

ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

4.1 Έννοια χημικής ισορροπίας – Απόδοση αντίδρασης

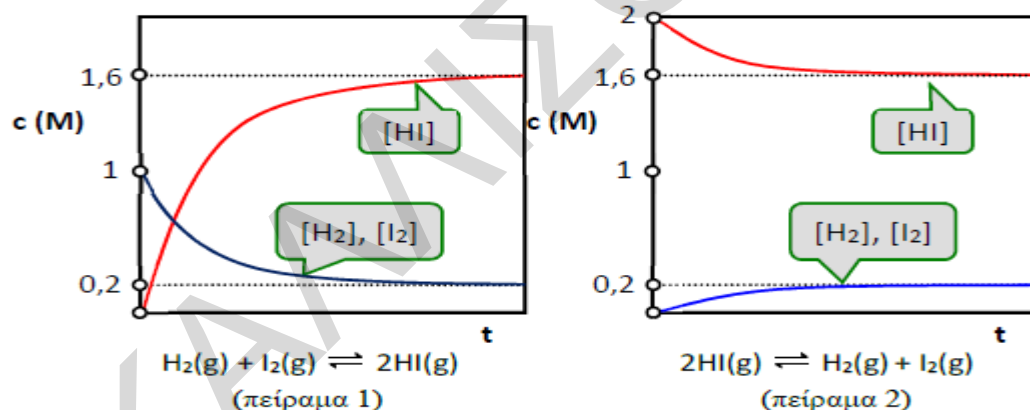
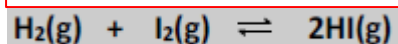
Μονόδρομες ή ποσοτικές αντιδράσεις Μέχρι τώρα, σε όλες τις περιπτώσεις αντιδράσεων, υποθέταμε ότι τα αντιδρώντα μετατρέπονται πλήρως στα προϊόντα της αντίδρασης. Με άλλα λόγια, στο τέλος της αντίδρασης η ποσότητα του ενός τουλάχιστον από τα αντιδρώντα έχει μηδενιστεί. Υποθέτουμε ότι σε δοχείο όγκου V εισάγουμε $2 \text{ mol H}_2(\text{g})$ και $2 \text{ mol Cl}_2(\text{g})$. Τα στοιχεία αυτά αντιδρούν ζωηρά, παρουσία ηλιακού φωτός, σχηματίζοντας $4 \text{ mol HCl}(\text{g})$

Αμφίδρομες αντιδράσεις – Χημική ισορροπία

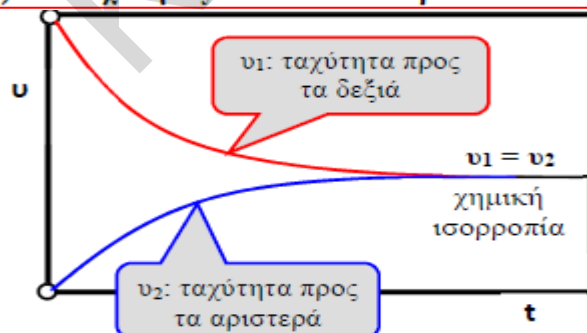
Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται και προς τις δύο κατευθύνσεις (τα προϊόντα έχουν την ικανότητα να επανασχηματίζουν τα αντιδρώντα) λέγονται **αμφίδρομες αντιδράσεις** και οδηγούν στην **κατάσταση χημικής ισορροπίας**, στην οποία συνυπάρχουν όλα τα αντιδρώντα και τα προϊόντα και μάλιστα οι ποσότητές τους παραμένουν αναλλοίωτες, εκτός αν αλλάξουν οι συνθήκες του πειράματος.

Βασικά χαρακτηριστικά μιας χημικής ισορροπίας

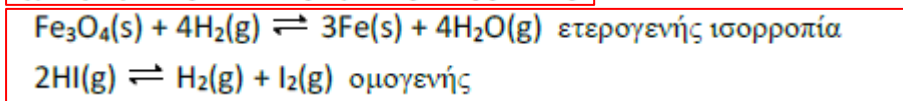
α) Οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και των προϊόντων παραμένουν σταθερές.



