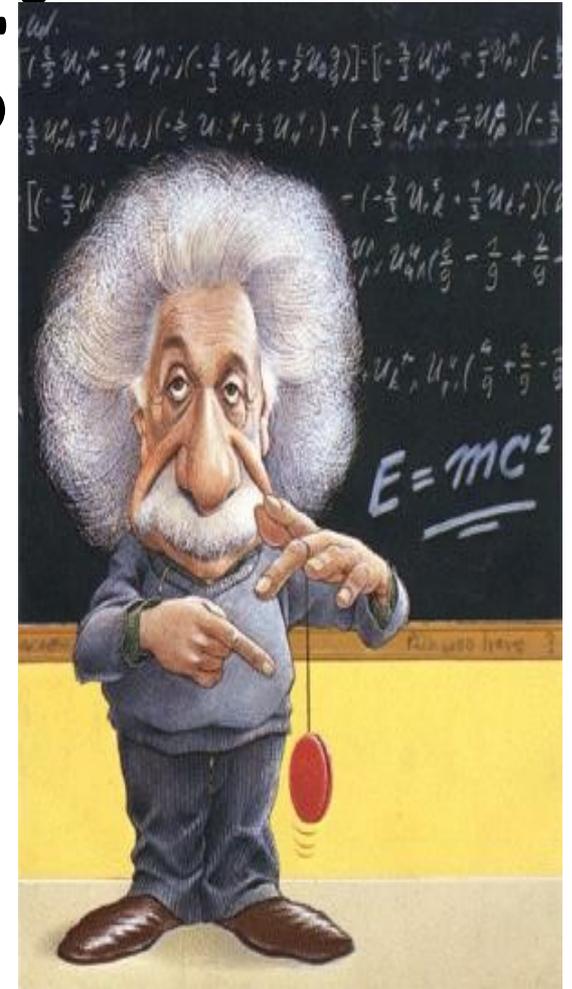


# Einstein e la formula dell'energia

$$E=mc^2$$

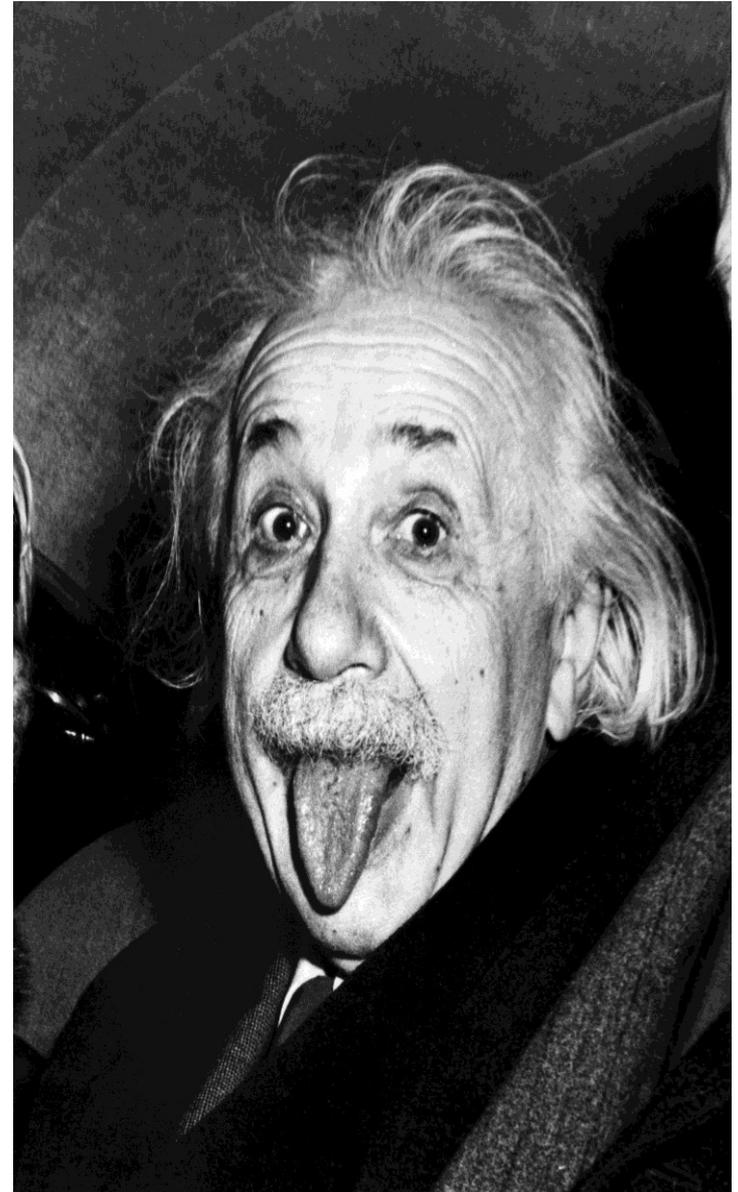


La grandezza di Einstein consiste nell'aver cambiato in maniera radicale le metodologie di interpretazione del mondo della fisica. La sua fama crebbe enormemente e in modo sempre crescente dopo l'assegnazione del Nobel ma soprattutto grazie all'originalità della sua *Teoria della relatività*.

Il contributo di Einstein al mondo della scienza, e a quello della filosofia, ha prodotto una rivoluzione che nella storia trova paragone solo in quella prodotta dal lavoro di Isaac Newton.

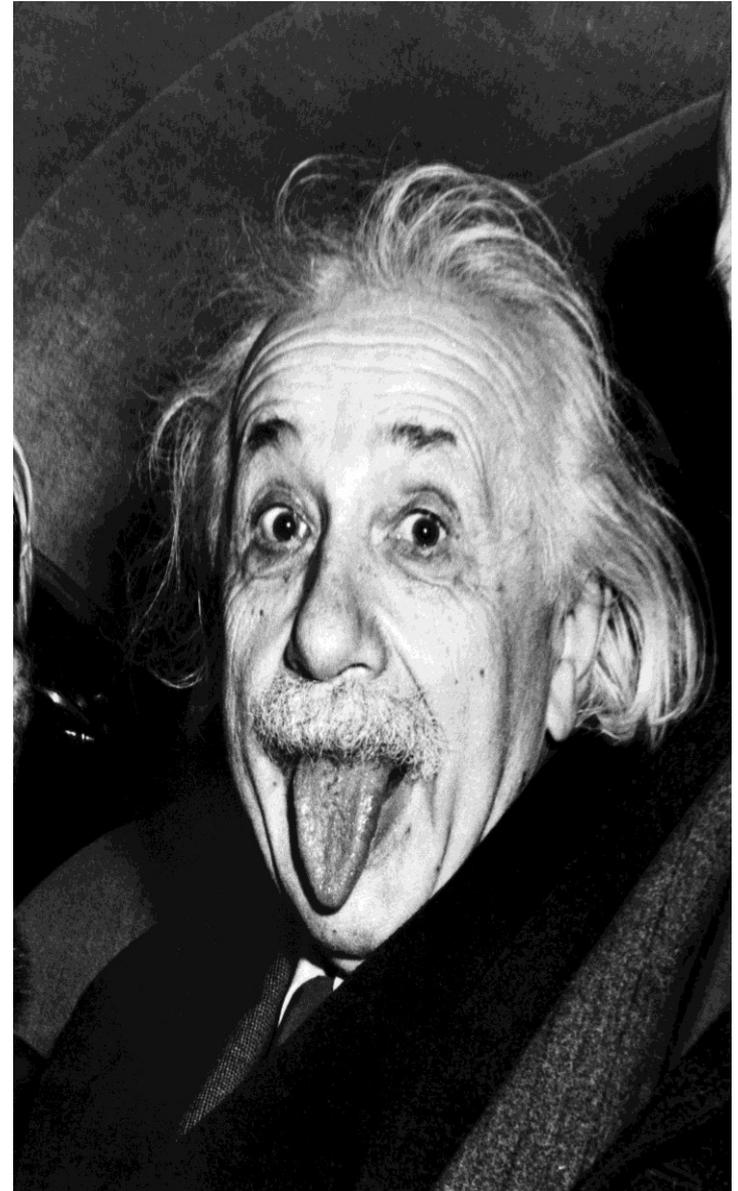
Il successo e la popolarità acquisite da Einstein sono state un evento del tutto insolito per uno scienziato e non si arrestarono nemmeno durante gli ultimi anni di vita, tanto che in molte culture popolari il suo nome divenne, e ancora oggi è così, sinonimo di genio e di grande intelligenza. Sono rimaste celebri molte frasi di Einstein come ad esempio "***Solo due cose sono infinite, l'universo e la stupidità umana, e non sono sicuro della prima***".

