



Insegnamento di Chimica Generale

083424 - CCS CHI e MAT

 POLITECNICO DI MILANO



Esercizi su Chimica Nucleare e Nucleogenesi

Prof. Attilio Citterio

Dipartimento CMIC "Giulio Natta"

<http://iscamap.chem.polimi.it/citterio/education/general-chemistry-exercises/>



1. Esemplicate tre proprietà estensive della materia?

Sono proprietà estensive della materia quelle che dipendono dalla quantità (massa) del sistema in esame:

- 1) **Volume (ma non il volume molare!)**
- 2) **Energia**
- 3) **Peso**

2. L'unità di misura dell'energia nel sistema **SI** è il joule. Che relazione esiste tra il joule e le unità fondamentali del sistema **SI**? b) A quanto corrisponde 1 joule in unità di litri-atmosfera?

$E = \text{Lavoro} = \text{forza} \times \text{spostamento}$ ($P = F/S$ $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$)

$\text{joule (J)} = N \cdot m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$ $L \cdot atm = 10^{-3} m^3 \cdot cPa = 101.325 \text{ J}$

$1 \text{ J} = 9.86923 \cdot 10^{-3} \text{ L} \cdot atm$



3. Quale isotopo ha 6 neutroni?

- A) $^{13}_6\text{C}$ B) ^6_3Li C) $^{15}_8\text{O}$ D) $^{13}_7\text{N}$

$^{13}_7\text{N}$ perchè $n = 13 - 7 = 6$

4. Qual è il numero di massa di un atomo di iodio con 76 neutroni?

Numero atomico $Z(\text{I}) = 53$

Numero di massa (^{129}I) = $53 + 76 = 129$

5. La maggiore quantità di energia disponibile per convertire 5.000 grammi di idrogeno in elio rispetto all'energia di fissione di 5.000 grammi di uranio-235 è spiegata dal fatto che nel primo caso:

- (A) La variazione del numero atomico è minore
- (B) Il numero di particelle nucleari è più limitato
- (C) Si rilascia un maggior numero di neutroni
- (D) La diminuzione di massa è superiore
- (E) Si producono dei nuclei radioattivi

(D) La diminuzione di massa è superiore



Esercizio 6

4

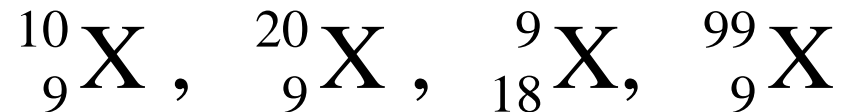
6a - Il rame ha solo due isotopi stabili (non radioattivi), ^{63}Cu e ^{65}Cu .

Quest'ultimo ha: _____ neutroni nel nucleo.

Qual è il più abbondante dei due? _____

6b - Quali dei seguenti sono isotopi dell'elemento X di N° atomico 9?

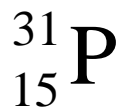
Quali di questi atomi sono prevedibilmente instabili?





Esercizio 7

Il fosforo rosso è un allotropo del fosforo che si può ottenere per riscaldamento del fosforo bianco a temperature sopra i 240 °C. Il più comune isotopo del fosforo è così rappresentabile:



Quanti protoni, elettroni e neutroni possiede questo isotopo?

