

4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση χημικής ισορροπίας - Αρχή Le Chatelier

Τι ονομάζεται θέση χημικής ισορροπίας;	Σε μία θέση χημικής ισορροπίας η σύσταση του μίγματος παραμένει αμετάβλητη με την πάροδο του χρόνου και οι ταχύτητες των δύο αντίθετων αντιδράσεων είναι ίσες.
Από ποιους παράγοντες επηρεάζεται η θέση της χημικής ισορροπίας;	Η θέση ισορροπίας επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες χημικής ισορροπίας: 1. τη συγκέντρωση των αντιδρώντων ή προϊόντων, 2. την πίεση, 3. τη θερμοκρασία.
Να διατυπώσετε την αρχή Le Chatelier.	Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier ή, όπως απλά λέγεται, «αρχή της φυγής προ της βίας»: <i>Όταν μεταβάλλουμε ένα από τους συντελεστές ισορροπίας (συγκέντρωση, πίεση, θερμοκρασία) η θέση της ισορροπίας μετατοπίζεται προς εκείνη την κατεύθυνση που τείνει να αναιρέσει τη μεταβολή που επιφέραμε.</i>
Ποια η χρησιμότητα της αρχής Le Chatelier.	1. Μπορούμε να προβλέψουμε θεωρητικά προς ποια κατεύθυνση μετατοπίζεται η θέση μιας ισορροπίας (χημικής ή φυσικής), χρησιμοποιώντας την αρχή αυτή. 2. Η αρχή Le Chatelier μπορεί να εφαρμοστεί ακόμα και σε ισορροπίες φυσικών μεταβολών π.χ. μεταβολές φυσικών καταστάσεων. Έτσι, αν στην ισορροπία: $\text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(g),$ που είναι ενδόθερμη, αυξήσουμε την θερμοκρασία η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά.
Πως επηρεάζεται η θέση της χημικής ισορροπίας από τη θερμοκρασία;	Η αύξηση της θερμοκρασίας μετατοπίζει την ισορροπία προς την κατεύθυνση εκείνη όπου απορροφάται θερμότητα. Αντίθετα, η μείωση της θερμοκρασίας μετατοπίζει την ισορροπία προς την κατεύθυνση εκείνη όπου εκλύεται θερμότητα. Με άλλα λόγια η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί την ενδόθερμη αντίδραση, ενώ η μείωση ευνοεί την εξώθερμη αντίδραση. παραδείγματα: $2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(g) \quad \Delta H = -198 \text{ kJ (εξώθερμη)}$

Αν σ' ένα δοχείο σταθερού όγκου που περιέχει σε ισορροπία τα αέρια SO_2 , O_2 και SO_3 αυξήσουμε τη θερμοκρασία, τότε η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα αριστερά, δηλαδή προς τη διάσπαση του SO_3 , ώστε να ελαχιστοποιηθεί η μεταβολή που προκαλέσαμε.

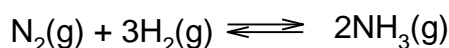
Πως επηρεάζεται η θέση της χημικής ισορροπίας από τη μεταβολή της συγκέντρωσης μιας ουσίας;

Σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier η μεταβολή της συγκέντρωσης σε ένα ή περισσότερα από τα σώματα που συμμετέχουν στην ισορροπία, μετατοπίζει την ισορροπία προς

- την κατεύθυνση εκείνη που ελαττώνεται η ποσότητα των σωμάτων των οποίων αυξάνεται η συγκέντρωση ή
- προς την κατεύθυνση προς την οποία σχηματίζονται τα σώματα, των οποίων μειώνεται η συγκέντρωση.

παραδείγματα:

Σε δοχείο έχουμε την ισορροπία:



Αν σε σταθερή θερμοκρασία και σε σταθερό όγκο αυξήσουμε τη συγκέντρωση μιας ουσίας π.χ. προσθέτοντας N_2 , η αντίδραση θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά, οπότε ελαττώνεται η συγκέντρωση των N_2 και H_2 , ενώ αυξάνεται η συγκέντρωση της NH_3 .