Anche il suo volto e le sue fattezze sono diventati uno stereotipo simboleggiante proprio la figura dello scienziato geniale; un' esempio celebre è il personaggio del Dottor Emmett Brown della saga di "Ritorno al Futuro", film dove tra l'altro il cane dell'inventore, si chiama proprio *Einstein*.



*“Mi è venuta in mente anche un’ulteriore conseguenza dell’articolo sull’elettrodinamica. E cioè che il principio di relatività, insieme alle equazioni di Maxwell, richiede che la massa sia una misura diretta dell’energia contenuta in un corpo. La luce trasferisce massa”.*

Con queste parole, contenute nell’articolo del 1905 **“L’inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto di energia?”**, Einstein sviluppò una nuova e meravigliosa idea: la massa non è altro che una forma di energia che va aggiunta all’energia cinetica e all’energia potenziale nel principio di conservazione dell’energia meccanica



**In uno dei rivoluzionari articoli scientifici pubblicati da Albert Einstein nel 1905, venne presentata la formula  $E=mc^2$ , dove "E" indica l'energia, "m" la massa e "c" la velocità della luce nel vuoto.**

**Questa equazione descrive la relazione esistente fra l'energia e la materia, facendoci dedurre in sostanza che l'energia e la materia sono interscambiabili.**

# “L’inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto di e

Perché un oggetto si muova bisogna applicargli una **Forza**.

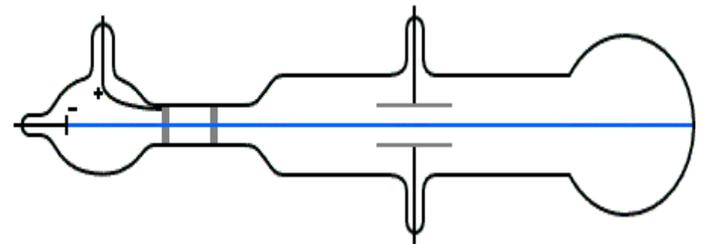
Se non esistono interazioni istantanee in natura e se la velocità della luce è la velocità massima, cosa accade esattamente quando un oggetto comincia ad avvicinarsi alla velocità della luce?

Cosa accade quando si cerca di far superare a un oggetto la velocità della luce?

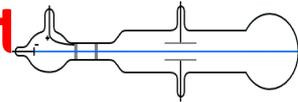
Immaginiamo di applicare una forza uniforme a una particella (per esempio un elettrone)

Quando un oggetto prende velocità diciamo che accelera. Newton ha postulato un rapporto tra forza e accelerazione. Newton ha detto  $\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$  oppure  $\mathbf{a} = \mathbf{F} / \mathbf{m}$

L'accelerazione,  $a$ , è proporzionale alla forza applicata,  $F$ , ed è inversamente proporzionale alla massa  $m$  (chiamata anche **inerzia**) dell'oggetto.



# L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto



Situazione: forza uniforme applicata ad un elettrone in moto con velocità  $v$ .

Sappiamo tutti che:

Maggiore è la forza, più velocità prende l'oggetto.

Maggiore è la massa o inerzia, maggiore è lo sforzo necessario a muoverlo.

E' più facile spingere una macchina che un camion carico

Ma ritorniamo al concetto di massa o inerzia, per un momento.

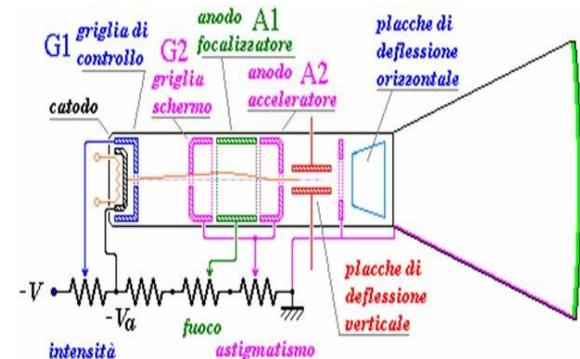
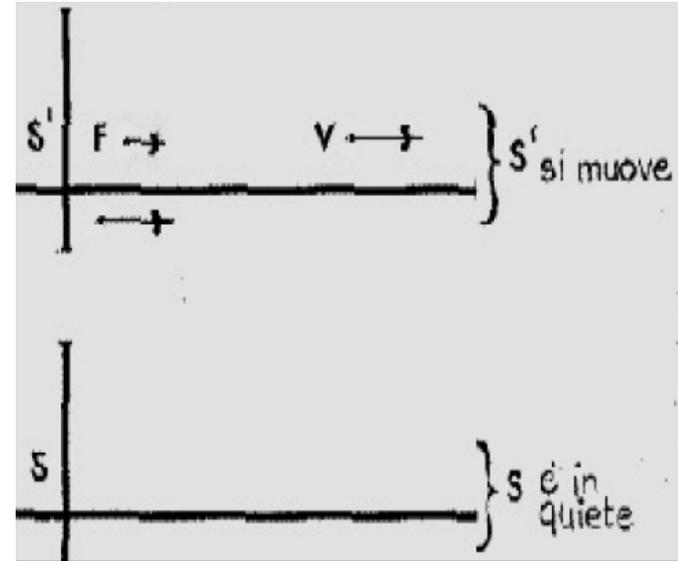
1) Se l'elettrone è in quiete il suo moto susseguente è dato da  $F = m a$

Relativamente a  $S$ , l'elettrone ha un'accelerazione  $a$

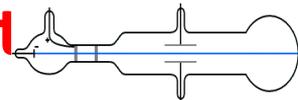
2) Ma supponendo che l'elettrone abbia già una velocità  $v_0$  (perché l'elettrone è in quiete relativamente a  $S'$ )

Allora l'elettrone è in quiete rispetto al sistema di riferimento  $S'$  che si muove alla velocità  $V$  rispetto a  $S$ . Sappiamo come trovare lo spazio e il tempo di un avvenimento rispetto al marciapiede  $S$ , quando si conoscono lo spazio e il tempo dell'avvenimento rispetto al treno  $S'$ .

