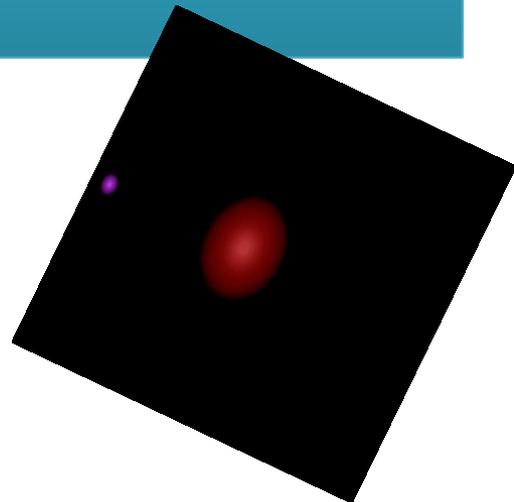
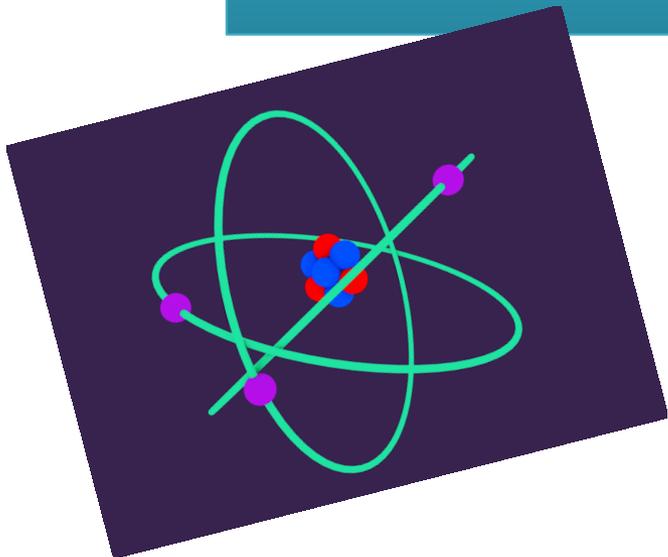
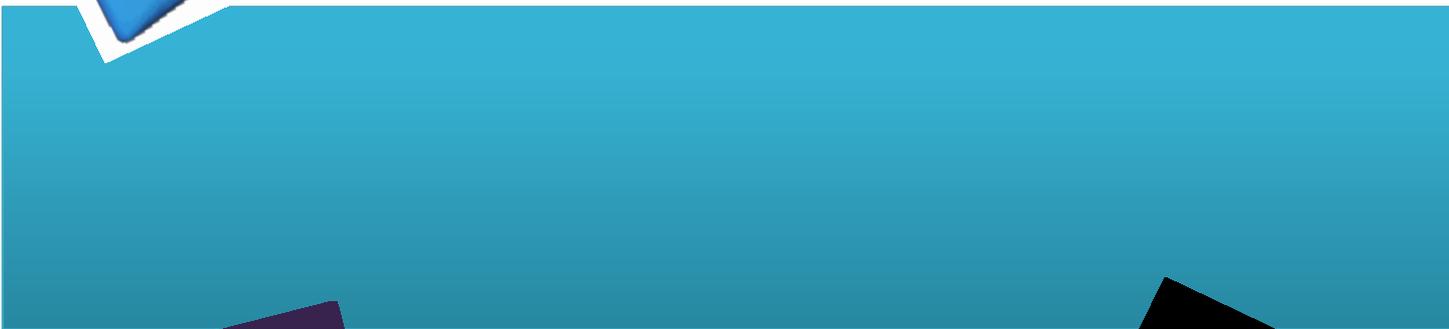
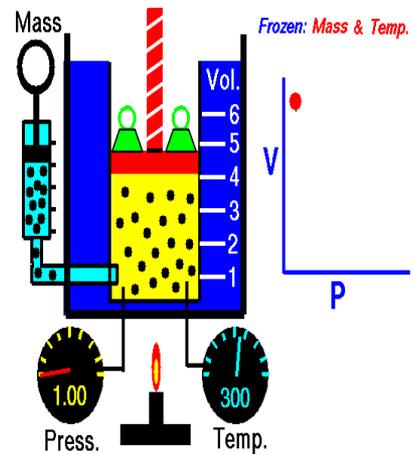
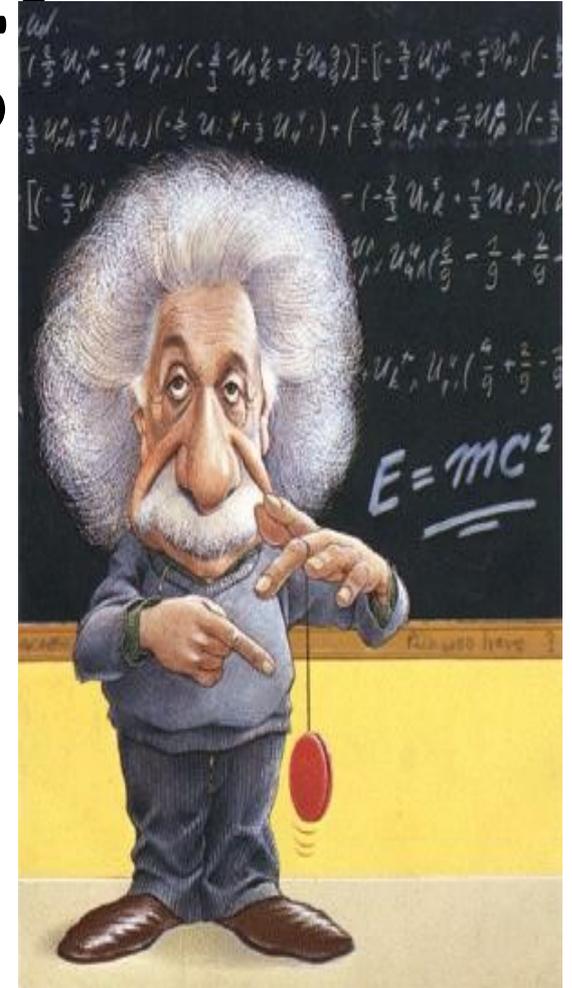


