

10. Η αρχή του Le Chatelier:

Μερικά παραδείγματα χημικών ισορροπιών

Σκοπός

Ο σκοπός των πειραμάτων που θα εκτελέσετε είναι να δείτε πώς εφαρμόζεται η αρχή του Le Chatelier σε συστήματα ευρισκόμενα σε χημική ισορροπία, όταν π.χ. μεταβάλλεται η συγκέντρωση μιας χημικής οντότητας που συμμετέχει στην ισορροπία, ως αντιδρών ή ως προϊόν, ή όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του συστήματος. Γενικότερα, μέσω αυτών των πειραμάτων θα διαπιστώσετε ότι όταν μεταβληθεί κάποιος από τους παράγοντες ισορροπίας ενός συστήματος, η ισορροπία μετατοπίζεται προς εκείνη την κατεύθυνση, προς την οποία εξουδετερώνεται η επιφερόμενη μεταβολή.

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε εκτελέσει τα παρακάτω πειράματα, θα μπορείτε να:

- Διακρίνετε, ποιοτικά, μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά χημικών ισορροπιών.
- Ερμηνεύετε τις παρατηρήσεις σας, σχετικά με μετατοπίσεις χημικών ισορροπιών, εφαρμόζοντας την αρχή του Le Chatelier.
- Προβλέπετε την κατεύθυνση μιας αμφίδρομης αντίδρασης, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ή η συγκέντρωση κάποιου αντιδρώντος ή προϊόντος.

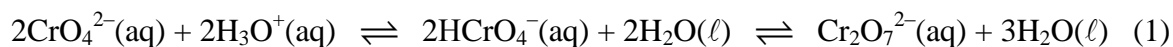
Θεωρητικό υπόβαθρο

1. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ – ΑΡΧΗ ΤΟΥ LE CHATELIER (Ebbing / Gammon, Ενότητες 14.7, 14.8 και 14.9)

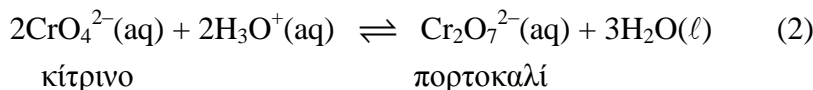
2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΟΙΝΟΥ ΙΟΝΤΟΣ (Ebbing / Gammon, Ενότητα 16.5)

(α) Η ισορροπία χρωμικών – διχρωμικών ιόντων

Τα κίτρινα χρωμικά ιόντα, CrO_4^{2-} , αντιδρούν με ιόντα υδρονίου και σχηματίζουν, αρχικά, υδρογονοχρωμικά ιόντα, HCrO_4^- , τα οποία ακολούθως συμπυκνώνονται υπό απόσπαση νερού και δίνουν διχρωμικά ιόντα, χρώματος πορτοκαλί:

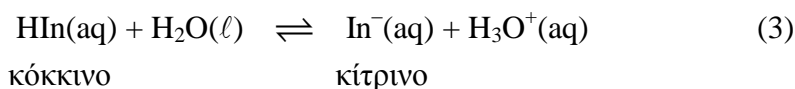


Στο πείραμα, θα λάβετε υπόψη μόνο τη συνολική αντίδραση,



(β) Ισορροπίες δεικτών οξέων – βάσεων

Οι δείκτες για το pH (πρωτολυτικοί δείκτες) είναι ασθενή οργανικά οξέα ή ασθενείς οργανικές βάσεις, των οποίων το χρώμα εξαρτάται από το pH του διαλύματος. Γενικά, ένας δείκτης συμβολίζεται ως HIn. Έτσι, η χημική εξίσωση για τη διάσταση του δείκτη πορτοκαλί του μεθυλίου μπορεί να γραφεί ως εξής:



Δηλαδή, η αδιάστατη (πρωτονιωμένη ή όξινη) μορφή του δείκτη (HIn) έχει χρώμα κόκκινο και το ανιόν (αποπρωτονιωμένη ή βασική μορφή, In⁻) έχει χρώμα κίτρινο. Το πορτοκαλί του μεθυλίου αλλάζει χρώμα σε pH περίπου 4, το οποίο αντιστοιχεί σε συγκέντρωση ιόντων H₃O⁺ ίση με 10⁻⁴ M.

