

## Sommario del capitolo

### Concetti chiave

- Correlazione tra lunghezza d'onda, frequenza ed energia. (Esempi 6.1, 6.2; Problemi 1-8, 61-63)
- Uso del modello di Bohr per identificare le righe nello spettro dell'idrogeno. (Esempio 6.3; Problemi 9-16)
- Identificazione dei numeri quantici degli elettroni negli atomi. (Esempio 6.4; Problemi 17-22, 27, 28)
- Ricavare la capacità elettronica dei livelli energetici. (Esempio 6.5; Problemi 23-26)
- Scrittura delle configurazioni elettroniche degli atomi e degli ioni. (Esempi 6.6, 6.7, 6.9; Problemi 29-38, 49, 50)
- Scrittura dei diagrammi orbitalici per gli atomi e gli ioni. (Esempio 6.8; Problemi 39-52)
- Identificazione degli andamenti periodici dei raggi, energia di ionizzazione ed elettronegatività. (Esempi 6.10, 6.11; Problemi 53-60)

### Equazioni chiave

Frequenza-lunghezza d'onda  $\lambda\nu = c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$  (Sezione 6.1)

Energia-frequenza  $E = h\nu = hc/\lambda$ ;  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  (Sezione 6.1)

Modello di Bohr  $E_n = -R_H/n^2$ ;  $R_H = 2.180 \times 10^{-18} \text{ J}$  (Sezione 6.2)

$$\nu = \frac{R_H}{h} \left[ \frac{1}{(n_b)^2} - \frac{1}{(n_a)^2} \right] \text{ (Sezione 6.3)}$$

Numeri quantici  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$  (Sezione 6.3)

$\ell = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$  (Sezione 6.3)

$m_\ell = \ell, \dots, +1, 0, -1, \dots, -\ell$  (Sezione 6.3)

$m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$  (Sezione 6.3)

### Termini chiave

attinide	orbitale atomico (s, p, d, f)	sottolivello (s, p, d, f)
configurazione elettronica	principio di esclusione di Pauli	spettro
- abbreviata	raggio atomico	spin elettronico
diagramma orbitalico	raggio ionico	stato eccitato
elettronegatività	regola di Hund	stato fondamentale
energia di ionizzazione		
	atomo	
	frequenza	
	lantanide	
	livello energetico	
	lunghezza d'onda	
	numero quantico	

### Problema riassuntivo

- Consideriamo l'elemento vanadio ( $Z = 23$ ).
- (a) C'è una linea nello spettro del vanadio a 318.5 nm.
- In quale regione dello spettro (ultravioletto, visibile o infrarosso) si trova?
  - Quale è la frequenza della linea?
  - Quale è la differenza di energia tra i due livelli responsabili di questa linea, in kJ/mol?
  - L'energia di ionizzazione del vanadio dallo stato fondamentale è 650.2 kJ/mol. Supponiamo che la transizione in (a) sia dallo stato fondamentale ad uno stato eccitato. Se è così, calcolate l'energia di ionizzazione dallo stato eccitato.
- (b) Scrivete la configurazione elettronica dell'atomo di V; dello ione  $V^{3+}$ .
- (c) Scrivete il diagramma orbitalico (oltre Ar) di V e  $V^{3+}$ .
- (d) Quanti elettroni spaiati ci sono nell'atomo di V? Nello ione  $V^{3+}$ ?
- (e) Quanti elettroni in V hanno numero quantico  $\ell = 1$ ?
- (f) Quanti elettroni in  $V^{3+}$  hanno numero quantico  $\ell = 2$ ?
- (g) Ordina V,  $V^{2+}$  e  $V^{3+}$  per dimensione crescente.