Πως επηρεάζεται η θέση της χημικής ισορροπίας από τη μεταβολή της πίεσης μιας ουσίας;

Η μεταβολή της πίεσης, που προκαλείται με μεταβολή του όγκου του δοχείου, επηρεάζει τη θέση της χημικής ισορροπίας μόνο όταν:

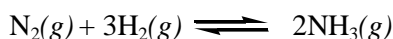
1. στην ισορροπία συμμετέχουν αέριες ουσίες και
2. κατά την αντίδραση παρατηρείται μεταβολή του αριθμού mol των αερίων.

Στις περιπτώσεις αυτές, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier,

- η **αύξηση της πίεσης** υπό σταθερή θερμοκρασία, μετατοπίζει την ισορροπία προς την κατεύθυνση όπου έχουμε **λιγότερα mol αερίων** (τα λιγότερα mol ασκούν μικρότερη πίεση).
- Αντίθετα, η **μείωση** της πίεσης υπό σταθερή θερμοκρασία, μετατοπίζει την ισορροπία προς την κατεύθυνση, όπου έχουμε **περισσότερα mol των αερίων** (ασκούν μεγαλύτερη πίεση).

παραδείγματα:

Σε δοχείο που επικρατεί η ισορροπία:



αν αυξήσουμε την πίεση, ελαττώνοντας τον όγκο του δοχείου σε σταθερή θερμοκρασία, τότε η ισορροπία μετατοπίζεται δεξιά. Κατ' αυτό τον τρόπο αντίδραση τείνει να ελαττώσει την πίεση, κινούμενη προς την κατεύθυνση όπου ελαττώνεται ο αριθμός των mol των αερίων (από 4 σε 2 mol).

Πότε η αύξηση της πίεσης δεν επηρεάζει τη θέση χημικής ισορροπίας αερίων ουσιών;

- 1.** Μεταβολή της πίεσης επίσης προκαλείται με εισαγωγή ευγενούς αερίου στο μίγμα ισορροπίας, υπό σταθερό όγκο και θερμοκρασία.
- 2.** Όταν ο αριθμός των mol των αερίων δεν διαφέρουν στα δεξιά και τα αριστερά της χημικής ισορροπίας.

Ερωτήσεις κατανόησης

4-25. Η πρόβλεψη της κατεύθυνσης προς την οποία μετατοπίζεται μια χημική ισορροπία αν μεταβάλλουμε έναν από τους παράγοντές της, καθορίζεται από την αρχή:

- α. Le Chatelier γ. Lavoisier - Laplace
β. Hess δ. Van't Hoff.

4-26. Ένας από τους συντελεστές της χημικής ισορροπίας
 $\text{CO}_{(\text{g})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\text{g})} + \text{H}_2_{(\text{g})}$ είναι:

- α. η συγκέντρωση του CO_2 γ. η πίεση
β. οι καταλύτες δ. ο όγκος του δοχείου στο οποίο γίνεται η αντίδραση:

4-27. Δύο από τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη χημική ισορροπία

$\text{C}_{(\text{s})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})} \rightleftharpoons \text{CO}_{(\text{g})} + \text{H}_{2(\text{g})}$ είναι:

- α. η ολική πίεση του συστήματος και η μάζα του C
β. η θερμοκρασία και οι καταλύτες
γ. η επιφάνεια επαφής του C και οι καταλύτες
δ. η συγκέντρωση του H_2 και η ολική πίεση του συστήματος.

4-28. Το σύνολο των παραγόντων από τους οποίους επηρεάζεται η χημική ισορροπία

$3\text{C}_2\text{H}_{2(\text{g})} \xrightleftharpoons{\text{Fe}} \text{C}_6\text{H}_{6(\text{g})}$, $\Delta H > 0$, είναι:

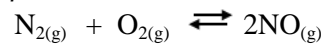
- α. η πίεση και η θερμοκρασία
β. οι συγκεντρώσεις του C_2H_2 και του C_6H_6
γ. οι συγκεντρώσεις των C_2H_2 και C_6H_6 , η πίεση και η θερμοκρασία
δ. η ποσότητα του καταλύτη (Fe), η πίεση και η θερμοκρασία.

