Interacciones fundamentales.

Todo lo que se ha comprendido de la Naturaleza se basa en 4 interacciones entre partículas, que se consideran fundamentales:

- interacción gravitatoria
- interacción electromagnética
- interacciones nucleares fuertes
- interacciones nucleares débiles.

Además, contamos con teorías unificadas, en las cuales varias de estas interacciones se ven como distintas manifestaciones de un modelo "más fundamental"

En este curso trabajaremos con la interacción gravitatoria en la forma que introdujo Newton.

También trabajaremos interacciones efectivas entre cuerpos macroscópicos. En general estas interacciones manifiestan propiedades del estado sólido de la materia y tienen origen en interacciones electromagnéticas.

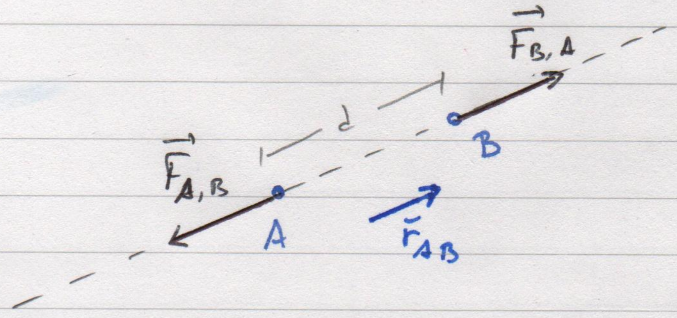
. Interacciones y distancia.

Las interacciones fundamentales se observan en partículas separadas por cierta distancia; no son instantáneas: si una partícula cambia su estado, la otra tarda un tiempo en "enterarse".
La interacción es una señal que se propaga (viaja) con velocidad finita, muy rápida comparada con la velocidad de los cuerpos que consideramos en Física I.

Dicho esto, usaremos la aproximación de interacción instantánea; es decir, suponemos que no hay diferencia de tiempo entre que una partícula manifiesta la interacción y la otra la recibe.

En esta aproximación aceptamos la forma fuerte de la Tercera Ley de Newton:

"La interacción entre dos partículas elementales se describe con fuerzas opuestas en la dirección de la recta que pasa por ambas partículas"



Si usamos un versor desde A hacia B, $\check{r}_{AB} = \dfrac{\vec{r}_B - \vec{r}_A}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|}$,

$$\vec{F}_{B,A} = F(d)\, \check{r}_{AB} \qquad \vec{F}_{A,B} = -F(d)\, \check{r}_{AB}$$

donde $F(d)$ es un valor (positivo o negativo) que depende de la distancia d

Es interesante discutir la diferencia entre la "forma débil" y la "forma fuerte" de la Tercera Ley, pero excede nuestro programa.

Para tratar la propagación de interacciones a distancia es necesario introducir el concepto de "campo" (campo gravitatorio, campo electromagnético, etc) y darle "dinámica propia".

Ley de Gravitación Universal (Newton)

"Dos partículas A y B, con masas m_A y m_B y posiciones $\vec{r}_A$ y $\vec{r}_B$ distintas se atraen entre sí con una fuerza de módulo

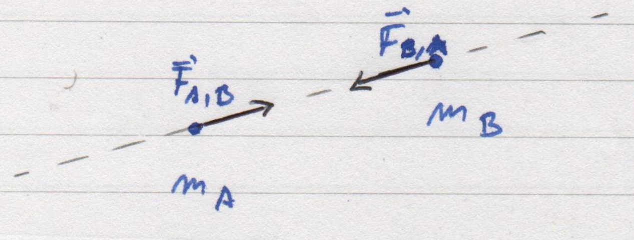
$$F(d) = G \frac{m_A \, m_B}{d^2}$$

donde $d = |\vec{r}_B - \vec{r}_A|$ es la distancia que las separa"

En unidades del Sistema Internacional

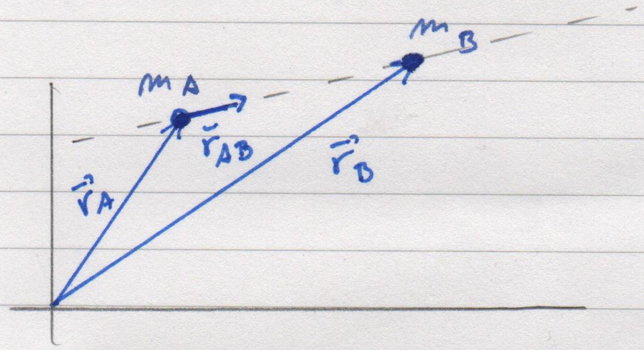
$$G = 6{,}674 \cdot 10^{-11} \, \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

es la constante de Newton o constante de gravitación universal.



