

Estática y
Dinámica
FIS1513

Tema #2
Leyes de Newton

PHILOSOPHIAE
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

^{Accedit}
Autore J S. NEWTON Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheficior.
^{Socieitate}
Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.
^{et ad hanc Regiae Societatis praeceps}

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julij 5. 1686.

LONDINI,
Jussu Societatis Regiae ac Typis Josephi Streater. Prostat apud
plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Cinética de una Partícula (Leyes de Newton)

Kinetics of a Particle:

Force and Acceleration

13

CHAPTER OBJECTIVES

- To state Newton's Second Law of Motion and to define mass and weight.
- To analyze the accelerated motion of a particle using the equation of motion with different coordinate systems.
- To investigate central-force motion and apply it to problems in space mechanics.



The design of conveyors for a bottling plant requires knowledge of the forces that act on them and the ability to predict the motion of the bottles they transport.

Capítulo 13 del Hibbeler y 4-5 del Young-Freedman

LEYES DEL MOVIMIENTO DE NEWTON



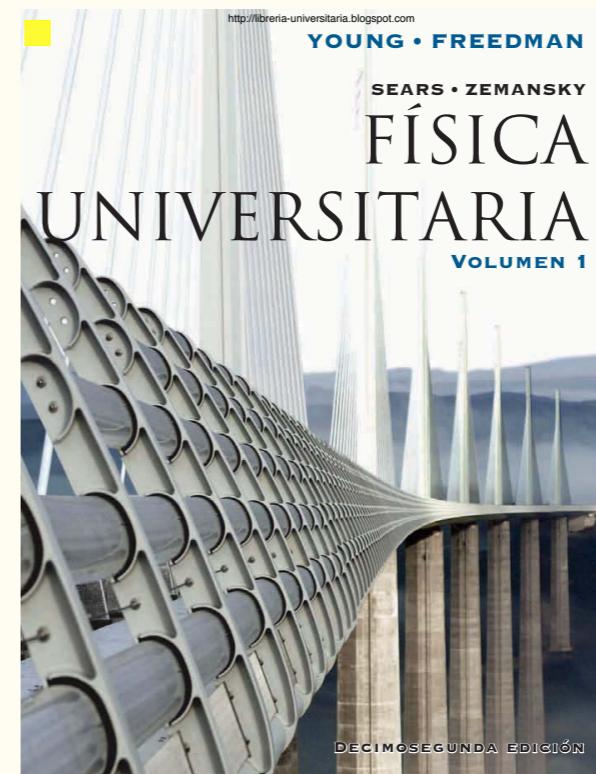
El niño que está de pie empuja al niño que está sentado en el columpio. ¿El niño sentado empuja hacia atrás? Si acaso, ¿empuja con la misma cantidad de fuerza o con una cantidad diferente?

4

METAS DE APRENDIZAJE

Al estudiar este capítulo, usted aprenderá:

- Lo que significa el concepto de fuerza en la física y por qué las fuerzas son vectores.
- La importancia de la fuerza neta sobre un objeto y lo que sucede cuando la fuerza neta es cero.
- La relación entre la fuerza neta sobre un objeto, la masa del objeto y su aceleración.
- La manera en que se relacionan las fuerzas que dos objetos ejercen



Nota: el capítulo 13 del Hibbeler parte asumiendo que ya están familiarizados con las leyes de Newton y los diferentes tipos de fuerzas.

Introducción

Dedicamos las primeras dos semanas y media del curso a

Cinemática

Ahora cambiamos a **Cinética**

Por ahora seguiremos preocupándonos solamente por **partículas**, es decir objetos con masa pero sin tamaño.

Como mencionamos anteriormente, es una muy buena aproximación modelar objetos como partículas en muchas situaciones.

La **cinemática** es la rama de la **dinámica** que estudia el movimiento sin preocuparse por las causas que lo originan y/o afectan

La **cinética** es la rama de la **dinámica** que estudia el movimiento tomando en cuenta las causas que lo originan y/o afectan

¿Cómo afectar el movimiento?

¿Cómo afectar el movimiento de un objeto?

Ya sea que un objeto está en reposo y queremos que se mueva, o si ya esté en movimiento y queríamos cambiarlo, ¿cómo hacerlo?

Se necesita una (o más) **fuerza(s)**



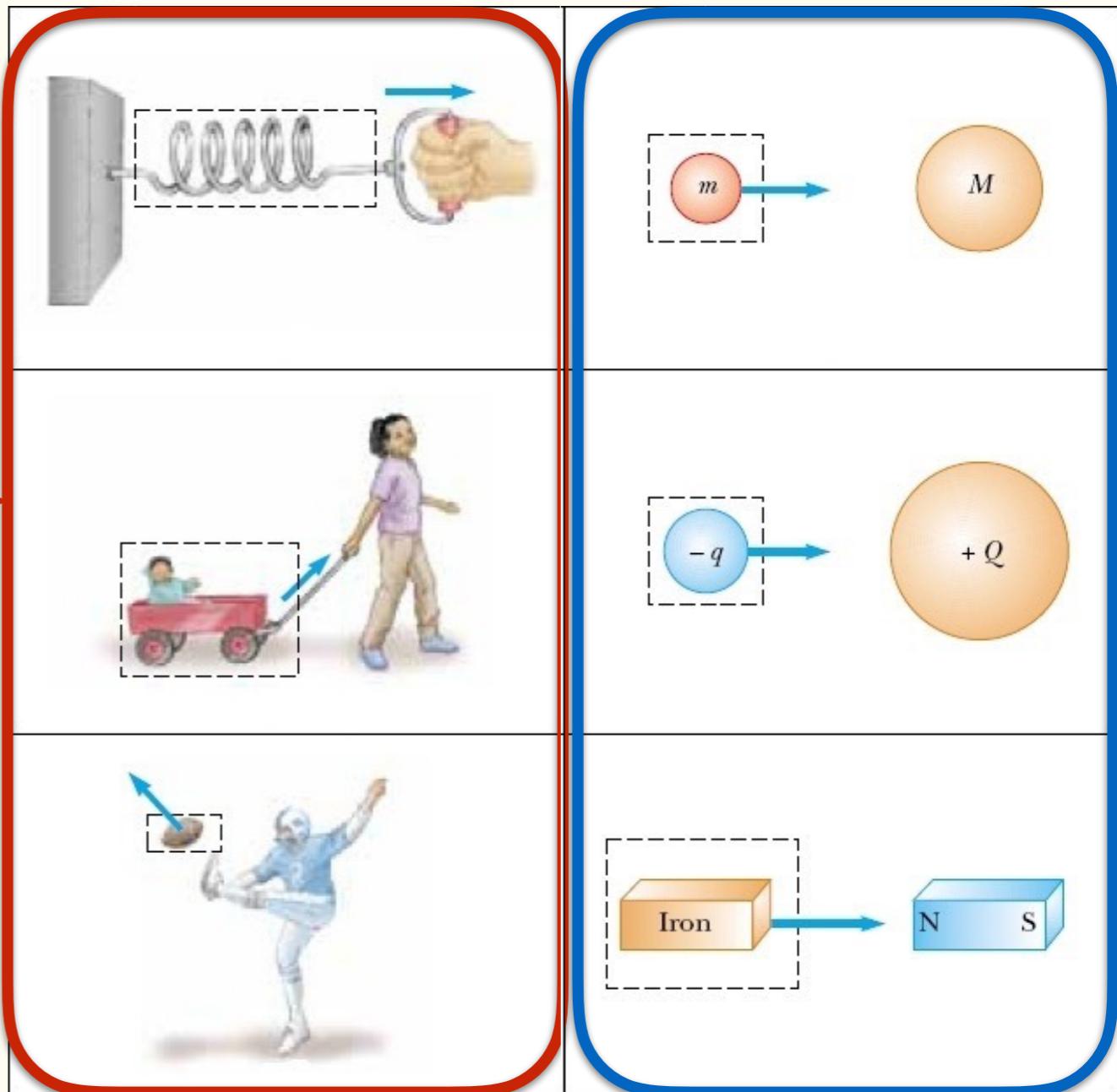
Concepto de Fuerza

¿Qué es una fuerza?

Es una interacción entre dos cuerpos, cuando uno “empuja” o “jala” sobre el otro

Ocurre a través del contacto entre los dos cuerpos →

Pero también puede ocurrir a distancia (fuerza gravitatoria, fuerza eléctrica, fuerza magnética... etc)



¿Cómo se modela matemáticamente una fuerza?

Una fuerza tiene tanto **magnitud** como **dirección**

La dirección en la que se le aplica una fuerza a una pelota de futbol puede hacer una gran diferencia



Por ende, se necesitan **vectores** para representar fuerzas

Fuerza y Movimiento

¿Exactamente cómo afecta una fuerza el movimiento de un objeto?

Esta pregunta la responde la
2da Ley de Newton:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

*“Mutationem motus proportionalem
esse vi motrici impressae, et fieri
secundum lineam rectam qua vis illa
imprimitur” (Isaac Newton, 1687)*



Nota: en el SI, las unidades para fuerza son “Newtons”. $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m / s}^2$

(Nota: la formulación más general de esta ley involucra momento lineal, como veremos más adelante en el curso)

$$\vec{F} = m\vec{a}$$



**¡Esta es una de las ecuaciones más importantes
en física y en ciencia en general!**

Experimento

La “bandeja del mesero griego”

Nota: los meseros griegos tienen la reputación de ser muy buenos



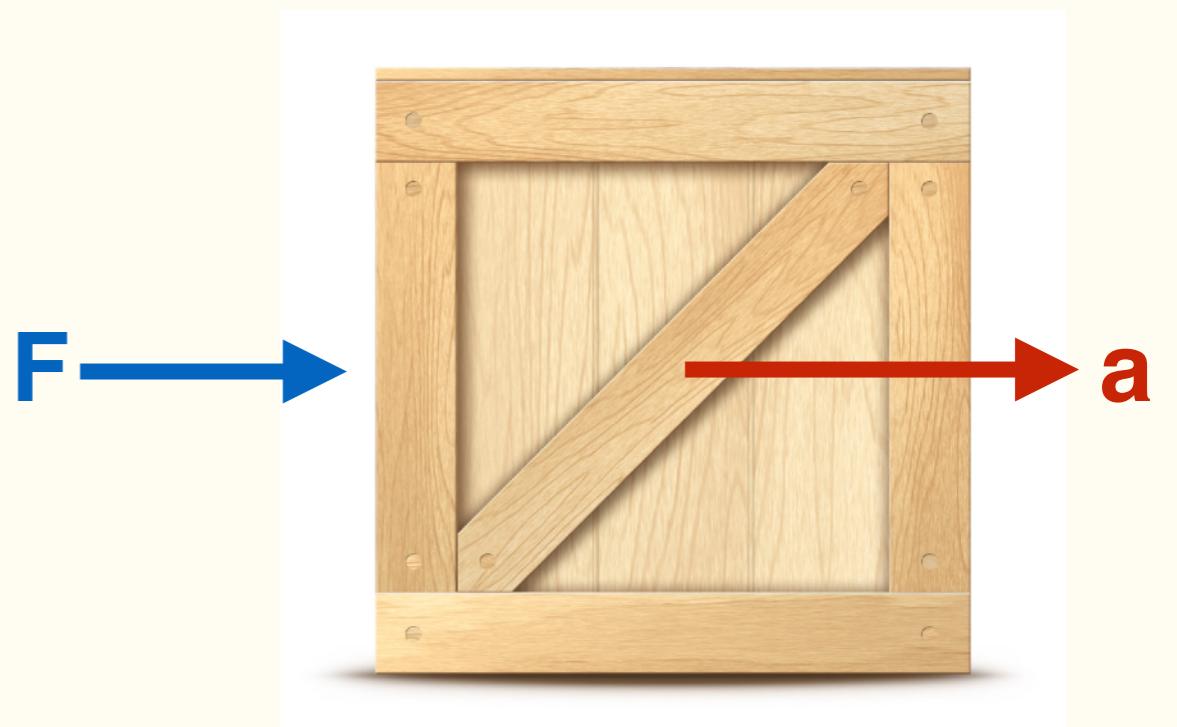
Buscar “Greek waiters tray experiment” en youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=jjV1cyGUCss>

Sobre la 2da Ley de Newton

La segunda ley de Newton nos dice por lo menos 3 cosas muy importantes:

1) Una fuerza produce una aceleración

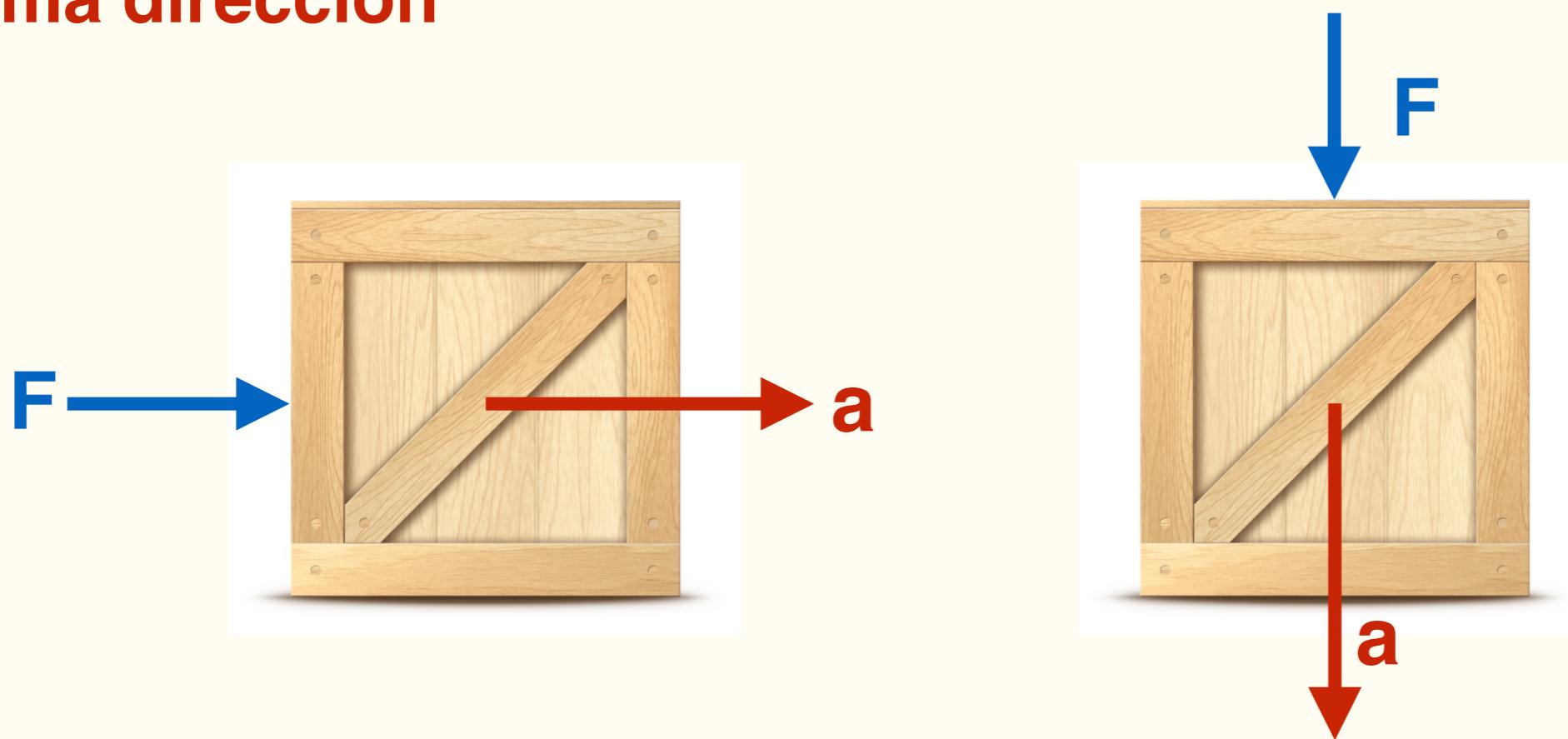
Si yo tengo una caja flotando en el espacio exterior donde no hay ninguna otra influencia, y le aplico una fuerza constante, esa caja se va a mover con una aceleración constante (es decir, su velocidad va a cambiar a una tasa constante)



Esto no tendría por qué ser así... podría ser que una fuerza produjera una cierta velocidad fija, por ejemplo.

Sobre la 2da Ley de Newton

2) La aceleración es proporcional a la fuerza y ocurre en la misma dirección



La aceleración siempre va en la dirección de la fuerza, independientemente de si la caja estaba ya en movimiento o no, e independientemente de su velocidad o posición. A cada instante que la fuerza se aplique, aparecerá esta aceleración en la misma dirección.

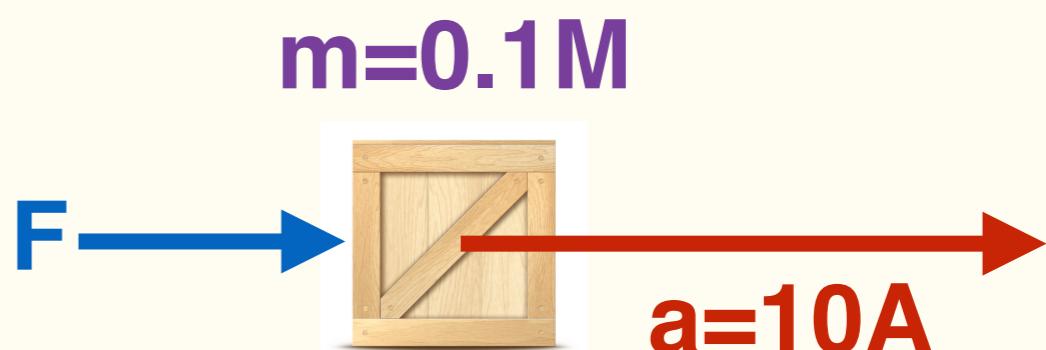
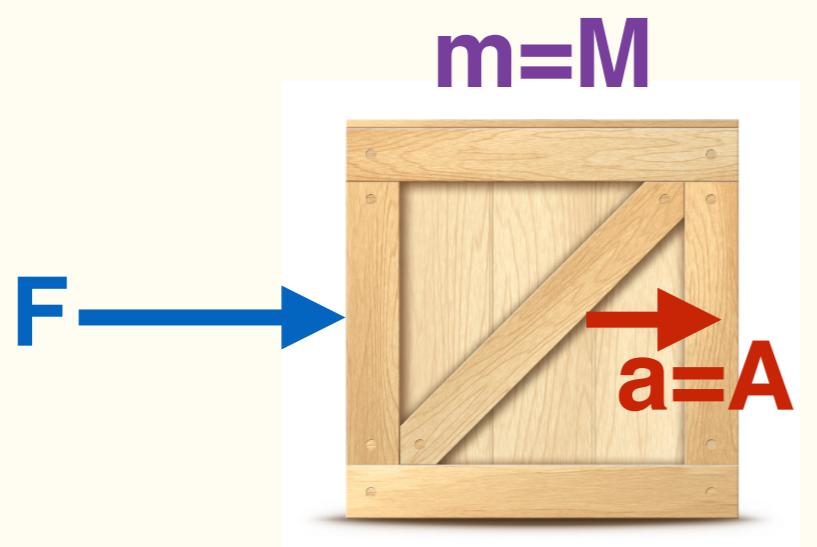
Si se dobla la intensidad de la fuerza, se dobla la aceleración

Sobre la 2da Ley de Newton

3) La aceleración producida depende de la masa del objeto

La misma fuerza no produce la misma aceleración en todos los objetos.

La aceleración obtenida depende de la cantidad de materia que tiene el objeto, es decir de su masa. A menor masa, mayor aceleración.



A la masa se le puede denominar “inercia”:

masa = inercia = resistencia al cambio en movimiento

Sobre la 2da Ley de Newton

A veces nos resulta difícil reconciliar esto con nuestra experiencia diaria:

Por ejemplo, uno puede empujar la pared con todas sus fuerzas y no se acelera

Lo que pasa es que el pedazo de pared que uno empuja no es un objeto independiente que está libre para moverse, sino que es parte de una estructura.



Cuando uno le aplica una fuerza a un pedazo de pared, el resto de la pared “responde” aplicándole a ese mismo pedazo de pared una fuerza de igual magnitud pero dirección contraria que cancela mi fuerza.

Estas fuerzas se llaman **fuerzas internas** y se estudian en “Estática” Obviamente dependen de las fuerzas externas (mientras más fuerte empuje, mayor tiene que ser la fuerza interna que contrarreste)

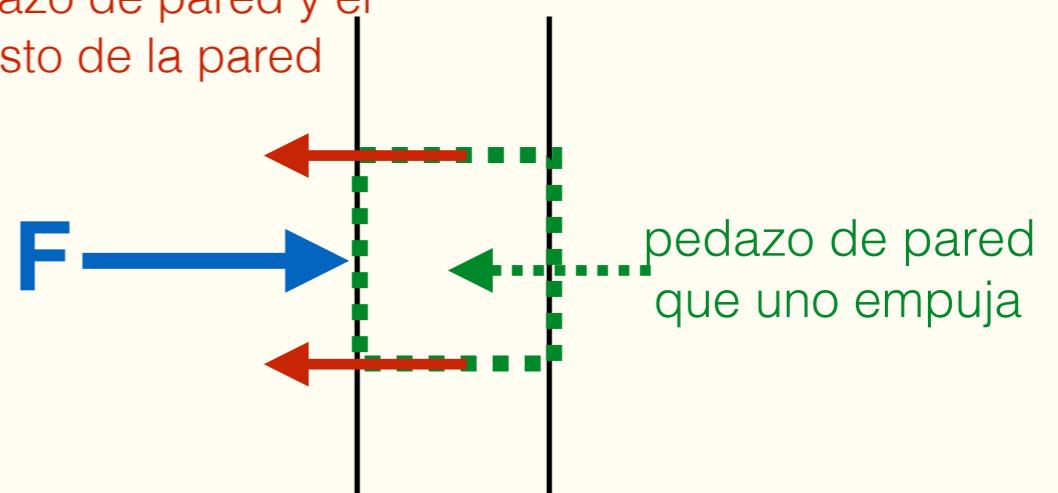
Sobre la 2da Ley de Newton

Esto se puede ver considerando el pedacito de pared que estoy empujando. El resto de la pared responde con una fuerza opuesta (fuerzas internas). Las fuerzas internas que puede ejercer una estructura tienen un límite, y si se exceden la estructura se rompe.

Otra forma de verlo forma de verlo sería como si el pedazo de pared estuviera amarrado a un enorme resorte:



Fuerzas internas entre el pedazo de pared y el resto de la pared



El resorte se deforma un poquitito (¡de hecho la pared también!), pero esa deformación causa una fuerza sobre el pedazo empujado en la dirección contraria que cancela la fuerza externa. Todos los materiales se comportan como resortes en que tienen una cierta elasticidad y resistencia a las deformaciones.

Para mayor información: <https://www.quora.com/When-a-person-pushes-a-wall-the-wall-does-not-accelerate-Does-this-mean-that-the-person-did-not-apply-a-force-on-the-wall-because-F-0>

Sobre la 2da Ley de Newton

Otro ejemplo:

A veces uno siente que empuja un objeto con una fuerza constante y no se acelera. Un buen ejemplo son los autos

Cuando uno empuja un auto, uno siente que provee una fuerza constante, mientras que el auto no se acelera y sólo mantiene una velocidad constante.



Lo que pasa es que aquí también hay otras fuerzas en juego que veremos más adelante (roce entre los engranes... etc).

Al comenzar a mover el auto uno tiene que proveer una fuerza mayor a la del roce, o si no no se comenzaría a mover. Pero una vez que el auto ya está en movimiento, uno instinctivamente reduce la fuerza de empuje hasta que se equilibra con la de roce, lo que hace justamente que la aceleración sea cero y que la velocidad se mantenga constante.

Sobre la 2da Ley de Newton

Moraleja: uno puede pensar en muchas situaciones en las que parece que la segunda ley no se cumple. Pero en realidad lo que pasa es que hay fuerzas adicionales que uno ignora.

Más adelante veremos como lidiar con más de una sola fuerza.... pero por el momento hay que recordar la primera lección importante sobre la 2da Ley de Newton: una fuerza produce una aceleración.

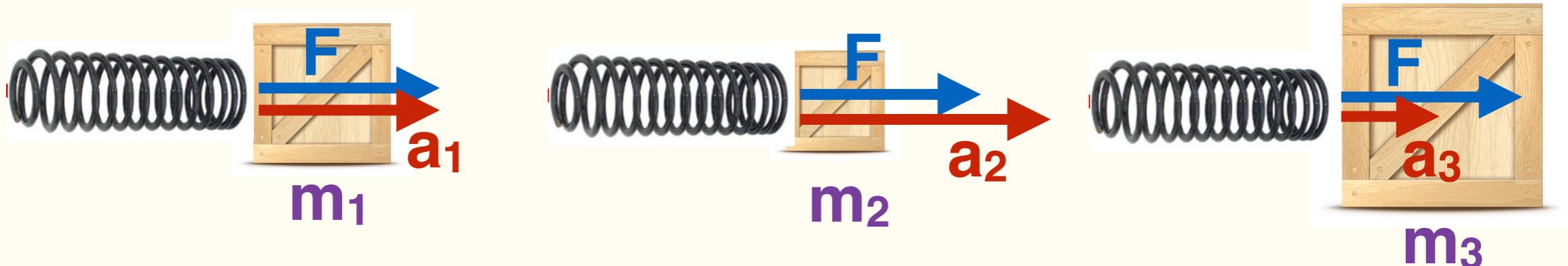
Sigamos estudiando las otras lecciones importantes sobre la 2da Ley de Newton...

Validez de la 2da Ley de Newton

¿Se puede demostrar la 2da Ley de Newton?

No... es una ley empírica, es decir que se verifica de forma experimental. No se puede demostrar a partir de ningún principio. Pero si se puede comprobar experimentalmente

Por ejemplo, le puedo aplicar la misma fuerza a tres objetos de masa m_1 , m_2 y m_3 comprimiendo un resorte siempre a la misma distancia, y midiendo la aceleración en ese instante



Invariablemente se encuentra que:

$$m_1 a_1 = m_2 a_2 = m_3 a_3$$

¡La gran mayoría de los experimentos realizados hasta ahora están de acuerdo con la 2da Ley de Newton!

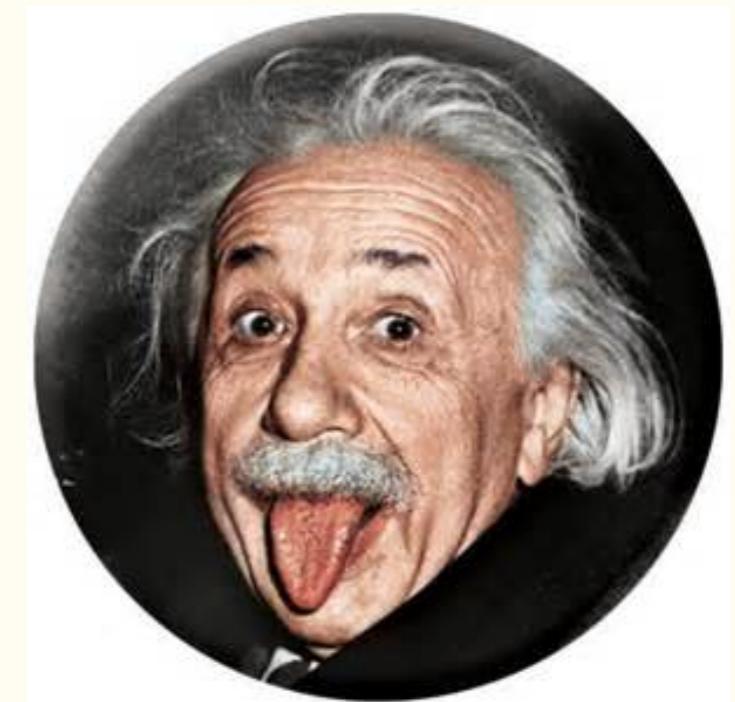
Validez de la 2da Ley de Newton

¿Se han hecho observaciones que contradigan la 2^{da} ley?

¡Sí!

