

# QUANTISTICO

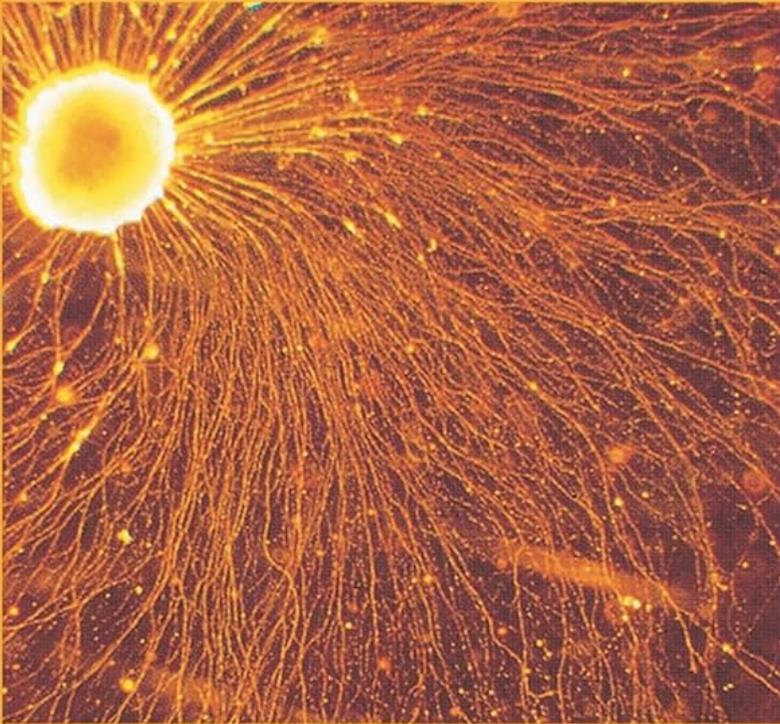
Cos'è e cosa non è la Meccanica Quantistica

Stefano Marcellini – I.N.F.N. Sezione di Bologna

GLI ADELPHI

*Fritjof Capra*

## Il Tao della fisica

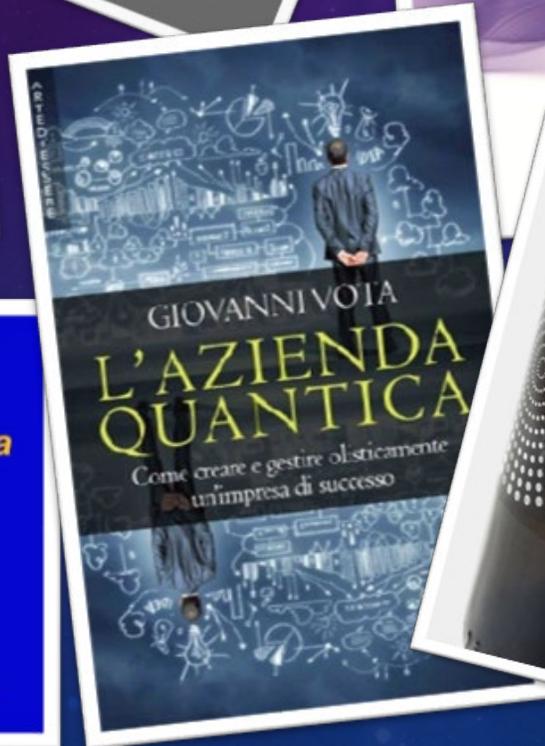
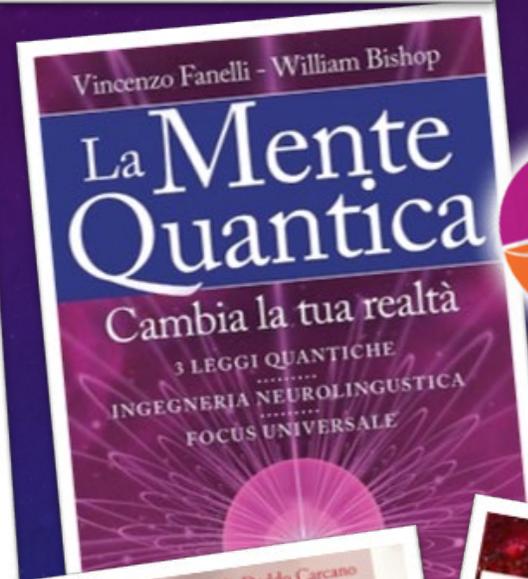


Descrive presunte relazioni tra la fisica moderna, la relatività, la fisica quantistica e le filosofie religiose orientali, tra cui l'induismo, il Buddismo, e in particolare il taoismo e lo zen.

Diventa NATUROPA ad Indirizzo QUANTICO

Dal Big Bang alla Coscienza Quantica Cellulare

SCUOLA NATUROPATIA QUANTICA



Incontro di formazione e aggiornamento in Semeiotica Biofisica Quantistica

**'Introduzione alla Semeiotica Biofisica Quantistica, elementi di Percussione ascoltata dello stomaco'**



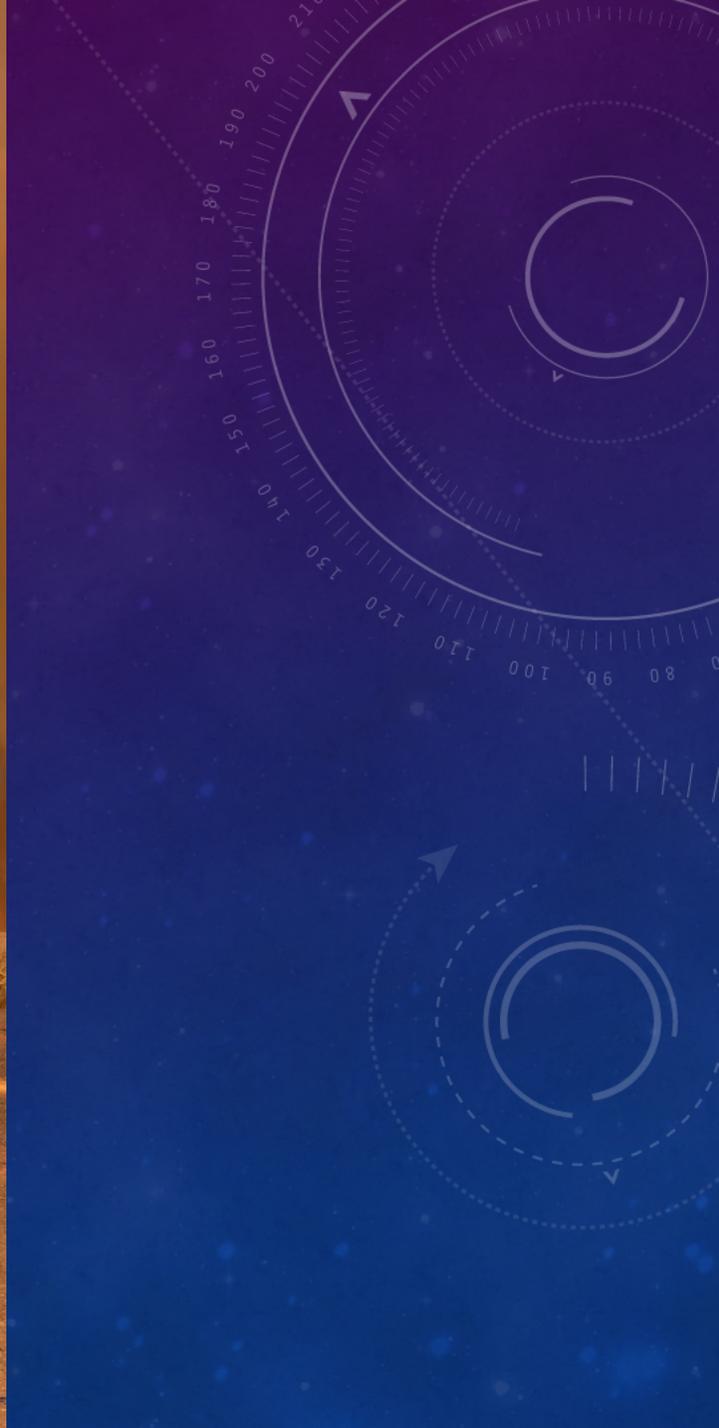
[Home](#) [About](#) [Products](#) [Contact](#)



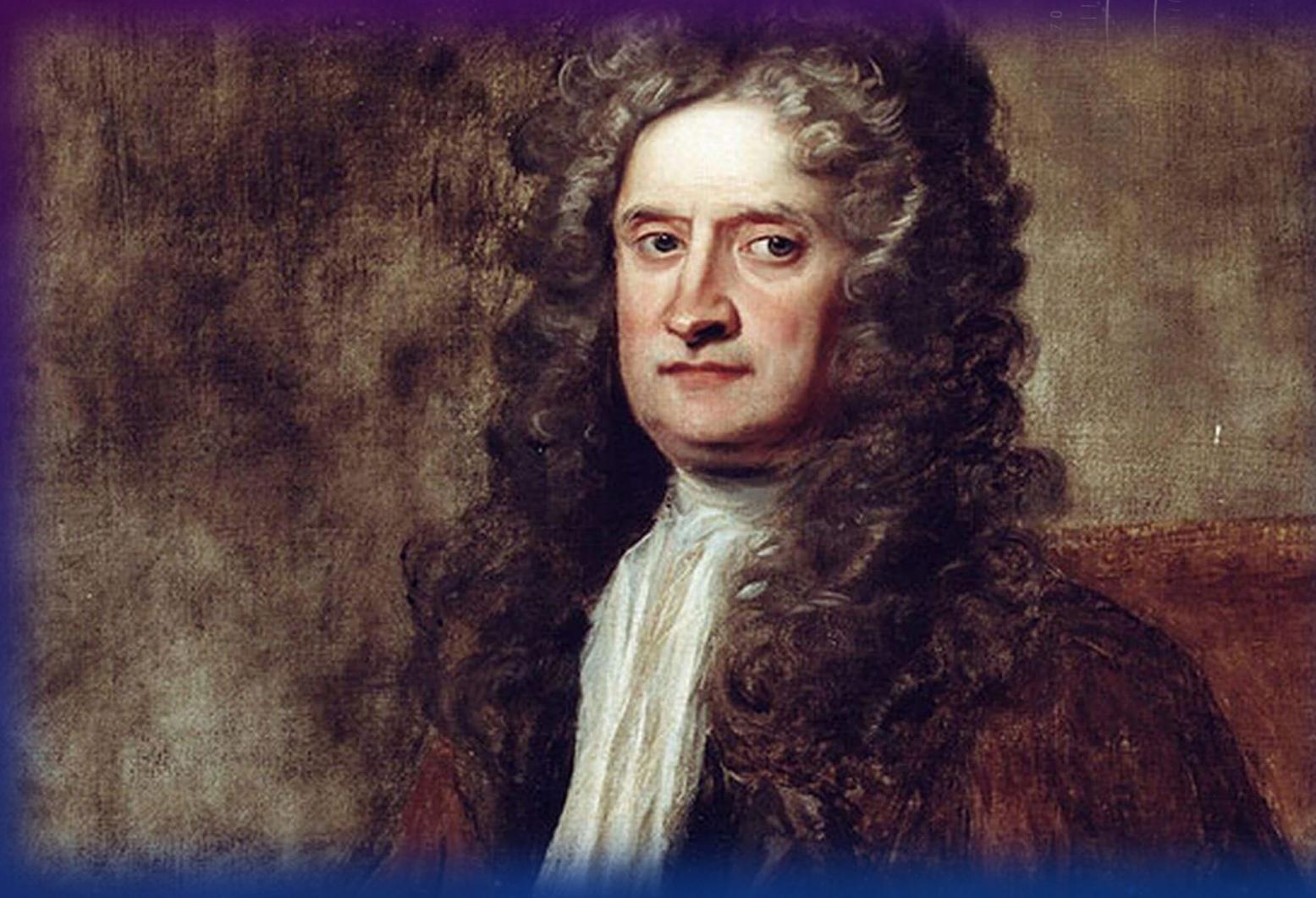
- *[..] La teoria dell'Entanglement riconosce un ruolo di particolare rilevanza alla **Mente** e alle sue capacità di influenzare la realtà circostante [..]*
- *[..] Allo scopo di diffondere questa concezione innovativa [..] operiamo professionalmente per diffondere l'Entanglement nei processi di cura e nel mantenimento della salute [..]*



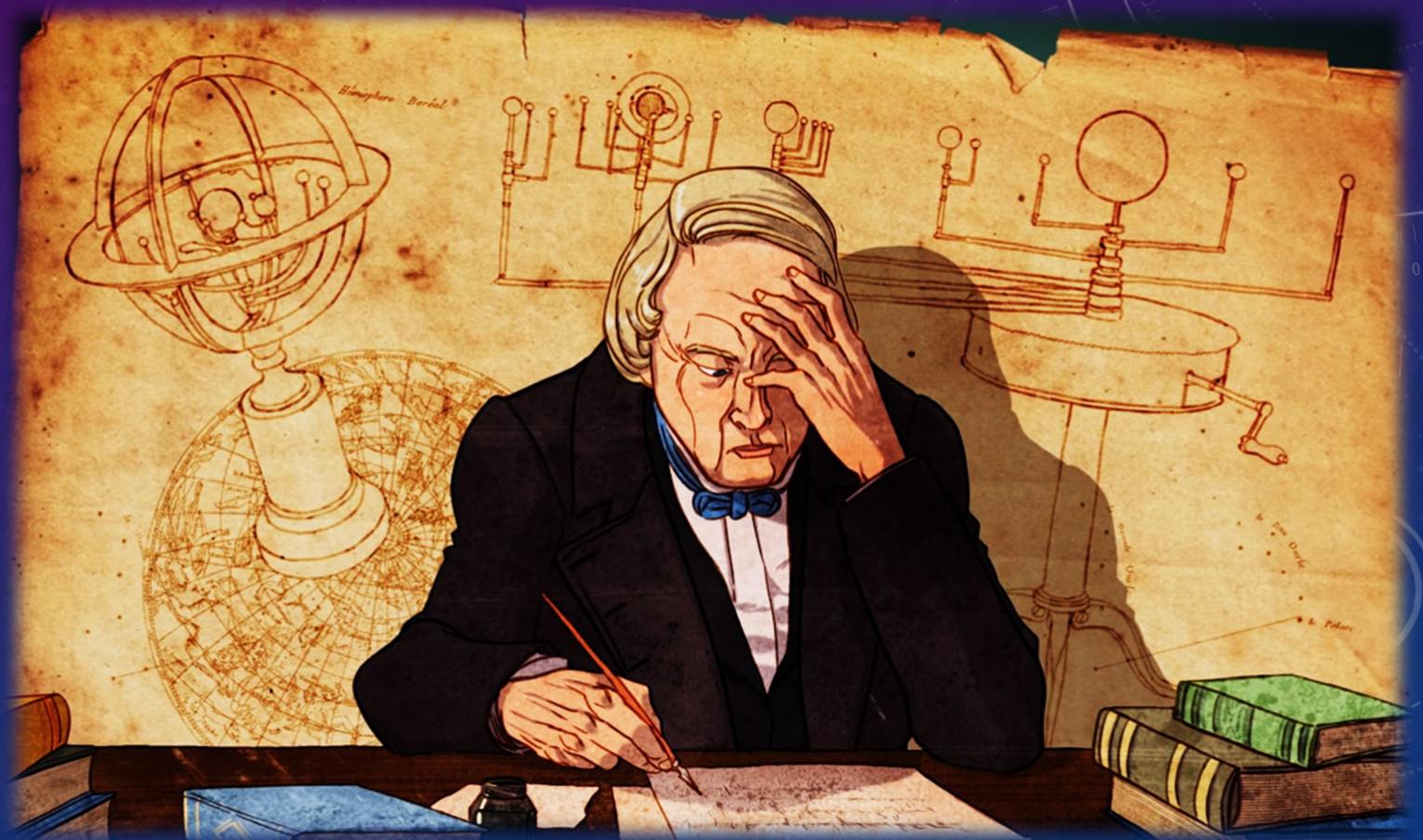
Associazione Internazionale Ricerca  
Entanglement in Medicina e Psicologia

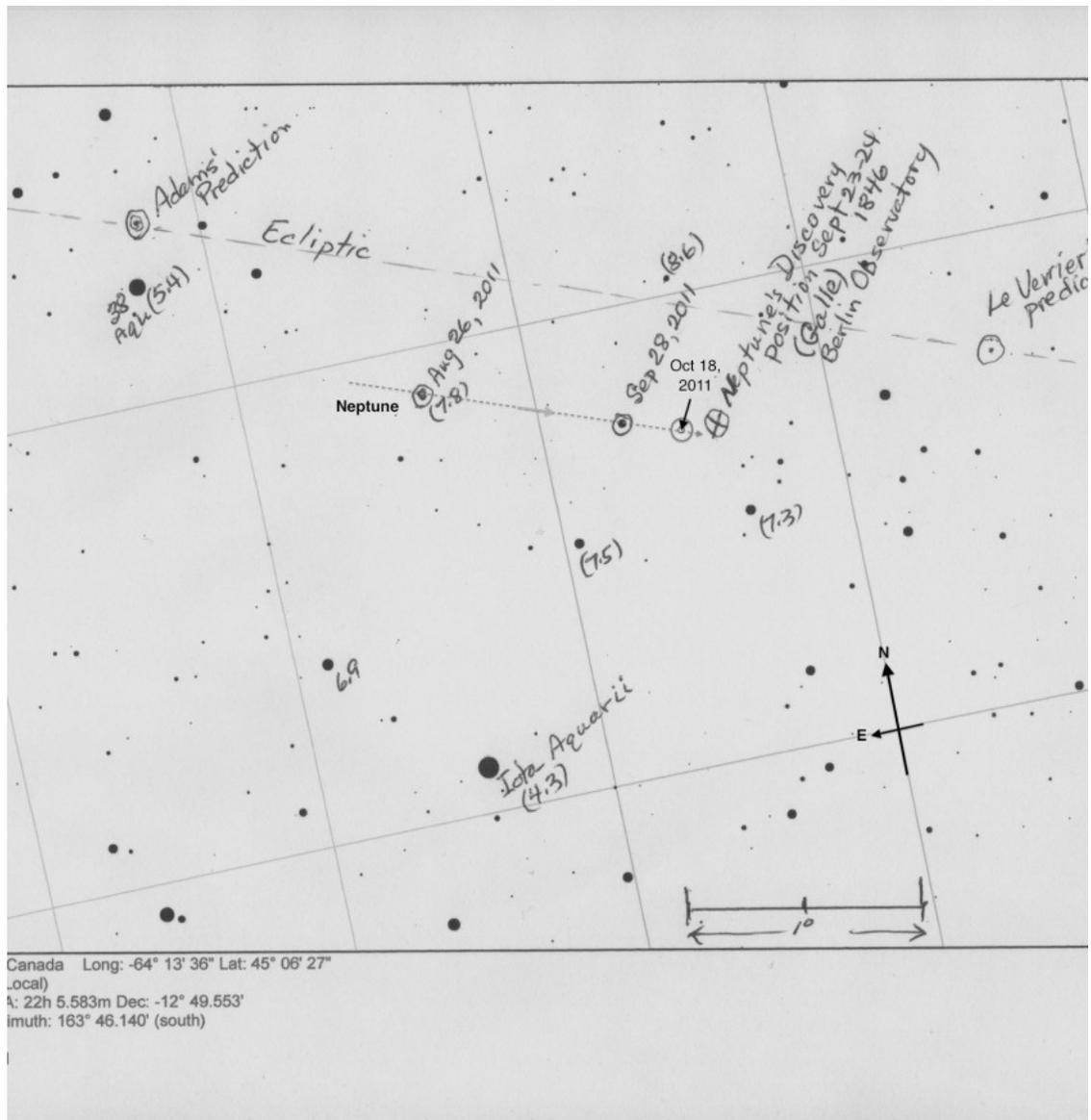


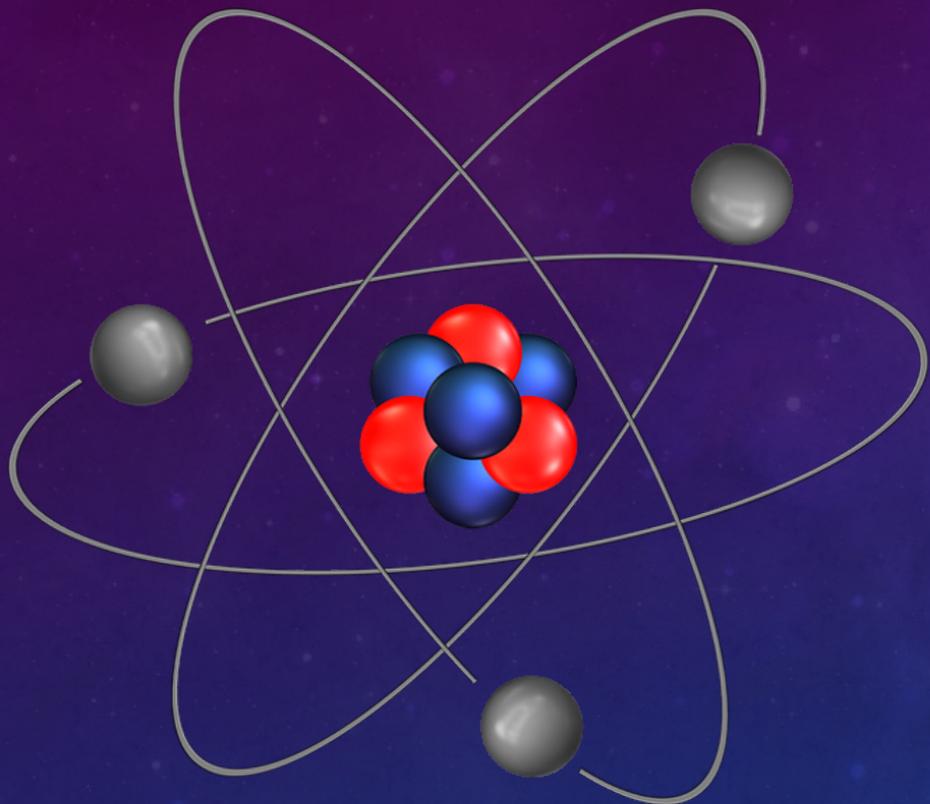
# Isac Newton

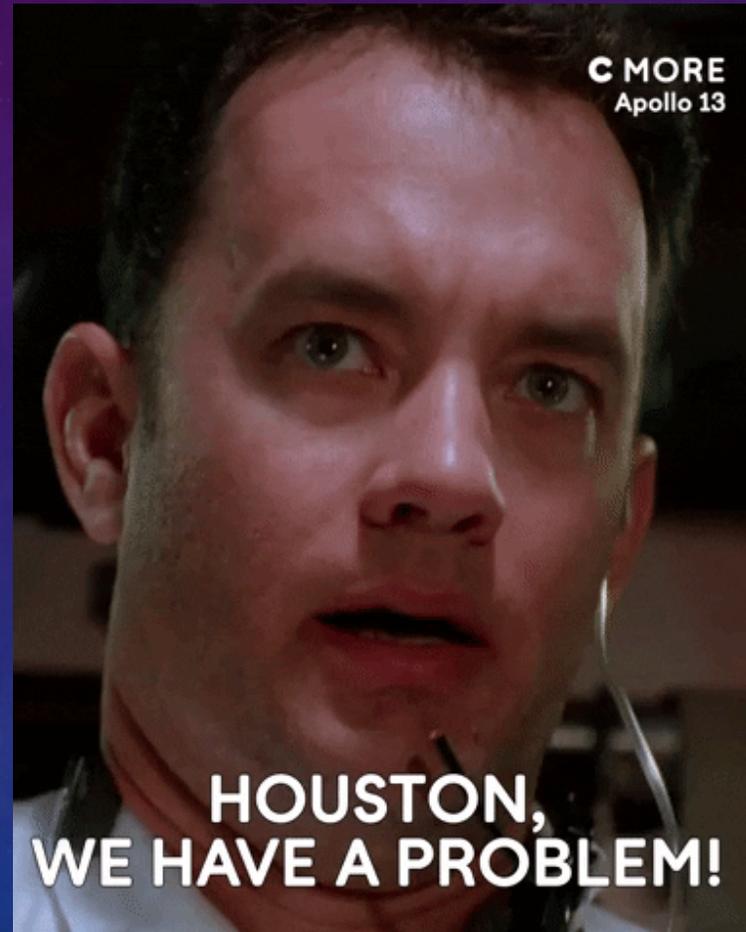
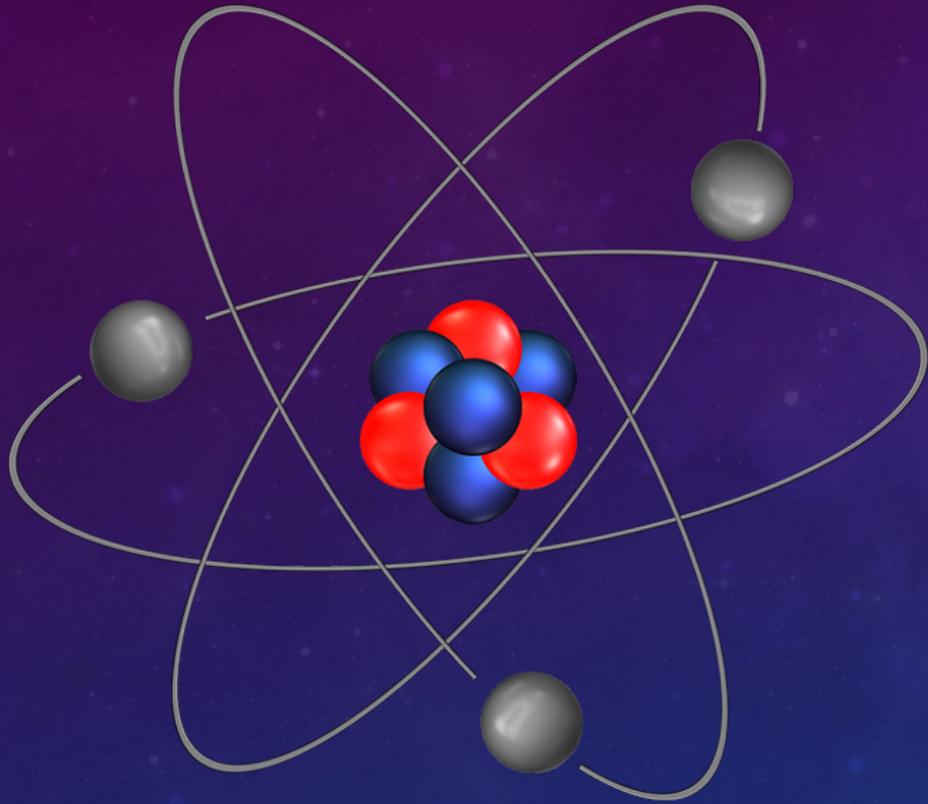