atracción gravitatoria

En forma vectorial,



$$\breve{r}_{AB} = \frac{\vec{r}_B - \vec{r}_A}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|}$$: versor que va desde A hacia B.

$$\vec{F}_{B,A} = -G \frac{m_A m_B}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|^2} \breve{r}_{AB}$$: fuerza gravitatoria de A sobre B

$$\vec{F}_{A,B} = +G \frac{m_A m_B}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|^2} \breve{r}_{AB}$$: fuerza gravitatoria de B sobre A.

Evidentemente cumplen la forma fuerte de la Tercera Ley de Newton.

Masa gravitatoria y Masa inercial - Principio de Equivalencia

· Recordemos que la masa de un cuerpo, tal como interviene en la Segunda Ley de Newton, se llama masa inercial.

· Ahora, la masa de un cuerpo, tal como interviene en la Ley de Gravitación Universal, se llama masa gravitatoria.

. El Principio de Equivalencia afirma que estas masas son indistinguibles, en cualquier experimento. Las llamamos masa.

El Principio de Equivalencia es un concepto fundamental en la teoría de gravitación de Einstein (Relatividad General)

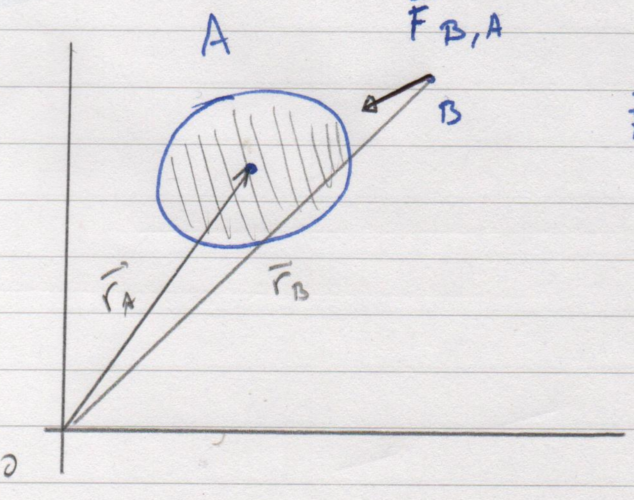
Observación: · la Ley de Gravitación Universal de Newton postula una interacción a distancia instantánea.

(1915) · la teoría de Einstein describe la dinámica del campo gravitatorio y predice ondas gravitacionales.

· en 2017 la colaboración LIGO recibió el premio Nobel de Física por la primer detección experimental de ondas gravitatorias.

<u>Propiedad</u>: "la atracción gravitatoria entre un cuerpo no puntual A, con simetría esférica, y un cuerpo puntual B externo a A se puede describir como si el cuerpo A fuera un punto ubicado en el centro de A."

Demostración: no la hacemos, pueden consultar la sección 11.5 (opcional) del libro de Tipler.



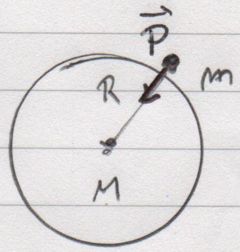
$$\vec{F}_{B,A} = -\frac{G\,m_A m_B}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|^2}\,\check{r}_{AB}$$

"como si A fuera puntual"

Atracción gravitatoria y fuerza Peso

Cuando consideramos un planeta (aproximadamente esférico) de radio R y masa M, y un cuerpo puntual (una partícula) de masa m cercana a su superficie, la fuerza gravitatoria que el planeta hace sobre el cuerpo se llama peso del cuerpo (en ese planeta)

El vector peso ($\vec{P}$) se calcula según la Ley de Gravitación Universal



$$|\vec{P}| = G\frac{M\,m}{R^2} = \overbrace{\left(\frac{GM}{R^2}\right)}^{g} m$$

$\vec{P}$ apunta hacia el centro del planeta

En la Tierra, $M = 5{,}9722 \cdot 10^{24}$ kg

$R = 6.370 \cdot 10^{3}$ m

Para un objeto de masa m_1, el peso (en módulo) es

metros

masa m

$$P_1 = 6{,}674 \cdot 10^{11} \frac{N\,m^2}{kg^2} \cdot \frac{5{,}9722 \cdot 10^{24}\ kg}{(6.37 \cdot 10^{6}\ m)^2} \cdot m_1$$

$$P_1 = \underbrace{9{,}81 \frac{m}{s^2}}_{} \cdot m_1$$

g, aceleración de la gravedad en la Tierra.

