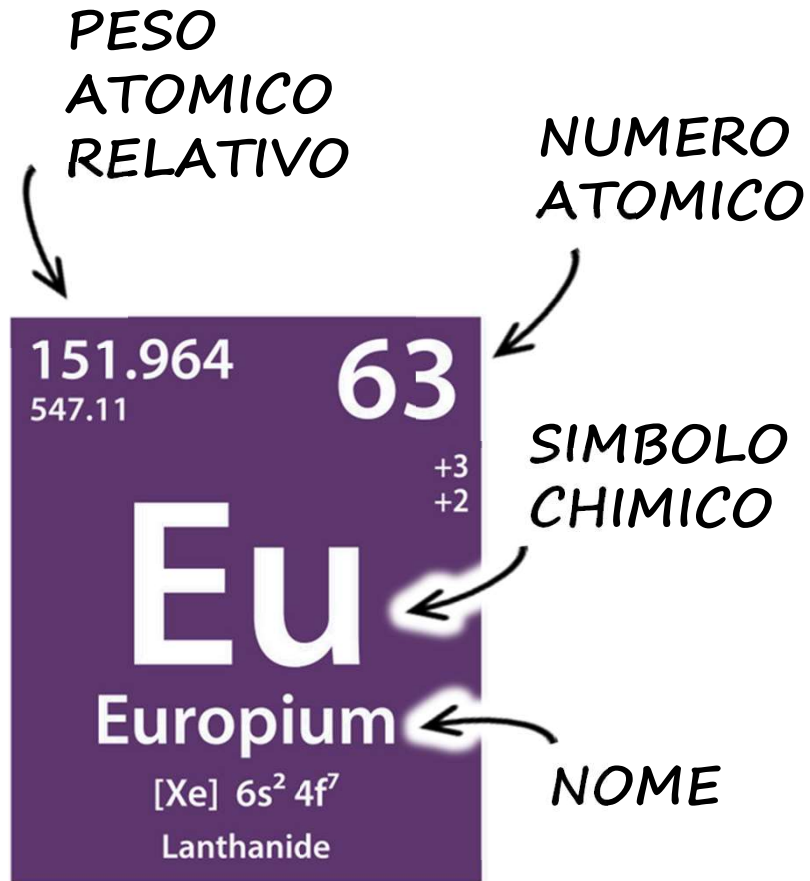
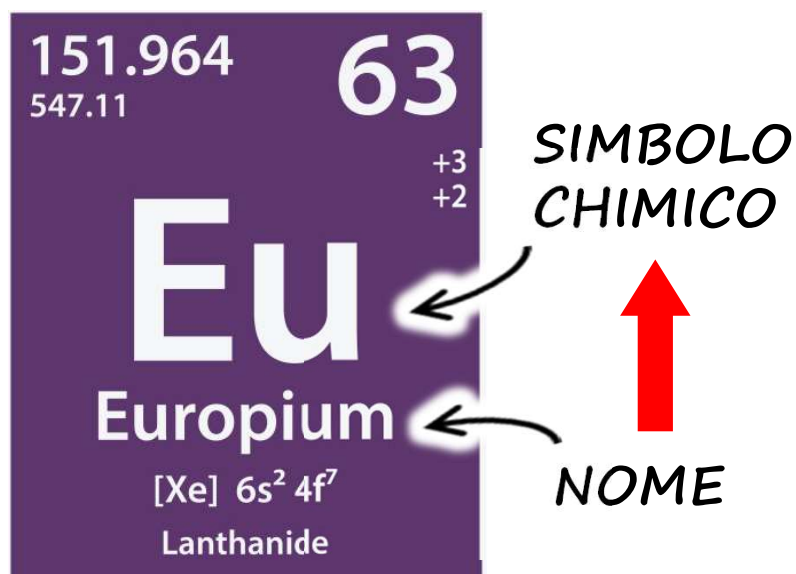




informazioni (minime) associate ad un
elemento nella tavola periodica

nomi e simboli degli elementi



derivano dai nomi degli elementi:

- prima lettera maiuscola, seconda lettera minuscola;
- se il simbolo esiste già, allora si prende la lettera successiva

es. Calcio – **Ca**
Cadmio – **Cd**

*molte
eccezioni*

simboli non collegati al nome (italiano):

H (hydrogen), **N** (nitrogenum), **P** (phosphorus),
S (sulfur), **Cu** (cuprum), **Au** (aurum), **K** (kallium),
Na (natrium), **W** (wolfram), **Hg** (hydrargyrum)

nomi e simboli degli elementi



Ultimi elementi scoperti *(creati!)*

- 2006 – Oganesson (Og)
- 2009 – Tennessine (Ts)
- 2009 - Copernicium (Cn)



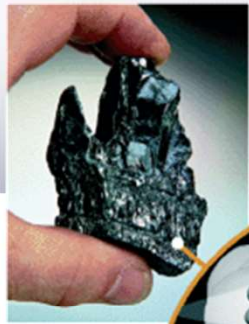
*altamente radioattivo
tempo di emivita 28 secondi*

La chimica oggi: struttura $\rightleftharpoons$ proprietà

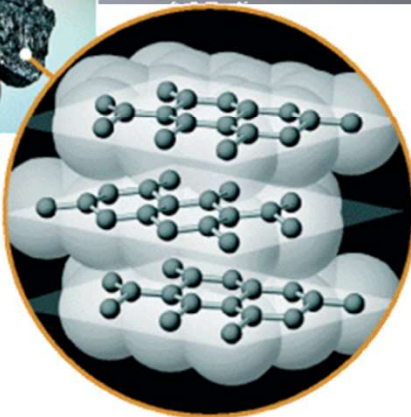


C

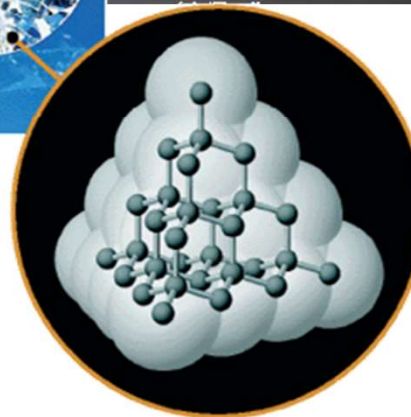
carbonio



Charles D. Winters



(a) Grafite



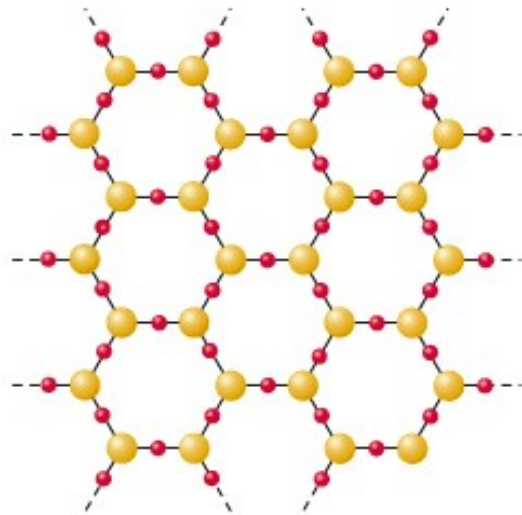
(b) Diamante

«ordine» e proprietà: quarzo e vetro



Cristallo di quarzo

struttura
ordinata

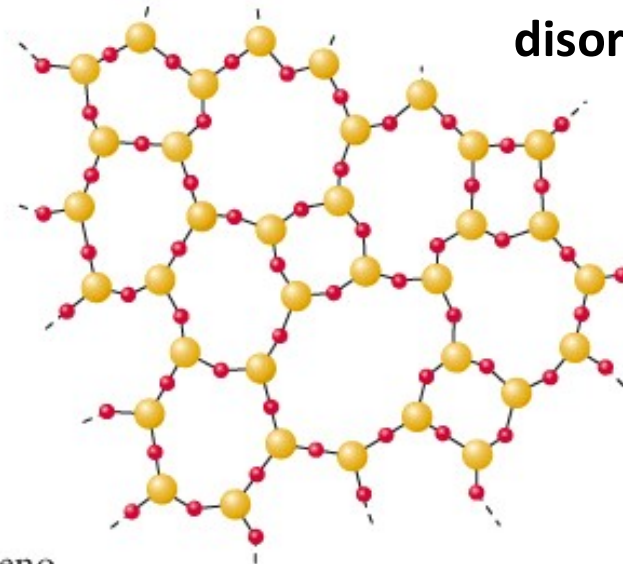


SiO₂ cristallino



Vetro

struttura
disordinata

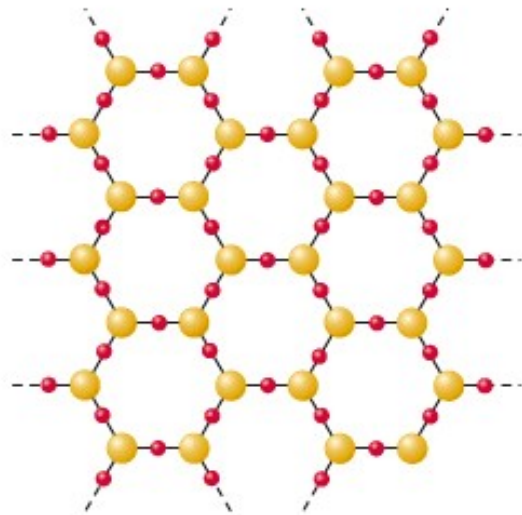


SiO₂ amorfo

● Ossigeno
● Silicio



Cristallo di quarzo



SiO₂ cristallino

● Ossigeno
● Silicio

silicio

ossigeno



formula
chimica

2 atomi
di ossigeno

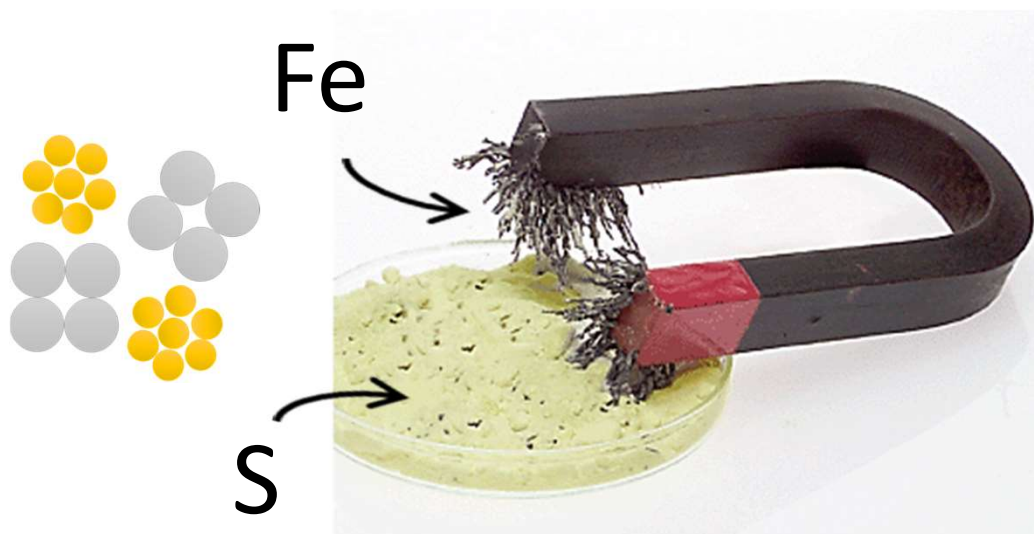
sistema
chimicamente
eterogeneo

ferro (1 parte)
zolfo (2 parti)

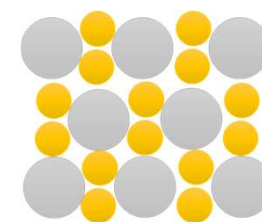
sistema
chimicamente
omogeneo

Fe, 2S

FeS_2 formula
chimica

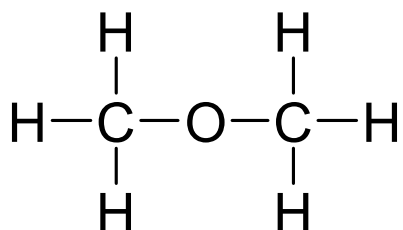
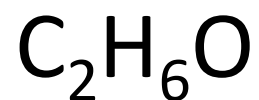


miscela

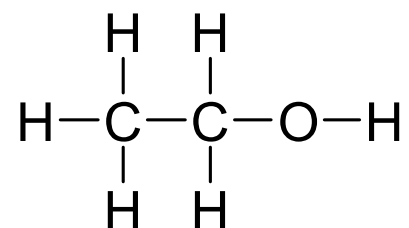


composto

diversa struttura, diverso sapore...



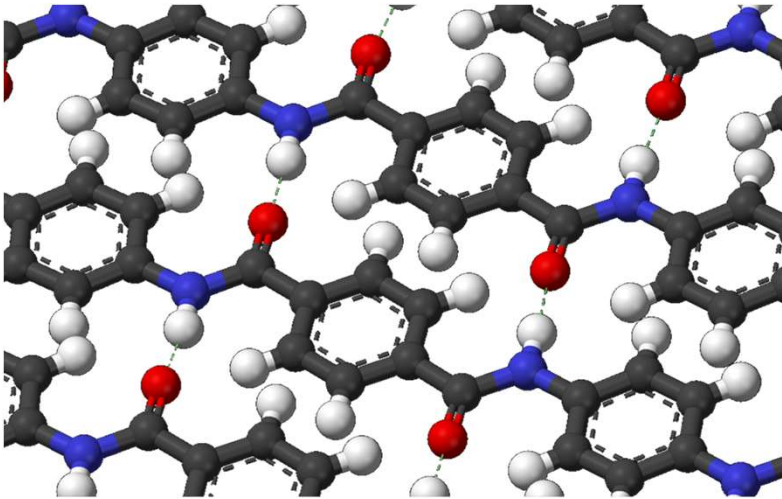
etere dimetilico



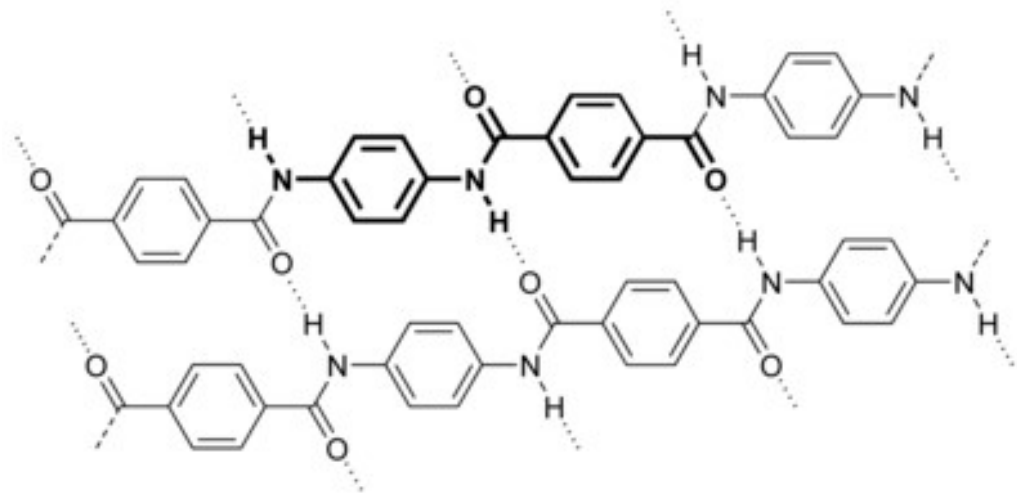
etanolo



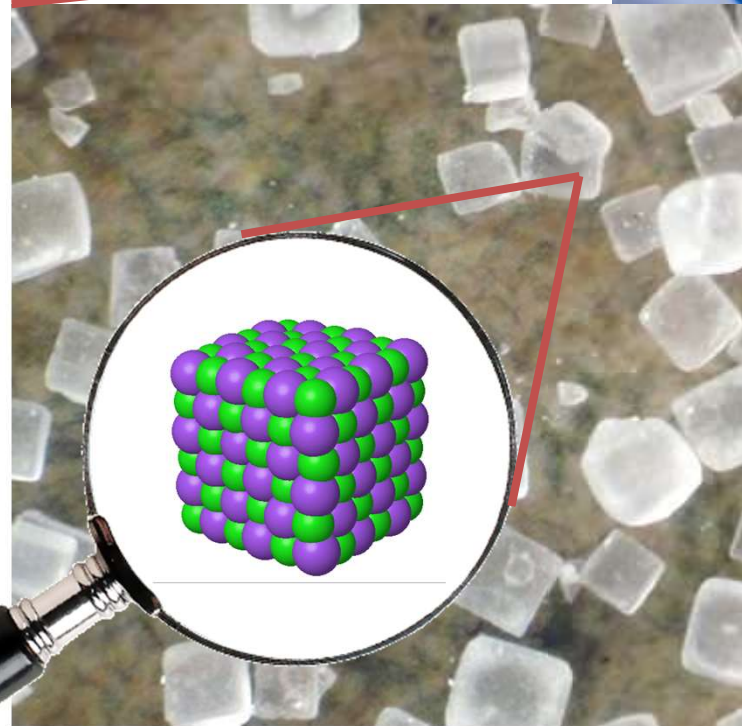
progettare la materia: i materiali sintetici



un esempio di materiale
sintetico: il **Kevlar**



Teoria atomica della materia



TEORIA ATOMICA

1789

conservazione
massa
(Lavoisier)

Sia una sostanza metallica qualunque S.M.

Un acido qualunque

L'acqua

Ossigeno

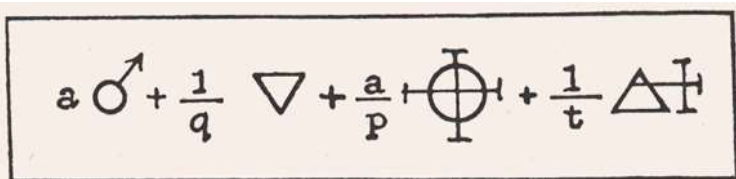
Aria nitrosa

Acido nitroso



$$\left(a \text{ } \text{U}\right) + \left(2 \nabla + \frac{1}{q} \nabla\right) + \left(\frac{1}{s} \oplus + \frac{1}{t} \Delta\right) =$$

$$\left(a \text{ } \text{U} + \frac{a}{p} \oplus\right) + \left(2 \nabla + \frac{1}{q} \nabla\right) + \left(\frac{1}{s} \oplus - \frac{a}{p} \oplus + \frac{1}{t} \Delta - \frac{a}{p} \Delta\right)$$



Lavoisier
(1743 - 1794)

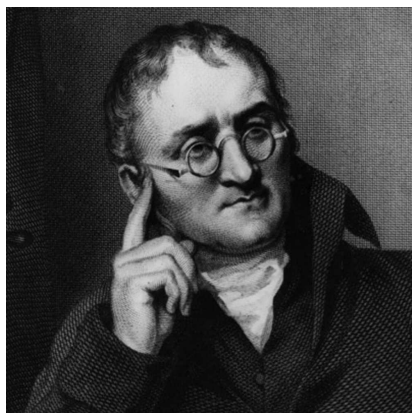
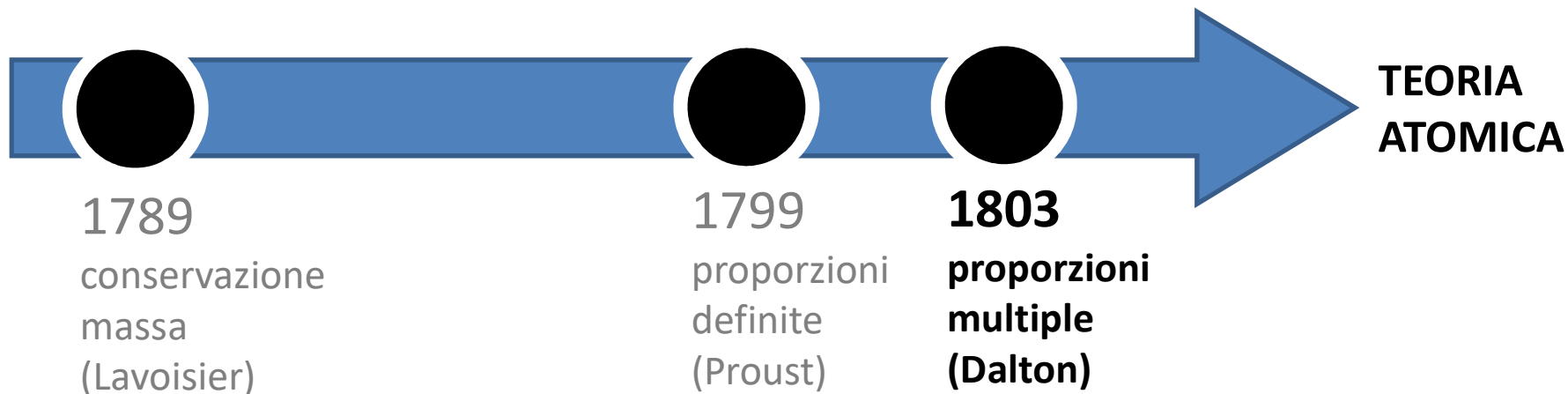




Joseph Proust
(1754 – 1826)

“in un dato composto chimico i
rapporti di massa degli elementi di cui
esso è costituito sono **costanti**
indipendentemente dall’origine del
composto o dal modo di preparazione”

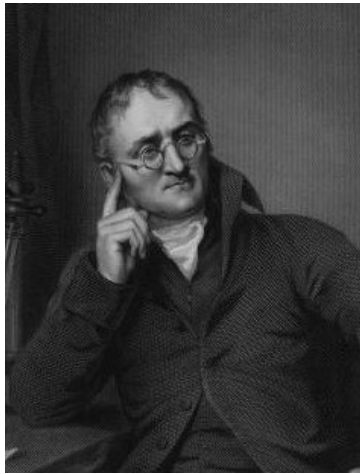




John Dalton
(1766 – 1844)

“quando due elementi formano più di un composto tra loro, le **masse** di uno degli elementi che si combinano con una massa uguale dell’altro elemento sono fra loro **in rapporti dati da numeri interi e piccoli**”

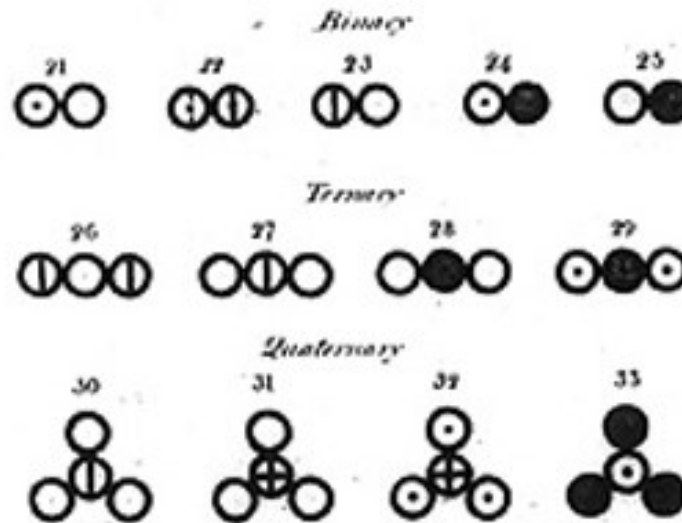
	carbonio	ossigeno
<i>composto 1</i>	12 g	16 g
<i>composto 2</i>	12 g	32 g = 2 x 16



teoria atomica di Dalton (1808)

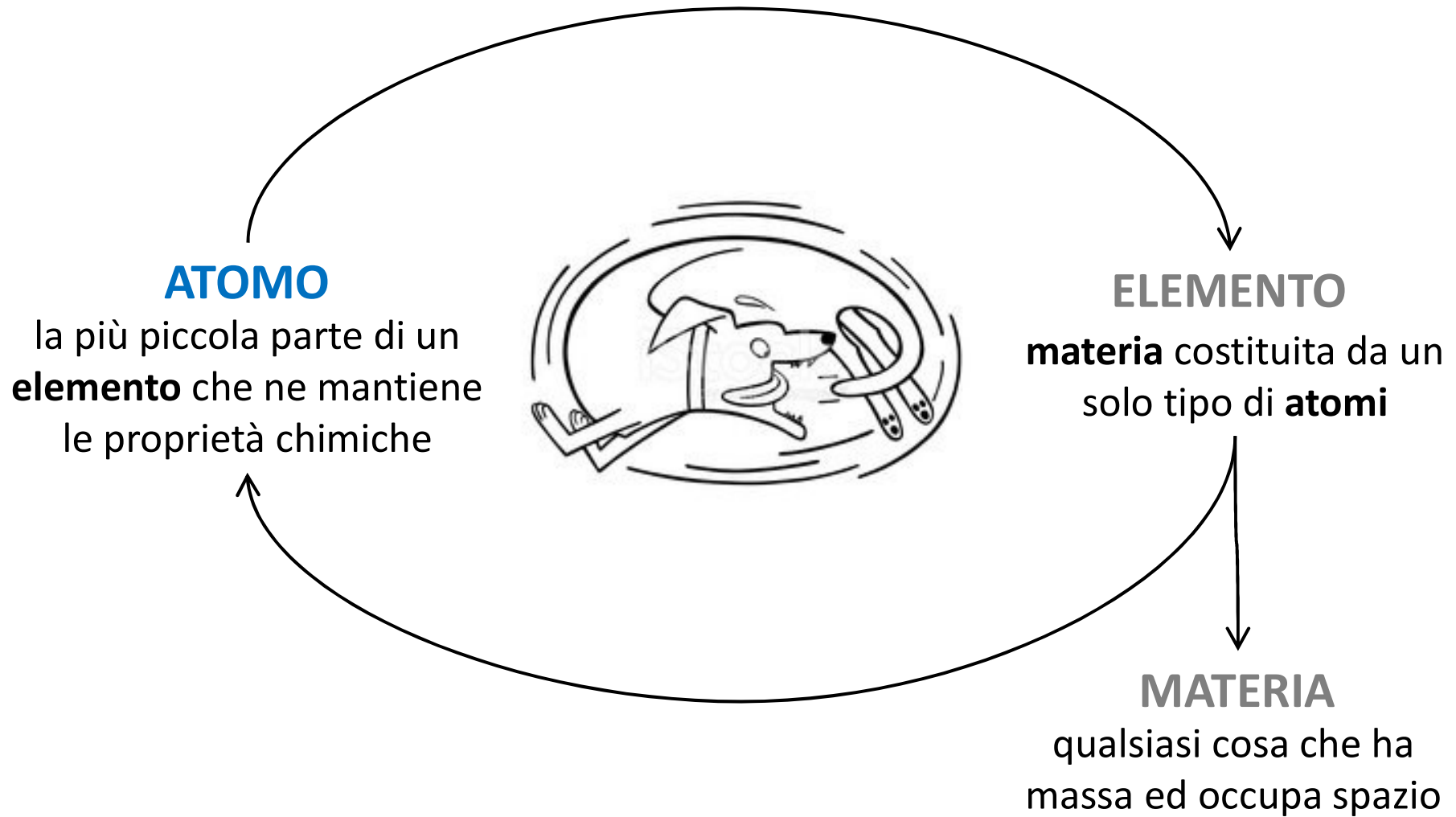
- Ogni sostanza è costituita da atomi
- Gli atomi sono indistruttibili ed invisibili
- Gli atomi di ogni elemento sono identici
- Gli atomi di elementi diversi hanno masse diverse
- Le reazioni chimiche comportano riarrangiamenti dei legami tra atomi

ELEMENTS					
	Hydrogen	1		Strontian	46
	Azote	5		Barytes	68
	Carbon	5		Iron	50
	Oxygen	7		Zinc	56
	Phosphorus	9		Copper	56
	Sulphur	13		Lead	90
	Magnesia	20		Silver	190
	Lime	24		Gold	190
	Soda	28		Platina	190
	Potash	42		Mercury	167



A New System of Chemical Philosophy (1808).

come definisco un atomo?



atomi e molecole



Amedeo Avogadro
(1776 - 1856)

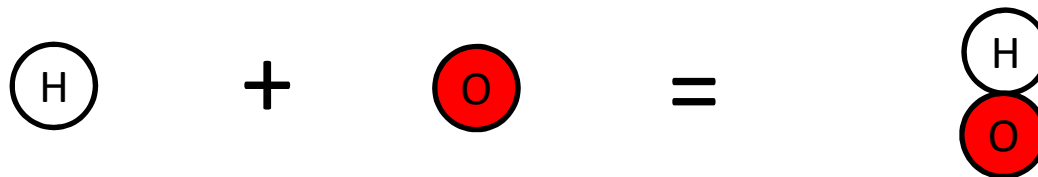
1811

“Volumi uguali di gas diversi, misurati nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, contengono lo stesso numero di **particelle**”

*particelle costituite da 2
atomi uguali legati tra loro
(molecole)*

Dalton (in massa)

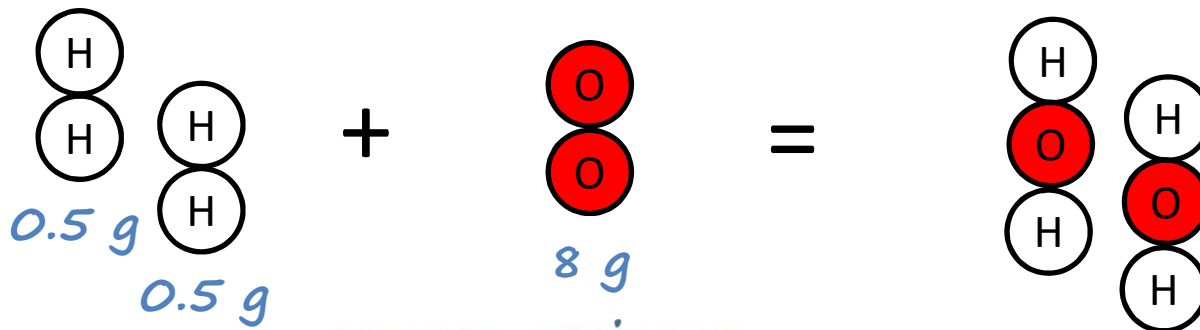
1 g idrogeno + 8 g ossigeno = 9 g vapore acqueo



$$\frac{\text{massa ossigeno}}{\text{massa idrogeno}} = 8$$

Avogadro (in volumi)

2 L idrogeno + 1 L ossigeno = 2 L vapore acqueo

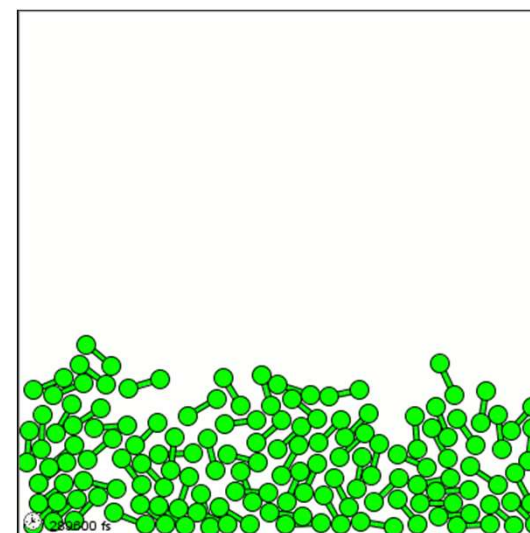
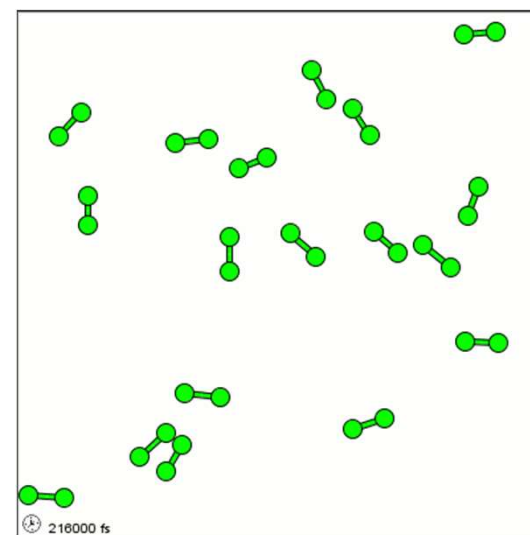


$$\frac{\text{massa ossigeno}}{\text{massa idrogeno}} = 16$$

in quale **forma** si trovano gli elementi?

H_2 N_2 O_2 F_2
elementi in forma
molecolare,
molecole bi- o tri-
atomiche
 Cl_2
 Br_2
 I_2

1 IA									13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIII A
1 H									5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
Elementi di transizione blocco -d														
4 VB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub						

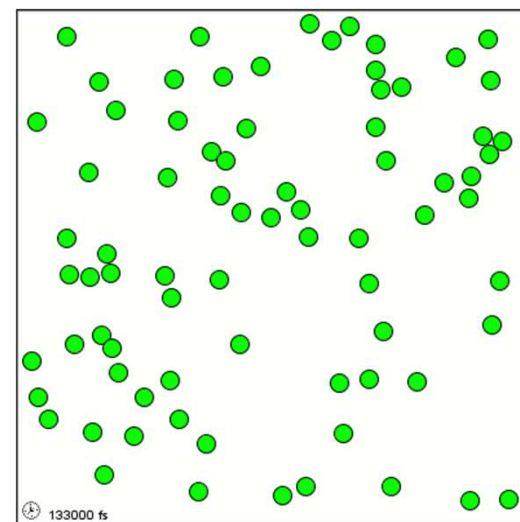


i	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

in quale **forma** si trovano gli elementi?

*gas nobili
forma
monoatomica*

Elementi di transizione blocco -d									13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIII A
4 VB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	9 VIII B					10 IIB	11 IB	12 IIB			2 He
22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub						



58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

in quale **forma** si trovano gli elementi?

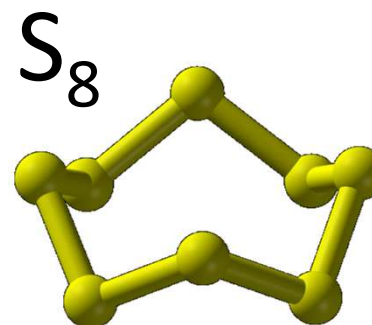
*allotropi
forme allotropiche*

più forme possibili



O_2 / O_3

Elementi di transizione blocco -d									13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
4 VB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII B					10	11 IB	12 IIB			2 He
22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
									81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn



58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

opposizione all'ipotesi atomica

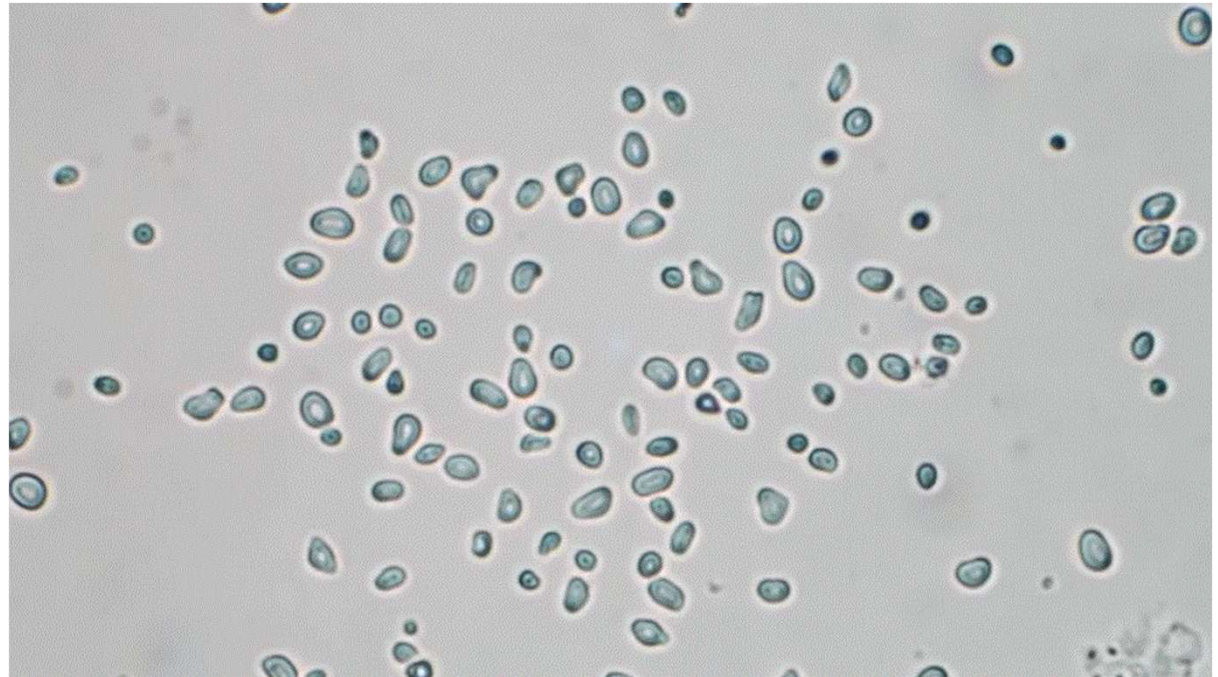


“Non credo che gli atomi esistano”
(Ernst Mach nel 1897)

il moto Browniano

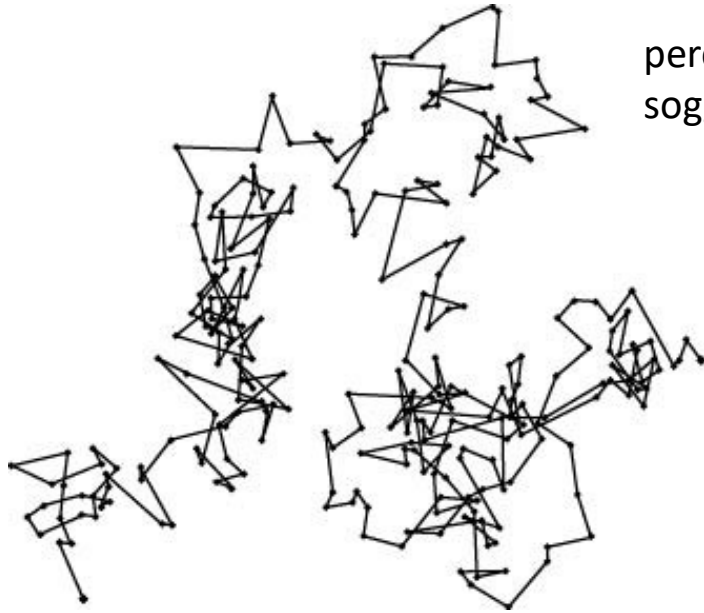


Robert Brown
(1773 – 1858)
Botanico



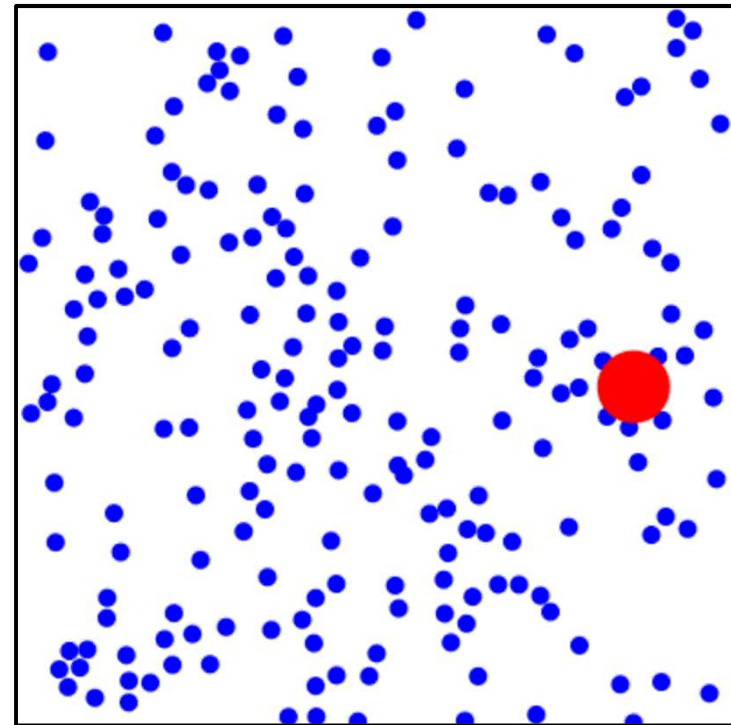
grani di polline in acqua osservati al microscopio
(<https://www.youtube.com/watch?v=jLQ66ytMa9I>)

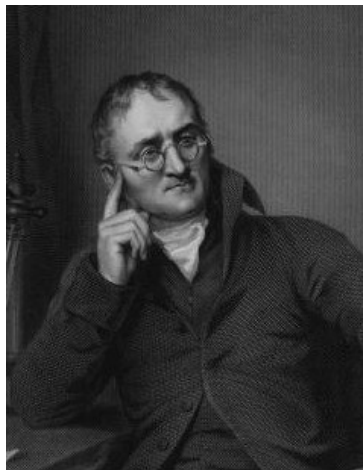
il moto Browniano



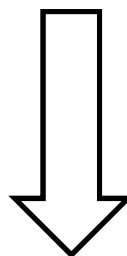
percorso di un granello di polline al microscopio
soggetto a moto Browniano (*Random Walk*)

1905 – spiegazione
teorica del moto
Browniano in termini
di moti atomici





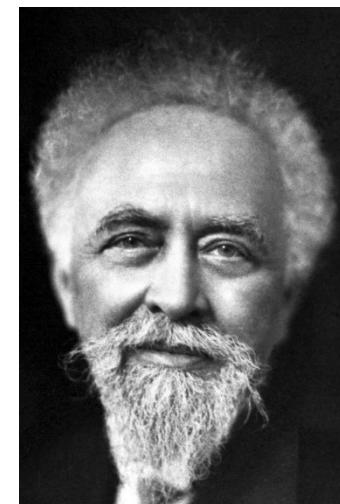
1808 – Dalton pubblica la
teoria atomica



100 anni!

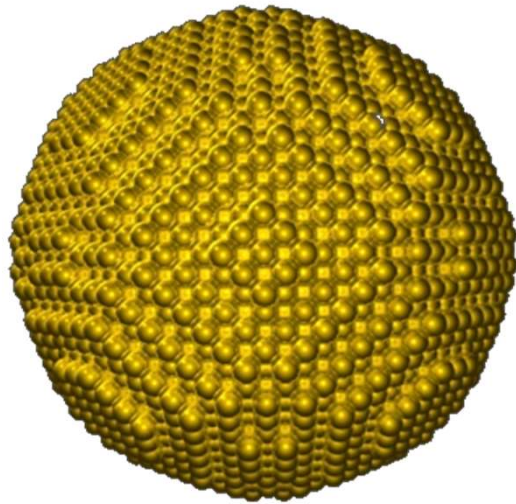
1908 – conferma sperimentale
della teoria di Einstein sul moto
Browniano

*prima prova indiretta
esistenza degli atomi!*

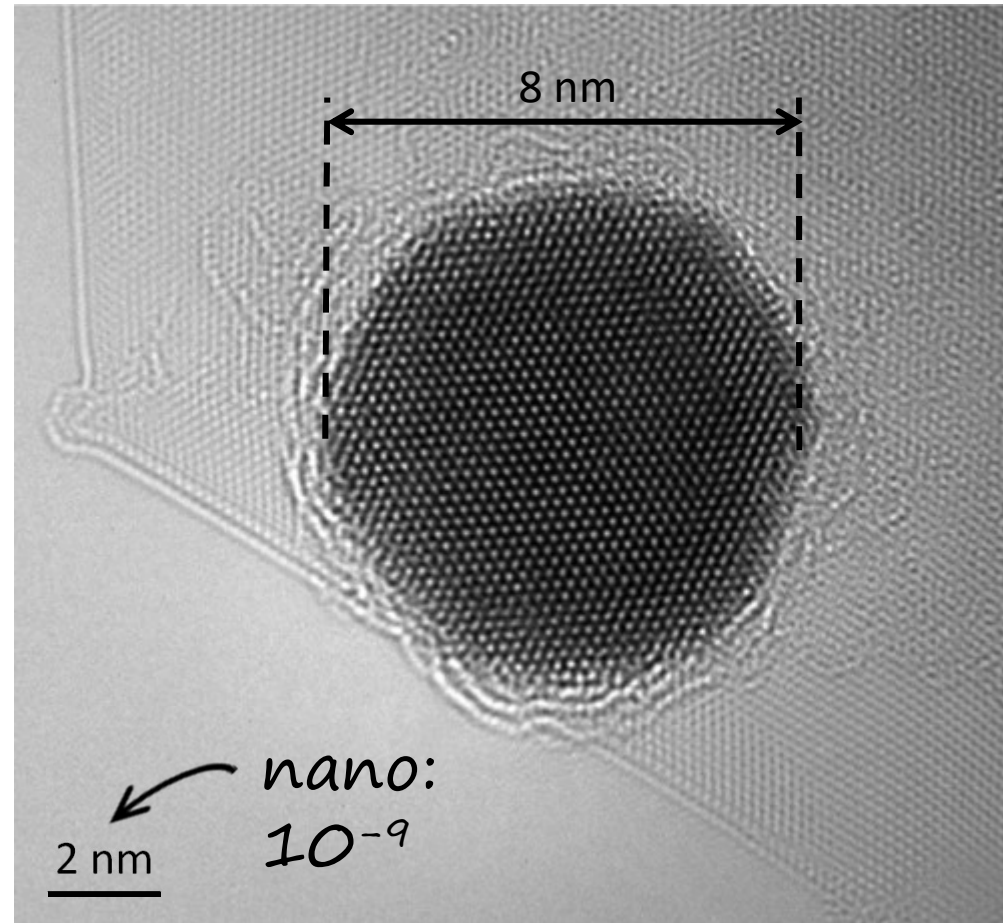


Jean Baptiste Perrin
(1870 – 1942)
Nobel per la Fisica 1926

microscopia elettronica a trasmissione



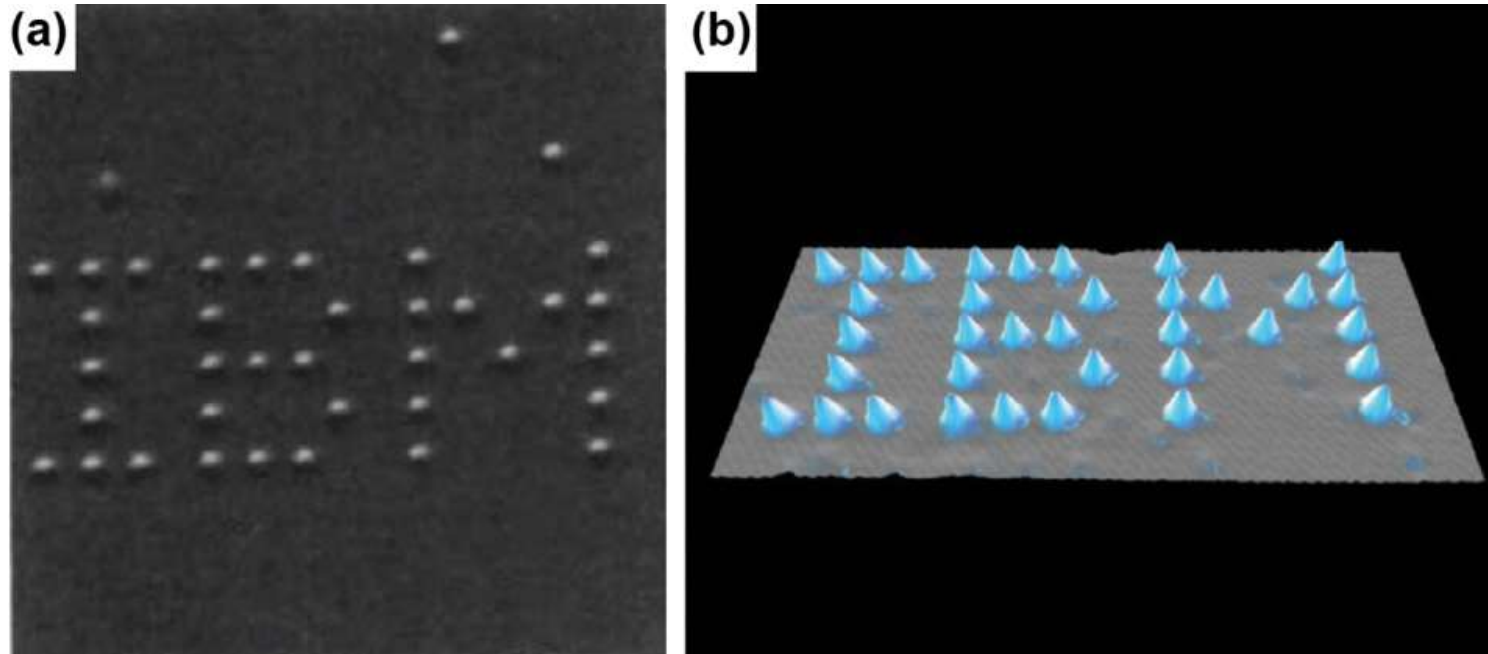
(da 2000 a 20000 volte più
piccola del diametro di un
capello)



nanoparticella d'oro su strato di grafene

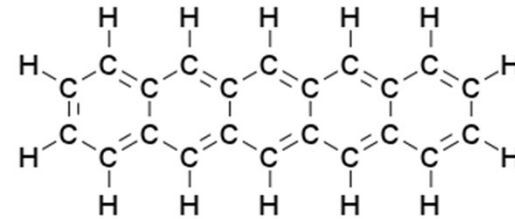
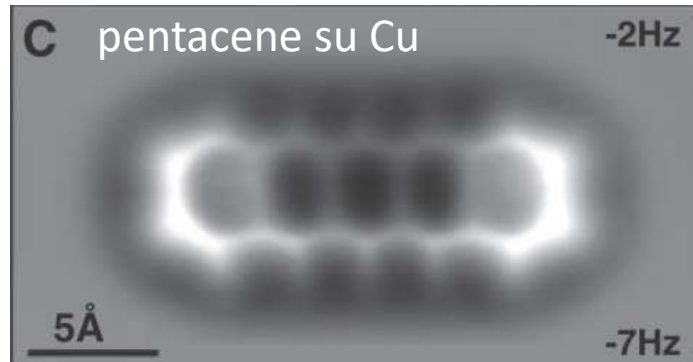
(Lee et al. Nanoletters 2009, 9, 3365-3369)

microscopia a effetto tunnel

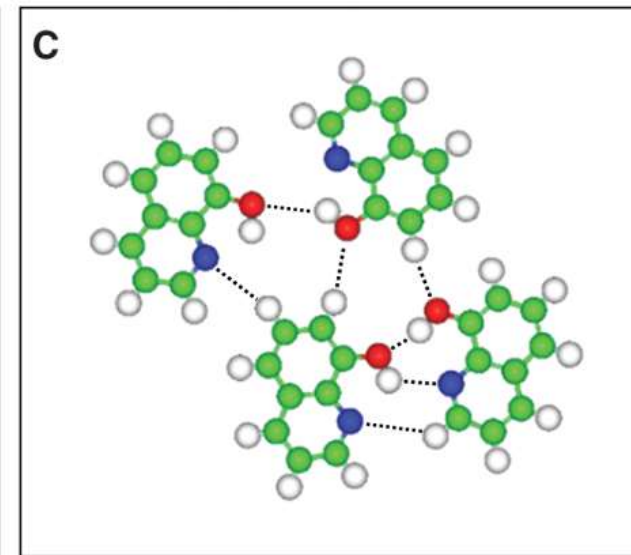
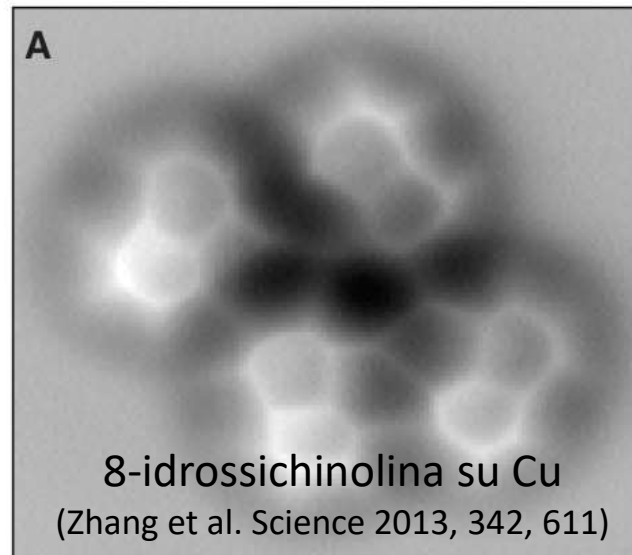


atomi di Xe su superficie Ni
Eigler et al. Nature 1990, 344, 524

microscopia a forza atomica



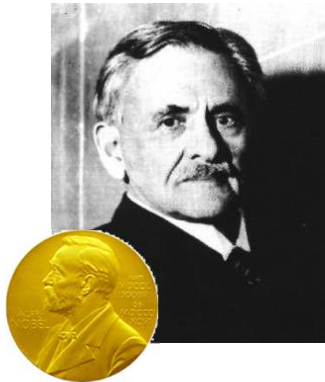
(Gross et al. Science 2009, 325, 1110)



Elettromagnetismo

Meccanica

Termodinamica



1894

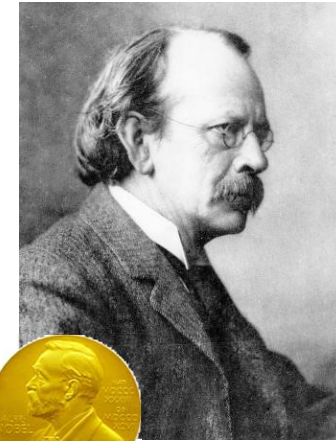
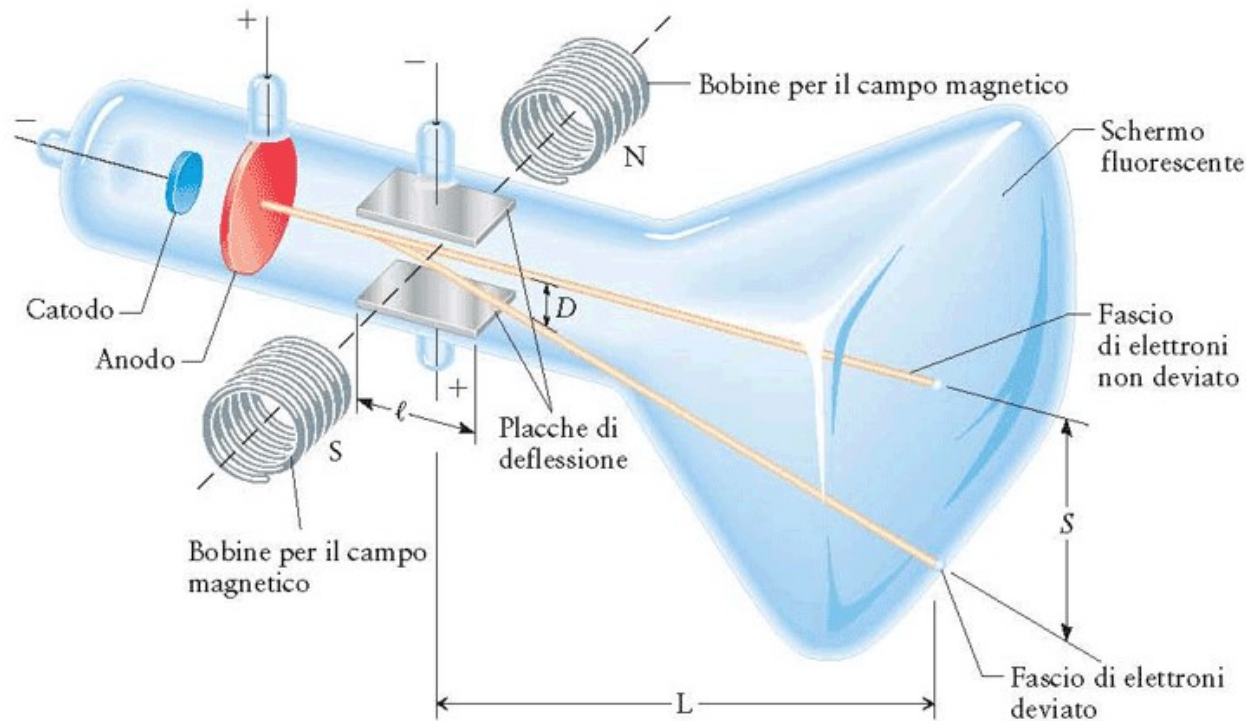
“Le più importanti leggi fondamentali della fisica sono state tutte scoperte, e sono ora talmente consolidate che la possibilità che esse vengano mai soppiantate in conseguenza di nuove scoperte è estremamente remota... Le nostre scoperte future sono da cercarsi nella sesta cifra decimale.”

- *Albert. A. Michelson (Nobel per la fisica 1907)*

esperimento di Thomson

(scoperta dell'elettrone)

1894



Fisica
1906

*l'atomo non
è "indivisibile"!*

rapporto
carica / massa $\frac{e}{m_e} = 1.77882 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$

notazione scientifica (esponenziale)

$$m \cdot 10^n$$

$$177\,882\,000\,000 \longrightarrow 1,77\,882 \cdot 10^{11}$$

*1) si risparmia
un po' di spazio*

602 214 076 000 000 000 000 000

(costante di Avogadro)



$$6,02214076 \cdot 10^{23}$$

notazione scientifica (esponenziale)

$$m \cdot 10^n$$

2) si facilitano
i calcoli

proprietà
delle
potenze

$$10^x \cdot 10^y = 10^{x+y}$$

$$10^4 \cdot 10^2 = 10^6$$

$$\frac{10^x}{10^y} = 10^x \cdot 10^{-y} = 10^{x-y}$$

$$\frac{10^6}{10^4} = 10^6 \cdot 10^{-4} = 10^2$$

esperimento di Thomson *1894*

(scoperta dell'elettrone)



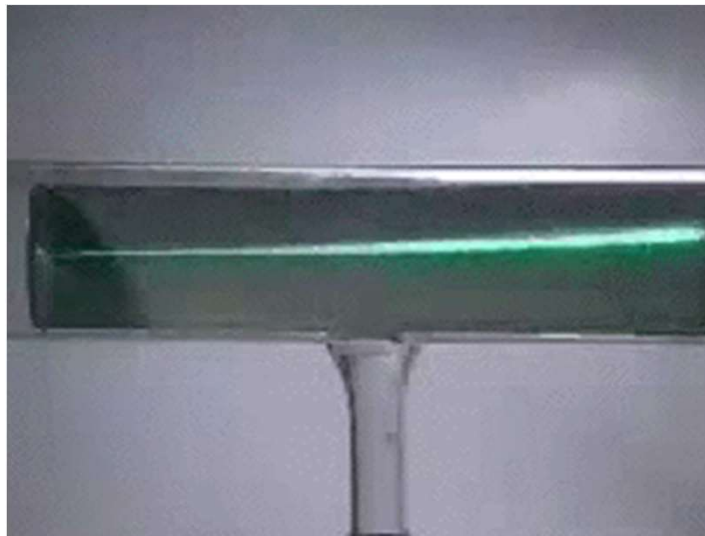
(a)



(b)



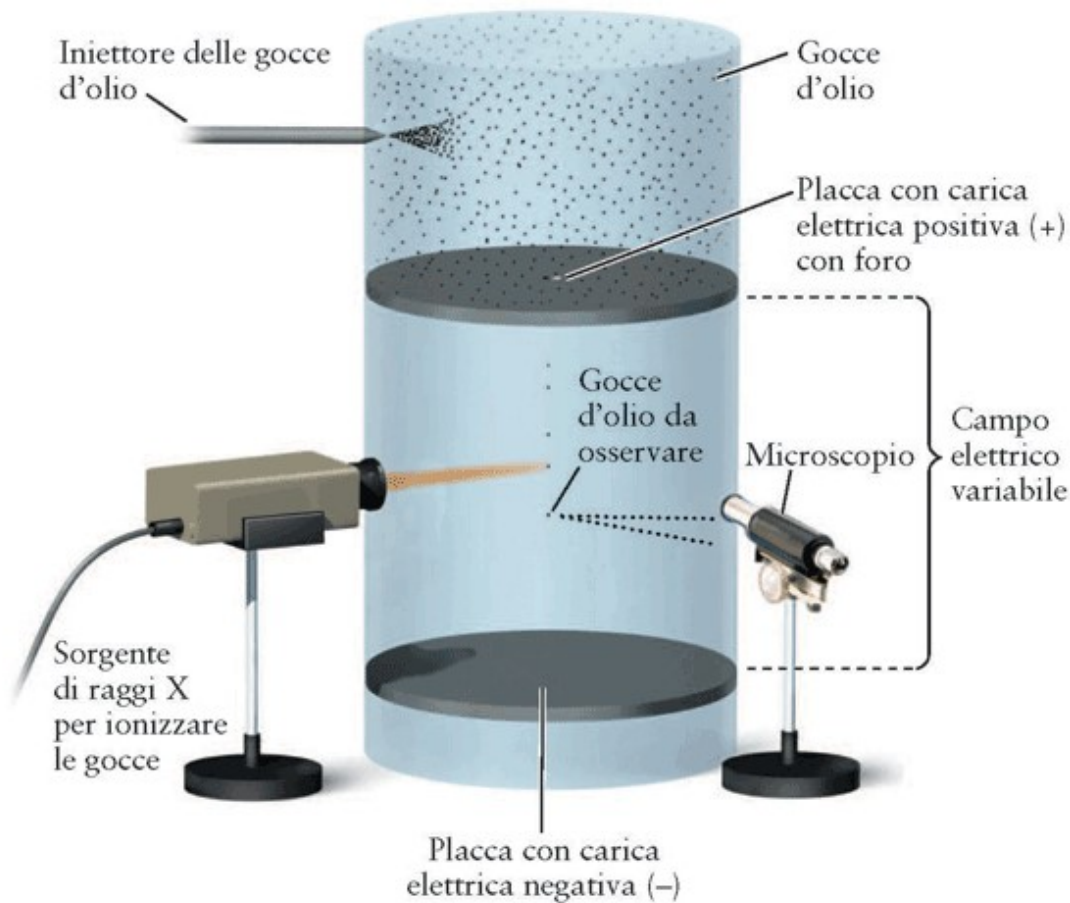
(c)



esperimento di Millikan

1906

(determinazione carica e massa dell'elettrone)

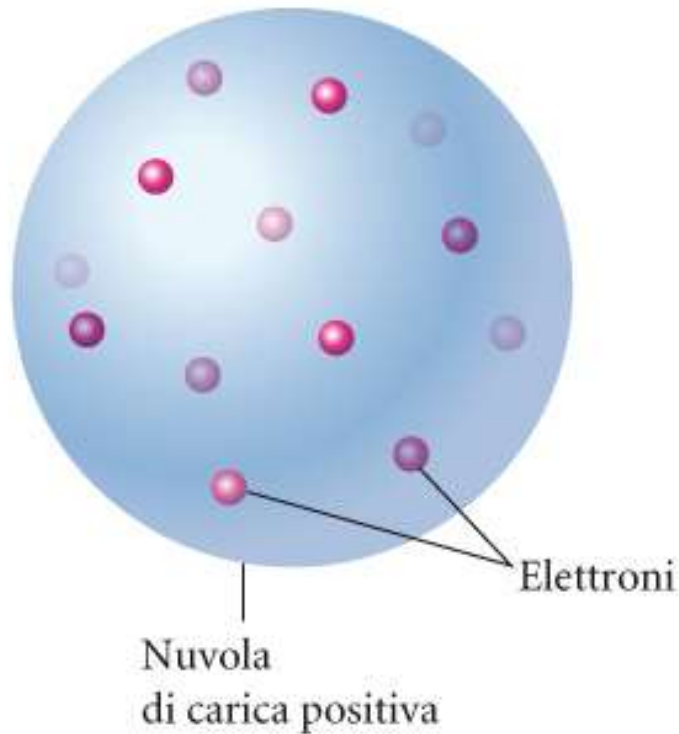


Fisica
1923

modello atomico di Thomson *1904*

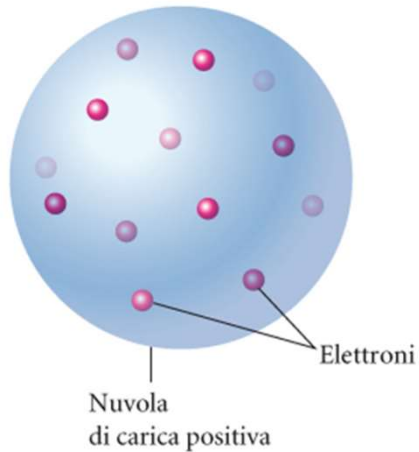
FIGURA 2.12

Il modello a budino dell'atomo.

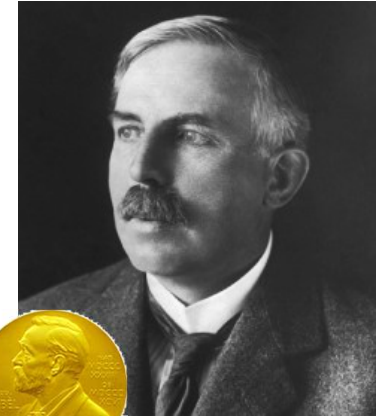


“plum pudding model”

esperimento di Rutherford 1911



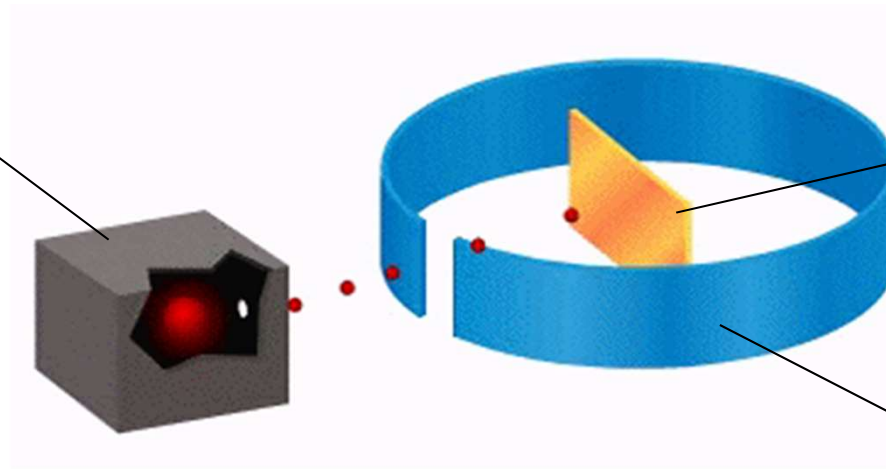
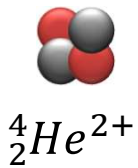
modello atomico
di Thomson
(*plum pudding model*)



Chimica
1908

RISULTATI ATTESI...

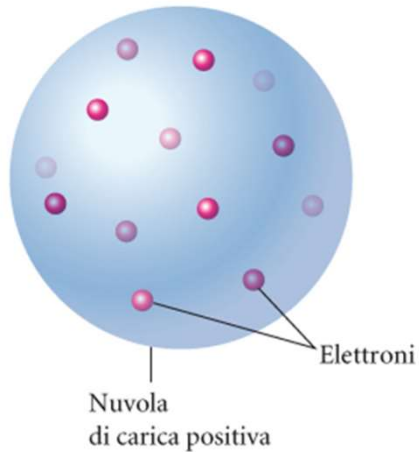
sorgente di
particelle alfa
(*nuclei di He*)



lamina d'oro
molto sottile

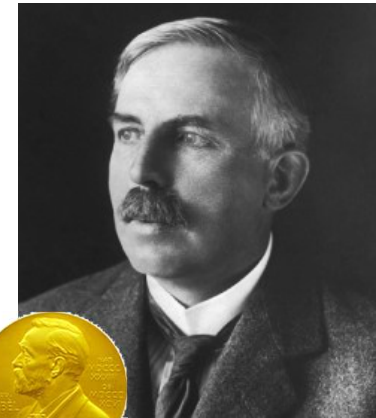
schermo di ZnS
fluorescente

esperimento di Rutherford 1911



modello atomico
di Thomson
(*plum pudding model*)

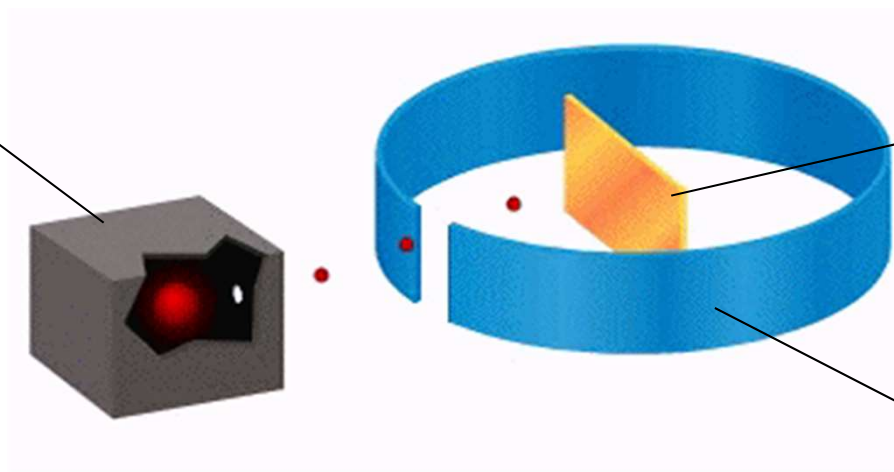
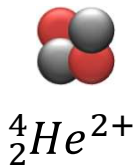
?



Chimica
1908

... e RISULTATI OSSERVATI !!!