EMC²



Einstein e la formula dell'energia

$$E=mc^2$$



$$E = mc^2$$

LA RIVOLUZIONE TERMICA

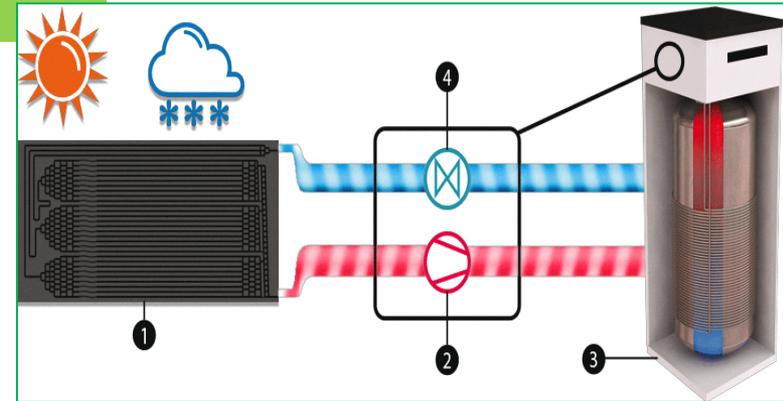
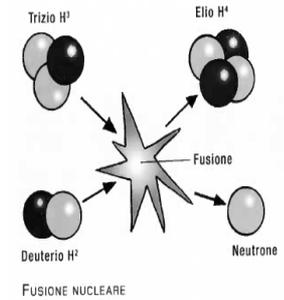
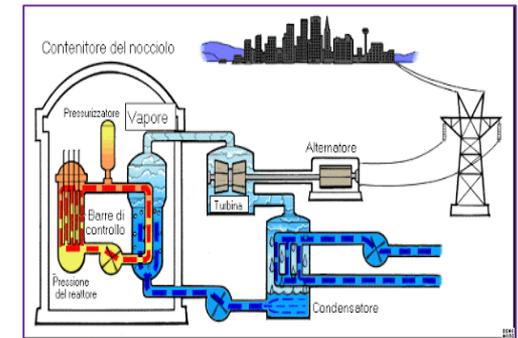
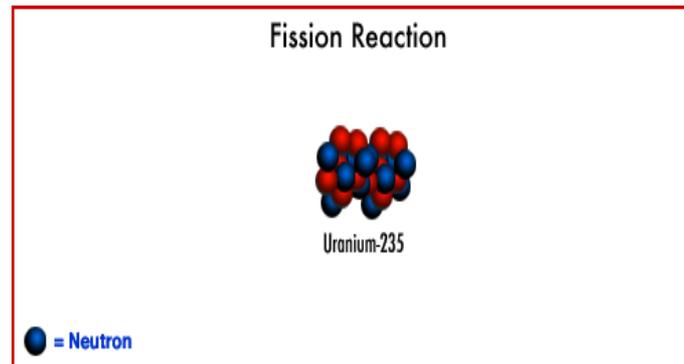
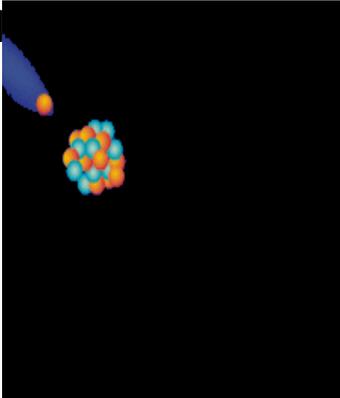
Ovvero se $E \cong mv^2$ a governare il mondo moderno, è la termodinamica che lo ha plasmato.