$\therefore$ $\boxed{P = mg}$ definiendo $\vec{g}$ como vector hacia el centro del planeta $\boxed{\vec{P} = m\vec{g}}$

Fuerzas fenomenológicas

Los objetos sólidos, macroscópicos, están constituidos por átomos que ejercen fuerzas entre sí.
Al usar el modelo de partícula puntual acordamos no discutir esas fuerzas (internas), las que dan estructura (interna) al objeto.

Las interacciones de un objeto sólido con otros objetos se describen en forma fenomenológica: aunque sabemos que son la resultante de interacciones fundamentales entre las partículas elementales, las describimos con modelos prácticos (empíricos).

Ejemplos (que usamos en los ejercicios)

- Tensión de una cuerda ideal

Vamos a usar un modelo de cuerda ideal: la consideramos inextensible ("no elástica") y de masa "nula" (despreciable en comparación con la masa de otros objetos de interés.

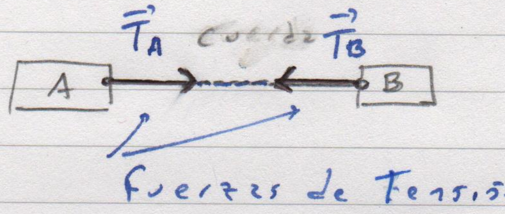
Cuando una cuerda ideal se mantiene tirante entre dos objetos, ejerce sobre ellos sendas fuerzas que:

- apuntan en la dirección de la cuerda, en el sentido en que se encuentra la cuerda

- tienen el mismo módulo.

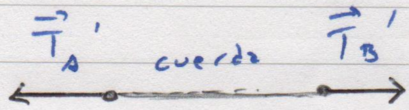
A estas fuerzas las llamamos Tensión

Esquema:



Discusión de acción y reacción: (entre 3 cuerpos: A, B, cuerda)

- como la cuerda ejerce fuerza $\vec{T}_B$ sobre B, existe la reacción que B ejerce sobre la cuerda ($\vec{T}_B'$)
- como la cuerda ejerce fuerza $\vec{T}_A$ sobre A, existe la reacción que A ejerce sobre la cuerda. ($\vec{T}_A'$)
- como la cuerda no tiene masa, tampoco tiene peso.
- La 2da Ley de Newton, en un sistema inercial, aplicada al cuerpo cuerda, indica que



$$\vec{T}_A' + \vec{T}_B' = \cancel{m}_{cuerda}\, \vec{a}_{cuerda}^{\,0}$$

$$\vec{T}_A' = -\vec{T}_B'$$

Luego las fuerzas sobre A y B son opuestas:

$$\vec{T}_B = -\vec{T}_B' = \vec{T}_A' = -\vec{T}_A \Rightarrow \vec{T}_B = -\vec{T}_A$$

Cuerda ideal como mediadora de la interacción de dos cuerpos macroscópicos:

(sigue en página 9)

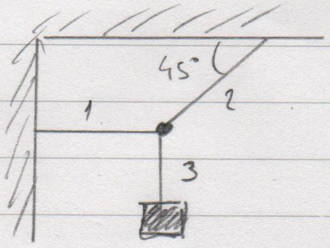
En la práctica podemos decir que, mediante la cuerda ideal,

- A ejerce sobre B una fuerza $\vec{T}_B$
- B ejerce sobre A una fuerza $\vec{T}_A$
- el par de fuerzas $\vec{T}_A$ y $\vec{T}_B$ cumple con la Tercera Ley de Newton:

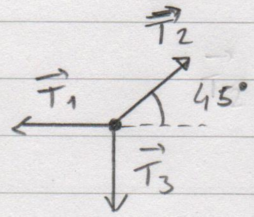
$$\vec{T}_B = -\vec{T}_A$$

En los ejercicios, en general conocemos la dirección y sentido de las fuerzas de tensión, a partir del dibujo de la situación.

