

**LICEO SCIENTIFICO
“VITO VOLTERRA”**

**DIPARTIMENTO DI FISICA
ORINETTA DI BIAGIO**

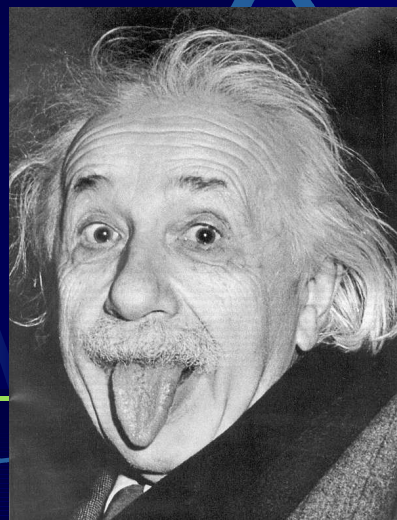
**Penso si possa
tranquillamente
affermare che nessuno
capisce la meccanica
quantistica**

**Richard P. Feynman
Premio Nobel nel 1963**

Quelli che non rimangono scioccati , la prima volta che si imbattono nella meccanica quantistica, non possono averla compresa.

Niels Bohr

LA MECCANICA



QUANTISTICA

Fisica Classica (<1900)

MECCANICA

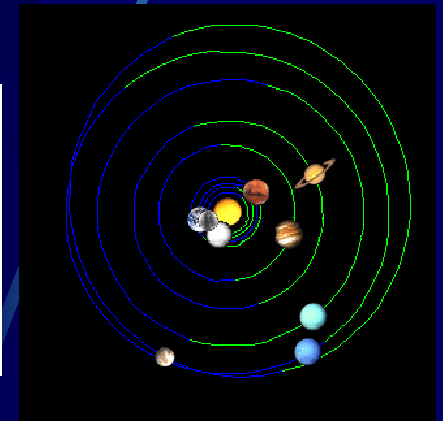
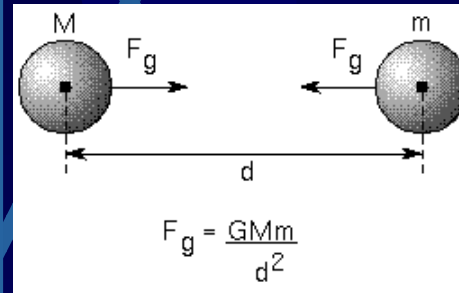


Newton 1686

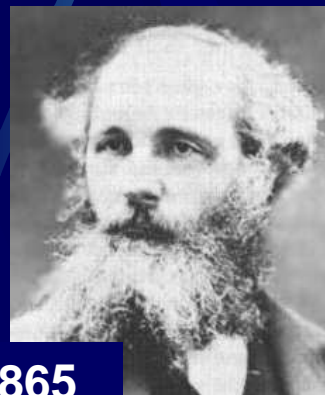
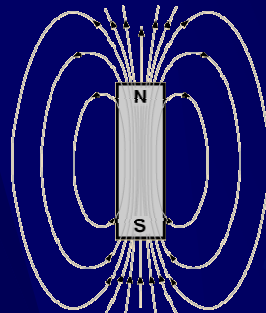
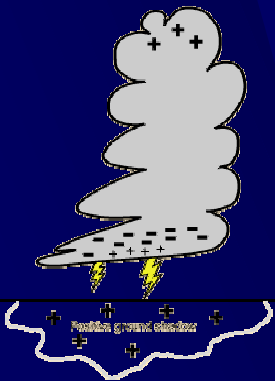
$$F = m a$$

Equazione
del moto

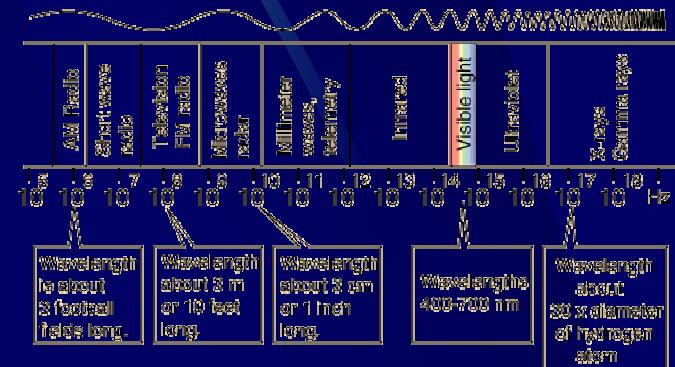
GRAVITAZIONE UNIVERSALE



ELETTRO-MAGNETISMO



Maxwell 1865



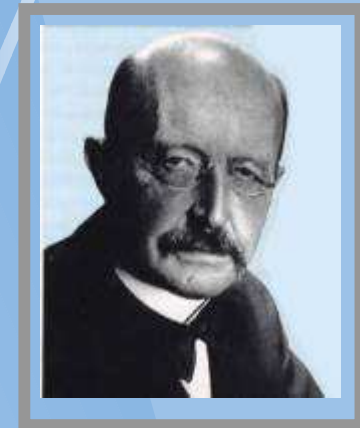
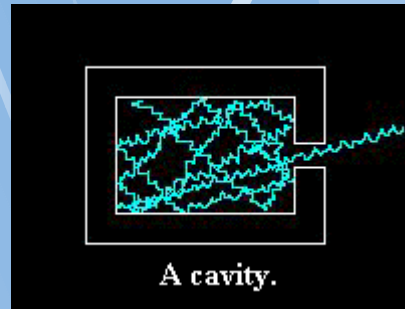
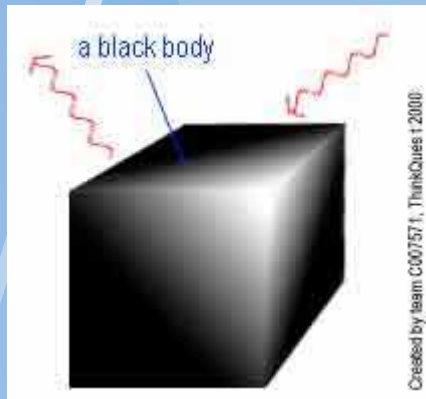
CONTRADDIZIONI TRA OSSERVAZIONI SPERIMENTALI E TEORIE

~~1) CONTRADDIZIONE NEL CASO DEI SOLIDI~~
EMISSIONE

MECCANICA QUANTISTICA

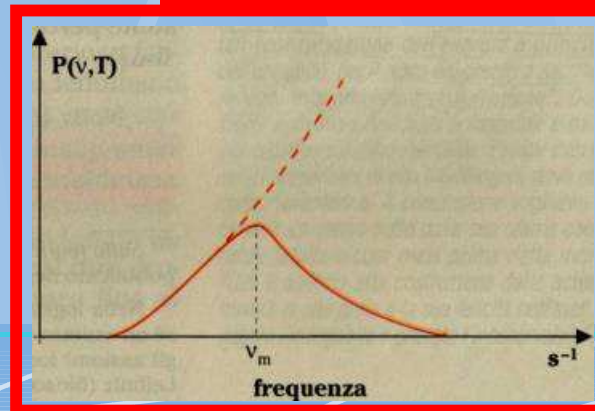
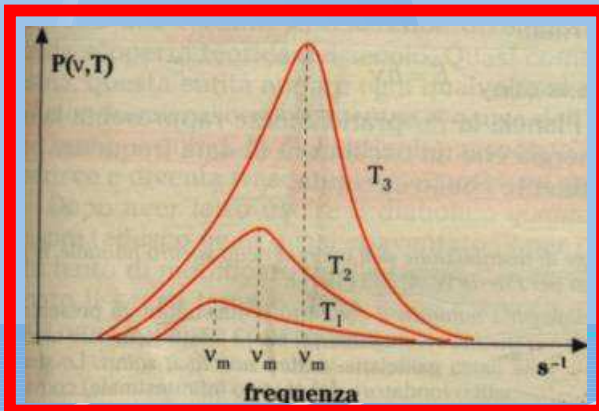
Proprietà Corpuscolari della Radiazione elettromagnetica

SPETTRO DEL CORPO NERO



Planck 1900

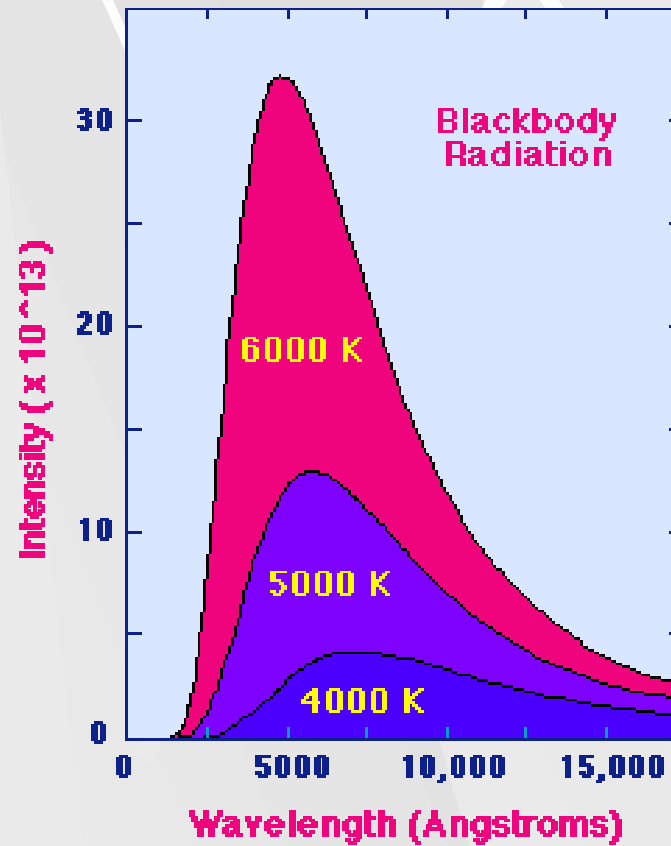
$$h = 6.6260755 \times 10^{-34} \text{ J s}$$



