

CHIMICA

Corso di Laurea in Fisica

Anno accademico 2007/08 - Terzo Trimestre

Prof. Alberto Vacca
Dipartimento di Chimica
Stanza 365
Tel. (055 457) 3277 Fax: (055 457) 3385
e-mail: alberto.vacca@unifi.it
<http://www.chim1.unifi.it/group/vacsab/>

Orario lezioni: Lunedì, Martedì, Giovedì ore 8:30-10:30 (aula 38)

Ricevimento: Giovedì pomeriggio (per appuntamento)

Libro di testo: A. Sabatini, A. Dei “Chimica Generale ed Inorganica” Idelson-Gnocchi (2002)
Per consultazione: W.L. Masterton, C.N. Hurley, “Chimica: Principi e reazioni” Piccin (2003)
• Una recente tavola periodica contenente le proprietà degli elementi

Struttura della materia (1)

La chimica è la scienza che studia la **materia**:

- la sua **struttura**
- le sue **proprietà**
- le sue **trasformazioni**
- le sue interazioni con l'**energia**

Materia: tutto ciò che ci circonda, che è dotato di massa e che occupa un volume

Struttura: organizzazione della costituzione intima della materia

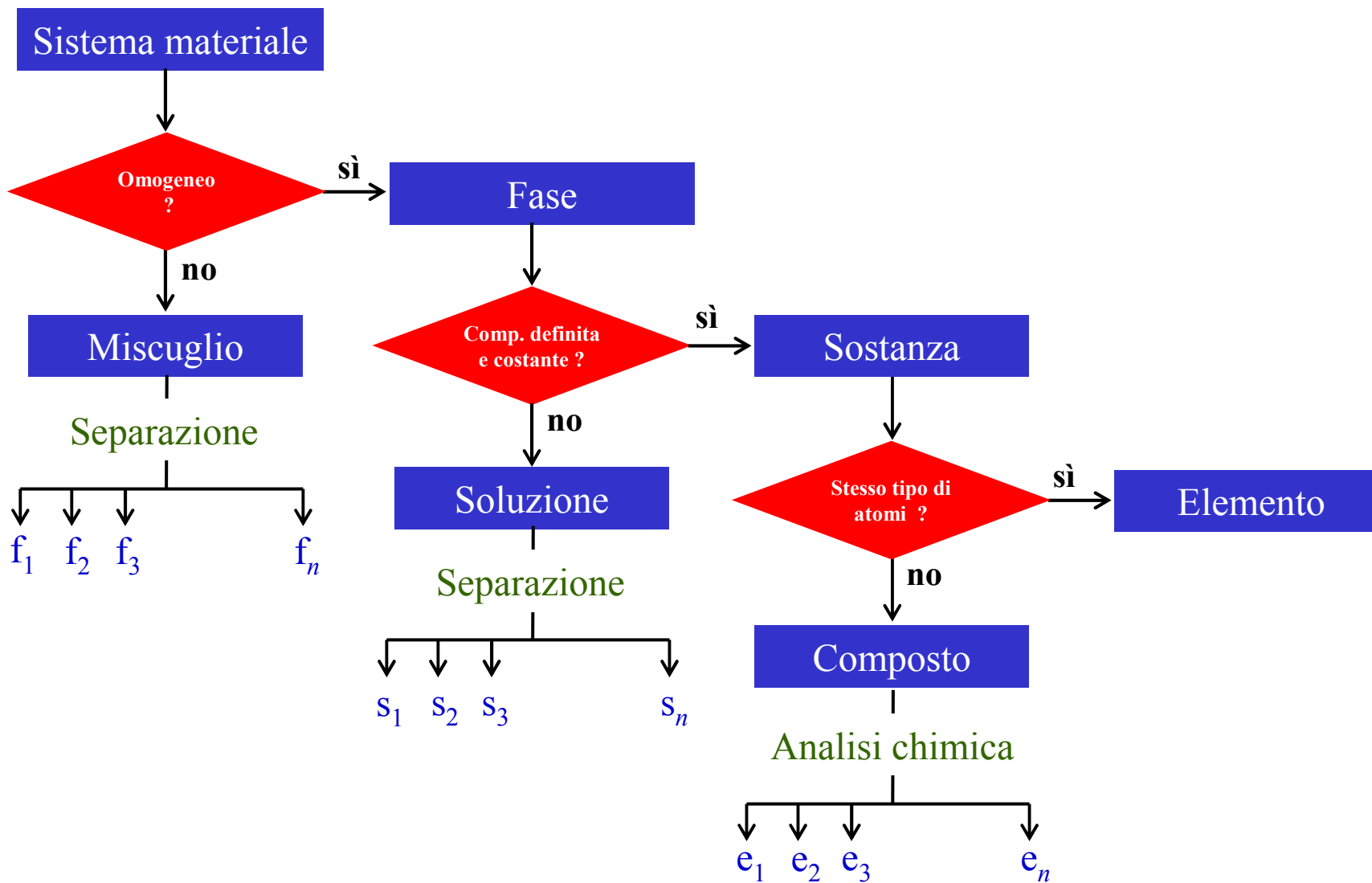
Proprietà: grandezze fisiche rilevabili dai nostri sensi o misurabili con opportune apparecchiature

Energia: attitudine a compiere un lavoro

Sistema materiale: porzione di materia, oggetto del nostro studio.

Può essere *aperto*, *chiuso*, *isolato*

Struttura della materia (2)

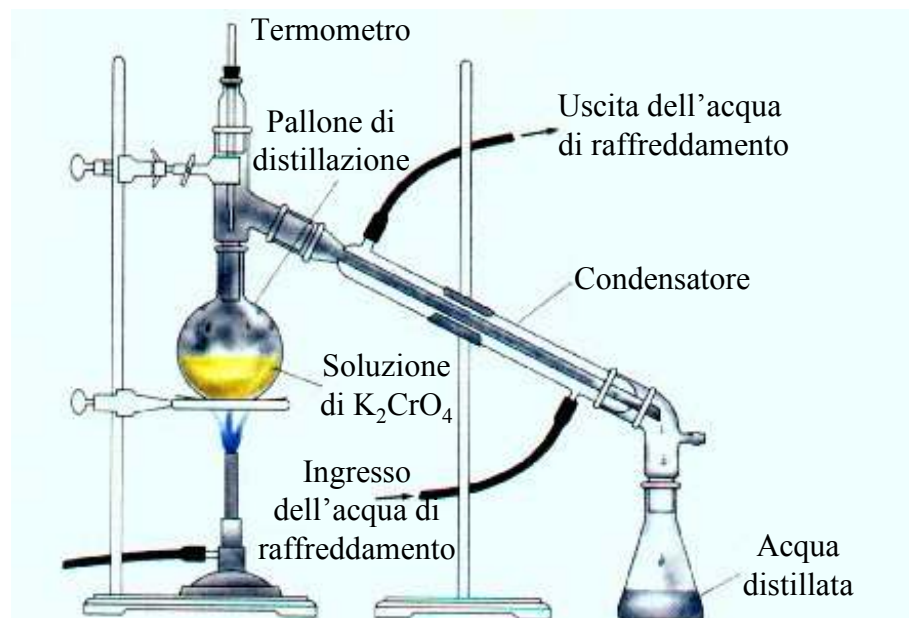


Struttura della materia (3)

Prepariamo una soluzione acquosa



Un composto giallo, cromato potassico, si aggiunge ad acqua, contenuta in un becker, dove esso si discioglie in seguito ad agitazione con una bacchetta di vetro: si forma un sistema omogeneo, una soluzione acquosa.