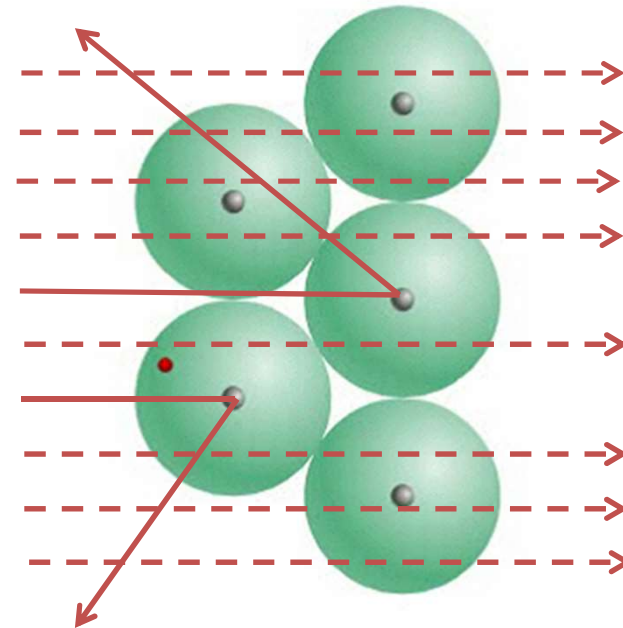
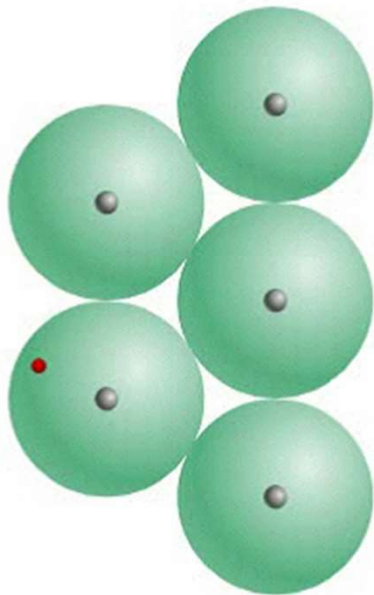
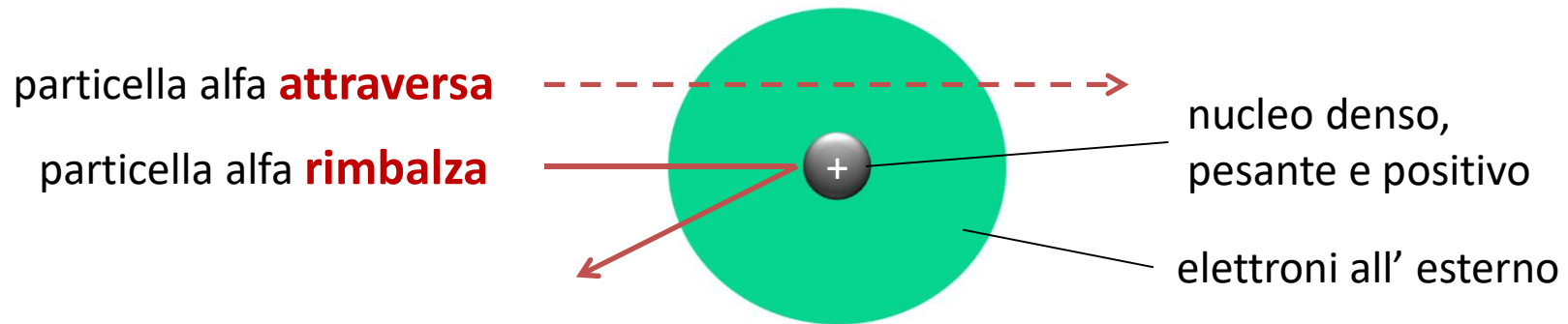
sorgente di
particelle alfa
(*nuclei di He*)



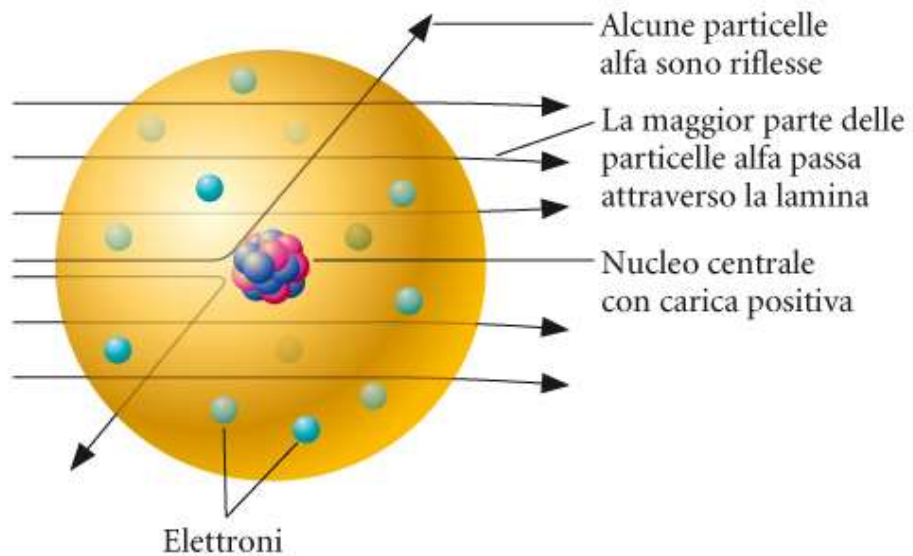
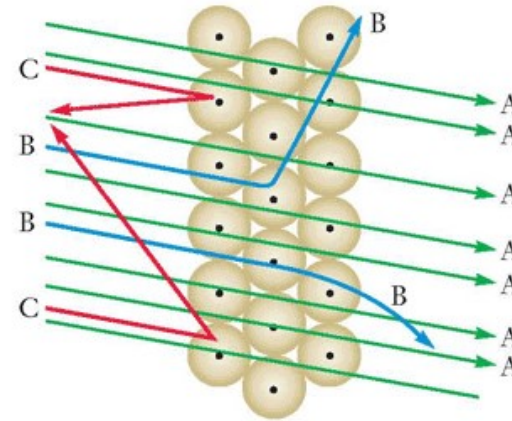
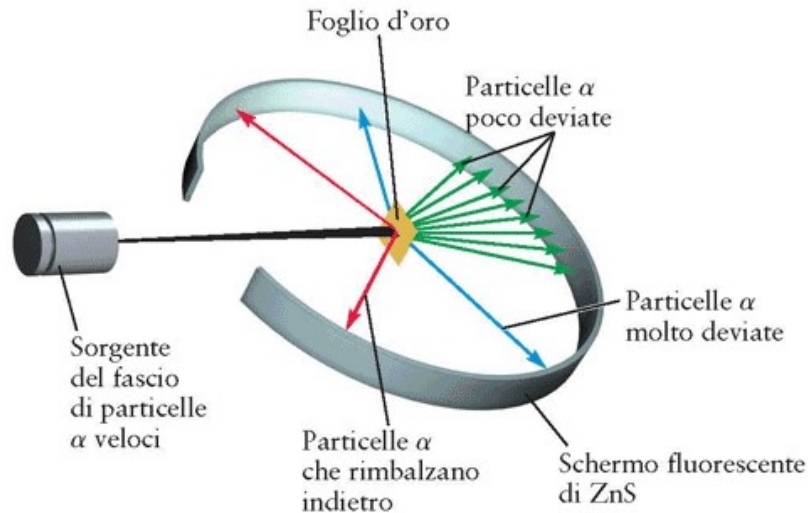
lamina d'oro
molto sottile

schermo di ZnS
fluorescente

modello atomico di Rutherford



modello atomico di Rutherford



dimensioni

(secondo Rutherford)

nucleo: $10^{-14} - 10^{-15}$ m

atomo: 10^{-10} m

Il nucleo atomico

Particella	Massa		Carica	Simbolo
	Grammi	Unità di massa atomica		
Elettrone	9.109383×10^{-28}	0.0005485799	1^-	${}_{-1}^0\text{e}$ o e^-
Protone	1.672622×10^{-24}	1.007276	1^+	${}_{1}^1\text{p}$ o p^+
Neutrone	1.674927×10^{-24}	1.008665	0	${}_{0}^1\text{n}$ o n

A: numero di protoni + neutroni

Numero di massa

A **E** Simbolo dell'elemento
 Z

Numero atomico

Z: numero di protoni

unità di massa atomica
(u o Da)

dodicesima parte della massa di un atomo di carbonio 12

(nuclide) ${}_{6}^{12}\text{C}$

$$1 \text{ u} = 1 \text{ Da} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

densità del nucleo

$$R = R_0 A^{1/3}$$

raggio → *costante* $\sim 10^{-15} \text{ m}$ → *numero di nucleoni*

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi R_0^3 A$$

volume →

$$\rho = \frac{m_A}{\frac{4}{3} \pi R_0^3 A} = \frac{A m_N}{\frac{4}{3} \pi R_0^3 A}$$

densità → *massa nucleo* → *massa nucleone*

densità del nucleo

$$\rho = \frac{Am_N}{\frac{4}{3}\pi R_0^3 A} \sim 10^{15} \text{ g/cm}^3$$

Handwritten annotations:

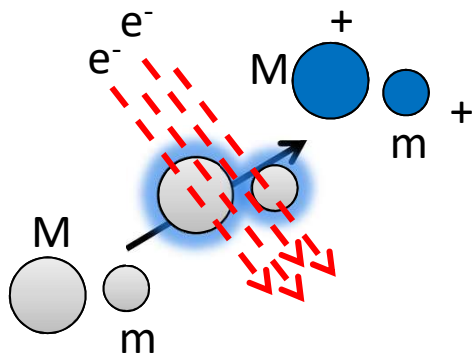
- An arrow points from 10^{-24} g to m_N .
- An arrow points from $(10^{-15})^3 \text{ m}^3$ to R_0^3 .
- $(10^{-15})^3 \text{ m}^3$
 $= 10^{-45} \text{ m}^3$
 $= 10^{-39} \text{ cm}^3$

1.000.000.000 tonnellate / cm³

spettrometria di massa

ioni

ionizzatore



atomi (e gruppi di atomi o molecole)
che hanno acquistato una o più
cariche elettriche mediante
perdita od **acquisto** di **elettroni**

cationi
(+)

H^+ ione idrogeno

Ca^{2+} ione calcio

H^- ione idruro

anioni
(-)

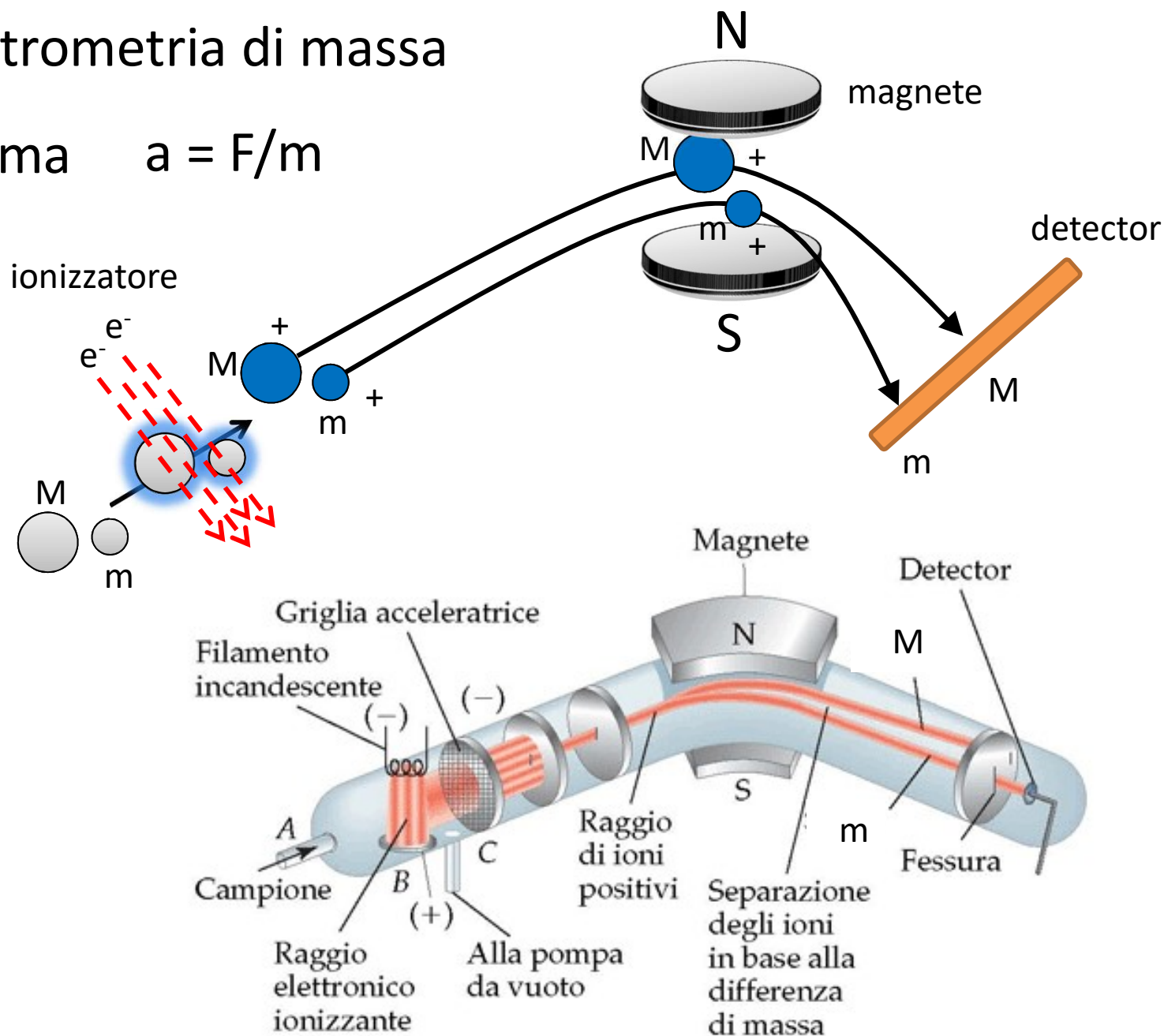
Cl^- ione cloruro

S^{2-} ione solfuro

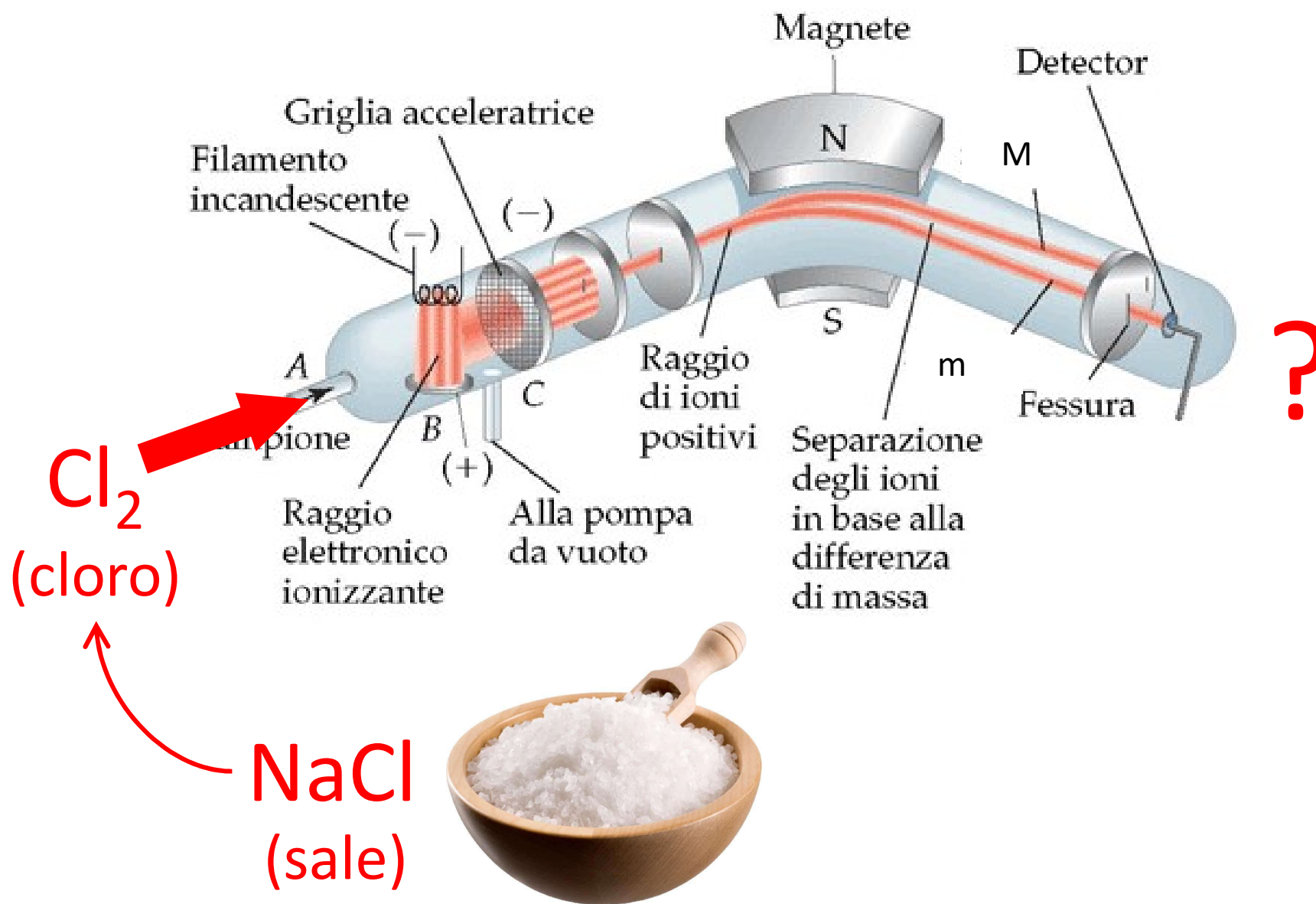
O^{2-} ione **ossido**

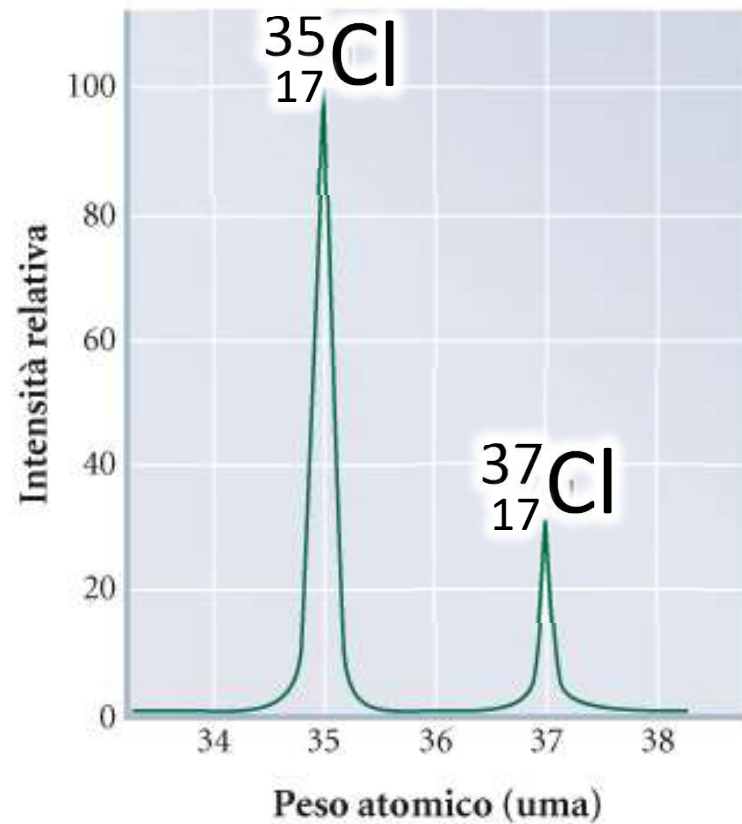
spettrometria di massa

$$F = ma \quad a = F/m$$



spettrometria di massa





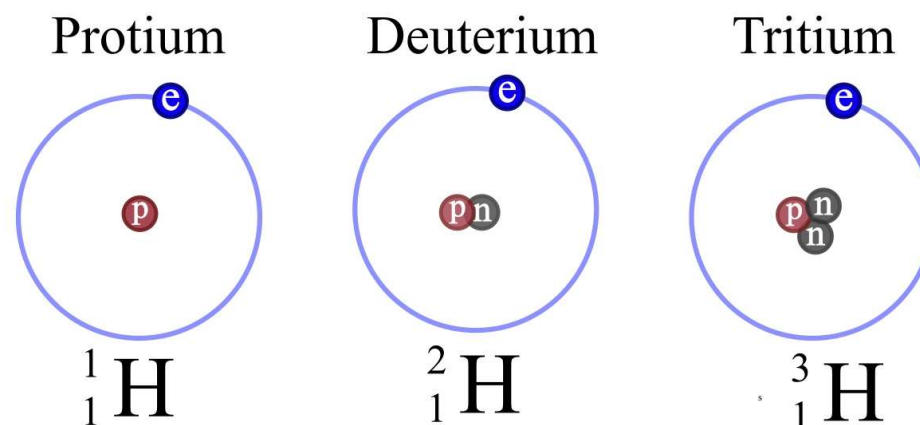
isotopo

stesso Z, diverso A

(*stesso n° protoni*
diverso n° neutroni)

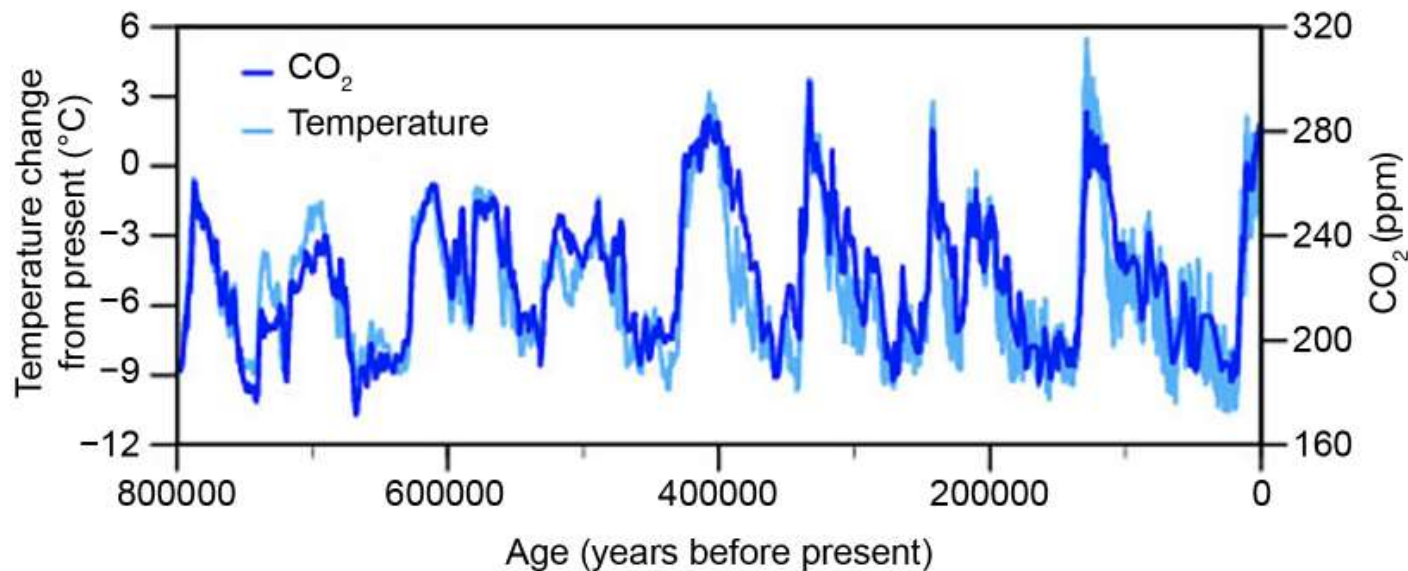
TABELLA 2.4 Isotopi dell'idrogeno, del carbonio e dell'ossigeno

Notazione del nuclide	Abbondanza naturale (%)	Nome dell'isotopo	Protoni	Neutroni	Elettroni
${}^1_1\text{H}$	99.985%	idrogeno	1	0	1
${}^2_1\text{H}$	0.015	deuterio	1	1	1
${}^3_1\text{H}$	10^{-18}	trizio	1	2	1
${}^{12}_6\text{C}$	98.93	carbonio-12	6	6	6
${}^{13}_6\text{C}$	1.07	carbonio-13	6	7	6
${}^{14}_6\text{C}$	2×10^{-10}	carbonio-14	6	8	6
${}^{16}_8\text{O}$	99.762	ossigeno-16	8	8	8
${}^{17}_8\text{O}$	0.038	ossigeno-17	8	9	8
${}^{18}_8\text{O}$	0.200	ossigeno-18	8	10	8



Isotopi e paleoclima

Come conosciamo la temperatura della terra di molto tempo fa?



[<https://www.ncei.noaa.gov/news/climate-change-context-paleoclimate>]

$$\delta^{18}O = \frac{{}^{18}O}{{}^{16}O}$$

¹⁶O più leggero, precipita con temperature più basse rispetto a ¹⁸O

ELEMENTO

definizione 1

1) materia costituita da un solo tipo di atomi

definizione 2

2) materia costituita da atomi aventi
lo stesso **numero atomico Z**

*numero di protoni
nel nucleo*



... e perché non di elettroni?

Quanto “pesa” un elemento?

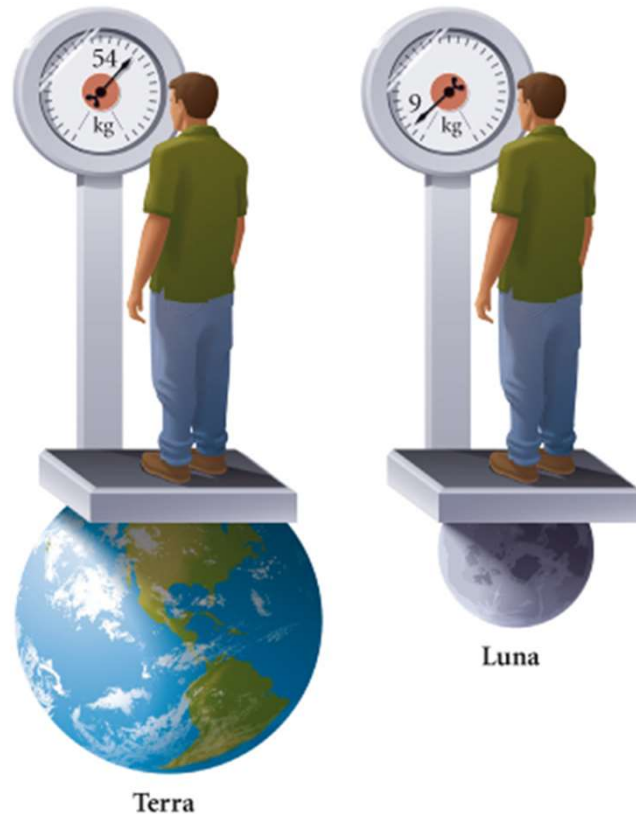
termine improprio

massa $\neq$ peso
(Kg) (N)

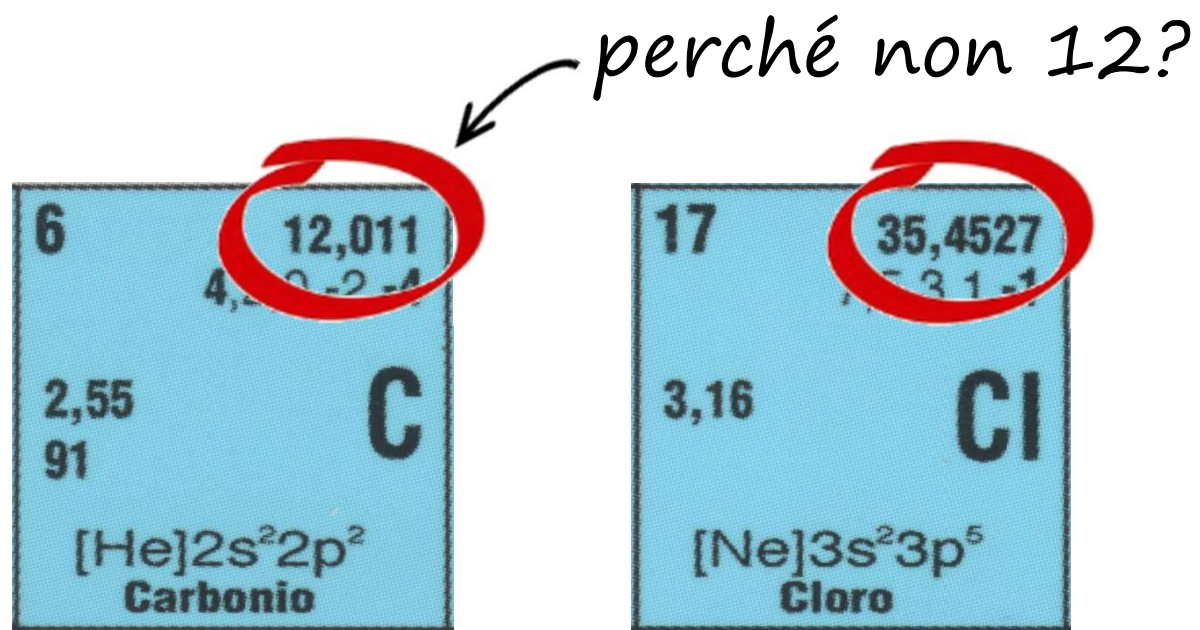
$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

1 Kg = 9,82 N (sulla Terra)

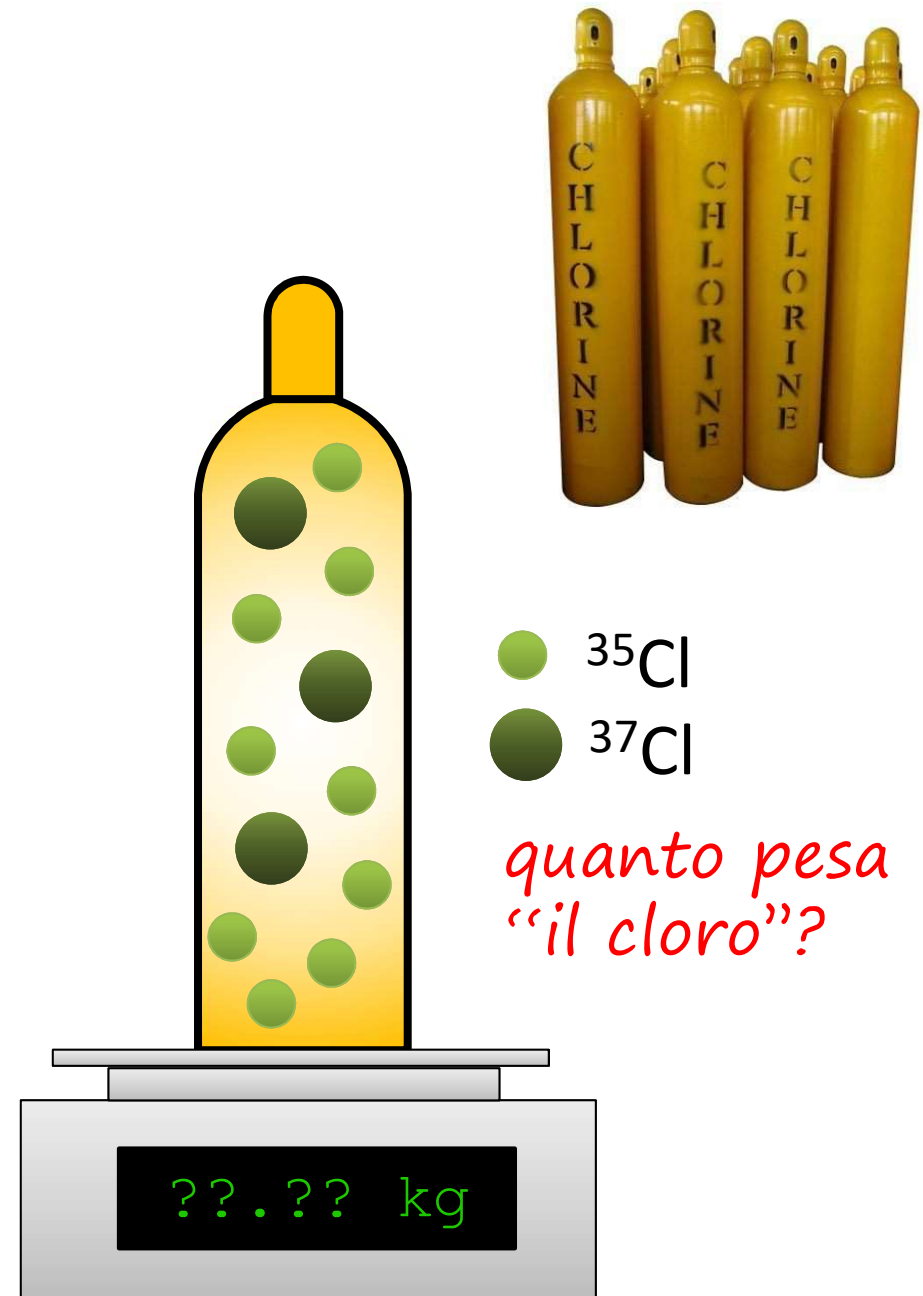
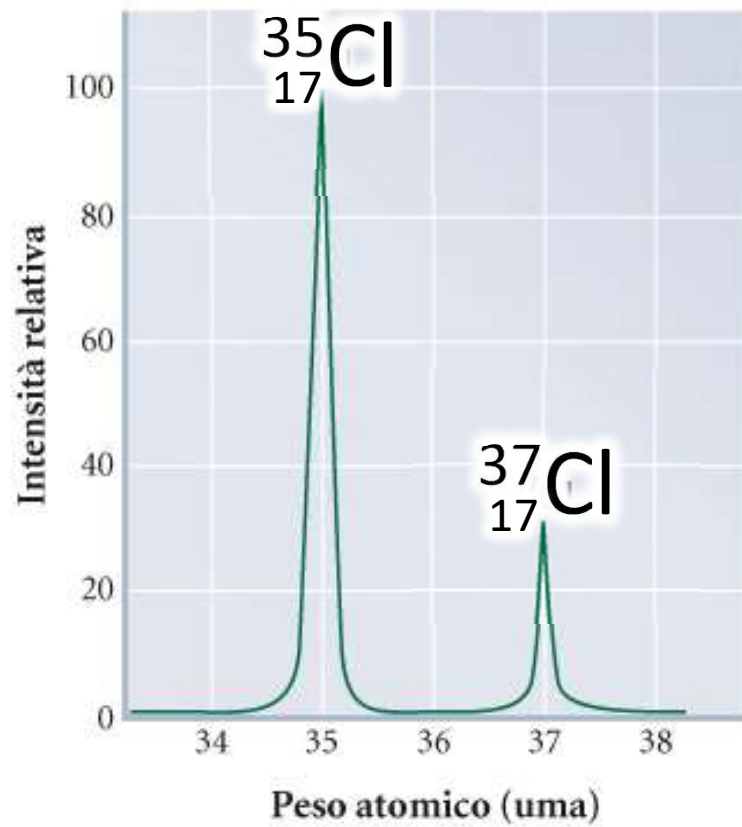
1 Kg = 1,625 N (sulla Luna)



Quanto “pesa” un elemento?



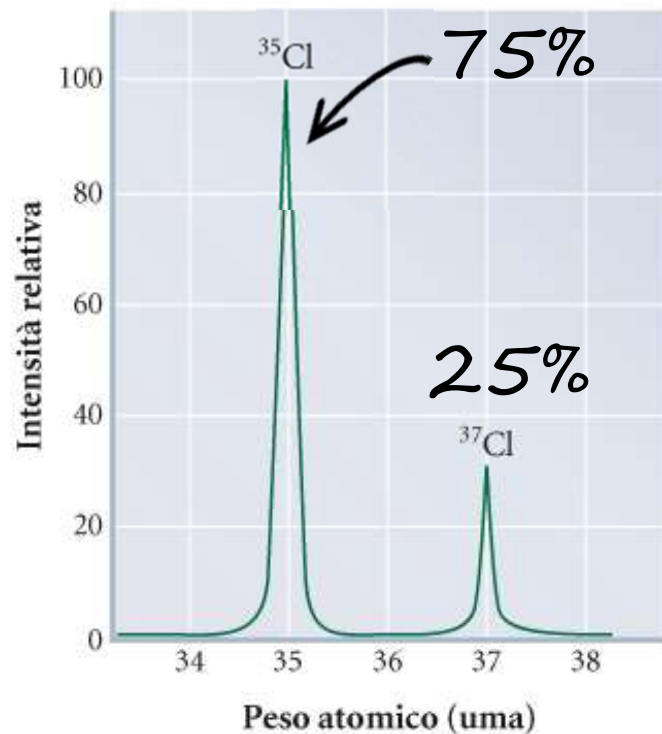
perché numeri non interi?



Peso atomico (massa atomica relativa)

$$\frac{\%_X m_X + \%_Y m_Y}{100}$$

media *ponderata* delle masse di tutti gli isotopi di un dato elemento



massa nuclide

$$\frac{75 \cdot 35 + 25 \cdot 37}{100} = 35.5$$

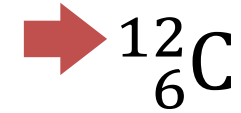
abbondanza %

17	35,4527
3,16	Cl

facciamo ordine...

numero
di
massa

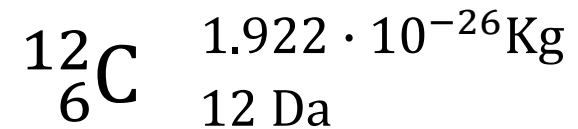
numero di nucleoni (i.e. protoni + neutroni) contenuti in un nucleo di un dato atomo (isotopo)



*referito ad uno
specifico isotopo*

massa
atomica
(assoluta)

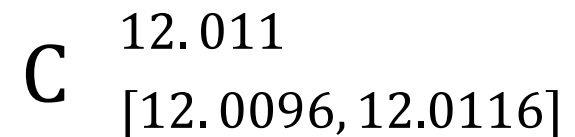
o peso atomico (assoluto): massa di un atomo di un dato elemento (isotopo), di solito espressa in Kg



*referita ad uno
specifico isotopo*

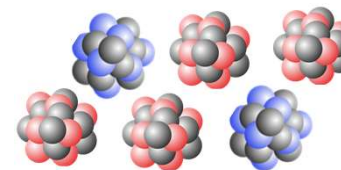
massa
atomica
relativa

o **peso atomico relativo**: massa di un atomo (media pesata dei diversi isotopi) in rapporto al peso atomico assoluto di un 1/12 di un atomo di ${}^{12}\text{C}$ – numero adimensionale



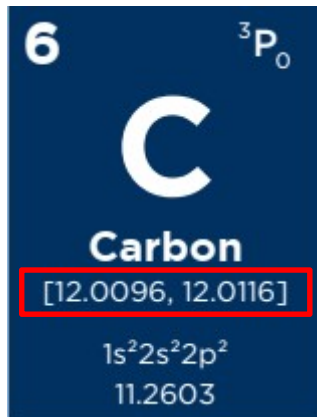
*referita ad un
elemento*

facciamo ordine...



	... di un NUCLIDE o ISOTOPO <i>(singolo atomo o un insieme di n atomi con <u>stessi A,Z</u>)</i>	... di un ELEMENTO <i>(insieme di n atomi aventi lo <u>stesso Z</u> ma diversi A)</i>
massa atomica (assoluta)	massa del nuclide o isotopo (Kg, Da, u) <i>(es. $m_{atomica} {}^{12}_6\text{C} = 12\text{ u}$)</i>	media delle masse dei diversi isotopi pesata per le abbondanze % (Kg, Da o u) <i>(es. $m_{atomica} \text{C} = 12.011\text{ u}$)</i>
peso atomico <i>oppure</i> massa atomica relativa	rapporto tra la massa del nuclide o isotopo e la massa atomica pari ad 1/12 di un atomo di ${}^{12}\text{C}$ (numero adimensionale) <i>(es. $p_{atomico} {}^{12}_6\text{C} = 12$)</i>	rapporto tra la media delle masse dei diversi isotopi pesata per le abbondanze % e la massa atomica pari ad 1/12 di un atomo di ${}^{12}\text{C}$ (numero adimensionale) <i>(es. $p_{atomico} \text{C} = 12.011$)</i>
peso atomico standard	-	<i>peso atomico espresso o come intervallo di valori o come incertezza +/-</i> <i>(es. $p_{atomico\ standard} \text{C} = [12.0096, 12.0116]$)</i>

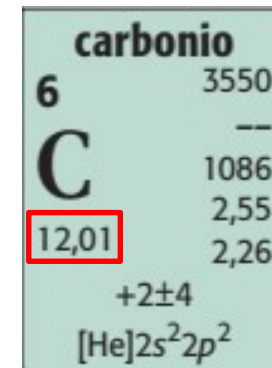
facciamo ordine...



(da tavola periodica
dell' *American
Chemical Society*)



(da tavola periodica
della *Royal Society of
Chemistry*)



(da tavola periodica
della *Zanichelli*)

contare gli atomi?



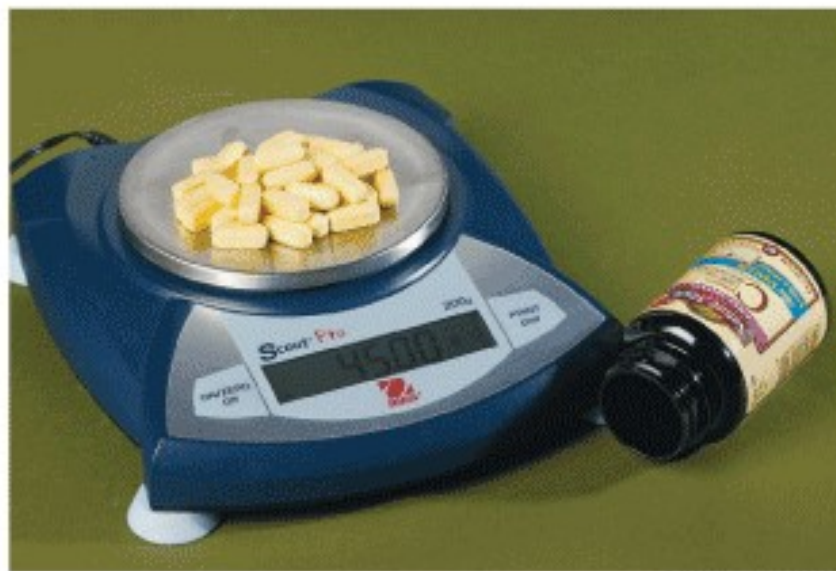
*quante compresse
contiene un flacone?*

contare gli atomi?

“contare pesando”



1 compressa pesa 0.75 g



tutte le compresse pesano 45 g

$$\text{numero di compresse} = \frac{\text{peso N compresse}}{\text{peso 1 compressa}} = \frac{45 \text{ g}}{0.75 \text{ g}} = 60 \text{ compresse}$$

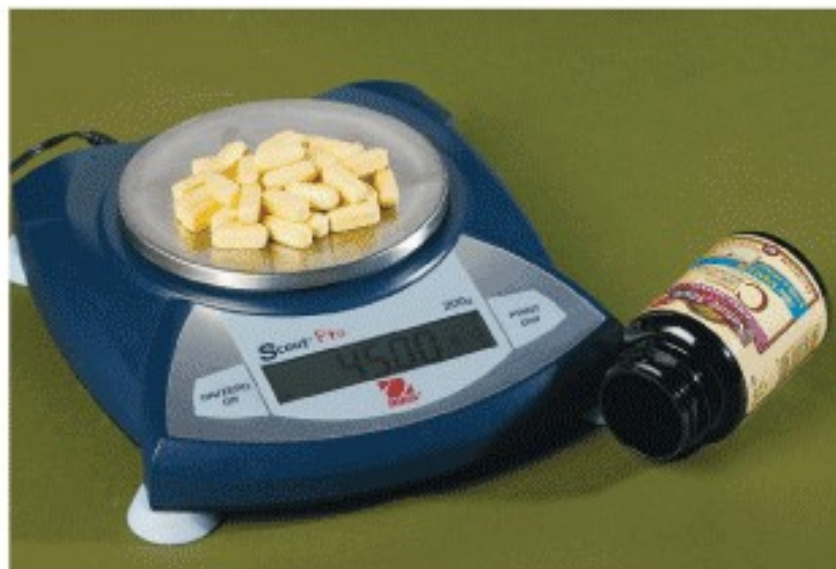
...e in “dozzine”?

contare gli atomi?

“contare pesando”



1 compressa pesa 0.75 g



tutte le compresse pesano 45 g

$$1 \text{ dozzina di cp} = 0.75 \text{ g} \times 12 = 9 \text{ g}$$

$$\text{numero di dozzine} = \frac{\text{peso N compresse}}{\text{peso 1 dozzina}} = \frac{45 \text{ g}}{9 \text{ g}} = 5 \text{ dozzine}$$

*× 12 =
n° compresse*

contare gli atomi?

mole

unità di misura della quantità di sostanza: mol

1 mol = quantità di sostanza che contiene un numero di unità elementari pari al numero di atomi contenuti in 0.012 Kg di ^{12}C

(concetti simili : paio, dozzina, risma)

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$$

(602.200.000.000.000.000.000.000)

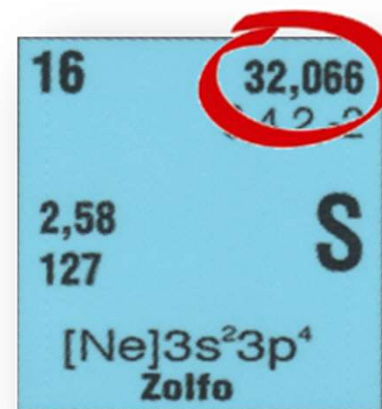
Un numero ENORME!!!

contare gli atomi?

MASSA MOLARE (g/mol)
(massa corrispondente ad una mole)

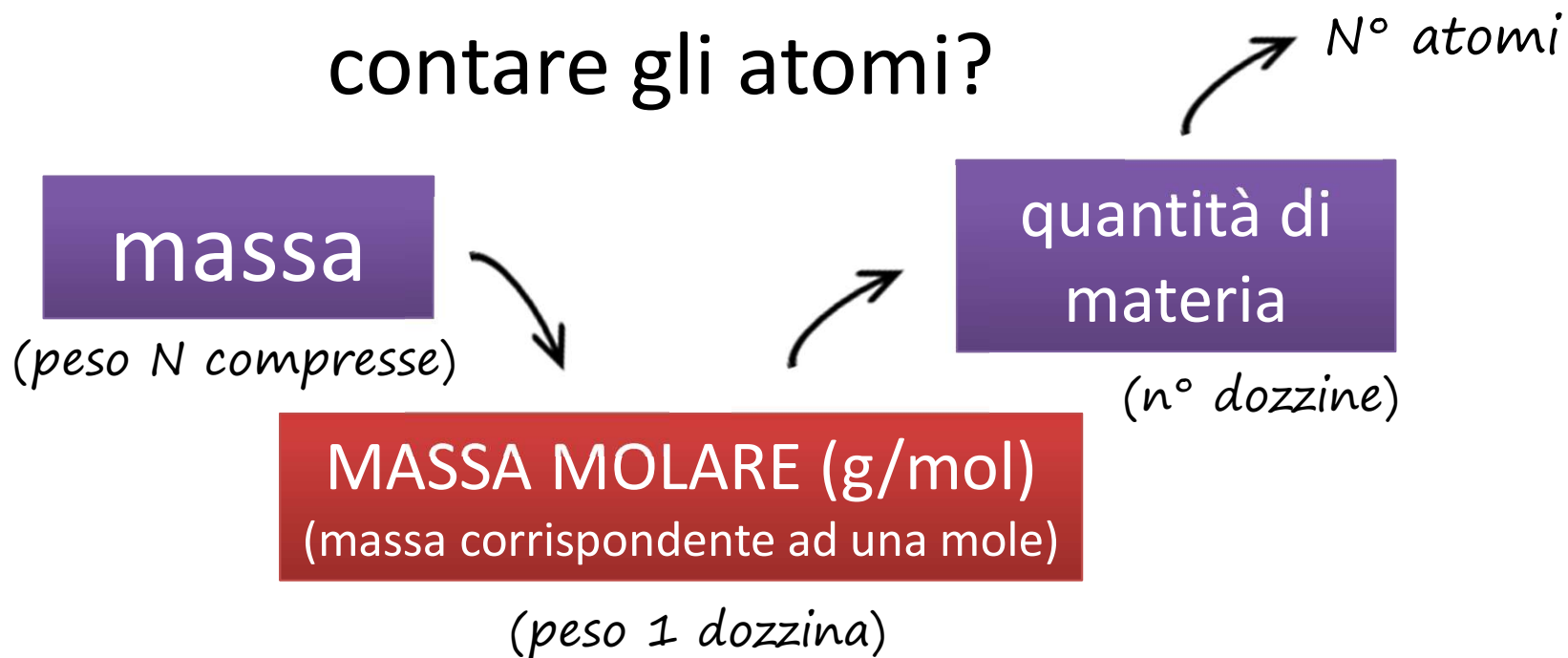
La massa di una mole di atomi di un elemento, espressa in grammi, è numericamente uguale peso atomico relativo dell'elemento.

$$1 \text{ mol S} = 32 \text{ g S}$$



16	32,066
2,58	S
127	
[Ne]3s ² 3p ⁴	
Zolfo	

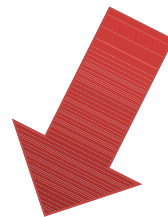
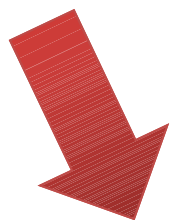
contare gli atomi?



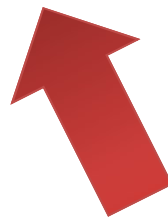
$$\text{numero moli (mol)} = \frac{\text{massa(g)}}{\text{massa molare (g mol}^{-1}\text{)}}$$

POSSO CONTARE GLI ATOMI !!!

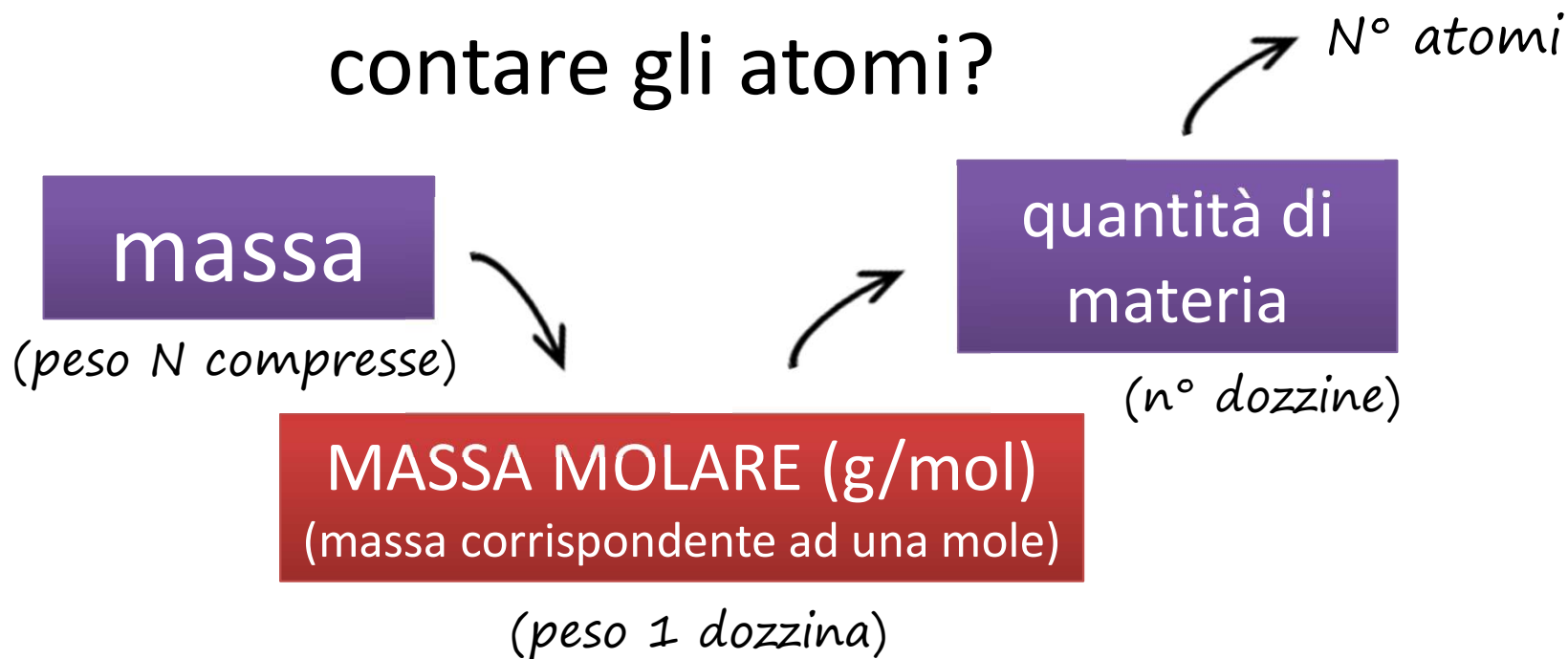
contare gli atomi?



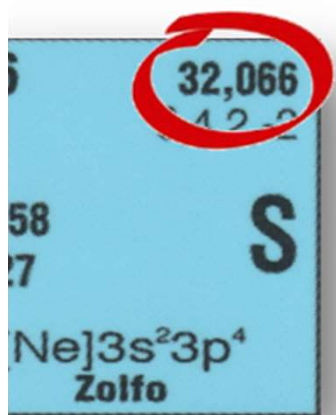
$$n^{\circ} \text{ moli (mol)} = \frac{\text{massa (g)}}{\text{massa molare (g mol}^{-1}\text{)}}$$



contare gli atomi?



Es. a quanti atomi corrispondono 64 g di S?



$$n^{\circ} \text{ moli} = \frac{64 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 2 \text{ mol}$$

Arrows indicate: 'massa' points to 64 g, 'massa molare' points to 32 g/mol.

$$\begin{aligned} n^{\circ} \text{ atomi} &= 2 \cdot N_A \\ &= 2 \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \end{aligned}$$

An arrow labeled 'moli' points to the coefficient 2 in the first equation.

L' Ipotesi di Avogadro



Amedeo Avogadro

(1776-1856)

1811

nelle medesime condizioni di
temperatura e pressione,
volumi uguali di gas diversi
contengono

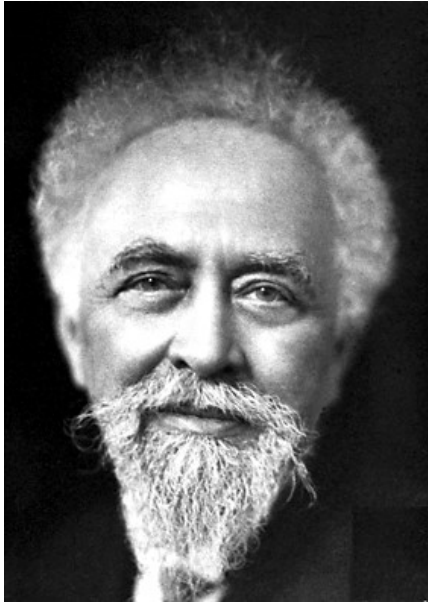
lo stesso numero di molecole

qual è questo numero?

molti ci provano

(Einstein, Planck, Rayleigh, ...)

Il Numero di Avogadro



Jean Baptiste Perrin
(1870-1942)

1909

“questo numero N è una costante universale, che potrebbe, giustificatamente, essere chiamata **costante di Avogadro**”

*il suo valore viene
calcolato da misure di
moto Browniano*

Table 1. Values of N_A and their uncertainties as determined from 1865. Data 1–17 are derived mainly from atomic or molecular movement in gases or fluids, data 18–24 mainly from x-ray wavelengths, and data 25–35 from the XRCD approach, together with least-squares adjustments of fundamental constants.

	Year	First author	Method	N_A^* 10^{23} mol^{-1}	u_{rel}
1	1865	J Loschmidt	Mean free path	72	1×10^0
2	1873	J D van der Waals	Kin. gas theory	11	5×10^{-1}
3	1890	W R Röntgen	Atom. films on water	7	1×10^0
4	1890	J W S Rayleigh	Atom. films on water	6.08	1×10^{-2}
5	1901	M Planck	R/k	6.16	1×10^{-2}
6	1903	H A Wilson	Oil drop method	9.3	1×10^0
7	1904	J J Thomson	Oil drop method	8.7	1×10^0
8	1908	A Einstein	Diffusion theory	6	1×10^0
9	1908	J Perrin	Brownian movement	6.7	3×10^{-1}
10	1909	E Rutherford	α -particle theory	6.16	6×10^{-2}
12	1914	T Fletcher	Brownian movement	6.0	2×10^{-1}
13	1914	I Nordlund	Diffusion in fluids	5.91	1×10^{-2}
14	1915	A Westgreen	Diffusion in fluids	6.06	2×10^{-1}
15	1917	R A Millikan	Oil drop method	6.064	6×10^{-3}
16	1923	T W Shaxby	Diffusion in fluids	5.9	—
17	1924	P L du Nouy	Thin films	6.004	8×10^{-3}
18	1929	R T Birge	X-ray diffraction	6.064 4	6×10^{-3}
19	1931	J A Bearden	X-ray gratings/plane	6.019	3×10^{-3}
20	1941	R T Birge	Calcite, NaCl, KCl, ...	6.022 83	1×10^{-4}
21	1945	R T Birge	Diamond, LiF	6.023 38	2×10^{-4}
22	1948	J W M DuMond	X-gratings/concave	6.023 2	1×10^{-4}
23	1949	M E Straumanis	Calcite crystals	6.024 03	3×10^{-4}
24	1951	J W M DuMond		6.025 44	1×10^{-4}
25	1965	J A Bearden	XRCD, Si	6.022 088	2×10^{-5}
26	1965	E R Cohen	LS. adjustment	6.022 52	9×10^{-5}
27	1973	E R Cohen	LS. adjustment	6.022 045	3×10^{-5}
28	1974	R D Deslattes	XRCD, Si	6.022 094 3	1×10^{-6}
29	1987	R D Deslattes	XRCD	6.022 134	1×10^{-6}
30	1987	E R Cohen	LS. adjustment	6.022 136 7	6×10^{-7}
31	1992	P Seyfried	XRCD	6.022 136 3	1×10^{-6}
32	1994	G Basile	XRCD	6.022 137 9	4×10^{-7}
33	1995	P De Bièvre	XRCD	6.022 136 5	6×10^{-7}
34	1999	K Fujii	XRCD	6.022 155 0	3×10^{-7}
35	2001	P De Bièvre	XRCD	6.022 133 9	4×10^{-7}

Movimenti di atomi in gas o liquidi

INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING

REPORTS ON PROGRESS IN PHYSICS

Rep. Prog. Phys. **64** (2001) 1945–2008

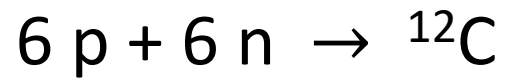
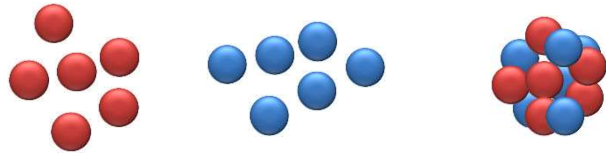
PII: S0034-4885(01)12689-8

History and progress in the accurate determination of the Avogadro constant

Peter Becker

Diffrazione a raggi-X

difetto di massa

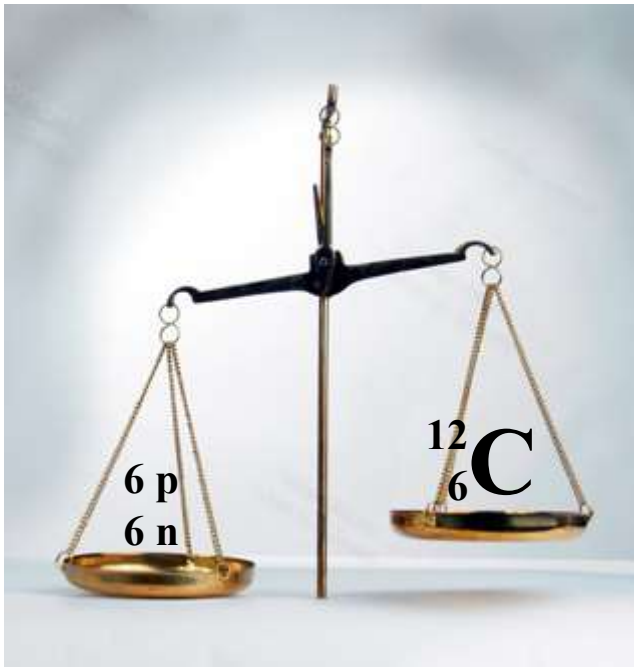


$$\text{protoni: } 6 \times 1.007276 \text{ u} = 6.04366 \text{ u}$$

$$\text{neutroni: } 6 \times 1.008665 \text{ u} = 6.05199 \text{ u}$$

$$12.09565 \text{ u}$$

(!)



$$\Delta m = 0.09565 \text{ u}$$

*l'atomo pesa meno
della somma dei
nucleoni!*

$$E \text{ di legame } \textit{nucleare} = \Delta m c^2$$

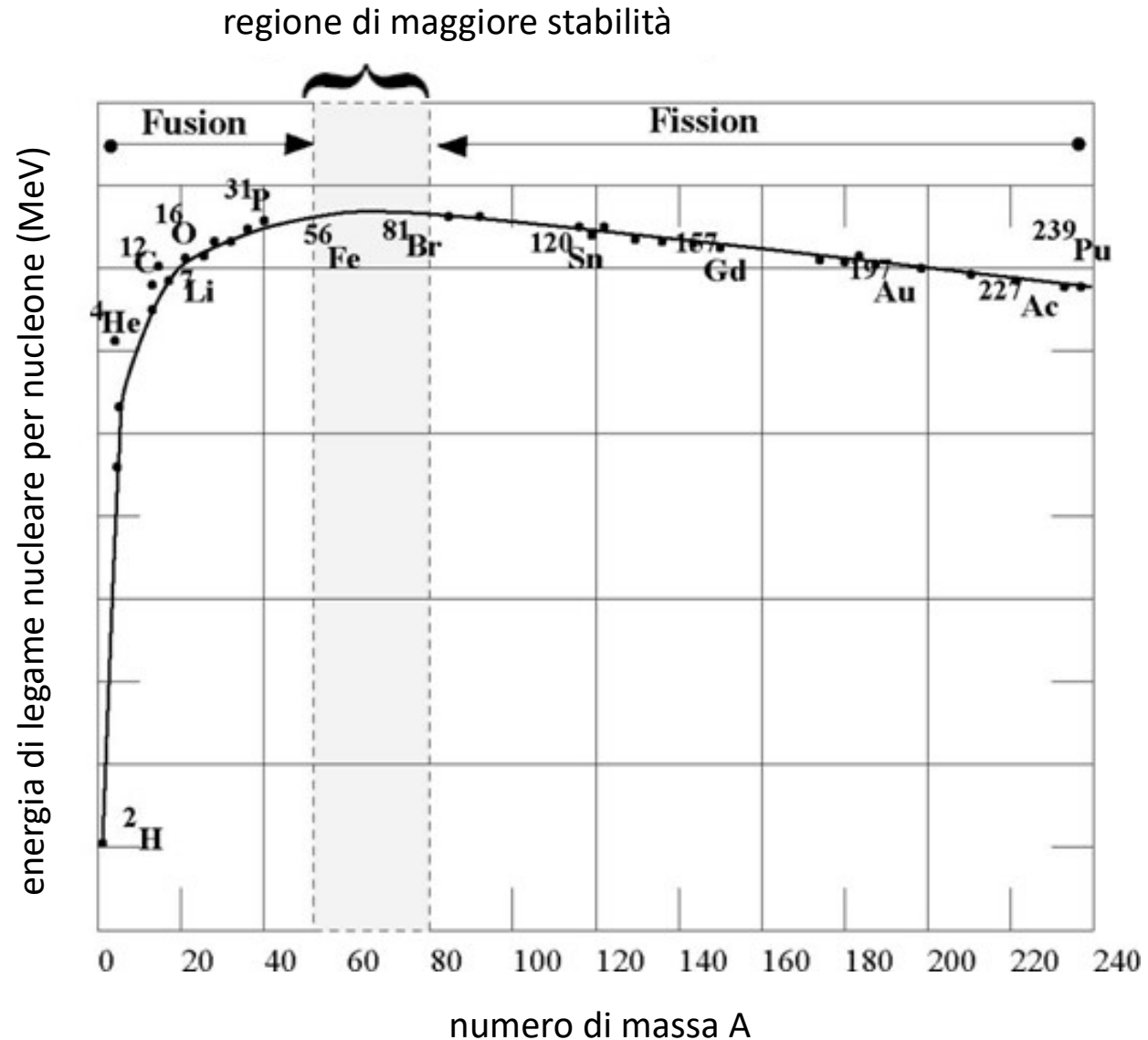
$$92162 \text{ keV}$$

$$(1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J})$$

energia di legame per nucleone

energia di
legame nucleare
per nucleone

$$\frac{\Delta mc^2}{A}$$



dai raggi-x alla radioattività

1895-1898

Röntgen



Fisica
1901



raggi x
o
raggi
Röntgen



Becquerel



Fisica
1903



88
Ra
Radium
(226)

84
Po
Polonium
(209)

P. Curie



M. Curie



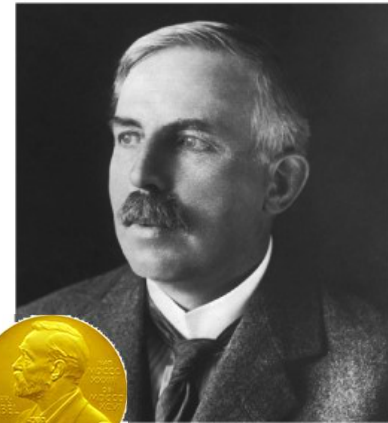
Chimica
1911

La radioattività è causata
dalla spontanea
disintegrazione degli atomi

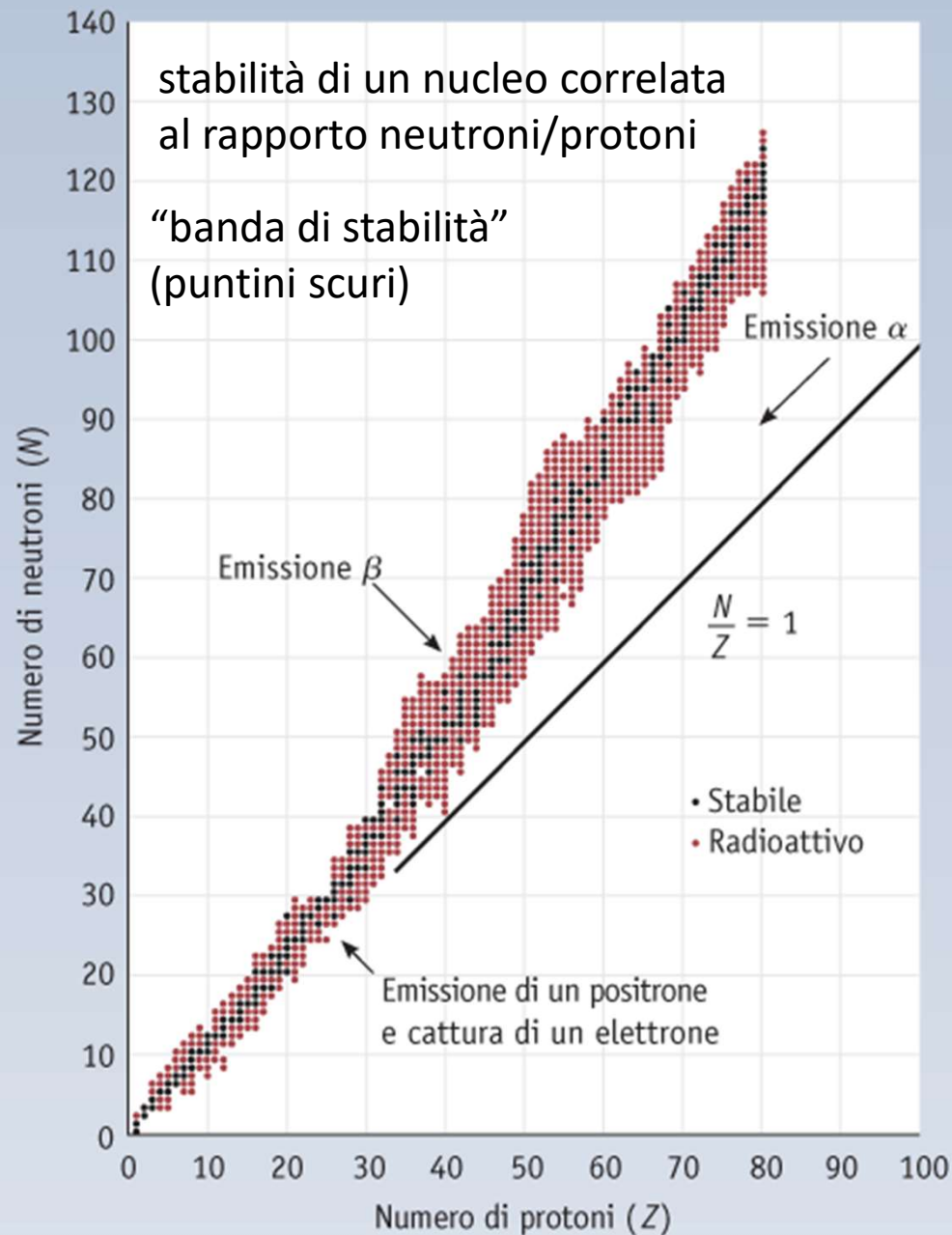
*"Nella scienza esiste solo la Fisica; tutto il
resto è collezione di francobolli"*

E. Rutherford

Rutherford

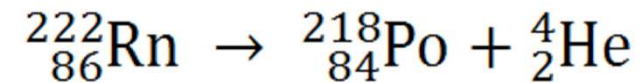
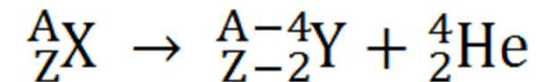


Chimica
1908

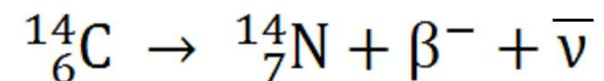
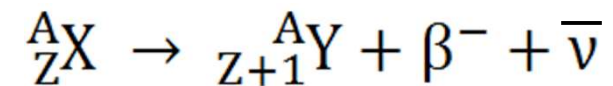


tipi comuni di
decadimento radioattivo

decadimento α



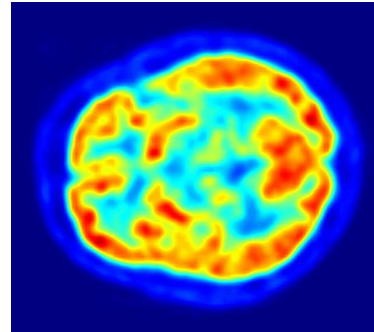
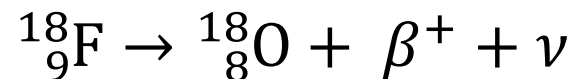
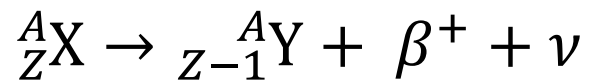
decadimento β



antineutrino

altri processi di trasformazione del nucleo

decadimento beta con
emissione di positroni



*alla base della tecnica
di imaging Positron
Emission Tomography
(PET)*

cattura elettronica

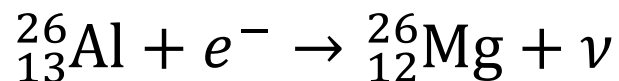
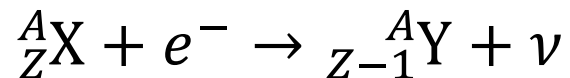
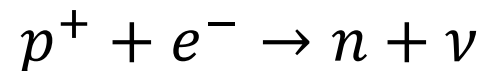
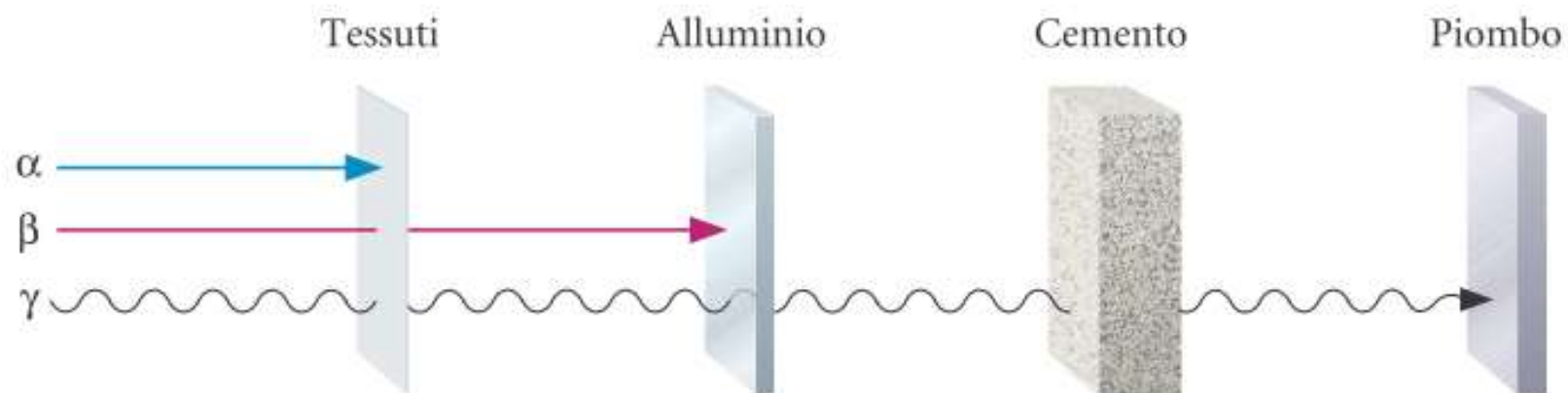
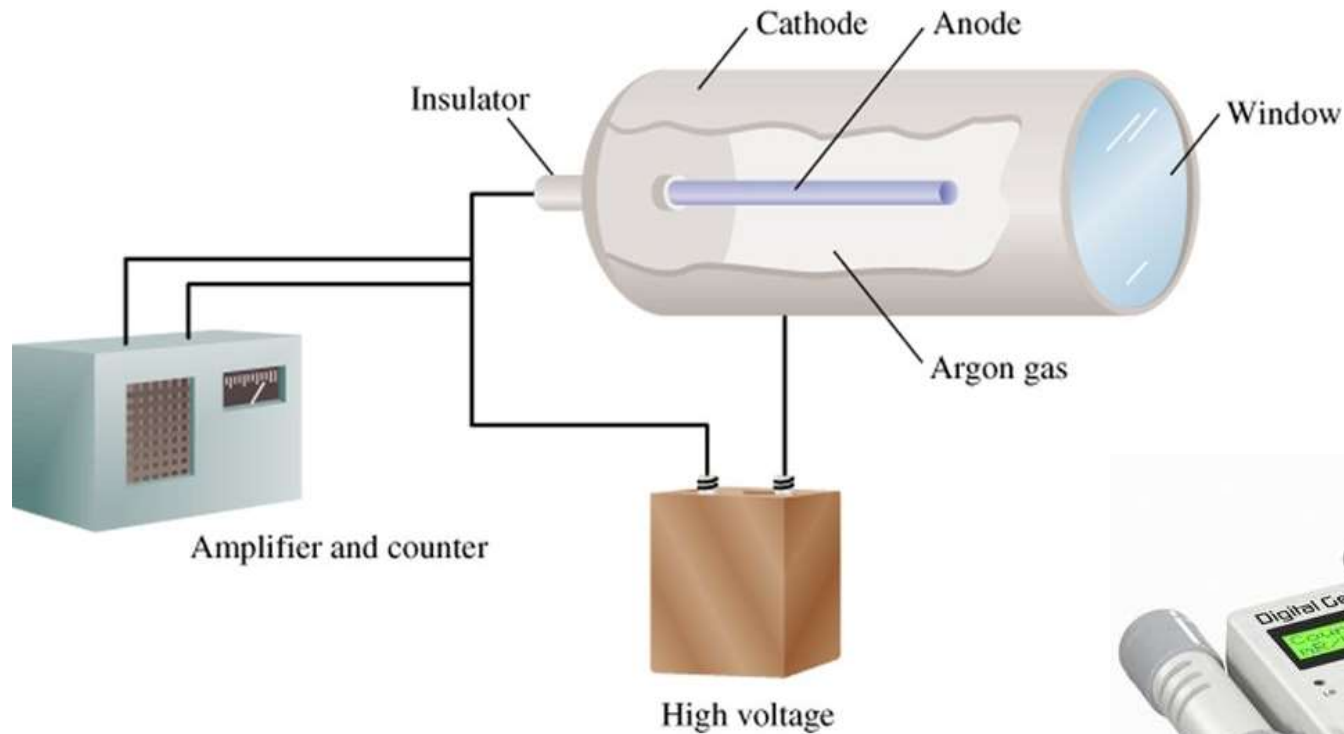


TABELLA 21.2 Processi di decadimento radioattivo

Tipo di decadimento	Emissione	Variazione del numero atomico	Variazione del numero di massa
Emissione di particelle alfa	${}^4_2\text{He}$	-2	-4
Emissione di particelle beta	${}^0_{-1}\beta$	+1	0
Emissione di raggi gamma	${}^0_0\gamma$	0	0
Emissione di positroni	${}^0_{+1}\beta$	-1	0
Cattura elettronica	Raggi X	-1	0



contatore Geiger (1913)

