

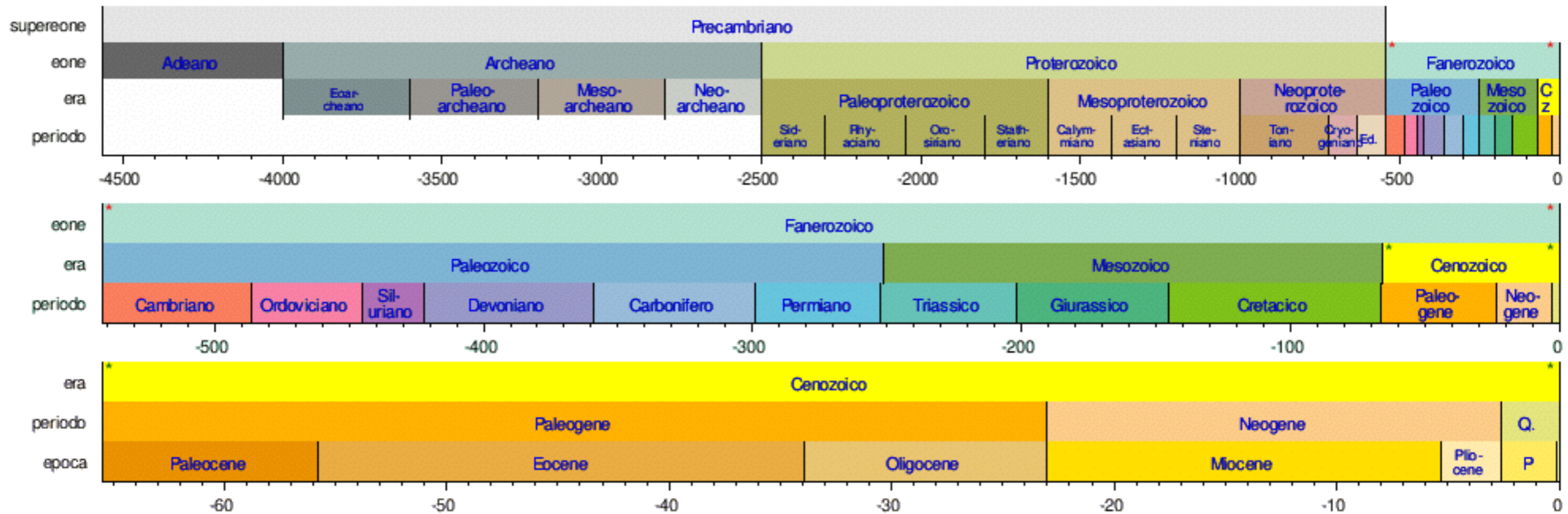
Un viaggio nel mondo quantistico

Nino Zanghi
Dipartimento di Fisica
Università di Genova

Incomincia il viaggio

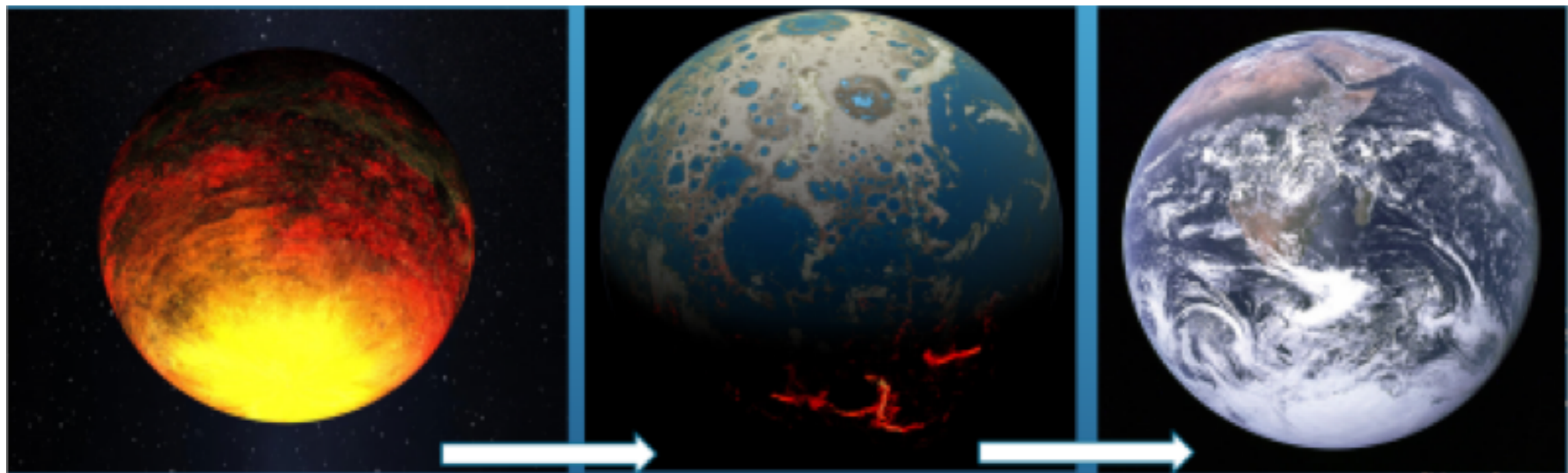


L'età della Terra



- dopo 10 milioni di anni formazione del mantello
- vita dopo circa 500-700 milioni di anni (stromatoliti, unicellulari)
- esseri pluricellulari circa un miliardo di anni fa)

L'età della Terra:
(modello di Kelvin, 1893-97)
100-20 milioni di anni



L'età della Terra: (modello di Kelvin, 1893-97) **100-20 milioni di anni**



- Legge di conduzione del calore:
flusso di calore proporzionale alla differenza di temperatura
- + conservazione energia \rightarrow equazione differenziale alle derivate parziali per la temperatura funzione del tempo e dello spazio

Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768–1830)

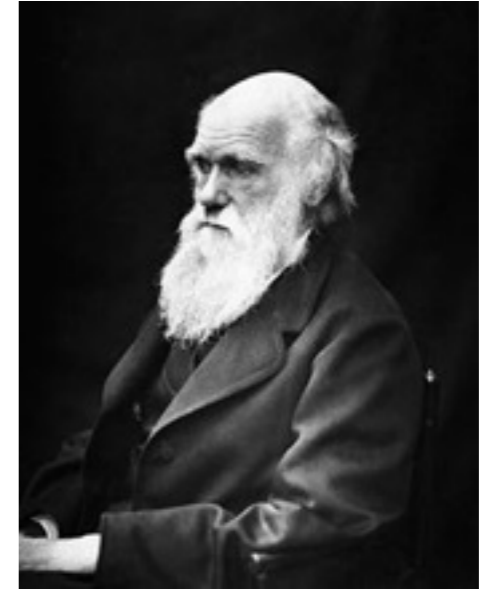
- temperatura di fusione delle rocce (noto)
- gradiente di temperatura alla superficie (misurato nelle miniere profonde)
- si trascura il tempo richiesto per la formazione del mantello

Non compatibile con la storia
geologica e biologica della terra !!!
(anche alla luce dei dati di fine 800)

Chi ha ragione?



