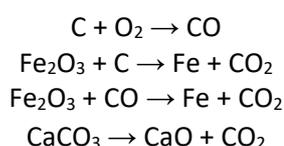


Scuola Galileiana di Studi Superiori – Anno 2022/2023

Prova di Chimica

1. La ghisa, da cui si può ottenere l'acciaio, è composta principalmente di ferro e contiene il 5% in peso di carbonio (C). La ghisa può essere prodotta secondo il processo tradizionale, a partire da carbone coke, calcare (CaCO_3) ed ematite (Fe_2O_3). Il coke ricopre tre diversi ruoli: fornisce l'energia richiesta dal processo mediante combustione, riduce il ferro, fornisce il C che entra nella composizione della ghisa. Il calcare serve per ottenere CaO, che abbassa il punto di fusione della miscela ferrosa, ma non partecipa alle reazioni e viene eliminato al termine dal processo. Le reazioni che avvengono durante il processo sono le seguenti (da bilanciare)



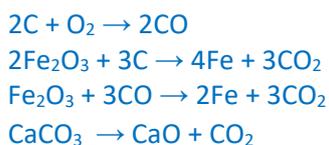
Seguendo questo procedimento, viene prodotta 1 tonnellata di ghisa a partire dai seguenti reagenti:

- minerale di ferro (si assuma che sia composto di ematite pura)
- 0.5 tonnellate di coke (si assuma che sia composto di C puro)
- 0.25 tonnellate di calcare
- ossigeno presente nell'aria.

Assumendo che, oltre alla ghisa, si ottengano unicamente CO_2 e CaO e che tutti i reagenti siano consumati completamente, si calcoli, per la produzione di 1 tonnellata di ghisa:

- a) quanta CO_2 viene prodotta (in kg)
- b) quanta ematite viene consumata (in kg).

Le reazioni bilanciate sono le seguenti



Si impiegano i seguenti pesi atomici approssimati: Fe = 56; C = 12; O = 16; Ca = 40

1 tonnellata di ghisa contiene

$$\text{C} = 1000 \times 5\% = 50 \text{ kg}$$

$$\text{Fe} = 1000 \times 95\% = 950 \text{ kg}$$

carbonio che reagisce (= quello non incluso nella ghisa)

$$500 - 50 = 450 \text{ kg}$$

CO_2 che si forma

$$450 \times 44/12 = 1650 \text{ kg dal carbone}$$

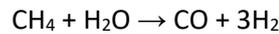
$$250 \times 44/100 = 110 \text{ kg dal calcare}$$

$$\text{totale} = 1650 + 110 = 1760 \text{ kg di } \text{CO}_2 \text{ prodotti (a)}$$

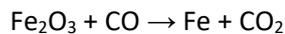
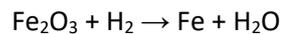
di cui ossigeno = $1760 \times 32/44 = 1280$ kg

massa ematite = massa di Fe nella ghisa x PM ematite / (2 x PM ferro) = $950 \times 160/112 = 1357$ kg (b)

2. Per limitare le emissioni di gas serra associate alla produzione di ghisa si è proposto un processo alternativo a quello del problema 1, in cui il ferro dell'ematite viene ridotto utilizzando *syngas* 3:1, cioè una miscela di H₂ e CO (H₂:CO = 3:1 in moli) che si ottiene a partire dal metano con la reazione



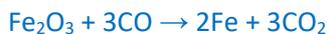
detta reazione di *steam reforming* del metano (SMR). La SMR è una reazione endotermica e comporta l'emissione di 1 kg di CO₂ per kg di syngas prodotto. Il syngas così ottenuto viene utilizzato direttamente per la riduzione, secondo le seguenti reazioni (da bilanciare)



Aggiungendo a parte la quantità di carbonio necessaria (5%), si ottiene una ghisa con la stessa composizione del processo basato sul coke (problema 1).

Assumendo che, oltre alla ghisa, si ottengano unicamente CO₂ e H₂O e che tutti i reagenti siano consumati completamente, si calcoli, per la produzione di 1 tonnellata di ghisa, quanta CO₂ viene prodotta (in kg) con questo processo.

Le reazioni bilanciate sono le seguenti



Da 3 moli di metano si ottengono 3 moli di CO (che reagiscono con 1 mole di ematite per dare 2 moli di Fe e 3 moli di CO₂) e 9 di H₂ (che reagiscono con 3 moli di ematite per dare 6 moli di Fe). Quindi complessivamente, il rapporto tra le moli di CH₄:Fe:CO₂ è 3:8:3.