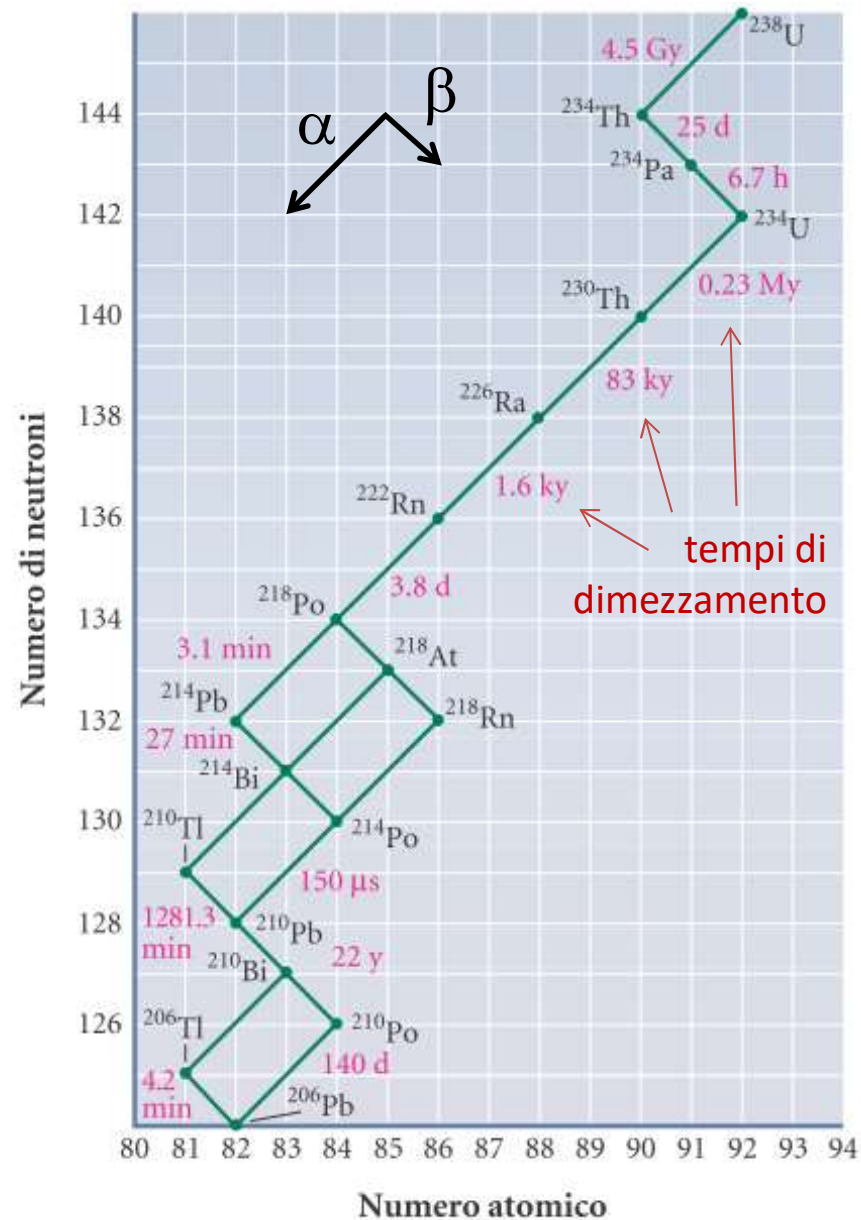


Hans Geiger
(1882 – 1945)

unità di misura Bq (Bequerel)
numero di disintegrazioni
per secondo

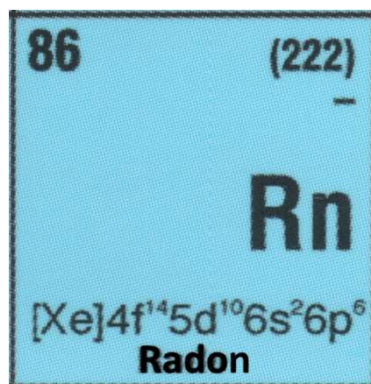
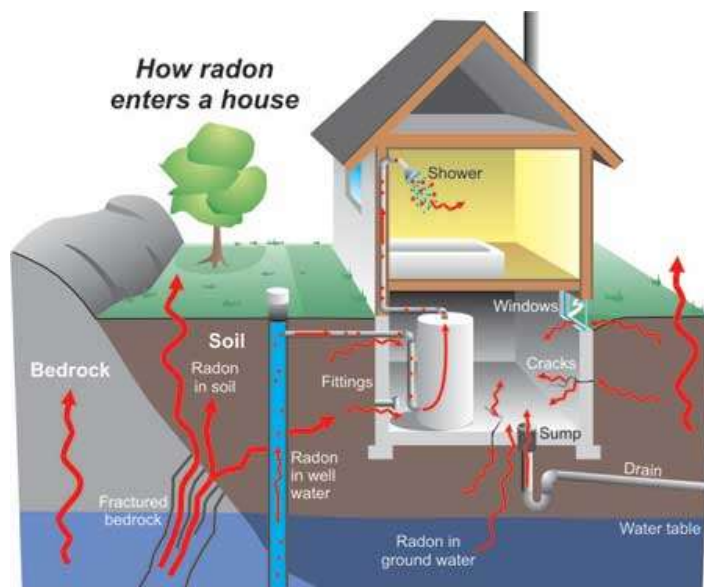


serie di decadimento dell' ^{238}U

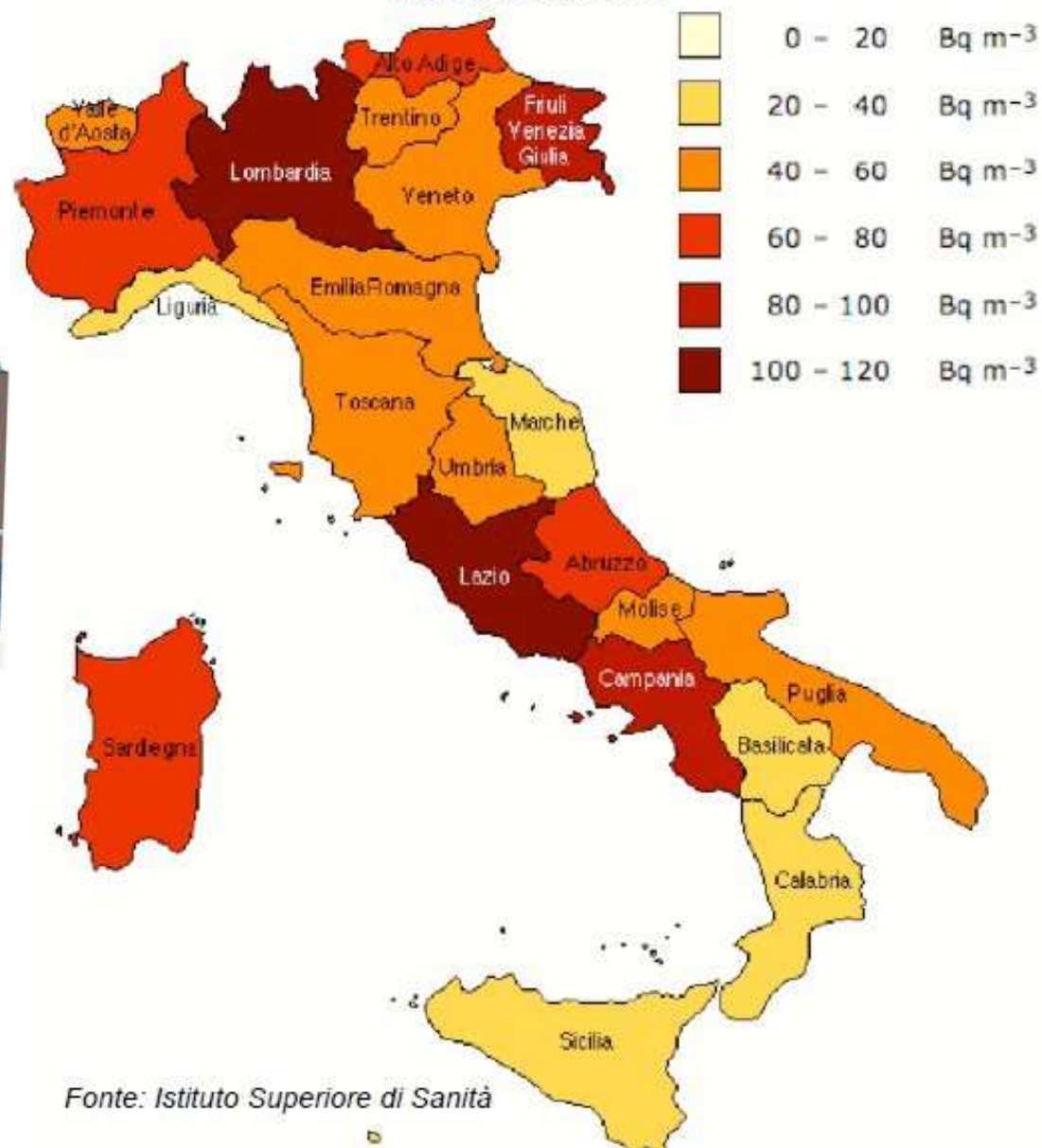


radioattività naturale

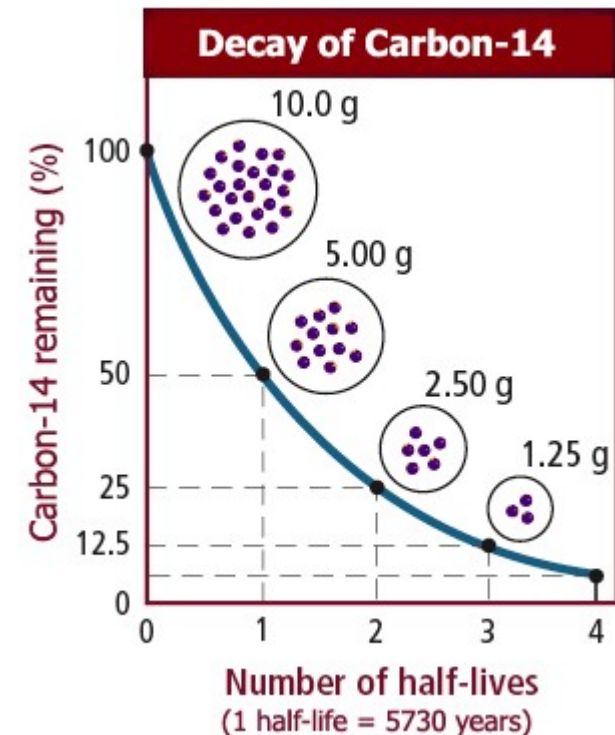
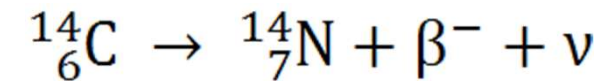
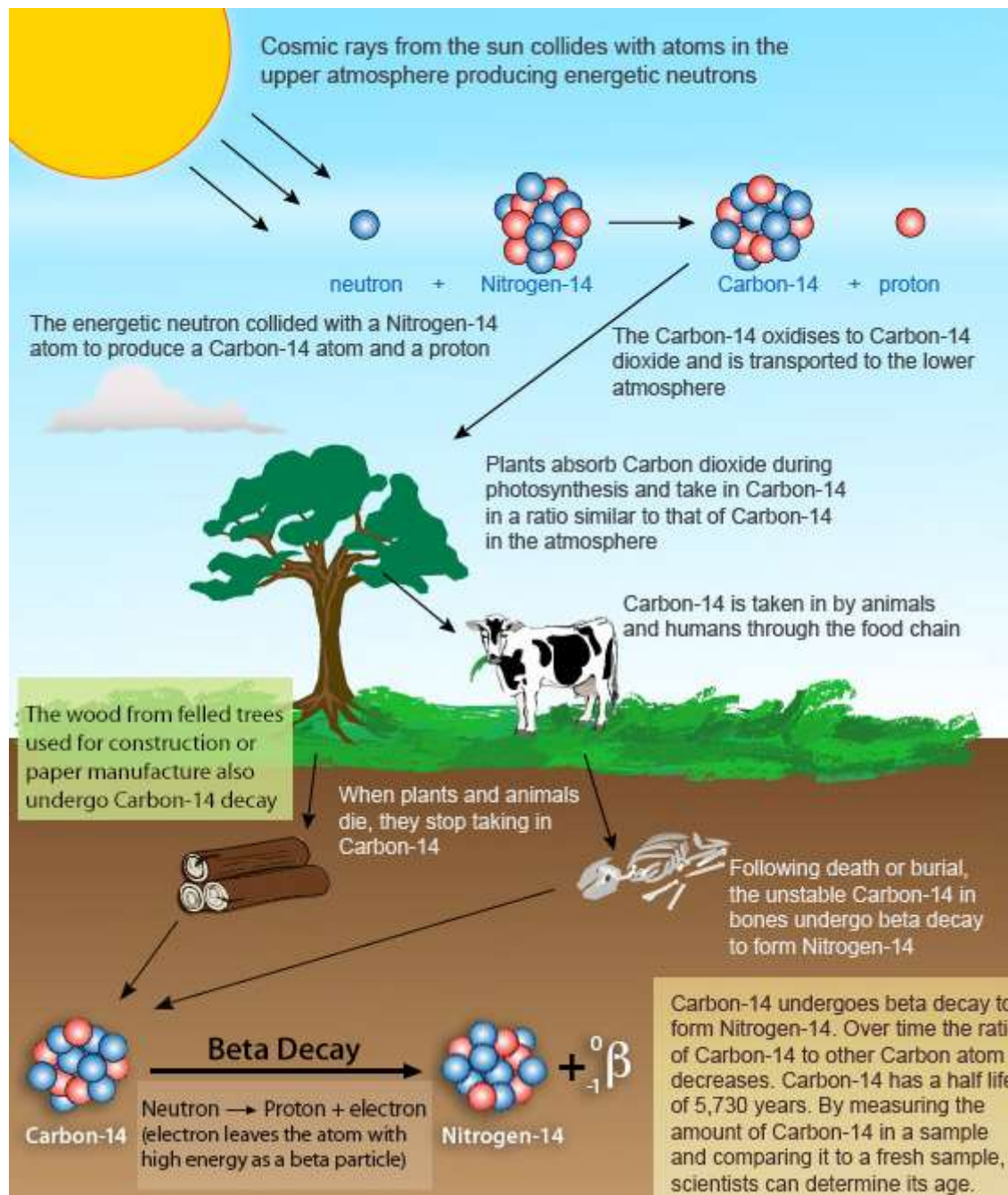
tutti gli elementi che hanno
 $Z > 83$ (Bi) sono radioattivi



Medie regionali della concentrazione di radon nelle abitazioni



Fonte: Istituto Superiore di Sanità



cinetica del decadimento radioattivo

variazione
numero di
nuclidi

$$\frac{dN}{dt} = -kN$$

costante

$$\frac{1}{N} dN = -k dt$$

$$\int_{N_0}^N \frac{1}{N} dN = -k \int_0^t dt$$

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -kt$$

numero di
nuclidi al
tempo t

$$N(t) = N_0 e^{-kt}$$

numero di
nuclidi iniziale
($t=0$)

cinetica del decadimento radioattivo

$$N(t) = N_0 e^{-kt}$$

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-kt_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-kt_{1/2}}$$

*tempo di
dimezzamento*

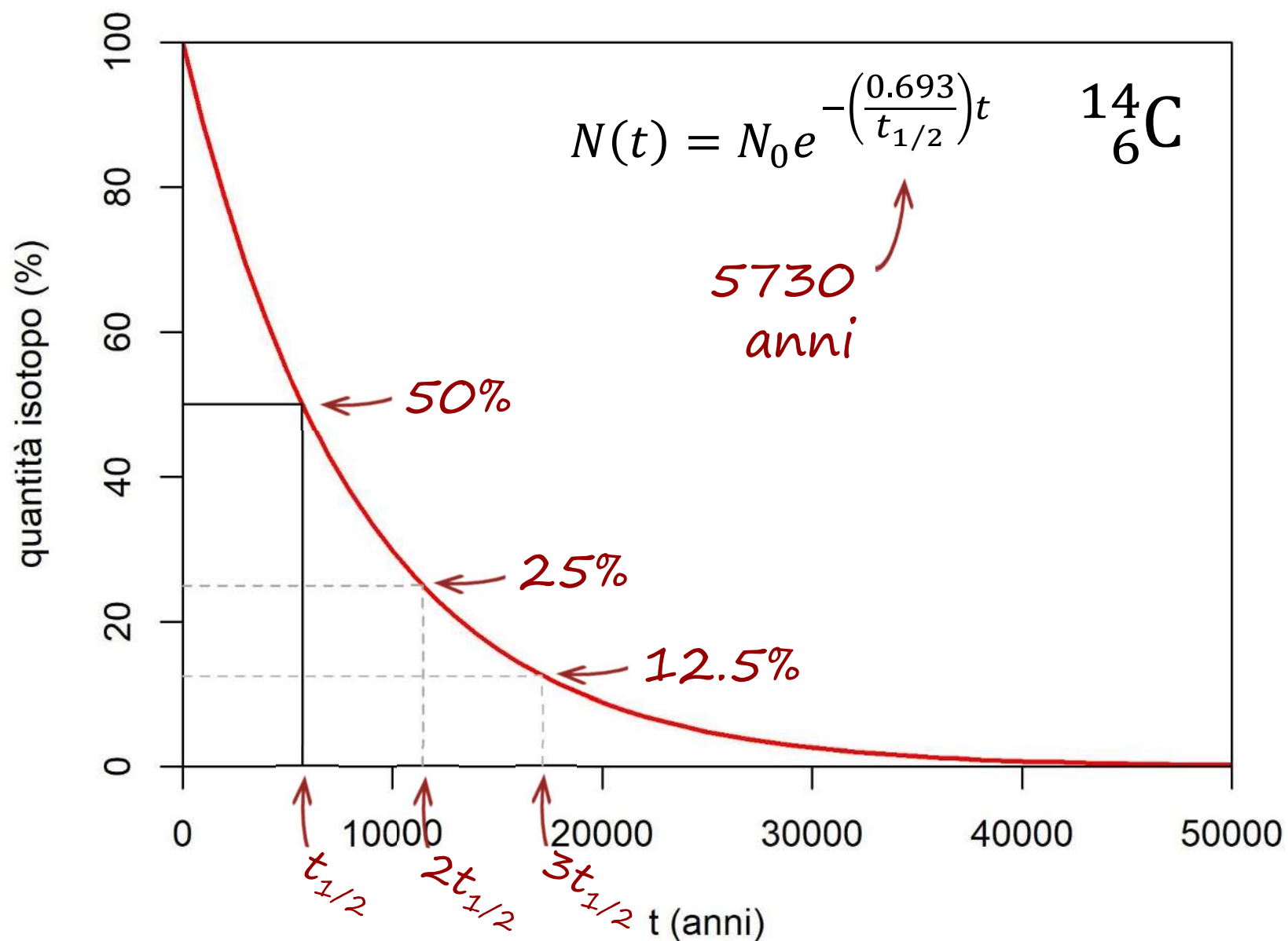
$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -kt_{1/2}$$

$$k = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

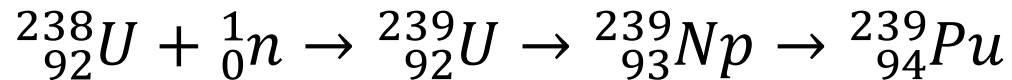
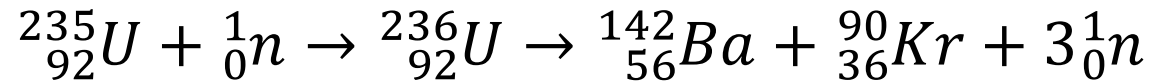
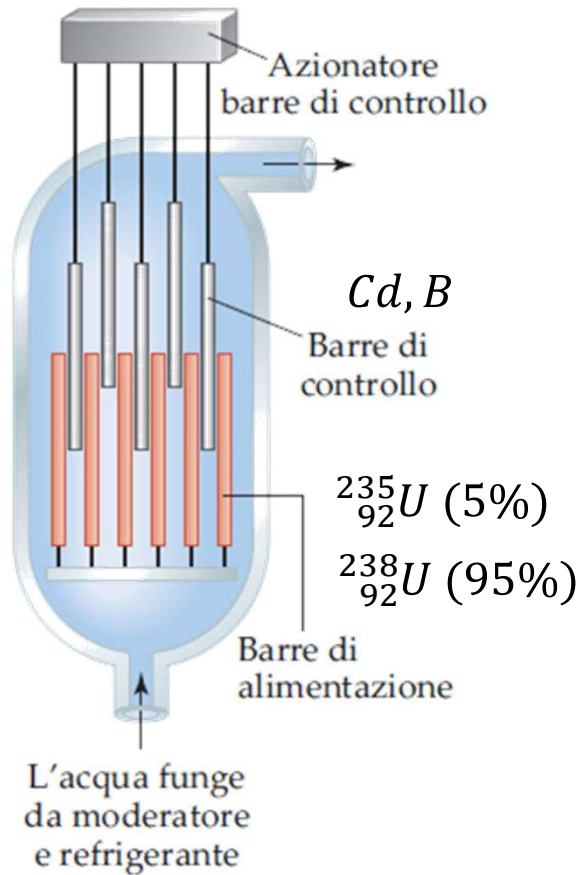
$$\leftarrow -0.693 = -kt_{1/2}$$

$$N(t) = N_0 e^{-\left(\frac{0.693}{t_{1/2}}\right)t}$$

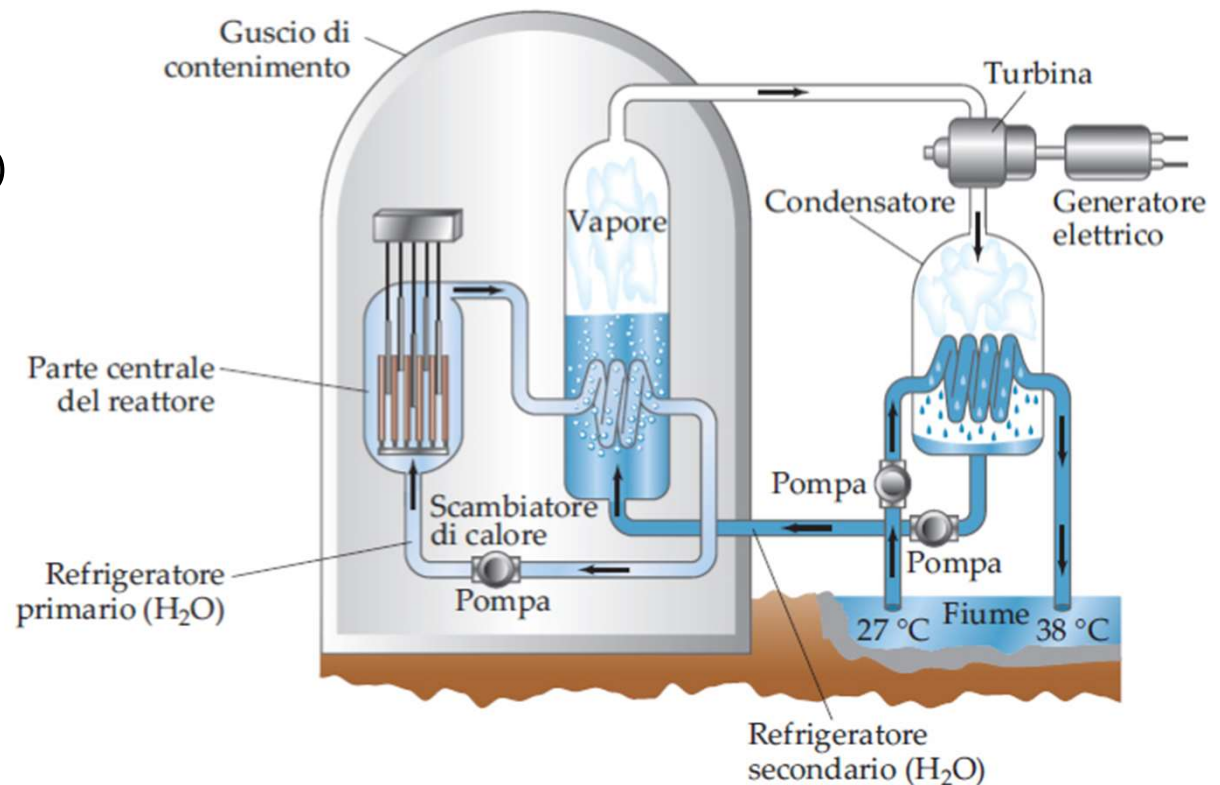
cinetica del decadimento radioattivo



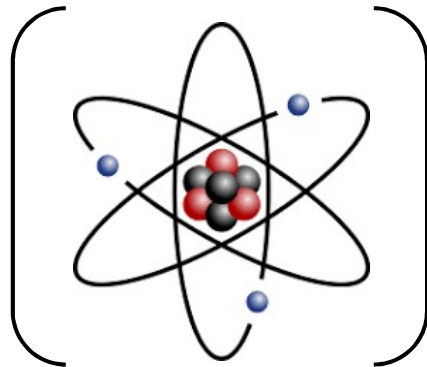
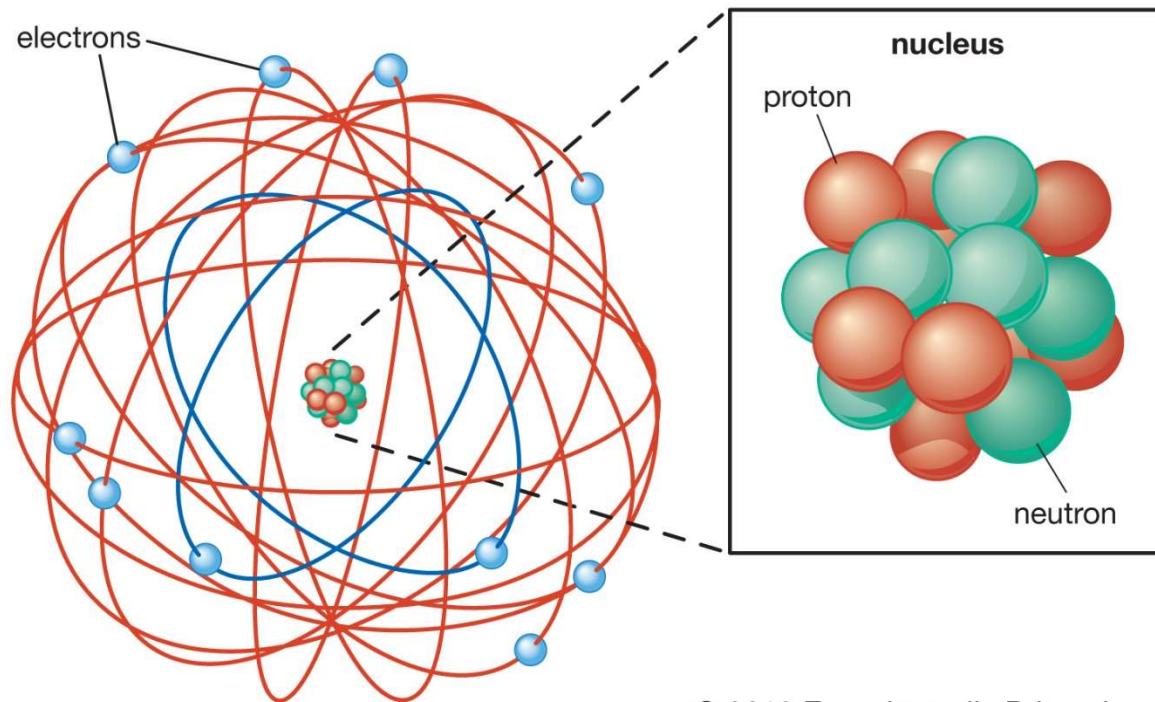
centrale nucleare



scoria

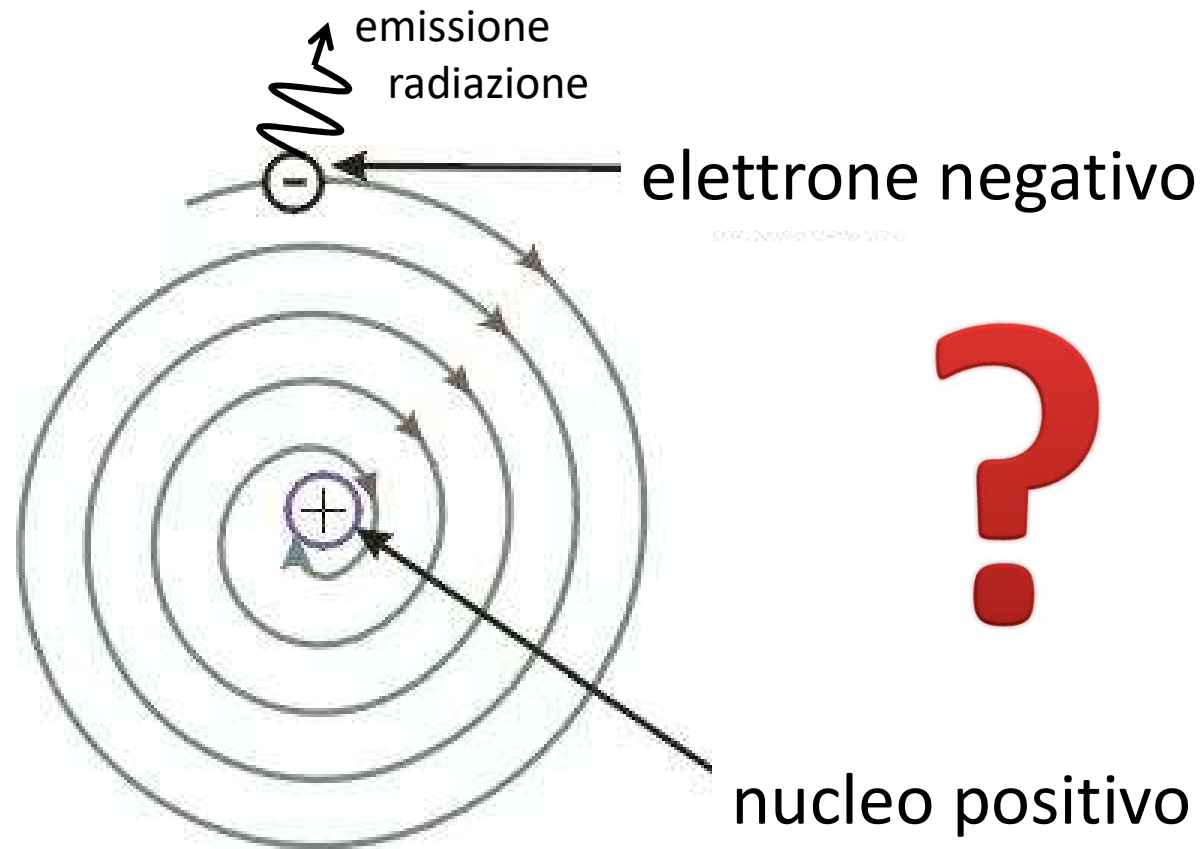


modello atomico di Rutherford



stabilità della materia: un mistero

→ secondo l'elettrodinamica classica (Maxwell),
l'elettrone collaserebbe sul nucleo in 10^{-8} s



Maxwell



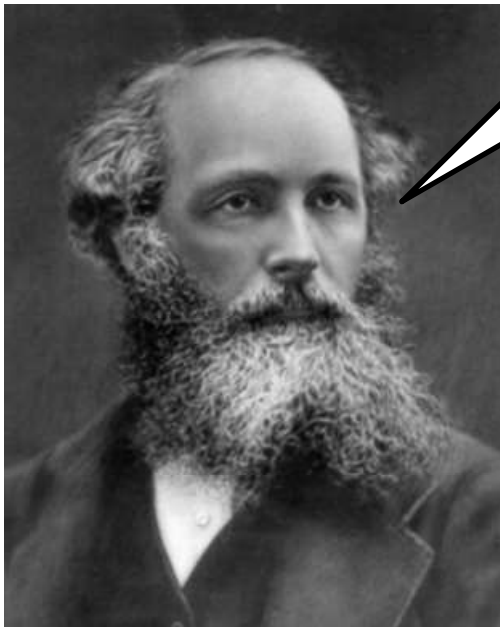
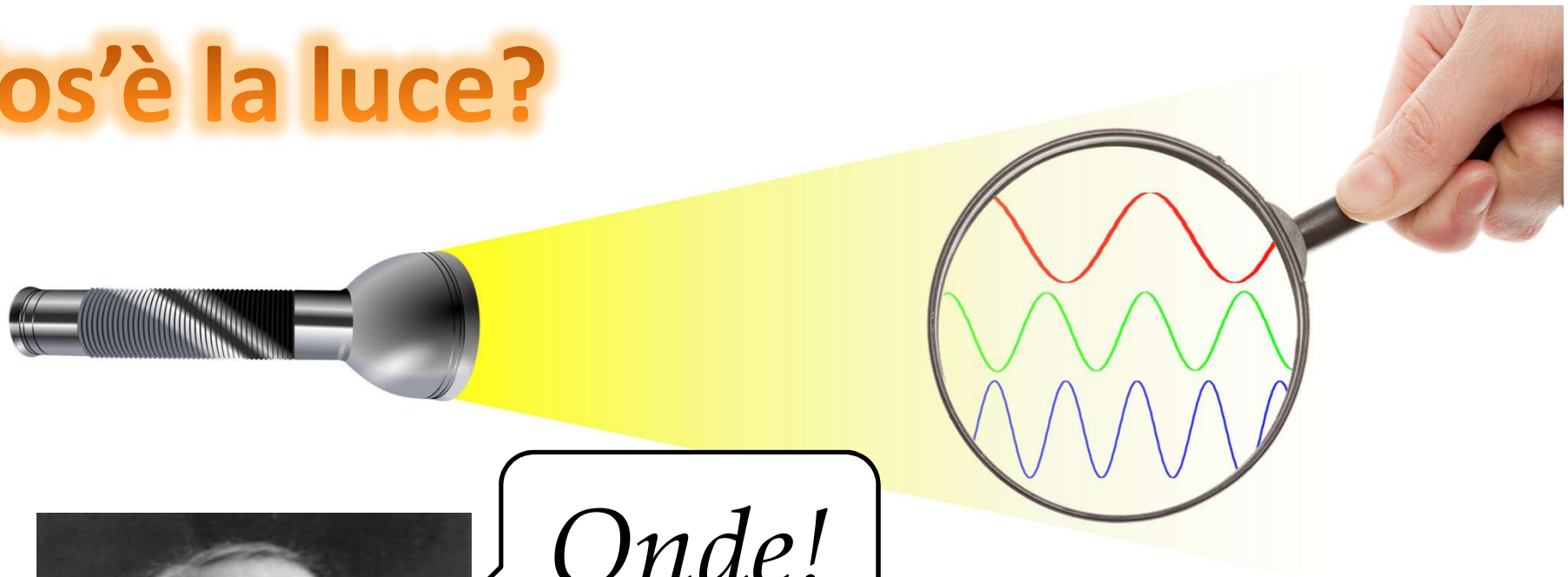
$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

Cos'è la luce?

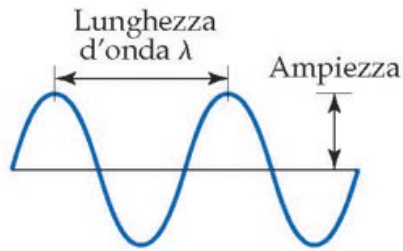


James C. Maxwell
(1831-1879)

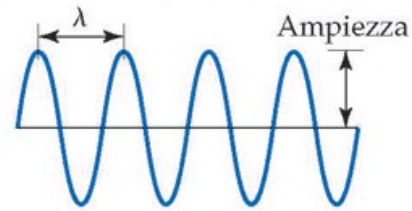
Onde!

*luce = onde
elettromagnetiche*

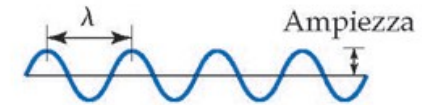
onda: variazione periodica di qualche proprietà nello spazio e nel tempo



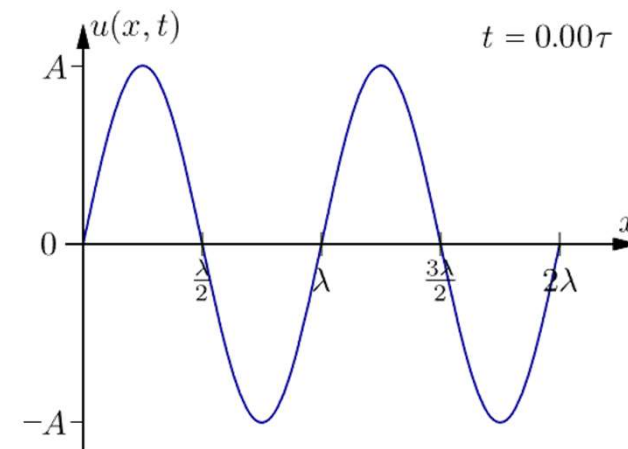
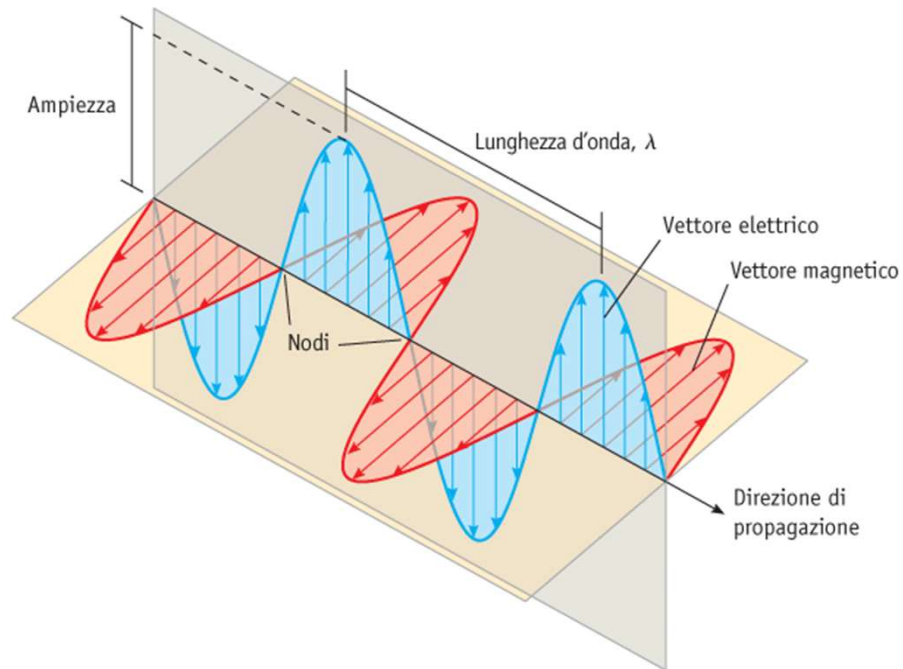
(a) Due cicli completi di lunghezza d'onda λ



(b) La lunghezza d'onda è la metà di quella in (a); la frequenza è il doppio di quella in (a)



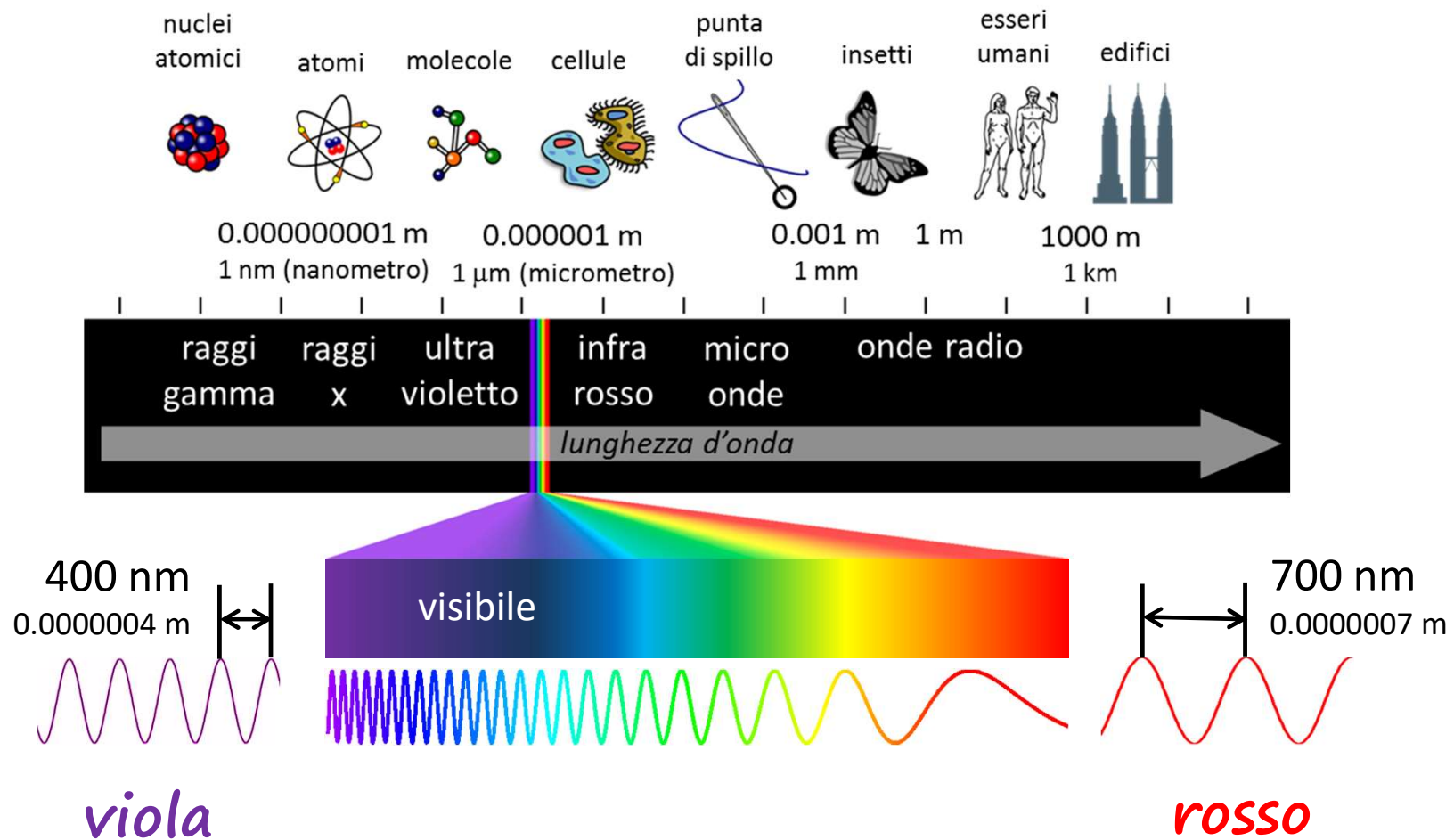
(c) Frequenza uguale a quella in (b), minore ampiezza



frequenza (Hz)
lunghezza d'onda
ampiezza (intensità)

Cos'è la luce?

Lo spettro elettromagnetico

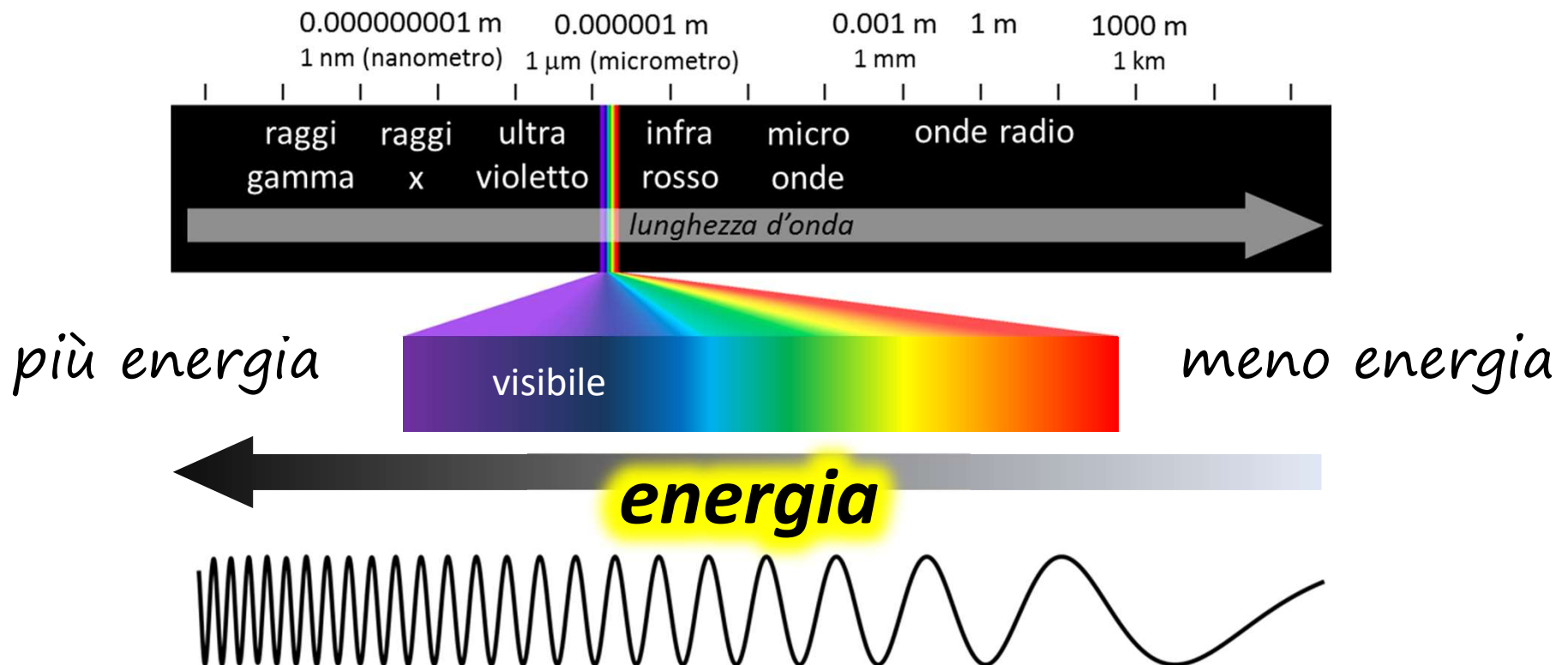


"Luce" ed energia



"Luce" ed energia

energia $E = C \cdot \frac{1}{\lambda}$ *costante* *lunghezza d'onda*



(radiazione) luce e calore



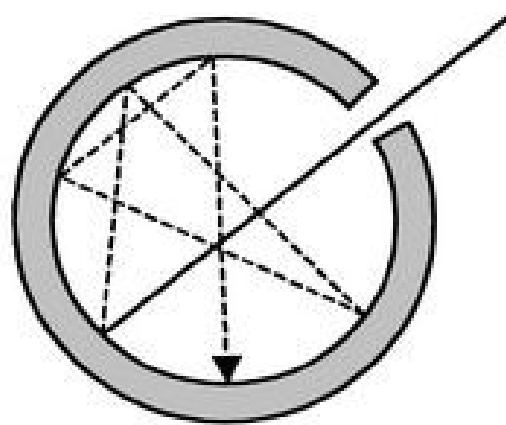
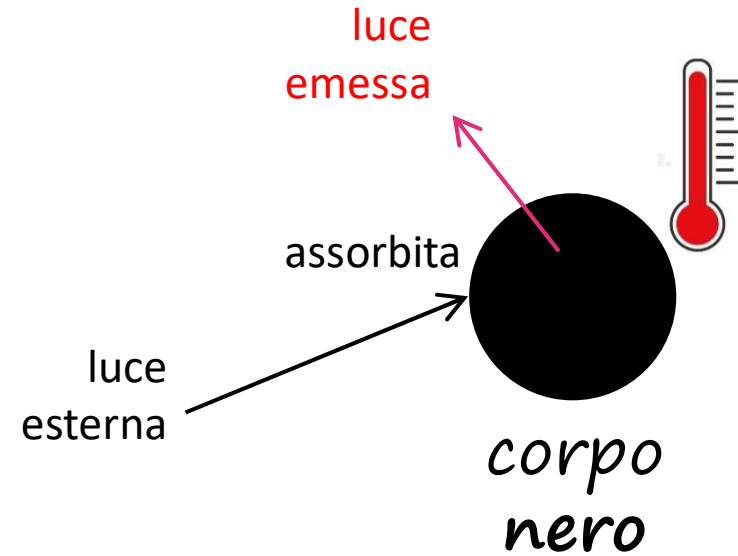
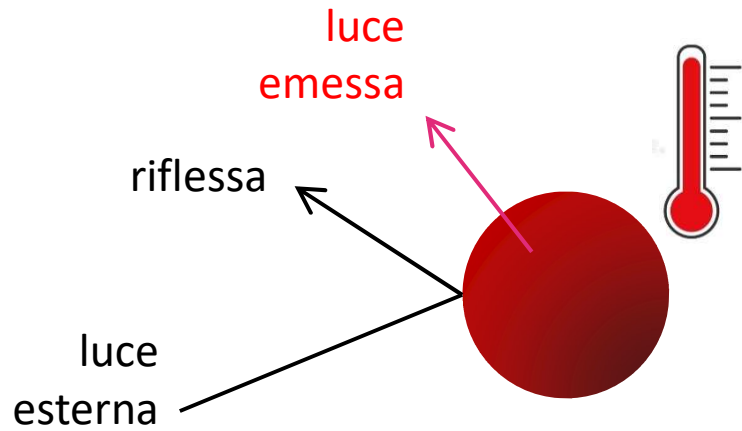
temperatura

colore

1000 °C	Rosso
1200 °C	Rosso tendente al giallo
1700 °C	Giallo arancio
2500 °C	Giallo
3200 °C	Bianco-giallastro
4200 °C	Bianco (tono caldo)
5200 °C	Bianco

(c) Radiazione del corpo nero emessa da carbone incandescente.

“corpo nero”

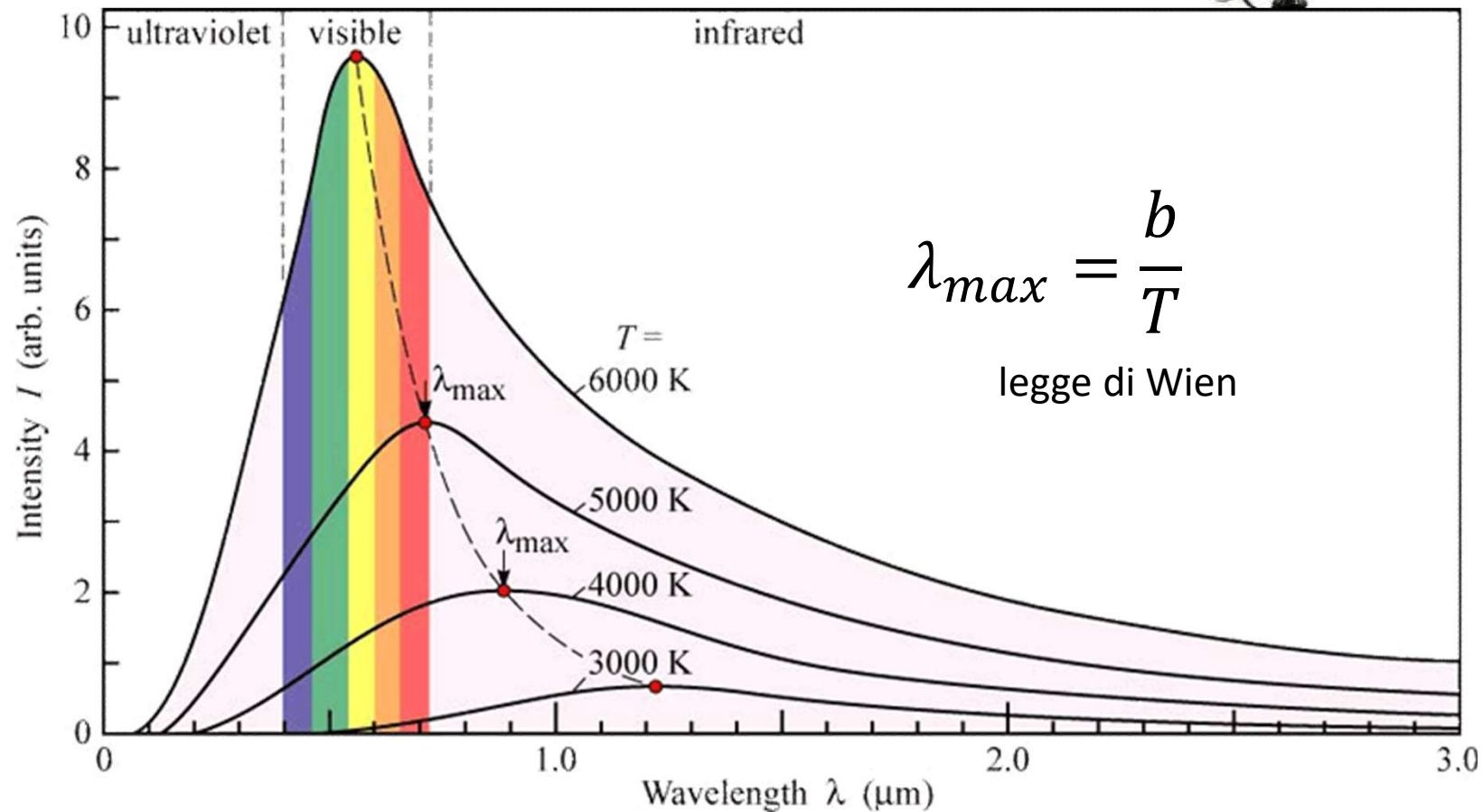


*cavità con pareti
opache come
approssimazione del
corpo nero*

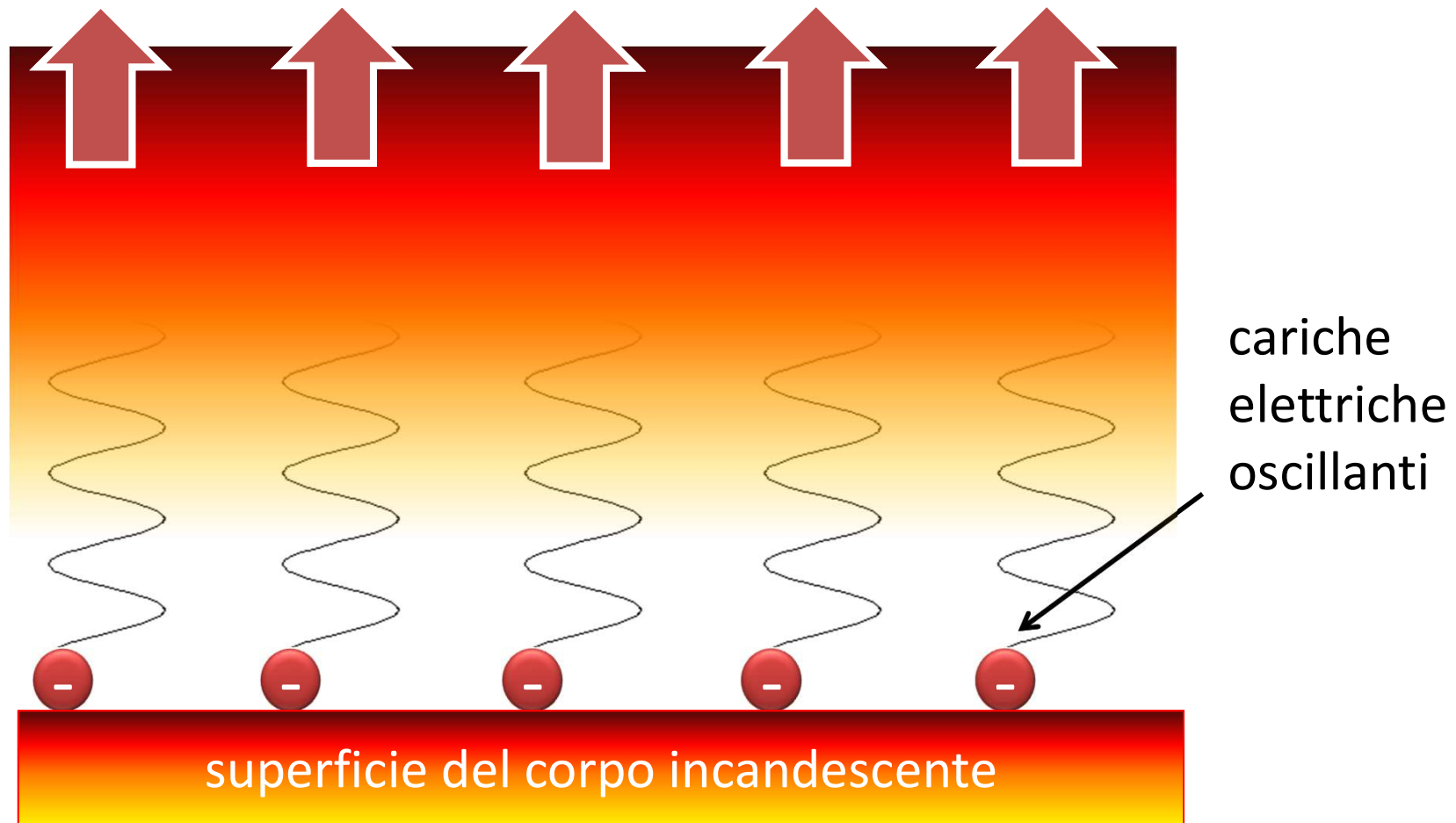
radiazione del corpo nero (emissione)



pirometri
ottici

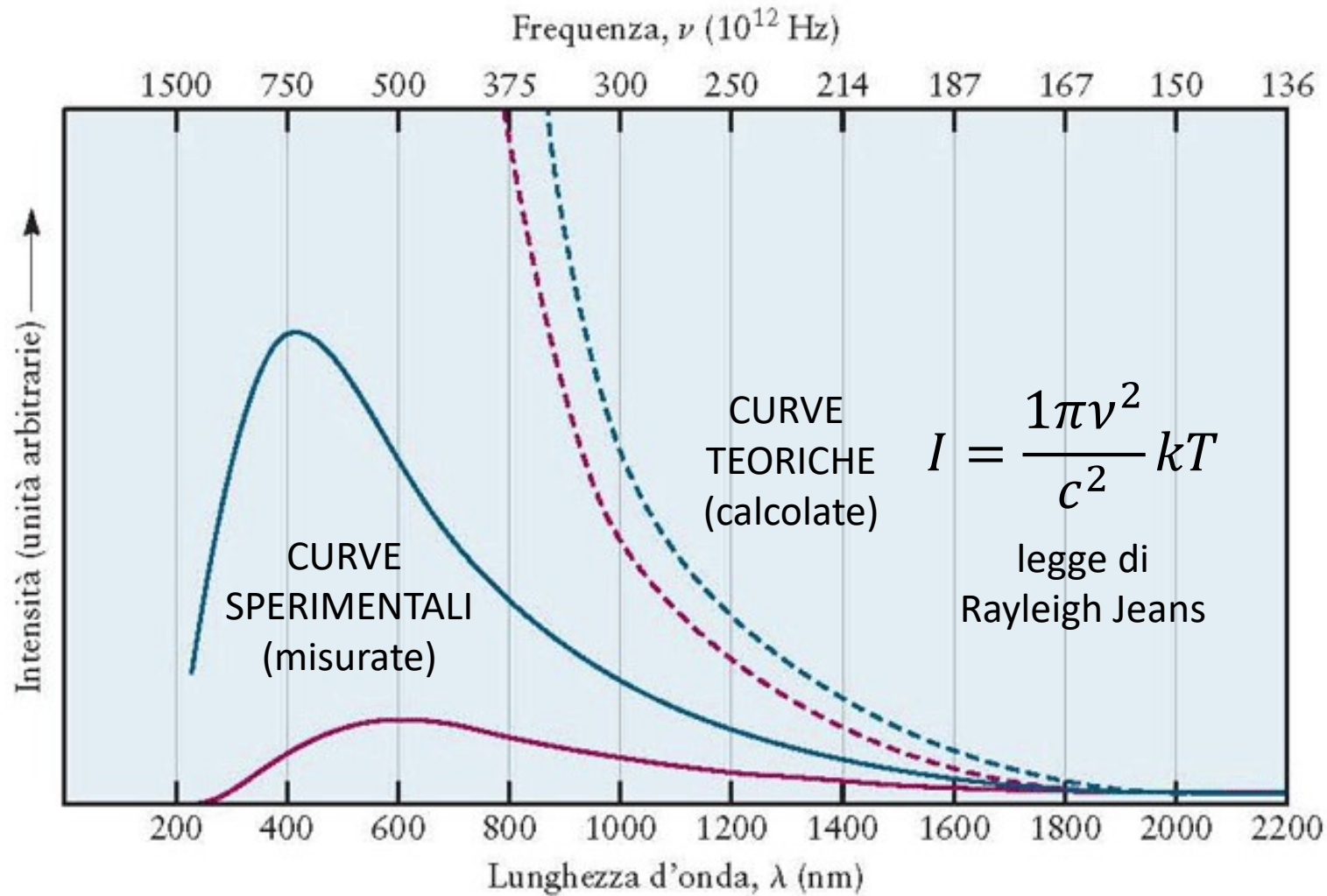


radiazione elettromagnetica (luce)



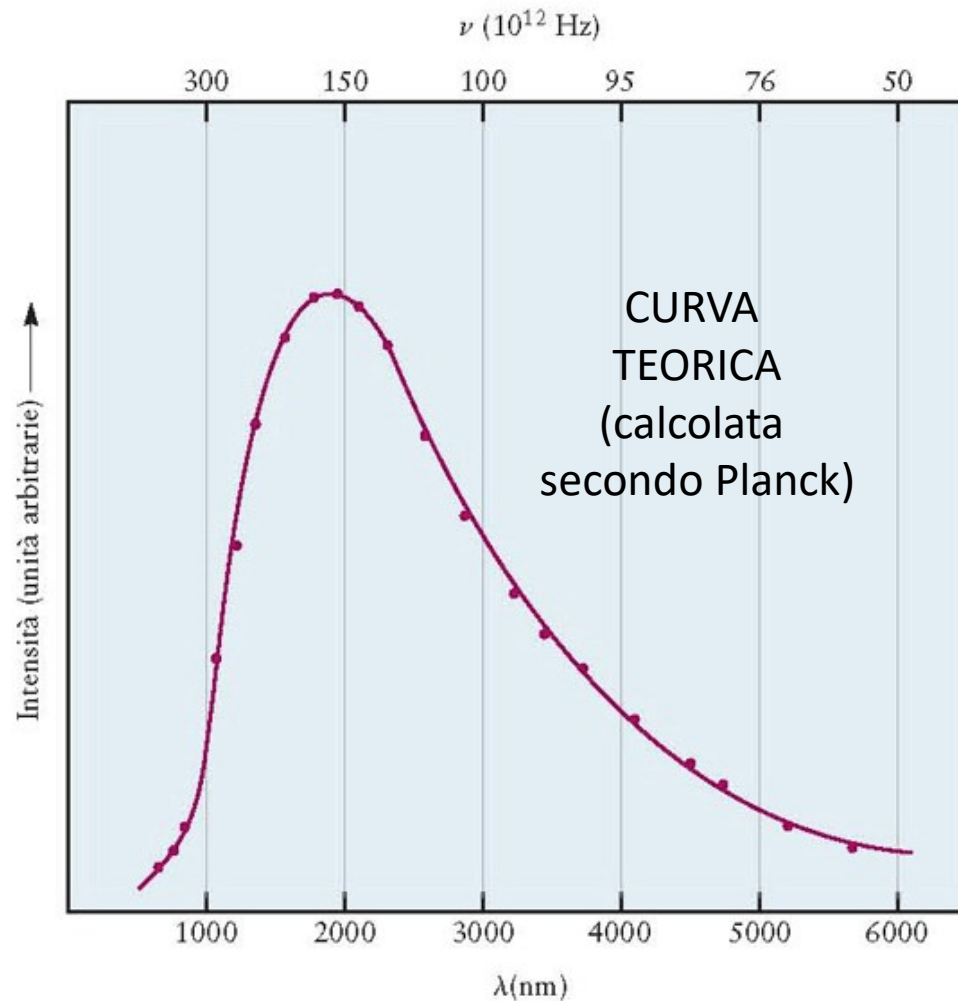
(teoria degli elettroni di Lorentz)

la “catastrofe ultravioletta”!