I due componenti della soluzione acquosa di cromato potassico possono essere separati per distillazione. Il calore fornito provoca l'evaporazione dell'acqua: raffreddando il vapore, esso si condensa in un liquido puro nella beuta in basso a destra. Poiché il cromato potassico solido non è volatile, esso rimane nel pallone di distillazione come residuo solido giallo.

Struttura della materia (4)

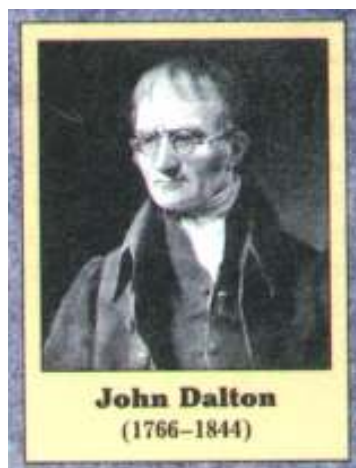


Esperimento Quantitativo sulla Fermentazione dello zucchero (Lavoisier)

Reagenti	Massa (g)	Prodotti	Massa (g)
Acqua	400	biossido di carbonio	35.3
Zucchero	100	alcol	57.7
Lievito	10	acido acetico	2.5
		acqua	409.0
		zucchero (non reagito)	4.1
		lievito (non reagito)	1.4

Totale: 510 g

Totale: 510 g



Teoria Atomica

Tre postulati:

1. Un elemento è composto da particelle minuscole chiamate atomi. Tutti gli atomi di un dato elemento mostrano le stesse proprietà chimiche. Atomi di elementi differenti mostrano proprietà differenti.
2. In una reazione chimica nessun atomo di nessun elemento scompare o si trasforma in un altro elemento.
3. I composti si trasformano per combinazione di due o più elementi. In un dato composto la frazione degli atomi di ogni elemento è definita e costante, esprimibile con il rapporto di numeri interi generalmente piccoli (1:2, 1:3, 2:3, ecc.)

Lo sapevate...



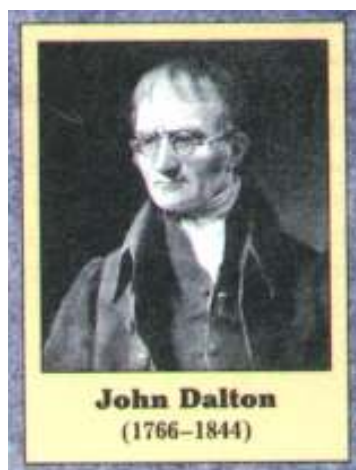
Antoine Lavoisier trasformò la chimica da arte a scienza. Nato a Parigi, comprese per primo l'importanza degli esperimenti quantitativi: questi vennero descritti nel suo libro Elementi di Chimica, pubblicato nel 1789. Egli notò che in tutte le operazioni dell'uomo e della natura la stessa quantità di materia esiste prima e dopo ogni esperimento: "In natura nulla si crea e nulla si distrugge".

Lavoisier morì ghigliottinato nel 1794, perché era un esattore delle tasse. La chimica non ha niente a che fare con questo tragico evento!

Questo è il ritratto di Antoine Lavoisier con la moglie e collega Marie-Anne Pierrette, eseguito da Jacques-Louis David nel 1788. Marie-Anne assisteva Antoine in gran parte del suo lavoro e lo aiutò a scrivere ed illustrare il suo libro, ora divenuto famoso.

Da Masterton & Hurley, 1998

Struttura della materia (5)



Teoria atomica

1. Un elemento è composto da particelle minuscole chiamate atomi. Tutti gli atomi di un dato elemento mostrano le stesse proprietà chimiche. Atomi di elementi differenti mostrano proprietà differenti.
2. In una reazione chimica nessun atomo di nessun elemento scompare o si trasforma in un altro elemento.
3. I composti si trasformano per combinazione di due o più elementi. In un dato composto la frazione di atomi di ogni elemento è definita e costante, esprimibile con il rapporto di numeri interi generalmente piccoli (1:2, 1:3, 2:3, ecc.)

Legge della conservazione della massa

Non avviene nessun cambiamento rilevabile nella massa durante una reazione chimica.

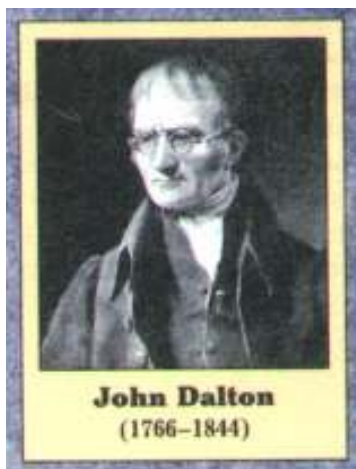
Legge della composizione costante

Un composto contiene gli elementi costituenti sempre nelle stesse proporzioni di massa.

Legge delle proporzioni multiple

Se due elementi formano più di un composto, le masse di un elemento che si combinano con una massa fissa dell'altro elemento stanno tra loro in rapporti espressi da numeri interi piccoli.

Lo sapevate...



John Dalton fu uno scienziato prolifico, che fornì un grosso contributo alla biologia ed alla fisica oltre che alla chimica. In un college di Manchester (Inghilterra) svolse ricerche e tenne più di 20 ore settimanali di lezioni di matematica e di fisica. Non si sposò mai: una volta ebbe a dire: “La mia testa è troppo piena di triangoli, di proprietà chimiche e di esperimenti elettrici da poter pensare al matrimonio”.

Fu un uomo modesto e tranquillo ed un devoto Quacchero. Quando venne presentato al re Guglielmo IV d’Inghilterra, Dalton rifiutò di indossare i colorati abiti di corte a causa della sua religione. I suoi amici lo convinsero ad indossare gli abiti scarlatti dell’Università di Oxford, dalla quale aveva ricevuto la laurea: era daltonico, così si vide vestito solo di grigio!

