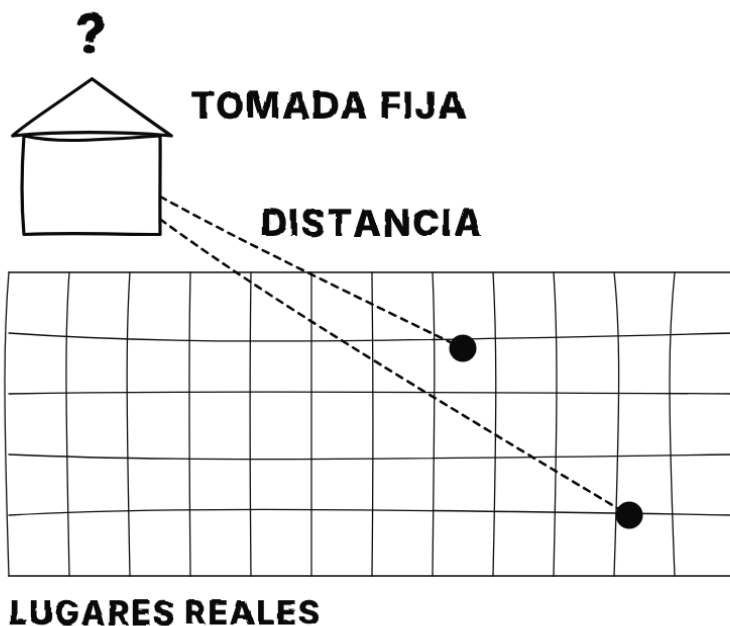
TIEMPO REAL



DÍAS NATURALES

Los días naturales son desiguales

El espacio es como el tiempo: sus partes conservan su orden para siempre, y mover una parte del espacio fuera de su lugar sería moverla fuera de sí misma. Esas partes inmóviles son los lugares verdaderos, y salir de ellas es el único movimiento verdadero. Pero no podemos ver las partes del espacio, así que medimos desde algún cuerpo que tratamos como quieto: el suelo, la costa, la estación. Eso está perfectamente bien para la vida diaria, pero en la filosofía natural debemos mirar más allá de nuestros sentidos, porque puede que no haya en ninguna parte un cuerpo de verdad en reposo desde el que medir. El mapa de su teléfono mide cada posición desde el suelo, tomado como fijo, lo cual es exactamente lo adecuado para encontrar una cafetería y no dice nada de cómo se mueve la propia Tierra.

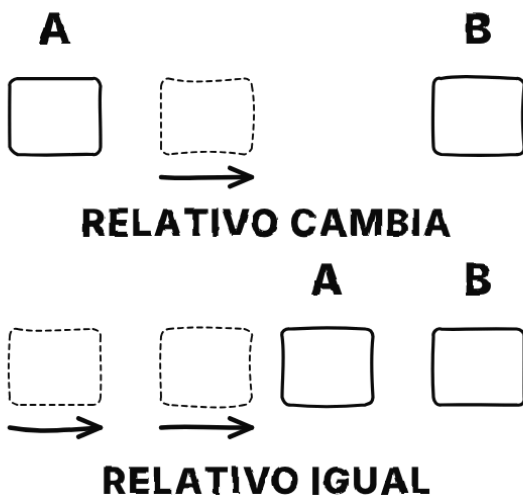


Lugares medidos desde un cuerpo

Newton promete entonces distinguir el movimiento verdadero del aparente de tres maneras: por sus propiedades, sus causas y sus efectos. Una propiedad es que las cosas de verdad en reposo se mantienen quietas unas respecto a otras; pero un cuerpo de verdad en reposo podría estar lejos, entre las estrellas, y nada en cómo se sitúan unas respecto a otras las cosas cercanas puede decir si se mantienen quietas respecto a él. Otra propiedad es que las partes participan del movimiento de su todo: si la cáscara se mueve, la almendra se mueve con ella, sin salir nunca de la cáscara. Así que reposar entre cosas que se mueven no es reposo verdadero, y el movimiento verdadero se construye, capa a capa, a partir del movimiento de un cuerpo en su lugar, del movimiento de ese lugar, y así sucesivamente, hasta un lugar que no se mueve. Un teléfono quieto en su bolsillo en un

autobús en marcha nunca se desplaza dentro del bolsillo, pero cruza la ciudad con el autobús.