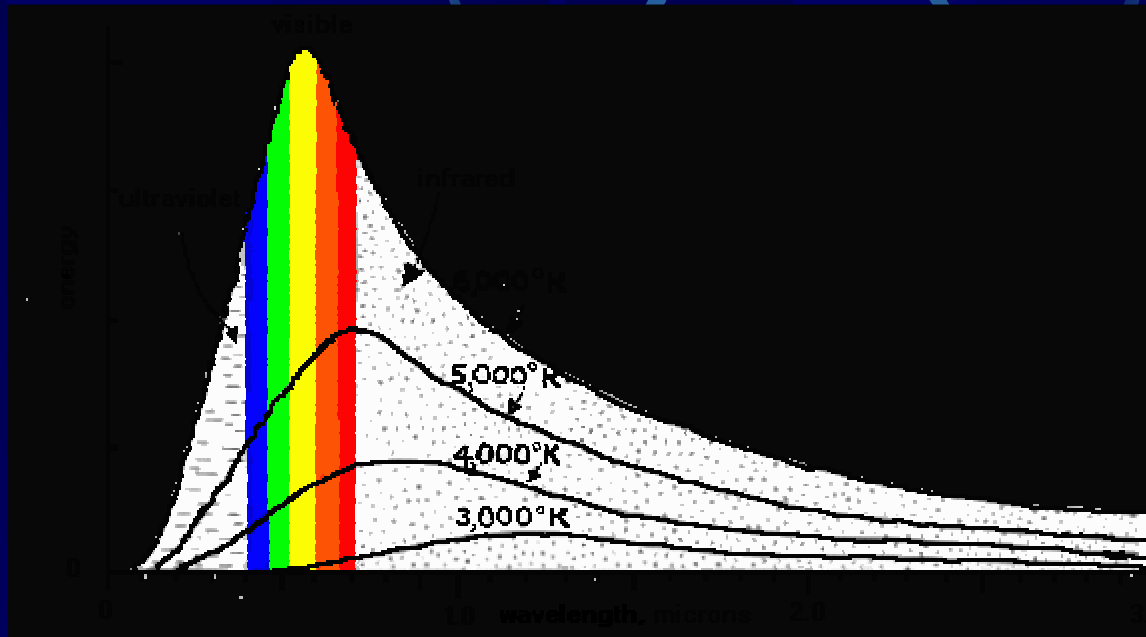
$$u_\nu(\Omega) = \frac{2h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$$

$$\Delta E = h\nu$$

CURVE SPERIMENTALI



Curve Sperimentali



SPETTRO DELLA RADIAZIONE IRRAGGIATA DAL CORPO NERO

```
graph TD; A[SPETTRO DELLA RADIAZIONE IRRAGGIATA DAL CORPO NERO] --> B[LEGGE DI STEFAN]; A --> C[LEGGE DI WIEN]; A --> D[FORMULA DI RAYLEIGH-JEANS]; A --> E[INTERPRETAZIONE QUANTISTICA DI PLANCK];
```

**LEGGE DI
STEFAN**

**LEGGE DI
WIEN**

**FORMULA
DI
RAYLEIGH-
JEANS**

**INTERPRETA-
ZIONE
QUANTISTICA
DI PLANCK**

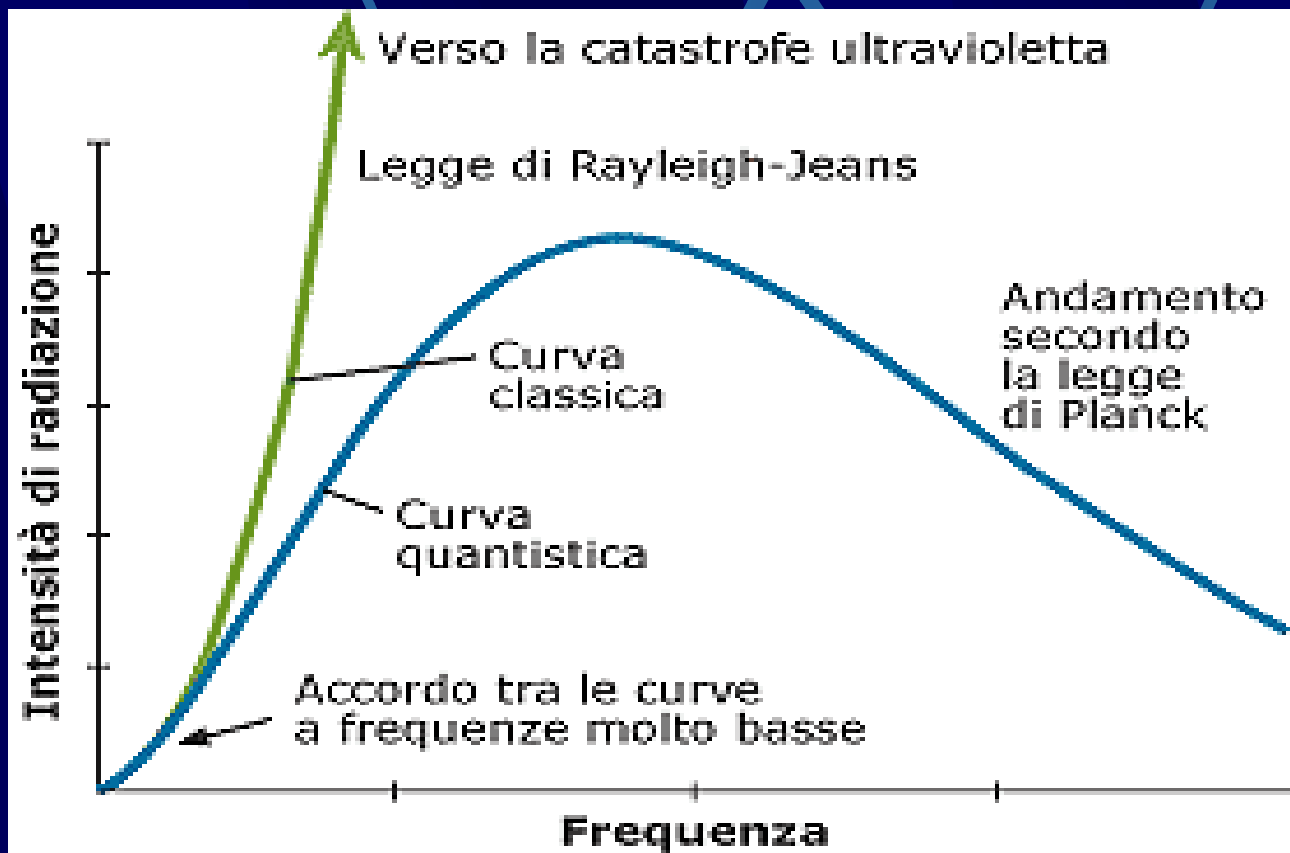
**Legge di
STEFAN-BOLTZMANN**

$$E = \sigma T^4$$

LEGGE DI WIEN

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{cost}$$

CATASTROFE ULTRAVIOLETTA



PLANCK: **ipotesi rinnovatrice**

RISONATORI (particelle oscillanti)
EMETTONO o assorbono energia
elettromagnetica avente la loro stessa
frequenza di vibrazione

L'ENERGIA non è una frequenza
continua ma DISCRETA (cioè
assume solo particolari valori)

NASCITA DELLA FISICA QUANTISTICA:

Planck

14- Dicembre 1900

**presentò all'Accademia delle
Scienze di Berlino un'insolita
relazione matematica:**

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

MAX PLANCK : IL QUANTO DI AZIONE



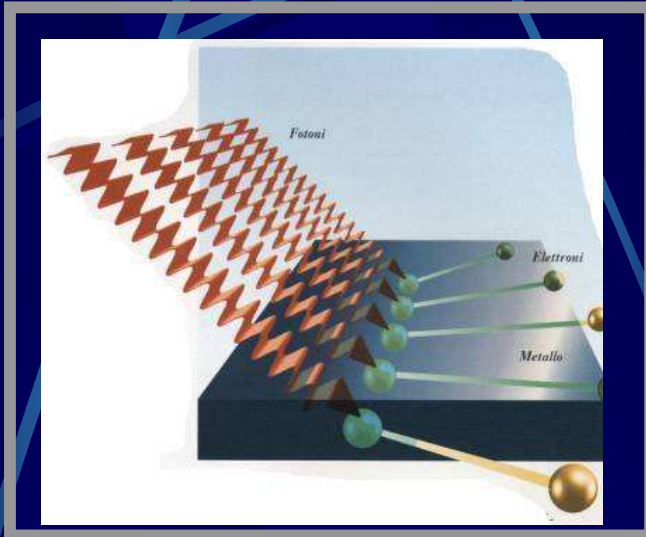
$$E = h\nu$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

