



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Χημεία

Ενότητα 14: Χημική ισορροπία

Αν. Καθηγητής Γεώργιος Μαρνέλλος
e-mail: gmarnellos@uowm.gr

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

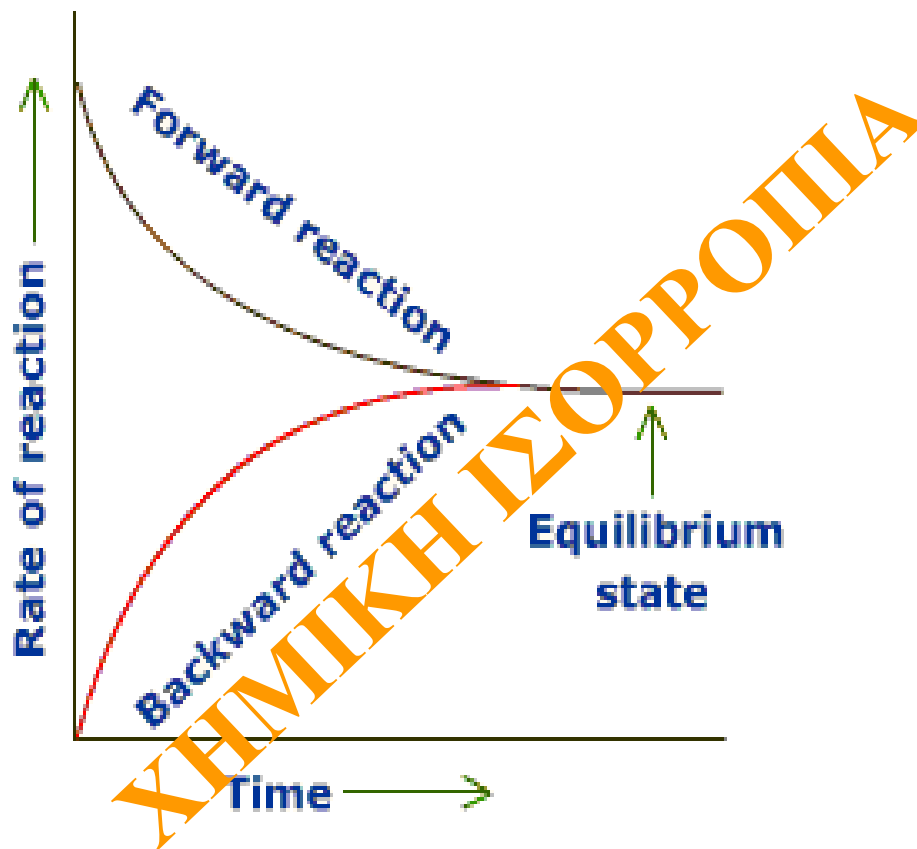
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Κεφάλαιο 14^ο

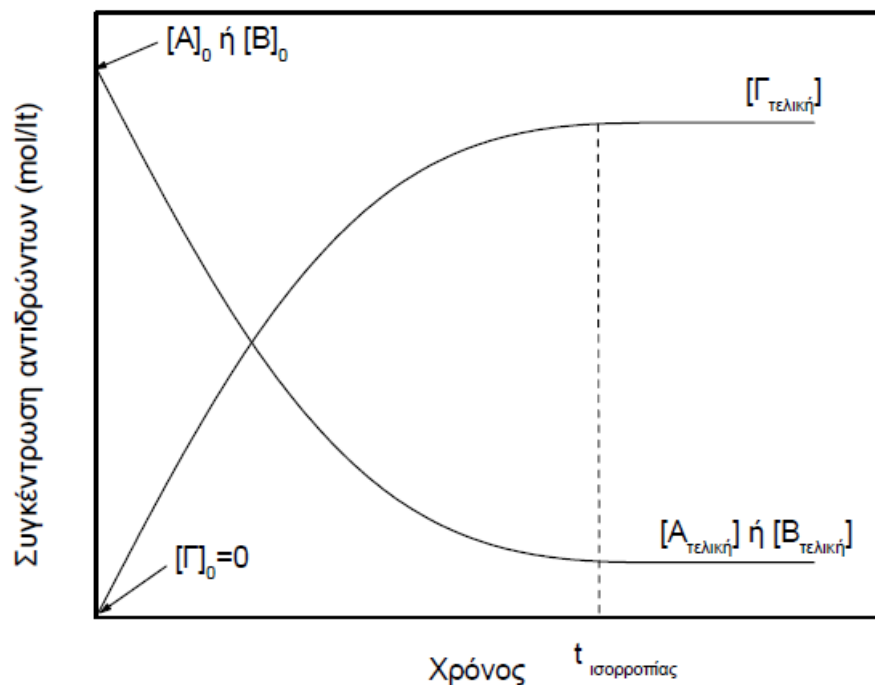


Attainment of equilibrium in a reversible reaction



Χημική ισορροπία (1/2)

...Κατά την επιτέλεση των χημικών αντιδράσεων, η μετατροπή των αντιδρώντων συστατικών σε προϊόντα δεν επιτελείται ολοκληρωτικά ακόμα και μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Μετά από κάποια χρονική στιγμή οι συγκεντρώσεις τόσο των αντιδρώντων όσο και των προϊόντων παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου (κατάσταση δυναμικής ή χημικής ισορροπίας).