Por más de dos siglos nunca se demostró una excepción a la segunda ley

Sin embargo, a principios del siglo XX se encontró que las leyes de Newton no funcionan en algunos ambientes extremos, como velocidades cercanas a las de la luz, campos gravitacionales muy grandes, o escalas muy pequeñas (como las de los átomos)

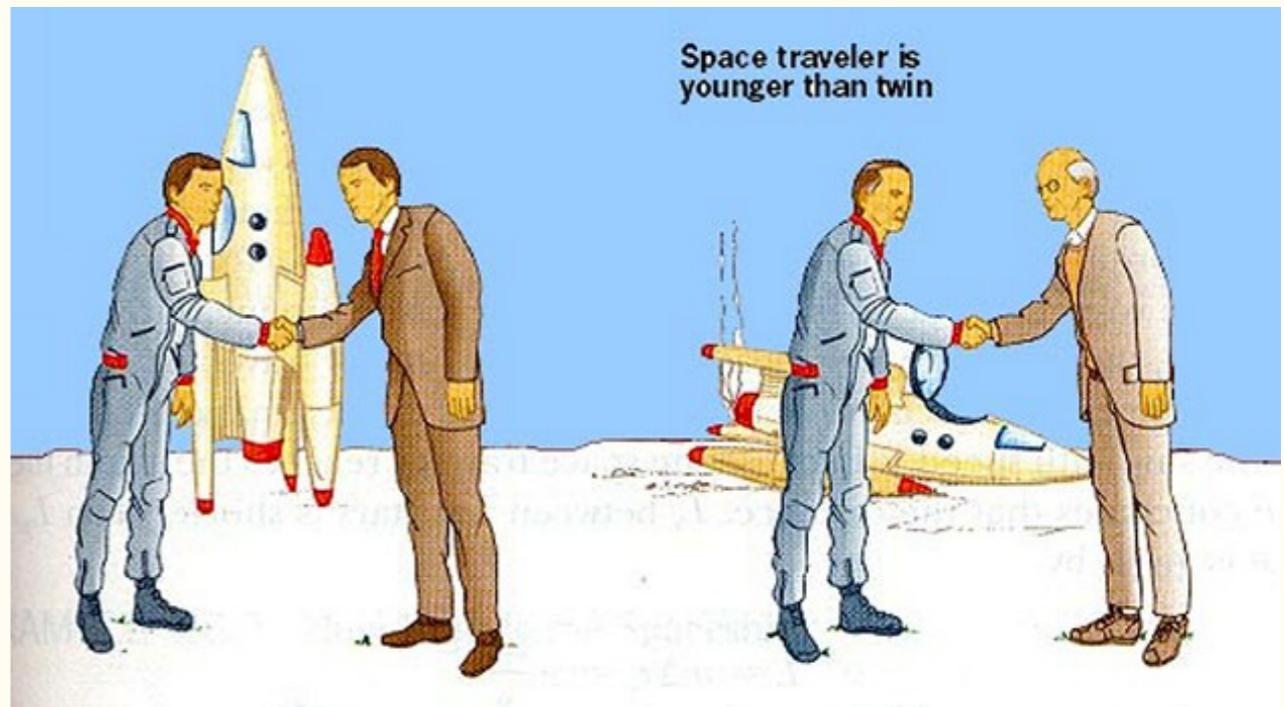


Para comprender el universo a escalas muy grandes (astronómicas) o muy pequeñas (atómicas) se necesita la relatividad de Einstein y la mecánica cuántica, respectivamente.

Validez de la 2da Ley de Newton

El problema es que las suposiciones que están detrás de la teoría de Newton (y que nosotros hacemos día a día) no son válidas en esos casos extremos

Por ejemplo, el tiempo no es un absoluto. El reloj de un observador que viaja a velocidades cercanas a las de la luz corre más despacio que el de un observador fijo.



buscar “paradoja del gemelo” (twin paradox) en google para mayor información

Sin embargo, para propósitos ingenieriles “terrestres”, las leyes de Newton funcionan a las mil maravillas.

Para mayor información:

https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_laws_of_motion#Importance_and_range_of_validity.

¡Consideren tomar el curso “Física Moderna” si les interesa esto!

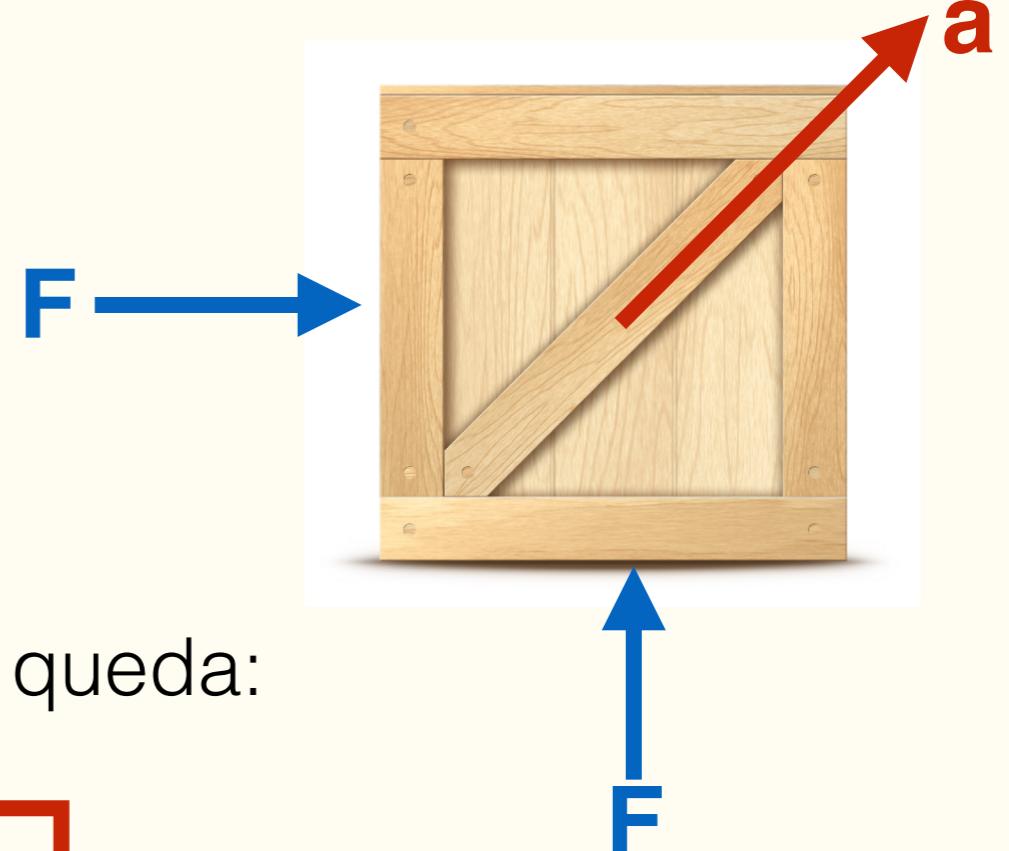
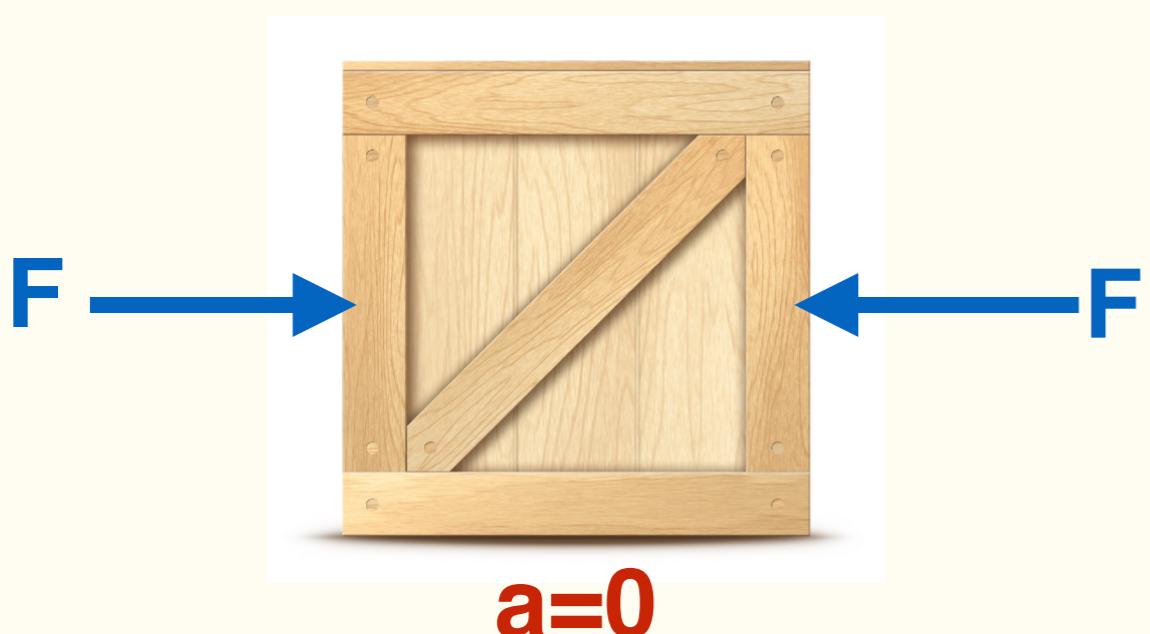
¿Qué pasa si hay varias fuerzas?

Hasta ahora hemos hablado de la segunda ley en el caso en el que hay una sola fuerza

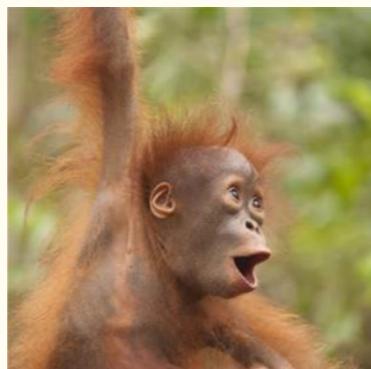
$$\vec{F} = m\vec{a}$$

¿Pero qué pasa si hay más de una fuerza?

En ese caso la aceleración va en la dirección resultante de la suma vectorial de las fuerzas



La segunda Ley queda:



$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

Consecuencia

Una consecuencia importante de la segunda ley es para casos en los que no hay ninguna fuerza.

En este caso

$$\vec{F} = m\vec{a} = \vec{0}$$

a=0



Como no hay aceleración, significa que la velocidad no cambia.

En otras palabras, si el objeto estaba en reposo, continúa en reposo. Si el objeto tenía una velocidad inicial, esta no cambia, y el objeto viaja en línea recta

Primera Ley de Newton

Esto no es nada más que la Primera Ley de Newton:

1ra Ley de Newton:

“Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas impresas sobre él.”



“Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare” (Isaac Newton, 1687)

Entonces podemos ver la primera ley como un caso especial de la segunda (siempre y cuando estemos en el marco de referencia correcto... más sobre esto después)

Primera Ley de Newton

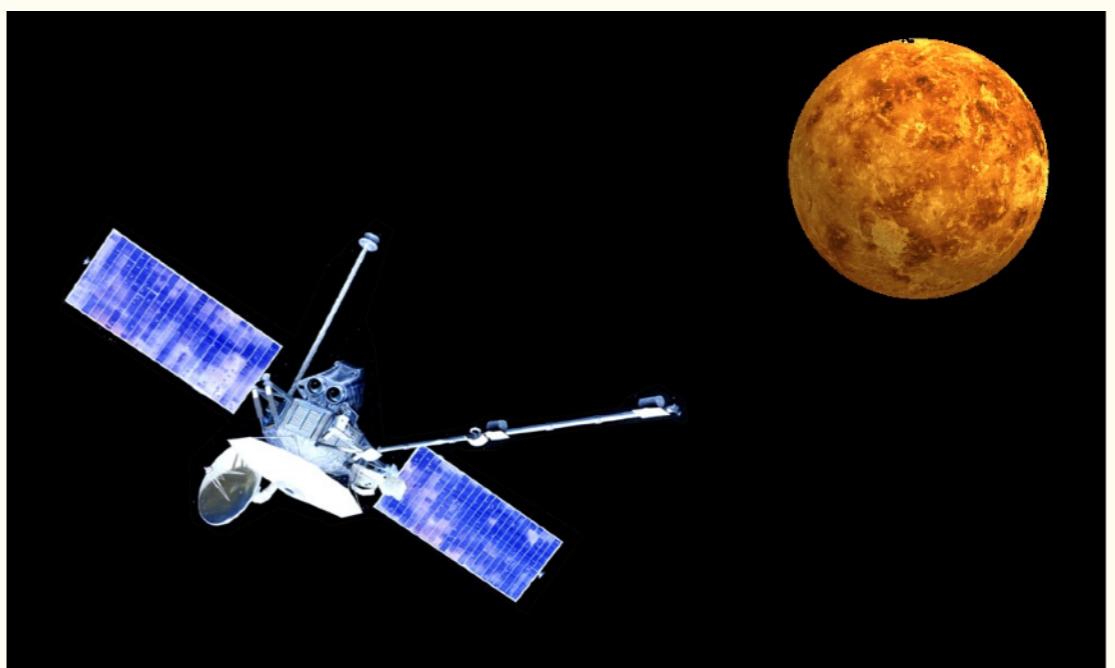
Una vez más, a veces nos resulta difícil reconciliar esto con nuestra experiencia diaria

Por ejemplo, si empujo mi auto y luego lo suelto, va a seguir avanzando por un poco de tiempo pero eventualmente se va a detener.

La explicación tiene que ver con lo mismo que mencionamos antes. En realidad en este caso sí hay fuerzas en juego, como roce entre los engranes y con el aire.

Pero si tenemos un objeto en el espacio exterior lejos de cualquier influencia, y le impartimos una fuerza y luego lo soltamos, se va a ir en línea recta hasta el infinito.

¡Así funcionan las sondas espaciales!



Tercera Ley de Newton

Veamos de una vez la tercera ley de Newton:

3ra Ley de Newton:

“Si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre B, entonces B ejerce una fuerza sobre A con la misma magnitud pero dirección contraria”



“Actioni contrariam semper et æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales et in partes contrarias dirigi.” (Isaac Newton, 1687)

Contrariamente a la primera, esta ley no puede ser vista como una consecuencia de la segunda.

Tercera Ley de Newton

Otra forma de decirlo: no hay fuerzas unidireccionales, o fuerzas que actúen solamente en un cuerpo y no en el otro



El boxeador le imparte una fuerza en la cara al otro boxeador, y al hacerlo recibe la misma fuerza en su puño

El bat le imparte una fuerza a la pelota, pero también recibe la misma fuerza, y por eso se puede romper

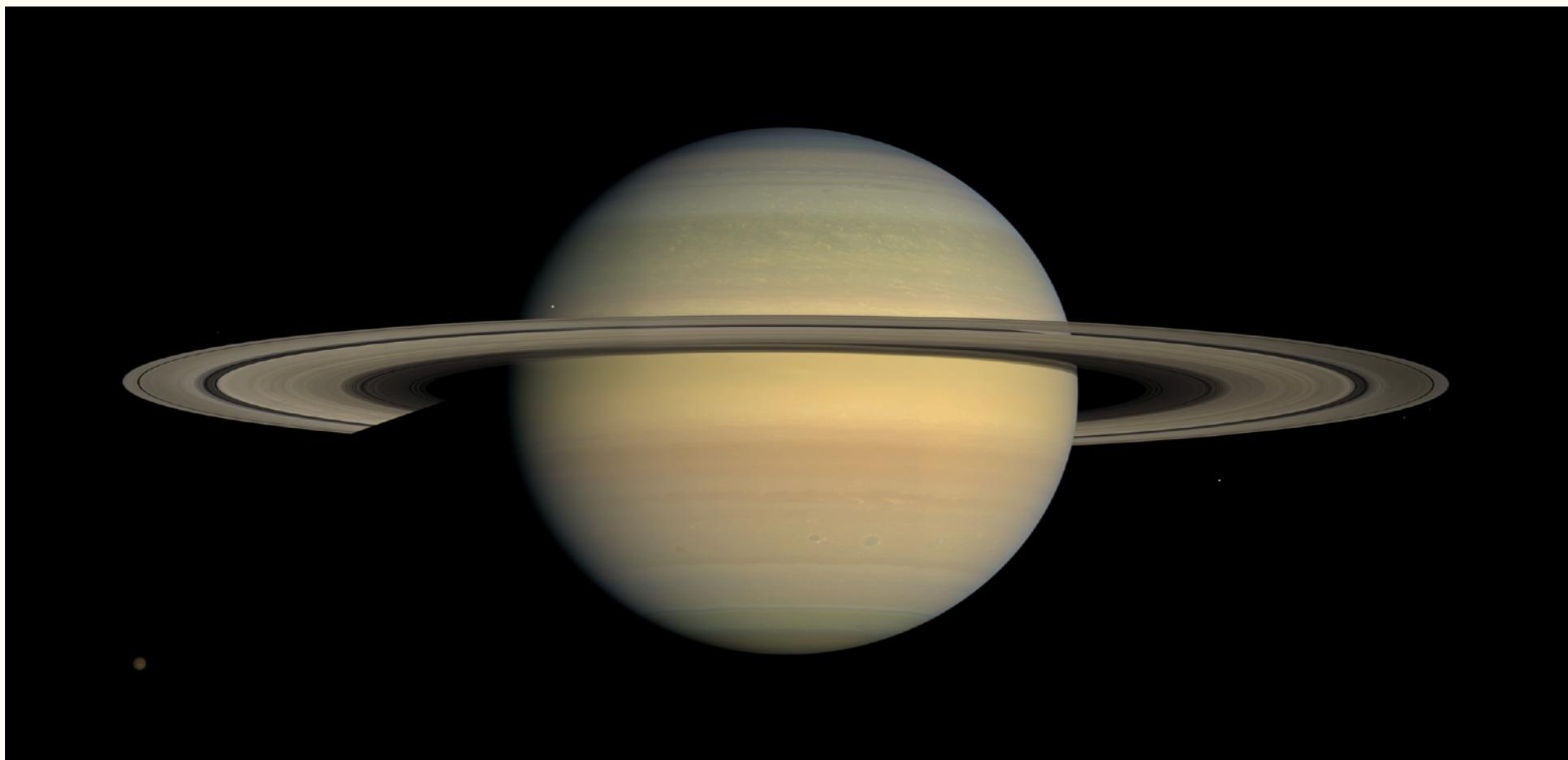
Nota: si alguien no está convencido, péguele a la pared con fuerza y vea si no le duele

¿Sólo con fuerzas de Contacto?

¿La tercera ley es válida sólo con fuerzas de contacto?

¡No!

También es válida con fuerzas a distancia, como la gravedad.
Haremos un comentario al respecto cuando veamos el “peso”.



Experimento



Procedimiento Para Resolver Problemas

Podemos ya ir hablando de la metodología para resolver problemas.

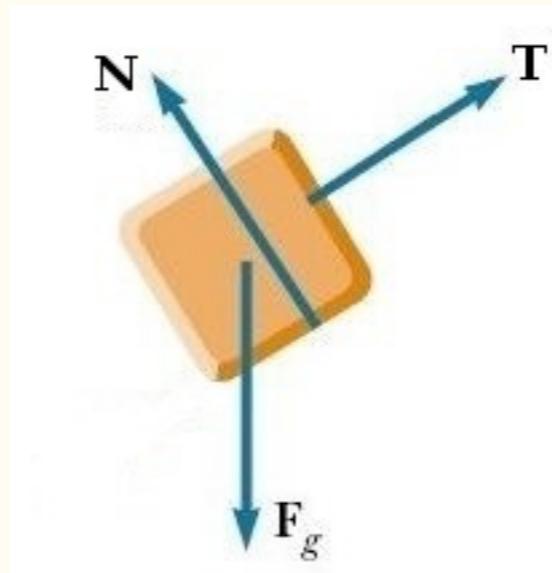
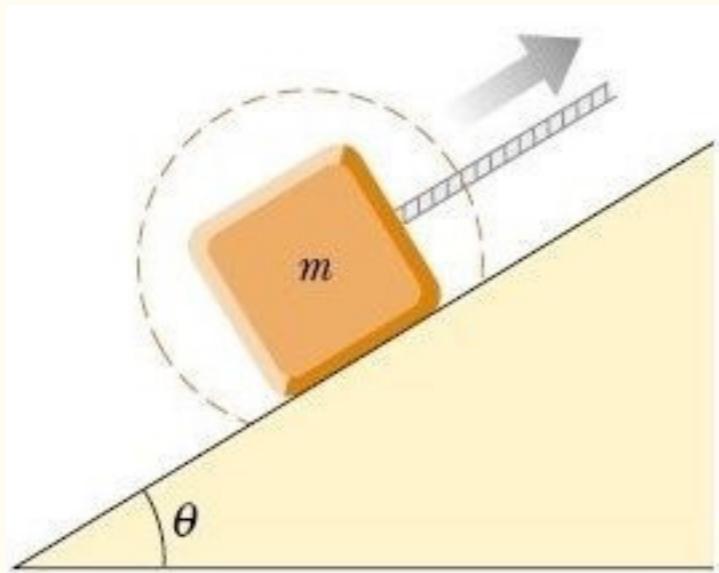
Por lo general todos los problemas que vamos a ver en este capítulo se resuelven con la misma estrategia:

- 1) Identificar el(los) objeto(s) cuyo movimiento queremos analizar**
- 2) Para cada objeto, identificar todas las fuerzas que actúan sobre él y hacer el **diagrama de fuerzas****
- 3) Elegir un sistema de coordenadas**
- 4) Para cada objeto, escribir la 2da Ley de Newton y las condiciones de ligaduras (si aplica, ya que puede haber restricciones sobre algunas variables)**
- 5) Resolver el sistema de ecuaciones (si aplica)**

Diagrama de Fuerzas

Diagrama de fuerzas = diagrama que muestra la magnitud relativa y dirección de todas las fuerzas que actúan sobre un objeto

Diagrama de fuerzas



Al hacer el diagrama hay que aislar el cuerpo del resto del universo y sólo considerar las fuerzas que actúan sobre él

Cuidado de no incluir fuerzas que el objeto hace sobre otros. Esas irían en los diagramas de fuerzas de los otros objetos

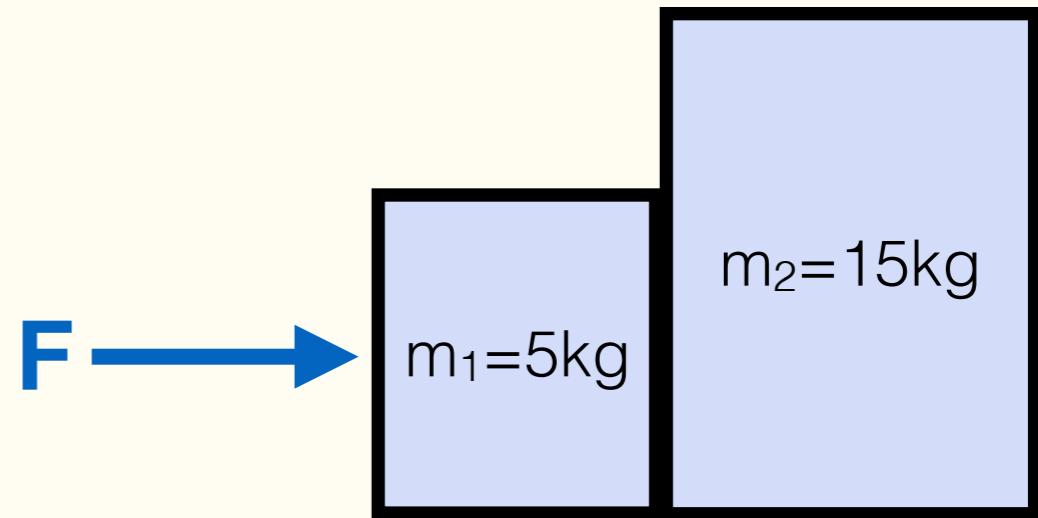
Se recomienda **siempre** hacer diagramas de fuerzas al resolver problemas ya que ayudan mucho a la visualización

Ejemplo

(No en los libros)

Se tienen dos bloques con masa m_1 y m_2 como mostrado en la figura, flotando en el espacio exterior. Se aplica una fuerza F de magnitud 20N como mostrado. Determine (a) la aceleración de los dos bloques, (b) la fuerza que el primer bloque ejerce sobre el segundo, y (c) la fuerza que el segundo bloque ejerce sobre el primero

(resolver en pizarra)



$$\vec{a} = 1m / s^2 \hat{i}$$

Respuestas: $\vec{F}_{12} = 15N\hat{i}$
 $\vec{F}_{21} = -15N\hat{i}$

Comentario: es interesante notar cómo la fuerza inicial de 20N disminuye a 15N entre los objetos debido a su masa. Esta es la razón por la que sólo una cuerda sin masa puede transmitir una fuerza sin pérdidas (lo veremos más adelante)

Lidiando con Fuerzas Específicas

Ahora que ya vimos las 3 leyes de Newton, debemos estudiar algunas de las fuerzas más comunes y aprender a resolver problemas con ellas.

Las fuerzas con las que habitualmente trabajaremos en este curso:

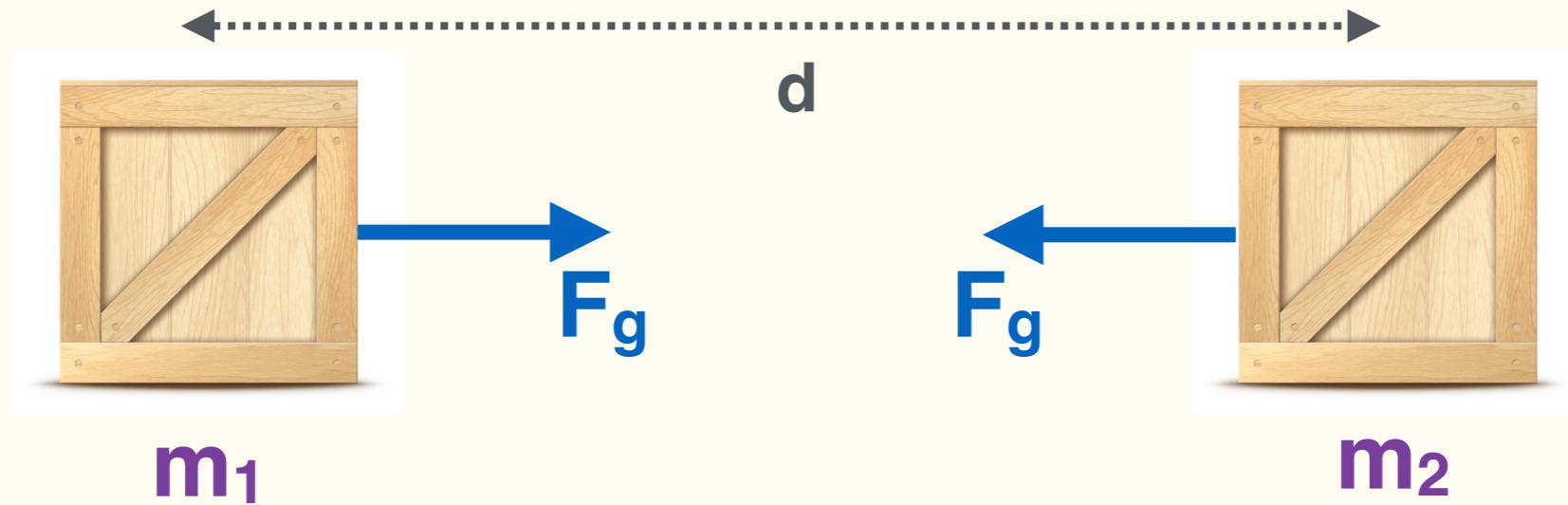
- Peso
- Normal
- Tension
- Rozamiento
- Fuerza elástica

Estudiaremos cada una en este orden al mismo tiempo que haremos ejercicios



Peso

La ley de la Gravedad dice que dos objetos con masa sienten una fuerza de atracción entre ellos



La magnitud de la fuerza está dada por: $|\vec{F}_g| = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$

Algunos comentarios sobre esta fuerza:

- La fuerza sentida por el objeto #1 tiene la dirección opuesta a la sentida por el objeto #2, aunque con la misma magnitud
- La dirección de la fuerza va en la dirección que une los centros de masa de los dos objetos
- G es una constante llamada “constante de la gravedad universal”:
$$G = 66.73 \times 10^{-12} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2)$$
- **¡Newton también descubrió esta ley!**

Peso

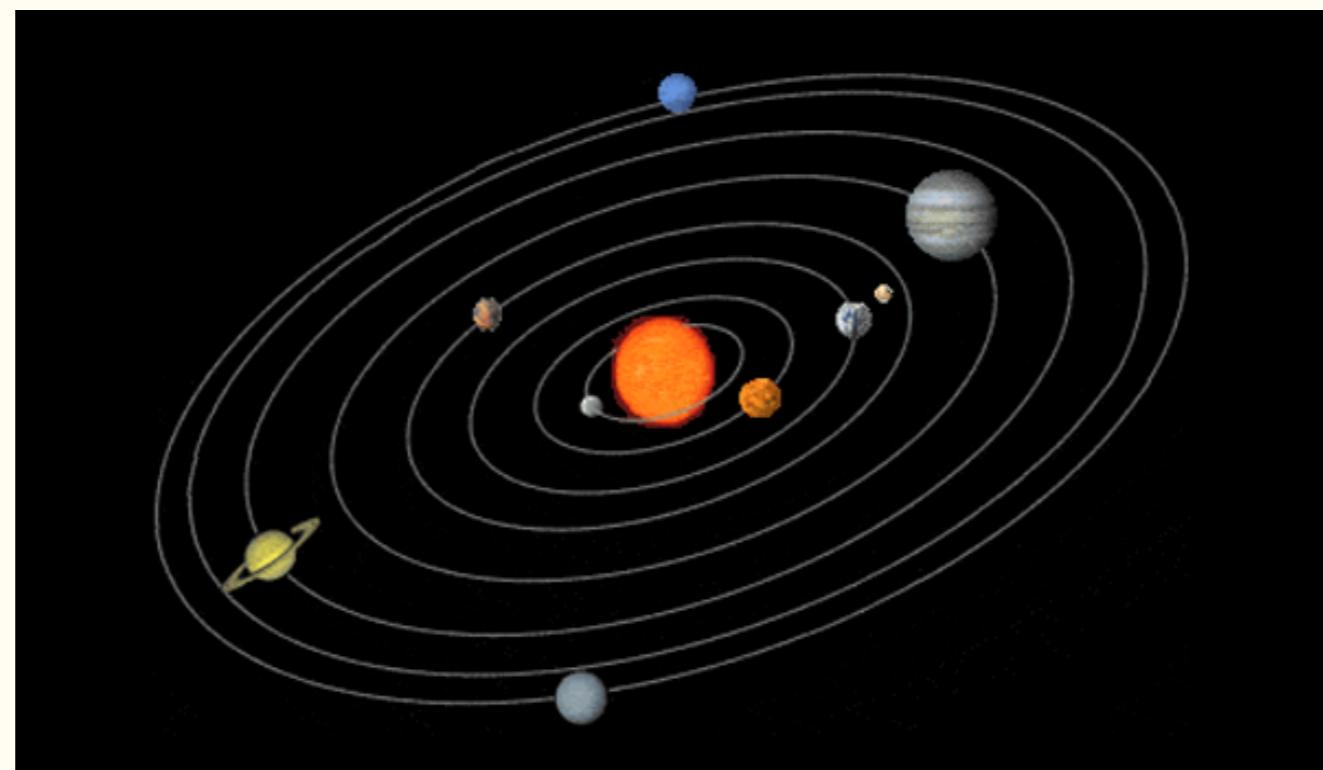
¿Esta fuerza ocurre entre dos objetos cualquiera?