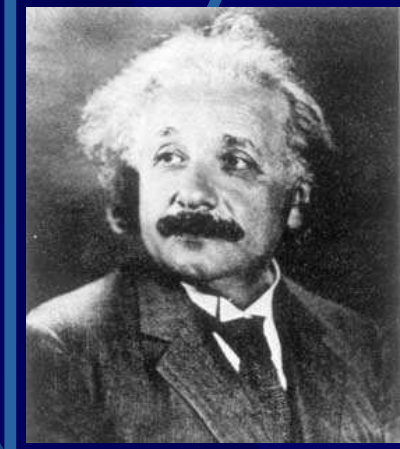
Max Planck : Premio Nobel 1918



EFFETTO FOTOELETTRICO



Scoperta:
Hertz 1887



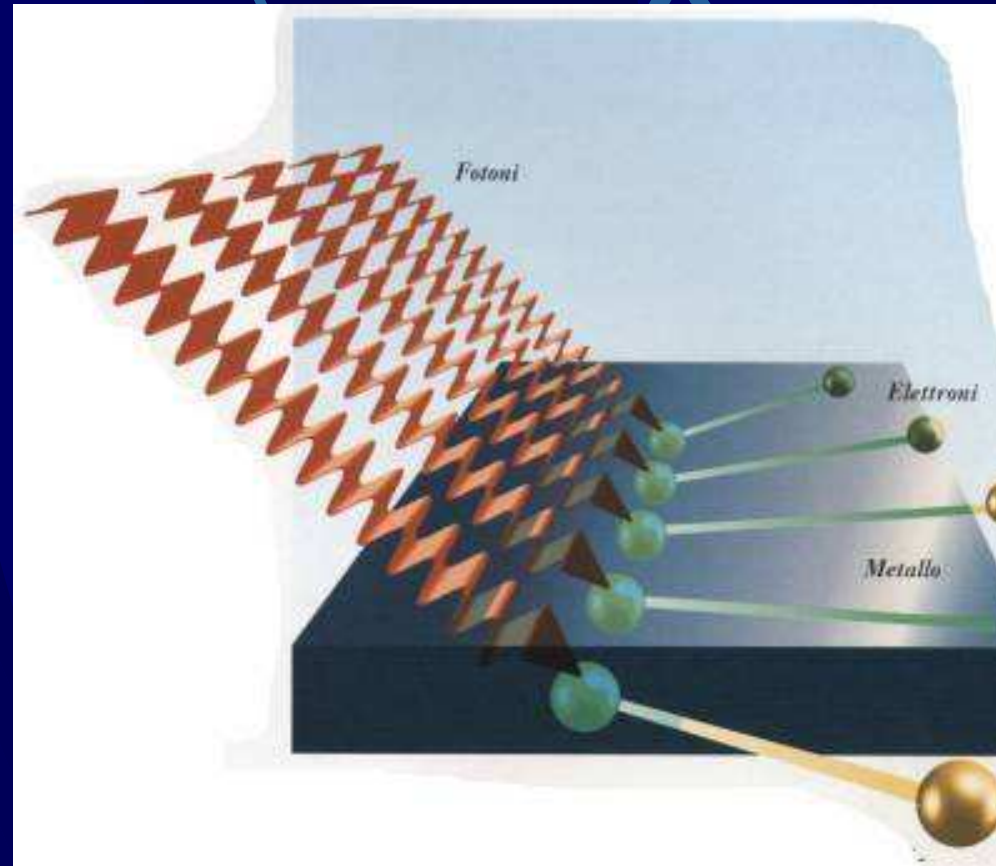
Teoria:
Einstein 1905

- ◆ Effetto a soglia: $\nu > \nu_s$
- ◆ $N_{\text{elettr.}} \sim$ intensità dell' onda
- ◆ $E_{\text{elettr.}} \sim$ frequenza ν dell'onda

FOTONI

$$\frac{1}{2} m v^2 = h \nu - W$$

EFFETTO FOTOELETTRICO :1905



EINSTEIN :PREMIO NOBEL 1921

$$\frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2 = h \nu - W_0$$

PLANCK E EINSTEIN

IPOTESI DEI QUANTI DI LUCE

➤ Planck:

L'energia emessa dagli oscillatori appare quantizzata perché proviene da un oggetto la cui energia è quantizzata.

➤ Einstein:

La quantizzazione dell'energia è un'ipotesi generalizzabile a ogni situazione fisica



***È l'energia in sé
a essere
quantizzata***

MODELLO QUANTISTICO DI BOHR PER SPIEGARE LA STABILITÀ DEGLI ATOMI

**QUANTIZZAZIONE DEL MOMENTO DELLA
QUANTITÀ DI MOTO DELL'ELETTRONE**

**QUANTIZZAZIONE DEI LIVELLI ENERGE-
TICI DELL'ATOMO DI IDROGENO**

**INTERPRETAZIONE DEGLI SPETTRI DI
EMISSIONE**

**NUMERI QUANTICI E STRUTTURA
ELETTRONICA DEGLI ATOMI;
PRINCIPIO DI PAULI**

Modello quantistico dell'atomo: ipotesi di Bohr

- 1) Quantizzazione del momento angolare
- 2) Orbite stazionarie
- 3) durante la transizione da un'orbita ad un'altra viene emesso o assorbito un "quanto" di frequenza ν

$$L = mvr = n \frac{h}{2\pi}$$

$$E_i - E_f = h\nu$$

$$\text{dove: } \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Niels Bohr 1913: nei laboratori di Manchester pose le basi teoriche del primo modello dell'atomo di idrogeno