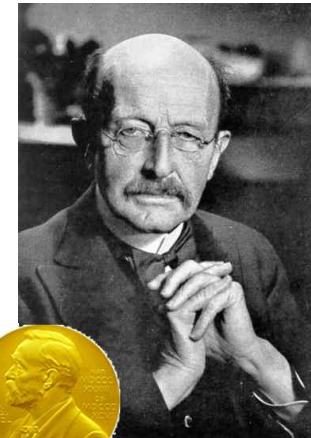


l'ipotesi di Planck

1901



Fisica
1918



“oscillatori” sulla superficie
del corpo caldo possono
assumere solo valori di
energia multipli di $h\nu$

$$E = nh\nu, n: 1, 2, 3, \dots$$

$$h = 6.62608 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

(costante di Planck)

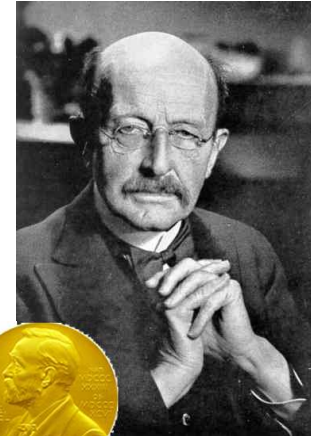
$$I = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

l'ipotesi di Planck

1901



Fisica
1918



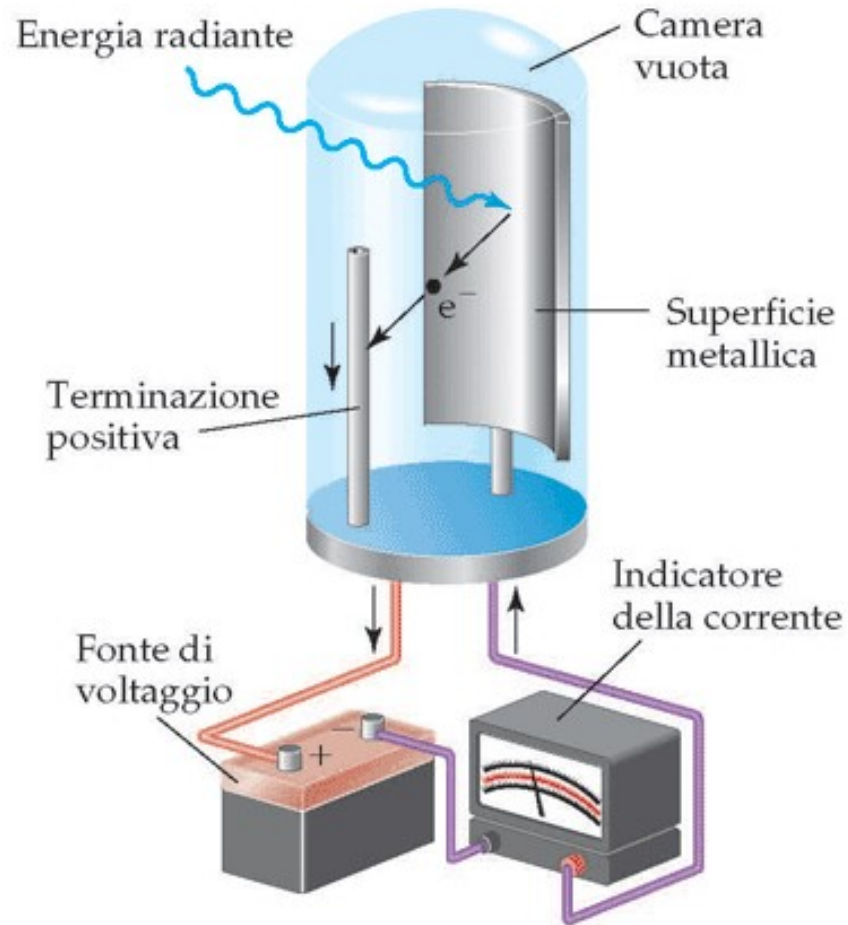
un sistema può avere solo
valori DISCRETI di energia
 (“**quanti**” di energia)

$$h\nu$$

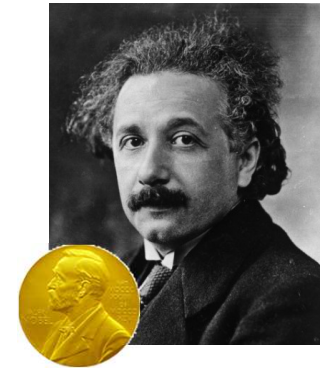
→ l'energia è
“**QUANTIZZATA**”

Einstein e l'effetto fotoelettrico

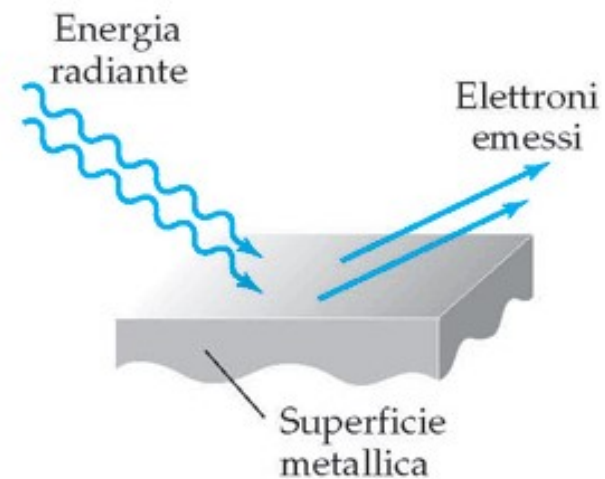
1905



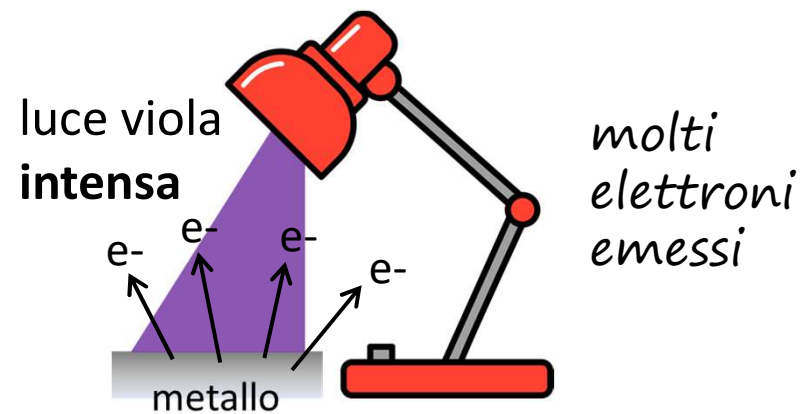
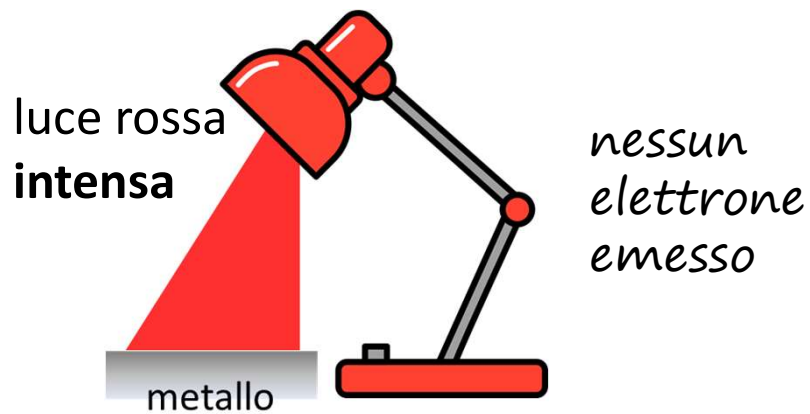
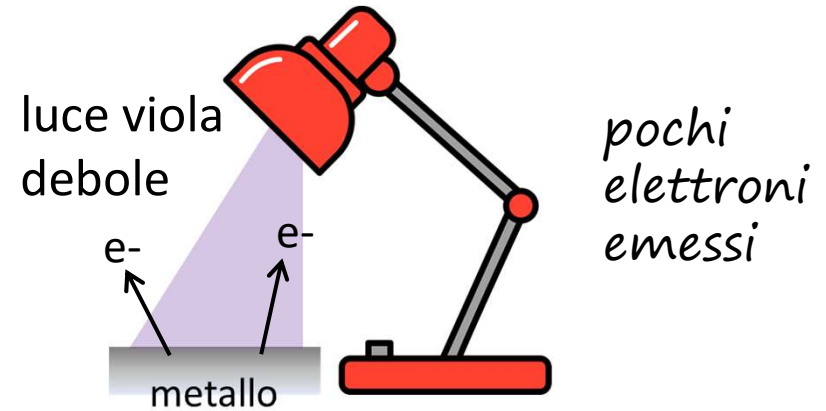
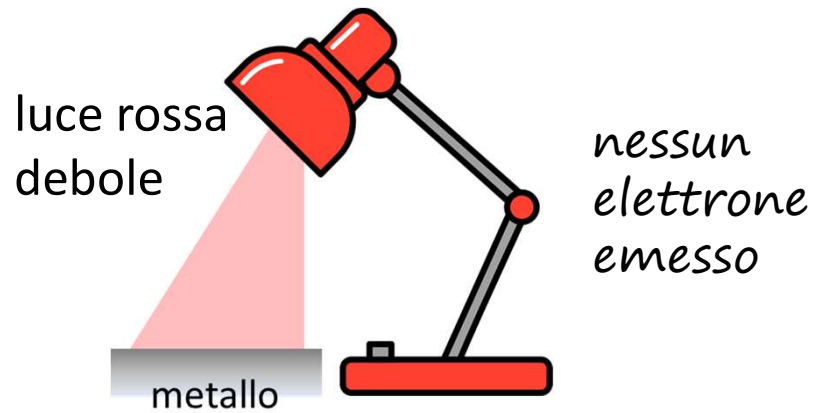
fenomeno
scoperto
da *Hertz*
nel 1887



Fisica 1921

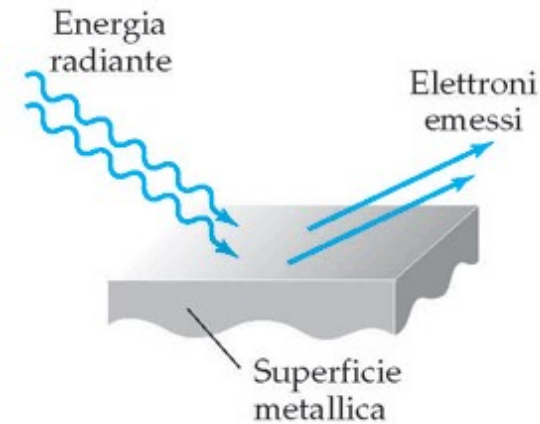
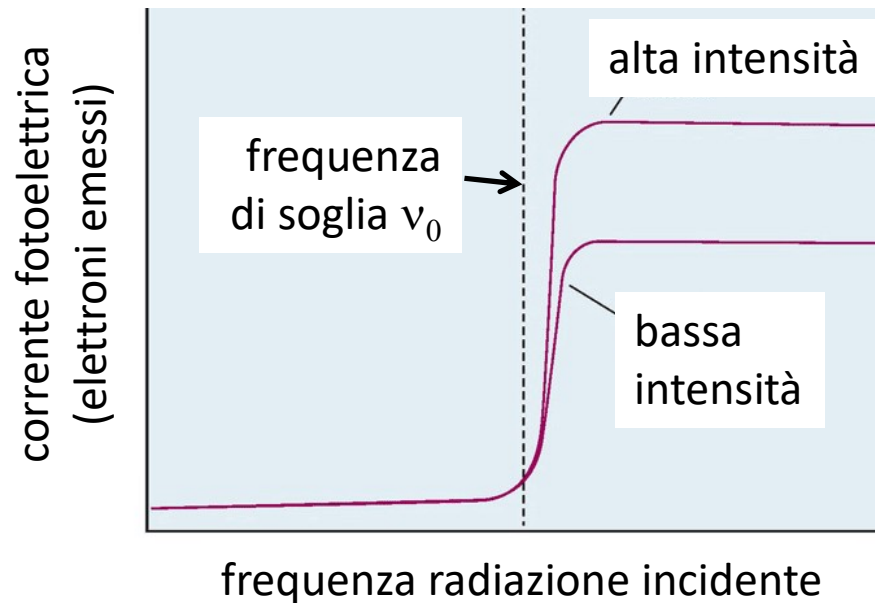


caratteristiche effetto fotoelettrico



Einstein e l'effetto fotoelettrico

1905



spiegabile ipotizzando che:

- (i) la luce sia costituita da “quanti di energia radiante” (fotoni*) aventi energia

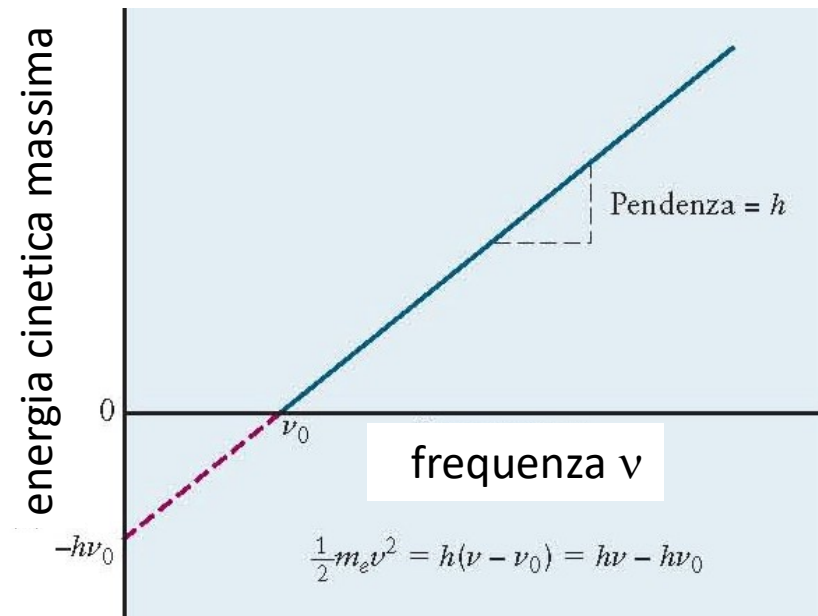
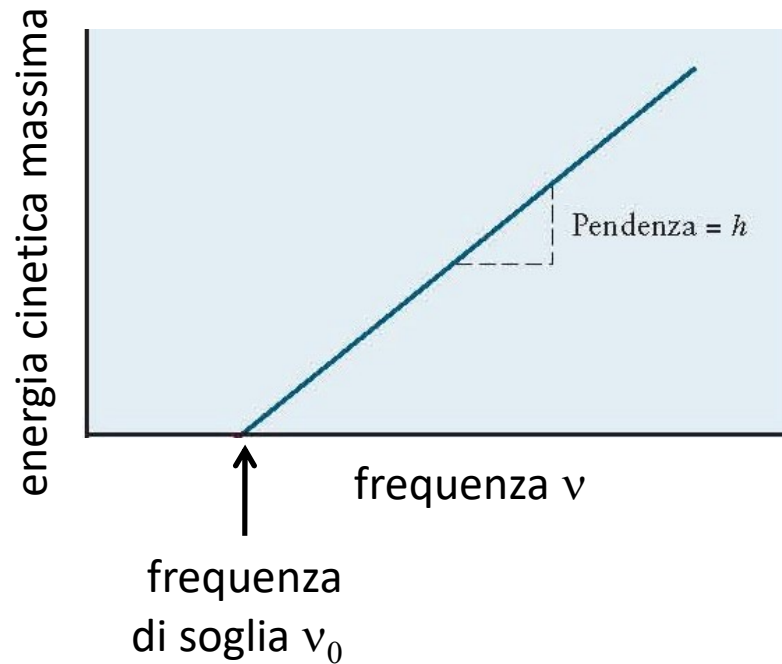
$$E_{\text{fotone}} = h\nu$$

- (ii) solo fotoni che hanno un' energia maggiore di un certo valore riescano a causare l'espulsione di un elettrone dal metallo

* termine coniato da G.Lewis nel 1926

Einstein e l'effetto fotoelettrico

1905



$$E_{max} = A\nu - B$$

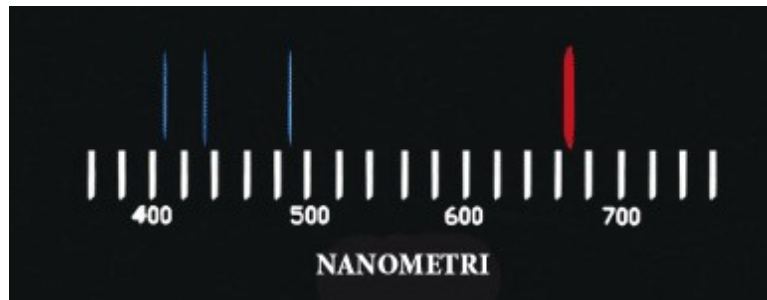
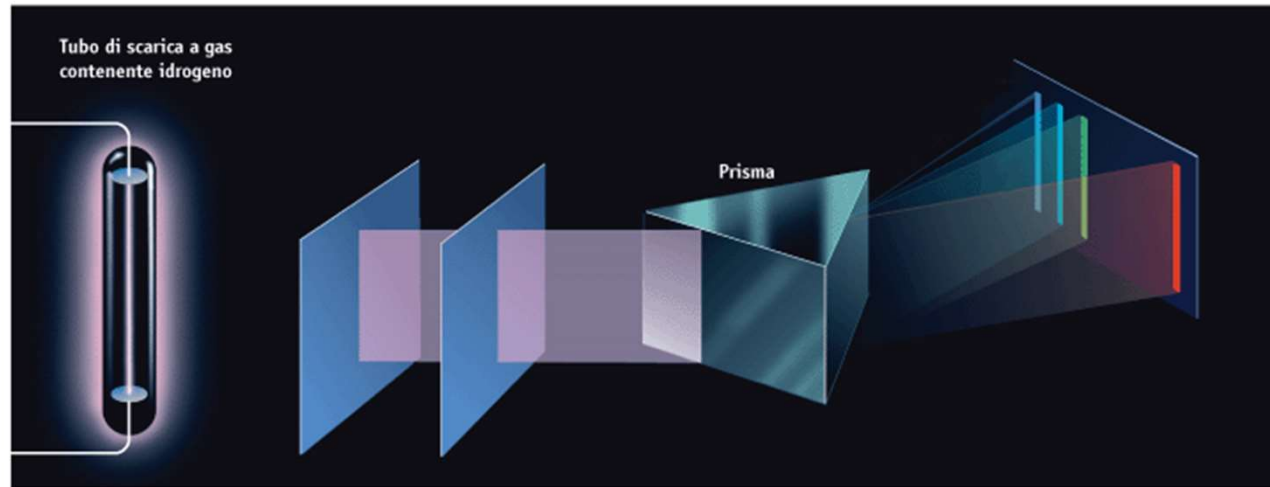
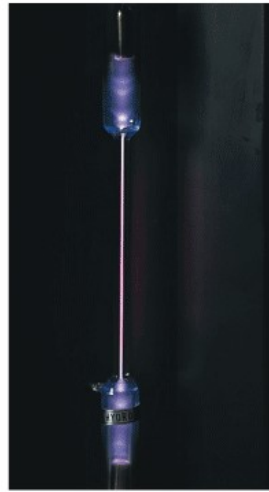
$(y = Ax - B)$

$$E_{max} = h\nu - \Phi$$

↑ ↑ ↑

energia energia della energia persa per
dell'elettrone radiazione "sfuggire" al
emesso metallo

Balmer e lo spettro dell'idrogeno 1885



serie di Balmer

$$R_H = 10978 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

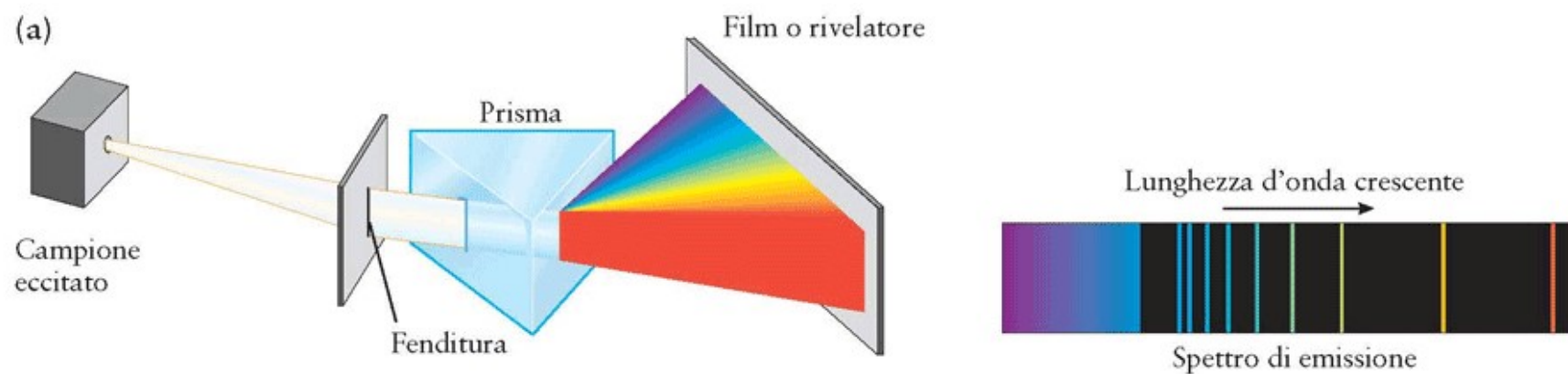
$$\lambda = B \left(\frac{m^2}{m^2 - 2^2} \right) \quad m = 3, 4, 5 \dots$$

formula di Balmer

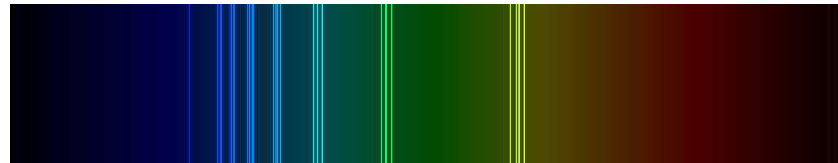
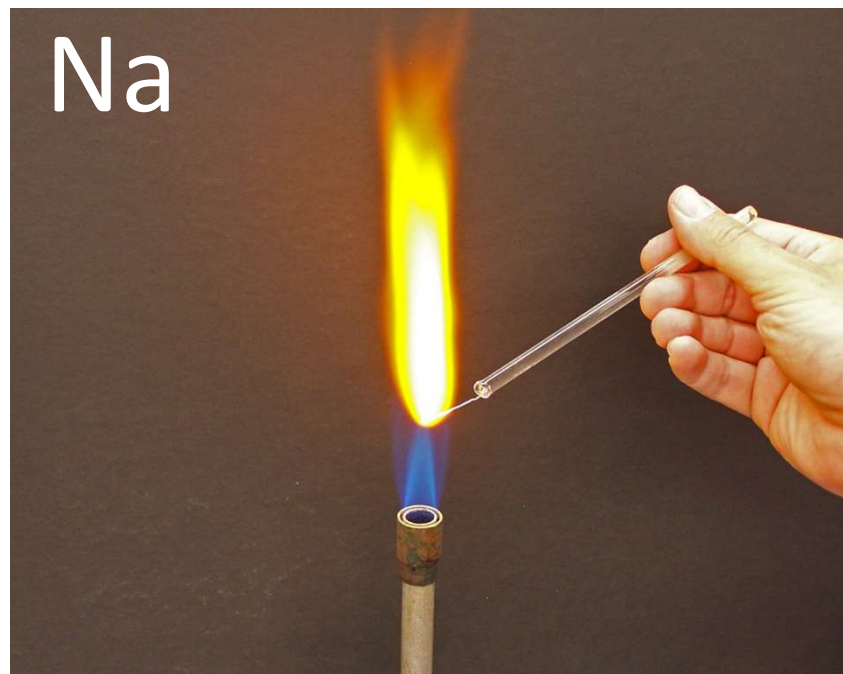
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5 \dots$$

formula di Rydberg

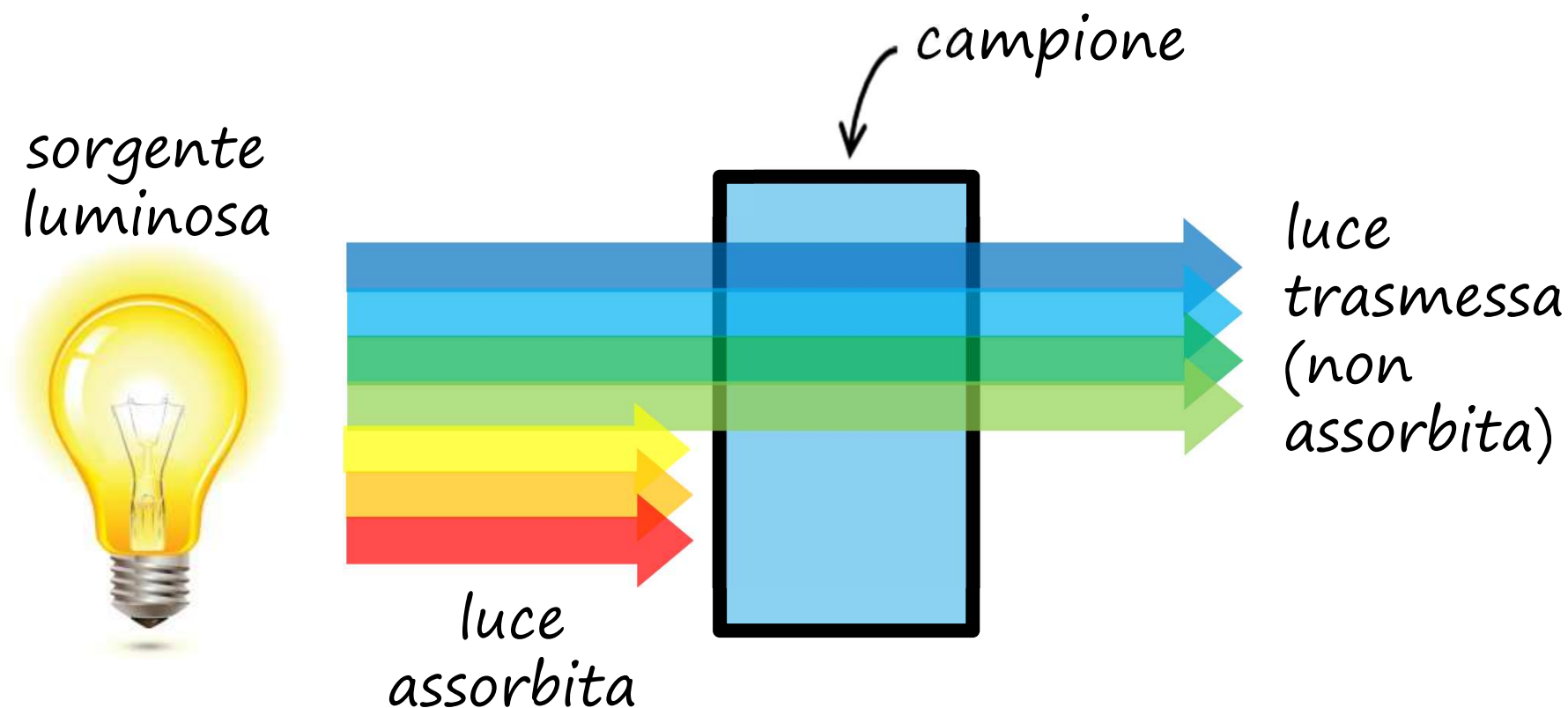
Spettroscopia atomica di emissione



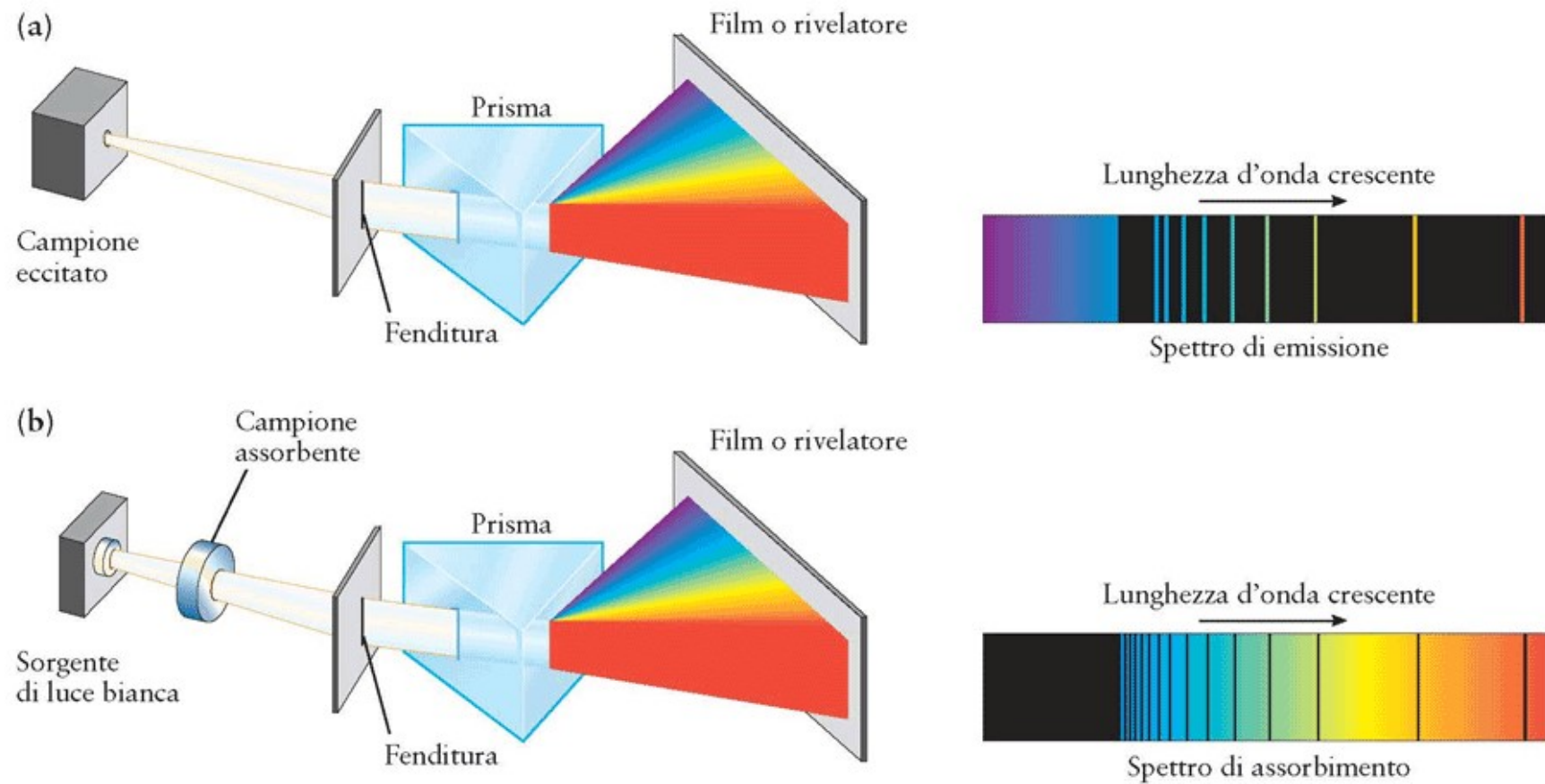
Spettroscopia atomica di emissione



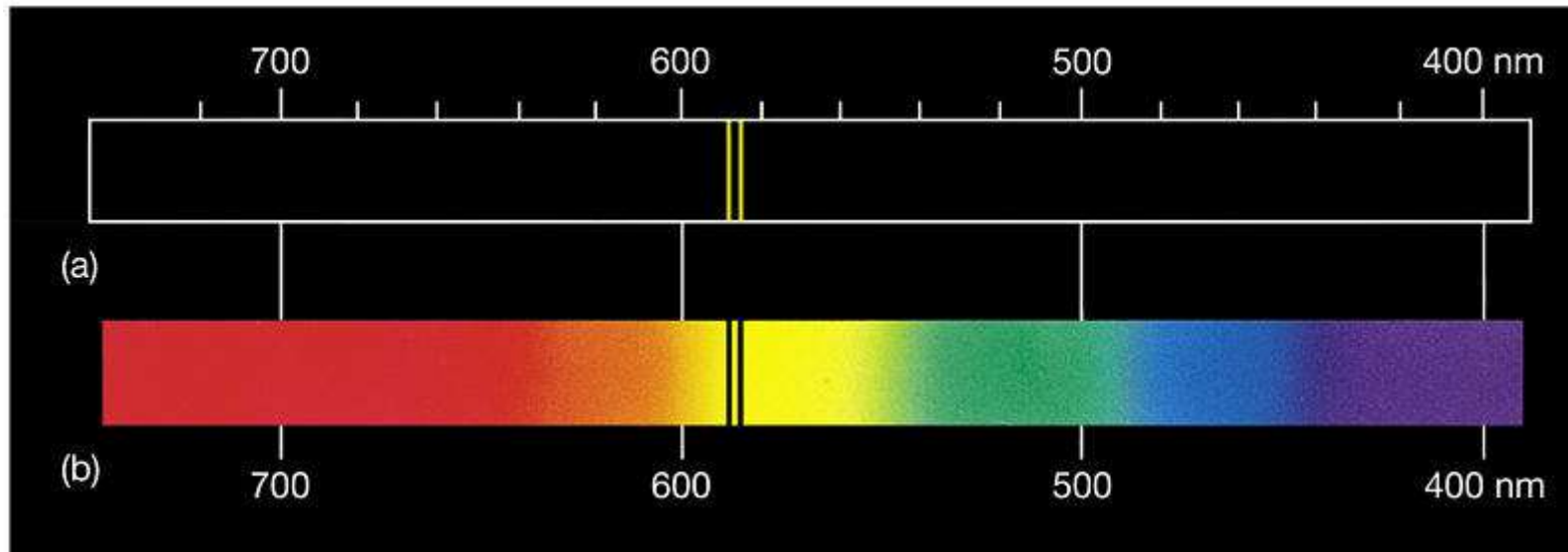
Spettroscopia atomica di emissione *e di assorbimento*



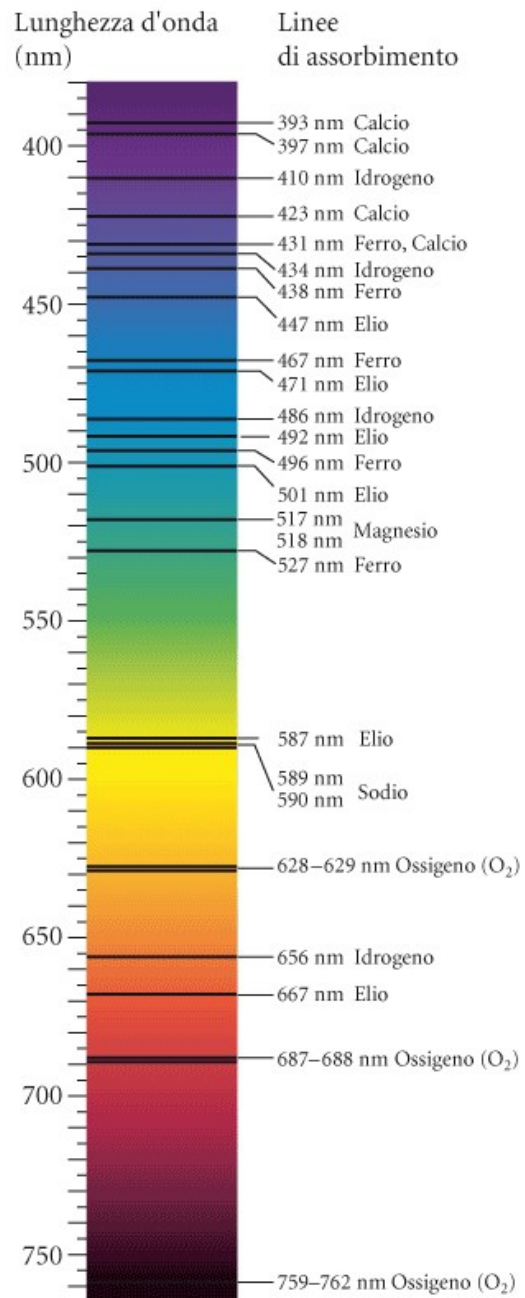
Spettroscopia atomica di emissione *e di assorbimento*



Spettroscopia atomica di emissione *e di assorbimento*

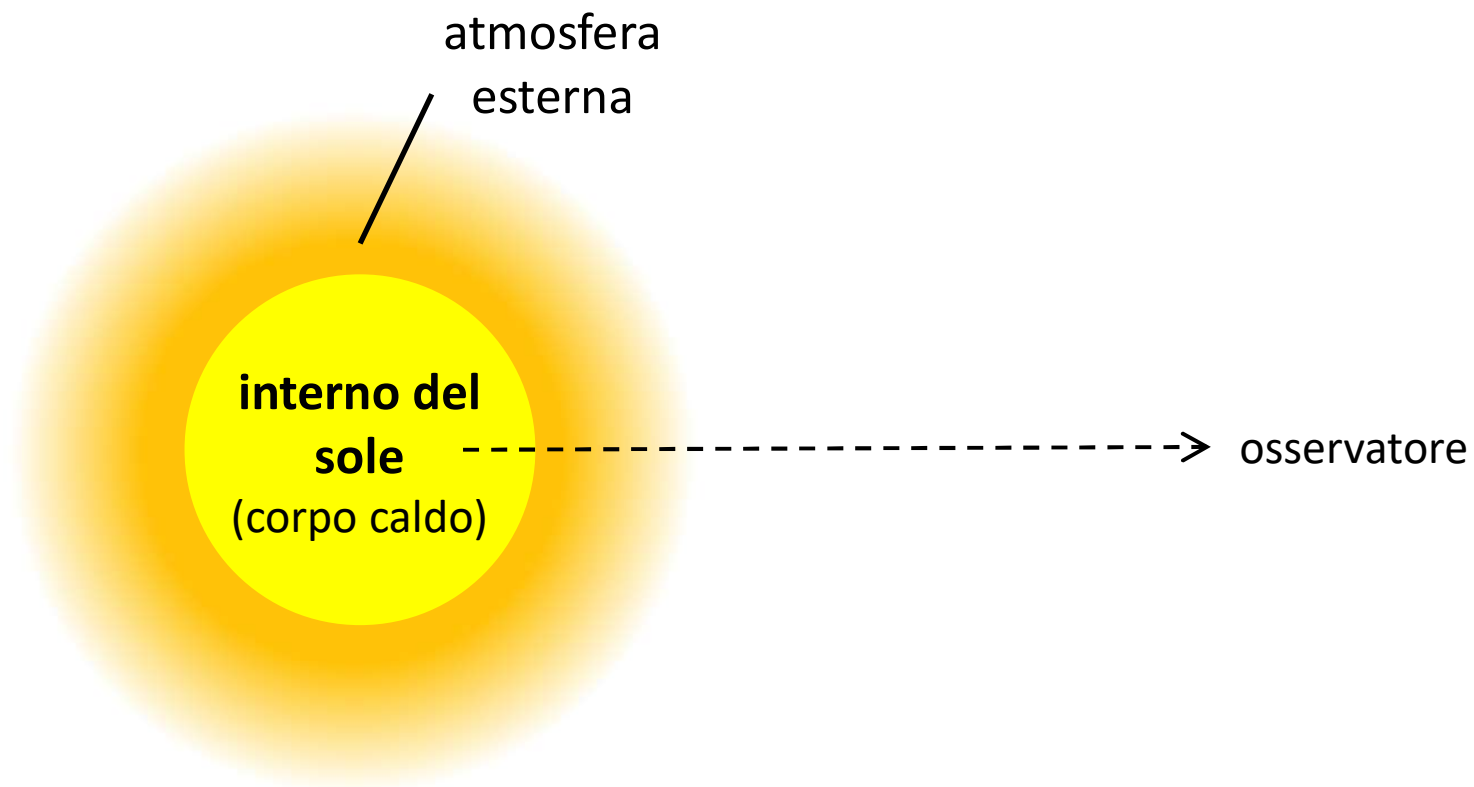


Spettri di emissione e di assorbimento del sodio (Na)



spettro del SOLE (linee di Fraunhofer)





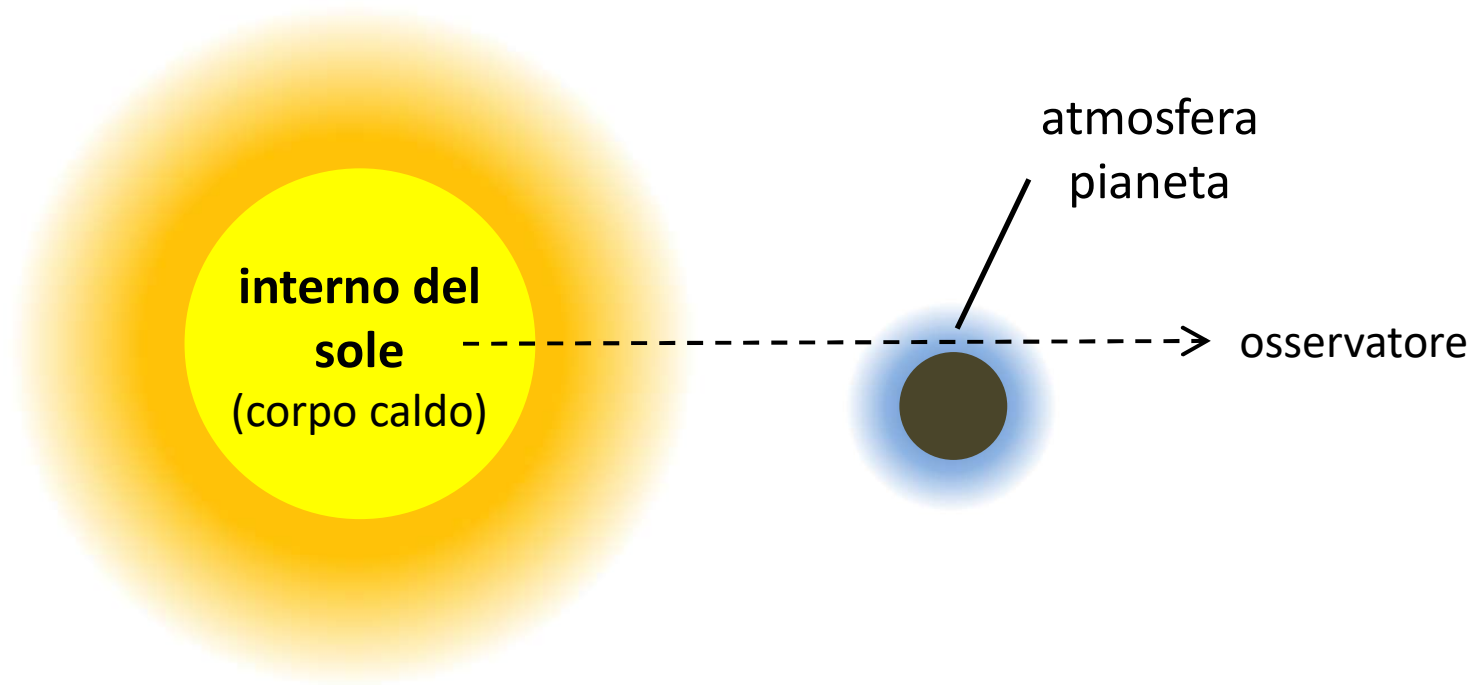
spettro emesso dall'
interno del sole



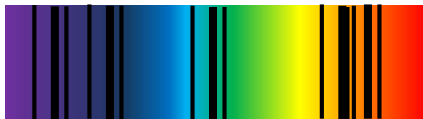
----->
atmosfera
esterna

spettro dopo
attraversamento
atmosfera esterna

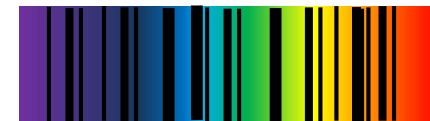


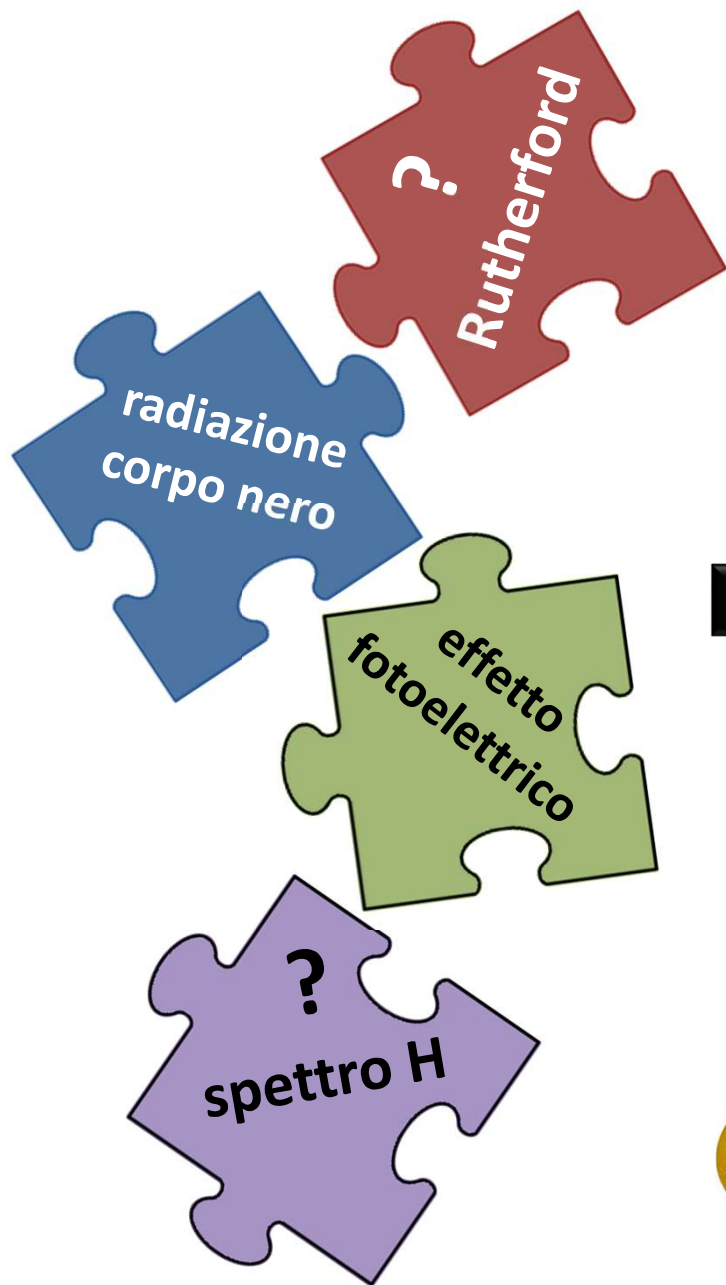


spettro emesso dal sole



spettro dopo attraversamento atmosfera pianeta

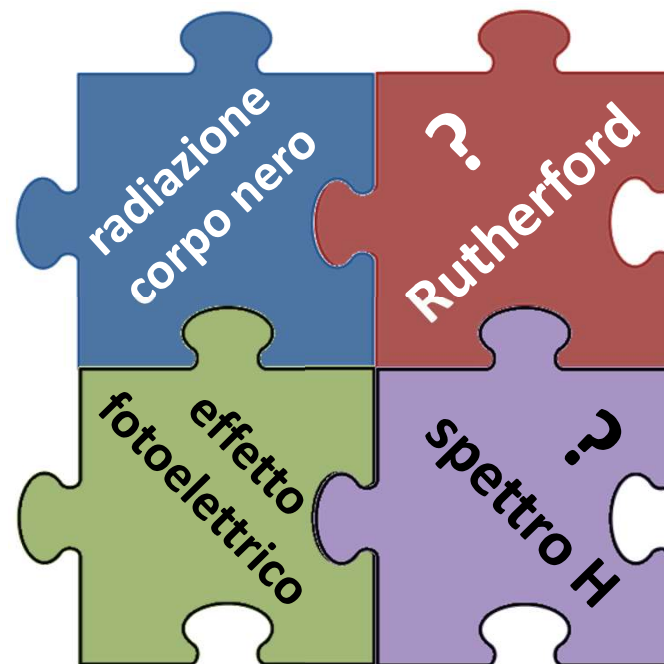




Bohr

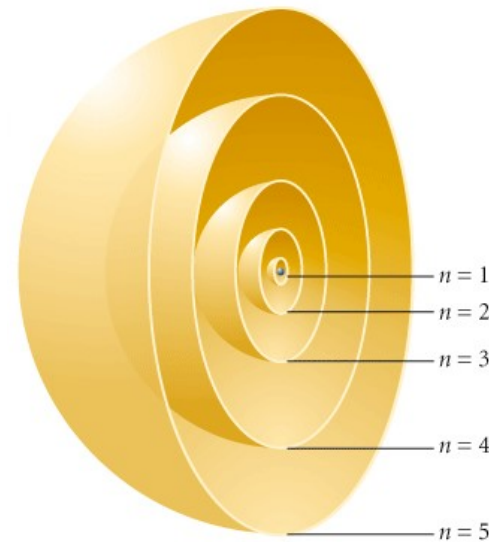
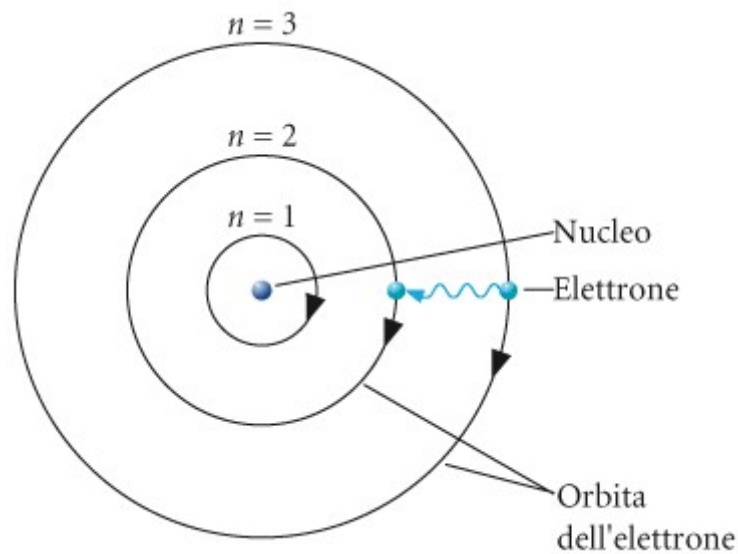


Fisica 1922



il modello atomico di Bohr

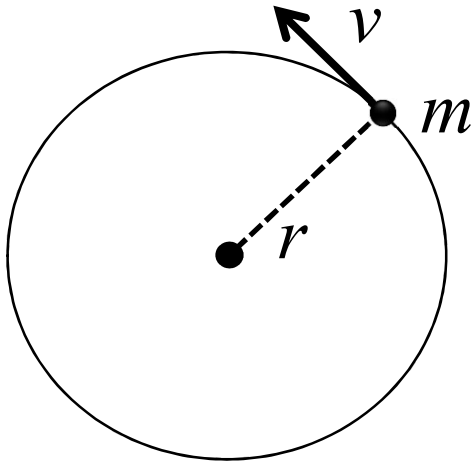
1913



Fisica 1922

si basa su alcuni ***postulati***

1. un elettrone può muoversi soltanto su alcune determinate orbite non-radiative, dette ***stati stazionari***
2. della luce viene emessa o assorbita dall'atomo soltanto quando un elettrone salta con una transizione da uno stato stazionario (orbita) all'altro



momento angolare
(moto circolare uniforme)

$$L = mvr$$

forza "centrifuga"
(moto circolare uniforme)

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

forza di Coulomb

$$F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Legge di Coulomb – Energia potenziale elettrostatica



$$F = k_e \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

*costante dielettrica
del vuoto*
8.85 x 10⁻¹² F/m

$$U = k_e \frac{q_1 \cdot q_2}{r} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r} = - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

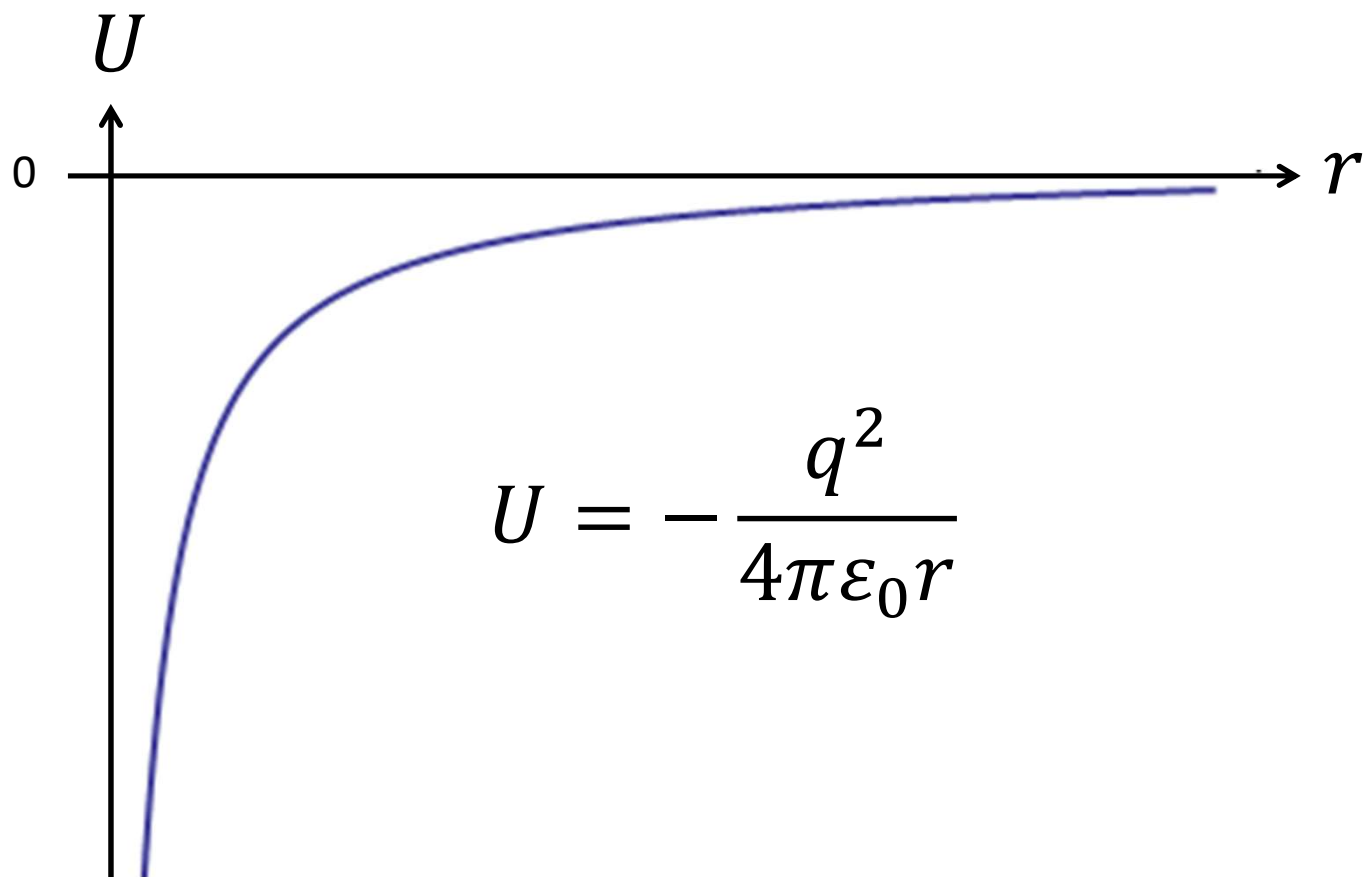
*energia
potenziale*

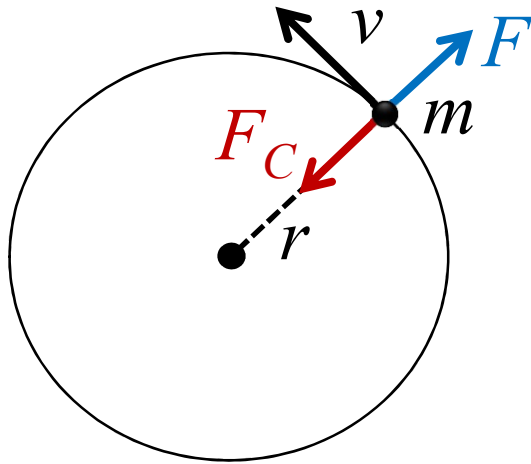
U di una carica q_2 ad una distanza r da un'altra carica q_1 ,
considerando come distanza di riferimento quella infinita

Legge di Coulomb – Energia potenziale elettrostatica

q ————— q energia potenziale **maggiore**

q ————— q energia potenziale **minore**





momento angolare
(moto circolare uniforme)

$$L = mvr$$

forza "centrifuga"
(moto circolare uniforme)

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

forza di Coulomb

$$F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

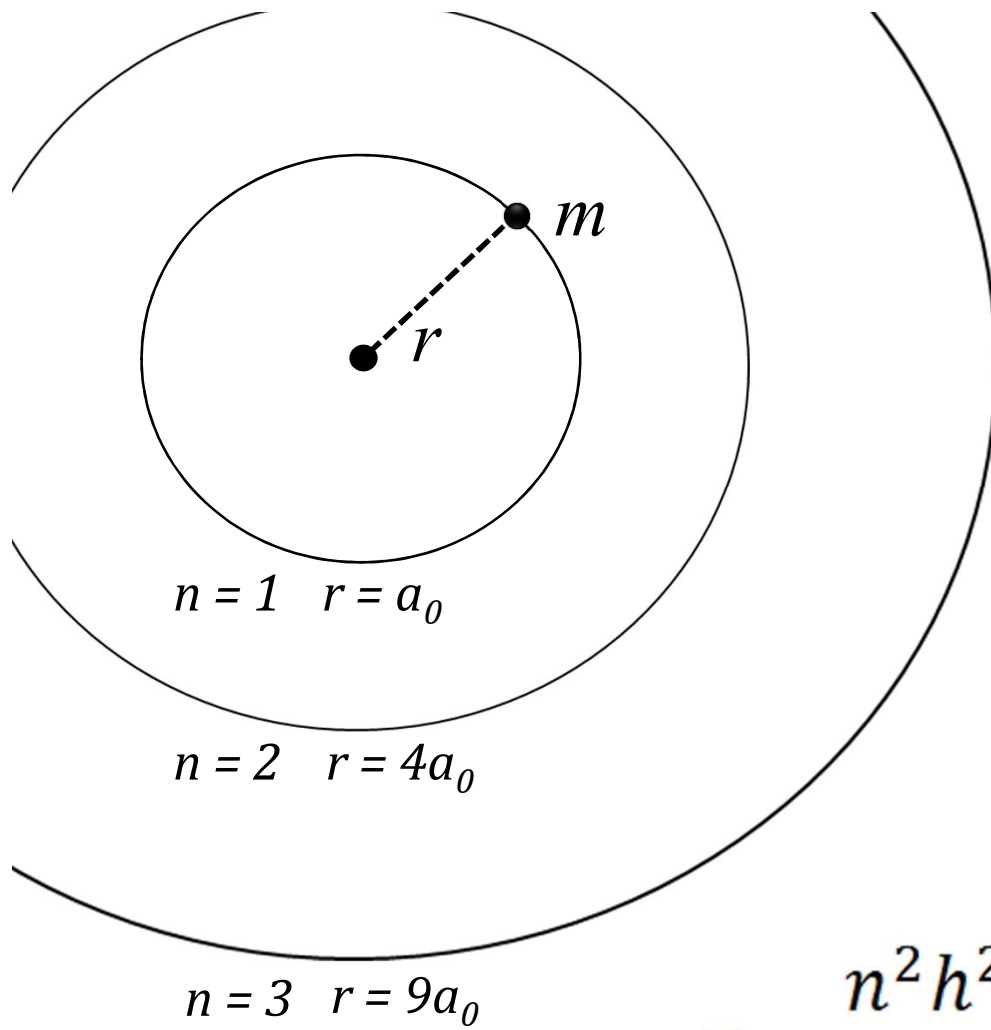
$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$mv^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$\cdot mr^2$

moltiplichiamo per
questo fattore entrambi
i membri dell'equazione

$$mv^2 \cdot \underline{mr^2} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \cdot \underline{mr^2} \rightarrow m^2 v^2 r^2 = L^2 = \frac{e^2 m r}{4\pi\epsilon_0}$$



*solo determinate
orbite possibili !*

(conseguenza
quantizzazione di
momento angolare)

$$r = \frac{n^2 h^2 \varepsilon_0}{\pi e^2 m} = n^2 a_0$$

r è "quantizzato"

*raggio
di Bohr
(0.53 Å)*

$$\left. \begin{aligned} L = mvr &= n \frac{h}{2\pi} \quad n = 1, 2, 3, \dots \\ r &= \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi e^2 m} = n^2 a_0 \end{aligned} \right\} v = \frac{e^2}{2\epsilon_0 n h} = 2.18 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$$

$$E = K + U = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

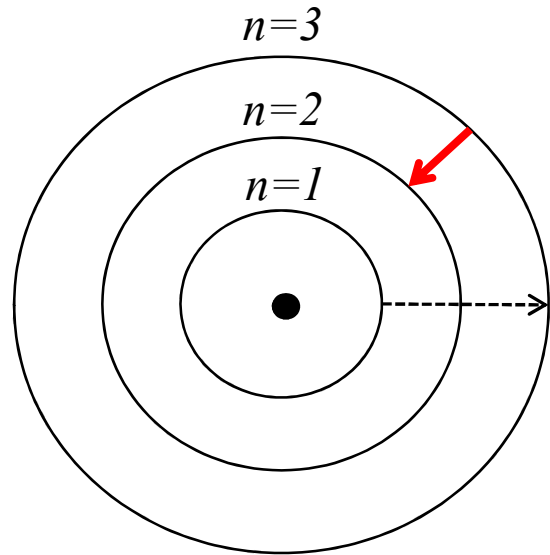
E è "quantizzata"

$$E = -\frac{e^4 m}{8\epsilon_0^2 n^2 h^2}$$

***numero
quantico
principale***

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

energia del livello
fondamentale $E_1 = -\frac{e^4 m}{8\epsilon_0^2 h^2} = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} = -13.6 \text{ eV}$



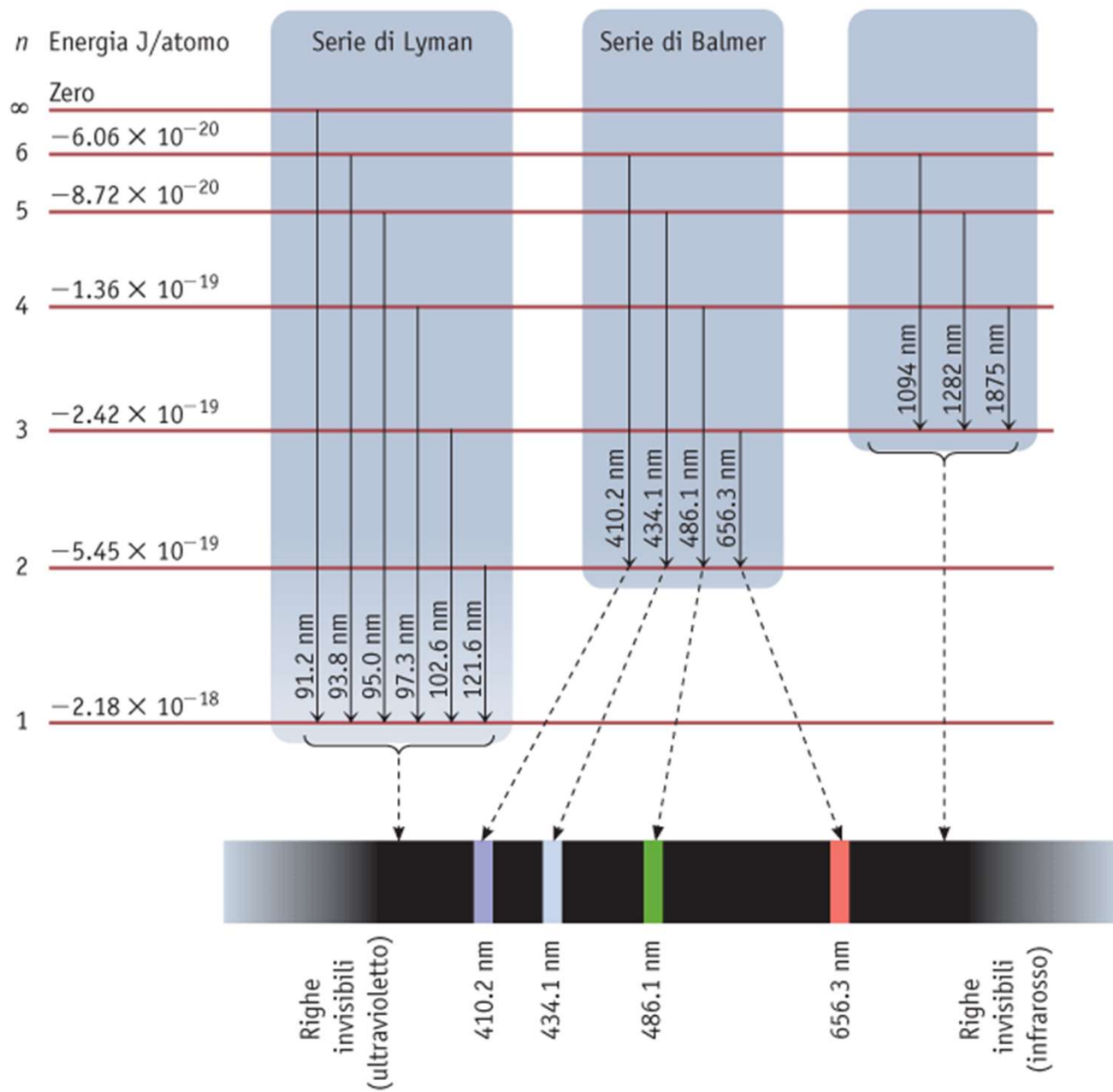
$$E = -\frac{e^4 m}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2} \quad r = n^2 a_0 \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

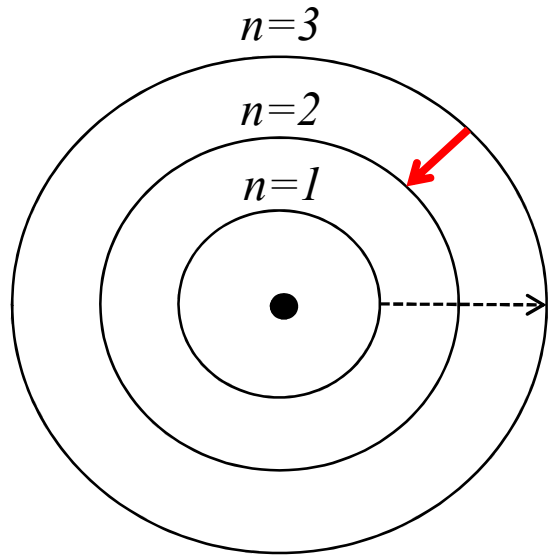
$$\Delta E_{3 \rightarrow 2} = E_{n=3} - E_{n=2} = \frac{e^4 m}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

$$\Delta E = h\nu \quad (\text{Planck ed Einstein})$$

$$\nu_{3 \rightarrow 2} = \frac{e^4 m}{8\varepsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 0.45731 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda_{3 \rightarrow 2} = \frac{c}{\nu_{3 \rightarrow 2}} = \frac{299\,792\,458 \text{ ms}^{-1}}{0.45731 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}} = 6.56 \times 10^{-7} \text{ m}$$





$$r_n = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m_e e^2} \quad E_n = - \left(\frac{1}{n^2} \right) \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2}$$

il modello di Bohr funziona anche con gli atomi "idrogenoidi" (He^+ , Li^{2+} , Be^{3+})

$$r_n = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{Z \pi m_e e^2} \quad E_n = - \left(\frac{Z^2}{n^2} \right) \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2}$$

$$\Delta E = E_{n_f} - E_{n_i} = \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \frac{Z^2 m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} = h\nu$$



Il modello di Bohr prevede correttamente lo spettro di atomi idrogenoidi



il modello di Bohr prevede correttamente l'energia di ionizzazione



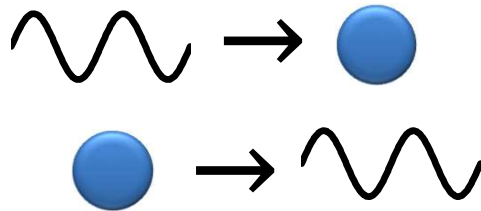
il modello di Bohr non prevede gli spettri degli atomi polielettronici



il modello di Bohr non spiega il perchè della quantizzazione di L

l'ipotesi di de Broglie

1924

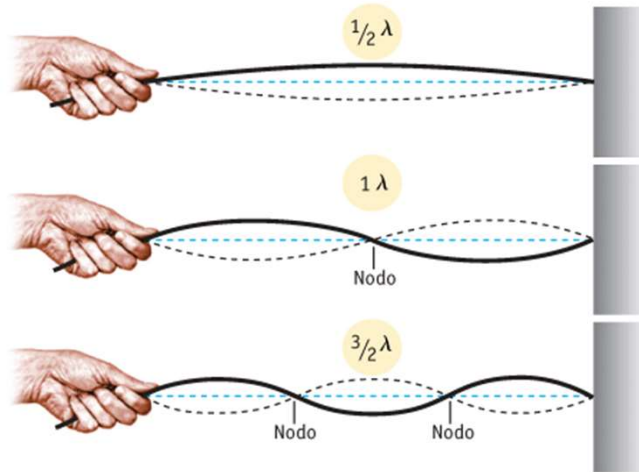


onda $\rightarrow$ particella
? **particella** $\rightarrow$ **onda** ?

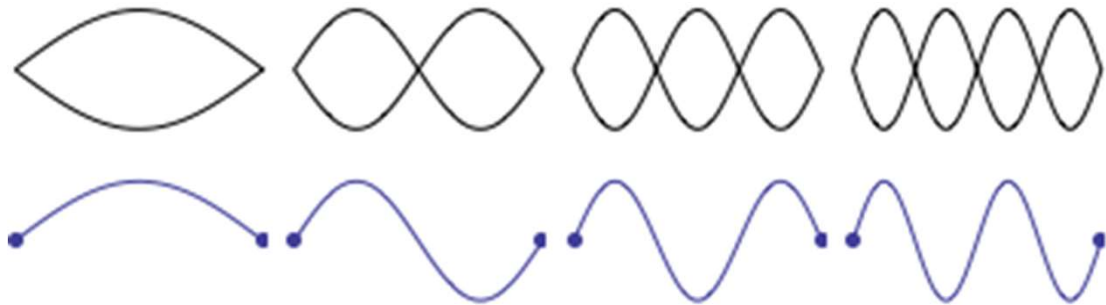
$$E = mc^2 \quad E = h\nu$$

ad ogni **particella** è
associata un **onda**

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



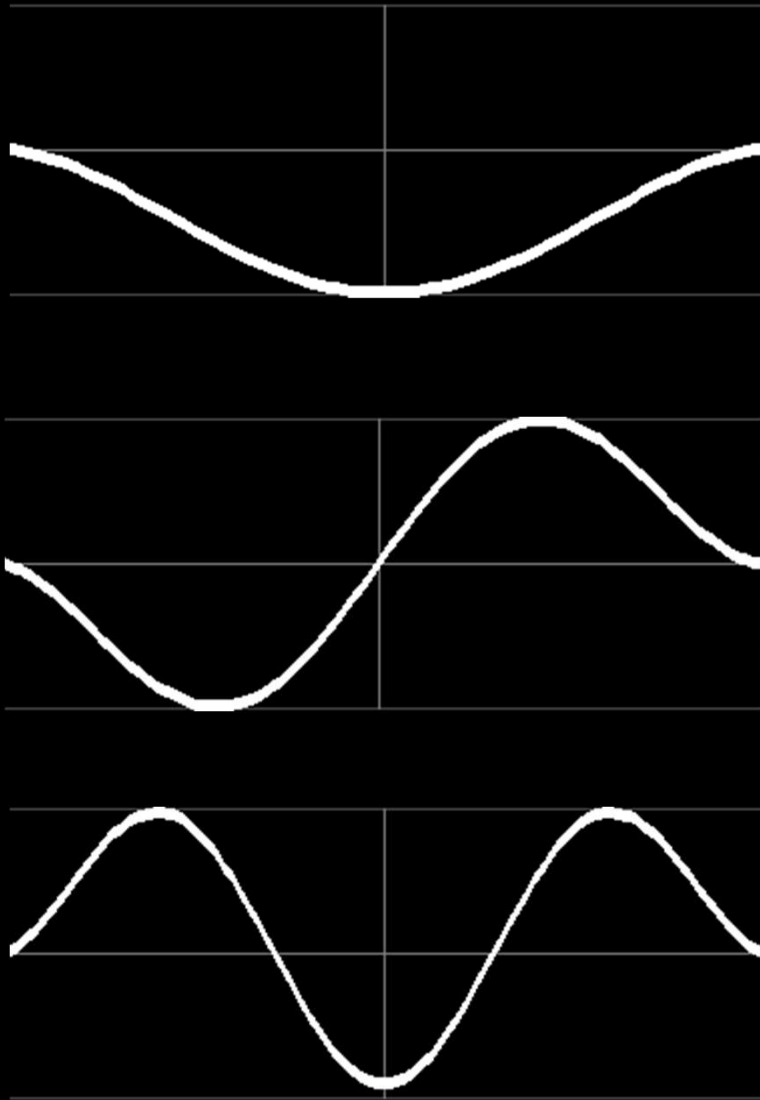
Fisica 1929



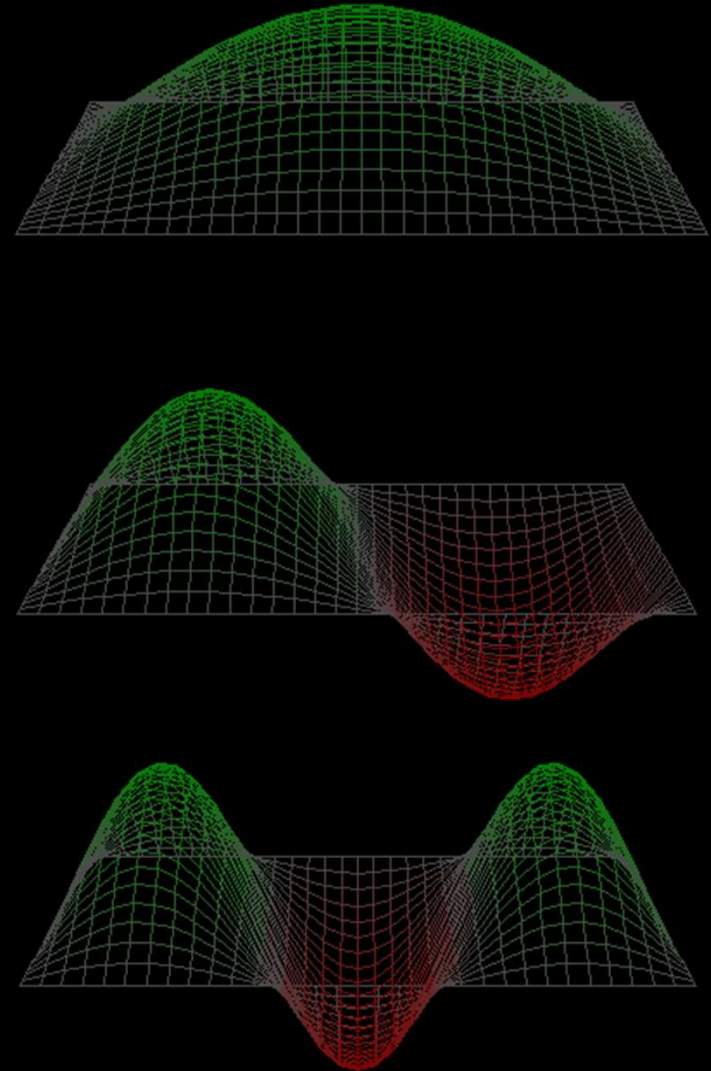
le **onde stazionarie** sono
esempi di quantizzazione

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

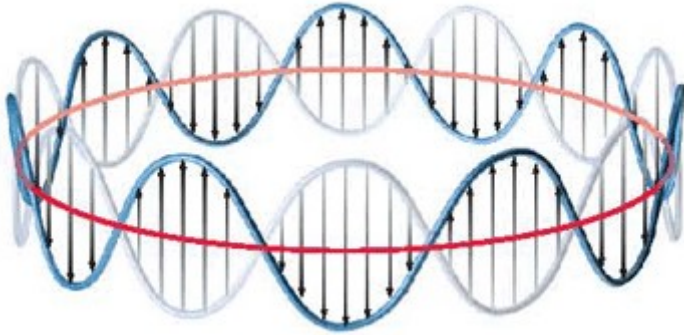
onde in 1 dimensione



onde in 2 dimensioni



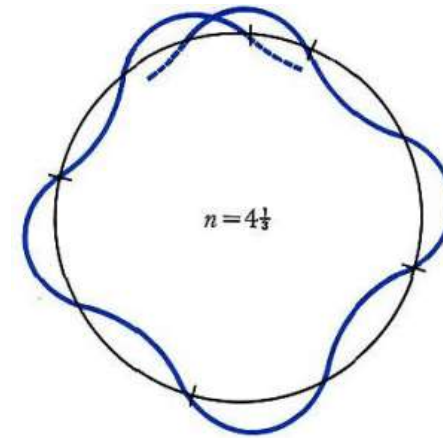
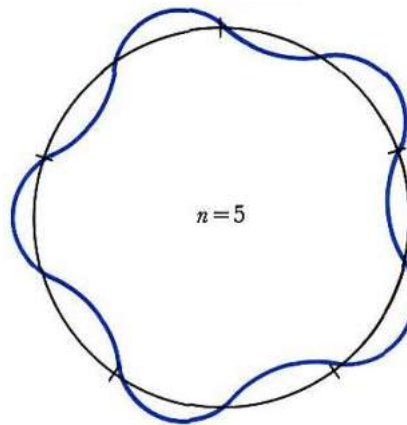
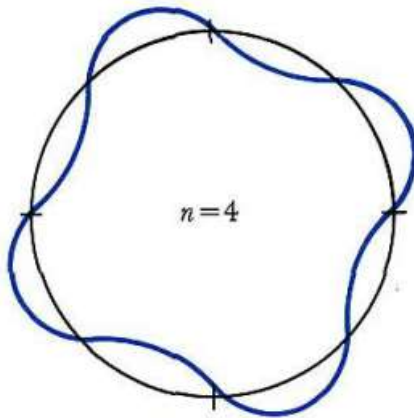
l'ipotesi di de Broglie 1924



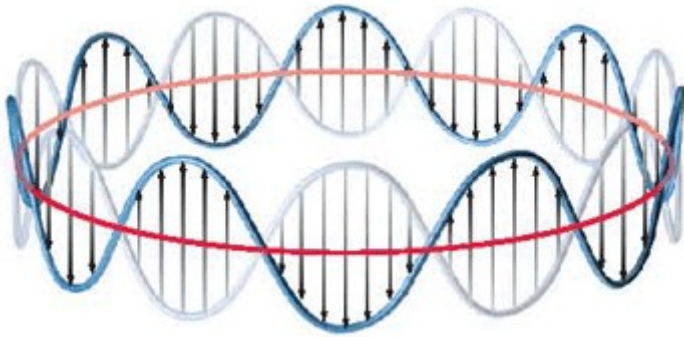
l'elettrone intorno al nucleo è
descrivibile come un

onda stazionaria

→ giustificazione per
quantizzazione momento angolare



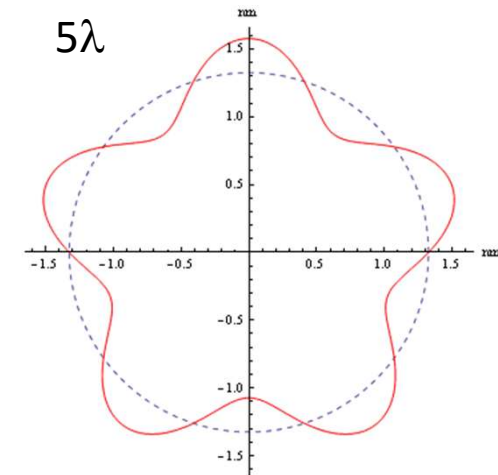
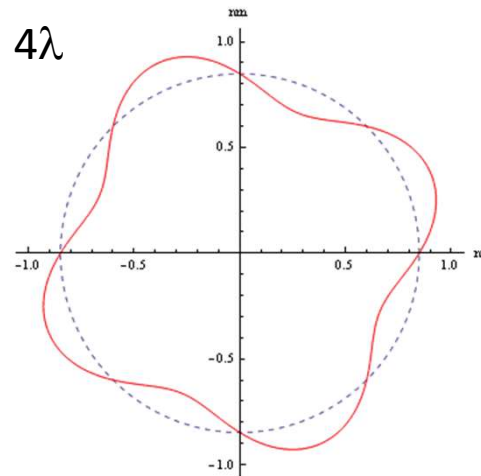
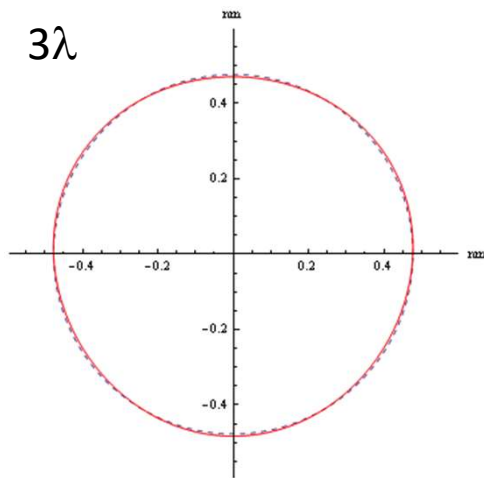
l'ipotesi di de Broglie 1924



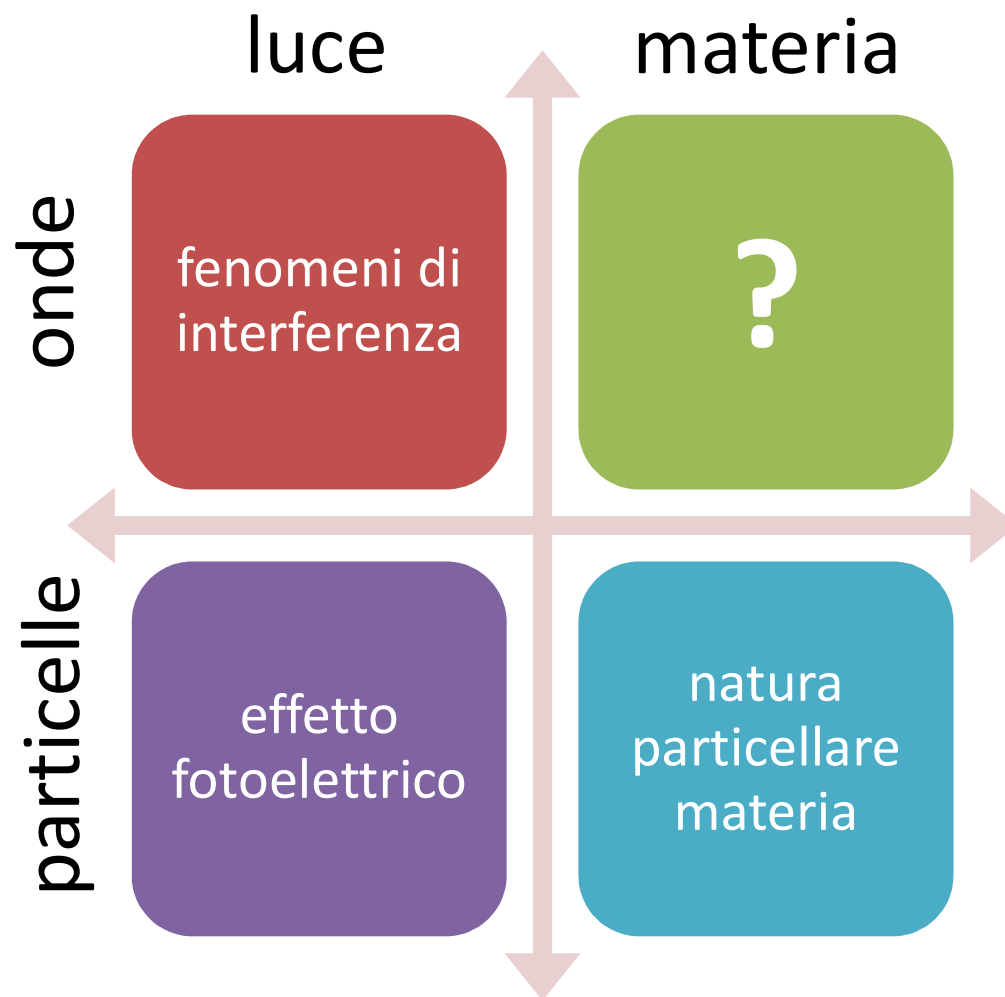
l'elettrone intorno al nucleo è
descrivibile come un

onda stazionaria

→ giustificazione per
quantizzazione momento angolare

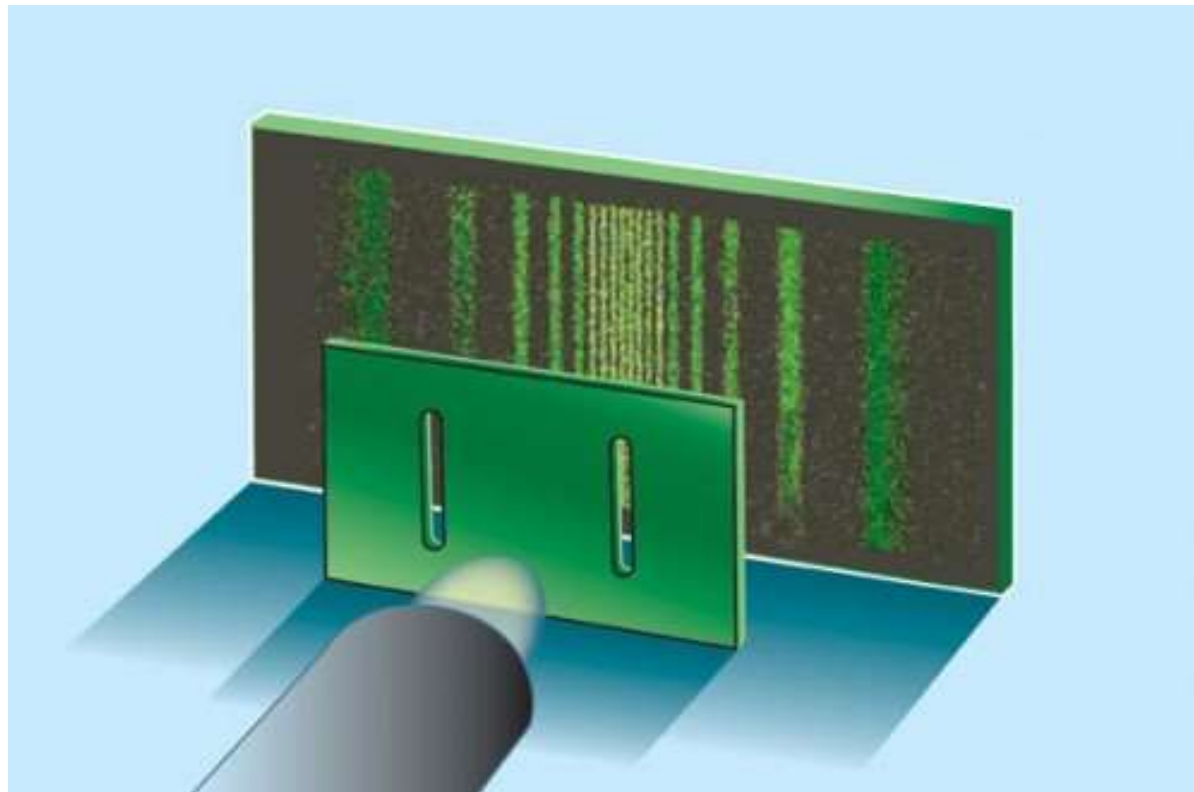


materia: particelle o onde?