Άλλοι δείκτες οξέων – βάσεων αλλάζουν χρώμα σε διαφορετικές συγκεντρώσεις ιόντων H₃O⁺. Η φαινολοφθαλεΐνη, της οποίας η όξινη μορφή είναι άχρωμη, μετατρέπεται στη βασική της μορφή και γίνεται ροζ σε pH περίπου 9, το οποίο αντιστοιχεί σε συγκέντρωση ιόντων H₃O⁺ ίση με 10⁻⁹ M.

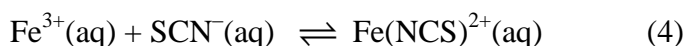
(γ) Ισορροπίες ασθενών οξέων και ασθενών βάσεων

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους δείκτες πορτοκαλί του μεθυλίου και φαινολοφθαλεΐνη για να μελετήσουμε μεταβολές που λαμβάνουν χώρα σε ισορροπίες ασθενών οξέων ή ασθενών βάσεων, όπως είναι το οξικό οξύ και η αμμωνία, αντίστοιχα.

3. ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ ΣΥΜΠΛΟΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ (Ebbing / Gammon, Ενότητα 17.5)

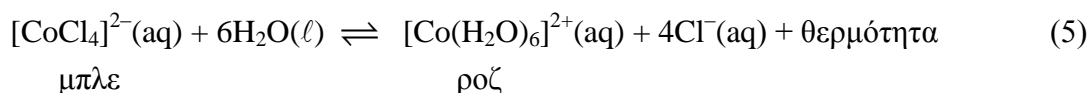
(α) Το σύμπλοκο ιόν του ισοθειοκυανατοσιδήρου(III), Fe(NCS)²⁺(aq)

Ο σχηματισμός αυτού του ιόντος, με το αιματέρυθρο χρώμα, περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση ισορροπίας:



(β) Επίδραση της θερμοκρασίας πάνω στη θέση ισορροπίας συμπλόκων ιόντων του Co(II)

Το γλωρο-σύμπλοκο του κοβαλτίου(II) [CoCl₄]²⁻ είναι τετραεδρικό και έχει μπλε χρώμα, ενώ το υδατο-σύμπλοκο του κοβαλτίου(II) [Co(H₂O)₆]²⁺ είναι οκταεδρικό και έχει ροζ χρώμα. Σε υδατικό διάλυμα, υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ των δύο αυτών συμπλόκων και επειδή η μετατροπή της μιας μορφής στην άλλη εμπεριέχει μια σημαντική μεταβολή ενέργειας, η ισορροπία εξαρτάται από τη θερμοκρασία.



Η εφαρμογή της αρχής του Le Chatelier στην εξίσωση (5) προβλέπει ότι η αφαίρεση θερμότητας (με ψύξη του συστήματος) θα μετατοπίσει τη θέση ισορροπίας προς τα δεξιά, προκειμένου να παραχθεί περισσότερη ποσότητα από το υδατο-σύμπλοκο, συνεπώς και κάποια θερμότητα η οποία θα αναπληρώσει αυτή που αφαιρέθηκε με την ψύξη του συστήματος. Στην περίπτωση αυτή, θα επικρατήσει το ροζ χρώμα. Τα αντίθετα ισχύουν κατά τη θέρμανση του συστήματος [μετατόπιση της ισορροπίας (5) προς τα αριστερά και επικράτηση του μπλε χρώματος].