Principio di Conservazione dell'Energia.

in natura l'energia si conserva sempre

La conversione dell'energia termica in energia cinetica non è che un esempio di come l'energia si conservi, assumendo di volta in volta forme diverse senza mai sparire dall'Universo.

Quali...



$$E = mc^2$$

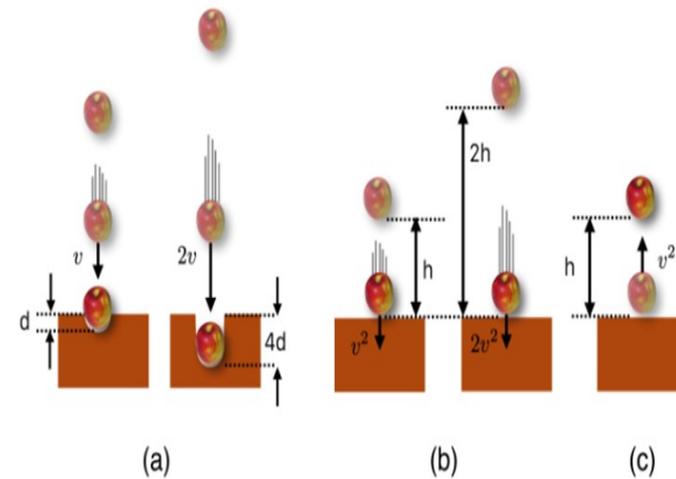
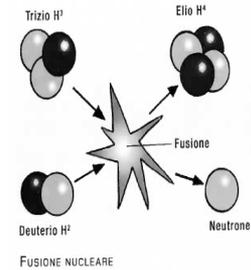
Ma torniamo ai pesi di 'S Gravesande:
prima di cadere, questi possedevano una «**energia potenziale gravitazionale**» proveniente dall'energia dei muscoli dello sperimentatore che li aveva sollevati fino al punto di caduta.

Lo sperimentatore, a sua volta, aveva ricavato quell'energia dal cibo che aveva mangiato; quest'ultimo, infine, l'aveva ricevuta dalla fonte di energia più elementare: la luce del Sole.

Quando i pesi colpivano l'argilla, la loro **energia potenziale**, la cui fonte ultima era la luce solare, **veniva convertita in energia cinetica** (dovuta al movimento) nell'argilla, in una parte di **energia termica** (dovuta all'attrito) e in **energia acustica**. Quindi.....

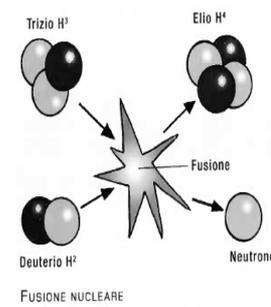
L'energia non sparisce dall'Universo.

E la massa in qualche modo si conservava.



$$E = mc^2$$

**L'energia non sparisce dall'Universo.
E la massa in qualche modo si conserva
, ma.....**



COME SI CONSERVA LA MASSA?

PERCHE' I CORPI HANNO UNA MASSA?

COSA CONFERISCE LA MASSA AI CORPI MATERIALI?

Sono alcune delle domande alle quali gli studiosi hanno cercato di dare risposte

MASSA ed PESO SONO PROPRIETA' DIVERSE

metro, secondo, kg: Per molto tempo queste grandezze sono state considerate assolute e allo stesso modo valide in qualsiasi contesto. In realtà... non è così.

Sono grandezze fisiche relative che variano in base alla velocità del sistema. La loro misura dipende dal sistema di riferimento

Secondo la teoria della relatività ristretta di Albert Einstein, lo spazio e il tempo sono grandezze relative.

Quando più il sistema si avvicina alla velocità della luce, tanto più lo spazio si comprime e il tempo si espande (rallenta).
La massa si misura in chilogrammi (kg) mentre il peso si misura in newton ($N = Kg \cdot m$).



