



Universidad Nacional de Río Negro

Física 1 A - 2016

- **Unidad** 02 – Universo
- **Clase** 0201
- **Fecha** 31 Mar 2016
- **Cont** Materia
- **Cátedra** Asorey – Cutsaimanis
- **Web** <http://fisicareconocida.wordpress.com>
- **Archivo** a-2016-U02-C01-0331-materia



Plomos vs Plumas (en el vacío)



En el episodio anterior



El de verdad



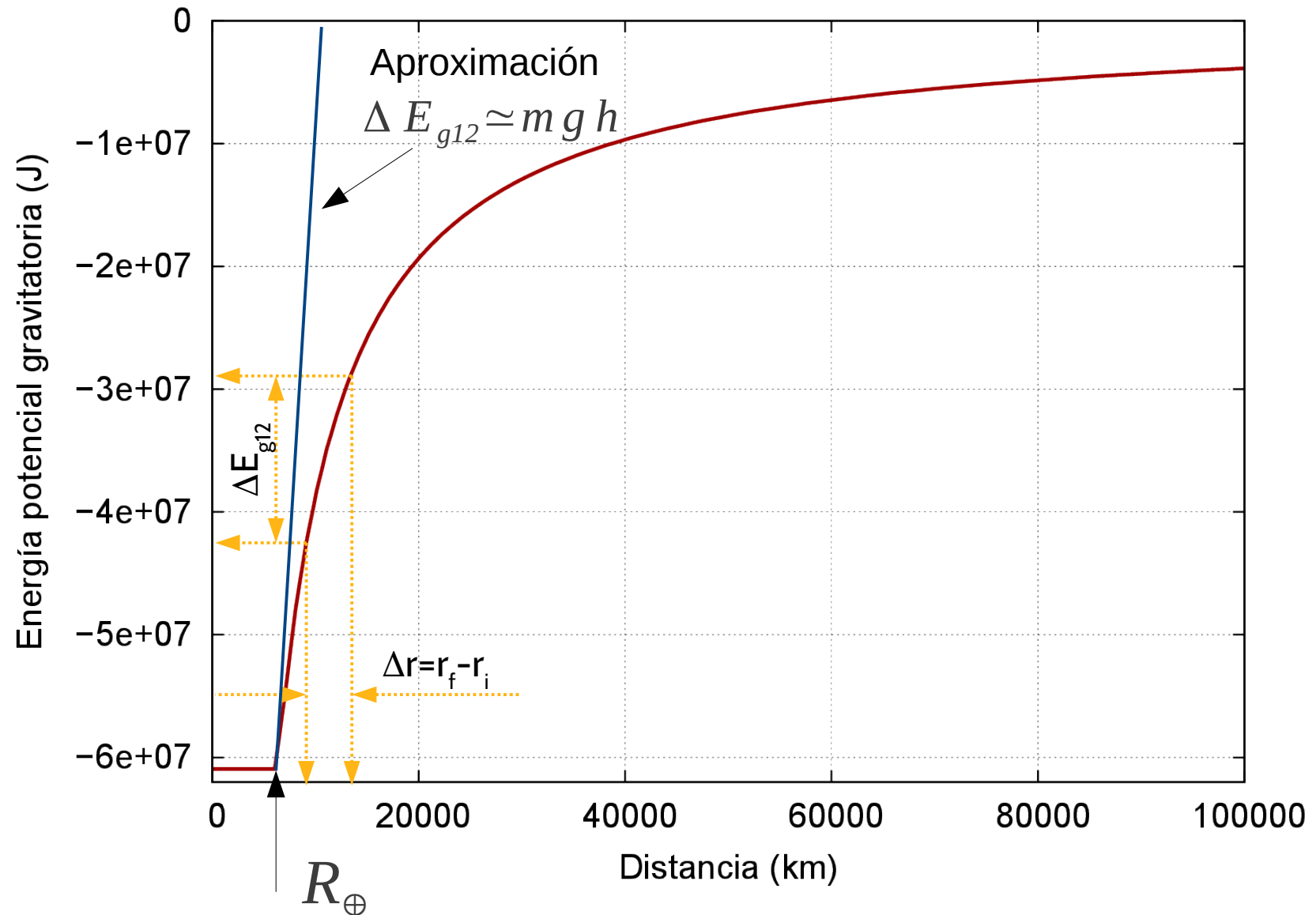
En el episodio anterior



Calcular el **tiempo** que le toma a una señal viajando a la **velocidad de la luz** en llegar a la Tierra (**$D=135$ UA**)