### Problema riassuntivo - continuazione

#### Risposte

- (a) (1) ultravioletto; (2)  $9.413 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ ; (3) 376 kJ/mol; (4) 274 kJ/mol
- (b)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^3$ ;  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2$
- (c)
- |            |      |           |     |     |     |     |
|------------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|
|            | 4s   | 3d        |     |     |     |     |
| V:         | (↑↓) | (↑)(↑)(↑) | (↑) | (↑) | (↑) | (↑) |
| $V^{3+}$ : | ( )  | (↑)(↑)(↑) | ( ) | ( ) | ( ) | ( ) |
- (d) 3; 2 (e) 12 (f) 2 (g)  $V^{3+} < V^{2+} < V$

### Quesiti e problemi

I problemi con i numeri in blu indicano che le risposte sono disponibili nell'Appendice 6 alla fine del libro.

#### Energia lunghezza d'onda e frequenza

1. Un fotone di luce violetta ha una lunghezza d'onda di 423 nm. Calcolate
- la frequenza.
  - l'energia in joule per fotone.
  - l'energia in kilojoule per mole.

2. La risonanza magnetica per immagini (MRI) è un potente strumento diagnostico usato in medicina. Gli strumenti usati negli ospedali lavorano ad una frequenza di  $4.00 \cdot 10^2 \text{ MHz}$  ( $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ). Calcolate

- la lunghezza d'onda.
  - l'energia in joule per mole.
  - l'energia in kilojoule per mole.
3. Una riga nello spettro del neon ha una lunghezza d'onda di 837.8 nm.
- In che intervallo spettrale avviene l'assorbimento?
  - Calcolate la frequenza di questo assorbimento.
  - Quale è l'energia in kilojoule per mole?

4. Il biossido di carbonio assorbe energia ad una lunghezza d'onda di 1498 nm.

- In che intervallo spettrale avviene l'assorbimento?
- Calcolate la frequenza di questo assorbimento.
- Qual è l'energia assorbita per fotone?

5. L'energia di ionizzazione del rubidio è 403 kJ/mol. I raggi-X con una lunghezza d'onda di 85 nm hanno sufficiente energia per ionizzare il rubidio?

6. L'energia di una radiazione può provocare la rottura di legami chimici. Per rompere il legame azoto-azoto in  $N_2$  gassoso, occorrono 941 kJ/mol.

- Calcolate la lunghezza d'onda della radiazione in grado di rompere questo legame.
- In che intervallo spettrale cade la radiazione?

7. I forni a microonde scaldano i cibi a causa dell'energia emessa dalle microonde. Queste microonde hanno una lunghezza d'onda di  $5.00 \times 10^6 \text{ nm}$ .

- Quanta energia in kilojoule viene emessa da un forno a microonde?
- Confrontate l'energia ottenuta in (a) con quella emessa dai raggi ultravioletti ( $\lambda = 100 \text{ nm}$ ) provenienti dal sole che assorbite quando cercate di abbronzarvi.

8. Un lettore di codici a barre di un supermercato è un laser a He-Ne, che ha una lunghezza d'onda di 633 nm. Nella "lettura" dei codici a barre sono rilasciati 12 kJ di energia: quanti fotoni vengono emessi?

#### Il modello di Bohr dell'atomo di idrogeno

9. Considerate la transizione dal livello energetico  $n = 4$  a quello con  $n = 2$ .

- Qual è la frequenza associata a questa transizione?
- In che regione spettrale avviene questa transizione?
- Viene assorbita energia?

10. Considerate la transizione dai livelli energetici  $n = 1$  a  $n = 3$ .
- Qual è la lunghezza d'onda associata a questa transizione?
  - In che regione spettrale avviene questa transizione?
  - Si ha assorbimento di energia?

11. Secondo il modello di Bohr, il raggio di un'orbita circolare è dato dall'equazione

$$r(\text{in nm}) = 0.0529 n^2$$

Disegnate orbite successive per l'elettrone dell'atomo di idrogeno con  $n = 1, 2, 3$  e 4. Indicate con delle frecce le transizioni tra le orbite che portano alle righe nella serie

- di Lyman ( $n_{ba} = 1$ ).
- di Balmer ( $n_{ba} = 2$ ).

