

Στο βιβλίο αυτό παρουσιάζονται
με αναλυτικό τρόπο οι ενότητες
«Διαμοριακές δυνάμεις - Καταστάσεις της ύλης -
- Προσθετικές ιδιότητες», «Θερμοχημεία»,
«Χημική κινητική» και «Χημική ισορροπία»

Περιέχει

1.

- Αναλυτική θεωρία για πλήρη κατανόηση της ύλης.
Ακολουθείται πιστά η δομή του σχολικού βιβλίου.

1.1 Διαμοριακές δυνάμεις



1.1.1 Διαμοριακές δυνάμεις

Στη μελέτη του χημικού δεσμού (Α Λυκείου) εξετάστηκαν οι τρόποι με τους οποίους τα άτομα των χημικών στοιχείων ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν τα μόρια των χημικών στοιχείων και ενώσεων. Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται οι ελκτικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των μορίων χημικών στοιχείων και ενώσεων, έτσι ώστε να προκύψουν τα υλικά σώματα στη στερεά, στην υγρή και στην αέρια φάση, δηλαδή εξετάζονται οι **διαμοριακές δυνάμεις**. Η γνώση των διαμοριακών δυνάμεων επιτρέπει να κατανοήσουμε τις ιδιότητες των σωμάτων στις διάφορες καταστάσεις της ύλης. Για την εξέταση των διαμοριακών δυνάμεων είναι απαραίτητο να θυμηθούμε τα βασικά χαρακτηριστικά των μορίων, δηλαδή τα γνωρίσματα των **ενδομοριακών δυνάμεων**.

A. Ενδομοριακές και διαμοριακές δυνάμεις

Για τον προσδιορισμό της δομής ποσότητας νερού (H_2O) σε υγρή ή σε στερεά κατάσταση, πρέπει να αναλύσουμε: **α.** τον τρόπο σχηματισμού του μορίου του νερού (H_2O) και **β.** τον τρόπο με τον οποίο τα μόρια του νερού (H_2O) ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν τη μάζα του υγρού ή του στερεού.

α. Σχηματισμός του μορίου του νερού

Το μόριο του νερού (H_2O) σχηματίζεται με την ένωση δύο ατόμων υδρογόνου (H) και ενός ατόμου οξυγόνου (O). Τα άτομα συγκρατούνται μεταξύ τους με απλούς ομοιοπολικούς δεσμούς H–O. Κάθε ομοιοπολικός δεσμός προκύπτει με αμοιβαία συνεισφορά ενός μονήρους ηλεκτρονίου από το άτομο του υδρογόνου (H) και από το άτομο του οξυγόνου (O). Οι δυνάμεις που συγκρατούν τα άτομα μεταξύ τους, δηλαδή οι δυνάμεις των χημικών δεσμών, με τις οποίες σχηματίζεται ένα μόριο (όπως H_2O , NH_3 , ...) ή ένα πολυατομικό ιόν (όπως NH_4^+ , CO_3^{2-} , ...) ονομάζονται **ενδομοριακές δυνάμεις ή ενδομοριακοί δεσμοί**.

Ενδομοριακές δυνάμεις ή ενδομοριακοί δεσμοί ονομάζονται οι δυνάμεις (δεσμοί) που συγκρατούν τα άτομα στα μόρια των στοιχείων ή των χημικών ενώσεων ή των πολυατομικών ιόντων.

Στο είδος των ενδομοριακών δυνάμεων μεταξύ των ατόμων που σχηματίζουν ένα μόριο, ή ένα πολυατομικό ιόν, οφείλεται:

- η σταθερότητα των μορίων και των ιόντων,
- η χημική συμπεριφορά τους.

Να θυμηθούμε

Τα στοιχεία ενώνονται μεταξύ τους για να αποκτήσουν τη σταθερή ενεργειακή δομή των ευγενών αερίων, δηλαδή να έχουν οκτώ (8) ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους στιβάδα (ηλεκτρονιακή θεωρία σθένους).

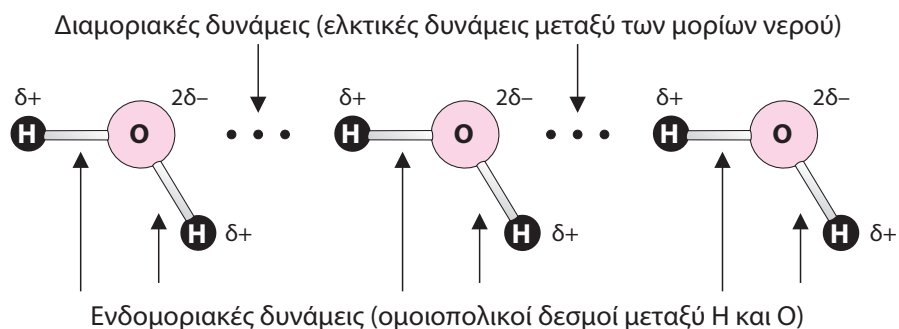
β. Σχηματισμός του στερεού ή υγρού νερού

Η ποσότητα του υγρού ή του στερεού νερού σχηματίζεται από τα μόρια του H_2O , τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης (όπως θα δούμε στη συνέχεια, οφείλονται στην πολικότητα του μορίου του νερού και χαρακτηρίζονται ως δεσμός υδρογόνου).

Οι ελκτικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των μορίων ονομάζονται **διαμοριακές δυνάμεις** ή **διαμοριακοί δεσμοί**.

Διαμοριακές δυνάμεις ή διαμοριακοί δεσμοί ονομάζονται οι ελκτικές δυνάμεις (δεσμοί) ηλεκτροστατικής φύσης που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων.

Οι διαμοριακές δυνάμεις συγκρατούν τα μόρια του σώματος στην υγρή ή στη στερεά κατάσταση. Στην αέρια κατάσταση (σε ιδανικές συνθήκες), οι διαμοριακές δυνάμεις θεωρούνται αμελητέες.



Γενικά μεταξύ των μορίων παρατηρούμε:

- θερμικές κινήσεις, οι οποίες τείνουν να απομακρύνουν τα μόρια μεταξύ τους,
- διαμοριακές δυνάμεις, οι οποίες τείνουν να συγκρατήσουν τα μόρια το ένα κοντά στο άλλο.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω αντίθετων δράσεων καθορίζει τη φυσική κατάσταση του σώματος, σε δεδομένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.

Σχέση μεταξύ ενδομοριακών και διαμοριακών δυνάμεων

Όταν θερμάνουμε ποσότητα υγρού H_2O στους 100°C υπό πίεση 1 atm, οι διαμοριακές δυνάμεις υπερνικούνται και σχηματίζονται υδρατμοί. Στην αέρια φάση εξακολουθούν να υπάρχουν μόρια H_2O , δηλαδή δε διασπώνται οι ομοιοπολικοί δεσμοί $\text{H}-\text{O}$.

- Για να εξατμιστεί 1 mol υγρού H_2O (100°C), πρέπει να προσφέρουμε περίπου 40 kJ.
- Για να διασπαστούν όλοι οι ομοιοπολικοί δεσμοί $\text{H}-\text{O}$ σε 1 mol H_2O , πρέπει να προσφέρουμε 928 kJ.

Συμπέρασμα

Οι διαμοριακές δυνάμεις γενικά είναι ασθενέστερες από τις ενδομοριακές δυνάμεις.

B. Ομοιοπολικός πολικός και ομοιοπολικός μη πολικός δεσμός

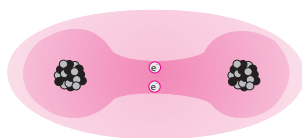
Το κοινό ζεύγος των ηλεκτρονίων ενός ομοιοπολικού δεσμού δέχεται τις ελκτικές δυνάμεις των δύο πυρήνων των στοιχείων, που συγκροτούν τον ομοιοπολικό δεσμό.

Να θυμηθούμε

Ο απλός ομοιοπολικός δεσμός σχηματίζεται με αμοιβαία συνεισφορά ενός μονήρους ηλεκτρονίου από το κάθε άτομο που συμμετέχει στον χημικό δεσμό.

α. Ομοιοπολικός μη πολικός δεσμός

Όταν τα άτομα που συμμετέχουν στον δεσμό είναι του ίδιου στοιχείου, το κοινό ζεύγος των ηλεκτρονίων θα δέχεται την ίδια έλξη από τους δύο πυρήνες, με αποτέλεσμα να μοιράζεται εξίσου και να βρίσκεται στο μέσον της πυρηνικής απόστασης των δύο ατόμων.



Στην περίπτωση αυτή, έχουμε ομοιόμορφη κατανομή φορτίου στο μόριο, ενώ ο δεσμός που σχηματίζεται ονομάζεται **ομοιοπολικός μη πολικός δεσμός**.

β. Ομοιοπολικός πολικός δεσμός

Όταν τα άτομα που συμμετέχουν στον δεσμό είναι διαφορετικών στοιχείων, το κοινό ζεύγος των ηλεκτρονίων θα δέχεται διαφορετική έλξη από τους δύο πυρήνες και συνεπώς ένας από τους δύο θα το έλκει περισσότερο (ο πυρήνας του ηλεκτραρνητικότερου στοιχείου), με αποτέλεσμα το κοινό ζεύγος να βρίσκεται περισσότερο κοντά στον πυρήνα του ηλεκτραρνητικότερου στοιχείου.



δ : κλάσμα στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου

Στην περίπτωση αυτή δε θα έχουμε ομοιόμορφη κατανομή φορτίου στο μόριο. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι έχουμε τη δημιουργία αντίθετα φορτισμένων σωματιδίων, αλλά ότι ο δεσμός που σχηματίζεται δεν είναι καθαρά ομοιοπολικός, αφού παρουσιάζει σε μικρό ποσοστό και ιοντικό χαρακτήρα.

Ο δεσμός, στην περίπτωση αυτή, ονομάζεται **ομοιοπολικός πολικός δεσμός** ή **πολωμένος ομοιοπολικός δεσμός**.

Βασιζόμενοι στην τάση των στοιχείων να έλκουν το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων στον ομοιοπολικό δεσμό, μπορούμε επίσης να ορίσουμε την ηλεκτραρνητικότητα των στοιχείων.

Ηλεκτραρνητικότητα στοιχείου ονομάζεται η τάση του ατόμου του στοιχείου να έλκει ηλεκτρόνια, όταν συμμετέχει στον σχηματισμό πολυατομικών συγκροτημάτων.

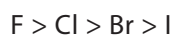
Όσο μεγαλύτερη η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας των διαφορετικών ατόμων που συμμετέχουν στον ομοιοπολικό δεσμό, τόσο πιο πολικός ο δεσμός.

