

Manuale di Stechiometria

Una guida ragionata alla comprensione
degli aspetti fondamentali e quantitativi
della Chimica Generale

DONATO MONTI

MANUELA STEFANELLI

ELISA VIOLA

Manuale di Stechiometria

Una guida ragionata alla comprensione
degli aspetti fondamentali e quantitativi
della Chimica Generale

PICCIN

Opera coperta dal diritto d'autore - Tutti i diritti sono riservati, inclusi quelli relativi a TDM (text and data mining), al training dell'intelligenza artificiale e/o di tecnologie similari.

Questo testo contiene materiale, testi ed immagini, coperto da copyright e non può essere copiato, riprodotto, distribuito, trasferito, noleggiato, licenziato o trasmesso in pubblico, venduto, prestato a terzi, in tutto o in parte, o utilizzato in alcun altro modo, compreso l'uso per TDM, training dell'intelligenza artificiale e/o tecnologie similari, o altrimenti diffuso, se non previa espressa autorizzazione dell'Editore. Qualsiasi distribuzione o fruizione non autorizzata del presente testo, così come l'alterazione delle informazioni elettroniche, costituisce una violazione dei diritti dell'Editore e dell'Autore e sarà sanzionata civilmente e penalmente secondo quanto previsto dalla L. 633/1941 e ss.mm.

AVVERTENZA

Molte delle sostanze e delle reazioni chimiche descritte o rappresentate in questo libro sono pericolose. Non tentate alcun esperimento illustrato nel testo, a meno che non vi troviate in un laboratorio adeguato e sotto supervisione di un esperto.

Poiché le scienze sono in continua evoluzione, l'Editore non si assume alcuna responsabilità per qualsiasi lesione e/o danno dovesse venire arrecato a persone o beni per negligenza o altro, oppure uso od operazioni di qualsiasi metodo, prodotto, istruzione o idea contenuto in questo libro. L'Editore raccomanda soprattutto la verifica autonoma della diagnosi e del dosaggio dei medicinali, attenendosi alle istruzioni per l'uso e controindicazioni contenute nel foglietto illustrativo.

Il nome di società o prodotti commerciali può corrispondere a ragioni sociali, marchi o marchi registrati ed è utilizzato esclusivamente per l'identificazione da parte del lettore e per la spiegazione dei concetti e dei case studies senza alcun intento pubblicitario o di utilizzo in violazione alla normativa vigente.

ISBN 978-88-299-3568-0

Copyright © 2025 by Piccin Nuova Libreria S.p.A., Padova

www.piccin.it

Autori

Donato Monti

Professore Associato di Chimica Generale e Inorganica
Dipartimento di Chimica
Sapienza Università di Roma

Manuela Stefanelli

Professoressa Associata di Fondamenti Chimici delle Tecnologie
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche
Università degli Studi di Roma Tor Vergata

Elisa Viola

Professoressa Associata di Chimica Generale e Inorganica
Dipartimento di Chimica
Sapienza Università di Roma

Prefazione

Questo lavoro nella intenzione degli Autori nasce da un'idea di "libro di stechiometria" inteso come parte integrante del bagaglio culturale che uno studente dovrebbe acquisire nei primi anni del suo percorso di formazione scientifica, che consideri questa materia non come un corpus a sé stante disgiunto dallo studio della teoria, ma come un sinergico mezzo di grande rilevanza didattica per la comprensione e l'approfondimento della Chimica Generale.

Il libro è suddiviso in diversi capitoli che coprono tutti gli argomenti compresi in un classico corso di Chimica Generale svolto al primo anno dei Corsi di Laurea in Chimica, Chimica Farmaceutica, Scienze Biologiche, Scienze Naturali, Medicina, Ingegneria e Scienza dei Materiali. Ogni capitolo è introdotto da una concisa ma esaustiva parte teorica che offre un fondamentale supporto di conoscenze di base al tema di volta in volta affrontato. Questo è particolarmente evidente nei capitoli dedicati alla termodinamica e gli equilibri in fase gassosa, o, ad esempio, nel caso degli equilibri acido-base in soluzione acquosa, in cui è presente una sezione dedicata alla relazione tra struttura molecolare e forza acida o basica.