La gráfica





Lo mismo podría hacerse con la general

$$\Delta E_{g12} = -G M m_2 \left(\frac{1}{(R+h)} - \frac{1}{R} \right) = -\frac{1}{2} m_2 (v_2^2 - v_1^2) = -\Delta E_{k12}$$

- Imaginemos lo siguiente: $v_2 = 0$ y $h \rightarrow \infty$
- Luego, si $h \rightarrow \infty$, $1/(R+h) \rightarrow 0$. Entonces:

$$-G M m_2 \left(-\frac{1}{R} \right) = -\frac{1}{2} m_2 (-v_1^2)$$

$$\frac{G M}{R} = \frac{1}{2} v_1^2$$

$$v_1^2 = \frac{2 G M}{R}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 G M}{R}} \equiv v_e$$

v_e es la **velocidad de escape**: hay que darle esa velocidad a un cuerpo para que sea capaz de liberarse de la atracción gravitatoria de un planeta y **llegar al infinito con velocidad 0**.

$$v_{e\oplus} = \sqrt{\frac{2 G M_{\oplus}}{R_{\oplus}}}$$

Calcular v_e para la Tierra



Y ahora hagamos la cuenta

- Empecemos

$$\frac{\Delta E_g}{\Delta r} = \frac{-G M_{\oplus} m}{(R_{\oplus} + h) - R_{\oplus}} \left(\frac{1}{(R_{\oplus} + h)} - \frac{1}{R_{\oplus}} \right)$$

- Y entonces:

$$\frac{\Delta E_g}{\Delta r} = \frac{G M_{\oplus} m}{R_{\oplus}} \left(\frac{1}{R_{\oplus} + h} \right)$$

- Y si hacemos $h \rightarrow 0$:

$$h \rightarrow 0 \Rightarrow \frac{\Delta E_g}{\Delta r} \rightarrow m \left(\frac{G M_{\oplus}}{R_{\oplus}^2} \right) = m g$$

Esta es la interacción
(**fuerza**) asociada a la
energía potencial
gravitatoria: el **peso**



¡Que trabajo fue llegar hasta aquí!

- Alto. Si $h \rightarrow 0$ entonces vale $\Delta E_g = mgh$, ¿no?
- ¿Qué es (mg) ? ¿Qué es h ?
- Entonces:

$$\Delta E_g = (mg) h = \text{Fuerza x Distancia}$$

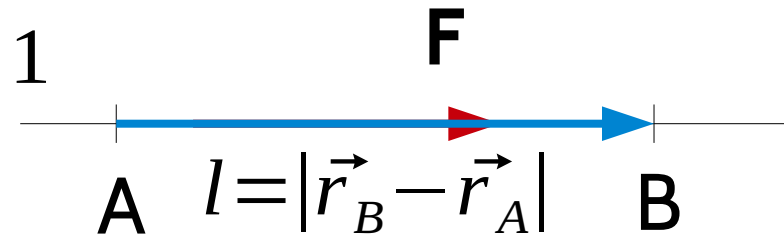
TRABAJO

- Finalmente:
- **La variación de la energía potencial gravitatoria es igual al trabajo de (o contra de) la fuerza de gravedad**

Algunos casos extremos

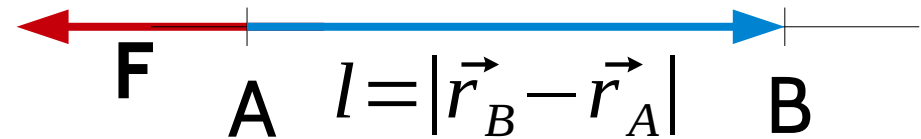
- F y l son paralelos: $\theta = 0 \rightarrow \cos(0) = 1$