$$E_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}$$

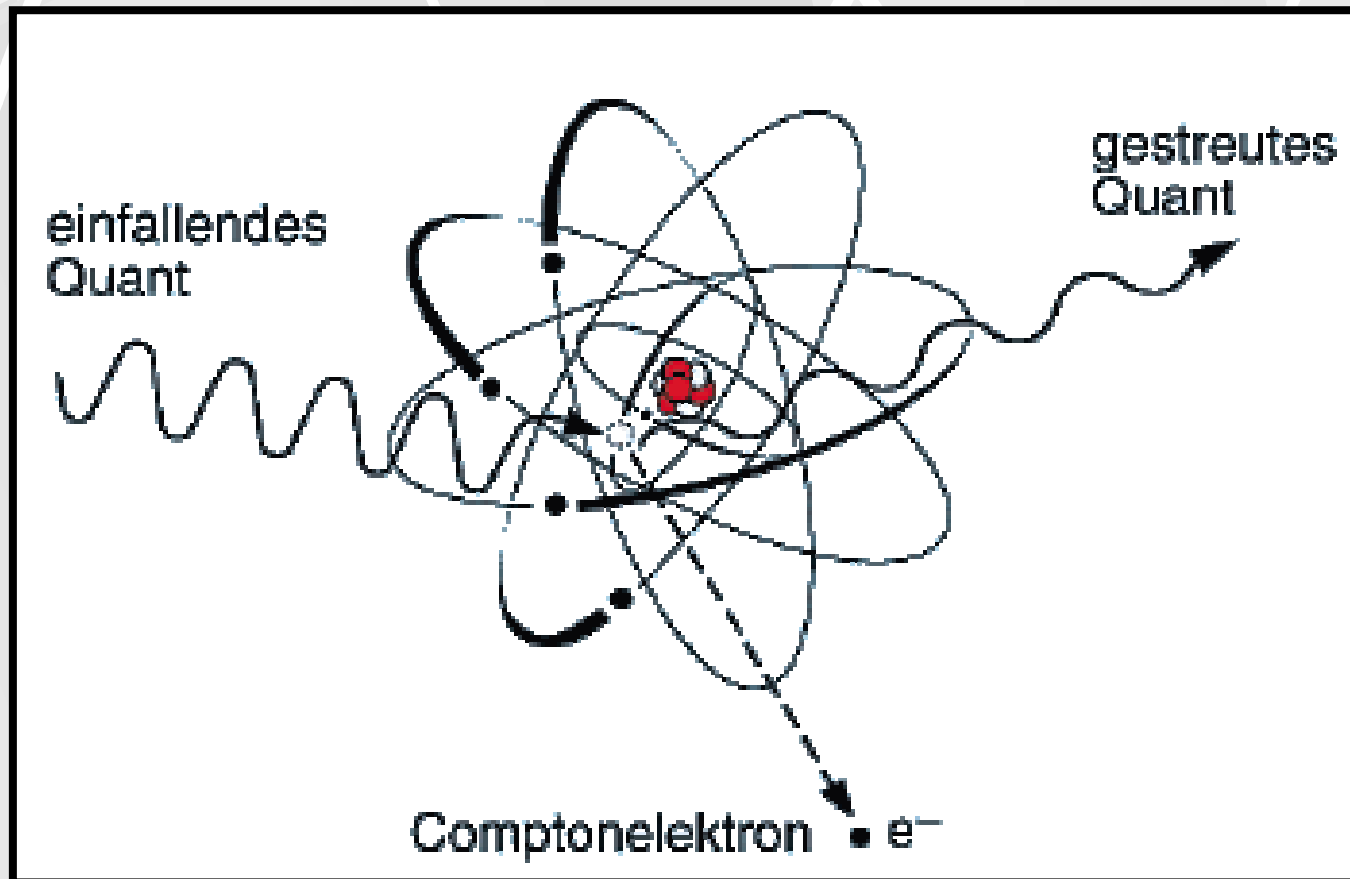


EFFETTO COMPTON

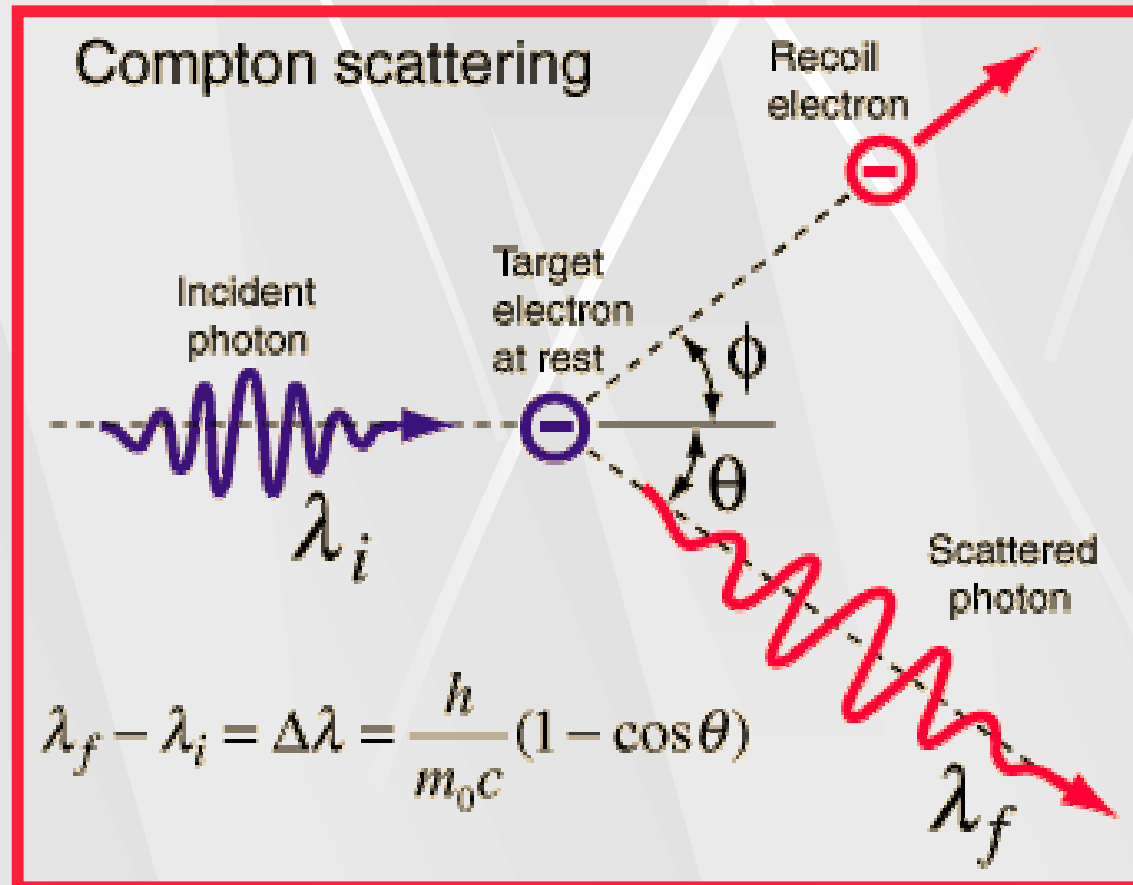
- **A. COMPTON NEL 1923 RILEVO' DEFINITIVAMENTE LA NATURA CORPUSCOLARE DELLA RADIAZIONE**
- **VINSE IL PREMIO NOBEL NEL 1927**



RAGGI X INCIDENTI



Effetto Compton



Lunghezza d'onda di Compton

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi)$$

PROBLEMI CONNESSI ALLA TEORIA DEI QUANTI

**ESTENSIONE DEL DUALISMO
ONDA-CORPUSCOLO ALLA MATERIA**

IPOTESI DI DE BROGLIE

**FUNZIONE D'ONDA; DENSITÀ DI PROBABILI-
TÀ; PROBABILITÀ DI LOCALIZZAZIONE DI
UNA PARTICELLA**

**PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE DI
HEISEBERG: MECCANICA DELLE MATRICI.**

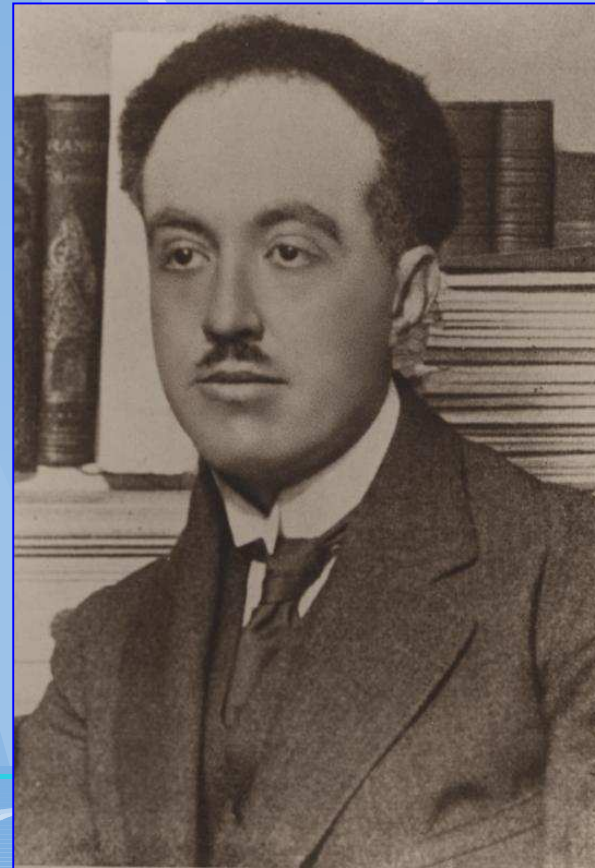
MECCANICA ONDULATORIA



LOUISE DE BROGLIE

1924 : estende alle particelle il dualismo onda-corpuscolo

- Einstein scrisse a Born :“ del tutto solida per quanto possa apparire folle.”
- Il dualismo ONDA-CORPUSCOLO riflette una simmetria di carattere generale :è una Legge della Natura.



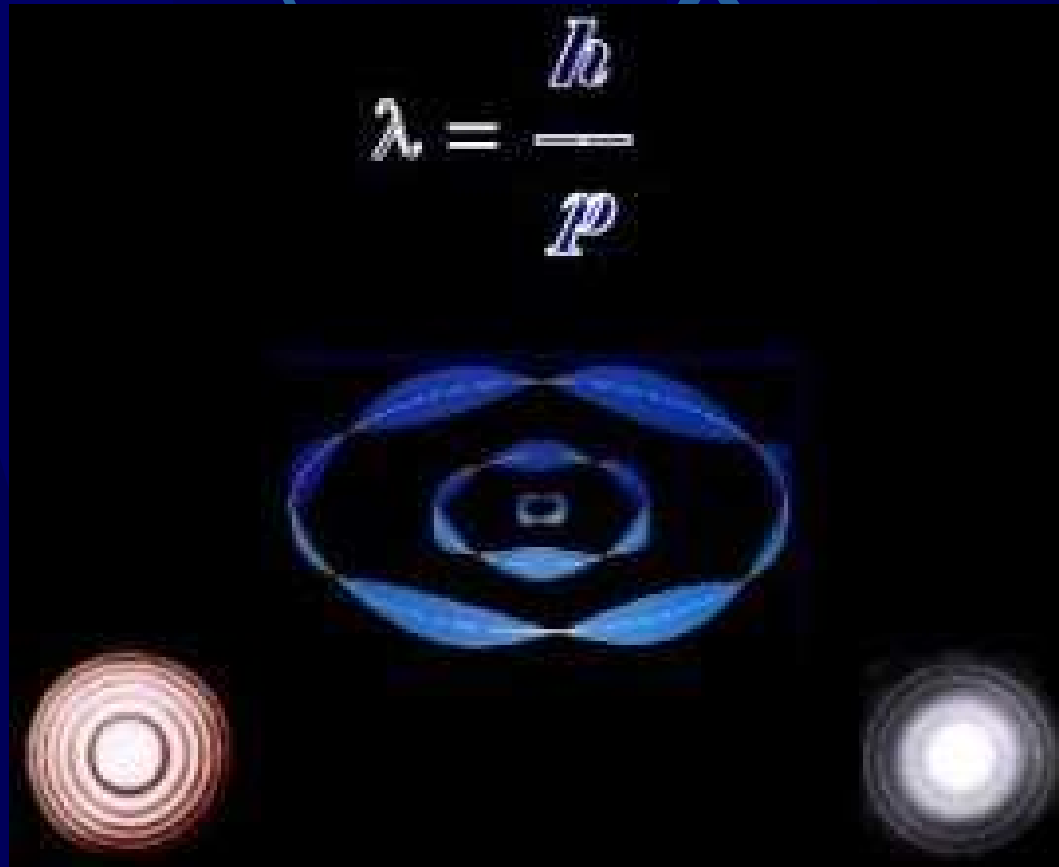
Lunghezza d'onda di de BROGLIE

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$E = h\nu$$

- Ad ogni particella materiale si può associare un'onda avente lunghezza d'onda λ che dipende dalla sua quantità di moto

ONDA ASSOCIATA AD UN ELETTRONE



De Broglie giustifica l'atomo di Bohr

- Poiché l'elettrone percorre orbite circolari di raggio r ed essendo l'atomo un sistema stabile, allora questo elettrone può percorrere solo traiettorie che rendono **l'onda stazionaria**.

