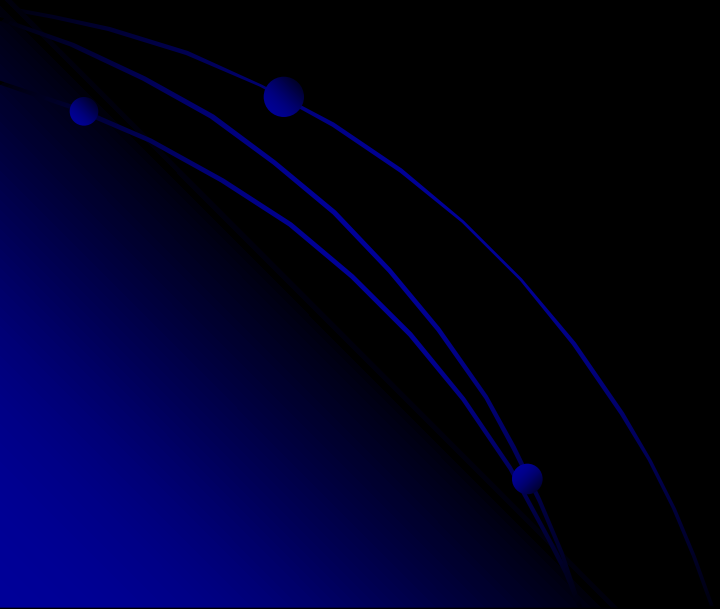




Relatividad General: predicciones sobre el espacio y el tiempo

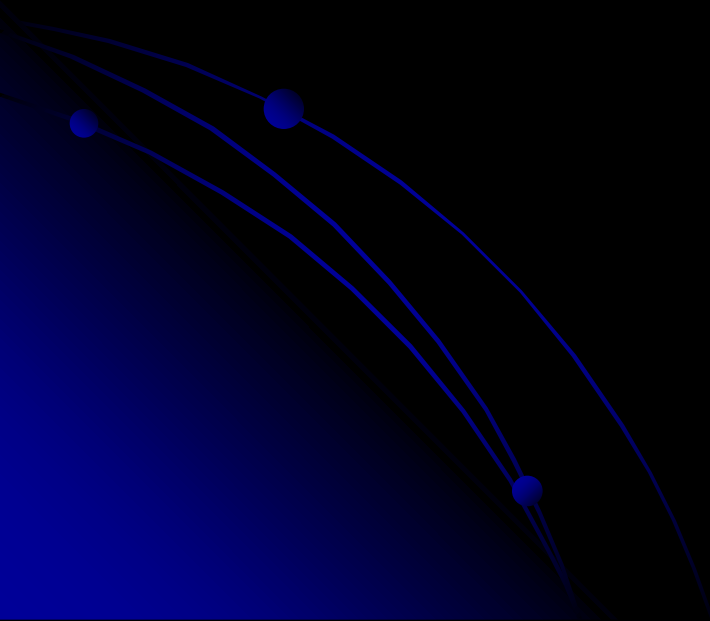
**Marcelo Rubio
Facultad de Matemática,
Astronomía y Física
Universidad Nacional
de Córdoba**

Gravedad de Newton



Gravedad de Newton

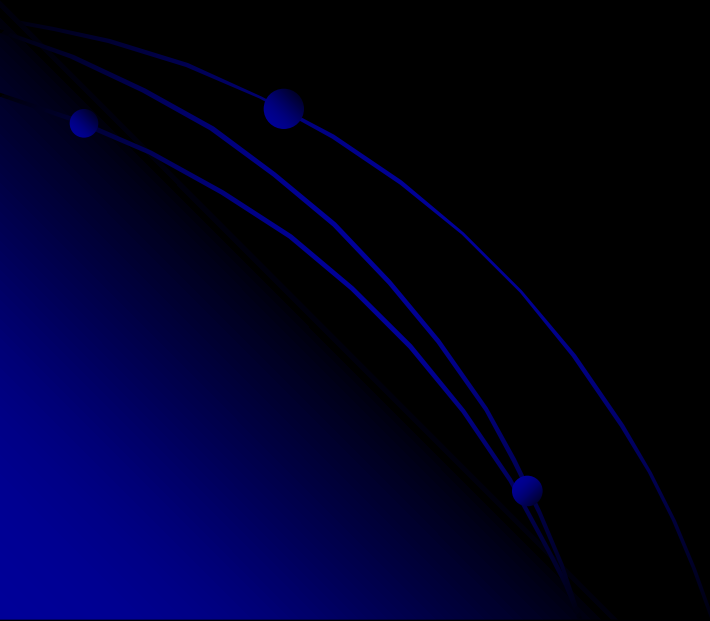
1686 → *Ley de Gravitación
Universal*



Gravedad de Newton

1686 → *Ley de Gravitación
Universal*

- Fuerza entre dos objetos
masivos



Gravedad de Newton

1686 → *Ley de Gravitación
Universal*

- Fuerza entre dos objetos masivos
 - Noción de GRAVEDAD
- 

Gravedad de Newton

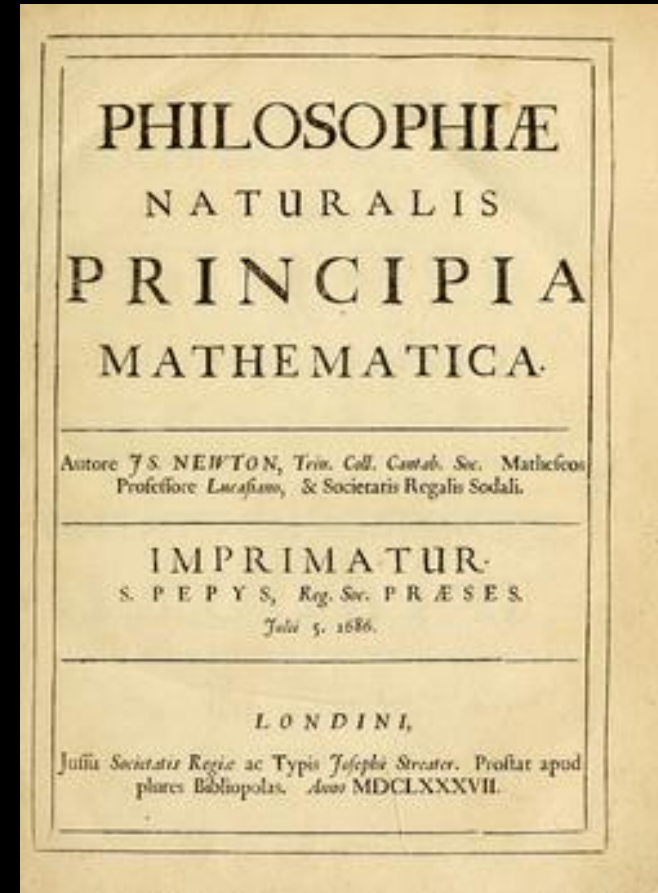
1686 → *Ley de Gravitación
Universal*

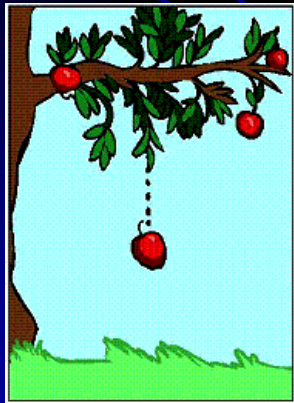
- Fuerza entre dos objetos masivos
- Noción de GRAVEDAD
- Interacciones *instantáneas* a distancia

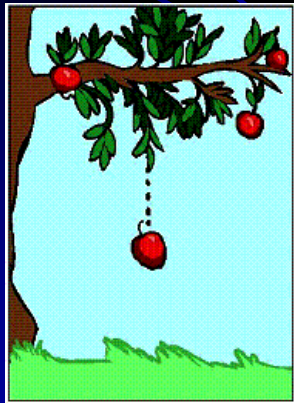
Gravedad de Newton

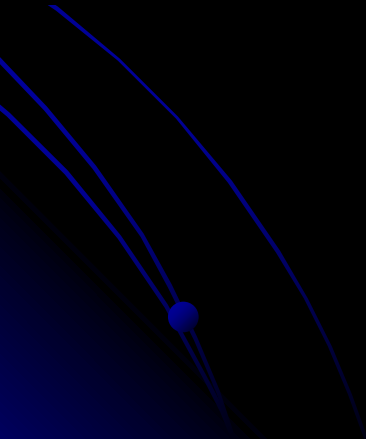
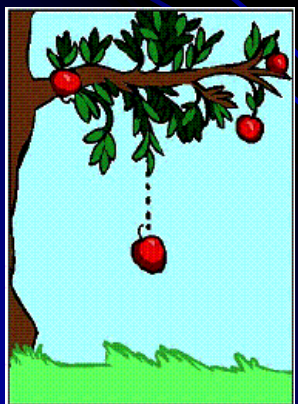
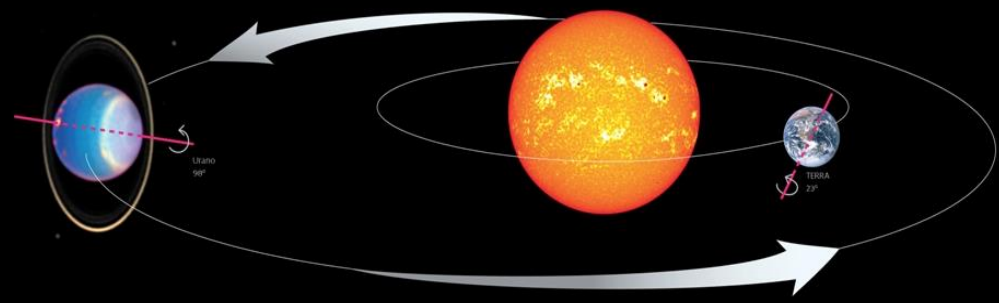
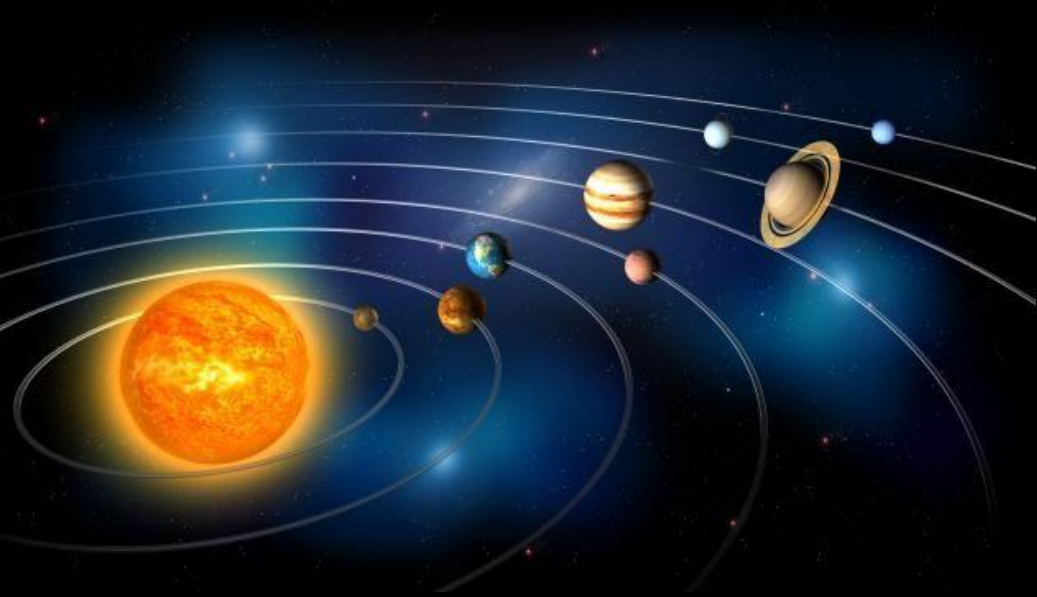
1686 → *Ley de Gravitación Universal*

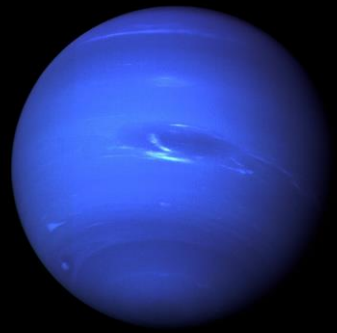
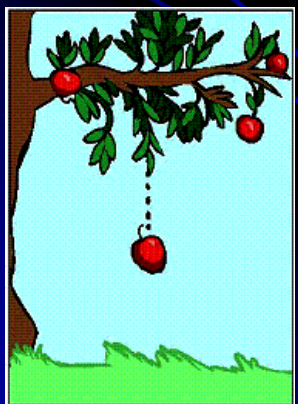
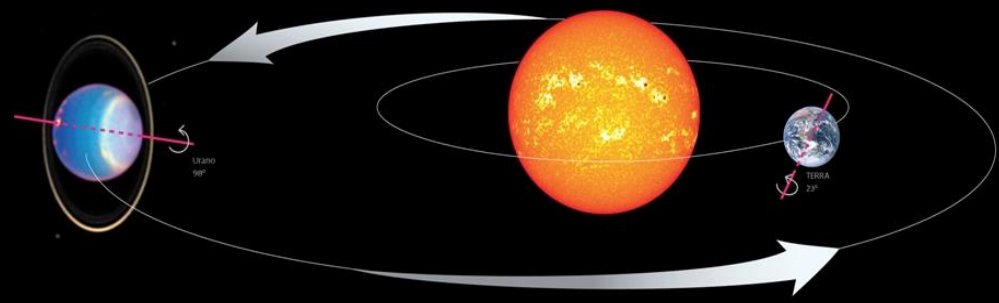
- Fuerza entre dos objetos masivos
- Noción de GRAVEDAD
- Interacciones *instantáneas* a distancia







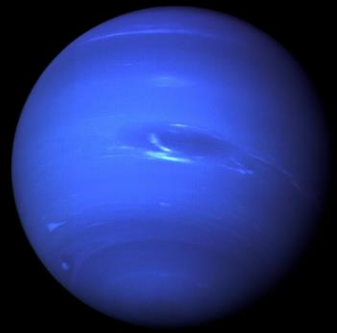
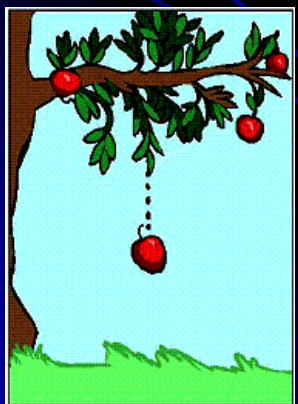
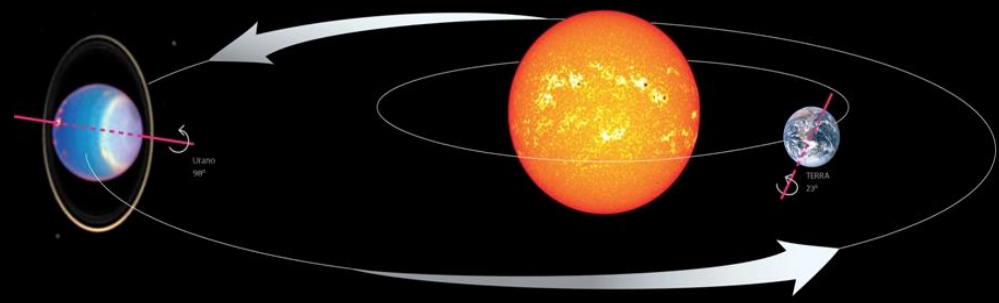




Neptuno



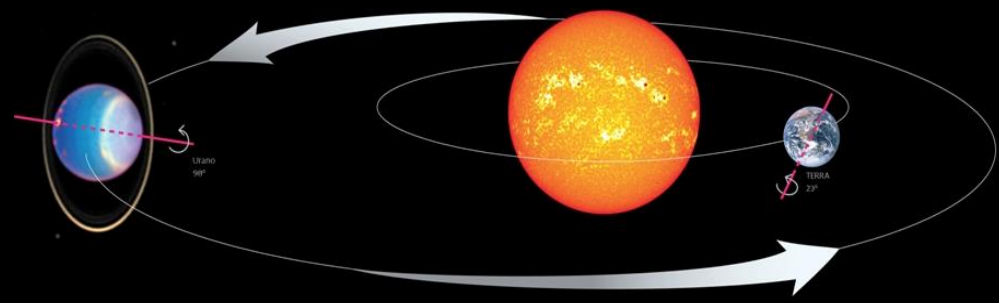
Lagrange



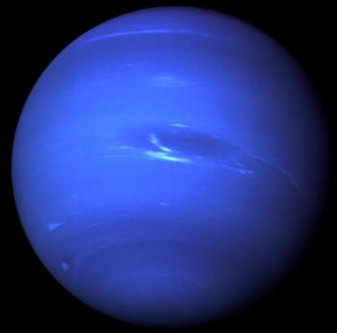
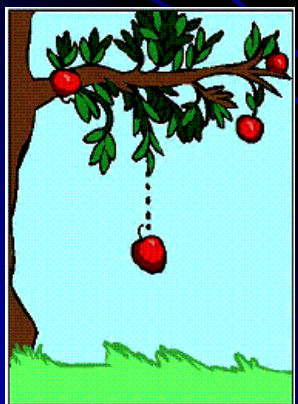
Neptuno