**1847: URBAIN LE VERRIER**









$$\Delta C = \sum_{n=1}^{\infty} |a_n|^2 = 1$$

$$e^{-2/\hbar \langle \psi | \psi \rangle} = \sum_{n=1}^{\infty} |a_n|^2 = 1$$

$$\psi^*(r,t) \psi(r,t) = e^{-2/\hbar \langle \psi | \psi \rangle}$$

$$\mathcal{E} = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi_0(Q) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-Q^2/2}$$

$$\rho(r,t) = |\psi|^2 = \psi^*(r,t) \psi(r,t)$$

$$\hat{E} = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \mathcal{E} \approx \mathcal{E}' + \Delta \mathcal{E}^{(2)}$$

$$\langle f \rangle = \int \psi^*(r,t) f \psi(r,t) dV = \langle \psi | \hat{f} | \psi \rangle$$

$$\psi(r,t) = \psi(r) \varphi(t)$$

$$\psi_n(Q) = A_n H_n(Q) e^{-Q^2/2}$$

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar/2$$

$$\langle f \rangle = \int \psi^*(r,t) f \psi(r,t) dV = \langle \psi | \hat{f} | \psi \rangle$$

$$\hat{E} \psi = \hat{H} \psi$$

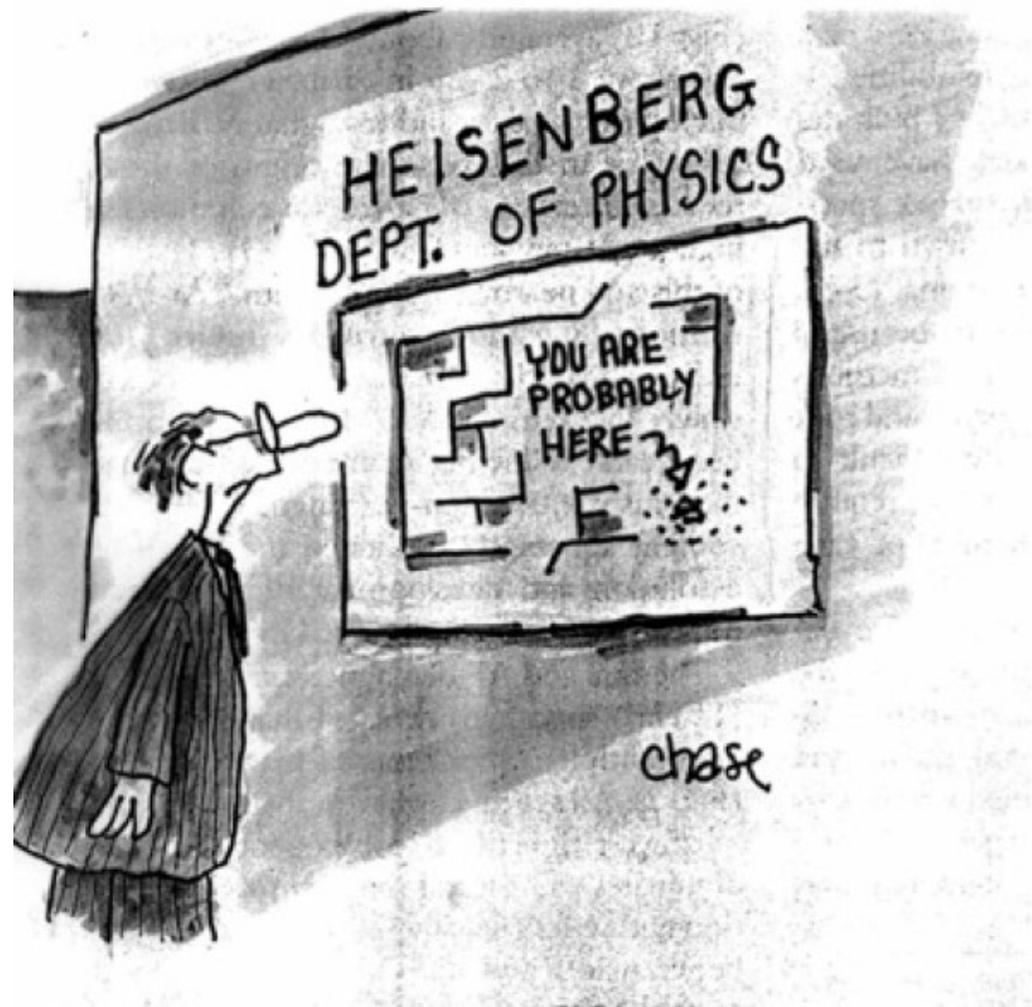
$$\langle A \rangle = \sum_{n=1}^{\infty} |a_n|^2 \langle n | A | n \rangle$$

$$\psi(r,t) = \psi(r) \varphi(t)$$

$$\left( \frac{d}{dQ^2} + Q^2 \right) \psi = \frac{\mathcal{E}}{\hbar^2} \psi = \hat{H} \psi$$

$$\psi(r,t) = \psi(r) \varphi(t)$$

$$\langle A \rangle = \sum_n |a_n|^2 A_n \left( \frac{d}{dQ^2} + Q^2 \right)$$



chase

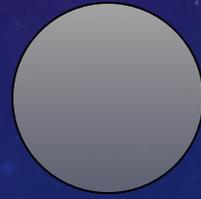
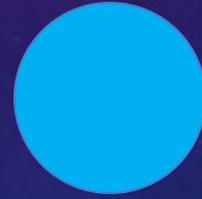
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V(\mathbf{x}) \psi = E \psi$$

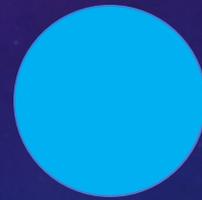
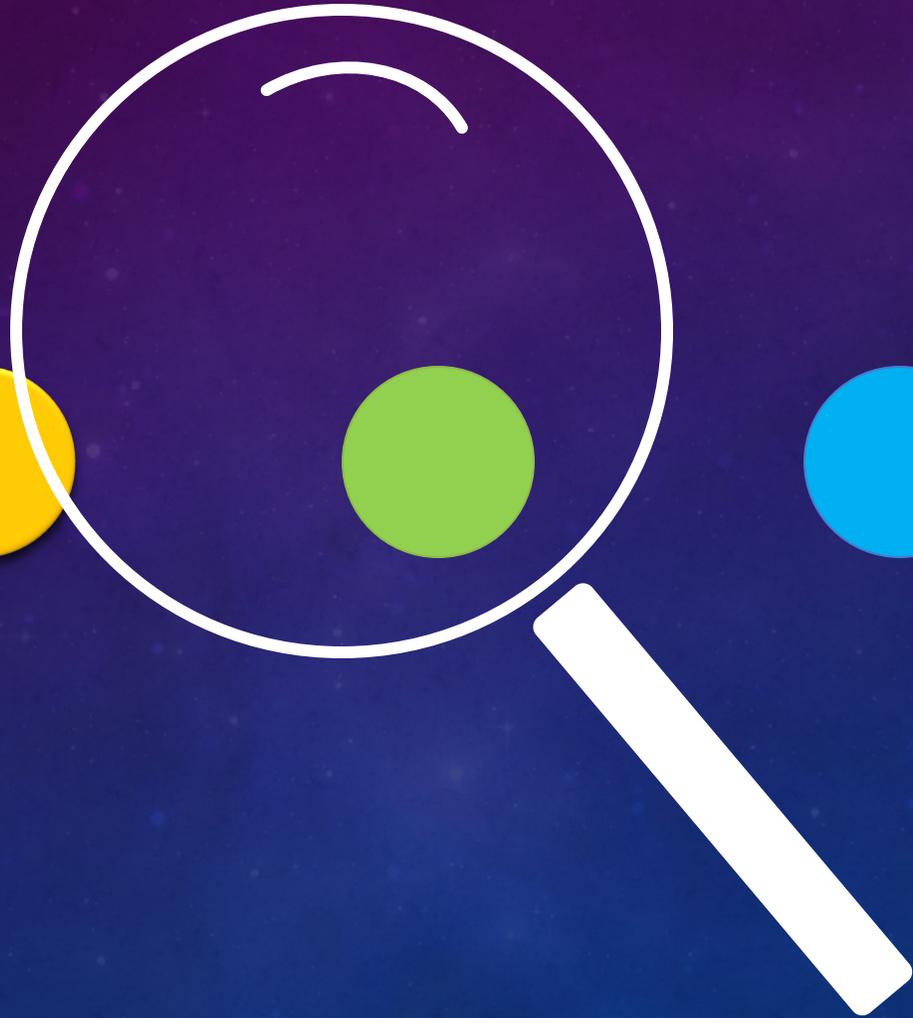
—                      —                      —



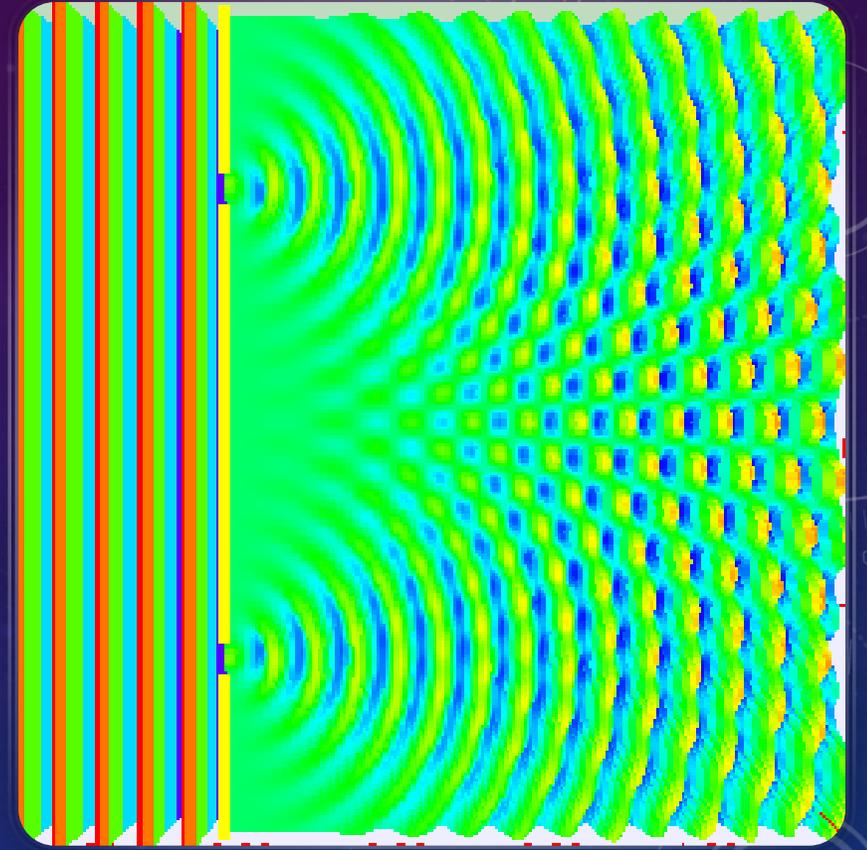
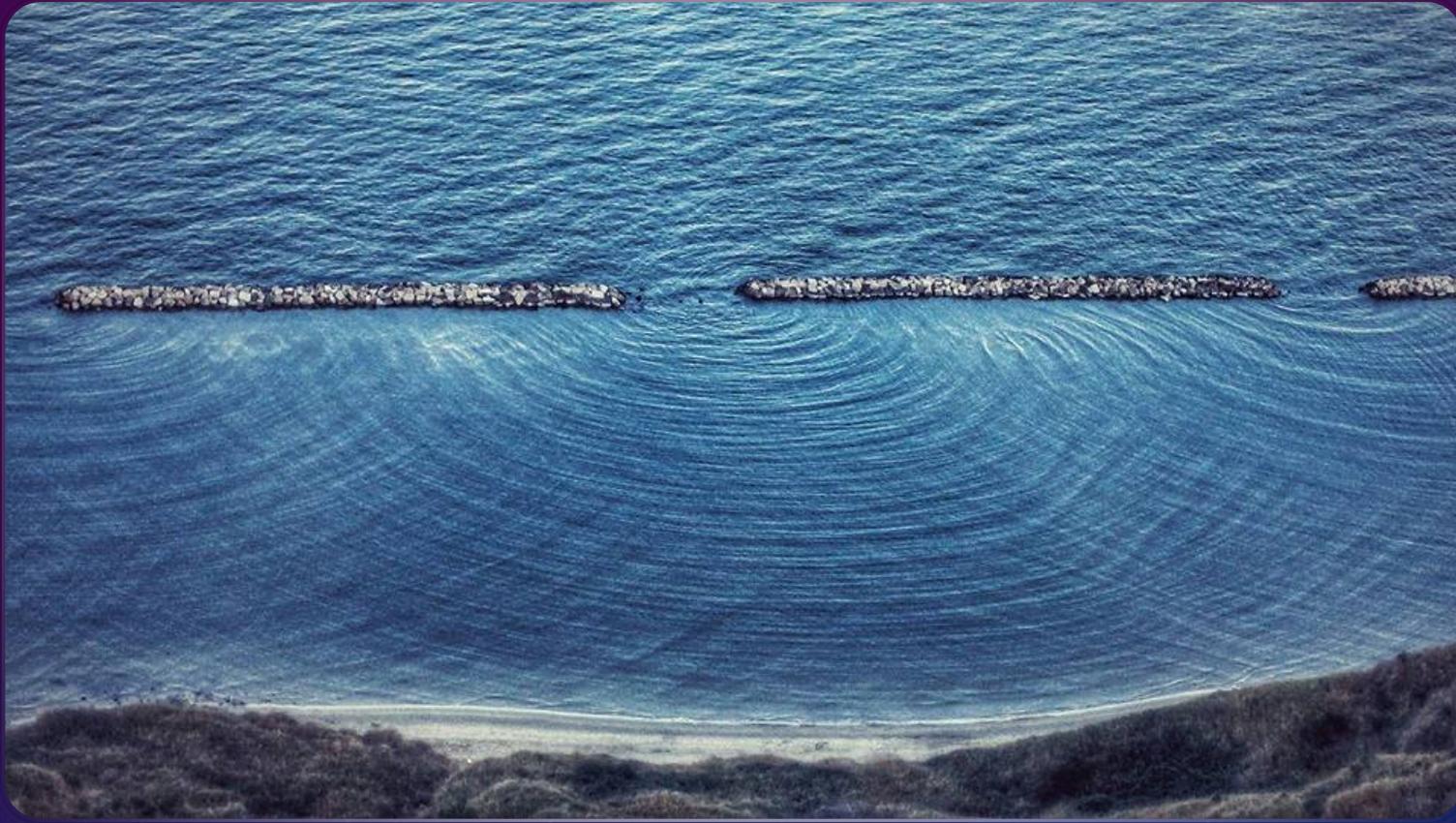
$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + V(\mathbf{x})\psi = E\psi$$

$\Psi$



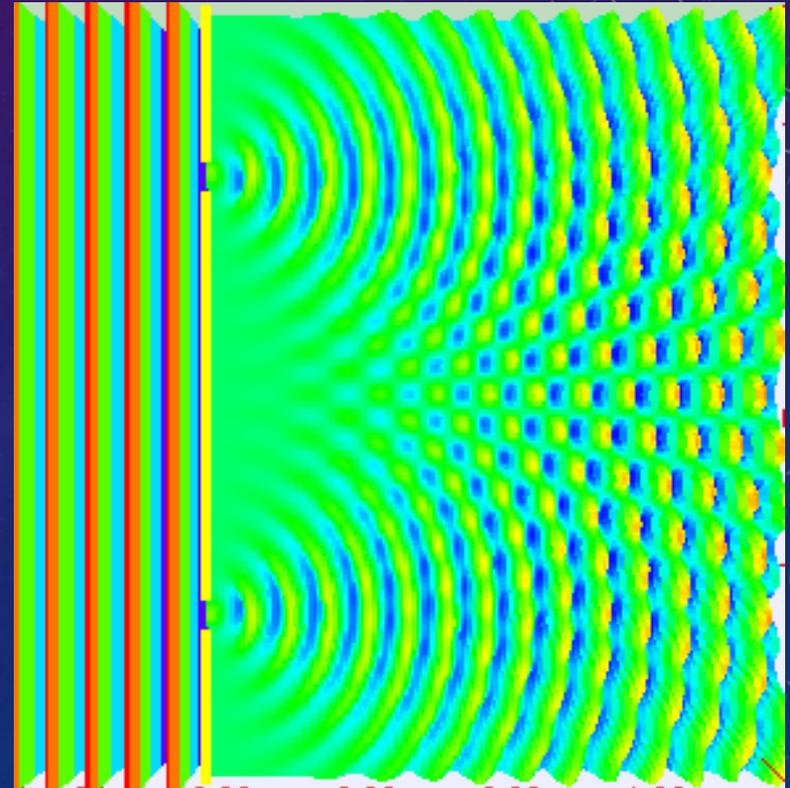


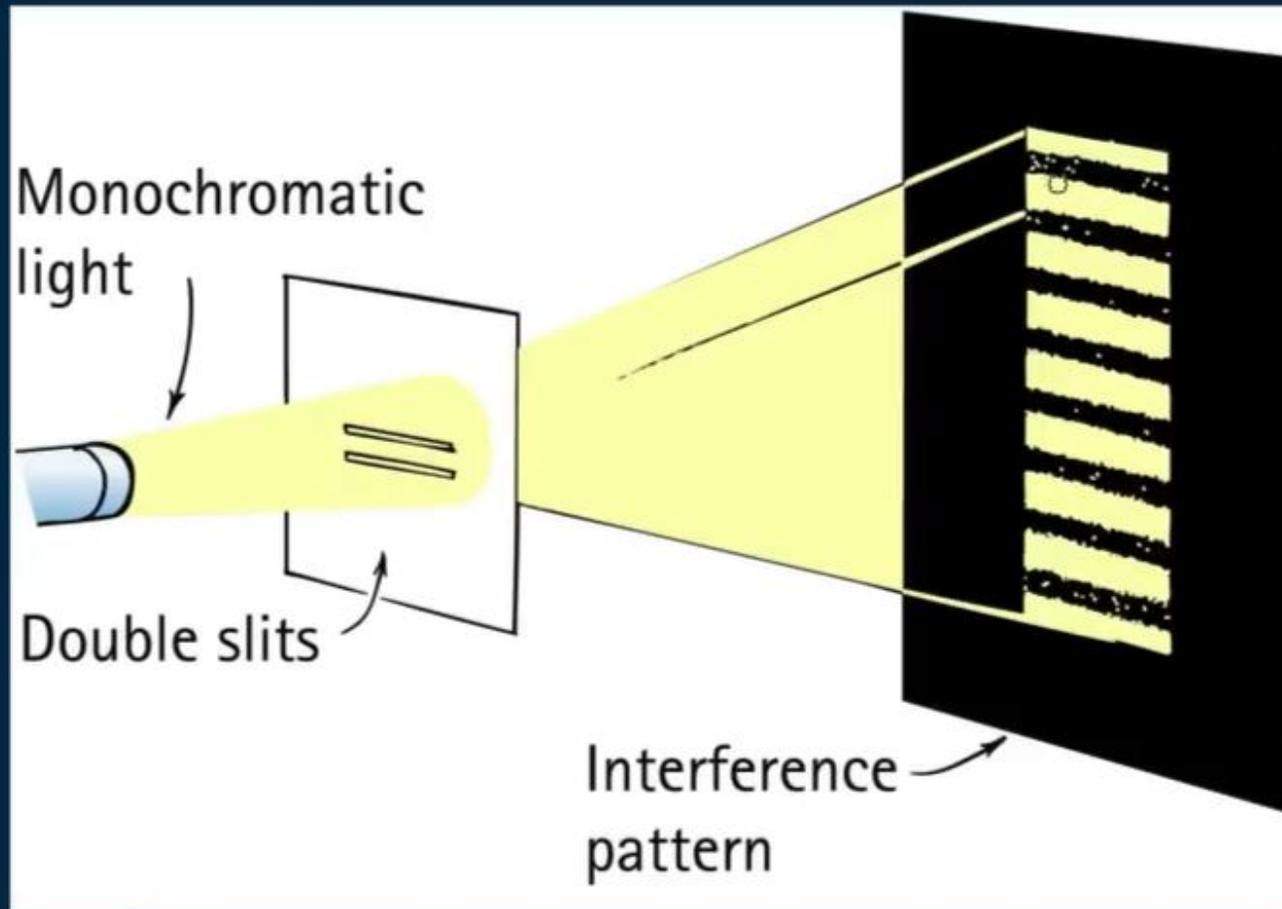




L'INTERFERENZA

L'INTERFERENZA  
AVVIENE PERCHÉ  
L'ONDA ATTRAVERSA  
ENTRAMBE LE  
FENDITURE.



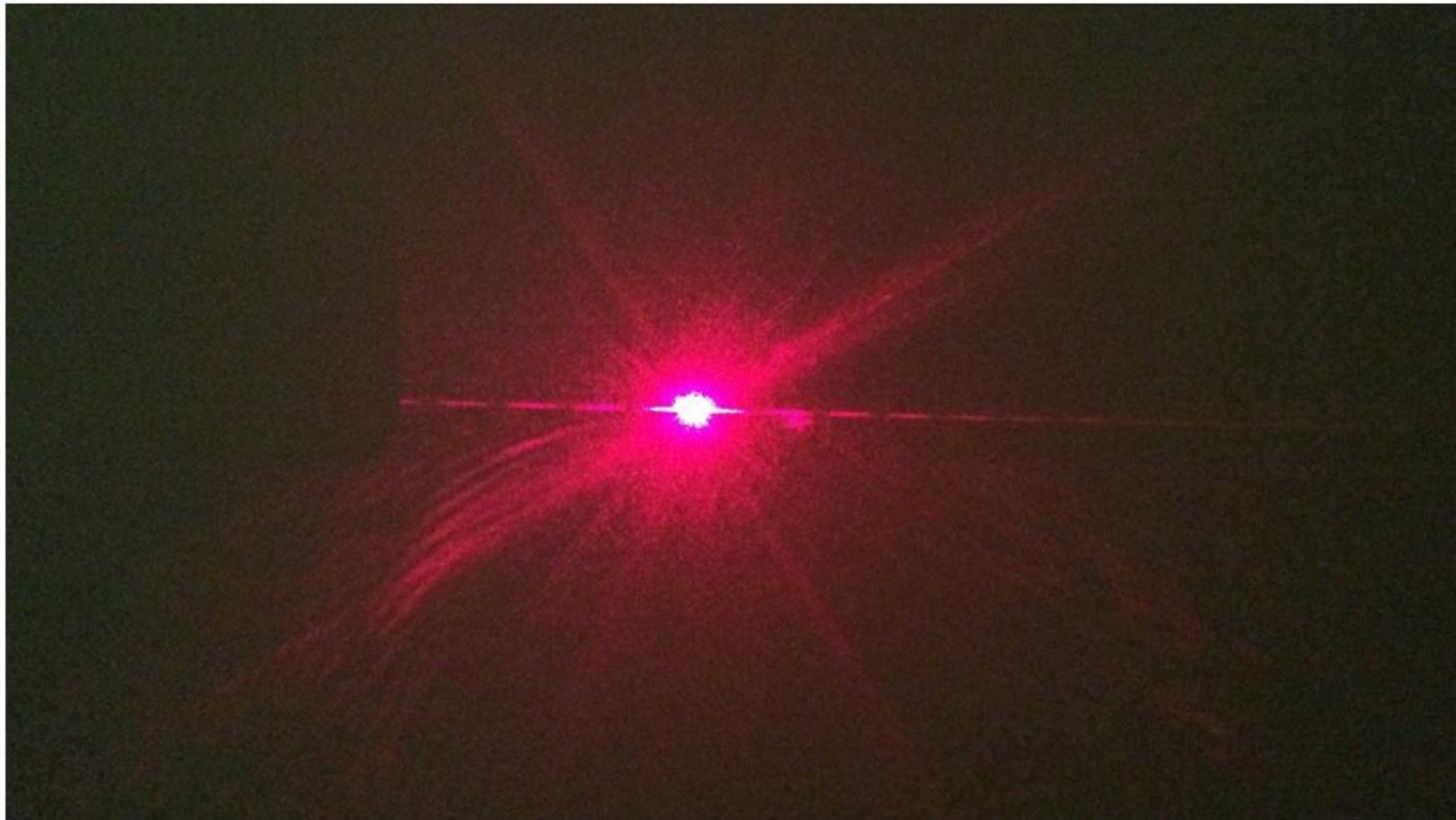


Un fascio di luce monocromatico che attraversa due fenditure produce una figura di interferenza

EUREKA! LAB // PHYSICS

## Measure the width of your hair with a laser pointer

Play with lasers and learn about diffraction



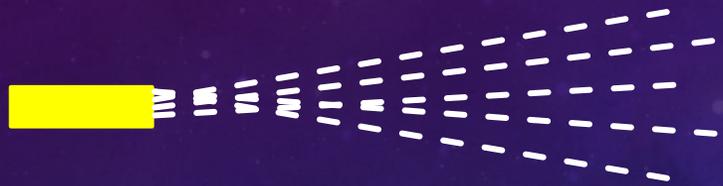
This pretty light show is the diffraction pattern from a laser hitting a human hair.

B. BROOKSHIRE/SSP

# ESPERIMENTO CON PROETILI

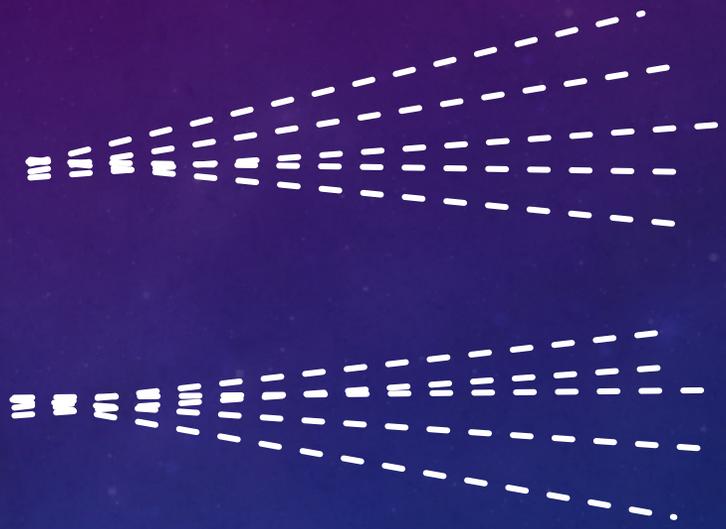
The background is a dark blue gradient with a subtle pattern of white stars and technical diagrams. On the right side, there are several circular diagrams resembling gauges or scales. One large gauge has a scale from 0 to 210 with major markings every 10 units and minor markings every 2 units. It features concentric circles, a central circle with a dashed line, and a curved arrow pointing counter-clockwise. Below it is another similar gauge with a scale from 0 to 100. In the bottom left corner, there are dashed circular lines with arrows indicating a clockwise direction. The overall aesthetic is scientific and technical.