4-29. Σε ένα δοχείο έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$3\text{Fe}_{(\text{s})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})} \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{s})} + 4\text{H}_{2(\text{g})}$, $\Delta H < 0$. Ποια από τις παρακάτω μεταβολές έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας του H_2 που περιέχεται στο δοχείο;

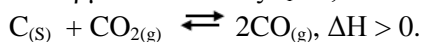
- α. η αύξηση της πίεσης γ. η εισαγωγή υδρατμών
β. η αύξηση της θερμοκρασίας δ. η προσθήκη καταλύτη.

4-30. Σε κενό δοχείο εισάγουμε, σε ορισμένη θερμοκρασία, ισομοριακές ποσότητες N_2 και O_2 , οπότε αποκαθίσταται τελικά η ισορροπία:



- i) Αν προσθέσουμε στο μείγμα ισορροπίας μία ποσότητα N_2 , η απόδοση της αντίδρασης:
α. δε θα μεταβληθεί β. θα ελαττωθεί γ. θα αυξηθεί.
ii) Αν αυξήσουμε τον όγκο του δοχείου, η απόδοση της αντίδρασης:
α. θα αυξηθεί β. θα μειωθεί γ. δε θα μεταβληθεί.

4-31. Σε ένα δοχείο σταθερού όγκου που περιέχει άνθρακα, εισάγεται CO_2 και το σύστημα θερμαίνεται στους θ_1 °C, οπότε αποκαθίσταται η ισορροπία:

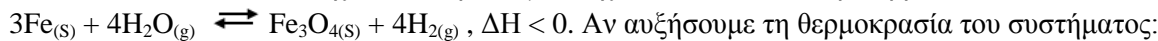


- i) Αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία του συστήματος, η απόδοση της παραγωγής του CO:
α. θα ελαττωθεί β. θα αυξηθεί γ. δε θα μεταβληθεί.
ii) Αν αυξήσουμε την πίεση ελαττώνοντας τον όγκο του δοχείου η απόδοση παραγωγής του CO:
α. θα ελαττωθεί β. θα αυξηθεί γ. δε θα μεταβληθεί.

4-32. Η αύξηση της απόδοσης της παραγόμενης ποσότητας NH_3 με ταυτόχρονη αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης: $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$, $\Delta H < 0$, γίνεται με:

α. αύξηση της θερμοκρασίας β. μείωση της θερμοκρασίας γ. αύξηση της πίεσης δ. αύξηση του όγκου του δοχείου.

4-33. Σε ένα δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:



i) Ο συνολικός αριθμός των mol των αερίων:

- α. θα αυξηθεί γ. θα μειωθεί
β. δεν θα μεταβληθεί δ. εξαρτάται από την απόδοση της αντίδρασης.

ii) Η ολική πίεση των αερίων:

- α. θα αυξηθεί γ. δεν θα μεταβληθεί
β. θα μειωθεί δ. δε μπορούμε να γνωρίζουμε πως θα μεταβληθεί.

4-34. Μείγμα H_2 , I_2 και HI όγκου V έχει συγκέντρωση ως προς HI C_1 και βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

$\text{H}_{2(\text{g})} + \text{I}_{2(\text{g})} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(\text{g})}$, $\Delta H > 0$. Υποβάλλουμε το μείγμα στις διεργασίες που περιγράφονται στην πρώτη στήλη του παρακάτω πίνακα, οπότε το HI αποκτά στην κάθε περίπτωση τη συγκέντρωση που αναγράφεται στη δεύτερη στήλη

(I) είδος διεργασίας	(II) τελική $[\text{HI}]$
Διπλασιάζουμε τον όγκο του μείγματος με σταθερή θερμοκρασία	C_2
Αυξάνουμε τη θερμοκρασία κατά θ $^\circ\text{C}$ διατηρώντας σταθερό τον όγκο του μείγματος	C_3
Αυξάνουμε τη θερμοκρασία κατά θ $^\circ\text{C}$ και υποδιπλασιάζουμε ταυτόχρονα τον όγκο του μείγματος	C_4

Να διατάξετε κατά σειρά αυξανόμενης τιμής τις συγκεντρώσεις C_1 , C_2 , C_3 και C_4 .