Συμπεράσματα

1. Ομοιοπολικός μη πολικός ή μη πολωμένος δεσμός υπάρχει μόνο στην περίπτωση που ενώνονται άτομα του ίδιου στοιχείου, όπως στα μόρια των διατομικών στοιχείων (H_2 , O_2 , N_2 , F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2).
2. Ομοιοπολικό πολικό ή πολωμένο δεσμό έχουμε στις περιπτώσεις που ενώνονται άτομα διαφορετικών στοιχείων, όπως στα μόρια HCl , HBr , NO , CO κτλ.
3. Ο ομοιοπολικός πολικός δεσμός είναι ουσιαστικά μια ενδιάμεση περίπτωση μεταξύ του ιοντικού δεσμού και του ομοιοπολικού μη πολικού δεσμού.

Παράδειγμα

Η σειρά ηλεκτραρνητικότητας των αλογόνων είναι η εξής:



Επομένως, η σειρά αύξησης της πολικότητας των δεσμών μεταξύ υδρογόνου και αλογόνου στα μόρια των υδραλογόνων (HX) είναι:



Προσέχουμε

Όσο **μεγαλύτερη η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας των διαφορετικών ατόμων** που συμμετέχουν στον ομοιοπολικό δεσμό, τόσο **πιο πολικός ο δεσμός**. Η σειρά ηλεκτραρνητικότητας των στοιχείων είναι:



Η ηλεκτραρνητικότητα των στοιχείων **αυξάνεται** σε μια **ομάδα του περιοδικού πίνακα από κάτω προς τα πάνω** και σε μια **περίοδο από τα αριστερά προς τα δεξιά**.

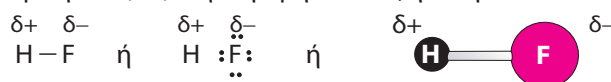
Γ. Ηλεκτρικά δίπολα και διπολική ροπή

Ηλεκτρικά δίπολα ονομάζονται τα μόρια στα οποία εμφανίζονται αντίθετα φορτία. Τα μόρια αυτά ονομάζονται **πολικά μόρια**.

Προφανώς τα αντίθετα φορτία οφείλονται στην παρουσία ομοιοπολικών πολικών δεσμών και στην κατάλληλη δομή του μορίου στον χώρο.

Παράδειγμα

Το μόριο του υδροφθορίου (HF) συμπεριφέρεται ως ηλεκτρικό δίπολο:

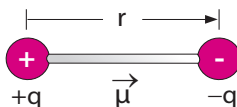


$\delta+$: μικρή περίσσεια θετικού φορτίου, $\delta-$: μικρή περίσσεια αρνητικού φορτίου

Τα πολικά μόρια, ως ηλεκτρικά δίπολα, έχουν διπολική ροπή (μ).

Η **διπολική ροπή (μ)** είναι διανυσματικό μέγεθος, το οποίο έχει:

- φορά, που ορίζεται συμβατικά από τον θετικό πόλο (+q) προς τον αρνητικό πόλο (-q) του διπόλου:



- μέτρο, που δίνεται από τον τύπο:

$$\mu = qr$$

όπου q είναι το φορτίο και r η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων.

- Μονάδα της διπολικής ροπής είναι το Debye (D).

Η **διπολική ροπή (μ)** αποτελεί **μέτρο της πολικότητας ενός μορίου**.

Υπολογισμός της διπολικής ροπής μορίου

α. Για **διατομικά μόρια** η διπολική ροπή του μορίου είναι η διπολική ροπή του ομοιοπολικού δεσμού.

β. Για **πολυατομικά μόρια** η διπολική ροπή του μορίου είναι το διανυσματικό άθροισμα διπολικών ροπών των ομοιοπολικών δεσμών του μορίου.

Δ. Πολικά και μη πολικά μόρια

Πολικά (δίπολα) μόρια ονομάζονται τα μόρια, τα οποία περιέχουν ομοιοπολικούς πολικούς δεσμούς και η συνισταμένη των διπολικών ροπών των χημικών τους δεσμών είναι διαφορετική του μηδενός ($\mu_{\text{ολ.}} \neq 0$).

Μη πολικά μόρια ονομάζονται τα μόρια τα οποία δεν εμφανίζουν διπολική ροπή, δηλαδή η συνισταμένη των διπολικών ροπών είναι ίση με μηδέν ($\mu = 0$).

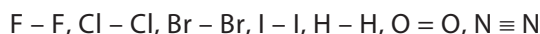
Προσδιορισμός της πολικότητας ενός μορίου

α. Διατομικά μόρια

1. Τα διατομικά μόρια των στοιχείων τα οποία αποτελούνται από ίδια άτομα είναι μη πολικά μόρια. Στην περίπτωση αυτή έχουμε συμμετρική κατανομή του φορτίου (ομοιοπολικοί μη πολικοί δεσμοί), με αποτέλεσμα να μην εμφανίζουν τα μόρια διπολική ροπή.

Παράδειγμα

Τα διατομικά μόρια των στοιχείων F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 , H_2 , O_2 , N_2 , με ομοιοπολικούς μη πολικούς δεσμούς:



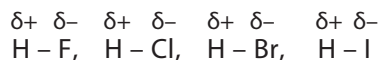
είναι μη πολικά ($\mu = 0$).

2. Τα διατομικά μόρια τα οποία αποτελούνται από διαφορετικά άτομα (όπως HF , HCl , HBr , HI , CO , NO , ICl κ.ά.) είναι πολικά μόρια. Στην περίπτωση αυτή δεν έχουμε συμμετρική κατανομή του φορτίου (ομοιοπολικοί πολικοί δεσμοί), με αποτέλεσμα αυτά τα μόρια να εμφανίζουν διπολική ροπή.

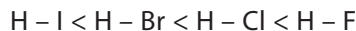
Στην περίπτωση των πολικών διατομικών μορίων, όσο μεγαλύτερη η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας των δύο ατόμων, τόσο πιο πολικός ο δεσμός, άρα εμφανίζουν μεγαλύτερη πολικότητα (μεγαλύτερη διπολική ροπή).

Παράδειγμα

Τα διατομικά μόρια των υδραλογόνων HF , HCl , HBr και HI , με ομοιοπολικούς πολικούς δεσμούς:



είναι πολικά μόρια. Με δεδομένη τη σειρά ηλεκτραρνητικότητας $F > \text{Cl} > \text{Br} > \text{I}$ έχουμε τη διάταξη σε σειρά αυξανόμενης πολικότητας του δεσμού (αύξηση της διπολικής ροπής του μορίου):



Αύξηση πολικότητας δεσμού

Όσο **μεγαλύτερη η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας** των διαφορετικών ατόμων που συμμετέχουν στον ομοιοπολικό δεσμό, τόσο πιο πολικός ο δεσμός και **τόσο μεγαλύτερη η διπολική ροπή** για το διατομικό μόριο.

β. Πολυατομικά μόρια

Η πολικότητα του μορίου που αποτελείται από τρία ή περισσότερα άτομα εξαρτάται από:

- την παρουσία ομοιοπολικών πολικών δεσμών και
- τη γεωμετρία του μορίου, δηλαδή από τη δομή του στον χώρο.

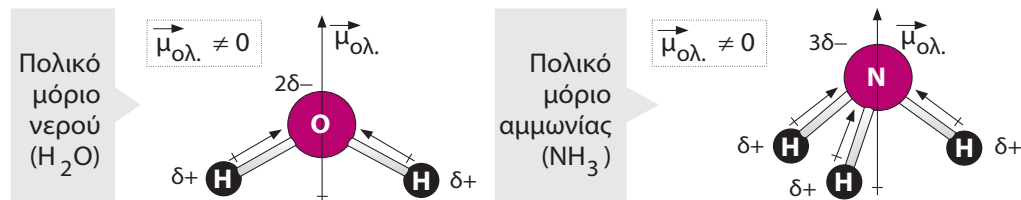
1. Όταν έχουμε ομοιοπολικούς πολικούς δεσμούς και η δομή στον χώρο του μορίου είναι τέτοια ώστε να μη γίνεται αλληλοεξουδετέρωση της πολικότητας των δεσμών (μη συμμετρική κατανομή των ηλεκτρονίων), το μόριο είναι πολικό.

Με προσθήκη των διανυσμάτων των διπολικών ροπών όλων των δεσμών του μορίου, προσδιορίζουμε τη συνισταμένη διπολική ροπή ($\mu_{\text{ολ}}$).

Στην περίπτωση αυτή η συνισταμένη των διπολικών ροπών είναι διαφορετική από το μηδέν ($\mu_{\text{ολ}} \neq 0$).

Παραδείγματα

Τα μόρια του νερού (H_2O) και της αμμωνίας (NH_3) έχουν ομοιοπολικούς πολικούς δεσμούς και μη συμμετρική δομή στον χώρο, με αποτέλεσμα η συνισταμένη των διπολικών ροπών να είναι διάφορη του μηδενός και συνεπώς να συμπεριφέρονται ως πολικά μόρια.

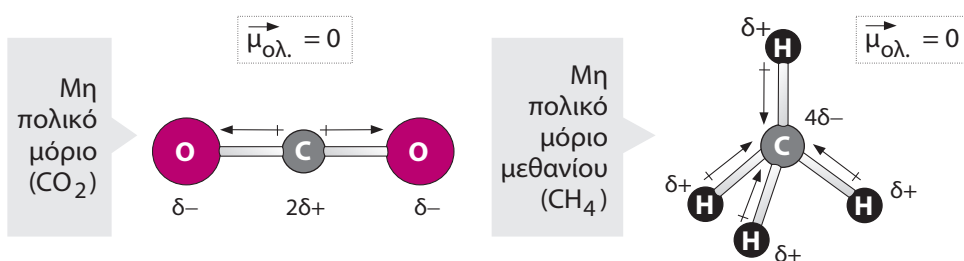


2. Όταν έχουμε ομοιοπολικούς πολικούς δεσμούς και η δομή στον χώρο του μορίου είναι τέτοια ώστε να γίνεται αλληλοεξουδετέρωση της πολικότητας των δεσμών (συμμετρική κατανομή των ηλεκτρονίων), το μόριο είναι μη πολικό.

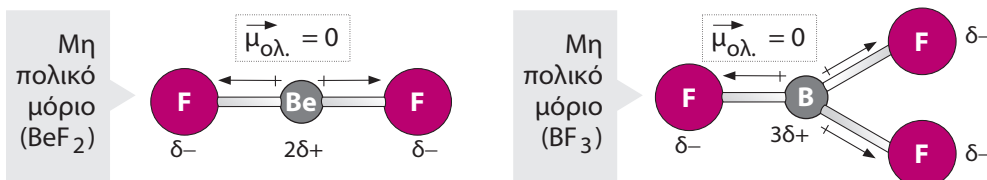
Στην περίπτωση αυτή η συνισταμένη των διπολικών ροπών είναι ίση με το μηδέν ($\mu_{ολ.} = 0$).