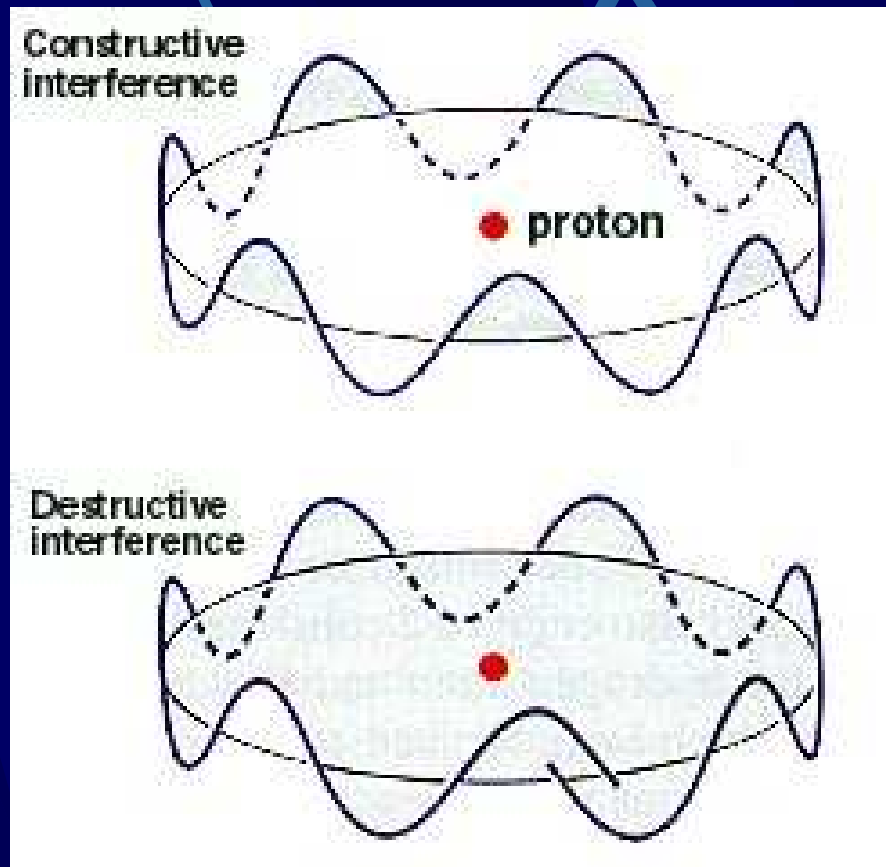
Quindi l'n-esima orbita contiene $n\lambda$
con $n = 1, 2, 3, \dots$

$$2\pi r_n = n\lambda \rightarrow$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} \rightarrow$$

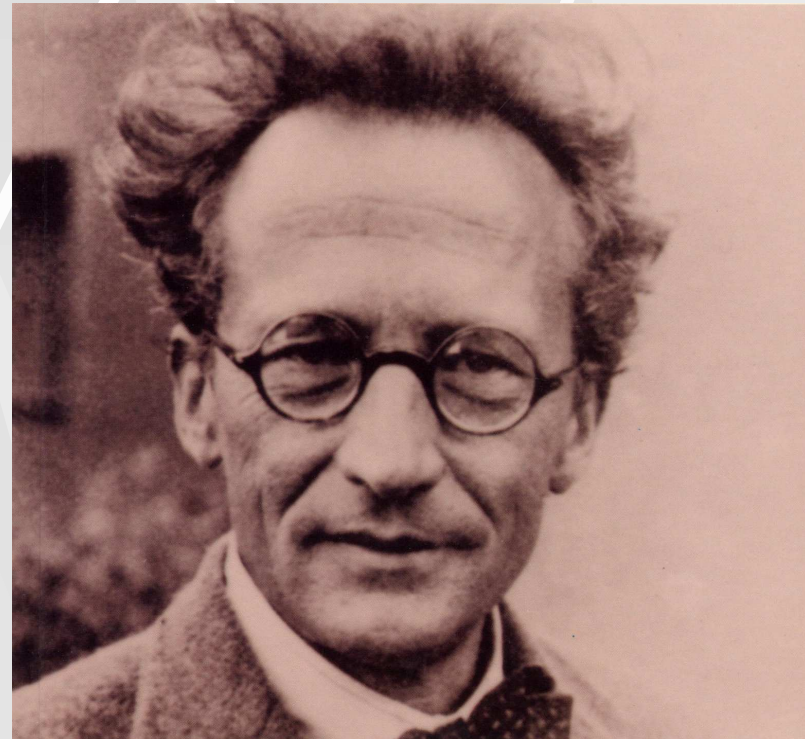
$$mrv = n \frac{h}{2\pi}$$

ONDE STAZIONARIE PER L'ELETTRONE



Erwin Schrödinger 1926

- Premio Nobel 1933
- Prof. di fisica teorica all'Università di Zurigo.
- L'equazione fondamentale della Meccanica Ondulatoria è detta Funzione d'Onda $\psi(x,y,z,t)$



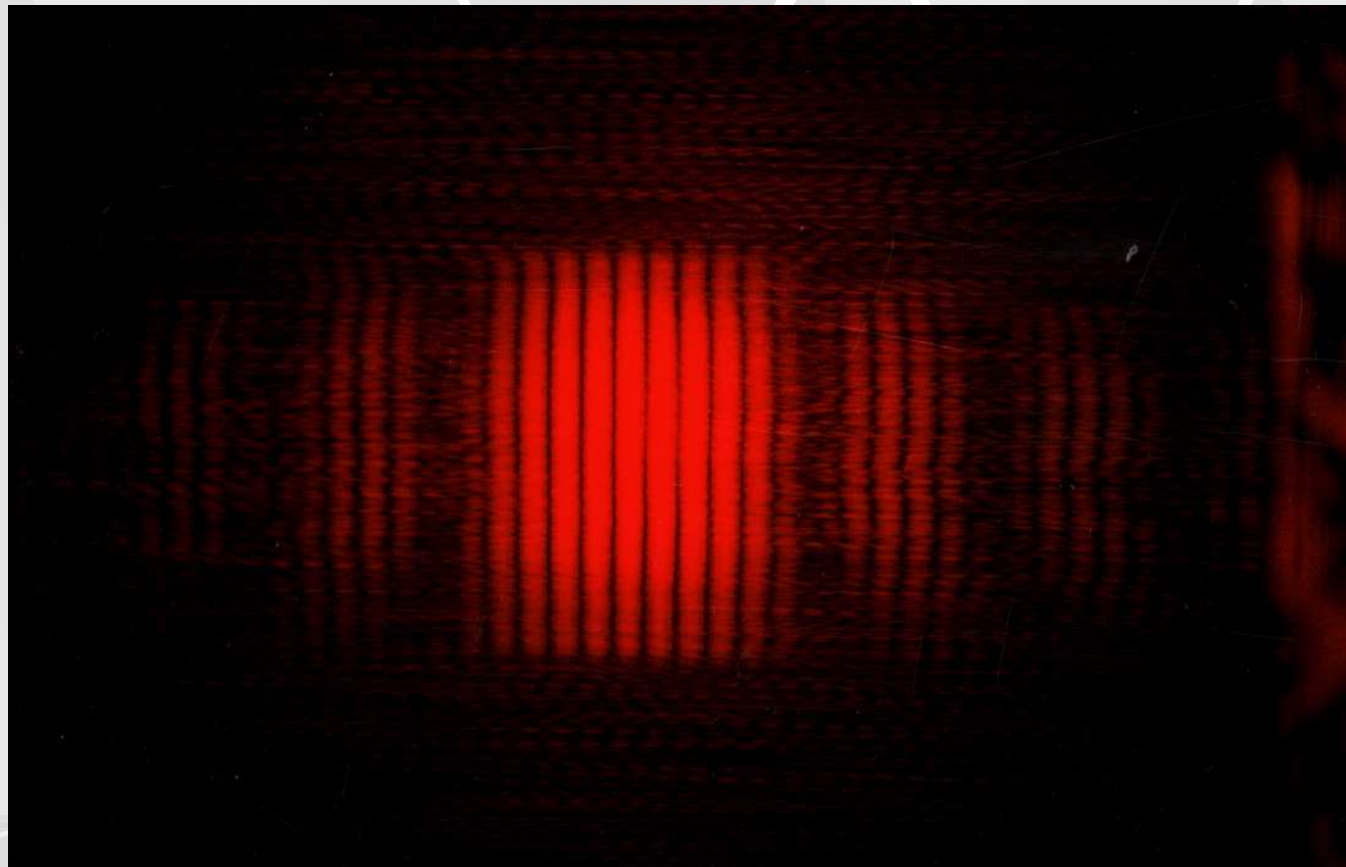
1925:Nasce la Meccanica Quantistica

- 1) La Meccanica Ondulatoria da parte di Schrödinger e di de Broglie
- 2) La Meccanica Matriciale da parte di Heisenberg, Dirac, Jordan.
- Fu Schrödinger a dimostrare, in seguito, che i due approcci sono equivalenti.

