 Copyright © 2020 – McGraw-Hill Education (Italy) srl

CAPITOLO 20
LA CHIMICA NUCLEARE

20.5
(a) La soma dei numeri atomici e la somma dei numeri di massa, da entrambi i lati dell'equazione nucleare, deve coincidere. Dalla parte sinistra di questa equazione la somma dei numeri atomici è 13 (12 +1) e la somma dei numeri di massa è 27 (26 +1). Queste somme devono rimanere uguali dalla parte sinistra dell'equazione. Il numero atomico di X è quindi 11 (13 − 2) e il numero di massa è 23 (27 − 4). X è il sodio−23 ($^{23}_{11}\text{Na}$)

(b) X è $^{1}_{1}\text{H}$ or $^{1}_{1}\text{p}$

(c) X è $^{1}_{0}\text{n}$

(d) X è $^{56}_{26}\text{Fe}$

(e) X è $^{0}_{-1}\beta$

20.6
Impostazione: Bilanciando le equazioni nucleari, ricorda che la soma dei numeri atomici e la somma dei numeri di massa deve avere lo stesso valore da entrambi i lati dell'equazione.

Soluzione:
(a) la soma dei numeri di massa deve essere conservata. Quindi, il prodotto sconosciuto avrà numero di massa 0. Il numero atomico deve essere conservato. Quindi, la carica nucleare del prodotto sconosciuto deve essere −1. La particella è una particella β.

$$^{135}_{53}\text{I} \longrightarrow {}^{135}_{54}\text{Xe} + {}^{0}_{-1}\beta$$

(b) Bilanciando prima i numeri di massa, troviamo che il prodotto sconosciuto deve avere una massa di 40. Bilanciando le cariche nucleari, troviamo che il numero atomico sconosciuto deve essere 20. L' elemento con numero atomico pari a 20 è il calcio (Ca).

$$^{40}_{19}\text{K} \longrightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{40}_{20}\text{Ca}$$

(c) Bilanciando i numeri di massa, troviamo che il prodotto sconosciuto deve avere una massa di 4. Bilanciando le cariche nucleari, troviamo che la carica nucleare sconosciuta deve essere 2. La particella sconosciuta è una particella alfa (α).

$$^{59}_{27}\text{Co} + {}^{1}_{0}\text{n} \longrightarrow {}^{56}_{25}\text{Mn} + {}^{4}_{2}\alpha$$

(d) Bilanciando i numeri di massa, troviamo che i prodotti sconosciuti devono avere una massa combinata di 2. Bilanciando le cariche nucleari, troviamo che la carica nucleare deve essere 0. Le particelle sconosciute sono 2 neutroni.

$$^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \longrightarrow {}^{99}_{40}\text{Zr} + {}^{135}_{52}\text{Te} + 2\,{}^{1}_{0}\text{n}$$

20.13 Assumiamo che nucleo sia sferico. La massa è: $235 \text{ amu} \times \dfrac{1 \text{ g}}{6.022 \times 10^{23} \text{ amu}} = 3.90 \times 10^{-22} \text{ g}$

Il volume è, $V = 4/3\pi r^3$.

$$V = \frac{4}{3}\pi\left((7.0 \times 10^{-3} \text{ pm}) \times \frac{1 \text{ cm}}{1 \times 10^{10} \text{ pm}}\right)^3 = 1.4 \times 10^{-36} \text{ cm}^3$$

 Copyright © 2020 – McGraw-Hill Education (Italy) srl

La densità è: $\dfrac{3.90 \times 10^{-22}\ \text{g}}{1.4 \times 10^{-36}\ \text{cm}^3} = \mathbf{2.8 \times 10^{14}\ g/cm^3}$

20.14

Impostazione: Il fattore principale per determinare la stabilità di un nucleo è il *rapporto neutroni-protoni* (*n*/*p*). Per gli elementi stabili con basso numero atomico, il rapporto *n*/*p* è vicino ad 1. Quando il numero atomico aumenta, I rapporti *n*/*p* di nuclei stabili diventano maggiori di 1. Le regole seguenti sono utili per predire la stabilità nucleare.

1) I nuclei che contengono 2, 8, 20, 50, 82 o 126 protoni o neutroni sono generalmente più stabili di nuclei che non possiedono questi numeri. Questi numeri sono chiamati *numeri magici*.
2) I nuclei con un numero pari di protoni e neutroni sono generalmente più stabili rispetto a quelli con un numero dispari di protoni o neutroni (vedi Tabella 20.2 nel testo).