L'organizzazione del presente testo, ancora una volta nella intenzione degli Autori, è volta al livellamento delle differenze di "bagaglio culturale chimico" posseduto dagli studenti iscritti al primo anno di un Corso di Laurea di tipo tecnico-scientifico, spesso originato dalla disomogeneità del livello di insegnamento di questa disciplina, a causa dei differenti programmi svolti nei diversi indirizzi della Scuola Secondaria Superiore.

Nel primo capitolo vengono illustrati alcuni concetti di base, come le unità di misura, le costanti fondamentali e i loro valori, i rudimenti della teoria degli errori e l'uso delle cifre significative nei calcoli. Il successivo capitolo riguarda la nomenclatura chimica, il bilanciamento delle reazioni chimiche e i relativi calcoli stechiometrici. Nel Capitolo 3 sono descritti i numeri di ossidazione e le reazioni di ossido riduzione. Le leggi dei gas ideali sono riportate nel Capitolo 4, mentre nel Capitolo 5 sono discusse le proprietà delle soluzioni e i calcoli di concentrazione. Nel Capitolo 6 sono affrontate le basi della termodinamica e gli equilibri in fase gassosa (omogenea ed eterogenea), mentre i conseguenti equilibri acido-base e di solubilità in mezzo acquoso sono affrontati nei successivi Capitoli 7 e 8, rispettivamente. L'elettrochimica (pile ed elettrolisi) e le proprietà colligative delle soluzioni sono discusse nei restanti Capitoli 9 e 10. Abbiamo operato la scelta di non inserire esercizi che riguardano argomenti come ad esempio la cinetica chimica che, sebbene non di minore importanza, viene spesso trattata velocemente durante le frenetiche e affannate ore finali dei corsi.

Il testo è accompagnato da esempi svolti che partono da esercizi di livello di base fino ad esempi più complessi, diversi dei quali di tipo applicativo. Sono presenti un gran numero di esercizi il cui svolgimento è affidato allo studente e la cui soluzione è rimandata alla sezione online del testo. Le soluzioni degli esercizi proposti sono corredate da continui richiami alla teoria e sono svolte in modo critico e dettagliato, offrendo in molti casi vie alternative per il rag-

giungimento del risultato, aspetto ritenuto dagli Autori fondamentale e spesso non considerato a causa del poco tempo che viene concesso ai docenti.

Gli esercizi di maggiore complessità rappresentano il condensato di un gran numero di prove di esame e di prove in itinere che hanno beneficiato del gradito e necessario riscontro avuto negli anni dagli studenti iscritti ai Corsi di Laurea in Chimica delle Università dove gli autori hanno acquisito una più che ventennale esperienza di insegnamento e ricerca. In diversi casi, a causa delle diverse fonti a cui negli anni si è attinto, alcuni dati forniti nei problemi come ad esempio i valori delle costanti di equilibrio acido-base o di solubilità, possono variare leggermente. Questo naturalmente non inficia in alcun modo la correttezza della risoluzione degli esercizi e la conseguente validità didattica.

Un sentito augurio è rivolto agli studenti che iniziano il loro percorso universitario, con la speranza e la consapevolezza che questo volume possa essere loro non solo di aiuto nell'apprendimento, ma anche di incoraggiamento, di stimolo alla curiosità e all'approfondimento delle discipline che nel futuro verranno affrontate.

Un sincero ringraziamento andrà inoltre a chi, adottando questo "manuale operativo", farà avere i propri commenti per il miglioramento del lavoro svolto e a chi comunicherà gli inevitabili errori presenti nel testo.