L'avvenimento in questo caso è l'accelerazione dell'elettrone.



# L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto



Applicare una forza uniforme a un elettrone in moto con  $S'$ , vuol dire che il sistema  $S'$  in moto con velocità  $v$ , rispetto al quale l'elettrone è in quiete.

Ecco cosa accade:

1) L'elettrone va più veloce a causa della forza impressa al sistema

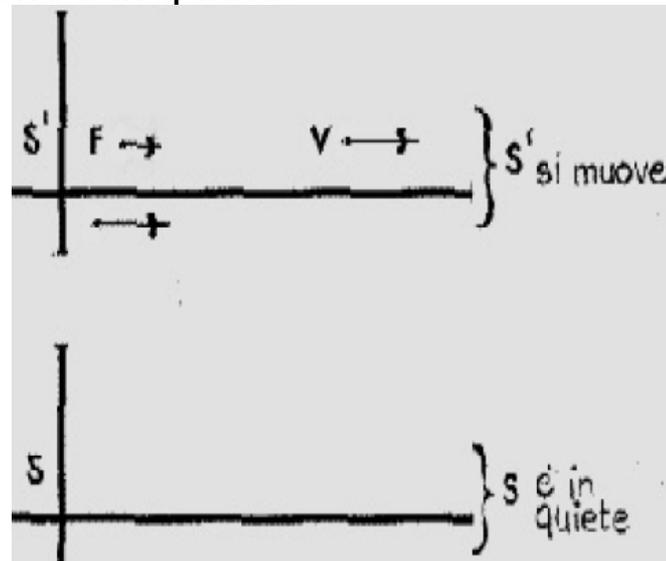
ma

2) Nel sistema di riferimento  $S'$  in cui l'elettrone è in quiete, il tempo entro il quale la forza agisce si riduce progressivamente rispetto al sistema  $S$  in quiete (gli orologi in un sistema  $S'$  in moto vanno più lenti). e quindi

3) Nel sistema  $S'$  in cui l'elettrone è in quiete la forza agisce per un periodo di tempo sempre più breve, quanto più l'elettrone si approssima alla velocità della luce

Albert Einstein esprime questo processo con una nuova formula concreta.

Se visto dal suo sistema l'elettrone ha a stento il tempo di ricevere spinte.



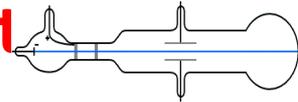
$$a = \frac{F}{M} \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{3/2}$$

$$a = \frac{F}{M}$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Formula di Newton (1686)

# L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto



$$a = \frac{F}{M} \left( 1 - \frac{V^2}{C^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

La formula di Albert mostra che se  $V=C$ ,  $a = \text{zero}$ ! Per cui anche se tu continui a spingere l'elettrone non accelera più.

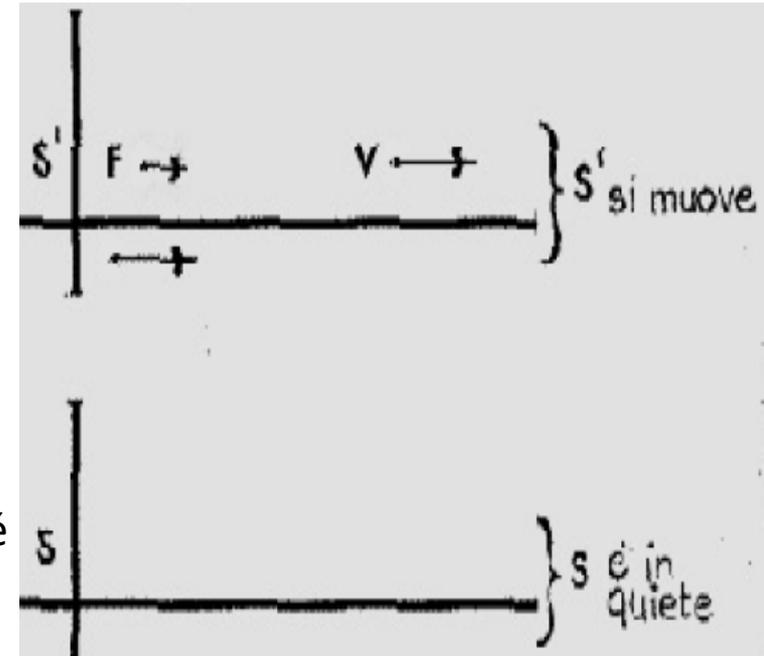
il significato è relativamente chiaro.

1) Se spingi un oggetto con una forza e questo non prende molta velocità, dirai che ha molta inerzia.

2) Così, quando l'elettrone si approssima alla velocità della luce sembra diventare sempre più pesante perché diventa sempre più faticoso aumentarne la velocità.

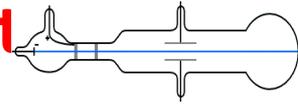
Albert vuole ora dimostrare come la velocità dell'elettrone sia in relazione alla sua energia.

La definizione dell'energia risale ancora una volta alle leggi di Newton



$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

# “L’inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto”



Ora va ricercata la relazione tra la velocità dell'elettrone e la sua energia.

La definizione dell'energia risale ancora una volta alle leggi di Newton

1) Quando una forza,  $F$ , agisce su un corpo di massa,  $m$ , per una distanza  $d$ , è utile dire che si è esercitato un lavoro  $L$  sul corpo.

2) Al Lavoro,  $L$  si assegna un valore  $L = F d$

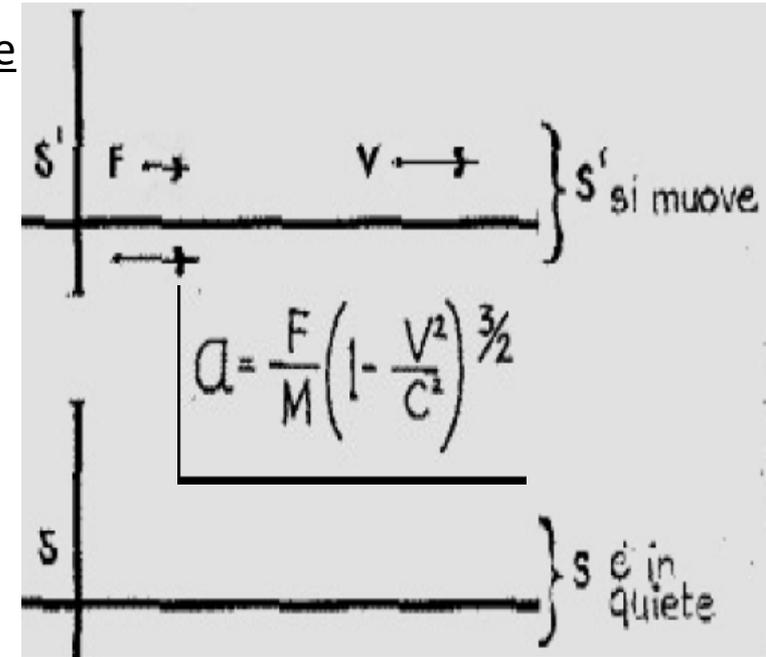
3) Usando  $F = m a$  si può dire che il lavoro così come definito da  $L = F d$  è esattamente uguale a  $1/2 m v^2$

4) L'espressione  **$1/2 m v^2$**  ha un nome. Si chiama **energia cinetica** di quel corpo.