12. Calcolate  $E_n$  per  $n = 1, 2, 3$  e 4 ( $R_H = 2.180 \times 10^{-18} \text{ J}$ ). Disegnate un grafico che mostri su un asse verticale l'aumento di energia, per valori differenti di  $n$ . Su questo grafico, indicate con frecce le transizioni nelle serie

- di Lyman ( $n_{ba} = 1$ ).
- di Balmer ( $n_{ba} = 2$ ).

13. Per la serie Pfund  $n_{ba} = 5$ .

- Calcolate la lunghezza in nanometri di una transizione da  $n = 7$  a  $n = 5$ .
- In che regione dello spettro compaiono queste righe?

14. Le righe della serie di Brackett nello spettro atomico dell'idrogeno sono dovute alle transizioni da  $n > 4$  a  $n = 4$ .

- Calcolate la lunghezza d'onda, in nanometri, di una riga di questa serie risultante dalla transizione da  $n = 5$  a  $n = 4$ .
- In che regione dello spettro compaiono queste righe?

15. Una riga nella serie di Lyman ( $n_{ba} = 1$ ) cade a 97.23 nm. Calcolate la  $n_{al}$  della transizione associata con questa riga.

16. Nella serie di Paschen,  $n_{ba} = 3$ . Calcolate la più lunga lunghezza d'onda possibile per una transizione in questa serie.

#### Livelli energetici, sottolivelli e numeri quantici

17. Quali sono i possibili valori  $m_\ell$  per
- il sottolivello d?
  - il sottolivello s?
  - tutti i sottolivelli dove  $n = 2$ ?

18. Quali sono i possibili valori  $m_\ell$  per
- il sottolivello p?
  - il sottolivello f?
  - tutti i sottolivelli dove  $n = 3$ ?

19. Per le seguenti coppie di orbitali, indicate quale ha l'energia più bassa in un atomo multielettronico.

- 3d o 4s
- 4f o 3d
- 2s o 2p
- 4f o 4d

20. Per le seguenti coppie di orbitali, indicate quale ha l'energia più alta in un atomo multielettronico.

- (a) 3s o 2p (b) 4s o 4d  
(c) 4f o 6s (d) 1s o 2s

21. Che tipo di orbitale elettronico (cioè, s, p, d, f) è indicato da

- (a)  $n = 3, \ell = 2, m_\ell = -1$ ?  
(b)  $n = 6, \ell = 3, m_\ell = 2$ ?  
(c)  $n = 4, \ell = 3, m_\ell = 3$ ?

22. Che tipo di orbitale elettronico (cioè, s, p, d, f) è indicato da

- (a)  $n = 2, \ell = 1, m_\ell = -1$ ?  
(b)  $n = 1, \ell = 0, m_\ell = 0$ ?  
(c)  $n = 5, \ell = 2, m_\ell = 2$ ?

23. Stabilite la capacità totale per gli elettroni in

- (a)  $n = 4$ .  
(b) un sottolivello 3s.  
(c) un sottolivello d.  
(d) un orbitale p.

24. Stabilite il numero di orbitali che ci sono in

- (a)  $n = 3$   
(c) un sottolivello 4p  
(b) un sottolivello f  
(d) un sottolivello d

25. Quanti elettroni in un atomo possono avere ognuna delle seguenti terne di numeri quantici?

- (a)  $n = 2, \ell = 1, m_\ell = 0$   
(b)  $n = 2, \ell = 1, m_\ell = -1$   
(c)  $n = 3, \ell = 1, m_\ell = 0, m_s = +1/2$

26. Quanti elettroni in un atomo possono avere ognuna delle seguenti terne di numeri quantici?

- (a)  $n = 1, \ell = 0, m_\ell = 0$   
(b)  $n = 5, \ell = 3, m_\ell = +2$   
(c)  $n = 3, \ell = 2$

27. Dati i seguenti gruppi di numeri quantici dell'elettrone, indicate quelli che non si possono verificare e spiegate il perché.