DEDICA

A Patryk, Davide e agli altri amici del pub "TB&B" per i lunghi pomeriggi di squisita ospitalità, dedicati alla stesura di questo libro in compagnia di ottimi e corroboranti boccali di birra e sigari toscani.

DM

Indice generale

Capitolo 1	Il Sistema Internazionale delle unità di misura, cenni di teoria degli errori, il concetto di mole e applicazioni	1
	1.1 Sistema internazionale delle unità di misura (SI)	1
	1.2 Incertezza sulle misure e cifre significative	3
	1.3 Le cifre significative e il loro uso nelle operazioni matematiche	5
	1.4 Elementi, atomi, composti e formule chimiche	6
	1.5 Il concetto di massa atomica, massa molecolare e mole	7
	Esercizi	11
Capitolo 2	Nomenclatura chimica, reazioni chimiche e loro bilanciamento	13
	2.1 Nomenclatura chimica	13
	2.2 Le reazioni chimiche: stechiometria e bilanciamento di reazioni, reagente limitante, resa di reazione (percentuale di conversione)	22
	Esercizi	34
Capitolo 3	Reazioni di ossidoriduzione e loro bilanciamento	37
	3.1 Reazioni di ossidoriduzione: bilanciamento e applicazioni	37
	Esercizi	48
Capitolo 4	Lo stato gassoso della materia, le leggi dei gas e loro applicazioni	53
	4.1 Lo stato gassoso della materia e le leggi dei gas	53
	4.2 Miscele di gas ideali e legge di Dalton	56
	4.3 Densità dei sistemi gassosi e massa molare media	59
	4.4 Reazioni di combustione di idrocarburi	60
	Esercizi	63
Capitolo 5	Le soluzioni	67
	5.1 Le soluzioni	67
	5.2 Concentrazione delle soluzioni	67
	Esercizi	75
Capitolo 6	Termodinamica ed equilibrio chimico	77
	6.1 Introduzione	77
	6.2 Il Primo principio della Termodinamica	79
	6.3 Il Secondo Principio della Termodinamica: le funzioni di stato entropia ed energia libera	89
	6.4 Perturbazione dello stato di equilibrio di una reazione chimica	111
	Esercizi	123

Capitolo 7	Gli equilibri di trasferimento protonico in soluzione acquosa	135
	7.1 Reazioni Acido-Base. Introduzione	135
	7.2 Relazione tra struttura e comportamento acido-base	136
	7.3 Equilibri acido-base in soluzione acquosa	139
	Esercizi	206
Capitolo 8	Gli equilibri di solubilità di specie ioniche in soluzione acquosa	215
	8.1 Equilibri di solubilità di specie ioniche	215
	Esercizi	235
Capitolo 9	Elettrochimica, potenziali elettrodi, pile ed elettrolisi	241
	9.1 Elettrochimica: potenziali elettrodi e pile	241
	9.2 Esempi di elettrodi e loro applicazioni	244
	9.3 Applicazioni di misure elettrochimiche	247
	9.4 Celle galvaniche o pile	257
	9.5 Elettrolisi	276
	Esercizi	279
Capitolo 10	Equilibri nelle trasformazioni fisiche e proprietà colligative delle soluzioni	291
	10.1 Il passaggio di stato liquido-vapore; la tensione di vapore	291
	10.2 Proprietà colligative delle soluzioni ideali	294
	Esercizi	307
	Soluzione degli esercizi proposti	315
Appendice 1	Masse dei nuclidi e delle abbondanze relative dei principali isotopi degli elementi presenti in natura	515
Appendice 2	Unità di misura	525
Appendice 3	Dati termodinamici standard a 298.15 K	529
Appendice 4	Costanti di dissociazione di acidi e di basi	539
Appendice 5	Prodotti di solubilità	543
Appendice 6	Potenziali standard di riduzione	547
Appendice 7	Masse atomiche	553