¡Sí!

Lo que pasa es que entre objetos de masas pequeñas es completamente despreciable

(por ejemplo, la magnitud de la fuerza gravitatoria entre dos objetos con masa 1kg separados por 1m la magnitud es del orden de 10^{-12} N)

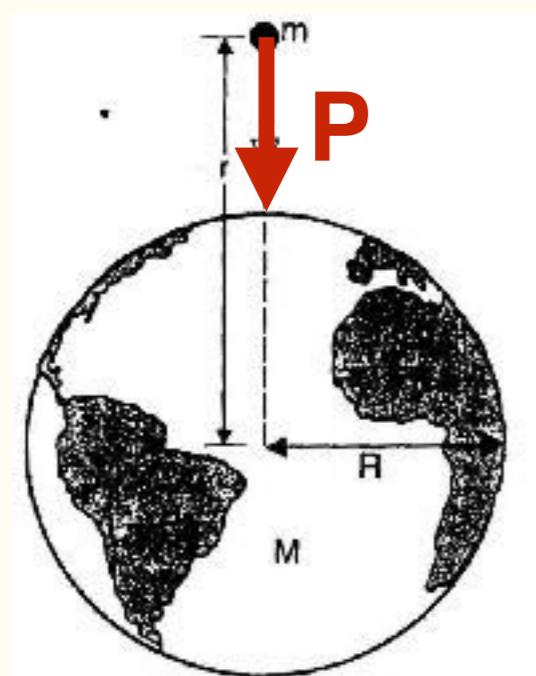
Pero se vuelve importante a escalas planetarias:



La gravedad es
lo que mantiene
a los planetas
orbitando
alrededor del sol

Peso

Si bien un objeto de 1kg produce una fuerza gravitacional despreciable sobre otro objeto de 1kg, el planeta tierra entero produce una fuerza que no podemos despreciar, llamada comúnmente **peso**:



Para un objeto en la superficie de la tierra:

$$|\vec{P}| = G \frac{m_T m}{R^2}$$

Podemos agrupar las constantes, y nos queda:

$$|\vec{P}| = mg$$

donde $g = G \frac{m_T}{R^2} \approx 9.81 m / s^2$

↑
aceleración de la gravedad!

La dirección de esta fuerza es hacia el centro de la tierra.

Nota: si bien la aceleración de la gravedad depende de la distancia al centro de la tierra, para la gran mayoría de los casos que estudiaremos la variación en altura es muy pequeña comparada con el radio de la tierra, por lo que g se considera constante.

Aceleración de la Gravedad

Cuando vimos cinemática asumimos que la aceleración de la gravedad era igual para cualquier objeto, independientemente de su masa.

Ahora estamos en posición de comprender mejor por qué es esto:

Fuerza gravitatoria para un objeto en
la superficie de la tierra

$$P = mg$$

La segunda ley de Newton dice que:

$$F = ma$$

Si el peso es la única fuerza
involucrada, entonces

$$mg = ma$$

Concluimos que:

$$a = g$$

Nota: aquí realmente ocurre una cancelación tremenda que Einstein notó y que comentaremos más adelante en el curso, aunque no afecta en nada la conclusión.

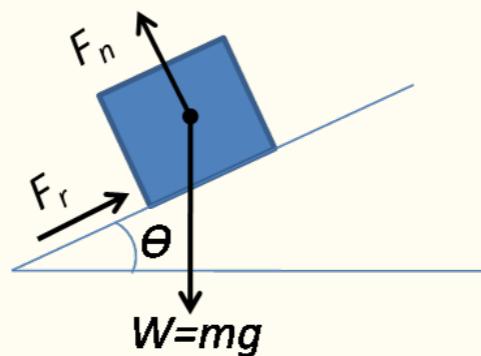
Normal

Cuando dos objetos sólidos están en contacto, ocurre una fuerza que es normal (perpendicular) a la superficie de contacto. Mientras más se presionen los objetos, mayor es esta fuerza

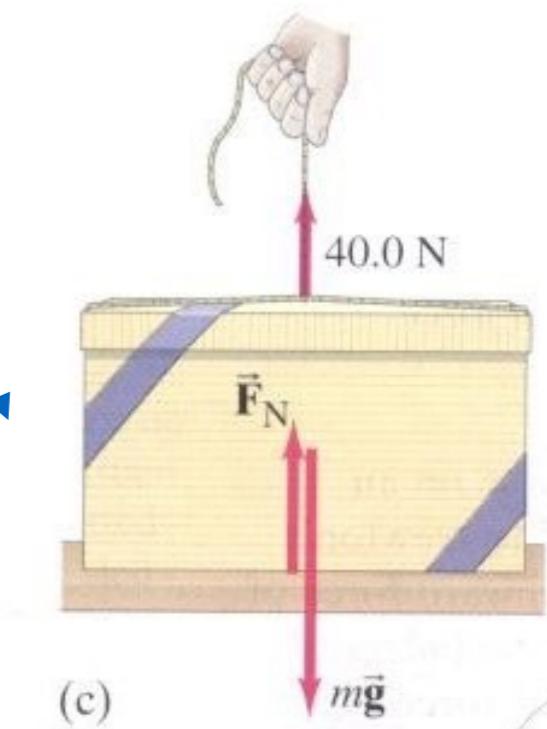
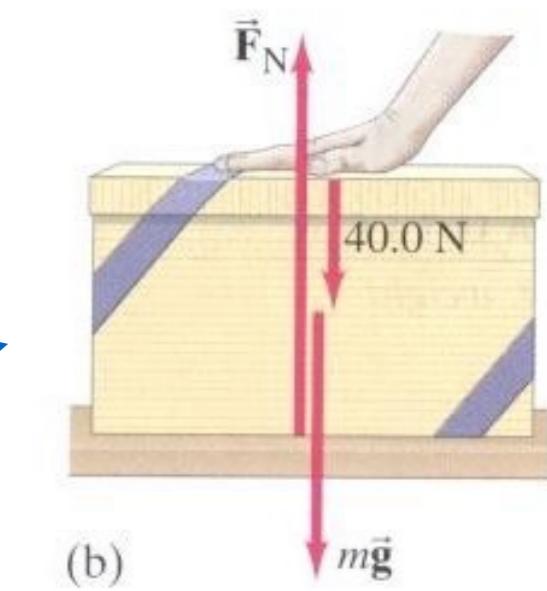
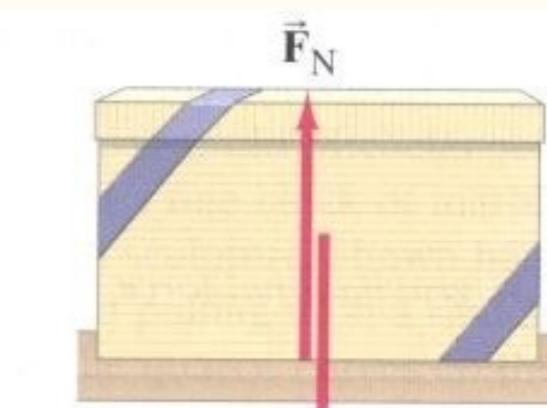
Cuando un objeto está sobre una mesa por ejemplo, puesto que su aceleración es 0 la fuerza normal debe estar compensando la fuerza del peso.

Pero si uno empuja o jala el objeto, la normal puede cambiar. **¡Su magnitud no siempre es igual al peso!**

Nótese también que la normal **no necesariamente es hacia arriba**:



Nota: El origen de esta fuerza es la repulsión electromagnética entre los electrones de los dos objetos.
¡Por eso no se puede atravesar objetos sólidos!



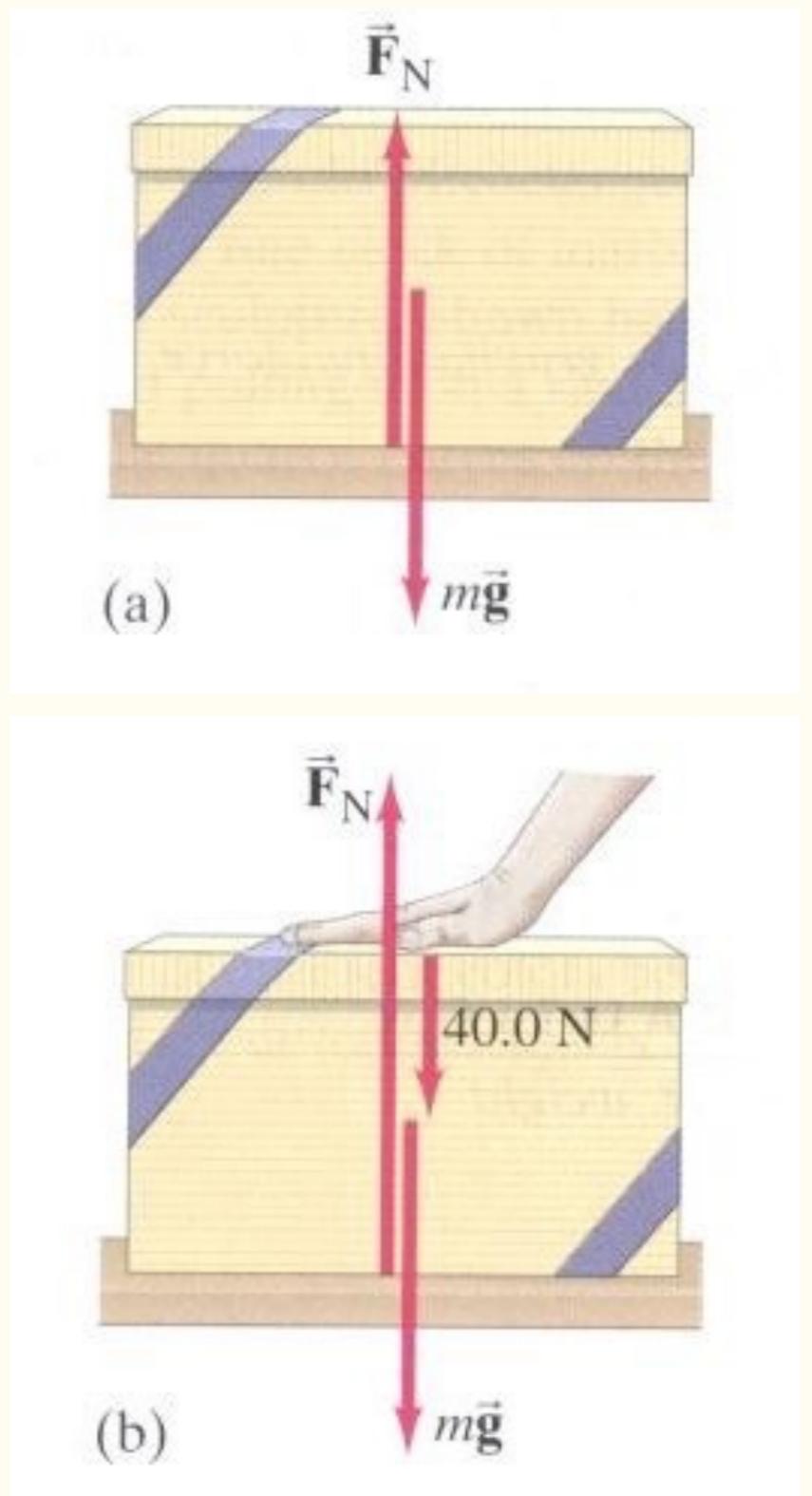
Normal

Confusión típica: la normal es la “fuerza de reacción” (de la tercera ley de Newton) a la fuerza de gravedad

Esto no es el caso. Más bien la normal es la “fuerza de reacción” (en el sentido de la tercera ley) a la fuerza de contacto que la caja hace sobre la mesa.

De hecho, como mencionado antes, la fuerza normal no necesariamente tiene que tener la misma magnitud que la fuerza de gravedad, por lo que no podría ser la fuerza de reacción correspondiente.

La fuerza que la caja hace sobre la mesa no se muestra en el diagrama ya que éste muestra solamente las fuerzas que actúan sobre la caja, no sobre la mesa.

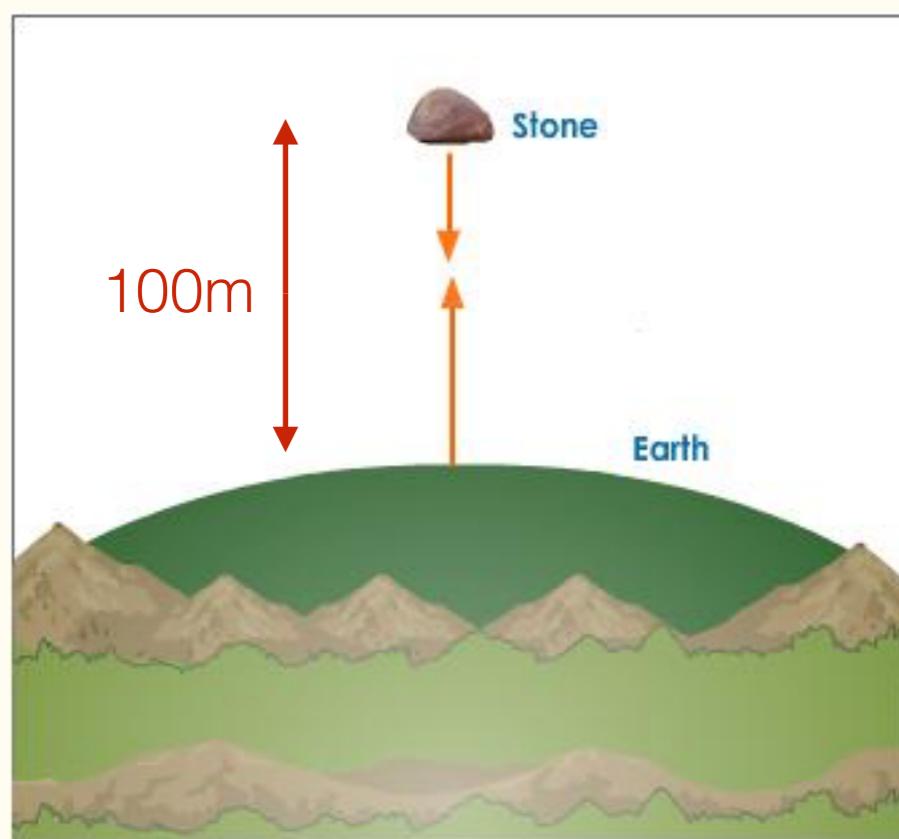


http://mech.subwiki.org/wiki/Normal_force#Confusion_with_Newton.27s_third_law

Paréntesis: ¿Fuerza de Reacción a la Gravedad?

¿Cuál es entonces la “fuerza de reacción” a la gravedad?

¡La fuerza gravitatoria que el objeto hace sobre el planeta tierra!



Así como la tierra atrae una piedra con una fuerza F , la piedra también atrae la tierra con una fuerza F en dirección contraria.

Supongamos que la piedra pesa 0.5kg y que cae desde el reposo de una altura inicial de 100m.

La fuerza que siente la piedra tiene una magnitud de aprox. 5N, y tarda aprox. 4.5 segundos en caer.

$$\frac{1}{2}gt^2 = h \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \approx 4.5\text{s}$$

La tierra también siente esta fuerza de 5N, por lo que se acelera hacia la piedra:

$$F = ma \Rightarrow a = \frac{5\text{N}}{6 \cdot 10^{24}\text{kg}} \approx 8 \cdot 10^{-25}\text{ m/s}^2$$

y en estos 4.5 segundos se mueve una distancia $d = \frac{1}{2}at^2 \approx 8 \cdot 10^{-24}\text{ m}$

¡No sólo la piedra cae hacia la tierra, sino que la tierra también “cae” hacia la piedra!

Tensión

Las tension es una fuerza que se transmite a través de una cuerda o un cable



Si le aplicamos una fuerza a un extremo, y si la cuerda está tensa, encontramos la misma fuerza en el otro extremo

Por ejemplo:

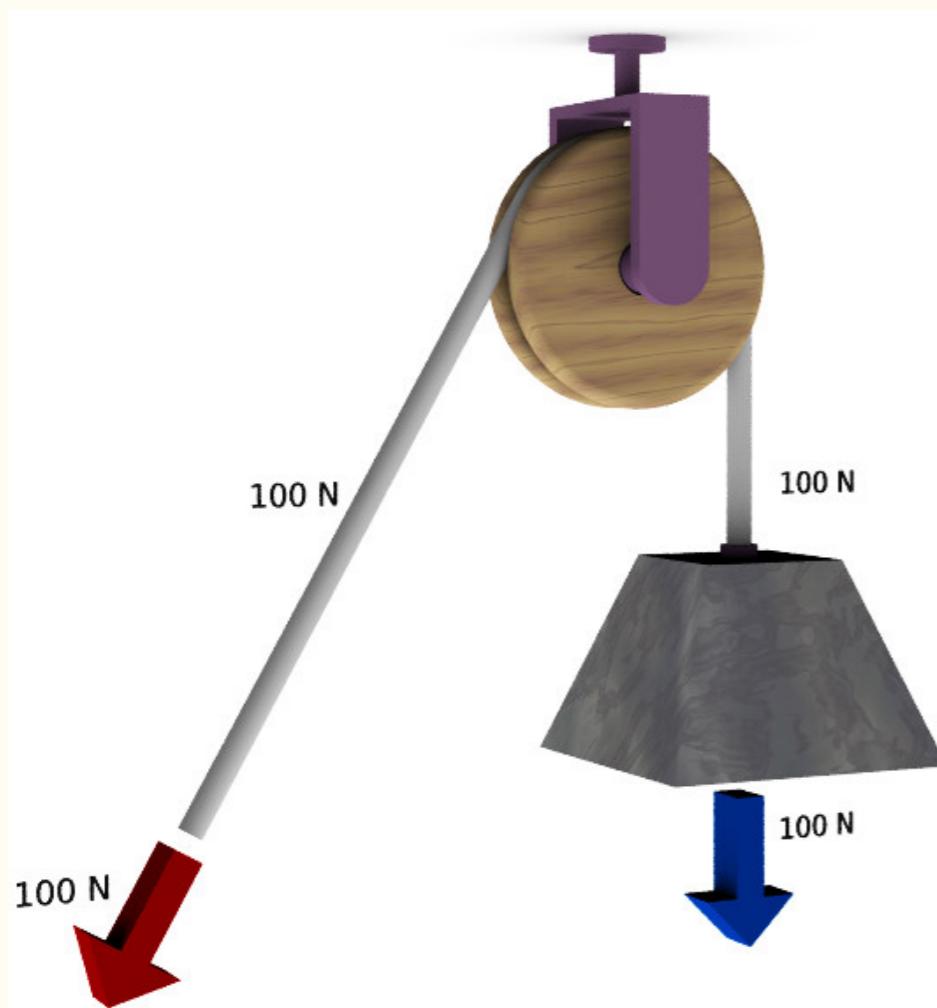


Para que la fuerza se transmita perfectamente se requiere que la cuerda no tenga elasticidad y masa. En la vida real esto nunca es el caso, pero es una muy buena aproximación para la mayoría de las situaciones.

Nota: en el dibujo se muestra la fuerza que la persona hace sobre la cuerda y la que la cuerda hace sobre la roca. La fuerza que la cuerda hace sobre la persona va en la dirección opuesta.

Tensión

Con la ayuda de poleas se puede cambiar la dirección de la fuerza. Esto hace el uso de cuerdas extremadamente útil para muchas situaciones



Nota: la fuerza de tensión siempre va en la dirección longitudinal a la cuerda

Si se asume que la polea no tienen masa y que no hay roce entre la cuerda y la polea, la fuerza se transmite perfectamente. Esto es una buena aproximación en muchos de los casos.

Condiciones de Ligadura

Al lidiar con poleas y cuerdas es común encontrar situaciones donde el movimiento de un objeto depende de otro

Para lidiar con estos casos es necesario encontrar las **condiciones de ligadura**, es decir las relaciones entre la posición, velocidad y/o aceleración de los diferentes objetos.

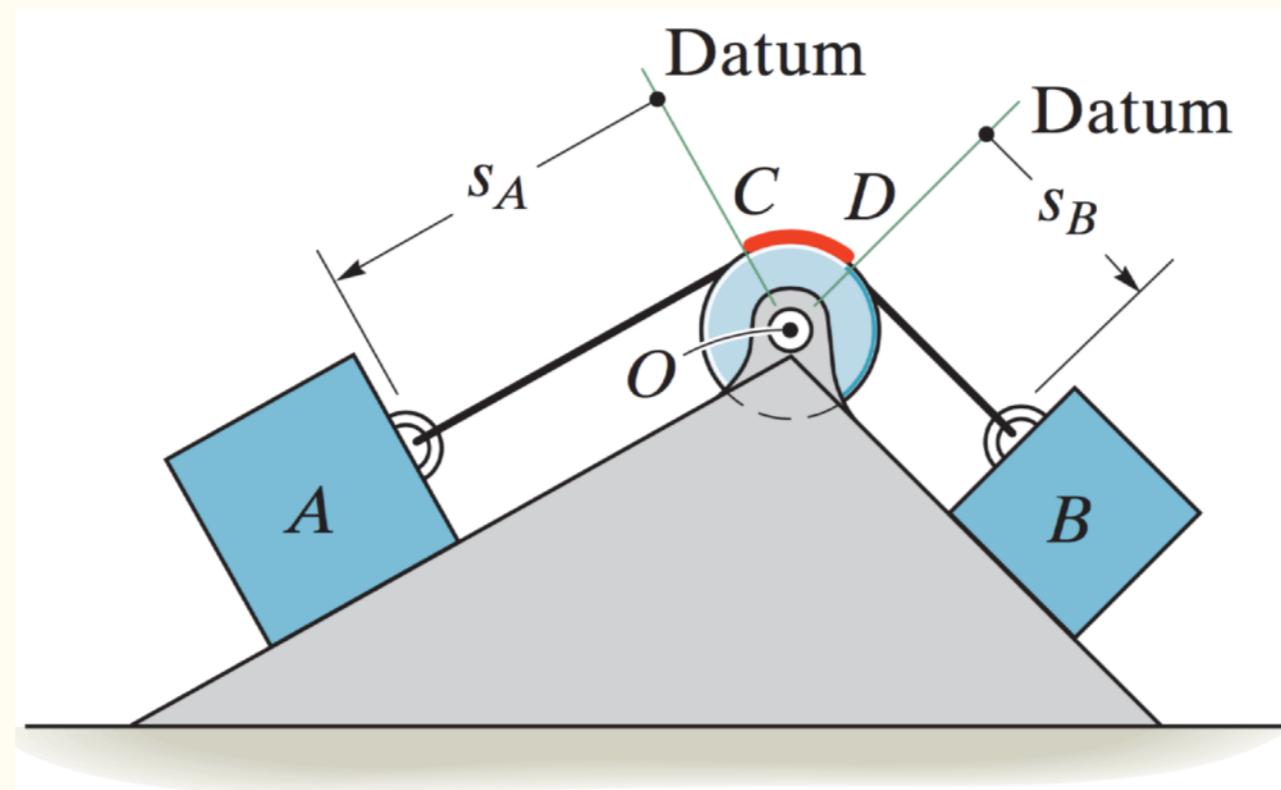
Metodología:

- Hay que establecer una coordenada para la posición de cada partícula/objeto, cuya dirección (aunque no necesariamente el sentido) coincida con el movimiento de la partícula y cuyo origen sea un punto fijo (que no necesita ser el mismo para todas las partículas)
- Utilizando geometría, hay que encontrar una (o más) relación(es) entre todas las coordenadas. Para esto típicamente se utilizan los segmentos de cuerda cuya longitud es fija.
- Se pueden derivar ambos lados de estas ecuaciones para encontrar relaciones entre velocidades y aceleraciones
- Al escribir la segunda ley de newton para cada objeto, es importante ser consistente con el sentido de las coordenadas utilizadas en el primer paso.