William Thomson, Lord Kelvin (1824 – 1907)



Charles Darwin (1809 – 1882)

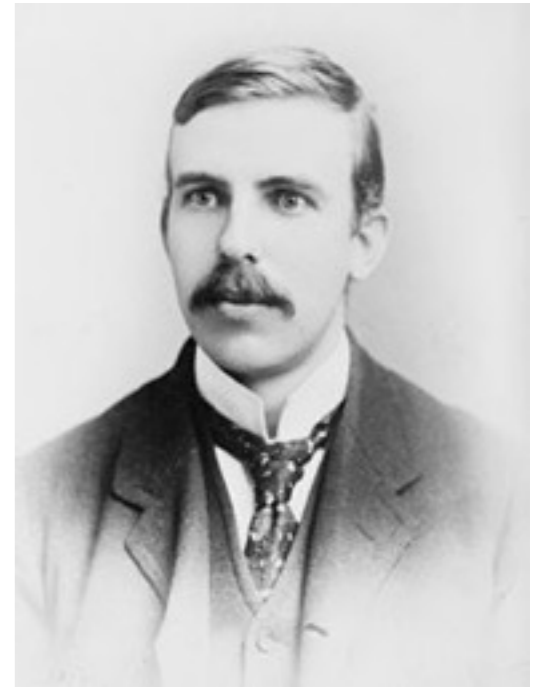


- Ovviamente, Darwin
- Ma perché?
- Ci sono difetti nel modello di Kelvin?
- No, il modello tiene conto in maniera estremamente accurata delle leggi fondamentali della **fisica classica**

E allora dov'è l'errore?
Che cosa manca?

La fisica quantistica !

In particolare, la radioattività



Ernest Rutherford, (1871 – 1937)

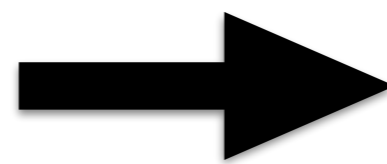
“I came into the room which was half-dark and presently spotted Lord Kelvin in the audience, and realised that I was in for trouble at the last part of my speech dealing with the age of the Earth, where my views conflicted with his. To my relief, Kelvin fell fast asleep, but as I came to the important point, I saw the old bird sit up, open an eye and cock a baleful glance at me. Then a sudden inspiration came, and I said Lord Kelvin had limited the age of the Earth, provided no new source [of heat] was discovered. That prophetic utterance referred to what we are now considering tonight, **radium!** Behold! The old boy beamed upon me.”

“Radioactivity is shown to be accompanied by chemical changes in which new types of matter are being continually produced. ... The conclusion is drawn that these chemical changes must be sub-atomic in character.”

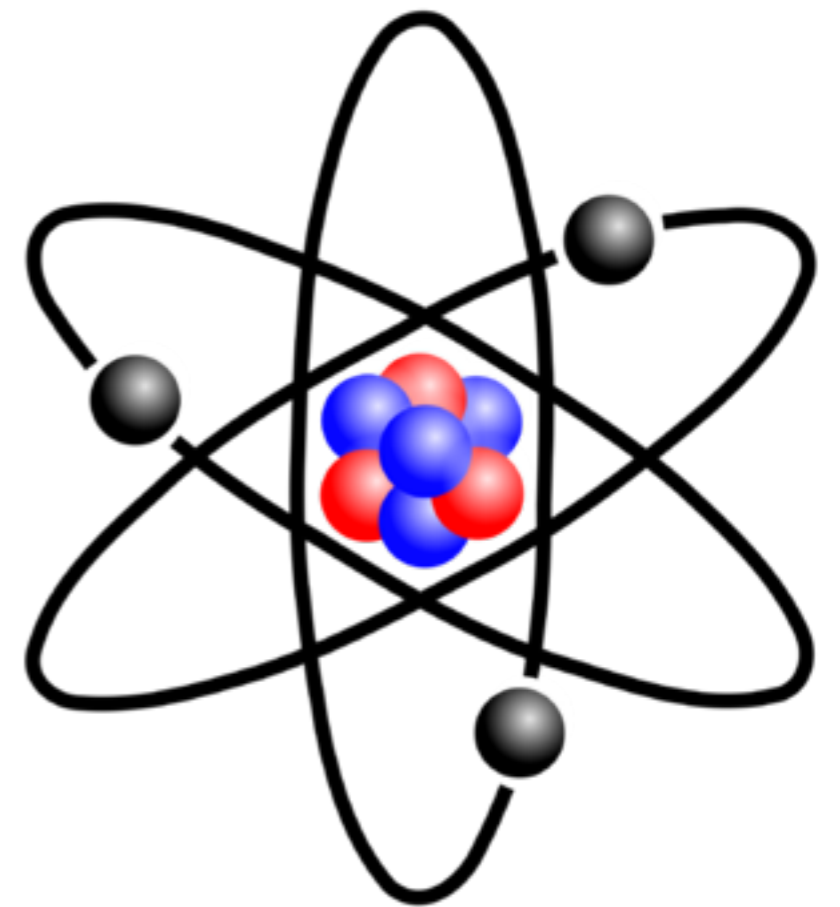
La nuova meccanica dei costituenti sub-atomici



Sistema solare



NO!



Atomo

La nuova meccanica

Equazione di
Newton

$$\cancel{a = \frac{F}{m}}$$

Relazione di
de Broglie
(1924)

$$v = \frac{h}{m\lambda}$$



Louis de Broglie (1892 – 1987)

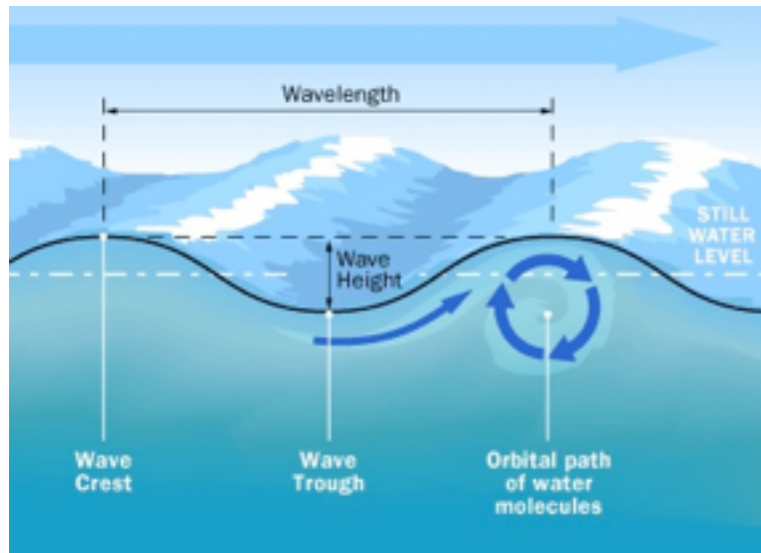
La nuova meccanica dei costituenti sub-atomici