$$W = F l$$



- F y l son antiparalelos: $\theta = \pi \rightarrow \cos(\pi) = -1$

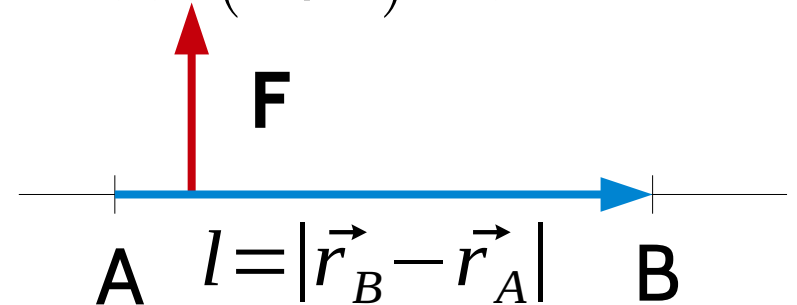
$$W = -F l$$



- F y l son perpendiculares: $\theta = \pi/2 \rightarrow \cos(\pi/2) = 0$

$$W = 0$$

Recordarlo la próxima vez que vengan del super cargando una bolsa...





Insisto...

**La variación neta de la
energía total de un
sistema es igual al trabajo
realizado por un agente
externo para lograr dicho
cambio**



Velocidad de escape

- La velocidad de escape depende de M y R
- ¿Qué pasa si $v_e \rightarrow c$?

$$v_e = \sqrt{\frac{2 G M}{R}} = c$$

$$\Rightarrow R_c = \frac{2 G M}{c^2}$$

Radio de Schwarzschild : Sólo depende de **M** . Si comprimo al cuerpo hasta $r=R_c$, la **velocidad de escape desde la superficie es igual a c** . El objeto obtenido es un **agujero negro**: nada, ni siquiera la luz, es capaz de escapar

$$R_{c\oplus} = \frac{2 G M_{\oplus}}{c^2} \simeq 1 \text{ cm}$$

¡Verificarlo!



Agujero negro en la Vía Láctea (Sag A*)


ESO Video News Reel 46/08

Unprecedented 16-year long study tracks
stars orbiting Milky Way black hole.

B-roll

European Southern Observatory

Copyright ESO 2008



La luz “pesa”

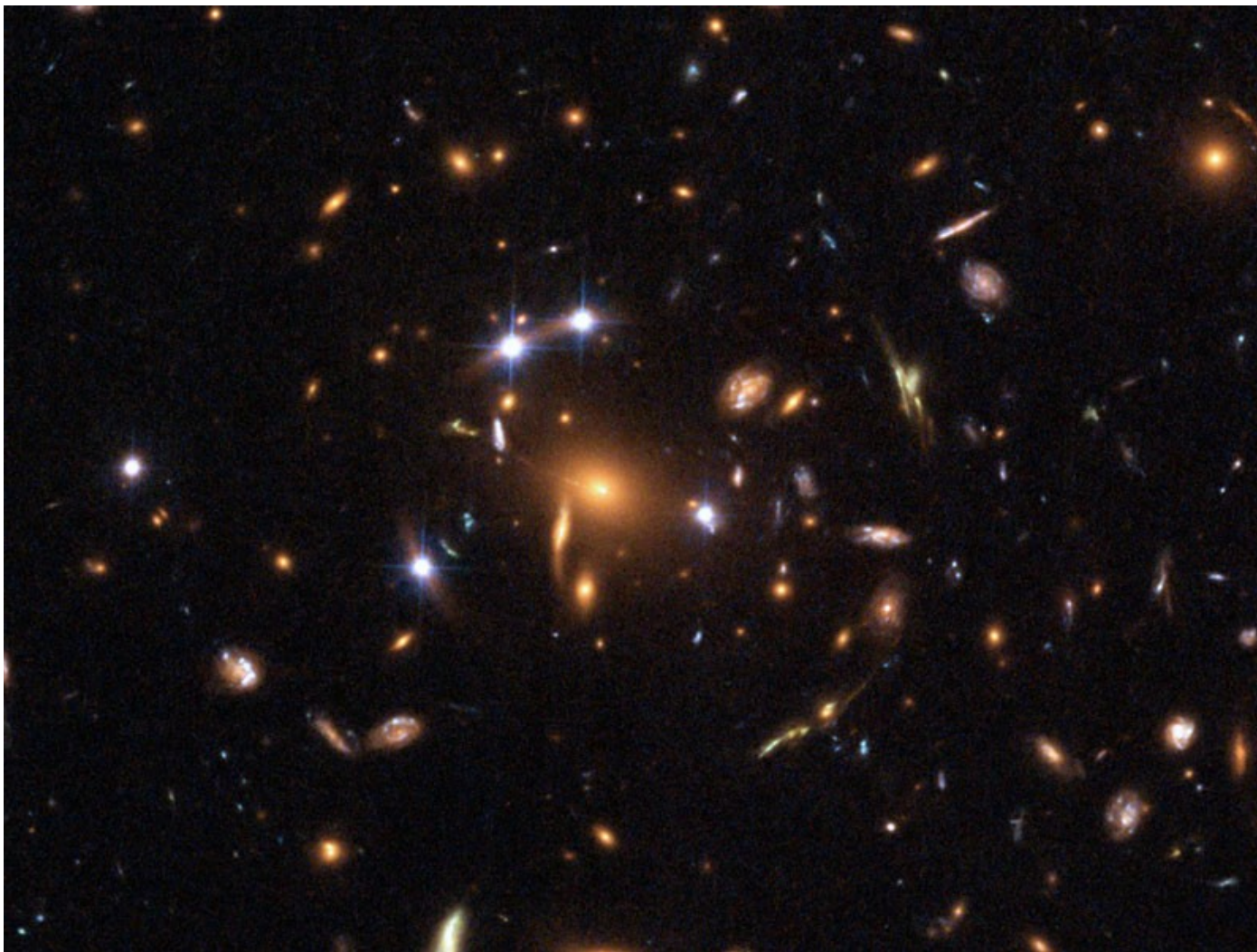
- Ahora, si el fotón no tiene masa...
- ¿cómo es que no puede escapar de la atracción gravitatoria?