Lagrange



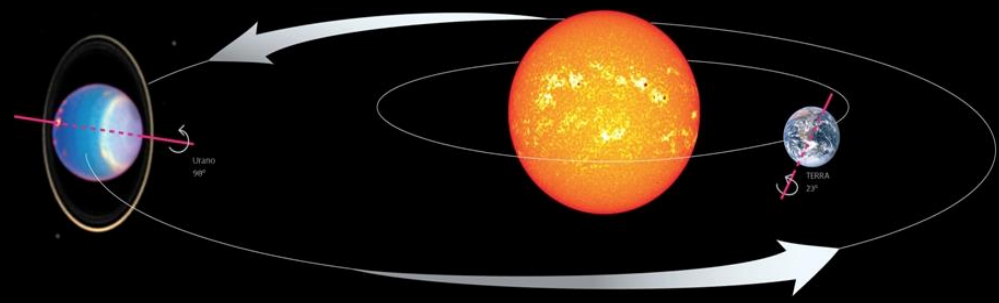
Hamilton



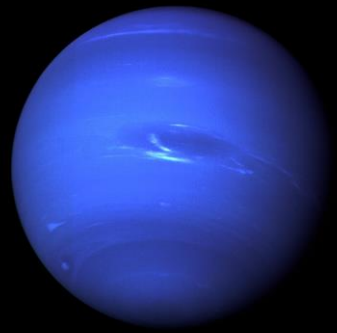
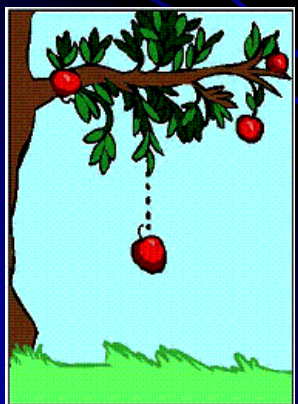
Neptuno



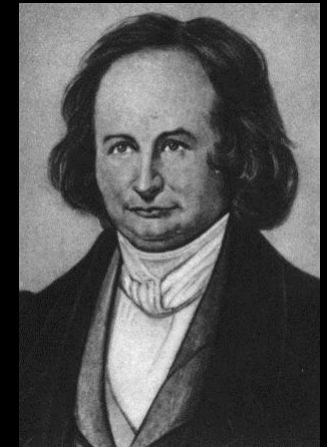
Lagrange



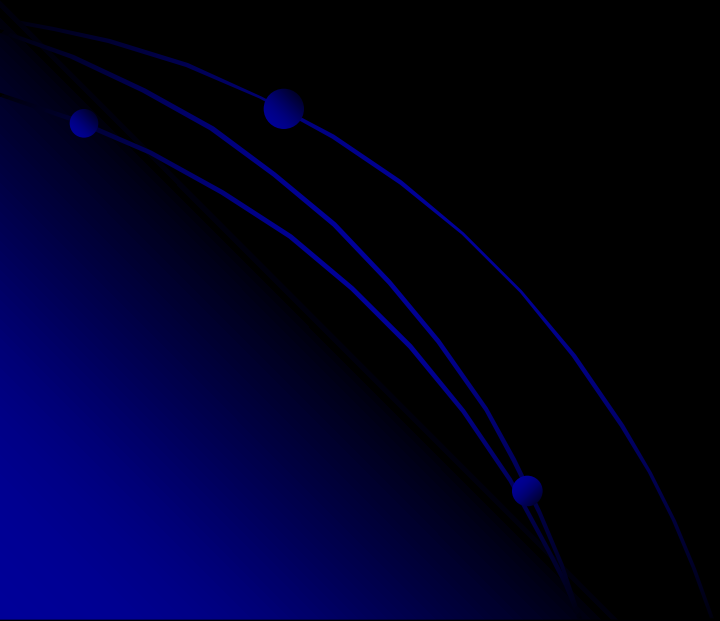
Hamilton



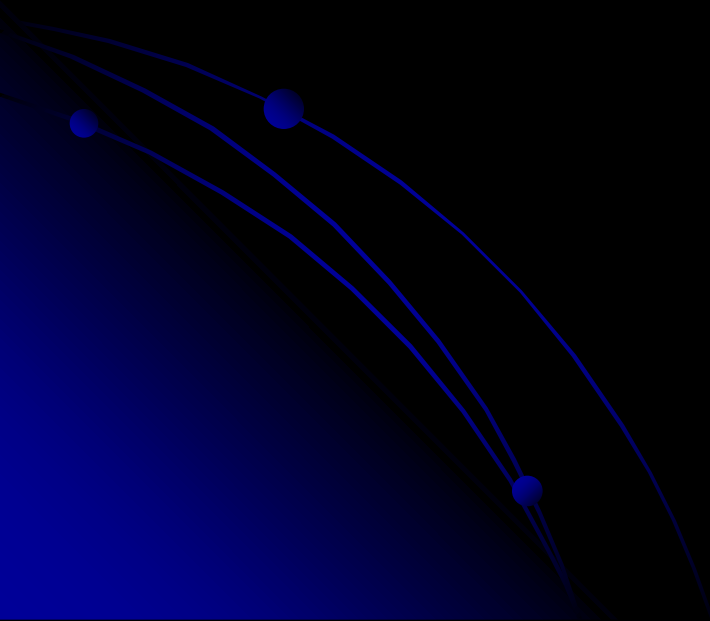
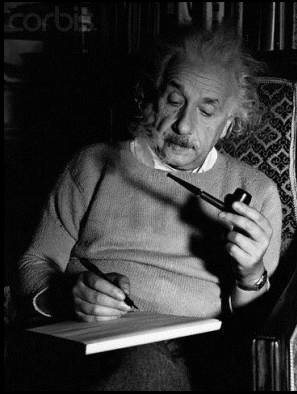
Jacobi
Neptuno



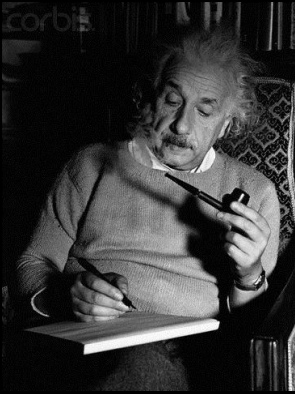
¿Relatividad General?



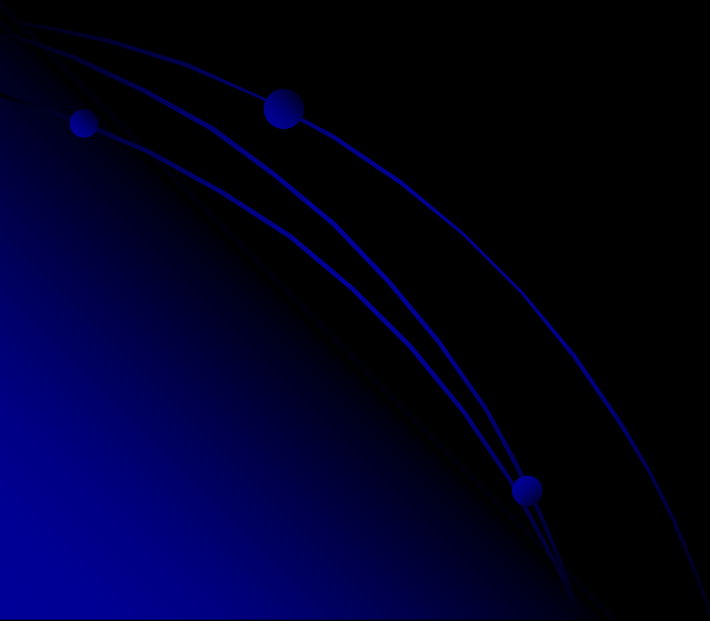
¿Relatividad General?



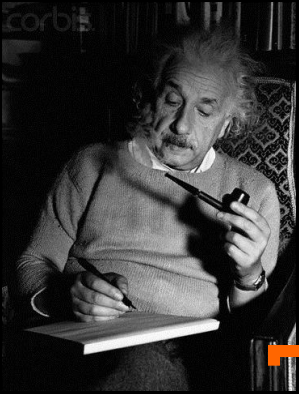
¿Relatividad General?



GRAVEDAD



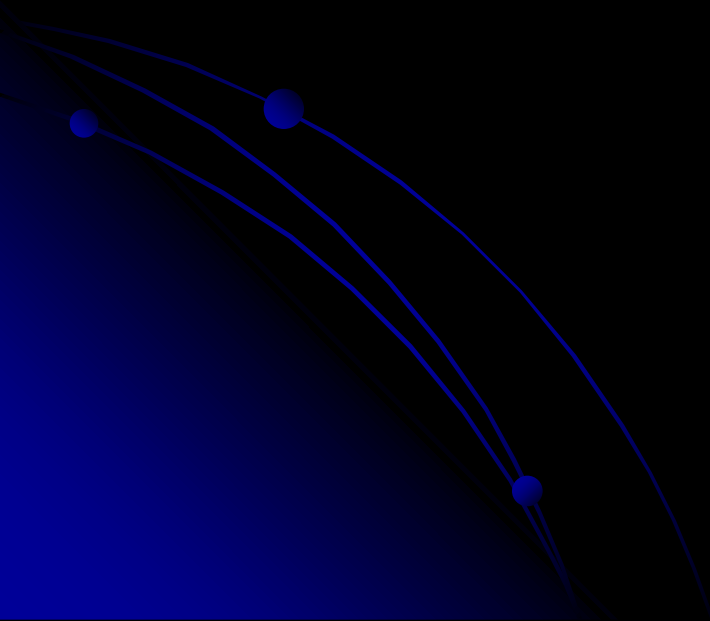
¿Relatividad General?



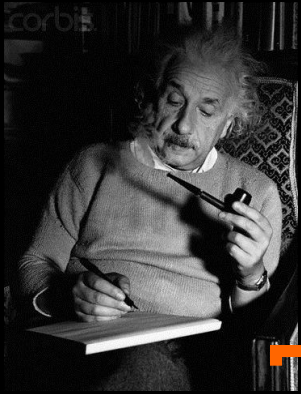
GRAVEDAD



CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO



¿Relatividad General?



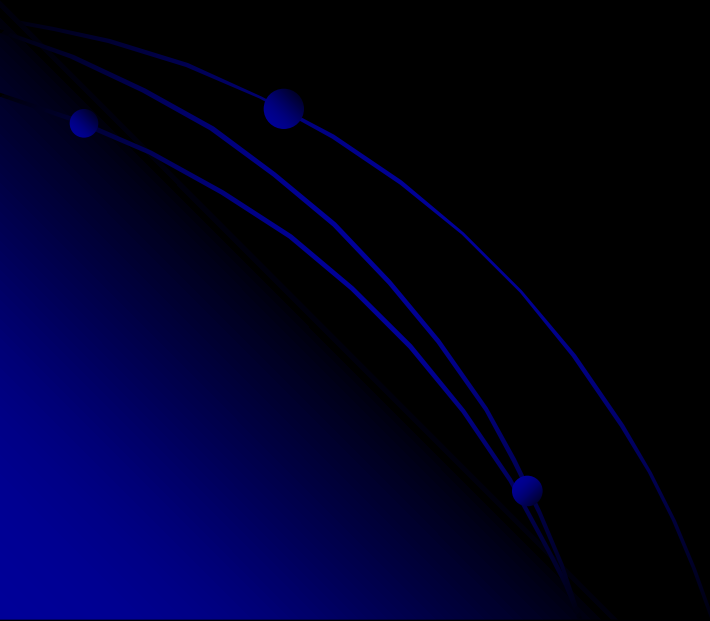
GRAVEDAD



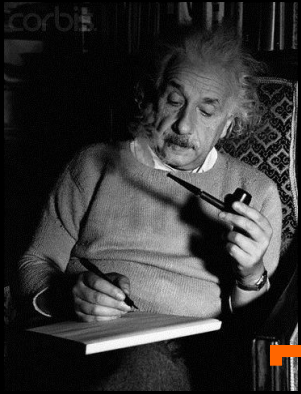
CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO



**Nuevo espacio de 4
dimensiones**



¿Relatividad General?



GRAVEDAD

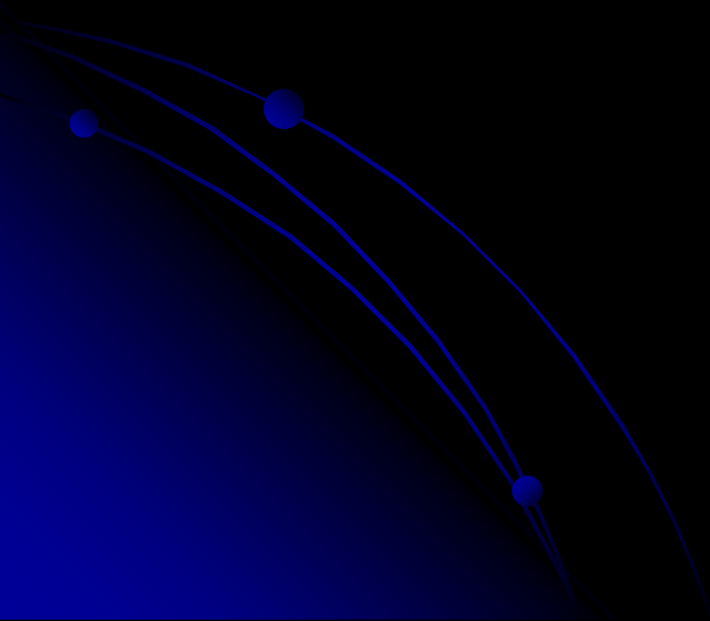


CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO

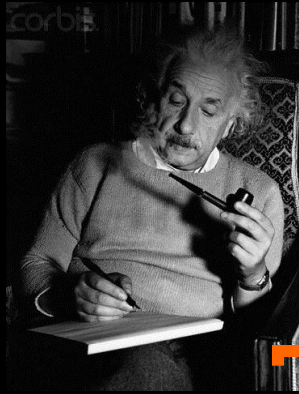


**Nuevo espacio de 4
dimensiones**

(t, x, y, z)



¿Relatividad General?



GRAVEDAD



CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO

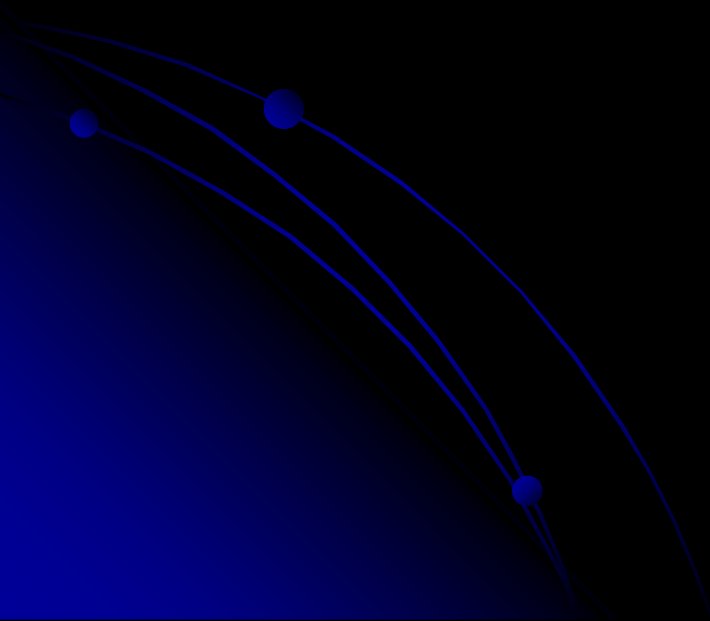


**Nuevo espacio de 4
dimensiones**

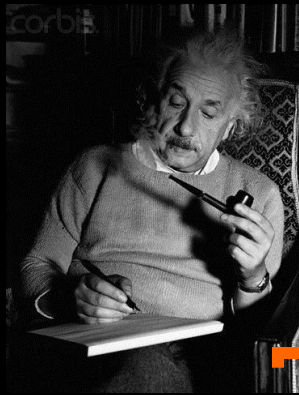
(t, x, y, z)



1 temporal



¿Relatividad General?



GRAVEDAD



CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO



**Nuevo espacio de 4
dimensiones**

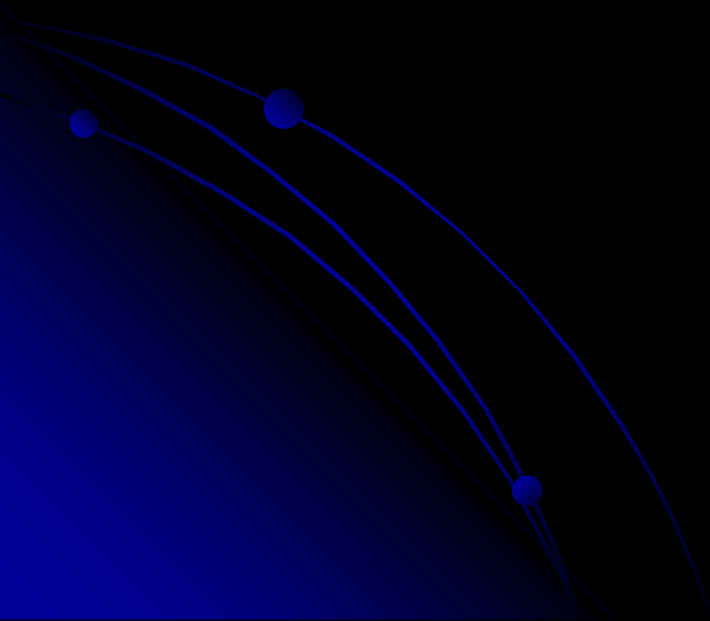
(t, x, y, z)



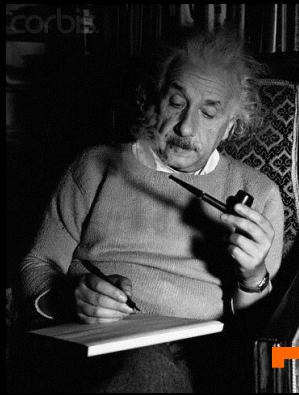
1 temporal



3 espaciales



¿Relatividad General?



