

Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria

El Desarrollo Histórico y Reciente de la Física, la Química y la Tecnología, y del Conocimiento Escolar



Dpto. Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Vidal Fernández Canales



La historia es la ciencia más fundamental porque todo conocimiento pierde su carácter científico cuando los hombres olvidan las condiciones en las que se originó, las preguntas que venía a contestar.

E. Schrödinger, (1953)

Los textos de Física apenas prestan atención al contexto.

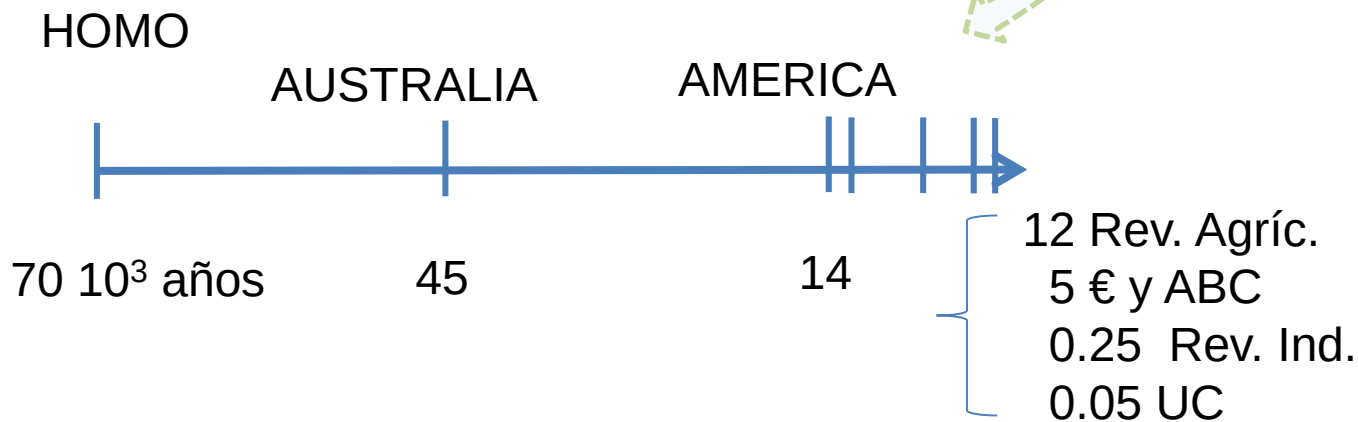
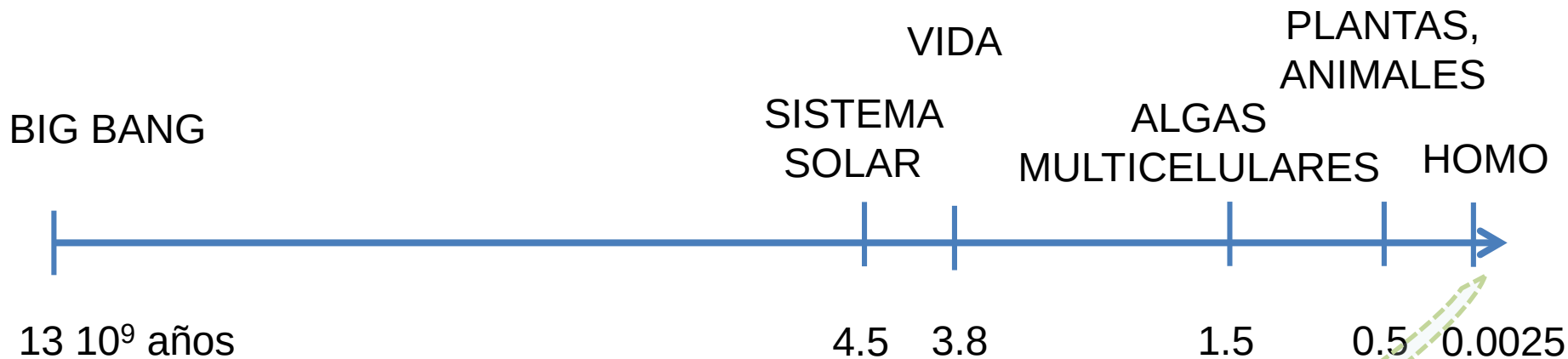
Problema añadido en segundo de bachillerato: el tiempo.

OBJETIVO: analizar algunos conceptos esenciales de la Física con su

- Contexto histórico
- Dificultades de los alumnos

1. Sistemas de referencia
2. Velocidad
3. Fuerzas sobre un objeto
4. Relatividad

Conceptos esenciales de Mecánica:
rama pionera de la Física



OBJETIVO: analizar algunos conceptos esenciales de la Física con su

- Contexto histórico
- Dificultades de los alumnos

1. Sistemas de referencia
2. Velocidad
3. Fuerzas sobre un objeto
4. Relatividad

Conceptos esenciales de Mecánica:
rama pionera de la Física

1 Sistemas de referencia

- punto de referencia (objeto material)
 - ejes de coordenadas
 - origen temporal
-
- ¿Cuál es la diferencia entre un sistema de referencia inercial y otro NO inercial?

Nos lleva a las leyes de Newton, pero antes merece entender el movimiento

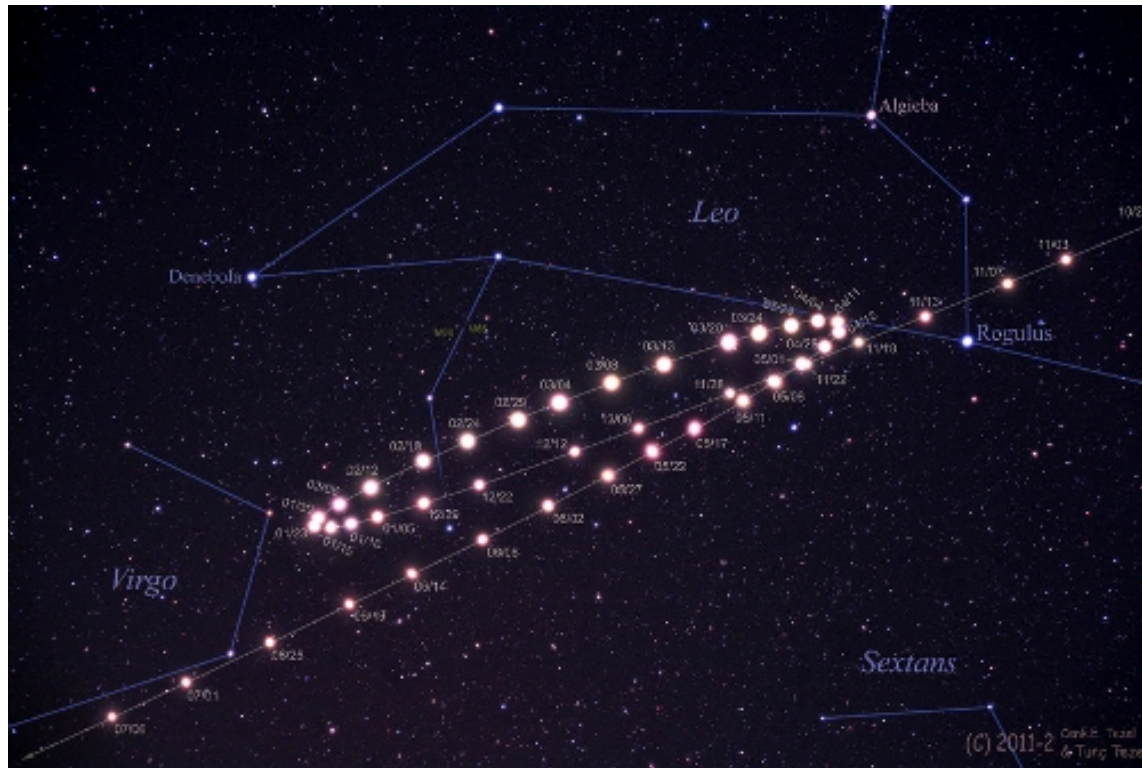
Tierra plana

- ¿Cómo podían pensar que la Tierra es plana?
- No lo pensaban.



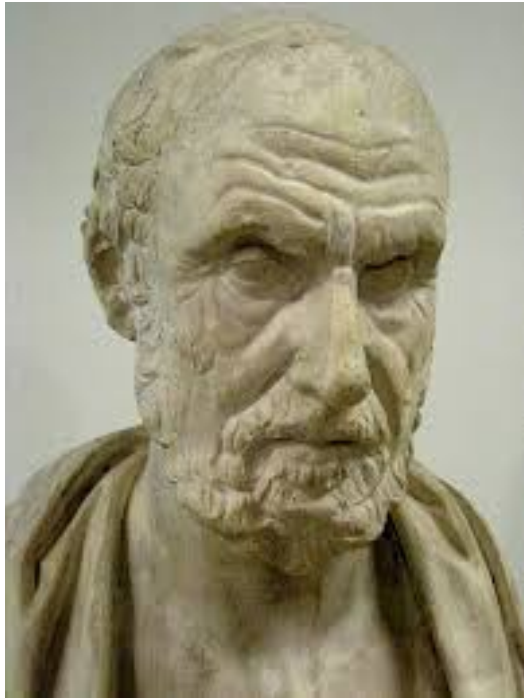
Tierra estática

- ¿Por qué pensaban que la Tierra no se mueve?