- (a) 3, 0, 0,  $-\frac{1}{2}$   
(b) 2, 2, 1,  $-\frac{1}{2}$   
(c) 3, 2, 1,  $+\frac{1}{2}$   
(d) 3, 1, 1,  $+\frac{1}{2}$   
(e) 4, 2, -2, 0

28. Dati i seguenti gruppi di numeri quantici dell'elettrone, indicate quelli che non si possono verificare e spiegate il perché.

- (a) 1, 0, 0,  $-\frac{1}{2}$   
(b) 1, 1, 0,  $+\frac{1}{2}$   
(c) 3, 2, -2,  $+\frac{1}{2}$   
(d) 2, 1, 2,  $+\frac{1}{2}$   
(e) 4, 0, 2,  $+\frac{1}{2}$

29. Scrivete la configurazione elettronica allo stato fondamentale per

- (a) N (b) Na (c) Ne (d) Ni (e) Si

30. Scrivete la configurazione elettronica allo stato fondamentale per

- (a) B (b) Ba (c) Be (d) Bi (e) Br

31. Scrivete la configurazione elettronica abbreviata allo stato fondamentale per

- (a) P (b) As (c) Sn (d) Zr (e) Al

32. Scrivete la configurazione elettronica abbreviata allo stato fondamentale per

- (a) Os (b) Mg (c) Ge (d) V (e) At

33. Indicate il simbolo dell'elemento con il numero atomico più basso il cui stato fondamentale ha

- (a) un elettrone p.  
(b) quattro elettroni f.  
(c) un sottolivello d completo.  
(d) sei elettroni s.

34. Indicate il simbolo dell'elemento con il numero atomico più basso il cui stato fondamentale ha

- (a) un sottolivello f completo.  
(b) 20 elettroni p.  
(c) due elettroni 4p.  
(d) cinque elettroni 5p.

35. Che frazione del numero totale di elettroni è contenuta nei sottolivelli d in

- (a) C (b) Cl (c) Co

36. Che frazione del numero totale di elettroni è contenuta nei sottolivelli p in

- (a) Mg (b) Mn (c) Mo

37. Quale delle seguenti configurazioni elettroniche sono per atomi allo stato fondamentale? Allo stato eccitato? Quali sono impossibili?

- (a)  $1s^2 2s^2 2p^1$   
(b)  $1s^2 1p^1 2s^1$   
(c)  $1s^2 2s^2 2p^3 3s^1$   
(d)  $1s^2 2s^2 2p^6 3d^1$   
(e)  $1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$

38. Quale delle seguenti configurazioni elettroniche sono per atomi allo stato fondamentale? Allo stato eccitato? Quali sono impossibili?

- (a)  $1s^2 2p^1$   
(b)  $1s^2 2s^2 2p^4$   
(c)  $1s^2 2s^2 2p^5 3d^1$   
(d)  $1s^2 2s^2 2p^7 3s^2$   
(e)  $1s^2 2s^2 2p^6 4s^1 3d^{11}$

### Diagrammi orbitalici; regola di Hund

39. Indicate i diagrammi orbitalici di

- (a) Li (b) P (c) F (d) Fe

40. Indicate i diagrammi orbitalici di

- (a) Na (b) O (c) Co (d) Cl

41. Indicate il simbolo dell'atomo con il seguente diagramma orbitalico oltre l'argon.

- |                            |  |                                  |
|----------------------------|--|----------------------------------|
| 4s                         | 3d   | 4p                               |
| (a) $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)(\uparrow)(\uparrow)$                     | $(\uparrow)(\uparrow)(\uparrow)$ |
| (b) $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)(\uparrow)(\uparrow)(\uparrow)(\uparrow)$                     | $(\uparrow)(\uparrow)(\uparrow)$ |
| (c) $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow)(\uparrow)(\uparrow)$ |