- Esistono delle onde Ψ che governano il movimento delle particelle materiali (ad esempio, un elettrone)
- Se λ è la lunghezza d'onda dell'onda Ψ e m la massa della particella, allora la particella si muove con velocità

$$v = \frac{h}{m\lambda} = \frac{h/\lambda}{m}$$

- h è la costante di Planck ($= 6.62607004 \times 10^{-34} \text{m}^2\text{kg/s}$)
- massa dell'elettrone $= 9.10938356 \times 10^{-31} \text{kg}$

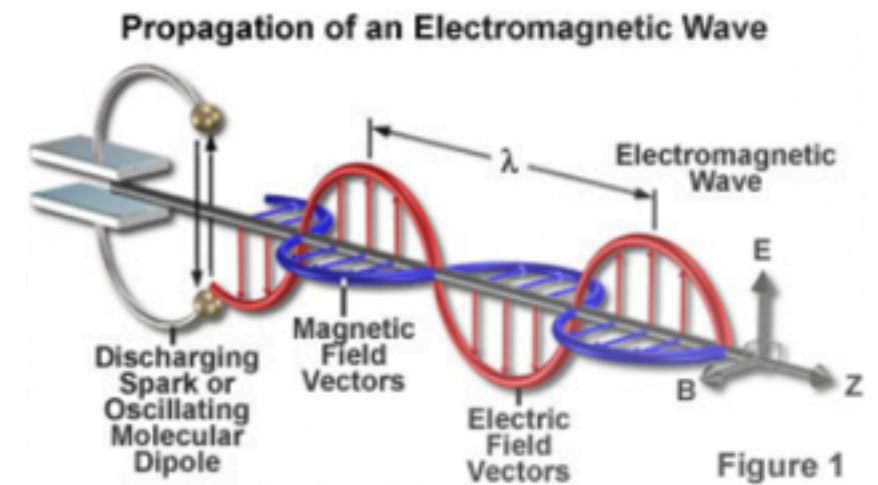
Onde



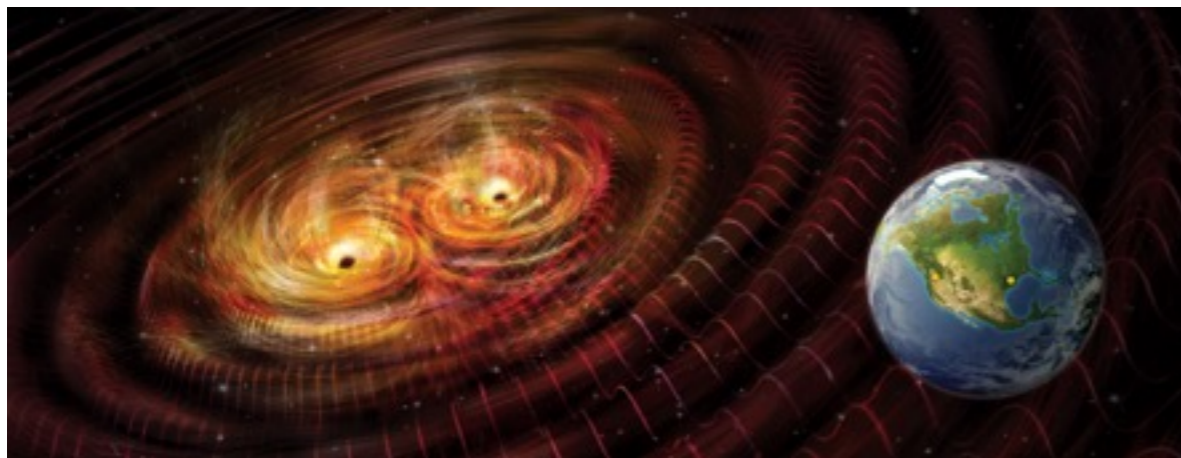
z



p

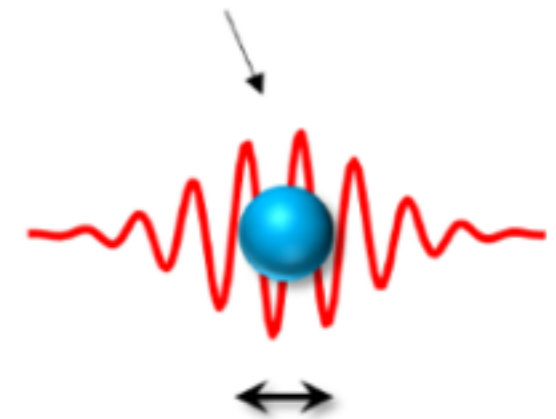


E, B



g

Electron, neutron, atom...