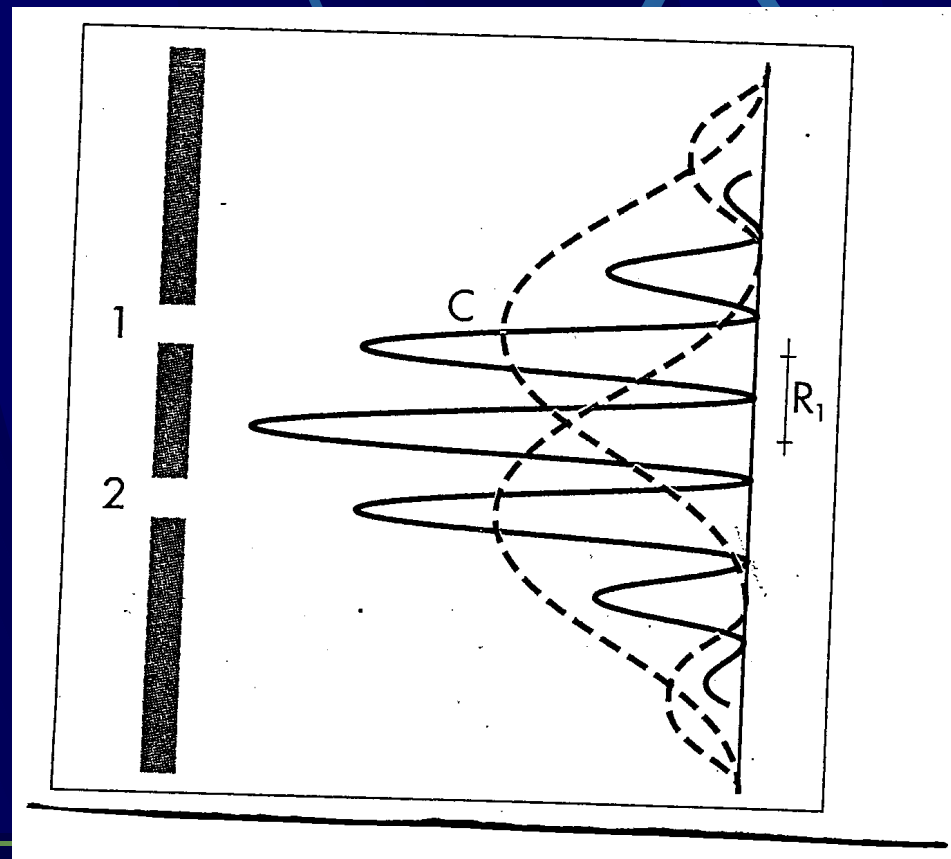
EQUAZIONE DI SCHRÖDINGER

$$-\frac{\hbar}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi$$

Doppia Fenditura : fenomeno di interferenza



Il Problema della doppia Fenditura



**Il quadrato della funzione
d'onda fu definito da Born nel
1927 come:**

**DENSITA' di
PROBABILITA'**

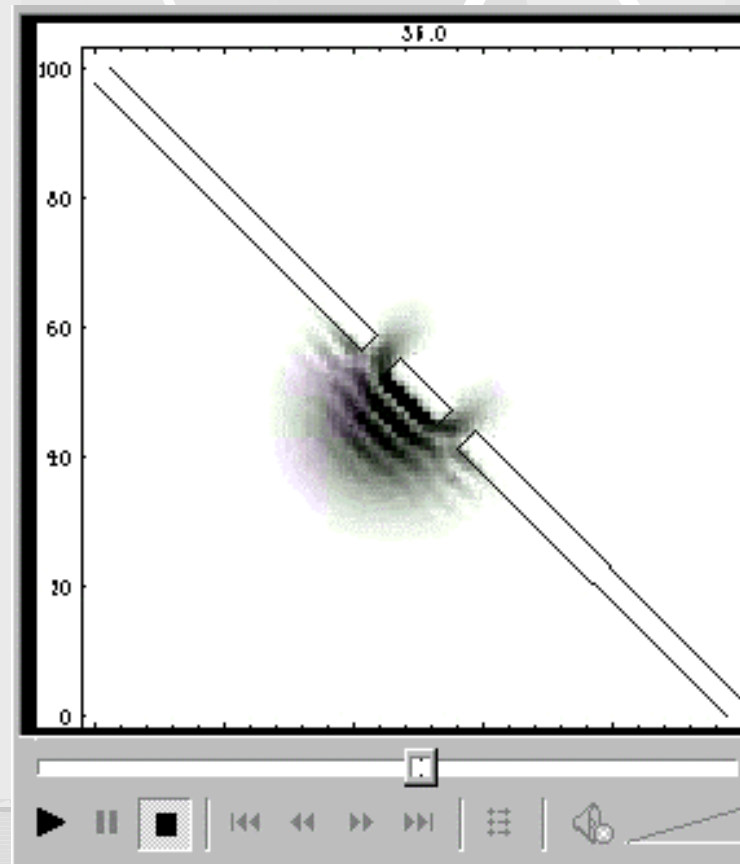
$$|\psi|^2$$

L'onda ψ associata ad una
particella fornisce punto per punto
e istante per istante un numero il
cui $|\psi|^2$ rappresenta la Probabilità
di trovare la particella in quel
punto

L'onda associata ad
una particella è
un' onda di
PROBABILITA' .

Essa contiene le
informazioni relative
alla posizione x più
probabile al tempo t

**L'onda associata all'elettrone
passa attraversando
contemporaneamente le 2
fenditure.**



Ogni fotone e ogni elettrone
interferisce con se stesso.

**“Ogni esperimento che
compriamo per risolvere la
natura corpuscolare
dell’elettrone distrugge il suo
aspetto ondulatorio
mentre, viceversa ogni
esperimento che ne riveli la
natura ondulatoria ci
impedisce di individuarlo
come particella.”**

PRINCIPIO DI COMPLEMENTARIETA'

Esistono fenomeni fisici i quali mostrano *aspetti complementari tra loro incompatibili* : un esperimento che permetta di osservare uno dei due aspetti complementari esclude la possibilità di evidenziarne l'altro.

BOHR

La linea di separazione fra il concetto di onda e quello di corpuscolo non risiede nell'oggetto stesso, ma nel procedimento da noi seguito per studiarlo

Principio di Indeterminazione di Heisenberg

- Assistente di Born lavorò nei centri di ricerca di Göttingen e Copenaghen.
- A 25 anni pubblicò il Principio di Indeterminazione.
- Nel 1932 gli fu assegnato il premio Nobel



PRINCIPIO di INDETERMINAZIONE di HEISENBERG



Maggiore è l'accuratezza nel
determinare la posizione di una
particella, minore è la precisione
con la quale si può accertarne la
velocità e viceversa.

Indeterminazione di Heisenberg

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Indeterminazione di Heisenberg

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

Il fatto che non si riesca a misurare la posizione e la velocità, non è dovuto alla nostra incapacità di avere strumenti adeguati o alla nostra ignoranza ma è un LIMITE della NATURA

**La particella allo stato
naturale non ha
OGGETTIVAMENTE una
posizione e una velocità.**

**La Meccanica Quantistica è
una teoria statistica : la sua
natura PROBABILISTICA non
è dovuta alla scarsa
conoscenza da parte
dell'osservatore ma è
INTRINSECA**