42. Indicate il simbolo dell'atomo con il seguente diagramma orbitalico

- |                            |                        |  |                        |                                  |
|----------------------------|------------------------|--|------------------------|----------------------------------|
| 1s                         | 2s                     | 2p   | 3s                     | 3p                               |
| (a) $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow)(\uparrow)(\uparrow)$ |
| (b) $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow)(\uparrow)(\uparrow)$ |
| (c) $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)$ | $(\uparrow\downarrow)(\uparrow)(\uparrow)$                     | $(\uparrow)$           | $(\uparrow)(\uparrow)(\uparrow)$ |

43. Indicate il simbolo di

- (a) tutti gli elementi del periodo 2 i cui atomi hanno orbitali 2p vuoti.  
(b) tutti i metalli del periodo 3 che hanno almeno un elettrone spaiato.  
(c) tutti i metalli alcalino-terrosi che hanno sottolivelli 3d pieni.  
(d) tutti gli alogeni che hanno elettroni 4p spaiati.

44. Indicate il simbolo di

- (a) tutti gli elementi del periodo 5 che hanno almeno 2 orbitali 5p semipiù.  
(b) tutti gli elementi del Gruppo 1 che hanno orbitali 3p pieni.  
(c) tutti i metalloidi che hanno elettroni 3p appaiati.  
(d) tutti i non metalli che hanno orbitali 3d pieni e 3 orbitali 3p semipiù.

45. Indicate il numero di elettroni spaiati in un atomo di

- (a) fosforo  
(b) potassio  
(c) plutonio (Pu)

46. Indicate il numero di elettroni spaiati in un atomo di

- (a) mercurio  
(b) manganese  
(c) magnesio

47. In quale/i gruppo/i della tavola periodica l'/gli elemento/i ha/hanno il seguente numero di orbitali p pieni nel livello principale più esterno?

- (a) 0 (b) 1 (c) 2 (d) 3

48. Indicate il simbolo dei metalli del gruppo principale nel periodo 4 con il seguente numero di elettroni spaiati per atomo. (I metalli di transizione non sono compresi.)

- (a) 0 (b) 1 (c) 2 (d) 3

### Distribuzione degli elettroni negli ioni

49. Scrivete la configurazione elettronica allo stato fondamentale di

- (a) Mg,  $Mg^{2+}$   
(b) N,  $N^{3-}$   
(c) Ti,  $Ti^{4+}$   
(d) Sn,  $Sn^{4+}$

50. Scrivete la configurazione elettronica allo stato fondamentale di

- (a) S,  $S^{2-}$   
(b) Al,  $Al^{3+}$   
(c) V,  $V^{4+}$   
(d) Cu,  $Cu^{2+}$

51. Quanti elettroni spaiati ci sono nei seguenti ioni?

- (a)  $Hg^{2+}$  (b)  $F^-$  (c)  $Sb^{3+}$  (d)  $Fe^{3+}$

52. Quanti elettroni spaiati ci sono nei seguenti ioni?

- (a)  $Al^{3+}$  (b)  $Cl^-$  (c)  $Str^{2+}$  (d)  $Ag^+$

### Andamenti nella tavola periodica

53. Disponete gli elementi Sr, In e Te in ordine di

- (a) raggio atomico decrescente.  
(b) energia di prima ionizzazione decrescente.  
(c) elettronegatività crescente.

54. Disponete gli elementi Na, Si e S in ordine di

- (a) raggio atomico crescente.  
(b) energia di prima ionizzazione crescente.  
(c) elettronegatività decrescente.

55. Quale dei seguenti atomi Rb, Sr, Sb e Cs

- (a) ha il raggio atomico minore?  
(b) ha l'energia di ionizzazione più bassa?  
(c) è il meno elettronegativo?

56. Quale dei quattro atomi Na, P, Cl o K

- (a) ha il raggio atomico maggiore?  
(b) ha l'energia di ionizzazione più alta?  
(c) è il più elettronegativo?