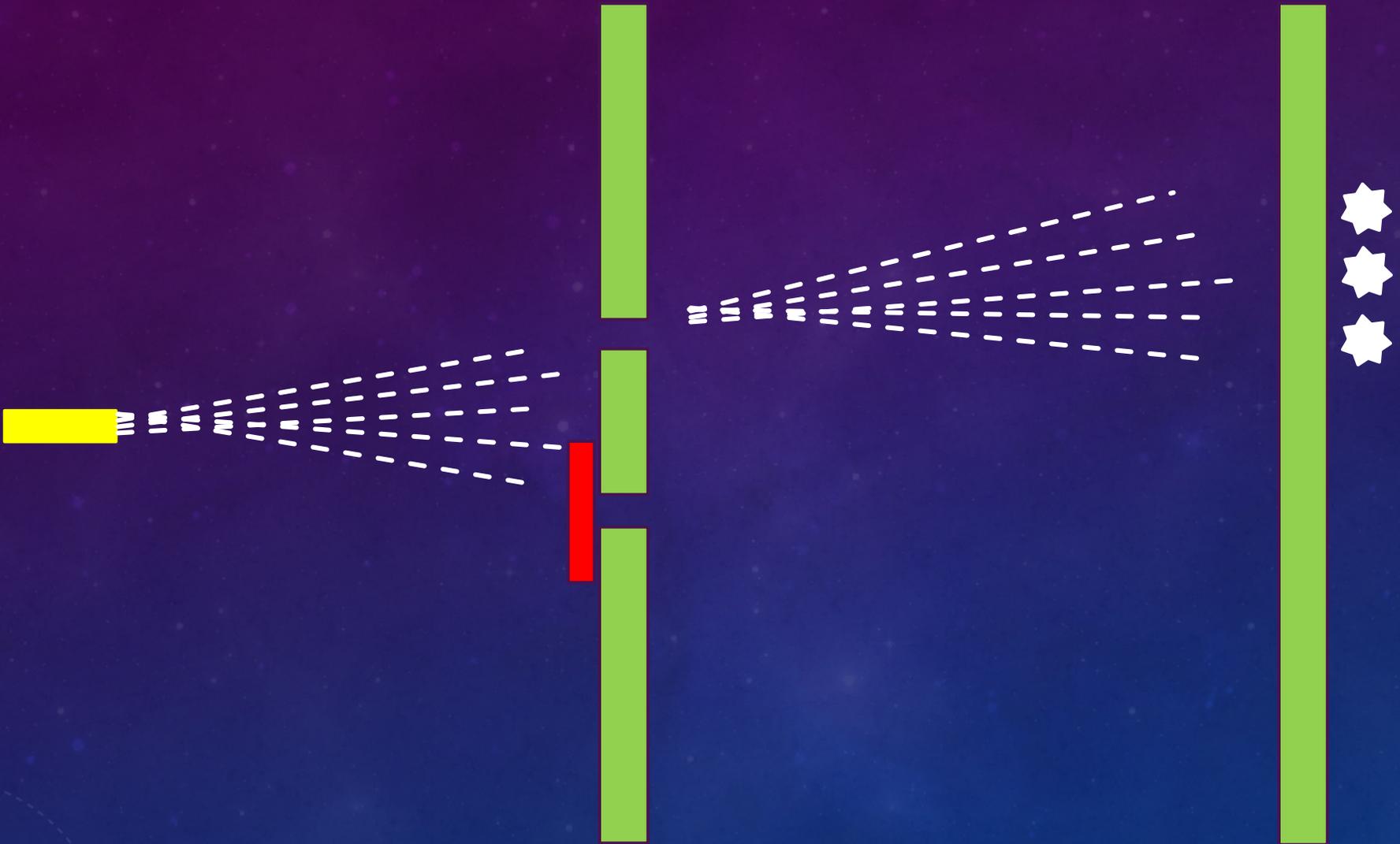


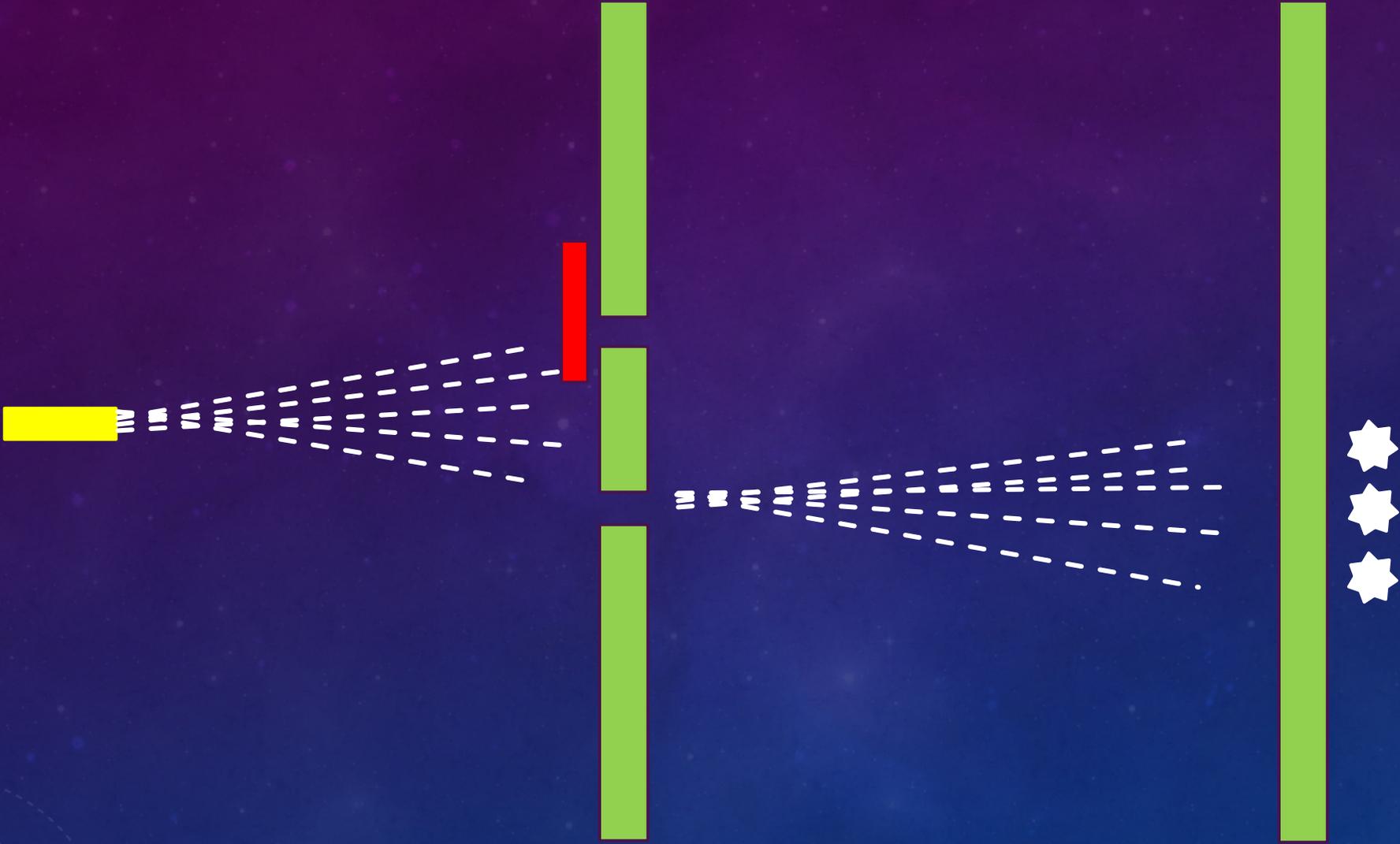


I PROIETTILI  
ARRIVANO  
SINGOLARMENTE  
SULLO SCHERMO









# ESPERIMENTO CON ELETTRONI

The background features a dark blue gradient with a subtle pattern of white stars and technical diagrams. On the right side, there are several circular diagrams: a large one with a scale from 80 to 210 and an arrow pointing left, and a smaller one below it with an arrow pointing right. On the left side, there are also circular diagrams, including one with an arrow pointing left and another with an arrow pointing right. The overall aesthetic is scientific and technical.



MANDO UN  
ELETTRONE ALLA  
VOLTA





L'ELETTRONE  
ARRIVA ALLO  
SCHERMO COME  
UN PUNTINO



L'ELETTRONE  
ARRIVA ALLO  
SCHERMO COME  
UN PUNTINO



L'ELETTRONE  
ARRIVA ALLO  
SCHERMO COME  
UN PUNTINO



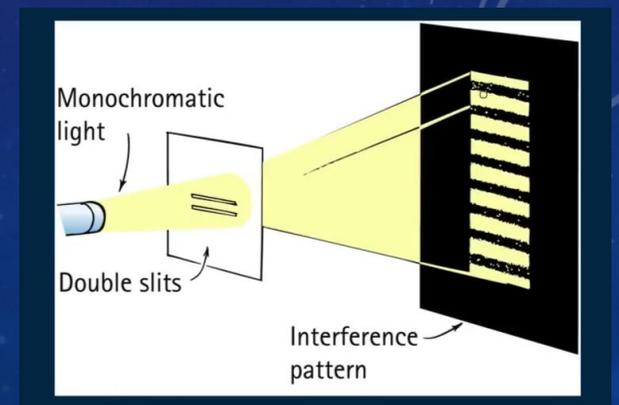
L'ELETTRONE  
ARRIVA ALLO  
SCHERMO COME  
UN PUNTINO



MA SE RACCOLGO  
MOLTI ELETTRONI  
SULLO SCHERMO...



GLI ELETTRONI ARRIVANO COME SINGOLI OGGETTI  
MA DANNO LUOGO A UNA FIGURA DI  
INTERFERENZA, CHE E' UN FENOMENO CHE  
AVVIENE PER LE ONDE



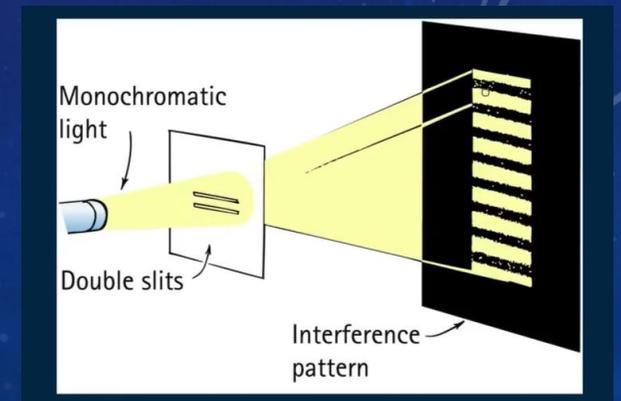
Secondo la MQ gli elettroni passano in ENTRAMBE le fenditure: la funzione d'onda dell'elettrone è una sovrapposizione di «A» e «B»



A

$$\Psi = A |\psi_A\rangle + B |\psi_B\rangle$$

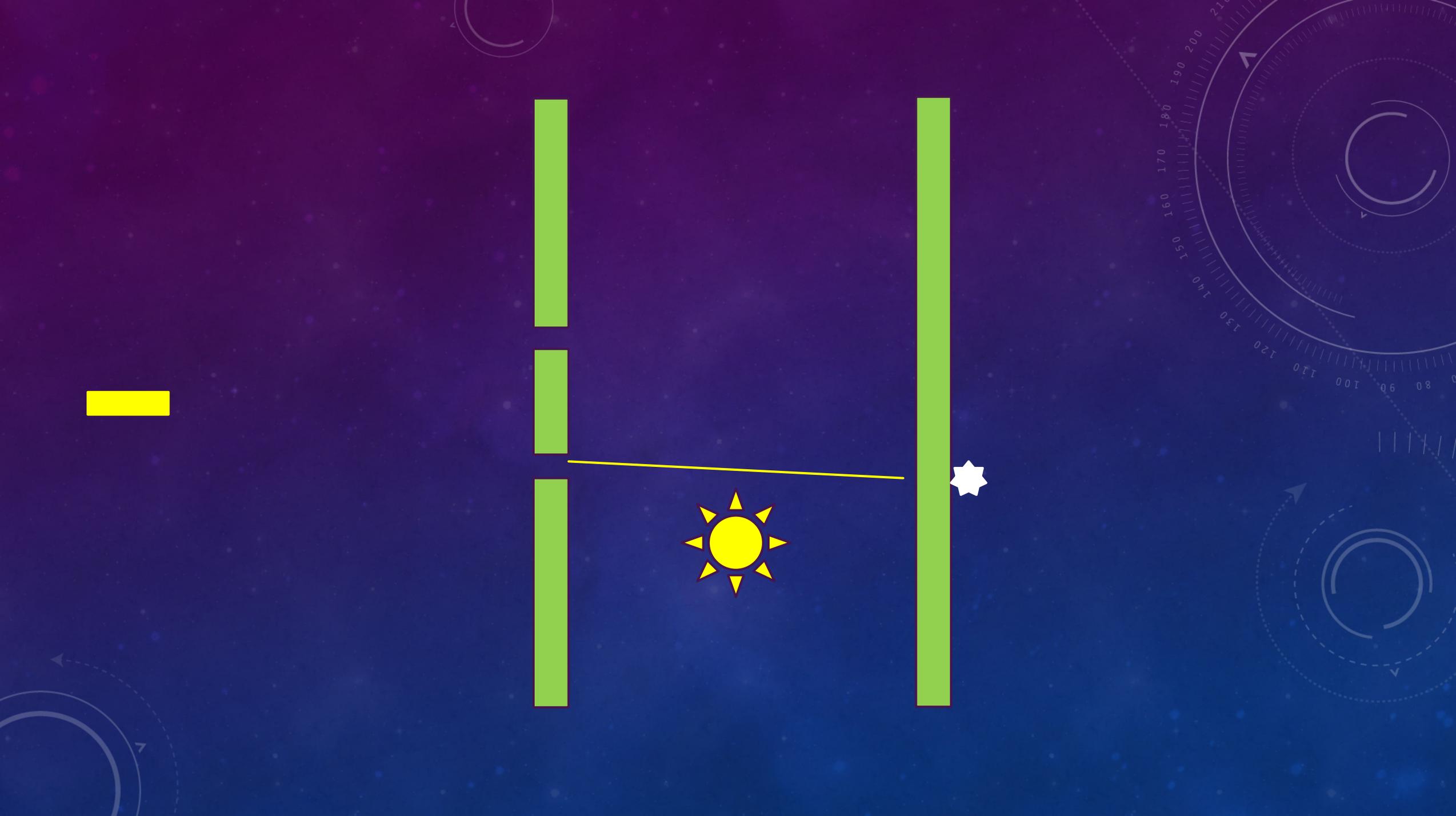
B

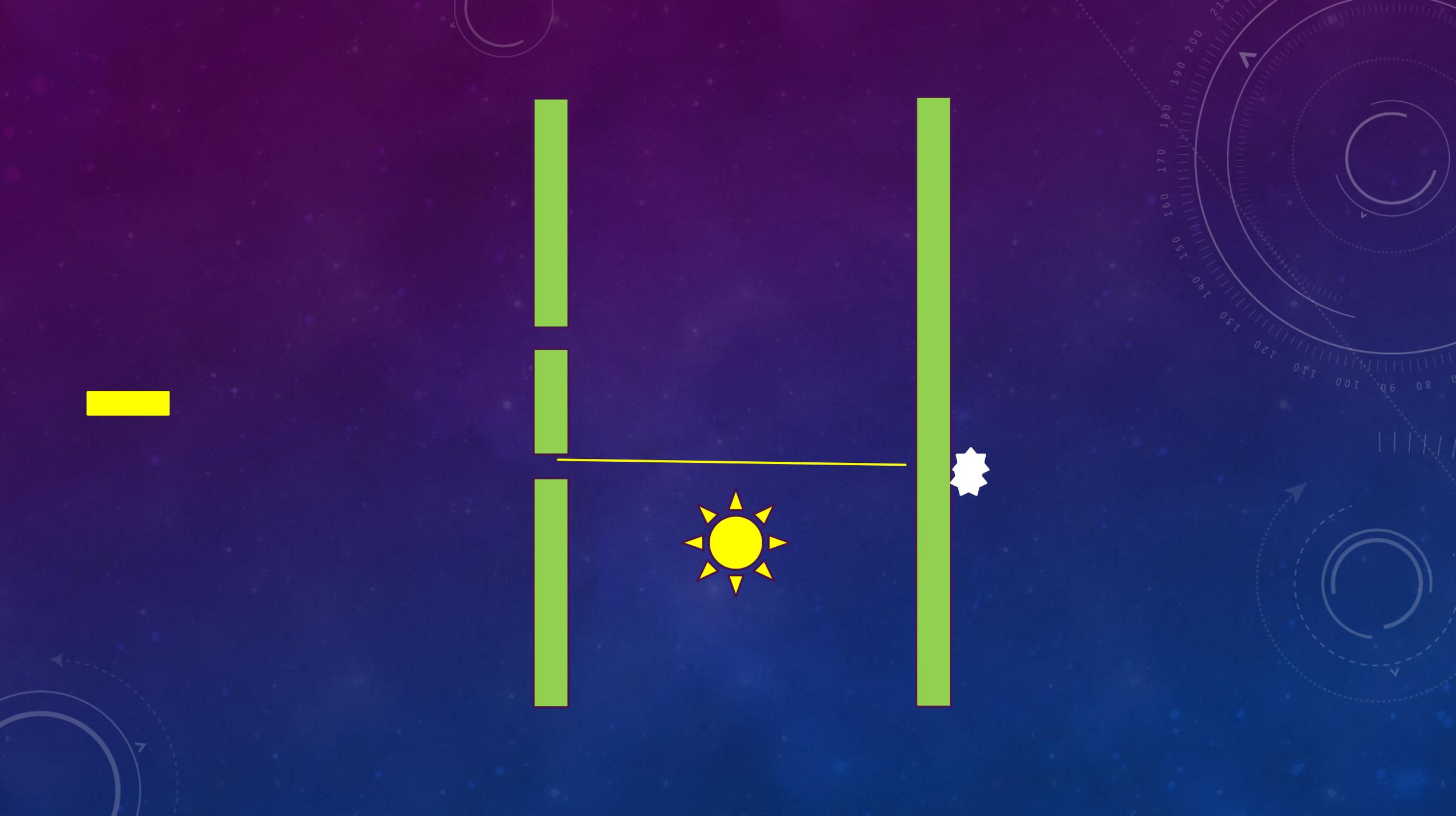


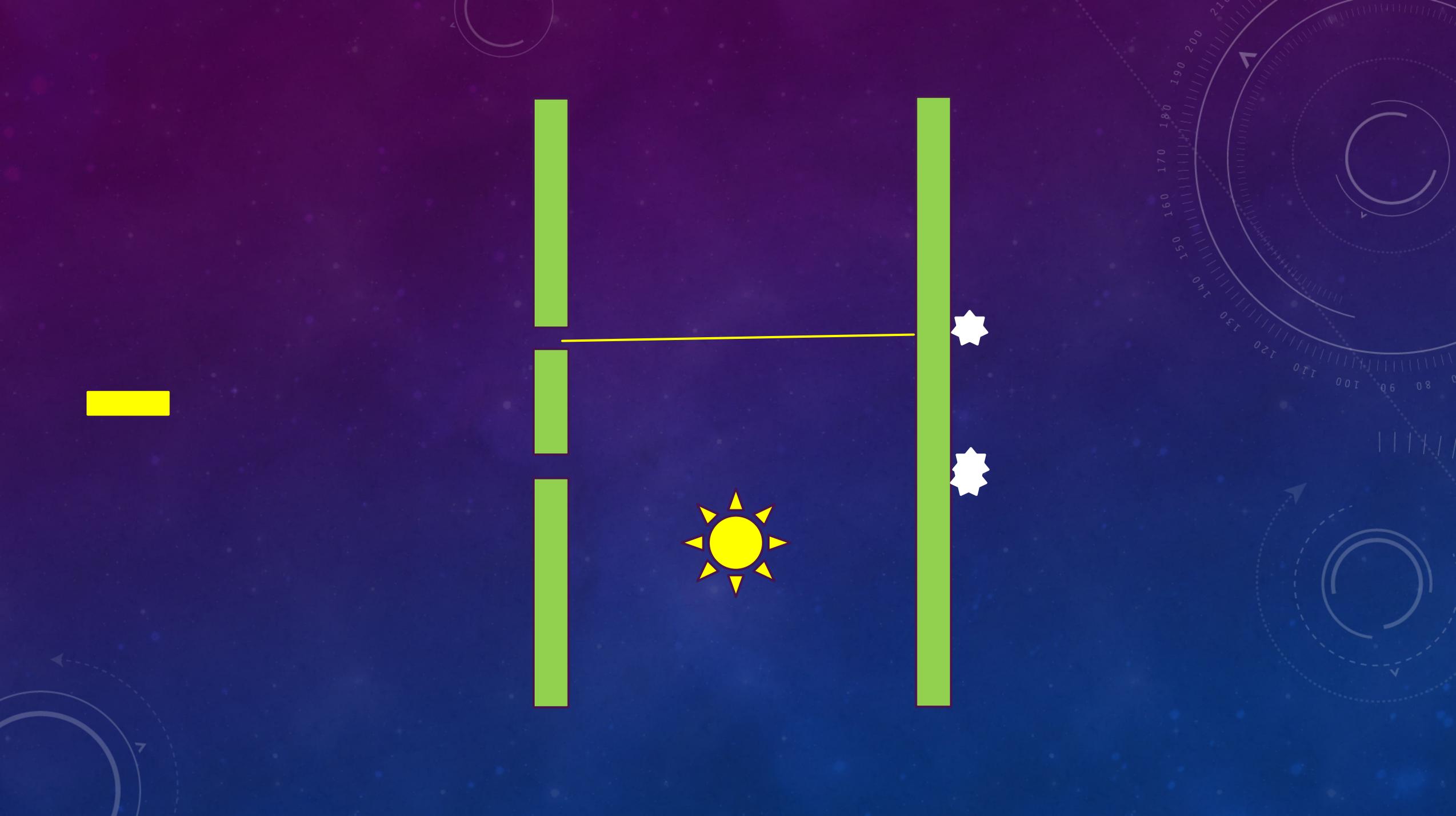


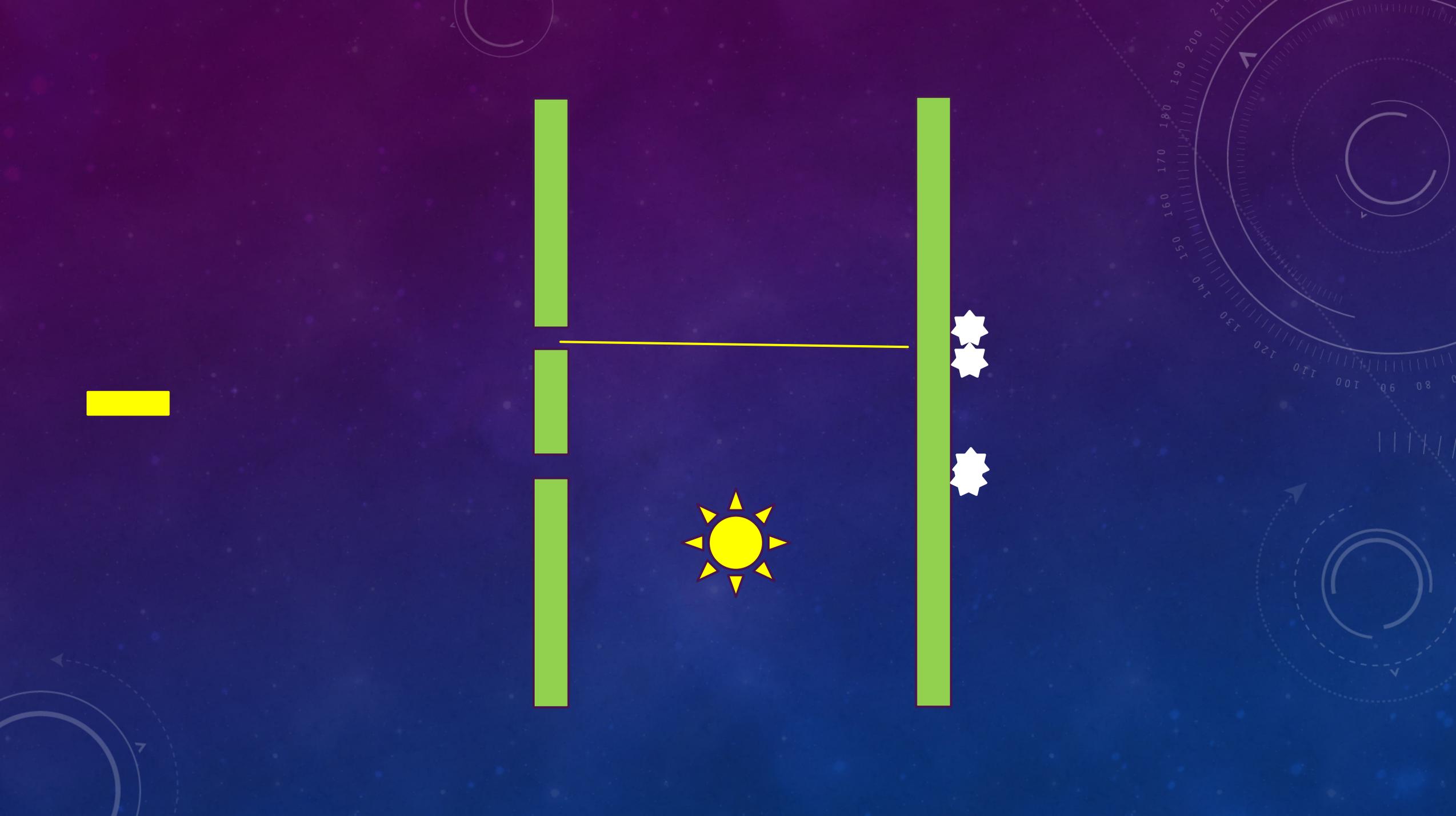
MANDO UN  
ELETTRONE ALLA  
VOLTA MA  
CONTROLLO DOVE  
PASSANO

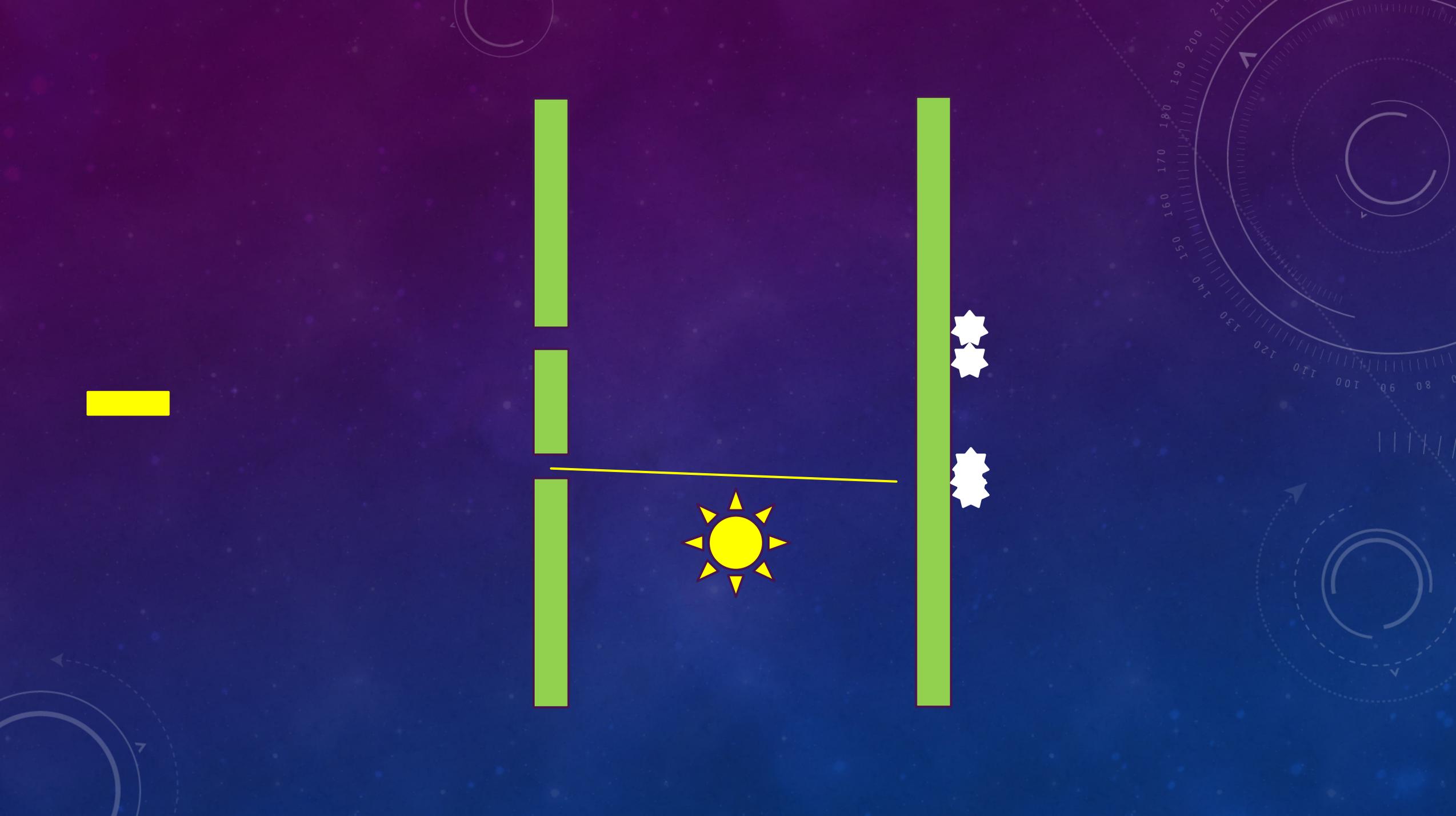














A

B



SE CERCO DI INDIVIDUARE LA  
TRAIETTORIA DEGLI  
ELETTRONI, ESSI SMETTONO DI  
COMPORTARSI COME ONDE



A

B



SE CERCO DI INDIVIDUARE LA TRAIETTORIA DEGLI ELETTRONI, **ESSI SMETTONO DI COMPORTARSI COME ONDE**



La misura della posizione dell'elettrone fa «collassare» la funzione d'onda, che è costretta a scegliere un percorso definito, A **oppure** B



A

B

$$\Psi = A |\psi_A\rangle$$

$$\Psi = B |\psi_B\rangle$$

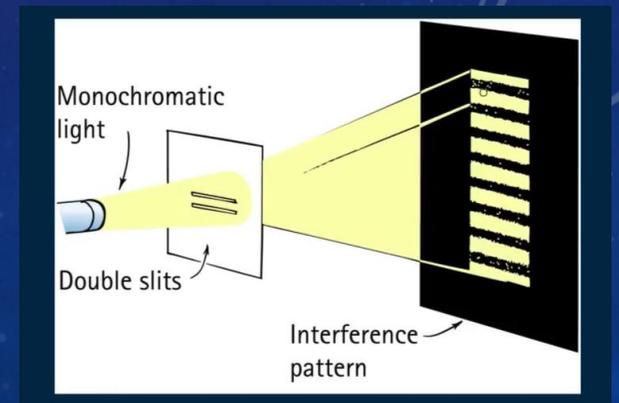


SE INVECE **NON CERCO DI  
INDIVIDUARE LA TRAIETTORIA  
DEGLI ELETTRONI**, ESSI SI  
COMPORRANO COME ONDE



A

B



# l'esperimento più bello della fisica

<http://l-esperimento-piu-bello-della-fisica.bo.imm.cnr.it/>

HOME | [DI CHE SI TRATTA](#) | SPIEGAZIONE | STORIA | BELLEZZA | BACKSTAGE | PENSARE | IL FILM | CHI SIAMO | LINKS & BIBLIO | CONTATTO

## di che si tratta

Nel maggio del 2002 Robert P. Crease, filosofo della scienza, promuove sulla rivista *Physics World* un sondaggio per scegliere l'esperimento più bello della fisica. Quello citato il maggior numero di volte dai lettori risulta l'**interferenza di elettroni singoli**.