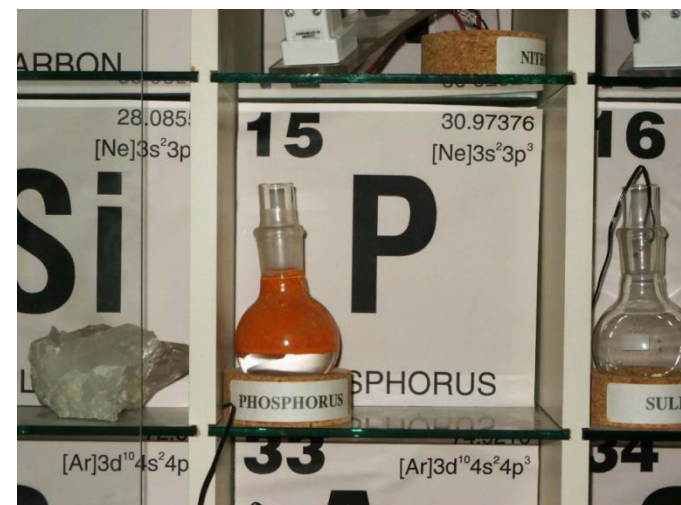
1. 16, 16, 15

2. 15, 15, 1

3. 15, 15, 16

4. 16, 16, 31

5. 16, 16, 1



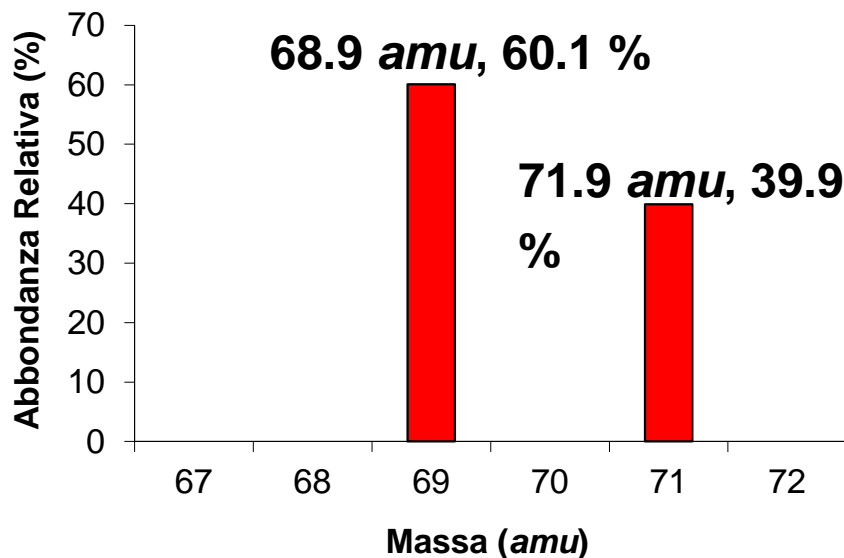


Esercizio 8

Lo spettro di massa del gallio, Ga, è indicato a fianco. La massa atomica del Ga è 69.7 amu (u) . Quale delle seguenti affermazioni è vera?

- a) Tutti gli atomi di Ga pesano 69.7 amu .
- b) La massa atomica del Ga è la media di 68.9 e 71.9 .
- c) La massa atomica del Ga sarà più vicina a 69 che a 71 perché ci sono più atomi che pesano 68.9 amu .

Spettro di Massa del Gallio





Data la reazione nucleare:



Questa equazione è bilanciata?

Risoluzione: Si deve controllare se la massa e la carica sono le stesse su entrambi i membri.



Massa:

53 protoni	54 protoni
78 neutroni	77 neutroni
<hr/>	
131 massa totale	131 massa totale

Carica:

+53 cariche, protoni	+54 cariche, protoni
	-1 carica da β^{-}
<hr/>	
+53 cariche totali	+53 cariche totali

E' bilanciata!



Esercizio 9

9a - Spiegare perché, secondo la teoria della nucleogenesi:

- a) l'abbondanza degli elementi a $Z = 22-28$ è superiore a quella degli elementi vicini.
- b) l'abbondanza degli elementi pari è superiore a quella degli elementi dispari.

9b - La reazione seguente si riferisce a un processo a) chimico o b) nucleare?



L'equazione è bilanciata? Il processo è esotermico? Cosa indica il simbolo γ ?



Esercizio 10

Il decadimento radioattivo (raggi γ) dell'isotopo tecnezio-99 avviene con un tempo di dimezzamento di 360 *minuti*. Quanto tempo dovrà passare perché 1 *mg* di tecnezio si riduca a un centesimo di quella iniziale?

dati

Curie:	$Ci := 3.7 \cdot 10^{10} \cdot \text{sec}^{-1}$
Numero di Avogadro:	$N_A := 6.02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{\text{atomi}}{\text{mole}}$
Emivita del tecnezio-99:	$T_{1/2} := 360 \text{ min}$
Massa iniziale di tecnezio:	$m_T := 1 \text{ mg}$
Peso Atomico del tecnezio:	$w_A := 0.099 \frac{\text{kg}}{\text{mole}}$

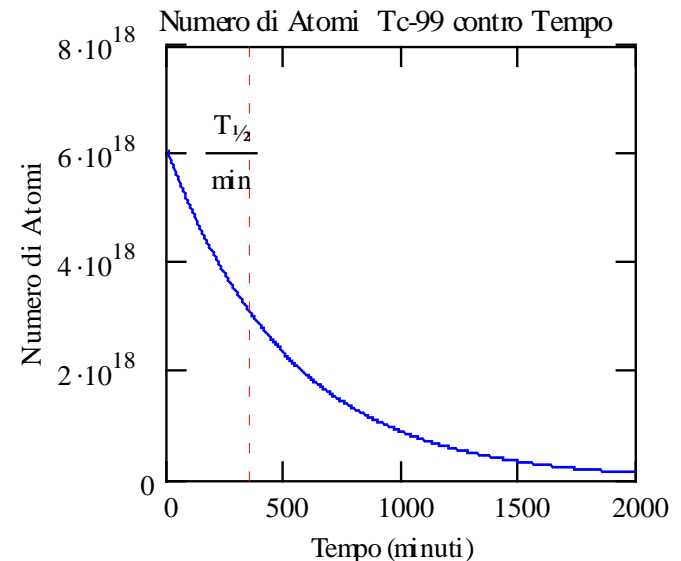
Risoluzione

Applicare la legge del decadimento:

$$N_t = N_0 \cdot \exp(-k \cdot t)$$

Se $N_t = N_0/100$

$$\frac{1}{100} = \exp\left(-\left(\frac{0.693}{360}\right) \cdot t\right) \quad \text{Da cui } t = 2392 \text{ min}$$