Struttura della materia (6)

Le dimensioni degli atomi sono dell'ordine di grandezza di 10^{-10} m, ovvero 100 pm: questo valore corrispondente all'unità di lunghezza Ångström (Å) usata in passato ed ora sconsigliata. I componenti fondamentali dell'atomo sono *protoni*, *neutroni* ed *elettroni*, le cui caratteristiche sono mostrate nella seguente tabella.

Particella	Carica elettrica (C)	Massa (kg)
Protone	$1.6021765 \cdot 10^{-19}$	$1.6726216 \cdot 10^{-27}$
Neutrone	0	$1.6749272 \cdot 10^{-27}$
Elettrone	$-1.6021765 \cdot 10^{-19}$	$9.1093822 \cdot 10^{-31}$

Protoni e neutroni si trovano nella parte centrale dell'atomo, il *nucleo*, ed attorno a tale nucleo si muovono gli elettroni. Le dimensioni di nucleo ed elettroni sono molto piccole in confronto a quelle dell'atomo, circa 10^{-14} m, quindi approssimativamente 10000 volte inferiori.

Pensate ad una mosca al centro di uno stadio di calcio: immaginando l'atomo grande come lo stadio, il nucleo avrebbe le dimensioni della mosca. (Atkins & Jones, 1998)

L'atomo è costituito prevalentemente da spazio vuoto.

Struttura della materia (7)

Z : numero atomico dell'atomo, numero di protoni nel nucleo

N : numero di neutroni nel nucleo

$A = Z + N$ = numero di massa, numero totale di protoni e di neutroni nel nucleo

Un elemento è costituito da atomi aventi tutti lo stesso numero atomico. Sono stati identificati ad oggi 110 elementi e 90 di questi esistono in natura.

Ad ogni elemento viene associato un simbolo. Molti dei simboli coincidono con la prima o le prime due lettere del nome dell'elemento. La prima lettera è maiuscola, le altre minuscole. In altri casi le iniziali sono quelle del nome antico, spesso latino. Per gli elementi prodotti artificialmente con $Z > 100$, a cui non è stato assegnato ancora un nome, si suole usare un nome provvisorio derivante proprio dal numero atomico. La desinenza è “ium” e le cifre del numero atomico nell'ordine vengono correlate con tasselli di nome nel modo seguente:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
nil	un	bi	tri	quad	pent	hex	sept	oct	enn

Così, ad esempio, l'elemento 106, oggi Seaborgio, fu chiamato “unnilhexium” ed il suo simbolo fu Unh. L'ultimo elemento caratterizzato, il Darmstadtio (Ds), prima dell'assegnamento del nome si chiamava “ununnilium” ed il suo simbolo era Uun.

Il punto su...

Costanti fisiche fondamentali

Massa del protone	$1.672\,621\,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Massa del neutrone	$1.674\,927\,2 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Massa dell'elettrone	$9.109\,382\,2 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Carica elementare	$1.602\,176\,5 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Costante di Avogadro	$6.022\,141\,8 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Unità di massa atomica	$1.660\,538\,8 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Velocità della luce	$2.997\,924\,58 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Da “**CODATA** internationally recommended values of the Fundamental Physical Constants”
Aggiornamento del 2006, <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>

Struttura della materia (8)

Nomi e simboli di alcuni elementi							
Alluminio	Al	Carbonio	C	Litio	Li	Rame	Cu
Antimonio	Sb	Cesio	Cs	Magnesio	Mg	Rubidio	Rb
Argento	Ag	Cloro	Cl	Manganese	Mn	Selenio	Se
Argon	Ar	Cobalto	Co	Mercurio	Hg	Silicio	Si
Azoto	N	Cripto	Kr	Neon	Ne	Sodio	Na
Bario	Ba	Cromo	Cr	Nichel	Ni	Stagno	Sn
Berillio	Be	Elio	He	Oro	Au	Stronzio	Sr
Bismuto	Bi	Ferro	Fe	Ossigeno	O	Uranio	U
Boro	B	Fluoro	F	Piombo	Pb	Xeno	Xe
Bromo	Br	Fosforo	P	Platino	Pt	Zinco	Zn
Cadmio	Cd	Idrogeno	H	Plutonio	Pu	Zolfo	S
Calcio	Ca	Iodio	I	Potassio	K		
Laurenzio	Lr	Lantanio	La	Lutezio	Lu		
Unnilquadio	Uuq	Ruterfordio	Rf	Meitnerio	Mt		

Per un dato elemento possono esistere diversi tipi di atomi che differiscono per il numero di neutroni nel nucleo e quindi per il numero di massa. Atomi dello stesso elemento che hanno differente numero di massa si chiamano isotopi.

Struttura della materia (9)

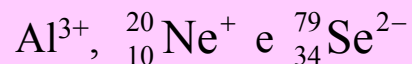
Un particolare atomo con numero atomico Z e con numero di massa A si chiama **nuclide**. Esso si rappresenta con la seguente notazione, dove X corrispondente a Z :



Esistono tre isotopi naturali del Neon, la cui abbondanza percentuale naturale è la seguente:

${}^{20}_{10}\text{Ne}$	${}^{21}_{10}\text{Ne}$	${}^{22}_{10}\text{Ne}$
90.9%	0.3%	8.8%
Esperienza di Thomson (1912)		

Atomi che hanno perso o acquistato elettroni vengono detti **ioni**: essi possiedono una carica elettrica positiva o negativa. Essa viene indicata con un segno (+ o -) in alto a destra rispetto al simbolo dell'atomo (o del nuclide) preceduto da un intero che indica il numero di elettroni persi o acquistati. Se il numero è 1 esso viene omissso. Ad esempio