1 tonnellata di ghisa contiene 950 kg di Fe, quindi dalle due reazioni di riduzione dell'ematite si calcola:

$$\text{metano:} \quad (950/56) / 8 \times 3 \times 16 = 102 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2: \quad (950/56) / 8 \times 3 \times 44 = 280 \text{ kg}$$

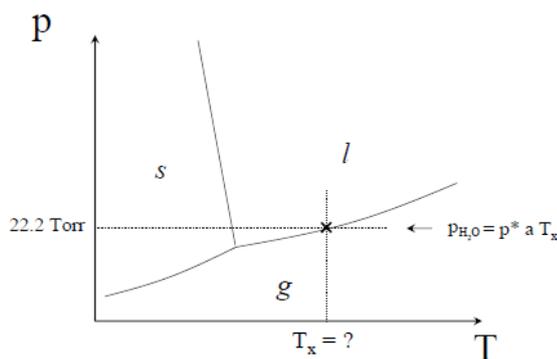
inoltre, dalla SMR si ottiene:

$$(102/16) \times (28+6) = 217 \text{ kg di syngas} = \text{CO}_2$$

In totale si liberano $280 + 217 = 497$ kg di CO₂

3. Il calore latente di evaporazione dell'acqua a 25 °C vale 44 kJ/mol e la tensione di vapore dell'acqua a questa temperatura è di 23.8 Torr. Se la pressione parziale del vapore acqueo nell'atmosfera è 22.2 Torr, calcolare la temperatura alla quale si forma la rugiada.

Determinare la temperatura alla quale si forma la rugiada significa stabilire in quale punto del diagramma di fase $p_{\text{H}_2\text{O}}$ uguaglia la tensione di vapore dell'acqua: in quel caso ci si trova sulla linea di coesistenza liquido-vapore e parte del vapore condensa. Chiamando T_x tale temperatura, la situazione è schematizzata come segue:

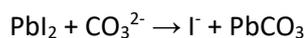


Per determinare T_x applichiamo ancora la forma integrata della Clausius-Clapeyron tra le temperature T_x e 298 K, imponendo $p^*(T_x) = p_{H_2O} = 22.2$ Torr:

$$\ln \frac{22.2 \text{ Torr}}{23.8 \text{ Torr}} = -\frac{44 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}}{8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}} \left(\frac{1}{T_x} - \frac{1}{298} \right) \text{ K}^{-1}$$

da cui si ricava $T_x = 296.8$ K.

4. Quando lo ioduro di piombo (PbI_2) viene fatto bollire in una soluzione 2.0 M di carbonato di sodio, lo ioduro di piombo insolubile viene convertito nell'ancor meno solubile carbonato di piombo secondo la reazione complessiva (da bilanciare)



Supponendo che esista in soluzione una quantità sufficiente di PbI_2 tale da raggiungere le condizioni di equilibrio tra le due sostanze insolubili e che i prodotti di solubilità di PbI_2 e PbCO_3 alla temperatura della soluzione siano rispettivamente 2.4×10^{-8} e 5.6×10^{-14} , quale sarebbe la concentrazione di ioni ioduro nella soluzione risultante? Commentare il risultato ottenuto.

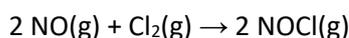
Dai prodotti di solubilità si ha che

$$\frac{[\text{Pb}^{2+}][\text{I}^-]^2}{[\text{Pb}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{2.4 \times 10^{-8}}{5.6 \times 10^{-14}}$$

$$\frac{[\text{I}^-]^2}{2.0} = 4.3 \times 10^5$$

da cui $[\text{I}^-]_{\text{eq}} = 927$ M. Una concentrazione così elevata è impossibile da ottenere sperimentalmente, anche per la limitata solubilità di NaI in soluzione. Supponendo di partire da una quantità moderata di PbI_2 si otterrebbe che il quoziente di reazione Q è certamente minore della costante di equilibrio K , per cui la reazione procede verso la formazione dei prodotti senza mai raggiungere l'equilibrio. In sostanza, il risultato ottenuto indica che, nelle condizioni adottate, PbI_2 viene totalmente convertito a PbCO_3 .

5. La reazione



è del secondo ordine in NO e del primo ordine in Cl_2 .

5 moli di NO e 2 moli di Cl_2 sono poste in un recipiente termostato di volume 2 litri, e si misura una velocità iniziale di reazione pari a 2.4×10^{-3} moli/(litro×sec). Quale sarà la velocità di reazione quando metà del cloro ha reagito?

Dalle informazioni sugli ordini di reazione parziali otteniamo la seguente espressione per la velocità di reazione:

$$v = k[\text{NO}]^2 [\text{Cl}_2] \quad (1)$$

Le concentrazioni iniziali delle specie chimiche sono

$$[\text{NO}]_0 = 5 \text{ moli}/2 \text{ litri} = 2.5 \text{ moli/litro}, [\text{Cl}_2]_0 = 2 \text{ moli}/2 \text{ litri} = 1 \text{ mole/litro}$$

Dalla stechiometria della reazione stabiliamo che le concentrazioni al tempo t sono

$$\begin{aligned} [\text{Cl}_2] &= [\text{Cl}_2]_0 - x(t) \\ [\text{NO}] &= [\text{NO}]_0 - 2x(t) \\ [\text{NOCl}] &= 2x(t) \end{aligned}$$

con $x(t)$ le moli di Cl_2 per litro che hanno reagito. Ponendo $x(t) = [\text{Cl}_2]_0/2$ ricaviamo le concentrazioni delle specie quando metà del cloro ha reagito

$$[\text{Cl}_2] = 0.5 \text{ moli/litro}, [\text{NO}] = 1.5 \text{ moli/litro} \quad (2)$$