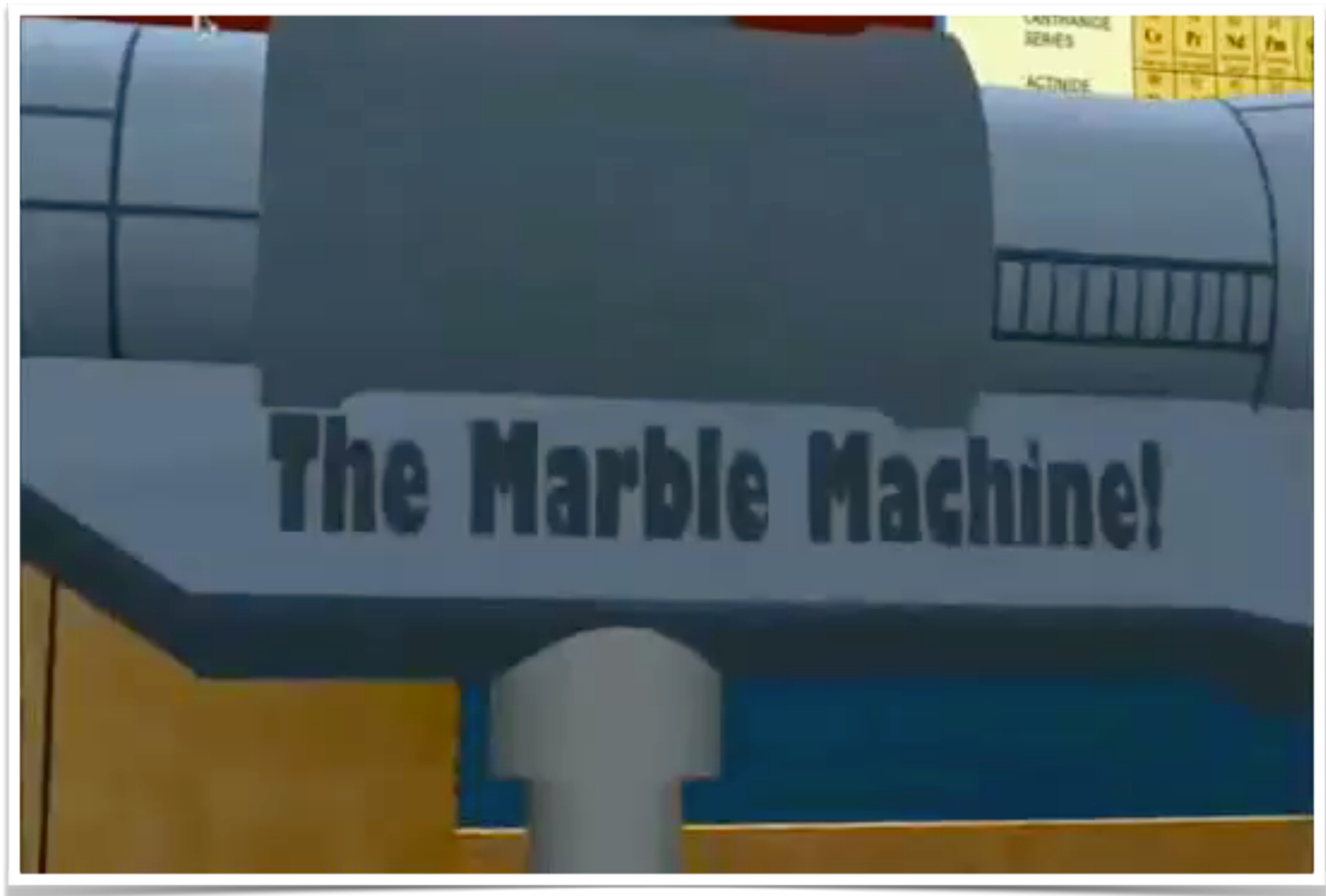
Ψ

Fisica diversa, ma stessa matematica!

Interferenza



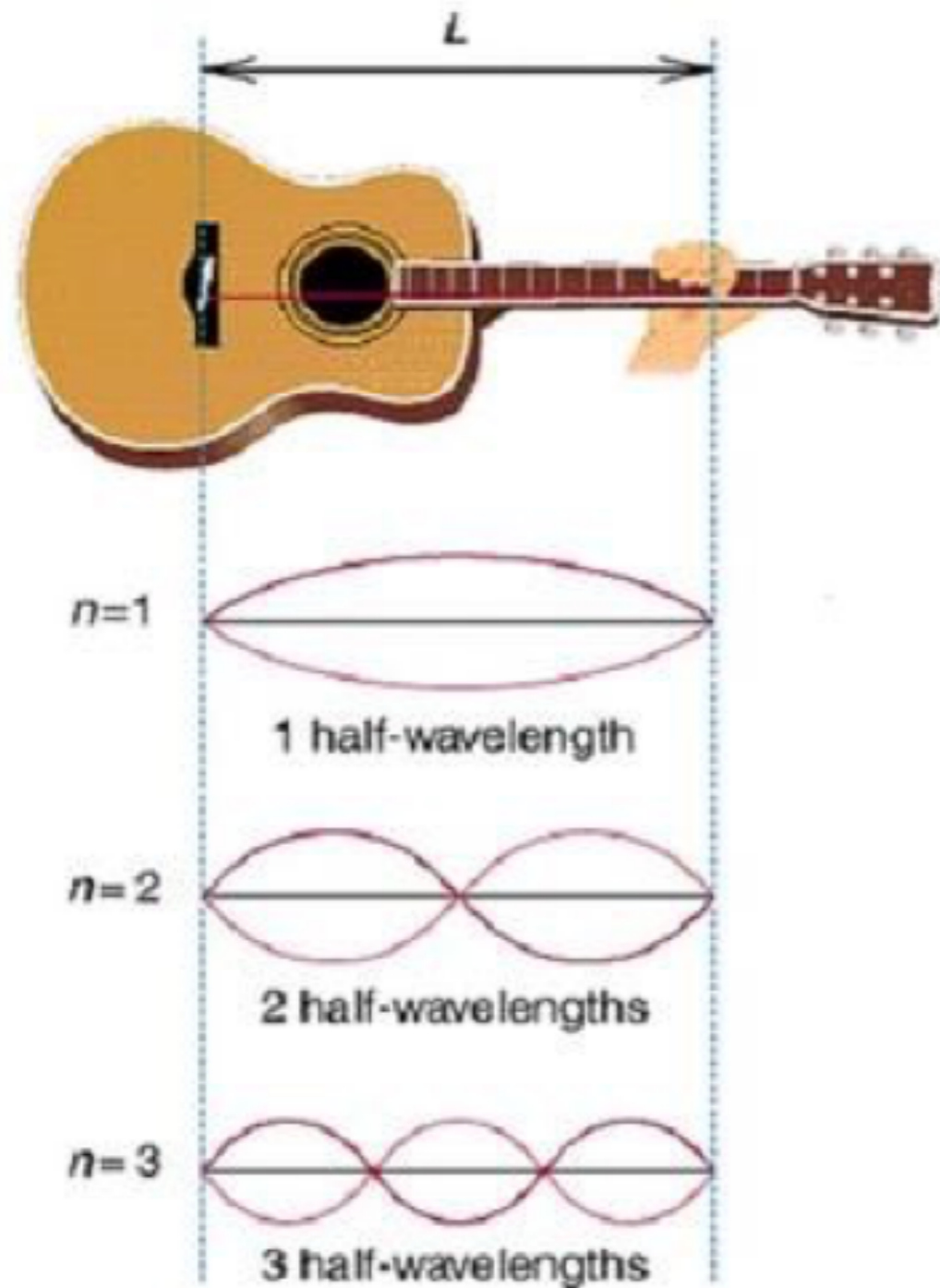
Esperimento delle due fenditure



Onde e particelle

- Se Ψ_1 e Ψ_2 sono onde anche $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$ è un'onda (principio di sovrapposizione)
- Ψ soddisfa l'equazione di Schrödinger (1926)
- $|\Psi(\mathbf{r})|^2$ è la (densità di) probabilità di trovare la particella nel punto \mathbf{r} (Born, 1926)