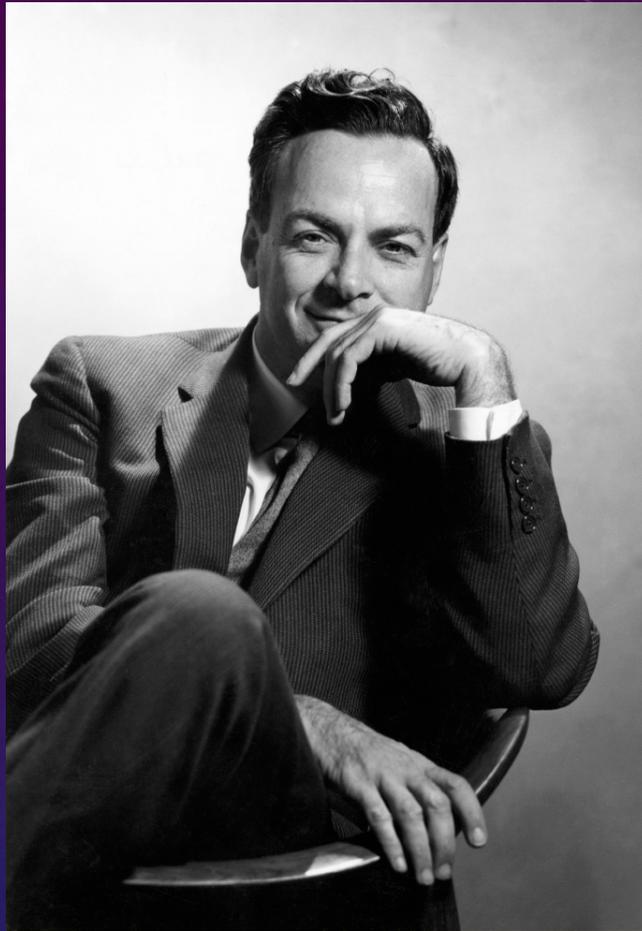
Si tratta della dimostrazione del cosiddetto "**dualismo ondulatorio-corpuscolare**", secondo il quale l'**elettrone** può comportarsi sia come una **particella materiale** - ad esempio una microscopica pallina da tennis - che come un'**onda**.

Questo comportamento, diverso da quello che osserviamo nelle cose della vita quotidiana, è tipico di oggetti molto piccoli come **atomi, elettroni, protoni, neutroni**. Vedremo che anche la **luce** ha un comportamento simile a quello degli elettroni.

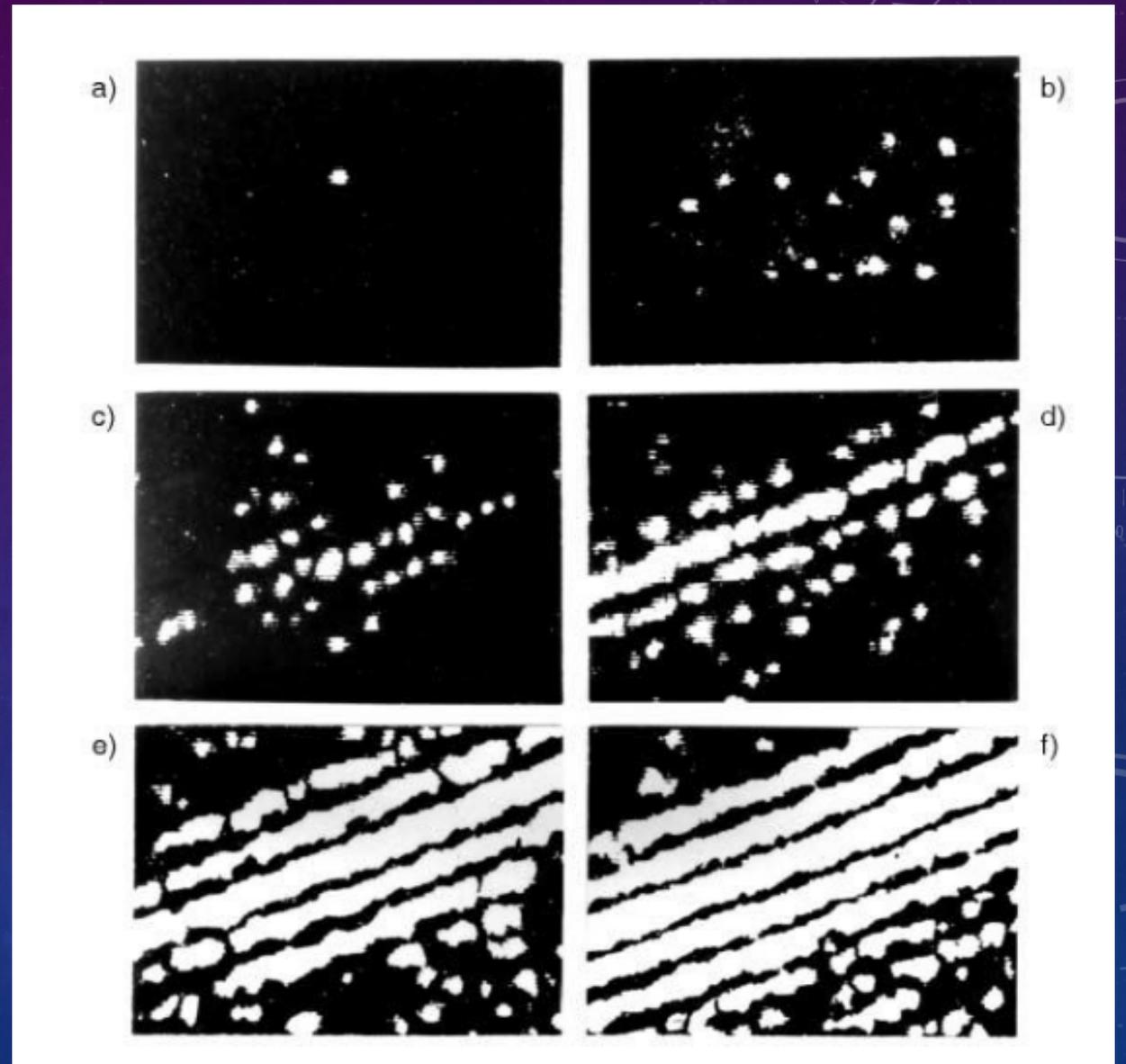


**onda**

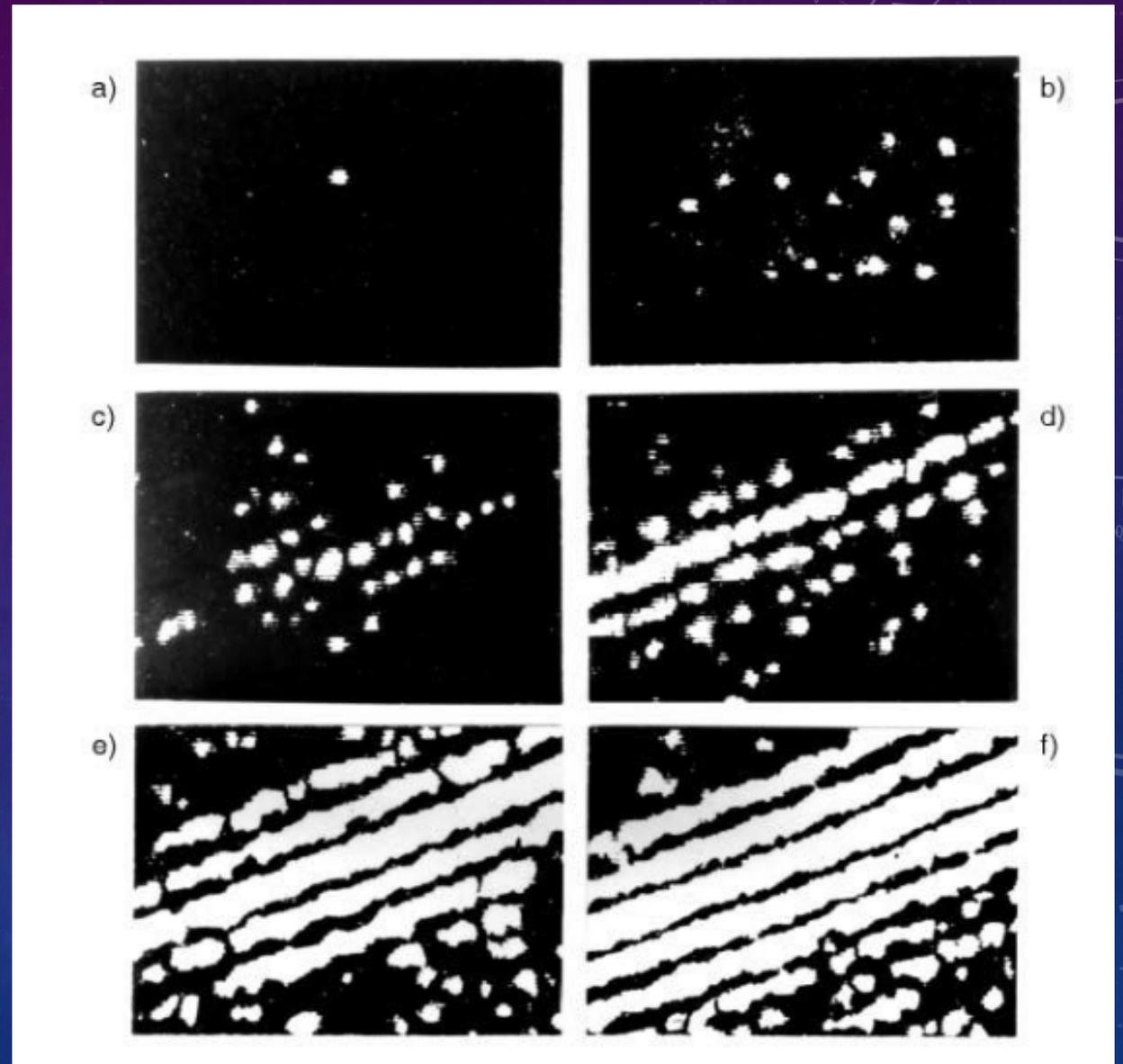
Da sinistra: Giulio Pozzi, Gian Franco Missiroli e Pier Giorgio Merli. Ai tre fisici bolognesi si deve il primo resoconto su rivista internazionale dell'esperimento, che fu realizzato nel 1974 e pubblicato nel 1976.



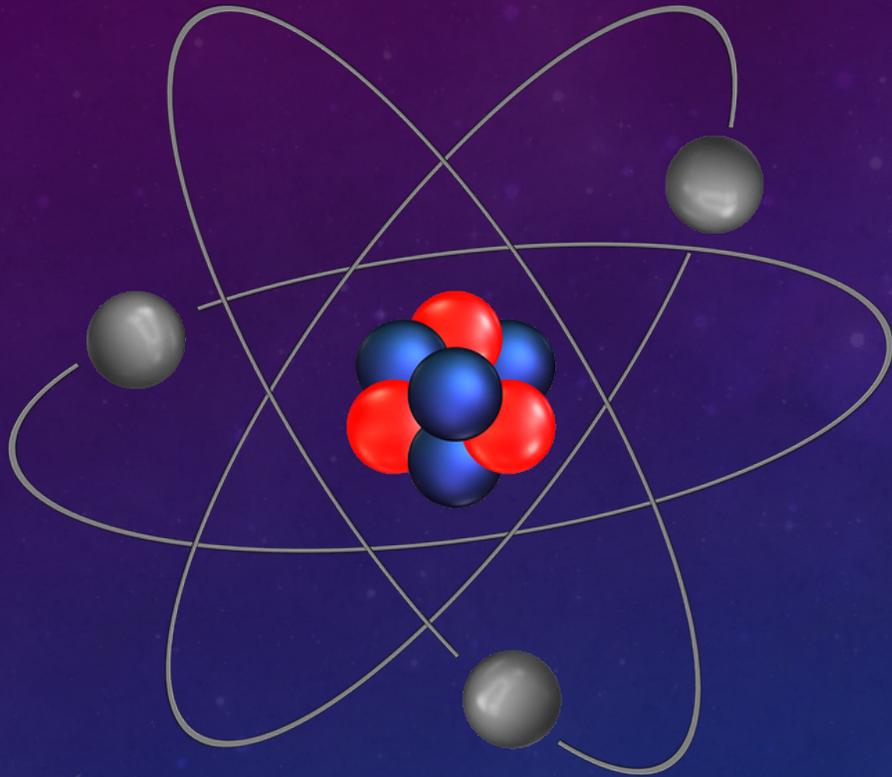
Feynman lo definì un  
esperimento concettuale



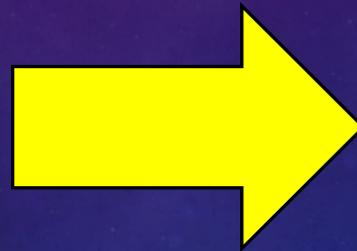
La figura di interferenza  
si forma anche con  
correnti di elettroni  
molto basse



QUANTISTICO



?

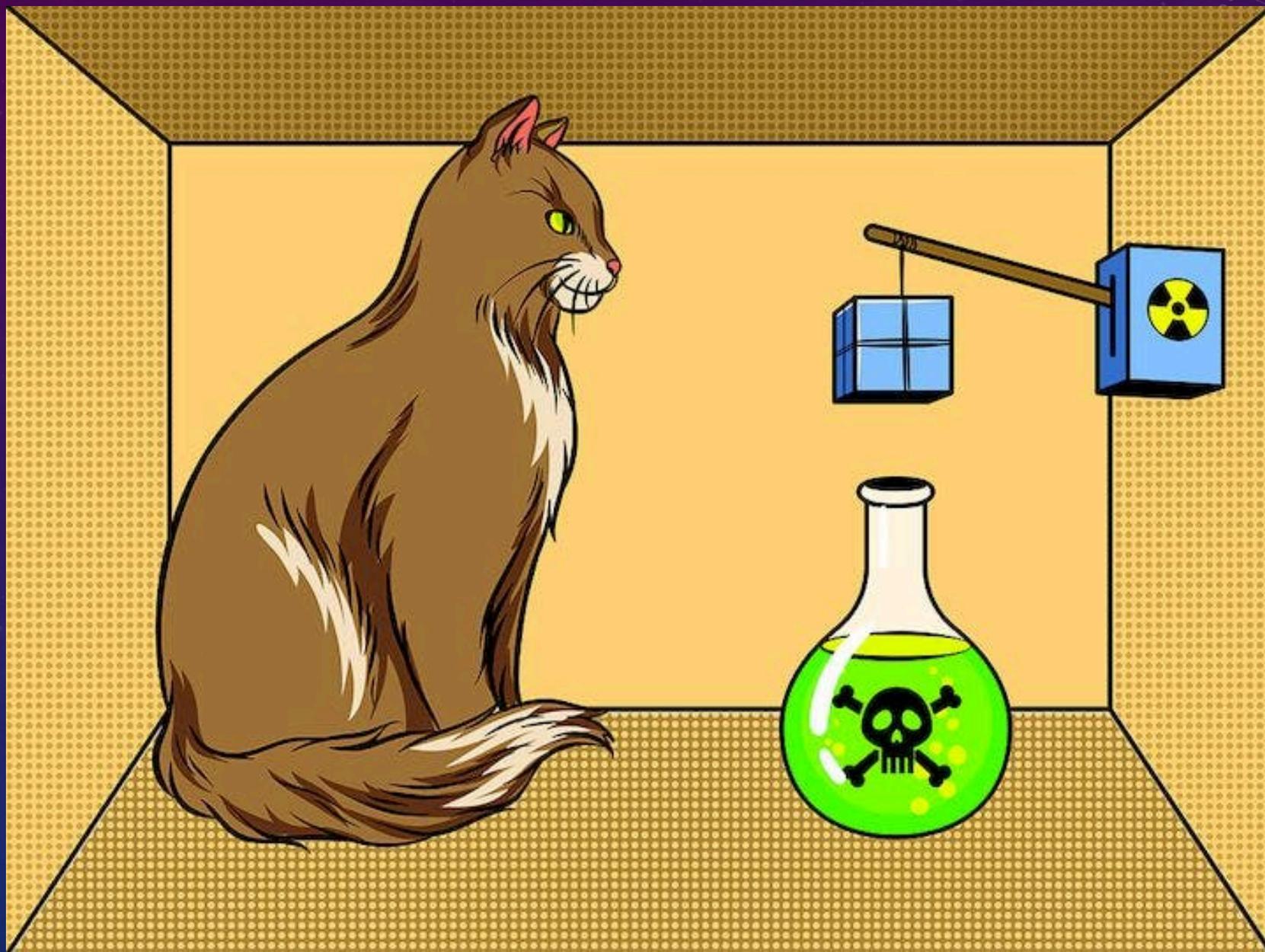


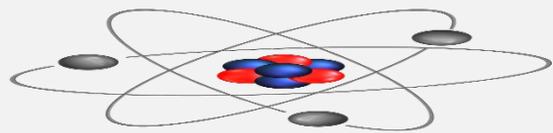
CLASSICO



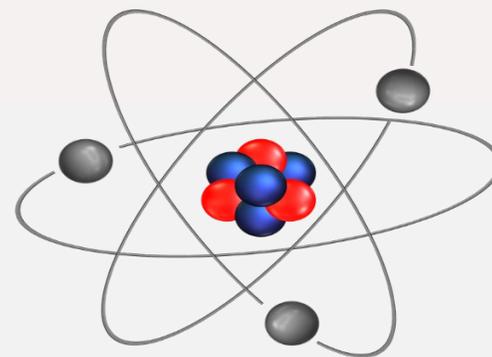
# IL GATTO DI SCHRÖDINGER



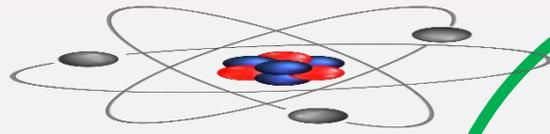




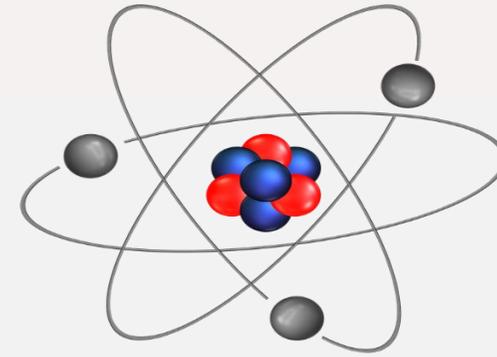
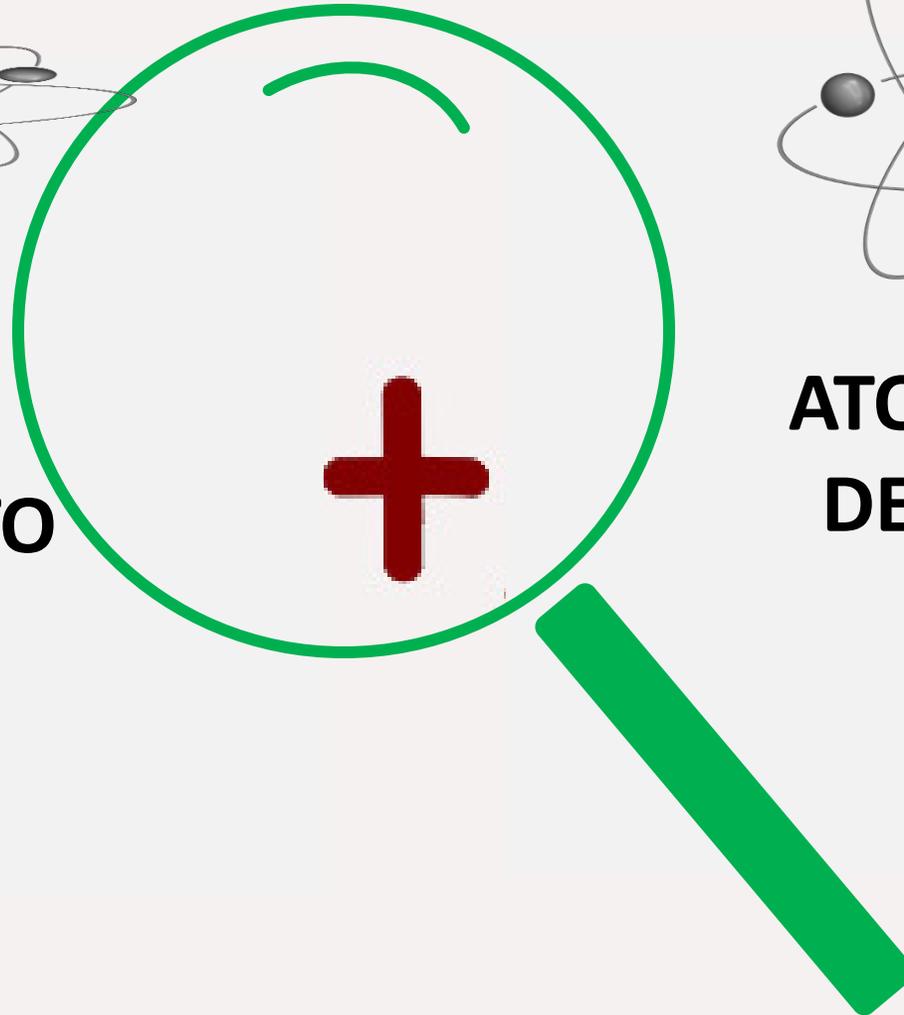
**ATOMO  
DECADUTO**



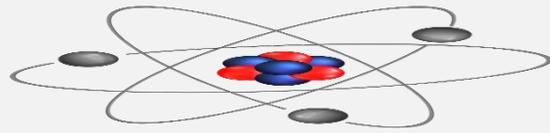
**ATOMO NON  
DECADUTO**



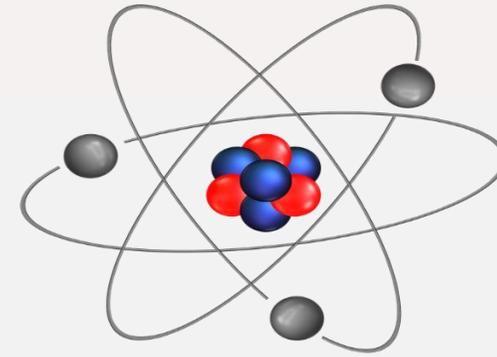
**ATOMO  
DECADUTO**



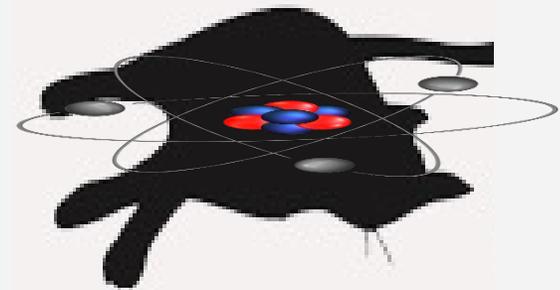
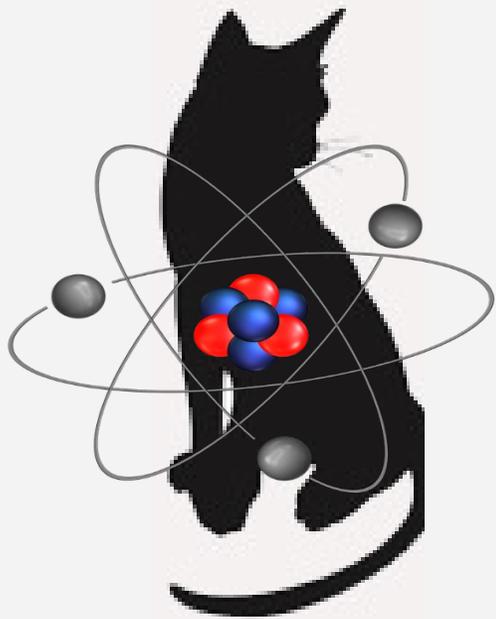
**ATOMO NON  
DECADUTO**