(Nota: esto está explicado en la sección 12.9 del Hibbeler)

Ejemplo #1: Condiciones de Ligadura

Ejemplo para encontrar condiciones de ligadura:



Nota: podría parecer sorprendente el signo de menos, pero es porque en las coordenadas que escogimos cuando s_B crece s_A decrece (y viceversa)

Hay un segmento cuya longitud total es fija, por lo que:

de donde concluimos que $\frac{ds_A}{dt} + \frac{ds_B}{dt} = 0$ es decir $v_B = -v_A$ y $a_B = -a_A$

Ejemplo #2: Condiciones de Ligadura

Nos queda que:

$$2s_B + h + s_A = l$$

longitud total (esta vez sin contar los pedazos en rojo)

Derivando concluimos que:

$$2v_B = -v_A \quad 2a_B = -a_A$$

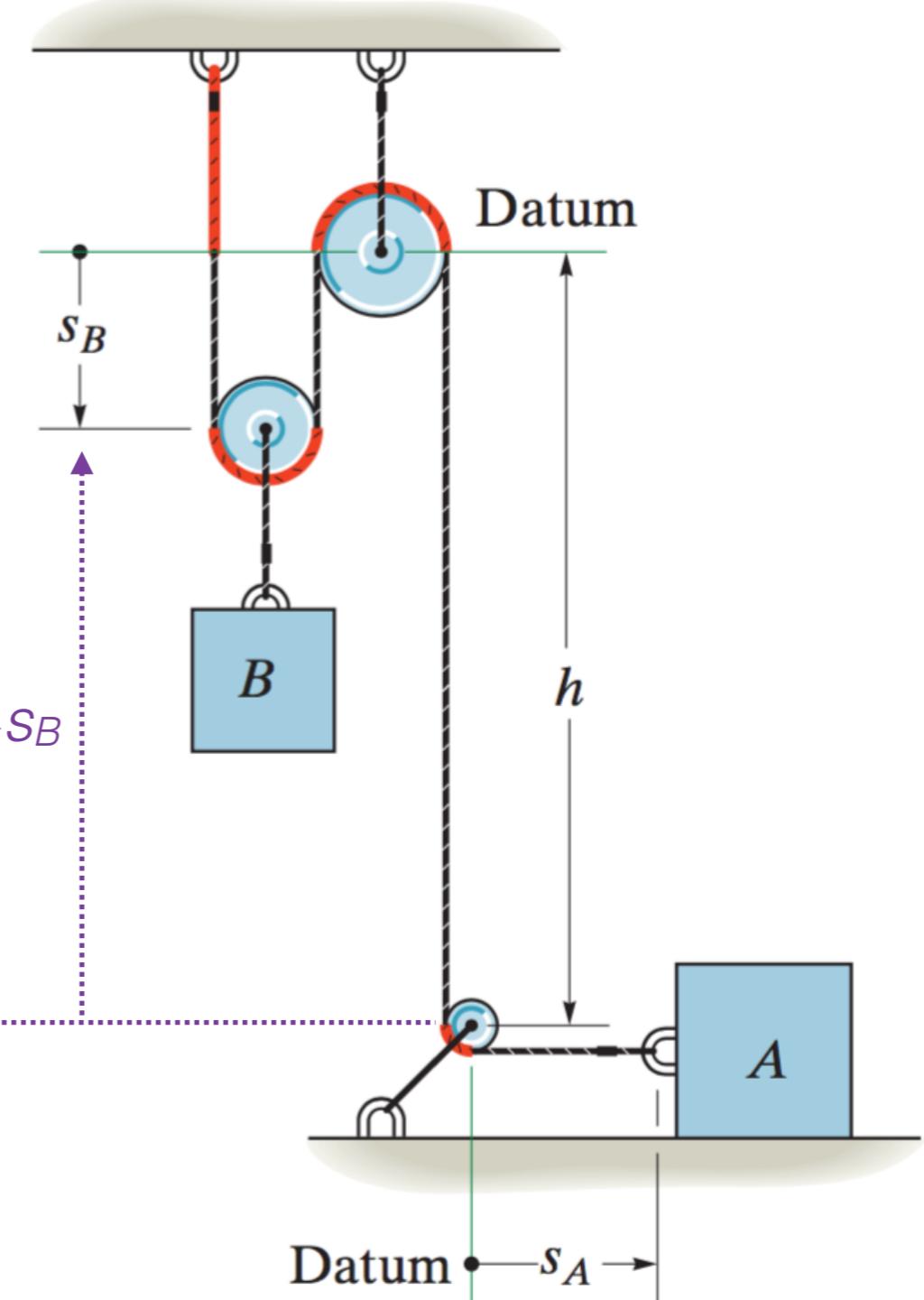
También se puede hacer midiendo s_B desde la polea de abajo. En este caso:

$$2(h - s_B) + h + s_A = l$$

Lo que nos da:

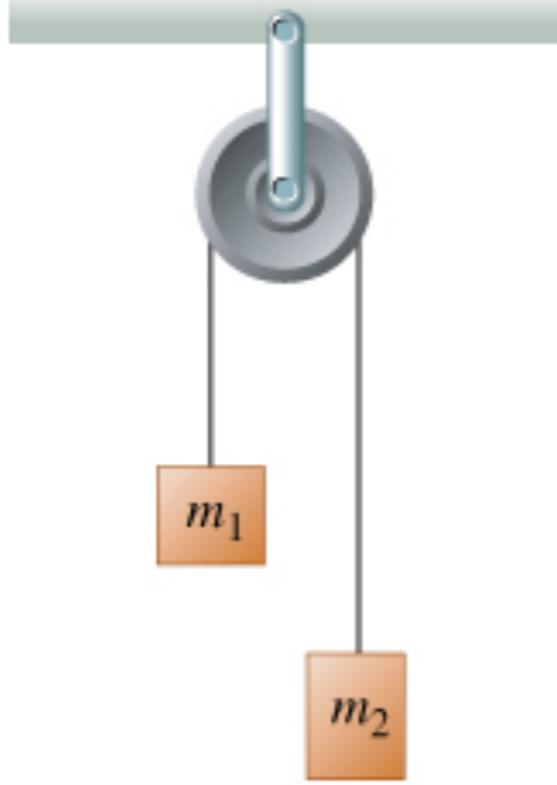
$$2v_B = v_A \quad 2a_B = a_A$$

(los signos cambiaron ya que ahora s_B decrece cuando s_A también decrece)



Ejemplo

(No en el Hibbeler)



(A este arreglo se le llama
“Máquina de Atwood”)

Se tiene una cuerda conectada a dos masas m_1 y m_2 a través de una polea. Encuentre la aceleración con la que se mueven.

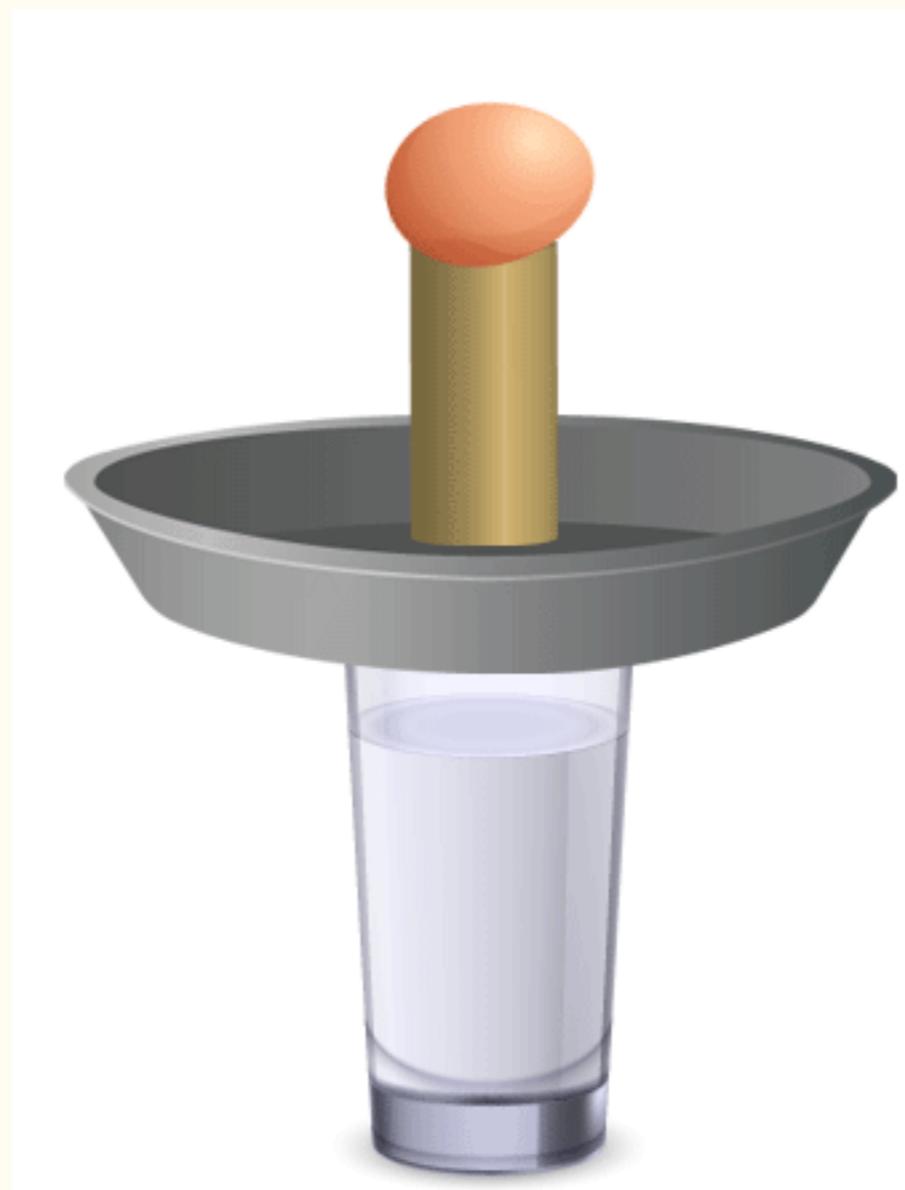
(resolver en pizarra)

$$\text{Respuesta: } a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_2 + m_1)} g$$

(nota: esta es la aceleración para el bloque #1 tomando el sentido positivo hacia abajo; si el sentido positivo se tomara hacia arriba saldría el mismo resultado pero con signo opuesto).

Siempre es bueno verificar que el resultado tenga sentido: ¿qué pasa si $m_1=m_2$, o si $m_1 \gg m_2$?

Experimento

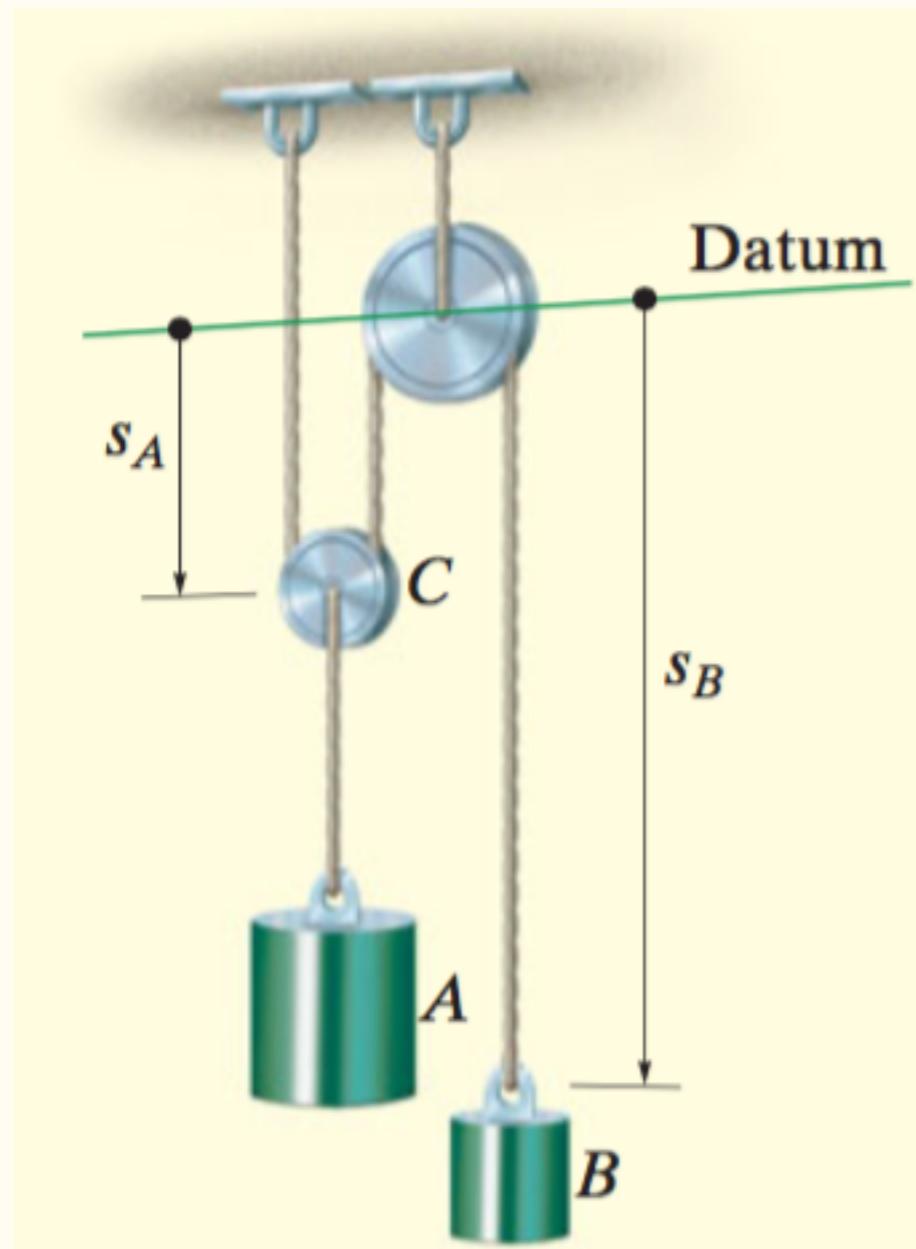


Experimento



Ejemplo

(Ejemplo Resuelto 13.5 en el Hibbeler)



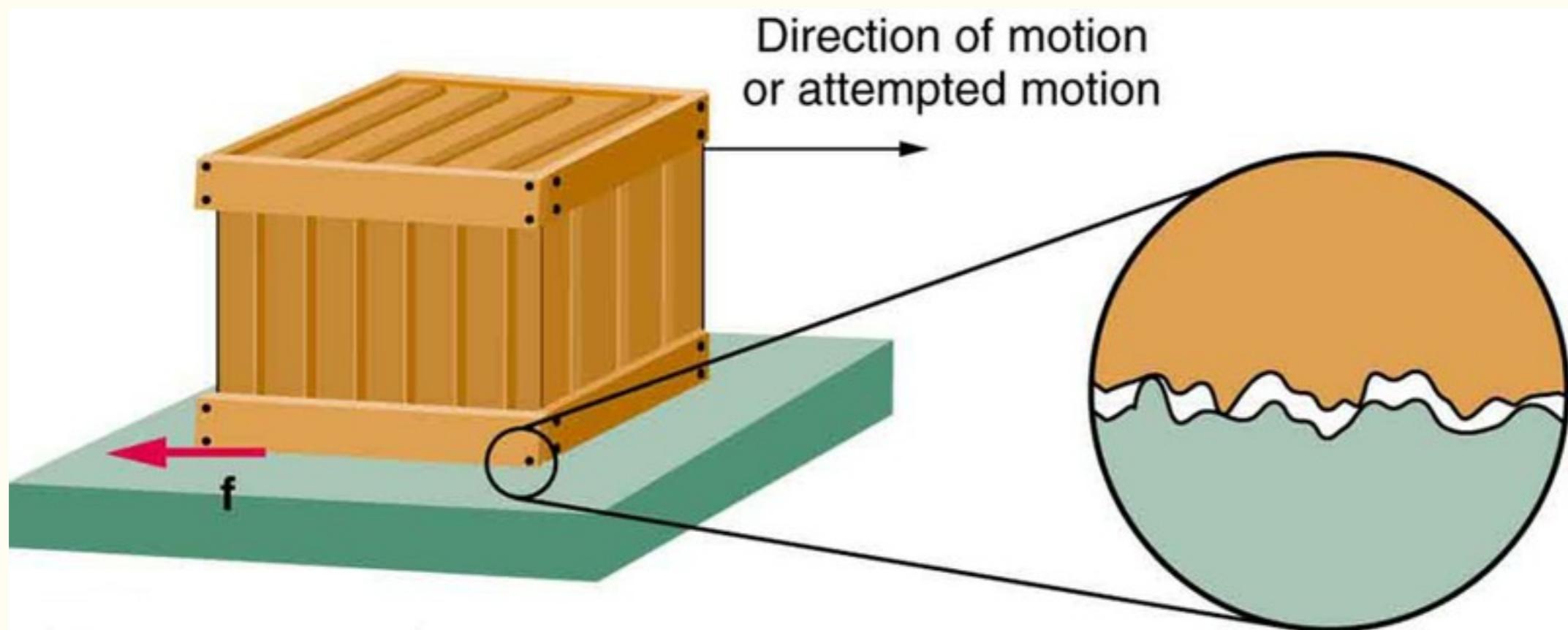
Se tienen dos bloques A y B con masas de 100 kg y 20 kg respectivamente. El sistema se encuentra tal como se encuentra en la figura, y luego se suelta. Asumiendo que las poleas y las cuerdas no tienen masa, determine la magnitud y dirección de la velocidad del bloque B después de que han transcurrido 2 segundos.

(resolver en pizarra)

Respuesta: -13.1 m/s (significa que se mueve hacia arriba, dada la elección de las coordenadas)

Rozamiento

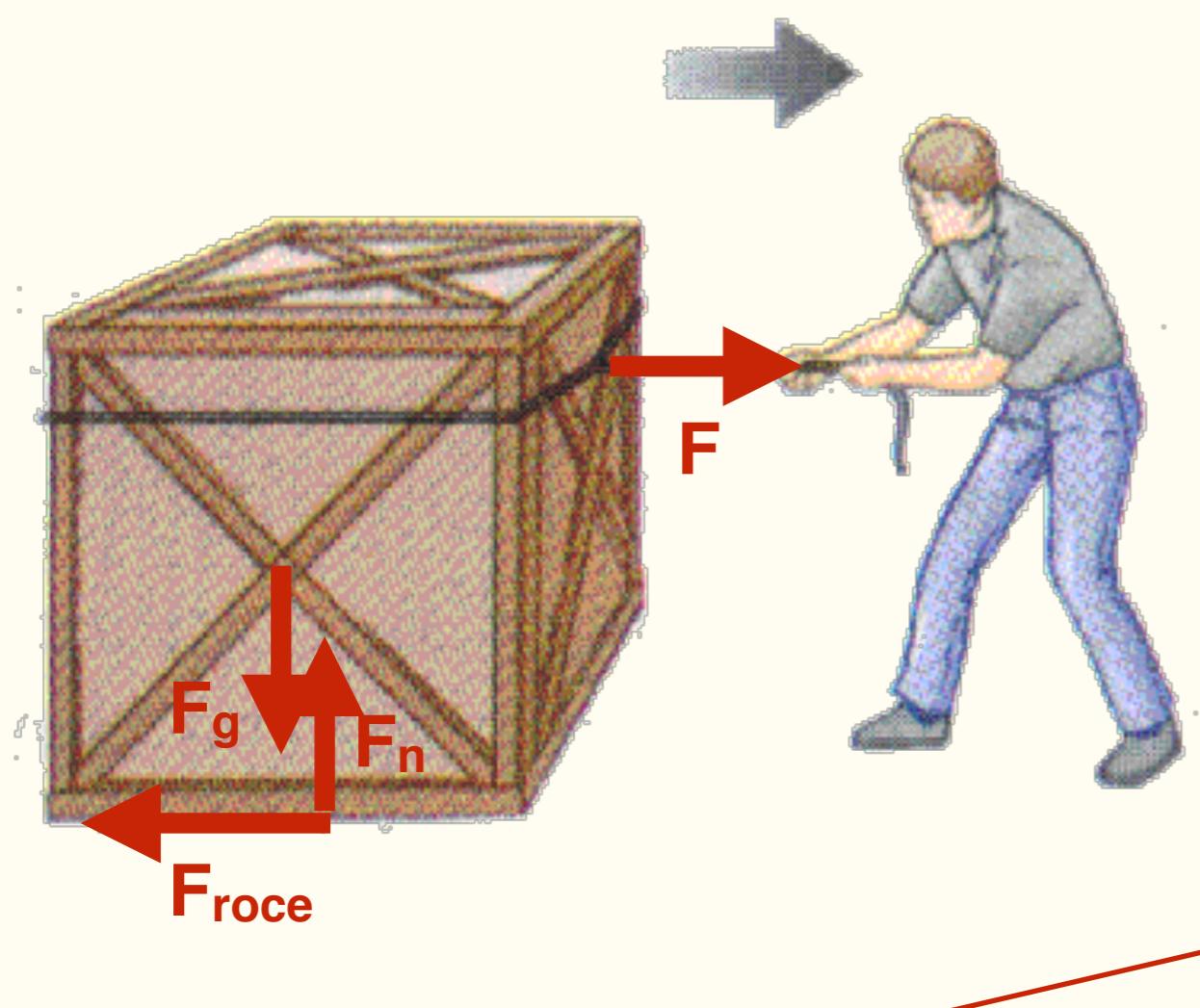
Cuando las superficies de dos objetos están en contacto, y una se desliza (o se quiere deslizar) respecto a la otra, ocurre una fuerza de roce o fricción



Esta fuerza se debe a imperfecciones en las superficies de los objetos.

Rozamiento

Así como la fuerza normal, el roce es una fuerza de contacto, es decir que sólo ocurre cuando los objetos se tocan.



La diferencia es que esta fuerza va en la **dirección longitudinal a la superficie de contacto**, mientras que la normal va en la dirección perpendicular

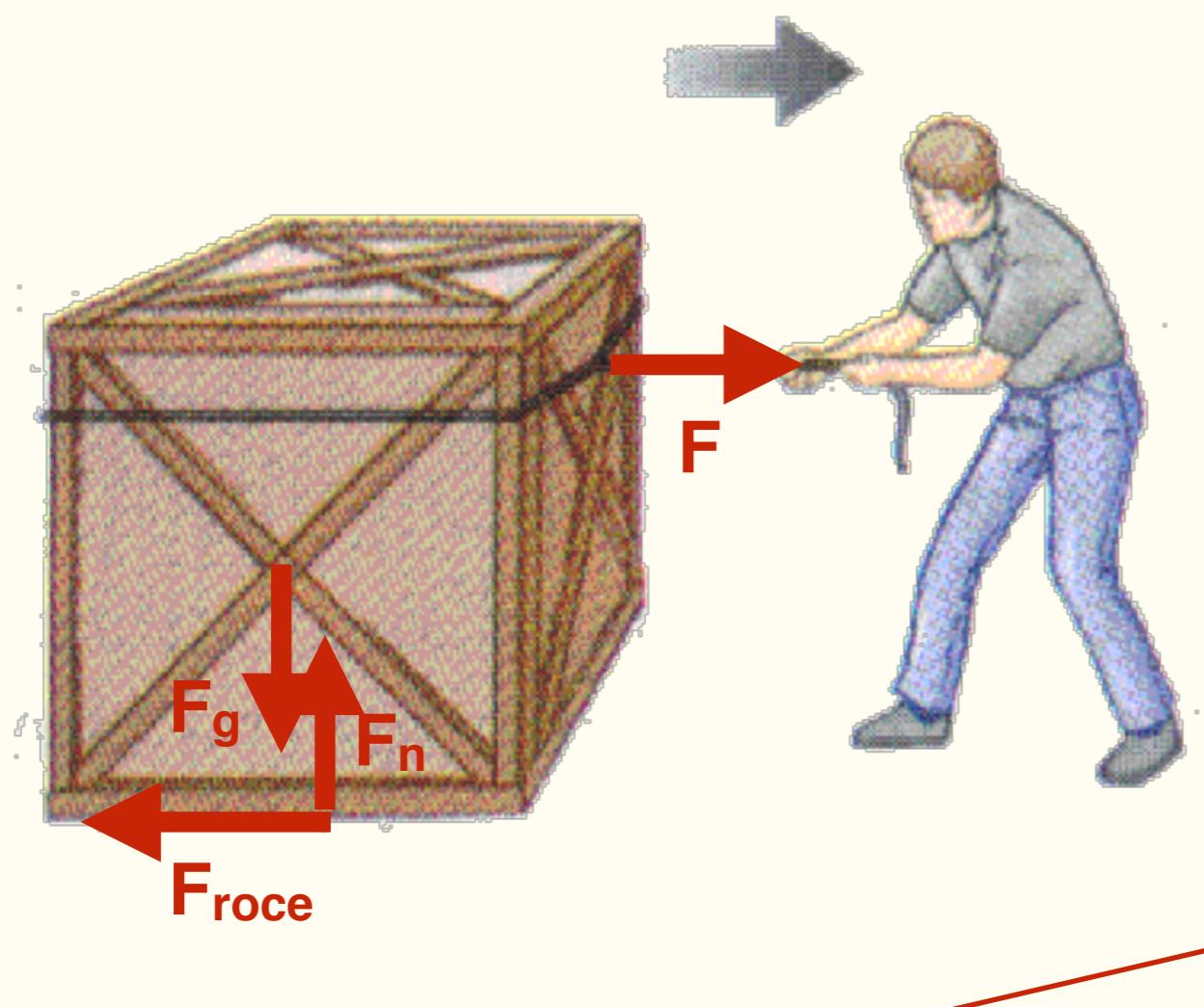
3 observaciones importantes que se han hecho sobre la fuerza de roce:

- Depende de los dos materiales involucrados.
- Su magnitud es proporcional a la magnitud de la fuerza normal

¡Tiene sentido! Mientras más se presionen los dos objetos, más difícil les es deslizarse

Rozamiento

Así como la fuerza normal, el roce es una fuerza de contacto, es decir que sólo ocurre cuando los objetos se tocan.



¡Tiene sentido! Mientras más se presionen los dos objetos, más difícil les es deslizarse

La diferencia es que esta fuerza va en la **dirección longitudinal a la superficie de contacto**, mientras que la normal va en la dirección perpendicular

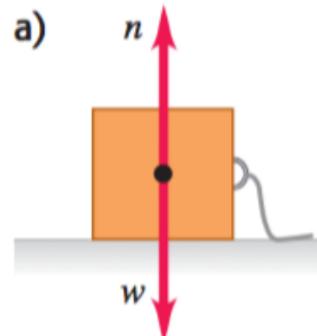
3 observaciones importantes que se han hecho sobre la fuerza de roce:

- Depende de los dos materiales involucrados.
- Su magnitud es proporcional a la magnitud de la fuerza normal
- Es un poco menor una vez que el objeto ya está en movimiento

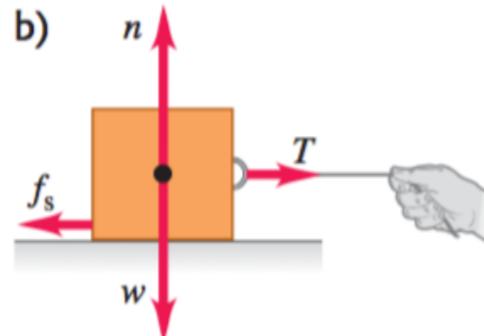
La siguiente diapositiva ilustra el último punto

Rozamiento

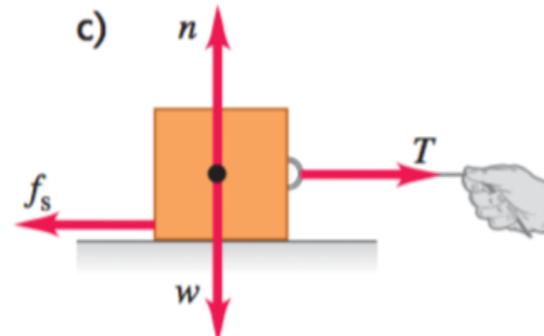
Para casi todos los materiales se encuentra que la fuerza de fricción es mayor en el caso estático, es decir cuando no hay movimiento relativo:



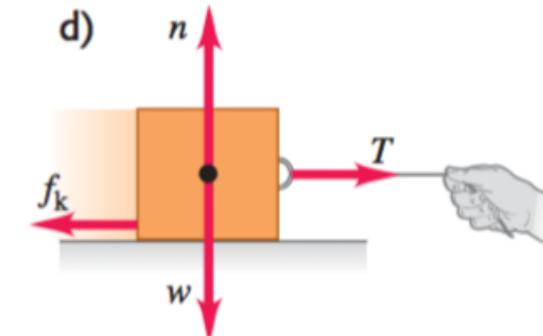
No se aplica fuerza, caja en reposo.
Sin fricción:
 $f_s = 0$



Fuerza aplicada débil,
la caja permanece en reposo.
Fricción estática:
 $f_s < \mu_s n$

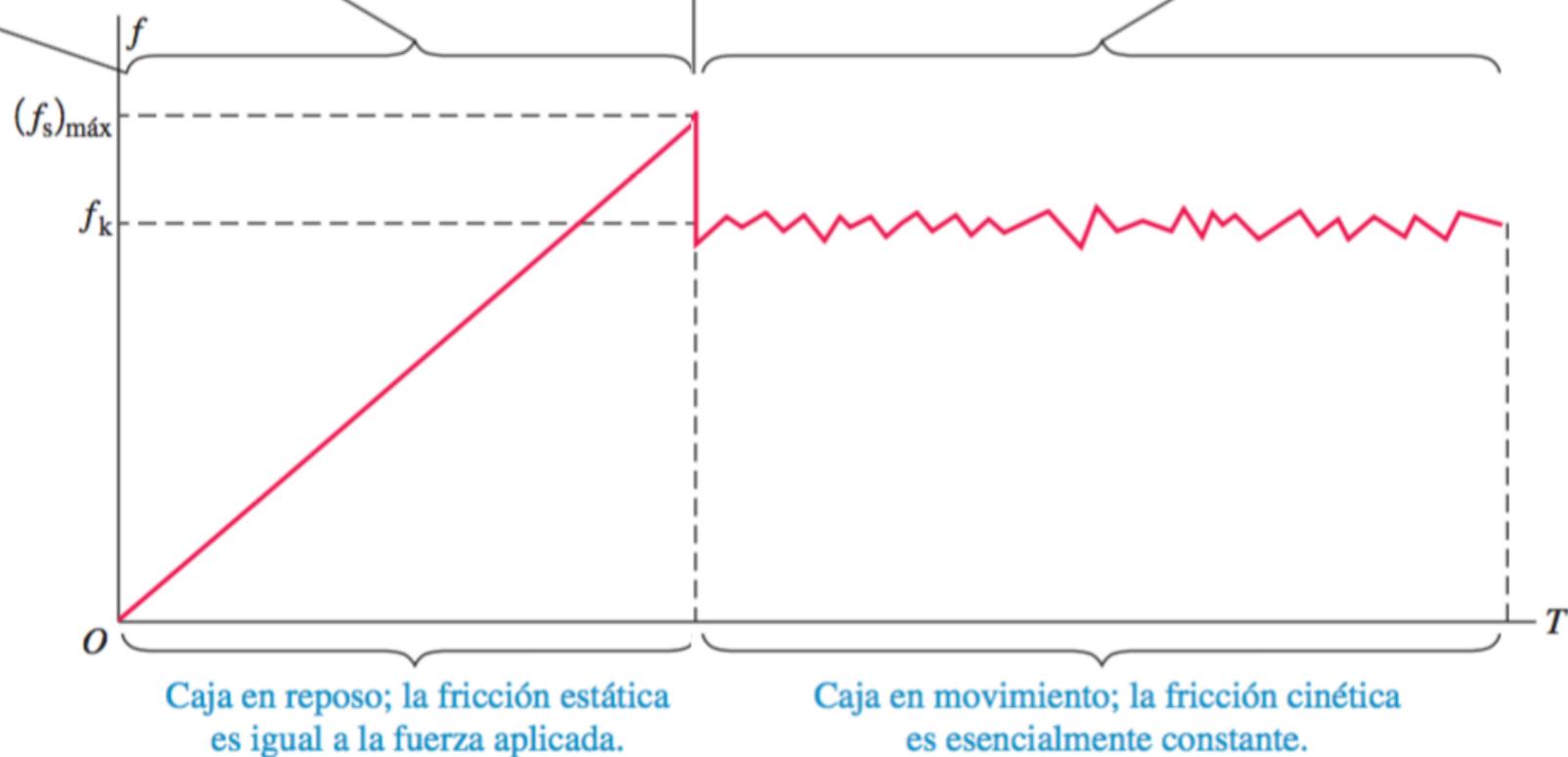


Mayor fuerza aplicada,
caja a punto de deslizarse.
Fricción estática:
 $f_s = \mu_s n$