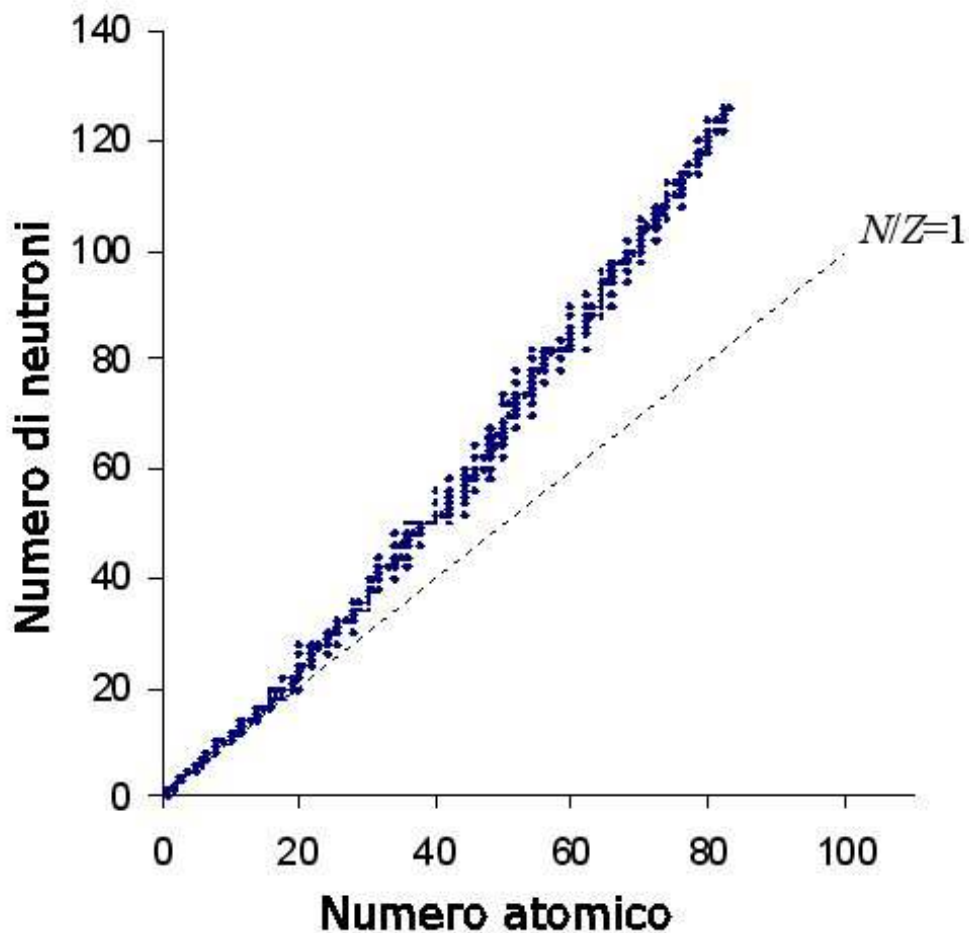
Sono ioni originati rispettivamente dalla perdita di tre elettroni da parte di un generico atomo di Alluminio, dalla perdita di un elettrone dal nuclide Neon-20 e dall'acquisto di due elettroni da parte di selenio-79.

Struttura della materia (10)

Elemento	Nuclide	Abbondanza	Elemento	Nuclide	Abbondanza
Idrogeno	^1H	99.985%	Carbonio	^{12}C	98.90%
	^2H	0.015%		^{13}C	1.10%
	^3H	(tracce)		^{14}C	(tracce)
Elio	^3He	0.00014%	Azoto	^{14}N	99.634%
	^4He	99.99986%		^{15}N	0.366%
Litio	^6Li	7.5%	Ossigeno	^{16}O	99.762%
	^7Li	92.5%		^{17}O	0.038%
Berillio	^9Be	100.00%		^{18}O	0.200%
Boro	^{10}B	19.9%	Fluoro	^{19}F	100.000%
	^{11}B	80.1%			

Solo un numero limitato di isotopi di un certo elemento esiste in natura. Altri nuclidi possono essere sintetizzati, ma risultano instabili (radioattivi). Per i primi 20 elementi, con $Z < 20$, si verifica che i nuclidi naturali contengono approssimativamente lo stesso numero di protoni e di neutroni. Per $Z > 20$ il numero di neutroni prevale sul numero di protoni.

Struttura della materia (11)



I nuclidi stabili (punti nel diagramma) hanno rapporti N/Z che cadono in un ristretto intervallo, detto *fascia di stabilità*. Per i nuclidi leggeri il rapporto è vicino ad 1.0, mentre per quelli più pesanti esso aumenta fino a 1.5. Non esistono nuclidi stabili per elementi con $Z > 83$ (Bi).

Masterton & Hurley (1998)

Struttura della materia (12)

Composti chimici:

Composti covalenti

Composti ionici

I composti covalenti sono costituiti da molecole. La molecola è la minima particella di una sostanza covalente, che ha composizione chimica e proprietà chimiche uguali a quelle della sostanza stessa. La formula minima indica gli atomi costituenti nei loro rapporti più semplici. La formula molecolare indica il numero di atomi di ciascun elemento presenti nella molecola. La formula di struttura mostra la disposizione degli atomi nella molecola.

- Nota la formula (di qualsiasi tipo) si può risalire alla composizione elementare del composto.
- Nota la composizione si può risalire alla formula minima del composto.

I composti ionici sono costituiti da particelle cariche (ioni): quelle positive si chiamano cationi e quelle negative anioni. Essi hanno origine da atomi o da molecole che hanno perso o acquistato elettroni. L'unica formula possibile per un composto ionico è la formula minima.

Struttura della materia (13)

Elementi:

Metalli

Non-metalli

Gli elementi metallici danno luogo a molecole costituite da un numero molto elevato e variabile di atomi. Ciascun atomo è legato in modo equivalente a tutti gli atomi che lo circondano. la formula chimica usata è quella minima: K, Zn, Fe, Mg, ecc.

Gli elementi non metallici in genere si uniscono a formare molecole con un numero piccolo di atomi. H_2 , F_2 , P_4 , S_8 , O_2 , O_3 . I gas nobili elio, neo, argo, cripto, xeno e rado non formano molecole, essendo costituiti da atomi che non si legano tra loro.

Nella convenzione della simbologia chimica gli elementi non metallici ed i composti covalenti, con molecole oligoatomiche, vengono indicati con la formula molecolare. Negli altri casi (elementi o composti con molecole a numero molto alto di atomi, composti ionici ed elementi metallici) si impiega la formula minima.

Struttura della materia (14)

Peso atomico

- Il peso atomico di un nuclide è un numero adimensionale dato dal rapporto fra la sua massa ed un dodicesimo della massa del ^{12}C . In altre parole è il rapporto, moltiplicato per 12, fra la sua massa e quella del ^{12}C .
- Il peso atomico di un elemento è un numero adimensionale, che è la media pesata dei pesi atomici degli isotopi che costituiscono l'elemento naturale.