¿Cómo verificar esto?

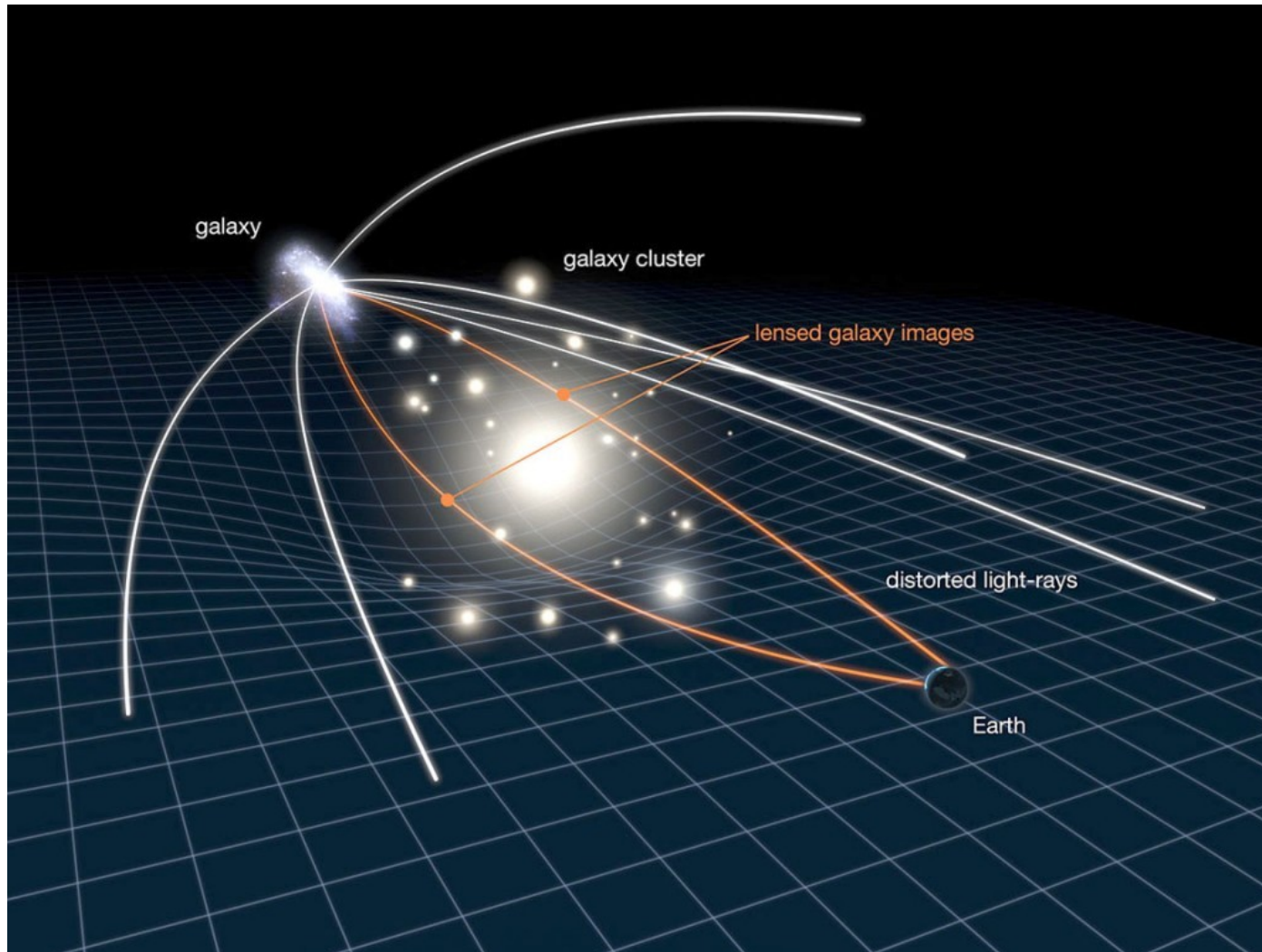
¿Cómo verificar esto?