**Nel 1927 al Congresso
Solvay di Como fu
stabilita, da Bohr,
Heisenberg, Dirac, Pauli,
Jordan e molti altri.....**

**L'INTERPRETAZIONE DI
COPENAGHEN**

Kopenhagener Geist

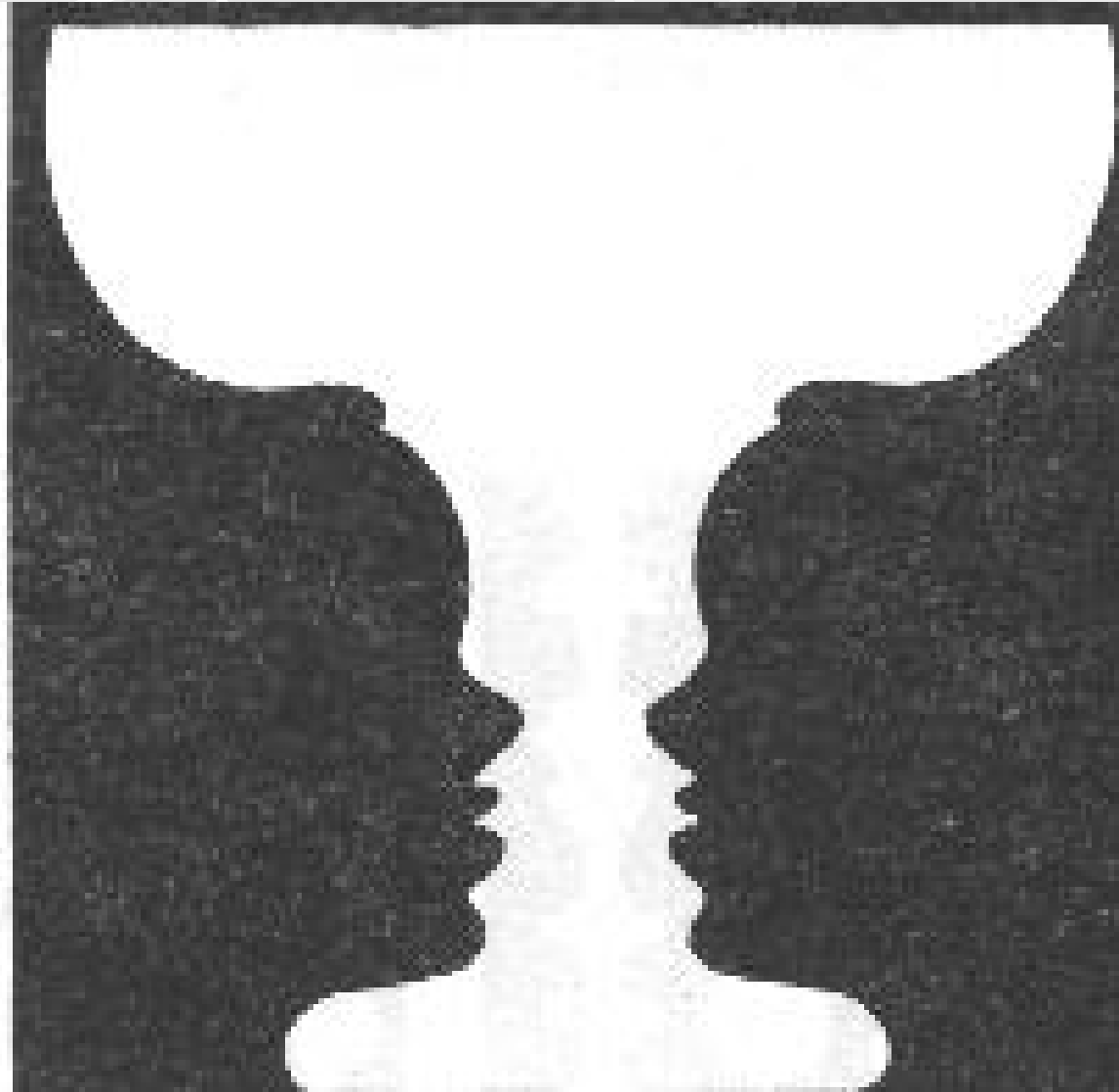
“spirito di Copenaghen”



- Principio di Indeterminazione
- Principio di Complementarietà
- Problema della misura

**Secondo l'Interpretazione
di Copenaghen quando
viene effettuata una
misurazione la ψ d'onda
“COLLASSA” portando ψ al
valore certo uguale a 1**

*Figure Gestaltiche: dal movimento psicologico
tedesco della GESTALT*



**E' l'atto della misurazione
che
“FORZA” il sistema ad
assumere dei valori fra quelli
possibili**

**Che cos'è dunque la
“realtà” per la fisica
quantistica?**

**“ L’atomo è una “cosa” o
è solo un’astrazione
immaginaria che ci
torna utile per una serie
di osservazioni? ”**

**La questione può essere
formulata nei seguenti termini:
esiste un oggetto
materiale(fisico)
indipendentemente dalla
presenza degli esseri
umani e dalle loro
osservazioni?**

Sul problema della realtà fisica BOHR si espresse così:
” E’ sbagliato pensare che lo scopo della fisica sia di scoprire come è fatta la natura. La fisica riguarda quello che noi possiamo dire circa la natura.”

Da una lettera di Einstein inviata a Born “Non posso sopportare il pensiero che un elettrone esposto ad un raggio di luce possa con sua propria e libera decisione scegliere il momento e la direzione in cui vuole saltare via. Se fosse così preferirei essere un calzolaio o un impiegato di una casa di gioco che un fisico.”



**Dibattito tra
BOHR-EINSTEIN**

**Secondo BOHR il
nebuloso mondo delle
particelle prende corpo
nella realtà concreta
solo quando lo si
osserva.**

La particella si
MATERIALIZZA solo quando
la si cerca; siamo noi che
ricerchiamo la posizione, la
traiettoria, ma non si può
avere l'una e l'altra :la
TEORIA dei QUANTI lo
NEGA.

**La “ REALTA’ ” a cui
l’osservazione da corpo non
è separabile
dall’osservatore e dalla
strategia di misurazione.**



***Credi veramente che
la Luna non sia lì
quando la stai
guardando ?***

Albert Einstein

EINSTEIN

«La meccanica quantistica è degna di ogni rispetto ma una voce interiore mi dice che **non è ancora la soluzione giusta**. È una teoria che ci dice molte cose, ma non ci fa penetrare a fondo il “segreto del Grande Vecchio”. In ogni caso sono convinto che questi **non gioca a dadi col mondo**».

Critiche alla Meccanica

Quantistica:

ESPERIMENTO EPR

dalle iniziali di :

EINSTEIN, PODOLSKY e

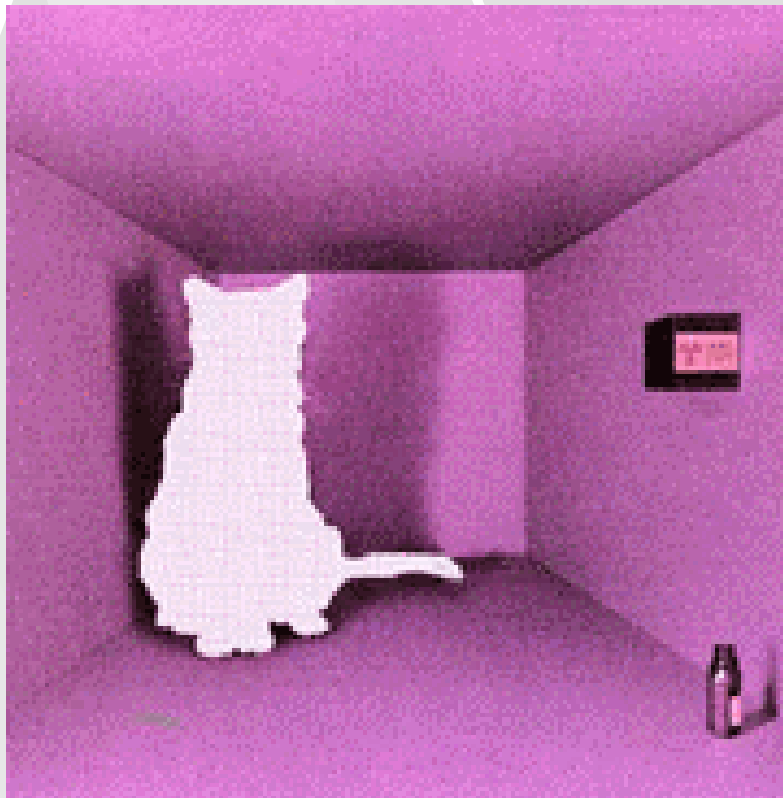
ROSEN nel 1935

Negli anni 60 il fisico BELL al CNR di Ginevra e poi nel 1982 a Parigi Alain ASPECT diedero ragione a BOHR e dimostrarono che il micromondo si regge sul principio di indeterminazione: eventi senza causa, realtà nota dall'osservazione: tutto ciò ha validità sperimentale

