

Ενδεικτική επίλυση

α) Η μεταβολή ενθαλπίας της αντίδρασης 1 θα υπολογιστεί από τις θερμοχημικές εξισώσεις των αντιδράσεων 2, 3, 4 με τις κατάλληλες μετατροπές:

Η εξίσωση της αντίδρασης 2 θα πρέπει να διπλασιαστεί και να αντιστραφεί:

$2 \text{CO}(\text{g}) + 2 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{C}(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}), \Delta H_2'$ και σύμφωνα με το νόμο Lavoisier-Laplace θα ισχύει $\Delta H_2' = -2 \cdot \Delta H_2$

Η εξίσωση της αντίδρασης 3 θα πρέπει να αντιστραφεί:

$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}), \Delta H_3'$ και θα ισχύει $\Delta H_3' = -\Delta H_3$.

Η εξίσωση της αντίδρασης 4 θα χρησιμοποιηθεί ως έχει:

$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}), \Delta H_4$.

Εάν προσθέσουμε τις τροποποιημένες θερμοχημικές εξισώσεις των αντιδράσεων 2 και 3 με την 4, τότε προκύπτει η θερμοχημική εξίσωση της αντίδρασης 1, και σύμφωνα με τον νόμο του Hess θα ισχύει:

$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{C}(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}), \Delta H_1$ όπου $\Delta H_1 = \Delta H_2' + \Delta H_3' + \Delta H_4' \Rightarrow$

$\Delta H_1 = -2 \cdot \Delta H_2 - \Delta H_3 + \Delta H_4 \Rightarrow \Delta H_1 = -2 \cdot 131 \text{ kJ/mol} + 41 \text{ kJ/mol} + 206 \text{ kJ/mol} \Rightarrow \Delta H_1 = -15 \text{ kJ/mol}$.

Επομένως η μεταβολή ενθαλπίας της αντίδρασης 1 είναι $\Delta H_1 = -15 \text{ kJ/mol}$

β) Το CO_2 αντιδρά πλήρως με ένα μέρος του CH_4 που περιέχεται στο δείγμα, σύμφωνα με τη θερμοχημική εξίσωση της αντίδρασης 1 και ελευθερώνονται 7,5 kJ :

$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{C}(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}), \Delta H_1 = -15 \text{ kJ/mol}$

Αναλόγως θα ισχύει:

Από την αντίδραση 1 mol CO_2 ελευθερώνονται 15 kJ

Από την αντίδραση x mol CO_2 ελευθερώνονται 7,5 kJ

$1 \text{ mol} \cdot 7,5 \text{ kJ} = x \text{ mol} \cdot 15 \text{ kJ} \Rightarrow x = 0,5$.

Άρα, αντιδρούν 0,5 mol CO_2 για να ελευθερωθούν 7,5 kJ.

$M_r(\text{CO}_2) = 1 \cdot A_r(\text{C}) + 2 \cdot A_r(\text{O}) = 12 + 2 \cdot 16 = 44$.

Άρα η μάζα ανά mol του CO_2 είναι ίση με $44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

Η μάζα του CO_2 που αντιστοιχεί στα 0,5 mol είναι ίση με:

$m_{\text{CO}_2} = 0,5 \cdot 44 \text{ g} = 22 \text{ g}$.

Η μάζα του δείγματος βιοαερίου είναι ίση με 54 g. Επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε τη m_{CH_4} από τη σχέση:

$$m_{\text{βιοαερίου}} = m_{\text{CH}_4} + m_{\text{CO}_2} \Rightarrow m_{\text{CH}_4} = m_{\text{βιοαερίου}} - m_{\text{CO}_2} \Rightarrow m_{\text{CH}_4} = (54 - 22) \text{ g} = 32 \text{ g}.$$

Άρα η σύσταση του μίγματος βιοαερίου είναι 22 g CO_2 και 32 g CH_4 .

γ)

i) Η σταθερά K_c της χημικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K_c = \frac{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]} \Rightarrow K_c = \frac{\frac{1,5 \text{ mol}}{5 \text{ L}} \cdot \frac{2,5 \text{ mol}}{5 \text{ L}}}{\frac{2,5 \text{ mol}}{5 \text{ L}} \cdot \frac{1,5 \text{ mol}}{5 \text{ L}}} \Rightarrow K_c = 1$$

Άρα η σταθερά K_c της χημικής ισορροπίας είναι ίση με 1.

ii) Η συγκέντρωση του H_2 στην αρχική χημική ισορροπία είναι ίση με:

$$c_{\text{H}_2} = \frac{1,5 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 0,3 \text{ M}$$

Αν μειώσουμε τη θερμοκρασία, διατηρώντας σταθερό τον όγκο του δοχείου, η συγκέντρωση του H_2 στη νέα ισορροπία θα γίνει 0,5 M δηλαδή θα αυξηθεί. Αυτό σημαίνει ότι η χημική ισορροπία θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά. Η μείωση της θερμοκρασίας ευνοεί τις εξώθερμες αντιδράσεις, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, άρα η αντίδραση με κατεύθυνση προς τα αριστερά είναι εξώθερμη και επομένως η αντίδραση με κατεύθυνση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη.

Πραγματοποιείται αντίδραση με κατεύθυνση προς τα αριστερά, άρα θα έχουμε:

mol	$\text{CO}_2(\text{g})$	+	$\text{H}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{CO}(\text{g})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
αρχική χημική ισορροπία	2,5		1,5		1,5		2,5
αντιδρούν					z		z
παράγονται	z		z				
νέα χημική ισορροπία	$2,5 + z$		$1,5 + z$		$1,5 - z$		$2,5 - z$

Στη νέα ισορροπία η συγκέντρωση του H_2 θα γίνει 0,5 M, άρα θα ισχύει:

$$\frac{(1,5 + z) \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 0,5 \text{ M} \Rightarrow z = 1$$

Επομένως οι ποσότητες σε mol των συστατικών στη νέα χημική ισορροπία θα είναι:

3,5 mol CO_2 , 2,5 mol H_2 , 0,5 mol CO , 1,5 mol H_2O .