Lente gravitacional





¿y entonces?

- La luz “pesa” : su trayectoria es afectada por la gravedad
- No tiene masa pero tiene **ENERGIA**
- La energía gravita
- Entonces, si tengo energía, ¿tengo masa?



¿cómo? ¿si tengo energía tengo masa?

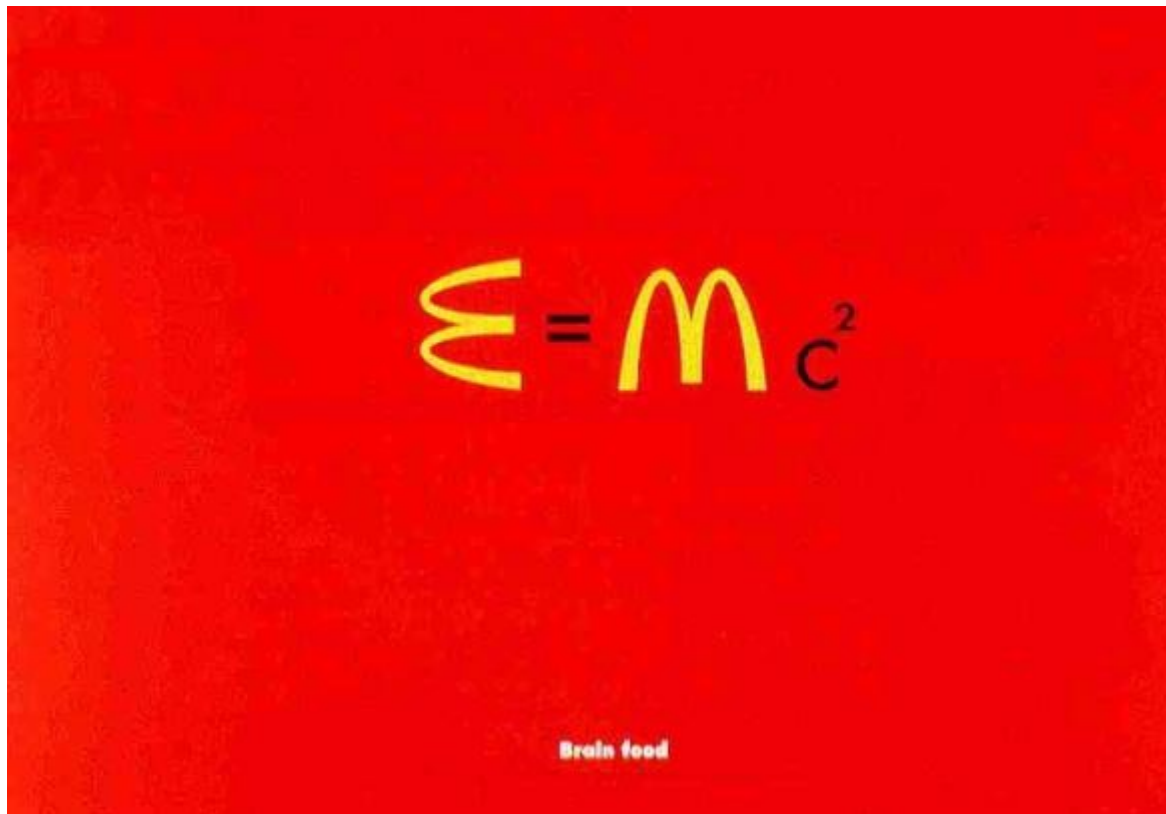