La caja se desliza
con rapidez constante.
Fricción cinética:
 $f_k = \mu_k n$

e)



Cuando ya hay deslizamiento, se encuentra que la fuerza de fricción es constante, independientemente de la velocidad o aceleración

Modelando la Fuerza de Roce

Por las razones explicadas anteriormente la fuerza de roce se modela así:

Una fuerza de roce para cuando hay movimiento (caso cinético)

$$f_k^{\text{roce}} = \mu_k F_N$$

Una fuerza de roce para cuando no hay movimiento (caso estático):

$$f_s^{\text{roce}} \leq \mu_s F_N$$

(F_N es la magnitud de la fuerza normal; μ_k y μ_s son los coeficientes de fricción en el caso cinético y estático respectivamente, **que no tienen unidades**)

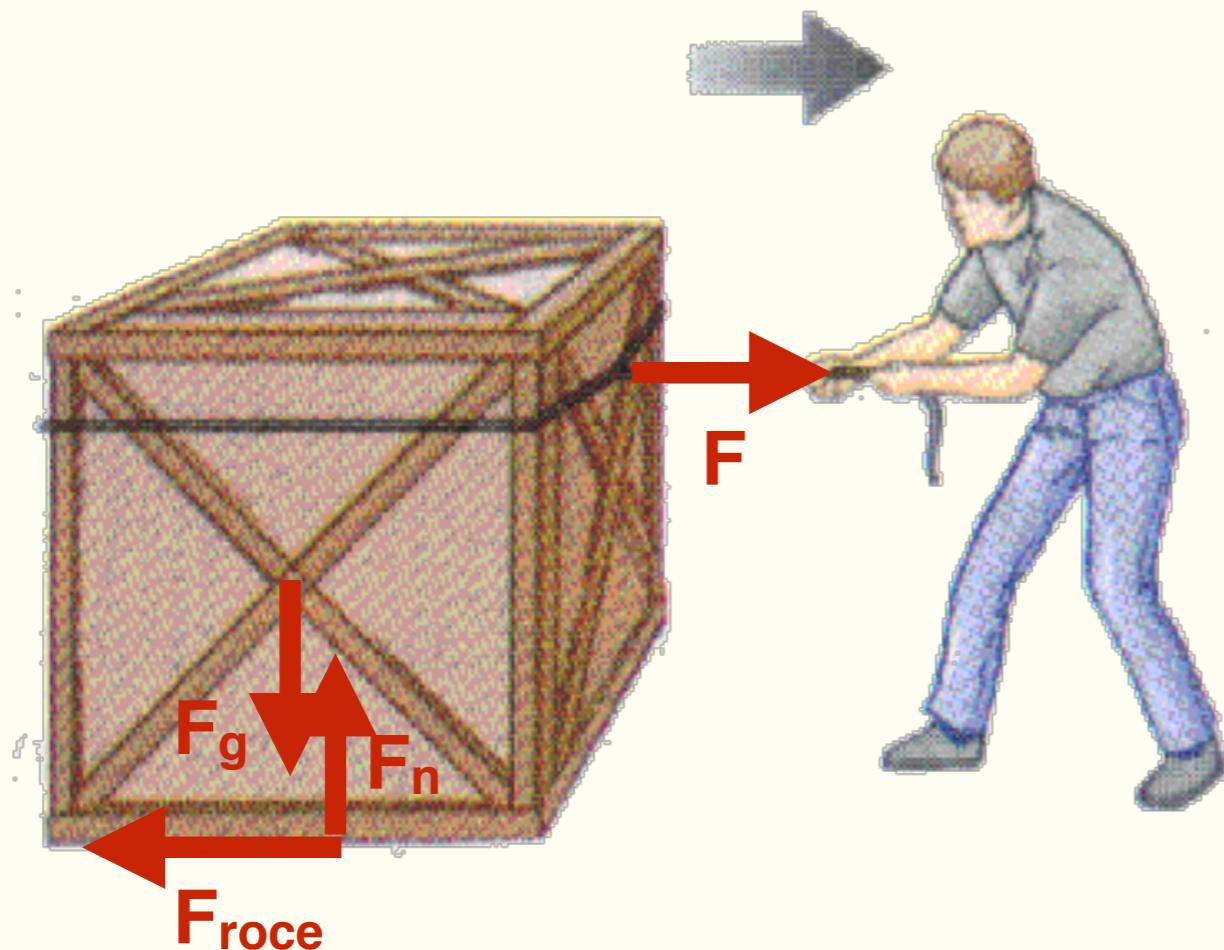
La dirección de la fuerza de roce es longitudinal a la superficie de contacto, y el **sentido es siempre opuesto al movimiento**.

Como notado anteriormente, $\mu_s > \mu_k$. Es más difícil poner algo en movimiento que mantenerlo en movimiento.

Materiales	Coefficiente de fricción estática, μ_s	Coefficiente de fricción cinética, μ_k
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Latón sobre acero	0.51	0.44
Zinc sobre hierro colado	0.85	0.21
Cobre sobre hierro colado	1.05	0.29
Vidrio sobre vidrio	0.94	0.40
Cobre sobre vidrio	0.68	0.53
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Teflón sobre acero	0.04	0.04
Hule sobre concreto (seco)	1.0	0.8
Hule en concreto (húmedo)	0.30	0.25

Clarificación sobre Roce Estático

Un último comentario:



Caso estático:

$$f_s^{\text{roce}} \leq \mu_s F_N$$

¡Es importante recordar que este es un valor máximo!

Tomando el ejemplo de la caja, mientras la fuerza externa F no exceda este valor máximo, la caja no se moverá.

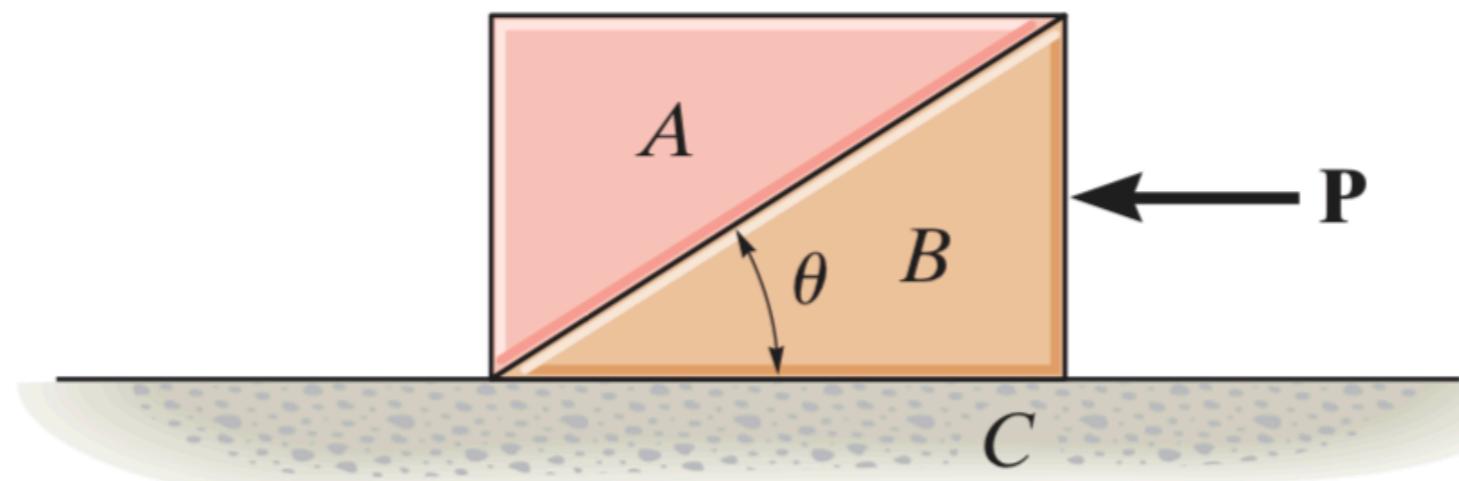
Pero si F es más pequeño que $\mu_s F_N$, la fuerza de roce toma el valor de F.
¡De otra forma la caja se movería por sí sola hacia la izquierda!

La fuerza de roce se opone al movimiento, pero no causa movimiento

Ejemplo

(13.37 del Hibbeler, 12ed)

Los bloques A y B mostrados en la figura tienen ambos una masa igual a m . Determine la máxima fuerza horizontal P que se puede aplicar en B para que A no deslice sobre B. Considere que el coeficiente de roce estático entre A y B es μ_s , y que no hay roce entre B y C

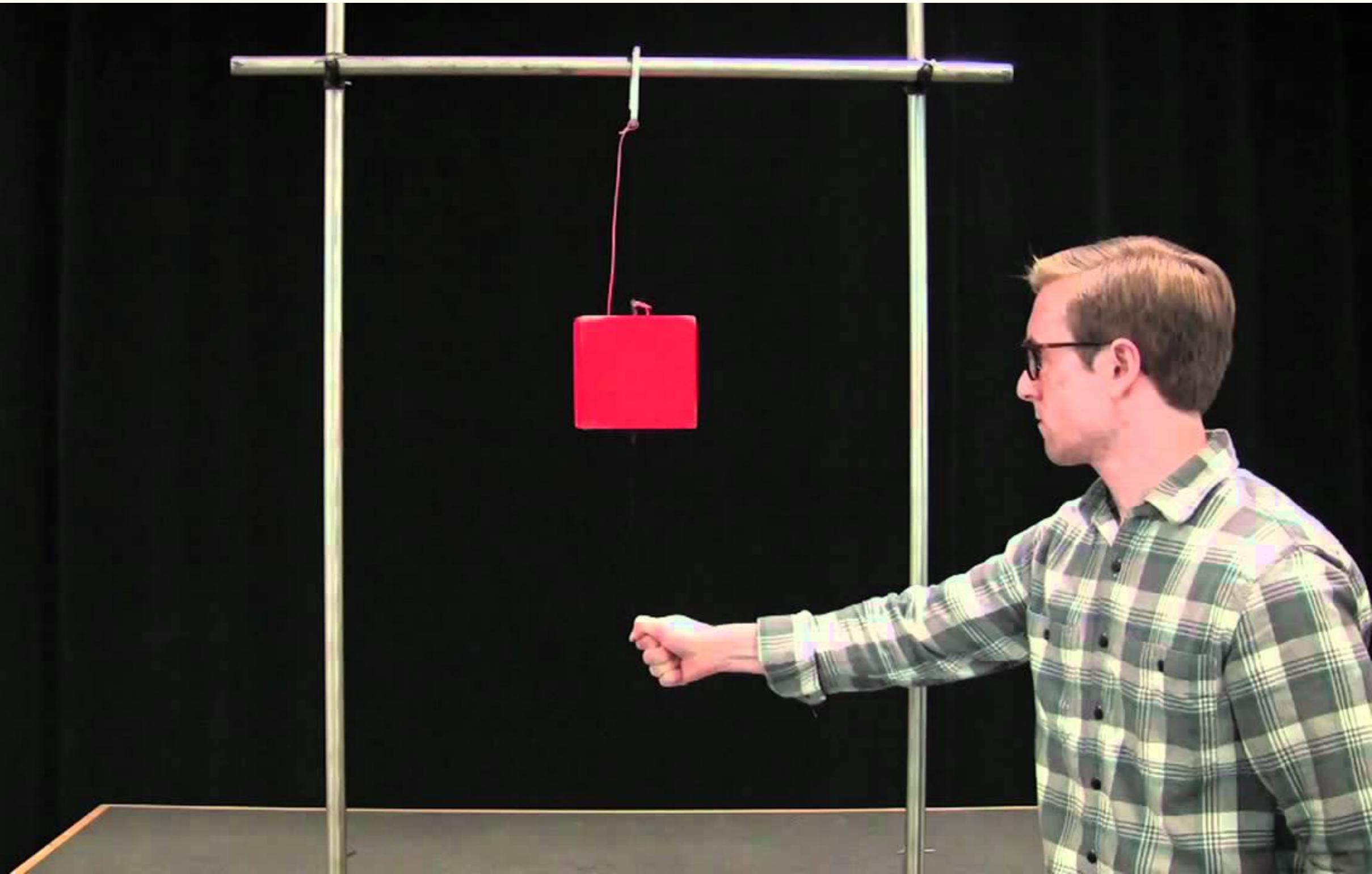


(resolver en pizarra)

Respuesta: $P = 2mg \left(\frac{\sin \theta + \mu_s \cos \theta}{\cos \theta - \mu_s \sin \theta} \right)$

Nota: normalmente al usar planos inclinados es conveniente inclinar el marco de referencia, pero en este caso no lo es. Por lo general conviene que un eje vaya en la dirección del movimiento y el otro en la dirección transversal.

Experimento



<https://www.youtube.com/watch?v=vuRIQvmdRO4>
<https://www.youtube.com/watch?v=X0OCLRbQzzs>

Fuerza Elástica

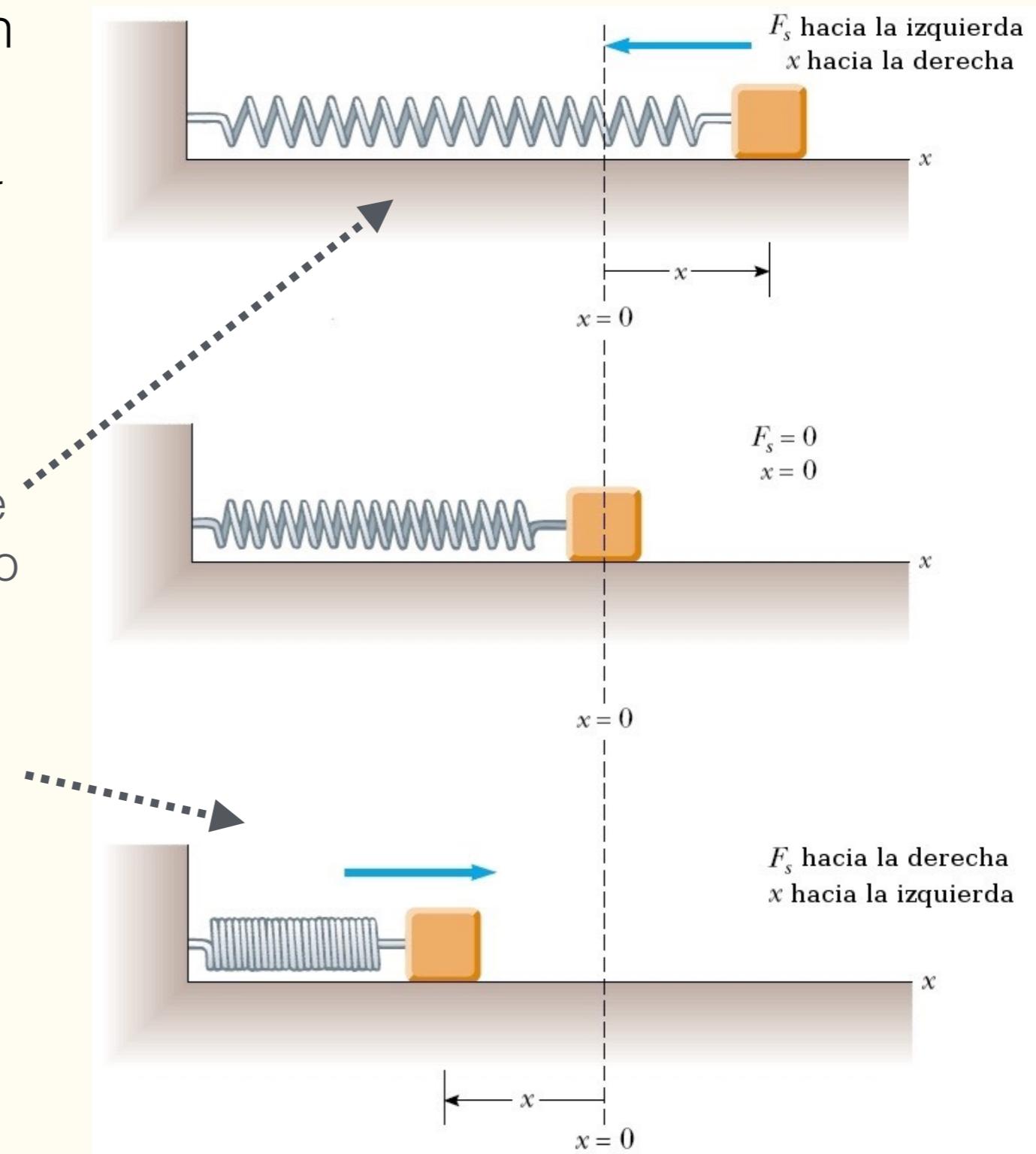
Hay muchos objetos que se pueden alargar o comprimir cuando se les aplica una fuerza, y que regresan a su forma original después.

El mejor ejemplo: **un resorte**

Cuando un resorte es alargado en un cierto sentido respecto a su posición de equilibrio, ejerce una fuerza en el sentido opuesto.

De igual forma, si se comprime ejerce una fuerza en el sentido opuesto al de compresión.

Por lo general se observa que la magnitud de la fuerza del resorte es proporcional al desplazamiento



Fuerza Elástica

Podemos resumir estas tres observaciones en una sola ecuación:

$$\vec{F}_{\text{elástica}} = -k \Delta \vec{x}$$

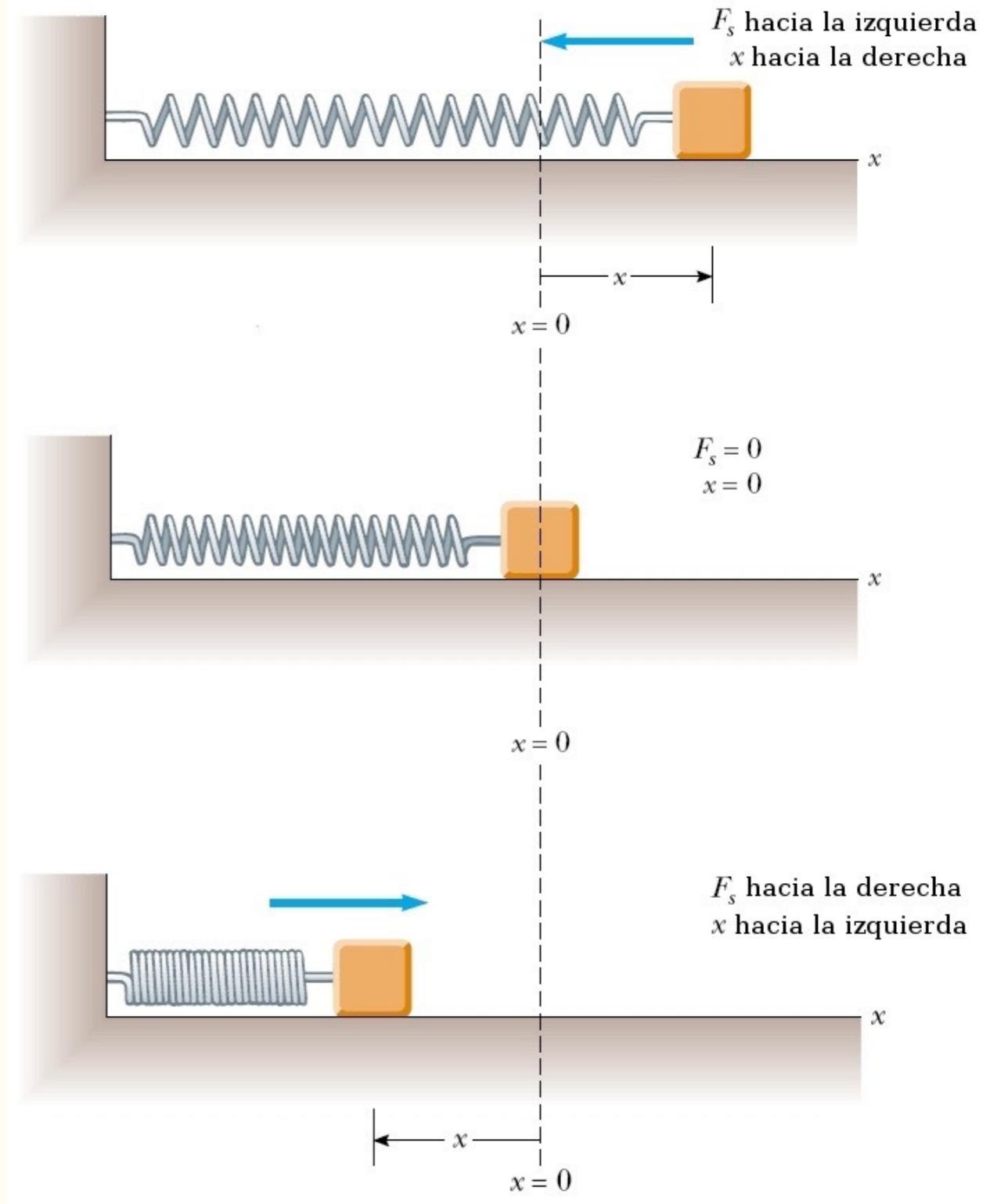
La fuerza realizada por el resorte siempre es en dirección opuesta al desplazamiento

A mayor desplazamiento, mayor fuerza hace el resorte

Esta ecuación se llama la “Ley de Hooke”

(Nota: “ Δx ” está medido respecto a la posición de equilibrio, es decir es $x - x_0$)

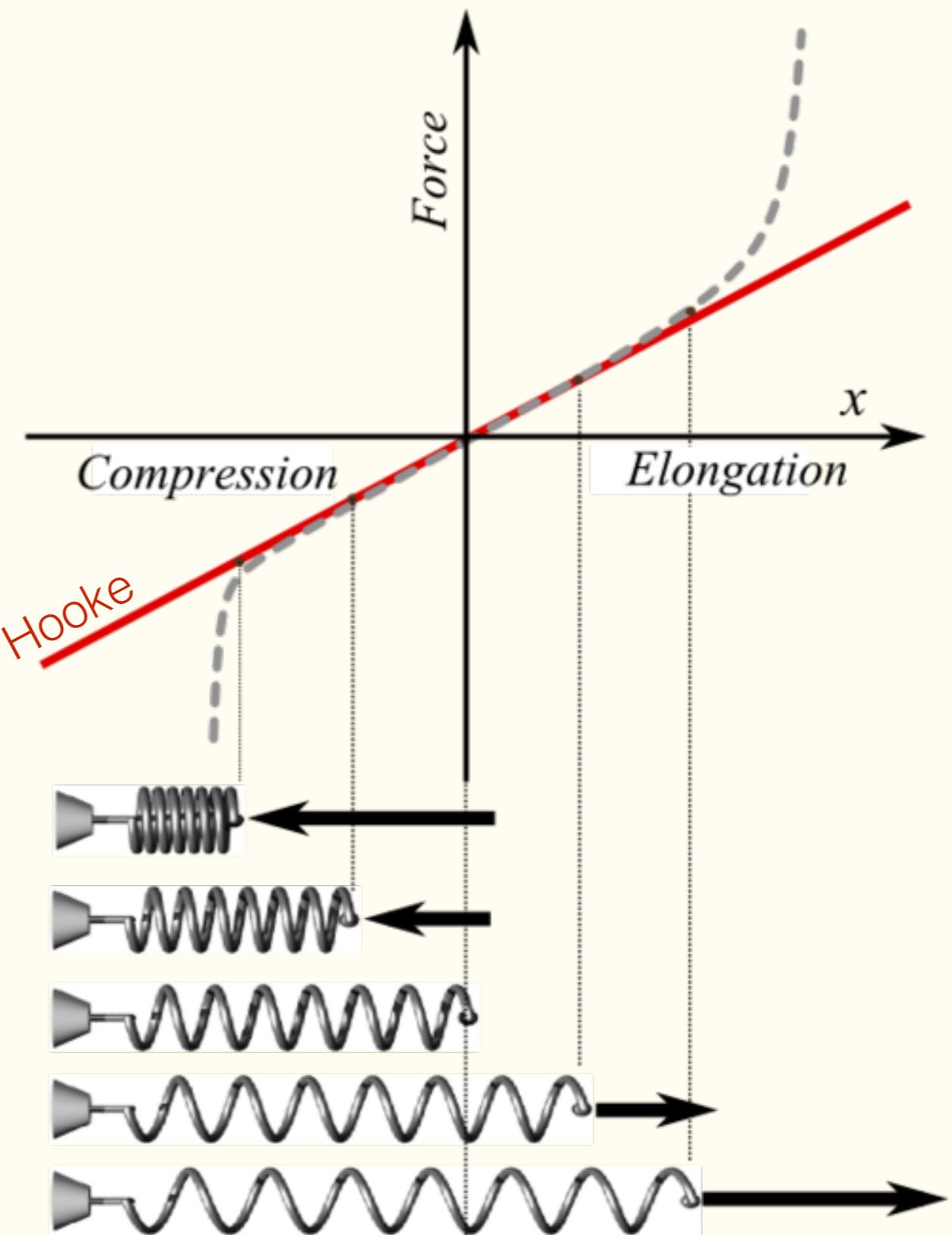
A k se le denomina la “constante del resorte” o “constante elástica”, y se mide en N/m.



Fuerza Elástica

La Ley de Hooke funciona bastante bien cuando la deformación del resorte no es muy extrema:

Llega un momento cuando un resorte ya no se puede comprimir o alargar más, y la magnitud de la fuerza sube hasta que el resorte se rompe.