5) Più lavoro ( $F d$ ) si esercita su un corpo più energia cinetica ( $1/2 m v^2$ ) esso riceve.

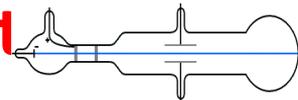
Però nel nostro caso:

possiamo esercitare il lavoro ( $F d$ ) ma il corpo non prende velocità. Perché?



Perché ora è  $F = \frac{ma}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}}$

# L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto



come la velocità dell'elettrone è in relazione alla sua energia?

possiamo esercitare il lavoro ( $F d$ ) ma il corpo non prende velocità. Perché?

Perché ora 
$$F = \frac{m a}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}}$$

La modificazione di Albert ci porta quindi a una nuova formula.

Il lavoro ora è uguale (formula di Albert) rispetto al

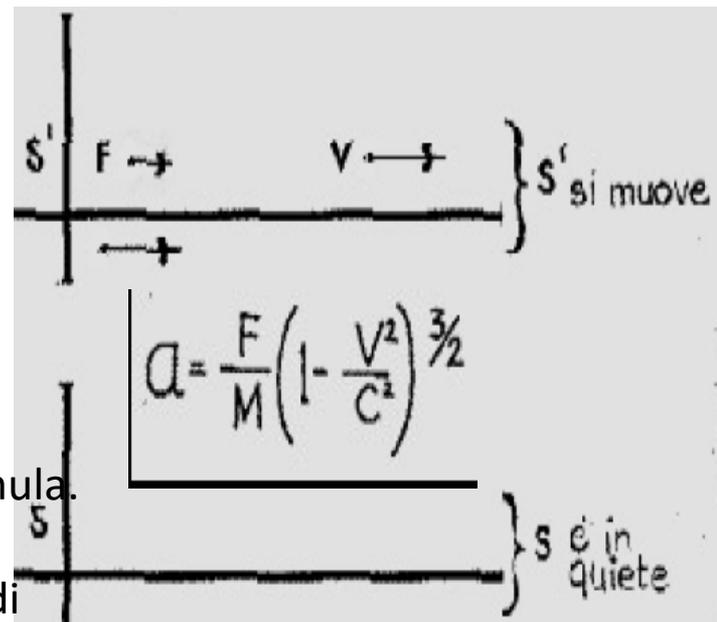
$$L = \frac{m c^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} - m c^2$$

formula di Newton

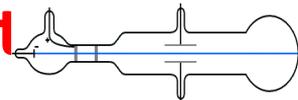
$$L = \frac{1}{2} m v^2$$

Se ne conclude che ... se  $v = c$ ,  $L$  diventa infinito.

Velocità maggiori di quella della luce non hanno - come nei nostri precedenti risultati - alcuna possibilità di esistenza.



# L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto



$$L = \frac{mc^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} - mc^2$$

Albert sostiene che :  
se dai a un oggetto sempre maggiore energia...

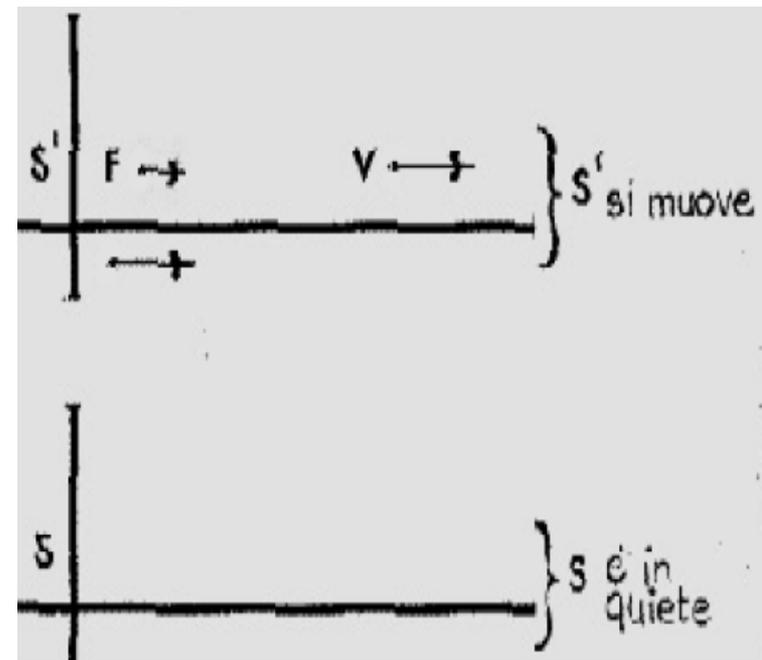
... invece di andare più veloce esso diventa sempre più pesante.

Per cui, anche se dai a un razzo una quantità enorme di chili di spinta, andrà sempre a una velocità minore di quella della luce ,opponendo sempre più resistenza al moto ovvero maggiore inerzia.

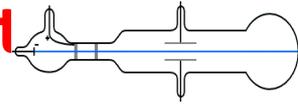
Ma non è tutto.

Se il lavoro contribuisce a dare inerzia al corpo...

...allora l'inerzia deve contenere energia!



# “L’inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto



Se il lavoro contribuisce a dare inerzia al corpo... ...allora l'inerzia deve contenere **energia!**

Allora abbiamo bisogno di una nuova definizione dell'energia.

La vecchia definizione newtoniana (e.c. =  $1/2 m v^2$ ) va bene soltanto per velocità molto inferiori a quelle della luce.

1) Albert ha dimostrato che il lavoro  $L$  equivale

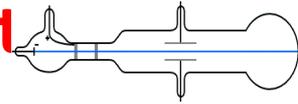
$$L = \frac{mc^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} - mc^2$$

2) Se chiamiamo allora energia  $E$  dell'elettrone la quantità.

$$\frac{mc^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}$$

3) Da questa definizione dell'energia, la formula di Albert avrà quindi questo aspetto  **$E = L + mc^2$**