Peso molecolare

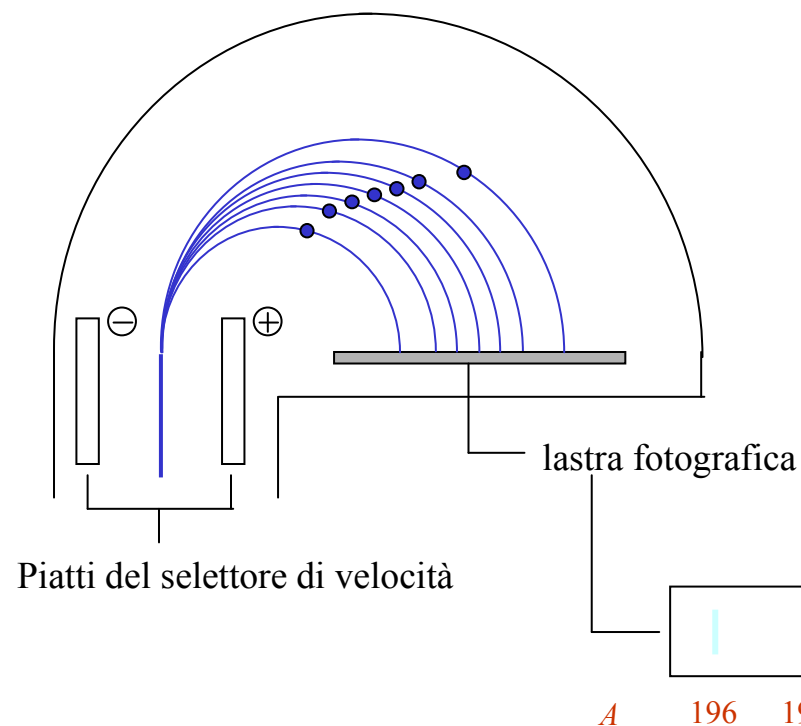
Il peso molecolare è uguale alla somma dei pesi atomici di tutti gli atomi che costituiscono la molecola.

Unità di massa atomica

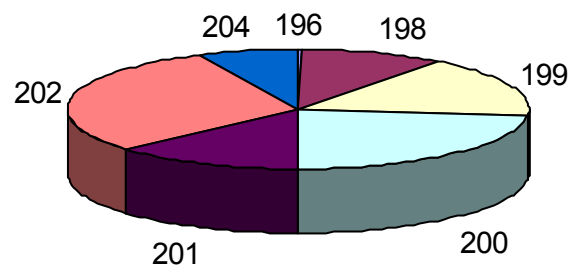
L'unità della scala dei pesi atomici e dei pesi molecolari è quindi un dodicesimo della massa del nuclide ^{12}C . Questa unità di misura, pari a $1.660\,538\,3 \cdot 10^{-27}$ kg, viene detta unità di massa atomica unificata, il cui simbolo è u .

La massa di un nuclide si può ottenere moltiplicando il suo peso atomico per l'unità di massa atomica. La massa media naturale di un atomo di un elemento (o di una molecola di un composto covalente) si può altrettanto ottenere moltiplicando il peso atomico (o il peso molecolare) per l'unità di massa atomica.

Struttura della materia (15)



Rappresentazione schematica di uno spettrometro di massa. Un fascio di ioni gassosi viene deflesso dal campo magnetico verso il rivelatore. Gli ioni leggeri sono deviati più di quelli pesanti.



Rappresentazione “a torta” dello spettro di massa di un campione di mercurio

Il punto su...

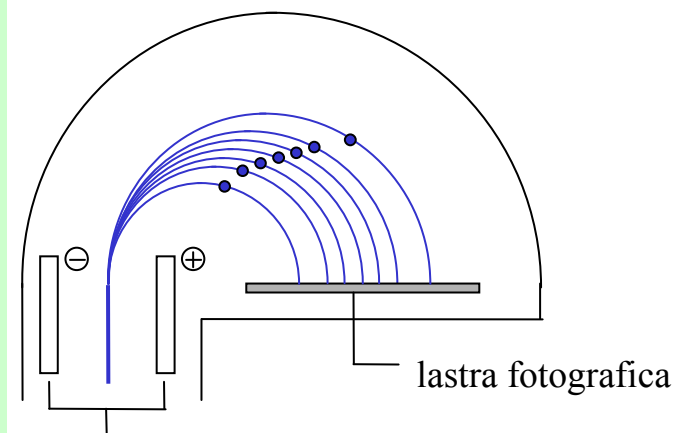
Spettrometro di massa

In questo apparecchio un fascio di ioni gassosi viene separato nei suoi componenti di massa differente un volta accelerati da un campo elettrico e deviati da un campo magnetico. Gli ioni separati vengono quindi focalizzati su uno strumento di misura che registra la loro presenza e quantità.

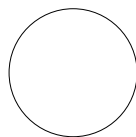
Gli ioni aventi rapporto fra massa e carica superiore sono deviati in misura minore rispetto a quelli che ce l'anno inferiore, secondo l'equazione

$$\frac{m}{q} = \frac{H^2 r^2}{2V}$$

dove H è la forza del campo magnetico, r è il raggio del percorso circolare seguito dallo ione e V è il potenziale del campo elettrico acceleratore.



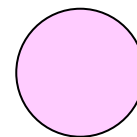
Struttura della materia (16)



^1H

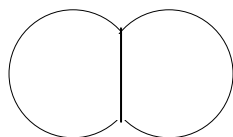
Abbondanza
naturale

0.99985



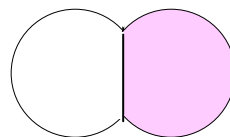
^2H

0.00015



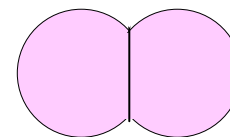
$$0.99985 \times 0.99985 =$$

0.99970



$$2 \times 0.99985 \times 0.00015 =$$

0.00030

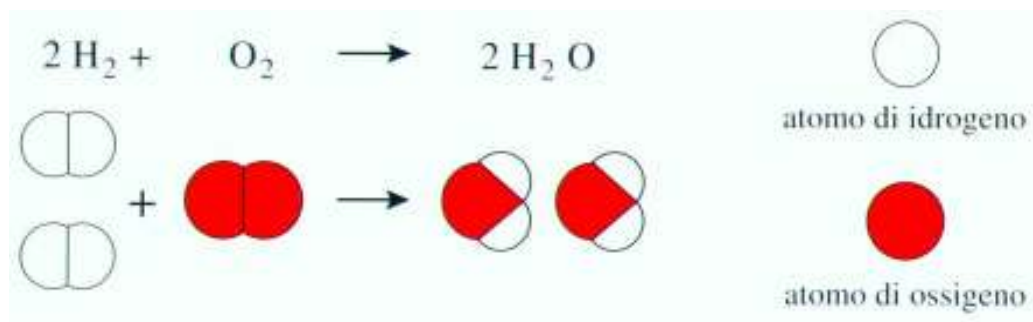


$$0.00015 \times 0.00015 =$$

0.000000022

Struttura della materia (17)

Il composto acqua può essere ottenuto facendo reagire direttamente gli elementi idrogeno ed ossigeno. Due molecole di idrogeno si combinano con una molecola di ossigeno e si formano due molecole di acqua. La reazione si indica nel seguente modo:



I numeri posti davanti a simboli e formule di reagenti e prodotti, necessari per il bilanciamento della reazione, si dicono coefficienti stechiometrici. Quindi una molecola di ossigeno reagisce con due molecole di idrogeno per dare due molecole d'acqua. Ovviamente anche n molecole di ossigeno reagiscono con $2n$ molecole di idrogeno per dare $2n$ molecole d'acqua. Cioè una certa quantità di ossigeno reagisce con una quantità doppia di idrogeno per dare una quantità doppia di acqua.