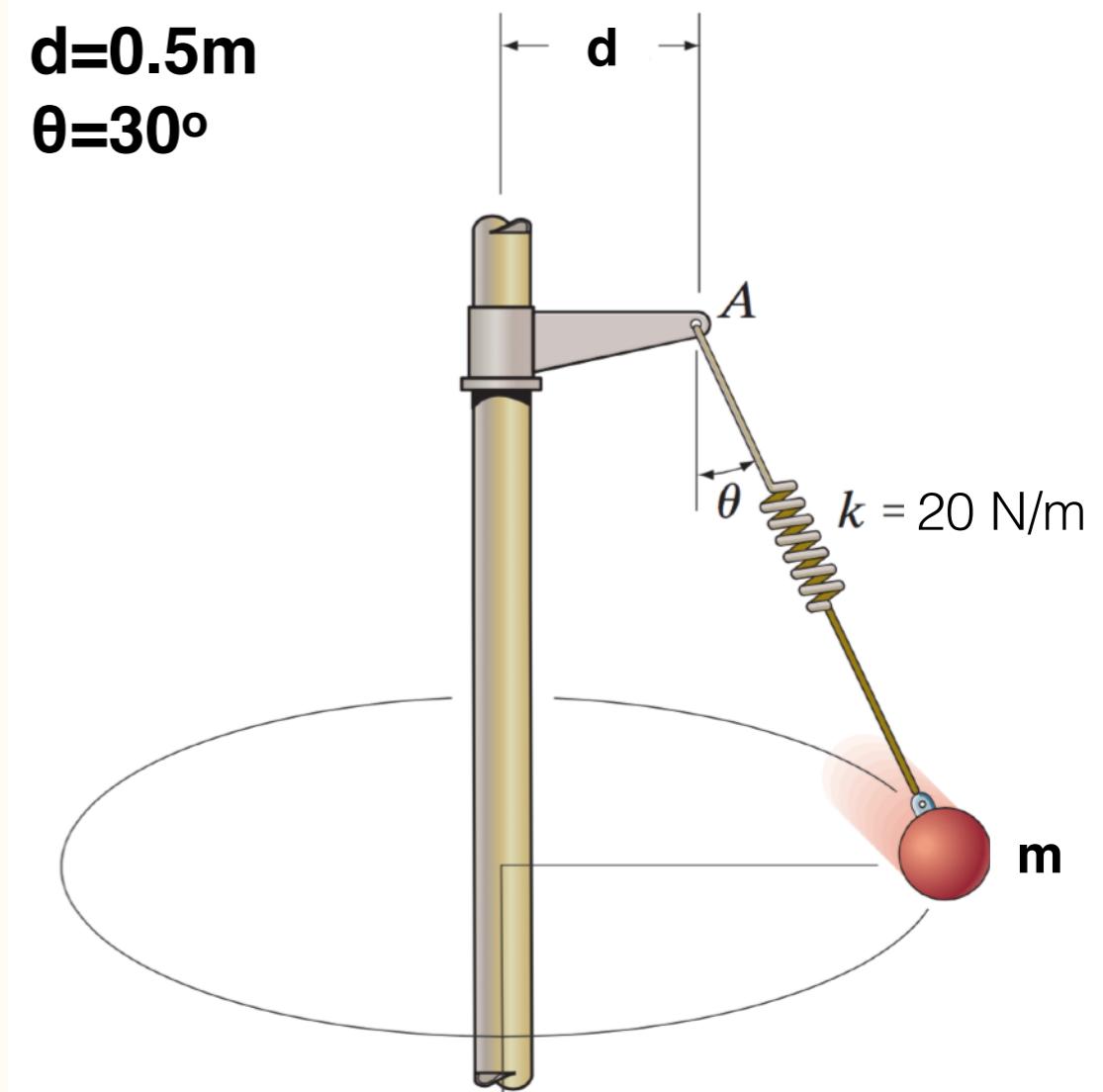
Ejemplo

(Hibbeler 13.60, con unidades SI)

Utilizando el arreglo mostrado en la figura, una bola de masa m se encuentra en movimiento circular con una velocidad tangencial constante de 6m/s. La bola está amarrada a través de un resorte con constante 20 N/m y que sin deformación mide 2m. Determine la longitud que se estira el resorte y la masa de la bola.

$$d=0.5\text{m}$$

$$\theta=30^\circ$$



(resolver en pizarra)

Respuestas: $l=11.7\text{m}$, $m=17.2\text{kg}$

Nos queda un último tema antes de terminar “Leyes de Newton”

Roce viscoso (=resistencia de fluidos)

Sección 5.3 del Young-Freedman



APLICACIÓN DE LAS LEYES DE NEWTON

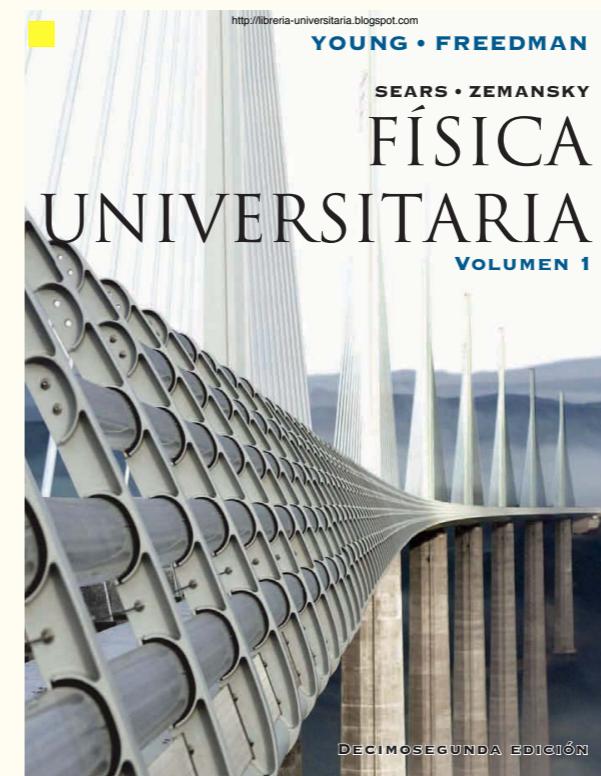
METAS DE APRENDIZAJE

*Al estudiar este capítulo,
usted aprenderá:*

- Cómo usar la primera ley de Newton para resolver problemas donde intervienen fuerzas que actúan sobre un cuerpo en equilibrio.
- Cómo usar la segunda ley de Newton para resolver problemas donde intervienen fuerzas que actúan sobre un cuerpo en aceleración.
- La naturaleza de los diferentes

?

Suponga que el ave que vuela entra en una corriente de aire que asciende con rapidez constante. En esta situación, ¿qué tiene mayor magnitud: la fuerza de gravedad o la fuerza ascendente del aire sobre el ave?



Roce Viscoso

Hasta ahora hemos visto roce entre sólidos, pero también puede existir entre fluidos y sólidos.

Es imprescindible tomar en cuenta el roce con el aire al momento de diseñar aviones y autos.

El roce con el aire también afecta grandemente la velocidad de caída de un paracaidista, por ejemplo.



El roce se debe a que el sólido debe desplazar las moléculas de fluido al avanzar y pierde energía al hacerlo

Roce Viscoso

¿Cómo modelar el roce de un sólido con algún fluido?

Las observaciones empíricas muestran lo siguiente:

$$f_{\text{bajas velocidades}}^{\text{roce}} = kv$$

$$f_{\text{altas velocidades}}^{\text{roce}} = Dv^2$$

(k y D son constantes; a bajas velocidades el roce es proporcional a la velocidad, y a altas velocidades el roce es proporcional al cuadrado de la velocidad)

Ejemplo de “altas velocidades”



Ejemplo de “bajas velocidades”

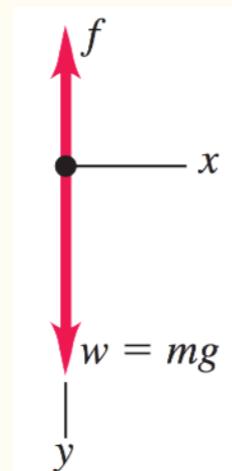


Roce Viscoso a Bajas Velocidades

Consideremos un objeto que se deja caer en un fluido a bajas velocidades, como una piedra en un lago →

Una vez en el agua, el diagrama de fuerzas queda:

Notese que tomamos la dirección positiva hacia abajo



La 2da Ley de Newton en la dirección y queda:

$$\sum F_y = mg - kv_y = ma_y$$

Pero $a_y = \frac{dv_y}{dt}$ por lo que la ecuación nos queda $mg - kv_y = m \frac{dv_y}{dt}$



Experimento



Recomiendo el video “Tablecloth Chaos - Mythbusters for the Impatient”

<https://www.youtube.com/watch?v=IK1ci50DUgc>

Nótese que en el experimento de hoy no hicimos trampa. ¡Es puro Newton!

Sobre el Experimento



En internet circuló un video en el que supuestamente el papa hacía esto.... pero es falso:

https://www.youtube.com/watch?v=ABy_1sL-R3s

Roce Viscoso a Bajas Velocidades

La ecuación anterior es una ecuación diferencial que podemos reescribir como:

$$\frac{mg}{k} - v_y = \frac{m}{k} \frac{dv_y}{dt}$$

La podemos resolver fácilmente separando las variables e integrando:

$$\int_0^{v_y} \frac{dv_y'}{v_y' - \frac{mg}{k}} = -\frac{k}{m} \int_0^t dt'$$

Nos queda:

$$\ln \left(\frac{v_y - \frac{mg}{k}}{-\frac{mg}{k}} \right) = -\frac{k}{m} t \longrightarrow 1 - \frac{k}{mg} v_y = e^{-\frac{k}{m} t} \longrightarrow v_y = \frac{mg}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m} t} \right)$$



(Nota: estamos asumiendo que el niño suelta la piedra justo en la superficie del agua o dentro del agua, es decir que su velocidad inicial en el medio es 0)

Roce Viscoso a Bajas Velocidades

¿Algo interesante sobre este resultado?

$$\lim_{t \rightarrow \infty} v_y = \frac{mg}{k}$$

¡La velocidad no puede pasar de un cierto límite!

A esta velocidad se le llama “velocidad terminal”, y está dada por: $v_t = \frac{mg}{k}$

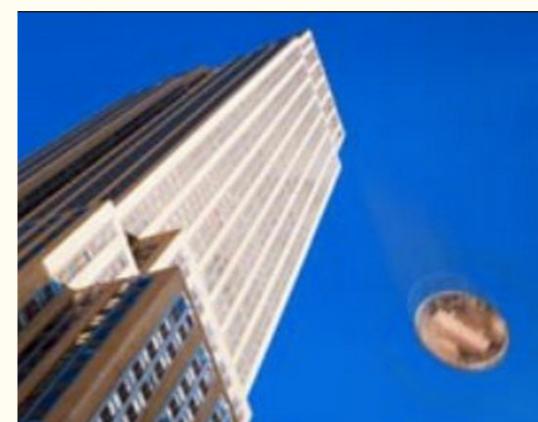
En realidad esto es bastante lógico. La velocidad terminal se alcanza cuando la fuerza de roce se vuelve igual al peso:

$$mg = kv_t \longrightarrow v_t = \frac{mg}{k}$$

No es necesario resolver
la ecuación diferencial
para obtener la
velocidad terminal!

¿En la vida real se observa que los objetos que se aceleran en un fluido tengan una velocidad terminal?

¡SÍ!

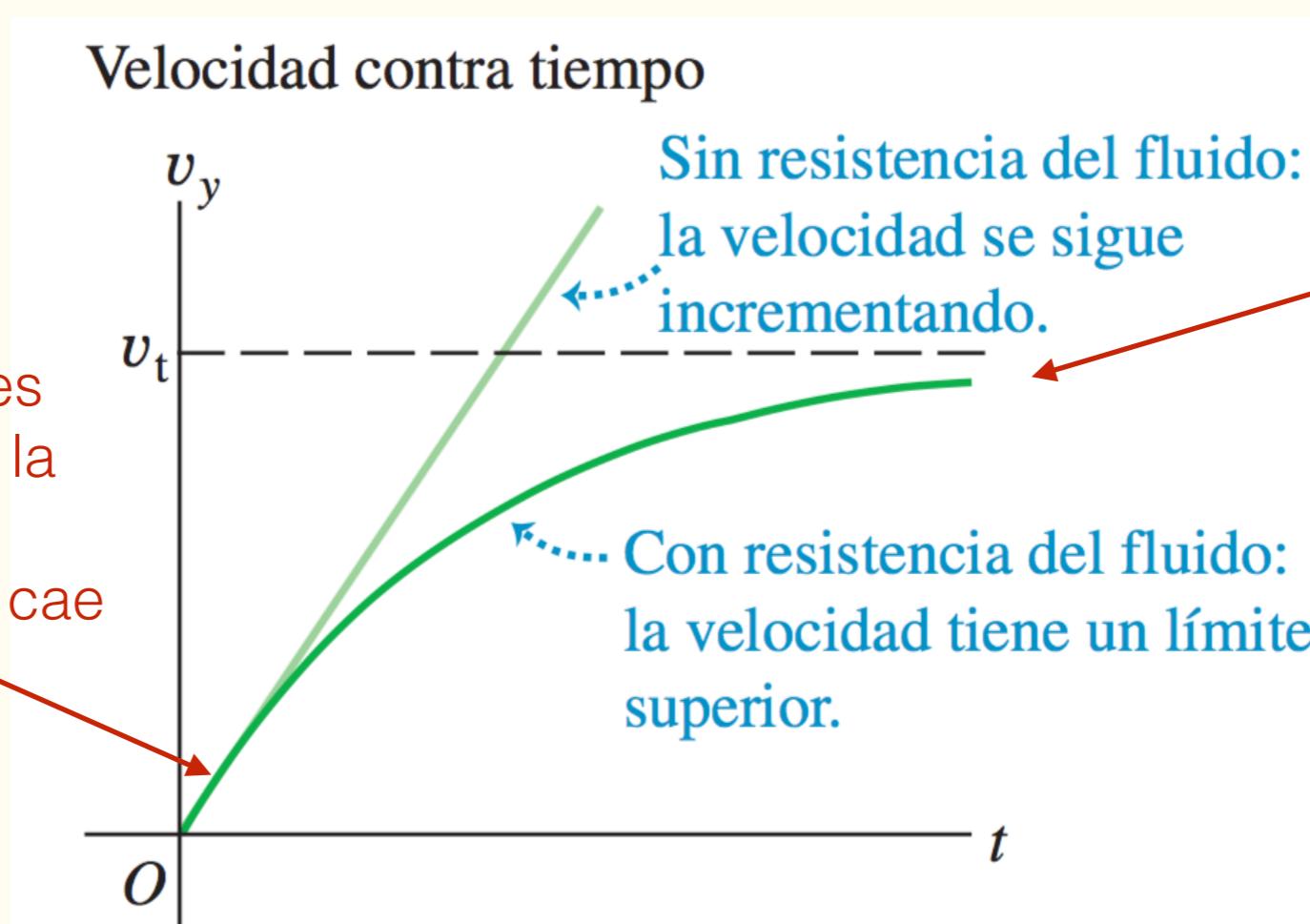


Roce Viscoso a Bajas Velocidades

¿Cómo se ve entonces la gráfica de la velocidad vs. tiempo?

Cuando la velocidad es todavía muy pequeña, la fuerza de roce es despreciable y el objeto cae como en el vacío

$$v_y(t) \approx gt$$

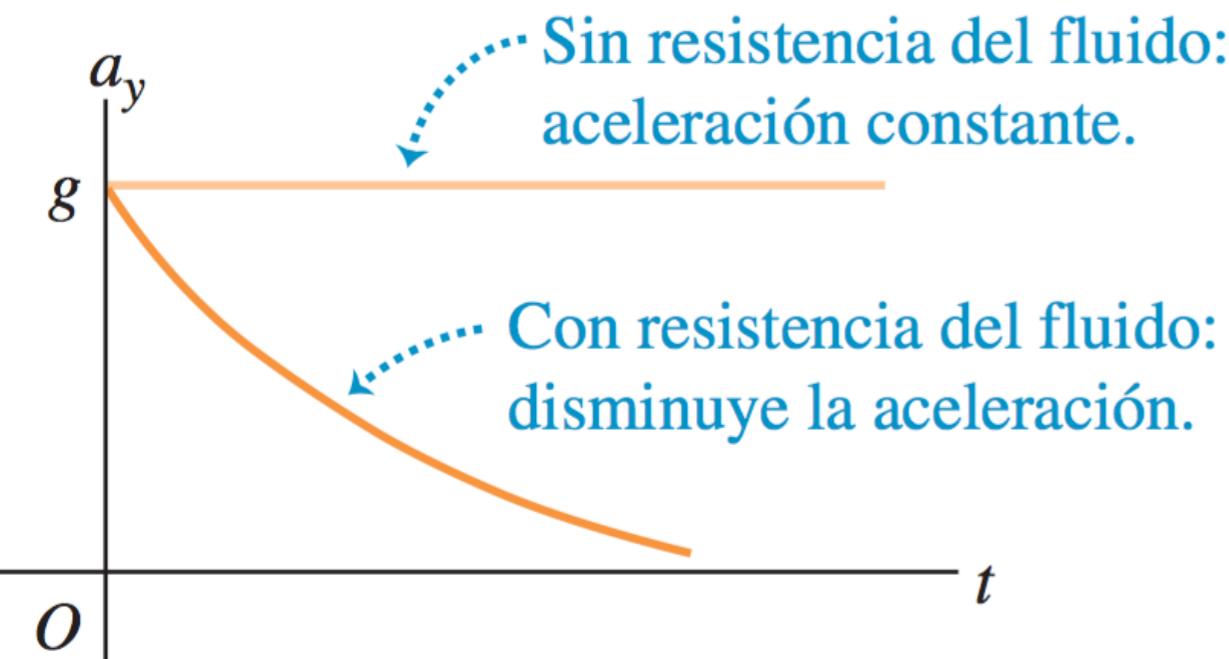


Pero cuando la velocidad ya ha alcanzado un cierto valor, el roce es prácticamente igual al peso y la velocidad no sube más

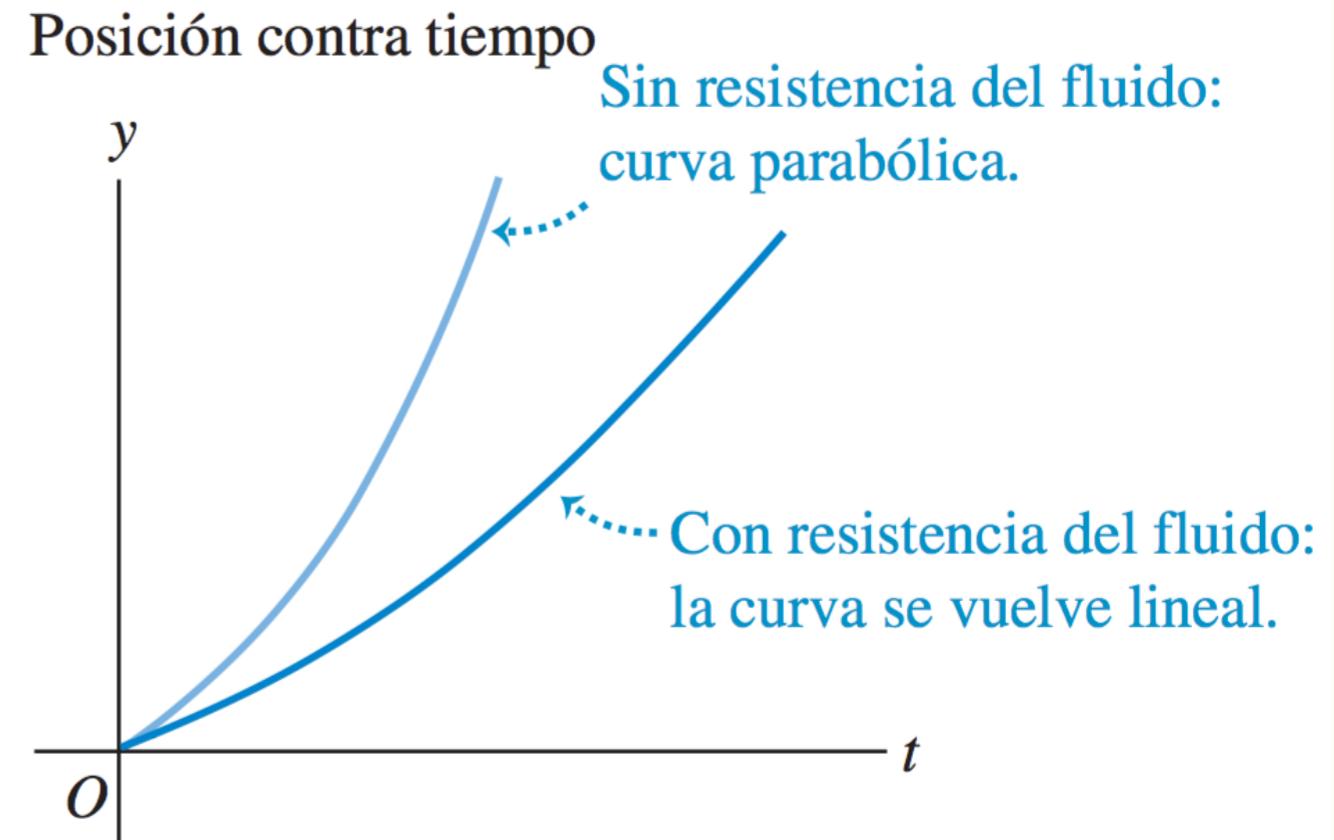
Roce Viscoso a Bajas Velocidades

¿Cómo se ven las gráficas de la aceleración y la posición vs. el tiempo?

Aceleración contra tiempo



Posición contra tiempo



Roce Viscoso a Altas Velocidades

Podemos aplicar el mismo razonamiento al caso de altas velocidades:

La ecuación diferencial queda: $mg - Dv_y^2 = m \frac{dv_y}{dt}$

Es un poco más difícil de resolver, aunque se puede hacer (ver siguiente problema). Podemos calcular la velocidad terminal muy fácilmente:

La velocidad terminal se alcanza cuando el peso es igual a la fuerza de roce:

$$mg = Dv_t^2 \longrightarrow v_t = \sqrt{\frac{mg}{D}}$$

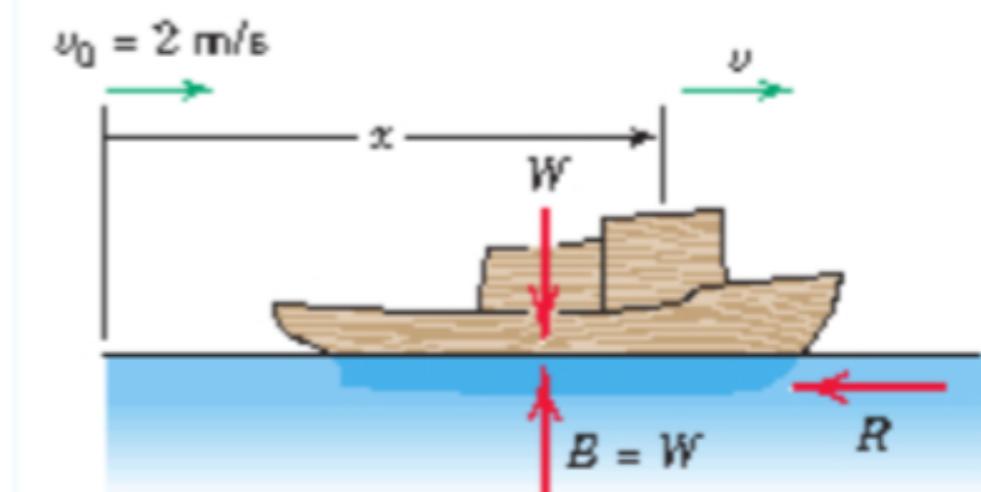
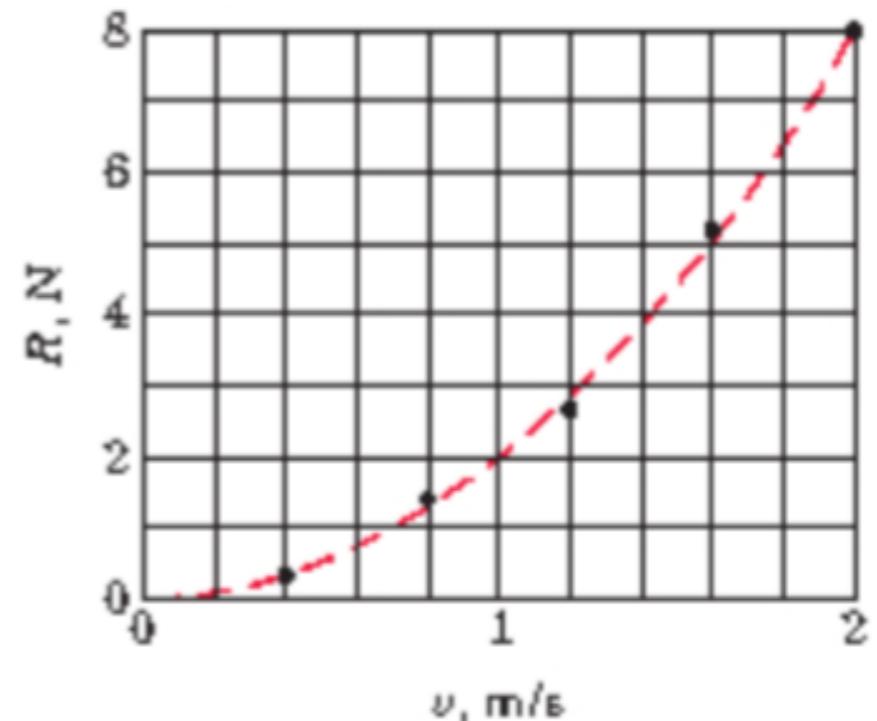
Velocidades terminales de algunos objetos comunes:

VELOCIDAD LÍMITE DE ALGUNOS OBJETOS	
OBJETO	VELOCIDAD (m/s)
Paracaidista con paracaídas cerrado	60
Pelota de tenis	42
Balón de baloncesto	20
Granizo	14
Pelota de ping-pong	9
Gota de lluvia (15mm de radio)	7
Paracaidista con paracaídas abierto	5

Ejemplo

(No en libros)

Un modelo a escala de un barco de 10kg de masa está siendo probado en un tanque experimental para determinar su resistencia al movimiento en aguas con distintas velocidades. Los resultados de las pruebas se muestran en la figura, donde se ve que la fuerza de roce es proporcional al cuadrado de la velocidad. Si el modelo es liberado cuando su rapidez es 2m/s, determine el tiempo necesario para que se reduzca su rapidez a 1 m/s y la correspondiente distancia recorrida.



(resolver en pizarra)

Respuestas: $t=2.5\text{s}$; $d=3.47\text{m}$

Preparando el Experimento

Antes de comenzar, necesitamos preparar el experimento de hoy para que esté listo a la mitad de la clase:

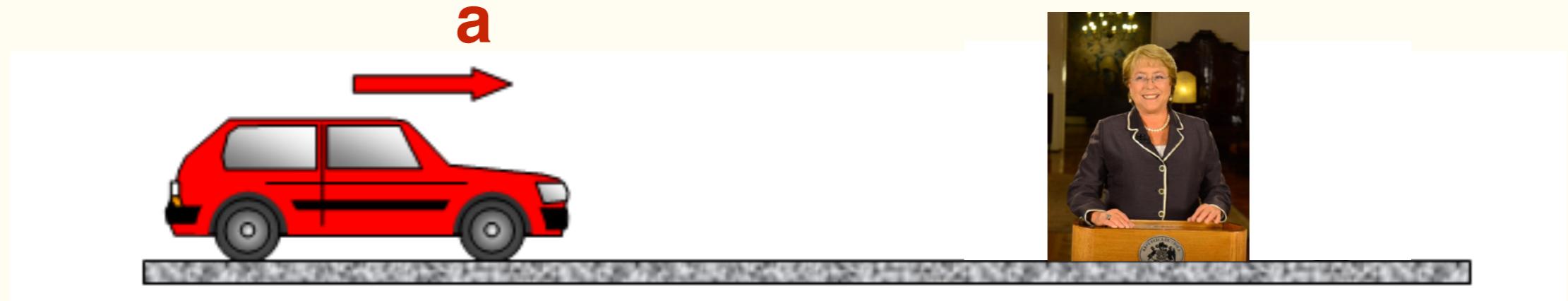


Necesito su ayuda para intercalar dos libros de “páginas amarillas”

Antes de terminar: ¿Excepciones a leyes de Newton?

Hemos visto las leyes de Newton. ¿Alguien puede pensar en una situación en la que no funcionen?

¿Qué tal si me subo a mi auto, me acelero, y paso al lado de una persona en reposo respecto a la calle?

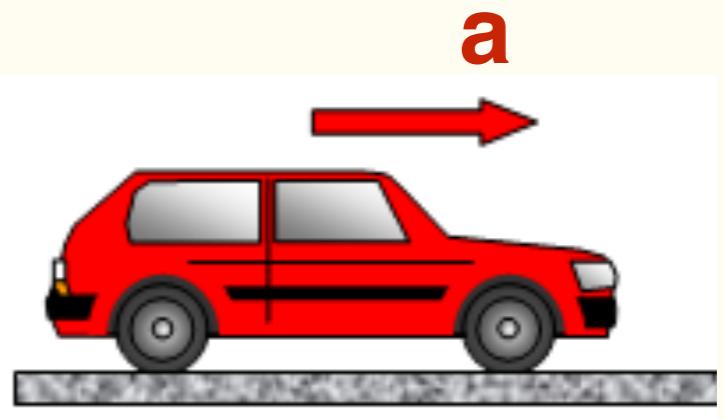


Desde mi punto de vista, Bachelet se está acelerando a la izquierda con magnitud a . ¡Es como si hubiera una fuerza invisible empujándola!

¿Excepciones?

Otro ejemplo:

Me subo a mi auto y acelero, pero cubro todas las ventanas y no puedo ver el exterior.