Παραδείγματα

α. Τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και του μεθανίου (CH_4) έχουν ομοιοπολικούς πολικούς δεσμούς και συμμετρική δομή στον χώρο. Το μόριο του CO_2 είναι γραμμικό, ενώ το μόριο του CH_4 έχει δομή κανονικού τετραέδρου. Η συμμετρική τους δομή στον χώρο δίνει συνισταμένη των διπολικών ροπών μηδενική ($\mu_{ολ.} = 0$) και συνεπώς συμπεριφέρονται ως μη πολικά μόρια.



β. Τα μόρια του φθοριούχου βηρυλλίου (BeF_2) και φθοριούχου βορίου (BF_3) έχουν συμμετρική δομή στον χώρο, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν συνισταμένη των διπολικών ροπών μηδενική και επομένως συμπεριφέρονται ως μη πολικά μόρια (βλ. οργανική χημεία).



Επισήμανση

Στην περίπτωση των μη πολικών μορίων (όπως CO_2 , CS_2 , X_2 (F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2), CH_4 , CX_4 , $\text{CH}_3\text{-CH}_3$ κ.ά.) μπορεί να έχουμε στιγμιαία πόλωση του μορίου, η οποία προκαλείται:

- επαγωγικά από γειτονικά πολικά μόρια,
- από τυχαία μη συμμετρική κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου, λόγω κίνησης των ηλεκτρονίων.

Τα στιγμιαία δίπολα μόρια που δημιουργούνται χαρακτηρίζονται ως **παροδικά δίπολα**.

Βασικά μη πολικά μόρια ($\mu_{ολ.} = 0$ ή $\mu_{ολ.} \approx 0$)

Διατομικά μόρια: H_2 , O_2 , N_2 , F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 ,

Πολυατομικά μόρια: CO_2 , CS_2 , CH_4 , $\text{SiH}_4 \dots$, CX_4 , $\text{SiX}_4 \dots$, R-R, BeF_2 , BF_3 ,

υδρογονάνθρακες (πρακτικά πολύ μικρή διπολική ροπή),

μόρια των οποίων δίνεται η δομή και είναι συμμετρική ($\mu_{ολ.} = 0$)

1.1.2 Δεσμοί Van der Waals

Οι διαμοριακές δυνάμεις είναι ελκτικές δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης, οι οποίες αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων και μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

α. Δυνάμεις διπόλου-διπόλου.

β. Δυνάμεις διασποράς (δυνάμεις London).

Οι δυνάμεις διπόλου-διπόλου και οι δυνάμεις διασποράς (δυνάμεις London) χαρακτηρίζονται και ως **δυνάμεις (δεσμοί) Van der Waals**.

γ. Δεσμός ή γέφυρα υδρογόνου.

Ο δεσμός υδρογόνου αποτελεί ειδική περίπτωση των δυνάμεων μεταξύ δίπολων μορίων (δυνάμεις διπόλου-διπόλου).

A. Δυνάμεις διπόλου-διπόλου

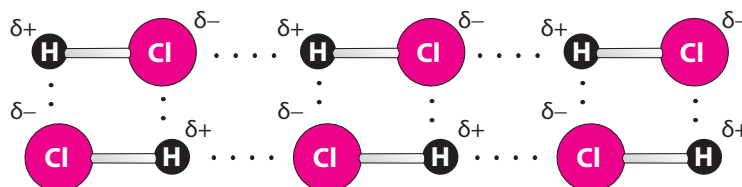
Μεταξύ πολικών μορίων αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης. Ο θετικός πόλος ($\delta+$) ενός δίπολου μορίου έλκει τον αρνητικό πόλο ($\delta-$) ενός άλλου δίπολου μορίου.



Με τον τρόπο αυτό, όταν τα πολικά μόρια (όπως HCl, HI, CH₃CH=O, SO₂ κ.ά.) έλκονται μεταξύ τους με τον κατάλληλο προσανατολισμό, με αποτέλεσμα να πλησιάζουν το ένα στο άλλο, δημιουργούνται υλικά σώματα σε στερεά, σε υγρή ή σε αέρια φάση.

Παράδειγμα

Το μόριο του υδροχλωρίου (HCl) είναι πολικό, με αποτέλεσμα στην υγρή φάση να προσανατολίζονται κατάλληλα (βλ. παρακάτω σχήμα), ώστε να αναπτύσσονται μεταξύ τους δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης και να συσκρατούνται μεταξύ τους έτσι ώστε να σχηματίζεται η μάζα του υγρού υδροχλωρίου.



Η μεγαλύτερη σταθερότητα του συστήματος που δημιουργείται οφείλεται στη μικρότερη ενέργεια που αποκτά.

Οι δυνάμεις διπόλου-διπόλου είναι σχετικά ισχυρές και αναπτύσσονται μεταξύ όμοιων μορίων (π.χ.: $\text{HCl}-\text{HCl}$) ή διαφορετικών μορίων (π.χ.: $\text{HCl}-\text{HBr}$), ενώ η ισχύς τους εξαρτάται από την πολικότητα των μορίων και την τιμή της σχετικής μοριακής μάζας (M_r).

Ισχύς των δυνάμεων διπόλου-διπόλου

Η ισχύς των δυνάμεων διπόλου-διπόλου εξαρτάται:

1. Από τη διπολική ροπή του μορίου

Όσο μεγαλύτερη η διπολική ροπή των μορίων, τόσο ισχυρότερες είναι οι δυνάμεις διπόλου-διπόλου, με την προϋπόθεση ότι τα μόρια έχουν παραπλήσια σχετική μοριακή μάζα (M_r).

Παράδειγμα

Οι δυνάμεις διπόλου-διπόλου μεταξύ μορίων αιθανονιτριλίου, CH_3CN ($M_r = 41$ και $\mu = 3,9 \text{ D}$), είναι ισχυρότερες από τις αντίστοιχες δυνάμεις μεταξύ των δίπολων μορίων αιθανάλης, $\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$ ($M_r = 44$ και $\mu = 2,7 \text{ D}$), λόγω της μεγαλύτερης διπολικής ροπής του μορίου του.

2. Από τη σχετική μοριακή μάζα (M_r) του μορίου

Στην περίπτωση που τα μόρια διαφέρουν σημαντικά στη σχετική μοριακή μάζα (M_r), ισχυρότερες είναι οι δυνάμεις διπόλου-διπόλου μεταξύ των μορίων με τη μεγαλύτερη σχετική μοριακή μάζα (M_r).

Παράδειγμα

Οι δυνάμεις διπόλου-διπόλου μεταξύ μορίων HI ($M_r = 128$) είναι ισχυρότερες από αντίστοιχες δυνάμεις μεταξύ των δίπολων μορίων HCl ($M_r = 36,5$), λόγω της μεγαλύτερης σχετικής μοριακής μάζας. Παρατηρούμε στην περίπτωση αυτή ότι η διπολική ροπή του μορίου HCl είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του μορίου του HI .

Δυνάμεις διπόλου-διπόλου

Όσο **πιο μεγάλη η διπολική ροπή τόσο μεγαλύτερη η ισχύς**, εφόσον έχουμε παραπλήσια τιμή M_r .

Όσο **πιο μεγάλη η τιμή της M_r τόσο μεγαλύτερη η ισχύς**.

Επομένως **σημαντικότερος παράγοντας ισχύος είναι η τιμή της M_r** .

Η ισχύς των διαμοριακών δυνάμεων επηρεάζει κάποιες ιδιότητες των σωμάτων, όπως η διαλυτότητα, η υγροποίηση και το σημείο ζέσεως.

Όσο ισχυρότερες οι διαμοριακές δυνάμεις, τόσο πιο εύκολα υγροποιείται ένα αέριο σώμα και επομένως έχει μεγαλύτερο σημείο ζέσεως. Αντίστροφα, όσο ασθενέστερες οι διαμοριακές δυνάμεις, τόσο πιο δύσκολα υγροποιείται ένα αέριο σώμα και επομένως έχει μικρότερο σημείο ζέσεως (βλ. 1.1.3β).

B. Δυνάμεις διασποράς (δυνάμεις London)

Μη πολικά μόρια, όπως του He, H₂, O₂, N₂ κ.ά., μπορούν να υγροποιηθούν. Επομένως, και μεταξύ μη πολικών μορίων ασκούνται ελκτικές δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές οφείλονται στην κίνηση των ηλεκτρονίων που περιέχουν. Αποτέλεσμα της κίνησης είναι να χάνεται για ελάχιστο χρονικό διάστημα η ομοιόμορφη κατανομή των ηλεκτρονίων στο μόριο και να εμφανίζονται στιγμιαία αντίθετα φορτία, δηλαδή το μόριο πολώνεται και μετατρέπεται σε στιγμιαίο δίπολο που χαρακτηρίζεται ως **παροδικό δίπολο**. Η παρουσία παροδικών διπόλων δημιουργεί επαγωγικά και άλλα παροδικά δίπολα. Μεταξύ των παροδικών διπόλων αναπτύσσονται ασθενείς ελκτικές δυνάμεις, οι οποίες ονομάζονται δυνάμεις London ή διασποράς. Χαρακτηρίζονται ως δυνάμεις διασποράς επειδή δεν έχουν ορισμένη κατεύθυνση.

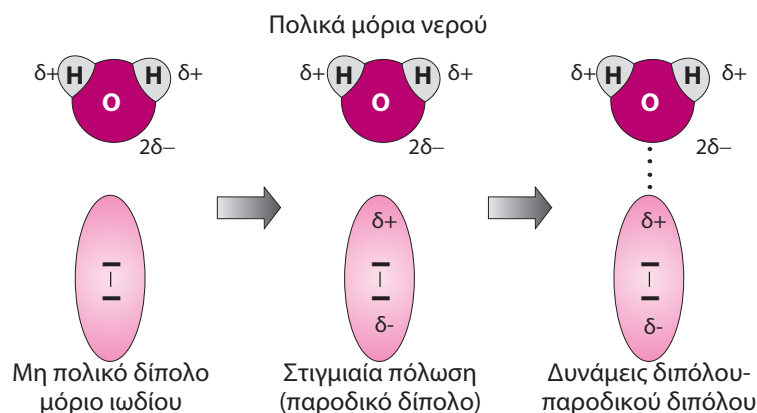
Οι δυνάμεις London εμφανίζονται μεταξύ δίπολου μορίου και μη πολικού μορίου ή μεταξύ μη πολικών μορίων.