Soluzione:
(a) Litio-9 dovrebbe essere meno stabile. Il rapporto neutroni-protoni è troppo alto. Per atomi piccoli, il rapporto *n*/*p* sarà vicino a 1:1.
(b) Sodio-25 è meno stabile. Il suo rapporto neutroni-protoni è probabilmente troppo alto.
(c) Scandio-48 è meno stabile a causa del numero dispari di protoni e neutroni. Non ci aspettiamo che il calcio-48 sia stabile, nonostante abbia un numero magico di protoni. Il suo rapporto *n*/*p* è troppo alto.

20.15 Nichel, selenio, e cadmio hanno gli isotopi più stabili. Tutti e tre hanno numeri atomici pari (vedi Tabella 20.2 nel testo).

20.16

(a) Neon-17 dovrebbe essere radioattivo. Si trova al di sotto della zona di stabilità (rapporto *n*/*p* basso).
(b) Calcio-45 dovrebbe essere radioattivo. Si trova al di sopra della zona di stabilità (rapporto *n*/*p* alto).
(c) Tutti gli isotopi del **tecnezio** sono radioattivi.
(d) Mercurio-195 dovrebbe essere radioattivo. Mercurio-196 ha un numero pari sia di neutroni che di protoni.
(e) Tutti gli isotopi del **curio** sono instabili.

20.17 Il cambiamento di massa è: $\Delta m = \dfrac{\Delta E}{c^2} = \dfrac{-436400\ \text{J/mol}}{(3.00 \times 10^8\ \text{m/s})^2} = \mathbf{-4.85 \times 10^{-12}\ kg/mol\ H_2}$

Questa massa si può misurare con una nomale bilancia analitica da laboratorio?

20.18 Possiamo usare l'equazione, $\Delta E = \Delta m c^2$, per risolvere il problema. Ricorda il seguente fattore di conversione:

$$1\ \text{J} = \frac{1\ \text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

L'energia persa in un secondo è: $\Delta m = \dfrac{\Delta E}{c^2} = \dfrac{\dfrac{5 \times 10^{26}\ \text{kg} \cdot \text{m}^2}{1\ \text{s}^2}}{\left(3.00 \times 10^8 \dfrac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = 6 \times 10^9\ \text{kg}$

Quindi la perdita di massa è $\mathbf{6 \times 10^9\ kg/s}$.

20.19 Usiamo la procedura mostrata nell'esempio 20.2 del testo.
(a) Ci sono 4 neutroni e 3 protoni in un nucleo di Li−7. La massa teorica è:

$$(3 \times \text{mass of } {}^1_1\text{H}) + (4 \times \text{mass of neutron}) = (3 \times 1.007825\ \text{amu}) + (4 \times 1.008665\ \text{amu})$$

massa teorica = 7.058135 uma

Il difetto di massa, cioè, la differenza tra la massa teorica e la massa misurata è:

Δm = 7.01600 uma − 7.058135 uma = −0.042135 uma

 Copyright © 2020 – McGraw-Hill Education (Italy) srl

La massa che viene trasformata in energia è l'energia che viene ceduta:

$$\Delta E = \Delta mc^2 = \left(-0.042135 \text{ amu} \times \frac{1 \text{ kg}}{6.022 \times 10^{26} \text{ amu}}\right)\left(3.00 \times 10^8 \text{ m/s}\right)^2 = -6.30 \times 10^{-12} \text{ J}$$

L'energia di legame nucleare è **6.30×10^{-12} J**. L'energia di legame per nucleone è:

$$\frac{6.30 \times 10^{-12} \text{ J}}{7 \text{ nucleons}} = \mathbf{9.00 \times 10^{-13} \text{ J/nucleon}}$$

Utilizzando la stessa procedura che in (a), utilizzando 1.007825 uma per ^1_1H e 1.008665 uma per ^1_0n possiamo mostrare che:

(b) Per il cloro−35: Energia di legame nucleare = **4.92×10^{-11} J**
Energia di legame nucleare per nucleone = **1.41×10^{-12} J/nucleone**

20.20

Impostazione: Per calcolare l'energia di legame nucleare, dobbiamo prima determinare la differenza tra la massa del nucleo e la massa di tutti i protoni e neutroni, che ci dà il difetto di massa. Poi, applichiamo la relazione tra massa ed energia di Einstein [$\Delta E = (\Delta m)c^2$].