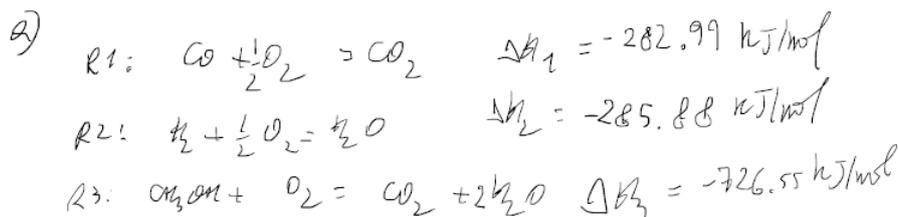
da inserire in eq (1) per ottenere la velocità di reazione a tale stadio. Rimane ancora da determinare k ; dato il valore iniziale della velocità di reazione, $v_0 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ moli litri}^{-1} \text{ s}^{-1}$, e note le concentrazioni iniziali, applicando eq (1) otteniamo

$$v_0 = k[\text{NO}]_0^2 [\text{Cl}_2]_0 \implies k = \frac{v_0}{[\text{NO}]_0^2 [\text{Cl}_2]_0} = 3.84 \times 10^{-4} \text{ litri}^2 \text{ mol}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Inserendo i valori di k e delle concentrazioni eq (2) in eq (1) otteniamo

$$v = 3.84 \times 10^{-4} \text{ litri}^2 \text{ mol}^{-2} \text{ s}^{-1} \times (1.5 \text{ moli/litro})^2 \times 0.5 \text{ moli/litro} = 4.3 \times 10^{-4} \text{ moli litri}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

6. A 25°C e 1 bar le entropie molari del monossido di carbonio, dell'idrogeno e del metanolo (liquido) sono rispettivamente 197.95, 130.78, 126.81 $\text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$; le entalpie di combustione molari delle tre specie sono -282.99, -285.88, -726.55 kJ mol^{-1} .
- Stimare l'energia libera standard per la reazione di formazione del metanolo liquido a partire da CO e H_2 , alla temperatura di 25°C
 - Stimare il rapporto fra le costanti di equilibrio della stessa reazione a 30°C e 25°C , sapendo che le entalpie standard di formazione (circa costanti con la temperatura) del monossido di carbonio e del metanolo liquido sono rispettivamente -283.4 e -201.3 kJ mol^{-1} .





$$R = R_1 + 2R_2 - R_3 \Rightarrow \Delta H^\circ = -128 \text{ kJ/mol}$$

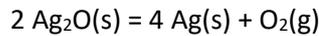
$$\Delta S^\circ = -332.7 \text{ J/K mol}$$

$$\Delta G^\circ = -29 \text{ kJ/mol}$$

$$b) \Delta H^\circ = 82.1 \text{ kJ/mol}$$

$$\frac{k(30)}{k(25)} = e^{\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{296.15 \text{ K}} - \frac{1}{303.15 \text{ K}} \right)} = 1.73$$

7. L'ossido di argento, che può decomporre come



ha una energia libera (di Gibbs) standard di formazione di -11.20 kJ/mol a 25°C . Quanto argento metallico si potrà formare a partire da un grammo di ossido di argento posto in un contenitore chiuso contenente una mole di azoto, il tutto mantenuto a pressione costante di 1 bar ed alla temperatura di 25°C ?

Dalle informazioni sugli ordini di reazione parziali otteniamo la seguente espressione per la velocità di reazione:

$$v = k[\text{NO}]^2 [\text{Cl}_2] \quad (1)$$

Le concentrazioni iniziali delle specie chimiche sono

$$[\text{NO}]_0 = 5 \text{ moli/2 litri} = 2.5 \text{ moli/litro}, [\text{Cl}_2]_0 = 2 \text{ moli/2 litri} = 1 \text{ mole/litro}$$

Dalla stechiometria della reazione stabiliamo che le concentrazioni al tempo t sono

$$[\text{Cl}_2] = [\text{Cl}_2]_0 - x(t)$$

$$[\text{NO}] = [\text{NO}]_0 - 2x(t)$$

$$[\text{NOCl}] = 2x(t)$$

con $x(t)$ le moli di Cl_2 per litro che hanno reagito. Ponendo $x(t) = [\text{Cl}_2]_0/2$ ricaviamo le concentrazioni delle specie quando metà del cloro ha reagito

$$[\text{Cl}_2] = 0.5 \text{ moli/litro}, [\text{NO}] = 1.5 \text{ moli/litro} \quad (2)$$

da inserire in eq (1) per ottenere la velocità di reazione a tale stadio. Rimane ancora da determinare k ; dato il valore iniziale della velocità di reazione, $v_0 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ moli litri}^{-1} \text{ s}^{-1}$, e note le concentrazioni iniziali, applicando eq (1) otteniamo