α. Δυνάμεις μεταξύ πολικών (δίπολων) μορίων και μη πολικών μορίων

Όταν ένα πολικό (δίπολο) μόριο (π.χ. H₂O, NO κτλ.) βρεθεί, έχοντας τον κατάλληλο προσανατολισμό, με μη πολικό μόριο (π.χ. I₂, O₂ κτλ.), μετατρέπει επαγωγικά το μη πολικό μόριο σε πολικό (παροδικό δίπολο). Έτσι δημιουργούνται ελκτικές δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης μεταξύ των κατάλληλα προσανατολισμένων δίπολων μορίων και των παροδικών (στιγμιαίων) δίπολων μορίων.

Παράδειγμα

Τα μόρια του νερού (H₂O) είναι πολικά, ενώ του ιωδίου (I₂) είναι μη πολικά. Μεταξύ τους αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης, όταν τα μη πολικά μόρια του ιωδίου, λόγω της παρουσίας των πολικών μορίων νερού, μετατρέπονται σε παροδικά δίπολα.



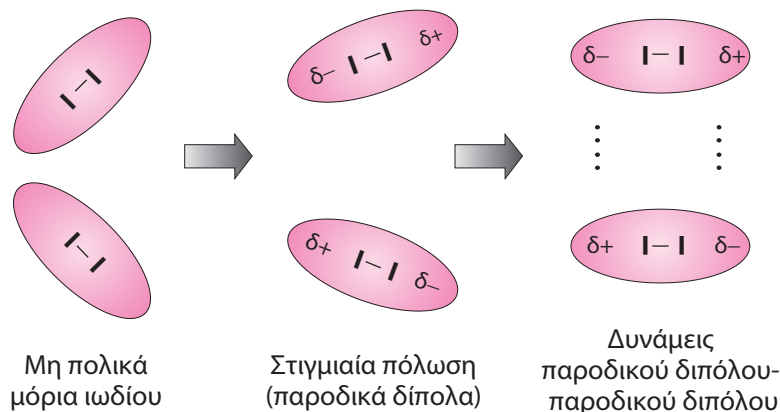
β. Δυνάμεις μεταξύ μη πολικών μορίων

Στην περίπτωση των μη πολικών μορίων, όπως είδαμε, δημιουργούνται παροδικά δίπολα, τα οποία έλκονται μεταξύ τους με ασθενείς δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης.

Με τον τρόπο αυτό συγκρατούνται μεταξύ τους σε υγρή κατάσταση τα μόρια των ευγενών αερίων (π.χ. He, Ne κτλ.), του H_2 , του O_2 , του N_2 , ή σε στερεά κατάσταση τα μόρια του I_2 .

Παράδειγμα

Στο στερεό ιώδιο τα μη πολικά μόρια ιωδίου (I_2) λόγω στιγμιαίας πόλωσης μετατρέπονται σε παροδικά δίπολα, με αποτέλεσμα να προσανατολίζονται κατάλληλα ώστε να αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις μεταξύ τους και να σχηματίζεται το στερεό ιώδιο.

**Ισχύς των δυνάμεων διασποράς (London)**

Η ισχύς των δυνάμεων διασποράς (London) εξαρτάται:

1. Από τη σχετική μοριακή μάζα (M_r) του μορίου

Όσο μεγαλύτερη η σχετική μοριακή μάζα (M_r), τόσο μεγαλύτερη η ισχύς των διαμοριακών δυνάμεων. Με την αύξηση της σχετικής μοριακής μάζας, το μόριο είναι μεγαλύτερο, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται ευκολότερα η ανισοκατανομή των ηλεκτρονίων και επομένως η δημιουργία παροδικού (στιγμιαίου) διπόλου.

Παράδειγμα

Οι δυνάμεις London μεταξύ μορίων Br_2 ($M_r = 160$) είναι ισχυρότερες από αντίστοιχες δυνάμεις μεταξύ των μορίων Cl_2 ($M_r = 71$), λόγω της μεγαλύτερης σχετικής μοριακής μάζας.

2. Από τη γεωμετρία (σχήμα) του μορίου, δηλαδή τη δομή στον χώρο

Όσο πιο μεγάλη η επιφάνεια του μορίου τόσο ευκολότερα γίνεται η ανισοκατανομή των ηλεκτρονίων και μετατροπή σε παροδικό δίπολο, και τόσο ισχυρότερες οι δυνάμεις διασποράς. Για παράδειγμα, ευθύγραμμα μη πολικά μόρια εμφανίζουν ισχυρότερες δυνάμεις

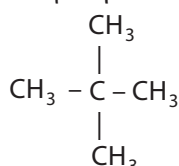
από τα διακλαδισμένα μη πολικά μόρια, της ίδιας ομόλογης σειράς. Αυτό οφείλεται στο ότι τα ευθύγραμμα μόρια έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια και γίνεται καλύτερη και ισχυρότερη αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων.

Παράδειγμα

Το πεντάνιο είναι οργανική ένωση με ευθύγραμμη αλυσίδα:



και εμφανίζει ισχυρότερες δυνάμεις διασποράς (σ.ζ.: 36°C) από το ισομερές 2,2-διμεθυλοπροπάνιο (σ.ζ.: 10°C), που έχει διακλαδισμένη αλυσίδα:



και την ίδια τιμή σχετικής μοριακής μάζας (M_r). Πρακτικά στη συνήθη θερμοκρασία το πεντάνιο είναι υγρό, ενώ το 2,2-διμεθυλοπροπάνιο είναι αέριο.

Δυνάμεις διασποράς (London)

Όσο πιο μεγάλη η τιμή της M_r , τόσο μεγαλύτερη η ισχύς.

Όσο πιο μεγάλη η επιφάνεια των μορίων, τόσο μεγαλύτερη η ισχύς, εφόσον έχουμε παραπλήσια τιμή M_r .

Συμπεράσματα

1. Οι δυνάμεις διασποράς (London) **αναπτύσσονται μεταξύ όλων των μορίων, ανεξάρτητα αν αυτά είναι πολικά ή μη πολικά μόρια**, εφόσον όλα τα μόρια έχουν ηλεκτρόνια.
2. Στην περίπτωση των μη πολικών μορίων οι δυνάμεις διασποράς (London) είναι οι μοναδικές που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

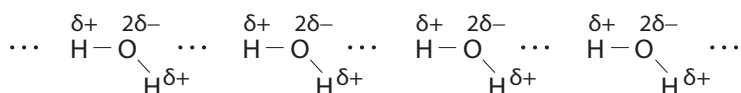
Οι δυνάμεις διπόλου-διπόλου, διπόλου-παροδικού διπόλου και παροδικού διπόλου-παροδικού διπόλου αναφέρονται γενικώς ως δυνάμεις Van der Waals. Ο Van der Waals τις επικαλέστηκε στην προσπάθεια να εξηγήσει τις αποκλίσεις των πραγματικών αερίων από την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων.

Γ. Δεσμός υδρογόνου

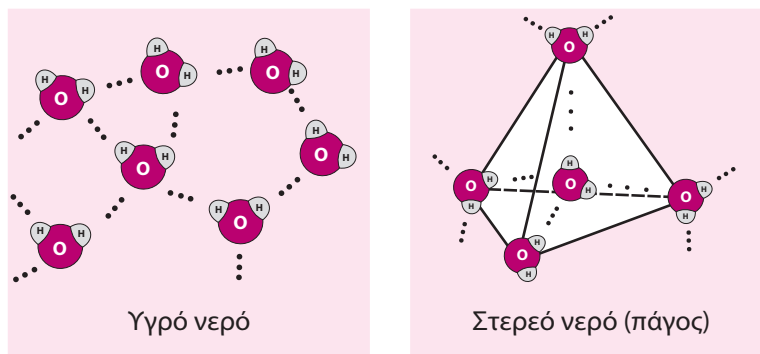
Το σημαντικότερο και πλέον διαδεδομένο υγρό στην πλανήτη είναι το νερό (H_2O), το οποίο εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλό σημείο ζέσεως, 100°C υπό πίεση 1 atm, συγκριτικά με άλλες ενώσεις του υδρογόνου που έχουν παραπλήσια τιμή M_r , όπως το μεθάνιο (CH_4), το οποίο εί-

ναι αέριο στις συνθήκες συνθήκες. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στην εμφάνιση σχετικά ισχυρών διαμοριακών δυνάμεων μεταξύ των μορίων του, που δεν δικαιολογείται από την ισχύ των δυνάμεων μεταξύ δίπολων μορίων. Ο δεσμός αναπτύσσεται μεταξύ του $H^{\delta+}$ του δεσμού (O – H) ενός μορίου και του $O^{2\delta-}$ του γειτονικού του μορίου.

Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ μορίων νερού



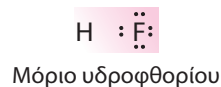
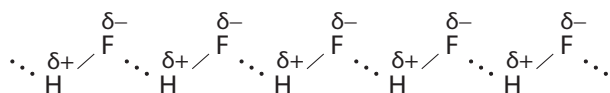
Ονομάζονται **δεσμοί ή γέφυρες υδρογόνου** και συμβολίζονται με τρεις τελείες (\cdots). Η παρουσία των ισχυρών δεσμών υδρογόνου στο υγρό και στερεό νερό καθορίζει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Η σύνδεση των μορίων στο υγρό και στερεό νερό δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



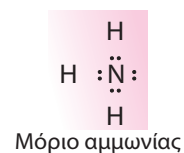
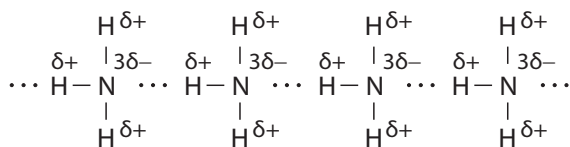
Ο δεσμός υδρογόνου δεν εμφανίζεται μόνο μεταξύ των μορίων του νερού, αλλά εμφανίζεται γενικότερα σε **ενώσεις με δεσμούς H – F, H – O και H – N**.

Παραδείγματα

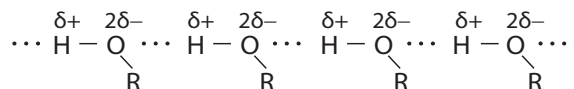
α. Μεταξύ των μορίων του HF, όπου έχουμε δεσμό H – F.



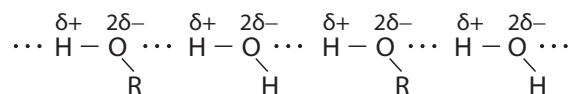
β. Μεταξύ των μορίων της NH_3 , όπου έχουμε δεσμούς H – N.