Esercizio 11

L'emivita del radio è 1620 anni. Quanti atomi di radio decadono in 1 secondo in un campione di 1 grammo di radio? Il peso atomico del radio è $0.226 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$

Dati: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Emivita del radio: } t_{1/2} = 1620 \text{ anni; Massa Ra: } m_{\text{Ra}} = 1 \text{ g; tempo: } t = 1 \text{ s} \\ \text{Peso atomico Ra: } MW = 226 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}; \text{N}^\circ \text{ Avogadro: } N_A = 6.02\cdot 10^{23} \text{ atomi}\cdot\text{mol}^{-1} \end{array} \right.$

Risoluzione

Un grammo del campione contiene: $N_r = \frac{m_{\text{Ra}}}{PA_{\text{Ra}}} = 4.4248 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ di Radio

corrispondenti al numero di atomi: $N = \frac{m_{\text{Ra}}}{PA_{\text{Ra}}} \cdot N_A = 2.664 \cdot 10^{21} \text{ atomi}$ di Ra

La costante di decadimento è: $k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = 1.356 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$

Il numero di decadimenti al secondo è: $N_s = \frac{\Delta N}{\Delta t} = k \cdot N = 3.611 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}$

N.B.: questo dato ha portato alla definizione di Curie $1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ disintegrazioni} \cdot \text{s}^{-1}$



L'analisi del rapporto $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ di un manufatto preistorico fornisce una velocità media di decadimento di 5.1 dpm per grammo di carbonio. Il carbonio che si trova negli organismi viventi ha un rapporto C-14/C-12 di 1.3×10^{-12} , con una velocità di decadimento di 15 dpm/g C . Quanto vecchio è il manufatto? L'emivita del carbonio-14 è 5730 anni. ($\text{dpm} = \text{disintegrazioni per minuto}$)

Risoluzione:

- Calcolare la costante di velocità k dall'emivita: $k = 0.693/5730 = 0.000121 \text{ anni}^{-1}$
- Sostituire nell'equazione della velocità del primo ordine:
- $t = \ln(N/N_0)/k = \ln(15/5.1)/0.000121$
- $t = 8910 \text{ anni}$ (antichità del manufatto)



Esercizio 13

La relazione $E = m \cdot c^2$ è fondamentale per spiegare la diversa stabilità dei nuclei degli atomi. Perché?

Essa spiega anche perché l'elemento Ferro ha una energia per nucleone superiore agli altri elementi?



Esercizio 14

Calcolare le variazioni di massa (in u) e di energia (in $J \cdot mol^{-1}$ e $eV \cdot atomo^{-1}$) che accompagnano il decadimento radioattivo dell' ^{238}U a ^{234}Th e una particella *alfa*. Quest'ultima assorbe due elettroni dalla materia circostante per formare atomi di elio.

Risoluzione:

Δm = massa prodotto – massa reagente

$$\Delta m = (\text{massa } ^{234}\text{Th} + \text{massa } ^4_2\text{He}) - \text{massa } ^{238}\text{U}$$

$$\begin{aligned}\Delta m &= [(234.43601 + 4.002603) - 238.050788] u = \\ &= -0.004584 u \quad \text{pari a} \quad -4.584 \times 10^{-6} \text{ kg}\end{aligned}$$

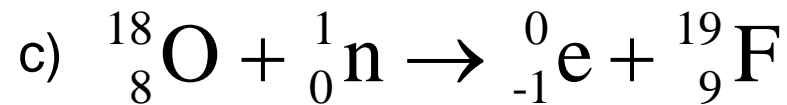
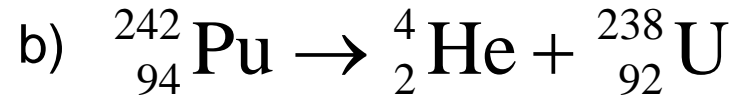
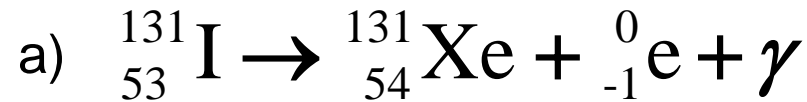
$$\begin{aligned}\Delta E = mc^2 &\leftrightarrow \Delta E = (-4.584 \times 10^{-6} \text{ kg}) \cdot (2.998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 \\ &= -4.120 \times 10^{11} \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$\Delta E = (-0.004584 u) \times (931 \text{ MeV} \cdot u^{-1}) = -4.27 \text{ MeV}$$

Dividere per il numero di massa per recuperare l'energia per nucleone.