Tierra estática

- ¿Por qué pensaban que la Tierra no se mueve?



Contexto : heliocentrismo vs. geocentrismo

Desde la antigüedad se consideraba la Tierra el centro del Universo, estática.



Esto es lo que se percibe si observamos el cielo (cosa cada vez menos frecuente).

△ ¿A qué velocidad nos estamos moviendo debido a la rotación? ¿Y a la traslación?

1000 km/h

100 000 km/h

Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo

Esta visión presentaba inconsistencias que resuelve hacia el 150 **Ptolomeo** en El Almagesto.

La Tierra estática en el cielo

Las estrellas, con distancias fijas, giran alrededor de la Tierra de E a O

La Luna y el Sol giran con las estrellas pero añaden otro movimiento al este.

Los planetas se mueven en varias esferas.

También presentaba problemas por lo que hubo teorías alternativas:

pitagóricos: la Tierra es sólo uno de los planetas que giran alrededor de un fuego central

Aristarco de Samos: todo gira alrededor del Sol

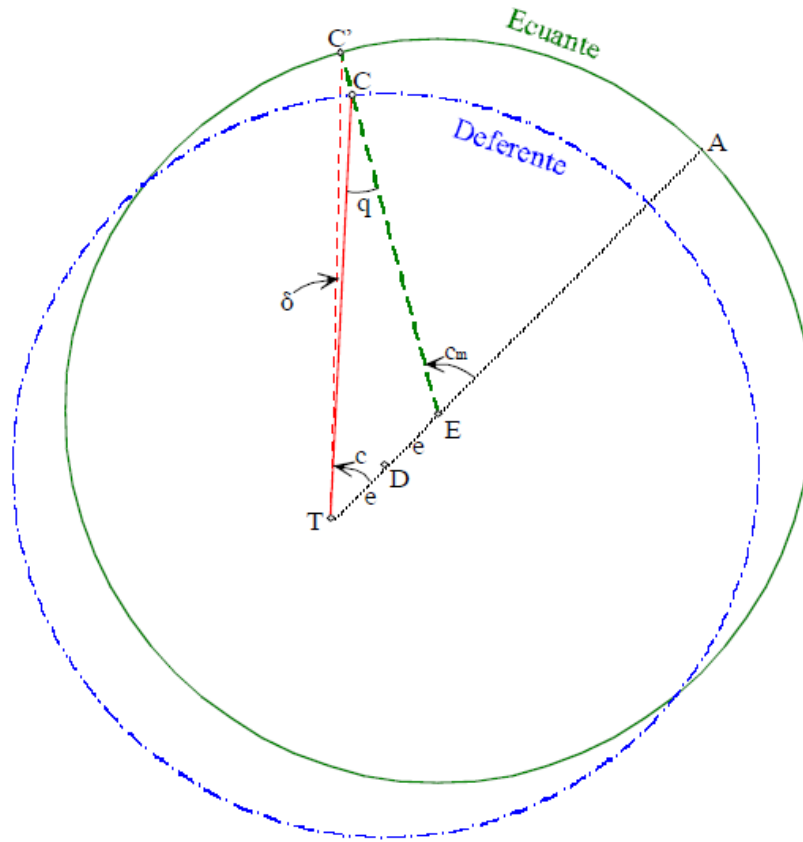
Heráclides del Ponto: la Tierra gira de oeste a este

...pero la teoría de Ptolomeo perduró 1600 años (es un modelo matemático muy elaborado).

Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo

El Almagesto, Ptolomeo, ¿por qué perduró 1600 años?

Es un modelo matemático muy elaborado y que funciona bien



Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo

El Almagesto, **Ptolomeo**, ¿por qué perduró 1600 años?

Es un modelo matemático muy elaborado y que funciona bien



Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo

El Almagesto, **Ptolomeo**, ¿por qué perduró 1600 años?



Eolípila (siglo I)

Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo

¿Rota la Tierra? (discusión sobre el asunto en el siglo XIV por Jean Buridan)

A FAVOR: el principio de economía, es más fácil mover a la pequeña Tierra que a los cielos inmensos.

EN CONTRA: si la Tierra rotase, sentiríamos una resistencia del aire mucho mayor que cabalgando



al lanzar una flecha hacia arriba vuelve al punto de lanzamiento en lugar de varios kilómetros al Oeste.

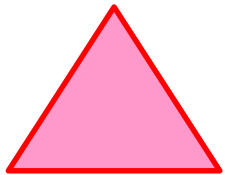
Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo

¿Rota la Tierra? (discusión sobre el asunto en el siglo XIV por Jean Buridan)

A FAVOR: el principio de economía, es más fácil mover a la pequeña Tierra que a los cielos inmensos.

EN CONTRA: si la Tierra rotase, sentiríamos una resistencia del aire mucho mayor que cabalgando

al lanzar una flecha hacia arriba vuelve al punto de lanzamiento en lugar de varios kilómetros al Oeste.



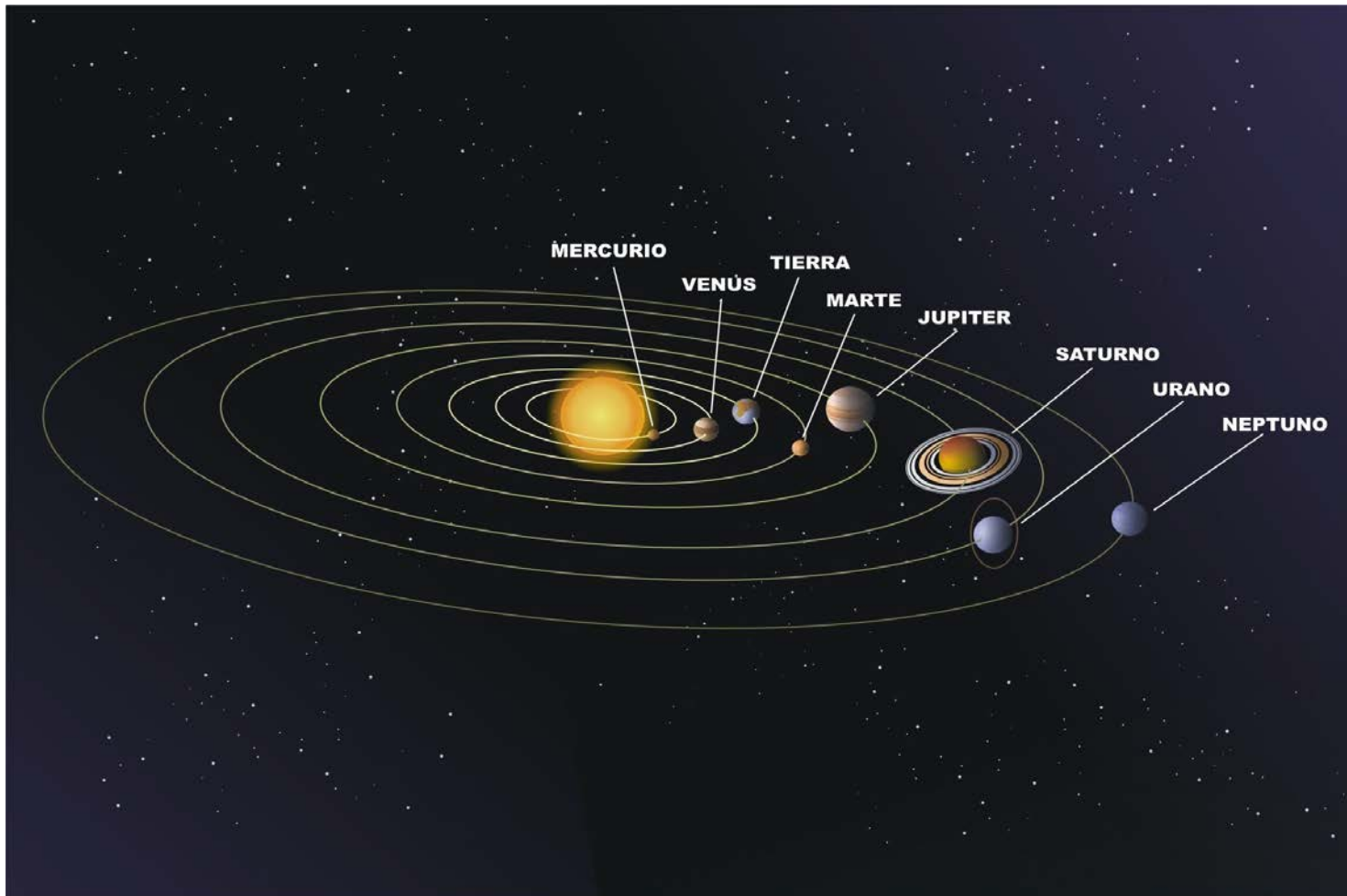


<https://www.youtube.com/watch?v=4qJlotcgVfc>

[Hipatia](#)

Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo

Copernico situó el Sol en el centro de giro de los astros del cielo



planetas

Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo

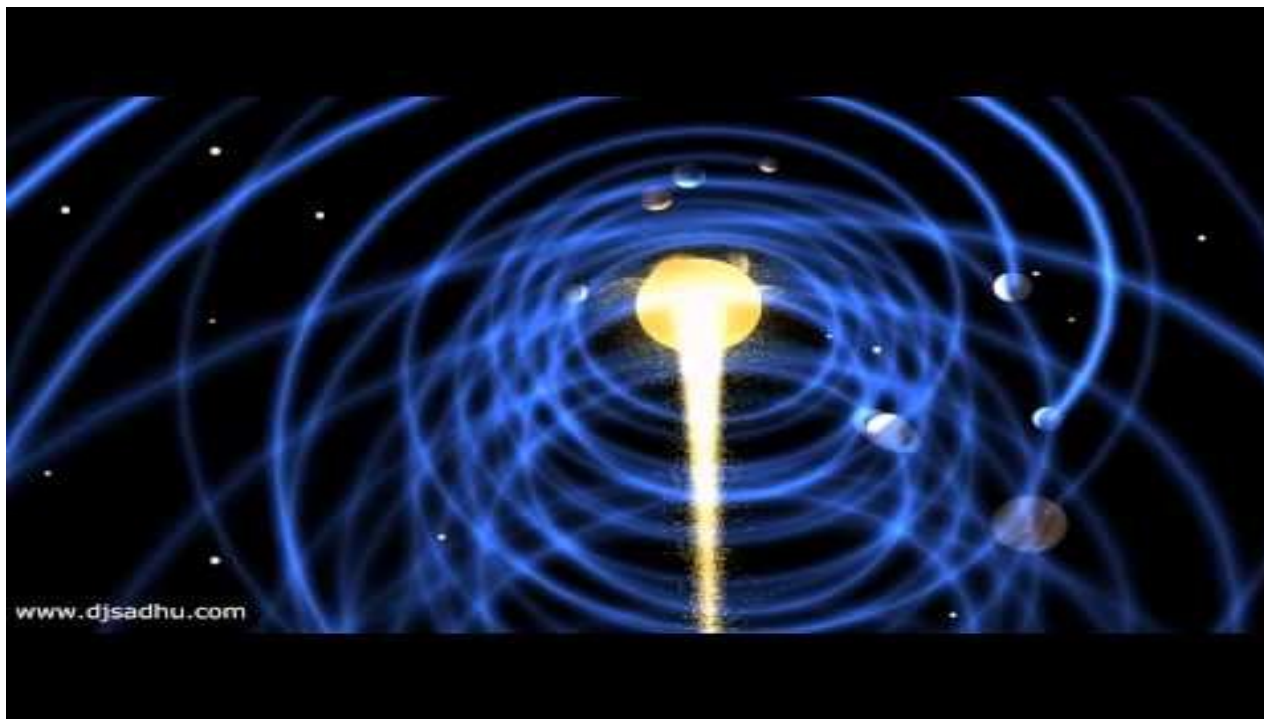
△ ¿Es correcta la imagen anterior?



1 Sistemas de referencia

Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo

△ ¿Es correcta la imagen anterior?



<https://youtu.be/IJhgZBn-LHg>

min. 17

<https://youtu.be/buqtdpuZxvk>

Contexto: heliocentrismo vs. geocentrismo



¿Es correcta la imagen anterior?

**El Sol gira respecto al centro de la galaxia,
la galaxia se mueve en el grupo local
el grupo local en el cúmulo de Virgo...**

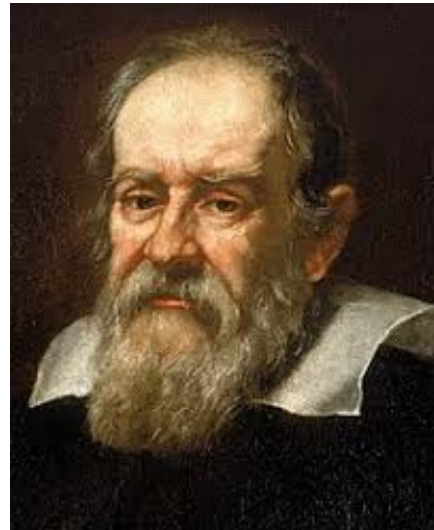
Movimiento de los planetas: {
Elipse en SR Sol
Hélice en SR centro galáctico

{
Para buscar un planeta en el cielo, -> SR ligado a la Tierra
Para mandar una sonda a Marte -> SR ligado al Sol.

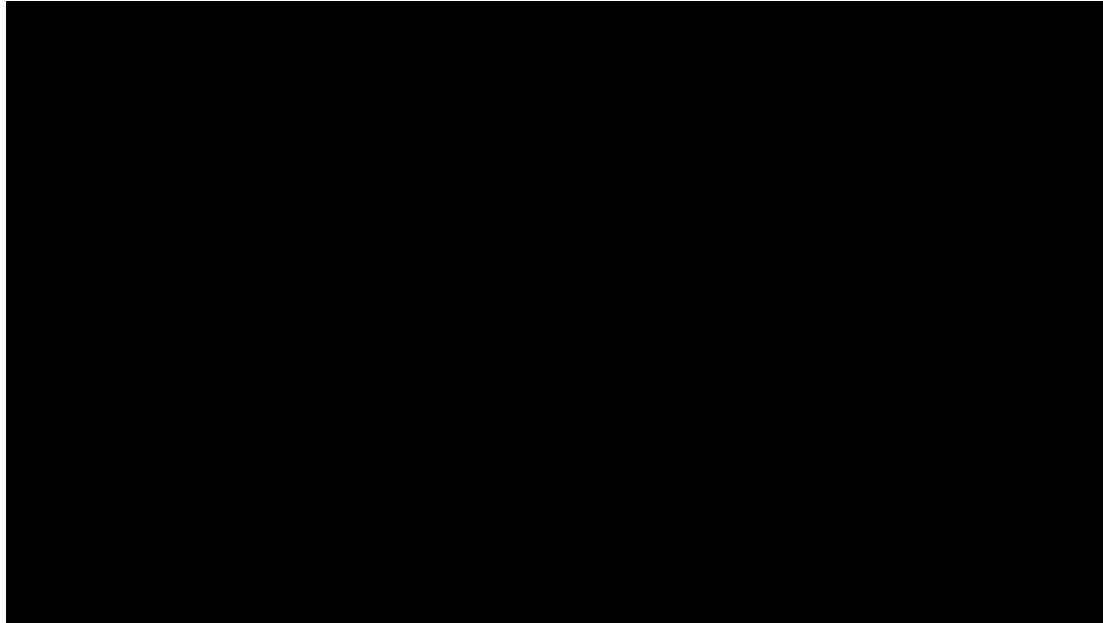
Pero si quisiéramos ir a otra estrella...

<https://www.youtube.com/watch?v=vwr3W0TzUvc>

La Tierra se mueve



El Sol se mueve



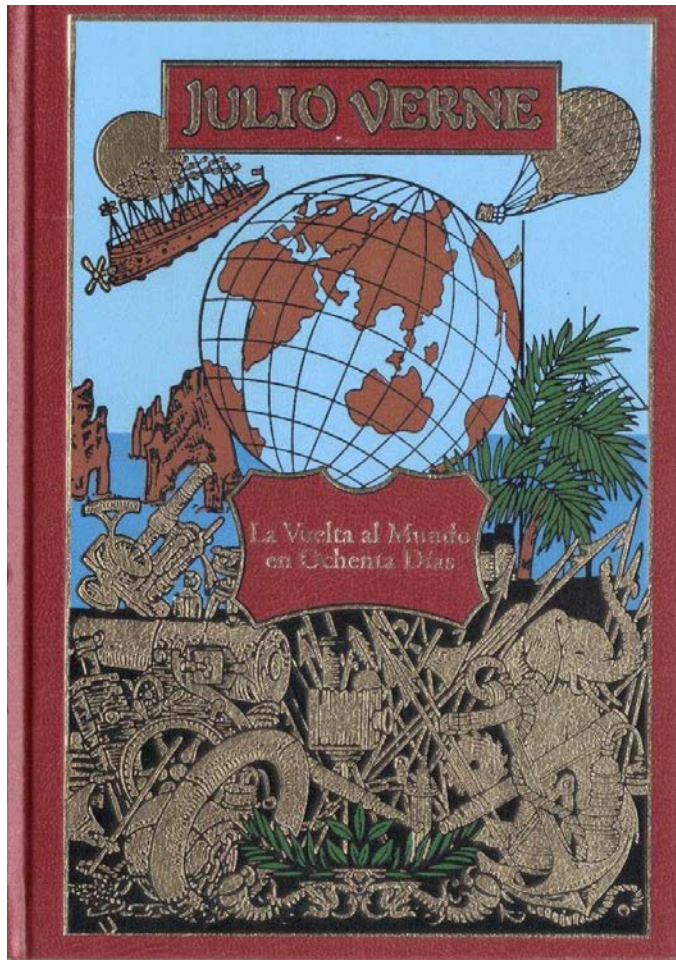
<https://www.youtube.com/watch?v=IJhgZBn-LHg>