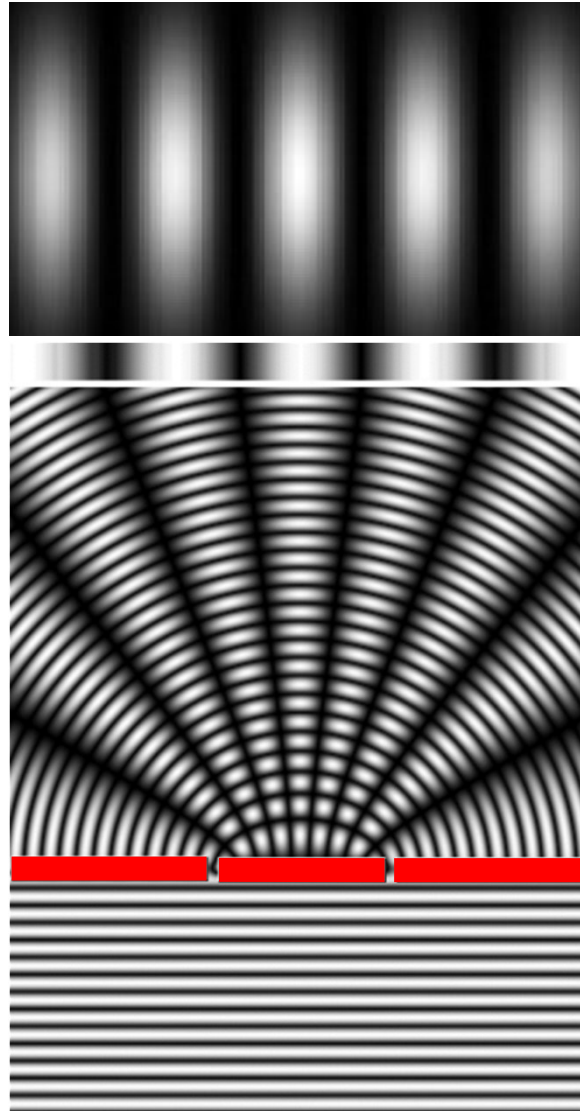


Esperimento di Young *(interferenza tra onde)*

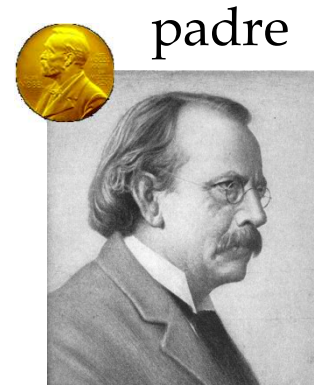
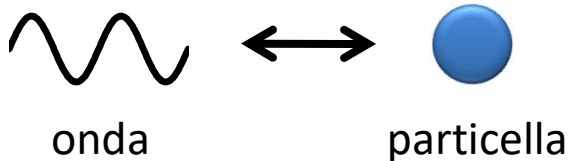
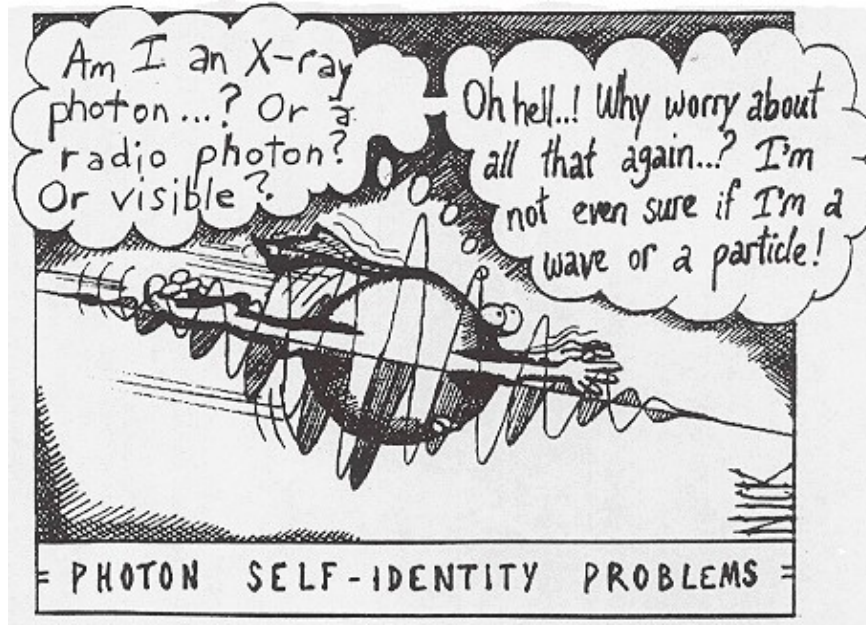
Esperimento delle due fenditure



Esperimento di Young (*interferenza tra onde*)



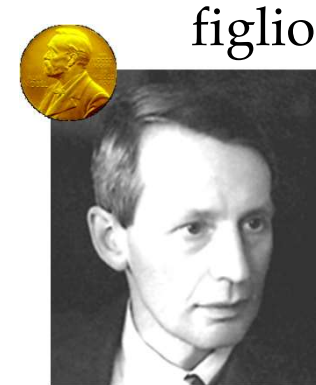
dualismo onda-particella



padre

J.J. Thomson
(1856-1940)

Nobel nel 1906 per
aver dimostrato
l'esistenza di
elettroni come
particelle



figlio

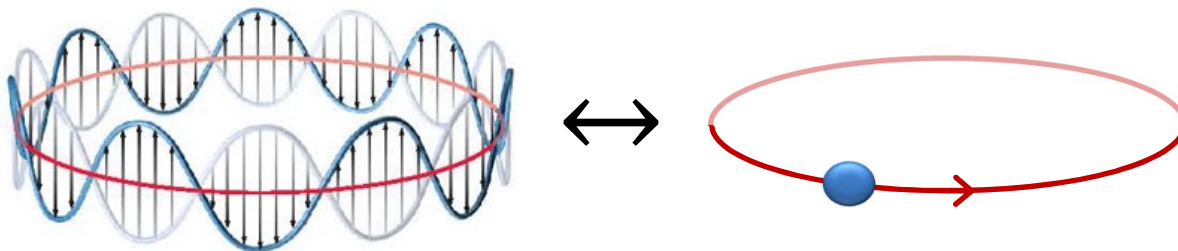
G.P. Thomson
(1892-1975)

Nobel nel 1937 per
aver dimostrato
l'esistenza di
elettroni come
onde

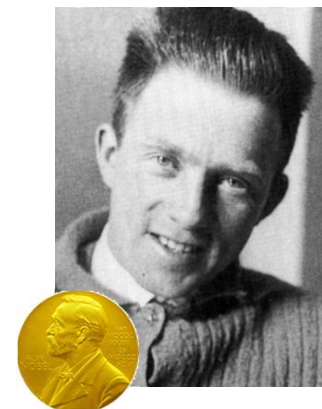
avevano ragione
entrambi!

il principio di indeterminazione di Heisenberg

1927



la descrizione dell'elettrone come onda non permette
di conoscere con precisione la sua posizione



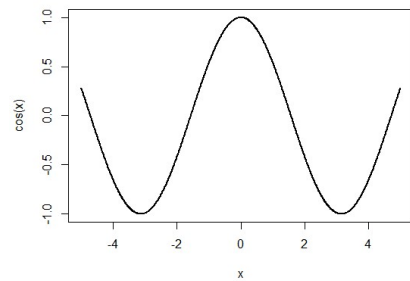
Fisica 1932
Werner Heisenberg
(1901-1976)

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

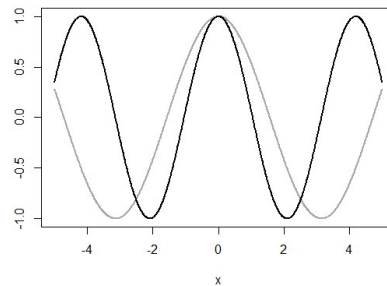
↑
incertezza su
posizione x

↑
incertezza su
quantità di
moto $p=mv$

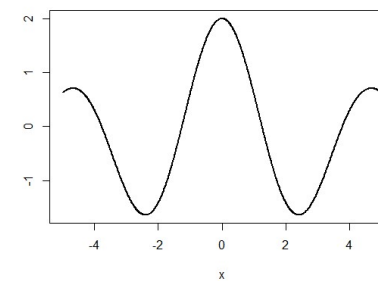
*posizione x e velocità v non
possono essere conosciuti
simultaneamente con
precisione infinita*



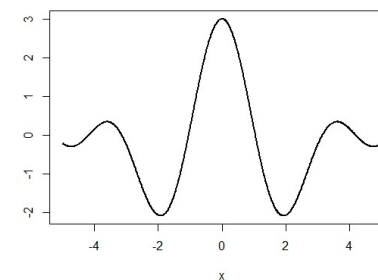
$$y = \cos(x)$$



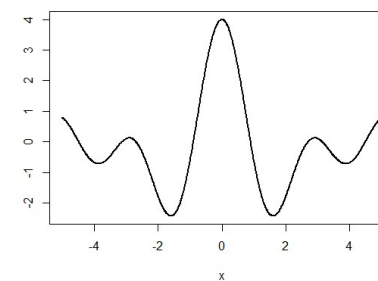
$$y = \cos(x) + \cos(2x)$$



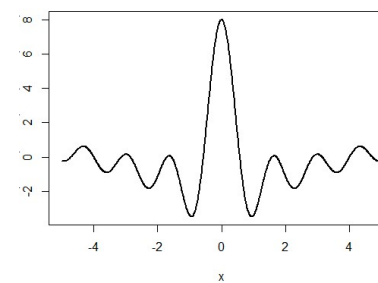
$$y = \cos(x) + \cos(2x) + \cos(3x)$$



$$y = \cos(x) + \cos(2x) + \cos(3x) + \cos(4x)$$

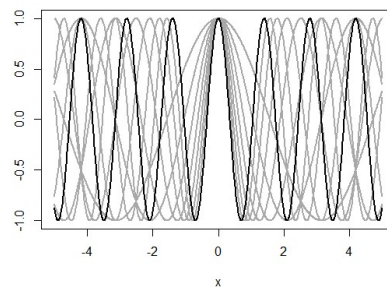


$$y = \cos(x) + \cos(2x) + \dots$$



somma
di onde

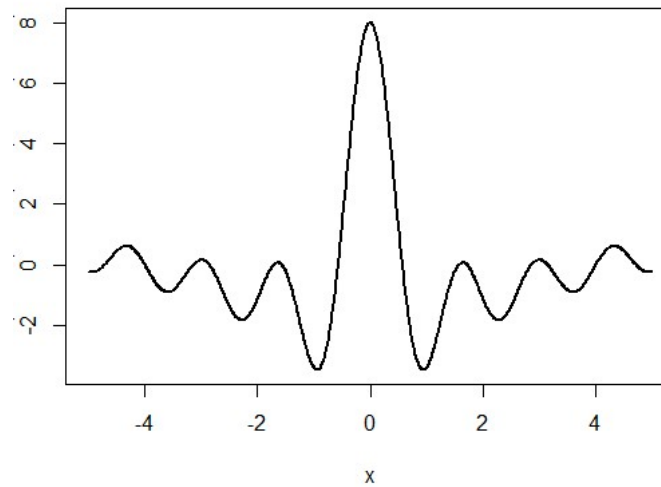
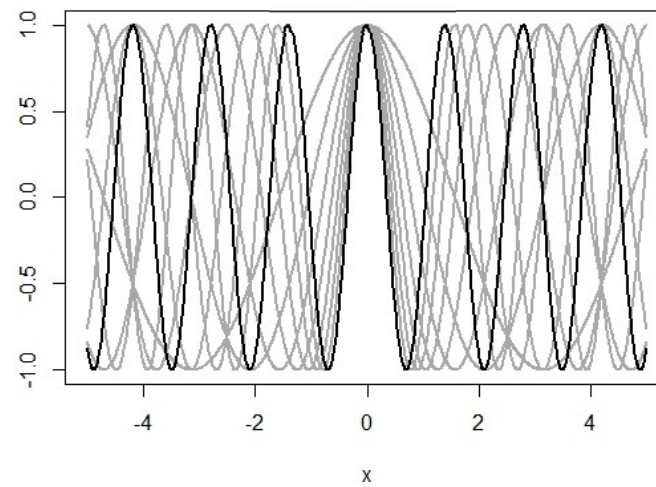
$$y = \sum_i \cos(i \cdot x)$$



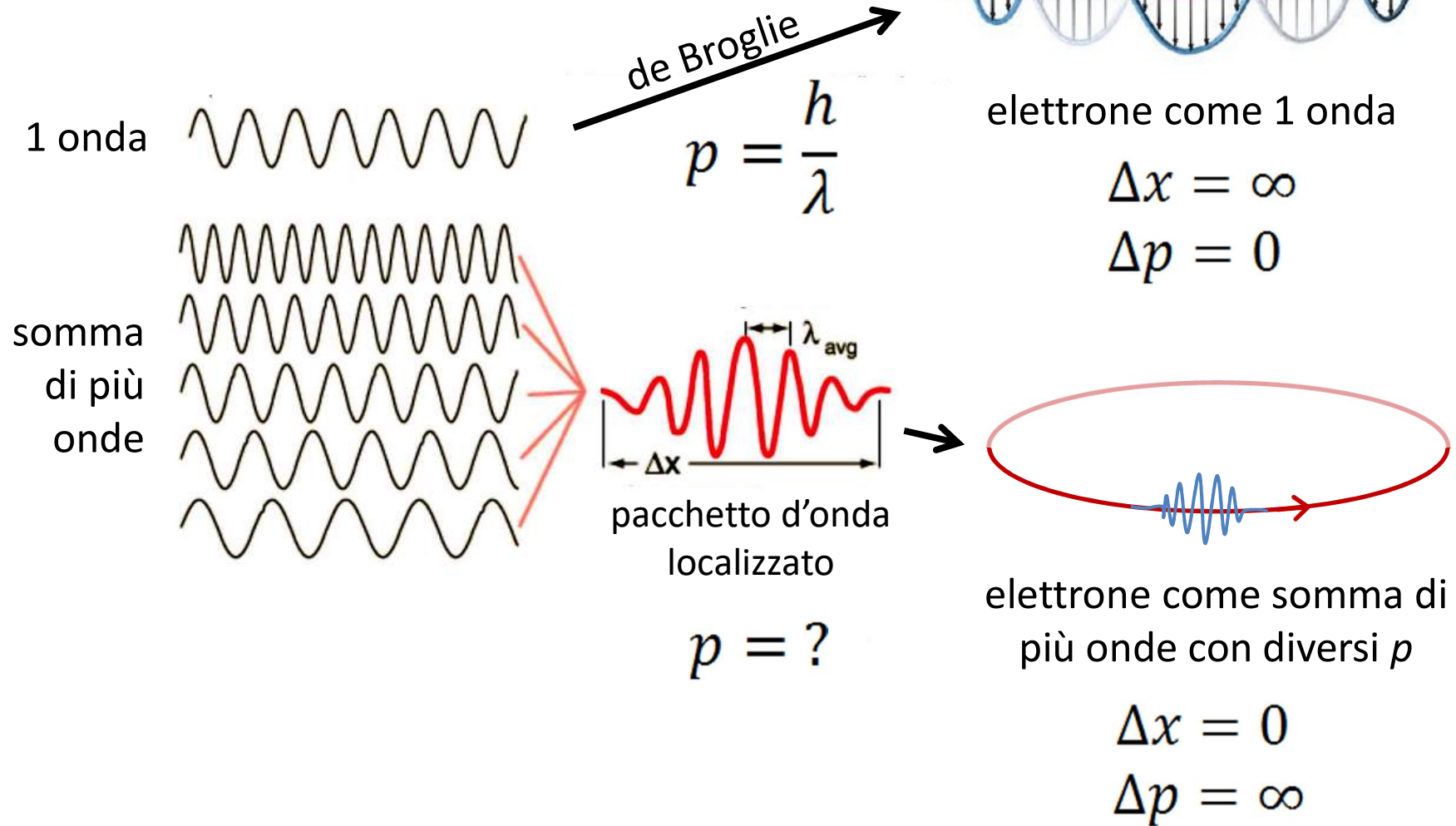
*interferenza
costruttiva*

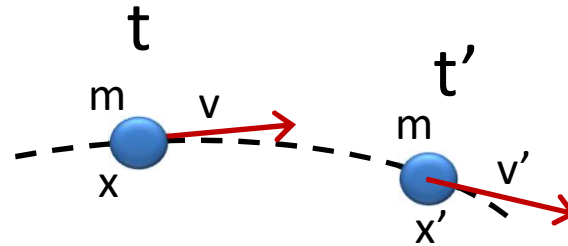
*interferenza
distruttiva*

*interferenza
distruttiva*



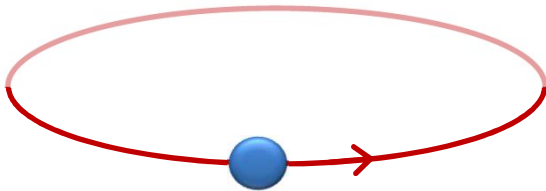
supponiamo
onda $\leftrightarrow$ probabilità!





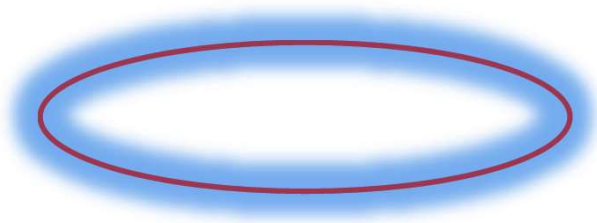
Meccanica Classica
 dati m , x , v al tempo t la
 traiettoria è nota

*descrizione
 deterministica*



Il moto di un elettrone in un atomo
 non si può descrivere con una
 traiettoria definita (i.e. orbita)

*descrizione
 probabilistica*



Il moto di un elettrone in un atomo si
 deve descrivere definendo la
probabilità di trovare l'elettrone in
 una certa regione dello spazio
 attorno al nucleo, al tempo t
 (i.e. *orbitale*)

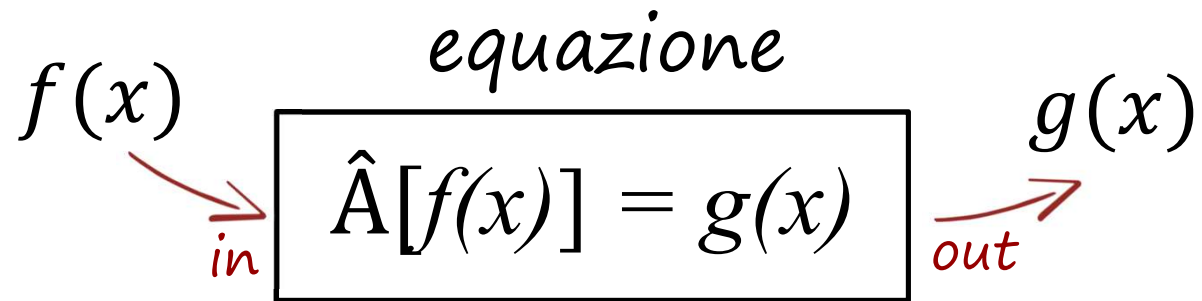
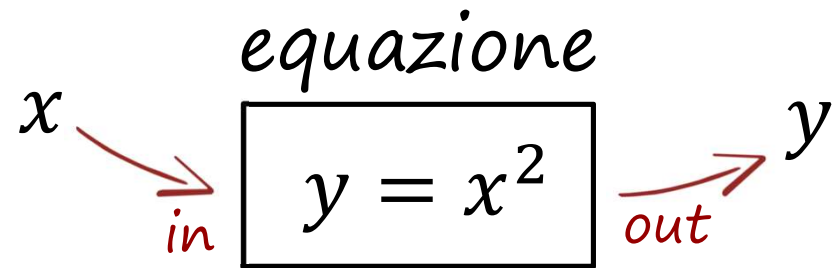
una parentesi matematica: gli operatori

un “**operatore**” è un simbolo che rappresenta una serie di operazioni, che applicate ad una funzione $f(x)$ generano un'altra funzione $g(x)$

$$f(x) \xrightarrow{\hat{A}} g(x)$$

$$\hat{A}: \hat{A}[f(x)] = g(x)$$

operatore	simbolo	definizione	effetto
moltiplicazione per una costante	$\hat{C}$	$c \cdot$	$\hat{C} [f(x)] = c \cdot f(x)$
elevazione al quadrato	$\hat{Q}$	$(\)^2$	$\hat{Q} [f(x)] = f(x)^2$
radice	$\hat{R}$	$\sqrt{(\)}$	$\hat{R} [f(x)] = \sqrt{f(x)}$
derivata	$\hat{D}$	$\frac{d}{dx}$	$\hat{D} [f(x)] = \frac{d f(x)}{dx}$



Equazioni agli autovalori

(autofunzione)
funzione
operatore *(autovalore)*
numero *(autofunzione)*
funzione

$$\hat{A}[f(x)] = \underbrace{a \cdot f(x)}_{g(x)}$$

*dato
l'operatore*

$$\hat{A} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} [\quad]$$

*quali autofunzioni
e autovalori?*

autovalore

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \underbrace{[\sin(2x)]}_{f(x)} = \underbrace{-4}_{\text{autofunzioni}} \cdot \underbrace{\sin(2x)}_{f(x)}$$

l'equazione di Schrödinger

1926

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) + V(x, y, z)$$

operatore
Hamiltoniano

energia

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

$\Psi(x, y, z)$



Fisica 1933

funzione d'onda

è un'onda associata alla mia particella
descrive completamente
lo **stato** della mia particella

Interpretazione probabilistica di ψ

funzione
d'onda
di una
particella

NON HA
SENSO
FISICO

→ ψ

densità di
probabilità
di trovare
una particella

→ $|\psi|^2$

Max Born
(1882–1970)



Fisica 1954

l'interpretazione di Copenhagen



Dio non gioca a dadi

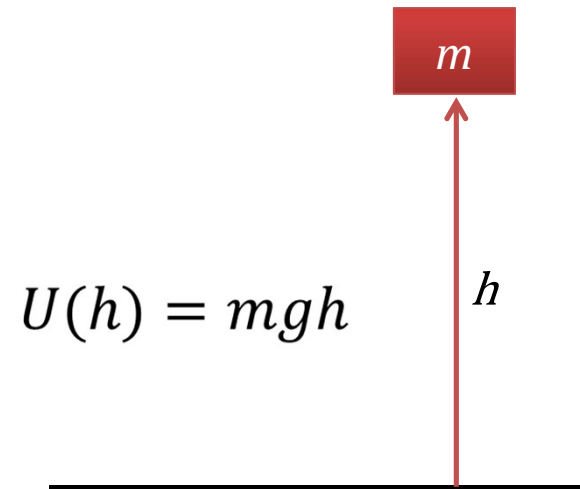
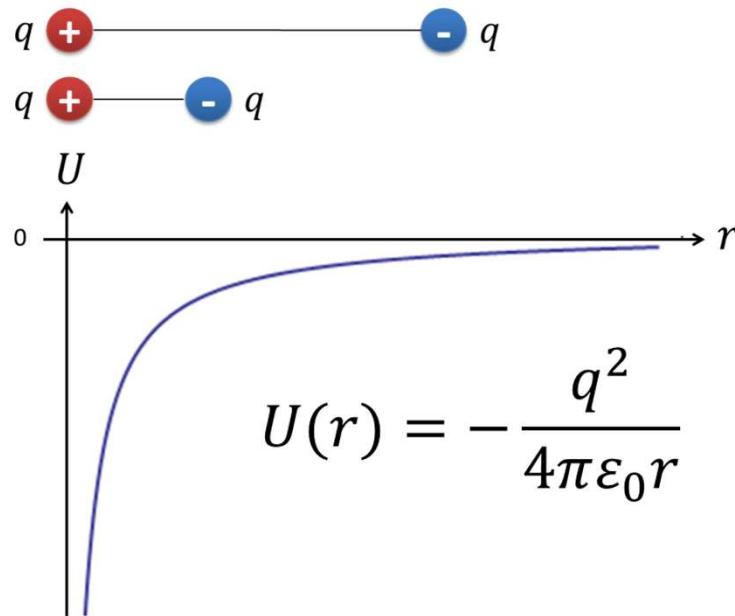
«Sembra difficile dare una sbirciata alle carte di Dio. Ma che Egli giochi a dadi [...] è qualcosa a cui non posso credere nemmeno per un attimo»

- A. Einstein

Bohr: “smettila di dire a Dio quelle che può o non può fare!”

una parentesi fisica: il potenziale

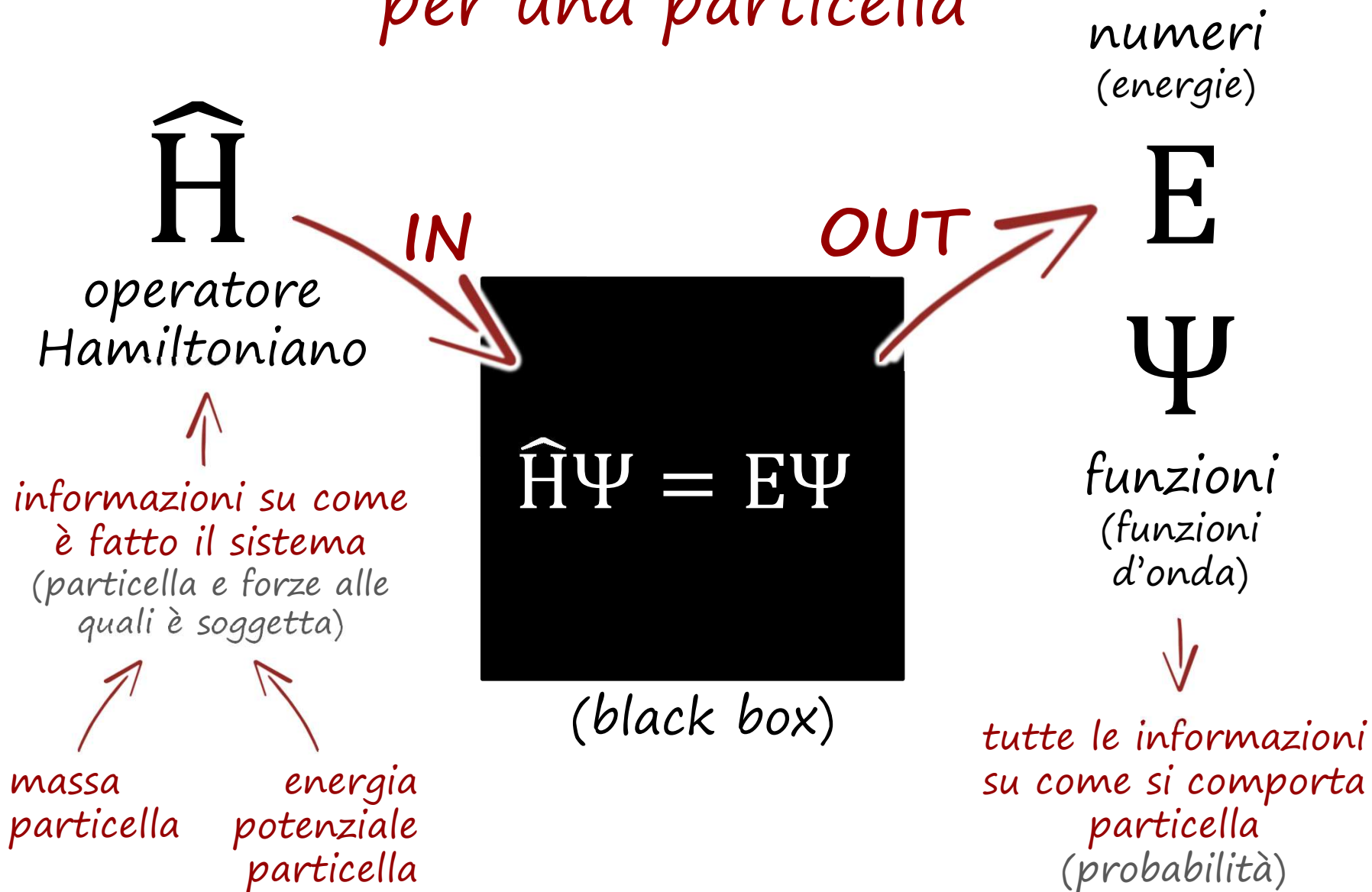
energia potenziale *energia posseduta da un corpo in virtù della sua posizione (o configurazione)*



potenziale $\longleftrightarrow$ forze

$$-\frac{\partial U}{\partial x} = F(x)$$

Equazione di Schrödinger *per una particella*



“equazione ad autovalori”

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

stati stazionari

sono possibili solo
determinate soluzioni
dell'equazione, aventi valori
discreti di energia

quantizzazione

$$\rightarrow \Psi(x, y, z)_1, E_1$$

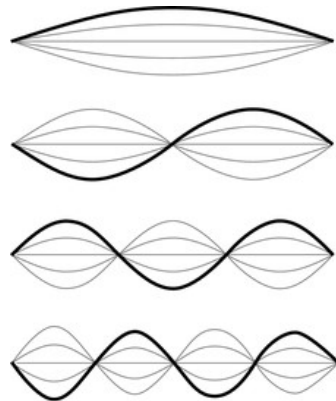
$$\rightarrow \Psi(x, y, z)_2, E_2$$

$$\rightarrow \Psi(x, y, z)_3, E_3$$

(...)

$$\rightarrow \Psi(x, y, z)_n, E_n \quad n=1,2,3,\dots$$

in analogia con
onde stazionarie



la quantizzazione è una
naturale conseguenza
dell'equazione di Schödinger

Equazioni di Schrödinger

*equazione
generale*

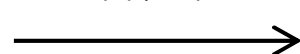
$$\hat{H}\Psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi$$

$$\Psi(x, y, z, t)$$

*la funzione d'onda
cambia
nel tempo*

*equazione
per
stati stazionari*

*si può
derivare*



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

$$\Psi(x, y, z)$$

*la funzione d'onda
NON cambia
nel tempo*

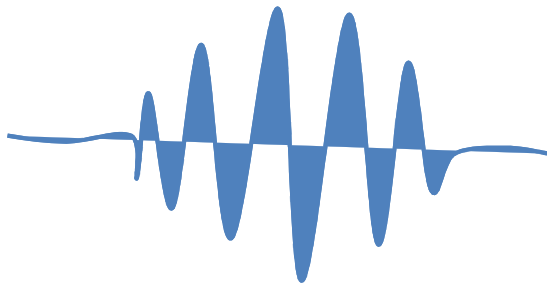
equazione di Schrödinger
dipendente dal tempo

$$\hat{H}\Psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi \quad \longleftrightarrow$$

$$\Psi(x, y, z, t)$$

funzione d'onda

descrizione probabilistica
probabilità di trovare la particella
alla posizione (x,y,z)
conosciuta ad ogni tempo t



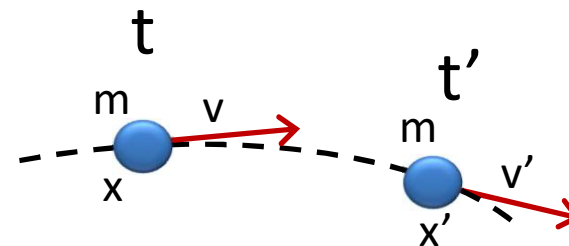
leggi del moto
meccanica classica

$$F = m \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} \quad (F = ma)$$

$$q(x, y, z, t)$$

traiettoria

descrizione deterministica
posizione (x,y,z)
conosciuta ad ogni tempo t



**meccanica
classica**

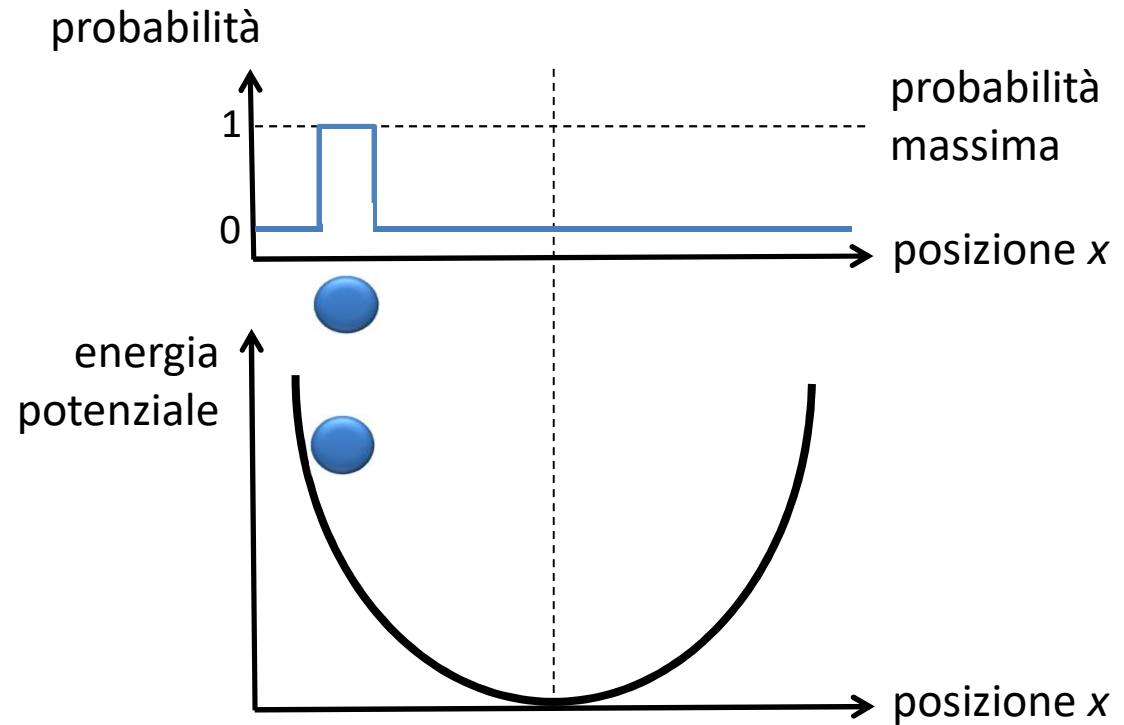
$$F = m \frac{\partial^2 q}{\partial t^2}$$

$$q(x, y, z, t)$$

**meccanica
quantistica**

$$\hat{H}\Psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi$$

$$\Psi(x, y, z, t)$$



?

corrispettivo meccanica
quantistica

equazione di Schödinger
dipendente dal tempo

$$\hat{H}\Psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi \quad \longleftrightarrow$$

leggi del moto
meccanica classica

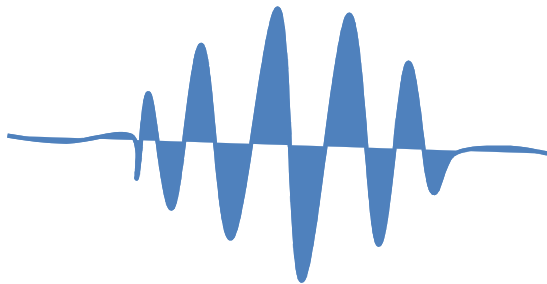
$$F = m \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} \quad (F = ma)$$

$$\Psi(x, y, z, t)$$

$$q(x, y, z, t)$$

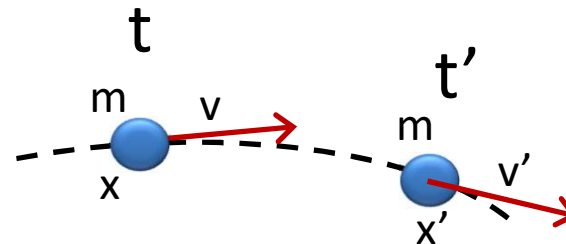
funzione d'onda

descrizione probabilistica
probabilità di trovare la particella
alla posizione (x,y,z)
conosciuta ad ogni tempo t



traiettoria

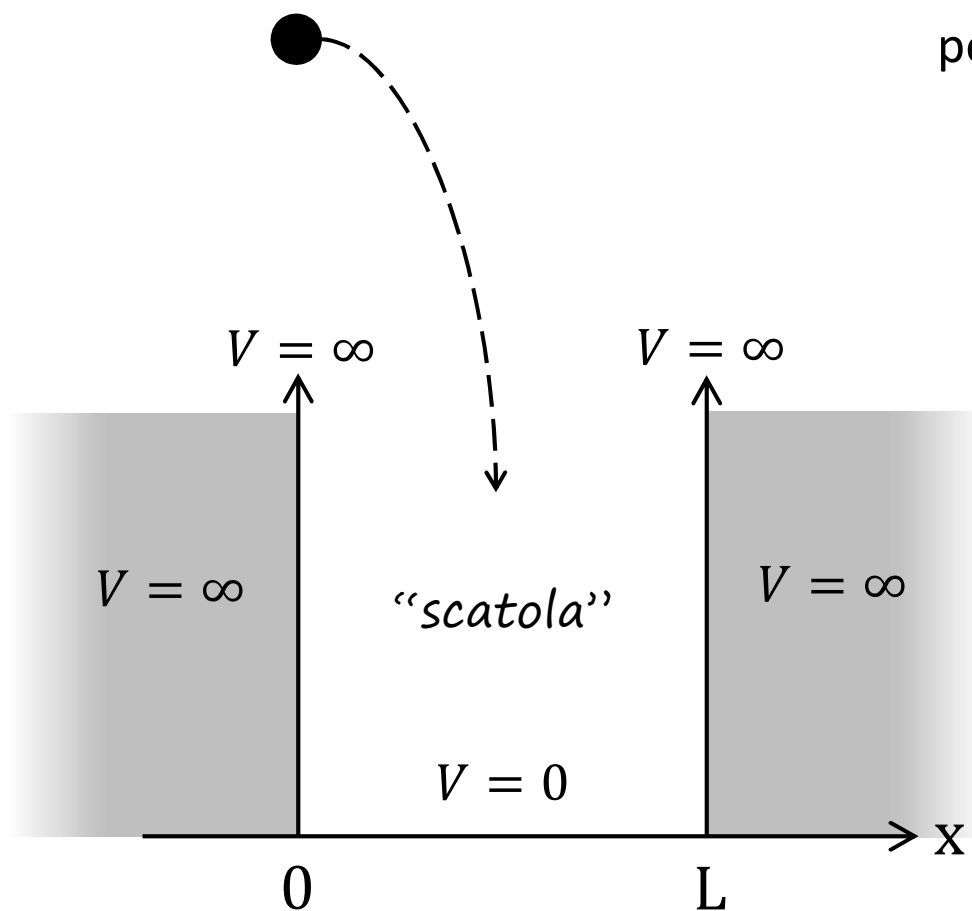
descrizione deterministica
posizione (x,y,z)
conosciuta ad ogni tempo t



un esempio: una particella in una “scatola”

particella
(es. elettrone)

descrizione di una particella
confinata in una “scatola” di
potenziale (a una dimensione)



un esempio: una particella in una “scatola”

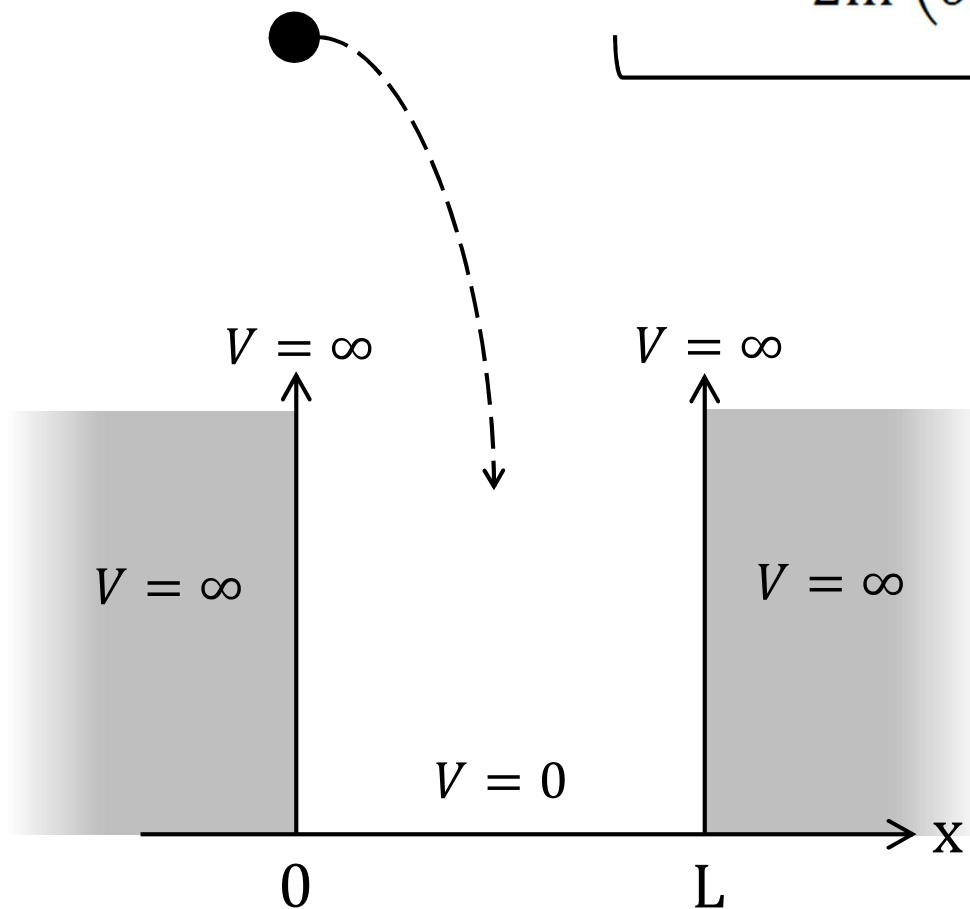
$$\left(\hbar = \frac{h}{2\pi} \right)$$

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \cancel{\frac{\partial^2}{\partial y^2}} + \cancel{\frac{\partial^2}{\partial z^2}} \right) + V(x, \cancel{y}, \cancel{z})$$

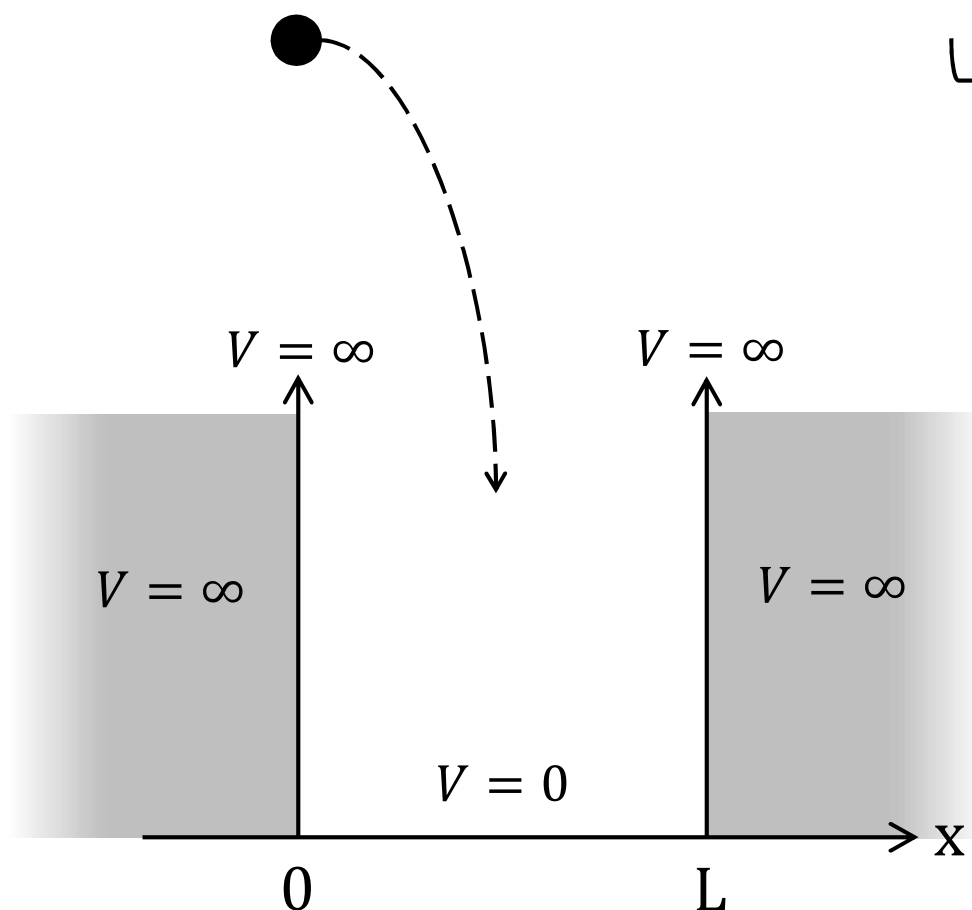
$V = 0$
↓

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

$\uparrow$ $\uparrow$
 $\Psi(x)$ $\Psi(x)$



un esempio: una particella in una “scatola”



$$\underbrace{-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \frac{d^2}{dx^2}}$$

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



$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} = E \psi(x)$$

equazione di
Schrödinger per una
particella in una scatola
(molto più semplice!)

un esempio: una particella in una “scatola”

$$-\frac{h^2}{8\pi^2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = E \psi(x)$$



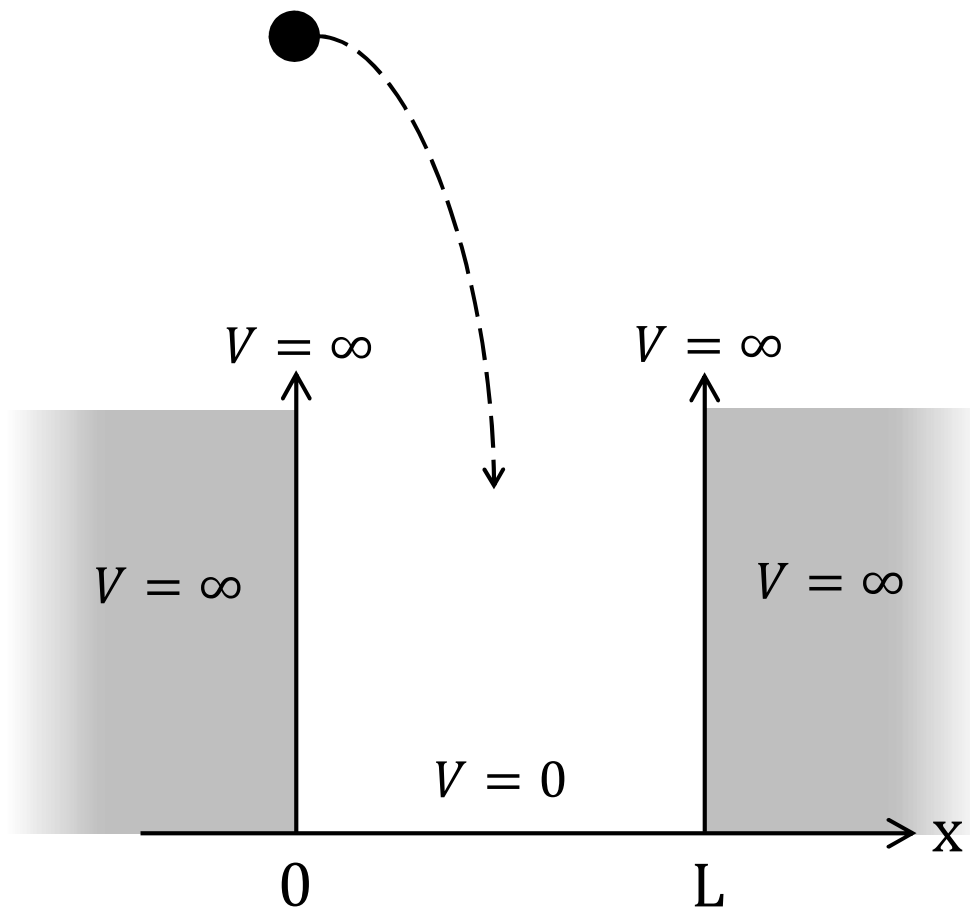
$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$

*equazione differenziale del
secondo ordine a una
variabile*

*quali funzioni
sono soluzioni?*

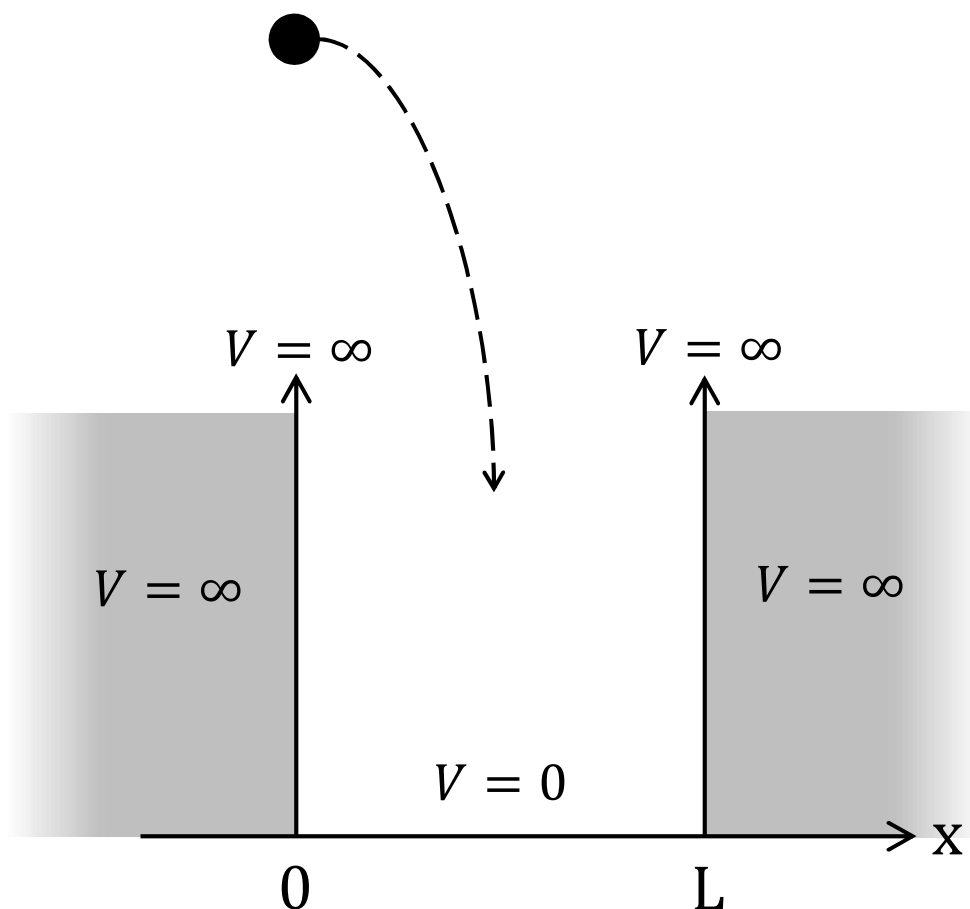
$$\psi(x) = A \sin(kx)$$

$$\psi(x) = B \cos(kx)$$



un esempio: una particella in una “scatola”

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$



$$\psi(x) = A \sin(kx)$$

$$\downarrow \frac{d}{dx}$$

$$\frac{d\psi(x)}{dx} = A k \cos(kx)$$

$$\downarrow \frac{d}{dx}$$

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -A k^2 \sin(kx)$$

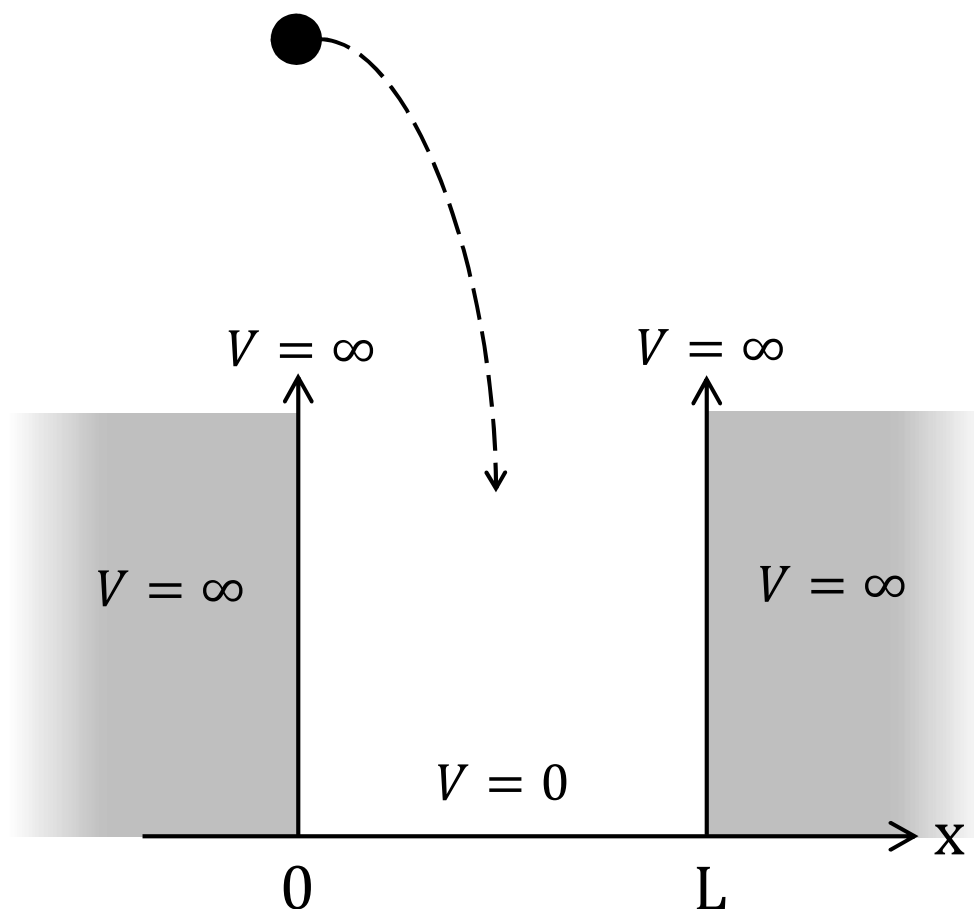
||

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -k^2 \psi(x)$$

*vale anche per
 $A \cos(kx)$*

un esempio: una particella in una “scatola”

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$



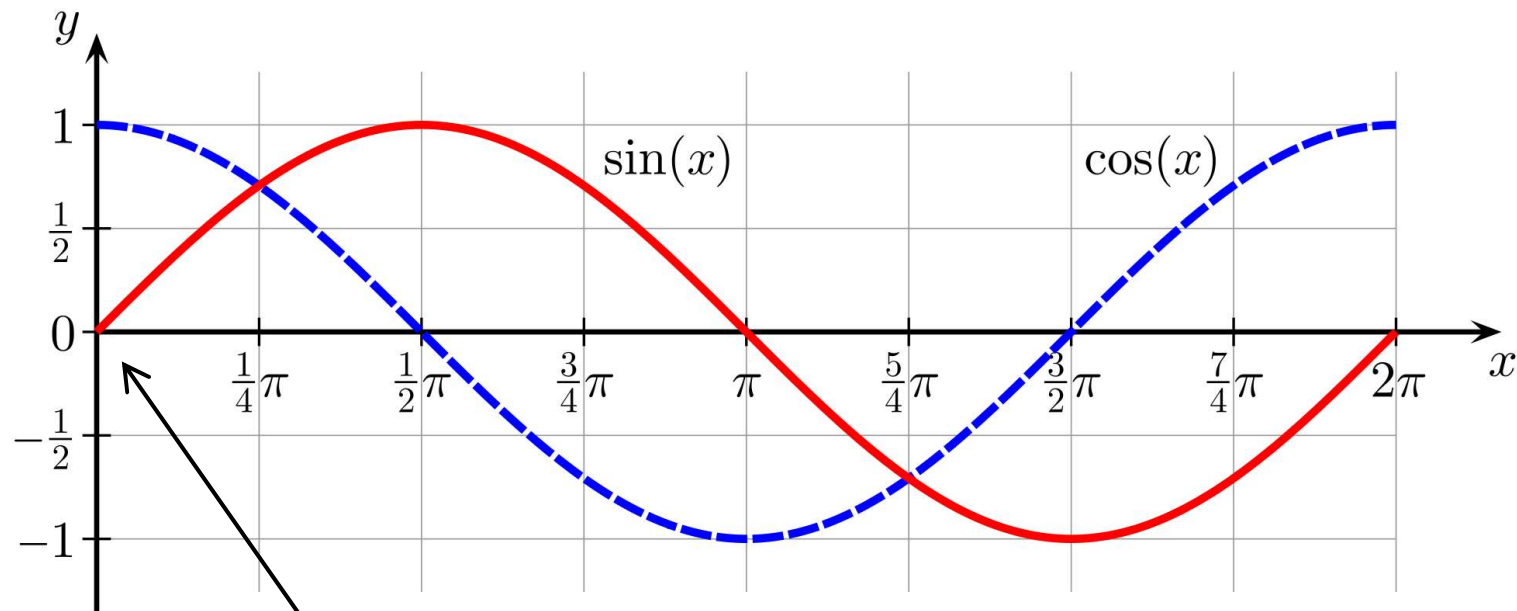
$$\psi(x) = A \sin(kx)$$

$$\psi(x) = B \cos(kx)$$

*possibili soluzioni
(infinite)*

*condizione
al contorno* $\downarrow$ $\psi(0) = 0$
?

funzioni seno e coseno

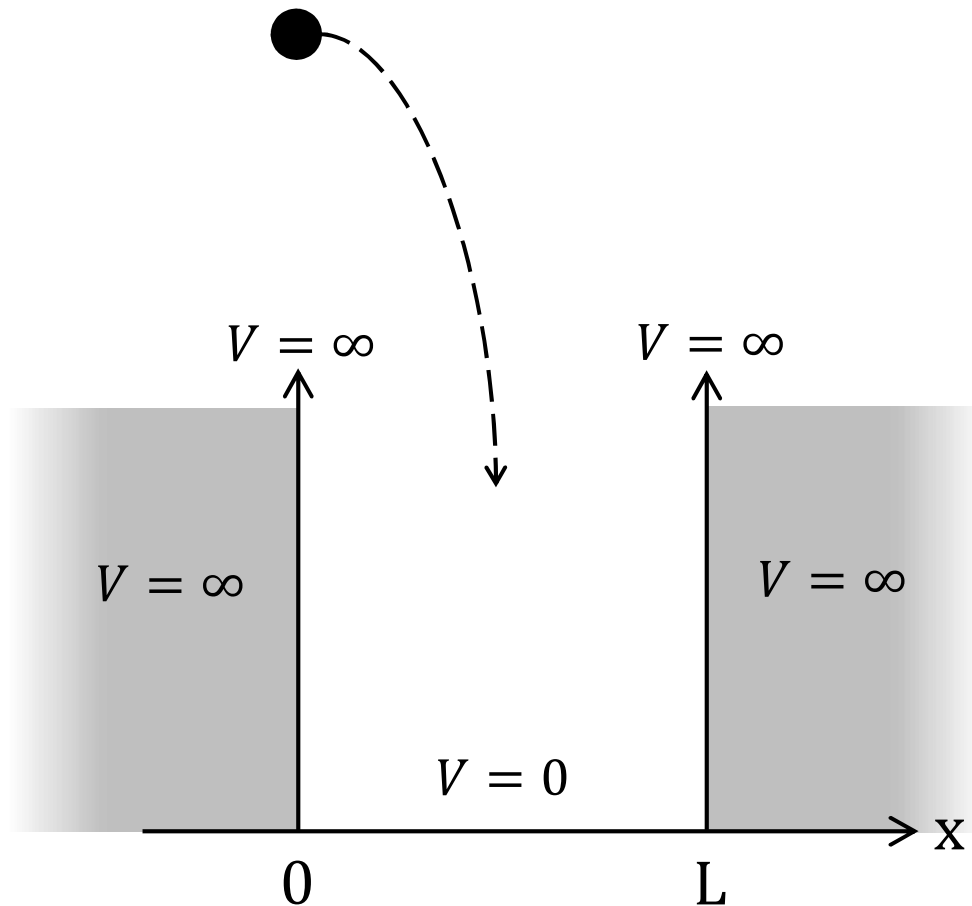


*solo funzione
seno soddisfa la
condizione*

$$\psi(0) = 0$$

un esempio: una particella in una “scatola”

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$



$$\psi(x) = A \sin(kx)$$

$$\psi(x) = B \cos(kx)$$

*possibili soluzioni
(infinite)*

*condizione
al contorno*

$$\psi(0) = 0$$

$$\psi(x) = A \sin(kx)$$

un esempio: una particella in una “scatola”

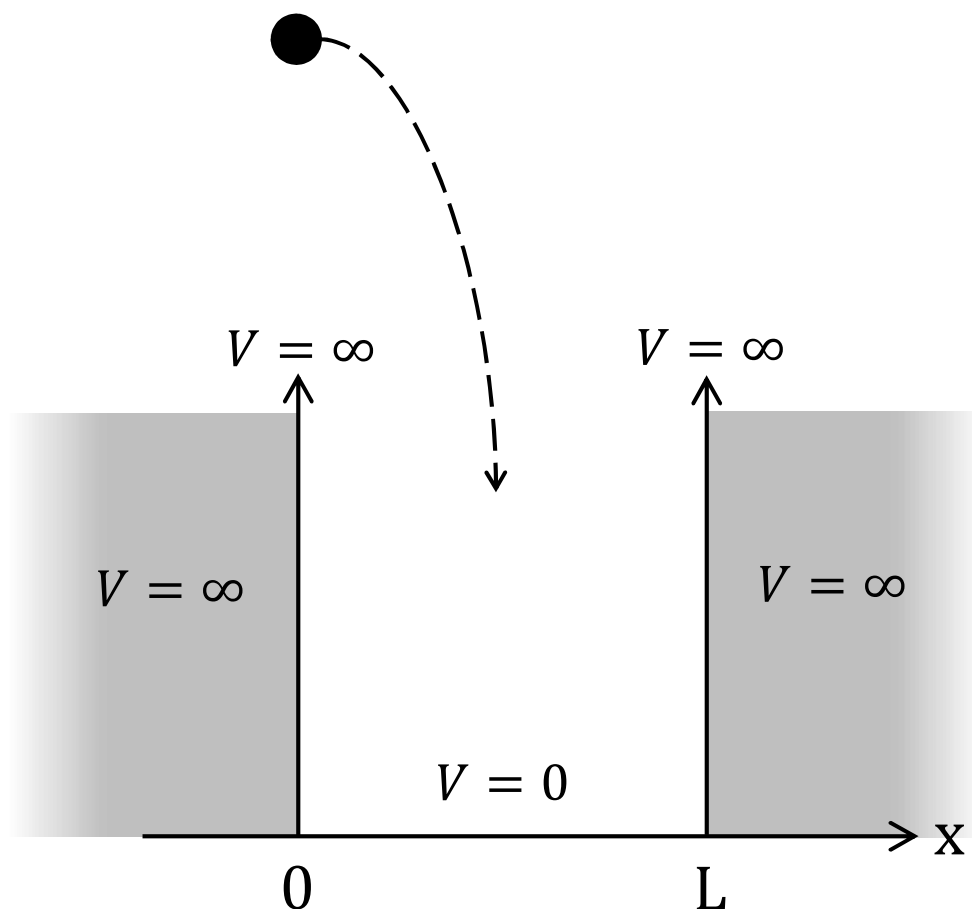
$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$

$$\psi(x) = A \sin(kx)$$

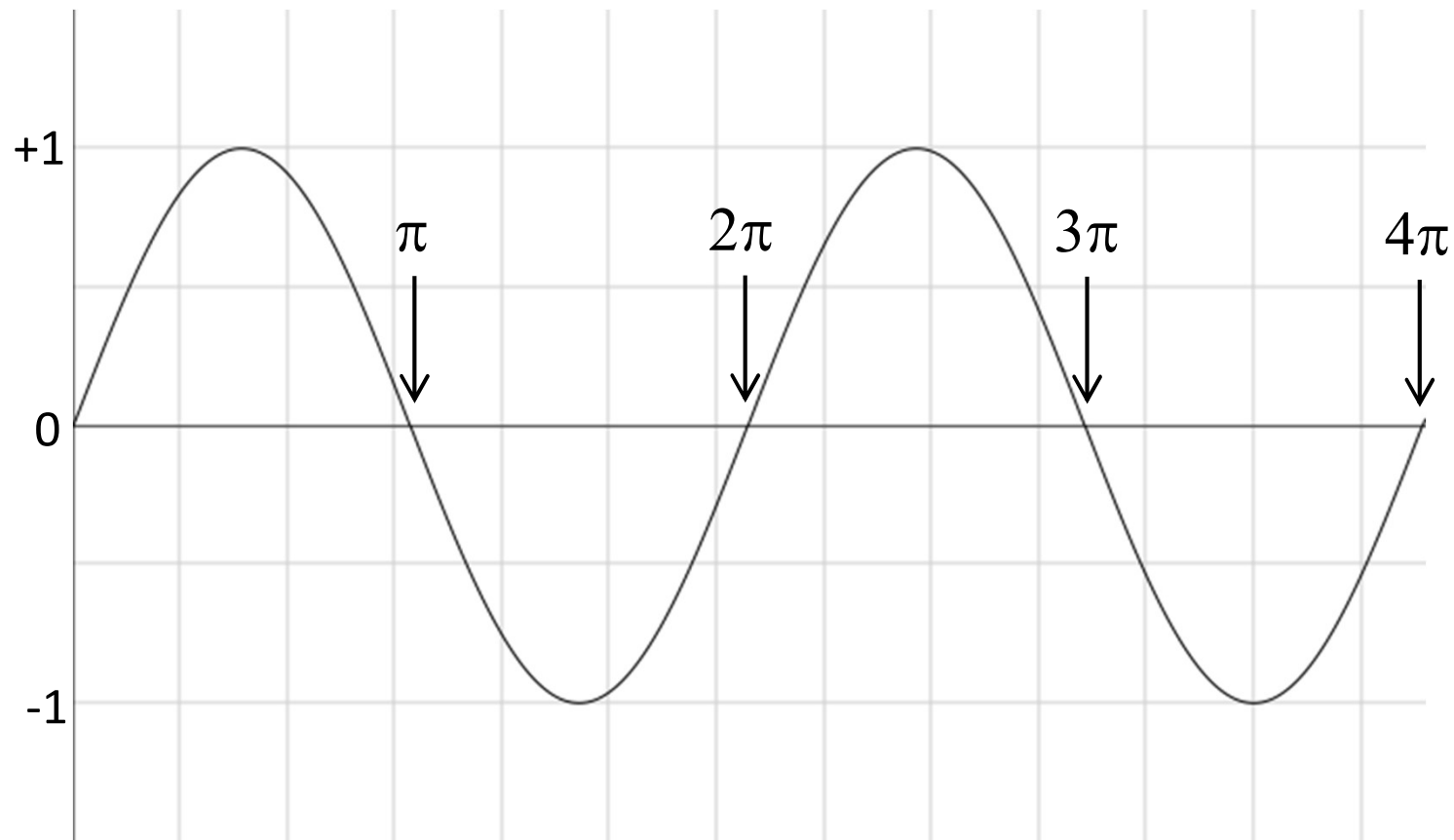
*possibili soluzioni
(infinite)*

*condizione
al contorno*

$$\psi(L) = 0$$



la funzione seno



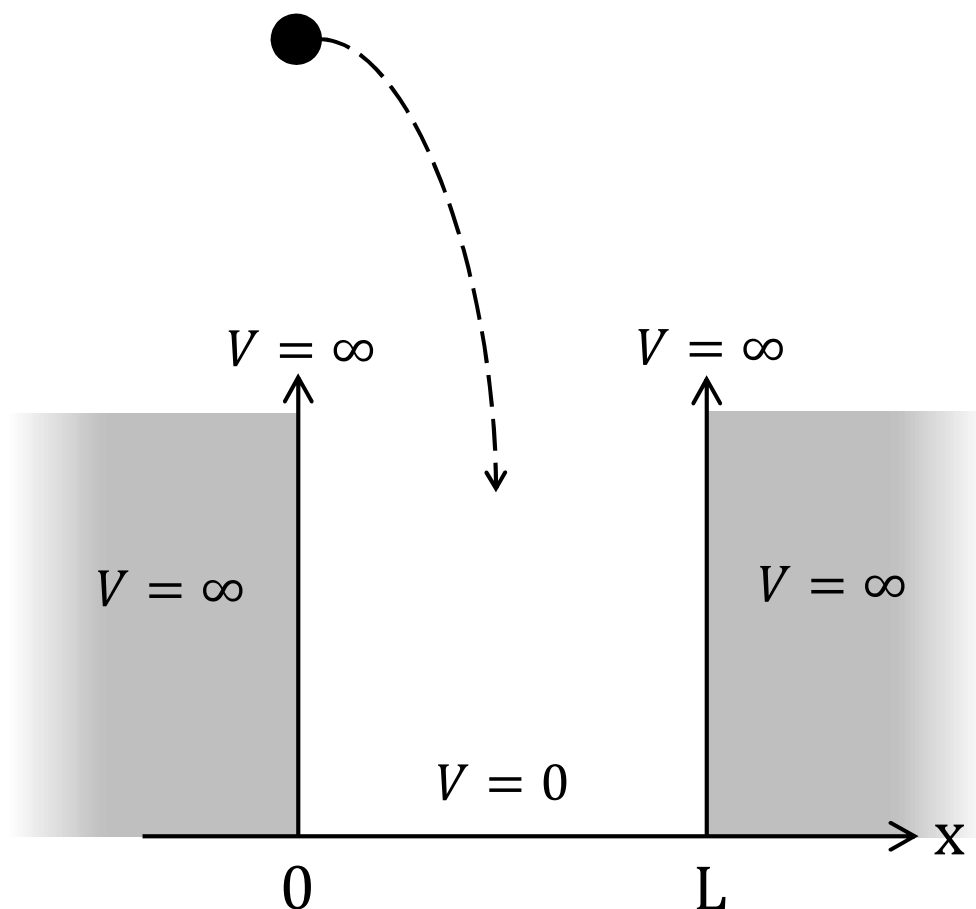
$A \sin(kL) = 0$ *vero per* $kL = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$

ossia

$$kL = n\pi \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

un esempio: una particella in una “scatola”