57. Scegliete il componente più grande di ciascuna coppia.

- (a) K e  $K^+$   
(b) O e  $O^{2-}$   
(c) Tl e  $Tl^{3+}$   
(d)  $Cu^+$  e  $Cu^{2+}$

58. Scegliete il componente più piccolo di ciascuna coppia.

- (a) N e  $N^{3-}$  (b) Ba e  $Ba^{2+}$   
(c) Se e  $Se^{2-}$  (d)  $Co^{2+}$  e  $Co^{3+}$

59. Disponete le seguenti specie in ordine decrescente secondo il raggio.

- (a) C, Mg, Ca, Si  
(b) Sr, Cl, Br, I

60. Disponete le seguenti specie in ordine crescente secondo il raggio.

- (a) Rb, K, Cs, Kr  
(b) Ar, Cs, Si, Al

### Non classificati

61. Una lampada ad incandescenza irradia l'8.5% dell'energia fornita sotto forma di luce visibile. Considerando che la lunghezza d'onda della luce visibile sia 565 nm, quanti fotoni per secondo sono emessi da una lampada da 75 W ( $1 W = 1 J/s$ )?

62. In alcuni spettacoli con luci laser, si usa un laser ad argon. Lo ione argon ha forti emissioni a 485 nm e 512 nm.

- (a) Qual è il colore di queste emissioni?  
(b) Qual è l'energia associata a queste emissioni in kilojoule per mole?  
(c) Scrivete la configurazione elettronica e il diagramma orbitalico nello stato fondamentale di  $Ar^+$ .

63. Un laser a biossido di carbonio produce radiazioni di lunghezza d'onda di  $10.6 \mu m$  ( $1 \mu m = 10^{-6} m$ ). Se il laser produce circa un joule di energia ad impulso, quanti fotoni si producono ad impulso?

64. Denominate e scrivete il simbolo dell'elemento con le caratteristiche sottoelencate:

- (a) La sua configurazione elettronica è  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ .  
(b) Ha la più bassa energia di ionizzazione nel Gruppo 14.  
(c) Il suo ione +2 ha la configurazione  $[18Ar]3d^5$ .  
(d) È il metallo alcalino con il raggio atomico più piccolo.  
(e) Ha l'energia di ionizzazione più alta nel quarto periodo.

### Quesiti concettuali

65. Confrontate le energie e le lunghezze d'onda di due fotoni, uno con una bassa frequenza, l'altro con un'alta frequenza.

66. Considerate le seguenti transizioni

1. da  $n = 3$  a  $n = 1$   
2. da  $n = 2$  a  $n = 3$   
3. da  $n = 4$  a  $n = 3$   
4. da  $n = 3$  a  $n = 5$

- (a) In quale di queste transizioni viene assorbita energia?  
(b) In quale di queste transizioni viene emessa energia?  
(c) Quali transizioni coinvolgono lo stato fondamentale?  
(d) Quale transizione assorbe la maggiore energia?  
(e) Quale transizione emette la maggiore energia?

67. Scrivete il simbolo di ogni elemento descritto qui sotto.

- (a) ha il raggio atomico più grande nel Gruppo 17.  
(b) ha il raggio atomico più piccolo nel periodo 3.  
(c) ha la maggiore energia di ionizzazione nel Gruppo 2.  
(d) è il più elettronegativo del Gruppo 16.  
(e) un elemento/i nel periodo 2 senza elettroni p spaiati.  
(f) la sua configurazione elettronica abbreviata è  $[Ar] 4s^2 3d^3$   
(g) uno ione +2 la cui configurazione elettronica abbreviata è  $[Ar] 3d^5$   
(h) un metallo di transizione del periodo 4 che forma uno ione +2 senza elettroni spaiati.

68. Scrivete il simbolo e la configurazione elettronica abbreviata dell'elemento descritto.

- (a) il metallo del Gruppo 1 il cui atomo è il più piccolo.  
(b) il metallo alcalino-terroso con l'atomo più pesante.