# “L’inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto”



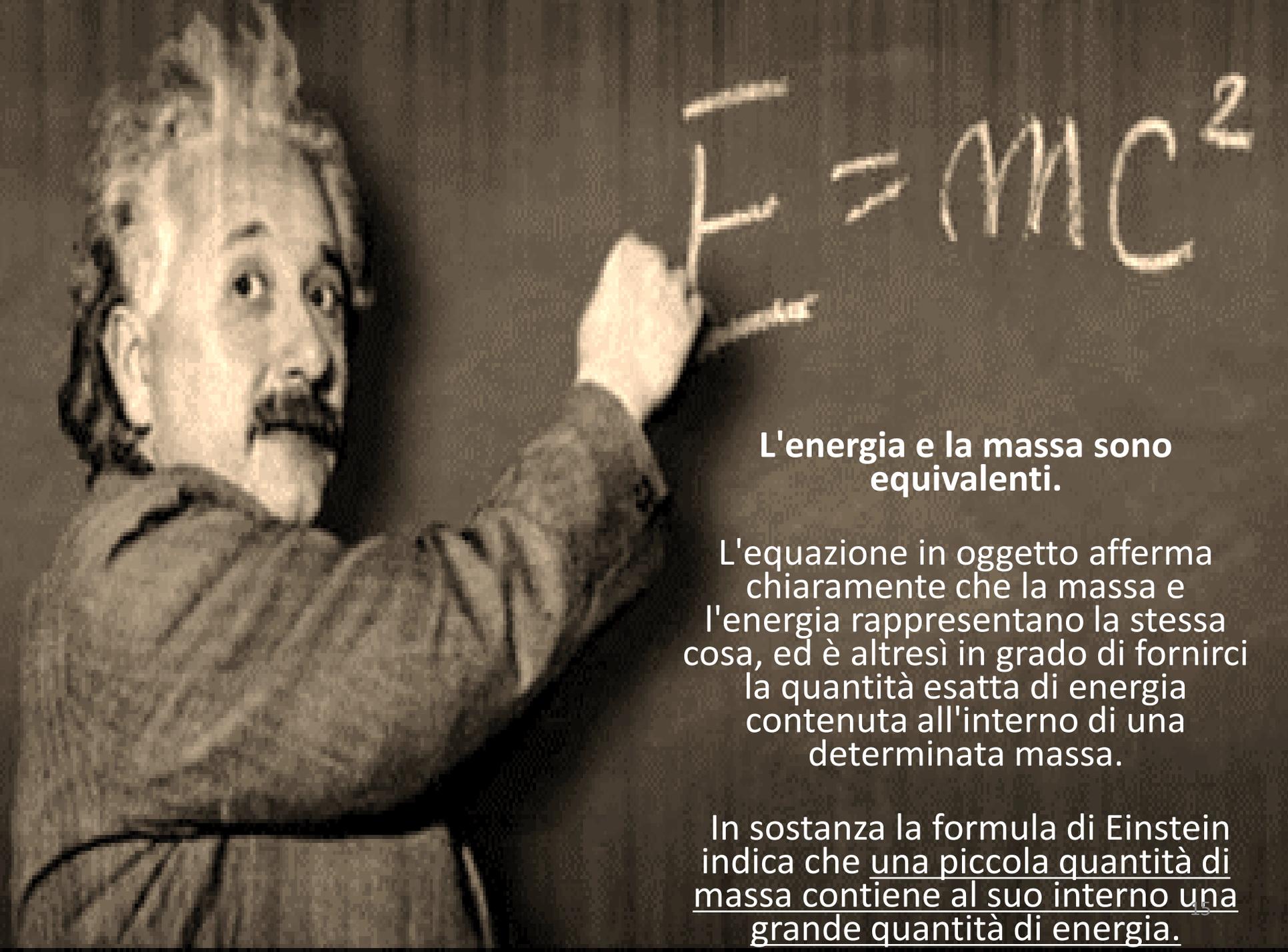
Se il lavoro contribuisce a dare inerzia al corpo... ..allora l'inerzia deve contenere **energia!**

Poiché  $E = L + mc^2$  anche se  $L = \text{zero}$ , cioè se non metti affatto lavoro, l'elettrone avrà ancora un'energia uguale a :  **$E = m c^2$**  ! L'equazione più famosa del XX secolo  
"La massa d'un corpo e' la misura della sua energia."

Per dimostrare come tale conclusione funzioni, nel 1905 scrive un breve lavoro di 3 pagine intitolato...

«L'inerzia di un corpo dipende dalla sua energia?»

L'argomentazione di Albert in questo lavoro non è una dimostrazione. Non si può dimostrare una definizione. Tutto quello che si può fare è mostrare che


$$E = mc^2$$

**L'energia e la massa sono equivalenti.**

L'equazione in oggetto afferma chiaramente che la massa e l'energia rappresentano la stessa cosa, ed è altresì in grado di fornirci la quantità esatta di energia contenuta all'interno di una determinata massa.

In sostanza la formula di Einstein indica che una piccola quantità di massa contiene al suo interno una grande quantità di energia.

$$E = mc^2$$

più È l'equazione famosa del mondo.

Nel 1946 ha avuto la prima pagina di «Time» e da allora è entrata a far parte della nostra cultura, ispirando artisti, musicisti, scrittori e registi.

La si ritrova ovunque: nel logo di un'azienda grafica giapponese, in quello di una società di pubbliche relazioni della campagna inglese o anche su magliette e t-shirt

Perché?

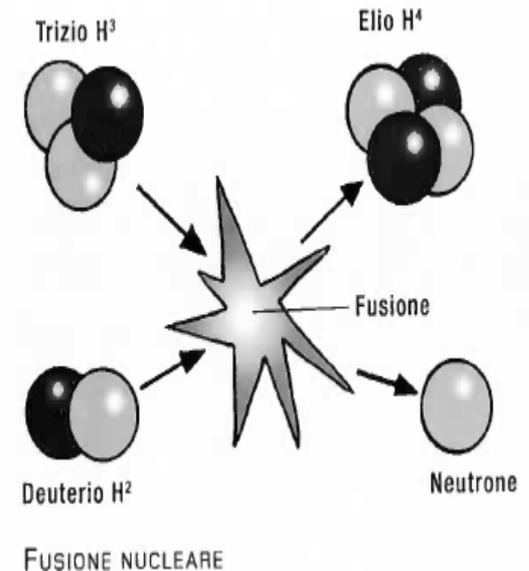
Perché questa equazione riassume in sé l'origine del mondo.

$$E = mc^2$$

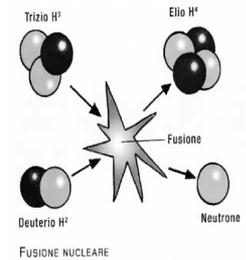
Ci vollero quarant'anni perché capissimo di cosa era capace l'equazione formulata da Einstein nel 1905

Anche se la copertina di «Time» ce la mostra scritta su una nuvola a forma di fungo che incombe su un atollo del Pacifico in preda alle fiamme,  $E = mc^2$  non è solo l'equazione della bomba atomica, ma è molto più potente di una bomba, poiché è all'origine della vita, del perdurare della nostra esistenza e, forse, anche del nostro futuro.

L'equazione di Einstein descrive le proprietà fondamentali della realtà, mostrandoci fino a che punto sia illusorio il concetto di materia che tanto ci è familiare.



$$E = mc^2$$



## Un piccolo giallo?

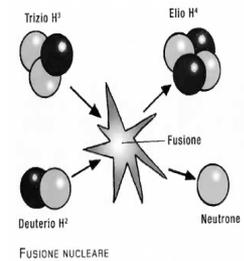
A voler essere pignoli, in realtà non fu Einstein il primo a formularla: nell'articolo in cui ipotizzava che tra la massa e l'energia sussistesse una relazione del genere, l'equazione della relatività di Einstein non sarebbe, in realtà, di Albert Einstein, bensì di un matematico autodidatta italiano, Olinto De Pretto.