Χημική ισορροπία (2/2)

- ... Στην χημική ισορροπία η σύσταση παραμένει σταθερή ως να μην επιτελείται καμία αντίδραση. Στην πραγματικότητα αυτό που συμβαίνει είναι μια εξίσωση δυο ρυθμών: **του ρυθμού κατανάλωσης ($A+B \rightarrow \Gamma$) αντιδρώντων και του ρυθμού παραγωγής αντιδρώντων ($\Gamma \rightarrow A+B$).**

Η αντίδραση που πραγματοποιείται και προς τις δυο κατευθύνσεις ονομάζεται αμφίδρομη και συμβολίζεται: $A+B \rightleftharpoons \Gamma$.

- Φαινόμενη ισορροπία vs πραγματικής ή θερμοδυναμικής ισορροπίας.

Αλληλεπίδραση C και O₂ στους 25°C.

Χρήση Καταλύτη.



Σταθερά χημικής ισορροπίας

Έστω η αντίδραση: $\alpha A + \beta B \rightleftharpoons \gamma \Gamma + \delta \Delta$

- Στην κατάσταση ισορροπίας οι ρυθμοί των προς τα δεξιά και προς τα αριστερά αντιδράσεων εξισώνονται, με αποτέλεσμα η σύσταση των αντιδρώντων και των προϊόντων να παραμένει αμετάβλητη.
- Η κατάσταση ισορροπίας μπορεί να εκφραστεί από την σταθερά ισορροπίας K_c , η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία:

$$K_c = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[\Gamma]^\gamma [\Delta]^\delta}{[A]^\alpha [B]^\beta} \quad K = K_p = \frac{[P_\Gamma]^\gamma [P_\Delta]^\delta}{[P_A]^\alpha [P_B]^\beta}$$

Ιδανικά Αέρια

ΝΟΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΣ ΤΩΝ ΜΑΖΩΝ:

- “Σε σύστημα σε ισορροπία ο λόγος του γινομένου των συγκεντρώσεων των προϊόντων προς το γινόμενο των συγκεντρώσεων των αντιδρώντων, υψωμένων σε δυνάμεις ίσες με τους στοιχειομετρικούς συντελεστές, είναι σταθερός και καθορίζει τη θέση ισορροπίας”.



Αρχή του Le Chatelier

- Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση της θερμοδυναμικής ισορροπίας είναι:

- Η θερμοκρασία .
- Η πίεση .
- Η συγκέντρωση .



Αρχή του Le Chatelier:

“Όταν σε ένα σύστημα που βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας επέλθει μεταβολή ενός από τους παράγοντες που την επηρεάζουν, τότε η ισορροπία του συστήματος μετατοπίζεται προς εκείνη την κατεύθυνση που αντισταθμίζει την επιβαλλόμενη μεταβολή”.



Επίδραση της συγκέντρωσης ...

Έστω $\text{Br}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{BrCl}(\text{g})$:

- Σταθερά ισορροπίας:

$$K_p = \frac{[P_{\text{BrCl}}]^2}{[P_{\text{Br}_2}] [P_{\text{Cl}_2}]}$$

- Αν αυξήσουμε τη συγκέντρωση των αντιδρώντων η ισορροπία του συστήματος θα μετατοπισθεί προς την πλευρά που θα επέλθει μείωση των συγκεντρώσεων των αντιδρώντων (**δεξιά**).

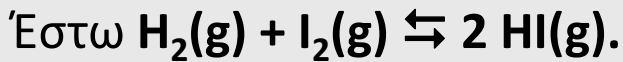
Παράδειγμα:

Για την παραγωγή ενός προϊόντος απαιτείται η αντίδραση ανάμεσα σε ένα ακριβό και ένα φτηνό αντιδραστήριο, αυτό που μπορούμε να κάνουμε είναι να προσθέσουμε σε περίσσεια το φτηνό, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί ο βαθμός μετατροπής του ακριβού αντιδρώντος και να παραχθεί περισσότερο προϊόν.

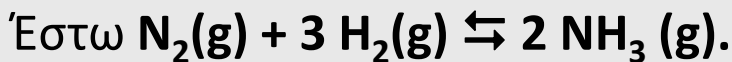


Επίδραση της πίεσης

Για να επέλθει μεταβολή στη θέση ισορροπίας από την αύξηση ή μείωση της πίεσης, είναι απαραίτητο να υπάρχει μεταβολή του όγκου των αερίων κατά την επιτέλεση της αντίδρασης.



Η μεταβολή στην πίεση δεν επιφέρει καμιά μεταβολή.



Η μεταβολή της πίεσης θα επηρεάσει τη θέση ισορροπίας.