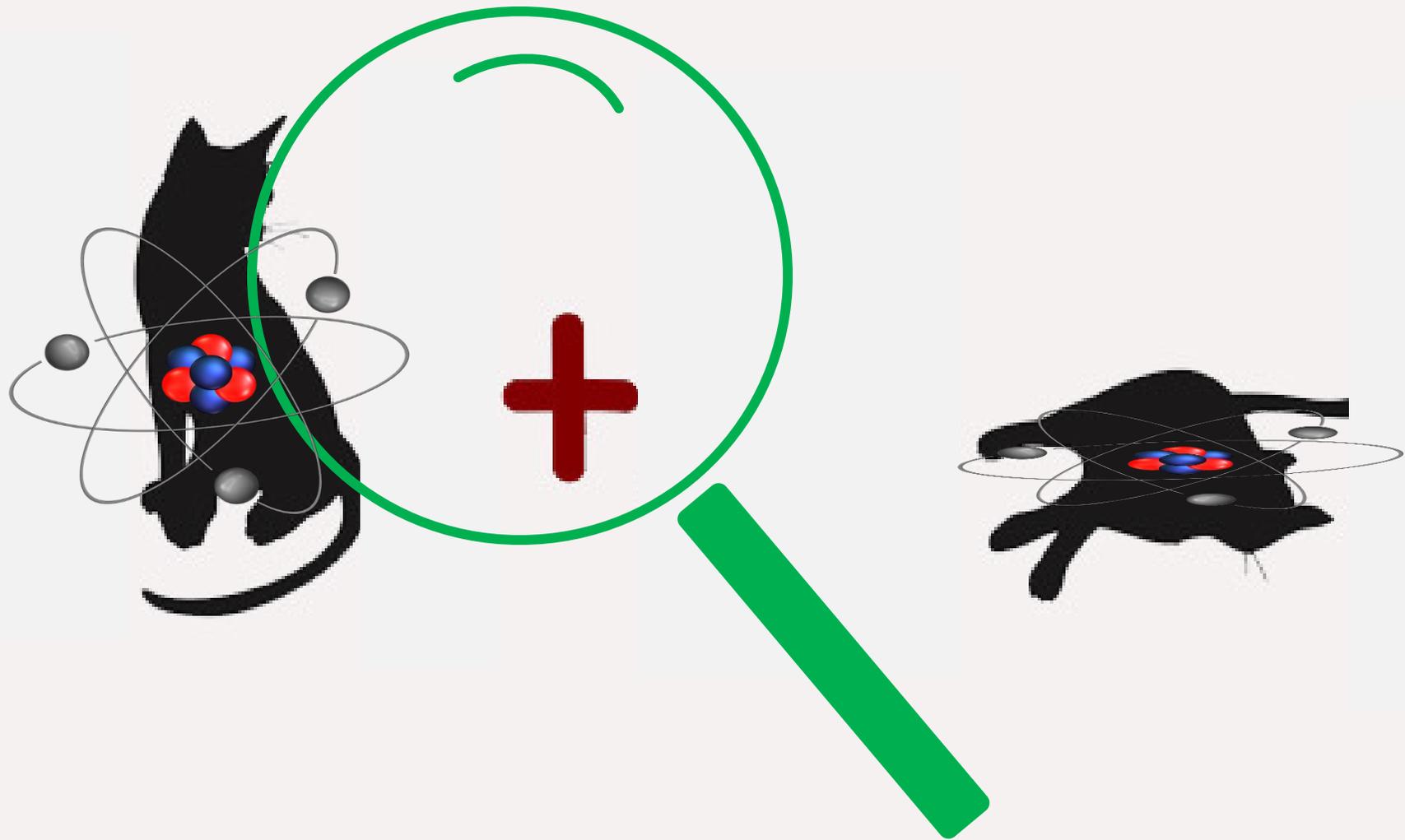


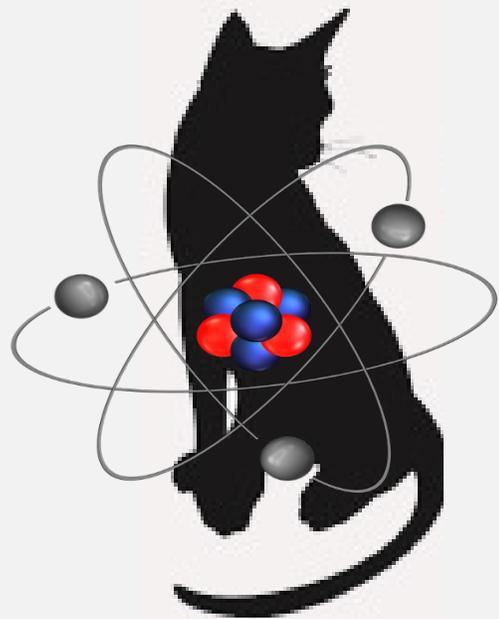
# **ATOMO DECADUTO**

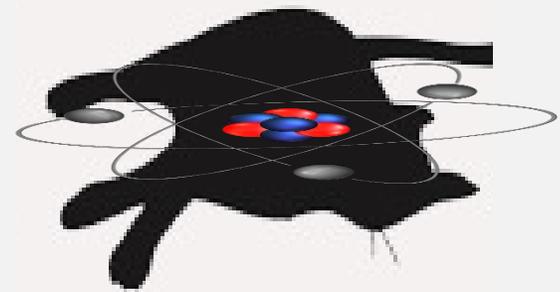


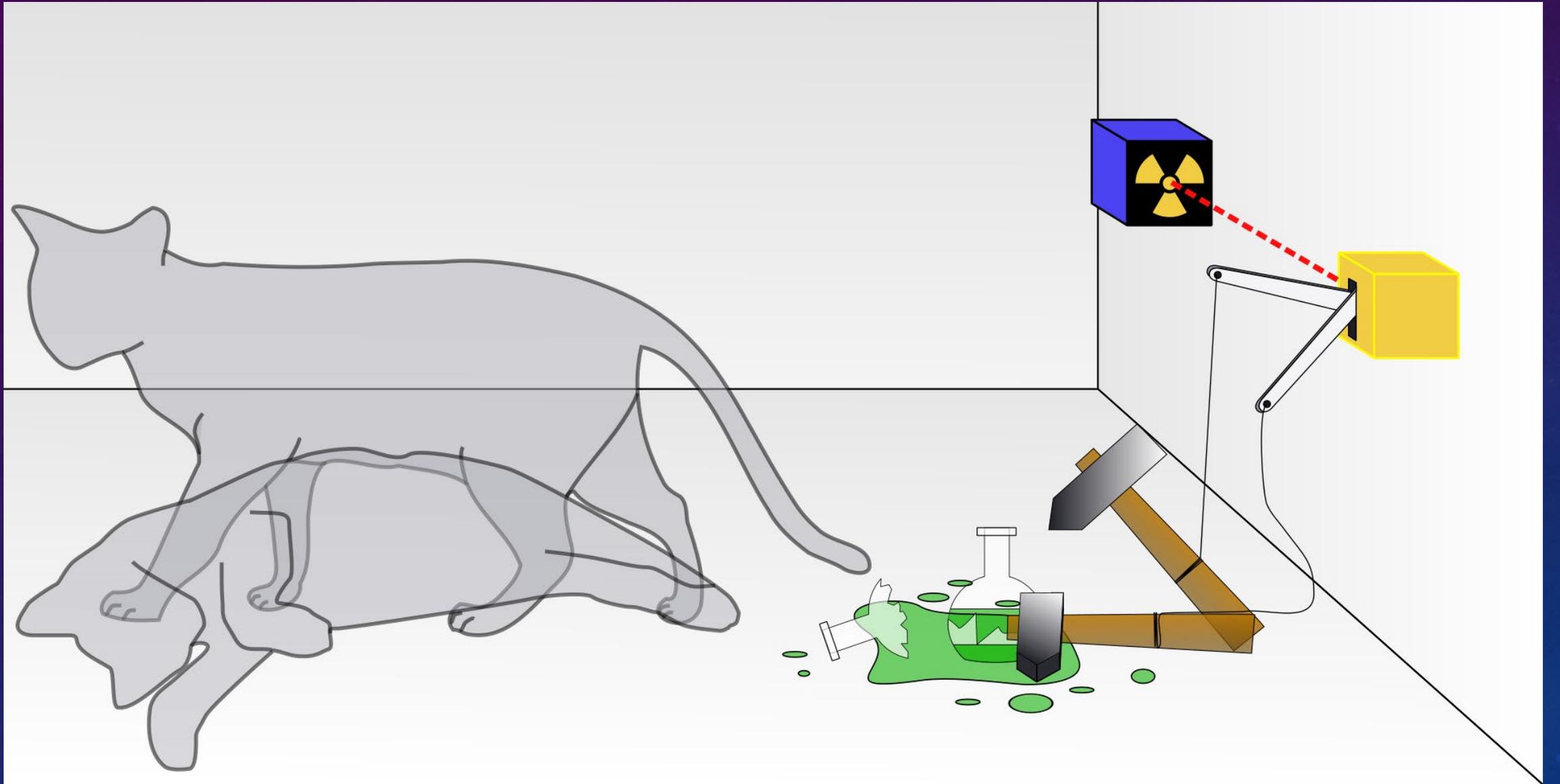
**ATOMO NON  
DECADUTO**







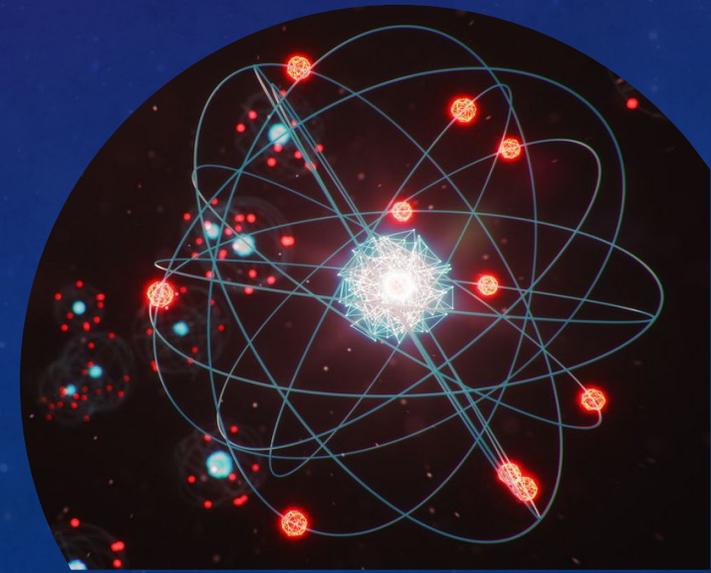


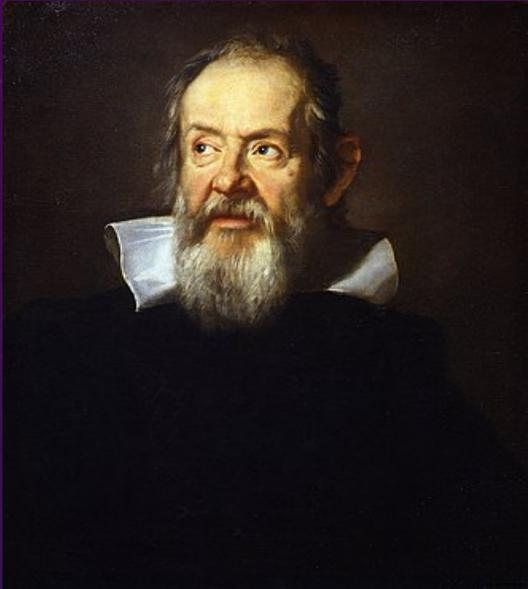


Come avviene il collasso della funzione d'onda?

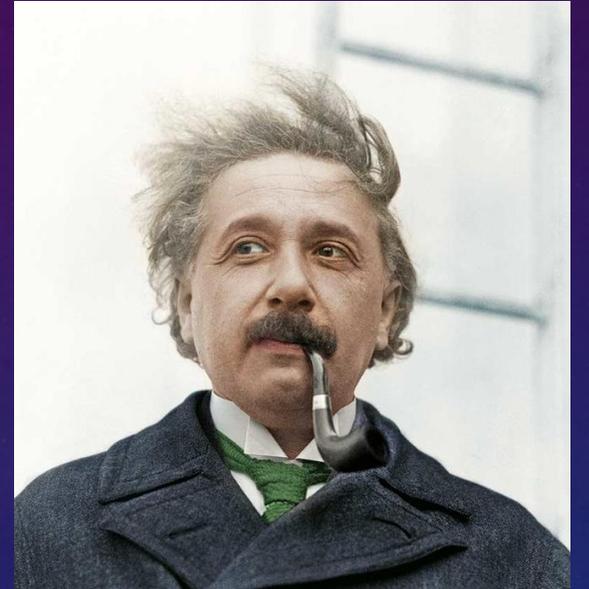
Perché la sovrapposizione di stati è un fatto per il mondo microscopico, ma scompare nel mondo macroscopico?

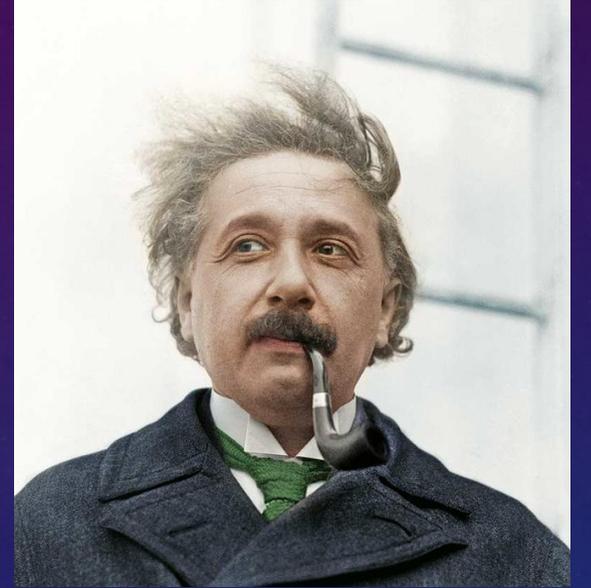
**E dove sta (se esiste) il limite fra mondo quantistico e mondo macroscopico?**





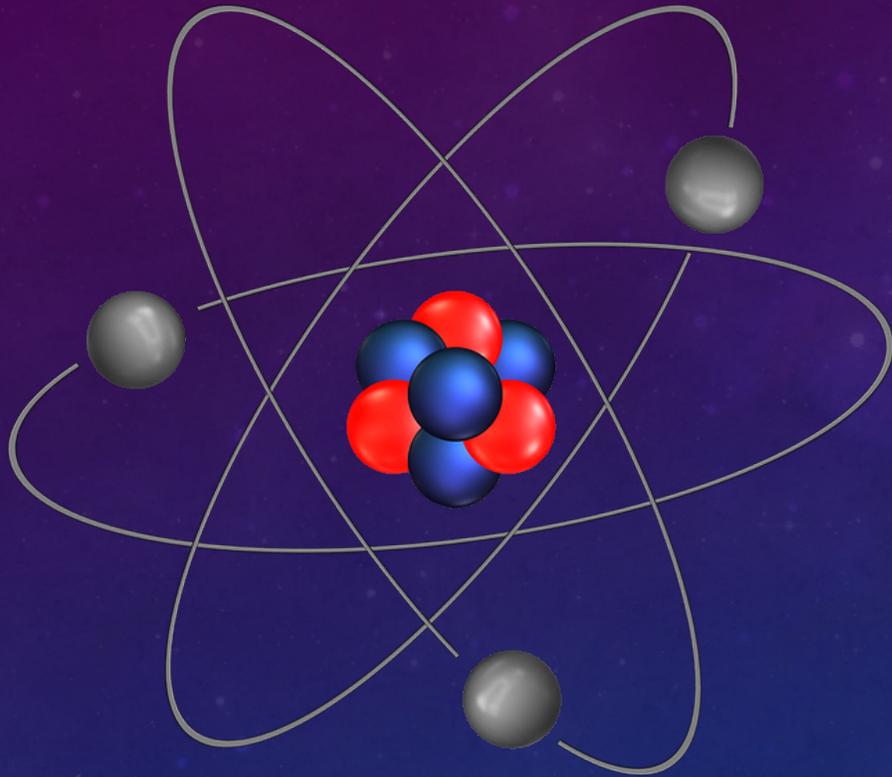
?



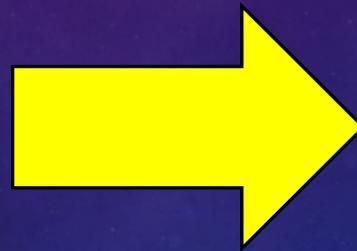


$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

QUANTISTICO



?

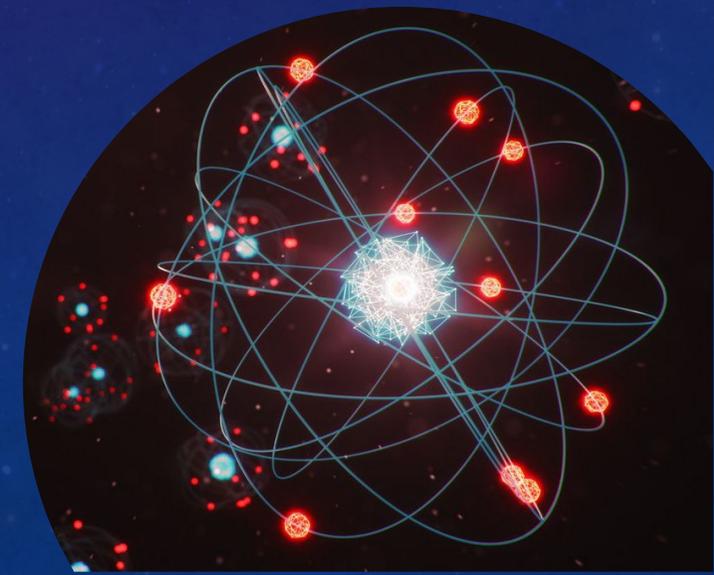


CLASSICO

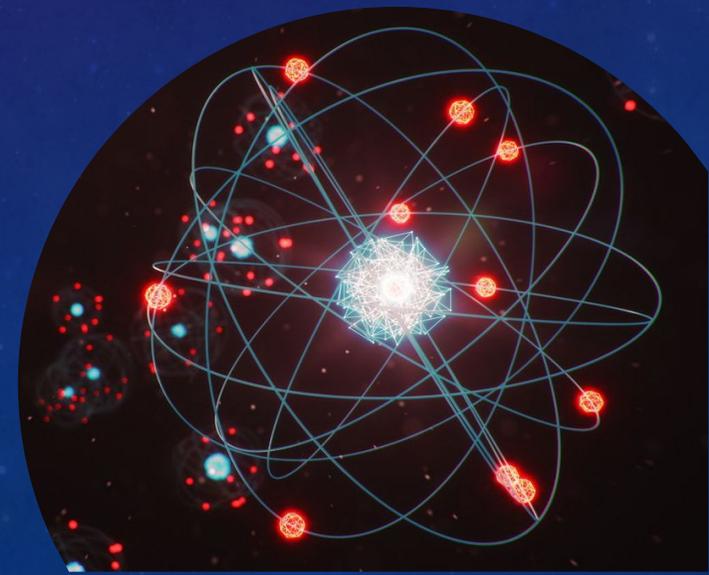


La decoerenza quantistica è legata alle interazioni con il mondo esterno

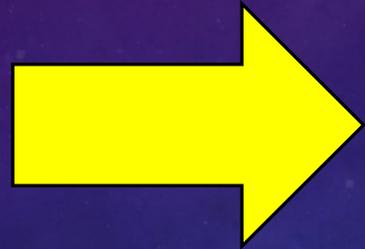
Costituisce un problema per i computer quantistici (ne parleremo più avanti)



In tempi recenti si è riusciti a mantenere in una sovrapposizione di stati (gatto **vivo E morto**) un insieme di decine di migliaia di atomi per 23 minuti!



**MISURA**



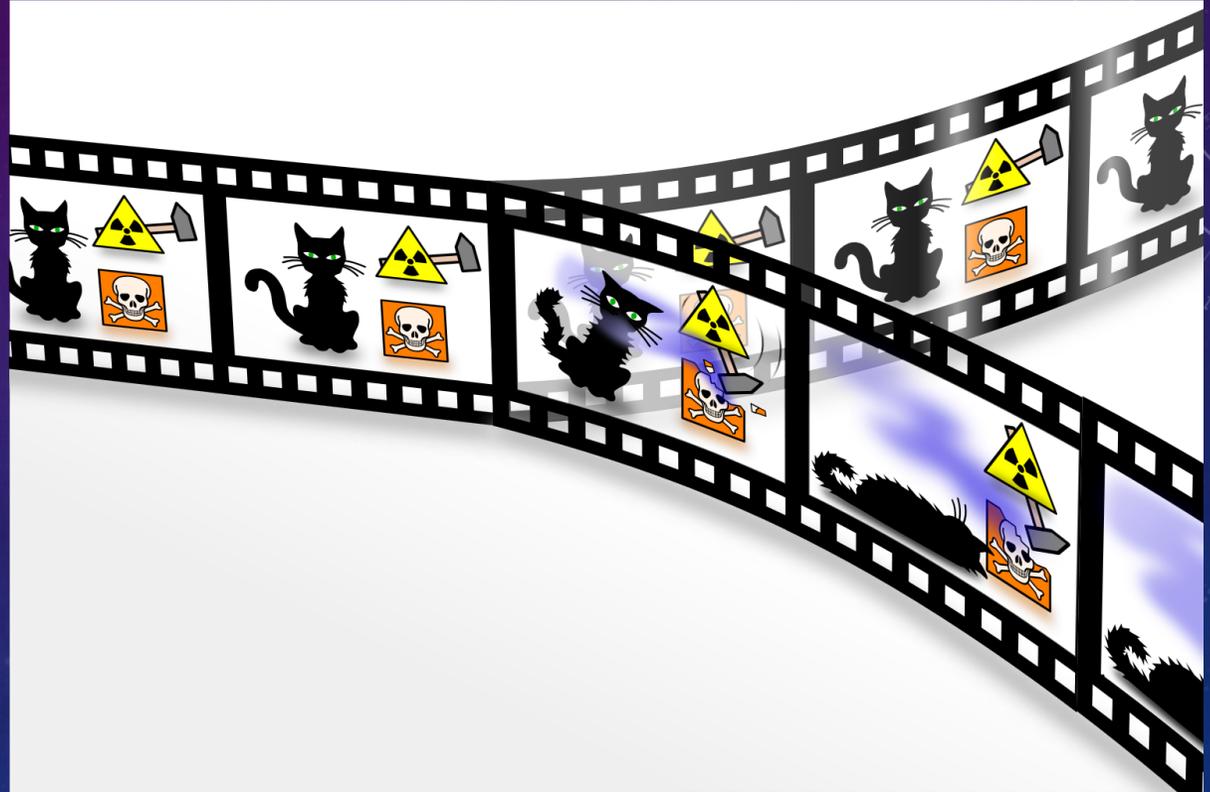
**?**

**MISURA**



**?**

# INTERPRETAZIONE A «MOLTI MONDI»

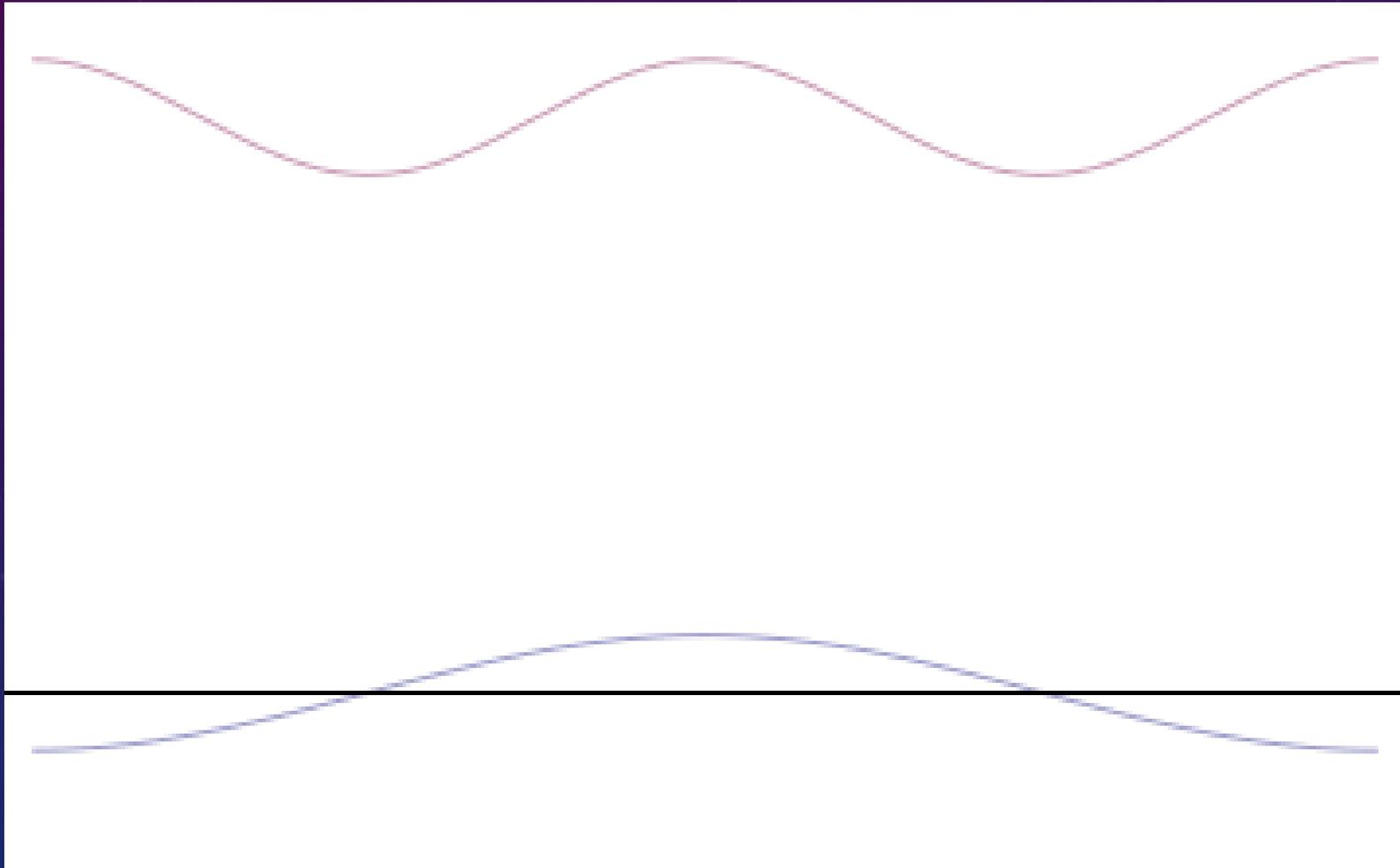


$$\Delta_x \Delta_p \geq \frac{\hbar}{2}$$



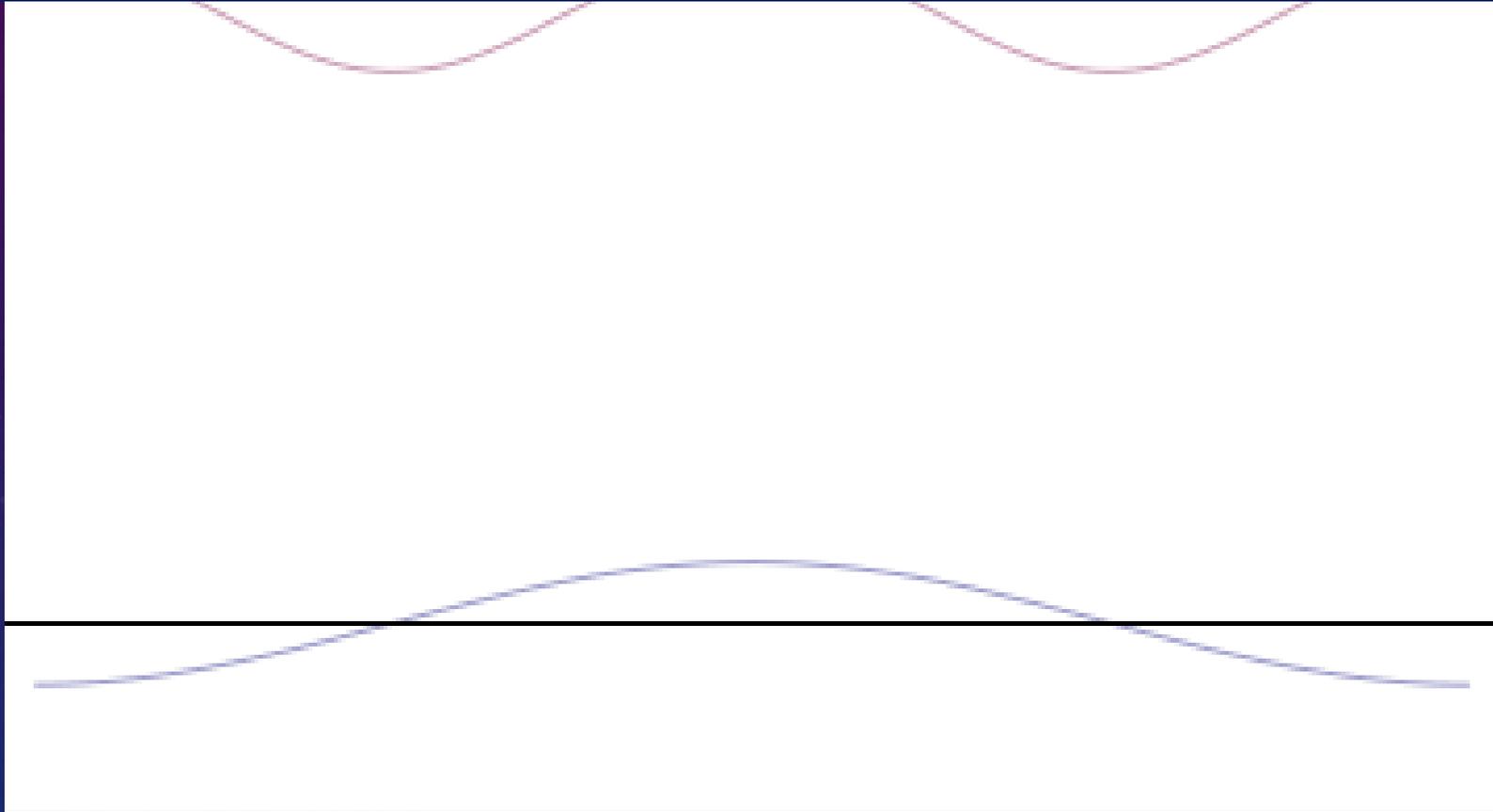
- Dato un **segnale dalla forma complicata**, è sempre possibile scomporlo in una somma/sottrazione di onde sinusoidali (analisi di Fourier)
- Qualsiasi segnale che si propaga nello spazio e nel tempo può essere costruito sovrapponendo delle onde sinusoidali