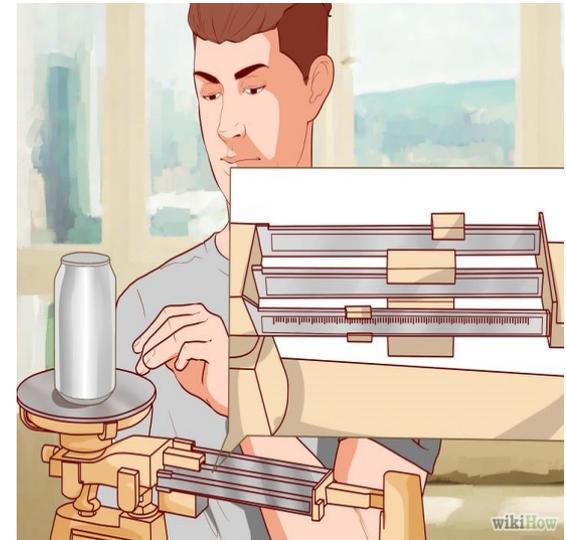
MASSA ed PESO SONO PROPRIETA' DIVERSE

Definiamo il significato di
massa:

È importante comprendere che la massa e il peso di un oggetto sono due grandezze fisiche diverse.

Il peso è dato dalla forza di gravità che viene esercitata sull'oggetto, mentre la massa è «*approssimativamente !!!*» la quantità di materia presente nell'oggetto.

La massa può essere modificata solo alterando fisicamente l'oggetto, mentre il peso varia al variare della forza di gravità esercitata sull'oggetto.



La massa relativistica



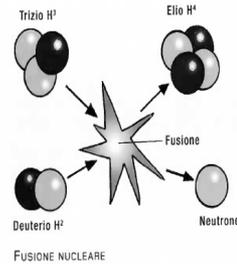
la massa di una persona
sulla Terra



la massa di una persona
in un'astronave
ad alta velocità

$$E = mc^2$$

**L'energia non sparisce dall'Universo.
E la massa in qualche modo si conserva , ma.....**



Le leggi della termodinamica permettono di comprendere la trasformazione di materia in energia : ciò che appare sorprendente, invece, è il fatto che

l'energia può trasformarsi in massa.

Indubbiamente ,a prima vista, la massa è qualcosa di molto diverso dall'energia:

la massa è associata alla solidità, mentre l'energia sembra

non averne. Nel 1830, Michael Faraday aveva dimostrato il legame tra

la relazione, però, esiste e si trova nelle

equazioni dell'elettromagnetismo,

scoperte da James Clerk Maxwell.

Dall'analisi degli esperimenti si evinceva, però,

che se la sorgente del campo

elettromagnetico si muoveva rispetto

all'osservatore le soluzioni delle equazioni non

erano corrette

$$\phi(E) = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\phi(B) = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$C(E) = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\Delta\phi(B)}{\Delta t}$$

$$C(B) = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(i + i_s) = \mu_0(i + \epsilon_0 \frac{\Delta\phi(E)}{\Delta t})$$

1) Muovo il magnete rispetto alla spira: nella spira passa una corrente **i**.