La causa que separa el movimiento verdadero del relativo es la fuerza. El movimiento verdadero solo cambia cuando una fuerza actúa sobre el propio cuerpo. El movimiento relativo puede cambiar sin ninguna fuerza sobre el cuerpo, simplemente porque se empuja lejos a las cosas con las que se compara; y puede seguir igual mientras se empuja al cuerpo, si a las cosas que lo rodean se las empuja del mismo modo. Cuando el autobús frena, usted y el teléfono de su bolsillo frenan juntos, así que el teléfono parece no moverse respecto a usted, aunque su movimiento verdadero ha cambiado claramente. Así que el movimiento verdadero no puede consistir en relaciones con otras cosas.



Empujar el otro cuerpo

Y el efecto que delata el movimiento verdadero es el empuje hacia fuera del giro. Un giro meramente relativo no produce ningún empuje hacia fuera; un giro verdadero sí, más cuanto más rápido gira. Aquí es donde entra el cubo. Al principio, el agua gira lo más rápido posible respecto al cubo, ya que el cubo gira alrededor de agua quieta, pero su superficie se mantiene plana: ningún empuje, así que todavía no hay giro verdadero. Más tarde, a medida que el agua alcanza al cubo y gira menos respecto a él, sube cada vez más por las paredes, hasta llegar a lo más alto justo cuando está en reposo respecto al cubo. El empuje sigue al giro verdadero del agua, no a su movimiento respecto al cubo que la rodea.

**RELATIVO:
MÁXIMO**



EMPUJE: NULO

**RELATIVO:
NULO**



EMPUJE: MÁXIMO

El empuje sigue al giro verdadero

Pruébalo

Remueva con fuerza una taza de té y saque la cucharilla.

Mientras el té gira, su superficie se hunde en el centro y sube en el borde. Ese hueco es el empuje hacia fuera de un giro verdadero, lo mismo que Newton vio en su cubo.

Cada cuerpo que gira tiene un solo giro verdadero, con un empuje hacia fuera que le corresponde, pero innumerables movimientos relativos, uno por cada cuerpo con que se compare, y estos no tienen efectos reales propios. Eso zanja una vieja idea de los cielos, en la que los planetas reposan dentro de esferas de cristal que giran y los llevan

consigo: esos planetas se moverían de verdad, porque cambian sus posiciones unos respecto a otros, cosa que nunca hacen las cosas de verdad en reposo, y como partes de un todo que gira se esforzarían hacia fuera de su eje. El centrifugado de una lavadora muestra cada semana el mismo empuje: el giro verdadero del tambor aprieta la ropa contra su pared.

Para recordar

Los días naturales son desiguales, así que los astrónomos los corrigen, y el tiempo verdadero sigue fluyendo sin cambio hagan lo que hagan los relojes. Medimos los lugares desde cuerpos que tratamos como quietos, pero las posiciones cercanas nunca pueden revelar el reposo verdadero, y las partes siempre participan del movimiento de su todo. Solo una fuerza sobre un cuerpo cambia su movimiento verdadero, mientras que el movimiento relativo puede cambiar o seguir igual de todos modos, así que el movimiento verdadero no es una relación con otras cosas. Un giro verdadero se delata por un empuje hacia fuera, y por eso el agua del cubo de Newton sube por las paredes solo cuando gira de verdad. Cada cuerpo que gira tiene un movimiento verdadero e innumerables relativos, y solo el verdadero tiene efectos reales.

Preguntas

1. ¿Por qué corrigen los astrónomos el tiempo cotidiano?

- a. Porque los relojes siempre atrasan
 - b. Porque los días naturales según el Sol no duran todos lo mismo
 - c. Porque el tiempo verdadero se acelera en verano
 - d. Porque la Luna cambia la duración del año
2. ¿Qué es lo único que cambia el movimiento verdadero de un cuerpo?
- a. Un cambio en las cosas que lo rodean
 - b. Una fuerza que actúa sobre el propio cuerpo
 - c. El paso del tiempo
 - d. Su lugar entre otros cuerpos
3. En el cubo de Newton, ¿cuándo sube más alto el agua por las paredes?
- a. Cuando el cubo empieza a girar alrededor de agua quieta
 - b. Cuando el agua gira junto con el cubo y está en reposo respecto a él
 - c. Cuando el cubo se detiene
 - d. Nunca; la superficie se mantiene plana

Respuestas

- 1. b)** Los astrónomos separan el tiempo verdadero del cotidiano mediante una corrección, porque los días naturales, de mediodía a mediodía según el Sol, no duran todos lo mismo.
- 2. b)** El movimiento verdadero solo cambia cuando una fuerza actúa sobre el propio cuerpo, mientras que el movimiento relativo puede cambiar sin ninguna fuerza sobre el cuerpo.