Μέτρα προστασίας

- Συμβουλευτείτε τους «Κανόνες και τα μέτρα ασφαλείας εργαστηρίου» που αναφέρονται στις πρώτες σελίδες του παρόντος εγχειριδίου.
- Χρησιμοποιείτε με προσοχή τα πυκνά διαλύματα HCl (12 M) και NaOH (6 M). Προκαλούν εγκαύματα στο δέρμα και στα μάτια. Φορέστε προστατευτικά γυαλιά!
- Τα ιόντα CrO₄²⁻ και Cr₂O₇²⁻ είναι γνωστά καρκινογόνα. Αποφύγετε επαφή με το δέρμα! Απορρίψτε τα διαλύματα αυτών των ιόντων, στο τέλος των πειραμάτων, σε ειδικό δοχείο (όχι στη λεκάνη!)
- Οι ατμοί της μεθανόλης είναι τοξικοί και εύφλεκτοι. Γι' αυτό, διαλύματα μεθανόλης δεν θερμαίνονται ποτέ σε λύχνους Bunsen αλλά πάντοτε σε υδρόλουτρο και μέσα σε απαγωγό.

10. Η αρχή του Le Chatelier: Μερικά παραδείγματα χημικών ισορροπιών

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ

Όνοματεπώνυμο

Τμήμα (Α.Μ.)

Ημερομηνία

Επιβλέπων

1. (α) Δώστε τον ορισμό της χημικής ισορροπίας.
(β) Διατυπώστε την αρχή του Le Chatelier.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

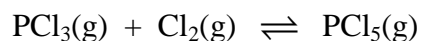
2. Θεωρήστε την υποθετική αντίδραση $A + B + \text{θερμότητα} \rightleftharpoons C + D$

Τι θα συμβεί στις συγκεντρώσεις των A, B, C και D όταν:

- (α) Ένας καταλύτης προστεθεί στο σύστημα, το οποίο βρίσκεται σε ισορροπία;
(β) Στο σύστημα, που αρχικά βρίσκεται σε ισορροπία, προστεθεί ποσότητα του C ή του D;
(γ) Από το σύστημα, που αρχικά βρίσκεται σε ισορροπία, αφαιρεθεί ποσότητα του C ή του D;
(δ) Στο σύστημα, που αρχικά βρίσκεται σε ισορροπία, προστεθεί ποσότητα του A ή του B;
(ε) Το σύστημα, που αρχικά βρίσκεται σε ισορροπία, αρχίσει να ψύχεται;
(στ) Το σύστημα, που αρχικά βρίσκεται σε ισορροπία, αρχίσει να θερμαίνεται;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

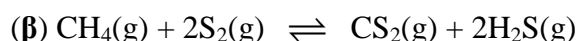
3. (α) Προβλέψτε την κατεύθυνση της αντίδρασης, όταν αέριο χλώριο προστίθεται σε μίγμα ισορροπίας των PCl_3 , PCl_5 και Cl_2 . Η αντίδραση είναι



(β) Ποια είναι η κατεύθυνση της αντίδρασης, όταν αέριο χλώριο απομακρύνεται από ένα μίγμα ισορροπίας αυτών των αερίων;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

4. Ποιο θα περιμένατε να είναι το αποτέλεσμα μιας αύξησης της πίεσης σε καθεμία από τις ακόλουθες αντιδράσεις; Η μεταβολή της πίεσης θα ανάγκαζε την αντίδραση να οδεύσει προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά;



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

5. Πόση είναι η συγκέντρωση του μυρμηκικού ιόντος, CHO_2^- , στους 25°C και σε διάλυμα $0,10\text{ M}$ σε HCHO_2 και $0,20\text{ M}$ σε HCl ;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Όργανα - Σκεύη

- Δοκιμαστικοί σωλήνες
- Ποτήρια ζέσεως των 100 mL και 250 mL
- Σταγονόμετρο
- Ηλεκτρική θερμαντική πλάκα

Χημικές ουσίες – Υλικά

Διαλύματα των ακόλουθων ενώσεων:

- K_2CrO_4 1 M
- CH_3COONa 1 M
- NH_4Cl 1 M
- $KSCN$ 0,1 M
- $Fe(NO_3)_3$ 0,1 M
- $CoCl_2$ (άνυδρο 0,15 M σε μεθανόλη) (Παρατήρηση 1)
- H_2SO_4 3 M
- $NaOH$ 6 M
- HCl 6 M και HCl 12 M (πυκνό διάλυμα)
- CH_3COOH 0,1 M
- NH_3 0,1 M
- Δείκτης πορτοκαλί του μεθυλίου 0,1% m/m
- Δείκτης φαινολοφθαλεΐνη 0,1% m/m
- Πάγος (τρίμματα)

Πειραματική πορεία

2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΟΙΝΟΥ ΙΟΝΤΟΣ

(α) Η ισορροπία χρωμικών – διχρωμικών ιόντων

1. Τοποθετήστε 3 mL K_2CrO_4 σε δοκιμαστικό σωλήνα και ακολούθως προσθέστε μερικές σταγόνες H_2SO_4 . Ανακινείτε τον σωλήνα και παρατηρήστε κάποια ενδεχόμενη μεταβολή.
2. Τώρα προσθέστε στάγδην και υπό ανακίνηση του σωλήνα, διάλυμα $NaOH$ μέχρις ότου παρατηρήσετε νέα εξωτερική μεταβολή.
3. Προσθέστε εκ νέου H_2SO_4 .
4. Ερμηνεύστε όλες τις παρατηρούμενες μεταβολές.

(β) Ισορροπίες δεικτών οξέων – βάσεων

1. Σε δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει 3 mL νερού προσθέστε 1-2 σταγόνες δείκτη πορτοκαλί του μεθυλίου.
2. Τώρα προσθέστε 2 σταγόνες διαλύματος HCl 6 M και στη συνέχεια 4 σταγόνες διαλύματος $NaOH$, ανακινώντας τον σωλήνα μετά από κάθε προσθήκη.
3. Επαναλάβετε τα βήματα 1 και 2 χρησιμοποιώντας φαινολοφθαλεΐνη στη θέση του δείκτη πορτοκαλί του μεθυλίου.
4. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας.

(γ) Ισορροπίες ασθενών οξέων και ασθενών βάσεων

1. Σε δύο δοκιμαστικούς σωλήνες (Α και Β) που ο καθένας περιέχει 3 mL CH_3COOH προσθέστε 1-2 σταγόνες δείκτη πορτοκαλί του μεθυλίου.
2. Στον σωλήνα (Β) προσθέστε, υπό ανακίνηση, 4-5 σταγόνες διαλύματος CH_3COONa . Συνεχίστε αυτή την προσθήκη μέχρις ότου παρατηρήσετε κάποια εμφανή χρωματική αλλαγή.
3. Συγκρίνετε και καταγράψτε τα χρώματα στους δύο δοκιμαστικούς σωλήνες.
4. Επαναλάβετε τα βήματα 1 – 3 χρησιμοποιώντας διάλυμα NH_3 στη θέση του CH_3COOH , διάλυμα NH_4Cl στη θέση του CH_3COONa και φαινολοφθαλείνη αντί πορτοκαλί του μεθυλίου.

3. ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ ΣΥΜΠΛΟΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

(α) Το σύμπλοκο ιόν του ισοθειοκυανατοσιδήρου(III), $\text{Fe}(\text{NCS})^{2+}(\text{aq})$