**Stando a quanto si racconta, il 23 novembre del 1903** l'italiano De Pretto, un industriale di Vicenza con la passione per la matematica, avrebbe pubblicato sulla rivista scientifica *Atte* un articolo dal titolo **“Ipotesi dell’etere nella vita dell’Universo”**, in cui sosteneva che **“la materia di un corpo contiene una quantità di energia rappresentata dall’intera massa del corpo, che si muovesse alla medesima velocità delle singole particelle”**.

Insomma, la celebre  **$E=mc^2$**  spiegata parola per parola, anche se De Pretto **non mise la formula in relazione con il concetto di**



$$E = mc^2$$



**Secondo la ricostruzione fatta dal professor Umberto Bartocci**, docente di Storia della matematica all'Università di Perugia, questo difetto nell'impostazione di De Pretto sarebbe stato il motivo per cui inizialmente il significato dell'equazione non venne capito. Solo successivamente, nel 1905, lo studioso svizzero Michele Besso avrebbe avvisato Albert Einstein del lavoro svolto due anni prima da De Pretto e delle conclusioni alle quali era arrivato, che il geniale fisico e matematico avrebbe poi fatto sue, senza tuttavia

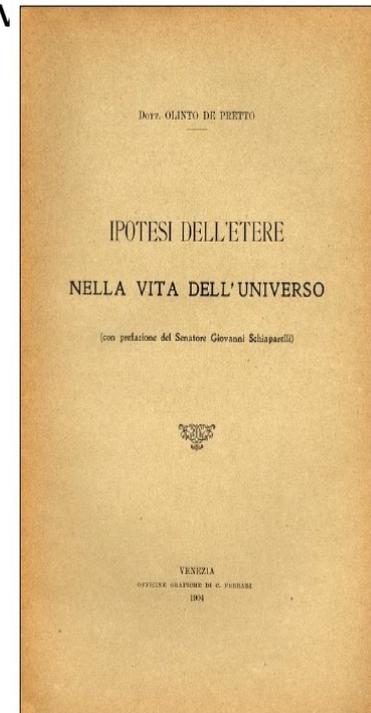
**Questa, ovviamente, è la tesi di Bartocci**, alla quale il professore ha attribuire alcun merito all'italiano, Olindo De Pretto.

dedicato pure un libro, dal titolo: *Albert Einstein e Olindo De Pretto – La vera storia della formula più famosa del mondo*, dove viene appunto spiegata la teoria della “contaminazione einsteiniana” ad opera di De Pretto, morto nel 1921.

*«De Pretto non scoprì la relatività – ha riconosciuto Bartocci – però non ci sono dubbi sul fatto che sia stato il primo ad usare l'equazione e questo è molto significativo.*

*Sono anche convinto che Einstein usò le ricerche di De Pretto, sebbene questo sia impossibile da dimostrare».*

Nel corso degli anni ci sono poi state altre polemiche circa i contributi scientifici che avrebbero permesso ad Einstein di scoprire e rendere pubblica la rivoluzionaria formula nel 1905 e fra questi, particolarmente importanti si dice siano state le ricerche del



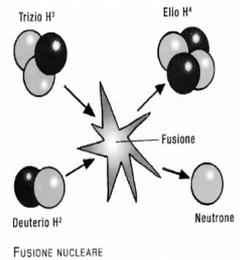
$$E = mc^2$$

Tornando ad Einstein ,egli non scrisse  $E = mc^2$ , bensì  $L = mv^2$ ,dove  $L$  è l'energia «viva»,  $m$  è la massa e  $v$  è la velocità.

Fu solo sette anni più tardi, nel 1912, che cominciò a usare abitualmente  $E$  per l'energia e  $c$  per la *celeritas*, un termine latino che significa «velocità» e la cui iniziale è universalmente riconosciuta come il simbolo della velocità della luce.

A prescindere dal cambiamento di notazione, Einstein non si era inventato l'equazione dal nulla.

Il germe dell'equazione era già presente nelle leggi della fisica formulate per la prima volta nel corso del XVII °secolo e dibattute nei due secoli successivi.

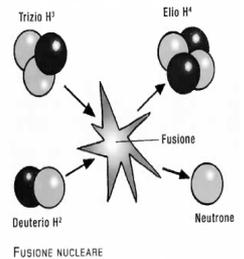


$$E = mc^2$$

## CHI PROVEDE A CARICARE

### L'UNIVERSO?

Ovvero da dove proviene l'idea ed il termine di **ENERGIA**?



Aristotele definiva l'energia come il fondamento dell'essenza e dello scopo di ogni cosa.

**Energieia**, per Aristotele, era ciò che consentiva a un corpo di raggiungere il proprio scopo.

Nell'Enciclopedia Britannica del 1842, ad esempio, l'energia è definita come

un «termine di origine greca che indica la potenza o l'efficacia di un oggetto».

Ai tempi di Newton mancava ancora una definizione precisa dell'energia.

Il concetto non era sconosciuto: si sapeva che un corpo in movimento — una freccia scoccata da un arco, ad esempio - possedeva energia.

All'atterraggio, però, l'energia della freccia sembrava volatilizzarsi.

Lo stesso accadeva quando due persone che camminavano per strada si scontravano e finivano a terra : secondo Newton le rispettive energie si cancellavano a vicenda.

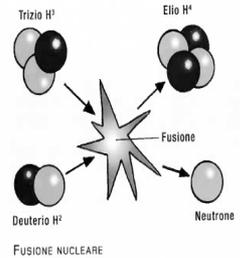
Prima della collisione c'era energia ,dopo spariva tutto

$$E = mc^2$$

## CHI PROVEDE A CARICARE

### L'UNIVERSO?

Ovvero da dove proviene l'idea ed il termine di **ENERGIA**?



Dal punto di vista di Newton , quanto meno - c'era D i o .

Newton credeva che da qualche parte, n e l l ' U n i v e r s o , fosse all'opera un Dio attivo e immanente.

U n o dei compiti fondamentali di questa divinità, secondo N e w t o n , era quello di garantire le scorte di energia del cosmo.

Dio si occupava di ricaricare il meccanismo a orologeria dell ' Universo e di mantenere in moto i pianeti ed il Cosmo ,ma si dedicava anche alle situazioni quotidiane –alle persone che si scontravano per stra ,ad esempio.

Il grande rivale di Newton, l'ateo Gottfried Wilhelm Leibniz, n o n la pensava allo stesso modo.

Commentando acidamente le convizioni di Newton , affermava di avere difficoltà a credere che ogni tanto DioOnnipotente dovesse ricaricare il proprio orologio .

«A quanto pare», scriveva nel 1715 al filosofo Samuel Clarke , «Dio non è stato abbastanza lungimirante da pensare di inventare anche il moto perpetuo»

I due si erano già s c o n t r a t i sulla paternità del calcolo infinitesimale , lo strumento matematico che aveva permesso a Newton di calcolare le traiettorie dei p i a n e t i .

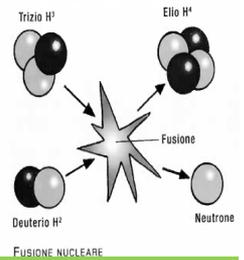
E di natura matematica, in u l t i m a a n a l i s i , era anche il c o n f l i t t o s u l l ' e n e r g i a

$$E = mc^2$$

## CHI PROVEDE A CARICARE

### L'UNIVERSO?

Ovvero da dove proviene l'idea ed il termine di **ENERGIA**?