Nos movemos



<https://www.youtube.com/watch?v=KaOC9danxNo>

El origen del problema



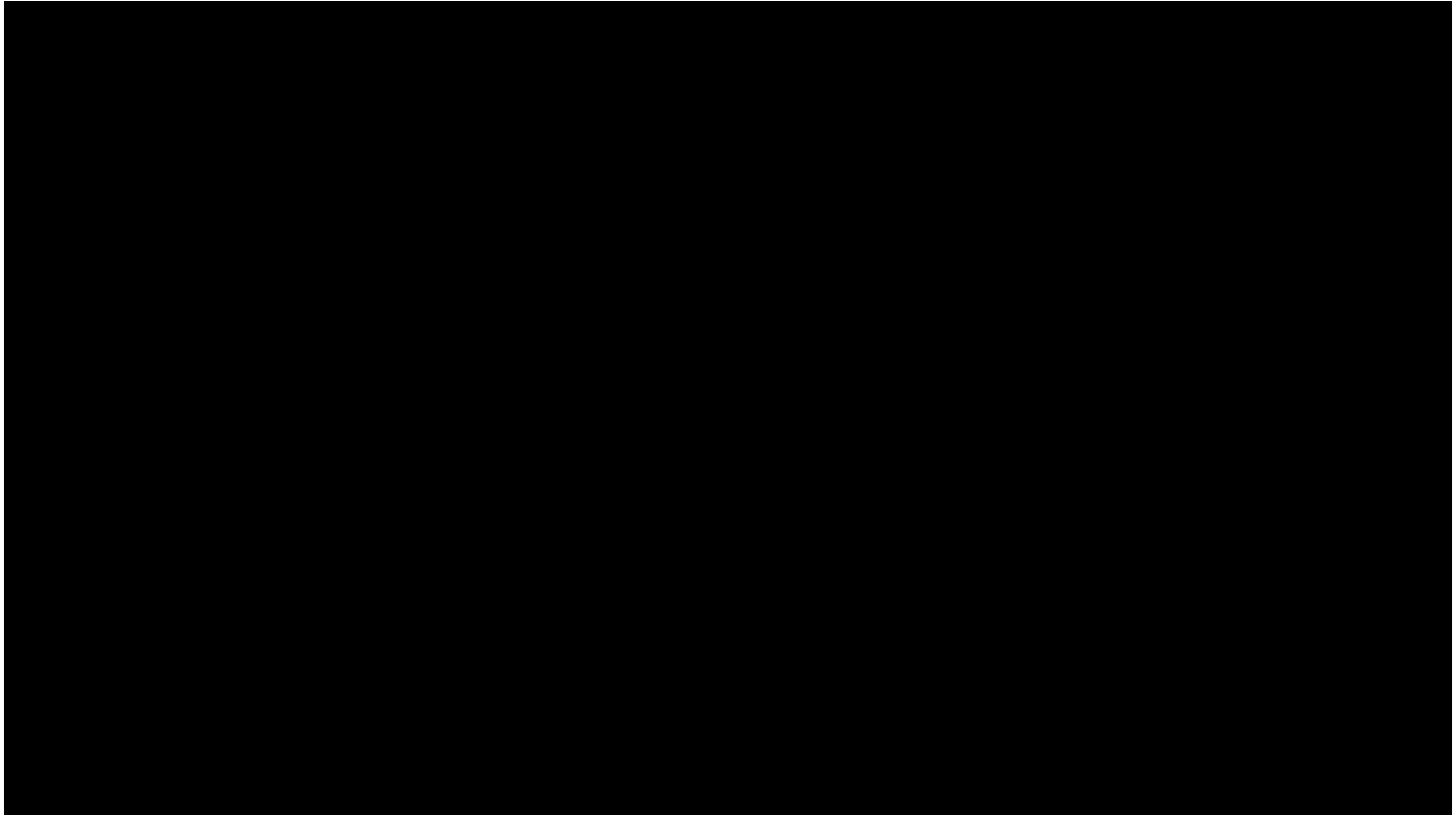
WF

...basado en hechos reales

Primera vuelta al mundo (Elcano, 1519-1522)



El movimiento es un concepto relativo



Contexto: línea de cambio de fecha

En un SR temporal.



Paradoja de la circumnavegación (siglo XIII)

Contexto: línea de cambio de fecha



△ Problema

Dos aviones despegan de Quito a las 10am

Uno vuela al E y otro al O

Ambos regresan al cabo de 24 horas



- Q ¿Cuántas noches vive cada piloto?
- Q ¿Dónde se cruzan? ¿es de noche?
- Q ¿Cuál es la hora y fecha local? ¿Y en Quito?

OBJETIVO: analizar algunos conceptos esenciales de la Física con su

- Contexto histórico
- Dificultades de los alumnos

1. Sistemas de referencia
2. Velocidad
3. Fuerzas sobre un objeto
4. Relatividad

Mecánica

Mecánica

Área de la Física que estudia cómo las interacciones entre objetos afectan a su movimiento.

Cinemática

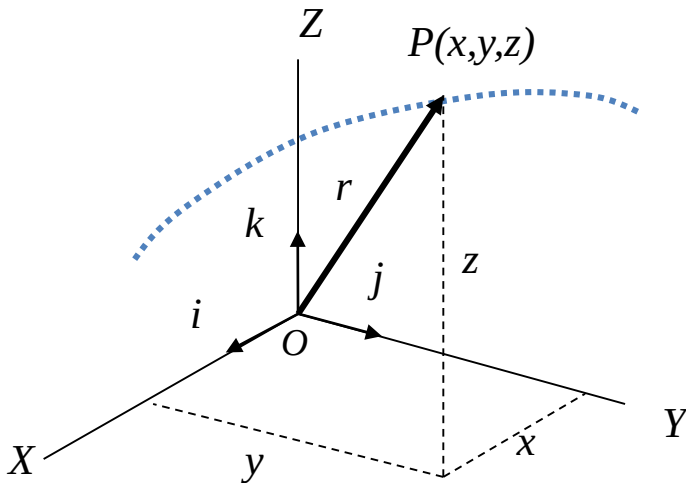
Descripción del movimiento.

Aproximación: Objetos  Masas puntuales

2 Cinemática

Reposo y movimiento son conceptos relativos: dependen del sistema de referencia.

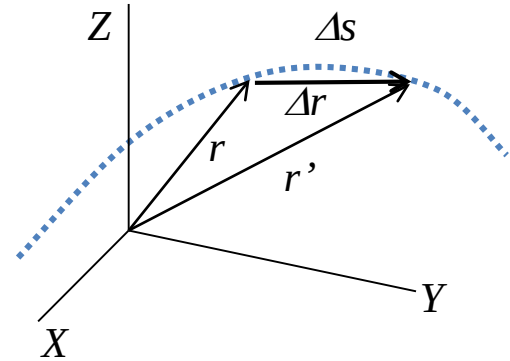
- Sistema de referencia: objeto material al que asociamos unos ejes de coordenadas + origen de tiempos.



Vector de posición: vector que une el origen del sistema de coordenadas con el móvil.

Velocidad

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t}$$



La velocidad describe la trayectoria.

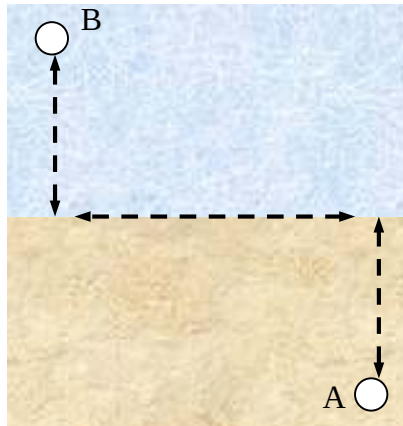
Velocidad media:

$$\vec{v} = \frac{\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t}$$

Velocidad

- △ Un socorrista en A ve a un bañista en apuros en B.
El socorrista puede correr por la arena a 25 km/h y nadar a 10 km/h.
Calcular la trayectoria para llegar de A hasta B en el menor tiempo.

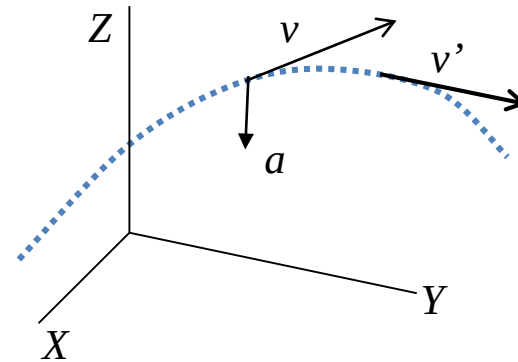
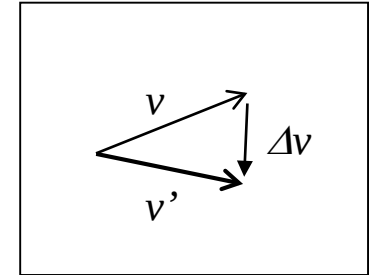
(Nota: para resolver la ecuación se podría utilizar por ejemplo una hoja de cálculo).



Si hubiera corriente, discutir su efecto sobre el resultado.