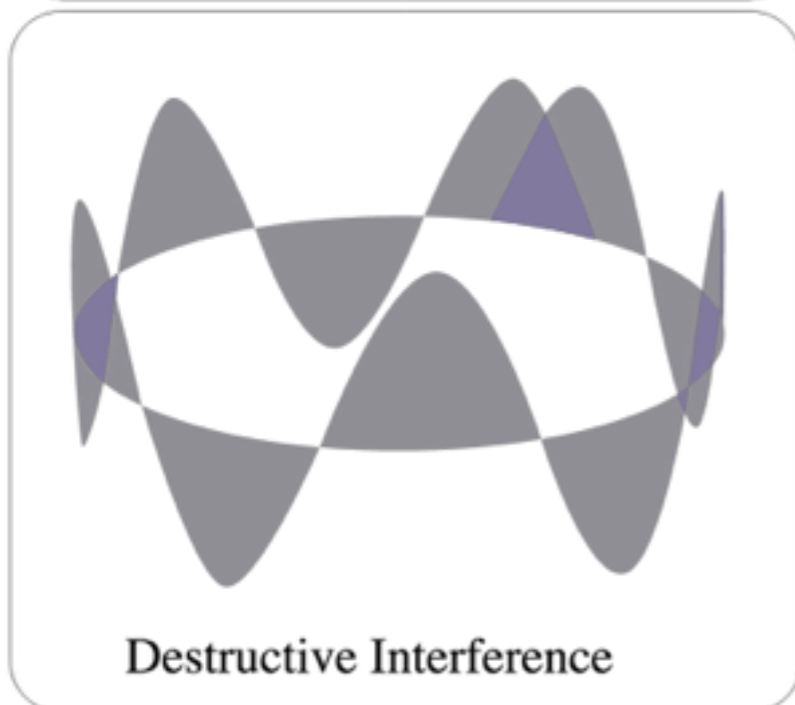
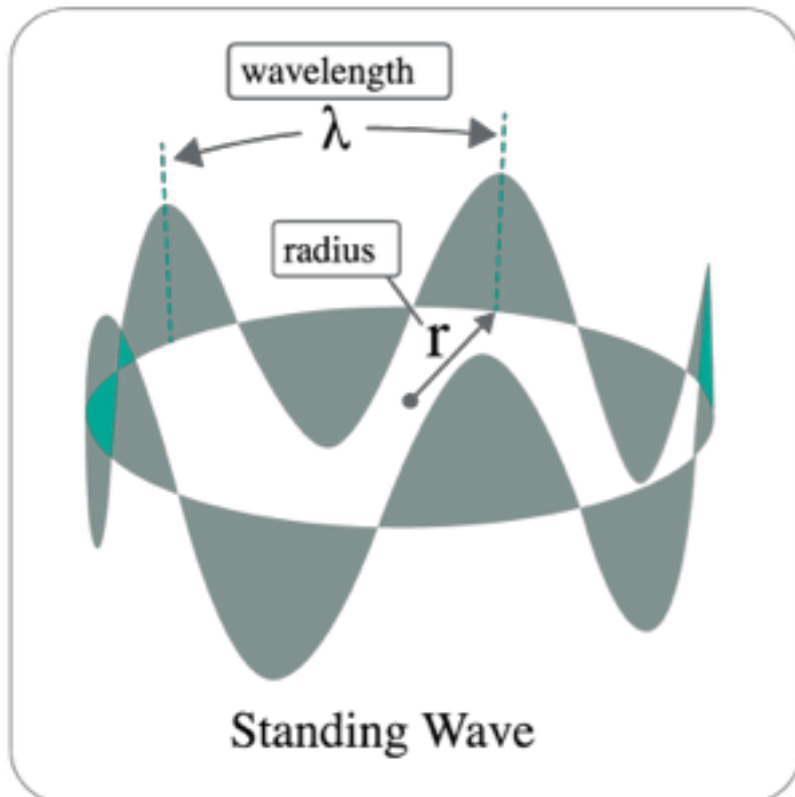
Onde stazionarie



$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\lambda = \lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Spiegazione del modello di Bohr dell'atomo