4-35. Αέριο μείγμα H_2 , I_2 και HI βρίσκεται σε δοχείο μεταβλητού όγκου σε ισορροπία, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση: $\text{H}_{2(\text{g})} + \text{I}_{2(\text{g})} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(\text{g})}$. Διαπιστώνουμε ότι για τιμές του όγκου του μείγματος 2L, 4L και 1L και για την ίδια θερμοκρασία, η συγκέντρωσή του ως προς το HI γίνεται αντίστοιχα C_1 , C_2 και C_3 . Να διατάξετε κατ' αύξουσα σειρά τις συγκεντρώσεις C_1 , C_2 και C_3 .

4-36. Σε δοχείο σταθερού όγκου περιέχονται κόκκοι στερεού άνθρακα και αέριο μείγμα που αποτελείται από υδρατμούς, CO και n_0 mol H_2 στους θ $^\circ\text{C}$ σε ισορροπία σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:



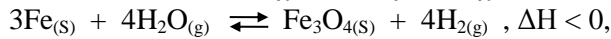
Αν επιφέρουμε στο μείγμα ισορροπίας κάθε μία από τις μεταβολές της στήλης (I), η ποσότητα των mol του H_2 αποκτά τελικά την τιμή που αναφέρεται στη στήλη (II) του πίνακα.

(I) Είδος μεταβολής	(II) αριθμός mol H_2
Προσθέτουμε 0,2mol CO , διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία.	n_1
Προσθέτουμε 0,6mol H_2O , διατηρώντας σταθερή τη θερμο-	n_2

κρασία.	
Προσθέτουμε 0,5mol CO, διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία.	n ₃
Προσθέτουμε 0,6mol H ₂ O και αυξάνουμε τη θερμοκρασία.	n ₄
Προσθέτουμε 0,5mol CO και ελαττώνουμε τη θερμοκρασία.	n ₅

Να διατάξετε τους αριθμούς n₀, n₁, n₂, n₃, n₄ και n₅ κατ' αύξουσα σειρά.

4-37. Σε ένα δοχείο στους θ °C έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:



μεταξύ ρινισμάτων Fe, υδρατμών, Fe₃O₄ και υδρογόνου.

Επιφέρουμε στο μείγμα ισορροπίας τις μεταβολές που περιγράφονται στη στήλη (I). Να αντιστοιχήσετε την κάθε μία από τις μεταβολές αυτές με το αποτέλεσμα που προκαλεί στην ποσότητα των υδρατμών που περιέχεται στο δοχείο και περιλαμβάνεται στη στήλη (II)

(I)

Είδος μεταβολή

(II)

Μεταβολή ποσότητας υδρατμών

A. αύξηση της θερμοκρασίας

B. προσθήκη καταλύτη

Γ. μείωση του όγκου του δοχείου

Δ. απομάκρυνση μιας ποσότητας H₂

E. προσθήκη σκόνης Fe

α. καμία

β. αύξηση

γ. μείωση

4-38. Σε κενό δοχείο εισάγουμε ισομοριακές ποσότητες N₂ και O₂, οπότε αποκαθίσταται η ισορροπία:



Το κάθε αποτέλεσμα που περιγράφεται στη στήλη (I) έχει σαν αίτιο μία από τις ενέργειες της στήλης (II). Να αντιστοιχήσετε το κάθε αποτέλεσμα της στήλης (I) με ένα από τα αίτια της στήλης (II).