Cuando el auto se acelera, siento como si una fuerza invisible me empujara hacia atrás



Cuando el auto se frena, siento como si una fuerza invisible me empujara hacia adelante



Visto desde afuera, esto se entiende porque el auto se acelera y mi cuerpo tiende a quedarse en reposo debido a la primera ley, por lo que el asiento ejerce una fuerza sobre mi. Cuando el auto se frena, debido a la primera ley mi cuerpo quiere permanecer en movimiento, y el cinturón de seguridad ejerce una fuerza que me frena

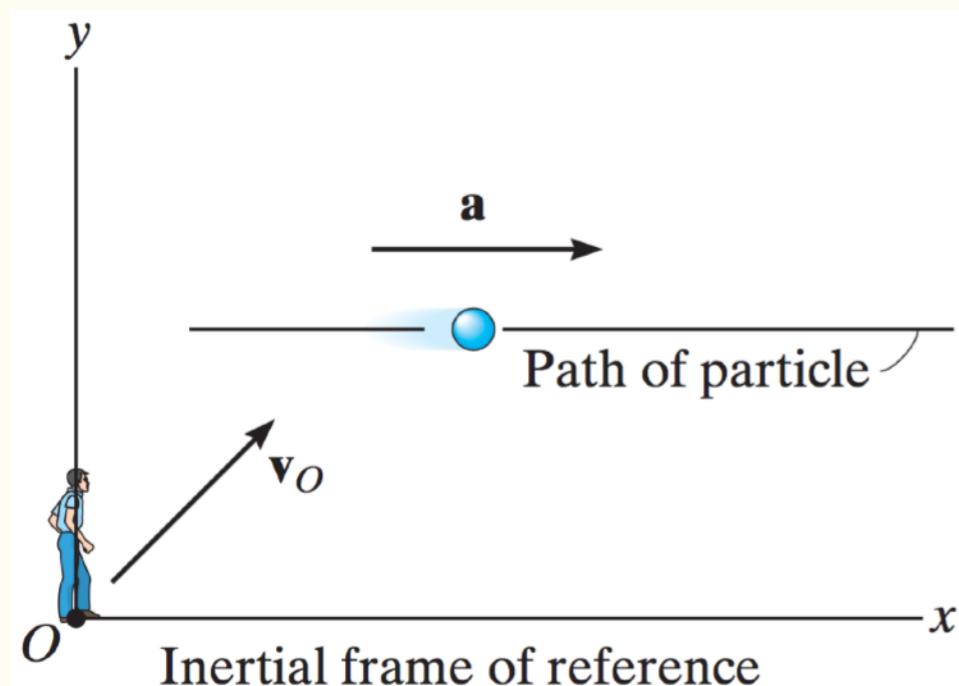
Pero visto desde adentro,
**¡aparece una fuerza/
aceleración sin nada que la
explique!**

Conclusión

Entonces, cuando uno está en un marco de referencia que se está moviendo con una aceleración, suceden “cosas raras”:

Las leyes de Newton parecieran no cumplirse, a menos de que se introduzcan “fuerzas invisibles” (en inglés, “fictitious forces”)

Moraleja importante: las leyes de Newton sólo son válidas en marcos de referencia inerciales



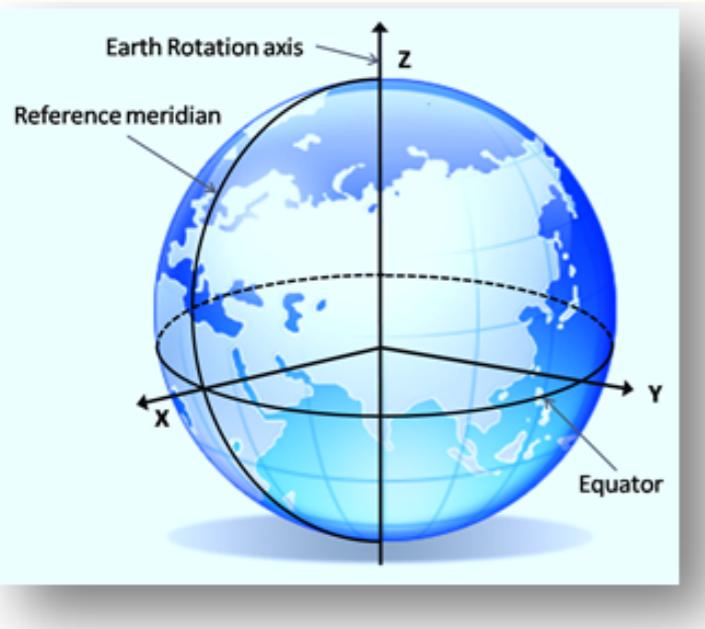
Marco de referencia inercial = marco de referencia que está fijo o en translación con velocidad constante

(ver sección 13.2 del Hibbeler para mayor información)

¿Nuestra Tierra?

¿La superficie de la tierra es un marco de referencia inercial?
Estrictamente hablando, no... ¡la tierra está rotando (lo cual implica una aceleración)!

rotación sobre su eje



rotación alrededor del sol



y aparte el sol está rotando alrededor del centro de la galaxia, y la galaxia se está moviendo también, pero estos efectos son despreciables.

De los dos movimientos de rotación que tiene la tierra, el que más afecta el movimiento en la tierra es el de rotación sobre su eje

Podemos calcular la aceleración centrípeta para una persona en el ecuador, que es donde es máxima:

$$a_c = R_T \omega^2 = R_T \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

$$a_c = 6371 \cdot 10^3 \left(\frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \right)^2 \approx 0.033 \text{ m/s}^2$$

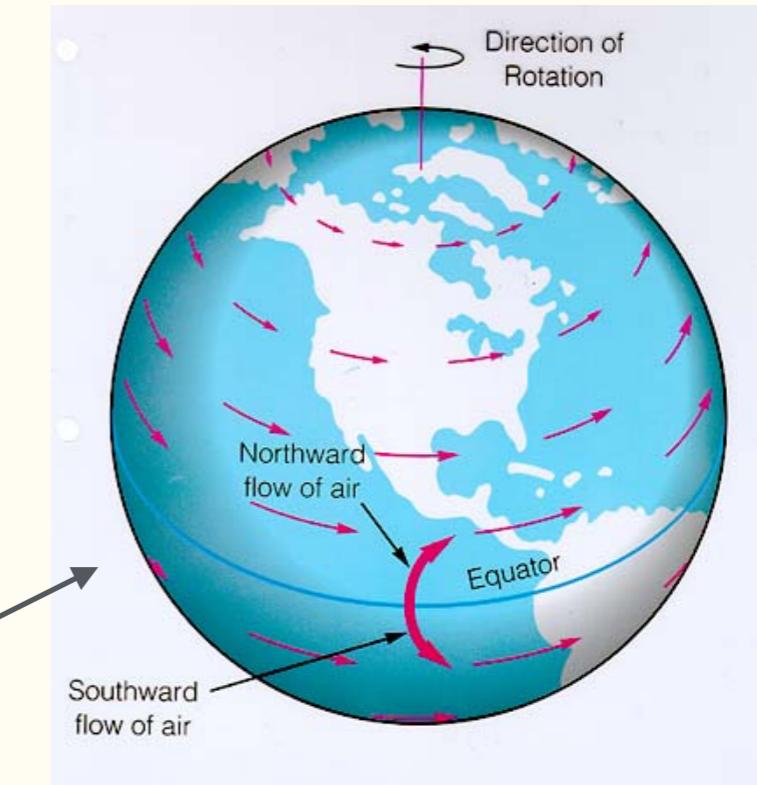
¡una aceleración minúscula!

¿Nuestra Tierra?

A pesar de que la aceleración asociada a la rotación de la tierra es tan pequeña, ¿causa algún efecto visible? ¿Aparecen “fuerzas ficticias”?

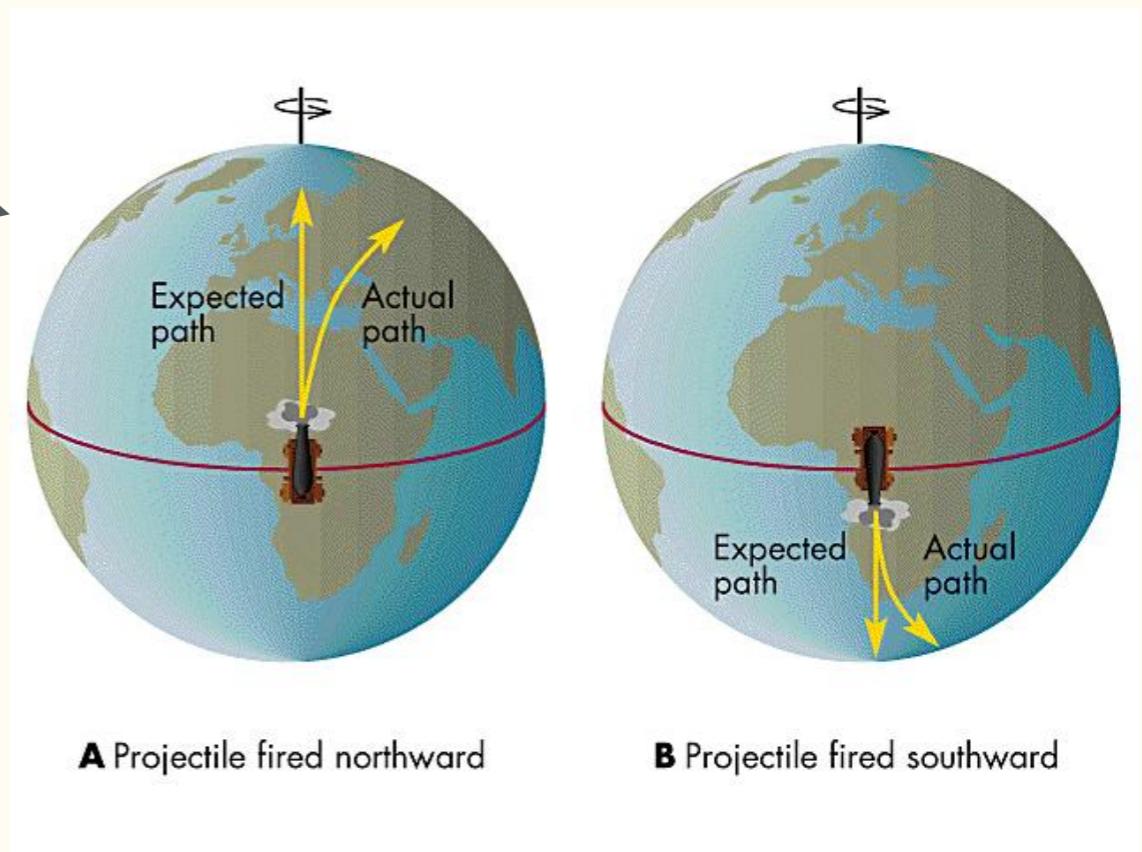
Sí. El mejor ejemplo es el “efecto Coriolis”

Debido a la rotación de la tierra, la velocidad tangencial depende de la latitud



Esto causa que la trayectoria de cualquier cosa que se mueva libremente sobre la superficie, se curve

Sin embargo, para ver este efecto se necesitan “proyectiles” que viajen cientos de kilómetros. No se puede ver con los proyectiles que podemos lanzar con la mano, pero si con cosas como las corrientes de aire



A Projectile fired northward

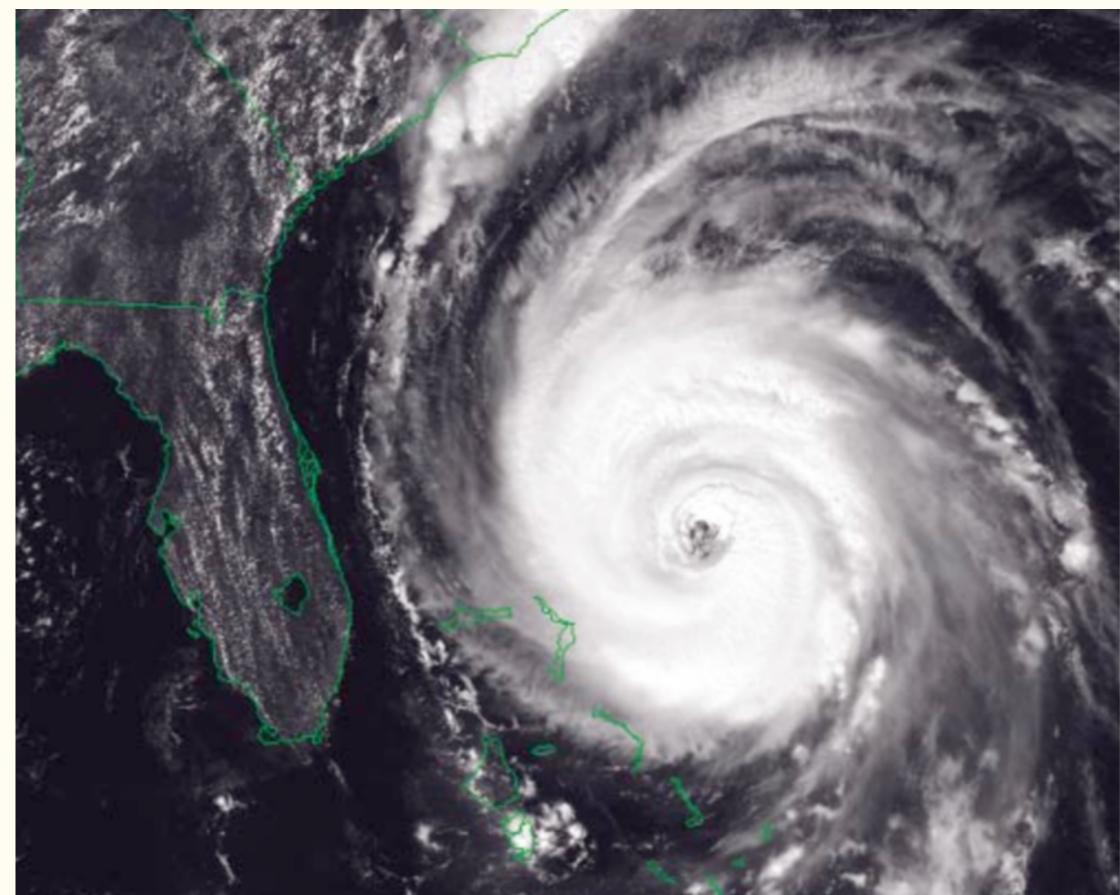
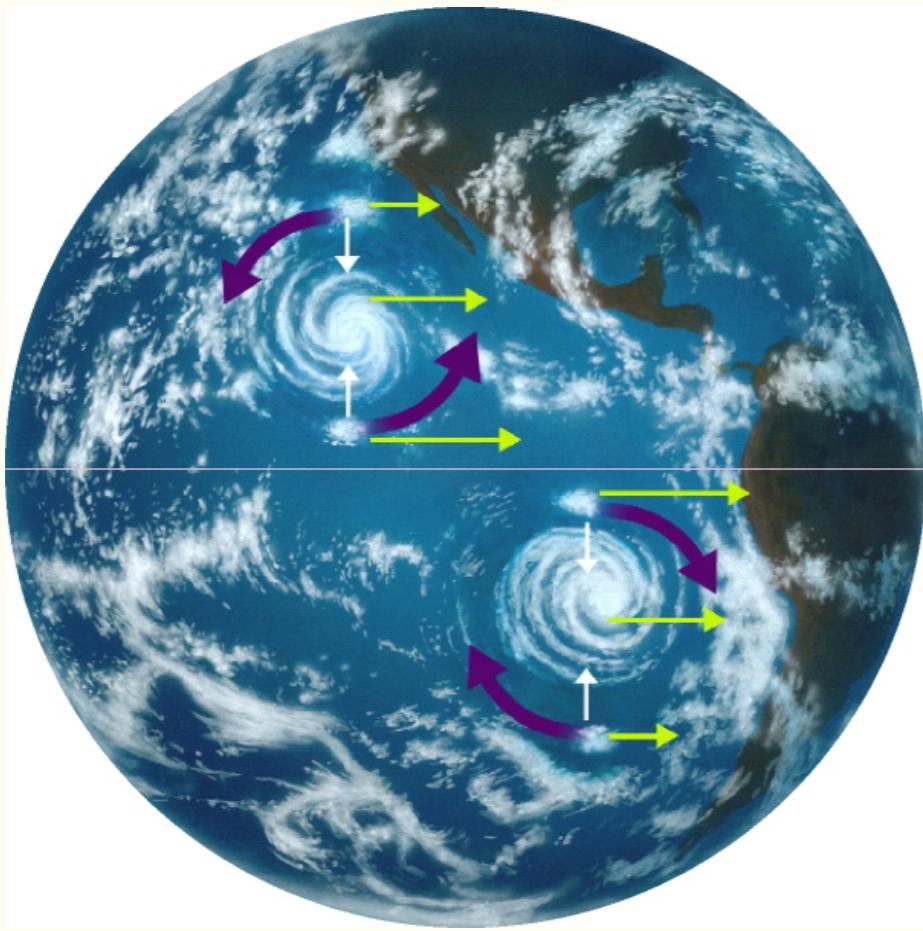
B Projectile fired southward

¿Nuestra Tierra?

¿Alguna consecuencia práctica del efecto Coriolis?

Es por la fuerza de Coriolis que los huracanes se forman, y por qué rotan en la dirección de las manecillas del reloj en el hemisferio sur, y a contra-reloj en el hemisferio norte

Ejemplo de huracán en el hemisferio norte (cerca de Florida)



**Por esto también los huracanes nunca se forman cerca del ecuador
(aunque ya formados lo pueden cruzar debido a que tienen inercia)**

Para una muy buena explicación: <https://www.youtube.com/watch?v=i2mec3vgeal>

¿Se ve en el baño?

¿La fuerza de Coriolis se ve en la taza del baño, que hace que el agua circule en sentido contrario en el hemisferio norte vs. sur?

¡No!



La fuerza de Coriolis **si** afecta el clima y es responsable por fenómenos como los huracanes.

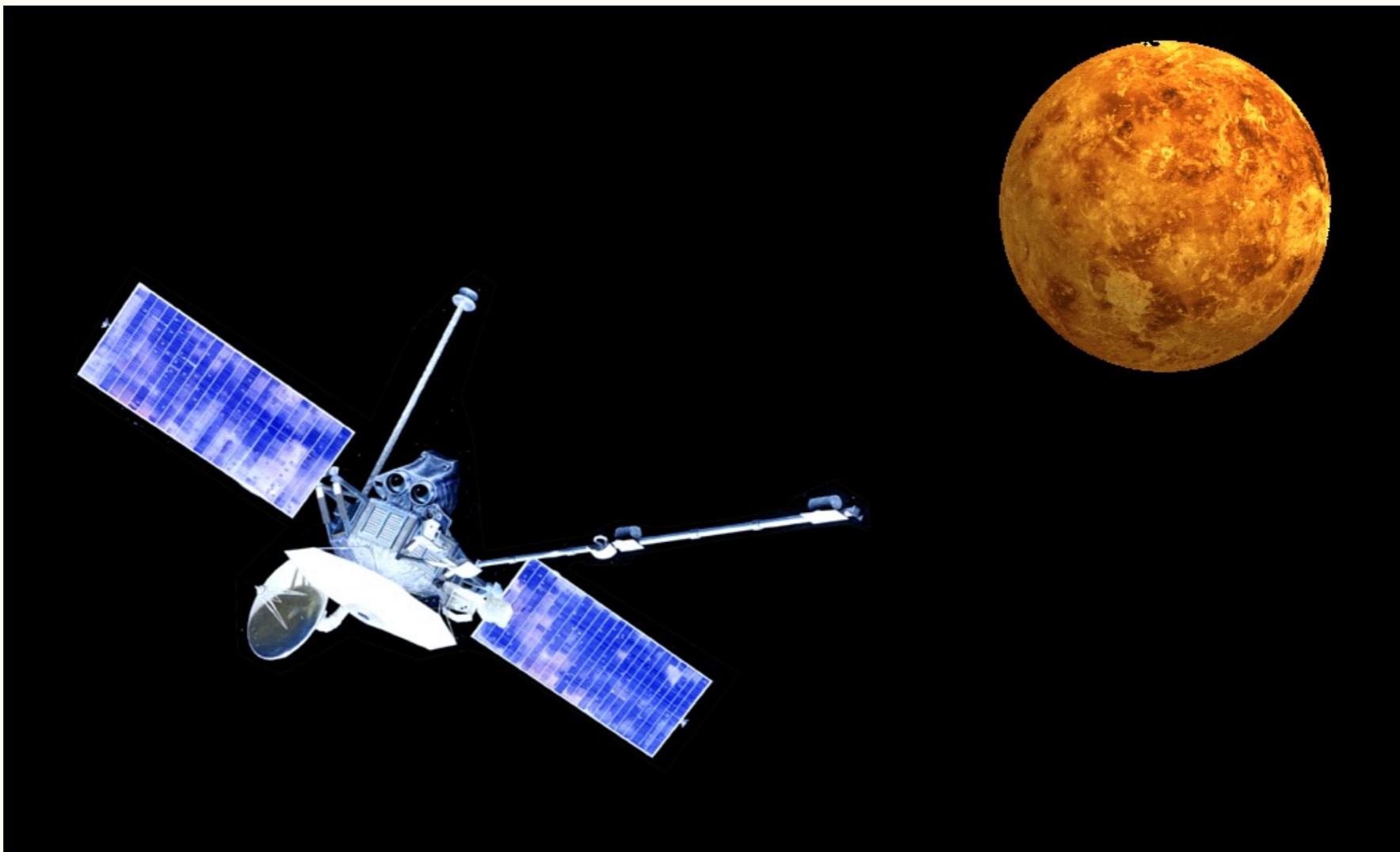
Sin embargo, **no** es responsable por la dirección del “mini-huracán” que se crea en la taza del baño. Es un efecto minúsculo a esas escalas. Más bien, otros factores (principalmente la forma de la taza, y la velocidad inicial del agua) determinan la dirección en la que drena el agua

A escalas menores a los cientos de kilómetros, la superficie de la tierra puede ser considerada como un marco de referencia inercial

Nota: a pesar de esto, sí se puede detectar el efecto Coriolis a escalas pequeñas.
Recomiendo estos videos: <http://www.smartereveryday.com/toiletswirl>

Experimento #1

La primera ley de Newton dice que un objeto sobre el cual no actúan fuerzas sigue en movimiento rectilíneo con velocidad constante hasta el infinito



Conclusión #1: muchas veces no es tan fácil ver la primera ley de Newton en acción en la tierra debido al roce, pero si lo quitamos se puede ver de forma mucho más clara.

Experimento #2

Ahora intentemos separar las dos “páginas amarillas”



Conclusión #2: ¡El roce puede llegar a ser enorme!

Sobre el Experimento #2

Hay al menos dos efectos aquí:

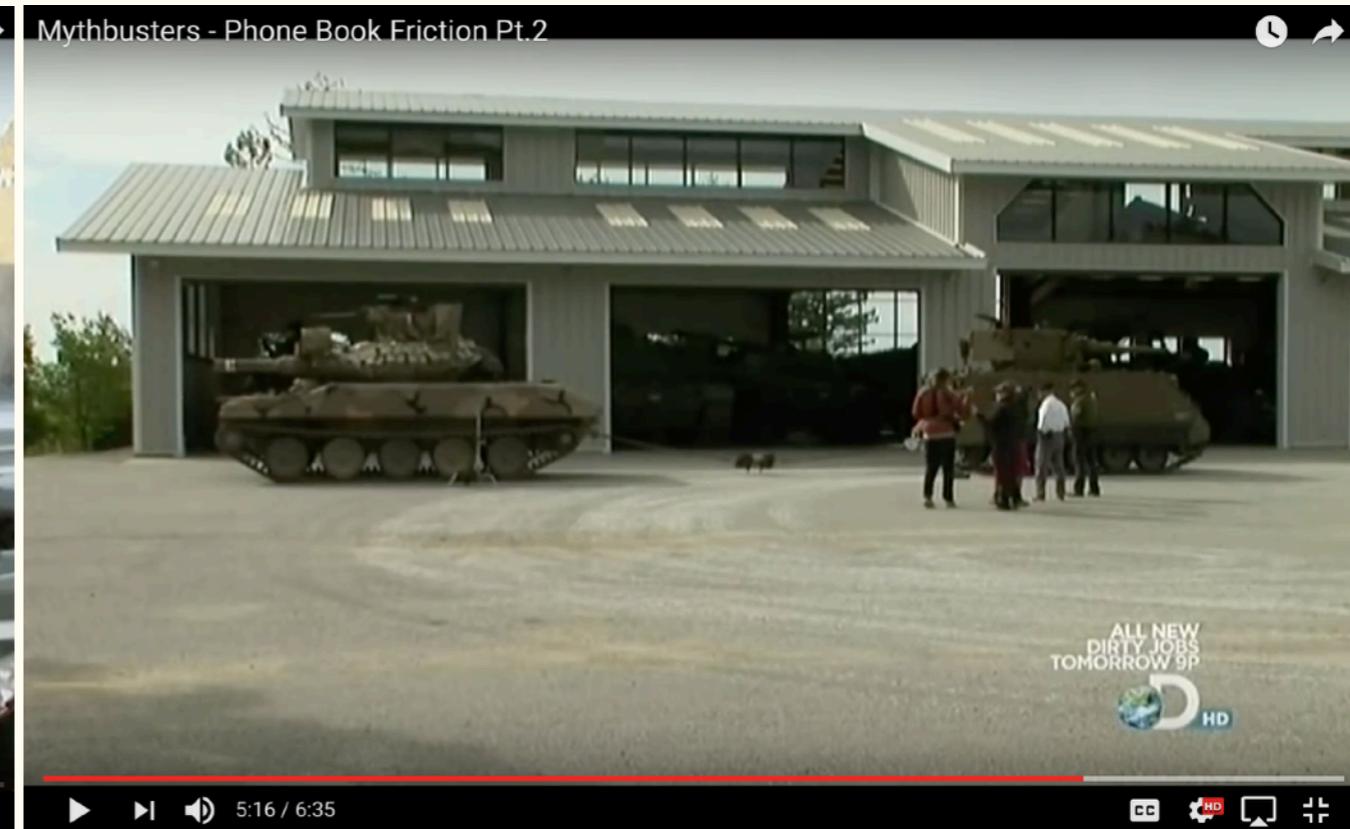
(i) El roce se multiplica por cada página intercalada.

(ii) La fuerza normal se incrementa al tirar más duro

Un episodio de Mythbusters está dedicado a esto: “Phone Book Friction” <http://www.dailymotion.com/video/x2mpjll>



No se pudo separar los libros con 10 personas, ni hasta con autos



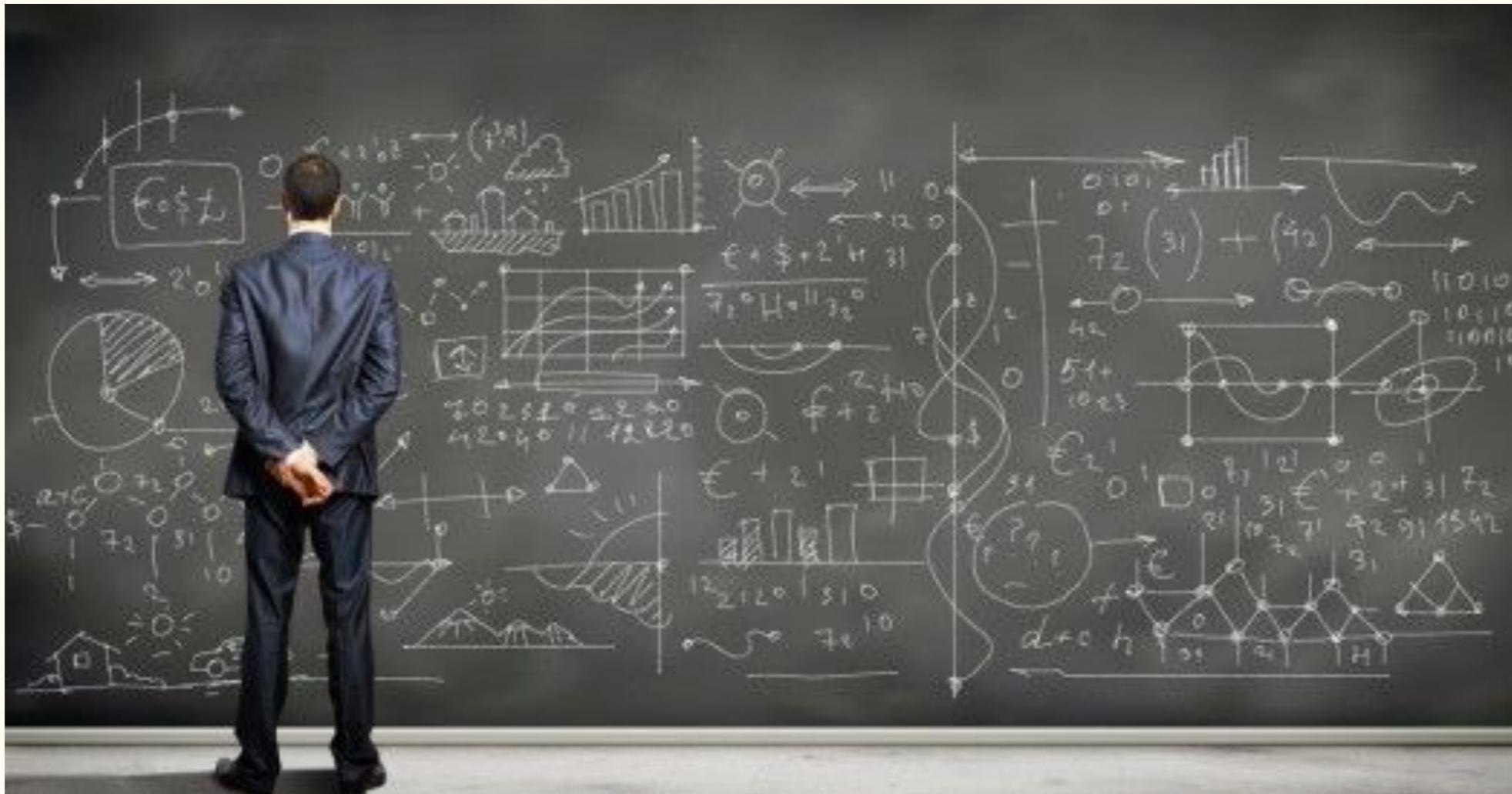
Al final solo se pudieron separar con dos tanques, con una fuerza de aprox. 35kN

Artículo al respecto: <https://www.technologyreview.com/s/540621/physicists-solve-the-mystery-of-interleaved-phone-books/>

Preguntas con cliqueras



¡Terminamos con Leyes de Newton!