Soluzione:
(a) L' energia di legame è l'energia richiesta per il processo $^4_2\text{He} \rightarrow 2\ ^1_1\text{p} + 2\ ^1_0\text{n}$

Ci sono 2 protoni e 2 neutroni nel nucleo di elio. La massa di due atomi di ^1_1H è (2)(1.007825 uma) = 2.015650 uma e la massa di 2 neutroni è (2)(1.008665 uma) = 2.017330 uma.

Inoltre, la massa teorica di ^4_2He è: 2.015650 + 2.017330 = 4.032980 uma, e il difetto di massa è: Δm = 4.0026 uma − 4.032980 uma = −0.0304 uma

La differenza di energia (ΔE) per il processo è:

$$\Delta E = (\Delta m)c^2$$

$$= (-0.0304 \text{ amu})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$= -2.74 \times 10^{15} \frac{\text{amu} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Trasformiamo l'unità di misura di energia in un'unità più familiare (J/atomo di He).

$$\frac{-2.74 \times 10^{15} \text{ amu} \cdot \text{m}^2}{1 \text{ s}^2} \times \frac{1.00 \text{ g}}{6.022 \times 10^{23} \text{ amu}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ J}}{\frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}} = -4.55 \times 10^{-12} \text{ J}$$

L'energia di legame nucleare è **4.55×10^{-12} J**. E' l'energia richiesta per scindere il nucleo di un atomo di elio-4 in 2 protoni e 2 neutroni.
Confrontando la stabilità di nuclei differenti, dobbiamo tenere in conto del fatto che essi hanno un numero diverso di nucleoni. Per questa ragione, è più corretto utilizzare l'*energia di legame nucleare per nucleone*, definita come: energia di legame nucleare per nucleone = energia di legame nucleare/numero di nucleoni.

Per il nucleo dell'elio-4,

$$\text{energia di legame nucleare per nucleone} = \frac{4.55 \times 10^{-12} \text{ J/He atom}}{4 \text{ nucleons/He atom}} = \mathbf{1.14 \times 10^{-12} \text{ J/nucleone}}$$

(b) L'energia di legame è l'energia richiesta per il processo $^{184}_{74}\text{W} \rightarrow 74\ ^1_1\text{p} + 110\ ^1_0\text{n}$

 Copyright © 2020 – McGraw-Hill Education (Italy) srl

La massa di 74 atomi di è $^{1}_{1}\mathrm{H}$: (74)(1.007825 uma) = 74.57905 uma, e la massa di 110 neutroni è: (110)(1.008665 uma) = 110.9532 uma

Inoltre, la massa teorica $^{184}_{74}\mathrm{W}$ è 74.57905 + 110.9532 = 185.5323 uma, e il difetto di massa è: Δm = 183.9510 uma − 185.5323 uma = −1.5813 uma

Il cambiamento di energia (ΔE) per il processo è:

$$\Delta E = (\Delta m)c^2$$

$$= (-1.5813 \text{ amu})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$= -1.42 \times 10^{17} \frac{\text{amu} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Trasformiamo l'unità di misura dell'energia in un'unità più familiare (J/atom di W).

$$\frac{-1.42 \times 10^{17} \text{ amu} \cdot \text{m}^2}{1 \text{ s}^2} \times \frac{1.00 \text{ g}}{6.022 \times 10^{23} \text{ amu}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ J}}{\frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}} = -2.36 \times 10^{-10} \text{ J}$$

L'energia di legame nucleare è **2.36 × 10^{-10} J**. E' l'energia richiesta per rompere il nucleo di un atomo di tungsteno-184 in 74 protoni e 110 neutroni.
Confrontando la stabilità di nuclei differenti, dobbiamo tenere in conto del fatto che essi hanno un numero diverso di nucleoni. Per questa ragione, è più corretto utilizzare l'*energia di legame nucleare per nucleone*, definita come: energia di legame nucleare per nucleone = energia di legame nucleare/numero di nucleoni

Per il nucleo tungsteno-184,
energia di legame nucleare per nucleone = $\frac{2.36 \times 10^{-10} \text{ J/W atom}}{184 \text{ nucleons/W atom}} = \mathbf{1.28 \times 10^{-12} \text{ J/nucleon}}$

20.23 L'emissione α fa diminuire il numero atomico di due e il numero di massa di quattro. L'emissione β fa aumentare il numero atomico di uno e non ha effetti sul numero di massa.