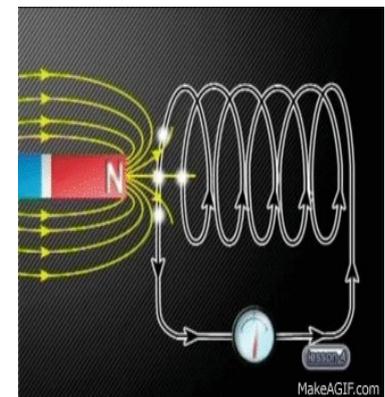
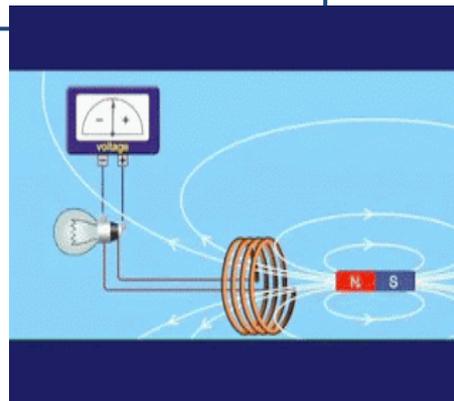
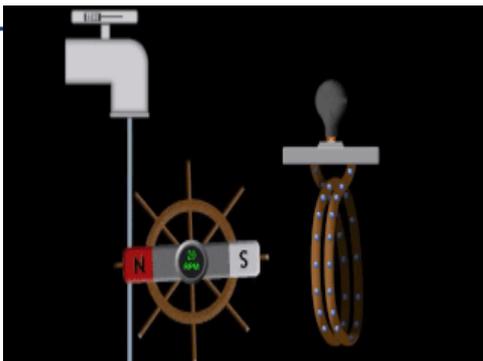
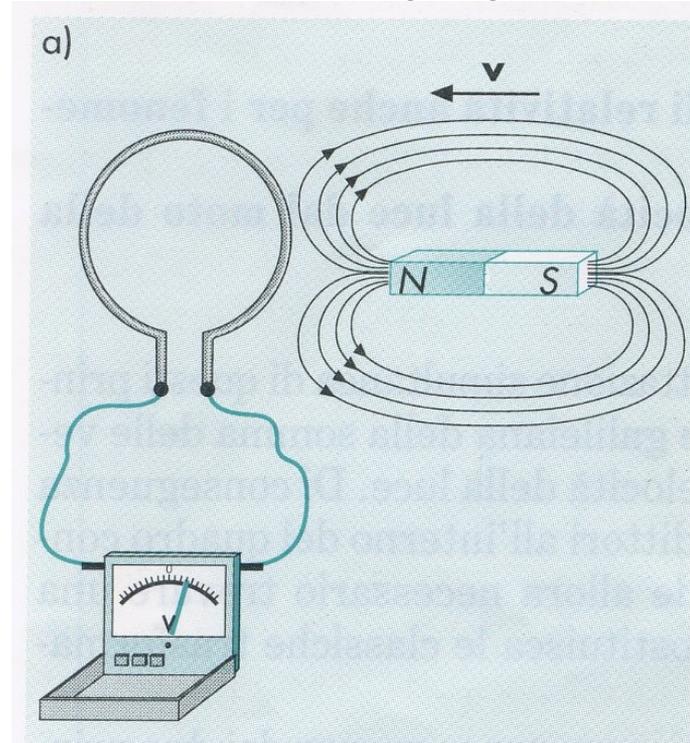
Ma nei due casi devo utilizzare due formule diverse per calcolare corrente **i**.

2) Muovo la spira rispetto al magnete: nella spira passa una corrente **i**.

Interazioni elettrodinamiche (1)

—se si muove il magnete e resta stazionario il conduttore, si produce, nell'intorno del magnete un campo elettrico con una ben determinata energia il quale genera una corrente nei luoghi ove si trovano parti del conduttore

Al variare di Φ (B) concatenato con la spira, si crea un campo E che fa muovere le cariche



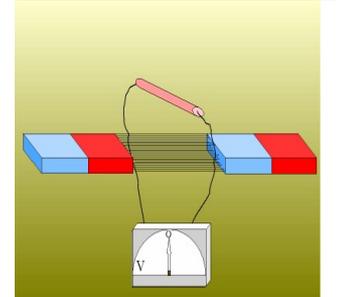
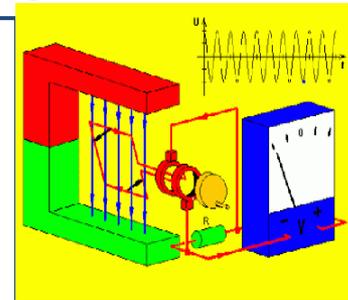
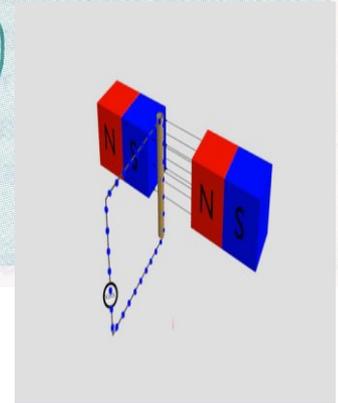
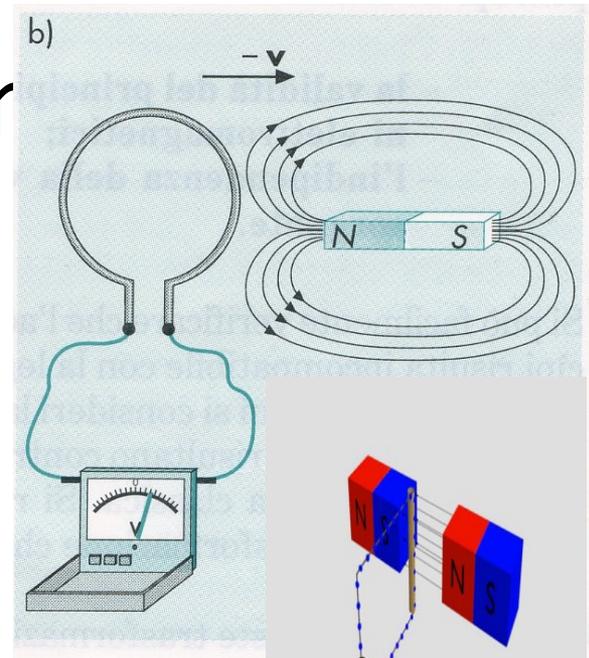
Interazioni elettrodinam