$$2\pi r = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

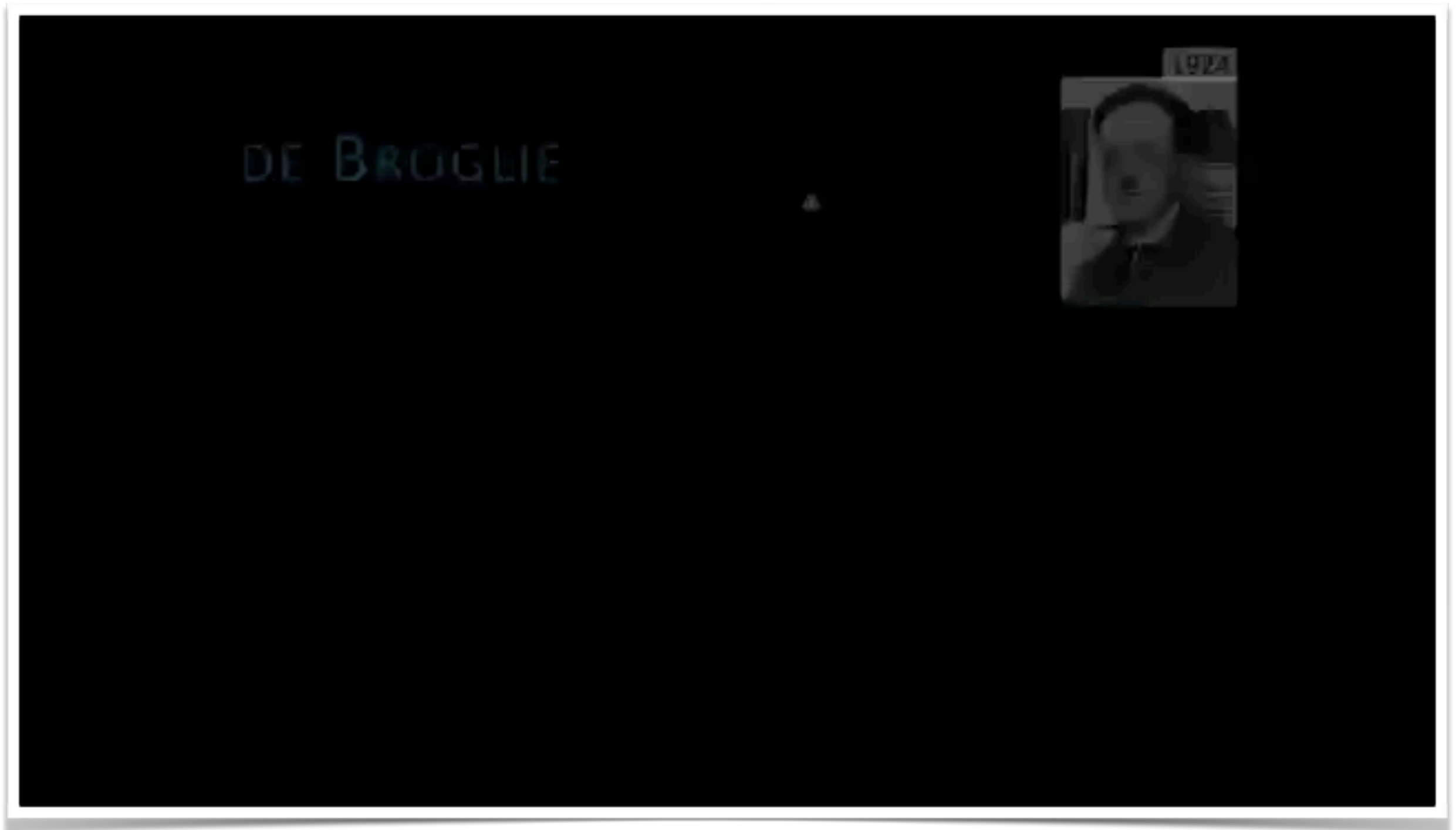
$$\lambda = \frac{h}{mv}$$



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

(Condizione di quantizzazione di Bohr del momento angolare)

Spiegazione del modello di Bohr dell'atomo



Orbitali (conseguenza dall'equazione di Schrödinger)

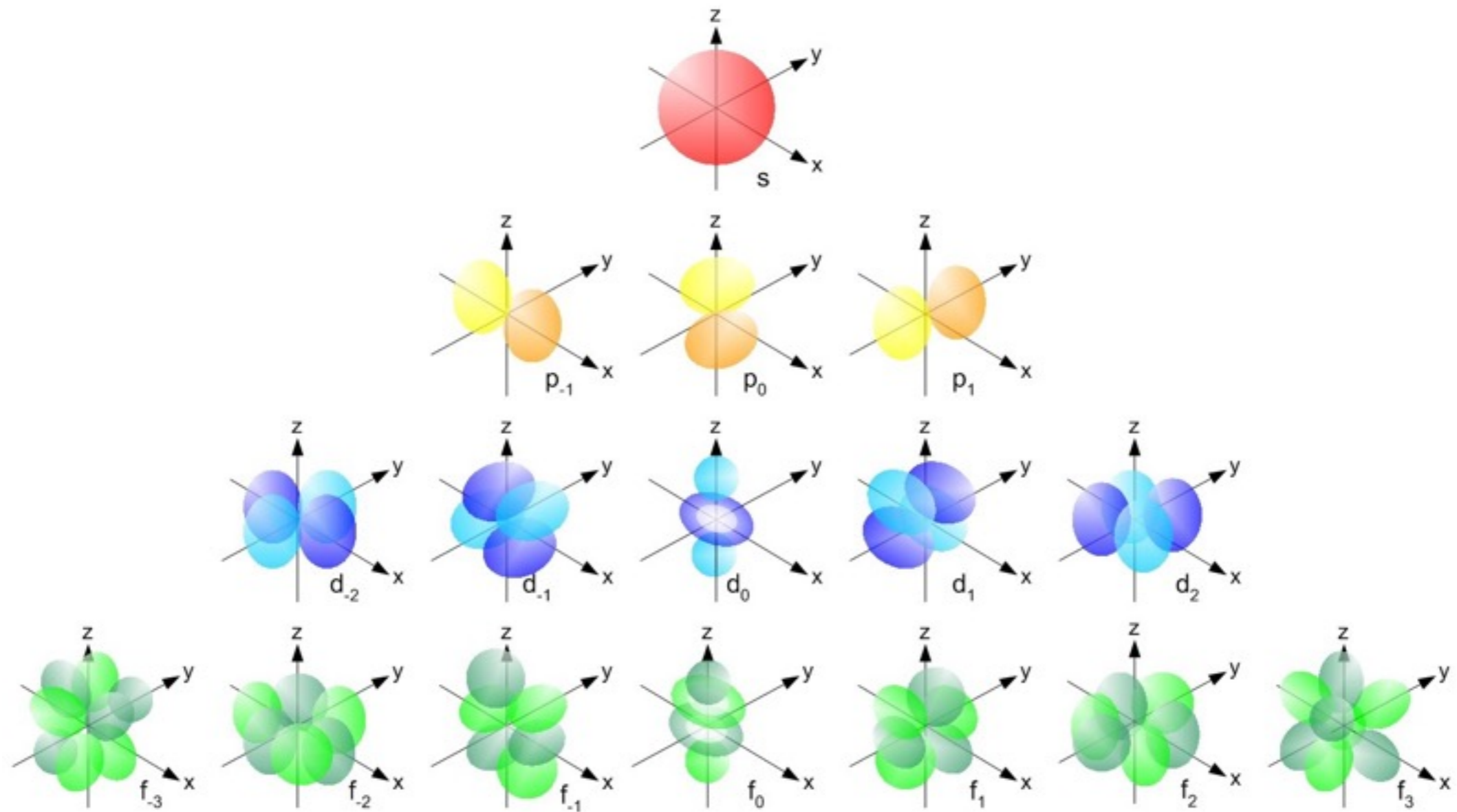


Tavola periodica

Periodic Table of the Elements

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.732	32 Ge Germanium 72.631	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 84.798
37 Rb Rubidium 84.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.711	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.294
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.328	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.085	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [208.982]	85 At Astatine 209.987	86 Rn Radon 222.018
87 Fr Francium 223.020	88 Ra Radium 226.025	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Nh Nihonium unknown	114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium unknown	116 Lv Livermorium [298]	117 Ts Tennessine unknown	118 Og Oganesson unknown

57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.243	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.055	71 Lu Lutetium 174.967
89 Ac Actinium 227.028	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.095	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.101	103 Lr Lawrencium [262]

Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetal	Nonmetal	Halogen	Noble Gas	Lanthanide	Actinide
--------------	----------------	------------------	-------------	-----------	----------	---------	-----------	------------	----------

Il groviglio quantistico (quantum entanglement)