(4 mol αντιδρώντων δίνουν 2 mol προϊόντος).

Η αύξηση της πίεσης προκαλεί μετατόπιση της ισορροπίας προς την κατεύθυνση που ελαττώνεται η συνολική πίεση ή διαφορετικά προς την κατεύθυνση που ελαττώνονται τα mol.



Επίδραση της θερμοκρασίας

Η επίδραση της θερμοκρασίας στη θέση ισορροπίας εξαρτάται εάν κατά την πραγματοποίηση της αντίδρασης εκλύεται ($\Delta H < 0$) ή απορροφάται θερμότητα ($\Delta H > 0$).

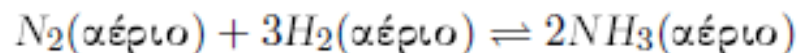
- Η αύξηση της θερμοκρασίας σε μια εξώθερμη αντίδραση θα μετατοπίσει την ισορροπία προς την πλευρά των αντιδρώντων.
- Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ποσότητα των προϊόντων στη ισορροπία στην περίπτωση ενδόθερμης διεργασίας.
- Εξίσωση Van't Hoff:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad \text{ή} \quad \ln \left(\frac{K_2}{K_1} \right) = -\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$



Παράδειγμα 14.1

Άζωτο (N_2) και υδρογόνο (H_2) τοποθετούνται σε δοχείο όγκου 10 lt, στους $600^\circ C$. Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας το δοχείο περιέχει 5 mol N_2 , 2,5 mol H_2 και 1 mol NH_3 . Υπολογίστε τη σταθερά χημικής ισορροπίας (K_c) στους $600^\circ C$, για την αντίδραση:



ΛΥΣΗ

- Υπολογισμός των τελικών συγκεντρώσεων:

$$[N_2] = \frac{5\text{mol}}{10\text{lt}} = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$$

$$[H_2] = \frac{2,5\text{mol}}{10\text{lt}} = 0,25 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$$

$$[NH_3] = \frac{1\text{mol}}{10\text{lt}} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$$

- Άρα
$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3} = \frac{0,1^2}{0,5 \cdot 0,25^3} = 1,28$$



Παράδειγμα 14.2 (1/2)

Για την αντίδραση $A(\text{αέριο}) + B(\text{αέριο}) \rightleftharpoons \Gamma(\text{αέριο}) + \Delta(\text{αέριο})$, η σταθερά χημικής ισορροπίας είναι $K_c = 81$, σε μια δεδομένη θερμοκρασία T . Αν σε δοχείο όγκου $V = 10 \text{ lt}$ και θερμοκρασίας T , τοποθετηθούν 1 mol από τα αντιδρώντα A και B , να υπολογίσετε: (a) τις συγκεντρώσεις όλων των συστατικών σε κατάσταση ισορροπίας και (b) το ποσοστό μετατροπής του A .

ΛΥΣΗ

- Οι αρχικές συγκεντρώσεις είναι ίσες με:

$$[A] = [B] = \frac{1 \text{ mol}}{10 \text{ lt}} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{lt}} \quad [\Gamma] = [\Delta] = 0,0 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$$

	$A +$	$B \rightleftharpoons$	$\Gamma +$	Δ
Αρχικά	$0,1 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$	$0,1 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$	$0 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$	$0 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$
Αντιδρούν	$x \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$	$x \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$	-	-
Παράγονται	-	-	$x \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$	$x \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$
Σε ισορροπία	$(0,1 - x) \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$	$(0,1 - x) \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$	$x \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$	$x \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$



Παράδειγμα 14.2 (2/2)

Σταθερά Ισορροπίας:

$$K_c = \frac{[\Gamma] \cdot [\Delta]}{[A] \cdot [B]}:81 = \frac{x^2}{(0,10 - x)^2}:$$
$$\sqrt{81} = \sqrt{\frac{x^2}{(0,10 - x)^2}}:9 = \frac{x}{(0,10 - x)}:$$
$$x = 0,09$$

Οι συγκεντρώσεις στην ισορροπία και η τελική μετατροπή του A:

$$[A] = [B] = 0,1 - x = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$$

$$[\Gamma] = [\Delta] = x = 0,09 \frac{\text{mol}}{\text{lt}}$$

$$\% \text{ μετατροπή A} = \frac{[A]_{\text{αρχικό}} - [A]_{\text{ισορροπίας}}}{[A]_{\text{αρχικό}}} \times 100:$$

$$\% \text{ μετατροπή A} = \frac{0,1 - 0,01}{0,1} = 90\%$$



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σημείωμα Αναφοράς

- Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Μαρνέλλος Γεώργιος. «Χημεία». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [https:// eclass.uowm.gr/courses/MECH100/](https://eclass.uowm.gr/courses/MECH100/)



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Όχι Παράγωγα Έργα Μη Εμπορική Χρήση 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως Μη Εμπορική ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

- Γενική Χημεία. Θεωρία & Εφαρμογές, Μ.Ι. Κονσολάκης, Εκδόσεις ΑΕΝΑΟΣ, 2008



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