γ. Μεταξύ των μορίων μιας αλκοόλης (ROH), όπου έχουμε δεσμό H – O.



δ. Μεταξύ των μορίων μιας αλκοόλης (ROH) και των μορίων του H₂O, όπου και στα δύο μόρια έχουμε δεσμούς H – O.



Γενικά ο δεσμός υδρογόνου εμφανίζεται σε ενώσεις, όπου το H είναι ενωμένο με ομοιοπολικό δεσμό με ισχυρά ηλεκτραρνητικά άτομα με μικρή ατομική ακτίνα (μέγεθος) όπως το F, το O και το N. Στις περιπτώσεις των δεσμών H – F, H – O και H – N, ο δεσμός –λόγω μεγάλης διαφοράς ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των στοιχείων–, είναι ιδιαίτερα πολωμένος, με αποτέλεσμα το άτομο H να μένει «γυμνό» από ηλεκτρόνια, ως H^{δ+}. Έτσι το H^{δ+} μπορεί και έλκει το αρνητικά φορτισμένο άτομο F^{δ-} ή O^{δ-} ή N^{δ-} ενός άλλου μορίου, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται οι ισχυρές ηλεκτροστατικές έλξεις του δεσμού υδρογόνου. Με τον τρόπο αυτό το άτομο H συνδέεται ταυτόχρονα με δύο πολύ ισχυρά ηλεκτραρνητικά άτομα (F, O, N) με ομοιοπολικό δεσμό με το ένα (H – F, H – O, H – N) στο ίδιο μόριο και με δεσμό υδρογόνου με το άλλο μόριο.

Ο **δεσμός υδρογόνου** σχηματίζεται με το άτομο υδρογόνου να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ισχυρά ηλεκτραρνητικά άτομα (F, O, N) και είναι της μορφής:



όπου

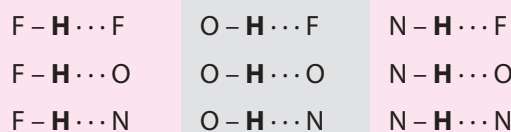
A, B: άτομα F, O, N

A – H: μόριο ή μέρος μορίου και

B: μέρος ενός άλλου μορίου ή του προηγούμενου μορίου.

Προσέχουμε

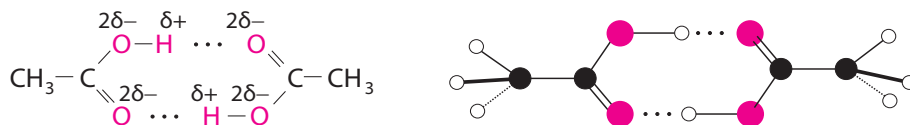
Οι βασικές ενδιαφέρουσες περιπτώσεις δεσμών υδρογόνου είναι:



Το H ενώνεται με απλό ομοιοπολικό δεσμό με άτομο F, O ή N στο μόριο που βρίσκεται, και με δεσμό υδρογόνου με το άλλο άτομο F, O ή N άλλου μορίου.

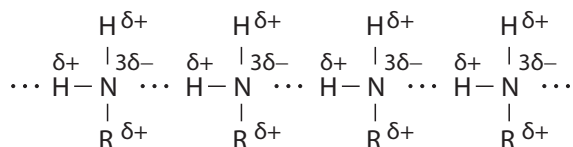
Παραδείγματα

α. Μεταξύ μορίων οργανικών ενώσεων με καρβοξύλιο ($-\text{COOH}$), όπως τα κορεσμένα καρβοξυλικά οξέα (RCOOH) κ.ά. Στην περίπτωση του αιθανικού οξέος (CH_3COOH) εμφανίζονται διμερή ζεύγη μορίων του, που ενώνονται με δύο δεσμούς υδρογόνου:



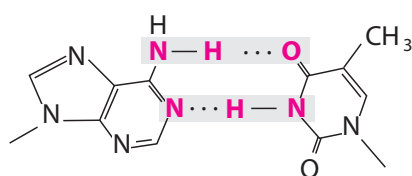
Λόγω της εμφάνισης διμερών ζευγών μορίων αιθανικού οξέος μπορεί σε πειραματικό προσδιορισμό της σχετικής μοριακής του μάζας (M_r) να βρεθεί διπλάσια τιμή.

β. Μεταξύ μορίων οργανικών ενώσεων με πρωτοταγή ($-\text{NH}_2$) ή δευτεροταγή ($-\text{NH}-$) αμινομάδα, όπως οι πρωτοταγείς ($\text{R}-\text{NH}_2$) ή δευτεροταγείς αμίνες (RNHR') αντίστοιχα, κ.ά. Στην περίπτωση της μεθυλαμίνης (CH_3NH_2), όπου έχουμε δεσμούς $\text{H}-\text{N}$, τα μόριά της ενώνονται με δεσμό υδρογόνου.

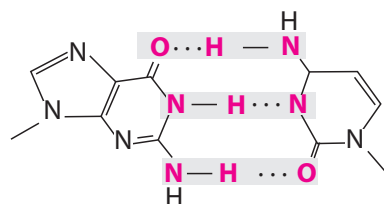


(Για τη μεθυλαμίνη CH_3NH_2 : $\text{R} = : \text{CH}_3 -$)

γ. Μεταξύ μορίων αζωτούχων συμπληρωματικών βάσεων (αδενίνης-θυμίνης και γουανίνης-κυτοσίνης) στο δίκλωνο DNA. Στην περίπτωση αδενίνης και θυμίνης αναπτύσσονται δύο δεσμοί υδρογόνου, ενώ μεταξύ γουανίνης και κυτοσίνης τρεις δεσμοί υδρογόνου:



Αδενίνη (A) – Θυμίνη (T)



Γουανίνη (G) – Κυτοσίνη (C)

Επισημάνση

Σε πολύπλοκες δομές, όπως η περίπτωση των παραπάνω αζωτούχων βάσεων, για τον προσδιορισμό των δεσμών υδρογόνου πρέπει να γνωρίζουμε τις δομές στον χώρο και τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να προσανατολιστούν. Καθίσταται εύλογο ότι δεν είναι πάντα εύκολος ο προσδιορισμός τους.

Η ισχύς του δεσμού υδρογόνου είναι περίπου το 5-10% της ισχύος του ομοιοπολικού δεσμού.

Συνέπειες από την παρουσία δεσμού υδρογόνου

Η παρουσία δεσμού υδρογόνου μεταξύ των μορίων, λόγω της μεγαλύτερης ισχύος του σε σχέση με τις υπόλοιπες διαμοριακές δυνάμεις, έχει αποτέλεσμα την εμφάνιση χαρακτηριστικών ιδιοτήτων.

Μερικές από τις συνέπειες του δεσμού υδρογόνου είναι:

α. Επίδραση στο σημείο ζέσεως (βρασμού)

Η παρουσία του δεσμού υδρογόνου μεταξύ των μορίων χημικής ένωσης εξηγεί τα υψηλά σημεία ζέσεως που εμφανίζουν, όπως:

- της αμμωνίας (NH_3), του νερού (H_2O) και του υδροφθορίου (HF) σε σχέση με τα αντίστοιχα σημεία ζέσεως των υπόλοιπων υδρογονούχων ενώσεων στοιχείων που ανήκουν στην ίδια ομάδα του περιοδικού πίνακα (βλ. περίπτωση iv στην 1.13β),
- των κατώτερων αλκοολών σε σχέση με τα σημεία ζέσεως των αιθέρων με ίδια ή παραπλήσια σχετική μοριακή μάζα (M_r) κ.ά.

Παράδειγμα

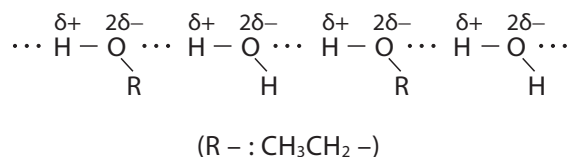
Το νερό (H_2O) με $M_r = 18$ έχει σημείο ζέσεως 100°C (είναι υγρό στις συνήθεις συνθήκες), ενώ το υδρόθειο (H_2S) με $M_r = 34$ έχει σημείο ζέσεως -16°C (είναι αέριο στις συνήθεις συνθήκες). Αν δεν υπήρχαν οι δεσμοί υδρογόνου, το νερό θα είχε σημείο ζέσεως γύρω στους -100°C . Θα μπορούσε λοιπόν να ειπωθεί ότι η ζωή μας οφείλεται στους δεσμούς υδρογόνου.

β. Επίδραση στη διαλυτότητα

Η παρουσία του δεσμού υδρογόνου εξηγεί τη μεγάλη διαλυτότητα των κατώτερων αλκοολών και των κατώτερων καρβοξυλικών οξέων στο νερό κ.ά.

Παράδειγμα

Το οινόπνευμα ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) εμφανίζει μεγάλη διαλυτότητα στο νερό λόγω της εμφάνισης δεσμών υδρογόνου μεταξύ των μορίων του με του νερού.



Σημείωση: με την αύξηση της σχετικής μοριακής μάζας (M_r) έχουμε μεγαλύτερο μέγεθος στον χώρο για το αλκύλιο R-, με αποτέλεσμα να μειώνεται η επίδραση του δεσμού υδρογόνου και συνεπώς η διαλυτότητά του στο νερό. Τα ανώτερα μέλη των ROH και RCOOH δε διαλύονται στο νερό.

γ. Επίδραση στις ιδιότητες του νερού

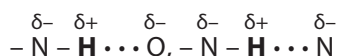
Η παρουσία του δεσμού υδρογόνου εξηγεί τις ιδιομορφίες στις ιδιότητες του νερού (H₂O), όπως:

- το υψηλό σημείο ζέσεως (100°C, υπό πίεση 1 atm),
- την ικανότητα του πάγου να επιπλέει στο υγρό νερό.

Στην περίπτωση του πάγου, ο μέγιστος αριθμός δεσμών υδρογόνου έχει αποτέλεσμα τη μικρότερη πυκνότητα του πάγου σε σχέση με το υγρό νερό. Έτσι ο πάγος αποκτά κρυσταλλική δομή και επιπλέει στις παγωμένες θάλασσες, με αποτέλεσμα να διατηρείται η ζωή σε αυτές.