- elettrone A
- elettrone B
- elettrone A + elettrone B

$$\Psi_{AB}(\mathbf{r}_A, \mathbf{r}_B)$$

NON

$$\cancel{\Psi_A(\mathbf{r}_A) + \Psi_B(\mathbf{r}_B)}$$

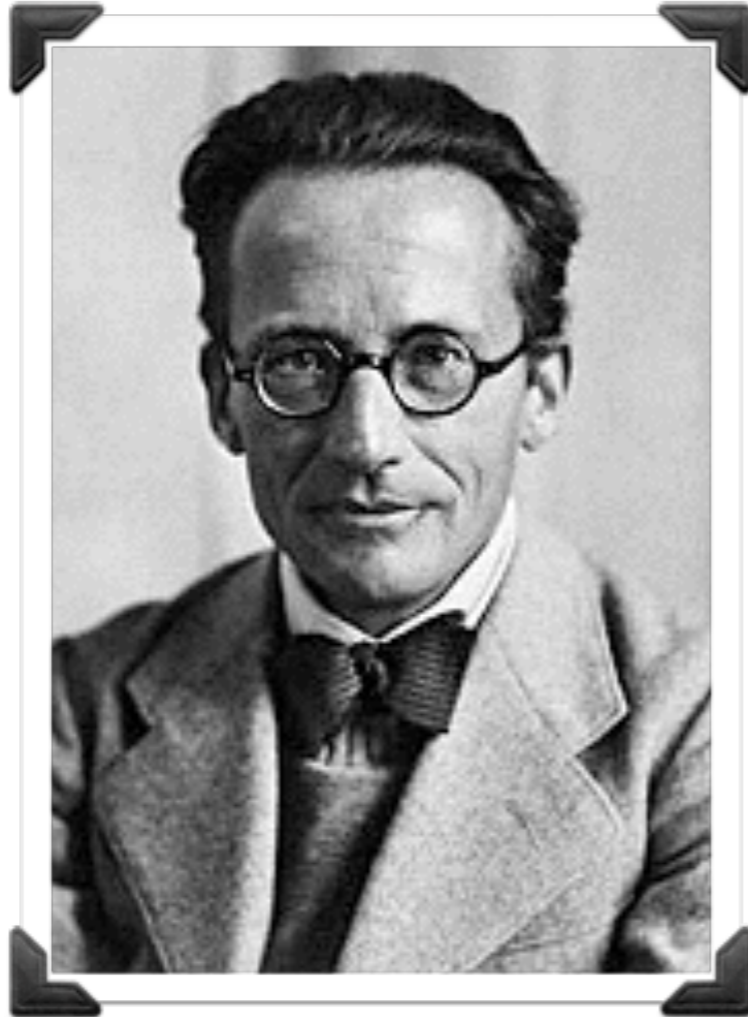
Il groviglio quantistico (quantum entanglement)

- Superconduttività
- Superfluidità
- ...
- Computer quantistici
- ...

Il gatto di Schrödinger



Il gatto di Schrödinger

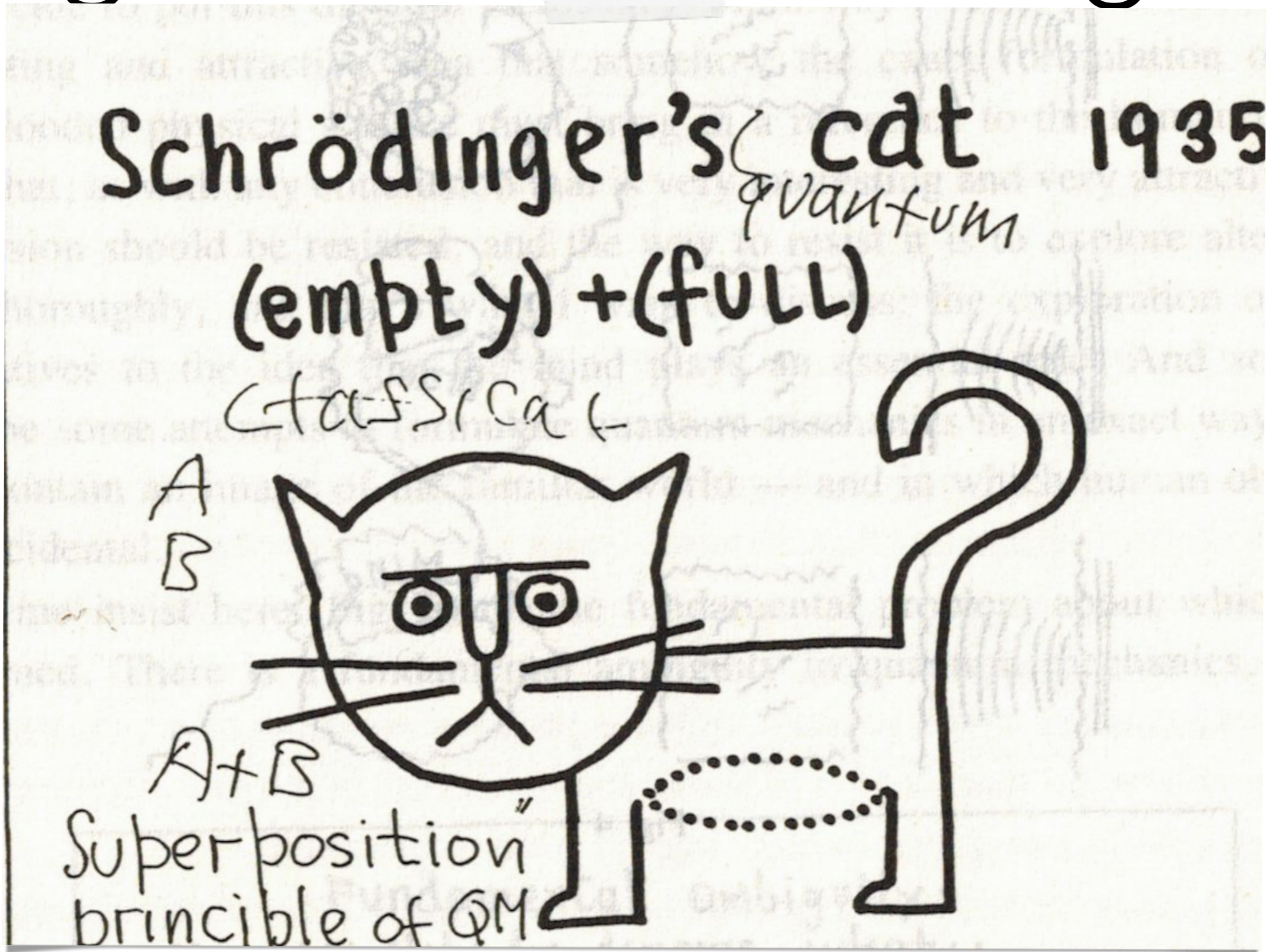


Erwin Schrödinger
(1887 – 1961)