- *Ma, se il magnete resta stazionario e si muove il conduttore, non nasce, nell'intorno del magnete, alcun campo elettrico E.*
- *Tuttavia si produce, nel conduttore, una f.e.m. alla quale non corrisponde di per sé un'energia, ma che – supponendo che il moto relativo sia lo stesso nei due casi – genera correnti elettriche della stessa intensità di quelle prodotte dalle forze elettriche nel caso precedente e che hanno lo stesso percorso.*

Le cariche si muovono con la velocità $-v$:
agisce la forza di Lorentz ma..... Non

c'è campo elettrico

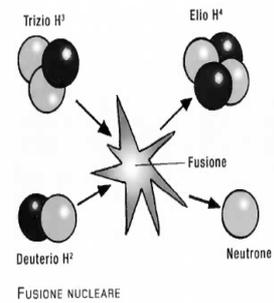
IndEm



Questa asimmetria e le soluzioni non corrette delle equazioni di Maxwell quando la sorgente del Campo Elettromagnetico è in moto rispetto all'osservatore, indusse Einstein a scrivere il primo dei tre famosi articoli: **«Sull'Elettrodinamica dei corpi in movimento (1905)»**

$$E = mc^2$$

**L'energia non sparisce dall'Universo.
E la massa in qualche modo si conserva
, ma.....**



Esaminando le equazioni di Maxwell, molti fisici videro che al loro interno si poteva celare « il segreto » della massa. Si sapeva, ad esempio, che una scatola contenente un campo elettromagnetico pesava più di una che ne era priva. Ma che cosa voleva dire?

$$\phi(E) = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\phi(B) = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$C(E) = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\Delta\phi(B)}{\Delta t}$$

$$C(B) = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(i+i_s) = \mu_0(i+\epsilon_0 \frac{\Delta\phi(E)}{\Delta t})$$

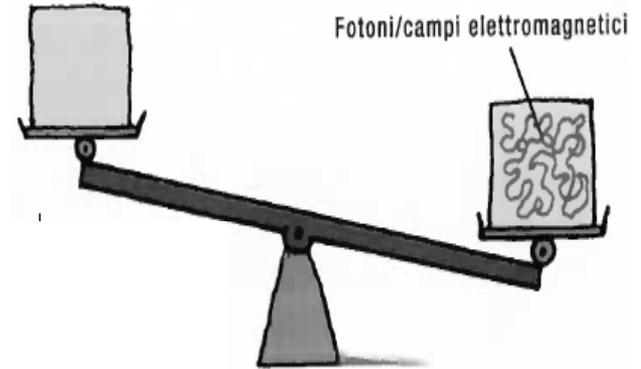
Secondo l'opinione più diffusa la massa inerziale — la resistenza di un corpo al movimento - nasceva dal fatto che era più difficile muovere le particelle cariche in prossimità del loro campo elettromagnetico.

MATERIA ed ENERGIA SONO INTIMAMENTE LEGATE

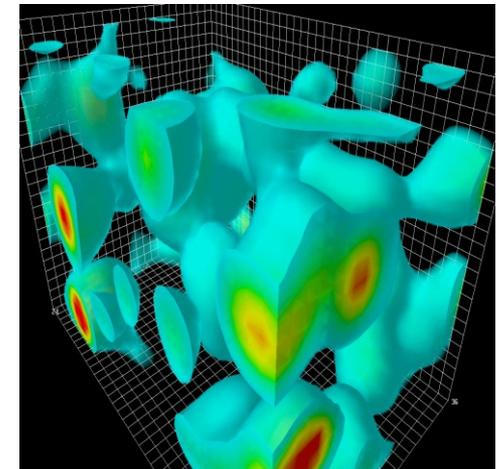
$$E = m$$

Il fisico tedesco Max Planck intuì una conseguenza più prosaica (ma per certi versi più profonda): un oggetto caldo, ad esempio una padella messa sul fuoco, peserà più dello stesso oggetto freddo.