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$



$$\psi(x) = A \sin(kx)$$

*possibili soluzioni
(infinite)*

*condizione
al contorno*

$$\psi(L) = 0$$

$$A \sin(kL) = 0$$

$$kL = n\pi$$

$$\psi(x) = A \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

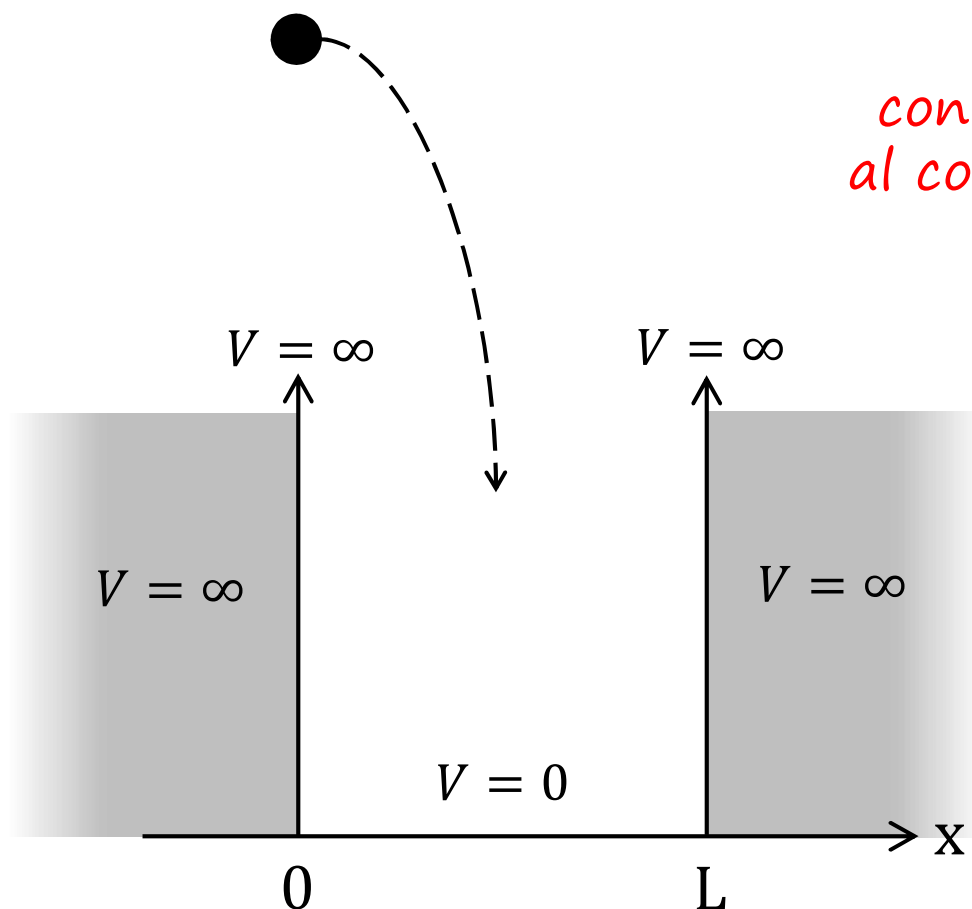
$$n = 1, 2, 3, \dots$$

quantizzazione!!!

un esempio: una particella in una “scatola”

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$

$$\psi(x) = A \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$



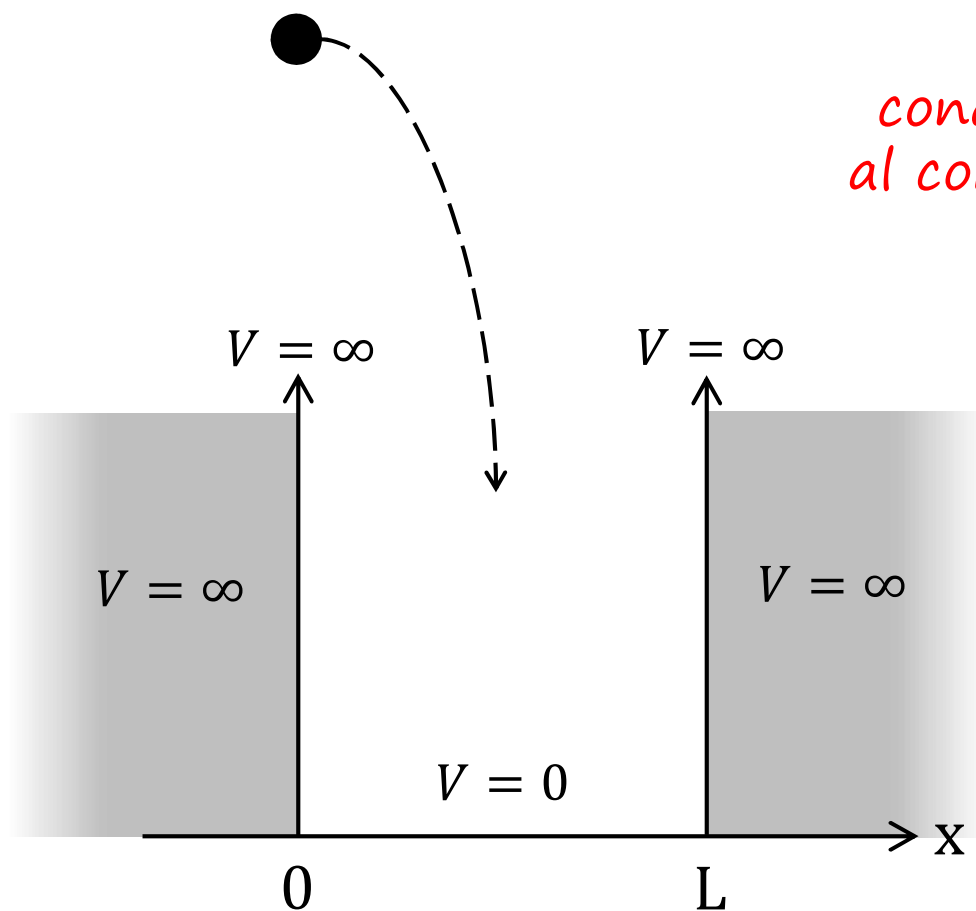
*condizione
al contorno*

*certezza di trovare la
particella tra 0 ed L*

un esempio: una particella in una “scatola”

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$

$$\psi(x) = A \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$



*condizione
al contorno*

$$\int_0^L |\psi(x)|^2 dx = 1$$

$$A^2 \int_0^L \sin^2\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx = 1$$

$$\frac{L}{2} A^2 \frac{L}{2} = 1$$

$$A = \sqrt{\frac{2}{L}}$$

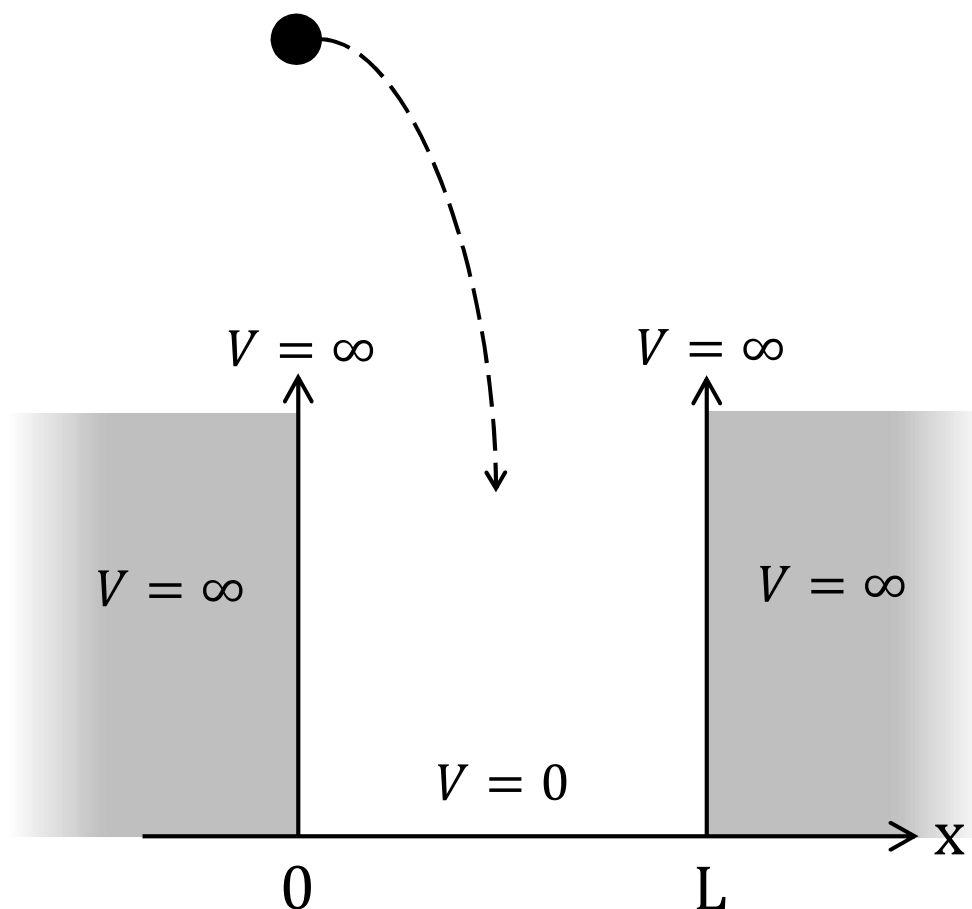
$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

un esempio: una particella in una “scatola”

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

*funzioni d'onda per la
particella
(che soddisfano le
condizioni al contorno)*



un esempio: una particella in una “scatola”

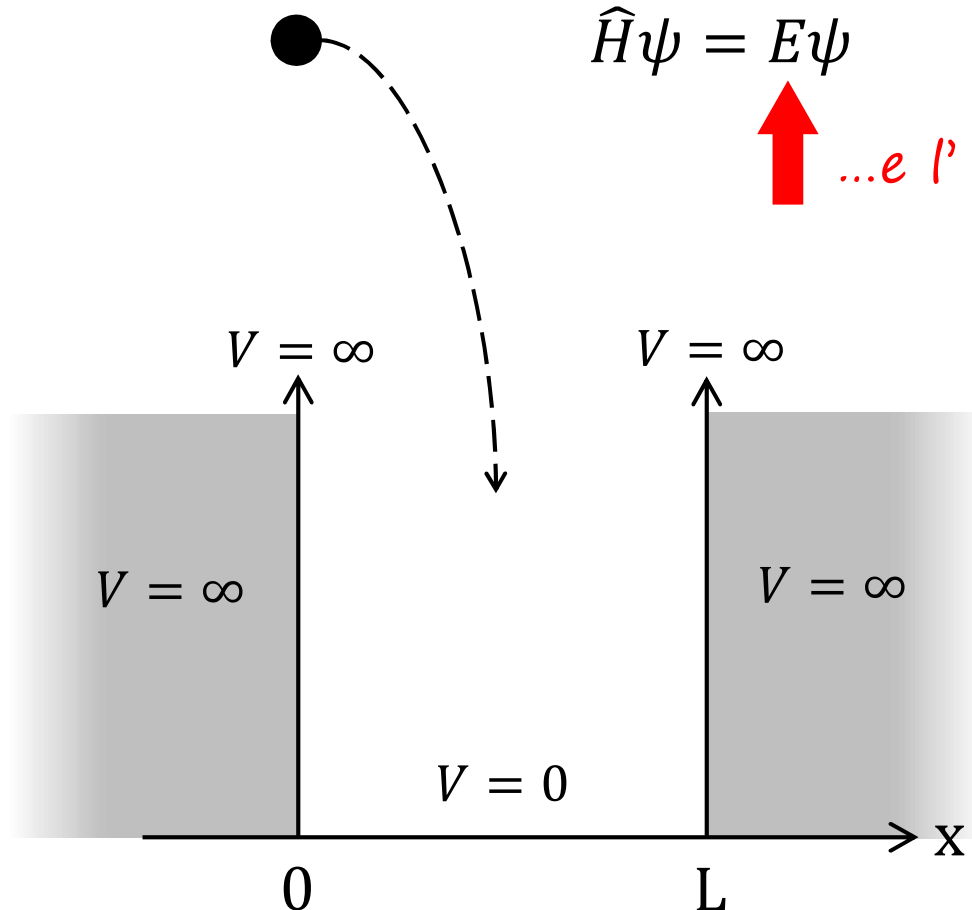
$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

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



...e l' energia?



un esempio: una particella in una “scatola”

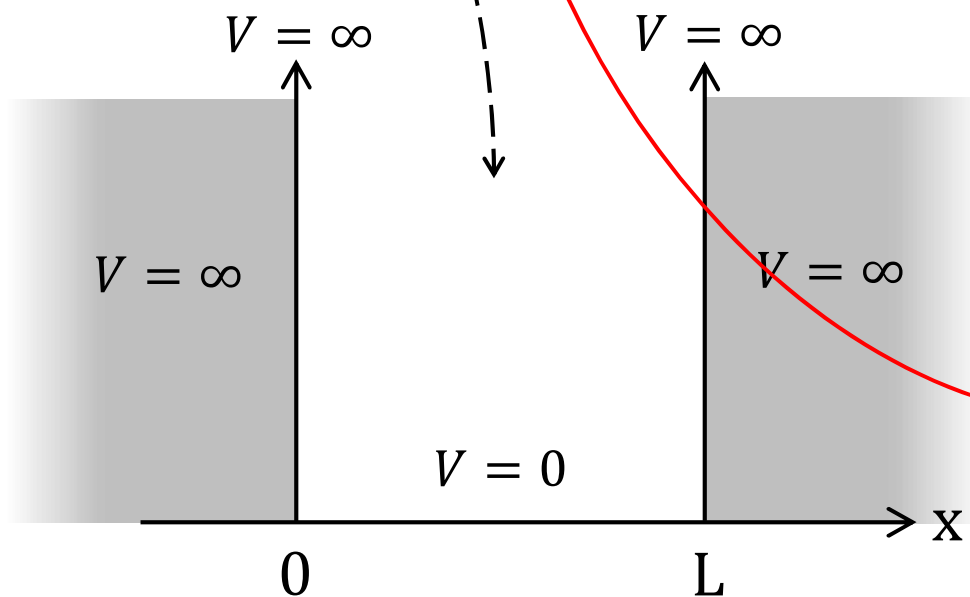
$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = \frac{d^2}{dx^2} \left[\sqrt{\frac{2}{L}} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \right]$$

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \underbrace{\left[\sqrt{\frac{2}{L}} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \right]}$$

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \psi(x)$$



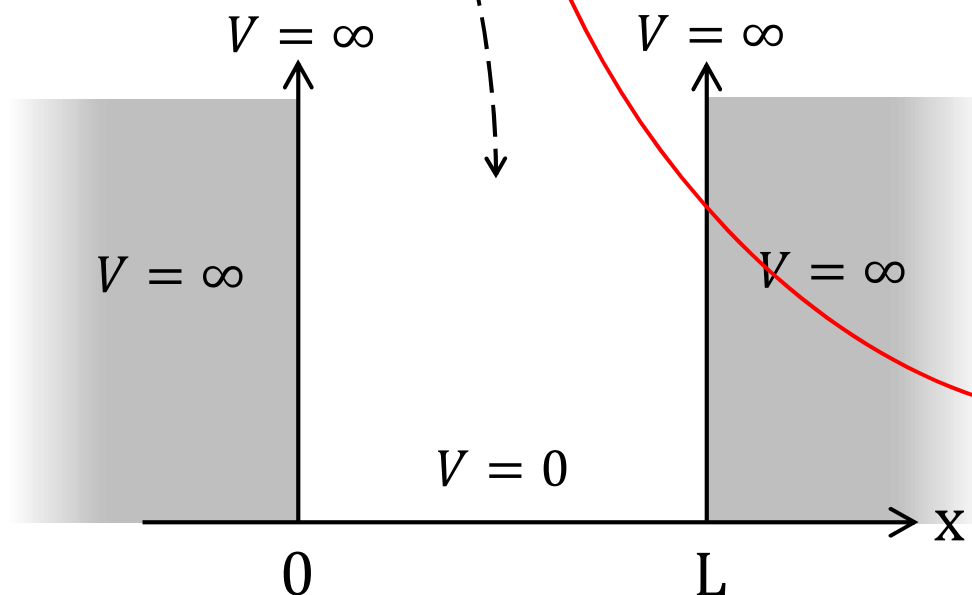
un esempio: una particella in una “scatola”

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{8\pi^2mE}{h^2} \psi(x)$$

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

*anche energia
è quantizzata*

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

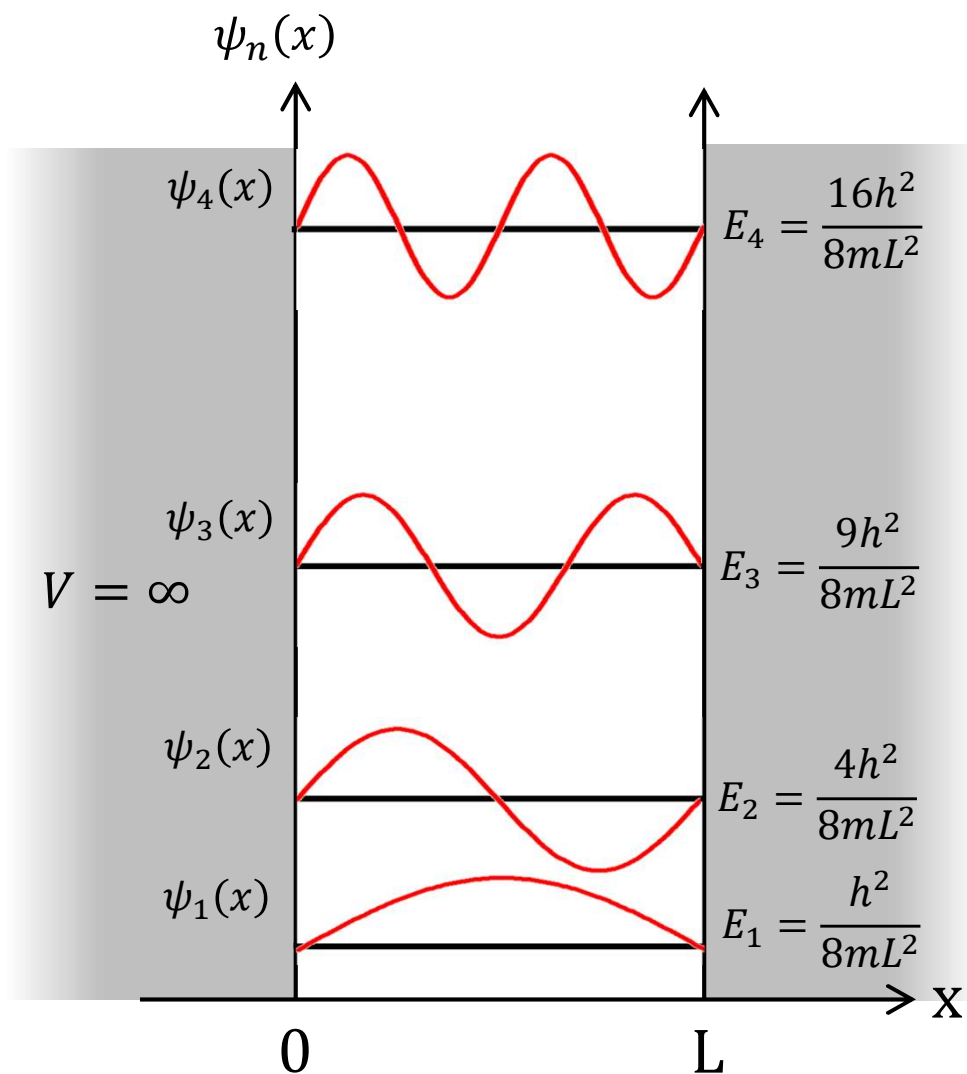


$$\frac{8\pi^2mE}{h^2} = \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2$$

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \psi(x)$$

un esempio: una particella in una “scatola”

valore della
funzione d'onda

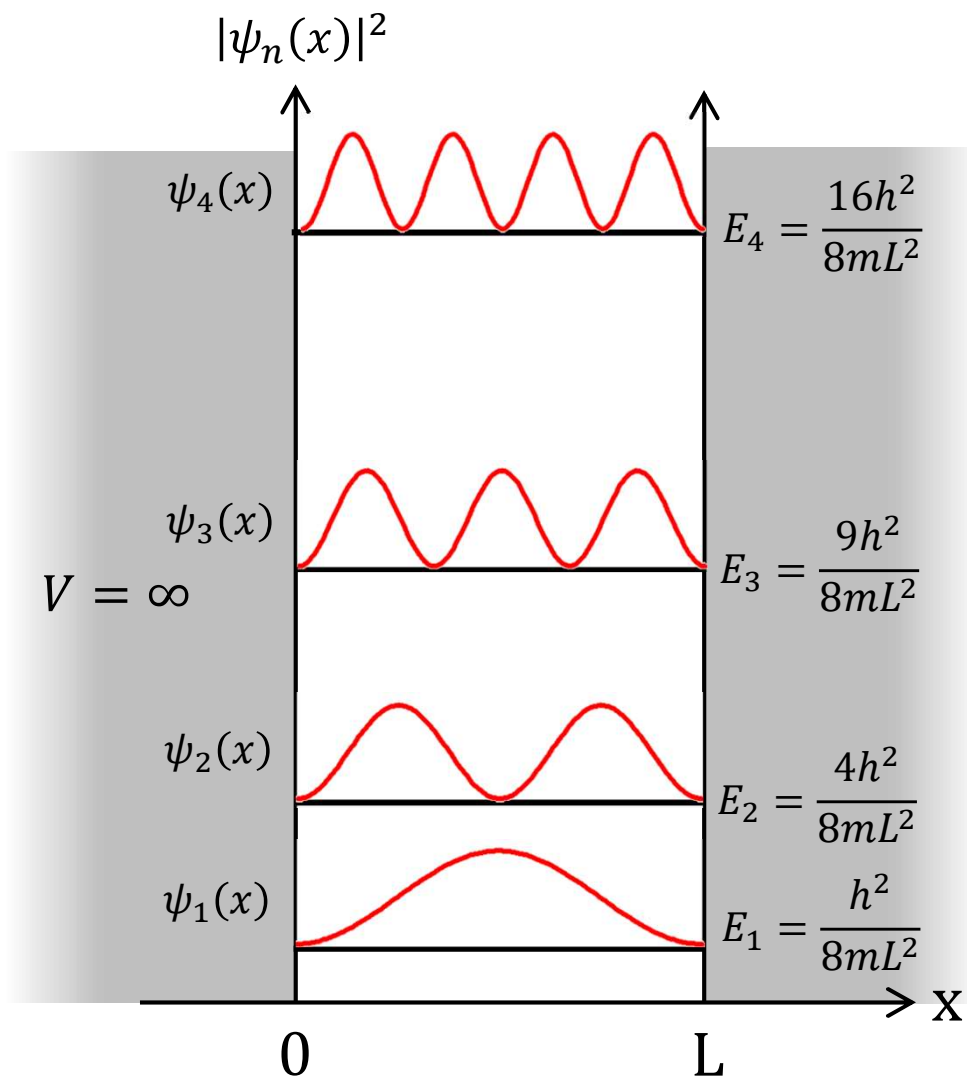


$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

un esempio: una particella in una “scatola”

*probabilità di
osservare la particella*

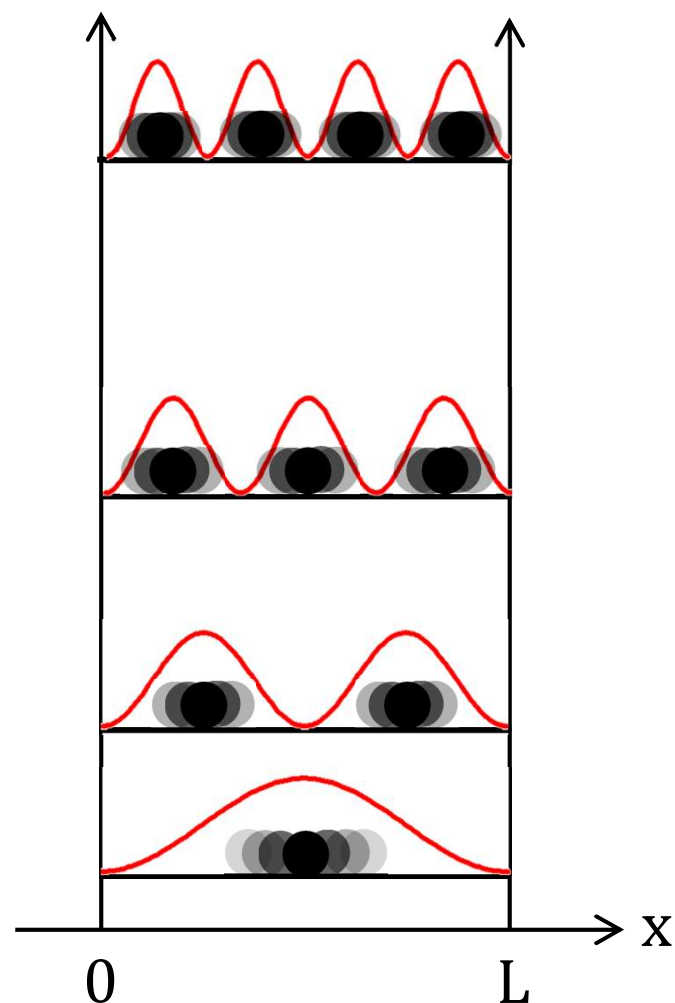
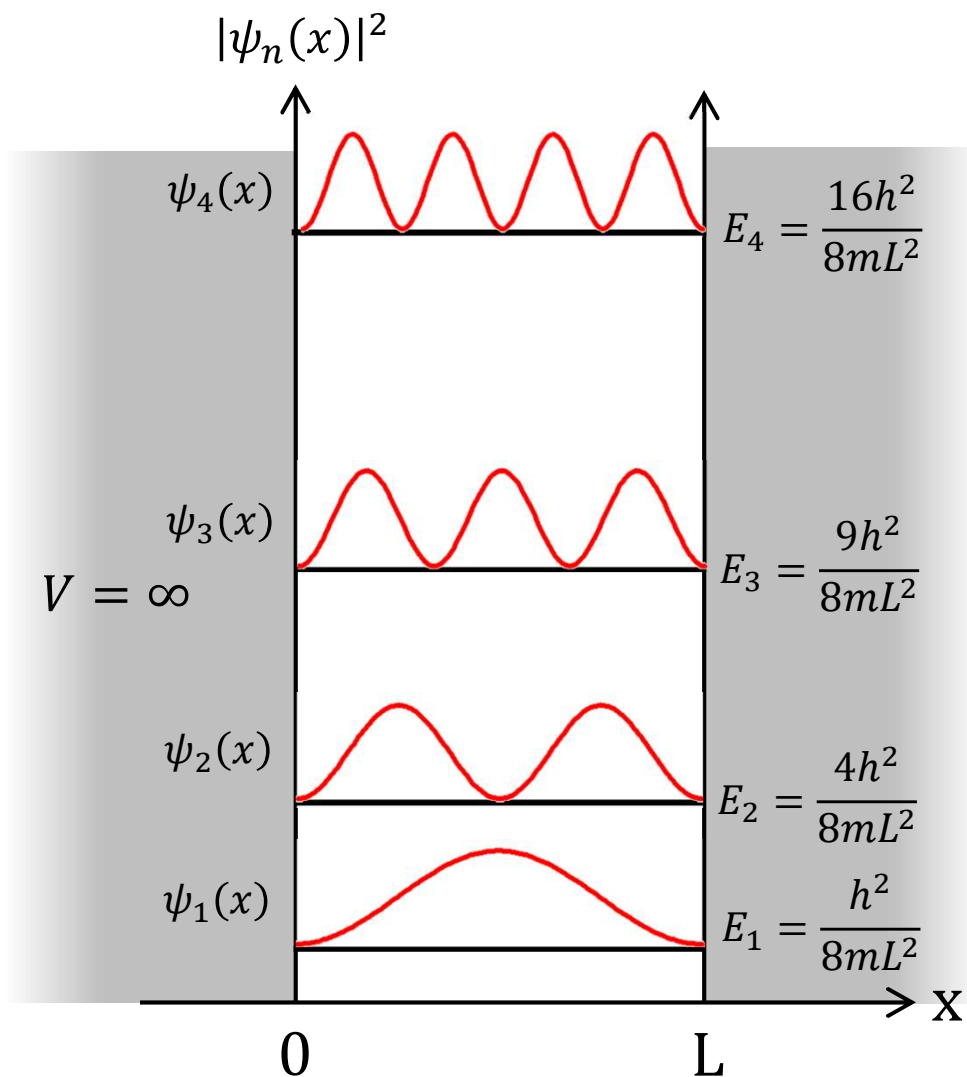


$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

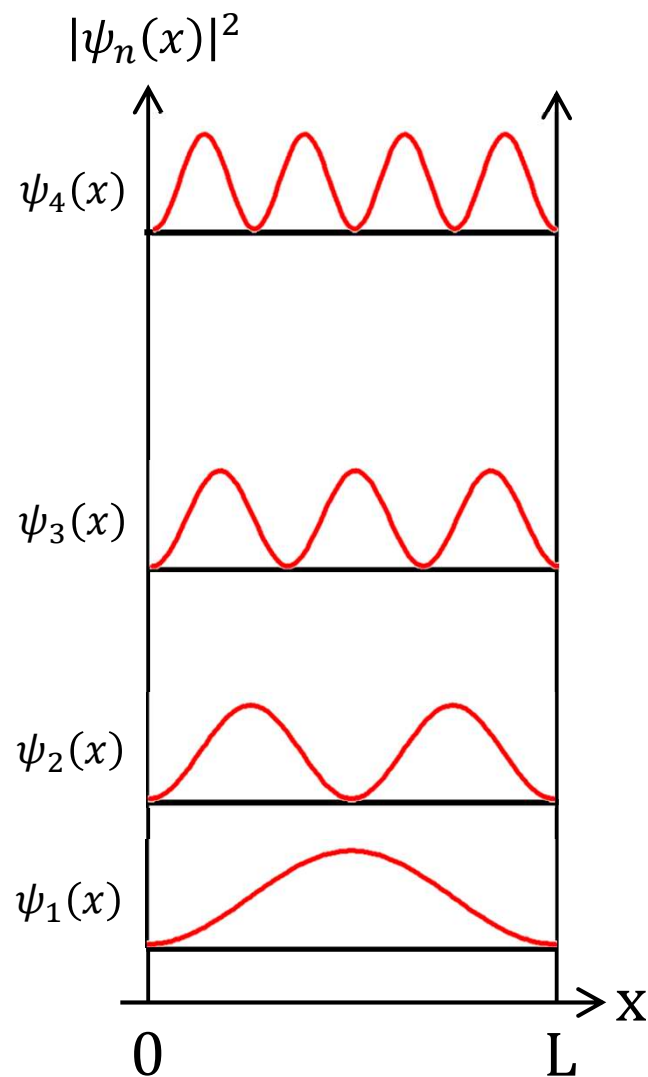
un esempio: una particella in una “scatola”

*probabilità di
osservare la particella*

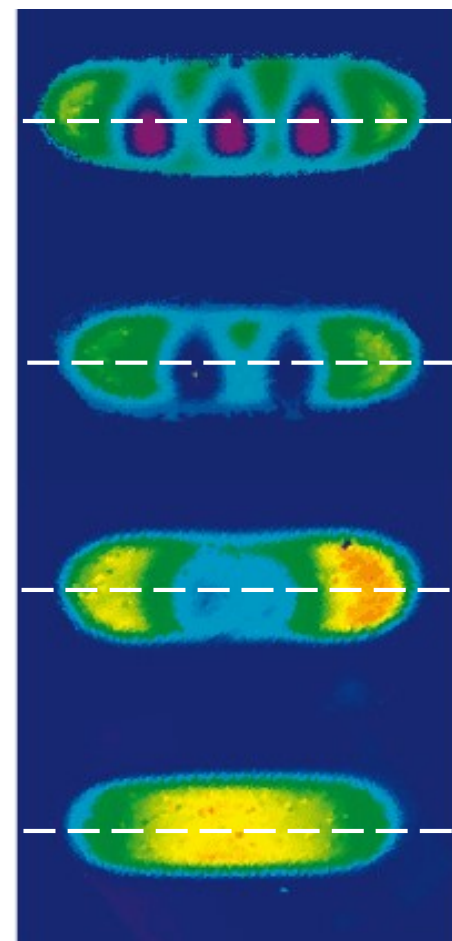
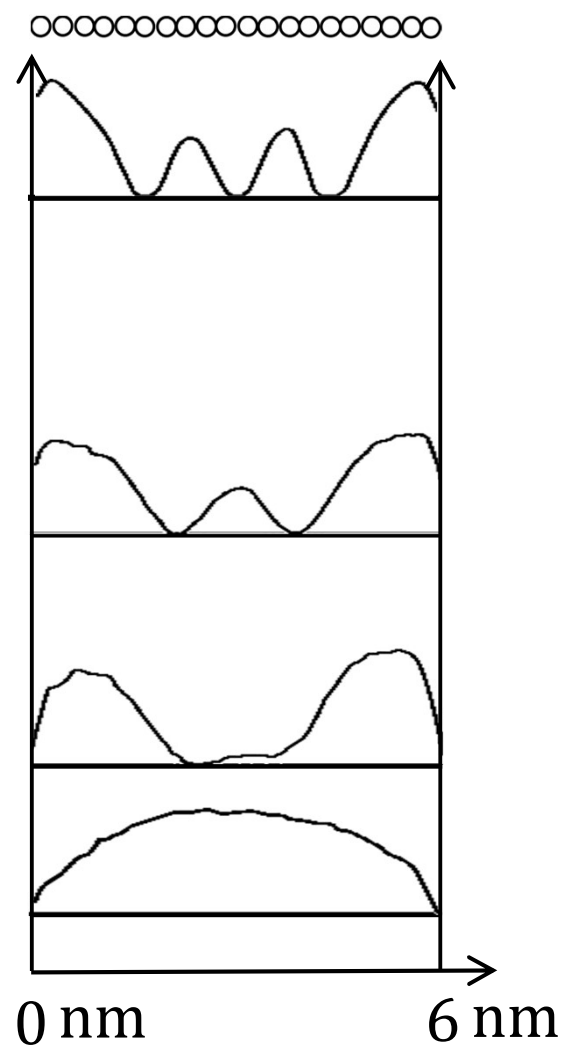


un esempio: una particella in una “scatola”

*probabilità di
osservare la particella*



probabilità misurata con STM su stati
elettronici di una catena lineare Pd_{20}



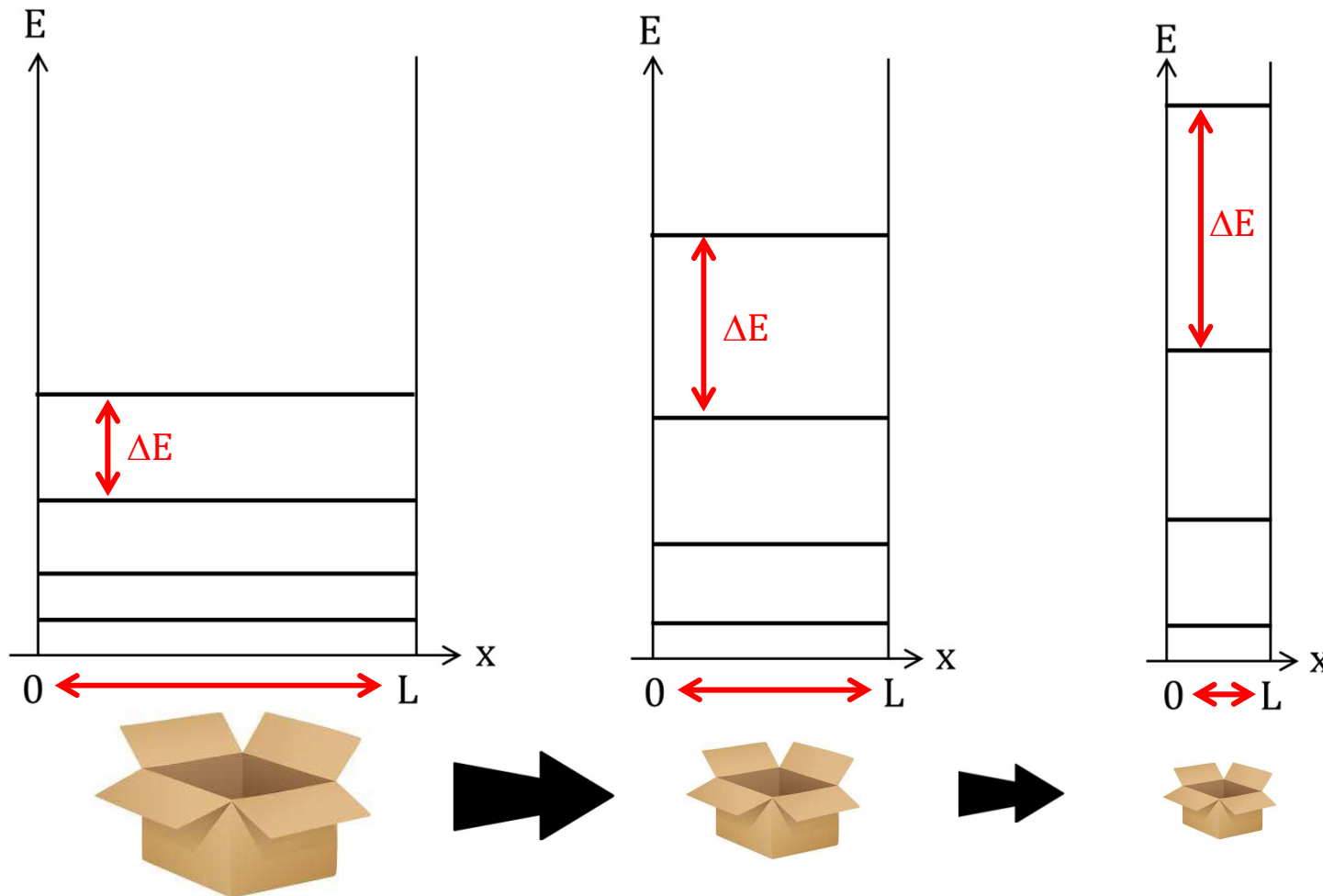
(Nilius, Wallis, Ho,
J.Phys.Chem B 2005, 109, 20657)

confinamento quantico

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

$$\Delta E = E_i - E_j = \frac{(n_i^2 - n_j^2) h^2}{8mL^2}$$

*più piccolo L,
più grande ΔE*

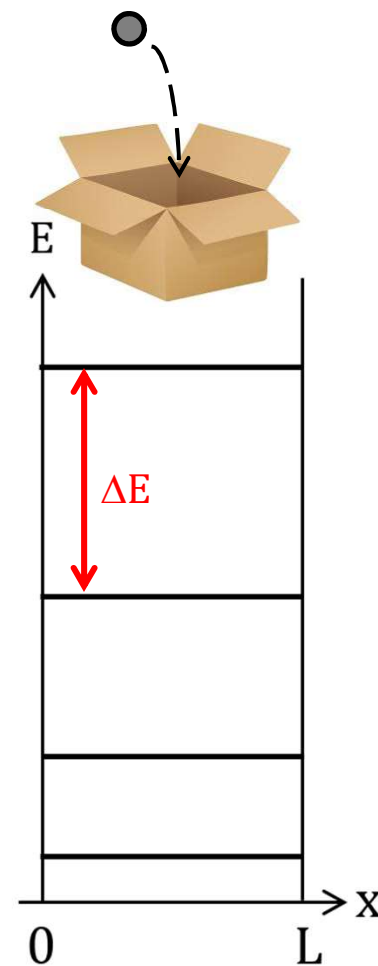
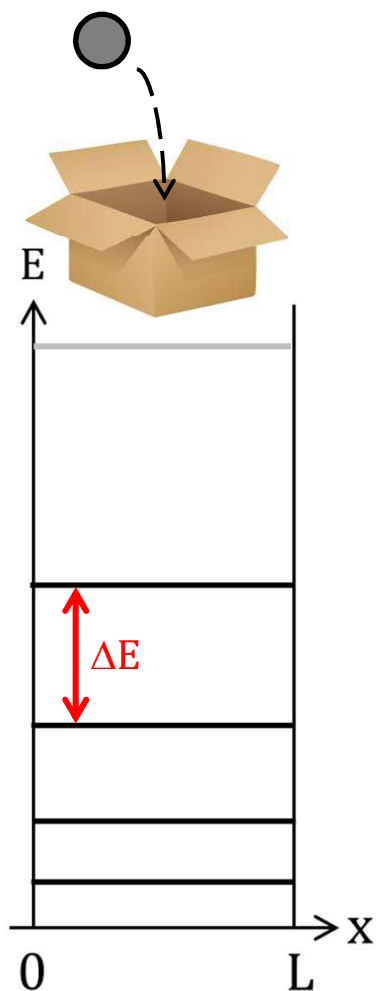
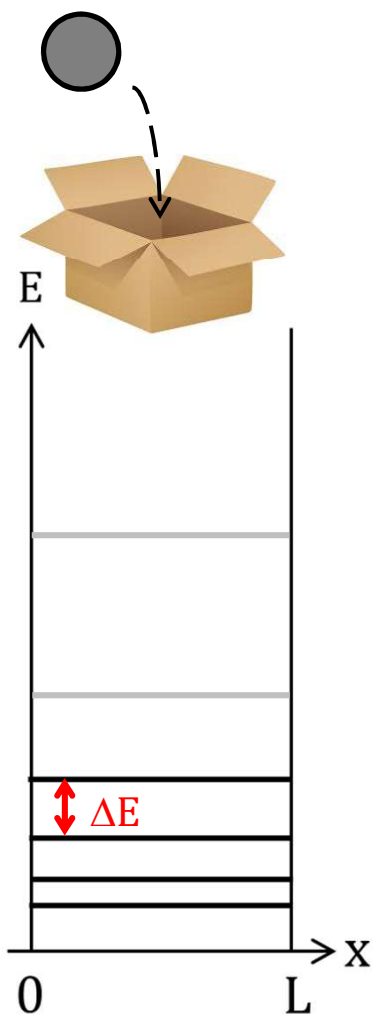


macro e micro

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

$$\Delta E = E_i - E_j = \frac{(n_i^2 - n_j^2) h^2}{8mL^2}$$

*più piccolo m ,
più grande ΔE*

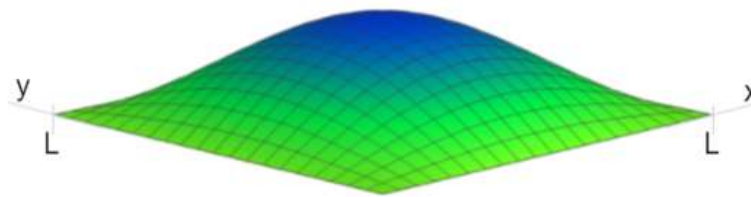


la particella nella scatola in 2 dimensioni

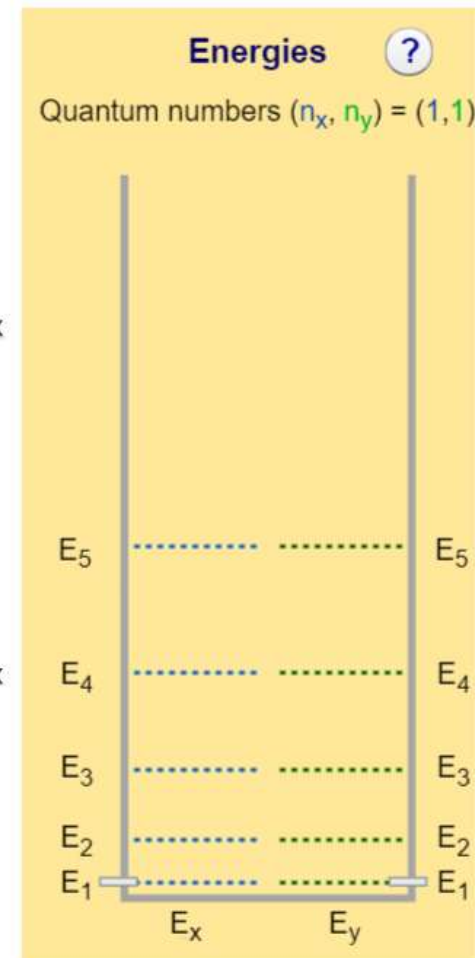
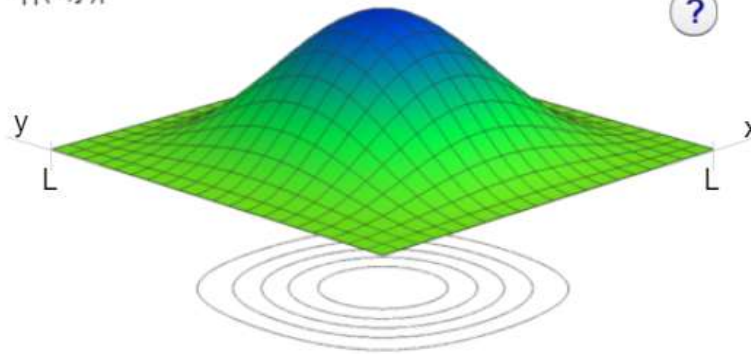
$$\psi_{n_x n_y}(x, y) = \psi_{n_x}(x) \psi_{n_y}(y) = \frac{2}{L} \operatorname{sen} \left(\frac{n_x \pi x}{L} \right) \operatorname{sen} \left(\frac{n_y \pi y}{L} \right)$$

*2 numeri
quantici*

$\psi_{11}(x, y)$



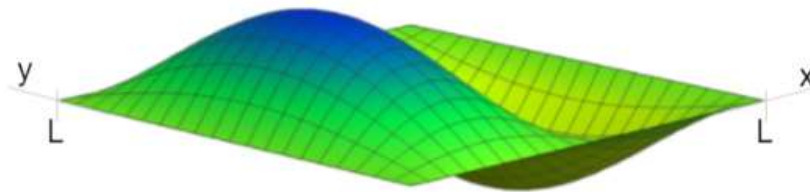
$|\psi_{11}(x, y)|^2$



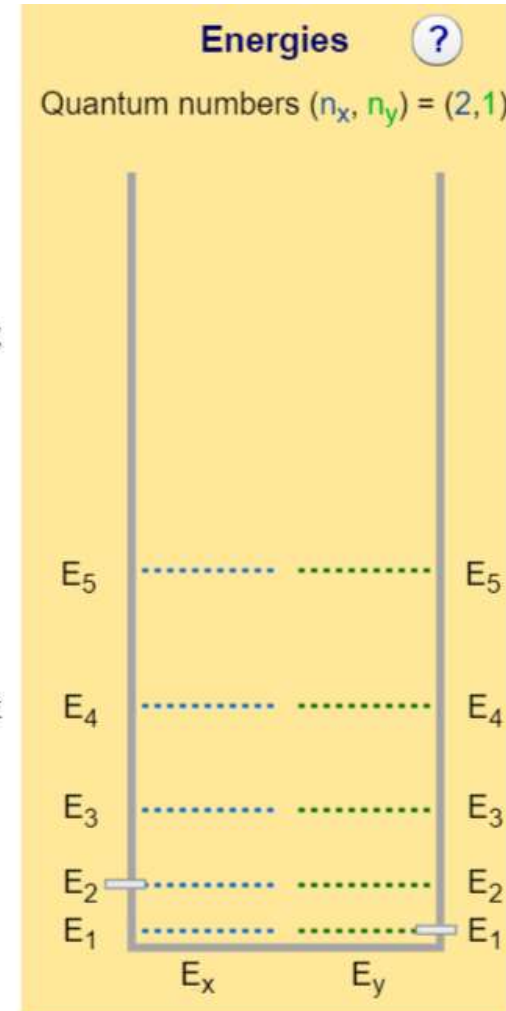
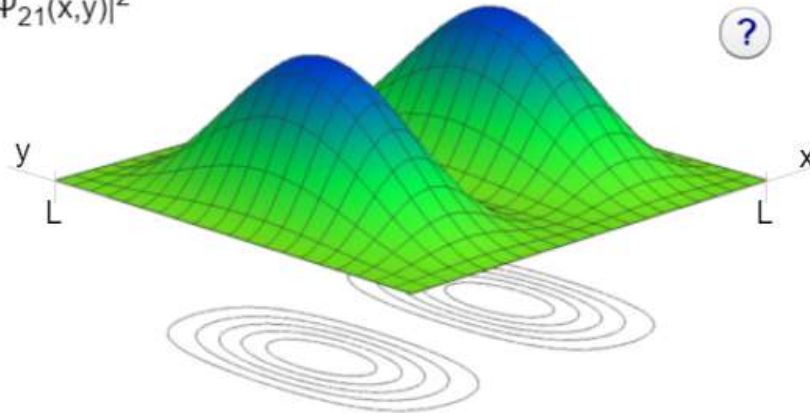
la particella nella scatola in 2 dimensioni

$$\psi_{n_x n_y}(x, y) = \psi_{n_x}(x) \psi_{n_y}(y) = \frac{2}{L} \sin\left(\frac{n_x \pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{n_y \pi y}{L}\right)$$

$\Psi_{21}(x, y)$



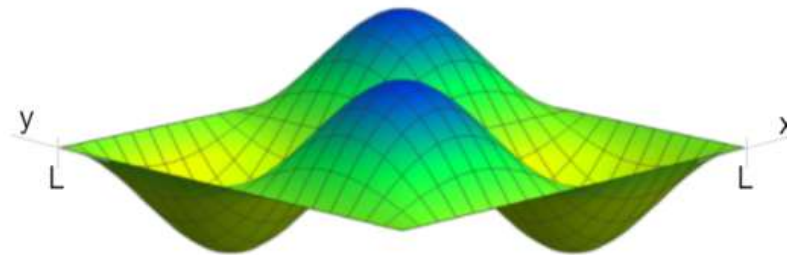
$|\Psi_{21}(x, y)|^2$



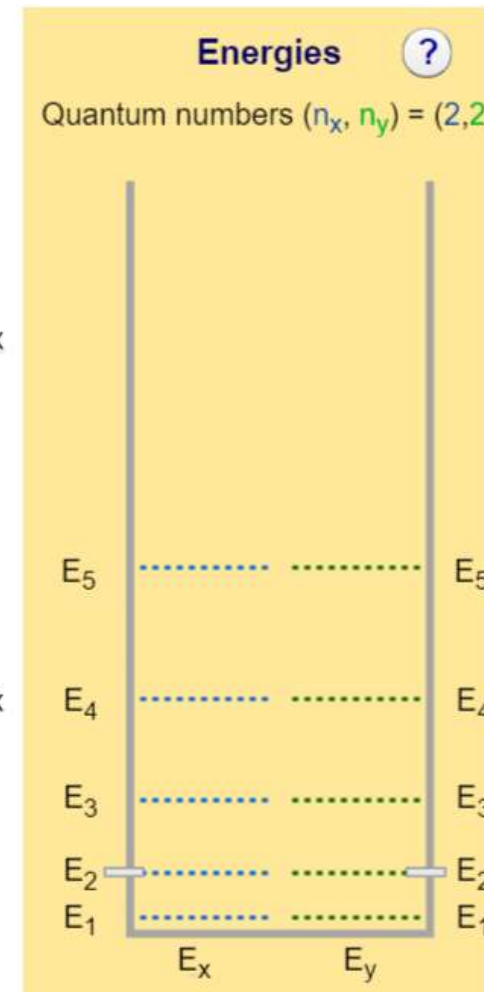
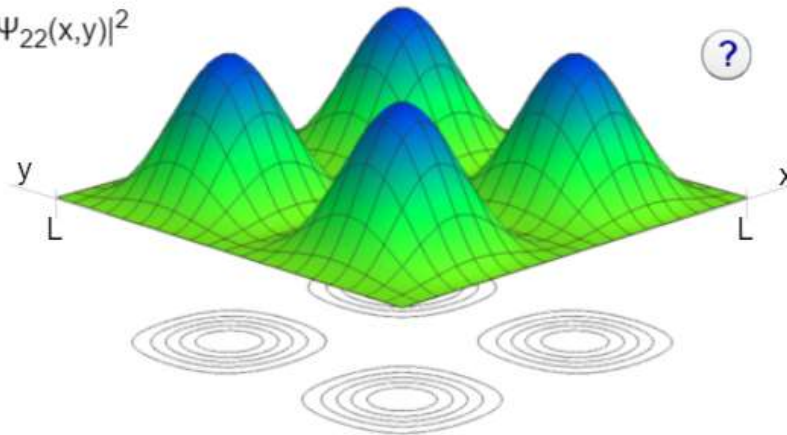
la particella nella scatola in 2 dimensioni

$$\psi_{n_x n_y}(x, y) = \psi_{n_x}(x) \psi_{n_y}(y) = \frac{2}{L} \sin\left(\frac{n_x \pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{n_y \pi y}{L}\right)$$

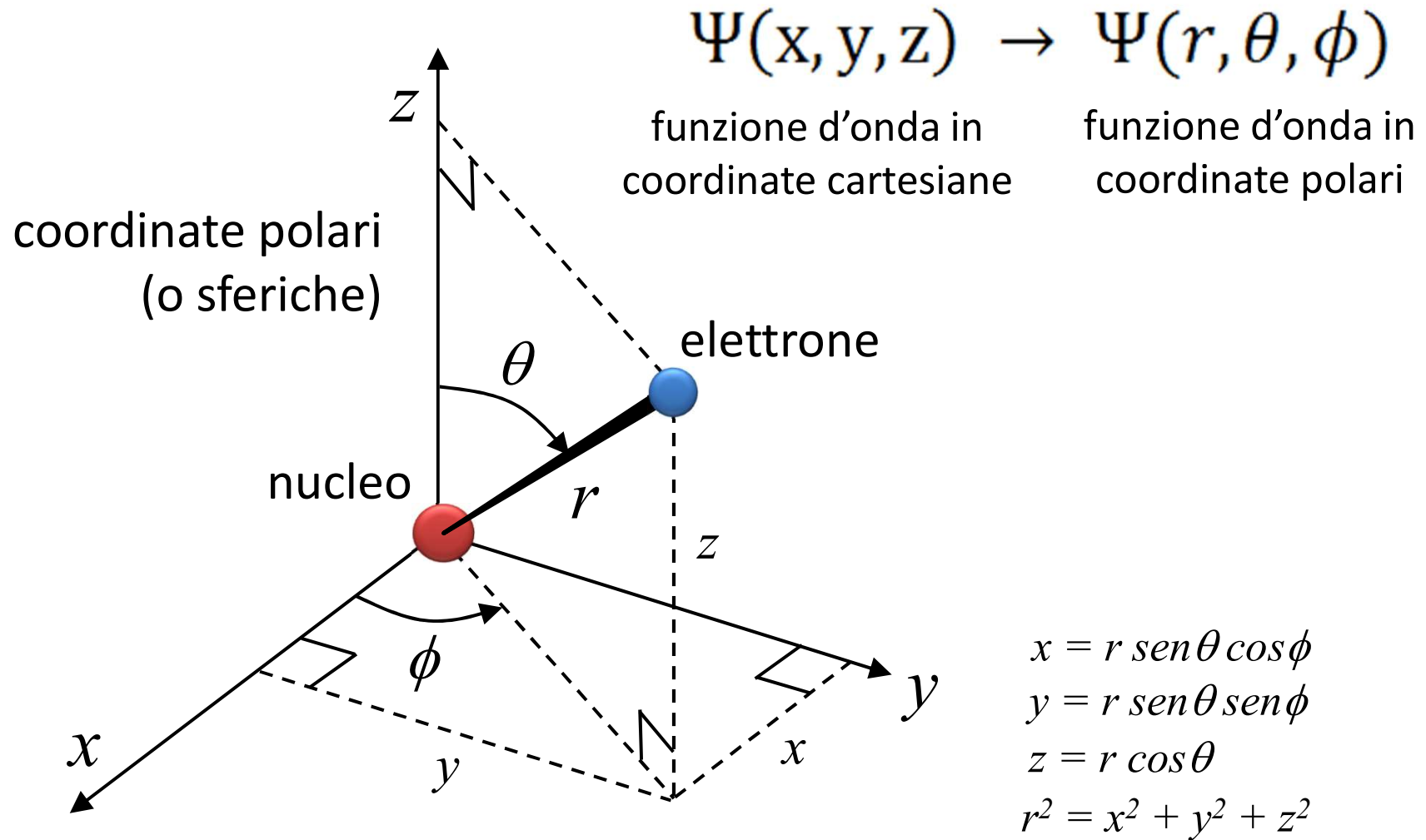
$\Psi_{22}(x, y)$



$|\Psi_{22}(x, y)|^2$



E e Ψ per l'atomo di idrogeno



Impostazione dell'equazione di Schrödinger per l'H

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \right) - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \right) + U(r) \quad U(r) = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

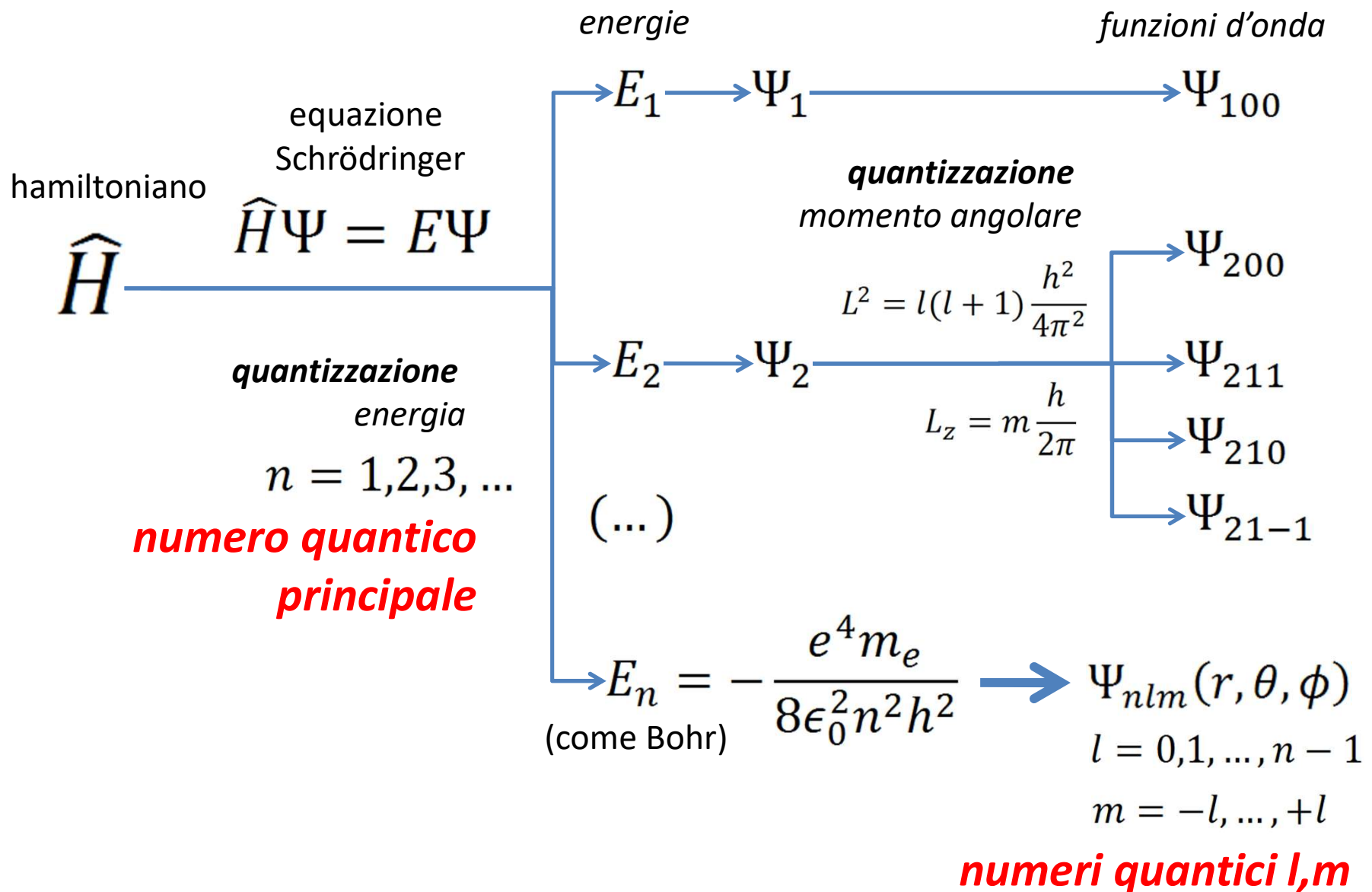
$$\hat{H}\Psi = E\Psi$$

$$\Psi = \Psi(r, \theta, \phi)$$

$$\hat{H}\Psi(r, \theta, \phi) = E\Psi(r, \theta, \phi)$$

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{1}{r^2 \sin\theta} \left[\sin\theta \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin\theta \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin\theta} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \phi^2} \right] - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right] \Psi(r, \theta, \phi)$$

E e Ψ per l'atomo di idrogeno



$$\hat{H}\Psi = E\Psi \longrightarrow E_n \Psi_{nlm}(r, \theta, \phi)$$

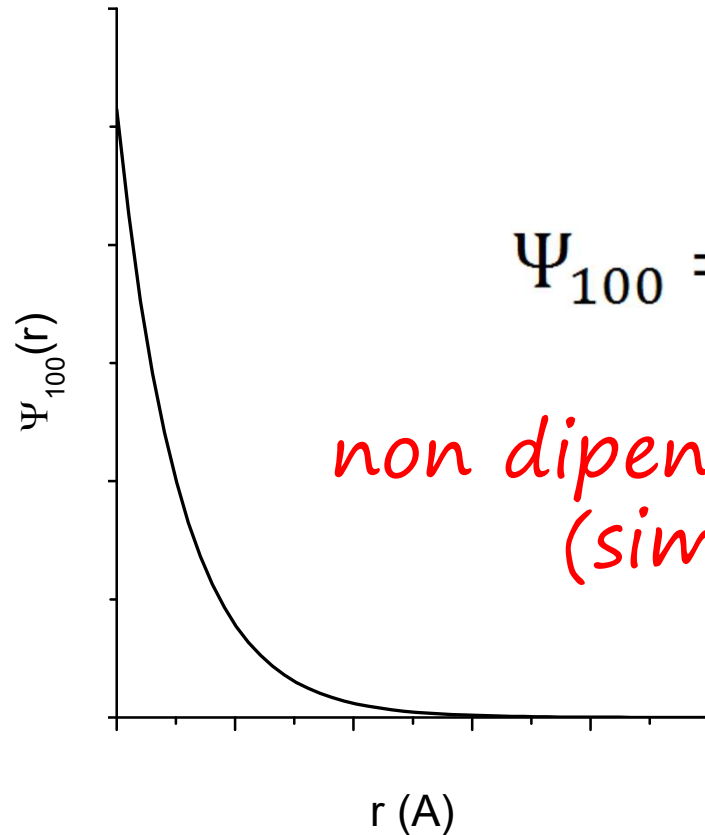
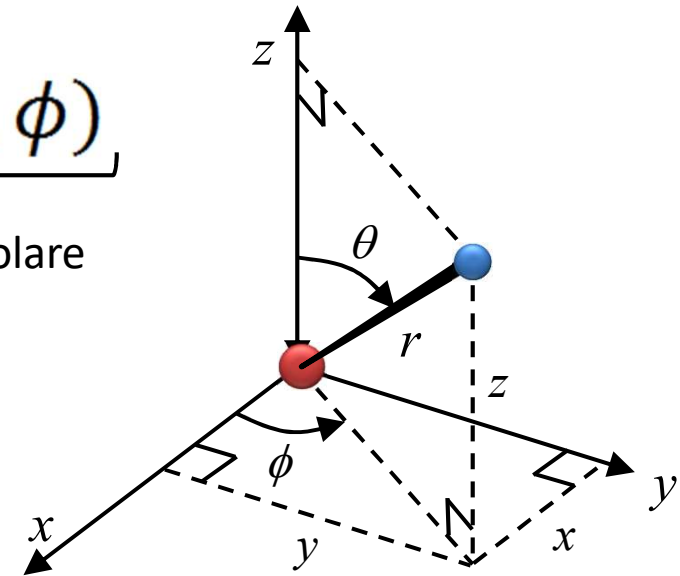
la quantizzazione è una **naturale conseguenza**
dell'equazione di Schrödinger

(o n.q. momento angolare)		
Numero quantico principale	Numero quantico secondario	Numero quantico magnetico
Simbolo = n Valori = 1, 2, 3, ... n = numero di sottostrati	Simbolo = ℓ Valori = 0 ... $n - 1$	Simbolo = m_ℓ Valori = $+\ell$... 0 ... $-\ell$
1	0	0
2	0 1	0 +1, 0, -1
3	0 1 2	0 +1, 0, -1 +2, +1, 0, -1, -2
4	0 1 2 3	0 +1, 0, -1 +2, +1, 0, -1, -2 +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3

$$\Psi_{nlm}(r, \theta, \phi) = \underbrace{R_{n,l}(r)}_{\text{parte radiale}} \underbrace{Y_{l,m}(\theta, \phi)}_{\text{parte angolare}}$$

funzione d'onda
elettronica:

“orbitale”

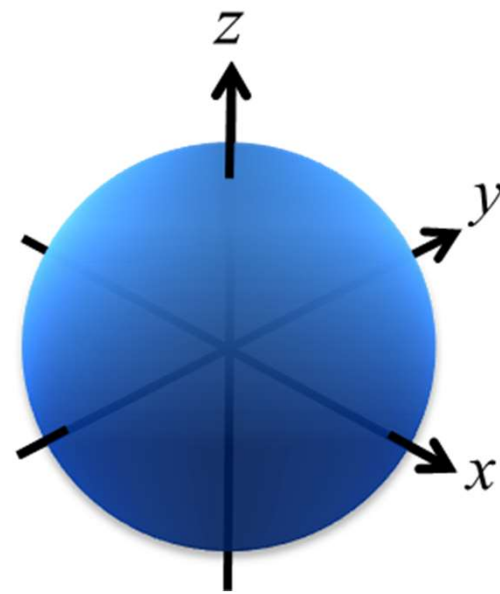
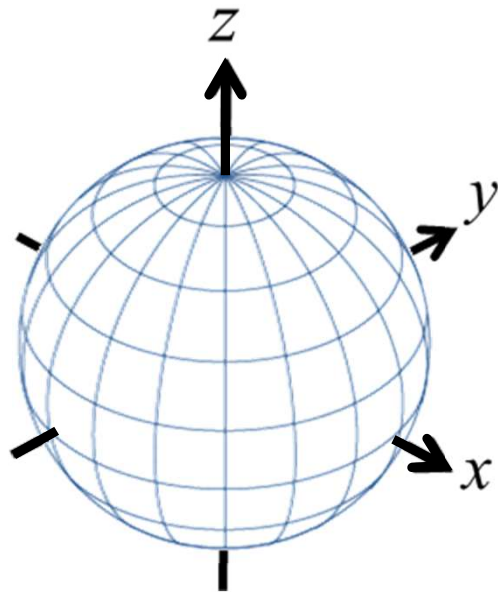


$$\Psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2} e^{-\frac{r}{a_0}}$$

*non dipende da parte angolare
(simmetria sferica)*

Rappresentazioni di orbitali (intesi come funzioni d'onda)

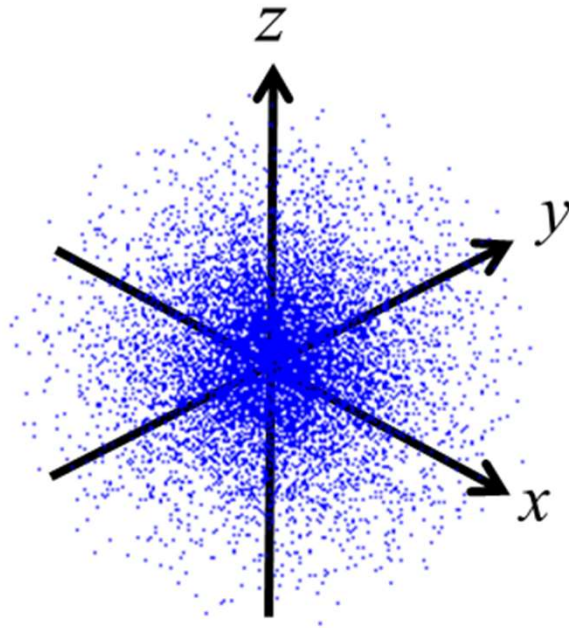
$$\Psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2} e^{-\frac{r}{a_0}}$$



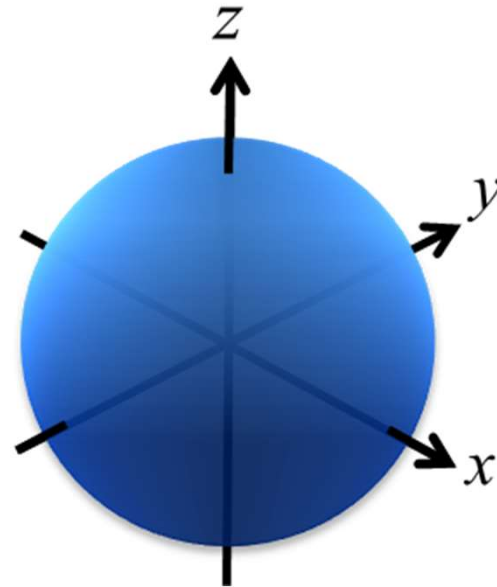
superficie su cui tutti i punti della funzione
d'onda Ψ hanno uno stesso valore costante
(isosuperficie)