(I)

A. αύξηση της συγκέντρωσης του NO₂

B. αύξηση της τιμής της K_c

Γ. ελάττωση της απόδοσης της αντίδρασης

Δ. αύξηση της συγκέντρωσης του N₂

(II)

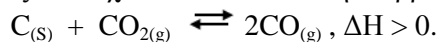
α. αύξηση θερμοκρασίας με σταθερό όγκο

β. ελάττωση της πίεσης με σταθερή θερμοκρασία

γ. εισαγωγή αέρα με σταθερό όγκο και θερμοκρασία

δ. ελάττωση της θερμοκρασίας με σταθερό όγκο.

4-39. Σε ένα δοχείο στους θ °C έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:



Επιφέρουμε στο μείγμα ισορροπίας τις μεταβολές που περιγράφονται στη στήλη (I). Να αντιστοιχήσετε την κάθε μία από τις μεταβολές αυτές με το αποτέλεσμα που προκαλεί στην τιμή της ολικής πίεσης, το οποίο περιλαμβάνεται στη στήλη (II)

(I)

Είδος μεταβολής

(II)

Μεταβολή πίεσης

A. αύξηση της θερμοκρασίας με σταθερό όγκο

B. αύξηση του όγκου του δοχείου με σταθερή

α. καμία

- Γ. εισαγωγή αδρανούς αερίου με σταθερό β. αύξηση
Δ. προσθήκη στερεού NaOH με σταθερό γ. ελάττωση
όγκο και θερμοκρασία (το NaOH αντι-
δρά με το CO₂: NaOH+CO₂ → NaHCO₃)
Ε. Προσθήκη μικρής ποσότητας σκόνης C.

4-40. Σε ένα κενό δοχείο εισάγεται φωσγένιο (COCl₂), οπότε αποκαθίσταται η ισορροπία:
 $\text{COCl}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$, ΔH > 0.

Να αντιστοιχίσετε την κάθε μεταβολή του συστήματος που περιγράφεται στη στήλη (I) με όσα από τα αίτια την προκαλούν και αναφέρονται στη στήλη (II).

- | (I) | (II) |
|---|---------------------------------|
| A. αύξηση της τιμής της K _C | α. εισαγωγή Cl ₂ |
| B. αύξηση του βαθμού διάσπασης | β. αύξηση της ολικής πίεσης |
| Γ. αύξηση της ποσότητας του Cl ₂ | γ. αύξηση του όγκου του δοχείου |
| Δ. αύξηση της ποσότητας του COCl ₂ | δ. αύξηση της θερμοκρασίας. |

4-41. Σε ένα δοχείο στους θ °C έχει αποκατασταθεί η ισορροπία:

$\text{N}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(g)}$, ΔH = -22Kcal. Επιφέρουμε στο μείγμα ισορροπίας κάθε μία από τις μεταβολές που περιγράφονται στη στήλη (I).

Να αντιστοιχίσετε την κάθε μεταβολή της στήλης (I) με το αποτέλεσμα που έχει αυτή στην ποσότητα της NH₃ που περιέχεται στο δοχείο και αναφέρεται στη στήλη (II).

- | (I) | (II) |
|---|--------------------------------|
| <u>Είδος μεταβολής</u> | <u>Μεταβολή NH₃</u> |
| A. αύξηση της θερμοκρασίας με σταθερό όγκο | |
| B. ελάττωση του όγκου του δοχείου με | α. αύξηση |
| Γ. προσθήκη καταλύτη | |
| Δ. εισαγωγή N ₂ και ταυτόχρονη μείωση της θερμοκρασίας | β. καμία |
| Ε. εισαγωγή αδρανούς αερίου με σταθερή
τη θερμοκρασία και την ολική πίεση. | γ. μείωση |

4-42. Σε δοχείο όγκου V στους θ °C έχει αποκατασταθεί η ισορροπία που περιγράφεται από τη χημική εξίσωση $\text{A}_{(g)} + 2\text{B}_{(g)} \rightleftharpoons 2\text{Γ}_{(g)}$, ΔH > 0. Εξετάστε αν θα μεταβληθεί η θέση της χημικής ισορροπίας καθώς και η τιμή της K_C, στις παρακάτω περιπτώσεις:

- α) αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία με σταθερό όγκο
β) αν εισάγουμε στο σύστημα κάποια ποσότητα από το αέριο Γ.