E

$\sim m$



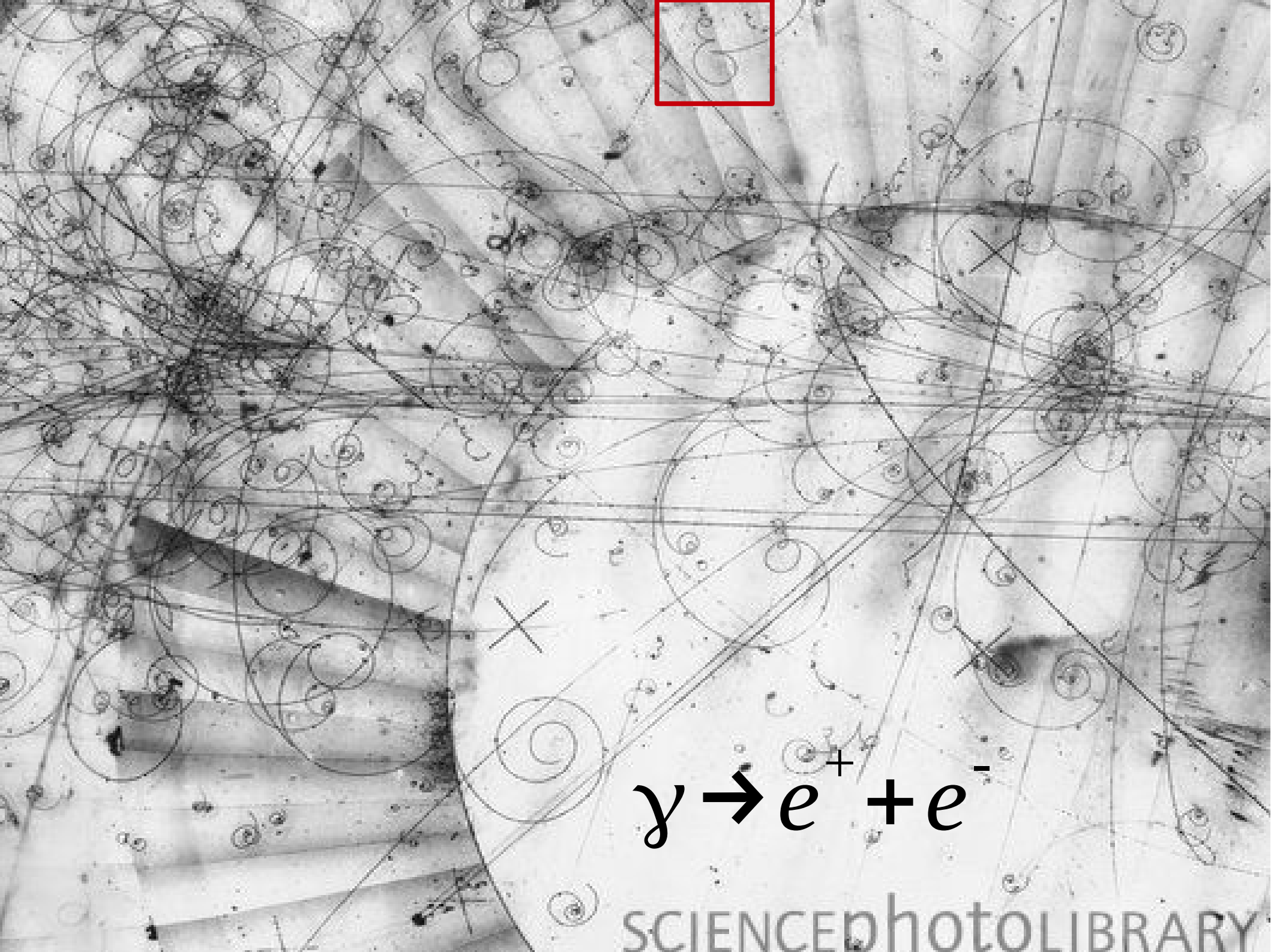
La energía es proporcional a la masa

- Un cuerpo de masa m , aislado, y en reposo, aún tiene energía...



Burbujas... (I)





$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

SCIENCEPHOTOLIBRARY