Struttura della materia (18)

Si è scelta come unità di misura della quantità di materia una quantità che è costituita da un determinato numero di particelle. L'unità di misura della quantità di materia è la **mole** ed il suo simbolo è **mol**.

La mole è la quantità di materia costituita da un numero di entità elementari uguale al numero di atomi contenuti in 12 g esatti di ^{12}C .

Il numero di entità elementari contenute in una mole di qualsiasi sostanza è chiamato **costante di Avogadro**, il cui simbolo è N_A .

$$N_A = 6.022\,141\,8 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Allora, la massa di un atomo di ^{12}C si otterrà dividendo 12 g esatti per la costante di Avogadro, e l'unità di massa atomica dividendo la massa di ^{12}C per 12. Quindi

$$u = \frac{12 \text{ g mol}^{-1}}{N_A \text{ mol}^{-1} \cdot 12} = \frac{1}{N_A} \text{ g}$$

Tornando alla reazione di formazione dell'acqua, possiamo dire che una mole di O_2 reagisce con due moli di H_2 per dare due moli di H_2O . Ovviamente anche n moli di O_2 reagiscono con $2n$ moli di H_2 per dare $2n$ moli di H_2O .

Struttura della materia (19)

La massa di una mole (massa molare) di una sostanza si può calcolare moltiplicando la massa dell'entità elementare della sostanza per la costante di Avogadro. Ad esempio, per un elemento si dovrà eseguire il prodotto del peso atomico per l'unità di massa atomica per la costante di Avogadro.

Ma esiste un procedimento più semplice. Basta considerare che il prodotto dell'unità di massa atomica per la costante di Avogadro dà esattamente 1 g mol^{-1} . Quindi per qualsiasi sostanza la massa molare, misurata in g mol^{-1} , corrisponde numericamente al peso atomico o al peso molecolare, a seconda della natura della sostanza.

Nel caso di sostanze, elementi o composti molecolari o ionici, costituite da molecole molto grandi, per le quali si ricorreva alla formula minima, la massa molare si può calcolare sommando le masse molari degli atomi che compaiono in detta formula. Non ci sono neppure problemi per calcolare la massa molare di ioni mono- o poliatomici: basta sommare le masse molari degli atomi contenuti nella formula, mentre il contributo degli elettroni in difetto o in eccesso non viene di solito considerato, in quanto trascurabile.

Struttura della materia (19)

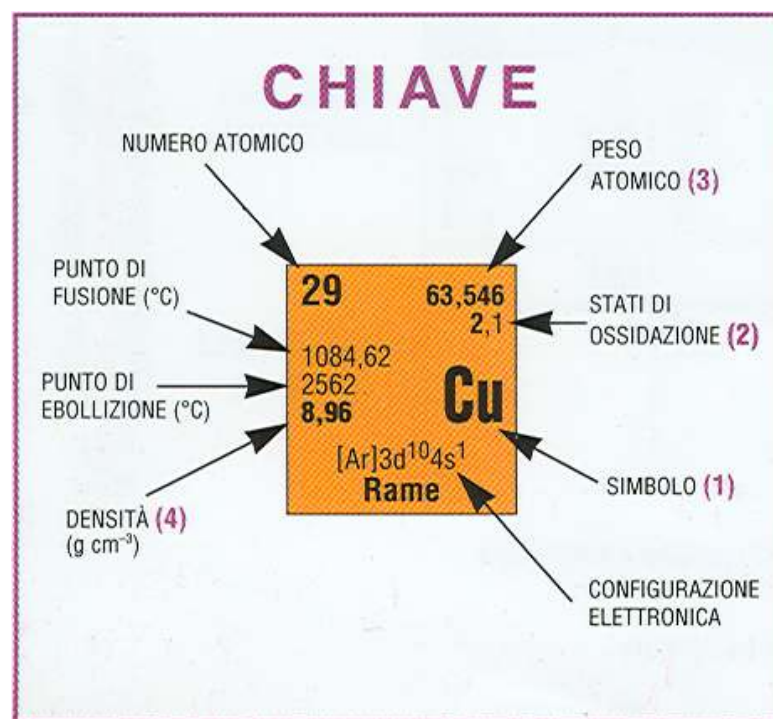
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	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
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun								

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Legend

Li Solid	Cs Liquid	Ar Gas	No Synthetic
Alkali metals	Alkali earth metals	Transition metals	Rare earth metals
Other metals	Noble gases	Halogens	Other nonmetals

Struttura della materia (20)



Struttura della materia (21)

CODATA RECOMMENDED VALUES OF THE FUNDAMENTAL PHYSICAL CONSTANTS: 2002

NIST SP 961 (Dec/2005) Values from: P. J. Mohr and B. N. Taylor, Rev. Mod. Phys. **77**, 1 (2005).

A more extensive listing of constants is available in the above references and on the NIST Physics Laboratory Web site physics.nist.gov/constants.

The number in parenthesis is the one-standard-deviation uncertainty in the last two digits of the given value.