Tratto da: <https://cinturadorione.com/2022/04/14/demistificando-il-principio-di-heisenberg/>



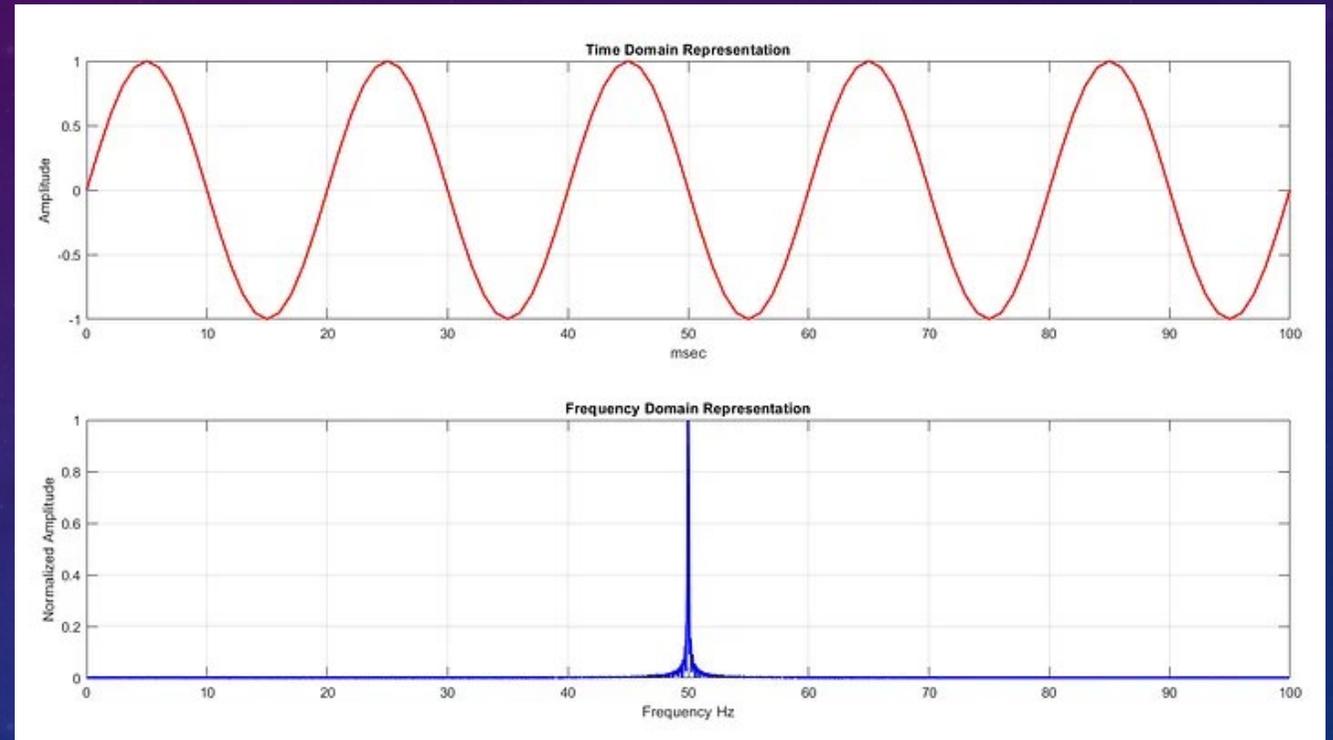
Tratto da: <https://cinturadorione.com/2022/04/14/demistificando-il-principio-di-heisenberg/>

Un'onda ben localizzata nello spazio (un pacchetto d'onda) è fortemente indeterminato in termini di frequenze che la compongono



# Analogia tra Principio di Indeterminazione con le onde della fisica classica

- Un'onda perfettamente monocromatica (una sola frequenza) necessariamente deve esistere su tutto lo spazio.
- Quindi alla sua perfetta definizione in termini di frequenza (analogo dell'impulso in MQ), corrisponde una completa indeterminazione della posizione nello spazio

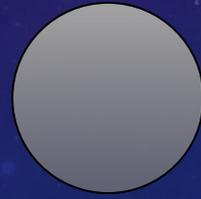




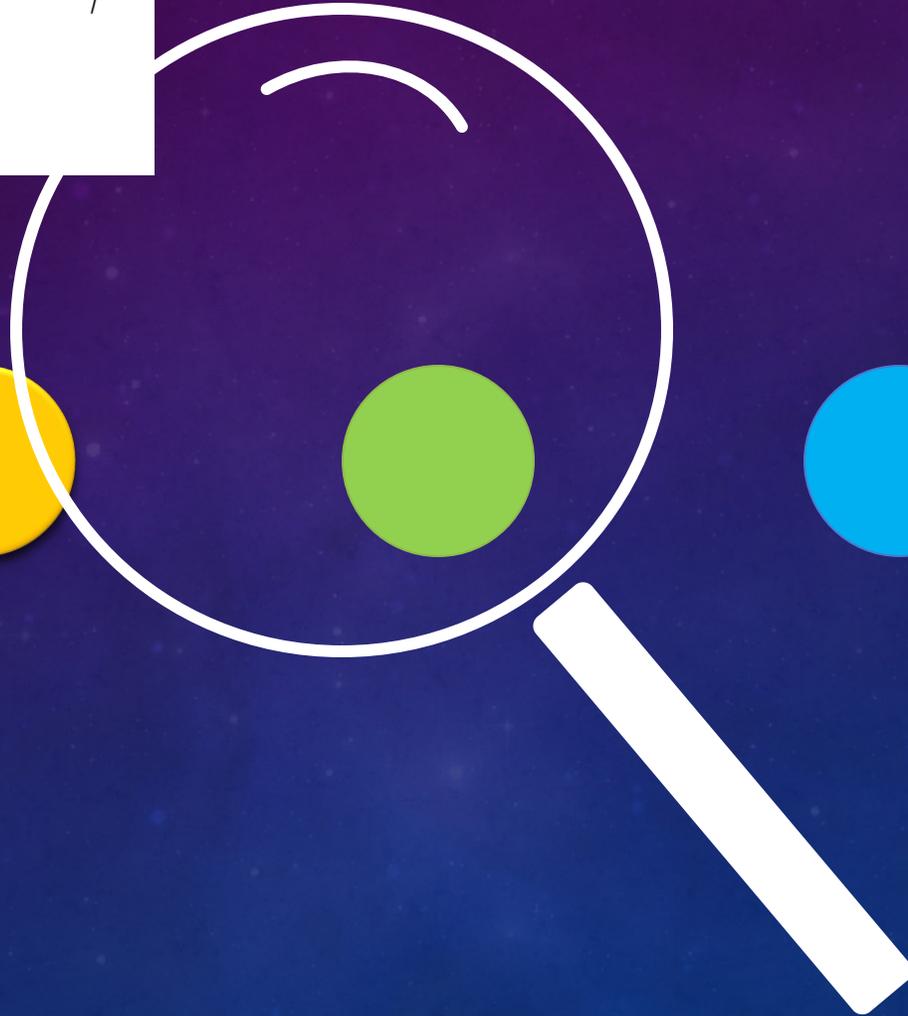
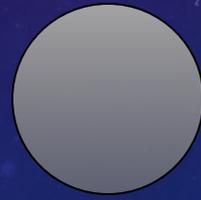
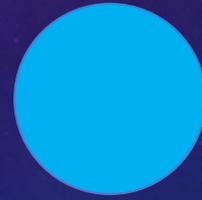
# L'ENTANGLEMENT QUANTISTICO

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + V(\mathbf{x})\psi = E\psi$$

$\Psi$



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + V(\mathbf{x})\psi = E\psi$$





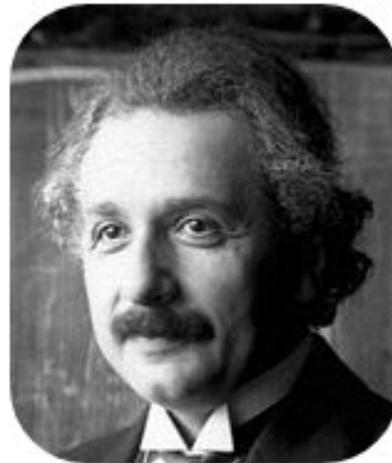
ZITTO E CALCOLA!

DIO NON GIOCA AI DADI!





**ANNO 1935**



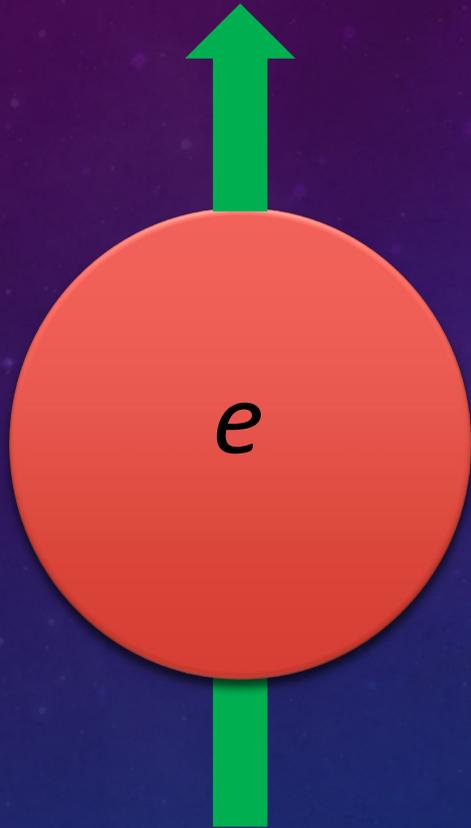
**A. Einstein**



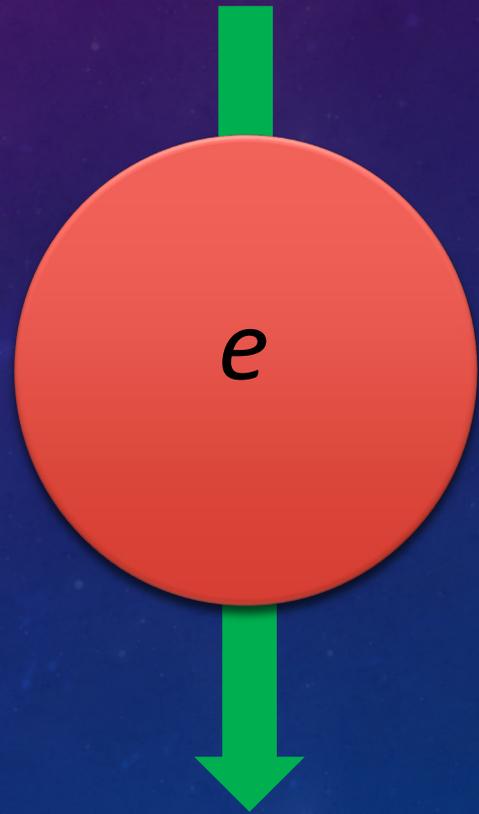
**B. Podolsky**



**N. Rosen**



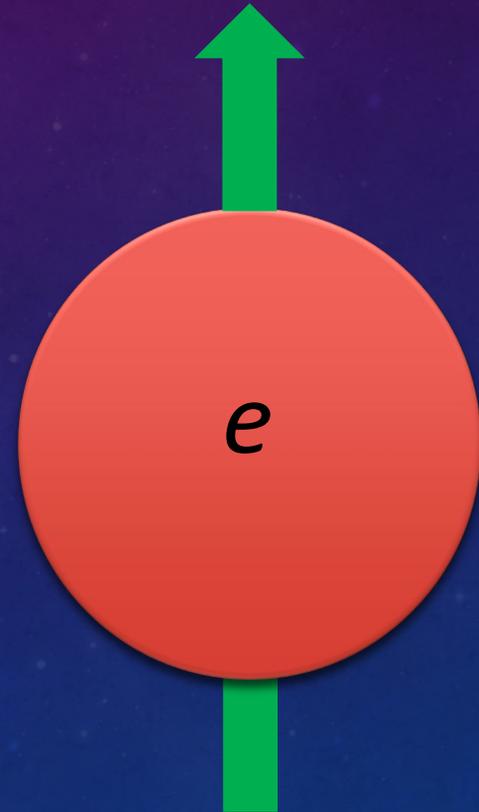
**OPPURE**



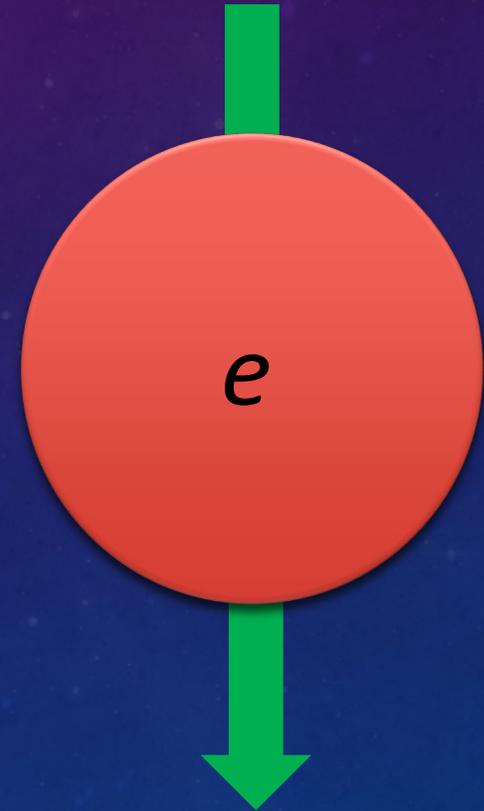
PRIMA DI EFFETTUARE  
LA MISURA,  
L'ELETTRONE **NON HA**  
UNO SPIN DEFINITO



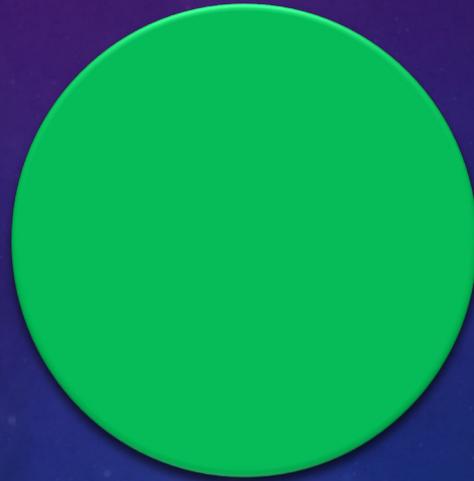
L'ATTO DELLA  
MISURA OBBLIGA  
L'ELETTRONE AD  
ASSUMERE **QUESTO**  
STATO DI SPIN



OPPURE QUESTO



PRENDIAMO UNA PARTICELLA CON **SPIN ZERO**,  
CHE DECADE EMETTENDO 2 ELETTRONI



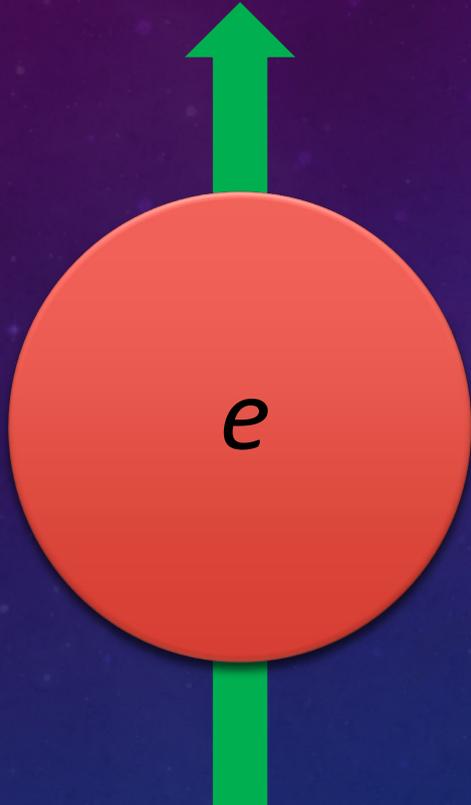
PRENDIAMO UNA PARTICELLA CON **SPIN ZERO**,  
CHE DECADE EMETTENDO 2 ELETTRONI



POICHE' LO **SPIN TOTALE** DEVE RESTARE **ZERO**, GLI  
SPIN DEGLI ELETTRONI POTRANNO ESSERE COSI' ...



O COSI' ...