Aceleración

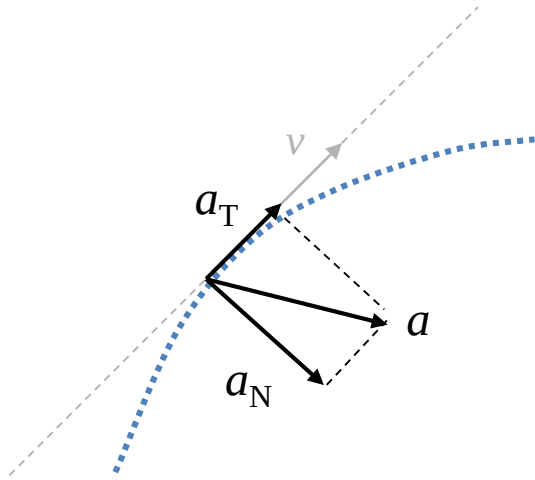
$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)}{\Delta t}$$



No es en general tangente ni perpendicular a la trayectoria.

Siempre apunta hacia el lado cóncavo.

Componentes intrínsecas de la aceleración



$$\vec{a} = a_t \vec{u}_t + a_n \vec{u}_n = \frac{dv}{dt} \vec{u}_t + \frac{v^2}{\rho} \vec{u}_n$$

- $$\left\{ \begin{array}{l} a_t \text{ Aceleración tangencial: cambios en el módulo de la velocidad} \\ \qquad \qquad \qquad a_t = 0 \text{ movimiento uniforme} \\ a_n \text{ Aceleración normal: cambios de dirección} \\ \qquad \qquad \qquad a_n = 0 \text{ movimiento rectilíneo} \end{array} \right.$$

3 Dinámica

Dinámica

Estudia las interacciones entre objetos y las relaciona con su movimiento.

Aproximación: Objetos  Masas puntuales

Primera ley de Newton

Ley de la inercia: en un sistema de referencia inercial una partícula sin interacciones mantiene su velocidad constante.

- Define qué es un sistema de referencia inercial
- Se opone a la visión aristotélica del movimiento

Segunda ley de Newton

Se define el momento lineal: $\vec{p} = m \vec{v}$

Segunda ley: $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

- Si la masa es constante: $\vec{F} = m \vec{a}$
- Si se conoce la forma de $\mathbf{F}$ se puede derivar el movimiento

Sólo en
SR inercial

Leyes de Newton

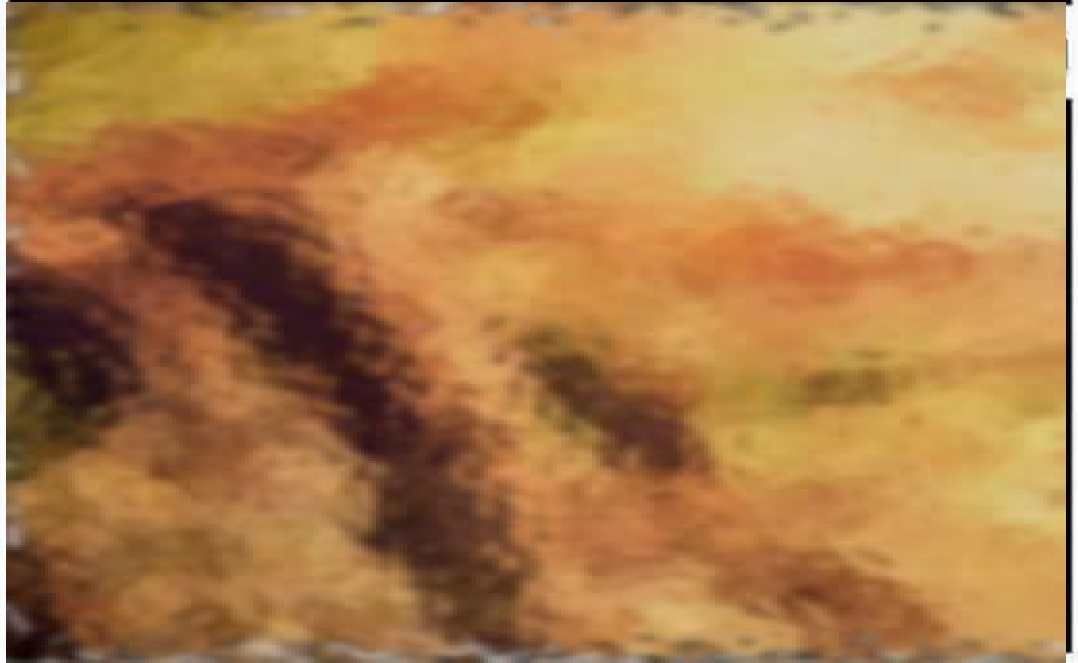
Un rompehielos que desplaza 10000 Tm avanza en línea recta a 3 nudos por el helado océano ártico.

¿Cuál es la suma de todas las fuerzas sobre el rompehielos?



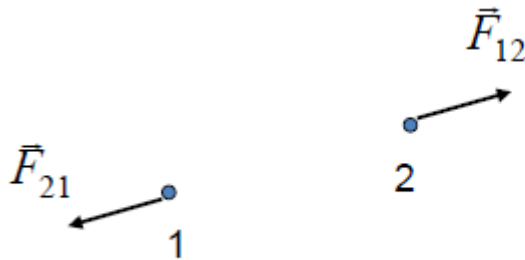
Leyes de Newton

“Te amo con todas mis fuerzas”



Tercera ley de Newton

Ley de acción y reacción: si dos partículas interaccionan la fuerza que la primera ejerce sobre la segunda es igual pero de sentido contrario a la fuerza que la segunda ejerce sobre la primera.



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Son fuerzas sobre objetos distintos.

Leyes de Newton

¿Demuestran estos experimentos las leyes de Newton?

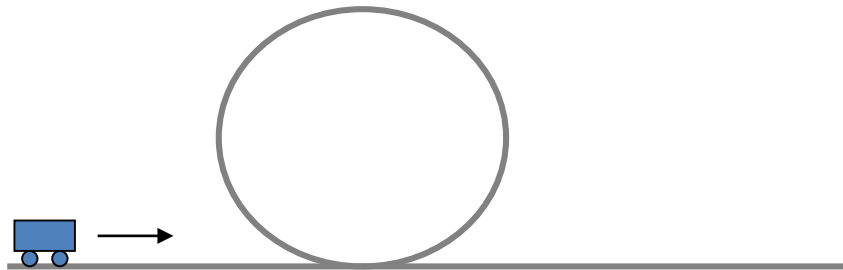
<https://youtu.be/WWmprzdyQTo>

Fuerzas de inercia

Son fuerzas ficticias que aparecen al observar un cuerpo desde un sistema de referencia no inercial.

No corresponden a una interacción entre objetos

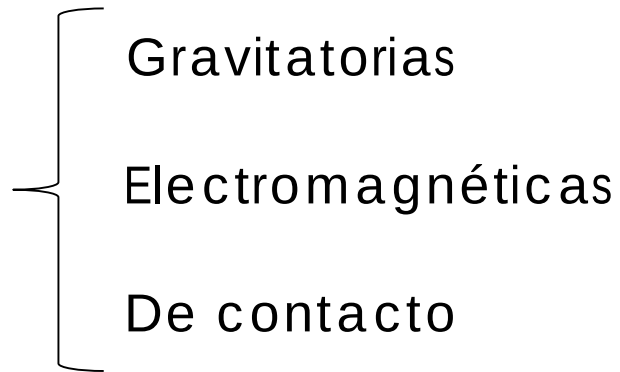
No aparecen por pares (3ª ley de Newton)



△ ¿Qué pasaría en el experimento de Hipatia si el mástil fuera muy alto?

Fuerzas sobre un objeto

En sistema de referencia inercial :



Corresponden a una interacción entre objetos

Aparecen por pares (3ª ley de Newton)

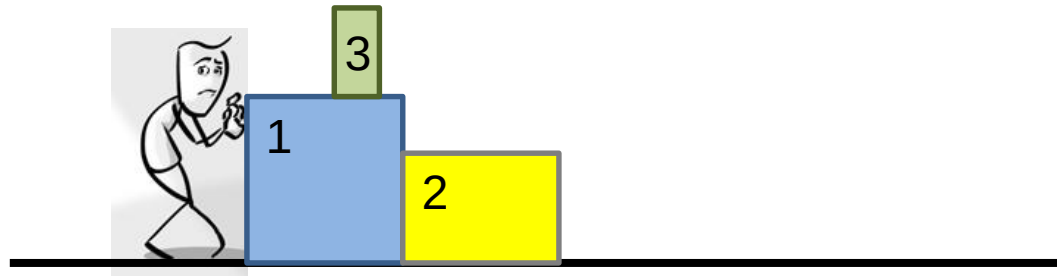
Fuerzas sobre un objeto

En sistema de referencia inercial :

Gravitatorias

Electromagnéticas

De contacto



Empujamos al objeto 1 con fuerza F y se desplazan todos los bloques.

Dibujar las fuerzas sobre el objeto 1, sobre el 2 y sobre el 3.