Quantity	Symbol	Numerical value	Unit	Quantity	Symbol	Numerical value	Unit
speed of light in vacuum	c	299 792 458 (exact)	m s ⁻¹	muon g-factor $-2(1 + a_\mu)$	g_μ	$-2.002\,311\,809(12)$	
magnetic constant	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ (exact)	N A ⁻²	nucleon-proton magnetic moment ratio	μ_n/μ_p	$-3.826\,085\,43(18)$	
electric constant $1/4\pi\epsilon_0^2$	ϵ_0	$8.854\,187\,817 \times 10^{-12}$	N A ⁻²	proton mass	m_p	$1.672\,621\,71(29) \times 10^{-27}$	kg
Schrodinger constant of gravitation	G	$6.674\,06(6) \times 10^{-11}$	m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	$\ln u$		$9.187\,278\,488(88)$	u
Planck constant	h	$6.626\,0693(11) \times 10^{-34}$	J s	energy equivalent in MeV	$m_p c^2$	$938.272\,081(86)$	MeV
$\ln eV$		$4.135\,667\,42(25) \times 10^{-15}$	eV s	proton-electron mass ratio	m_p/m_e	$1836.152\,672(16)$	
$\ln eV$	\hbar	$4.135\,667\,42(25) \times 10^{-15}$	J s	proton magnetic moment	μ_p	$1.410\,608\,7(12) \times 10^{-26}$	J T ⁻¹
elementary charge	e	$1.602\,176\,53(14) \times 10^{-19}$	C	to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$	
magnetic flux quantum $h/2e$	Φ_0	$2.067\,833\,72(18) \times 10^{-15}$	Wb	proton magnetic shielding correction $1 - \mu_p^*/\mu_p$	σ_p	$25.689(15) \times 10^{-6}$	
Josephson constant $2e/h$	K_J	$480\,584\,297(61) \times 10^9$	Hz V ⁻¹	(¹ H ₂ O, sphere, 20 °C)			
von Klitzing constant $h/e^2 = \mu_0 c/2\pi$	R_K	$25\,812.907\,449(86)$	Ω	proton gyromagnetic ratio $2\pi\nu_p/h$	γ_p	$2.675\,222\,05(21) \times 10^8$	s ⁻¹ T ⁻¹
Bohr magneton $e\hbar/2m_e$	μ_B	$9.274\,010\,07(34) \times 10^{-24}$	J T ⁻¹	shielded proton gyromagnetic ratio $2\pi\nu_p^*/h$	γ_p^*	$2.675\,153\,33(23) \times 10^8$	s ⁻¹ T ⁻¹
$\ln eV$		$5.788\,381\,801(36) \times 10^{-6}$	eV T ⁻¹	(¹ H ₂ O, sphere, 25 °C)			
nuclear magneton $e\hbar/2m_p$	μ_N	$5.050\,783\,42(45) \times 10^{-27}$	J T ⁻¹	$\nu_p^*/2\pi$		$42.570\,3575(37)$	MHz T ⁻¹
$\ln eV$		$3.152\,451\,290(21) \times 10^{-8}$	eV T ⁻¹	neutron mass in u	m_n	$1.674\,926\,46(16)$	u
fine-structure constant $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	α	$7.297\,352\,569(24) \times 10^{-3}$		energy equivalent in MeV	$m_n c^2$	$939.565\,38(18)$	MeV
inverse fine-structure constant	α^{-1}	$137.035\,999(13)$		neutron-proton mass ratio	m_n/m_p	$1.001\,378\,418\,70(86)$	
Rydberg constant $\alpha^2 m_e c/2\hbar$	R_∞	$109\,737\,315.685\,25(73)$	m ⁻¹	neutron magnetic moment	μ_n	$-1.913\,262\,75(45)$	J T ⁻¹
energy equivalent in eV	$m_e c^2$	$510.998\,946(13)$	eV	to nuclear magneton ratio	μ_n/μ_N	$-1.836\,127\,36(35)$	
Bohr radius $a_0 = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/m_e e^2$	a_0	$5.291\,772\,109(18) \times 10^{-11}$	m	deuteron mass in u	m_d	$2.013\,553\,212\,70(85)$	u
Rest energy $m_e c^2/4\pi\epsilon_0\hbar c = 2\pi R_\infty\hbar c = \hbar^2 m_e c^2/e^2$	R_H	$4.359\,744\,17(75) \times 10^{-18}$	J	energy equivalent in MeV	$m_d c^2$	$1875.612\,92(18)$	MeV
$\ln eV$		$27.211\,3845(25)$	eV	deuteron-proton mass ratio	m_d/m_p	$1.999\,087\,999\,82(41)$	
electron mass	m_e	$9.109\,382\,91(10) \times 10^{-31}$	kg	deuteron magnetic moment	μ_d	$9.463\,033\,482(35) \times 10^{-27}$	J T ⁻¹
$\ln u$		$5.485\,799\,0045(24) \times 10^{-4}$	u	to nuclear magneton ratio	μ_d/μ_N	$9.657\,438\,232(82)$	
energy equivalent in MeV	$m_e c^2$	$0.510\,998\,946(13)$	MeV	deuteron ³ He nuclear mass in u	m_{dHe}	$3.344\,492\,243(58)$	u
electron-proton mass ratio	m_e/m_p	$5.446\,170\,212(25) \times 10^{-4}$		energy equivalent in MeV	$m_{dHe} c^2$	$2898.395\,42(24)$	MeV
electron charge to mass quotient	$-e/m_e$	$-1.758\,820\,12(13) \times 10^{14}$	C kg ⁻¹	shielded deuteron magnetic moment	μ_d^*	$-1.074\,530\,022(90) \times 10^{-26}$	J T ⁻¹
Compton wavelength $h/m_e c$	λ_C	$2.426\,310\,278(10) \times 10^{-12}$	m	(gas, sphere, 25 °C)			
$\lambda_C/2\pi = \hbar/m_e c = \alpha^2/2\pi R_\infty$	λ_C	$386.209\,207(20) \times 10^{-15}$	m	to Bohr magneton ratio	μ_d^*/μ_B	$-1.558\,671\,672(14) \times 10^{-3}$	
classical electron radius $\alpha^2 a_0$	r_e	$2.817\,940\,325(28) \times 10^{-15}$	m	to nuclear magneton ratio	μ_d^*/μ_N	$-2.527\,497\,725(25)$	
Thomson cross section $(8\pi/3)r_e^2$	σ_T	$6.652\,461\,65(12) \times 10^{-28}$	m ²	alpha particle mass in u	m_α	$4.001\,506\,179\,148(96)$	u
electron magnetic moment	μ_B	$-9.274\,010\,07(34) \times 10^{-24}$	J T ⁻¹	energy equivalent in MeV	$m_\alpha c^2$	$3727.379\,17(32)$	MeV
to Bohr magneton ratio	μ_B/μ_N	$-1.836\,127\,36(35)$		Avogadro constant	N_A	$6.022\,141\,7(10) \times 10^{23}$	mol ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_B/μ_N	$-1.836\,127\,36(35)$		atomic mass constant $\frac{1}{12} m(^{12}\text{C}) = 1\text{ u}$	m_u	$1.660\,538\,92(24) \times 10^{-27}$	kg
electron magnetic moment anomaly $(\mu_B/\mu_N) - 1$	a_e	$1.159\,652\,188(16) \times 10^{-4}$		energy equivalent in MeV	$m_u c^2$	$938.272\,081(86)$	MeV
electron g-factor $-2(1 + a_e)$	g_e	$-2.002\,311\,809(12)$		Stefan-Boltzmann constant $\pi^2 k^4/60\hbar^3 c^2$	F	$5.670\,374(11) \times 10^{-8}$	W m ⁻² K ⁻⁴
electron-proton magnetic moment ratio	μ_e/μ_p	$-1836.152\,672(16)$		Planck constant h	h	$6.626\,0693(11) \times 10^{-34}$	J s
nucleon mass in u	m_p	$1.672\,621\,71(29) \times 10^{-27}$	kg	molar volume of ideal gas RT/p	V_m	$22.414\,186(18) \times 10^{-3}$	m ³ mol ⁻¹
energy equivalent in MeV	$m_p c^2$	$938.272\,081(86)$	MeV	($T = 273.15\text{ K}$, $p = 101.325\text{ kPa}$)			
proton-electron mass ratio	m_p/m_e	$1836.152\,672(16)$		Stefan-Boltzmann constant $\pi^2 k^4/60\hbar^3 c^2$	σ	$5.670\,374(11) \times 10^{-8}$	W m ⁻² K ⁻⁴
proton magnetic moment	μ_p	$1.410\,608\,7(12) \times 10^{-26}$	J T ⁻¹	Planck radiation constant $2\pi\hbar c^2$	c_1	$3.741\,771\,54(4) \times 10^{-16}$	W m ³ K ⁻⁴