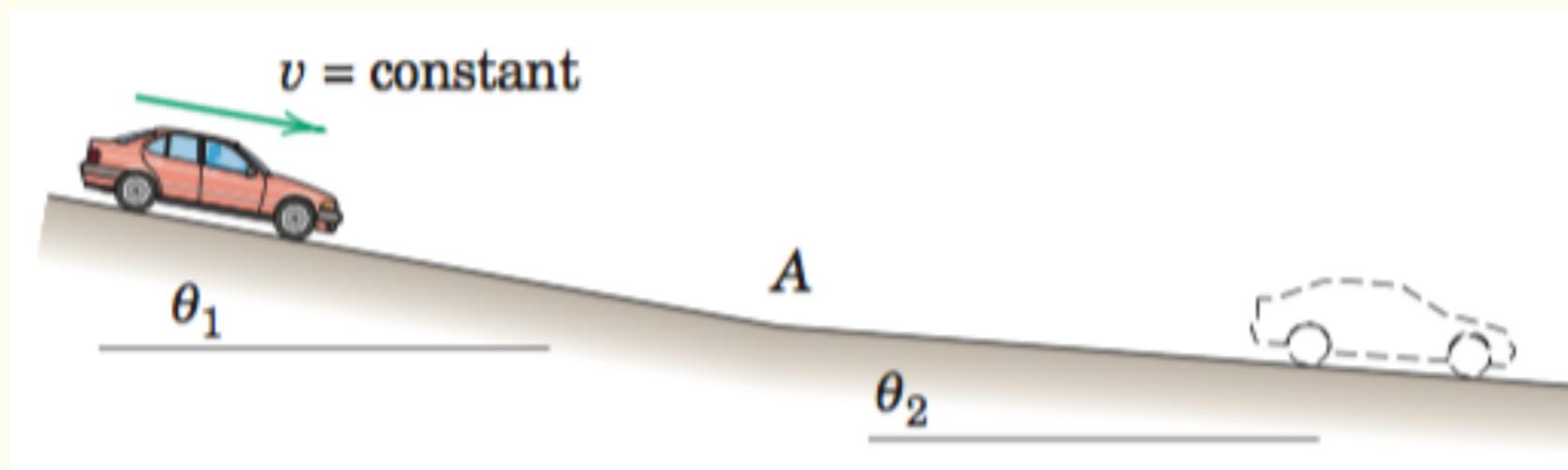
A continuación se añaden unos problemas extra con respuesta.
Espero les sirvan para estudiar.

(Nota: se le agradece a la Profa. Griselda por compilar algunos de estos problemas)

Problema #1 (Corto)

(Meriam & Kraige 7ed, 3.12)

Un auto desciende por una pendiente con un ángulo θ_1 presionando ligeramente los frenos, de tal forma que la velocidad sea constante. En el punto A la pendiente cambia a un ángulo $\theta_2 < \theta_1$. Si el conductor no cambia la fuerza en los frenos, determine la aceleración del auto después de que pasa por el punto A.



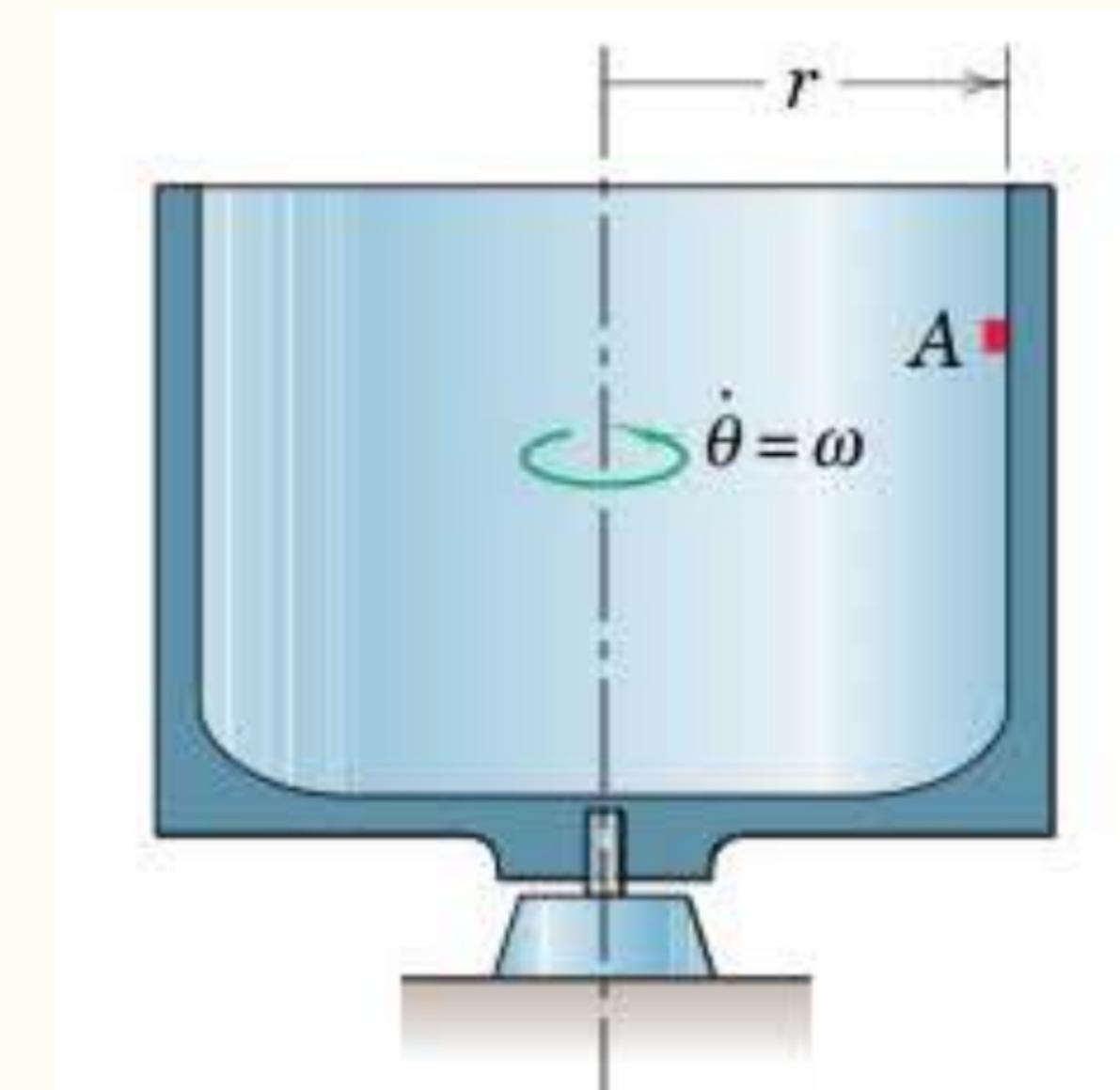
Respuesta: $a = g(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)$

Problema #2 (Corto)

(Meriam & Kraige 6ed, 3.75)

Un objeto A se encuentra dentro de una centrifugadora de radio r . Si el coeficiente de roce estático entre A y la pared de la centrifugadora es μ_s , determine la velocidad angular mínima para que A no caiga.

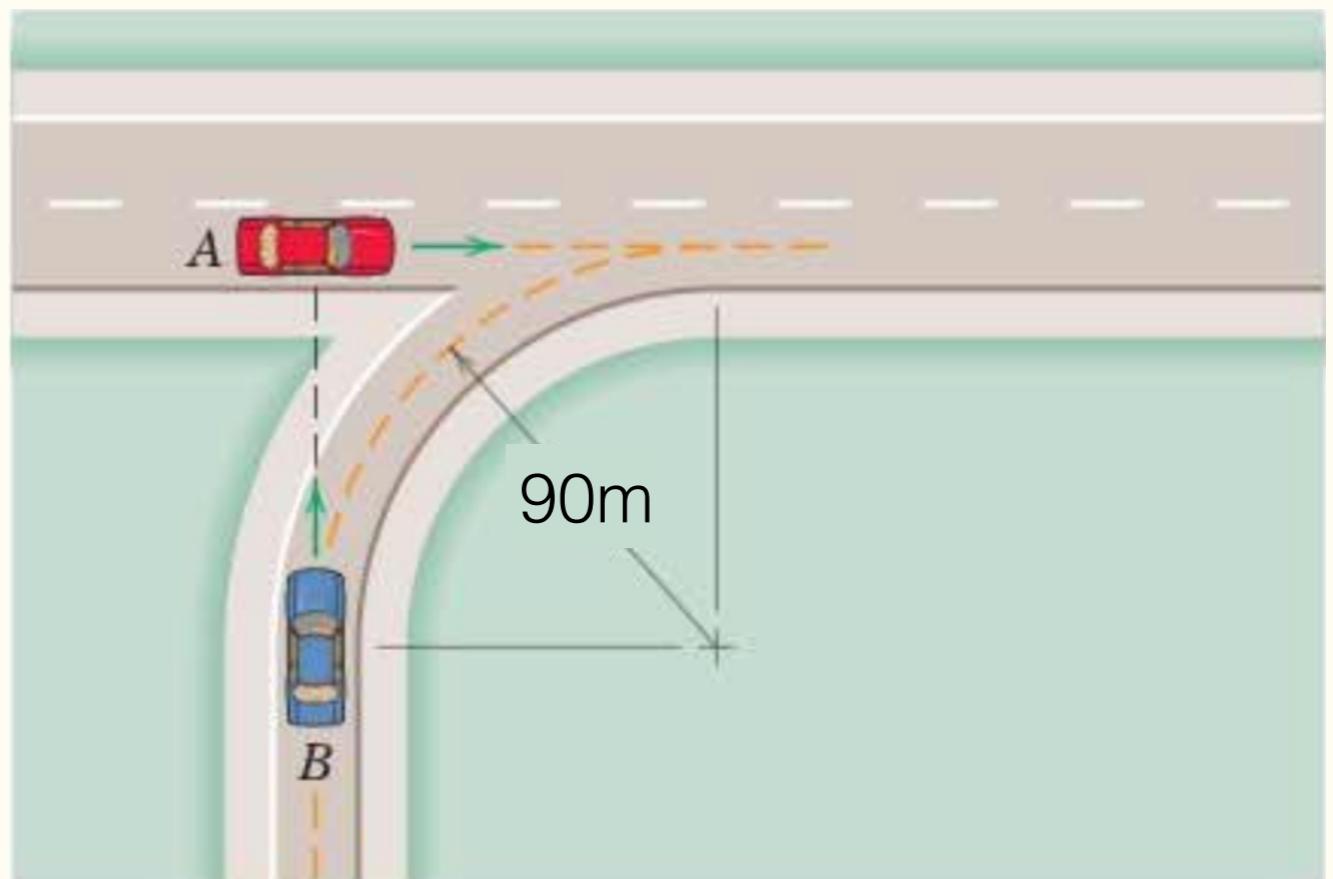
$$\text{Respuesta: } \omega = \sqrt{\frac{g}{\mu_s r}}$$



Problema #3 (Corto)

(Meriam & Kraige 6ed, 12.59)

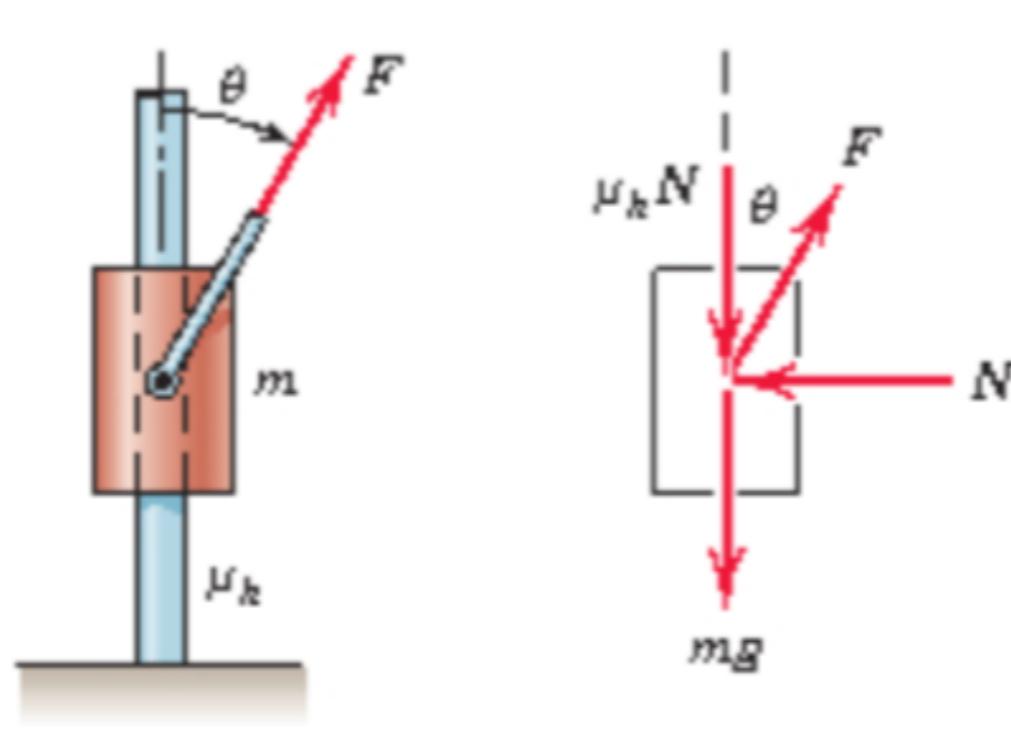
El auto A se desplaza en línea recta con una velocidad constante de 105 km/h. En el instante mostrado en la figura ($t=0$), el auto B tiene una velocidad de 40 km/h, y se acelera con 0.9 m/s^2 . Cuando B alcanza una velocidad de 105 km/h, la aceleración cesa y se mantiene a esa velocidad. Una vez que los autos se mueven a velocidad constante, ¿cuál es la distancia entre ellos?



Respuesta: A adelanta a B por 232.6 m

Problema #4

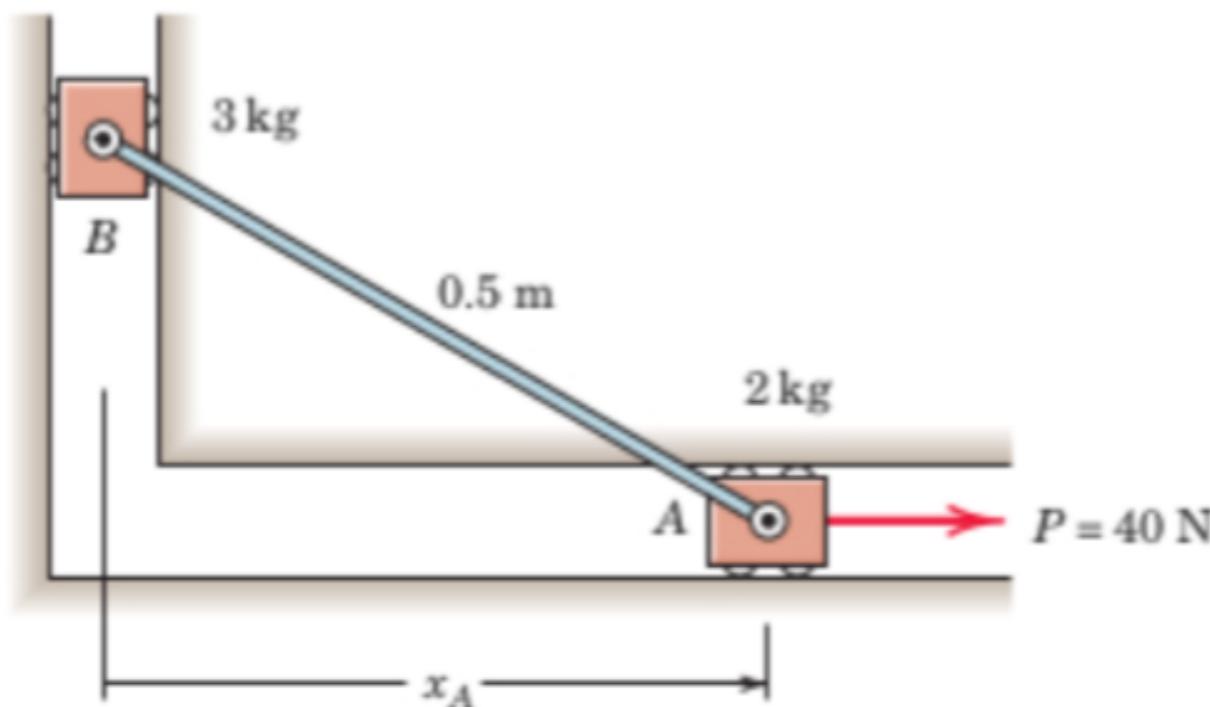
El collar de la figura de masa m se desplaza verticalmente bajo la acción de una fuerza F de magnitud constante pero dirección variable. Si $\theta = k t$ donde k es una constante y si el collar parte del reposo en $\theta = 0$, determinar la magnitud de la fuerza F que provoca que el collar quede en reposo cuando $\theta = \pi/2$. El coeficiente de roce entre el collar y el eje es μ .



$$\text{Rta.: } F = \frac{mg\pi}{2(1 - \mu)}$$

Problema #5

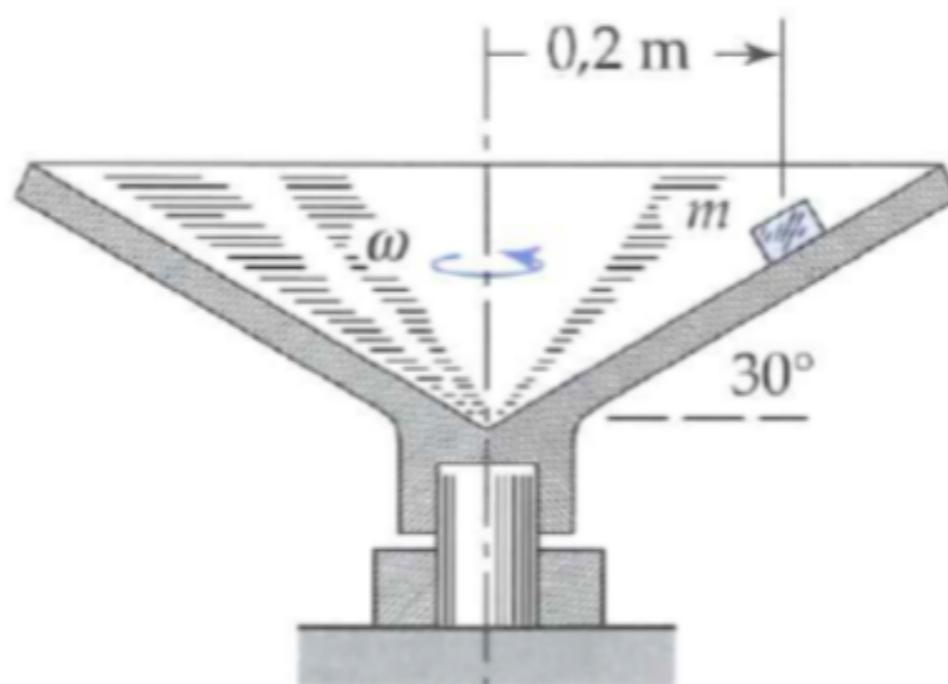
Los deslizadores A y B están conectados por una barra rígida muy liviana de 0.5 m de longitud y se mueven con fricción despreciable en los canales. Para la posición en que $x_A = 0.4$ m, la velocidad de A es $v_A = 0.9$ m/s hacia la derecha. Determinar la aceleración de cada deslizador y la fuerza en la barra en ese instante.



Rtas.: $a_A = 1.36 \text{ m/s}^2$; $a_B = -9.32 \text{ m/s}^2$; $T = 46.6 \text{ N}$

Problema #6

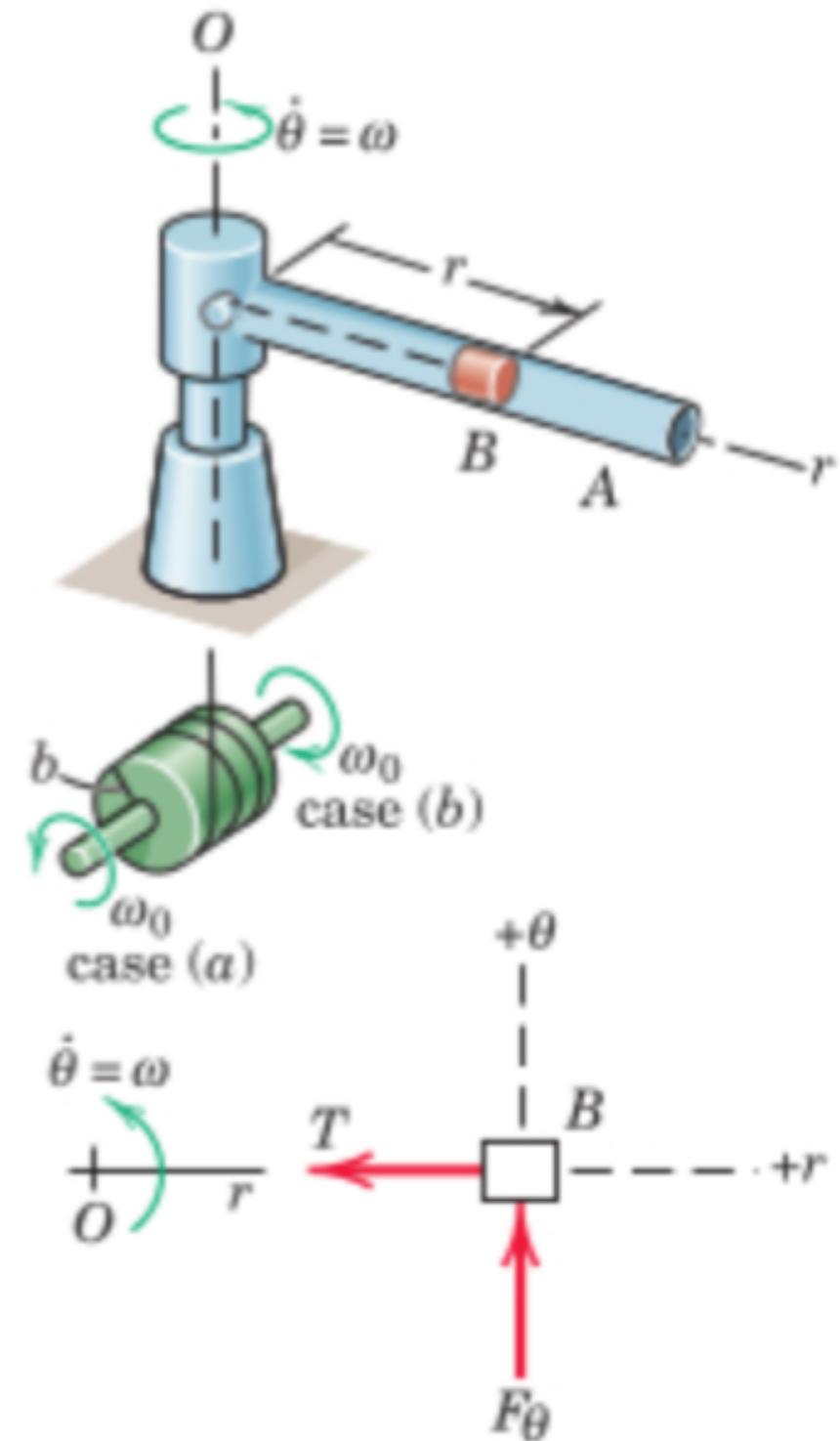
Se ubica un pequeño objeto dentro de la cazoleta cónica, en la posición que se indica. Si el coeficiente de rozamiento estático entre el objeto y la superficie es **0.3**, ¿para qué valores de velocidad de rotación en torno al eje vertical no se deslizará el objeto?. Considere que los cambios en la velocidad angular se realizan muy lentamente de modo que puede despreciar la aceleración angular.



$$\text{Rta.: } 3.41 \text{ rad/s} < \omega < 7.21 \text{ rad/s}$$

Problema #7

El tubo *A* rota alrededor del eje vertical *O* con rapidez angular constante, $\dot{\theta} = \omega$ y contiene en su interior un pequeño cilindro *B* de masa *m* cuya posición radial es controlada por una cuerda que pasa libremente por el tubo y se enrolla en el cilindro de eje *b*. Determinar la tensión *T* en la cuerda y la componente horizontal de la fuerza ejercida por el tubo sobre el cilindro *B* si la rapidez angular es ω_0 en cada uno de los dos sentidos posibles. Despreciar la fricción.

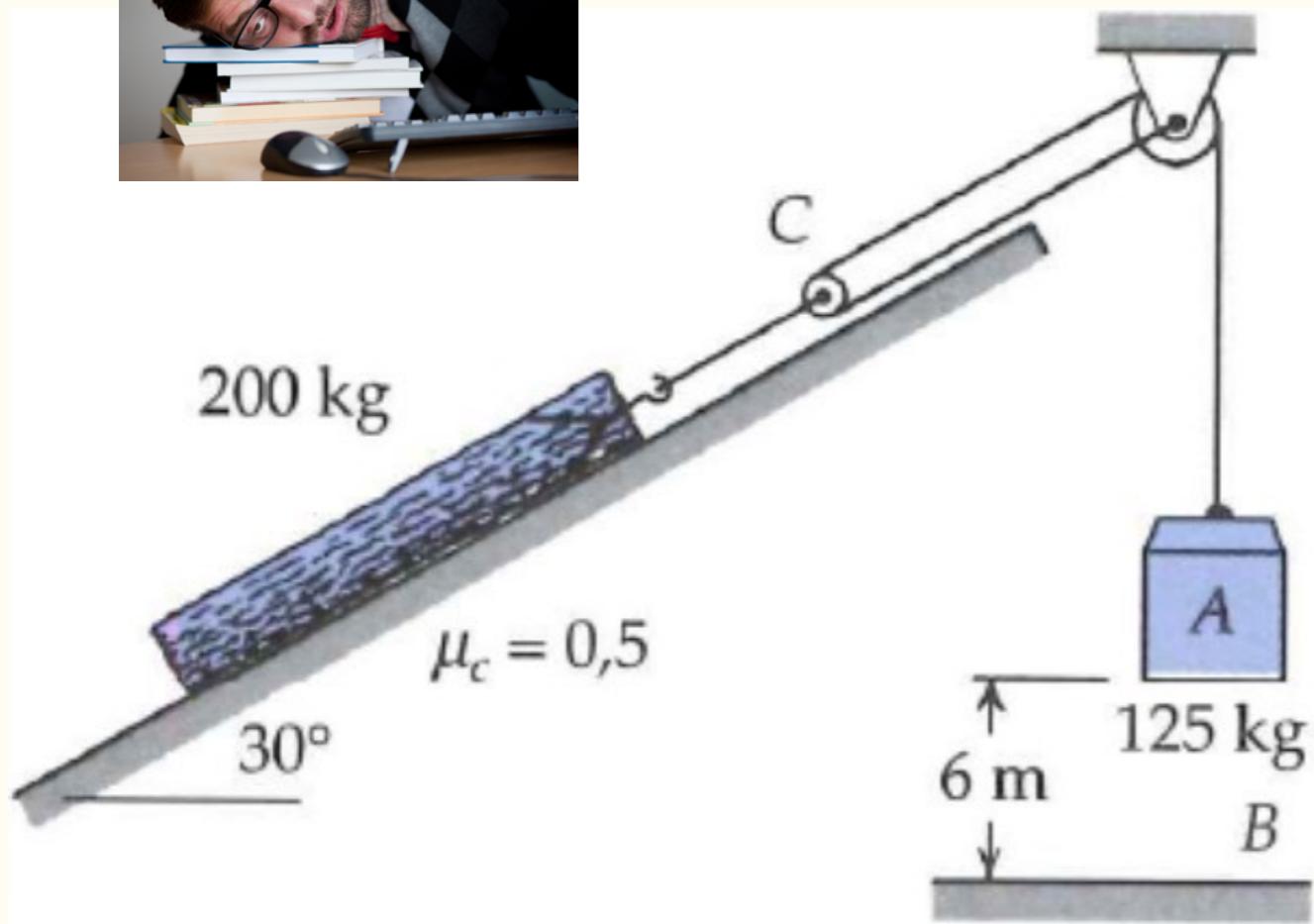


Rtas.: $\pm 2 m b \omega_0 \omega$

Problema #8

(No en los libros)

(este problema no es el
más corto del mundo)



Se tiene un bloque de hormigón A con masa 125kg que se deja caer desde el reposo, arrastrando un tronco de madera por la rampa inclinada a 30° a través del sistema de poleas mostrado en la figura. Si el coeficiente de roce cinético entre el tronco y la rampa es de 0.5, encuentre la velocidad de A cuando se impacta con el suelo en B. Considere poleas y cuerdas ideales (es decir sin masa).

(resolver en pizarra)

Respuesta: 4.6 m/s

Próximo tema: trabajo y energía