4-43. Σε δοχείο όγκου V και στους θ °C περιέχονται σε κατάσταση ισορροπίας H₂, J₂ και HJ, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση: $\text{H}_{2(g)} + \text{I}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(g)}$, ΔH = +10Kcal. Εξηγήστε αν θα μεταβληθεί και με ποιο τρόπο η χημική ισορροπία, αν επιφέρουμε στο μείγμα τις ακόλουθες μεταβολές:

- α) διαβιβάσουμε στο σύστημα μία ποσότητα He (ευγενές αέριο) διατηρώντας σταθερά τον όγκο του δοχείου και τη θερμοκρασία
β) προσθέσουμε στο σύστημα μικρή ποσότητα νατρίου, το οποίο αντιδρά με το HJ σύμφωνα με τη χημική εξίσωση: $\text{Na} + \text{HI} \rightarrow \text{NaI} + \frac{1}{2}\text{H}_2$.

4-44. Σε δοχείο σταθερού όγκου έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία:

$2\text{NO}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{4(g)}$. Εισάγουμε στο δοχείο μία ποσότητα N_2O_4 και διπλασιάζουμε συγχρόνως τον όγκο του. Εξετάστε αν θα μετατοπιστεί η θέση της χημικής ισορροπίας και προς ποια κατεύθυνση.

4-45. Σε καθένα από δύο όμοια δοχεία Α και Β εισάγεται η ίδια ποσότητα ισομοριακού μείγματος N_2 και H_2 . Το αέριο μείγμα στο δοχείο Α θερμαίνεται στους θ °C, ενώ το Β στους $(\theta+40)$ °C, οπότε και στα δύο δοχεία αποκαθίσταται η χημική ισορροπία που περιγράφεται από τη χημική εξίσωση:



α) Εξετάστε σε ποιο από τα δύο δοχεία έχει η αντίδραση μεγαλύτερη απόδοση.

β) Να σχεδιάσετε τις καμπύλες της συγκέντρωσης της NH_3 σε συνάρτηση με το χρόνο για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις σε κοινό σύστημα αξόνων.

4-46. Η σταθερά K_C για την ισορροπία $\text{N}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(g)}$, $\Delta H = -22\text{Kcal}$ αυξάνεται, όταν αυξηθεί η θερμοκρασία. Σ – Λ

4-47. Ο βαθμός διάσπασης του CaCO_3 προς CaO και CO_2 σύμφωνα με την ενδόθερμη αντίδραση

$\text{CaCO}_{3(s)} \rightleftharpoons \text{CaO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$ αυξάνεται, όταν η διάσπαση γίνεται σε υψηλή θερμοκρασία και σε χαμηλή πίεση. Σ – Λ

4-48. Αν σε ένα κλειστό δοχείο σταθερού όγκου που έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία $\text{N}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(g)}$ εισάγουμε μία ποσότητα ευγενούς αερίου, η χημική ισορροπία δε μεταβάλλεται ενώ η ολική πίεση των αερίων αυξάνεται.

4-49. Αν σε ένα δοχείο μεταβλητού όγκου, όπου έχει αποκατασταθεί η ισορροπία $\text{N}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(g)}$, $\Delta H = +44\text{Kcal}$, διπλασιάσουμε τον όγκο του δοχείου, η ολική πίεση δε μεταβάλλεται ενώ η ποσότητα του NO αυξάνεται.

4-50. Αν σε δοχείο όγκου V όπου έχει αποκατασταθεί η χημική ισορροπία $\text{COCl}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$ αυξήσουμε τον όγκο σε $2V$, η ολική πίεση των αερίων υποδιπλασιάζεται.

4-51. Αν ο βαθμός διάσπασης του φωσγενίου (COCl_2) προς CO και Cl_2 αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, υπό σταθερό όγκο, τότε η αντίδραση διάσπασης του COCl_2 είναι εξώθερμη.