GRAVEDAD



CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO



Geometría



**Nuevo espacio de 4
dimensiones**

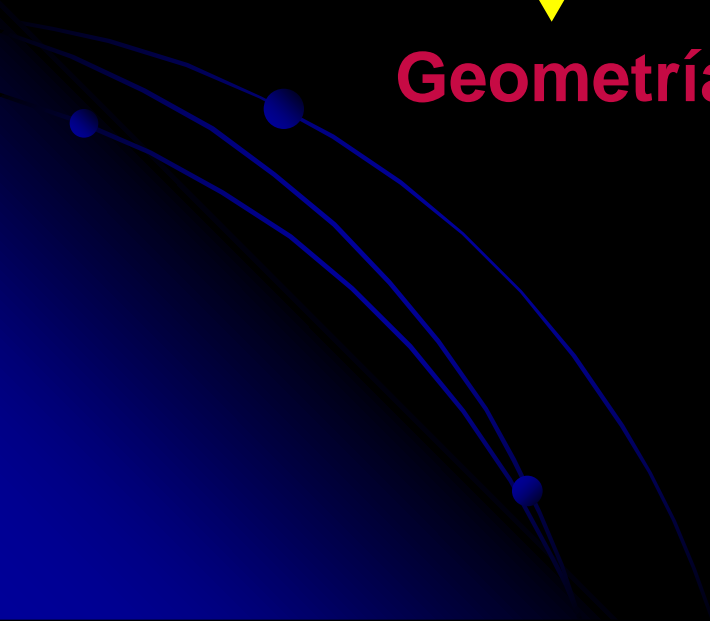
(t, x, y, z)



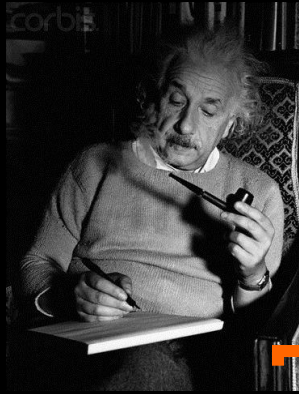
1 temporal



3 espaciales



¿Relatividad General?



GRAVEDAD



CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO



Geometría



Distancia entre dos puntos



Nuevo espacio de 4 dimensiones

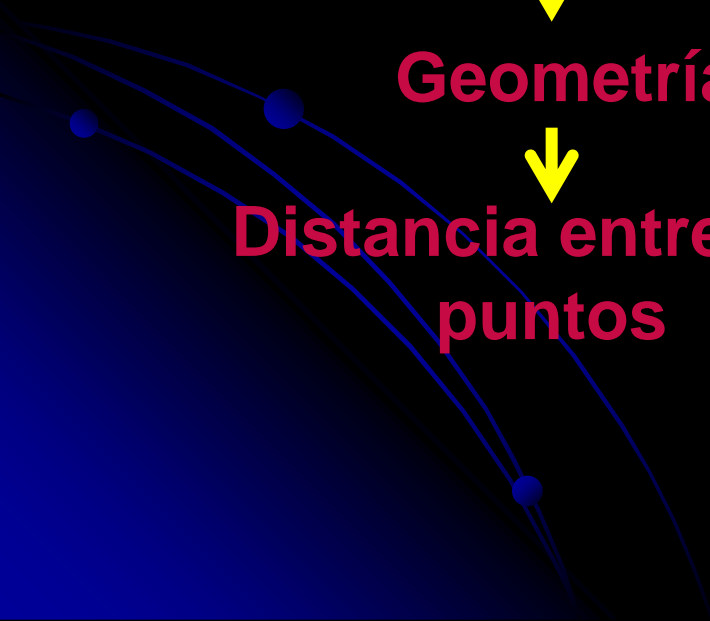
(t, x, y, z)



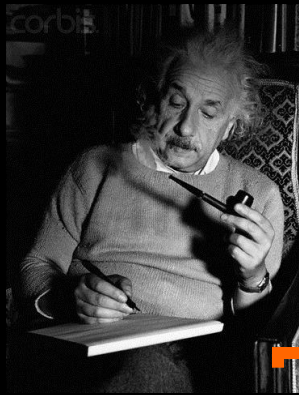
1 temporal



3 espaciales



¿Relatividad General?



GRAVEDAD



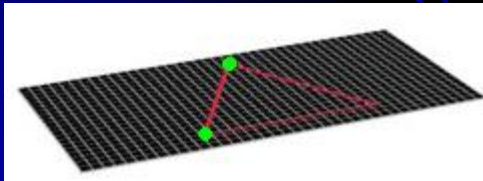
CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO



Geometría



Distancia entre dos puntos



Nuevo espacio de 4 dimensiones

(t, x, y, z)

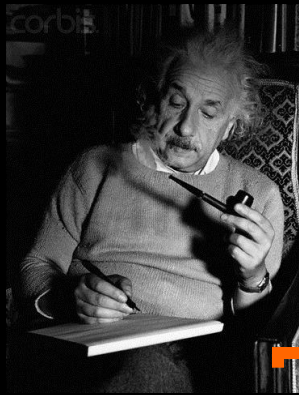


1 temporal



3 espaciales

¿Relatividad General?



GRAVEDAD



CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO



Geometría



Distancia entre dos puntos



Nuevo espacio de 4 dimensiones

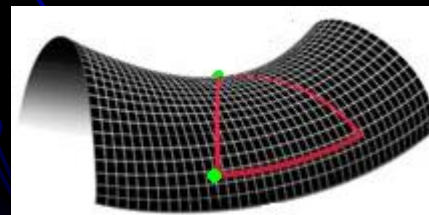
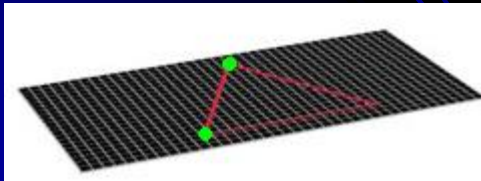
(t, x, y, z)

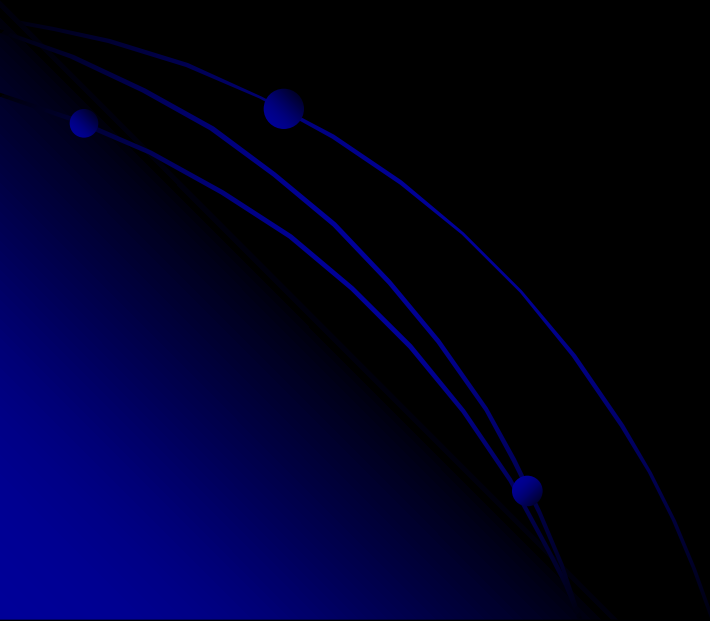


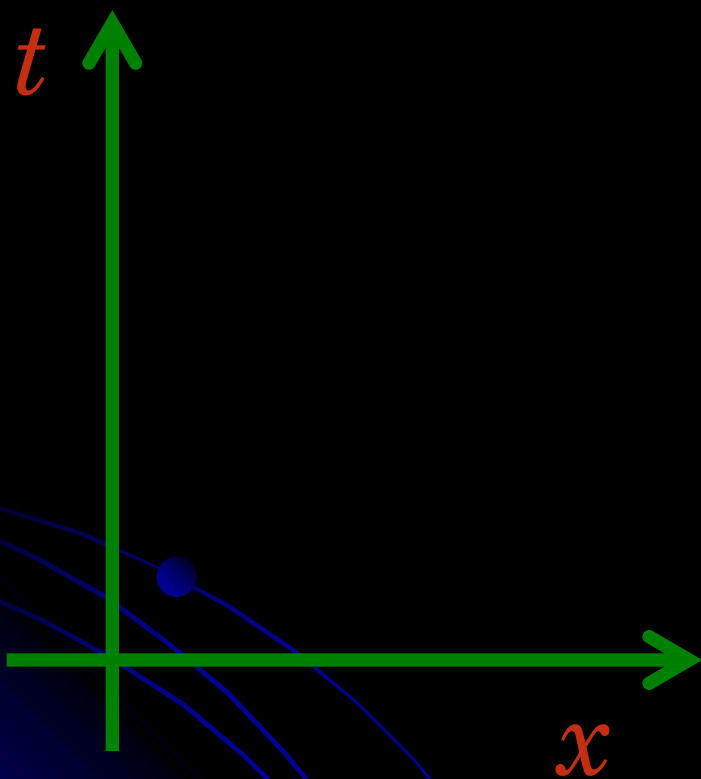
1 temporal

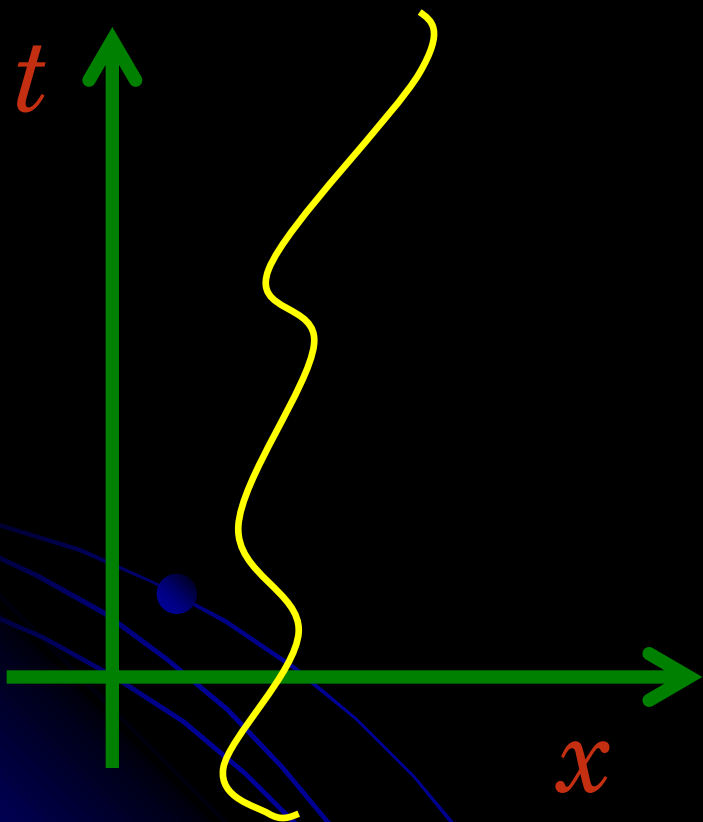


3 espaciales



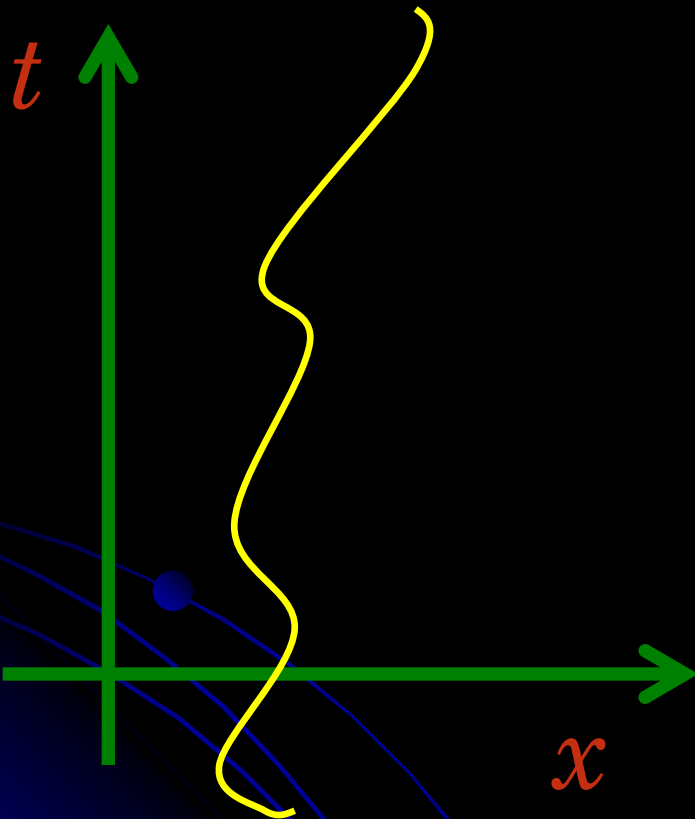








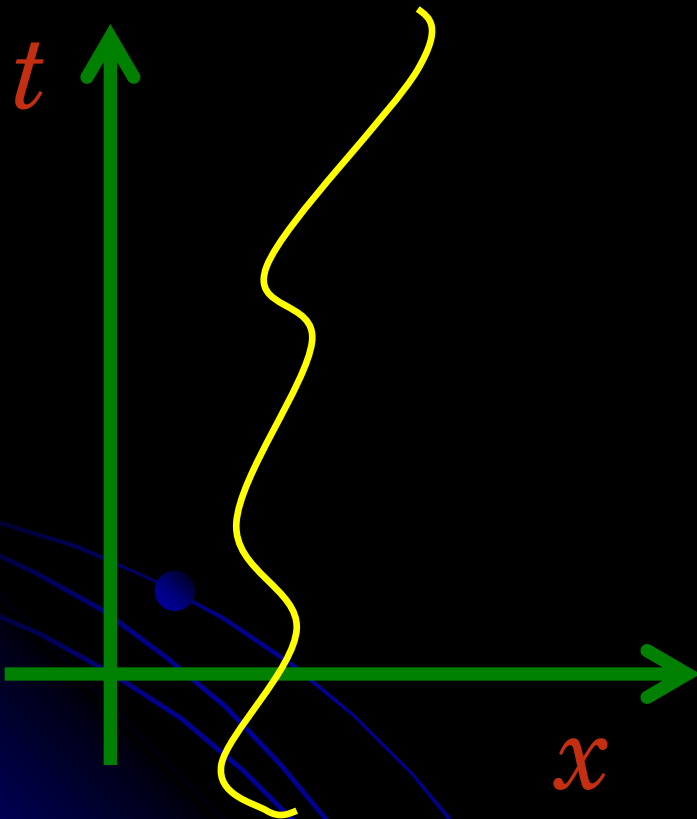
Evento: Suceso
localizado en un
instante preciso.





Evento: Suceso
localizado en un
instante preciso.

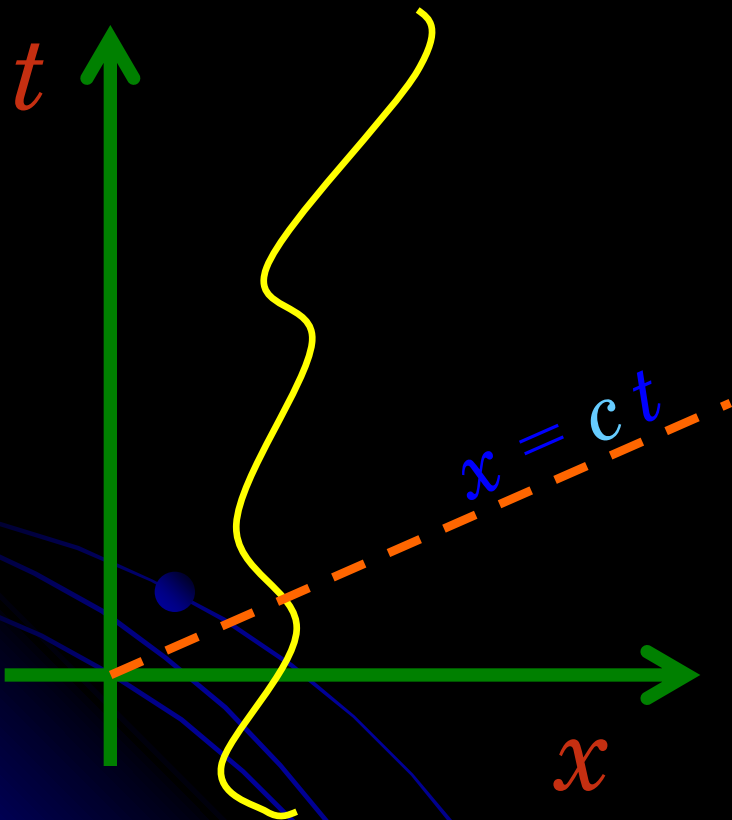
Línea mundo de A:
Conjunto de eventos
experimentados por A.





Evento: Suceso
localizado en un
instante preciso.

Línea mundo de A:
Conjunto de eventos
experimentados por A.