1. Σε ποτήρι ζέσεως των 100 mL που περιέχει 3 mL διαλύματος KSCN προσθέστε 3 mL διαλύματος $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$.
2. Αραιώστε το παραπάνω μίγμα προσθέτοντας 50 – 60 mL νερού έτσι ώστε να εξασθενίσει το βαθύ ερυθρό χρώμα και να είναι εύκολη η παρατήρηση των επόμενων χρωματικών αλλαγών.
3. Μεταφέρετε από 5 mL από το αραιωμένο διάλυμα σε τέσσερις δοκιμαστικούς σωλήνες (Α, Β, Γ, Δ). Φυλάξτε τον σωλήνα (Δ) για χρωματικές συγκρίσεις.
4. Προσθέστε στον σωλήνα (Α) 1 mL διαλύματος $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, στον σωλήνα (Β) 1 mL διαλύματος KSCN και στον σωλήνα (Γ) 5 – 6 σταγόνες διαλύματος NaOH (Παρατήρηση 2).
5. Συγκρίνετε τη σχετική ένταση του ερυθρού χρώματος του συμπλόκου $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$ καθενός από τους σωλήνες (Α), (Β) και (Γ) με το αρχικό χρώμα του διαλύματος στον σωλήνα (Δ). Ερμηνεύστε τις παρατηρήσεις σας με βάση την αρχή του Le Chatelier, λαμβάνοντας υπόψη την ισορροπία (4).

(β) Επίδραση της θερμοκρασίας πάνω στη θέση ισορροπίας συμπλόκων ιόντων του $\text{Co}(\text{II})$

1. Τοποθετήστε 3 mL μεθανολικού διαλύματος CoCl_2 σε δοκιμαστικό σωλήνα (Α) (Παρατήρηση 3).
2. Με τη βοήθεια σταγονομέτρου, προσθέστε ακριβώς τόσο νερό, ώστε το μπλε μεθανολικό διάλυμα να αλλάξει χρώμα προς το ροζ του υδατοσυμπλόκου (ισορροπία 5).
3. Χωρίστε το ροζ διάλυμα σε δύο ίσα μέρη, χρησιμοποιώντας έναν δεύτερο δοκιμαστικό σωλήνα (Β).
4. Προσθέστε στον σωλήνα (Α), κατά σταγόνες, HCl 12 M έως ότου παρατηρήσετε κάποια χρωματική αλλαγή. Σημειώστε τις παρατηρήσεις σας.
5. Θερμάνετε τον σωλήνα (Β) σε υδρόλουτρο θερμοκρασίας 65 – 70°C και σημειώστε τις μεταβολές που παρατηρήσατε (Παρατηρήσεις 4 και 5).
6. Ψύξτε τώρα το διάλυμα σε ποτήρι που περιέχει νερό της βρύσης. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας και εφαρμόστε την ισορροπία (5) για να τις ερμηνεύσετε (Παρατήρηση 6).

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Διαλύονται 20 g ανύδρου CoCl_2 σε 1 L μεθανόλης. Αν υπάρχει μόνο το υδατωμένο $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, θα πρέπει να ξηρανθεί πριν χρησιμοποιηθεί.
2. Το $\text{Fe}(\text{OH})_3$ είναι πολύ δυσδιάλυτο.
3. Ως διαλύτης χρησιμοποιείται η μεθανόλη για να είναι η δυνατή η παρατήρηση των φαινομένων κατά την προσθήκη νερού.
4. Οι ατμοί της μεθανόλης είναι τοξικοί και εύφλεκτοι. Γι' αυτό η θερμαντική πλάκα με το υδρόλουτρο θα πρέπει να βρίσκονται μέσα σε απαγωγό.

5. Θα πρέπει να παρατηρήσετε κάποια χρωματική αλλαγή. Αν δεν συμβεί αυτό, σημαίνει ότι προσθέσατε περισσότερη από την κανονική ποσότητα νερού στο ροζ διάλυμα και το πείραμα πρέπει να επαναληφθεί.

6. Η μεταβολή είναι αντιστρεπτή και γι' αυτό μπορείτε να επαναλάβετε τον κύκλο θέρμανση – ψύξη, προκειμένου να επαληθεύσετε τις παρατηρήσεις σας.