β) Οι ταχύτητες των δύο αντιδράσεων είναι ίσες.



γ) Ομογενείς και ετερογενείς ισορροπίες.



Απόδοση μιας χημικής αντίδρασης

Συντελεστής απόδοσης (α) μιας αντίδρασης είναι ο λόγος της ποσότητας (σε g ή σε mol) ενός προϊόντος που παράγεται πρακτικά σε μία αντίδραση, προς την ποσότητα του ίδιου προϊόντος που θα παραγόταν θεωρητικά, αν η αντίδραση ήταν μονόδρομη (ποσοτική).

Δηλαδή, ο συντελεστής απόδοσης μιας αντίδρασης δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha = \frac{\text{πρακτικό ποσό ενός προϊόντος}}{\text{θεωρητικό ποσό τού ίδιου προϊόντος}}$$

Η απόδοση μιας αντίδρασης προκύπτει αν πολλαπλασιάσουμε το συντελεστή α με το 100:

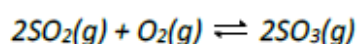
$$\alpha \% = \alpha \cdot 100$$

Για το συντελεστή απόδοσης ισχύει: $0 < \alpha \leq 1$. Όταν $\alpha = 0$ σημαίνει ότι η αντίδραση δε γίνεται, ενώ απόδοση $\alpha = 1$ σημαίνει ότι η αντίδραση έχει ολοκληρωθεί κατά 100% (ποσοτική αντίδραση).

Η απόδοση μιας αντίδρασης μπορεί να εκφραστεί και με βάση το αντιδρών σε έλλειμμα και χωρίς να απαιτείται ο προσδιορισμός της θεωρητικής ποσότητας ενός προϊόντος.

Ας δούμε την εφαρμογή που ακολουθεί.

Σε κενό δοχείο εισάγονται 4 mol SO_2 και 10 mol O_2 και σε κατάλληλες συνθήκες αποκαθίσταται η ισορροπία:



Αν στη χημική ισορροπία έχουν σχηματιστεί 3 mol SO_3 :

- Ποιες οι ποσότητες (σε mol) των υπολοίπων σωμάτων στην κατάσταση της χημικής ισορροπίας;
- Ποια είναι η απόδοση (α) της αντίδρασης;

α) Θεωρούμε ότι αντιδρούν έστω $2x$ mol SO_2 , με x mol O_2 και προκύπτουν $2x$ mol SO_3 . Καταστρώνουμε τον πίνακα που ακολουθεί:

mol	2SO_2	+	O_2	\rightleftharpoons	2SO_3
Αρχικά	4		10		—
Μεταβολές	$-2x$		$-x$		$2x$
X.I.	$4 - 2x$		$10 - x$		$2x$

σε περίσσεια !

Ισχύει: $2x = 3$, άρα $x = 1,5$ mol. Στη X.I. θα έχουμε $4 - 2x = 1$ mol SO_2 , $10 - x = 8,5$ mol O_2 και (φυσικά) 3 mol SO_3 .

β) Παρατηρούμε ότι το O_2 είναι σε περίσσεια (τα 4 mol SO_2 απαιτούν για πλήρη αντίδραση 2 mol O_2) και επομένως η θεωρητική ποσότητα του SO_3 θα είναι 4 mol (επιβεβαιώστε). Επομένως, σύμφωνα με τον ορισμό της απόδοσης με βάση το μοναδικό προϊόν της αντίδρασης, έχουμε:

$$\alpha = \frac{\text{πρακτικό ποσό}}{\text{θεωρητικό ποσό}} = \frac{3}{4} = 0,75 \text{ (75\%)}$$

Θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε την απόδοση της αντίδρασης και με βάση το κλάσμα των mol (κ) που αντιδρούν για το αντιδρών που είναι σε έλλειμμα:

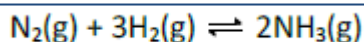
$$\kappa_{\text{SO}_2} = \alpha = \frac{\text{αριθμός mol SO}_2 \text{ που αντέδρασε}}{\text{αρχικός αριθμός mol SO}_{2a}} = \frac{2x}{4} = 0,75$$

Η απόδοση μιας (αμφίδρομης ή και μονόδρομης αντίδρασης που δεν έχει όμως ολοκληρωθεί για διάφορους λόγους) είναι σημαντικός παράγοντας, κυρίως για τη βιομηχανία, όπου μαζί με το χρόνο διεξαγωγής μιας αντίδρασης καθορίζουν σε σημαντικό ποσοστό την τιμή του τελικού προϊόντος.

$$\kappa_{\text{O}_2} = \frac{x}{10} = 0,15 \neq \alpha$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1. Ισομοριακές ποσότητες $\text{N}_2(\text{g})$ και $\text{H}_2(\text{g})$ εισάγονται σε δοχείο σταθερού όγκου V , οπότε και αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:



Ποια από τις παρακάτω σχέσεις θα ισχύει σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή διεξαγωγής της αντίδρασης;

A) $[\text{N}_2] = [\text{H}_2] = [\text{NH}_3]$

B) $[\text{N}_2] \leq [\text{H}_2]$

Γ) $[\text{N}_2] \geq [\text{H}_2]$

Δ) $[\text{H}_2] > [\text{NH}_3] > [\text{N}_2]$

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Έστω x mol N_2 και x mol H_2 . Θα θεωρήσουμε κάποια χρονική στιγμή t , πριν την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας, κατά την οποία έχουν αντιδράσει (έστω) y mol N_2 :

mol	$\text{N}_2(\text{g})$	$+ 3\text{H}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$2\text{NH}_3(\text{g})$
Αρχικά	x	x		—
Μεταβολές	$-y$	$-3y$		$2y$
Τ	$x - y$	$x - 3y$		$2y$

Προφανώς, την οποιαδήποτε χρονική στιγμή t ($t > 0$) ισχύει:

$$x - y > x - 3y, \quad \frac{x - y}{V} > \frac{x - 3y}{V}, \quad [\text{N}_2]_t > [\text{H}_2]_t$$

Καθώς για $t = 0$ ισχύει: $[\text{N}_2] = [\text{H}_2]$, γενικά θα ισχύει: $[\text{N}_2] \geq [\text{H}_2]$. Δηλαδή, σωστή είναι η επιλογή Γ.

2. Ποσότητα $\text{CaCO}_3(\text{s})$, μάζας 500 g, θερμαίνεται στους 800°C , οπότε διασπάται με απόδοση 80% σε ασβέστη, $\text{CaO}(\text{s})$ και διοξείδιο του άνθρακα, $\text{CO}_2(\text{g})$. Πόσα g CaO θα παραχθούν και πόσα g CaCO_3 παρέμειναν χωρίς να διασπαστούν;

Για το CaCO_3 , $M_r = 100$ και άρα η αρχική ποσότητά του θα είναι: $n = \frac{500}{100} = 5 \text{ mol}$.

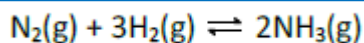
mol	$\text{CaCO}_3(\text{s})$	\rightleftharpoons	$\text{CaO}(\text{s})$	+	$\text{CO}_2(\text{g})$
Αρχικά	5		—		—
Μεταβολές	-x		x		x
Χ.Ι.	5 - x		x		x



$$\alpha = 0,8 = \frac{x}{5}, x = 0,8 \cdot 5 = 4 \text{ mol.}$$

Άρα θα παραχθούν 4 mol ή $4 \cdot 56 = 224 \text{ g CaO}$. Η ποσότητα του CaCO_3 που δεν διασπαστηκε είναι: $(5 - x) \cdot 100 = 100 \text{ g}$.

3. Σε δοχείο όγκου 2 L εισάγεται ισομοριακό μίγμα N_2 και H_2 συνολικής μάζας 60 g. Το μίγμα θερμαίνεται στους 527°C παρουσία καταλύτη και αποκαθίσταται η ισορροπία:



Διαπιστώσαμε ότι το μίγμα ισορροπίας περιέχει 0,8 mol NH_3 .