Dimostrare, eseguendo un bilancio delle particelle presenti a sinistra e a destra, se le seguenti reazioni nucleari sono bilanciate o meno?



Che proprietà hanno le particelle ${}_0^1\text{n}$, ${}_{-1}^0\text{e}$, e γ ?



Quali dei seguenti nuclei sono particolarmente stabili: ${}^4_2\text{He}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, ${}^{98}_{43}\text{Tc}$

Risoluzione:

- Si valuta se il numero di protoni e neutroni corrispondono ai numeri magici.

Il nucleo ${}^4_2\text{He}$ (particella alfa) ha un numero magico sia di protoni (2) che di neutroni (2) ed è molto stabile.

Il nucleo ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ha anch'esso un numero magico sia di protoni (20) che di neutroni (20) ed è molto stabile.

Il nucleo ${}^{98}_{43}\text{Tc}$ **non** ha un numero magico né di protoni né di neutroni. Infatti, ha un numero dispari di protoni (43) e neutroni (55). C'è un numero molto basso di nuclei con numeri dispari sia di protoni che di neutroni. In effetti, il tecnezio-98 è radioattivo.



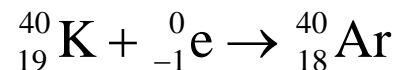
Esercizio 17

Lo ione potassio si trova nel cibo come KCl ed è un nutriente essenziale nel corpo umano. Uno degli isotopi naturali di K, il potassio-40, è radioattivo. Esso ha una abbondanza naturale di 0.0117%, una emivita di $t_{1/2} = 1.28 \cdot 10^9$ anni e subisce decadimento radioattivo in tre modi: 98.2% per cattura elettronica, 1.35% per emissione beta e 0.49% per emissione di positroni. (a) Perché ci si aspetta che ^{40}K sia radioattivo? (b) Scrivere le equazioni nucleari per i tre decadimenti. (c) Quanti ioni $^{40}\text{K}^+$ sono presenti in 1.00 g di KCl? (d) Quanto tempo passa perché l'1.00% del ^{40}K in un campione subisca il decadimento radioattivo?

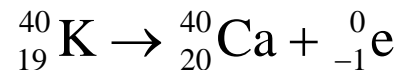
Risoluzione:

(a) Il nucleo ^{40}K contiene 19 protoni e 21 neutroni. Esiste solo un numero molto basso di nuclei con numeri dispari sia di protoni che di neutroni.

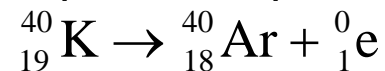
(b) La cattura elettronica è la cattura di un elettrone interno da parte del nucleo:



L'emissione beta è la perdita d una particella beta dal nucleo:



L'emissione di positroni è la perdita di positroni dal nucleo:





(c) Il numero totale di ioni K^+ nel campione è:

$$(1.00 \text{ g KCl}) \cdot \left(\frac{1 \text{ mol KCl}}{74.55 \text{ g KCl}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ mol } K^+}{1 \text{ mol KCl}} \right) \left(\frac{6.022 \times 10^{23} K^+}{1 \text{ mol } K^+} \right) \\ = 8.08 \times 10^{21} \text{ ioni } K^+$$

di questi, 0.0117% sono ioni $^{40}K^+$: $(0.0117/100) \times (8.08 \cdot 10^{21}) = 9.45 \cdot 10^{17} \text{ ioni } ^{40}K$

(d) La costante di decadimento per il processo si calcola dalla relazione:

$$k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{1.28 \times 10^9 \text{ anni}} = (5.41 \times 10^{-10}) \text{ anni}^{-1}$$

Si applica l'equazione cinetica del 1° ordine per calcolare il tempo richiesto:

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -k \cdot t$$

$$\ln \frac{99}{100} = -(5.41 \times 10^{-10} \text{ anni}^{-1}) \cdot t$$

$$-0.01005 = -(5.41 \times 10^{-10} \text{ anni}^{-1}) \cdot t \quad t = \frac{-0.01005}{(-5.41 \times 10^{-10}) \text{ anni}^{-1}} = 1.86 \times 10^7 \text{ anni}$$

Cioè, devono passare 18.6 milioni di anni per far decadere l'1.00% del ^{40}K .