δ. Επίδραση στη δομή των βιολογικών μακρομορίων

Η παρουσία του δεσμού υδρογόνου εξηγεί τη δομή της διπλής έλικας στο μόριο του DNA και την ελικοειδή δομή των πρωτεϊνών. Οι δεσμοί υδρογόνου σε αυτά τα βιολογικά μακρομόρια είναι της μορφής:

**ε. Επίδραση στην ισχύ των υδραλογόνων**

Η παρουσία του δεσμού υδρογόνου εξηγεί ότι το HF είναι ασθενές οξύ σε σχέση με τα υπόλοιπα υδραλογόνα (HCl, HBr, HI), τα οποία είναι ισχυρά οξέα. Η μεγαλύτερη έλξη που ασκεί το ηλεκτραρνητικότερο φθόριο (F) στο υδρογόνο (H) καθιστά δυσκολότερη την απόσπαση του υδρογόνου με τη μορφή H⁺ (όξινη συμπεριφορά).

στ. Επίδραση στις ιδιότητες μερικών ενώσεων

Η παρουσία του δεσμού υδρογόνου εξηγεί τη μεγάλη αντοχή του νάιλον.

Δ. Δυνάμεις διπόλου-ιόντος

Μεταξύ ιόντος και δίπολου μορίου αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης. Το θετικό φορτίο ενός κατιόντος (+q) έλκει τον αρνητικό πόλο (δ⁻) του δίπολου μορίου, ενώ το αρνητικό φορτίο ενός ανιόντος (-q) έλκει τον θετικό πόλο (δ⁺) του δίπολου μορίου.



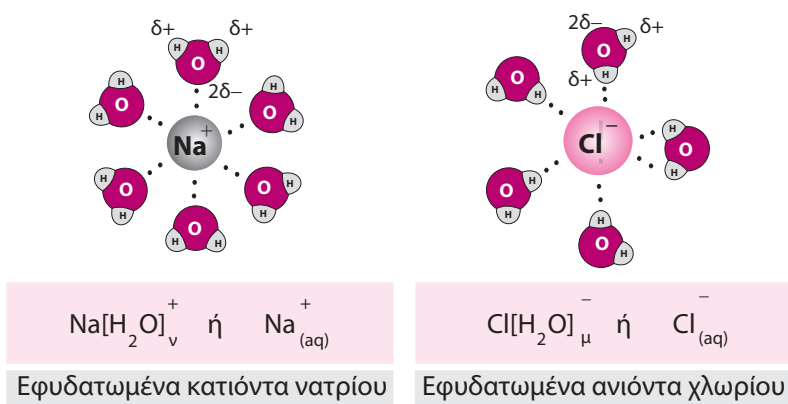
Οι δυνάμεις ιόντος-δίπολου έχουν ισχύ ίση περίπου με το 1/100 της ισχύος του ιοντικού δεσμού.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα εφυδατωμένα ιόντα. Όταν διαλύσουμε αλάτι (ιοντική ένωση) στο νερό, με την επίδραση των δίπολων μορίων νερού καταστρέφεται το κρυσταλλικό πλέγμα και δημιουργούνται εφυδατωμένα κατιόντα (έλκουν τον αρνητικό

πόλο του δίπολου μορίου H_2O) και εφυδατωμένα ανιόντα (έλκουν τον θετικό πόλο του δίπολου μορίου H_2O).

Παράδειγμα

Εφυδατωμένα κατιόντα νατρίου (Na^+) και ανιόντα χλωρίου (Cl^-), που δημιουργούνται κατά τη διάλυση χλωριούχου νατρίου (ιοντική ένωση Na^+Cl^-) στο νερό.



Ισχύς των δυνάμεων διπόλου-ιόντος

Η ισχύς των δυνάμεων μεταξύ ιόντος και δίπολων μορίων εξαρτάται:

1. Από το μέγεθος και το φορτίο του ιόντος.

Η ισχύς αυξάνεται, με τη μείωση του μεγέθους και την αύξηση του φορτίου του ιόντος.

2. Από την πολικότητα και το μέγεθος του δίπολου μορίου.

Η ισχύς αυξάνεται με την αύξηση της πολικότητας του δίπολου μορίου.

Συγκριτική ισχύς των δεσμών με κριτήριο τις ενέργειες διάσπασής τους		
Διαμοριακές δυνάμεις	διπόλου-διπόλου/London	0,1 – 10 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
	δεσμός υδρογόνου	10 – 40 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
Χημικοί δεσμοί	ομοιοπολικός-ιοντικός	100 – 1000 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

1.1.3 Συνέπειες της παρουσίας διαμοριακών δυνάμεων

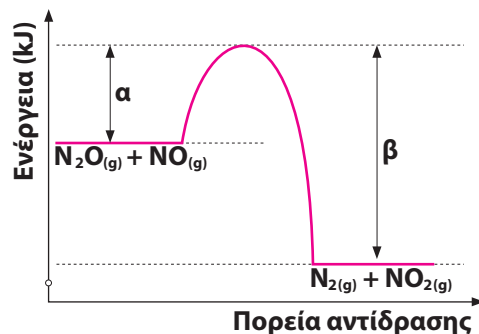
Οι διαμοριακές δυνάμεις καθορίζουν πόσο ισχυροί είναι οι δεσμοί μεταξύ μορίων ή μορίων και ιόντων, τα οποία σχηματίζουν τη μάζα ενός σώματος σε ορισμένη φυσική κατάσταση. Η

2.

- Ερωτήσεις θεωρίας με τη σωστή απάντηση, οι οποίες καλύπτουν τα «δύσκολα σημεία» του 2ου θέματος των Πανελληνίων εξετάσεων.

Ερωτήσεις 2ου Θέματος με αιτιολόγηση

3.1.2 Για την αντίδραση $\text{N}_2\text{O} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{NO}_2$, η ενέργεια του συστήματος αντιδρώντων και προϊόντων απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



α. Να απαντήσετε αν η αντίδραση είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

β. Αν $\alpha = 209 \text{ kJ}$ και $\beta = 348 \text{ kJ}$:

- να υπολογίσετε το ΔH της αντίδρασης.
- ποια είναι η ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης.
- ποια είναι η ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης $\text{N}_2 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{NO}$.

Εξετάσεις 2017

Απάντηση

α. Η ενέργεια των αντιδρώντων είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια των προϊόντων, άρα κατά την πραγματοποίηση της αντίδρασης εκλύεται ενέργεια στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ενθαλπία του συστήματος ($\Delta H < 0$) και η αντίδραση είναι εξώθερμη.

β. i. Η ΔH της αντίδρασης είναι ίση αριθμητικά με $348 - 209 = 139 \text{ kJ}$, άρα:

$$\Delta H = H_{\text{προϊόντων}} - H_{\text{αντιδρώντων}} = -139 \text{ kJ}$$

ii. Η E_a της αντίδρασης είναι η ελάχιστη κινητική ενέργεια που πρέπει να έχουν τα αντιδρώντα μόρια (N_2O και NO), άρα ίση με $\alpha = 209 \text{ kJ}$.

iii. Η E_a της αντίδρασης είναι η ελάχιστη κινητική ενέργεια που πρέπει να έχουν τα αντιδρώντα μόρια (N_2 και NO_2), άρα ίση με $\beta = 348 \text{ kJ}$.

3.1.3 Για την αντίδραση $3\text{A}_{(g)} + \text{B}_{(g)} \rightarrow 2\text{Γ}_{(g)} + \Delta_{(g)}$, στο χρονικό διάστημα [10 s, 20 s], υπολογίστηκε ότι αντέδρασαν 0,2 M της ουσίας B. Στο ίδιο χρονικό διάστημα να υπολογίσετε:

- α. την ταχύτητα της αντίδρασης,
 β. τις ταχύτητες κατανάλωσης των αντιδρώντων Α και Β,
 γ. τις ταχύτητες παραγωγής των προϊόντων Γ και Δ.

Απάντηση

Έχουμε την αντίδραση: $3A_{(g)} + B_{(g)} \rightarrow 2\Gamma_{(g)} + \Delta_{(g)}$. Στο χρονικό διάστημα [10 s, 20 s] η μέση ταχύτητα κατανάλωσης του αντιδρώντος Β είναι ίση με:

$$u_B = - \frac{\Delta c_B}{\Delta t} = - \frac{-0,2}{20 - 10} = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$$

Με βάση τους συντελεστές της αντίδρασης προκύπτει η παρακάτω σχέση μεταξύ των ταχυτήτων των σωμάτων στην αντίδραση:

$$u = \frac{u_A}{3} = \frac{u_B}{1} = \frac{u_\Gamma}{2} = \frac{u_\Delta}{1}$$

Με αντικατάσταση στην παραπάνω σχέση βρίσκουμε:

α. $u = u_B$ ή $u = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$, η ταχύτητα της αντίδρασης.

β. $\frac{u_A}{3} = u_B$ ή $u_A = 3u_B$ ή $u_A = 3 \cdot 0,02$ ή $u_A = 0,06 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$, η ταχύτητα κατανάλωσης του

αντιδρώντος Α, και $u_B = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$ η ταχύτητα κατανάλωσης του αντιδρώντος Β.

γ. $\frac{u_\Gamma}{2} = u_B$ ή $u_\Gamma = 2u_B$ ή $u_\Gamma = 2 \cdot 0,02$ ή $u_\Gamma = 0,04 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$, η ταχύτητα παραγωγής του προϊόντος

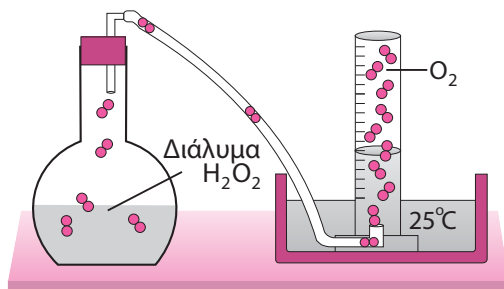
Γ, και $u_\Delta = u_B$ ή $u_\Delta = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$, η ταχύτητα κατανάλωσης του προϊόντος Δ.

3.1.4 Για την αντίδραση: $2\text{H}_2\text{O}_{2(l)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{O}_{2(g)}$, να εξηγήσετε τον πειραματικό τρόπο προσδιορισμού της μέσης ταχύτητας μέσω υπολογισμού του όγκου του αέριου O_2 που εκλύεται.

Απάντηση

Ενεργούμε ως εξής:

- Γνωστός όγκος διαλύματος H_2O_2 τοποθετείται σε φιάλη.



- Προσδιορίζουμε τον όγκο του αέριου O_2 που συλλέγεται σε βαθμολογημένο σωλήνα σε ίσα χρονικά διαστήματα (βλ. σχήμα). Μέσω της καταστατικής εξίσωσης των αερίων βρίσκουμε τον αντίστοιχο αριθμό των mol O_2 που εκλύεται καθώς εξελίσσεται η αντίδραση. Έτσι έχουμε τον ζητούμενο πίνακα τιμών μεταβολής των mol O_2 σε συνάρτηση με τον χρόνο.
- Από τη μεταβολή (Δn) mol του αέριου O_2 , με βάση τη στοιχειομετρία της αντίδρασης βρίσκουμε τη μεταβολή (Δn) mol H_2O_2 που αντέδρασαν.