α) Ποια η ποσότητα της NH_3 (σε mol) που θα σχηματιζόταν αν η αντίδραση ήταν ποσοτική (μονόδρομη); Ποια η πίεση στο δοχείο στο τέλος της αντίδρασης στην περίπτωση αυτή;

β) Να υπολογίσετε την απόδοση της αντίδρασης, καθώς και την ολική πίεση του μίγματος στην ισορροπία.

$$R = 0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

ΛΥΣΗ

α) $M_r(\text{N}_2) = 28$, $M_r(\text{H}_2) = 2$. Εφόσον το μίγμα είναι ισομοριακό, θα αποτελείται (έστω) από x mol N_2 και x mol H_2 και θα ισχύει:

$$28x + 2x = 60, 30x = 60, x = 2 \text{ mol}$$

Το N_2 είναι σε περίσσεια:

mol	$\text{N}_2(\text{g})$	$+ 3\text{H}_2(\text{g})$	\rightarrow	$2\text{NH}_3(\text{g})$
Αρχικά	2	2		—
Μεταβολές	-2/3	-2		4/3
Χ.Ι.	4/3	—		4/3

Η θεωρητική ποσότητα της NH_3 είναι $4/3 \text{ mol}$. Τα συνολικά mol στο τέλος της αντίδρασης θα ήταν: $4/3 + 4/3 = 8/3$.

$$P \cdot V = n_{\text{ολ}} \cdot R \cdot T, \quad P = \frac{n_{\text{ολ}} \cdot R \cdot T}{V} = \frac{(8/3) \cdot 0,082 \cdot 800}{2} = 87,47 \text{ atm.}$$

β) Όταν αποκατασταθεί χημική ισορροπία, θα έχουμε:

mol	$\text{N}_2(\text{g})$	+ $3\text{H}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$2\text{NH}_3(\text{g})$
Αρχικά	2	2		—
Μεταβολές	-x	-3x		2x
X.I.	2 - x	2 - 3x		2x

Ισχύει: $2x = 0,8$, $x = 0,4 \text{ mol}$. Η απόδοση υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha = \frac{\text{πρακτικ ό ποσό } \text{NH}_3}{\text{θεωρητικ ό ποσό } \text{NH}_3} = \frac{2x}{4/3} = \frac{0,8}{4/3} = 0,6$$

Ο συνολικός αριθμός mol στην περίπτωση αυτή είναι: $4 - 2x = 3,2 \text{ mol}$. Επομένως, η πίεση του μίγματος ισορροπίας είναι:

$$P' \cdot V = n'_{\text{ολ}} \cdot R \cdot T, \quad P' = \frac{n'_{\text{ολ}} \cdot R \cdot T}{V} = \frac{3,2 \cdot 0,082 \cdot 800}{2} = 104,96 \text{ atm}$$

4. Σε δοχείο όγκου V εισάγονται $29,7 \text{ g}$ φωσγενίου (COCl_2) σε θερμοκρασία $\theta^\circ\text{C}$, οπότε αποκαθίσταται η ισορροπία: $\text{COCl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$. Στην κατάσταση της ισορροπίας προσδιορίστηκαν $4,2 \text{ g}$ CO . Να υπολογιστούν:

α) Οι ποσότητες (σε mol) των τριών αερίων στην ισορροπία.

β) Η απόδοση της αντίδρασης.