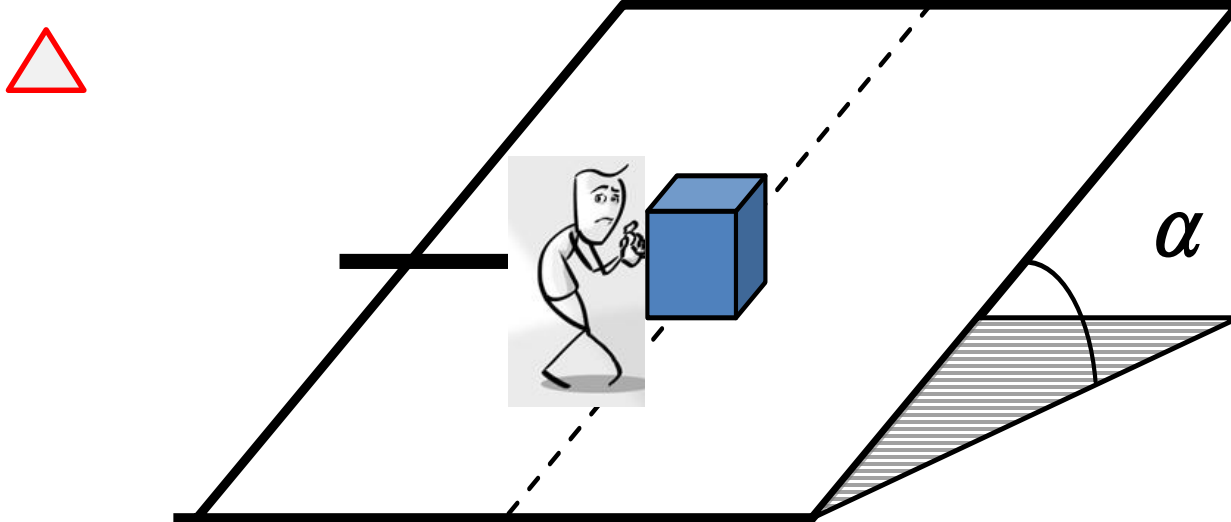
Fuerzas sobre un objeto

En sistema de referencia inercial :

Gravitatorias

Electromagnéticas

De contacto



Empujamos el objeto pero permanece en reposo.
Dibujar las fuerzas sobre el objeto.

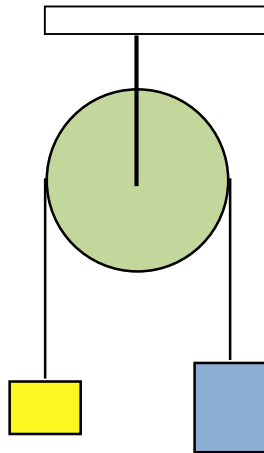
Fuerzas sobre un objeto

En sistema de referencia inercial :

Gravitatorias

Electromagnéticas

De contacto



Dibujar las fuerzas sobre cada objeto y sobre la polea (cables ideales, inextensibles y sin masa).

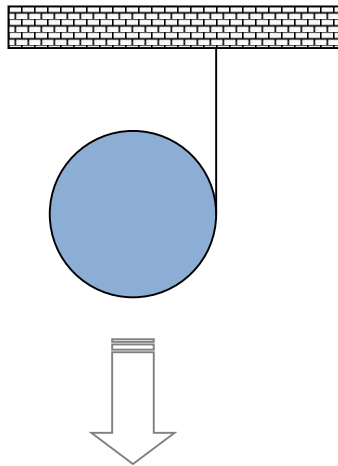
Fuerzas sobre un objeto

En sistema de referencia inercial :

Gravitatorias

Electromagnéticas

De contacto



Dibujar las fuerzas sobre el objeto que cae (yoyó)

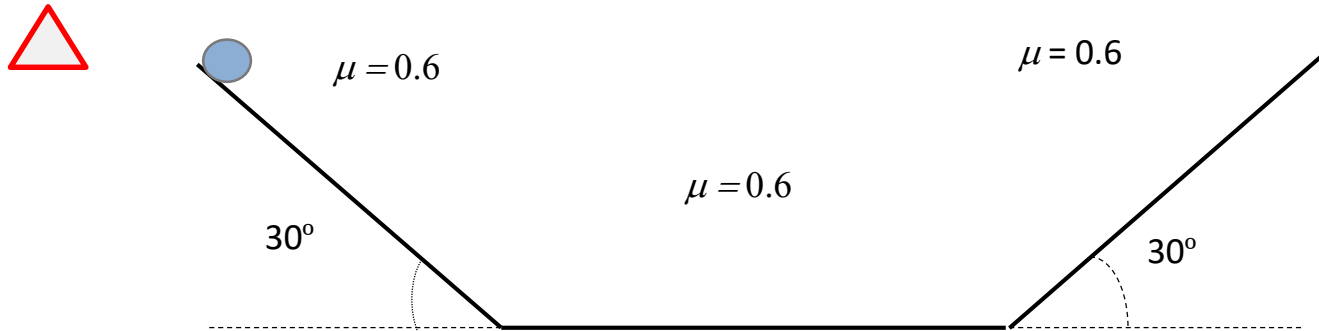
Fuerzas sobre un objeto

En sistema de referencia inercial :

Gravitatorias

Electromagnéticas

De contacto



Dibujar las fuerzas sobre el cilindro al bajar, en el plano horizontal y al subir.

Contexto: aplicación a una anécdota histórica

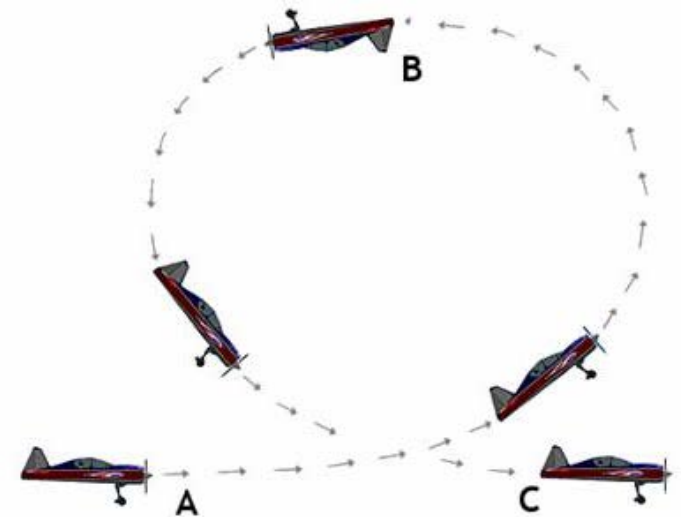
△ **Comentar la posible veracidad del siguiente texto y analizar la explicación que se presenta.**

Hasta 1918 los pilotos de combate no comenzaron a llevar paracaídas. Los altos mandos opinaban que su uso menoscababa el espíritu de lucha.

En 1917, Grahame Donald, piloto de la RAF, volaba a una altura de 2000 m y puso su avión boca abajo (B), pero se le rompió la correa de seguridad. Mientras Grahame caía, el avión comenzó a descender y, extrañamente, completó un amplio rizo (C). El piloto cayó sobre el ala superior, consiguió entrar en la cabina y hacerse con el control. En una entrevista en 1972 Grahame explicó:

"Los primeros 500 m pasan muy rápido. Mientras caía empecé a oír mi pequeño y fiel Sopwith Camel en algún lugar cercano. De repente caí de nuevo en él. "

("On a Wing and a Prayer", J. Levine).





Dibujar las fuerzas sobre el astronauta en la ISS

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

<https://www.youtube.com/watch?v=o8TssbmY-GM>



Una redactora del concurso de televisión 'Boom', de Antena 3. se dirige a nosotros verificar una pregunta sobre Física (redactada de dos formas distintas):

- CUANDO UN CUERPO DA VUELTAS, ¿CÓMO LLAMAMOS A LA FUERZA CONTRARIA A LA CENTRÍFUGA?
- ¿QUÉ FUERZA CONTRARIA A LA CENTRÍFUGA SE PRODUCE CUANDO UN CUERPO SIGUE UN MOVIMIENTO CIRCULAR?

Respuesta: CENTRÍPETA

¿Son correctas las dos formulaciones? ¿Cree que habría que hacer algún matiz o precisión? ¿La respuesta es correcta y única en ambos casos?

Leyes de Newton



Nos situamos en la orilla de un río de anchura L .

Lanzamos un objeto verticalmente y el aire ejerce sobre él en todo momento una fuerza F constante hacia la otra orilla.

¿Caerá el objeto en el río?

Materiales adicionales: [FORCE CONCEPT INVENTORY](#)

Algunos errores conceptuales sólo pueden corregirse si se discuten explícitamente y se reflexiona sobre ellos.