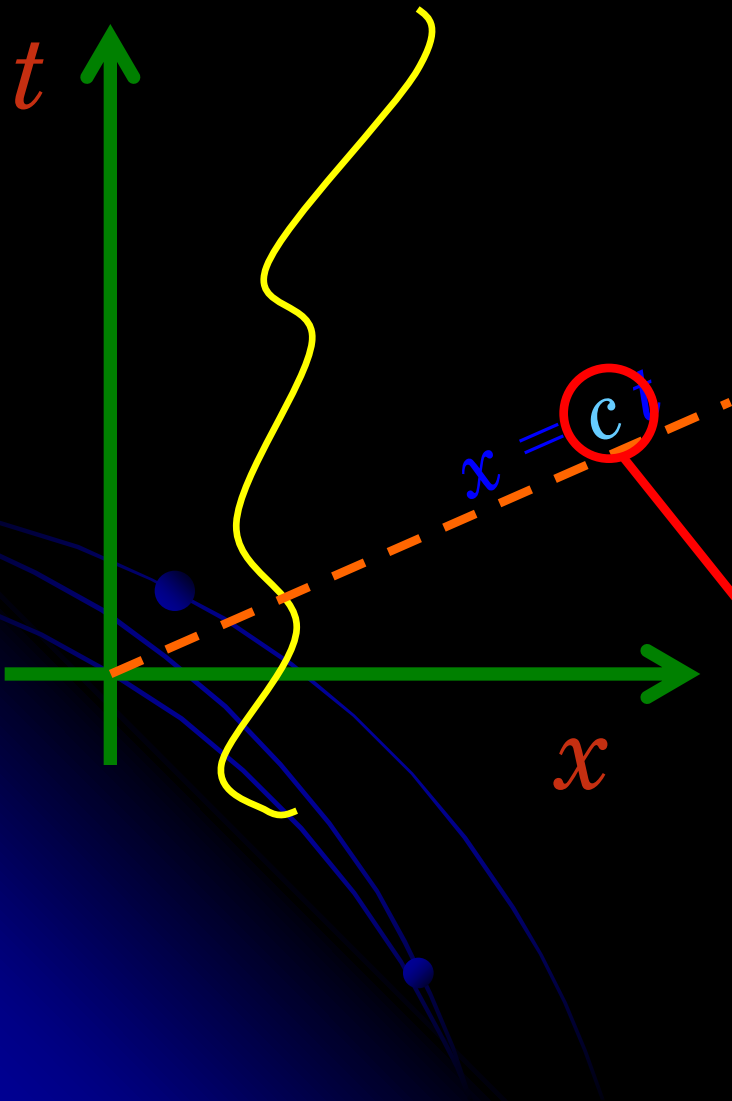




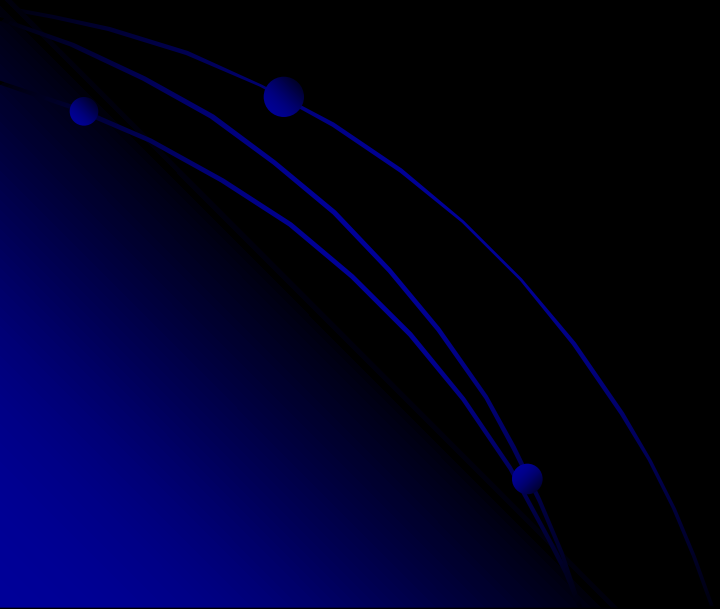
Evento: Suceso
localizado en un
instante preciso.

Línea mundo de A:
Conjunto de eventos
experimentados por A.

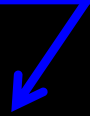
$c = 300.000 \text{ km/s}$



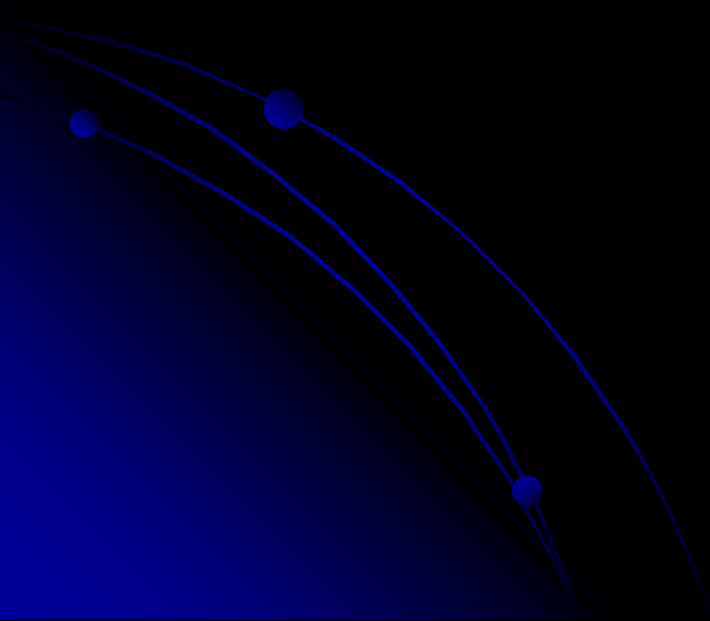
Relatividad Especial



Relatividad Especial



**Las leyes de la física
son las mismas
desde cualquier
sistema de referencia
inercial**



Relatividad Especial

```
graph TD; A[Relatividad Especial] --> B[Las leyes de la física son las mismas desde cualquier sistema de referencia inercial]; A --> C[La velocidad de la luz en el vacío es finita, constante e igual a c.];
```

Las leyes de la física son las mismas desde cualquier sistema de referencia inercial

La velocidad de la luz en el vacío es finita, constante e igual a c .

The bottom left corner of the slide features a decorative graphic with several curved lines and dots, resembling a stylized orbit or a path in space.

Relatividad Especial

```
graph TD; A[Relatividad Especial] --> B[Las leyes de la física son las mismas desde cualquier sistema de referencia inercial]; A --> C[La velocidad de la luz en el vacío es finita, constante e igual a c.]; D[¡Independiente del movimiento de la fuente!]
```

Las leyes de la física son las mismas desde cualquier sistema de referencia inercial

La velocidad de la luz en el vacío es finita, constante e igual a c .

¡Independiente del movimiento de la fuente!



Relatividad Especial

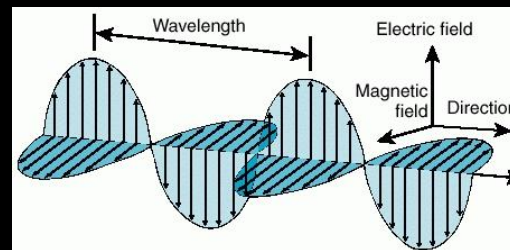
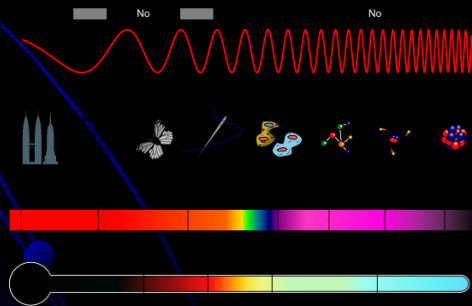
Las leyes de la física son las mismas desde cualquier sistema de referencia inercial

La velocidad de la luz en el vacío es finita, constante e igual a c .

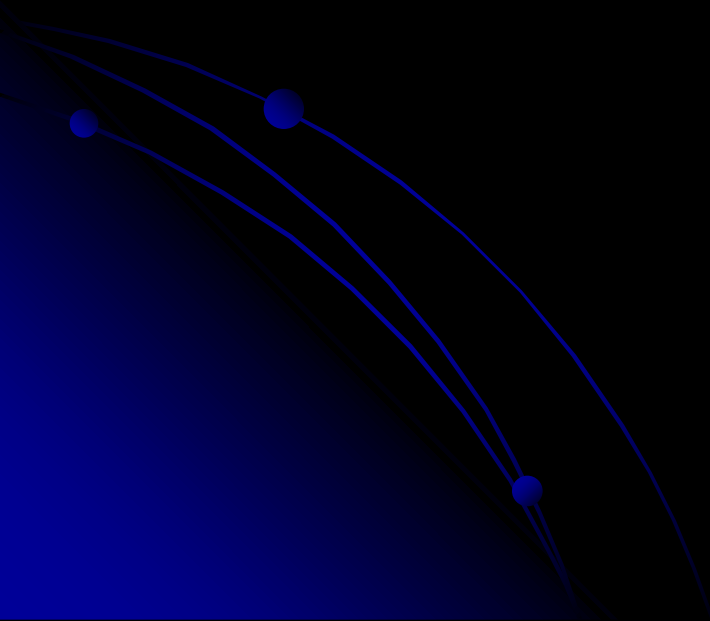
ELECTRO

¡Independiente del movimiento de la fuente!

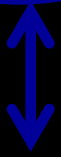
$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mathbf{j} + \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\end{aligned}$$



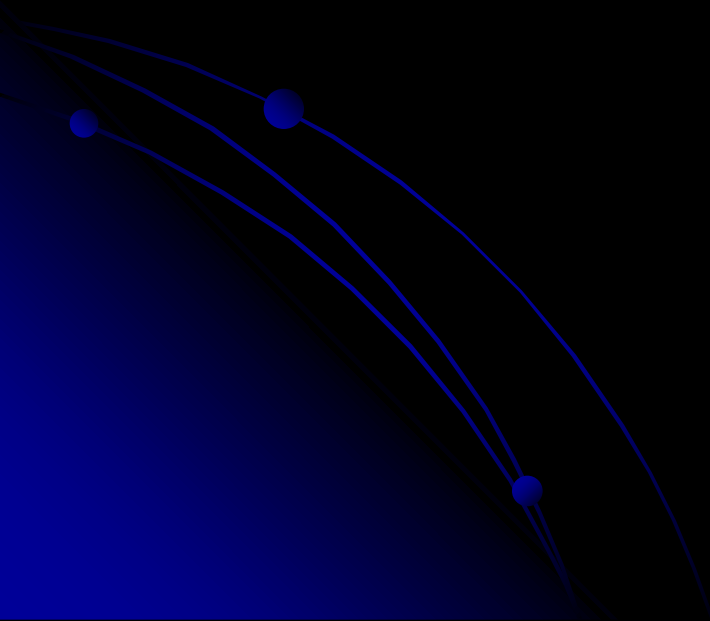
RE



RE



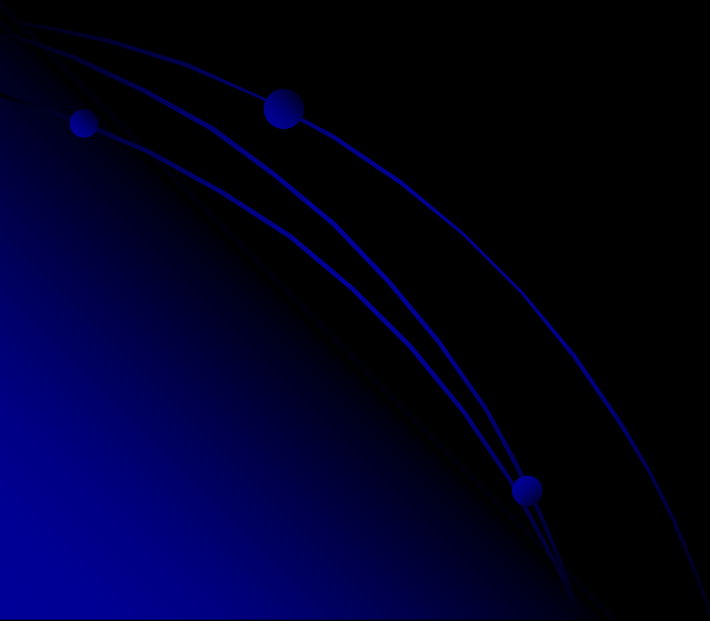
Newton

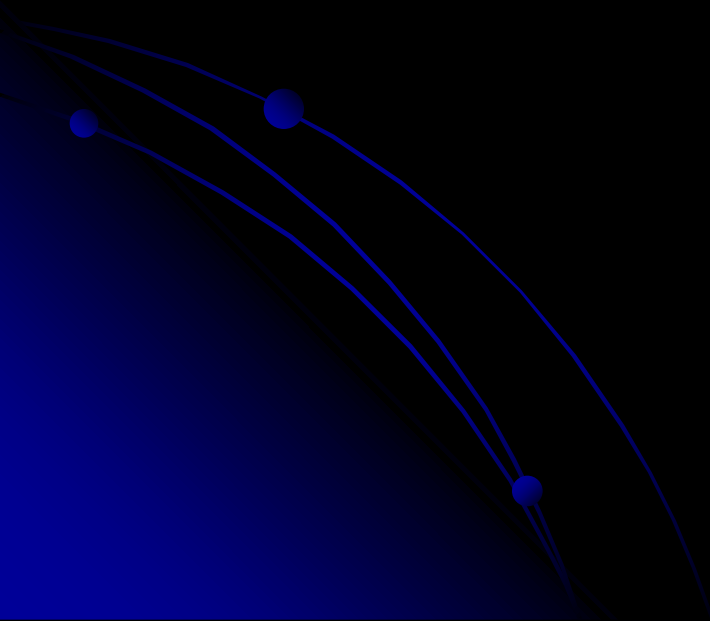
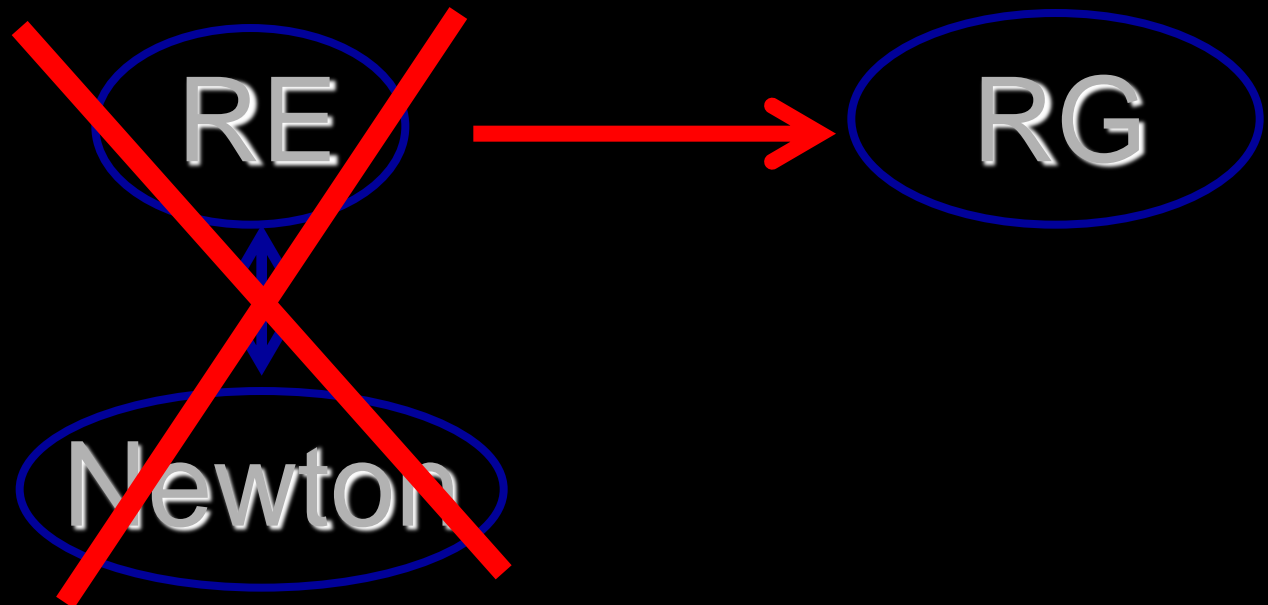


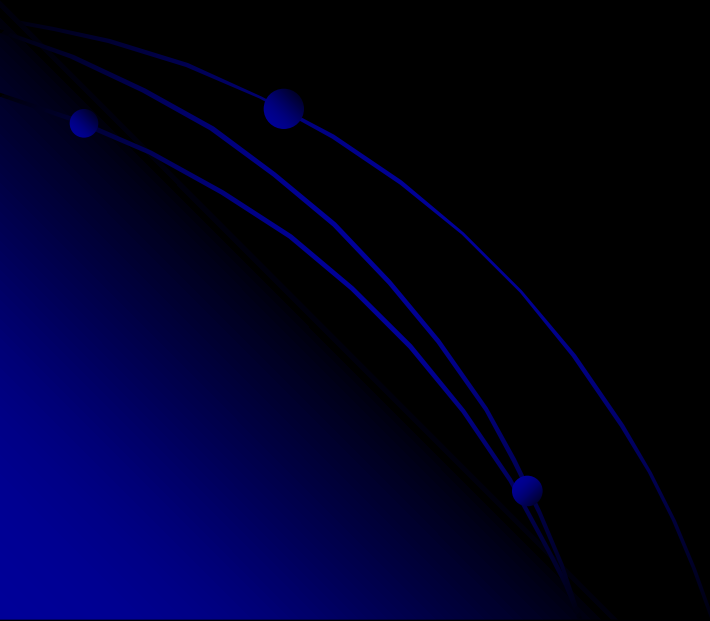
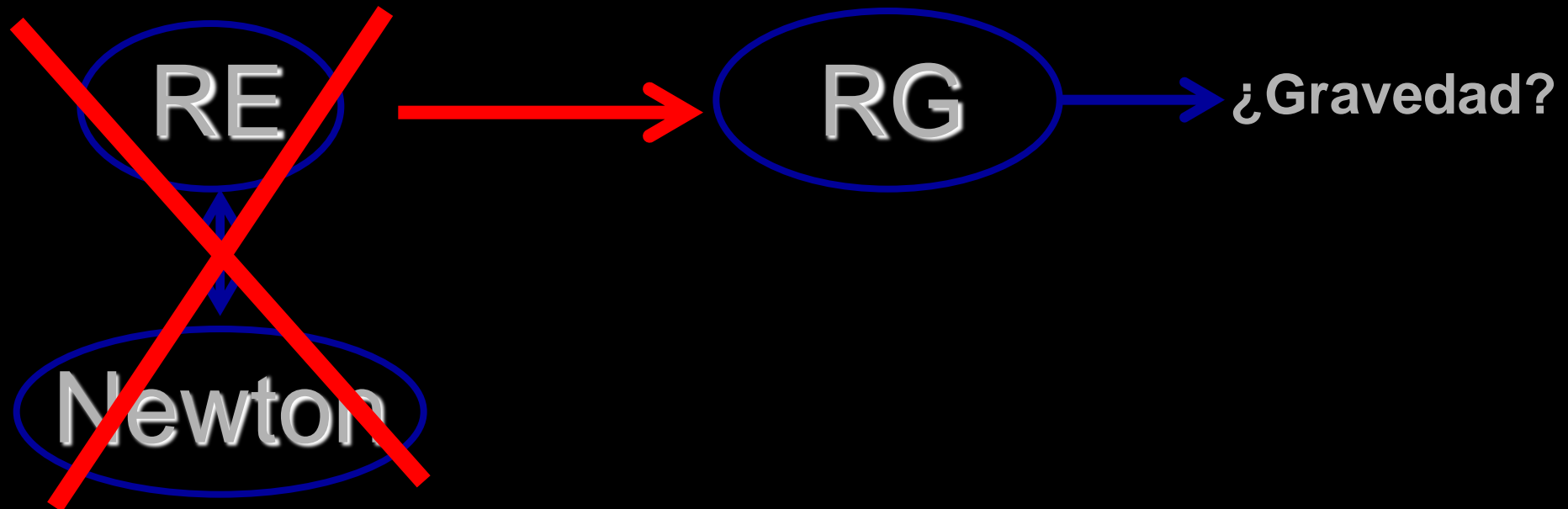
RE