3. b) A medida que el agua alcanza al cubo y gira menos respecto a él, sube más, y llega a lo más alto justo cuando está en reposo respecto al cubo.

Ejercicios

1. Explique por qué el experimento del cubo muestra que el giro verdadero no es lo mismo que el giro respecto al cubo.

Pista: Compare los momentos en que el agua se mueve más respecto al cubo y en que sube más alto.

Respuesta: Al principio el agua se mueve lo más rápido posible respecto al cubo pero se mantiene plana, así que no gira de verdad. Al final no se mueve en absoluto respecto al cubo, pero sube lo más alto. El empuje hacia fuera sigue al giro verdadero del agua, no a su movimiento respecto al cubo.

2. ¿Por qué reposar tranquilamente entre otras cosas nunca puede probar que un cuerpo está de verdad en reposo?

Pista: Piense en un teléfono en su bolsillo en un autobús.

Respuesta: Las partes participan del movimiento del todo al que pertenecen, como una almendra se mueve con su cáscara. Un teléfono que reposa en su bolsillo nunca se mueve respecto al bolsillo, pero el autobús lo lleva a través de la ciudad, así que reposar entre cosas no dice nada del reposo verdadero.

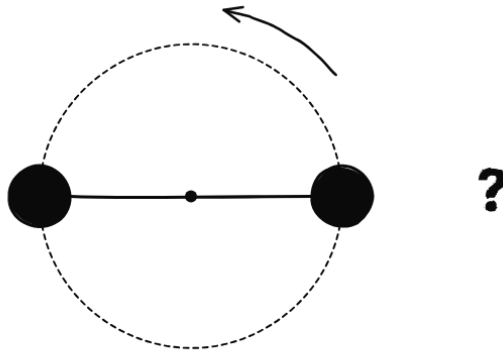
3. ¿En qué se equivocaba, según Newton, la vieja imagen de los planetas llevados por esferas celestes que giran?

Pista: Pregúntese si esos planetas mostrarían las señales del movimiento verdadero.

Respuesta: Esos planetas solo estarían en reposo respecto a sus esferas. Seguirían cambiando sus posiciones unos respecto a otros, cosa que nunca hacen las cosas de verdad en reposo, y como partes de un todo que gira se esforzarían hacia fuera de su eje, así que se moverían de verdad.

Hallar el movimiento verdadero

Imagine dos bolas pesadas atadas con una cuerda fuerte, girando alrededor de su centro en un cielo vacío sin nada más a la vista. La última palabra de Newton en este capítulo es que incluso allí podríamos saber que giran.



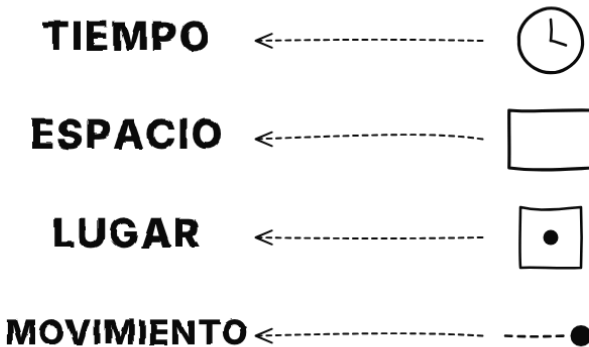
ESPACIO VACÍO

Dos globos en el espacio vacío

Primero aclara las palabras. Nuestras horas, lugares medidos y velocidades respecto al suelo no son las cosas verdaderas de las que toman el nombre, solo las medidas que usamos en su lugar. En el habla cotidiana, tiempo y movimiento significan esas medidas, y eso

está bien, siempre que nunca confundamos las medidas con las cantidades reales.