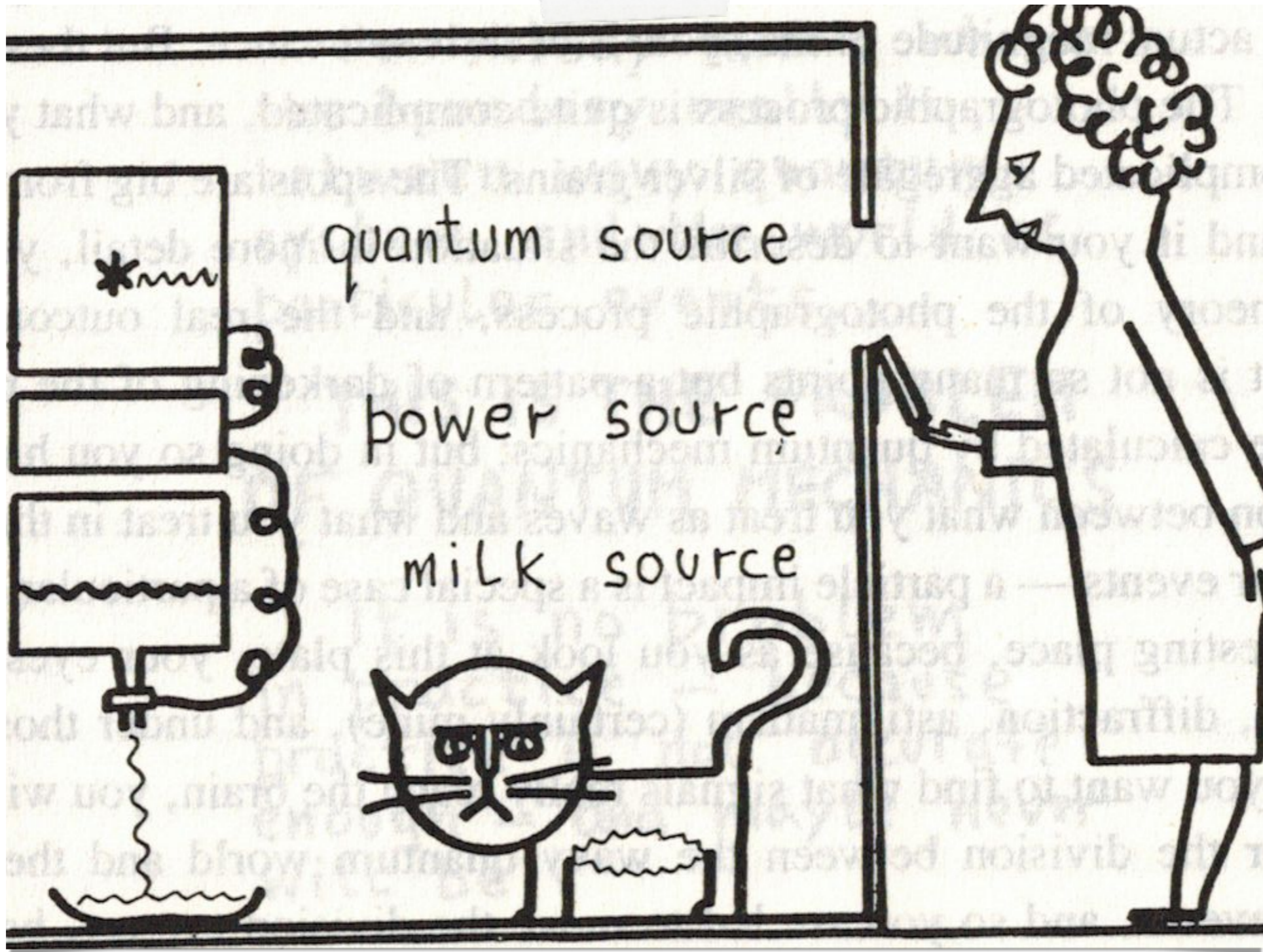
Alla scala macroscopica
non vale il principio di
sovrapposizione

- Ψ_1 OK
- Ψ_2 OK
- $\Psi_1 + \Psi_2$ **NON OK!**

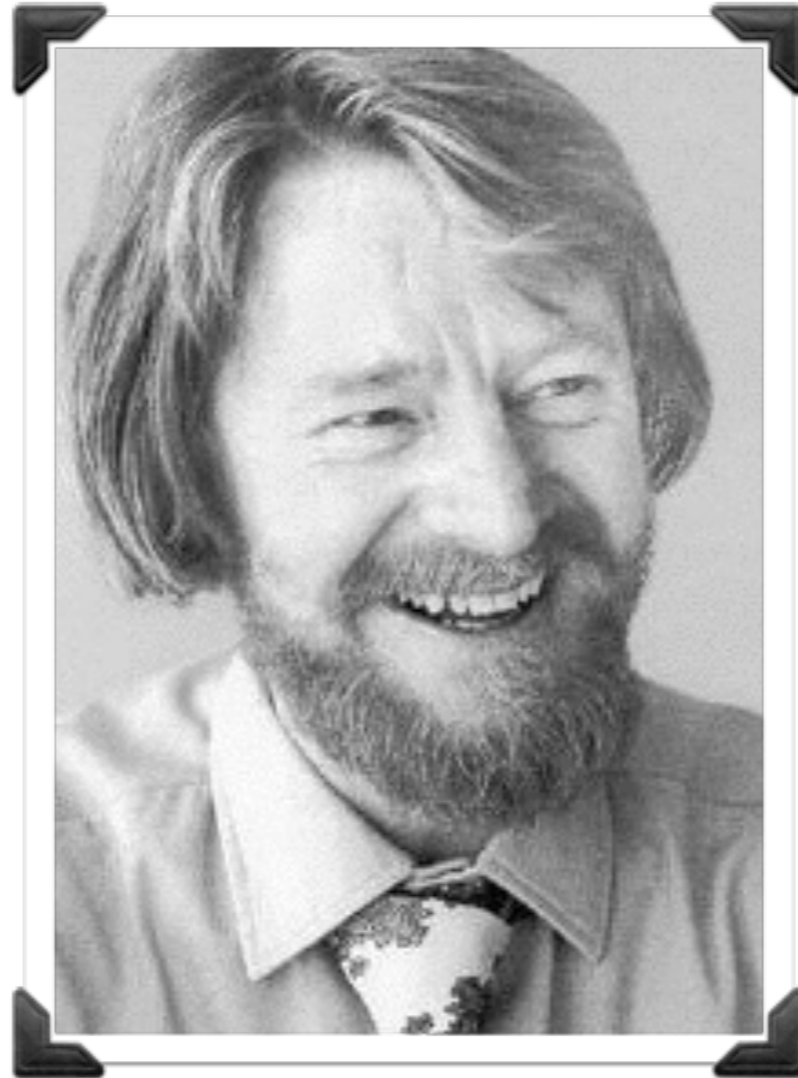
Il gatto di Schrödinger



Il gatto di Schrödinger



Il gatto di Schrödinger



John Stewart Bell
(1928 - 1990)

- L'età della Terra
- Onde
 - Interferenza
 - L'esperimento di Young
- Onde e particelle:
la funzione d'onda e la relazione di de Broglie
- La coerenza quantistica
 - Superconduttori e superfluidi
- Il gatto di Schrödinger