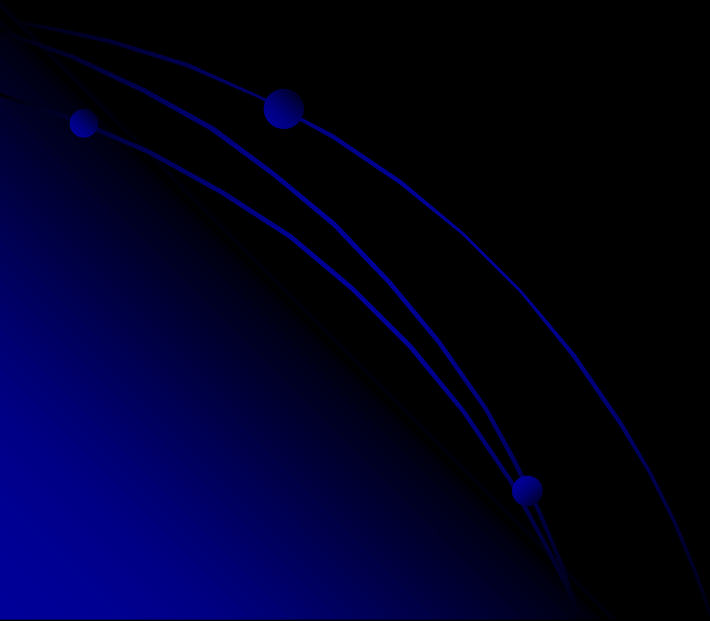
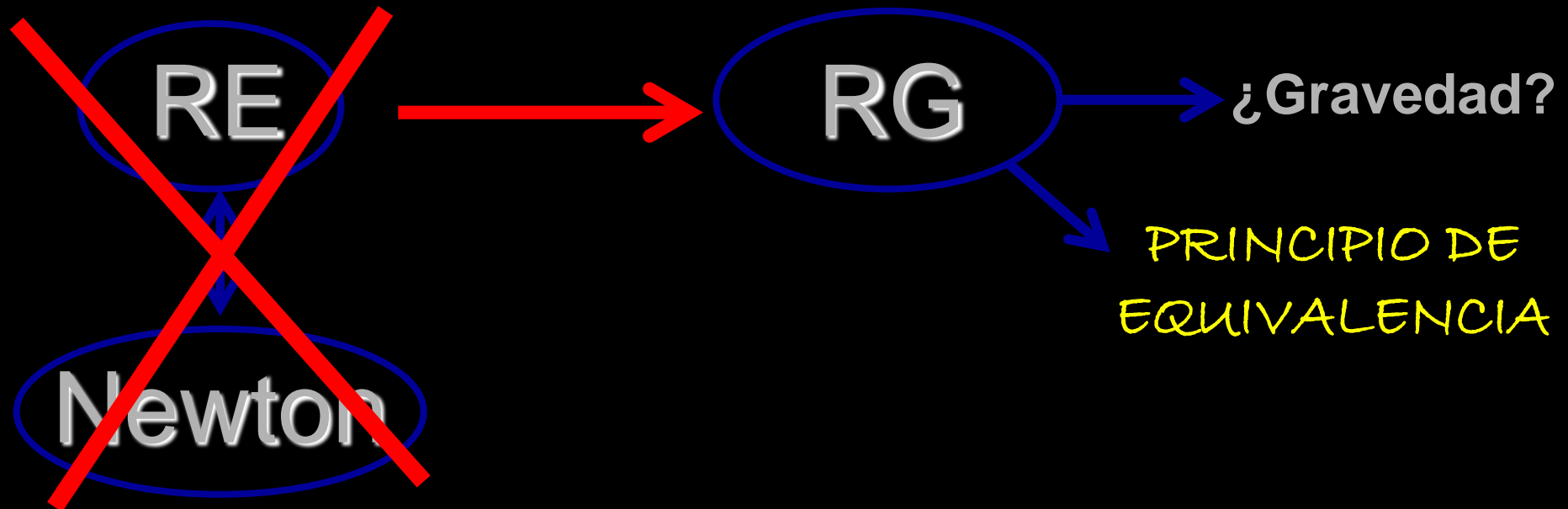


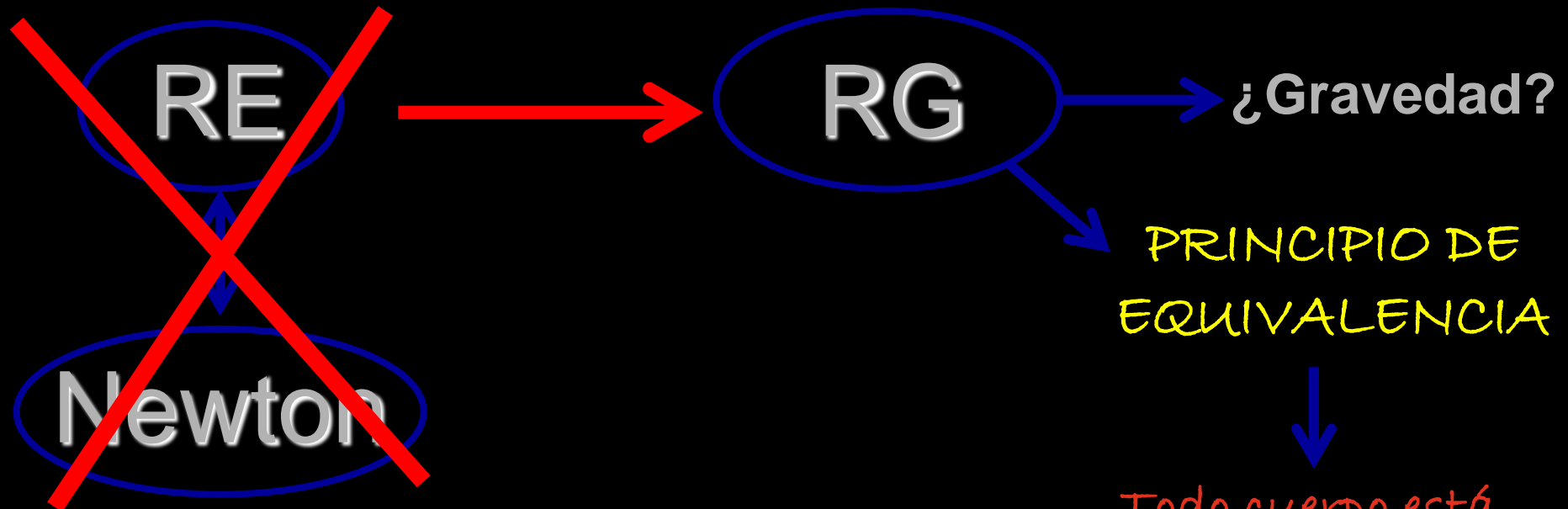
Newton



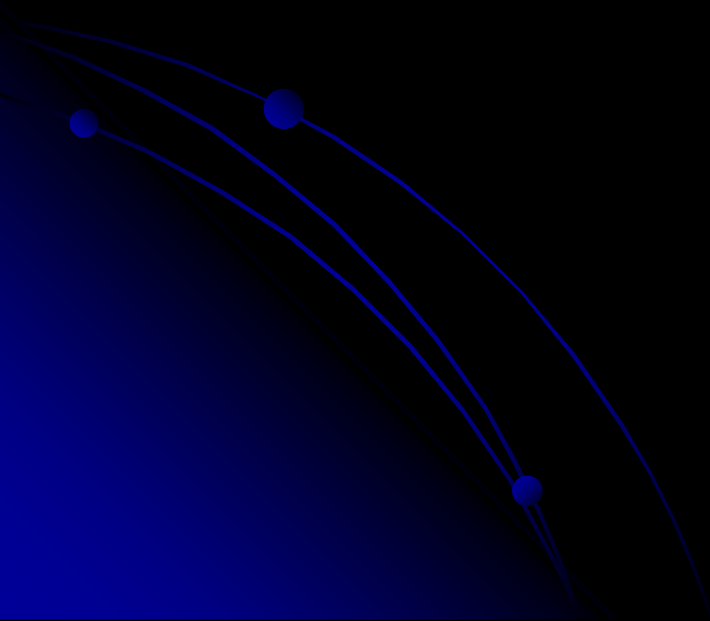


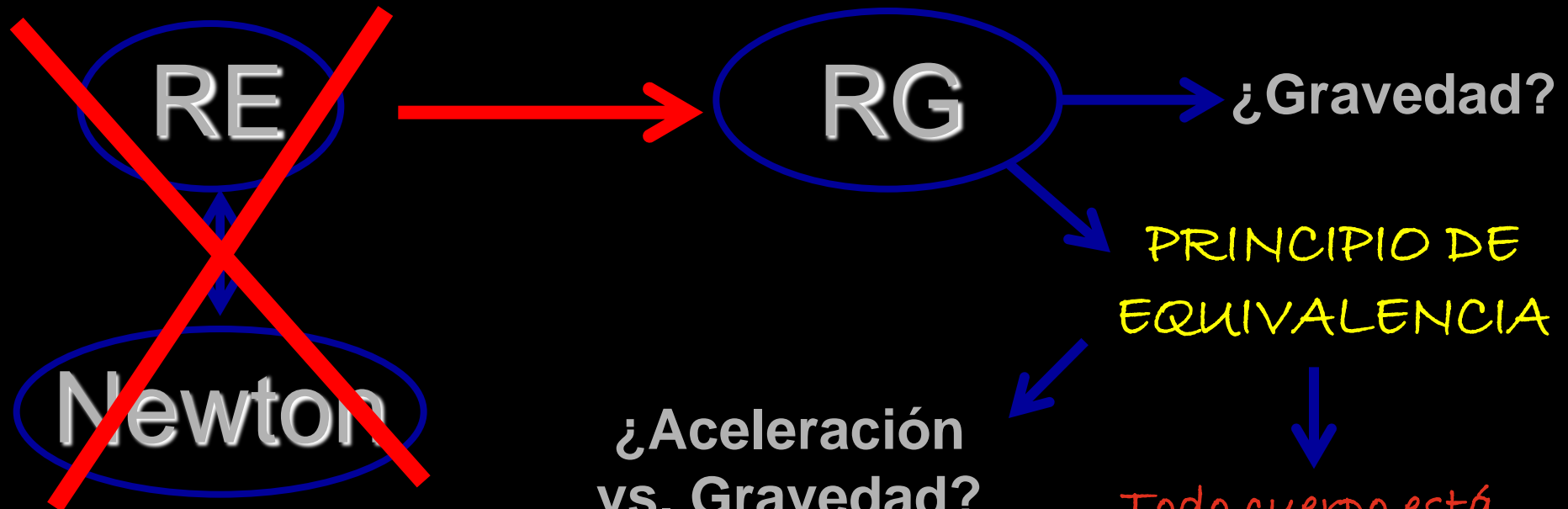






Todo cuerpo está influenciado por la Gravedad de la misma forma





RE

RG

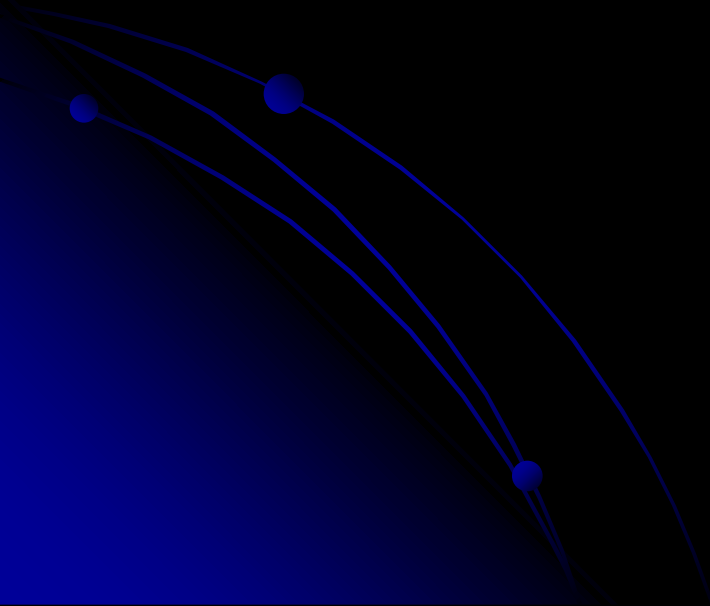
¿Gravedad?

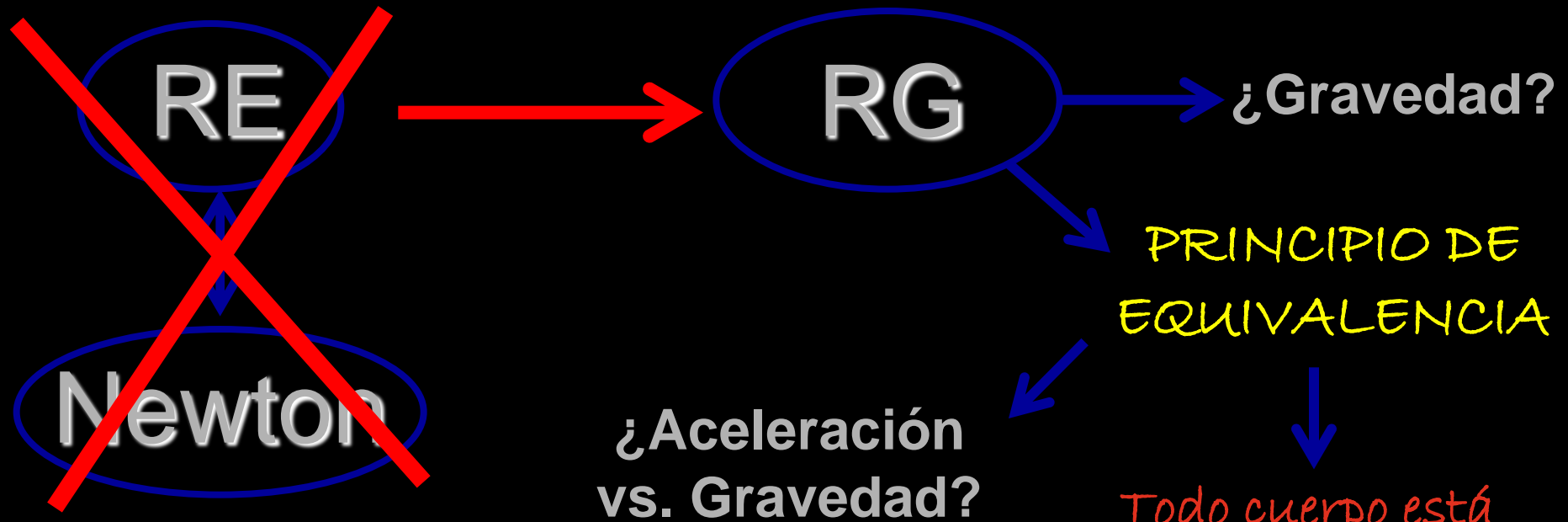
~~Newton~~

¿Aceleración vs. Gravedad?

PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA

Todo cuerpo está influenciado por la Gravedad de la misma forma

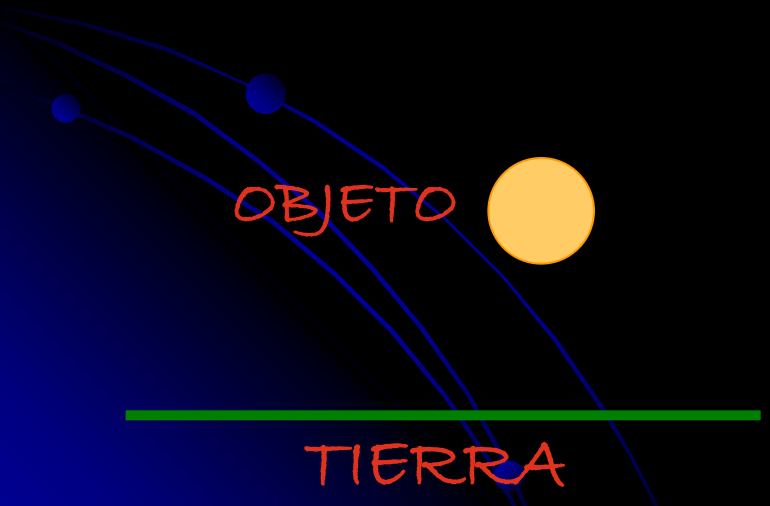


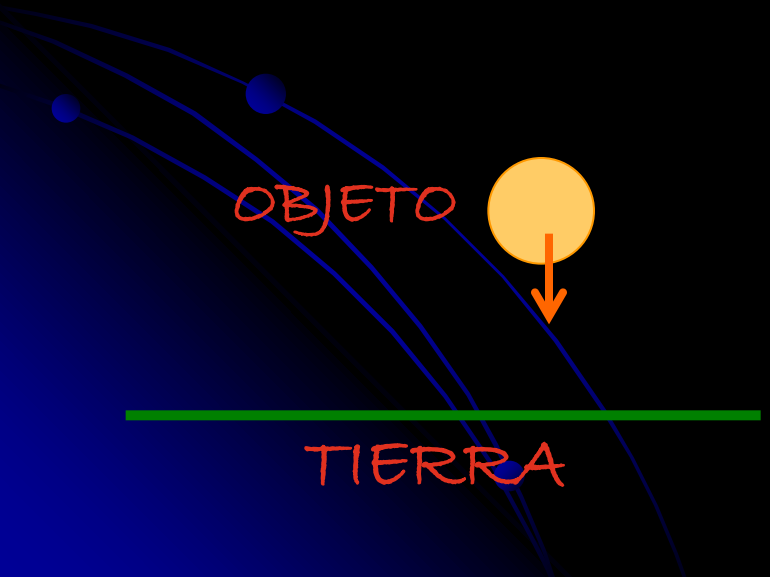
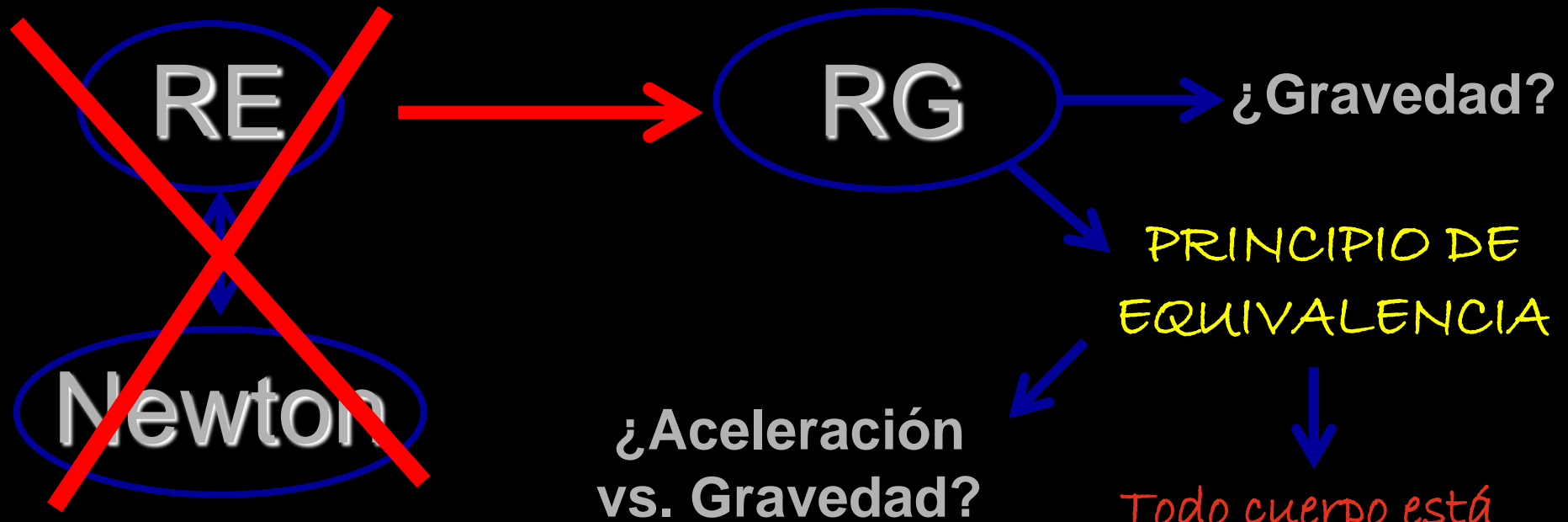


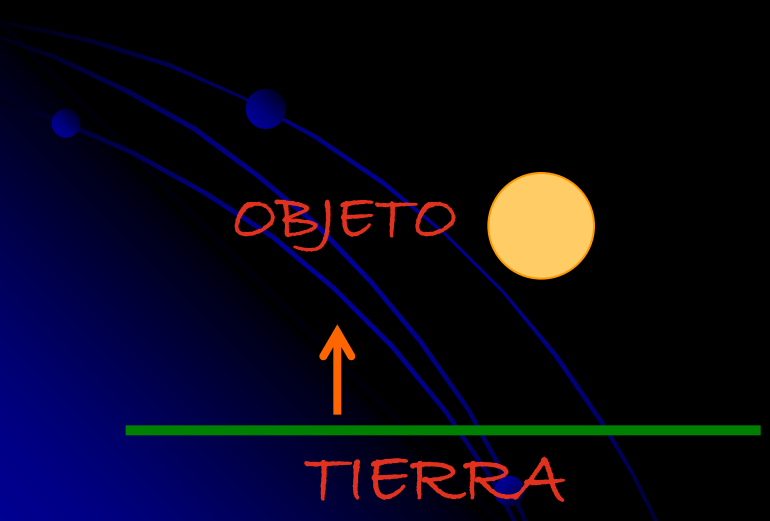
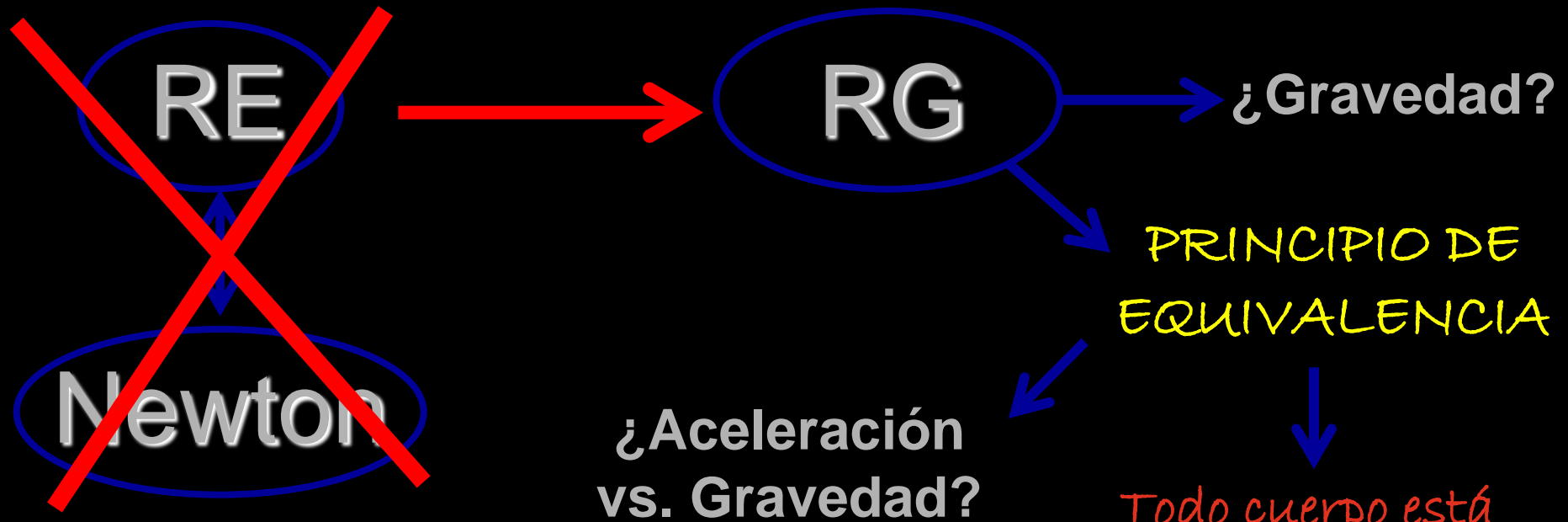
¿Aceleración vs. Gravedad?

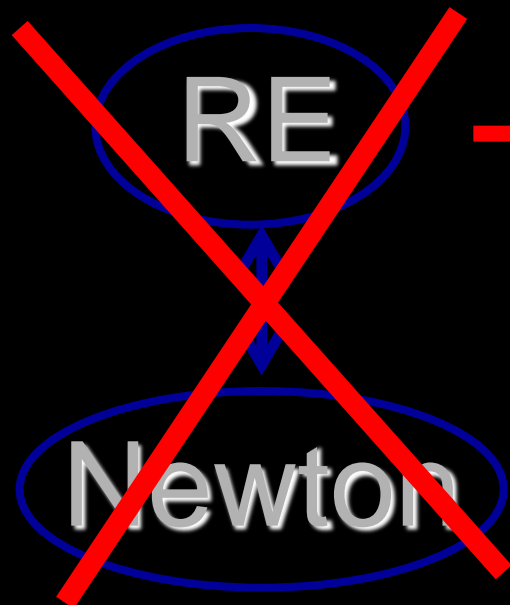
PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA

Todo cuerpo está influenciado por la Gravedad de la misma forma





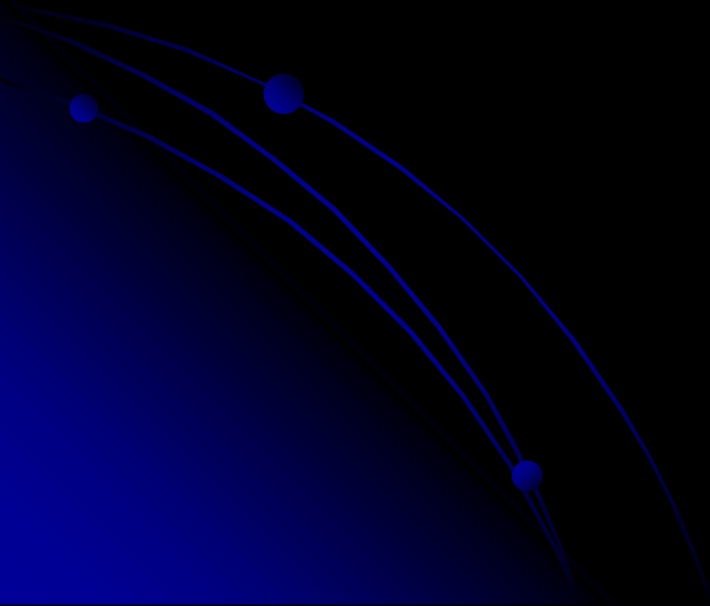


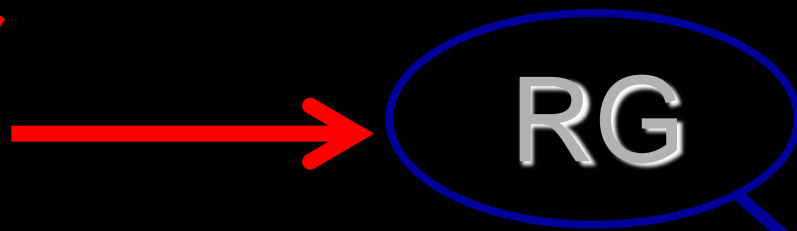
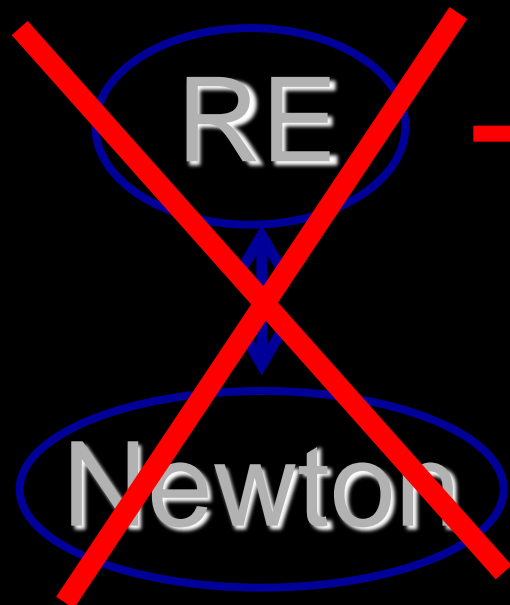


¿Aceleración vs. Gravedad?

PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA

Todo cuerpo está influenciado por la Gravedad de la misma forma



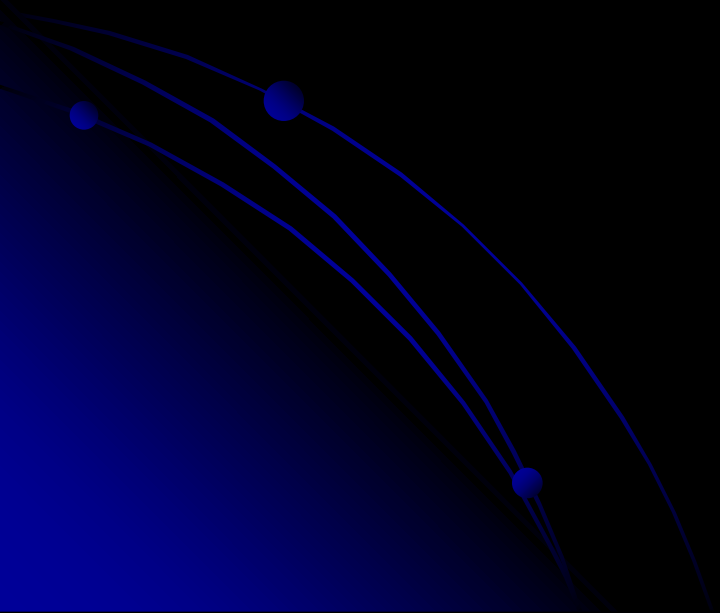
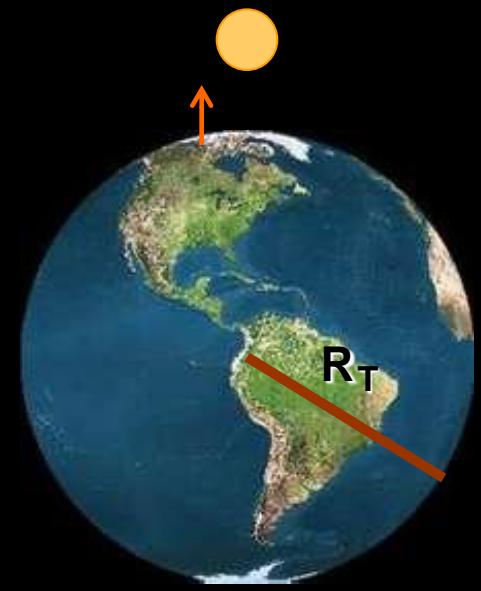


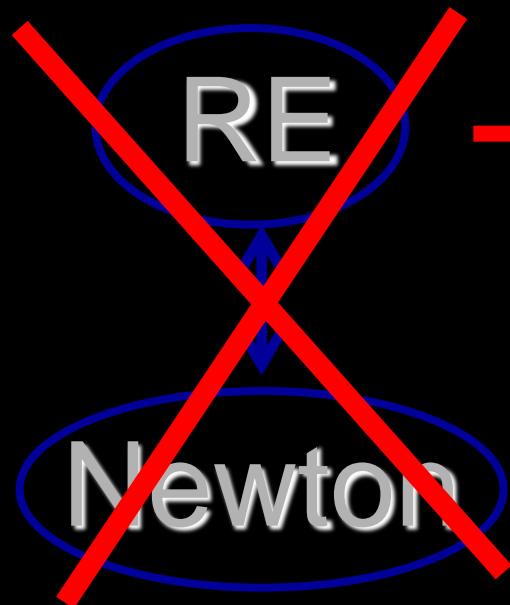
→ ¿Gravedad?

PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA

¿Aceleración vs. Gravedad?