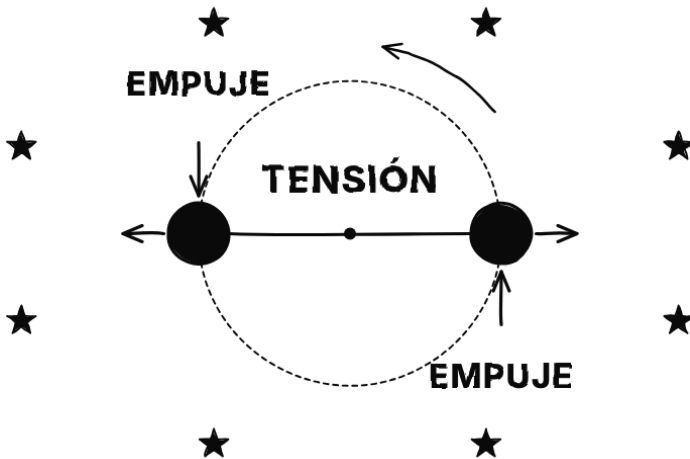
CANTIDADES $\neq$ MEDIDAS



Cantidades y sus medidas

Hallar el movimiento verdadero de un cuerpo es difícil, reconoce, porque el espacio inmóvil no puede verse. Pero hay pistas: los movimientos que observamos, que son las diferencias entre movimientos verdaderos, y las fuerzas, que los causan y los muestran. La cuerda entre las dos bolas se tensa por su esfuerzo hacia fuera, así que su tensión dice lo rápido que giran. Empuje las dos bolas a la vez por lados correspondientes: si la cuerda se tensa, el empujón las aceleró, y eso revela en qué sentido giran. El giroscopio de su teléfono detecta su propio giro con este mismo espíritu, a partir de fuerzas dentro del chip, sin necesidad de mirar nada exterior.

ESTRELLAS FIJAS



GIRAN GLOBOS

Tensión, empujones y las estrellas

Ponga alrededor algunos cuerpos lejanos, quietos unos respecto a otros como las estrellas, y solo mirando no podría saberse si giran las bolas o las estrellas. Pero si la tensión de la cuerda coincide con lo que necesita el giro de las bolas, entonces se mueven las bolas y las estrellas están quietas. Conocer los movimientos verdaderos a partir de sus causas y efectos, y las causas a partir de los movimientos, es lo que se propone el resto del libro de Newton, y con ello empiezan las leyes del movimiento.

Para recordar

Nuestros tiempos y lugares cotidianos son solo medidas de las cantidades verdaderas, y no deben confundirse con ellas. El movimiento verdadero no puede verse directamente, pero los movimientos observados y las fuerzas lo delatan. Dos bolas unidas por una cuerda revelan su giro por la tensión de la cuerda, incluso sin nada a su alrededor. Hallar los movimientos verdaderos a partir de causas y efectos es la tarea de todo el libro.

Preguntas

1. ¿Qué revela lo rápido que giran las dos bolas unidas por una cuerda?
 - a. Lo tensa que está la cuerda
 - b. El color de las bolas
 - c. Las estrellas que las rodean
 - d. La hora del día
2. Con cuerpos lejanos alrededor, ¿cuándo podemos decir que se mueven las bolas y que los cuerpos están quietos?
 - a. Cuando las bolas parecen más grandes
 - b. Cuando la tensión de la cuerda coincide con lo que necesita el giro de las bolas
 - c. Cada vez que las bolas pasan ante una estrella
 - d. Nunca

3. ¿Qué dice Newton de nuestras horas y lugares medidos cotidianos?
- a. Son las cantidades verdaderas
 - b. Son solo medidas, que pueden usarse si no se confunden con las cantidades reales
 - c. No deberían usarse nunca
 - d. Son fuerzas

Respuestas

1. **a)** La cuerda entre las dos bolas se tensa por su esfuerzo hacia fuera, así que su tensión dice lo rápido que giran.
2. **b)** Si la tensión de la cuerda coincide con lo que necesita el giro de las bolas, entonces se mueven las bolas y las estrellas están quietas.
3. **b)** Nuestras horas y lugares medidos no son las cosas verdaderas, solo medidas; usarlas está bien siempre que nunca las confundamos con las cantidades reales.

Ejercicios

1. Con sus propias palabras, ¿cómo podría empujar las dos bolas revelar en qué sentido giran?

Pista: Pregúntese qué le dice una cuerda más tensa sobre el empujón.

Respuesta: Si empujar lados correspondientes tensa más la cuerda, el empujón aceleró las bolas, así que esos lados iban detrás en el giro; eso dice en qué sentido giran las bolas.

2. ¿Por qué el movimiento verdadero no puede verse directamente, y qué lo delata en su lugar?

Pista: Piense en el espacio inmóvil y en las fuerzas.

Respuesta: El espacio inmóvil es invisible, así que no podemos ver un cuerpo pasar por él. Pero las fuerzas causan y muestran el movimiento verdadero, como la tensión de una cuerda muestra que dos bolas giran.