τα 2 mol H_2O_2 δίνουν 1 mol O_2

$x = ;$ mol Δn mol O_2

$$x = \Delta n_{H_2O_2} = 2\Delta n_{O_2} \text{ mol}$$

- Με δεδομένη τη μεταβολή (Δn) mol του H_2O_2 υπολογίζουμε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης (v) στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα (Δt).

$$v = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[H_2O_2]}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad v = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\frac{\Delta n_{H_2O_2}}{V_{\text{διαλ.}}}}{\Delta t}$$

Καμπύλες αντίδρασης για περισσότερα από ένα σώματα της αντίδρασης στο ίδιο διάγραμμα

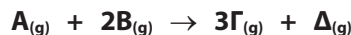
A. Ζητείται στο ίδιο διάγραμμα να γίνουν οι γραφικές παραστάσεις της μεταβολής συγκέντρωσης σε συνάρτηση με τον χρόνο (καμπύλες αντίδρασης), για περισσότερα από ένα σώματα της αντίδρασης. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να ληφθεί υπόψη η στοιχειομετρία της αντίδρασης.

Μεθοδολογία

Για τον σχεδιασμό κάθε μίας καμπύλης της αντίδρασης χρειάζεται να προσδιορίσουμε για το αντίστοιχο σώμα:

- την αρχική του συγκέντρωση (0 s) με βάση την εκφώνηση,
- την τελική του συγκέντρωση (t, s) με βάση τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς.

3.1.5 Σε δοχείο όγκου V εισάγονται ισομοριακές ποσότητες των σωμάτων A και B , τα οποία αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:



Στο ίδιο διάγραμμα να φτιάξετε τις καμπύλες αντίδρασης για τα A , B , Γ και Δ .

Απάντηση

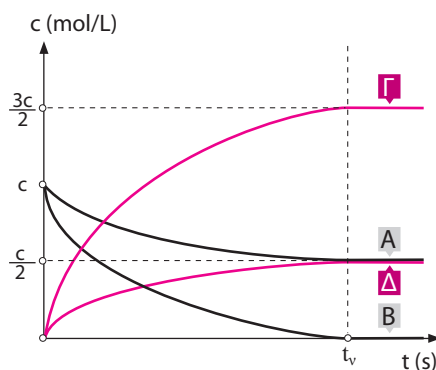
Για τον σχεδιασμό των καμπυλών αντίδρασης ως προς τα αντιδρώντα A και B και τα προϊόντα Γ και Δ , στηριζόμαστε στους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς για την ποσοτική

αντίδραση. Αρχικά έχουμε ισομοριακές ποσότητες των αντιδρώντων A και B, άρα και ίσες συγκεντρώσεις ($c_A = c_B$). Καταλήγουμε στον παρακάτω πίνακα:

		$A_{(g)} + 2B_{(g)} \rightarrow 3\Gamma_{(g)} + \Delta_{(g)}$			
Αρχικά ($t = 0 \text{ s}$)	mol/L	c	c	0	0
Αντιδρούν/παράγονται	mol/L	$-\frac{c}{2}$	$-c$	$\frac{3c}{2}$	$\frac{c}{2}$
Τελικά ($t = t_v \text{ s}$)	mol/L	$\frac{c}{2}$	0	$\frac{3c}{2}$	$\frac{c}{2}$

(Έχουμε περίσσεια από το σώμα A, άρα αντιδρά όλη η ποσότητα του B.)

Οι ζητούμενες καμπύλες είναι οι εξής:



B. Δίνονται στο ίδιο διάγραμμα περισσότερες από μία καμπύλες της αντίδρασης και ζητείται να προσδιορίσουμε σε ποιο σώμα της αντίδρασης αναφέρεται η κάθε καμπύλη.

Μεθοδολογία

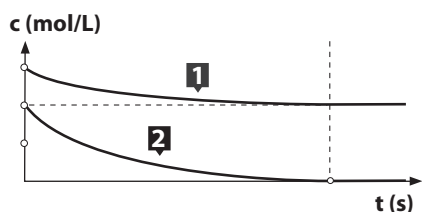
Για τον προσδιορισμό του σώματος που αντιστοιχεί σε κάθε μία καμπύλη, πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- α.** ότι η συγκέντρωση ενός αντιδρώντος μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, ενώ η συγκέντρωση ενός προϊόντος αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου,
- β.** η αναλογία των mol, άρα και των συγκεντρώσεων με τις οποίες τα αντιδρώντα και τα προϊόντα συμμετέχουν στην αντίδραση (στοιχειομετρία της αντίδρασης),
- γ.** η μεταβολή των συγκεντρώσεων (Δc) από το διάγραμμα.

Με τη σύγκριση των δύο αυτών στοιχείων βρίσκουμε την απάντηση.

Σημείωση: Μπορούμε να εργαστούμε όπως στο προηγούμενο θέμα 3.1.4 αφού φτιάξουμε τον στοιχειομετρικό πίνακα, σύμφωνα με τα διαγράμματα που δίνονται.

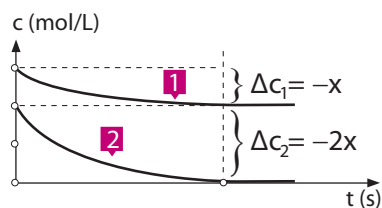
3.1.6 Για την αντίδραση $2A_{(g)} + B_{(g)} \rightarrow 3\Gamma_{(g)}$, δίνονται οι παρακάτω καμπύλες της αντίδρασης ως προς τα αντιδρώντα A και B:



- α.** Να εξηγήσετε σε ποιο αντιδρών αναφέρεται κάθε καμπύλη της αντίδρασης.
β. Να φτιάξετε στο ίδιο διάγραμμα και την καμπύλη αντίδρασης για το προϊόν Γ.

Απάντηση

Με βάση τις καμπύλες (1) και (2) του διαγράμματος παρατηρούμε ότι οι μεταβολές των συγκεντρώσεων είναι $\Delta c_1 = -x$ M, και $\Delta c_2 = -2x$ M αντίστοιχα (βλ. σχήμα).



Σύμφωνα με τη στοιχειομετρία της αντίδρασης έχουμε ότι:

2 M της ουσίας A αντιδρούν με 1 M της ουσίας B.

- α.** Επομένως, προκύπτει ότι η καμπύλη (1) αντιστοιχεί στο αντιδρών B, και η καμπύλη (2) στο αντιδρών A.

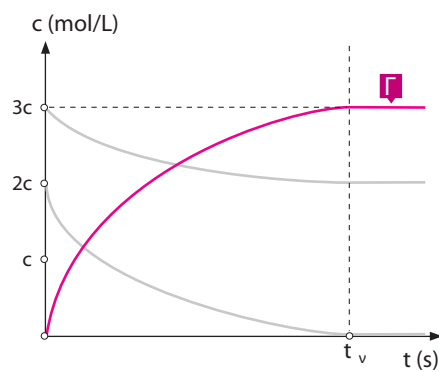
Θεμελιώδης γνώση

«τα σώματα που συμμετέχουν σε μια αντίδραση αντιδρούν και παράγονται σε αναλογία mol ή συγκεντρώσεων (για ομογενείς αντιδράσεις), σύμφωνα με τους συντελεστές της χημικής εξίσωσης».

- β.** Για τον σχεδιασμό της καμπύλης αντίδρασης ως προς το προϊόν Γ, ενεργούμε όπως είδαμε στο προηγούμενο θέμα 3.1.4. Έστω ότι αρχικά έχουμε $2c$ M της ουσίας A και $3c$ M της ουσίας B (με βάση το διάγραμμα). Με κριτήριο τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς για την αντίδραση καταλήγουμε στον παρακάτω πίνακα (έχουμε περίσσεια από το αντιδρών B):

		$2A_{(g)} + B_{(g)} \rightarrow 3\Gamma_{(g)}$		
Αρχικά ($t = 0 \text{ s}$)	mol/L	$2c$	$3c$	0
Αντιδρούν/παράγονται	mol/L	$-2c$	$-c$	$3c$
Τελικά ($t = t_v \text{ s}$)	mol/L	0	$2c$	$3c$

Για το προϊόν Γ, η καμπύλη αντίδρασης είναι η εξής:



3.

- Βασικές ασκήσεις υποδειγματικά λυμένες σύμφωνα με την αντίστοιχη μεθοδολογία.

4.4 Ασκήσεις χημικής ισορροπίας χωρίς επίδραση στη θέση ισορροπίας

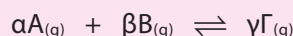


Στις ασκήσεις χημικής ισορροπίας με αναφορά σε μια θέση χημικής ισορροπίας, μάς ενδιαφέρουν οι αρχικές ποσότητες που εισάγονται στο δοχείο, η σύσταση του τελικού μείγματος και οι σχέσεις μεταξύ τους. Η μεθοδολογία λύσης των ασκήσεων στηρίζεται στη λογική της ροής του φαινομένου της χημικής ισορροπίας.

A. Ασκήσεις χημικής ισορροπίας χωρίς έλεγχο κατεύθυνσης

Μεθοδολογία

Έστω λοιπόν η αμφίδρομη αντίδραση:



1. Ορίζουμε τα αρχικά σώματα που εισάγονται στο δοχείο και την ποσότητα κάθε σώματος σε mol. Για οποιαδήποτε αρχική ποσότητα που δε δίνεται, χρησιμοποιούμε αγνώστους (x mol σώματος A, y mol σώματος B) για να την ορίσουμε.
2. Γράφουμε την αμφίδρομη αντίδραση που περιγράφει το φαινόμενο στο οποίο αναφέρεται η άσκηση. Χρησιμοποιούμε τον παρακάτω πίνακα για να προσδιορίσουμε τα mol κάθε σώματος της αντίδρασης στη θέση της χημικής ισορροπίας:

		$aA_{(g)}$	+	$bB_{(g)}$	\rightleftharpoons	$\gamma\Gamma_{(g)}$
Αρχικά	mol	x		y		-
Αντιδρούν/παράγονται	mol	$-a\omega$		$-b\omega$		$+\gamma\omega$
Θέση χημικής ισορροπίας	mol	$x - a\omega$		$y - b\omega$		$\gamma\omega$

3. Συνδυάζουμε τα δεδομένα της εκφώνησης (όπως απόδοση αμφίδρομης αντίδρασης, βαθμός μετατροπής αντιδρώντος, σύσταση του μείγματος, πίεση του μείγματος, % v/v περιεκτικότητα συστατικού του μείγματος, πυκνότητα μείγματος κ.ά.) με τα αντίστοιχα

δεδομένα του πίνακα. Στο τέλος αντικαθιστούμε στη σταθερά της χημικής ισορροπίας K_c τις συγκεντρώσεις των σωμάτων του μείγματος σε θέση ισορροπίας.

$$K_c = \frac{[\Gamma]^{\gamma}}{[A]^{\alpha} [B]^{\beta}}$$

Διαιρούμε τα mol κάθε συστατικού στη θέση της χημικής ισορροπίας (Θ.Χ.Ι.) με τον αντίστοιχο όγκο του δοχείου $\left(c = \frac{n}{V} \text{ mol/L} \right)$ για να βρούμε τις συγκεντρώσεις των σωμάτων.