0 COSI' ...



# TUTTAVIA PRIMA DELLA MISURA

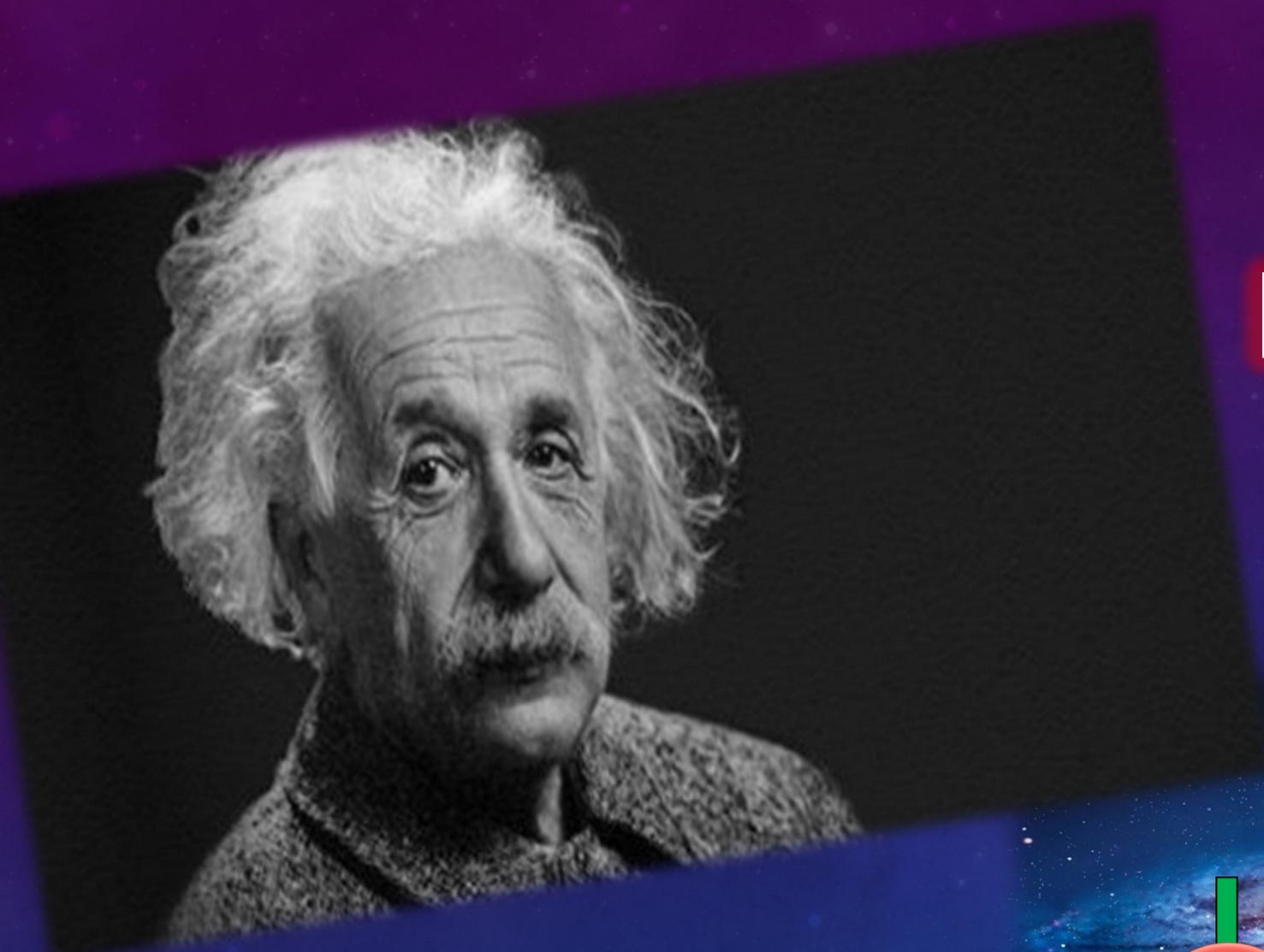


# MISURO L'ELETTRONE DI DESTRA



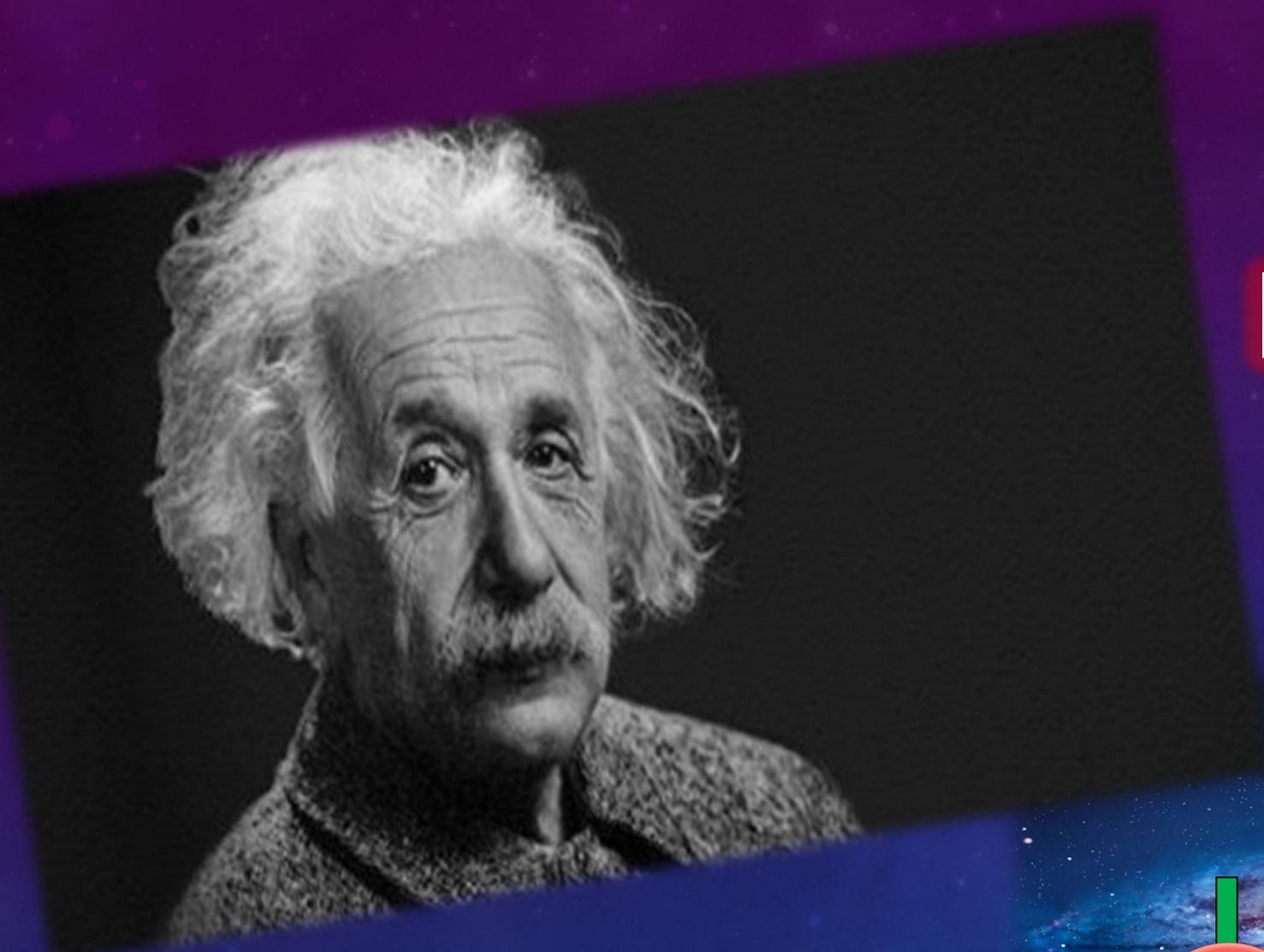
# E ISTANTANEAMENTE



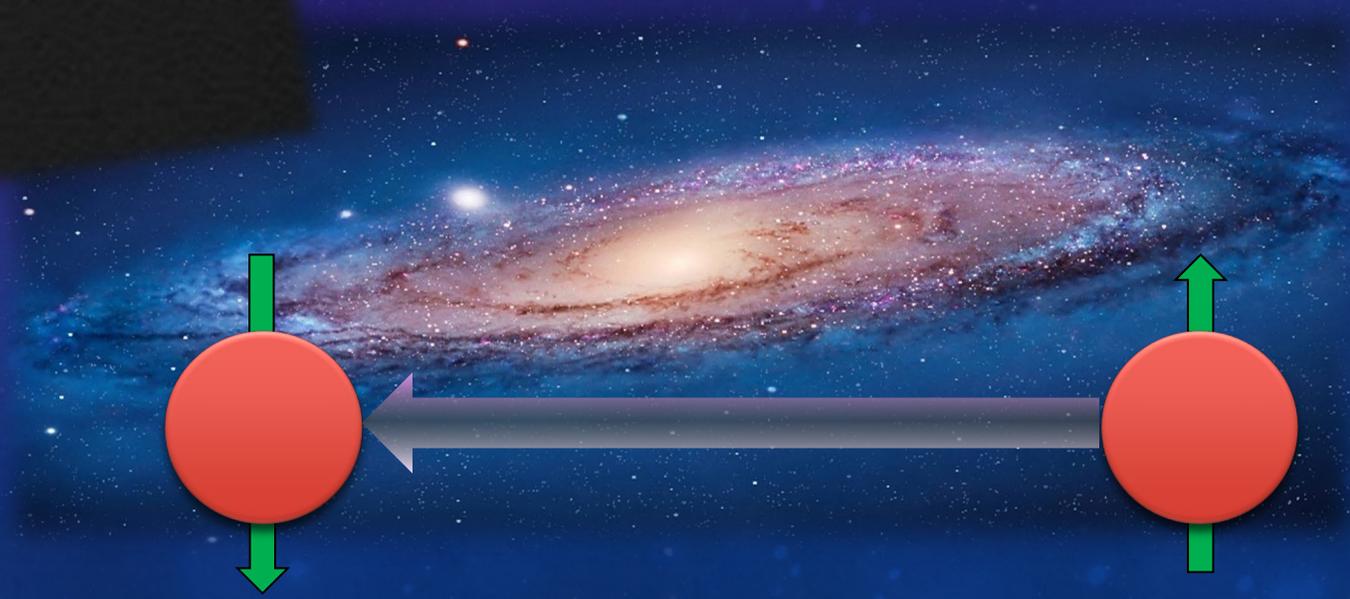


**IMPOSSIBILE!**





**IMPOSSIBILE!**

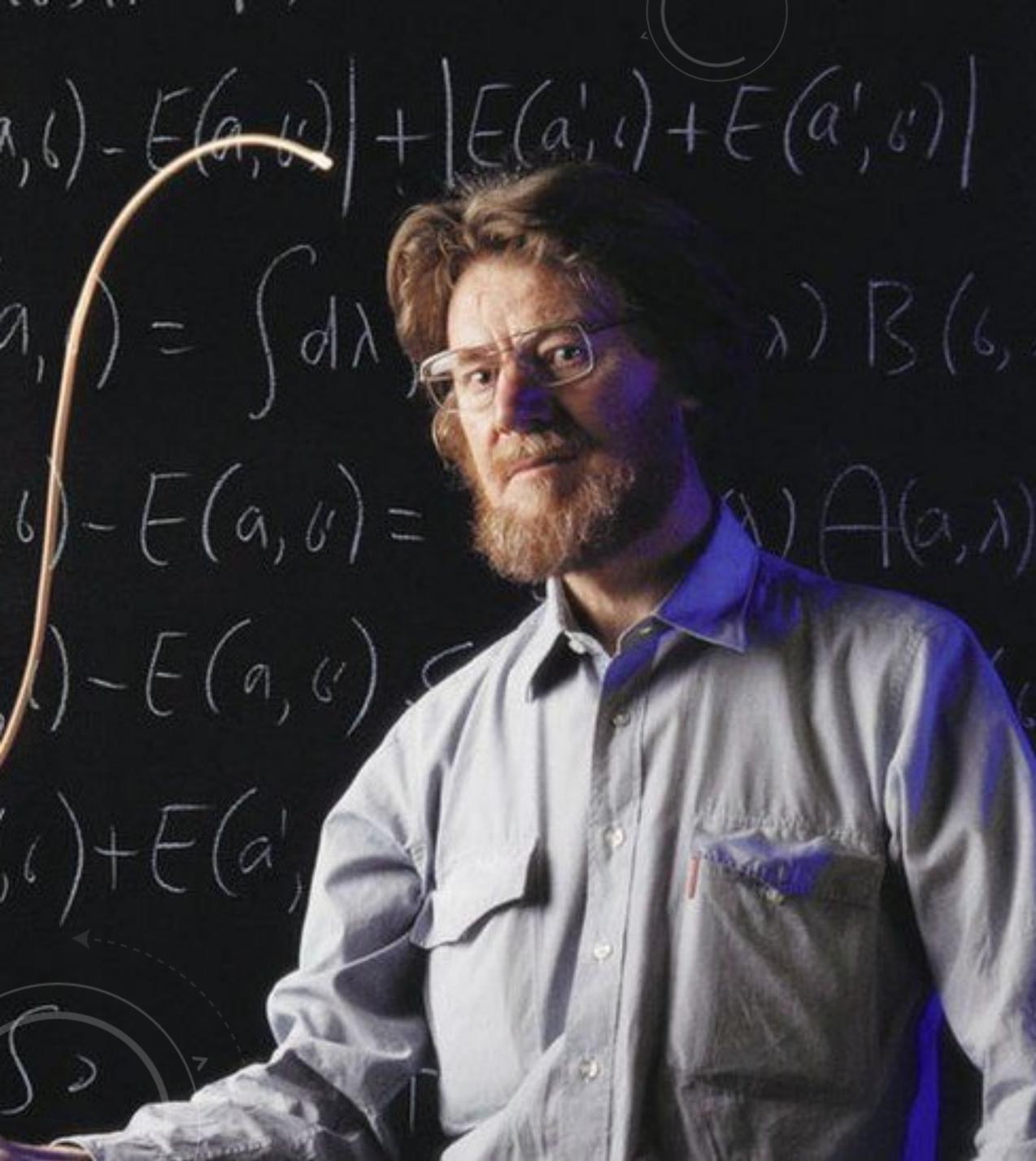




If I were forced to sum up in one sentence what the Copenhagen interpretation says to me, it would be 'Shut up and calculate!'

(David Mermin)

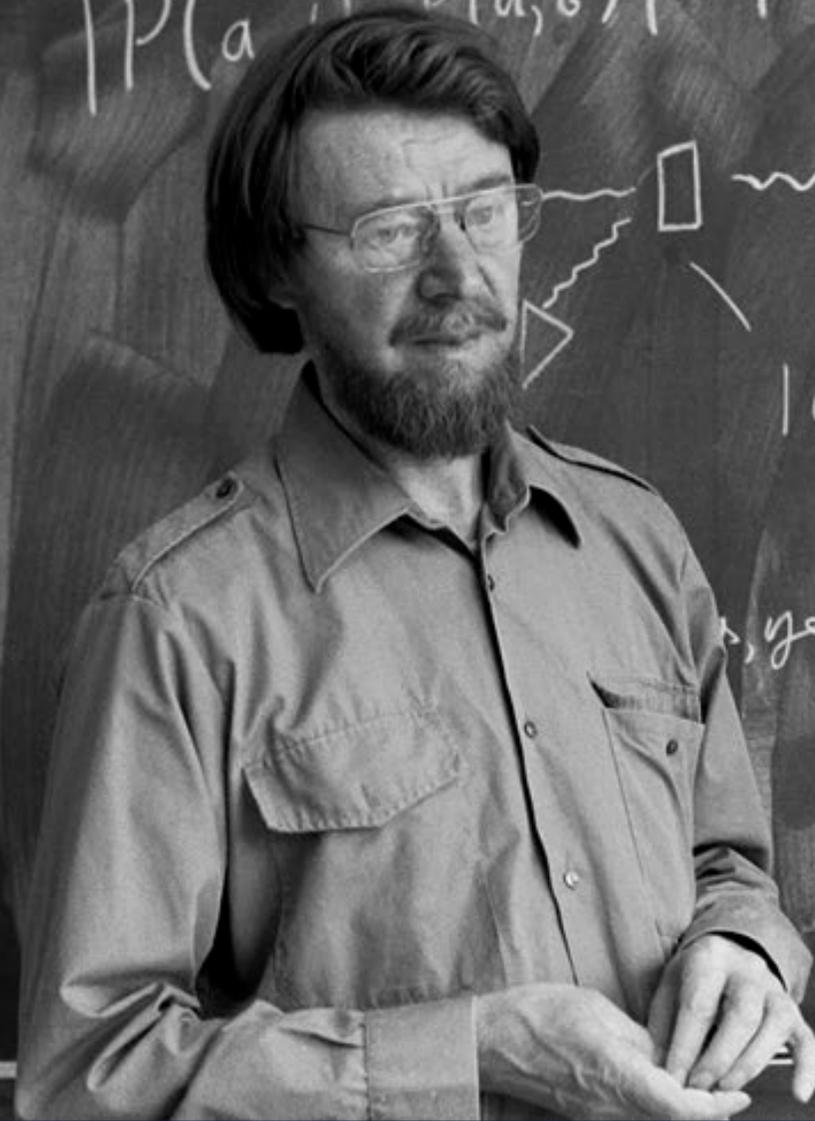
[izquotes.com](http://izquotes.com)



1964:  
JOHN STUART BELL

LSVP

$$|P(a, b) - D(a, b)| + |P(a', b) + P(a', b')|$$



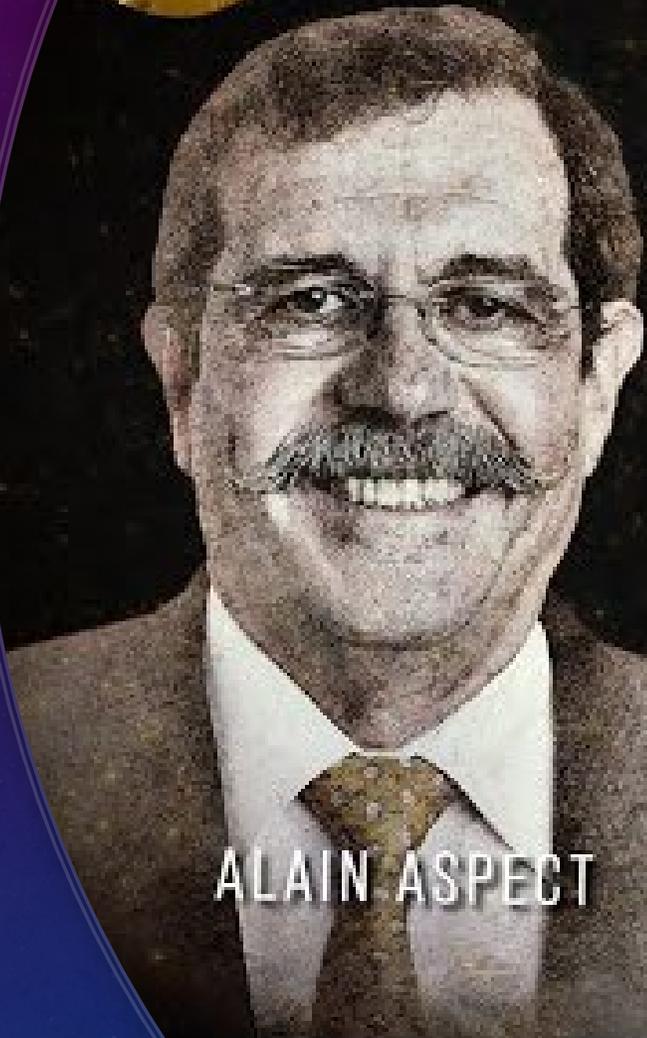
$$f_{ab}(y_s, r_s) + f_{ab}(r_s, r_s) - f_{ac}(y_s, r_s)$$

**NON ESISTONO TEORIE  
LOCALI A VARIABILI  
NASCOSTE IN GRADO DI  
RIPRODURRE I RISULTATI  
SPERIMENTALI**

**I FENOMENI  
QUANTISTICI  
SONO  
NON LOCALI**



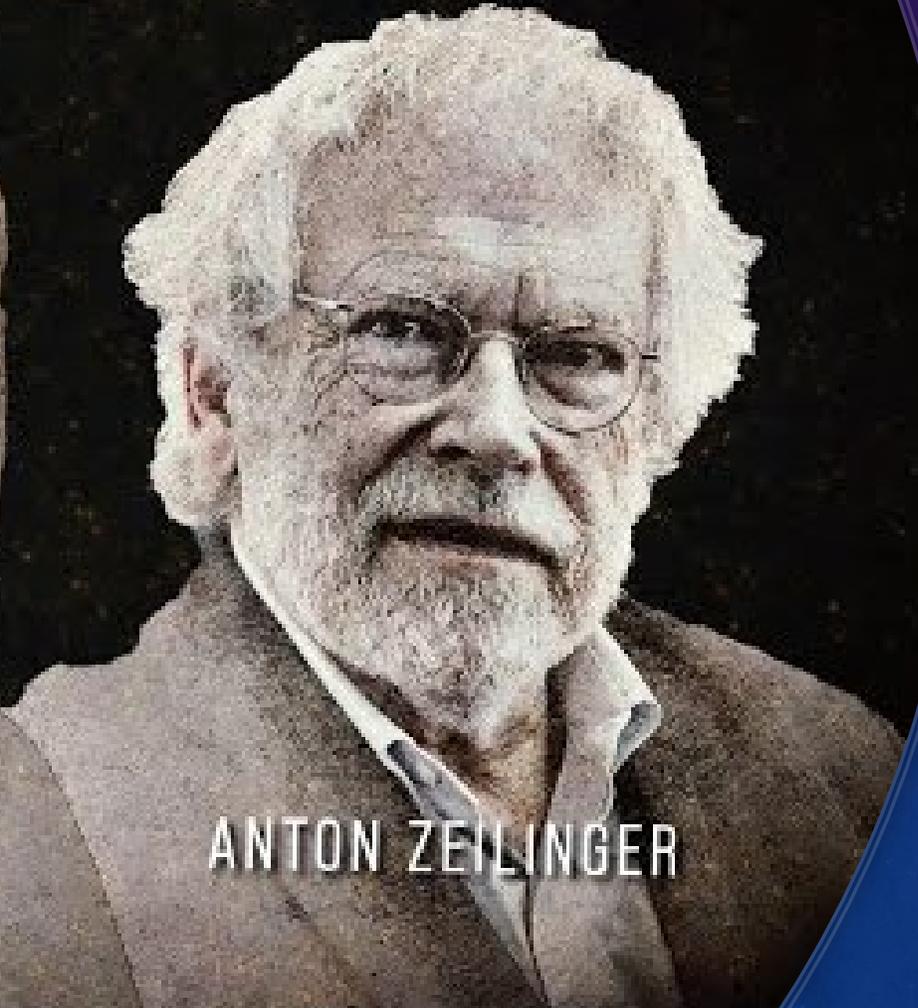
# 2022 NOBEL PRIZE IN PHYSICS



ALAIN ASPECT



JOHN CLAUSER



ANTON ZEILINGER

**POSSO  
TRASMETTERE  
SEGNALI PIU'  
VELOCI DELLA  
LUCE?**



**POSSO  
TRASMETTERE  
SEGNALI PIU'  
VELOCI DELLA  
LUCE?**





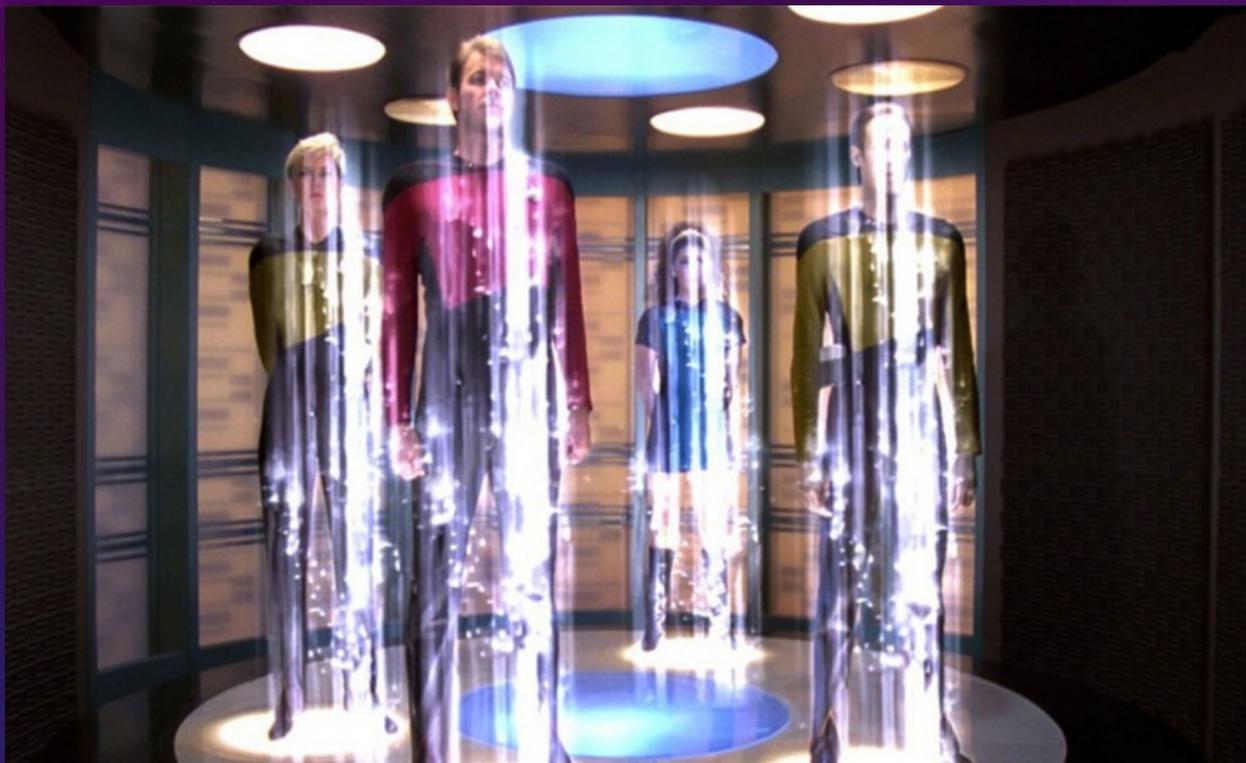
1101000101010100



0010111010101011

1101000101010100



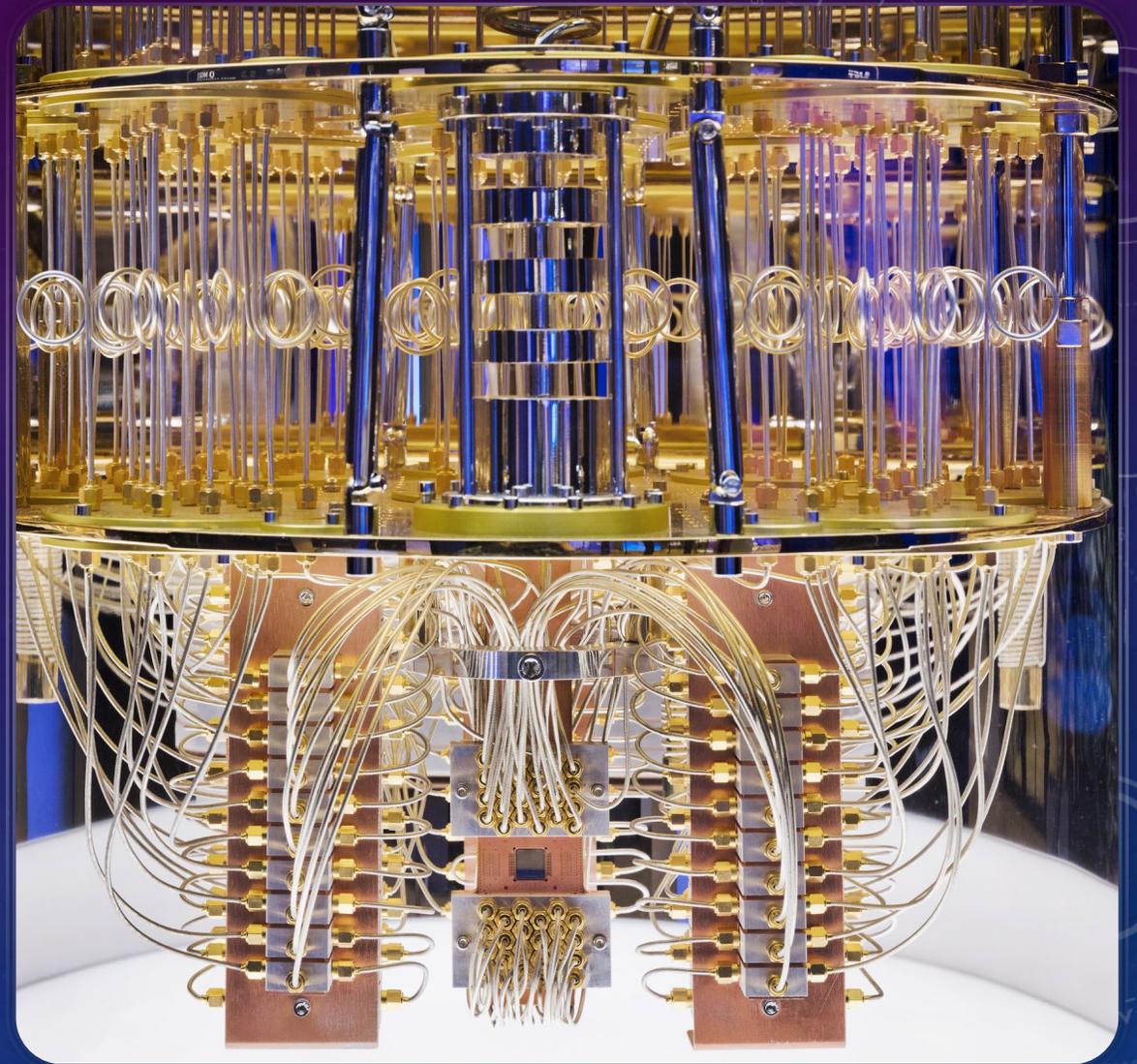


## TELETRASPORTO QUANTISTICO

SI', MA...

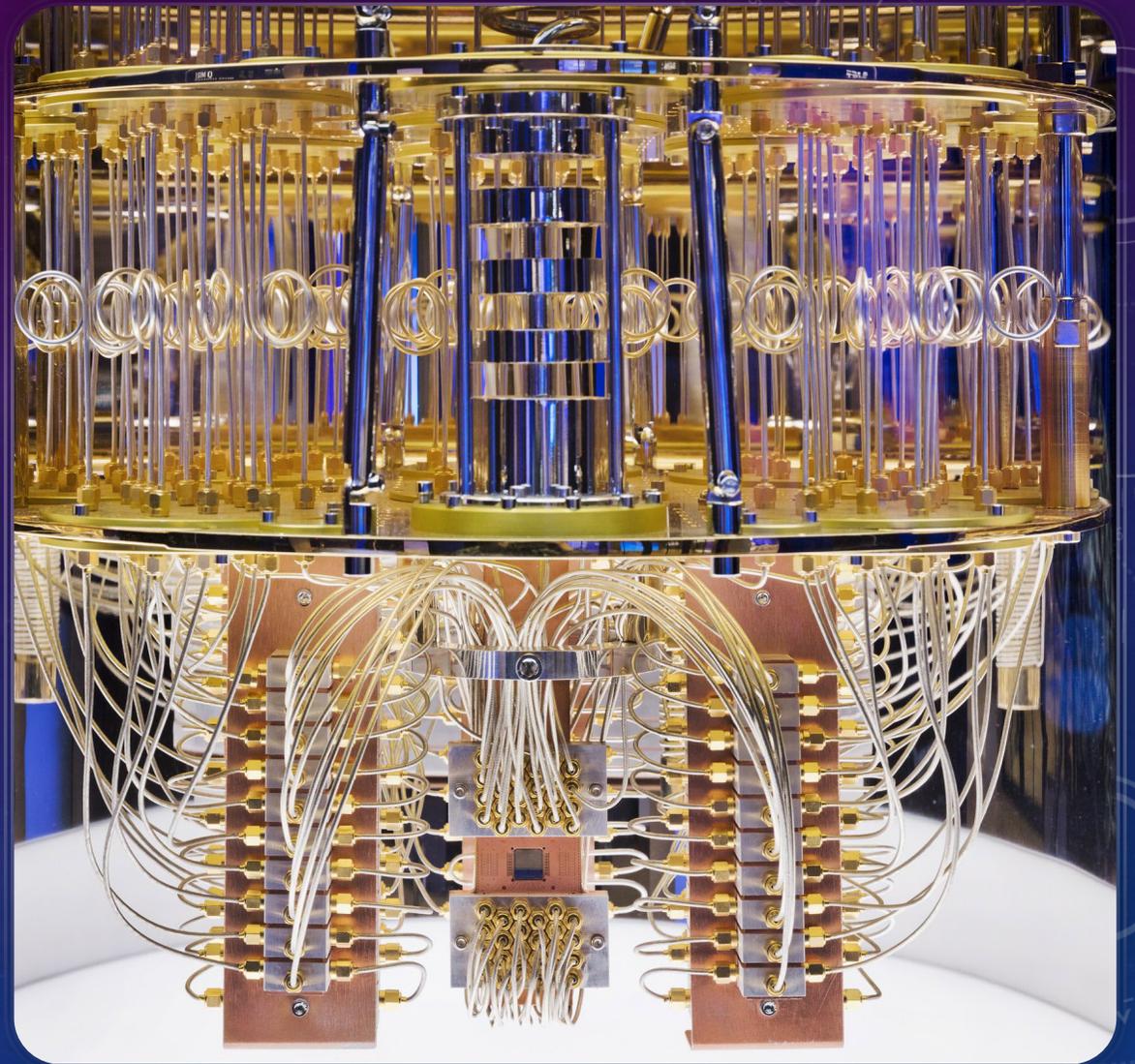
- Non trasporta materia, ma informazione
- Finora per singole particelle
- Non è istantaneo (necessità di un canale di comunicazione standard)

# QUANTUM COMPUTER



# QUANTUM COMPUTER

**Non soppianderà il computer classico** ma è (sarà) complementare al computer classico, e grazie alla MQ sarà in grado di eseguire calcoli particolari che il computer classico non può eseguire



## Bit

(Classical Computing)

0

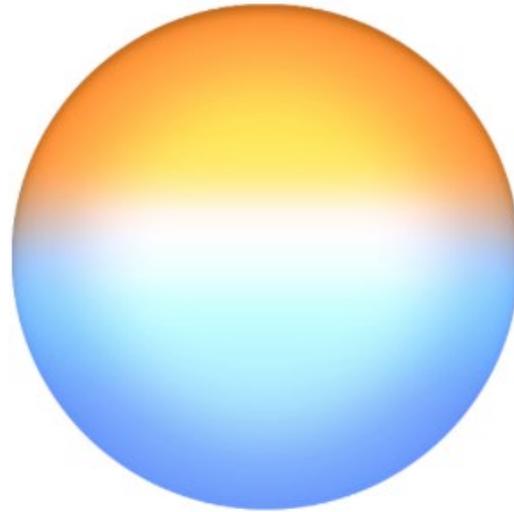


1

## Qubit

(Quantum Computing)

0



1

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

## • **Qubit e Sovrapposizione:**

- I qubit possono essere in uno stato di **0** o **1** o in una combinazione di entrambi contemporaneamente (sovrapposizione).
- Permette al computer di esplorare molte soluzioni simultaneamente.

## • **Entanglement:**

- Due o più qubit possono essere "intrecciati" (entanglement), influenzandosi reciprocamente.
- La misura di un qubit può influenzare immediatamente gli altri.

## • **Interferenza quantistica:**

- Utilizzata per amplificare le probabilità delle soluzioni giuste durante i calcoli.

# Vantaggi del Computer Quantistico

## •Velocità di Calcolo:

- Risoluzione di problemi complessi in tempi molto più rapidi rispetto ai computer tradizionali (es. simulazioni chimiche, ottimizzazione).

## •Parallelismo:

- La sovrapposizione consente di eseguire più calcoli contemporaneamente, accelerando enormemente certi tipi di operazioni.

## •Crittografia e Sicurezza:

- Potenziale per risolvere problemi crittografici avanzati (come la fattorizzazione di numeri primi).

## Svantaggi e Limitazioni

- **Decoerenza:**

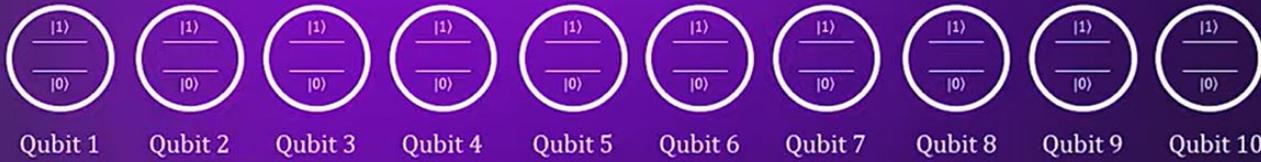
- I qubit sono sensibili all'ambiente esterno (rumore, vibrazioni, temperature), il che può causare **errori** nei calcoli.