Ejemplo:

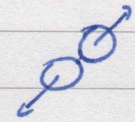


si elegimos estudiar el nudo del dibujo, sobre el nudo actúan tres fuerzas de Tensión:

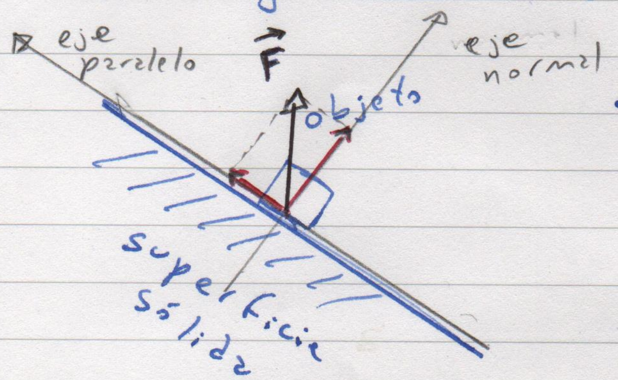


Fuerzas de contacto entre un cuerpo y una superficie

Cuando un cuerpo está en contacto con otro, se ejercen fuerzas entre sí para no penetrarse.

Por ejemplo, en el choque de bolas de billar. 

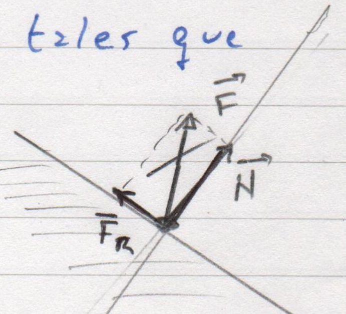
Cuando uno de los cuerpos presenta una superficie plana, podemos caracterizar la fuerza de interacción de la siguiente manera:



- consideramos la fuerza que la superficie hace sobre el objeto, $\vec{F}$
- la descomponemos en una dirección normal a la superficie y una dirección paralela a la superficie

- reemplazamos la fuerza $\vec{F}$ por dos vectores fuerza,
  - $\vec{N}$: fuerza normal, perpendicular a la superficie y naturalmente hacia afuera
  - $\vec{F}_R$: fuerza de roce, paralela a la superficie.

tales que $\vec{N} + \vec{F}_R = \vec{F}$



En la práctica, representamos esta interacción como dos fuerzas: Normal y Fuerza de Roce.

Discusión de acción y reacción:

- Dado que la superficie ejerce una fuerza $\vec{F}$ sobre el cuerpo, el cuerpo ejerce una fuerza $-\vec{F}$ sobre la superficie.

- Si decimos que la superficie ejerce dos fuerzas,
  $\vec{N}$ y $\vec{F}_R$ sobre el cuerpo,
  corresponde decir que el cuerpo ejerce dos fuerzas,
  $-\vec{N}$ y $-\vec{F}_R$ sobre la superficie.

En la práctica es usual llamar con ' a las reacciones;
si $\vec{F}$ actúa sobre el cuerpo,
la reacción $\vec{F}'$ actúa sobre la superficie; por supuesto, $\vec{F}' = -\vec{F}$

En la clase 10 trabajaremos más sobre la caracterización de las fuerzas de roce.

Fuerzas elásticas - modelo de resorte

Trabajaremos un modelo de resorte ideal.

Es similar a una cuerda ideal, pero en este caso será una barra extensible, de masa despreciable, que hace fuerzas sobre dos objetos unidos a sus extremos.

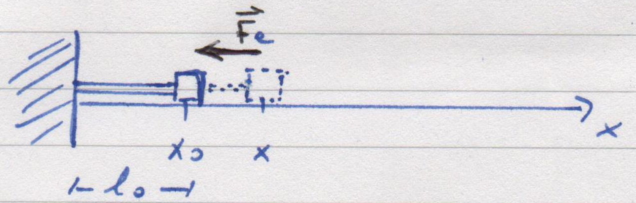
Ley de Hooke: • la barra (resorte) tiene una longitud natural l_0, en la cual no ejerce fuerzas.

• cuando se deforma a una longitud $l \neq l_0$ ejerce fuerzas sobre los objetos:

• atractivas si $l > l_0$
• repulsivas si $l < l_0$
, de módulo proporcional a $|l - l_0|$

Ley de Hooke, forma matemática.

Consideremos un resorte con un extremo fijo a una pared, y el otro fijo a un objeto móvil en una dirección x



. elegimos un eje x de coordenadas.