to Bohr magneton ratio	μ_p/μ_B	$1.836\,127\,36(35)$		second radiation constant hc/k	c_2	$1.438\,775\,2(25) \times 10^{-2}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Wien displacement law constant	b	$2.897\,7685(15) \times 10^{-3}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		$\ln eV$		$9.101\,734(15) \times 10^{-4}$	eV K ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		ideal volume of ideal gas RT/p		$22.414\,186(18) \times 10^{-3}$	m ³ mol ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		($T = 273.15\text{ K}$, $p = 101.325\text{ kPa}$)			
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Stefan-Boltzmann constant $\pi^2 k^4/60\hbar^3 c^2$	σ	$5.670\,374(11) \times 10^{-8}$	W m ⁻² K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Planck radiation constant $2\pi\hbar c^2$	c_1	$3.741\,771\,54(4) \times 10^{-16}$	W m ³ K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		second radiation constant hc/k	c_2	$1.438\,775\,2(25) \times 10^{-2}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Wien displacement law constant	b	$2.897\,7685(15) \times 10^{-3}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		$\ln eV$		$9.101\,734(15) \times 10^{-4}$	eV K ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		ideal volume of ideal gas RT/p		$22.414\,186(18) \times 10^{-3}$	m ³ mol ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		($T = 273.15\text{ K}$, $p = 101.325\text{ kPa}$)			
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Stefan-Boltzmann constant $\pi^2 k^4/60\hbar^3 c^2$	σ	$5.670\,374(11) \times 10^{-8}$	W m ⁻² K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Planck radiation constant $2\pi\hbar c^2$	c_1	$3.741\,771\,54(4) \times 10^{-16}$	W m ³ K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		second radiation constant hc/k	c_2	$1.438\,775\,2(25) \times 10^{-2}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Wien displacement law constant	b	$2.897\,7685(15) \times 10^{-3}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		$\ln eV$		$9.101\,734(15) \times 10^{-4}$	eV K ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		ideal volume of ideal gas RT/p		$22.414\,186(18) \times 10^{-3}$	m ³ mol ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		($T = 273.15\text{ K}$, $p = 101.325\text{ kPa}$)			
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Stefan-Boltzmann constant $\pi^2 k^4/60\hbar^3 c^2$	σ	$5.670\,374(11) \times 10^{-8}$	W m ⁻² K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Planck radiation constant $2\pi\hbar c^2$	c_1	$3.741\,771\,54(4) \times 10^{-16}$	W m ³ K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		second radiation constant hc/k	c_2	$1.438\,775\,2(25) \times 10^{-2}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Wien displacement law constant	b	$2.897\,7685(15) \times 10^{-3}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		$\ln eV$		$9.101\,734(15) \times 10^{-4}$	eV K ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		ideal volume of ideal gas RT/p		$22.414\,186(18) \times 10^{-3}$	m ³ mol ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		($T = 273.15\text{ K}$, $p = 101.325\text{ kPa}$)			
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Stefan-Boltzmann constant $\pi^2 k^4/60\hbar^3 c^2$	σ	$5.670\,374(11) \times 10^{-8}$	W m ⁻² K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Planck radiation constant $2\pi\hbar c^2$	c_1	$3.741\,771\,54(4) \times 10^{-16}$	W m ³ K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		second radiation constant hc/k	c_2	$1.438\,775\,2(25) \times 10^{-2}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Wien displacement law constant	b	$2.897\,7685(15) \times 10^{-3}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		$\ln eV$		$9.101\,734(15) \times 10^{-4}$	eV K ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		ideal volume of ideal gas RT/p		$22.414\,186(18) \times 10^{-3}$	m ³ mol ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		($T = 273.15\text{ K}$, $p = 101.325\text{ kPa}$)			
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Stefan-Boltzmann constant $\pi^2 k^4/60\hbar^3 c^2$	σ	$5.670\,374(11) \times 10^{-8}$	W m ⁻² K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Planck radiation constant $2\pi\hbar c^2$	c_1	$3.741\,771\,54(4) \times 10^{-16}$	W m ³ K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		second radiation constant hc/k	c_2	$1.438\,775\,2(25) \times 10^{-2}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Wien displacement law constant	b	$2.897\,7685(15) \times 10^{-3}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		$\ln eV$		$9.101\,734(15) \times 10^{-4}$	eV K ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		ideal volume of ideal gas RT/p		$22.414\,186(18) \times 10^{-3}$	m ³ mol ⁻¹
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		($T = 273.15\text{ K}$, $p = 101.325\text{ kPa}$)			
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Stefan-Boltzmann constant $\pi^2 k^4/60\hbar^3 c^2$	σ	$5.670\,374(11) \times 10^{-8}$	W m ⁻² K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Planck radiation constant $2\pi\hbar c^2$	c_1	$3.741\,771\,54(4) \times 10^{-16}$	W m ³ K ⁻⁴
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		second radiation constant hc/k	c_2	$1.438\,775\,2(25) \times 10^{-2}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ_N	$1.762\,847\,35(28)$		Wien displacement law constant	b	$2.897\,7685(15) \times 10^{-3}$	m K
to nuclear magneton ratio	μ_p/μ						

Struttura della materia (22)

Approfondimenti:

Calcolo di pesi atomici

Calcolo di pesi molecolari

Calcolo di masse molari

Calcolo della massa molare del ^{12}C ed osservazione del difetto di massa

Calcolo della quantità di sostanza in un campione

Calcolo della composizione elementare di un composto

Calcolo della formula chimica di un composto

Reazioni e calcoli stechiometrici.