Dal punto di vista di Newton , l'energia di un corpo in moto con velocità  $v$  ,viene espressa dal prodotto  $E \cong mv$  ove  $m$  rappresenta la massa del corpo.

Quindi due corpi di massa  $m$  in moto con stessa velocità  $v$  in direzione opposta ,avrebbero energia rispettivamente pari a  $mv$

ed  $-mv$ .Dopo la collisione totale sarebbe ovviamente a zero

Leibniz invece riteneva che fosse  $E \cong mv^2$ , il prodotto della massa per il quadrato della velocità:in tal modo era irrilevante la direzione «negativa».

Cosa importante: **in tal modo l'energia dell'Universo non spariva**

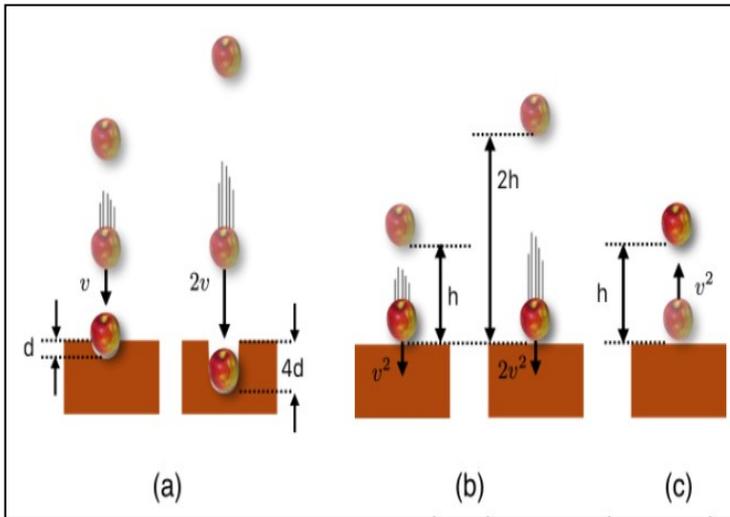
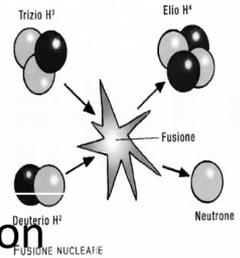


$$E = mc^2$$

## CHI PROVEDE A CARICARE L'UNIVERSO?

Ovvero da dove proviene l'idea ed il termine di **ENERGIA?**

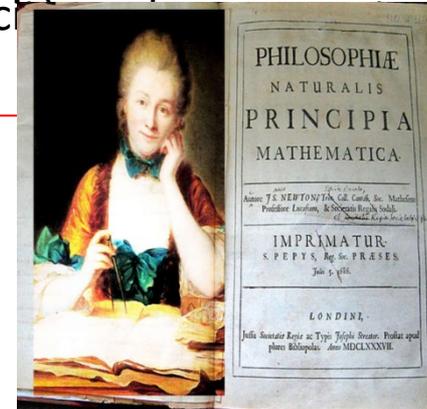
Per diversi anni fu una questione ideologica tra inglesi che apprezzavano Newton e tedeschi che tifavano per Leibniz e la sua formula  $E \cong mv^2$



La diatriba fu risolta a favore di Leibniz dagli esperimenti effettuati dall'olandese Willem's Gravesande che indagando sulla profondità dei buchi prodotti da una serie di pesi differenti ,lasciati cadere nell'argilla morbida da altezze differenti ,dedusse che tali profondità dovessero essere in qualche modo proporzionali all'altezza della caduta ed alla velocità.

Tuttavia spettò poi alla nobildonna

francese Emilie du Chatelet completare il quadro d'insieme e concludere ,definitivamente a favore di Leibniz e della sua  $E \cong mv^2$  che l'energia legata al movimento era proporzionale al quadrato della velocità.

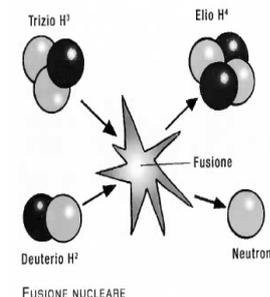


$$E = mc^2$$

## CHI PROVVEDE A CARICARE L'UNIVERSO?

Ovvero dove va finire l'ENERGIA di movimento quando il moto finisce?

La risposta che tutti conosciamo si trova nel Principio di Conservazione dell'Energia.



Verso la fine del XVIII° secolo, poco prima di essere ghigliottinato, lo scienziato francese Antoine Lavoisier aveva concluso da esperimenti eseguiti e analizzati con somma precisione sulle variazioni di determinate sostanze sottoposte all'azione del fuoco, della ruggine e di altri agenti naturali, che la **massa**

**in qualche modo si conservava.**



Ogni singolo esperimento era stato effettuato in un contenitore sigillato, pesando la sostanza esaminata (insieme all'aria o all'acqua presenti nel contenitore) prima e dopo l'esperimento.

Tutti gli esperimenti dimostrarono che **la massa totale** del materiale presente nel contenitore **rimaneva costante**, entro i limiti della precisione ottenibile.

Persino un fenomeno violento come la combustione, che modificava in maniera radicale l'aspetto fisico di una sostanza, non faceva svanire la materia.

Le misure effettuate suggerirono a Lavoisier che la massa rimaneva all'interno del contenitore in cui veniva effettuato l'esperimento: la sua forma poteva cambiare, ma la massa rimaneva sempre lì.

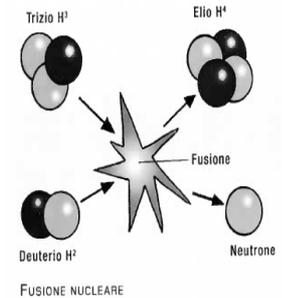
Non era possibile che una sostanza si limitasse a sparire dall'Universo; **ciò che era**

$$E = mc^2$$

## CHI PROVVEDE A CARICARE L'UNIVERSO?

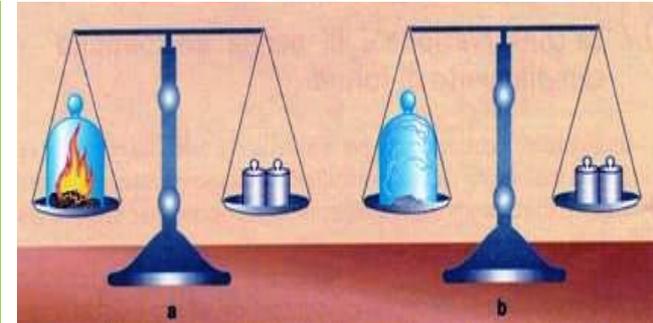
Ovvero dove va finire l'ENERGIA di movimento quando il moto finisce? Sempre?

La risposta che tutti conosciamo si trova nel Principio di Conservazione dell'Energia.



Due secoli di esperimenti come quelli di Lavoisier ci hanno portato ad accettare l'idea che l'Universo sia, di fatto, un sistema «**chiuso**», contenente una quantità finita di «**roba**» che può essere trasformata da uno stato all'altro.