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 10	Η αρχή του Le Chatelier: Μερικά παραδείγματα χημικών ισορροπιών	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΤΜΗΜΑ (Α.Μ.) ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
--------------------------------	--	--

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΟΙΝΟΥ ΙΟΝΤΟΣ

(α) Η ισορροπία χρωμικών – διχρωμικών ιόντων

1. Διατυπώστε εκ νέου την εξίσωση γι' αυτή την ισορροπία.

.....

2. Περιγράψτε τις χρωματικές αλλαγές κατά την προσθήκη

του H_2SO_4

του $NaOH$

3. Ερμηνεύστε αυτές τις παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (2) και την αρχή του Le Chatelier.

.....

4. Ποια επίδραση ασκούν τα ιόντα OH^- ;

.....

(β) Ισορροπίες δεικτών οξέων – βάσεων

1. Περιγράψτε την επίδραση της προσθήκης των διαλυμάτων των HCl και $NaOH$ στο διάλυμα του πορτοκαλί του μεθυλίου

στο διάλυμα της φαινολοφθαλεΐνης

2. Ερμηνεύστε αυτές τις παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (3) και την αρχή του Le Chatelier.

.....

(γ) Ισορροπίες ασθενών οξέων και ασθενών βάσεων

1. Διατυπώστε τη χημική εξίσωση για τη διάσταση του οξικού οξέος στο νερό.

.....

2. Εξηγήστε τις παρατηρούμενες μεταβολές, όταν προστίθεται το διάλυμα οξικού νατρίου στο διάλυμα του οξικού οξέος που περιέχει τον δείκτη πορτοκαλί του μεθυλίου.

.....

3. Διατυπώστε τη χημική εξίσωση για τη διάσταση της αμμωνίας στο νερό.

.....

4. Περιγράψτε κάθε μεταβολή σε οσμή και χρώμα που παρατηρήσατε, όταν στο διάλυμα της αμμωνίας (+ φαινολοφθαλεΐνη) προσθέσατε τα εξής:

NH_4Cl

HCl

5. Προς ποια κατεύθυνση μετατοπίστηκε η παραπάνω ισορροπία διάστασης της αμμωνίας; Δώστε μια πλήρη εξήγηση.

.....

6. Αναγράψτε την τελική ιοντική εξίσωση για την αντίδραση της αμμωνίας με υδροχλωρικό οξύ.

.....

3. ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ ΣΥΜΠΛΟΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

(α) Το σύμπλοκο ιόν του ισοθειοκυανατοσιδήρου(III), $\text{Fe}(\text{NCS})^{2+}(\text{aq})$

1. Διατυπώστε εκ νέου την εξίσωση που διέπει τη σχετική ισορροπία.

.....

2. Συγκρίνετε την ένταση του ερυθρού χρώματος καθενός από τους σωλήνες Α, Β και Γ με την ένταση του χρώματος στον σωλήνα Δ. Ερμηνεύστε αυτές τις παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη εξίσωση ισορροπίας και την αρχή του Le Chatelier.

Σωλήνας Α, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$

Σωλήνας Β, KSCN

Σωλήνας Γ, NaOH

(β) Επίδραση της θερμοκρασίας πάνω στη θέση ισορροπίας συμπλόκων ιόντων του $\text{Co}(\text{II})$

1. Διατυπώστε εκ νέου την εξίσωση που διέπει τη σχετική ισορροπία.

.....

2. Περιγράψτε τι συμβαίνει όταν προσθέτετε διάλυμα HCl 12 M στο ροζ διάλυμα του υδατοσυμπλόκου.

.....

3. Περιγράψτε τι συμβαίνει όταν θερμαίνετε το ροζ διάλυμα του υδατοσυμπλόκου και τι όταν το ψύχετε.

.....

4. Ερμηνεύστε αυτές τις παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη εξίσωση ισορροπίας και την αρχή του Le Chatelier.

.....