- medimos la posición x_0 tal que el resorte esté en su longitud natural; es decir, no ejerce fuerza sobre el objeto. (se dice que x_0 es la "posición de equilibrio")

- cuando el objeto ocupa una posición $x \neq x_0$ el resorte está deformado y ejerce fuerza sobre el objeto, proporcional a $|x - x_0|$

- la fuerza elástica $\vec{F}_e$ depende de la posición x y se describe con la expresión

$$\boxed{\vec{F}_e = -k\,(x - x_0)\,\breve{i}}$$

donde k se llama "constante del resorte" y tiene unidades apropiadas:

$$[\vec{F}] = [k]\,[l]$$

en el Sistema Internacional, $[k] = N/m$.

- observen que:

si $x > x_0$, $\vec{F}_e$ tiene sentido opuesto al versor $\breve{i}$
"la pared atrae al objeto".

si $x < x_0$, $\vec{F}_e$ tiene el sentido de $\breve{i}$
"la pared repele al objeto"

Aplicación de las Leyes de Newton
(Recomendaciones para la práctica.)

- En primer lugar se debe identificar un sistema de referencia inercial, en el cual podemos usar la Segunda Ley.

  En la práctica "aceptaremos que un sistema fijo en el suelo es inercial."
  En realidad no lo es; por ejemplo, estar fijos en el suelo nos induce a pensar que el Sol gira alrededor nuestro

  Mejoremos la caracterización: para describir movimientos en una región "cercana" a un observador fijo en el suelo, aceptaremos que ese observador es (aproximadamente) inercial.

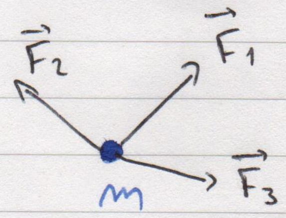
  Entendiendo por "cercana" distancias mucho menores que el radio de la Tierra; o bien, una región donde el suelo se pueda considerar aproximadamente plano.

- En esta escala de trabajo, cualquier sistema de referencia que se mueva con $\vec{V}$ constante respecto del suelo también es inercial, y se puede usar para plantear la Segunda Ley de Newton.

- Luego se debe identificar el cuerpo que se va a describir, y su masa m; dibujar el cuerpo y el contexto.
- Luego se deben identificar todas las fuerzas (*) que actúan sobre el cuerpo de interés.

Por cada fuerza es recomendable preguntarse qué otro cuerpo la ejerce.

- Si es posible, conviene conocer las características de movimiento del cuerpo y en particular su aceleración
- Finalmente, se plantea la Segunda Ley para el cuerpo de interés:



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

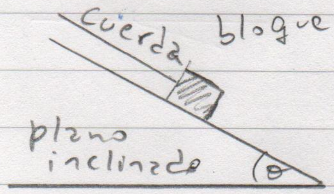
- En cada situación hay que distinguir cuáles cantidades se conocen, y cuáles son incógnitas, para controlar si se cuenta con igual número de ecuaciones que de incógnitas.
  En ese caso se podrán resolver las incógnitas
- Si encuentran más incógnitas que ecuaciones, busquen si hay información adicional que no hayan utilizado ("relaciones auxiliares".

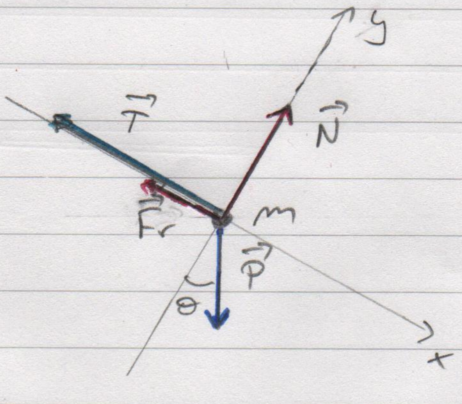
(*) Diagramas de cuerpo libre

Para representar todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo de interés, y para sumarlas como vectores, recomendamos hacer un "diagrama de cuerpo libre":

- representar el cuerpo como un punto, en un dibujo auxiliar (sin el detalle gráfico de la situación)
- copiar cada fuerza como un vector con origen en el punto-partícula.
- elegir ejes cartesianos para trabajar los vectores en componentes.

Ejemplo:





$P_x = mg\,sen(\theta)$
$P_y = -mg\cos(\theta)$

$\vec{P}$: peso del cuerpo, ejercido por la Tierra; de módulo mg

$T_x = -T$
$T_y = 0$

$\vec{T}$: tensión, ejercida por la cuerda de módulo T

$N_x = 0$
$N_y = N$

$Fr_x = -Fr$
$Fr_y = 0$

$\vec{N}, \vec{F_r}$: normal y fuerza de roce, ejercidas por el plano. inclinado. de módulos N y Fr