γ) Η %v/v σύσταση του μίγματος ισορροπίας σε CO .

$$\text{α) } M_r(\text{COCl}_2) = 99, \quad n = \frac{29,7}{99} = 0,3 \text{ mol.}$$

mol	$\text{COCl}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{CO}(\text{g})$	+ $\text{Cl}_2(\text{g})$
Αρχικά	0,3		—	—
Μεταβολές	-x		x	x
X.I.	0,3 - x		x	x

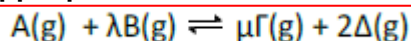
$x = 4,2/28 = 0,15 \text{ mol}$ CO ($M_r \text{ CO} = 28$). Επομένως, στη χημική ισορροπία θα συνυπάρχουν: $0,3 - 0,15 = 0,15 \text{ mol}$ COCl_2 , $0,15 \text{ mol}$ CO και $0,15 \text{ mol}$ Cl_2 .

$$\text{β) Η απόδοση της αντίδρασης είναι: } \alpha = \frac{x}{0,3} = 0,5 \text{ ή } 50\%.$$

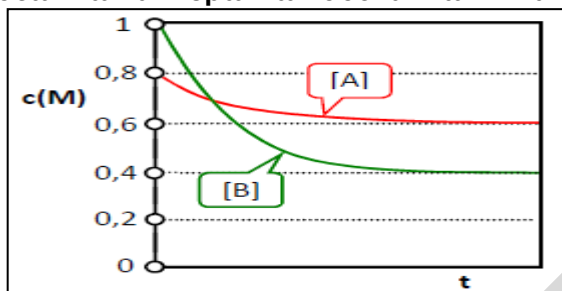
γ) Ο συνολικός αριθμός mol στην ισορροπία είναι: $(0,3 - x) + x + x = 0,45 \text{ mol}$. Επειδή στα αέρια η αναλογία όγκων είναι και αναλογία mol, θα έχουμε:

$$\%v/v \text{ CO} = \frac{0,15}{0,45} \cdot 100 = 33,3\%$$

5. Σε δοχείο όγκου V εισάγουμε ποσότητες από τα αέρια A και B, υπό σταθερή θερμοκρασία $\theta^\circ\text{C}$ και αποκαθίσταται η ισορροπία:



Για την ισορροπία αυτή, πήραμε τις καμπύλες συγκεντρώσεων των αντιδρώντων συστατικών A και B, που εμφανίζονται στο



διάγραμμα.

α) i. Να προσδιορίσετε την τιμή του συντελεστή λ.

ii. Αν κατά τη διάρκεια της αντίδρασης η ολική πίεση στο δοχείο παραμένει σταθερή, ποιος ο συντελεστής μ του συστατικού Γ;

β) Να κατασκευάσετε τα αντίστοιχα διαγράμματα για τα προϊόντα Γ και Δ.

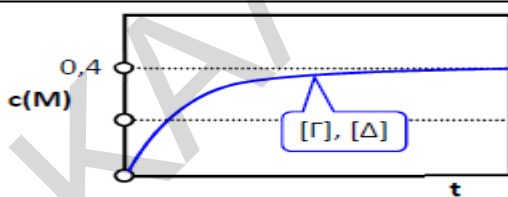
γ) Να υπολογίσετε την απόδοση της αντίδρασης.

ΛΥΣΗ

α) i. Μέχρι να αποκατασταθεί η ισορροπία αντέδρασαν $0,2 \text{ mol/L}$ A και $0,6 \text{ mol/L}$ B (τριπλάσια ποσότητα σε σχέση με το A). Επομένως $\lambda = 3$.

ii. Εφόσον η πίεση στο δοχείο μένει σταθερή, ο συνολικός αριθμός των μορίων των αερίων δε μεταβάλλεται, οπότε: $1 + 3 = \mu + 2$, $\mu = 2$.

β)



γ) Με βάση τα διαγράμματα για τα αντιδρώντα και τα προϊόντα θα έχουμε:

mol	$\text{A(g)} + 3\text{B(g)} \rightleftharpoons 2\text{Γ(g)} + 2\Delta(\text{g})$			
Αρχικά	0,8V	V	—	—
Μεταβολές	-0,2V	-0,6V	0,4V	0,4V
X.I.	0,6 V	0,4V	0,4V	0,4V

Το συστατικό A είναι σε περίσσεια (γιατί;), οπότε η απόδοση της αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί με βάση το συστατικό B ως εξής:

$$\alpha = \frac{0,6V}{V} = 0,6 \text{ (60\%)}$$

Καλό μήνα..... Καλή συνέχεια.....