(a) $^{232}_{90}\mathrm{Th} \xrightarrow{\alpha} {}^{228}_{88}\mathrm{Ra} \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{89}\mathrm{Ac} \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{90}\mathrm{Th}$

(b) $^{235}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{\alpha} {}^{231}_{90}\mathrm{Th} \xrightarrow{\beta} {}^{231}_{91}\mathrm{Pa} \xrightarrow{\alpha} {}^{227}_{89}\mathrm{Ac}$

(c) $^{237}_{93}\mathrm{Np} \xrightarrow{\alpha} {}^{233}_{91}\mathrm{Pa} \xrightarrow{\beta} {}^{233}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{\alpha} {}^{229}_{90}\mathrm{Th}$

20.24

Impostazione: Secondo l'equazione (14.3) del testo, il numero di nuclei radioattivi al tempo zero (N_0) e al tempo t (Nt) è: $\ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t$

e il corrispondente tempo di dimezzamento della reazione è dato dall'equazione (14.5) del testo: $t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda}$

Utilizzando le informazioni date nel problema e la prima equazione sopra, possiamo calcolare la costante di velocità, λ. Quindi, il tempo di dimezzamento può essere calcolato partendo dalla costante.

Soluzione: Possiamo utilizzare la seguente equazione per calcolare la costante di velocità λ per ogni punto.

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t$$

 Copyright © 2020 – McGraw-Hill Education (Italy) srl

Dal giorno 0 al giorno 1, abbiamo

$$\ln\frac{389}{500} = -\lambda(1\text{ d})$$

$$\lambda = 0.251\text{ d}^{-1}$$

Seguendo la stessa procedura per gli altri giorni,

t (d)	mass (g)	λ (d^{-1})
0	500	
1	389	0.251
2	303	0.250
3	236	0.250
4	184	0.250
5	143	0.250
6	112	0.249

Il valore medio di λ è **0.250 d^{-1}**.

Usiamo il valore medio di λ per calcolare il tempo di dimezzamento.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{0.250\text{ d}^{-1}} = \mathbf{2.77\text{ d}}$$

20.25 Il numero di atomi decresce della metà ogni tempo di dimezzamento. Per 10 tempi di dimezzamento abbiamo:

$$(5.00 \times 10^{22}\text{ atomi}) \times \left(\frac{1}{2}\right)^{10} = \mathbf{4.89 \times 10^{19}\,atomi}$$

20.26 Dato che tutti i processi di decadimento radioattivo seguono una legge del primo ordine, il tempo di dimezzamento sarà sempre proporzionale alla quantità di radioisotopi. Il tempo di dimezzamento è dato dall'equazione seguente:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (1)$$

L'equazione che lega il numero di nuclei al tempo zero (*N*0) e al tempo *t* (*Nt*) è: $\ln\frac{N_t}{N_0} = -\lambda t$

Possiamo utilizzare questa equazione per determinare la costante di velocità, λ. Quindi, possiamo sostituire λ nell'equazione (1) per calcolare il tempo di dimezzamento (emivita). L'intervallo di tempo è:

(2:15 p.m., 12/17/92) − (1:00 p.m., 12/3/92) = 14 giorni + 1 ora + 15 minuti = 20,235 min

$$\ln\left(\frac{2.6 \times 10^4\text{ dis/min}}{9.8 \times 10^5\text{ dis/min}}\right) = -\lambda(20,235\text{ min})$$

$$\lambda = 1.8 \times 10^{-4}\text{ min}^{-1}$$

Sostituisci λ nell'equazione (1) per calcolare il tempo di dimezzamento (emivita).

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{1.8 \times 10^{-4}\text{ min}^{-1}} = \mathbf{3.9 \times 10^3\text{ min}} \quad \text{o } \mathbf{2.7\text{ giorni}}$$

20.27 Una legge cinetica del primo ordine implica che il meccanismo sia uni-molecolare; in altre parole la velocità è determinata solo dalle proprietà di atomi o molecole che decadono e non dipende dalle collisioni o interazioni con altri oggetti. Ecco perchè la datazione con i radioisotopi è un processo affidabile.