Todo cuerpo está influenciado por la Gravedad de la misma forma

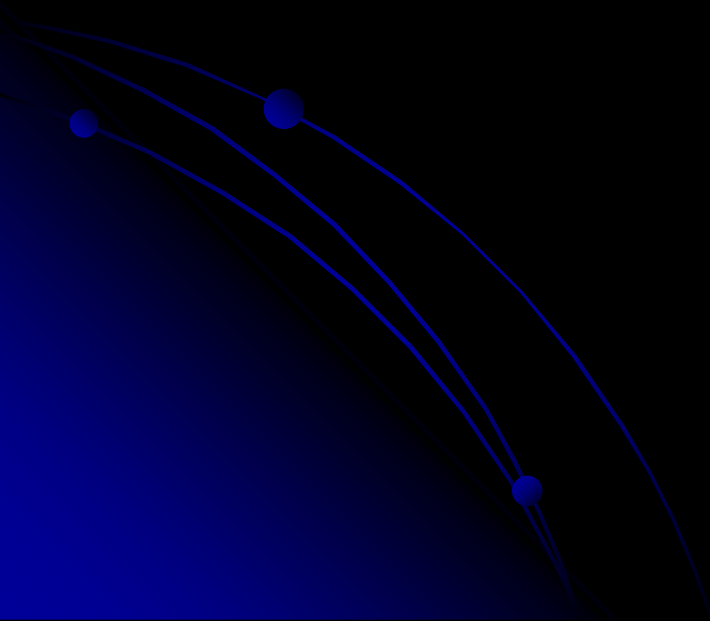


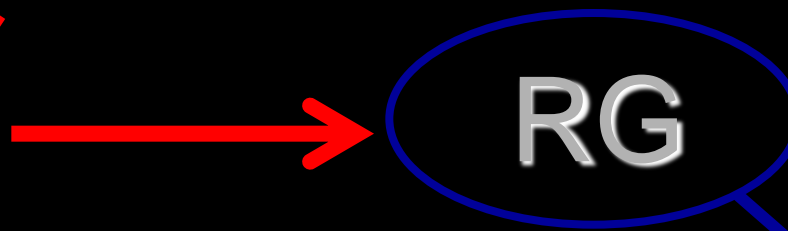
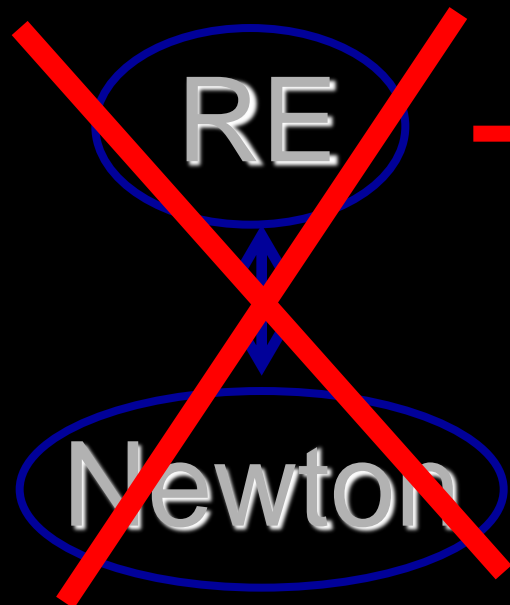


PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA

¿Aceleración vs. Gravedad?

Todo cuerpo está influenciado por la Gravedad de la misma forma





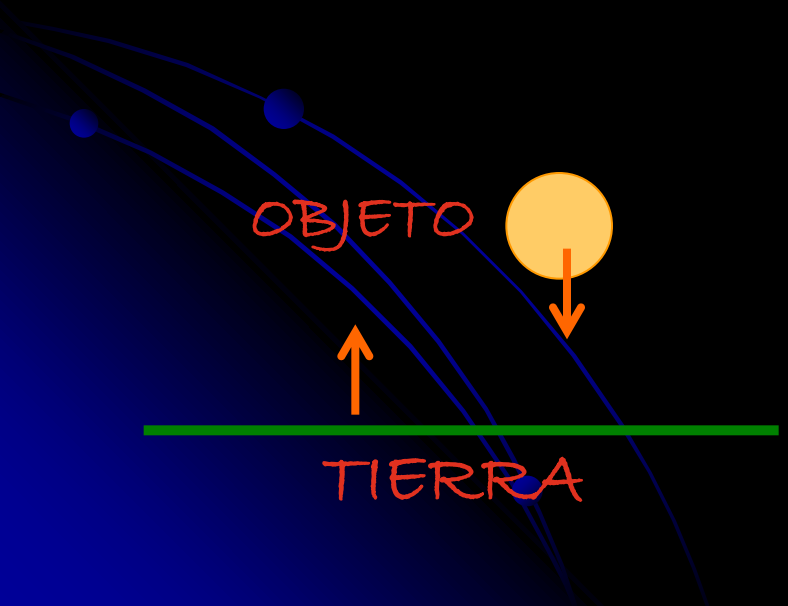
→ ¿Gravedad?

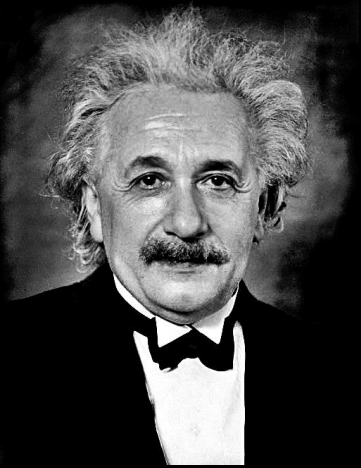
PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA

¿Aceleración vs. Gravedad?

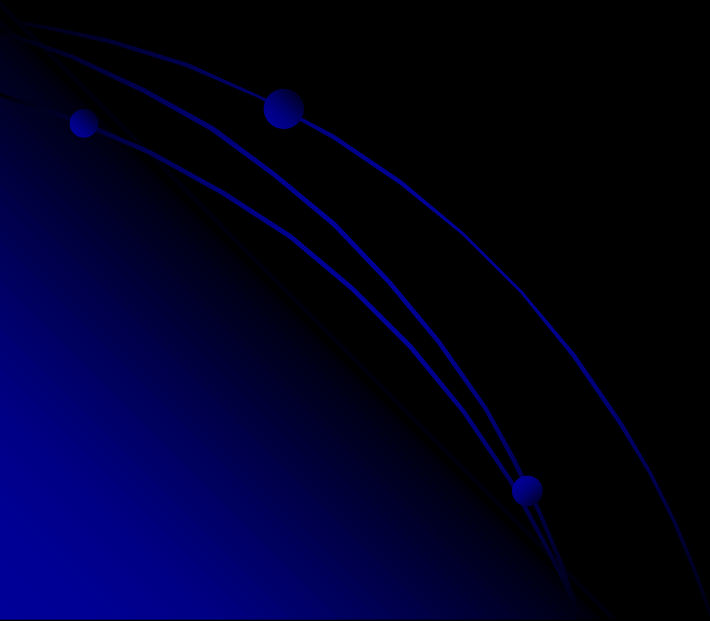
Todo cuerpo está influenciado por la Gravedad de la misma forma

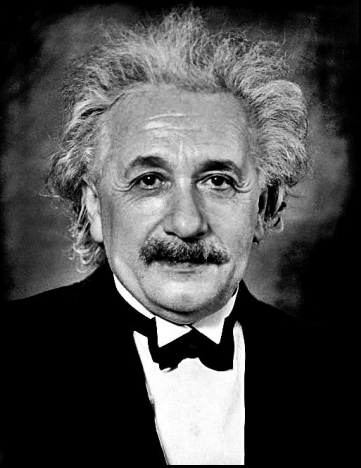
¡CAMBIA LA GEOMETRÍA!



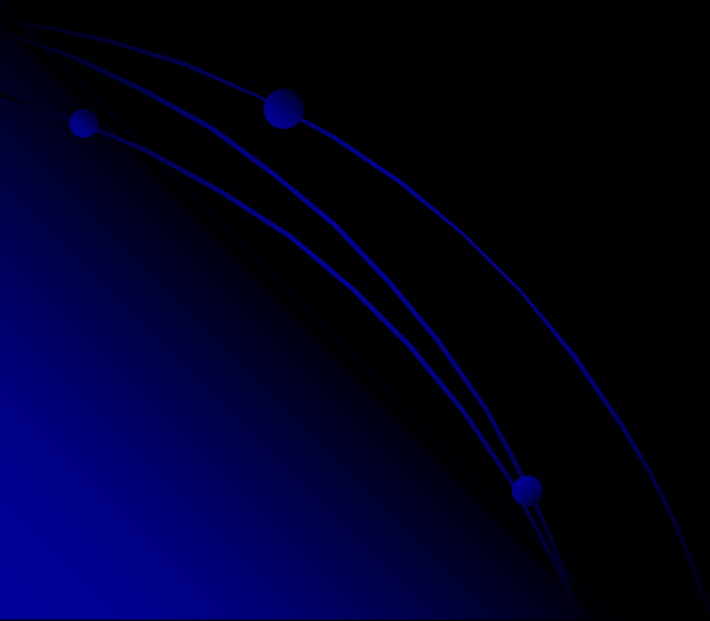


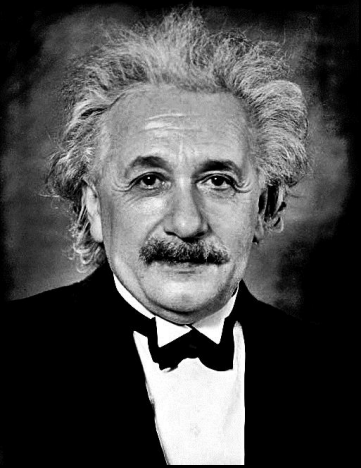
- No es posible medir “desde afuera”
el campo gravitatorio...





- No es posible medir “desde afuera” el campo gravitatorio...
- El campo gravitatorio es parte de la estructura del espaciotiempo...

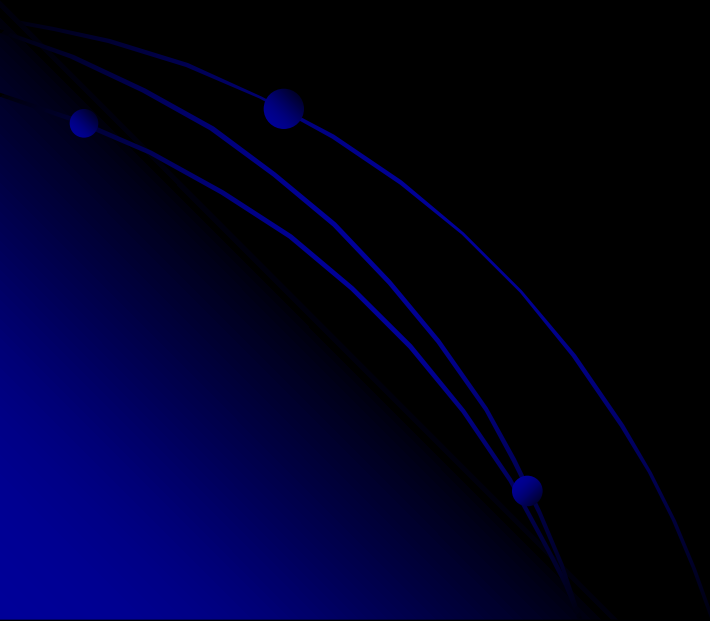


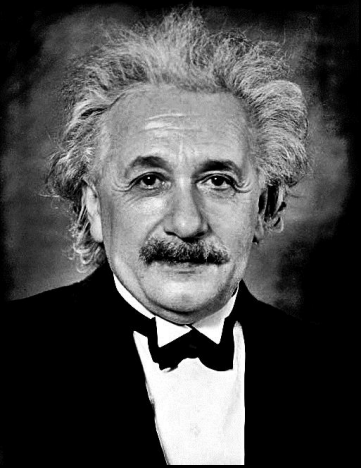


- No es posible medir “desde afuera” el campo gravitatorio...

- El campo gravitatorio es parte de la estructura del espaciotiempo...

- Lo que llamamos “gravedad”, es en realidad una manifestación de la **curvatura** del espaciotiempo...

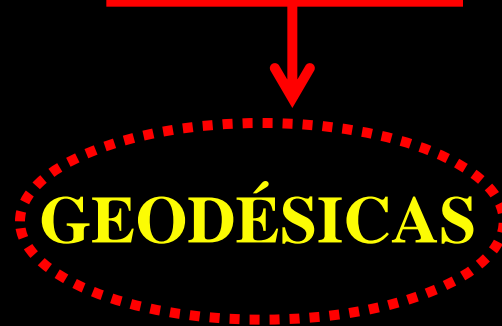


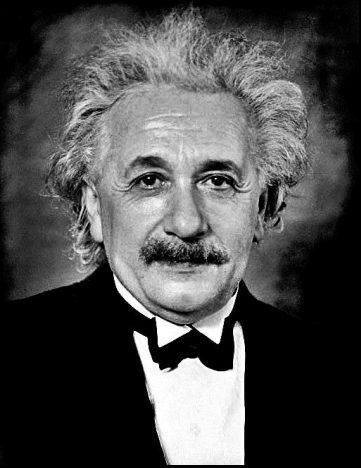


- No es posible medir “desde afuera” el campo gravitatorio...

- El campo gravitatorio es parte de la estructura del espaciotiempo...

- Lo que llamamos “gravedad”, es en realidad una manifestación de la **curvatura** del espaciotiempo...

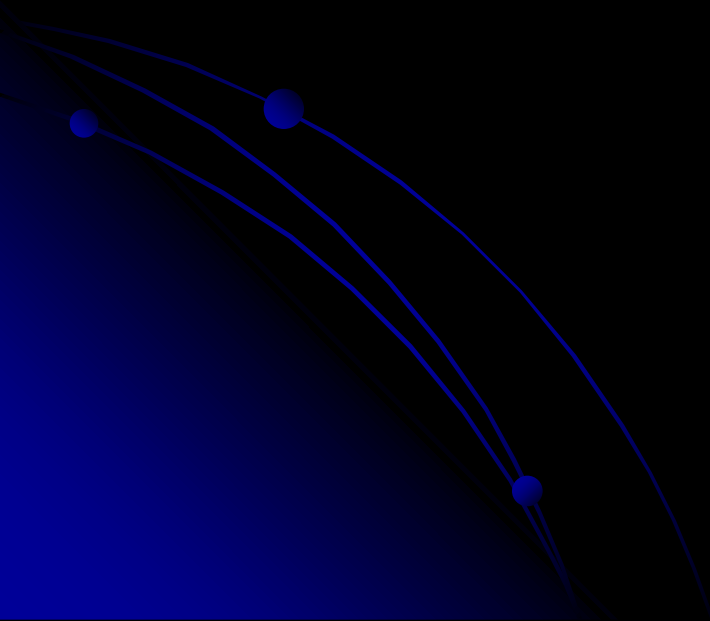
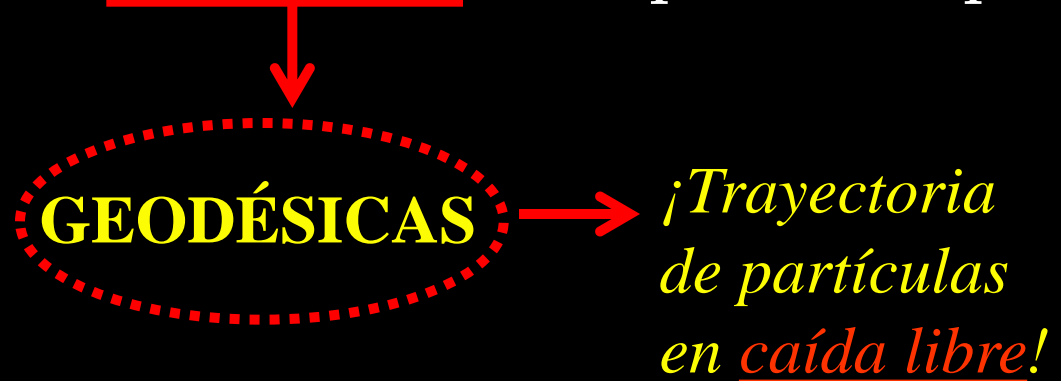


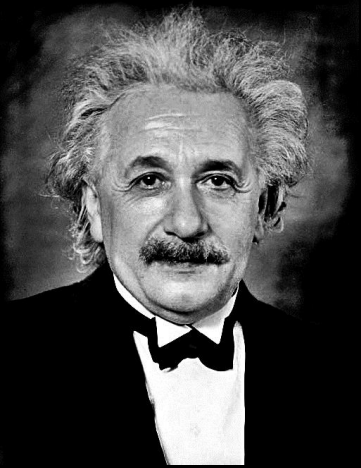


- No es posible medir “desde afuera” el campo gravitatorio...

- El campo gravitatorio es parte de la estructura del espaciotiempo...

- Lo que llamamos “gravedad”, es en realidad una manifestación de la **curvatura** del espaciotiempo...





- No es posible medir “desde afuera” el campo gravitatorio...

- El campo gravitatorio es parte de la estructura del espaciotiempo...

- Lo que llamamos “gravedad”, es en realidad una manifestación de la **curvatura** del espaciotiempo...

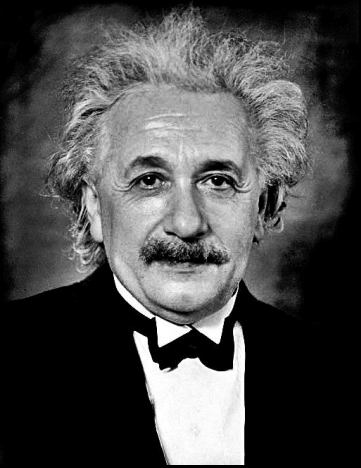


The diagram shows several blue curved lines on a dark blue background, representing geodesics in a curved spacetime. Each line has a small blue dot at its starting point. A red arrow points from the word 'curvatura' in the text above to a red dashed oval containing the word 'GEODÉSICAS'. Another red arrow points from this oval to the text '¡Trayectoria de partículas en caída libre!'. A third red arrow points from the oval to the text 'Líneas Rectas'.

GEODÉSICAS

*¡Trayectoria
de partículas
en caída libre!*

Líneas Rectas



- No es posible medir “desde afuera” el campo gravitatorio...

- El campo gravitatorio es parte de la estructura del espaciotiempo...

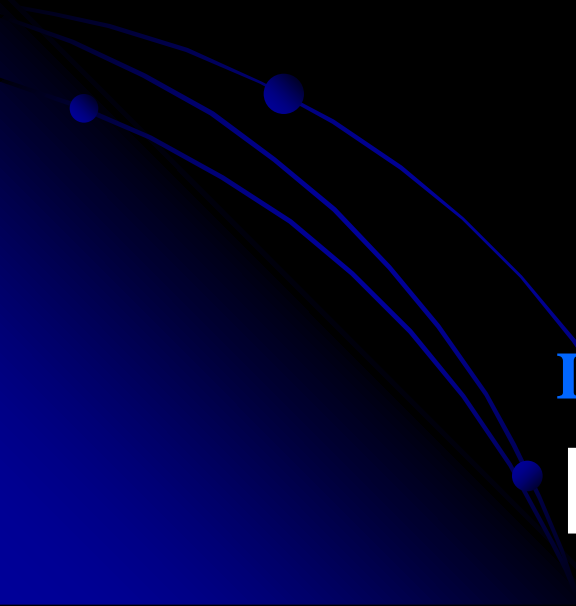
- Lo que llamamos “gravedad”, es en realidad una manifestación de la **curvatura** del espaciotiempo...