■ Leyes de Newton

Si no existen fuerzas la dirección y sentido de v son constantes

No se requiere fuerza para que un cuerpo se mueva en una dirección (o sentido)

Fuerza constante implica aceleración constante

La aceleración g es independiente del peso

El momento lineal es un vector

Las fuerza de acción y la de reacción se aplican sobre cuerpos distintos

OBJETIVO: analizar algunos conceptos esenciales de la Física con su

- Contexto histórico
- Dificultades de los alumnos

1. Sistemas de referencia
2. Velocidad
3. Fuerzas sobre un objeto
4. Relatividad

Mecánica

4 Relatividad

Ideas sobre el movimiento:

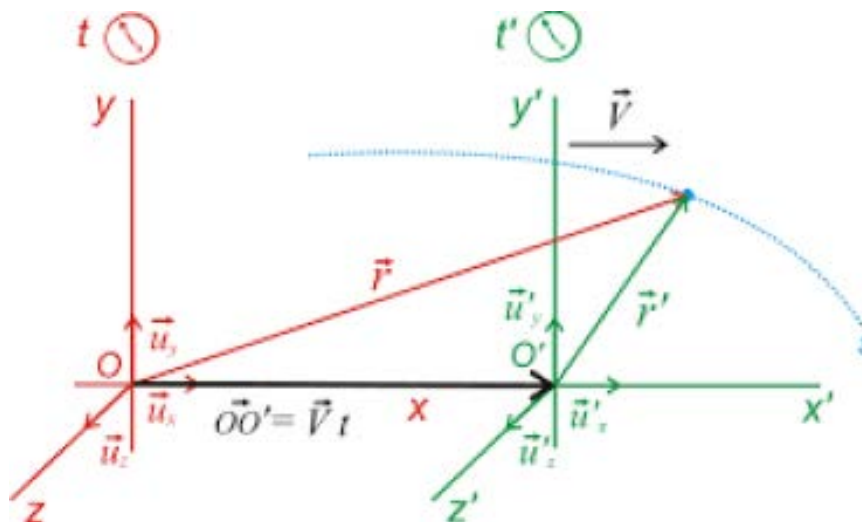
Aristóteles: el estado natural de un cuerpo es el reposo, solo se mueve mientras es empujado por una fuerza.

Galileo : un cuerpo se mueve a velocidad constante mientras no
Newton sufra una fuerza

4 Relatividad

El movimiento es relativo , depende del SR

Transformaciones de Galileo: traslación entre dos SR inerciales

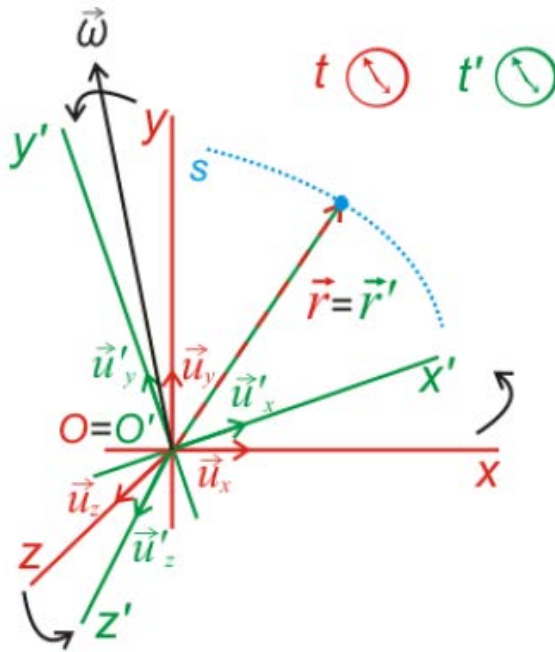


$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{r} = \vec{r}' + \vec{V}t \\ \vec{v} = \vec{v}' + \vec{V} \\ \vec{a} = \vec{a}' \\ t = t' \end{array} \right.$$

Principio de relatividad de Galileo: entre SR inerciales no cambian las leyes de la Mecánica

4 Relatividad

Transformación : rotación entre dos SR



$$\vec{a}' = \vec{a} - 2(\vec{\omega} \wedge \vec{V}) - (\vec{\omega} \wedge \vec{\omega} \wedge \vec{r})$$

Coriolis Centrífuga

Entre SR **NO** inerciales cambian las leyes de la Mecánica

4 Relatividad

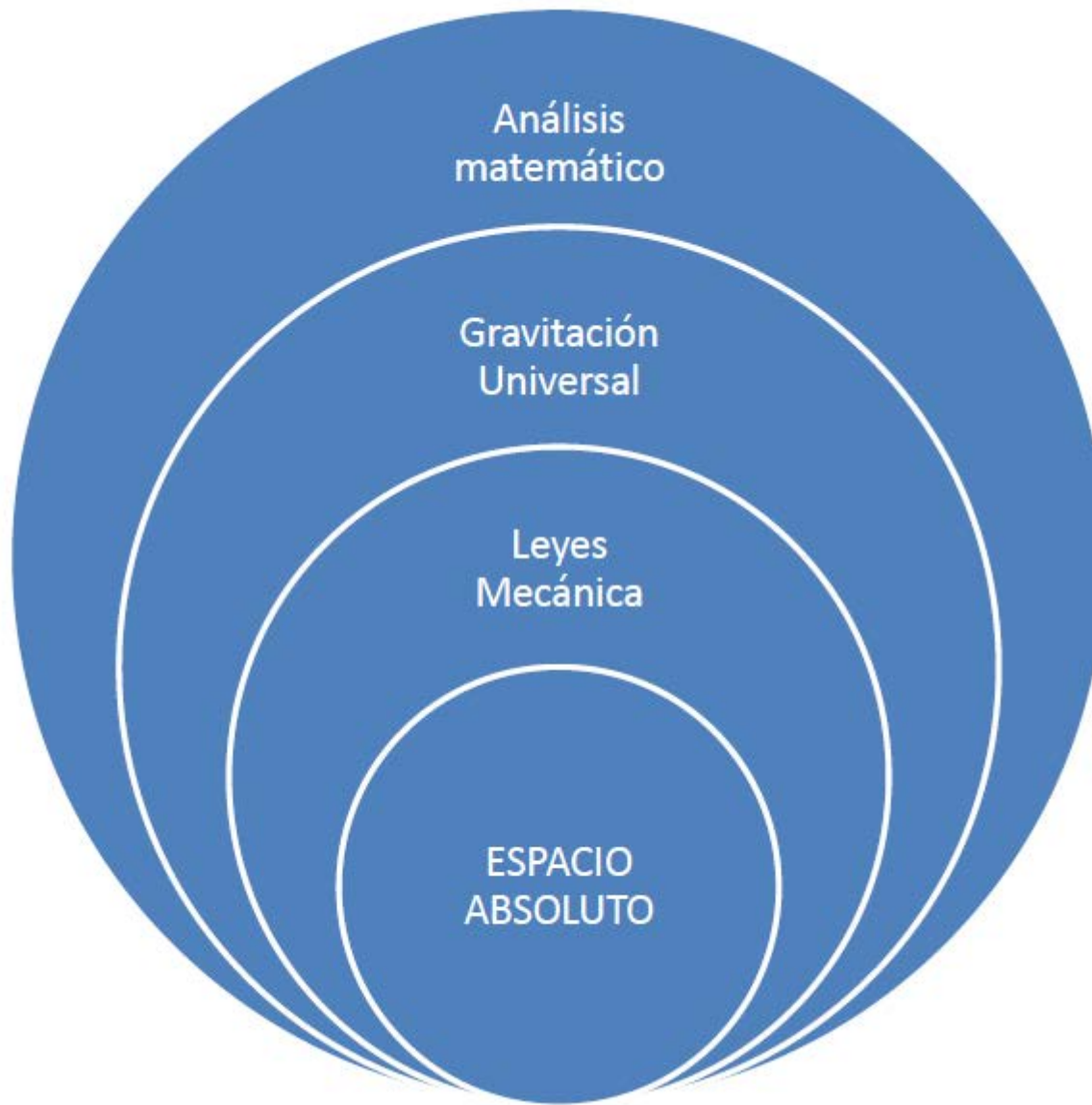
¿Por qué si el movimiento es relativo, sus cambios no lo son?



Newton: existe el **espacio absoluto** respecto al cual detectamos el movimiento acelerado

Para Newton representa su principal descubrimiento

4 Relatividad



Para Newton representa su principal descubrimiento

4 Relatividad

Por tanto, Newton debería definir espacio y tiempo:

“I do not define space, place and motion as they are well known to all”

“Absolute space ,in its own nature, without reference to anything external, remains always similar and unmovable”

Ni siquiera él se sentía plenamente convencido:

“It is very difficult to distinguish true motions from the apparent, because unmovable space does not come under the observation of our senses”

4 Relatividad

Desde la antigüedad se reflexionó sobre qué es el espacio:

¿existe el espacio sin la materia?

¿es el espacio infinito?

Leibniz: el espacio solo es la forma de expresar la relación entre objetos materiales

El éxito de la mecánica de Newton aparcó el debate dos siglos

4 Relatividad



Respecto al **espacio absoluto** sentimos solo los cambios del movimiento

Mach: en un Universo vacío no hay diferencia entre girar y no girar

¿cómo ejercerían su influencia las estrellas lejanas?