- **Difficoltà di Scalabilità:**

- Aumentare il numero di qubit senza perdere coerenza è una grande sfida tecnica.

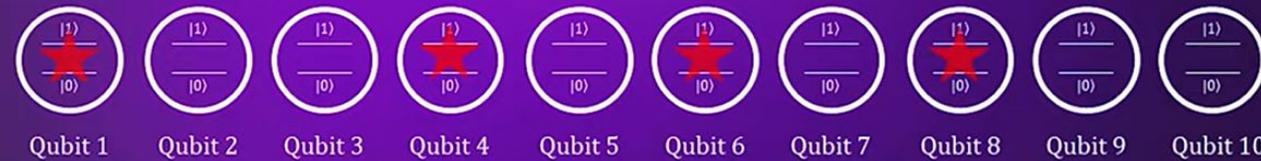
- **Tecnologia Emergente:**

- La tecnologia quantistica è ancora nelle fasi di sviluppo e non è ancora pronta per applicazioni pratiche su larga scala.

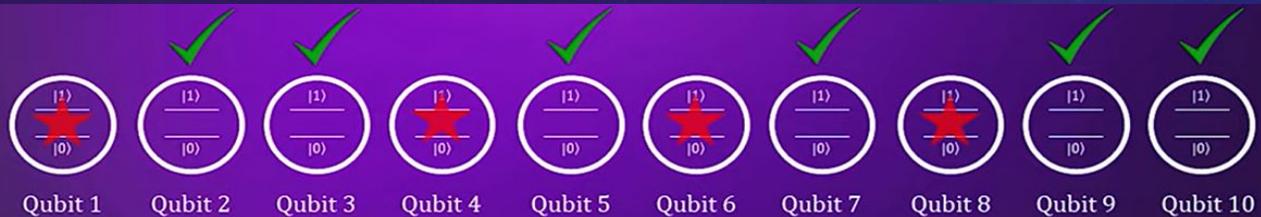


## Stringa di Qubit

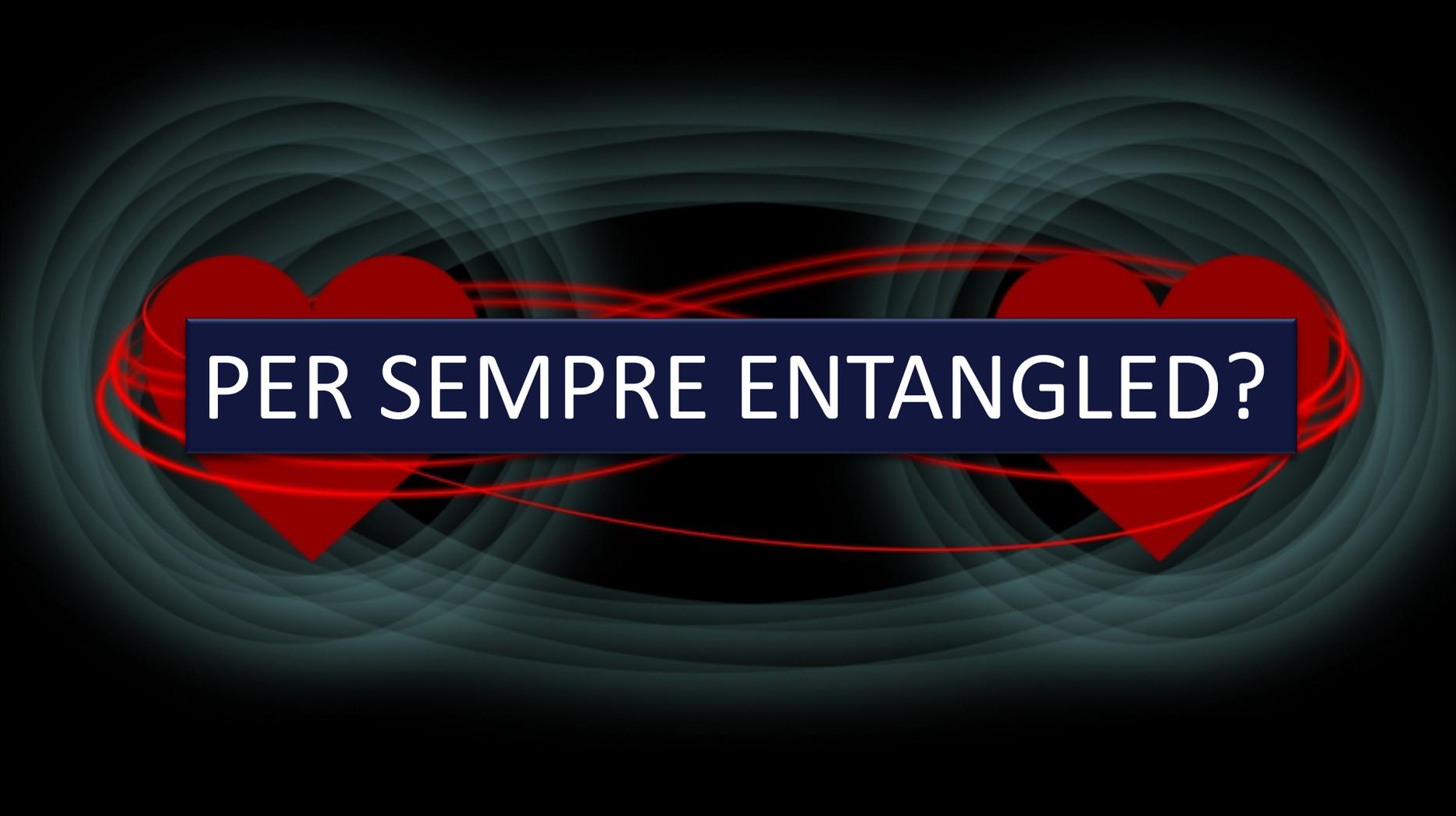
L'interazione di alcuni Qubit con il mondo esterno distrugge la sovrapposizione di 0 e 1, facendo collassare la funzione d'onda in 0 oppure 1 (bit classico)



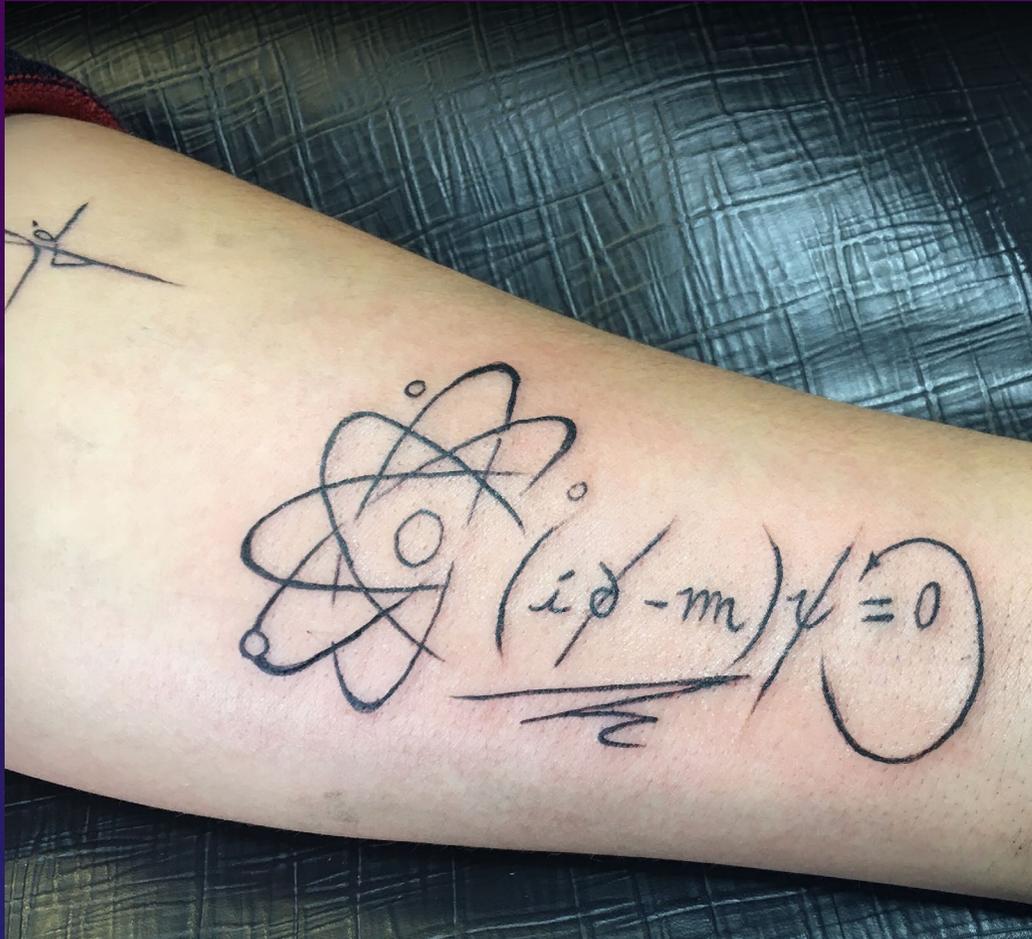
Trasferisco lo stato della maggior parte dei Qubit su quelli che hanno cambiato stato



L'errore è stato corretto

The image features a dark, textured background with a gradient from purple to blue. In the center, there are two red hearts, one on the left and one on the right, which are partially overlapping. A blue banner with a slight gradient is positioned horizontally across the middle, overlapping the hearts. The banner contains the text "PER SEMPRE ENTANGLED?" in white, uppercase, sans-serif font. The overall aesthetic is modern and scientific, likely related to quantum entanglement.

PER SEMPRE ENTANGLED?

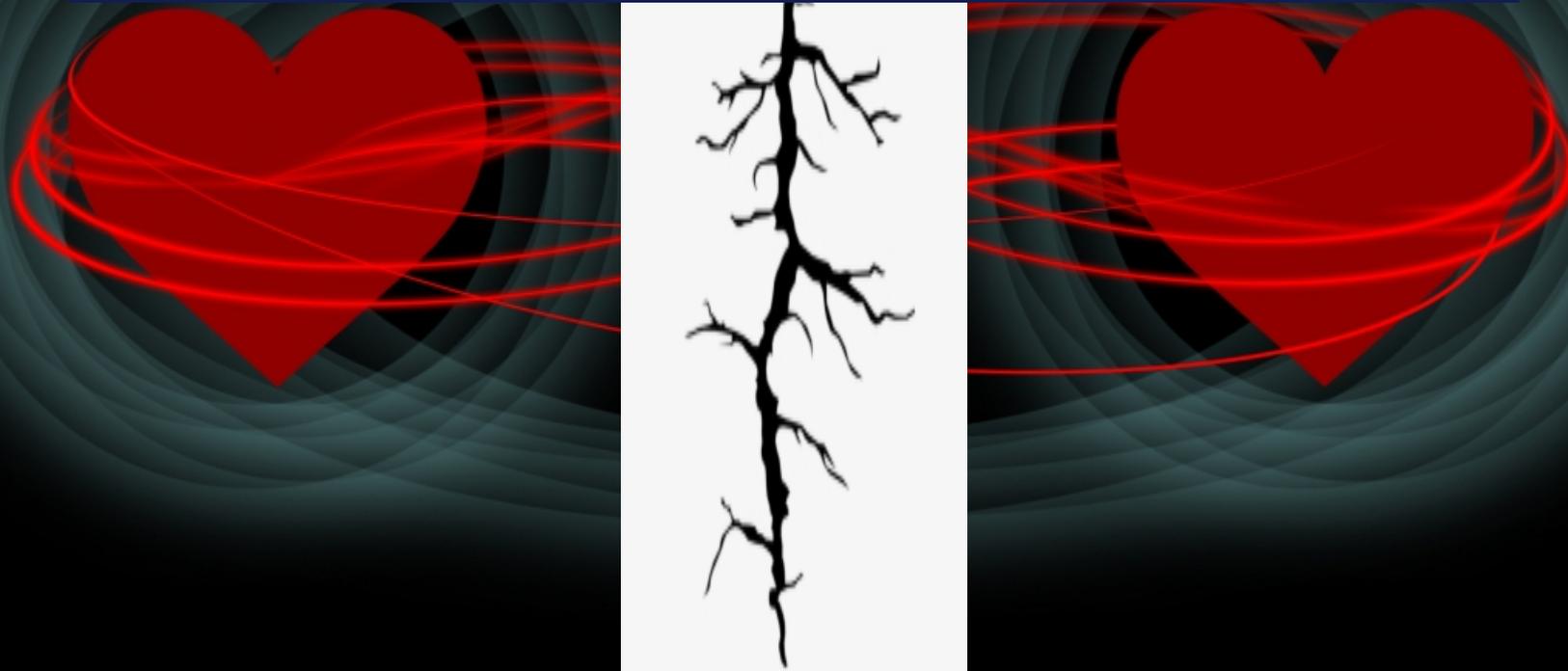


*“Lei disse: “Dimmi qualcosa di bello!”. Lui rispose: “ $(\delta + m) \psi = 0$ ”. La risposta è l’equazione di Dirac ed è l’equazione più bella della fisica. Grazie ad essa si descrive il fenomeno dell’entanglement quantistico. Il principio afferma che: “Se due sistemi interagiscono tra loro per un certo periodo di tempo e poi vengono separati, non possono più essere descritti come due sistemi distinti, ma in qualche modo, diventano un unico sistema. In altri termini, quello che accade a uno di loro continua ad influenzare l’altro, anche se distanti chilometri o anni luce”.*

*Secondo il ragionamento di Dirac se due persone entrano in relazione e si instaura tra di loro, nel tempo, un rapporto di amicizia o di amore e poi vengono separate, esse non possono essere definite come due soggetti differenti ma, in qualche modo, ne diventano una sola. Anche dopo la separazione, continueranno nel bene e nel male, a conservare dentro di sé una parte dell’altra. Per sempre.*

*A prescindere dalle distanze, dalle esperienze e dai vissuti di ogni individuo, nonostante gli allontanamenti o i distacchi, le persone che hanno interagito tra loro si influenzeranno “finché morte non ci separi”. L’equazione di Dirac è quindi la formula scientifica dell’amore eterno platonico?*

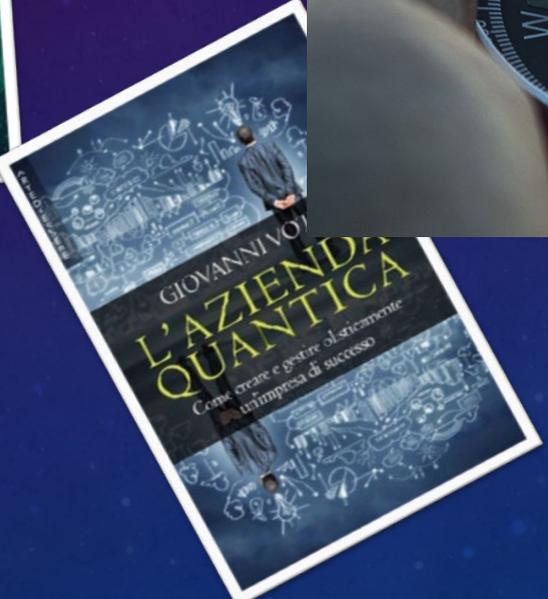
L'ATTO DELLA MISURA ROMPE  
LO STATO DI ENTANGLEMENT!



The Dirac equation in the form originally proposed by Dirac is:

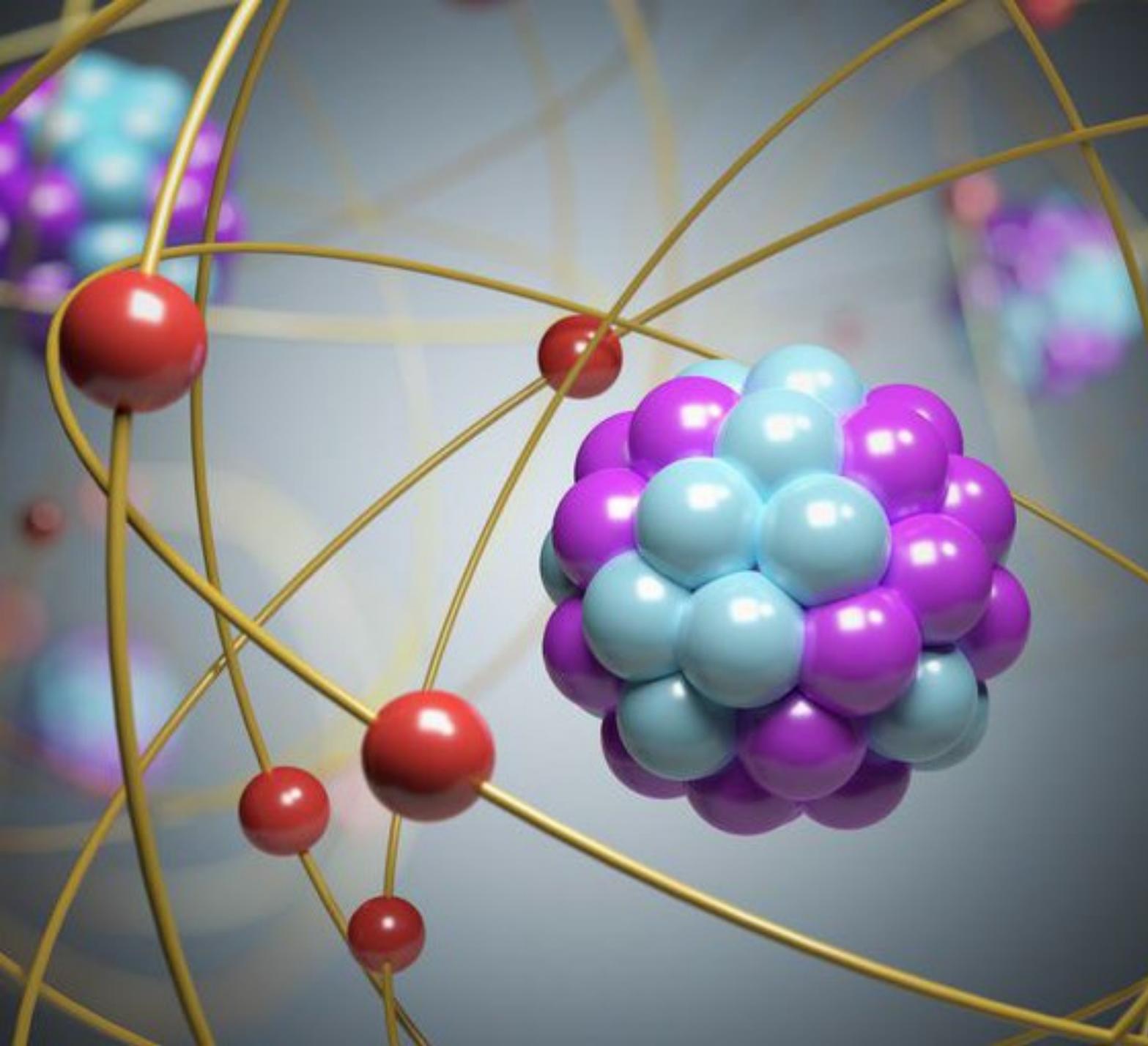
$$\left( \beta mc^2 + \sum_{k=1}^3 \alpha_k p_k c \right) \psi(\mathbf{x}, t) = i\hbar \frac{\partial \psi(\mathbf{x}, t)}{\partial t}$$

- Descrive il comportamento del singolo elettrone libero (in generale di una particella carica di spin  $\frac{1}{2}$ ) includendo la relatività ristretta.
- Quindi non riguarda sistemi di particelle, né, quindi, l'entanglement
- Prevede l'esistenza di soluzioni negative, che Dirac interpretò come fermioni di carica opposta, e costituisce quindi la previsione dell'esistenza dell'antimateria
- **In tutto questo l'entanglement non c'entra nulla, né tantomeno l'amore.**



**Diventa NATUROPA ad Indirizzo QUANTICO**  
Dal Big Bang alla Coscienza Quantica Cellulare  
**SCUOLA NATUROPATIA QUANTICA**





## Regola 1:

Se si invoca la meccanica quantistica per spiegare fenomeni che hanno a che fare con particelle, atomi o molecole, è molto probabile che sia vero



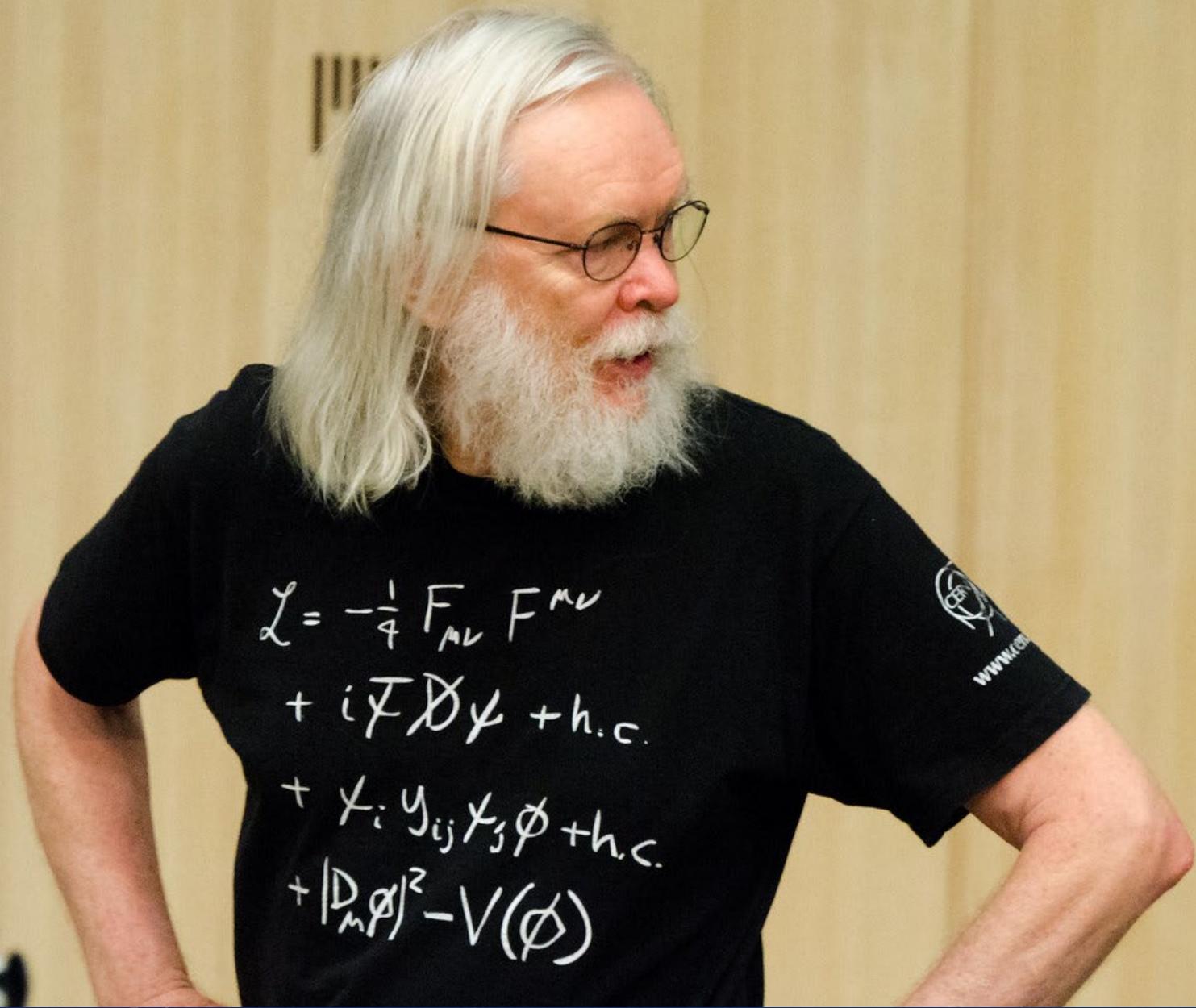
## Regola 2:

Se si invoca la meccanica quantistica per spiegare fenomeni che NON hanno a che fare con particelle, atomi o molecole, ma parlano di “acqua informata”, omeopatia, sinergie naturali, amore, buoni sentimenti, condivisione con la natura, volemose bene...



### Regola 3:

Se si invoca la meccanica quantistica per spiegare fenomeni che hanno a che fare con la medicina, la psicologia, il benessere, l'amore, o addirittura l'esistenza dell'anima, e vi chiedono anche dei soldi...



$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.} \\ & + \chi_i y_{ij} \chi_j \phi + \text{h.c.} \\ & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$

NEL DUBBIO...

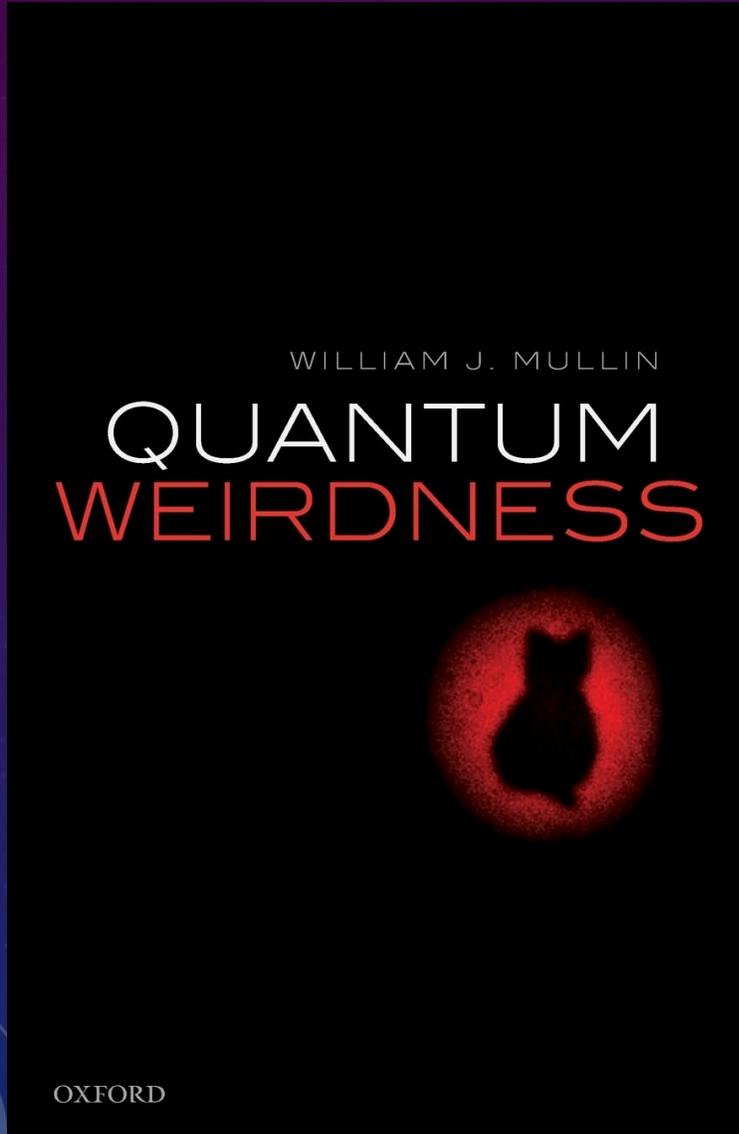
ASK a Physicist!  
(ma un fisico vero!)



•IF YOU THINK YOU UNDERSTAND QUANTUM MECHANICS, THEN YOU DON'T UNDERSTAND QUANTUM MECHANICS

*Richard Feynman*

W. J. Mullin,  
**Quantum Weirdness**, Oxford



Gian Carlo Ghirardi,  
**Un'occhiata alle carte di Dio**, il Saggiatore