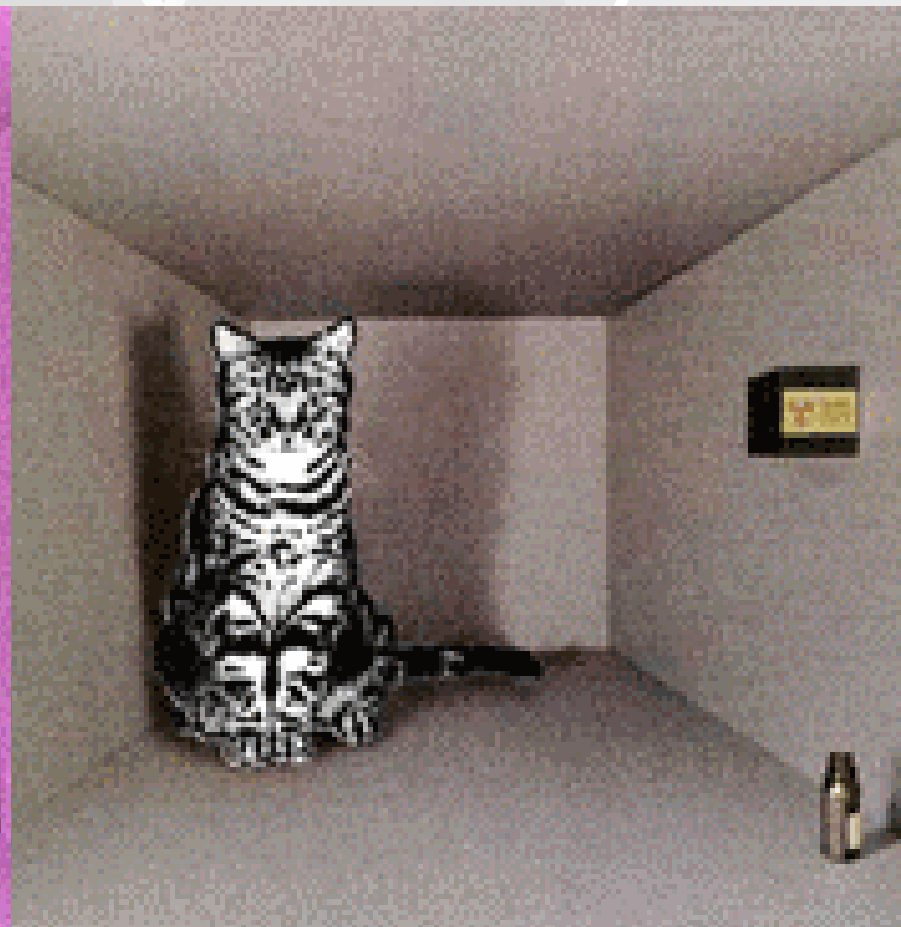
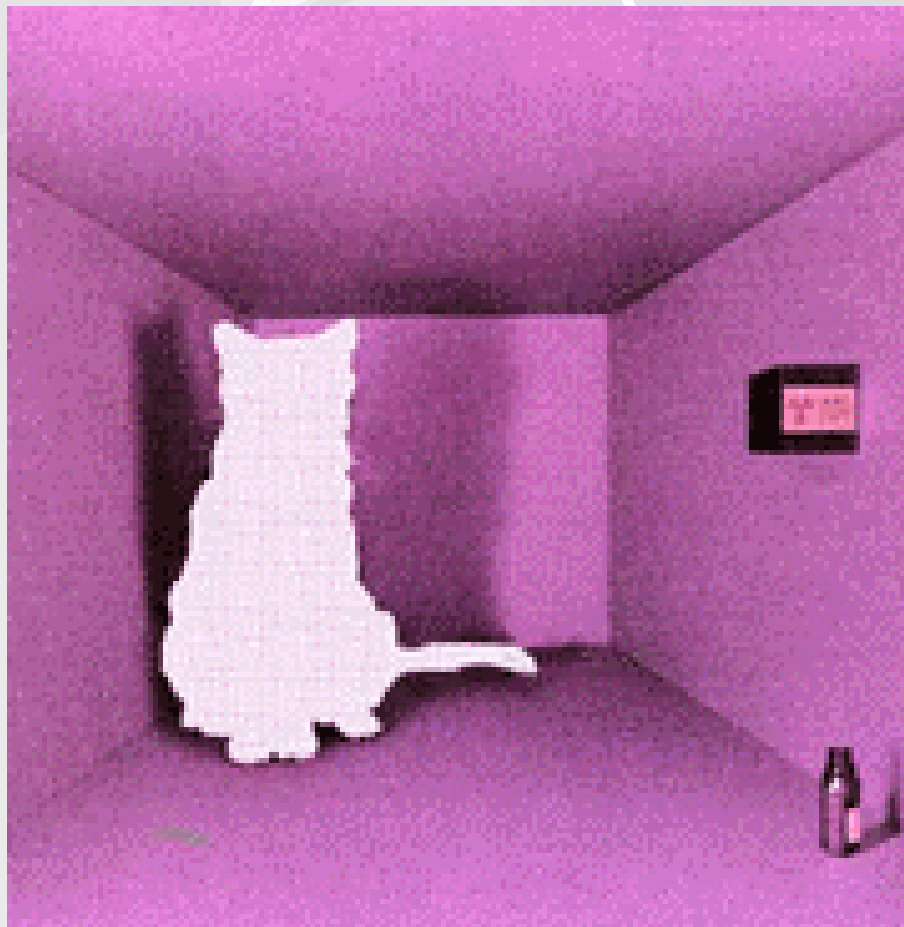
IL Gatto di Schrodinger

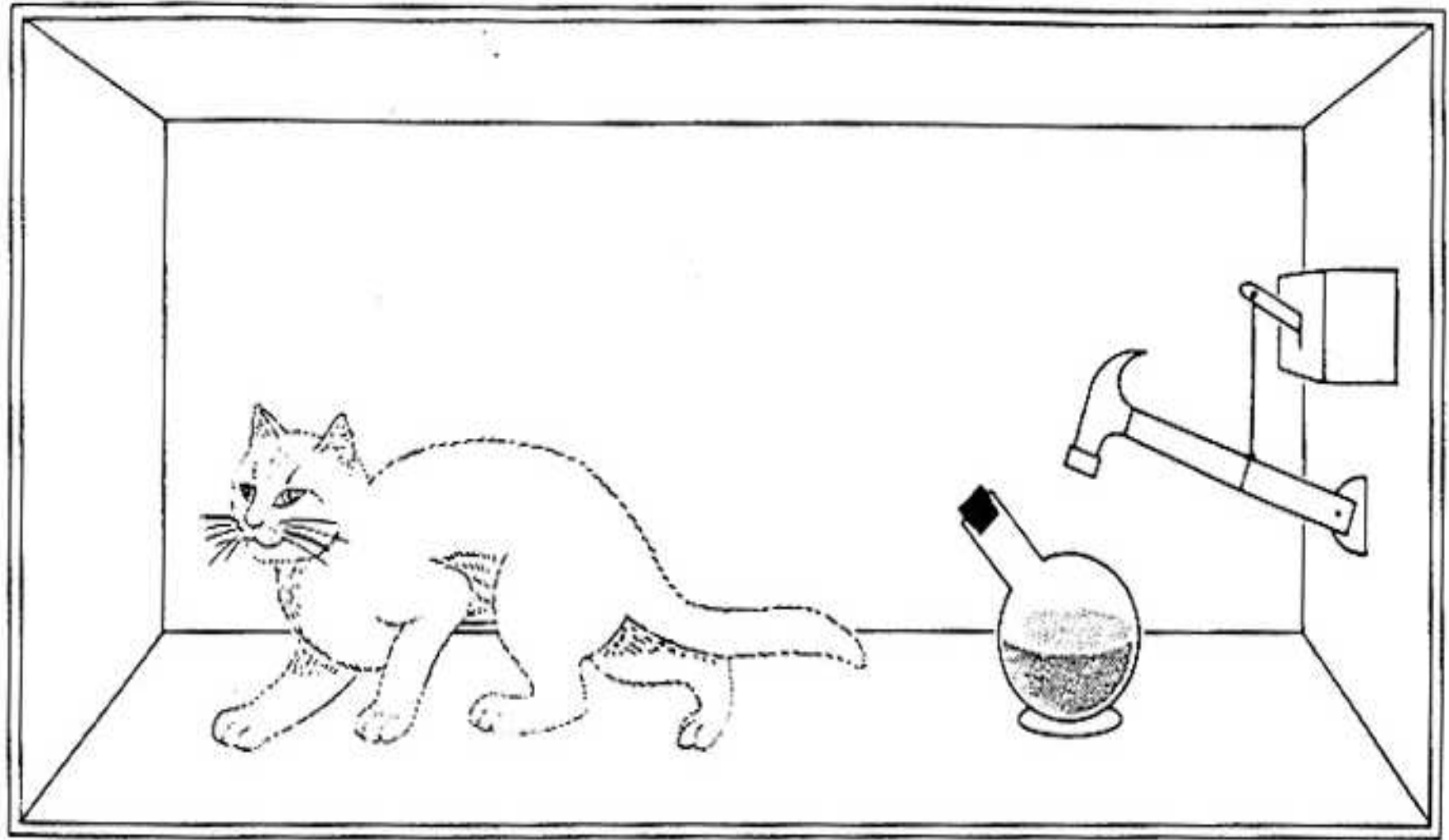


$$\psi = \psi_v + \psi_m$$



GATTO VIVO - GATTO MORTO





Il gatto di Schrödinger presenta un paradosso della meccanica quantistica

Von Neumann 1932



"Se volete visualizzare un quanto come un puntino allora siete in trappola. Lo state plasmando con la logica classica. Il punto è che non esiste alcuna rappresentazione classica di esso ..."

*E' l'atto di osservare a causare la
"scelta" di quel particolare valore.*

Ma quando si verifica il

"Collasso?"

***Che cosa causa il
“Collasso” ?***

***Deve essere un oggetto
di grandi dimensioni?***

***Oppure deve essere un
oggetto in grado di
osservare?***

*Come fa la natura a sapere quale dei
due sistemi è quello che misura e quello
che viene misurato, in modo da far
collassare quello da misurare e non
quello che misura?*

**Perché, quando si misura un
elettrone, collassa
l'elettrone e non
l'osservatore?**

Nulla nella fisica Quantistica spiega cosa accada realmente quando un sistema quantistico “collassa”.



Il collasso corrisponde a un cambiamento nello stato del sistema o corrisponde a un cambiamento della conoscenza che si ha di quel sistema ?

Forse la fisica Quantistica ci sta dicendo che la “ mente “ umana “ deve “ esistere affinché il resto dell’universo possa esistere a sua volta, altrimenti non ci sarebbe nessuno ad osservarlo e ciò resterebbe in eterno nel limbo delle possibilità.

**“ La Realtà è il contenuto
della nostra coscienza “**

scrive Eugene Winger

*Un'altra possibilità è quella di negare
che si verifichi il Collasso della
Funzione d'onda. Hugh Everett III*

Teoria a MOLTI-MONDI di Hugh
Everett III nel 1956

E SE AVETE DOMANDE

DA FARE.....

TENETEVELE!!!!!!!