4 Relatividad

Ecs de Maxwell:

$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Las ondas electromagnéticas se propagan a $3 \cdot 10^8$ m/s

¿en qué SR? Éter

El Éter recuerda al espacio absoluto de Newton:

unificaría electricidad, magnetismo, luz y mecánica

4 Relatividad



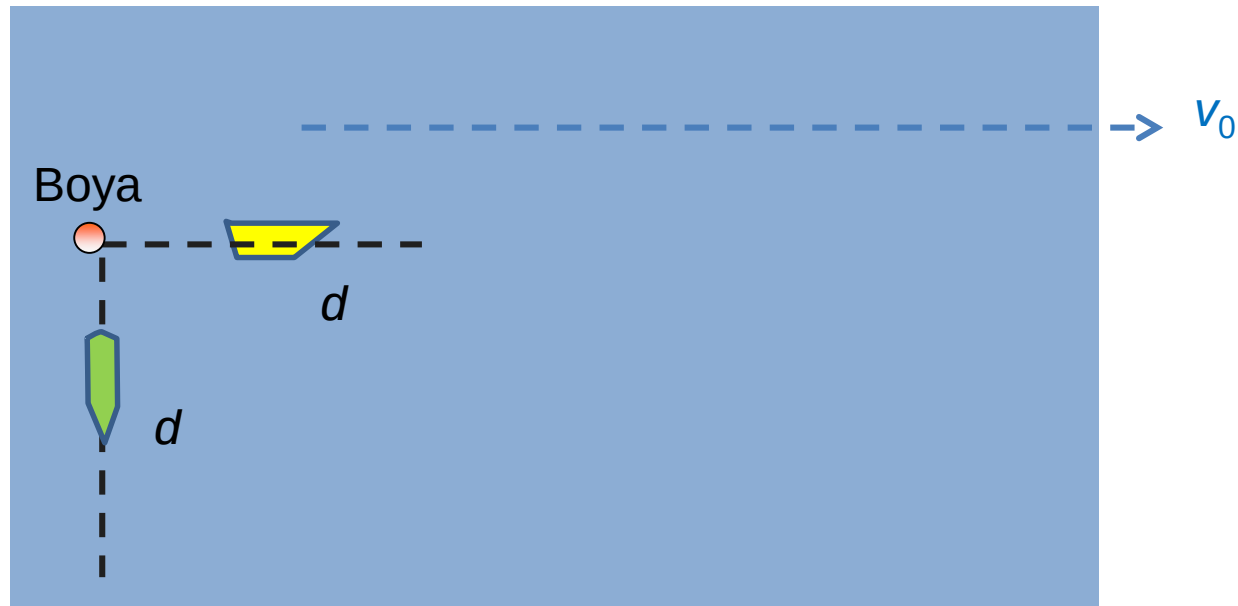
La velocidad de la corriente de un río muy ancho que fluye de E a O es v_0 . Dos botes parten a la vez desde una boya situada en medio del río y que queda a la deriva.

El bote A navega hasta un punto a d km en dirección O y regresa a la boya.

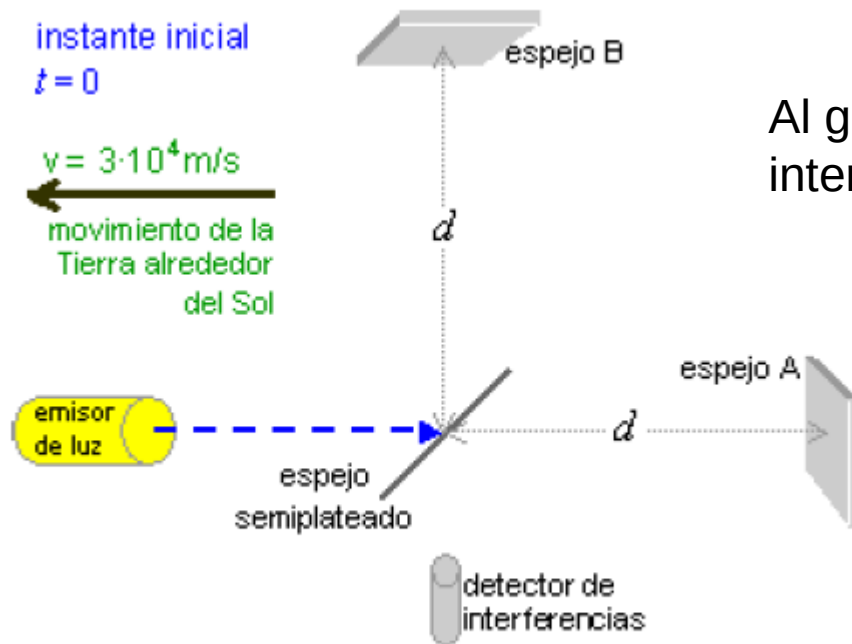
El bote B navega hasta la orilla d km con rumbo S y regresa a la boya.

El motor de ambos botes es idéntico y les proporciona una velocidad (respecto al agua) de $a v_0$, donde $a > 1$.

Hallar la relación entre los tiempos empleados por cada bote.



Experimento de Michelson-Morley



Al girar el dispositivo, las franjas de interferencia deberían desplazarse

No detecta el éter

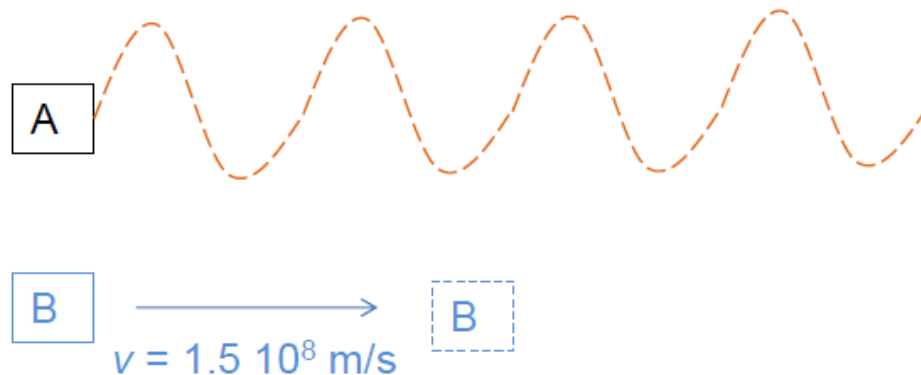
4 Relatividad

Einstein propone la solución más sencilla al experimento (¿lo desconocía?):
el éter no existe

La velocidad de la luz es $3 \cdot 10^8$ m/s en todos los SR

Principio de relatividad de Einstein: entre SR inerciales no cambian
las leyes de la Física

Pero eso supondrá un cambio en nuestra concepción del espacio y el tiempo



4 Relatividad

Transformaciones de Lorentz: traslación entre dos SR inerciales

$$x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad \Delta x' = \frac{\Delta x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\underline{y'} = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{xv}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad \Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Pérdida de simultaneidad

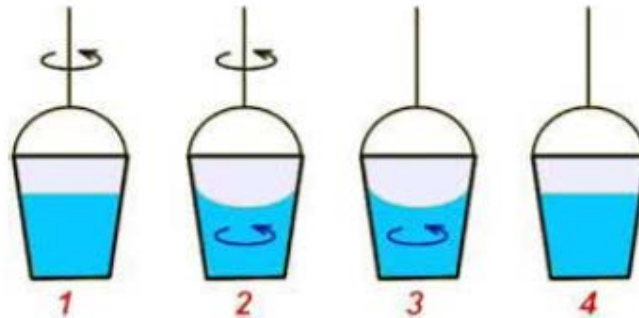
Contracción de longitudes

Dilatación temporal

Hafele & Keating 1971

4 Relatividad

¿Qué pasaría con el movimiento acelerado?



Se detectaría respecto al espaciotiempo absoluto

La teoría especial de la relatividad no contempla la gravedad y se contradice además con la propagación instantánea de esta fuerza

Teoría general de la relatividad



**Los hombres nacen y mueren
pero el misterio del universo permanece**

Benjamin Harrow, 1920

4 Relatividad

Teoría general de la relatividad

Principio de equivalencia: el movimiento acelerado y un campo gravitatorio son equivalentes



Solo quienes no sientan fuerza alguna pueden afirmar que no están acelerando

4 Relatividad

Teoría general de la relatividad

El espacio y el tiempo interactúan en el Universo, la materia los curva, lo que causa que la materia se mueva, y curva el espacio donde se desplaza...

La teoría general ofrece la coreografía para una danza de espacio, tiempo, materia y energía.

(B. Greene)

El Universo está en expansión

Es incompatible con la MQ (agujeros negros, Big Bang)

Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria

Anexo: metodología

Tipos de tareas

- Aplicación directa

Aprendizaje significativo

- 
- Aplicación a situaciones reales
 - Eliminación de errores comunes
 - Problemas abiertos

- Esquema de la situación e interacciones
- Determinar la magnitud física de interés
- Analizar qué variables afectan a esta magnitud
- Hipótesis necesarias
- Estimación de la solución
- Plantear y resolver las ecuaciones
- Analizar la coherencia del resultado: con hipótesis previas, por orden de magnitud, análisis dimensional...

Tareas en clase

Cada tarea debe tener los cuatro componentes siguientes:

- Formulación de una respuesta de forma individual.
- Compartir la respuesta con el compañero.
- Construcción de una nueva respuesta mutua.
- Discusión en grupo.