Rappresentazioni di orbitali (intesi come probabilità)

$$|\Psi_{100}|^2$$

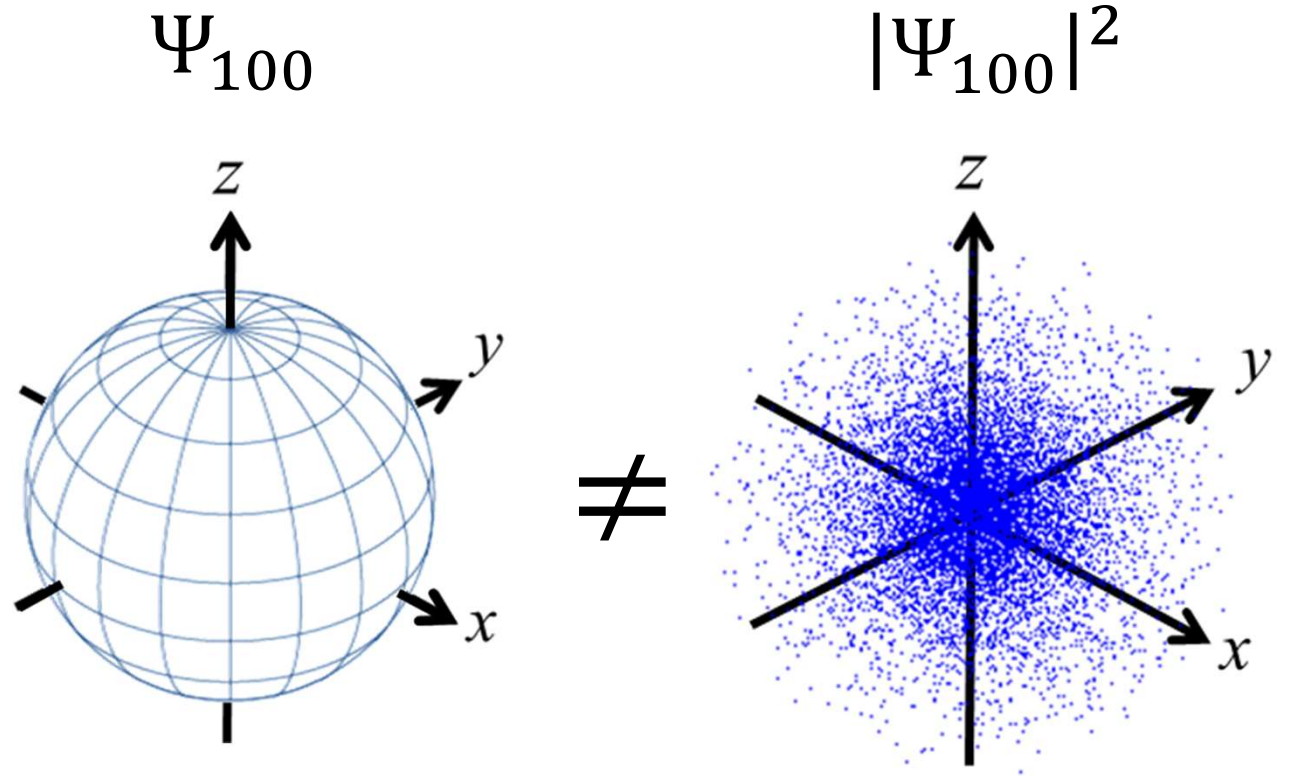


posizioni elettrone in
 n osservazioni



superficie al 90%
di probabilità

Rappresentazioni di orbitali



*funzione
d'onda*
isosuperficie

*densità di
probabilità*
 n osservazioni
("nube elettronica")

n	l	m_l	Sotto- livello	Numero di orbitali nel sottolivello
1	0	0	1s	1
2	0	0	2s	1
2	1	1, 0, -1	2p	3
3	0	0	3s	1
3	1	1, 0, -1	3p	3
3	2	2, 1, 0, -1, -2	3d	5
4	0	0	4s	1
4	1	1, 0, -1	4p	3
4	2	2, 1, 0, -1, -2	4d	5
4	3	3, 2, 1, 0, -1, -2, -3	4f	7

notazione orbitali atomici

numero quantico
momento angolare l

s- “sharp”

p- “principal”

d- “diffuse”

f- “fundamental”

esempi:

$$\Psi_{100} = \Psi_{1s}$$

$$\Psi_{210} = \Psi_{2p}$$

Distribuzione di probabilità radiale (funzione di distribuzione radiale)

ψ $|\psi|^2$
 funzione d'onda densità di probabilità

$$P = |\psi|^2 \cdot V$$

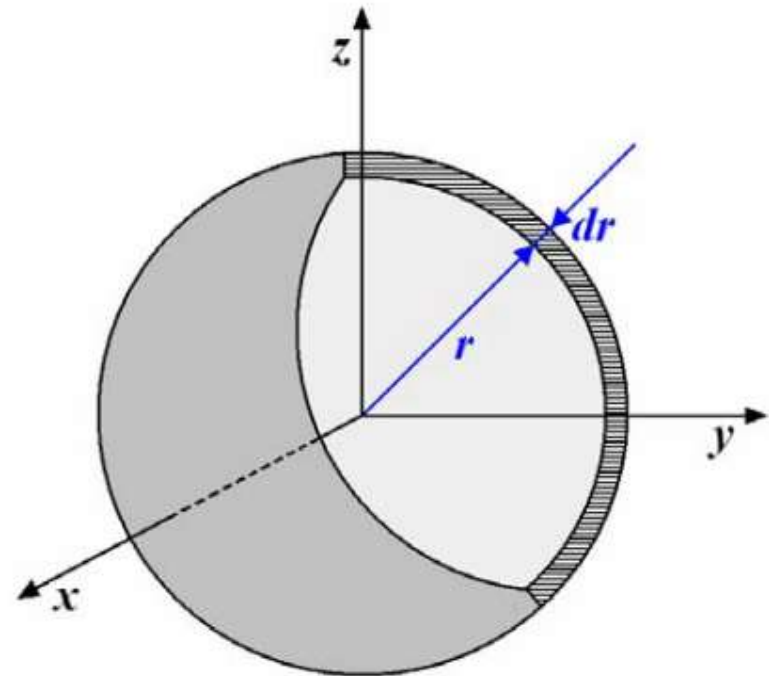
probabilità densità di probabilità per volume

$$dP = |\psi|^2 \cdot dV$$

$$dP = |\psi|^2 \cdot 4\pi r^2 dr$$

$$\frac{dP}{dr} = P_r = |\psi|^2 \cdot 4\pi r^2$$

funzione di distribuzione radiale



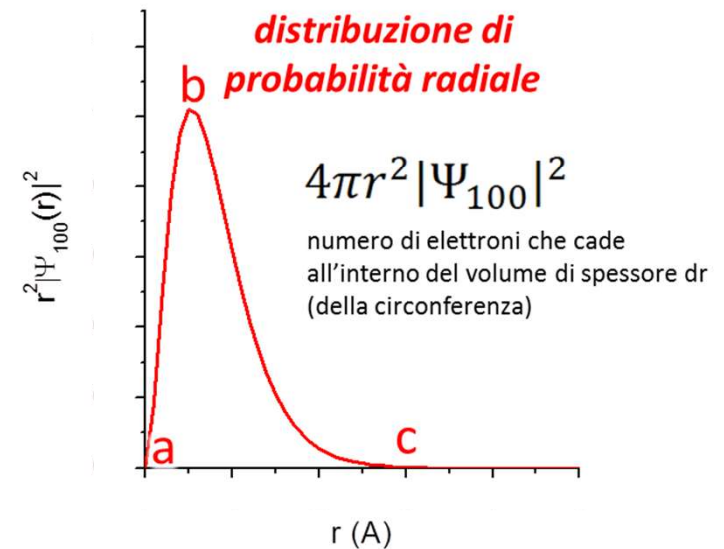
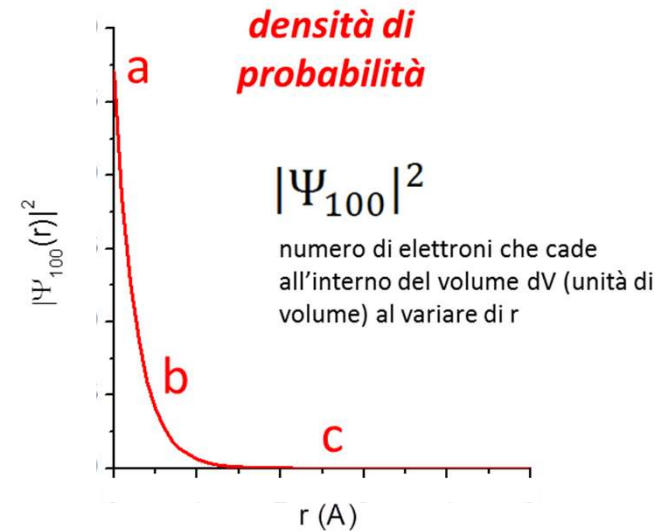
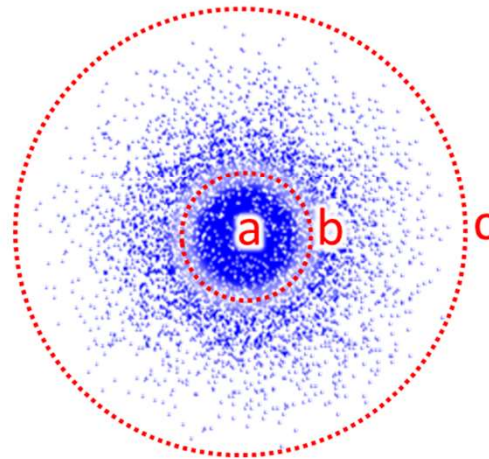
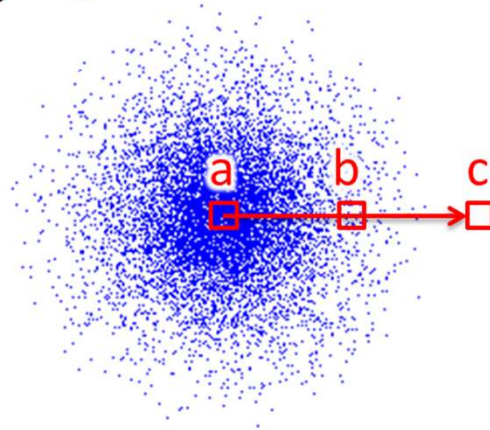
$$dV = 4\pi r^2 dr$$

probabilità di trovare l'elettrone nel guscio sferico di spessore dr

Distribuzione di probabilità radiale (funzione di distribuzione radiale)

$$\Psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2} e^{-\frac{r}{a_0}}$$

(1s)



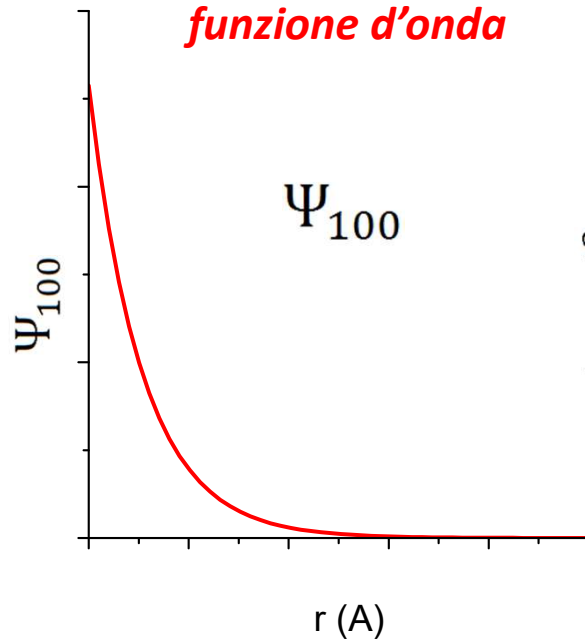
Distribuzione di probabilità radiale (funzione di distribuzione radiale)

$$\Psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2} e^{-\frac{r}{a_0}}$$

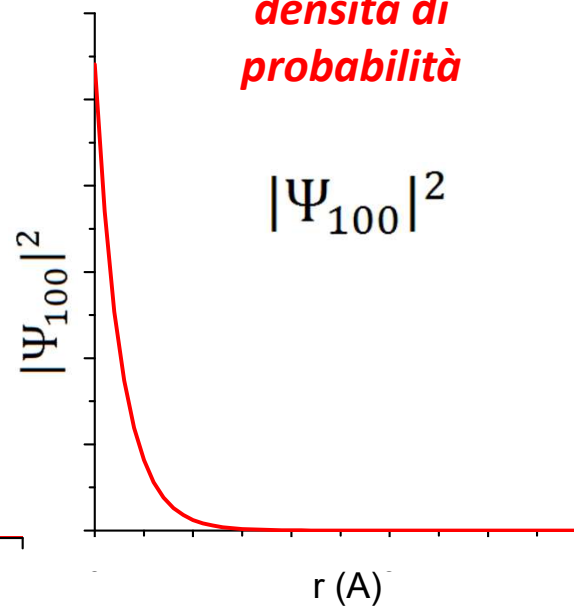
raggio
di Bohr

0.53 Å

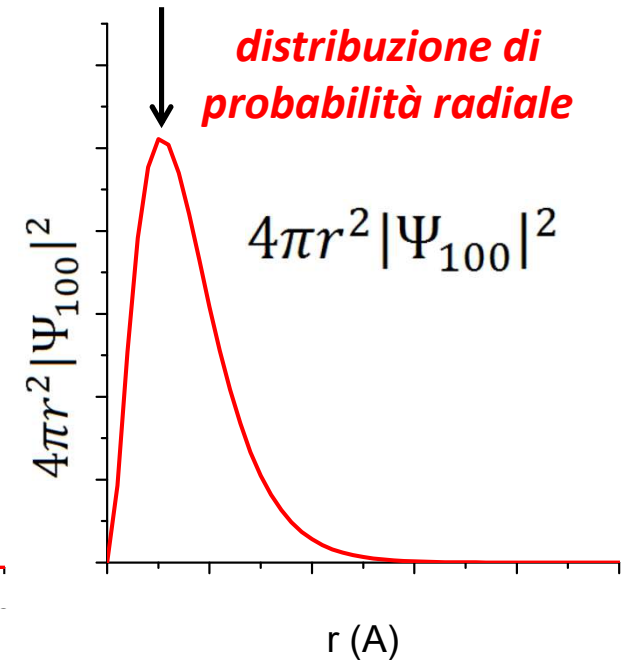
funzione d'onda



*densità di
probabilità*

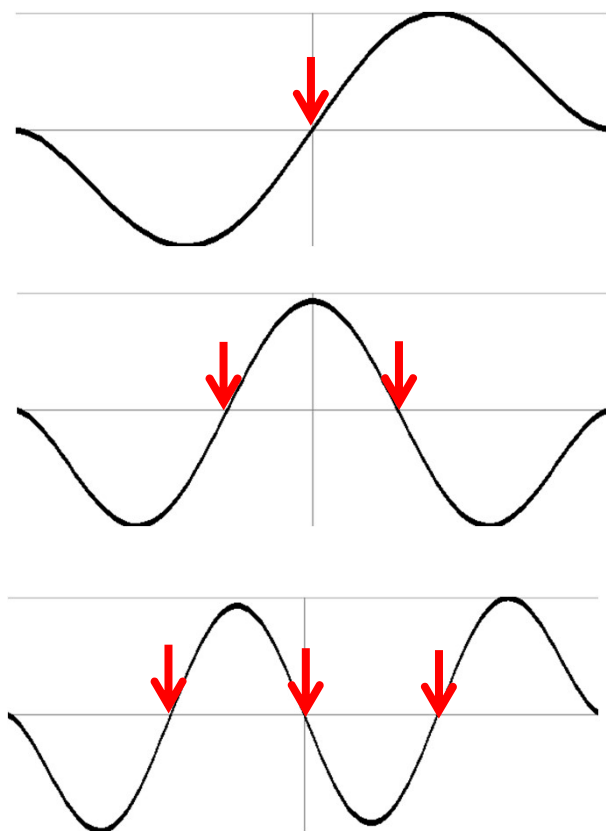


*distribuzione di
probabilità radiale*



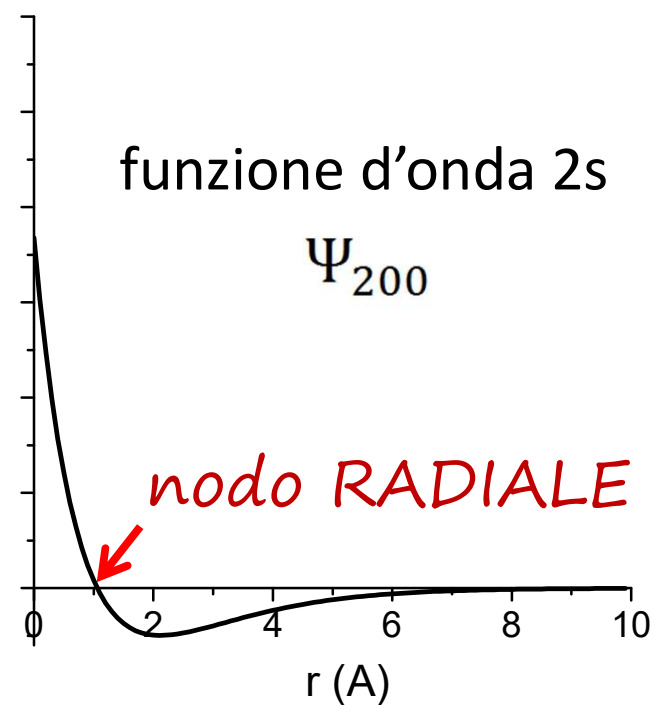
concetto di nodo

per onde stazionarie



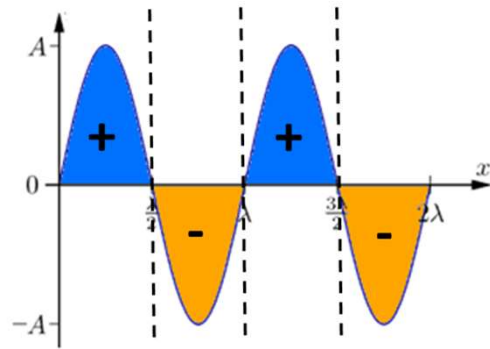
punti in cui l'onda è nulla

per funzioni d'onda

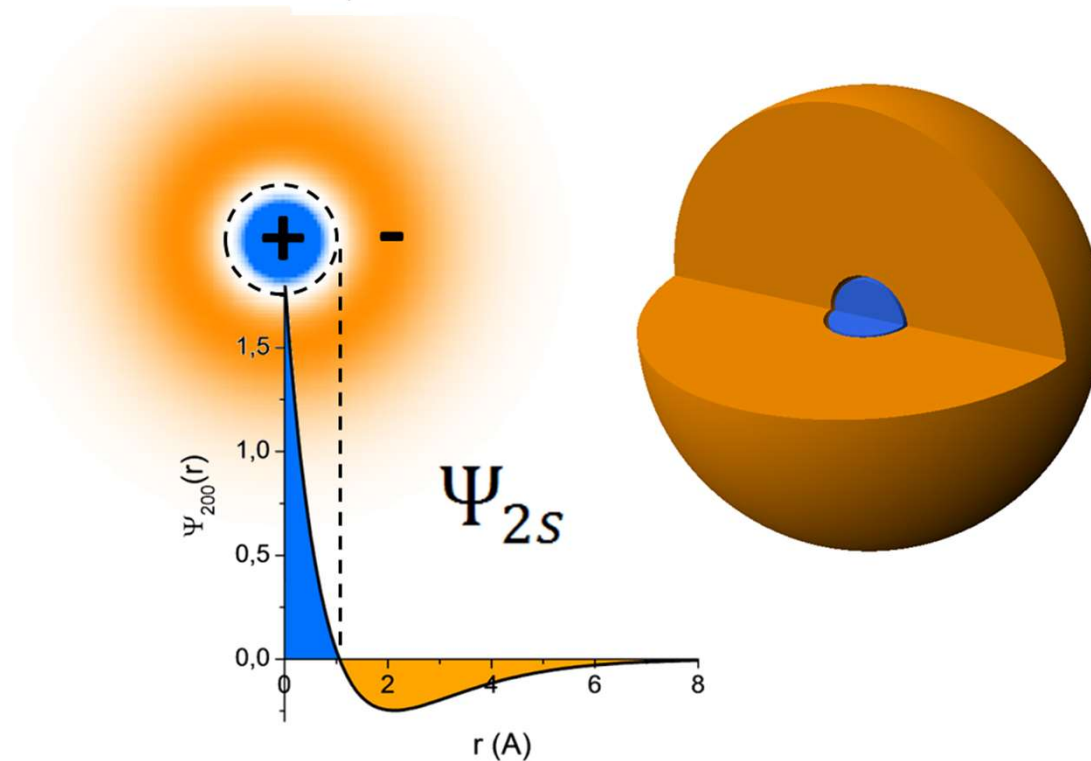


punti in cui la
funzione d'onda è nulla

concetto di nodo *e di fase*



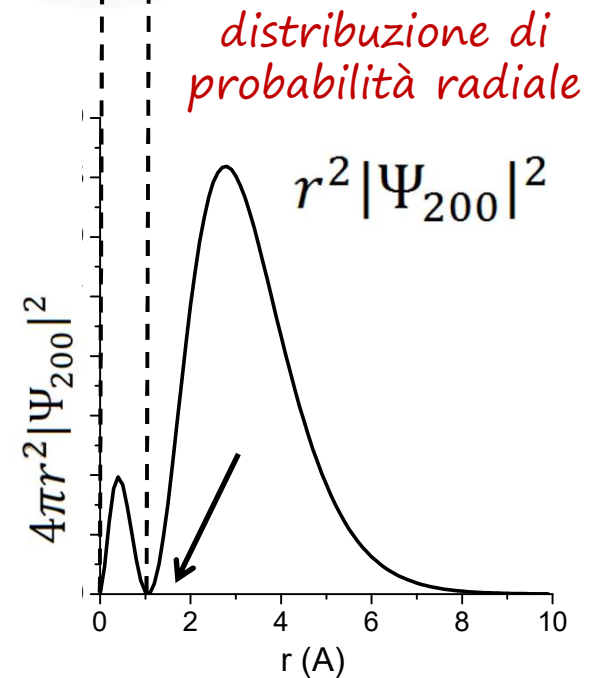
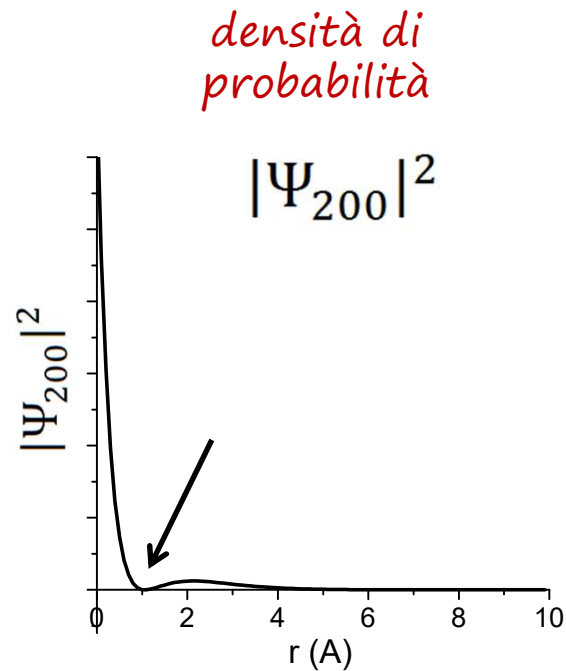
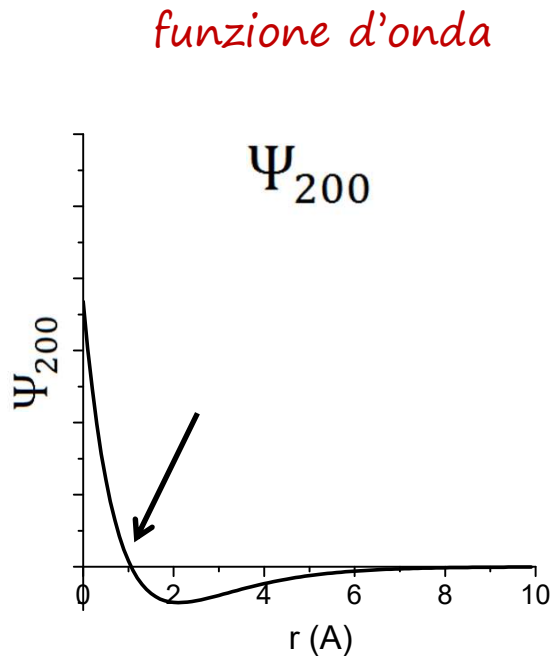
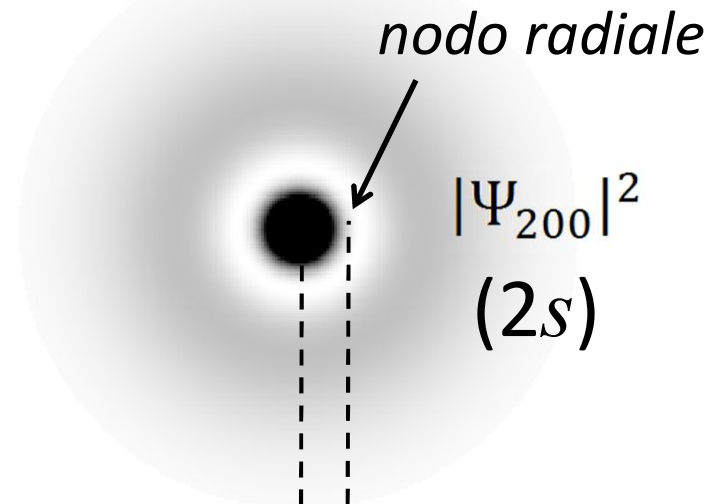
l'ampiezza di un onda ha valori positivi e negativi, cambiando segno ad ogni nodo

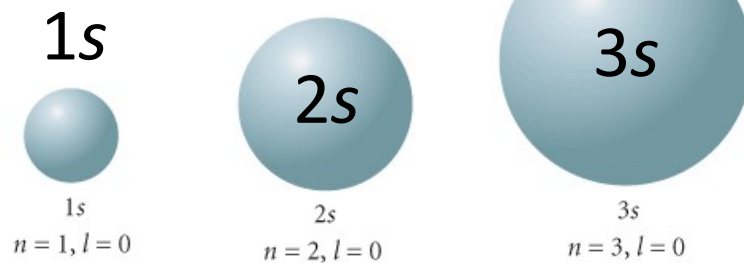


anche le funzioni d'onda hanno un segno, che viene chiamato "**fase**" e cambia ai nodi

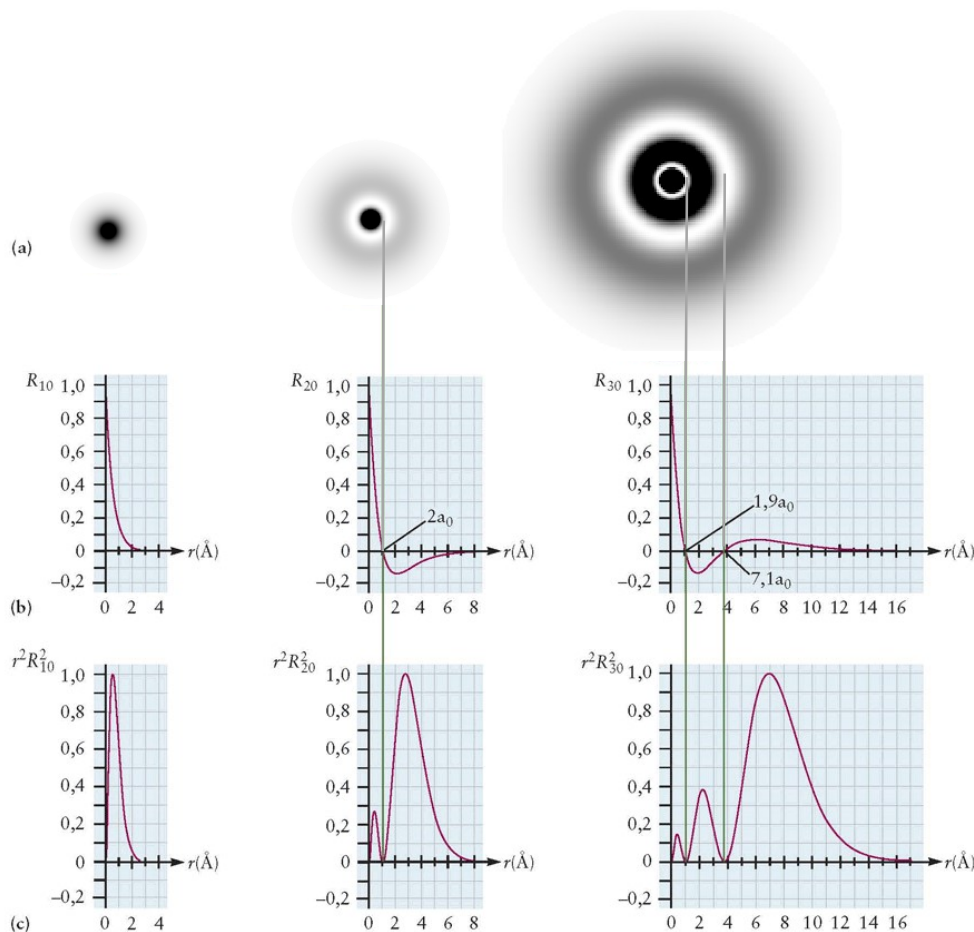
concetto di nodo

nodo: *regione di spazio nel quale la probabilità di trovare l'elettrone è nulla (sempre)*





1
 le dimensioni degli orbitali
 aumentano con n



2
 il numero di *nodi radiali* negli
 orbitali di tipo “s” aumenta con
 $n (=n-1)$

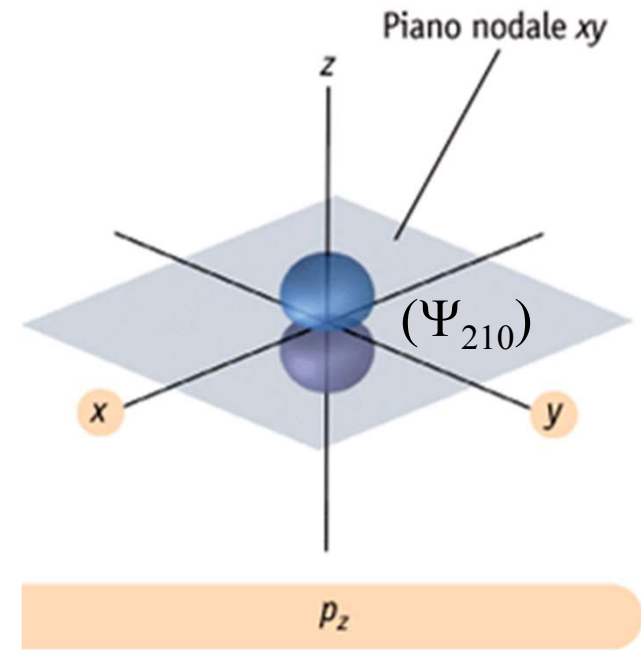
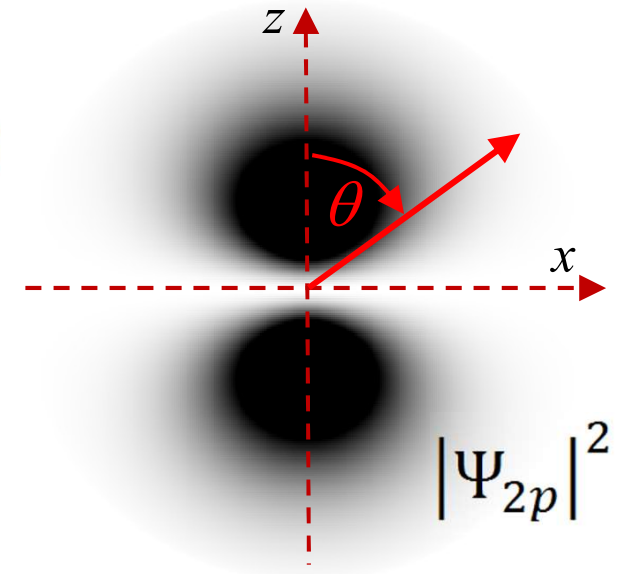
3
 la distanza di massima
 probabilità aumenta con n
 (ma per gli orbitali “s”, anche
 per n alti c’è una probabilità
 finita vicino al nucleo)

$$\Psi_{2p} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{1}{a_0}\right)^{3/2} \frac{r}{a_0} e^{-\frac{r}{2a_0}} \cos\theta$$

(Ψ_{210})

orbitali p

parte angolare non nulla, non
c'è più simmetria sferica

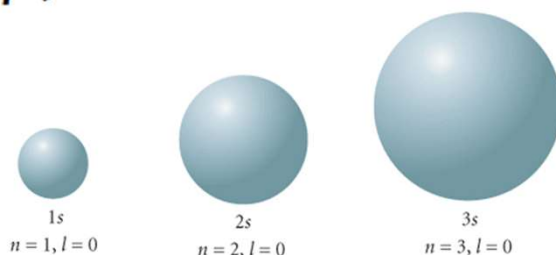


numero quantico magnetico ha a che fare con l'orientazione nello spazio

numeri quantici ed orbitali (riepilogo)

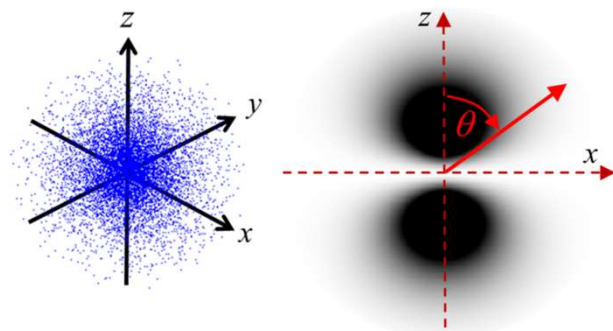
$$\Psi_{nlm}(r, \theta, \phi)$$

n



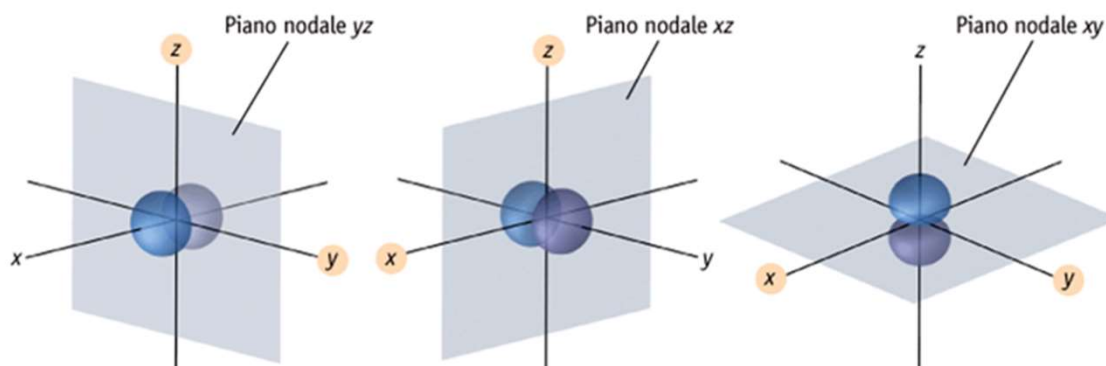
energia, dimensioni e
nodi radiali

l



forma tridimensionale
e nodi angolari
(piani nodali)

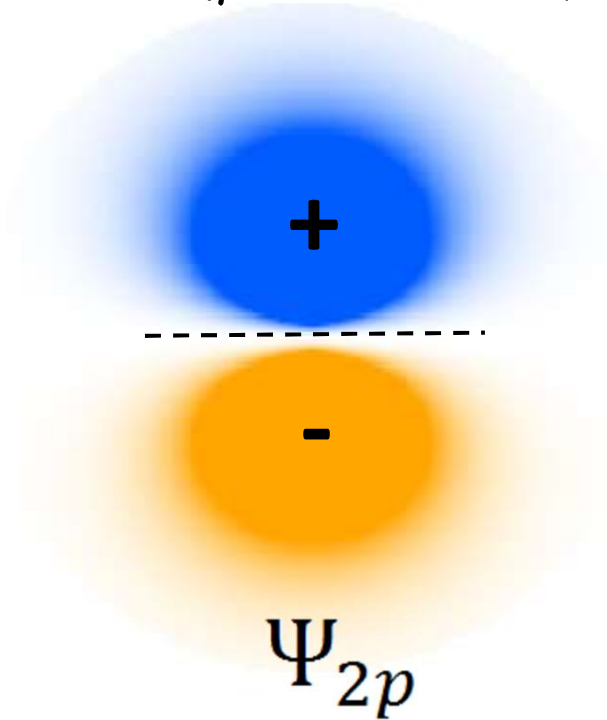
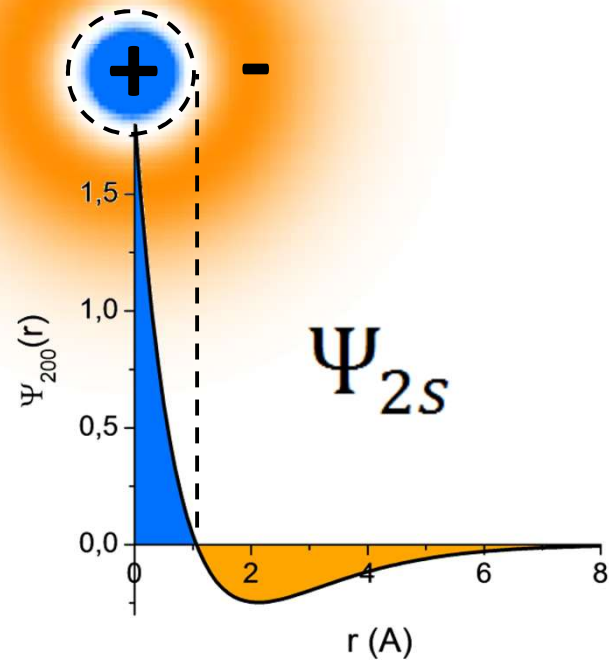
m

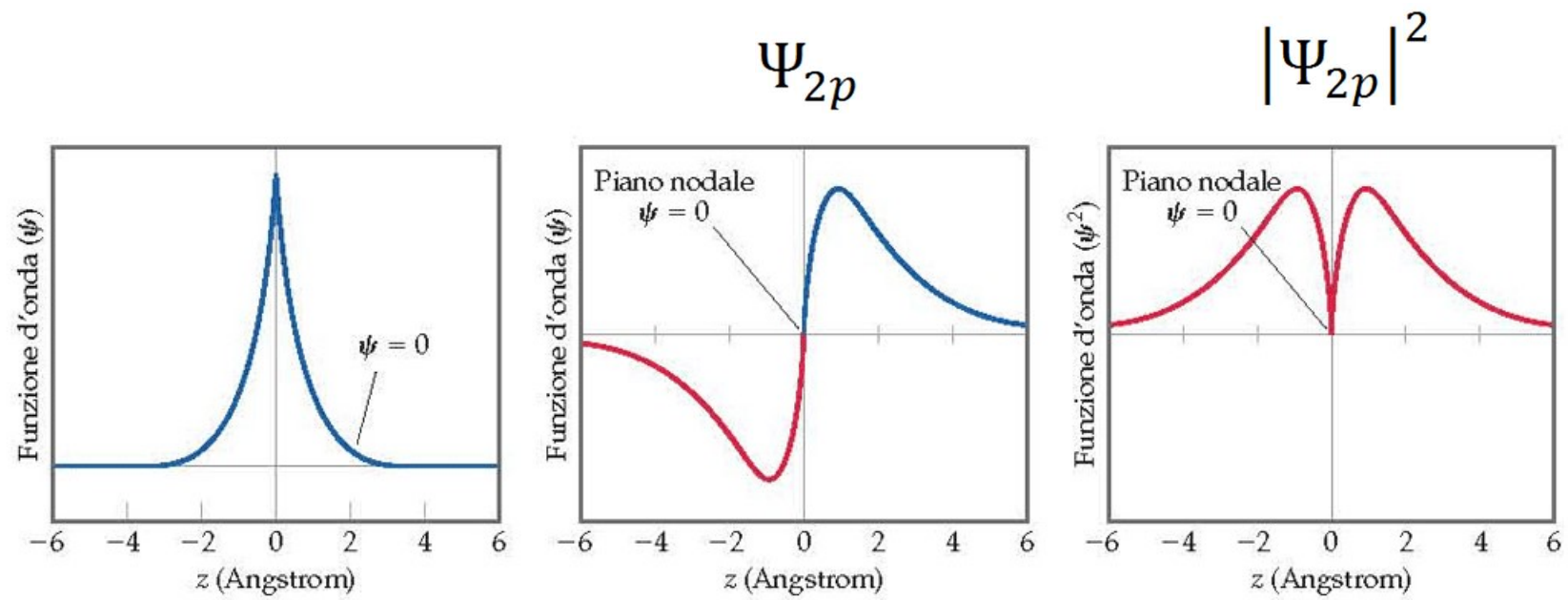


orientazione
nello spazio

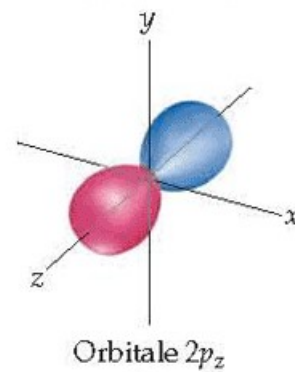
fasi ed orbitali p

*anche per gli orbitali
p la fase cambia al
nodo (piano nodale)*

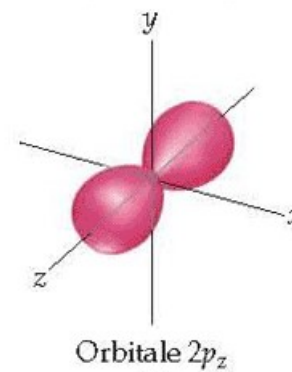




(a)



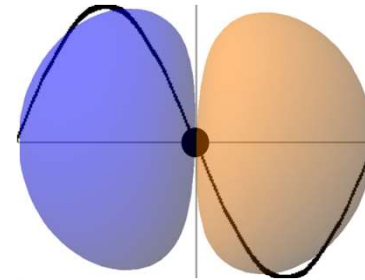
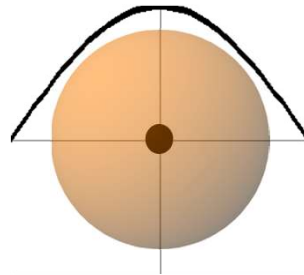
(b)



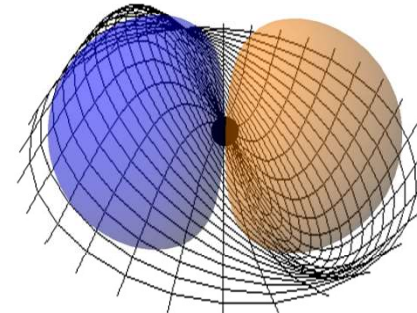
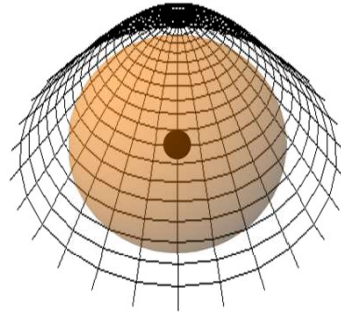
(c)

funzioni d'onda come onde stazionarie (una analogia)

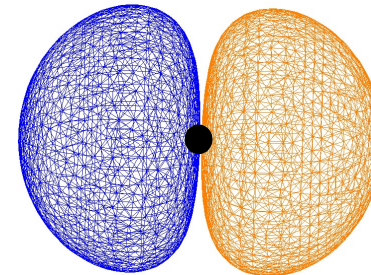
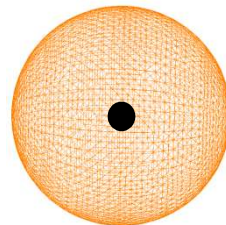
onde stazionarie 1D



onde stazionarie 2D



funzioni d'onda come
onde stazionarie 3D
attorno al nucleo



forme e dimensioni di orbitali s, p, d

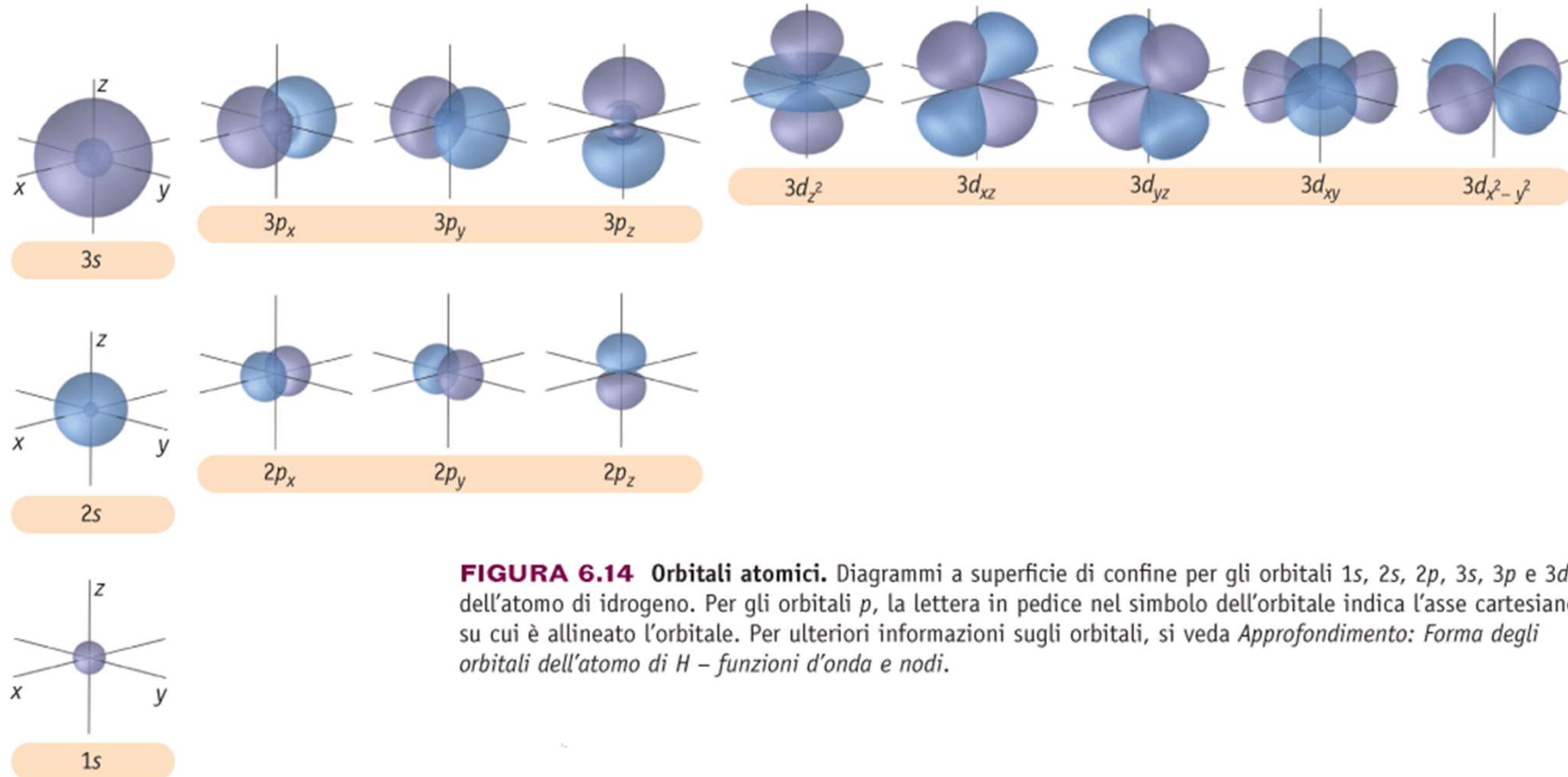
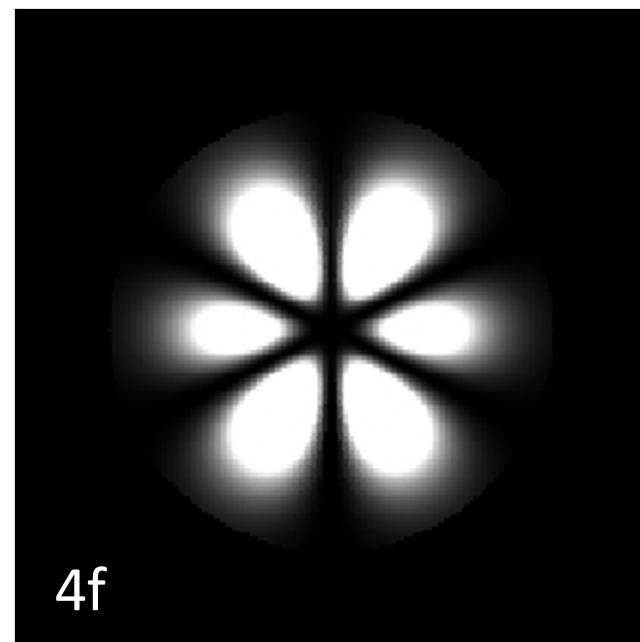
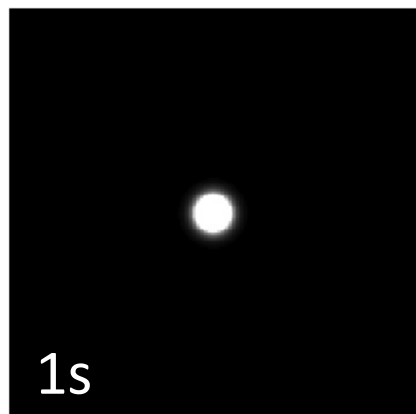
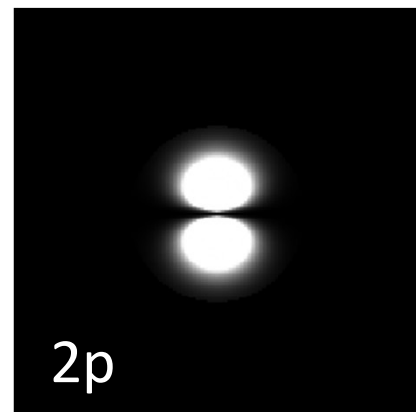
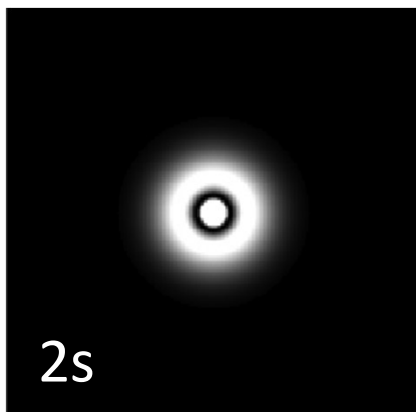
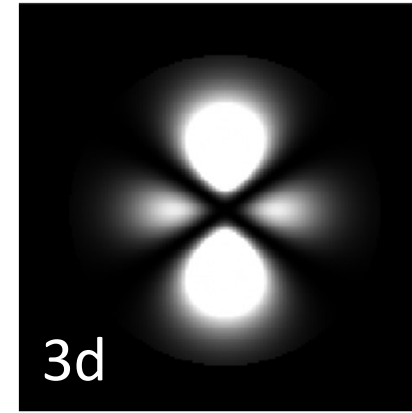
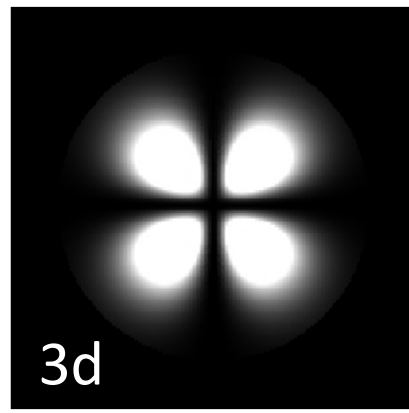
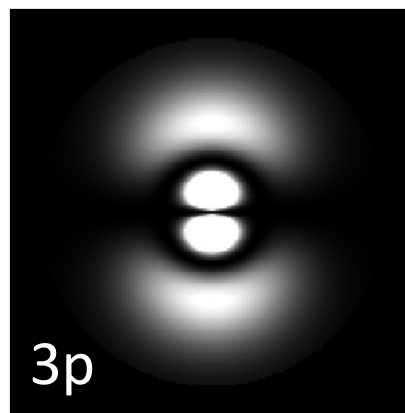
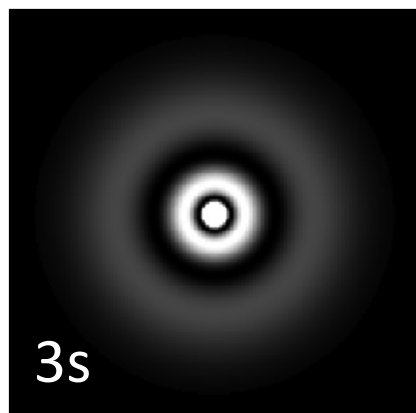
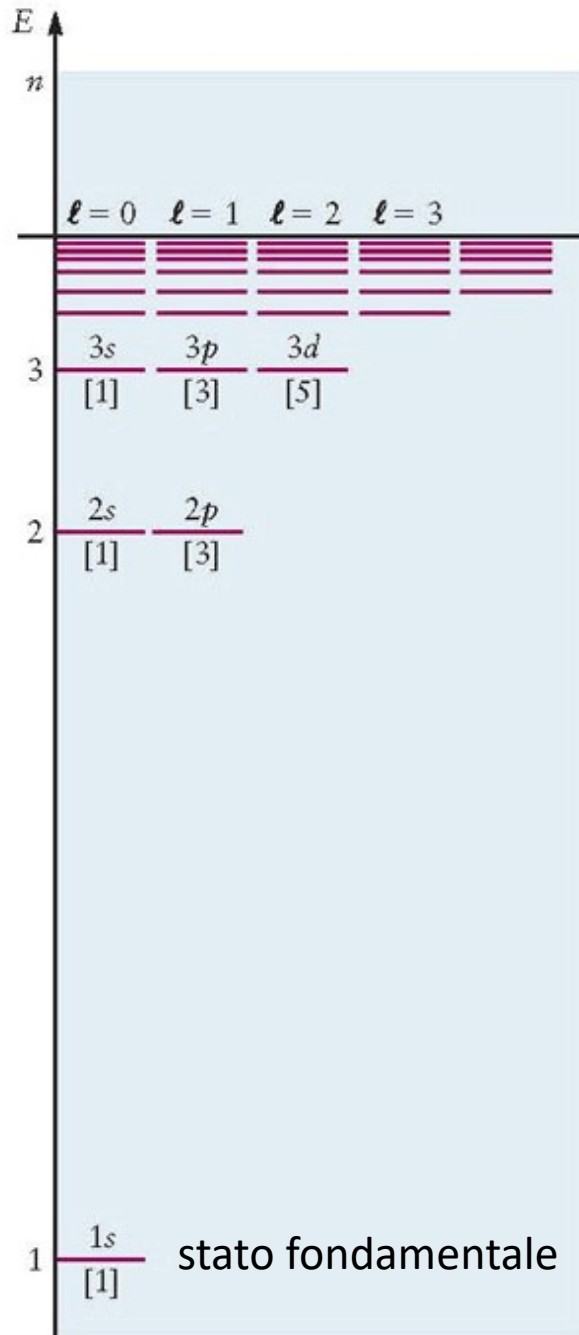


FIGURA 6.14 Orbitali atomici. Diagrammi a superficie di confine per gli orbitali 1s, 2s, 2p, 3s, 3p e 3d dell'atomo di idrogeno. Per gli orbitali p , la lettera in pedice nel simbolo dell'orbitale indica l'asse cartesiano su cui è allineato l'orbitale. Per ulteriori informazioni sugli orbitali, si veda *Approfondimento: Forma degli orbitali dell'atomo di H – funzioni d'onda e nodi*.



energie degli orbitali

per l'atomo di H



$E_n \rightarrow n^2$ orbitali

$E_3 \rightarrow 9$ orbitali

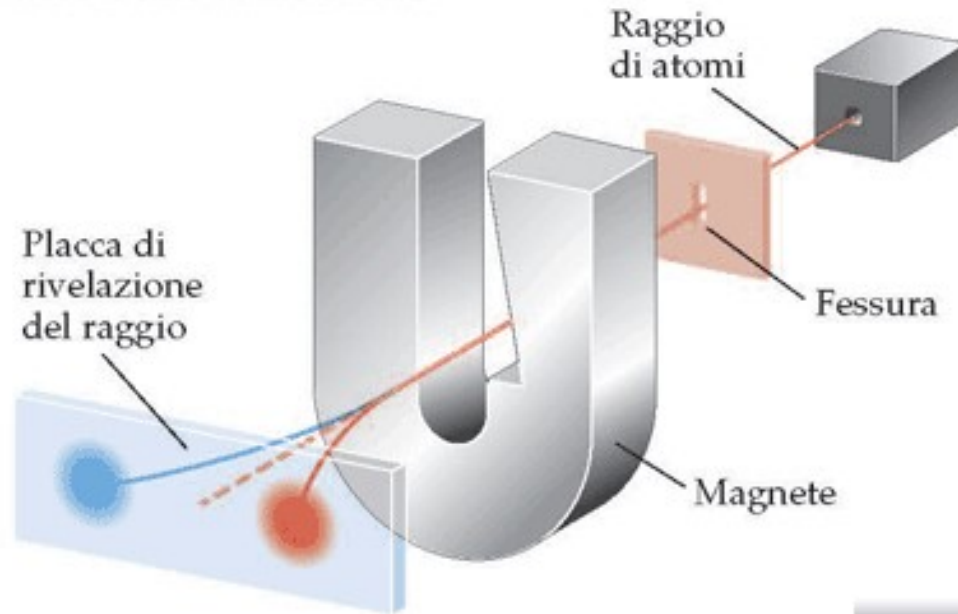
$E_2 \rightarrow 4$ orbitali

← orbitali aventi la
stessa energia si
dicono "**degeneri**"

l'energia di un orbitale E_n
dipende solo dal numero
quantico principale n

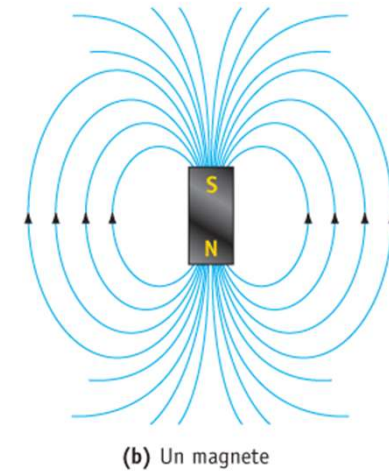
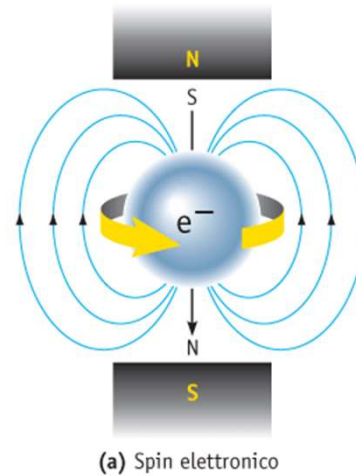
$E_1 \rightarrow 1$ orbitale

lo spin elettronico

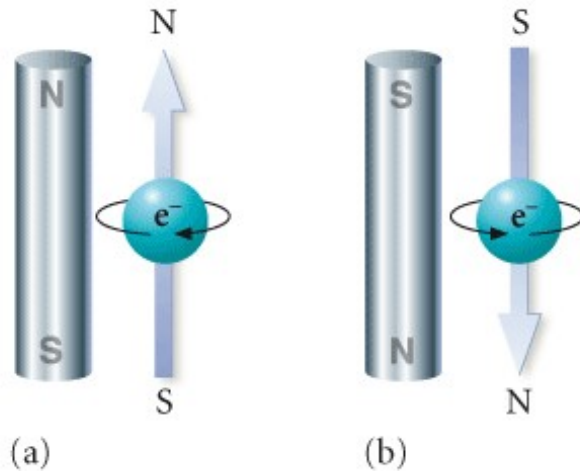


esperimento
Stern-Gerlach (1921)

scoperta dello
spin elettronico
Uhlenbeck-Goudsmit (1925)



il numero quantico di spin m_s



lo spin elettronico è

quantizzato

può assumere solo **2 possibili orientazioni** del dipolo magnetico
(due versi di rotazione)

si introduce un

numero quantico di spin

può assumere solo due valori,
corrispondenti a **2 possibili orientazioni**
del dipolo magnetico

$$m_s$$
$$+\frac{1}{2} (\uparrow) \quad -\frac{1}{2} (\downarrow)$$

spin "up" spin "down"

TABELLA 6.5 I numeri quantici

n = numero quantico principale

Indica in quale livello o guscio energetico si trova un elettrone. Inoltre, maggiore è il valore di n , maggiore è il volume totale dell'orbitale.

l = numero quantico momento angolare

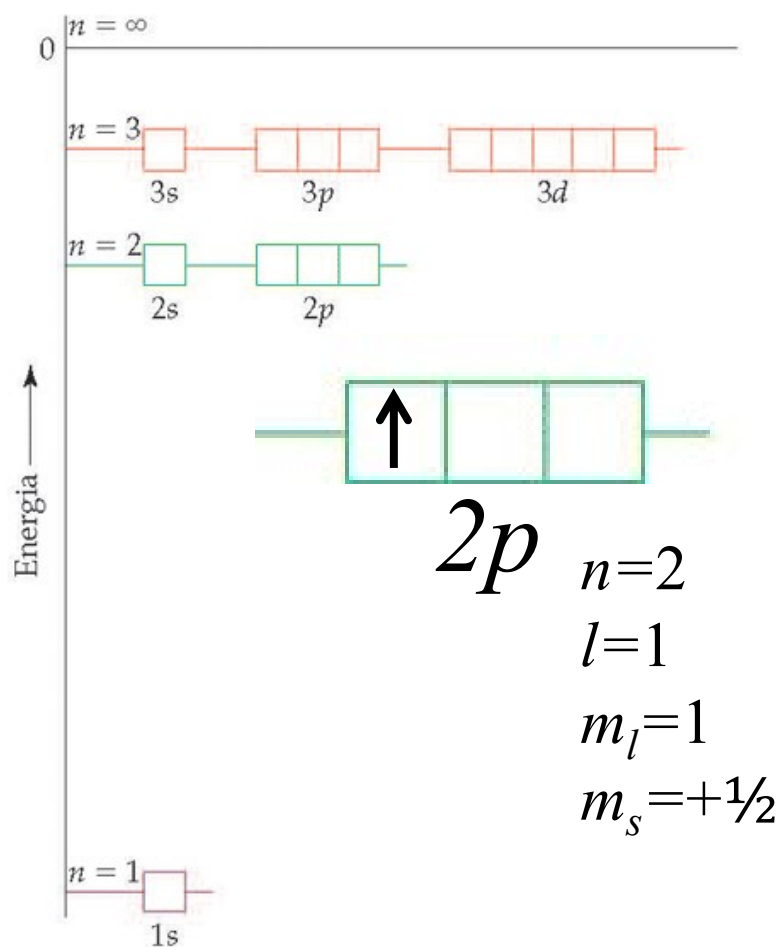
Indica la forma dell'orbitale e a quale tipo di sottolivello elettronico appartiene l'orbitale: sottolivello s , p , d o f .

m_l = numero quantico magnetico

Indica l'orientazione nello spazio dell'orbitale.

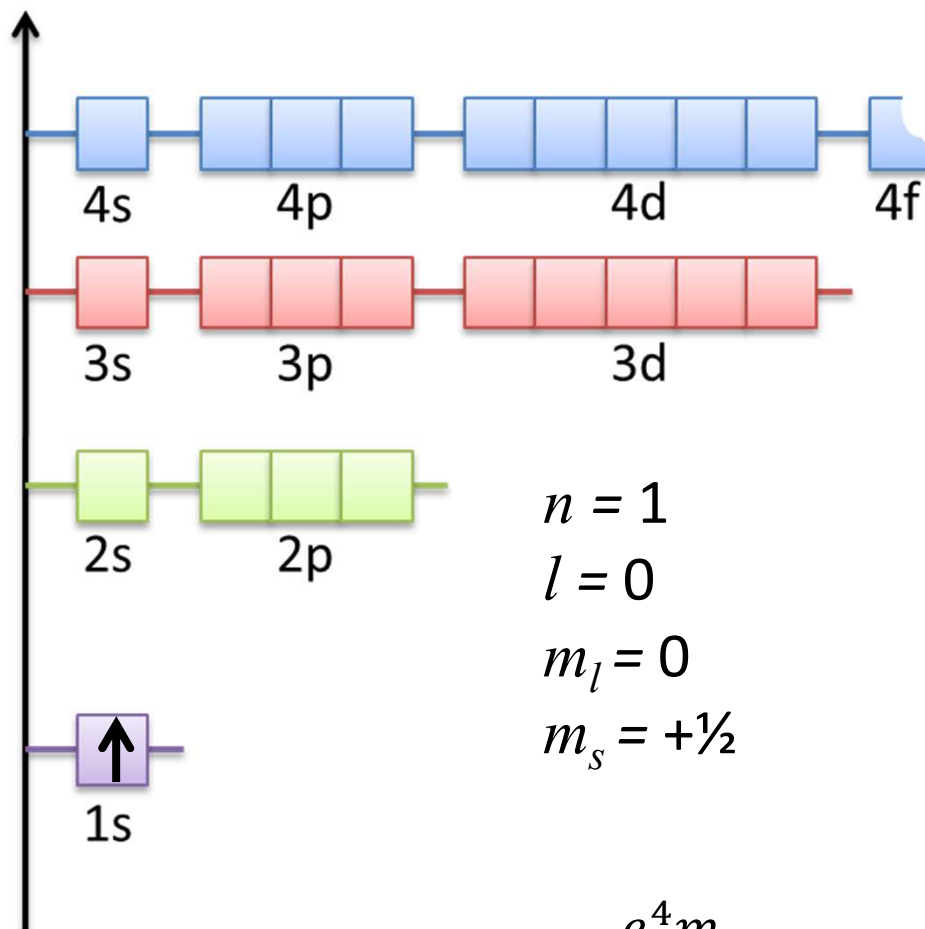
m_s = numero quantico di spin elettronico

Indica l'orientazione dello spin di un elettrone.



un elettrone in un atomo di H è
completamente caratterizzato
da un insieme di **QUATTRO**
numeri quantici

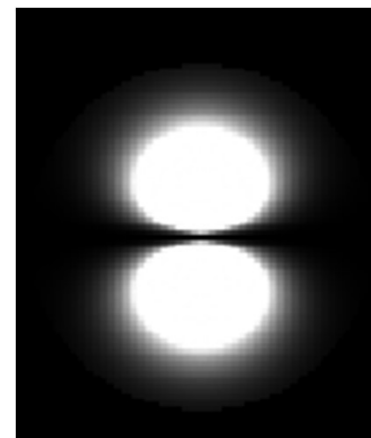
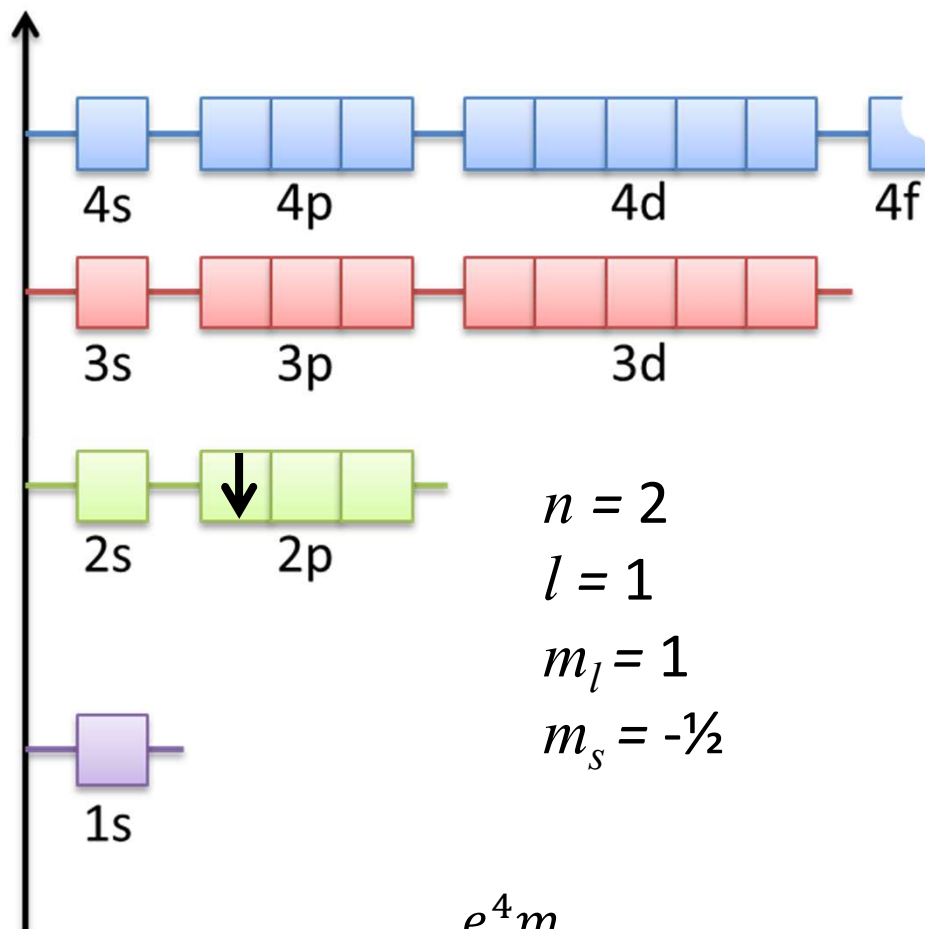
$$n, l, m_l, m_s$$



$$E_n = -\frac{e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 h^2}$$



$$\Psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2} e^{-\frac{r}{a_0}}$$



$$E_n = -\frac{e^4 m_e}{32 \epsilon_0^2 h^2}$$

$$\Psi_{2p} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{1}{a_0}\right)^{3/2} \frac{r}{a_0} e^{-\frac{r}{2a_0}} \cos\theta$$

atomi polielettronici

gli elettroni interagiscono tra loro

→ equazione di Schrödinger non risolvibile esattamente,
ma solo in modo approssimato

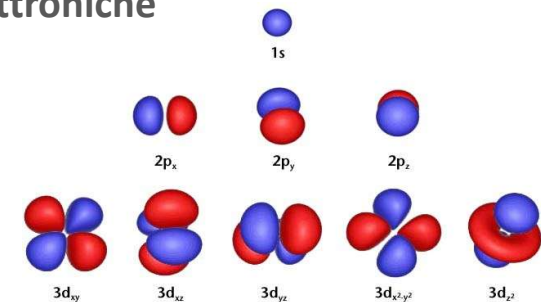
una funzione d'onda **POLI-ELETTRONICA** è approssimata
come un prodotto di funzioni d'onda **MONO-ELETTRONICHE**

$$\underbrace{\Psi(r_1, \theta_1, \phi_1, r_2, \theta_2, \phi_2)}_{\text{funzione d'onda poli-elettronica}} \cong \underbrace{\Psi(r_1, \theta_1, \phi_1)}_{\text{funzione d'onda mono-elettronica}} \cdot \underbrace{\Psi(r_2, \theta_2, \phi_2)}_{\text{funzione d'onda mono-elettronica}}$$

elettrone 1 elettrone 2

*metodo di
Hartree*

*uso funzioni simili a
quelle trovate per H
(1s, 2s, 2p, 3s ...)*



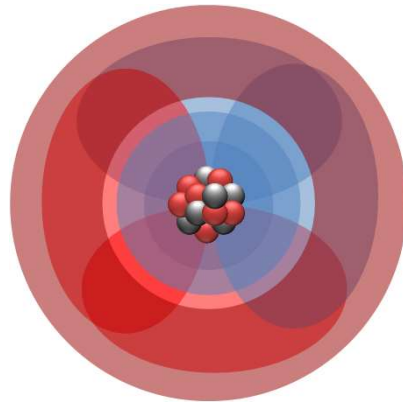
atomi polielettronici

gli elettroni interagiscono tra loro

→ equazione di Schrödinger non risolvibile esattamente,
ma solo in modo approssimato

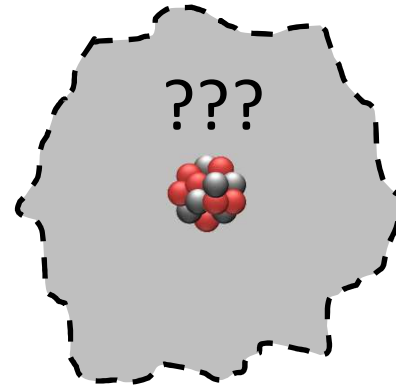
prodotto Ψ_n monoelettroniche

$$\Psi_{1s} \cdot \Psi_{2s} \cdot \Psi_{2px} \cdot \Psi_{2py} \cdots \Psi_n$$



$\approx$

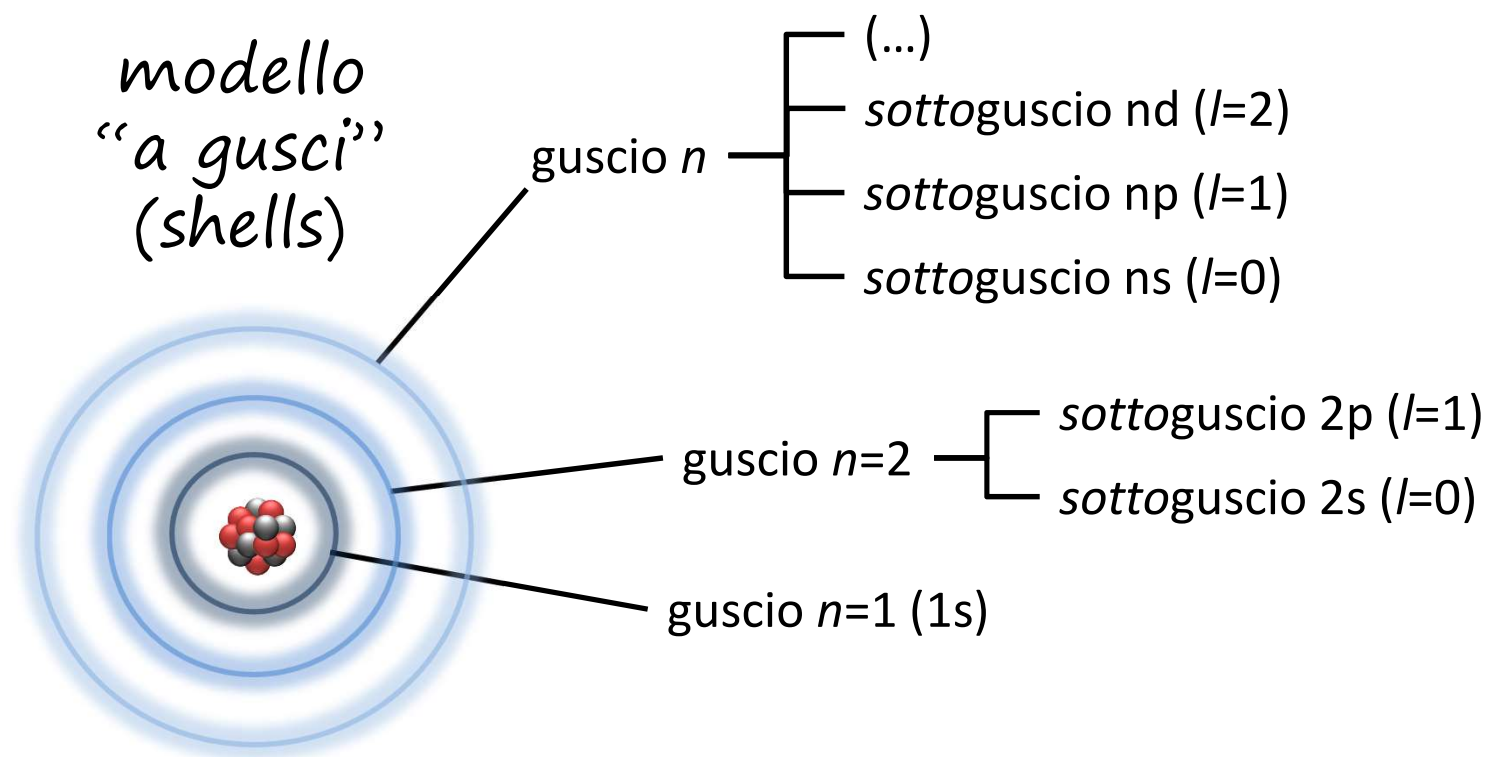
Ψ polielettronica
(non nota)