 Copyright © 2020 – McGraw-Hill Education (Italy) srl

20.28 L'equazione per l'intero processo è:

$$^{232}_{90}\text{Th} \longrightarrow 6\,^{4}_{2}\text{He} + 4\,^{0}_{-1}\beta + \text{X}$$

Il prodotto finale dovrebbe essere l'isotopo $^{208}_{82}\text{Pb}$

20.29 Utilizza le legge integrata per una reazione del primo ordine. L'equazione appropriata è mostrata nel Paragrafo 20.3 del testo:

$$\ln\frac{N_t}{N_0} = -\lambda t$$

Prima, la constante di velocità, λ, deve essere calcolata dal tempo di dimezzamento.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{28.1\text{ yr}} = 0.0247\text{ yr}^{-1}$$

Sostituendo nella legge integrata: $\ln\left(\frac{0.200}{1.00}\right) = -(0.0247\text{ yr}^{-1})t$

***t* = 65.2 anni**

20.30 Consideriamo prima il decadimento di A.

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{0.693}{4.50\text{ s}} = 0.154\text{ s}^{-1}$$

Trasformiamo λ in unità di giorni^{-1} (d^{-1}).

$$0.154\frac{1}{\text{s}} \times \frac{3600\text{ s}}{1\text{ h}} \times \frac{24\text{ h}}{1\text{ d}} = 1.33 \times 10^4\text{ d}^{-1}$$

Quindi, utilizziamo l'equazione di primo ordine per calcolare la quantità di A che rimane dopo 30 giorni.

$$\ln\frac{[\text{A}]_t}{[\text{A}]_0} = -\lambda t$$

Sia *x* la quantità di A che rimane dopo 30 giorni.

$$\ln\frac{x}{100} = -(1.33 \times 10^4\text{ d}^{-1})(30\text{ d}) = -3.99 \times 10^5$$

$$\frac{x}{100} = e^{(-3.99 \times 10^5)}$$

$$x \approx 0$$

Quindi, **A non rimane**.

Per B: Come calcolato prima, tutto A è trasformato in B in meno di 30 giorni. Infatti, quasi tutto A diventa B in meno di 1 giorno! Questo significa che all'inizio del periodo di 30 giorni, ci sarà 1.00 mole di B presente. Il tempo di dimezzamento di B è 15 giorni, per cui dopo due tempi di dimezzamento (30 giorni), ci dovrebbero essere **0.25 moli di B** rimaste.

Per C: Come nel caso di A, il tempo di dimezzamento di C è molto piccolo. Quindi, alla fine del periodo di 30 giorni, non rimangono moli di C.

 Copyright © 2020 – McGraw-Hill Education (Italy) srl

Per D: D non è radioattivo. 0.75 moli di B reagiscono in 30 giorni; quindi, dato che esiste un rapporto molare 1:1 tra B e D, dopo 30 giorni dovrebbero essere presenti **0.75 moli di D**.

20.33 Nella notazione abbreviata per le reazioni nucleari, il primo simbolo nelle parentesi rappresenta la particella (reagente) "incidente" e il secondo simbolo rappresenta la particella (prodotto) "emessa".

(a) $^{15}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{1}\mathrm{p} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{4}_{2}\alpha$ X is $^{15}_{7}\mathrm{N}$

(b) $^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{2}_{1}\mathrm{d} \rightarrow {}^{25}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{4}_{2}\alpha$ X is $^{25}_{12}\mathrm{Mg}$

(c) $^{55}_{25}\mathrm{Mn} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{56}_{25}\mathrm{Mn} + \gamma$ X is $^{56}_{25}\mathrm{Mn}$

20.34

(a) $^{80}_{34}\mathrm{Se} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow \mathbf{^{81}_{34}Se} + {}^{1}_{1}\mathrm{p}$

(b) $\mathbf{^{9}_{4}Be} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{9}_{3}\mathrm{Li} + 2\,{}^{1}_{1}\mathrm{p}$

(c) $^{10}_{5}\mathrm{B} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow \mathbf{^{7}_{3}Li} + {}^{4}_{2}\alpha$

20.35 La particella incidente necessaria è una particella □. Nessun altro elemento pesante come il plutonio o il curio è un elemento adatto.

La reazione è: $^{209}_{83}\mathrm{Bi} + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{213}_{85}\mathrm{At} \rightarrow {}^{212}_{85}\mathrm{At} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{211}_{85}\mathrm{At} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$

20.36 A seguito del bombardamento con neutroni, il mercurio−198 si trasforma prima in mercurio−199, che in seguito emette un protone.

La reazione è: $^{198}_{80}\mathrm{Hg} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{199}_{80}\mathrm{Hg} \longrightarrow {}^{198}_{79}\mathrm{Au} + {}^{1}_{1}\mathrm{p}$