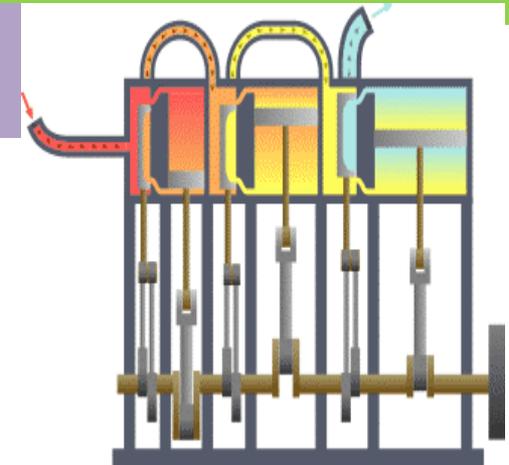
*E qual è la quantità trasformabile fondamentale, ma sempre conservata? E' l'energia*



in natura l'energia si conserva sempre

Era noto da molto tempo che l'energia cinetica poteva trasformarsi in calore.

Con l'invenzione della termodinamica, la branca della scienza che mette in relazione la temperatura e il calore con il moto degli atomi e delle molecole si scoprirono i meccanismi dettagliati del fenomeno



$$E = mc^2$$

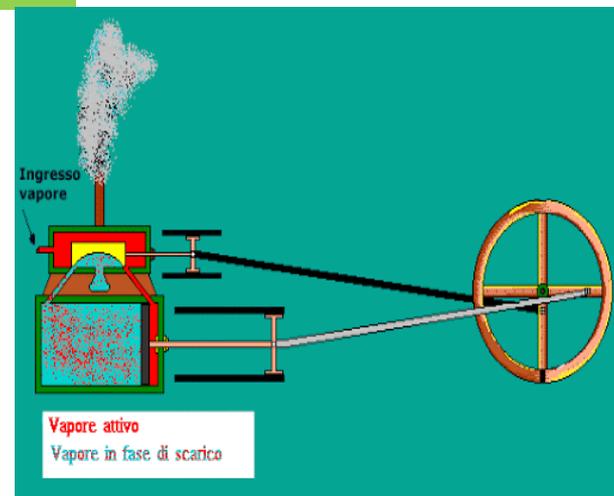
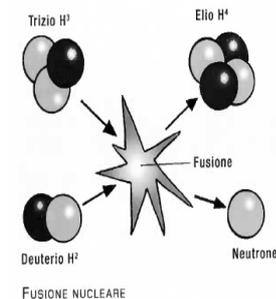
## LA RIVOLUZIONE TERMICA

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

La risposta che tutti conosciamo si trova nel Principio di Conservazione dell'Energia

in natura l'energia si conserva sempre

La scoperta che il calore fosse una forma di energia, e che quindi potesse essere convertito in energia cinetica da utilizzare per la produzione di lavoro, rappresentò una rivoluzione da ogni punto di vista. Basta riscaldare a sufficienza dell'acqua e il vapore generato — portato a pressione elevata — fa muovere un pistone. E far muovere un pistone può far cambiare il destino di una nazione.



$$E = mc^2$$

## LA RIVOLUZIONE TERMICA

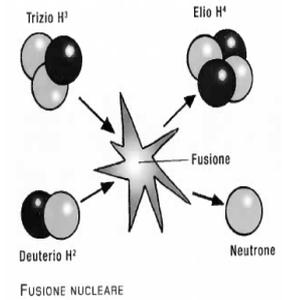
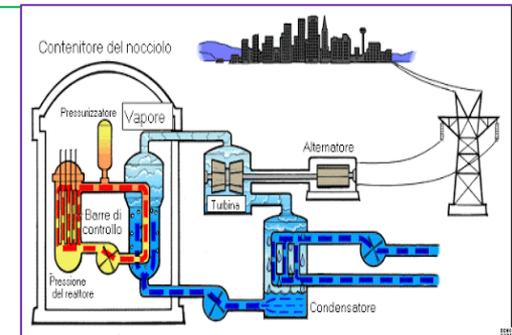
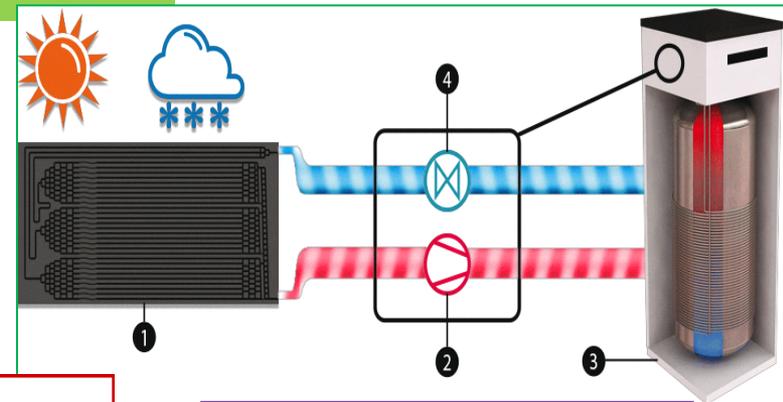
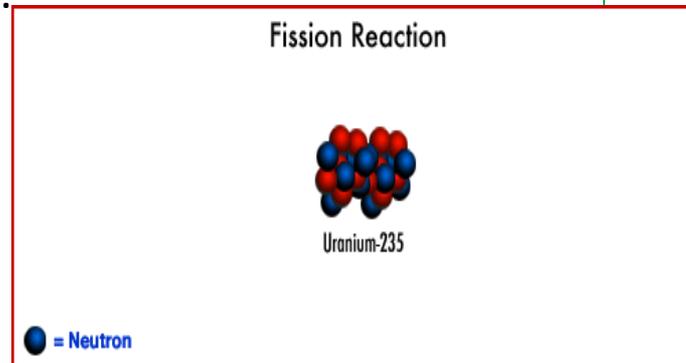
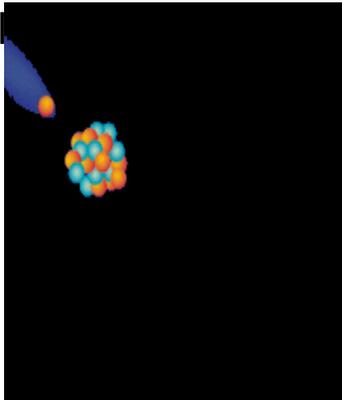
Ovvero se  $E \cong mv^2$  a governare il mondo moderno, è la termodinamica che lo ha plasmato.

La risposta che tutti conosciamo si trova nel 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.

Qual



## Scopriamo le tecnologie rese possibili dalla formula $E=mc^2$ :

La scoperta dell'equazione  $E=mc^2$  ha reso possibile la creazione di nuove tecnologie, molte delle quali sono oggi alla base della nostra vita:

- [PET](#): tecnologia medica che utilizza la radioattività per eseguire una scansione interna del corpo umano.
- Ha permesso di sviluppare le telecomunicazioni satellitari e i veicoli per l'esplorazione spaziale.
- La datazione con il radiocarbonio determina l'età di un oggetto antico sfruttando il decadimento radioattivo basato proprio sull'equazione di Einstein.
- L'energia nucleare è una forma di energia più efficiente e pulita utilizzata per