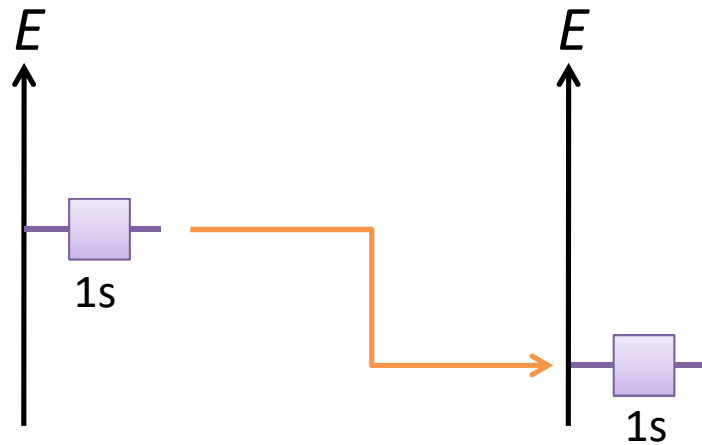
atomi polielettronici

gli elettroni interagiscono tra loro

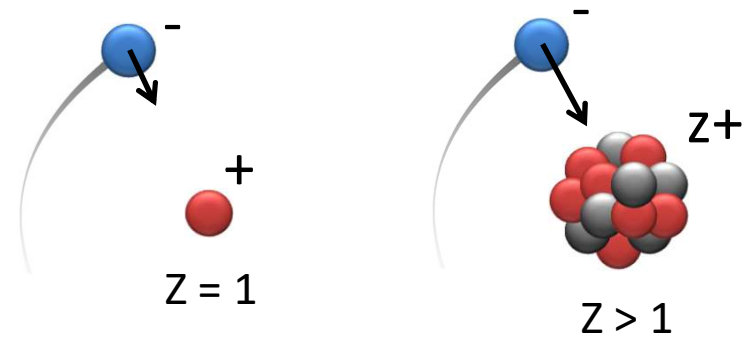
→ equazione di Schrödinger non risolvibile esattamente,
ma solo in modo approssimato



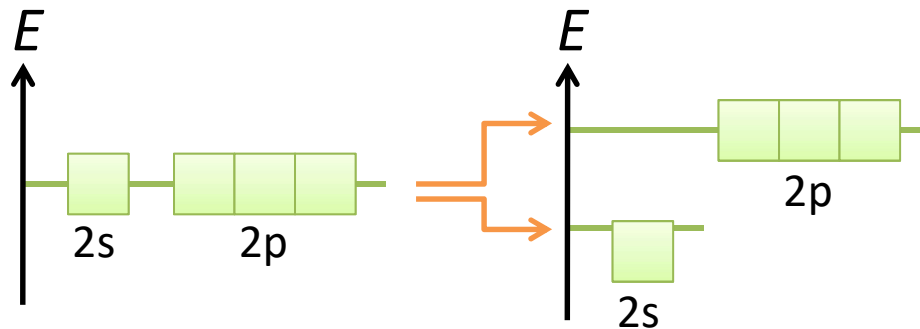
abbassamento energia



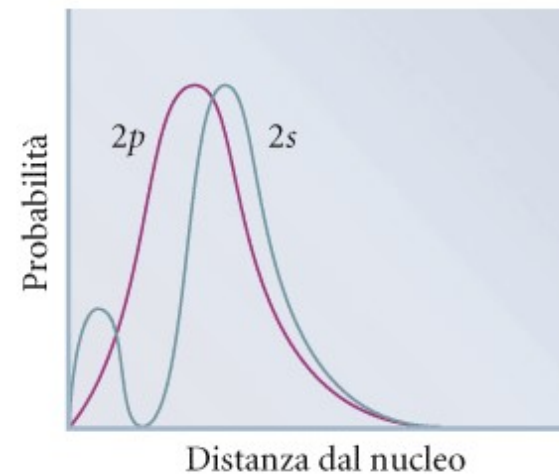
maggiore carica nucleare $Z > 1$
maggiore forza attrattiva
esercitata dai nuclei



perdita degenerazione



diverso effetto schermo
per diversi orbitali



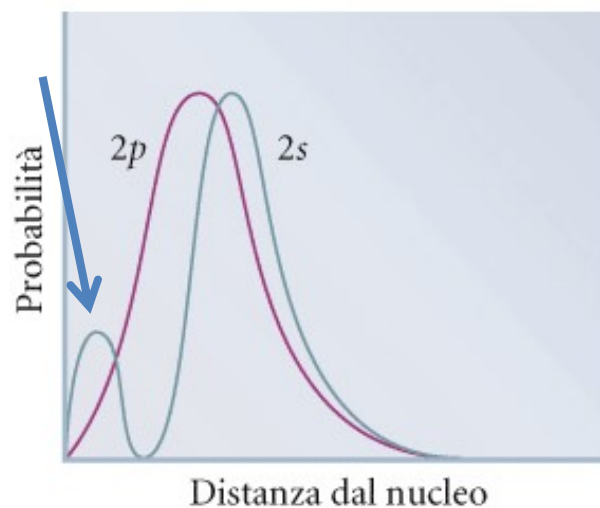
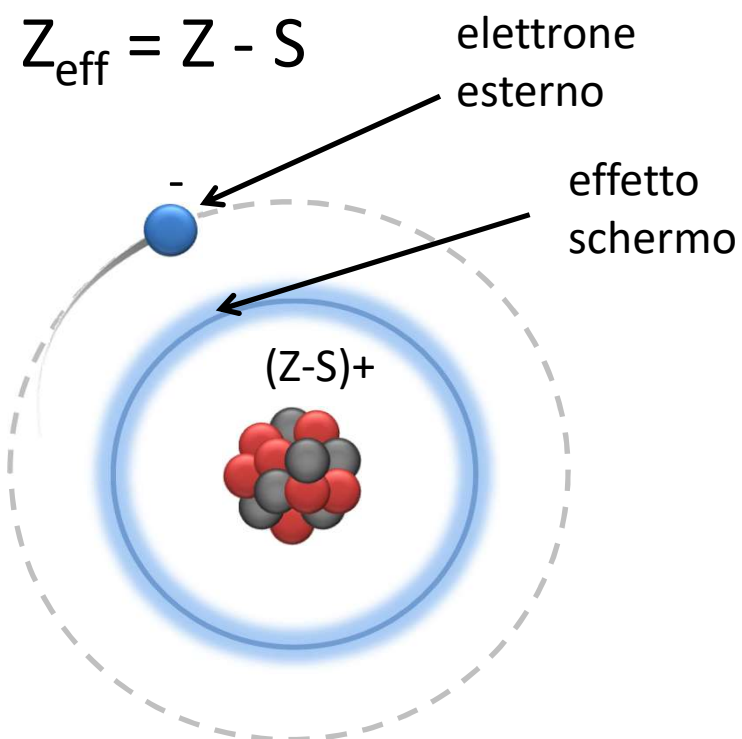
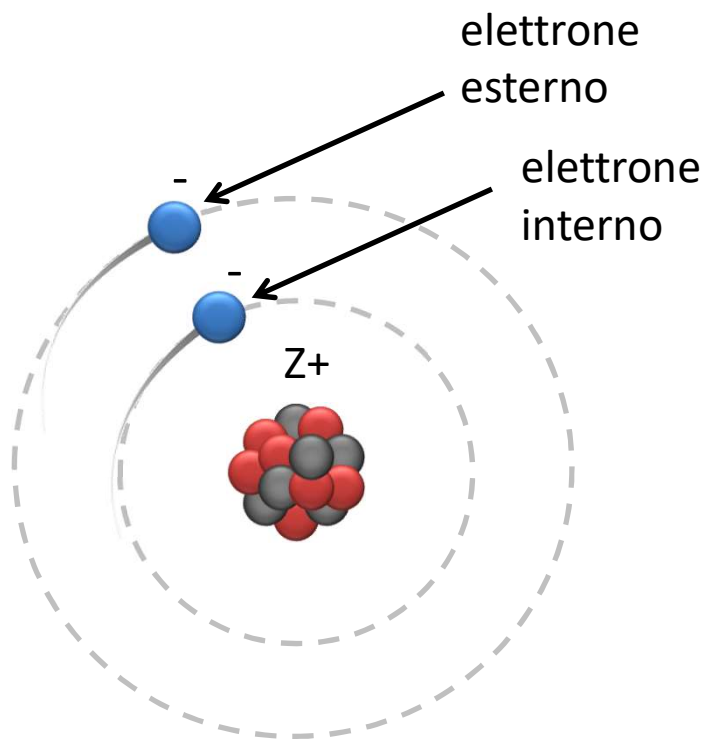
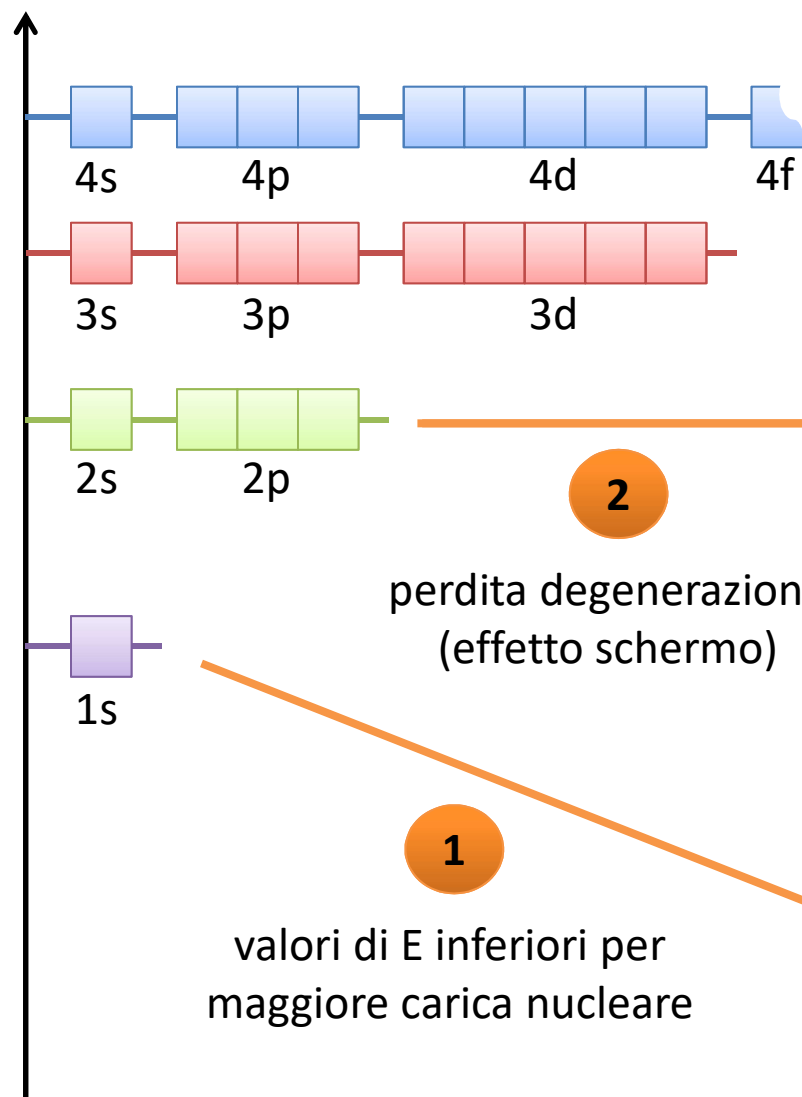


TABELLA 7.2 Cariche nucleari effettive, Z^* , per gli elementi con $n = 2$.

Atomo	$Z^*(2s)$	$Z^*(2p)$
Li	1.28	
B	2.58	2.42
C	3.22	3.14
N	3.85	3.83
O	4.49	4.45
F	5.13	5.10

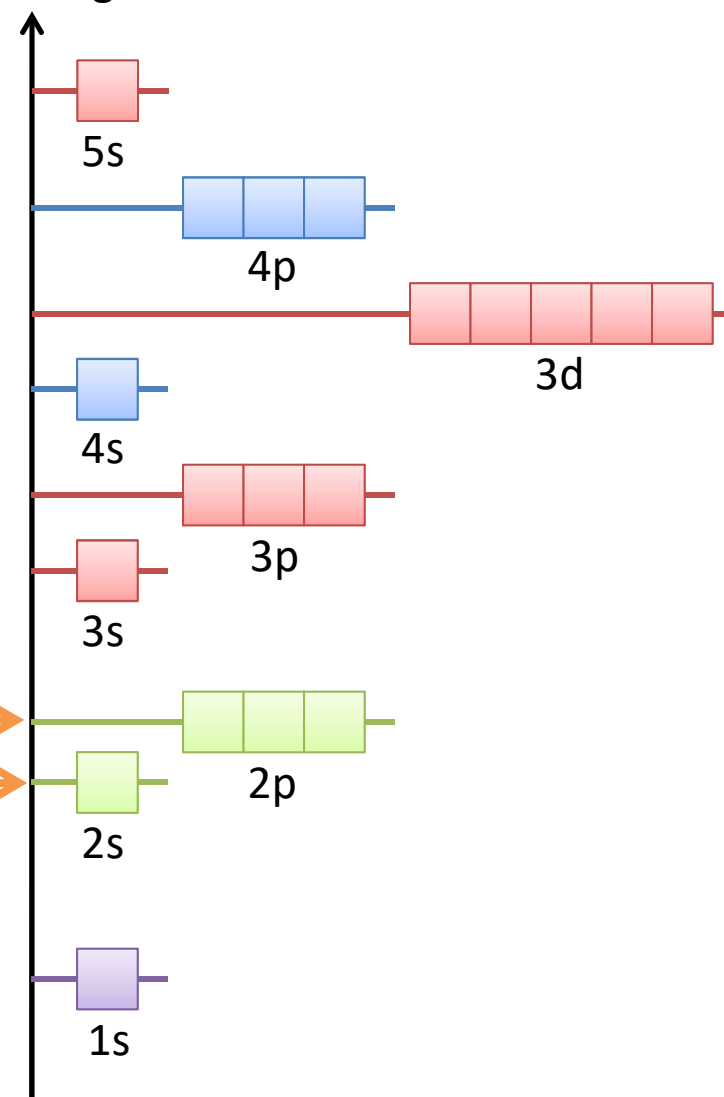
idrogeno / idrogenoidi

energia



atomi polielettronici

energia



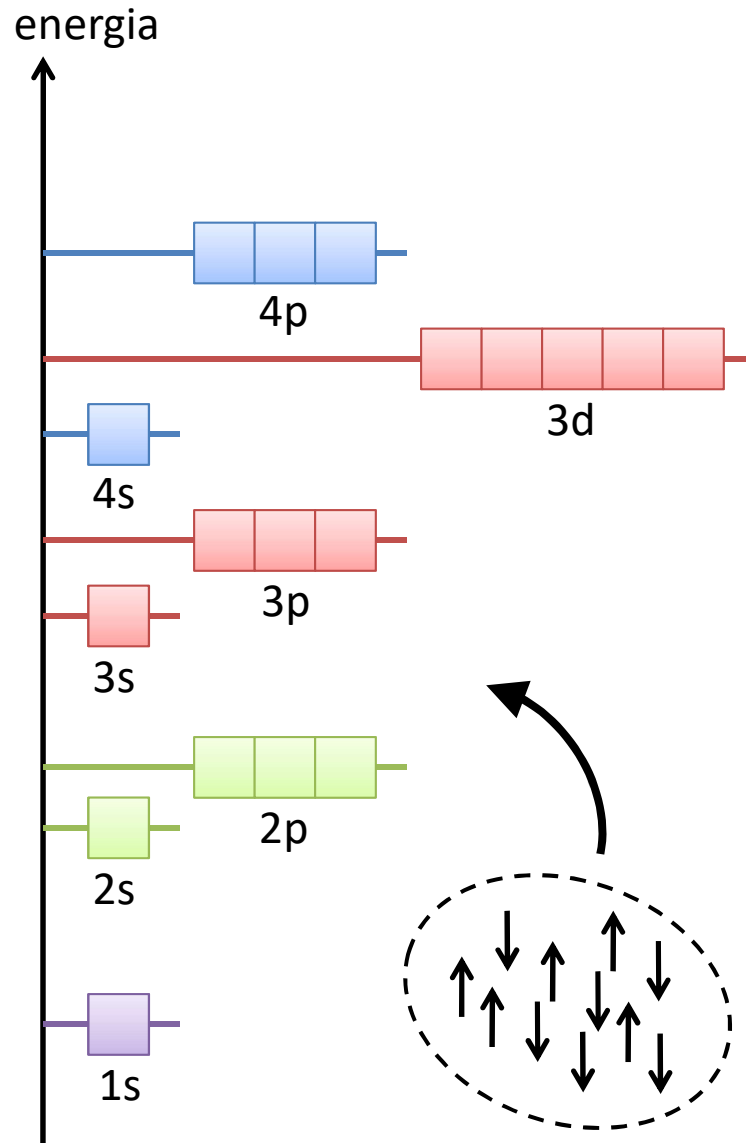
2

perdita degenerazione
(effetto schermo)

1

valori di E inferiori per
maggiore carica nucleare

“aufbau” e configurazione elettronica



1. *Principio di Esclusione di Pauli*

due elettroni dello stesso atomo non possono avere quattro numeri quantici identici (i.e. un orbitale può “contenere” al massimo due elettroni con spin opposto)

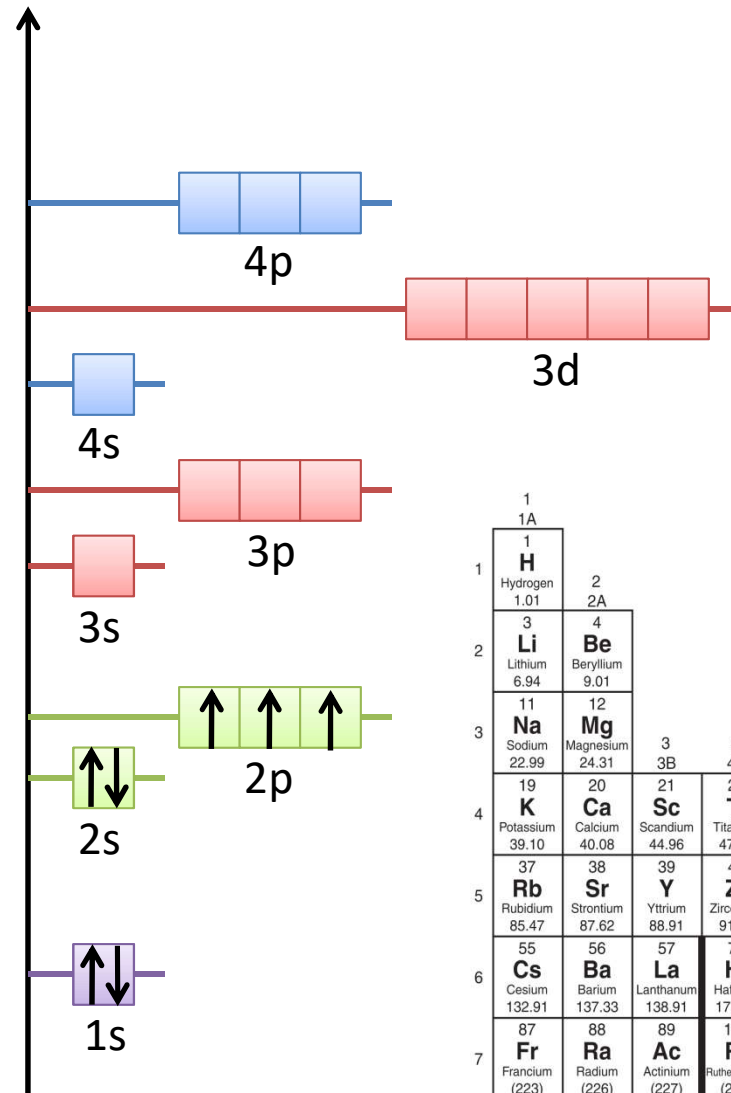
2. *Regola di Hund*

il riempimento progressivo di orbitali degeneri avviene collocando prima, fin quando possibile, un solo elettrone per orbitale, mantenendo gli spin paralleli

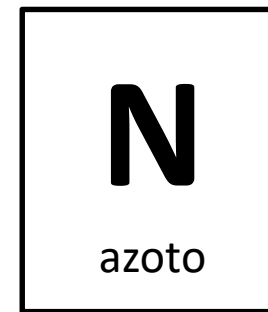
3. gli orbitali vengono riempiti in ordine di energia crescente, a cominciare da quelli ad energia più bassa

“aufbau” e configurazione elettronica

energia



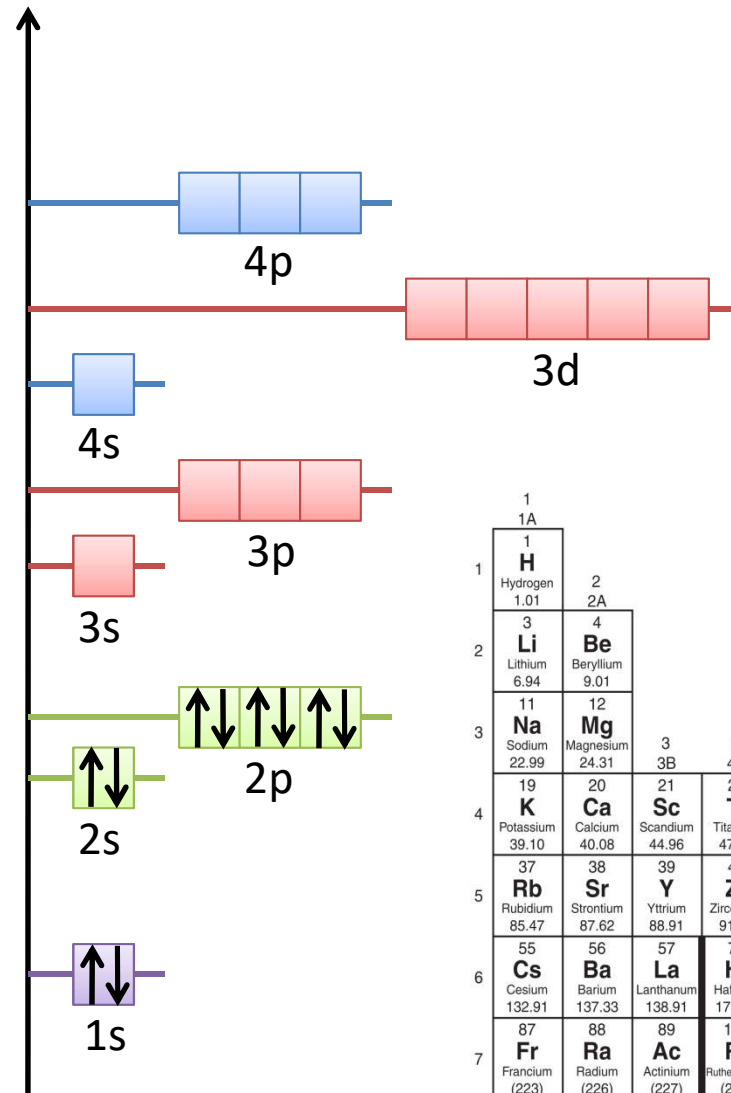
configurazione elettronica
stato fondamentale



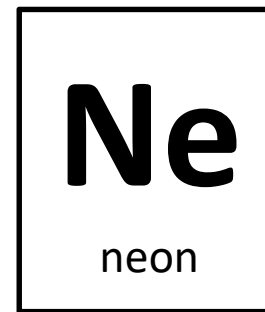
1	1A	1	2														18
1	1	2															2
	H	He															
	Hydrogen	Helium															
	1.01	4.00															
2	3	4															10
	Li	Be															
	Lithium	Beryllium															
	6.94	9.01															
3	11	12															18
	Na	Mg															
	Sodium	Magnesium															
	22.99	24.31															
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	36
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Kr
	Potassium	Calcium	Scandium	Titanium	Vanadium	Chromium	Manganese	Iron	Cobalt	Nickel	Copper	Zinc	Gallium	Germanium	Arsenic	Selenium	Krypton
	39.10	40.08	44.96	47.87	50.94	52.00	54.94	55.85	58.93	58.69	63.55	65.39	69.72	72.61	74.92	78.96	83.80
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	54
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Xe
	Rubidium	Strontium	Yttrium	Zirconium	Niobium	Molybdenum	Technetium	Ruthenium	Rhodium	Palladium	Silver	Cadmium	Indium	Tin	Antimony	Tellurium	Xenon
	85.47	87.62	88.91	91.22	92.91	95.94	(98)	101.07	102.91	106.42	107.87	112.41	114.82	118.71	121.76	127.60	131.29
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	Rn
	Cesium	Barium	Lanthanum	Hafnium	Tantalum	Tungsten	Rhenium	Osmium	Iridium	Platinum	Gold	Mercury	Thallium	Lead	Bismuth	Polonium	Radon
	132.91	137.33	138.91	178.49	180.95	183.84	186.21	190.23	192.22	195.08	196.97	200.59	204.38	207.2	208.98	(209)	(222)
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109								
	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt								
	Francium	Radium	Actinium	Rutherfordium	Dubnium	Seaborgium	Bohrium	Hassium	Mendelevium								
	(223)	(226)	(227)	(261)	(262)	(266)	(264)	(269)	(268)								

“aufbau” e configurazione elettronica

energia



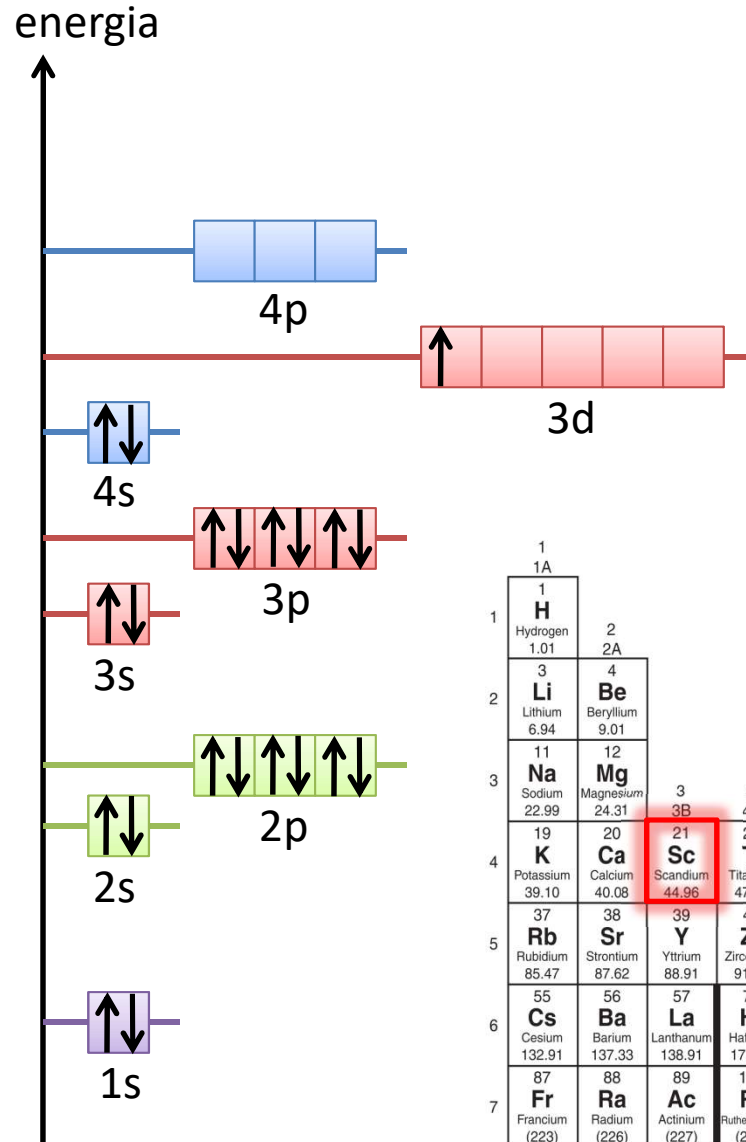
configurazione elettronica
stato fondamentale



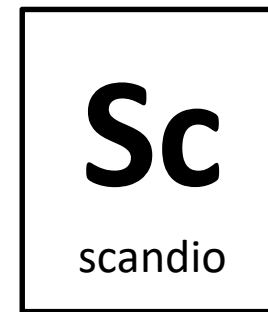
[Ne]

																18
																8A
1	1															2
	H															He
	Hydrogen															Helium
	1.01															4.00
2	3	4													9	10
	Li	Be													F	Ne
	Lithium	Beryllium													Fluorine	Neon
	6.94	9.01													19.00	20.18
3	11	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Na	Mg	B	C	N	O	F	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn	Al	Si	P	S
	Sodium	Magnesium	Boron	Carbon	Nitrogen	Oxygen	Fluorine	Neon	Argon	Krypton	Xenon	Radon	Aluminum	Silicon	Phosphorus	Sulfur
	22.99	24.31	10.81	12.01	14.01	16.00	19.00	20.18	39.95	83.80	131.29	222	26.98	28.09	30.97	32.07
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se
	Potassium	Calcium	Scandium	Titanium	Vanadium	Chromium	Manganese	Iron	Cobalt	Nickel	Copper	Zinc	Gallium	Germanium	Arsenic	Selenium
	39.10	40.08	44.96	47.87	50.94	52.00	54.94	55.85	58.93	58.69	63.55	65.39	69.72	72.61	74.92	78.96
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te
	Rubidium	Strontium	Yttrium	Zirconium	Niobium	Molybdenum	Technetium	Ruthenium	Rhodium	Palladium	Silver	Cadmium	Indium	Tin	Antimony	Tellurium
	85.47	87.62	88.91	91.22	92.91	95.94	(98)	101.07	102.91	106.42	107.87	112.41	114.82	118.71	121.76	127.60
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po
	Cesium	Barium	Lanthanum	Hafnium	Tantalum	Tungsten	Rhenium	Osmium	Iridium	Platinum	Gold	Mercury	Thallium	Lead	Bismuth	Polonium
	132.91	137.33	138.91	178.49	180.95	183.84	186.21	190.23	192.22	195.08	196.97	200.59	204.38	207.2	208.98	(209)
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109							
	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt							
	Francium	Radium	Actinium	Rutherfordium	Dubnium	Seaborgium	Bohrium	Hassium	Mendelevium							
	(223)	(226)	(227)	(261)	(262)	(266)	(264)	(269)	(268)							

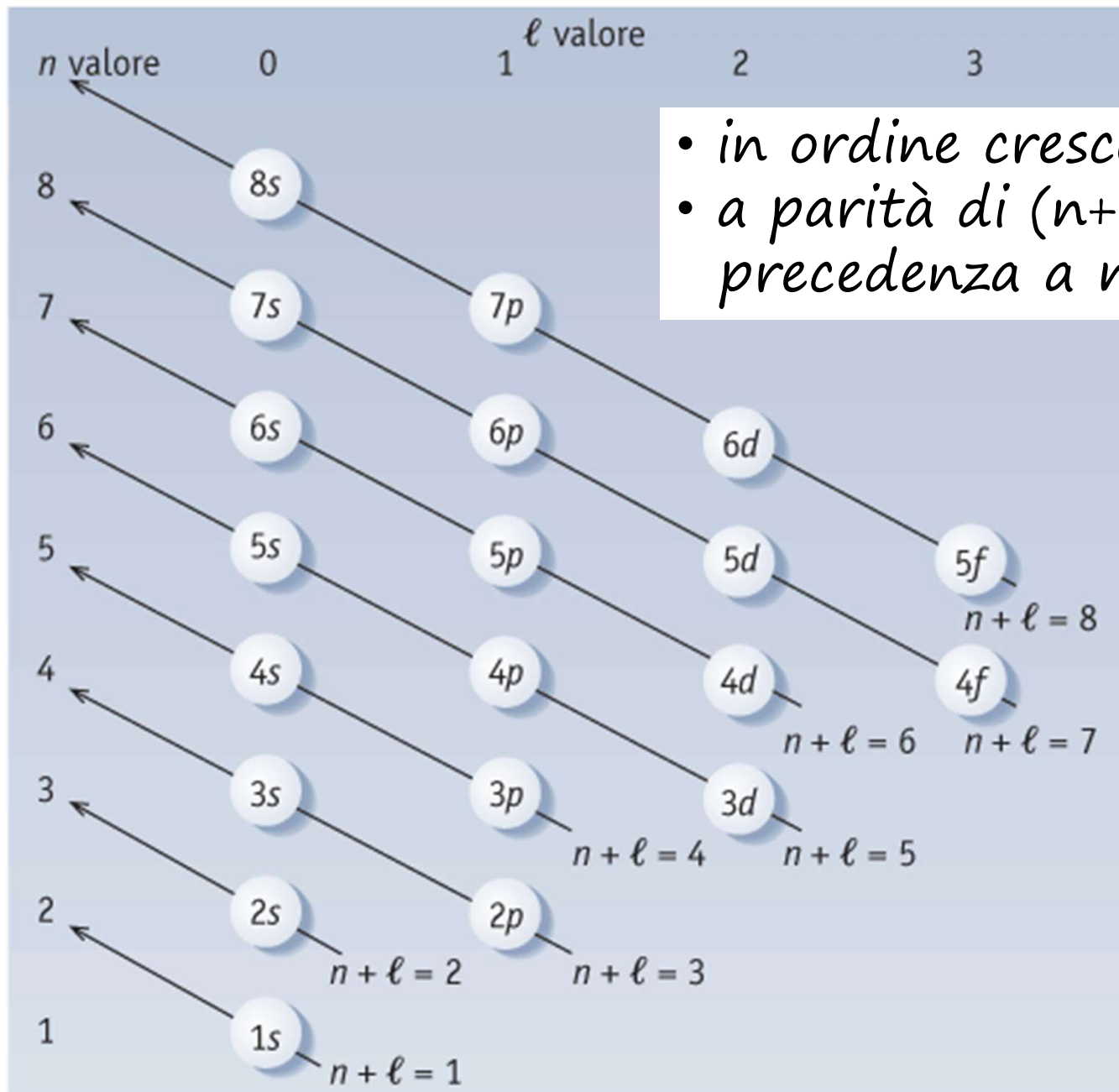
"aufbau" e configurazione elettronica



configurazione elettronica
stato fondamentale

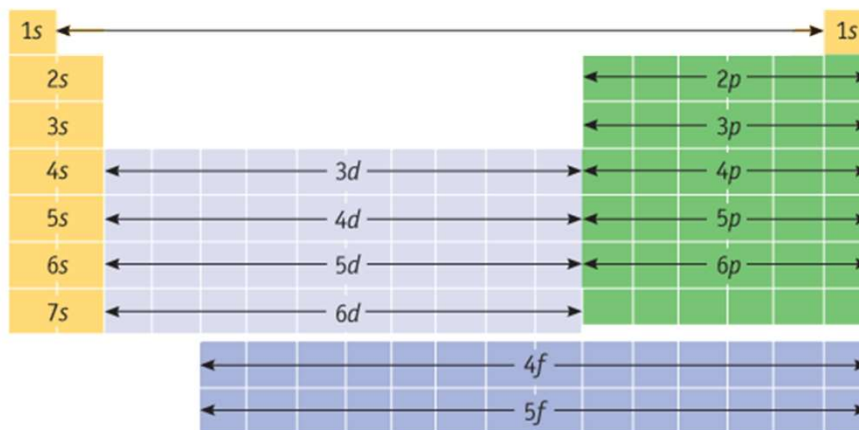


	1																	18			
	1A																	8A			
1	1																	2			
	H																	He			
	Hydrogen																	Helium			
	1.01																	4.00			
2	3	4															10				
	Li	Be															Ne				
	Lithium	Beryllium															Neon				
	6.94	9.01															20.18				
3	11	12															18				
	Na	Mg															Ar				
	Sodium	Magnesium															Argon				
	22.99	24.31															39.95				
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
	Potassium	Calcium	Scandium	Titanium	Vanadium	Chromium	Manganese	Iron	Cobalt	Nickel	Copper	Zinc	Gallium	Germanium	Arsenic	Selenium	Bromine	Krypton			
	39.10	40.08	44.96	47.87	50.94	52.00	54.94	55.85	58.93	58.69	63.55	65.39	69.72	72.61	74.92	78.96	79.90	83.80			
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54			
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
	Rubidium	Strontium	Yttrium	Zirconium	Niobium	Molybdenum	Technetium	Ruthenium	Rhodium	Palladium	Silver	Cadmium	Indium	Tin	Antimony	Tellurium	Iodine	Xenon			
	85.47	87.62	88.91	91.22	92.91	95.94	(98)	101.07	102.91	106.42	107.87	112.41	114.82	118.71	121.76	127.60	126.90	131.29			
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86			
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
	Cesium	Barium	Lanthanum	Hafnium	Tantalum	Tungsten	Rhenium	Osmium	Iridium	Platinum	Gold	Mercury	Thallium	Lead	Bismuth	Polonium	Astatine	Radon			
	132.91	137.33	138.91	178.49	180.95	183.84	186.21	190.23	192.22	195.08	196.97	200.59	204.38	207.2	208.98	(209)	(210)	(222)			
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109												
	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt												
	Francium	Radium	Actinium	Rutherfordium	Dubnium	Seaborgium	Bohrium	Hassium	Mitnerium												
	(223)	(226)	(227)	(261)	(262)	(266)	(264)	(269)	(268)												



- in ordine crescente di $(n+l)$
- a parità di $(n+l)$, precedenza a minor n

stesso
guscio
esterno
gruppo



guscio esterno
"elettroni di valenza"

1 1A	1 H Hydrogen 1.01	2 2A											13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
1	1 H Hydrogen 1.01	2 Be Beryllium 9.01											5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.01	7 N Nitrogen 14.01	8 O Oxygen 16.00	9 F Fluorine 19.00	10 Ne Neon 20.18
2	3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.01											13 Al Aluminum 26.98	14 Si Silicon 28.09	15 P Phosphorus 30.97	16 S Sulfur 32.07	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.95
3	11 Na Sodium 22.99	12 Mg Magnesium 24.31	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B	13 Al Aluminum 26.98	14 Si Silicon 28.09	15 P Phosphorus 30.97	16 S Sulfur 32.07	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.95
4	19 K Potassium 39.10	20 Ca Calcium 40.08	21 Sc Scandium 44.96	22 Ti Titanium 47.87	23 V Vanadium 50.94	24 Cr Chromium 52.00	25 Mn Manganese 54.94	26 Fe Iron 55.85	27 Co Cobalt 58.93	28 Ni Nickel 58.69	29 Cu Copper 63.55	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.72	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.90	36 Kr Krypton 83.80
5	37 Rb Rubidium 85.47	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.91	40 Zr Zirconium 91.22	41 Nb Niobium 92.91	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.91	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.87	48 Cd Cadmium 112.41	49 In Indium 114.82	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.76	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90	54 Xe Xenon 131.29
6	55 Cs Cesium 132.91	56 Ba Barium 137.33	57 La Lanthanum 138.91	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.95	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.21	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.97	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
7	87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitnerium (268)									

5s
6s
7s

4d
5d
6d

5p
6p

4f
5f

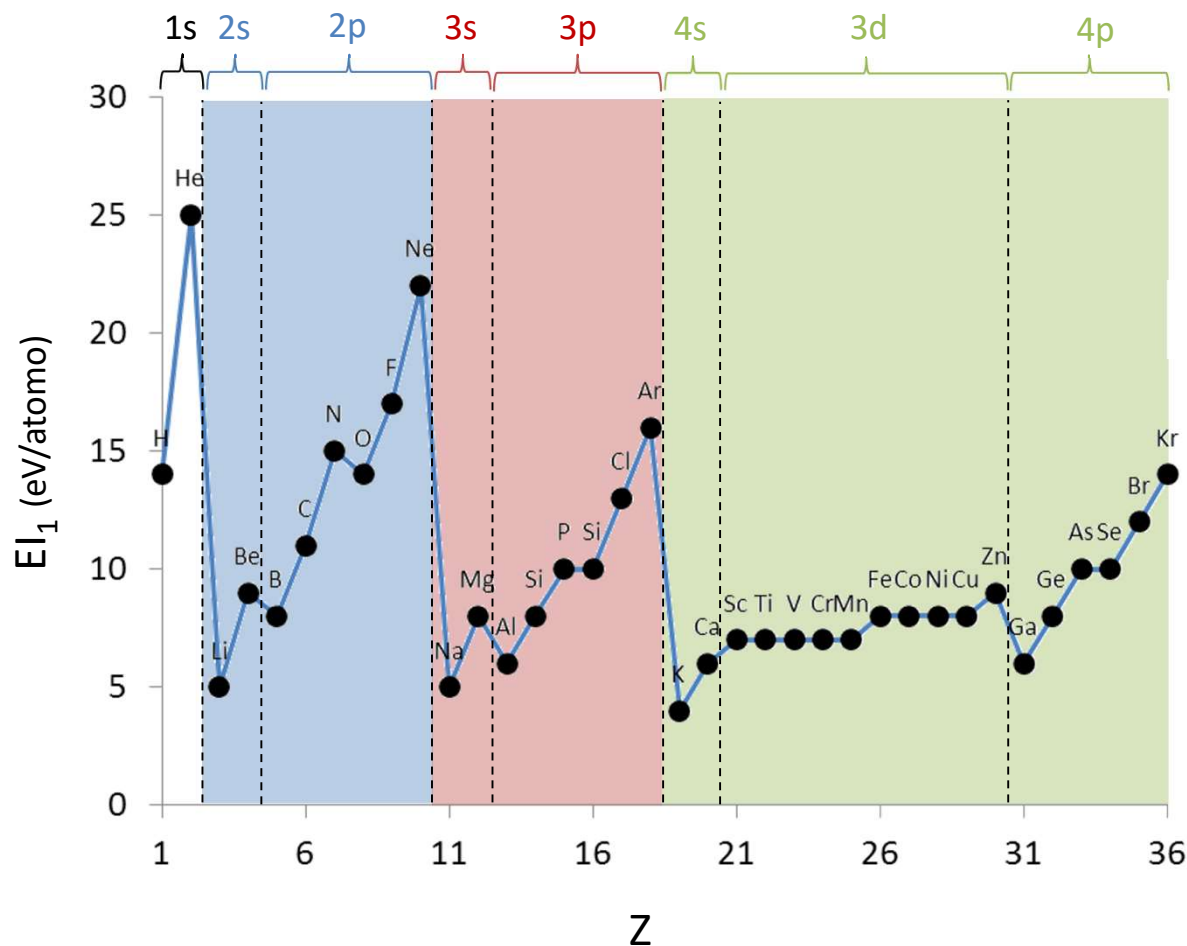
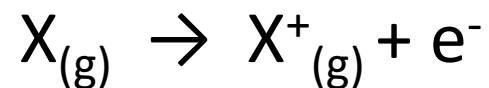
periodo

guscio esterno
con lo stesso n

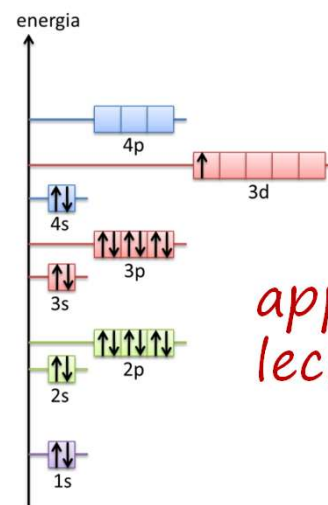
58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97
90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

Energie di Prima Ionizzazione

energia minima necessaria per
rimuovere un elettrone
dall'atomo neutro gassoso



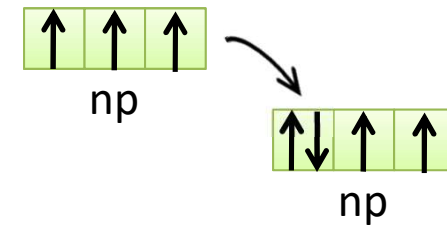
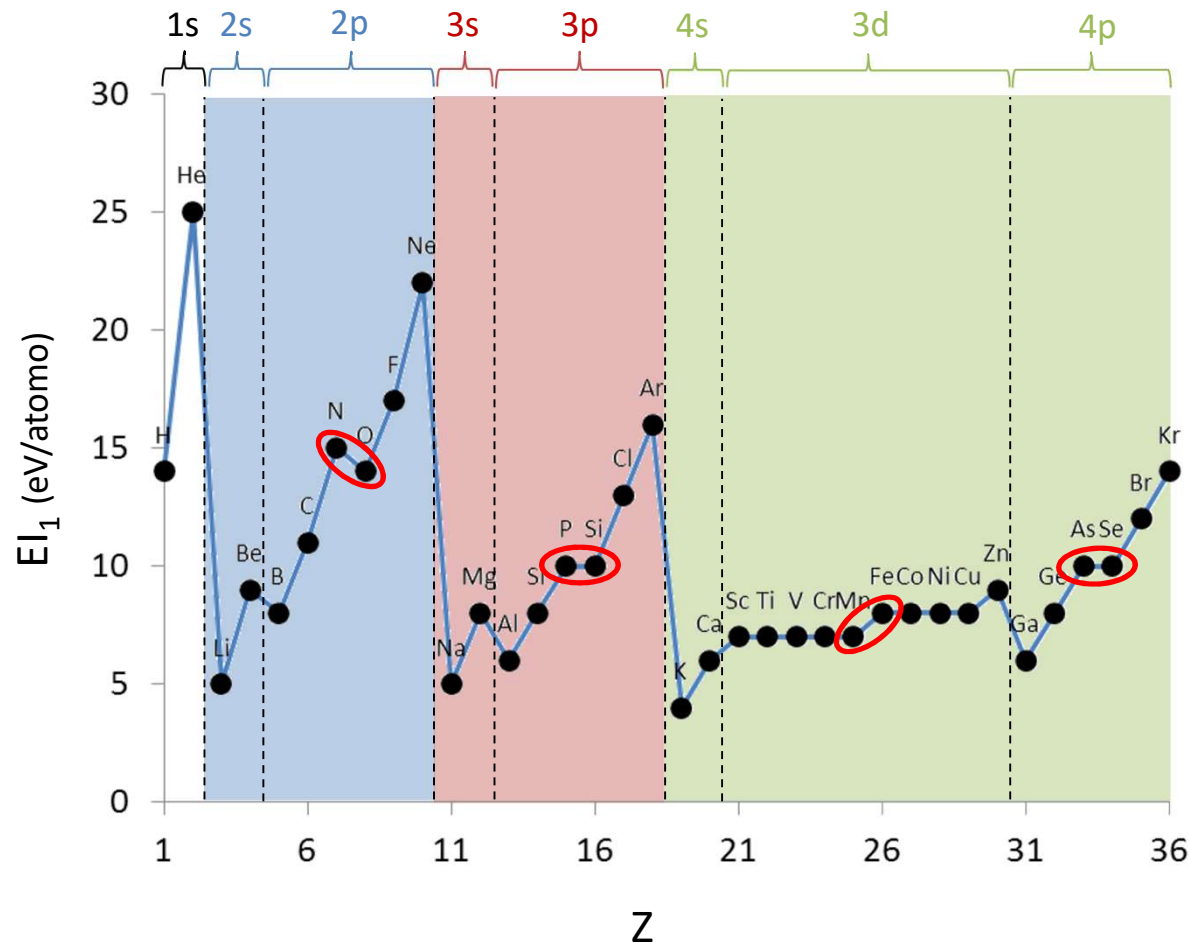
evidenza sperimentale
struttura elettronica a
gusci per atomi poli-
elettronici



*approx.
lecita!*

Energie di Prima Ionizzazione

energia minima necessaria per
rimuovere un elettrone
dall'atomo neutro gassoso



*andamento
non monotono*

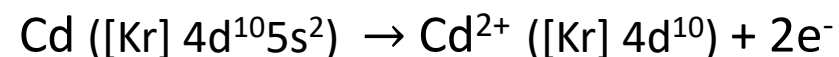
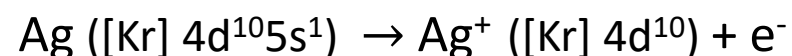
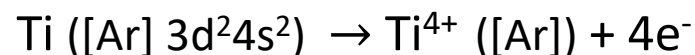
cariche degli ioni

Ca ([Ar]4s²) → Ca²⁺ ([Ar]) + 2e⁻
Cl ([Ne]3s²3p⁵) + 1e⁻ → Cl⁻ ([Ar])

gruppo	configurazione elettronica		differenza con gas nobile precedente	differenza con gas nobile successivo	ioni più comuni
-	1s ¹ (H)	↑	-1	+1	1+
1A	ns ¹	↑	-1	+7	1+
2A	ns ²	↑↓	-2	+6	2+
3A	ns ² np ¹	↑↓ ↑	-3	+5	3+
4A	ns ² np ²	↑↓ ↑ ↑	-4	+4	2+
5A	ns ² np ³	↑↓ ↑ ↑ ↑	-5	+3	3-
6A	ns ² np ⁴	↑↓ ↑↓ ↑ ↑	-6	+2	2-
7A	ns ² np ⁵	↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑	-7	+1	1-
8A	ns ² np ⁶	↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓	0	0	0

cariche degli ioni

1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8B	1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H ⁺														H ⁻	He
Li ⁺												N ³⁻	O ²⁻	F ⁻	Ne
Na ⁺	Mg ²⁺				Cr ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Cu ⁺		P ³⁻	S ²⁻	Cl ⁻	Ar
K ⁺	Ca ²⁺		Ti ⁴⁺		Cr ³⁺		Fe ³⁺	Co ³⁺		Cu ²⁺			Se ²⁻	Br ⁻	Kr
Rb ⁺	Sr ²⁺									Ag ⁺			Te ²⁻	I ⁻	Xe
Cs ⁺	Ba ²⁺									Hg ₂ ²⁺					Rn
											Pb ²⁺	Bi ³⁺			



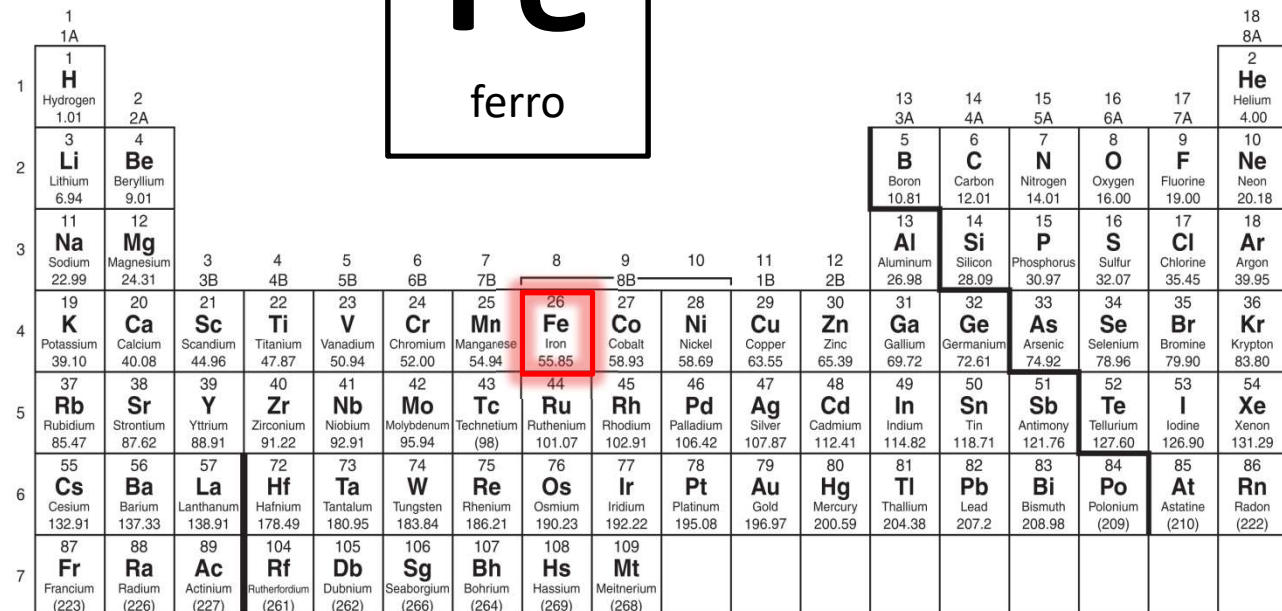
per i **metalli di transizione** la relazione tra configurazione elettronica e carica ionica è più complicata a causa degli orbitali d

cariche degli ioni

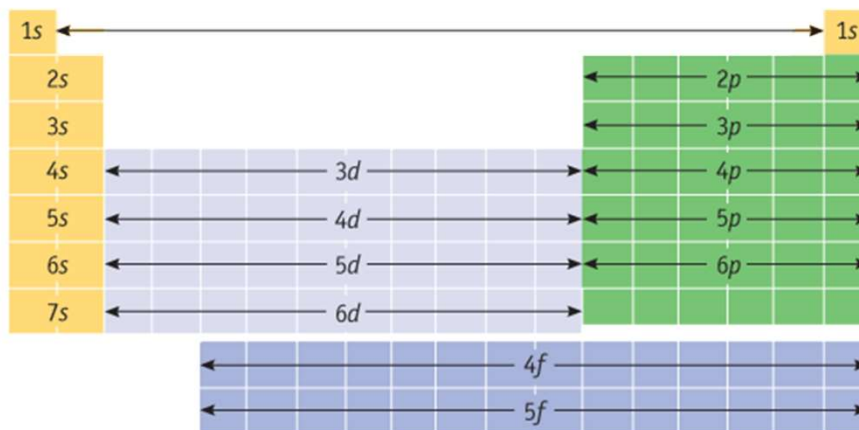
1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B	11B	12B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H ⁺																H ⁻	He
Li ⁺														N ³⁻	O ²⁻	F ⁻	Ne
Na ⁺	Mg ²⁺											Al ³⁺		P ³⁻	S ²⁻	Cl ⁻	Ar
K ⁺	Ca ²⁺		Ti ⁴⁺		Cr ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Cu ⁺					Se ²⁻	Br ⁻	Kr
					Cr ³⁺		Fe ³⁺	Co ³⁺		Cu ²⁺	Zn ²⁺						
Rb ⁺	Sr ²⁺									Ag ⁺	Cd ²⁺				Te ²⁻	I ⁻	Xe
Cs ⁺	Ba ²⁺										Hg ₂ ²⁺		Sn ²⁺				Rn
											Hg ²⁺		Pb ²⁺	Bi ³⁺			

perché il ferro può avere
sia Fe^{2+} che Fe^{3+} ?

per i **metalli di transizione**, quando si tratta di perdere e-, **si perdono prima gli s**

$$[\text{Ar}] 4s^2 3d^6$$


stesso
guscio
esterno
gruppo



guscio esterno
"elettroni di valenza"

1 1A	1 H Hydrogen 1.01	2 2A											13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
1	1 H Hydrogen 1.01	2 Be Beryllium 9.01											5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.01	7 N Nitrogen 14.01	8 O Oxygen 16.00	9 F Fluorine 19.00	10 Ne Neon 20.18
2	3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.01											13 Al Aluminum 26.98	14 Si Silicon 28.09	15 P Phosphorus 30.97	16 S Sulfur 32.07	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.95
3	11 Na Sodium 22.99	12 Mg Magnesium 24.31	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B	13 Al Aluminum 26.98	14 Si Silicon 28.09	15 P Phosphorus 30.97	16 S Sulfur 32.07	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.95
4	19 K Potassium 39.10	20 Ca Calcium 40.08	21 Sc Scandium 44.96	22 Ti Titanium 47.87	23 V Vanadium 50.94	24 Cr Chromium 52.00	25 Mn Manganese 54.94	26 Fe Iron 55.85	27 Co Cobalt 58.93	28 Ni Nickel 58.69	29 Cu Copper 63.55	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.72	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.90	36 Kr Krypton 83.80
5	37 Rb Rubidium 85.47	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.91	40 Zr Zirconium 91.22	41 Nb Niobium 92.91	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.91	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.87	48 Cd Cadmium 112.41	49 In Indium 114.82	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.76	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90	54 Xe Xenon 131.29
6	55 Cs Cesium 132.91	56 Ba Barium 137.33	57 La Lanthanum 138.91	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.95	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.21	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.97	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
7	87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitnerium (268)									

5s
6s
7s

4d
5d
6d

5p
6p

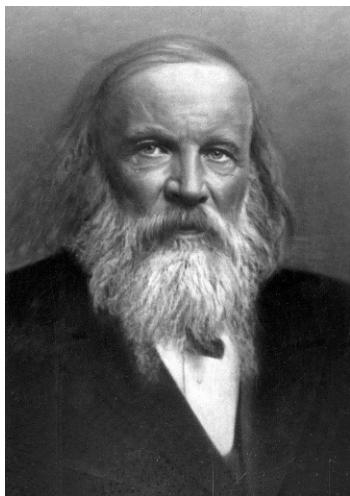
4f
5f

periodo

guscio esterno
con lo stesso n

58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97
90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

1869



Dmitrij I. Mendeleev

Sc, Ga, Ge previsti
correttamente prima della
loro scoperta !!!

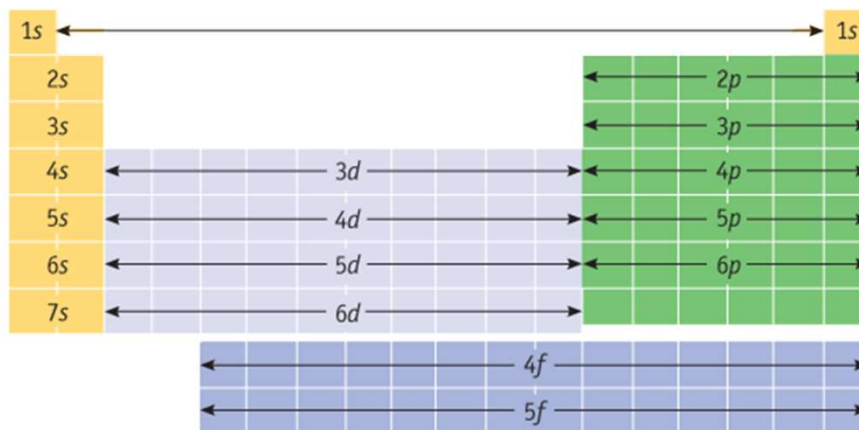
ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.
			Ni = 59	Co = 59	Pd = 106,8 O = 199.
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.
H = 1	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,1	? = 68	Ur = 116	Am = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
			Ga = 40	Sr = 87,6	Ba = 137 Pb = 207.
			? = 45	Ce = 92	
			?Er = 56	La = 94	
			?Yt = 60	Di = 95	
			?In = 75,6	Th = 118?	

Д. Менделѣевъ

stesso
guscio
esterno
gruppo



guscio esterno
"elettroni di valenza"

1 1A	2 2A	5s ← 4d → 5p 6s ← 5d → 6p 7s ← 6d → 4f 5f										13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
1 H Hydrogen 1.01	2 He Helium 4.00											5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.01	7 N Nitrogen 14.01	8 O Oxygen 16.00	9 F Fluorine 19.00	10 Ne Neon 20.18
3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.01											13 Al Aluminum 26.98	14 Si Silicon 28.09	15 P Phosphorus 30.97	16 S Sulfur 32.07	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.95
11 Na Sodium 22.99	12 Mg Magnesium 24.31	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B		10 10B	11 1B	12 2B	13 Ga Gallium 69.72	14 Ge Germanium 72.61	15 As Arsenic 74.92	16 Se Selenium 78.96	17 Br Bromine 79.90	18 Kr Krypton 83.80
19 K Potassium 39.10	20 Ca Calcium 40.08	21 Sc Scandium 44.96	22 Ti Titanium 47.87	23 V Vanadium 50.94	24 Cr Chromium 52.00	25 Mn Manganese 54.94	26 Fe Iron 55.85	27 Co Cobalt 58.93	28 Ni Nickel 58.69	29 Cu Copper 63.55	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.72	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.90	36 Kr Krypton 83.80
37 Rb Rubidium 85.47	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.91	40 Zr Zirconium 91.22	41 Nb Niobium 92.91	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.91	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.87	48 Cd Cadmium 112.41	49 In Indium 114.82	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.76	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.91	56 Ba Barium 137.33	57 La Lanthanum 138.91	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.95	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.21	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.97	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitnerium (268)									

periodo

guscio esterno
con lo stesso n

58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97
90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

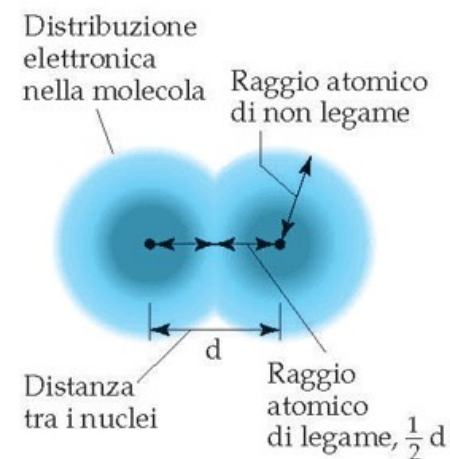
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

lantanidi ed attinidi (terre rare)

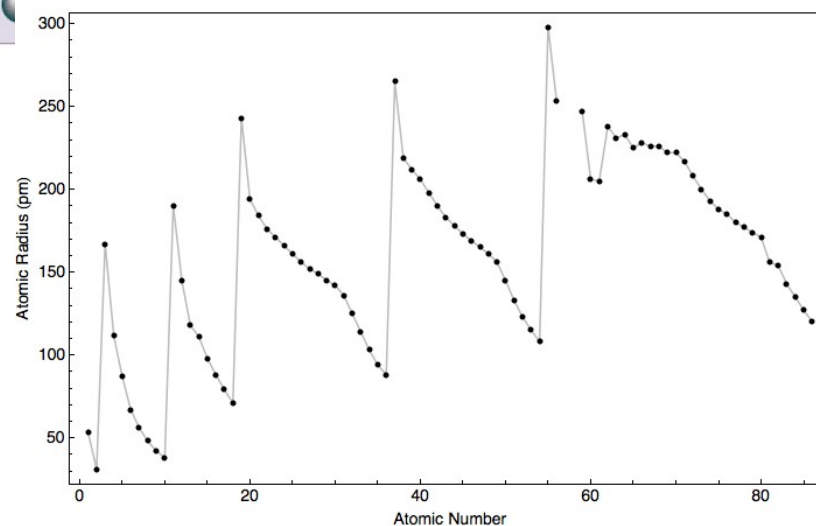
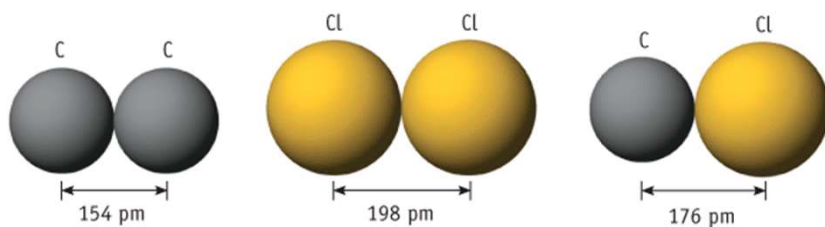
1 1A																	18 8A														
1 H Hydrogen 1.01	2 2A																	2 He Helium 4.00													
3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.01																	5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.01	7 N Nitrogen 14.01	8 O Oxygen 16.00	9 F Fluorine 19.00	10 Ne Neon 20.18								
11 Na Sodium 22.99	12 Mg Magnesium 24.31	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8	9	10	11 1B	12 2B	13 Al Aluminum 26.98	14 Si Silicon 28.09	15 P Phosphorus 30.97	16 S Sulfur 32.07	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.95														
19 K Potassium 39.10	20 Ca Calcium 40.08	21 Sc Scandium 44.96	22 Ti Titanium 47.87	23 V Vanadium 50.94	24 Cr Chromium 52.00	25 Mn Manganese 54.94	26 Fe Iron 55.85	27 Co Cobalt 58.93	28 Ni Nickel 58.69	29 Cu Copper 63.55	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.72	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.90	36 Kr Krypton 83.80														
37 Rb Rubidium 85.47	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.91	40 Zr Zirconium 91.22	41 Nb Niobium 92.91	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.91	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.87	48 Cd Cadmium 112.41	49 In Indium 114.82	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.76	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90	54 Xe Xenon 131.29														
55 Cs Cesium 132.91	56 Ba Barium 137.33	57 La Lanthanum 138.91	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.95	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.21	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.97	80 Hg Mercury 200.59	80 81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)														
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitnerium (268)																							
																		58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97
																		90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

proprietà periodiche e struttura elettronica

Periodo	1A	2A											3A	4A	5A	6A	7A	8A
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn



raggio atomico



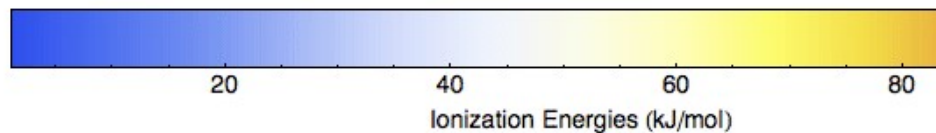
dimensioni di cationi ed anioni

Gruppo 1A		Gruppo 2A		Gruppo 3A		Gruppo 6A		Gruppo 7A		raggi ionici ed atomici in Å
Li ⁺	Li	Be ²⁺	Be	B ³⁺	B	O	O ²⁻	F	F ⁻	
0,90	1,34	0,59	0,90	0,41	0,82	0,73	1,26	0,71	1,19	
Na ⁺	Na	Mg ²⁺	Mg	Al ³⁺	Al	S	S ²⁻	Cl	Cl ⁻	
1,16	1,54	0,86	1,30	0,68	1,18	1,02	1,70	0,99	1,67	
K ⁺	K	Ca ²⁺	Ca	Ga ³⁺	Ga	Se	Se ²⁻	Br	Br ⁻	
1,52	1,96	1,14	1,74	0,76	1,26	1,16	1,84	1,14	1,82	+ cationi atomi neutri - anioni
Rb ⁺	Rb	Sr ²⁺	Sr	In ³⁺	In	Te	Te ²⁻	I	I ⁻	
1,66	2,11	1,32	1,92	0,94	1,44	1,35	2,07	1,33	2,06	

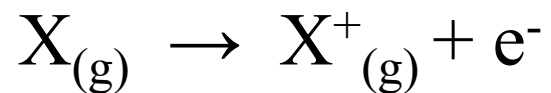
The diagram illustrates the periodic table with ionization energy trends. The color scale ranges from blue (low ionization energy) to red (high ionization energy). The arrows indicate that ionization energy increases with increasing atomic number (Z) and decreasing principal quantum number (n).

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



energia di prima ionizzazione



energia minima necessaria per rimuovere
un elettrone dall'atomo neutro gassoso

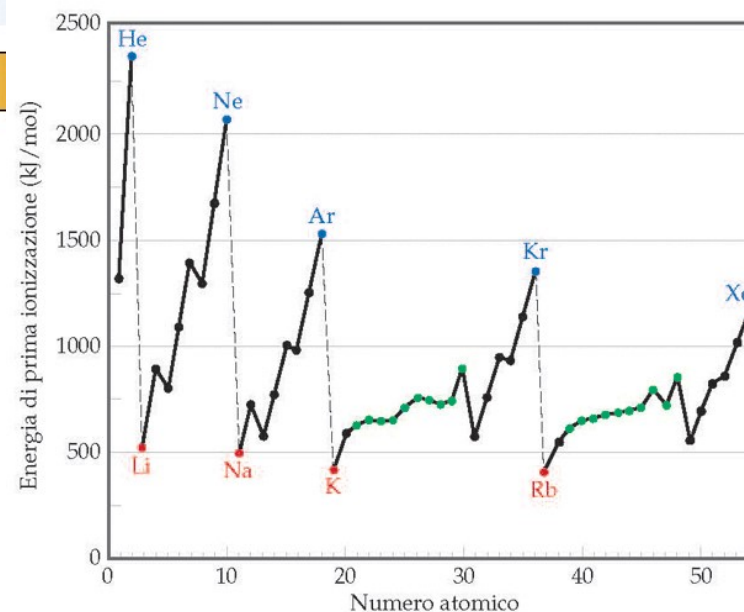


TABELLA 7.5 Prima, seconda e terza energia di ionizzazione degli elementi dei gruppi principali dei periodi 2-4 (kJ/mol)

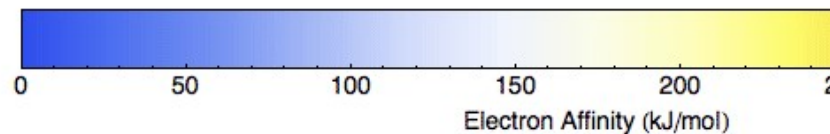
Secondo periodo	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
primo	513	899	801	1086	1402	1314	1681	2080
secondo	7298	1757	2427	2352	2856	3388	3374	3952
terzo	11815	14848	3660	4620	4578	5300	6050	6122
Terzo periodo	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
primo	496	738	577	787	1012	1000	1251	1520
secondo	4562	1451	1817	1577	1903	2251	2297	2665
terzo	6912	7732	2745	3231	2912	3361	3826	3928
Quarto periodo	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
primo	419	590	579	762	947	941	1140	1351
secondo	3051	1145	1979	1537	1798	2044	2104	2350
terzo	4411	4910	2963	3302	2735	2974	3500	3565

$$E_{1a \text{ ionizzazione}} < E_{2a \text{ ionizzazione}} < E_{3a \text{ ionizzazione}}$$

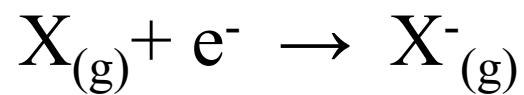
diventa sempre più difficile (costoso) strappare un elettrone

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo

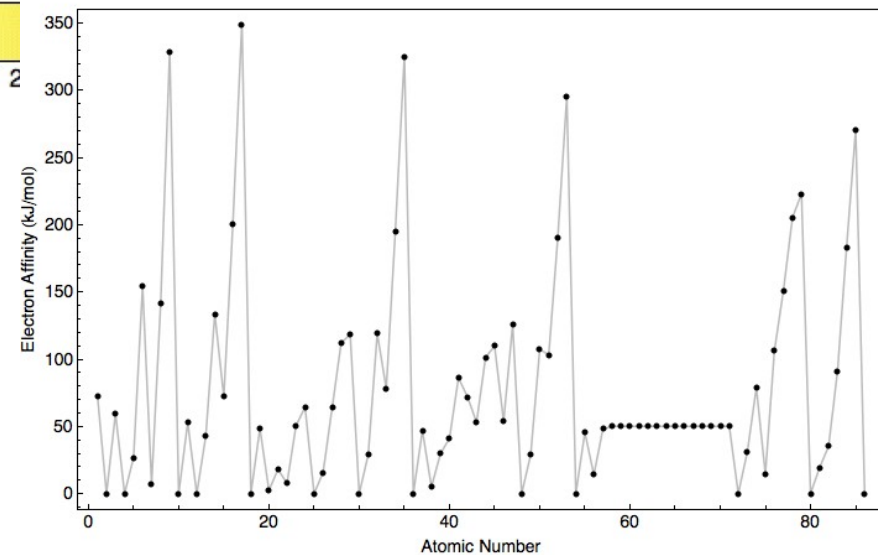
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



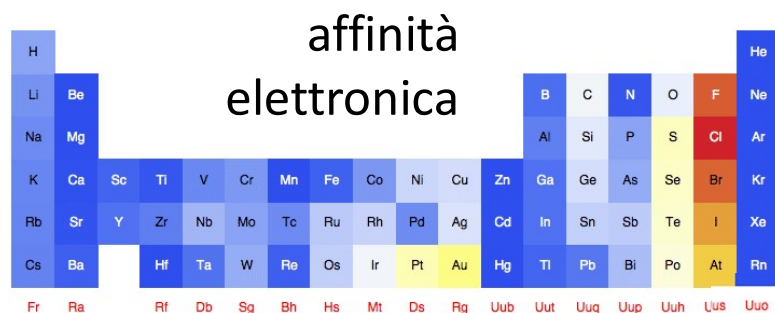
affinità elettronica



energia emessa quando un elettrone si lega ad un atomo neutro gassoso



metalli, semi-metalli e non-metalli



metalli
alcalino-terrosi

metalli

non-metalli

semi-metalli

alogeni
calcogeni

gas nobili o rari