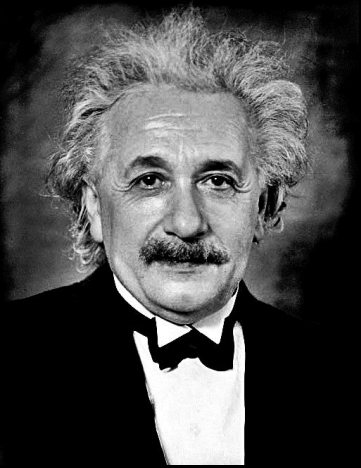
GEODÉSICAS

¡Trayectoria de partículas en caída libre!

Líneas Rectas

PLANO





- No es posible medir “desde afuera” el campo gravitatorio...

- El campo gravitatorio es parte de la estructura del espaciotiempo...

- Lo que llamamos “gravedad”, es en realidad una manifestación de la **curvatura** del espaciotiempo...

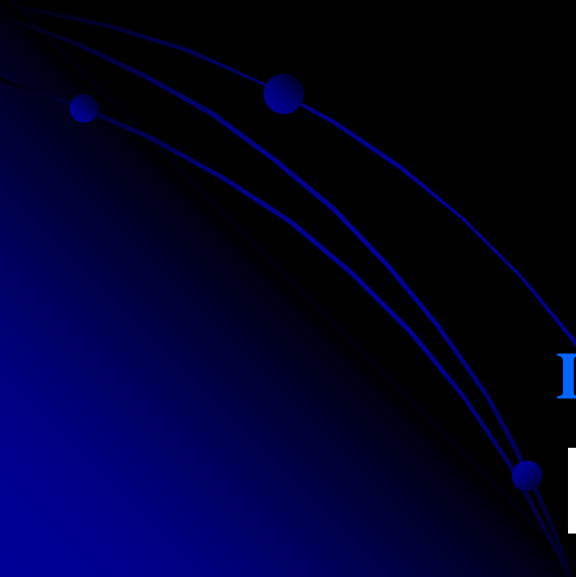
GEODÉSICAS

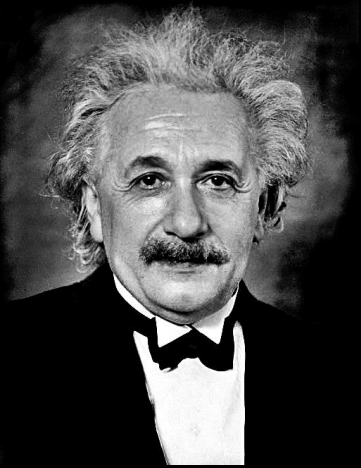
¡Trayectoria de partículas en caída libre!

Líneas Rectas

Líneas Curvas

PLANO





- No es posible medir “desde afuera” el campo gravitatorio...

- El campo gravitatorio es parte de la estructura del espaciotiempo...

- Lo que llamamos “gravedad”, es en realidad una manifestación de la **curvatura** del espaciotiempo...

GEODÉSICAS

¡Trayectoria de partículas en caída libre!

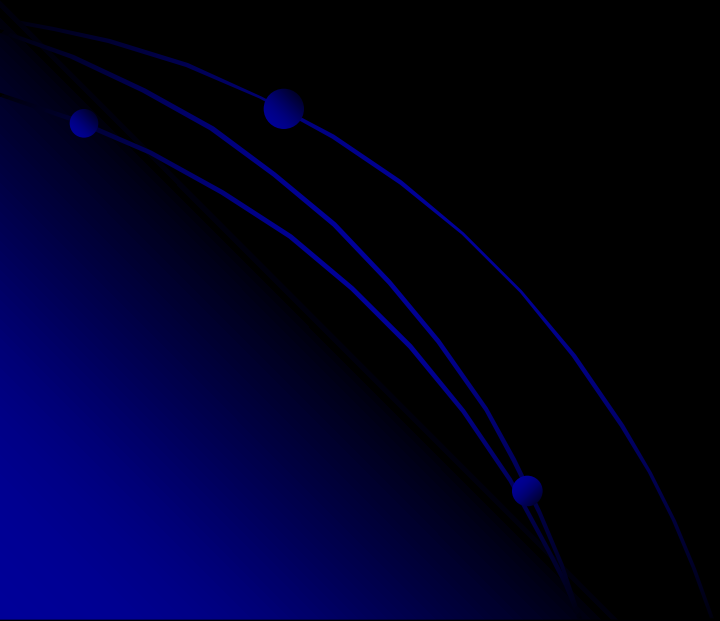
Líneas Rectas

Líneas Curvas

PLANO

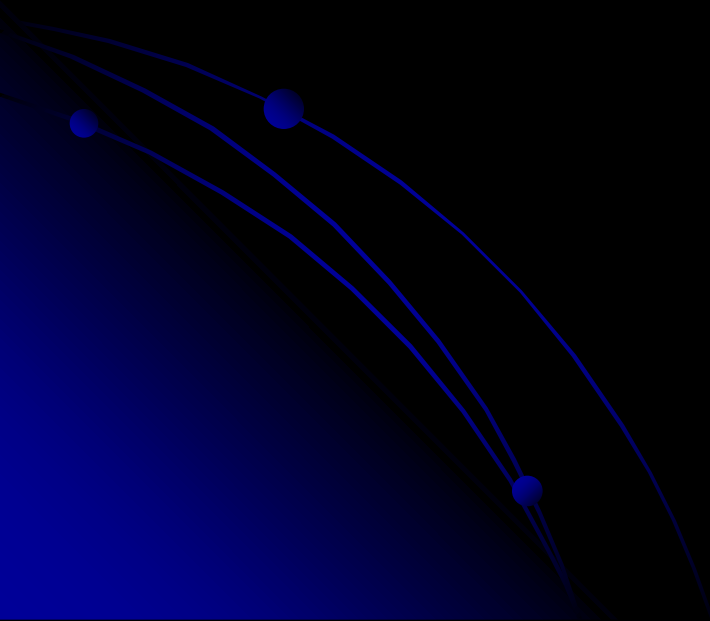
CURVO

¿Vivimos en un Universo
plano o curvo?



¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



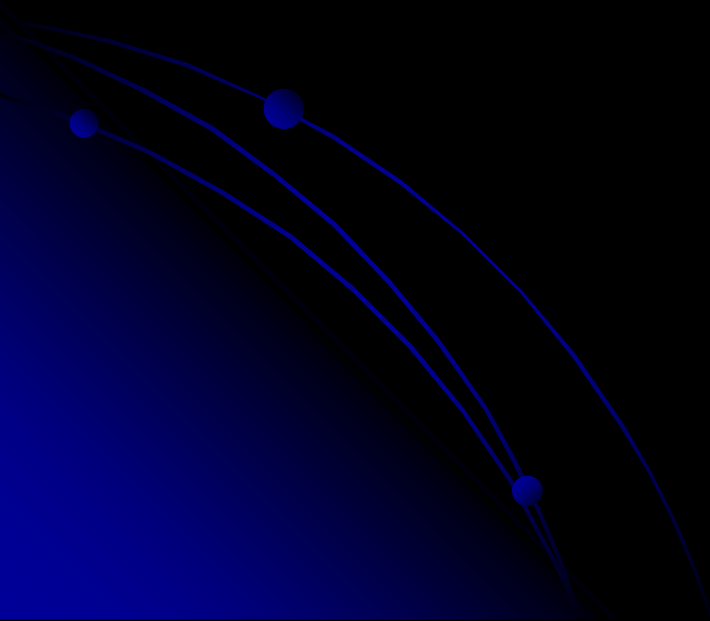
¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**

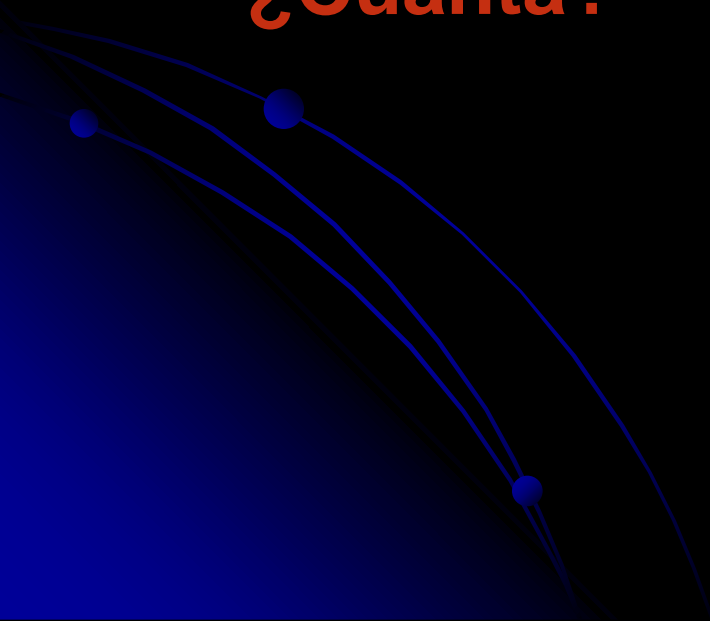


¿Cuánta?



$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



¿Cuánta?

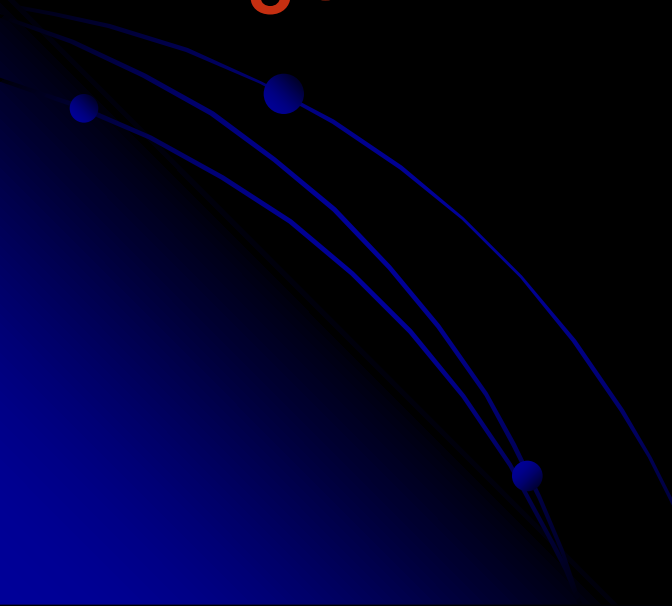


$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Cuánta?



¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



¿Cuánta?

Objetos
materiales



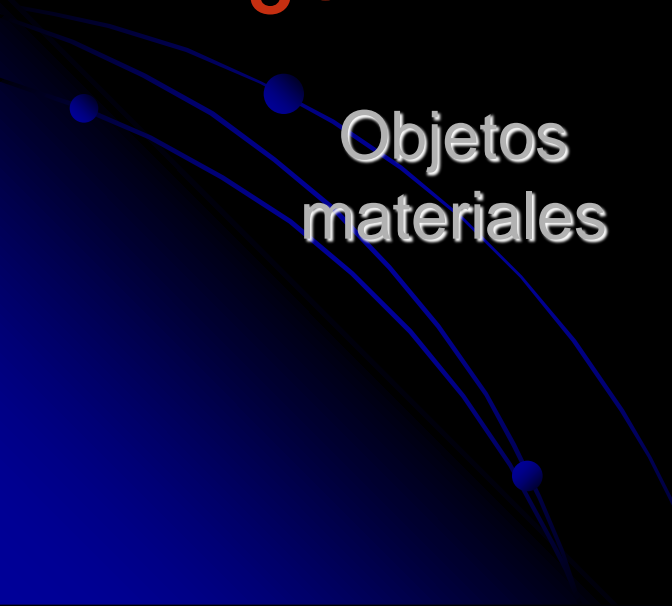
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Cuánta?



¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



¿Cuánta?

Objetos
materiales

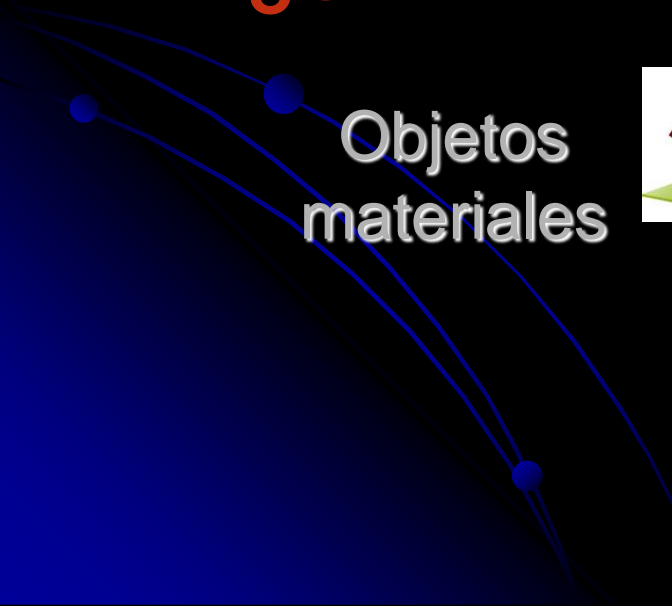


$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Cuánta?



¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



¿Cuánta?

Objetos
materiales



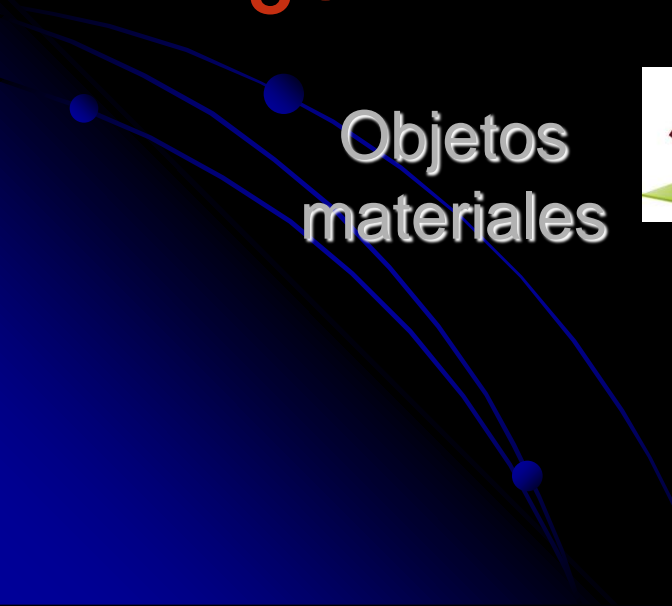
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Cuánta?



¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



¿Cuánta?

Objetos
materiales



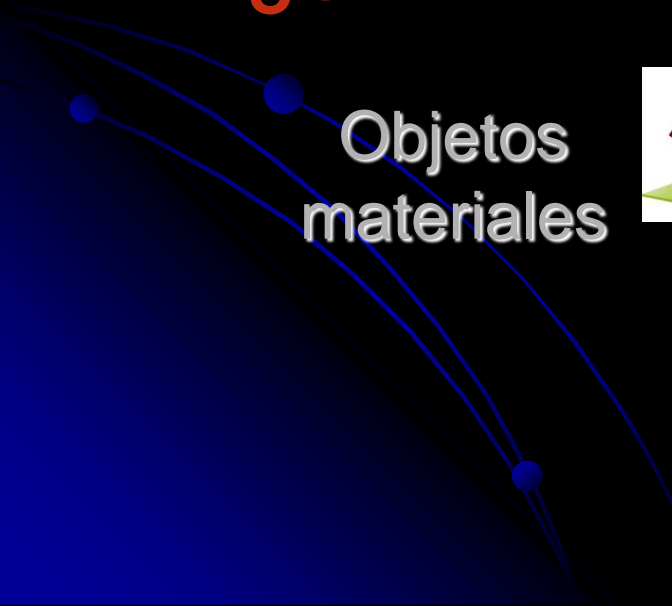
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Cuánta?



¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



¿Cuánta?

Objetos
materiales



$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Cuánta?

¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



¿Cuánta?

Objetos
materiales

Objetos
masivos



$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Cuánta?

¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**



¿Cuánta?

Objetos
materiales



Objetos
masivos



$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Cuánta?

¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**

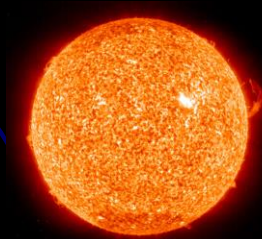


¿Cuánta?

Objetos
materiales



Objetos
masivos



$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**



¿Cuánta?

¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**

**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

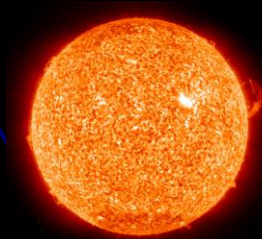
¿Cuánta?

¿Cuánta?

Objetos
materiales



Objetos
masivos



¿Vivimos en un Universo plano o curvo?

**HAY
MATERIA**

**HAY CURVATURA
DEL
ESPACIOTIEMPO**

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

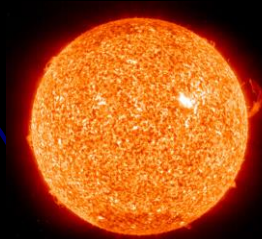
¿Cuánta?

¿Cuánta?

Objetos
materiales



Objetos
masivos





¿Preguntas?