L'idea era così rivoluzionaria da sembrare bizzarra anche oggi, eppure è assolutamente esatta a livello subatomico (fisica quantistica): le collisioni tra particelle elementari (elettroni, protoni e neutroni) generano nuove particelle aventi complessivamente la stessa energia (massa), così come dagli urti tra fotoni scaturiscono coppie elettrone-positrone, che si annichiliscono tra loro trasformandosi nuovamente in fotoni (energia

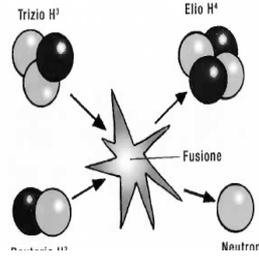


LA MASSA DELLA RADIAZIONE



$$E = mc^2$$

LA LUCE TRASPORTA MASSA?



Einstein ipotizzò ulteriormente che all'esistenza dell'energia - **di qualsiasi tipo ,anche sotto forma di radiazione**– fosse associata quella della massa.

$$\phi(E) = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\phi(B) = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Come disse in una lettera al suo grande amico Conrad

Habicht, poco dopo la pubblicazione dell'articolo di **$E=mc^2$** : «Il principio di relatività, associato alle equazioni fondamentali di Maxwell, **impone** che la massa costituisca una misura diretta dell'energia contenuta in un corpo; **la**

$$C(E) = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\Delta\phi(B)}{\Delta t}$$

$$C(B) = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(i+i_s) = \mu_0(i+\epsilon_0 \frac{\Delta\phi(E)}{\Delta t})$$

la massa»..

Tra le diverse implicazioni colte da Einstein a tale proposito, la prima riguardava la radioattività: se il radio liberava energia, doveva anche perdere una certa quantità di massa.



Radiumkern

$^{226}_{88}\text{Ra}$

Materia ed energia :sono legate

Einstein scrisse:

...se un corpo emette energia E sotto forma di radiazione, allora la sua massa diminuisce di E/c^2 .

...se la teoria corrisponde ai fatti, allora la radiazione trasporta inerzia (massa) tra corpi emettenti e corpi assorbenti.

E' la ben nota
formula



$$E = mc^2$$

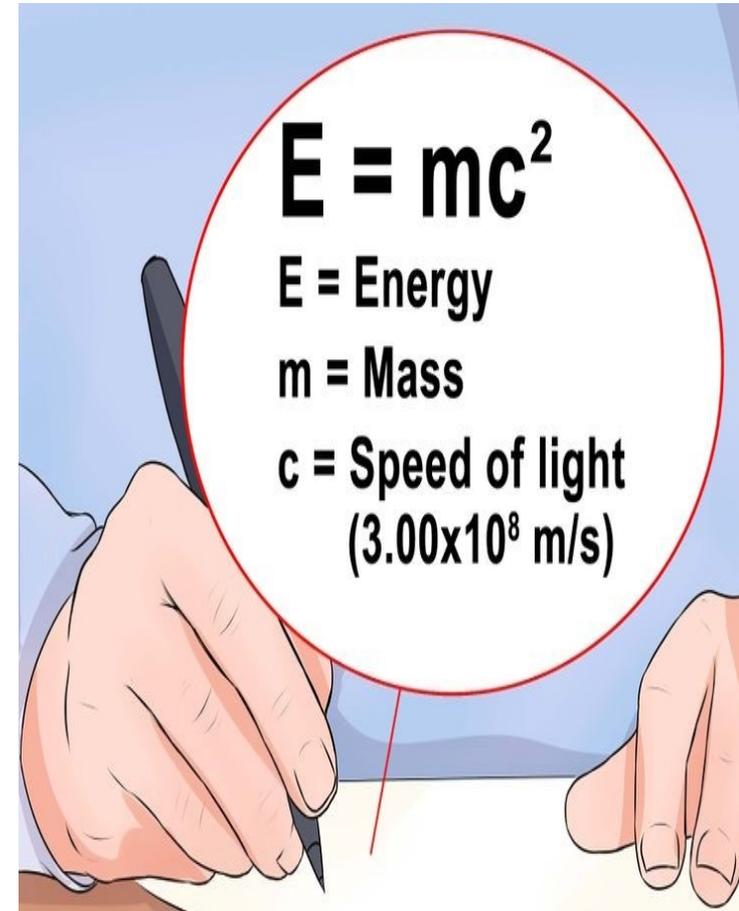
MATERIA ed ENERGIA SONO INTIMAMENTE LEGATE

La prima cosa da fare per riuscire a comprendere l'equazione è **definire le variabili presenti** :

La velocità della luce, c , normalmente viene intesa come costante che assume un valore pari a $3,00 \times 10^8$ metri al secondo. Nell'equazione viene elevata al quadrato, in base alla seguente proprietà principale dell'energia:

per muoversi al doppio della velocità di un altro, un oggetto deve utilizzare il quadruplo dell'energia.

La velocità della luce viene utilizzata come costante perché trasformando la massa di un oggetto in pura energia quest'ultima si muoverebbe alla velocità della luce.



MATERIA ed ENERGIA SONO INTIMAMENTE LEGATE



$$E = m$$

$$c^2$$

Ormai è dimostrato sperimentalmente che la massa non è altro che un modo di trasportare energia. Con il nostro movimento possiamo trasportare energia cinetica, ma il semplice fatto di esistere ci dota di energia.

Per vederne il motivo, dobbiamo andare alla ricerca dell'origine della massa. L'equivalenza massa-energia è un'elegante conclusione. La massa ed energia sono manifestazioni diverse della medesima entità, come lo spazio e il tempo (spaziotempo) o il campo elettrico e il campo magnetico (campo elettromagnetico). C'è una fondamentale intercambiabilità tra esse.

MATERIA ed ENERGIA SONO INTIMAMENTE LEGATE

$$E = m$$

Questa legge assicura alla c^2 imponderabile energia radiante della fisica classica, una corrispondenza con la ordinaria materia ponderabile, e tale relazione tra massa ed energia può essere estesa a tutti gli altri tipi di energia.

Così, i campi generati da conduttori carichi e da magneti diventano una realtà fisica ponderabile:

la massa del campo elettrico generato da una sfera di rame di un metro di diametro caricata al potenziale elettrico di 1000 V pesa circa $2 \cdot 10^{-22}$ grammi.



MATERIA ed ENERGIA SONO INTIMAMENTE LEGATE

$$E = m$$



L'energia termica possiede una massa ponderabile per cui un litro d'acqua alla temperatura di 100 °C pesa di più (di circa 10-20 grammi) della stessa quantità di acqua fredda.

Viceversa, 1 grammo di materia possiede un potenziale contenuto di energia pari a $9 \cdot 10^{13}$ Joule.

In altri termini, l'energia contenuta nella massa di qualche grammo di materia soddisferebbe gran parte della domanda giornaliera di elettricità della città di New York..

Equivalenza massa e energia

1 Joule = 6.241.506.000.000.000.000 Elettronvolt

1 Elettronvolt = $1.6021774232052327 \times 10^{-19}$ Joule

L'enorme fattore di conversione che lega la massa e l'energia spiega come concentrando un grosso quantitativo di energia si possa creare una piccola quantità di materia (E/c^2), e anche come partendo da una piccolissima massa si possa ottenere molta energia.

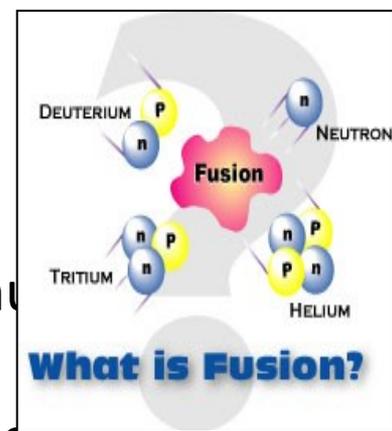
Basti pensare che un grammo di materia equivale a 90.000 miliardi di joule (9×10^{13} J = 90.000.000 MJ = 90.000 Giga Joule = 90 Tera Joule).

Poiché $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6$ joule, un grammo di materia equivale a 25 000 000 kWh (25 MILIONI di kWh)
(= 25 000 Mega Wh = 25 Giga Wh).

La conversione di un chilogrammo di materia (equivalente a 90 000 TJ, ossia a 25 miliardi di kWh = 25 000 000 MWh = 25 TeraWh) coprirebbe, in pratica, il consumo mensile di energia elettrica in Italia.

L'equivalenza massa – energia ha dimostrato la sua potenza, in maniera devastante, con le bombe nucleari.

L'ESISTENZA DELL'ENERGIA E' ASSOCIATA A QUELLA DELLA MASSA



In effetti persino durante l'esplosione di una bomba nucleare solo la minima parte della massa totale del materiale fissile viene convertita in energia.

Il fenomeno della completa e immediata conversione di materia in energia potrebbe verificarsi soltanto nel caso in cui la materia entrasse in contatto con l'antimateria, annichilandosi. Da sottolineare che l'equazione di Einstein è valida ed è stata

costantemente verificata nei fenomeni fisici macroscopici.

ad esempio: **nel Sole ogni secondo 4.500.000 tonnellate di idrogeno** si trasformano, mediante il processo di fusione nucleare, direttamente in energia, ossia in radiazione elettromagnetica, per