Η επίλυση της σχέσης ή των σχέσεων που προκύπτουν δίνει το ζητούμενο ή τα ζητούμενα της άσκησης.

Ανάλυση χαρακτηριστικών δεδομένων της εκφώνησης

α. Αναφορά σε πιέσεις

Η ποσότητα της αέριας ουσίας συνδέεται με την πίεση μέσω της καταστατικής εξίσωσης των αερίων.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (\text{για ένα αέριο στο δοχείο})$$

Για ένα αέριο μείγμα η καταστατική εξίσωση των αερίων γράφεται ως εξής:

$$p_{\text{ολ.}} \cdot V_{\text{ολ.}} = n_{\text{ολ.}} \cdot R \cdot T$$

(όπου $n_{\text{ολ.}}$ το άθροισμα mol όλων των αερίων συστατικών του μείγματος)

Γενική αρχή: Για κάθε αναφορά (δίνεται-ζητείται) σε πίεση (αερίου A ή αερίου μείγματος) γράφουμε την κατάλληλη καταστατική εξίσωση των αερίων.

Μεταβολή της ολικής πίεσης στο δοχείο

Με κριτήριο την καταστατική εξίσωση ($p_{\text{ολ.}} \cdot V_{\text{ολ.}} = n_{\text{ολ.}} \cdot R \cdot T$), σε δοχείο σταθερού όγκου, υπό σταθερή θερμοκρασία, από την αρχή του φαινομένου μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας, η ολική πίεση μεταβάλλεται σύμφωνα με τη μεταβολή (Δn) του συνολικού αριθμού των αερίων mol.

Για την αμφίδρομη αντίδραση: $\alpha A_{(g)} + \beta B_{(g)} \rightleftharpoons \gamma \Gamma_{(g)}$, $\Delta n = \gamma - (\alpha + \beta)$

Όταν $\Delta n = 0$ ($\gamma = \alpha + \beta$) η ολική πίεση ($p_{\text{ολ.}}$) **παραμένει σταθερή**

Όταν $\Delta n > 0$ ($\gamma > \alpha + \beta$) η ολική πίεση ($p_{\text{ολ.}}$) **αυξάνεται**

Όταν $\Delta n < 0$ ($\gamma < \alpha + \beta$) η ολική πίεση ($p_{\text{ολ.}}$) **μειώνεται**

β. Αναφορά σε όγκους

Ισχύει ότι: «Η αναλογία των όγκων είναι και αναλογία των mol υπό δεδομένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης».

Παραδείγματα

1. Δίνεται ότι το μείγμα περιέχει 20% v/v αέριου συστατικού A. Ισχύει:

$$\frac{V_A}{V_{\text{ολ.}}} = \frac{20}{100} = \frac{1}{5}, \text{ άρα έχουμε } \frac{n_A}{n_{\text{ολ.}}} = \frac{1}{5}$$

Επομένως βρήκαμε την αναλογία των mol, η οποία μας χρησιμεύει για να συνδέσουμε το δεδομένο της εκφώνησης με την αρχική σύσταση ή τη σύσταση του μείγματος της ισορροπίας.

2. Ζητείται η % v/v σύσταση του μείγματος. Βρίσκουμε τη σχέση των mol του συστατικού με τα συνολικά mol του μείγματος. Έχουμε:

$$\frac{n_A}{n_{\text{ολ.}}} = \frac{20}{100}, \text{ άρα ισχύει } \frac{V_A}{V_{\text{ολ.}}} = \frac{20}{100}$$

Οπότε το μείγμα περιέχει 20% v/v A.

Χρήσιμες σχέσεις που χρησιμοποιούμε στις ασκήσεις

α. Σύμφωνα με τον νόμο της αφθαρσίας της μάζας (Lavoisier), ισχύει ότι:

$$m_{\text{αρχικών σωμάτων}} = m_{\text{τελικών σωμάτων}}$$

Επομένως όταν γνωρίζουμε τη μάζα των αρχικών σωμάτων έχουμε και τη μάζα του μείγματος της χημικής ισορροπίας και αντίστροφα.

β. Σε μια ομογενή αντίδραση, όπου το άθροισμα των συντελεστών στο πρώτο μέλος είναι ίσο με το άθροισμα των συντελεστών στο δεύτερο μέλος ($\Delta n = 0$), ισχύει:

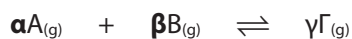
$$n_{\text{αρχικών σωμάτων}} = n_{\text{τελικών σωμάτων}}$$

Επομένως, κατά τη διάρκεια του φαινομένου διατηρείται σταθερός ο συνολικός αριθμός των αέριων mol ($n_{\text{ολ.}} = \text{σταθερά}$), εφόσον δεν εισάγεται ή αφαιρείται ποσότητα στο δοχείο.

$$\text{Για την αμφίδρομη αντίδραση: } H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}, \Delta n = 2 - (1 + 1) = 0$$

$$n_{\text{ολ. αρχικά}} = n_{\text{ολ. στη θέση ισορροπίας}} = \text{σταθερά}$$

γ. Προσέχουμε:

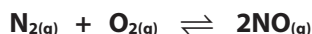


Στοιχειομετρικές ποσότητες αx mol βx mol

Ισομοριακές ποσότητες x mol x mol

Άσκηση 4.4.1

Στους $\theta^\circ\text{C}$ σε δοχείο εισάγονται 1 mol N_2 και 1 mol O_2 , με αποτέλεσμα να σχηματίζεται **NO** σύμφωνα με την ισορροπία:



Αν η σταθερά K_c της ισορροπίας, στους $\theta^\circ\text{C}$, είναι ίση με **64**, να προσδιορίσετε τα mol των σωμάτων στη θέση της χημικής ισορροπίας.

Απάντηση

Ορίζουμε τις αρχικές ποσότητες σε mol.

Εισάγονται 1 mol N_2 και 1 mol O_2 .

Βρίσκουμε τη σύσταση του μείγματος στη θέση ισορροπίας σε mol.

		$\text{N}_{2(\text{g})}$	+	$\text{O}_{2(\text{g})}$	\rightleftharpoons	$2\text{NO}_{(\text{g})}$
Αρχικά	mol	1		1		–
Αντιδρούν/παράγονται	mol	– ω		– ω		+2 ω
Θέση χημικής ισορροπίας	mol	1 – ω		1 – ω		2 ω

Γράφουμε τα δεδομένα που αναφέρονται στο μείγμα της ισορροπίας.

Αντικαθιστούμε στη σταθερά της χημικής ισορροπίας τις συγκεντρώσεις των σωμάτων στη θέση της χημικής ισορροπίας (V , ο όγκος του δοχείου):

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \quad \text{ή} \quad 64 = \frac{\left(\frac{2\omega}{V}\right)^2}{\frac{1-\omega}{V} \cdot \frac{1-\omega}{V}} \quad \text{ή} \quad 64 = \left(\frac{\frac{2\omega}{V}}{\frac{1-\omega}{V}}\right)^2 \quad \text{ή}$$

$$8 = \frac{2\omega}{1-\omega} \quad \text{ή} \quad 4 - 4\omega = \omega \quad \text{ή} \quad 5\omega = 4 \quad \text{ή} \quad \omega = 0,8$$

Άρα στο μείγμα της θέσης ισορροπίας υπάρχουν:

$$1 - 0,8 = 0,2 \text{ mol N}_2, \quad 1 - 0,8 = 0,2 \text{ mol O}_2 \quad \text{και} \quad 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ mol NO}$$

Εφαρμογή 4.4.2

Στους 227°C σε δοχείο όγκου V εισάγονται 4 mol HI , τα οποία διασπώνται σε H_2 και I_2 σύμφωνα με την ισορροπία:



Αν η σταθερά K_c της ισορροπίας, στους 227°C , είναι ίση με 4, να προσδιορίσετε τη σύσταση του αέριου μείγματος της ισορροπίας.

Άσκηση 4.4.3

Στους 500°C σε δοχείο $V = 4\text{ L}$ εισάγονται ισομοριακές ποσότητες N_2 και H_2 , με αποτέλεσμα να σχηματίζεται αμμωνία (NH_3) με απόδοση 60%. Αν η σταθερά K_c της ισορροπίας: $\text{N}_{2(\text{g})} + 3\text{H}_{2(\text{g})} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(\text{g})}$, στους 500°C , είναι ίση με 2, να προσδιορίσετε τα αρχικά mol του N_2 και του H_2 .

Απάντηση

Ορίζουμε τις αρχικές ποσότητες σε mol.

Εισάγονται ισομοριακές ποσότητες N_2 και H_2 , άρα $x\text{ mol N}_2$ και $x\text{ mol H}_2$.

Βρίσκουμε τη σύσταση του μείγματος στη θέση ισορροπίας σε mol.

		$\text{N}_{2(\text{g})}$	+	$3\text{H}_{2(\text{g})}$	\rightleftharpoons	$2\text{NH}_{3(\text{g})}$
Αρχικά	mol	x		x		–
Αντιδρούν/παράγονται	mol	$-\omega$		-3ω		$+2\omega$
Θέση χημικής ισορροπίας	mol	$x - \omega$		$x - 3\omega$		2ω

Γράφουμε τα δεδομένα που αναφέρονται στο μείγμα της ισορροπίας.

Αξιοποιούμε την απόδοση της αμφίδρομης αντίδρασης που δίνεται (60%).

1ος τρόπος: Στηριζόμαστε στον ορισμό της απόδοσης. Ισχύει ότι:

$$\alpha = \frac{n_{\text{NH}_3(\text{Θ.Χ.Ι.})}}{n_{\text{NH}_3(\text{θεωρητικά})}} \quad \text{ή} \quad 0,6 = \frac{2\omega}{\frac{2x}{3}} \quad \text{ή} \quad \omega = 0,2x$$

Η θεωρητική ποσότητα της NH_3 υπολογίστηκε με βάση την ποσότητα του H_2 που δεν είναι σε περίσσεια.

$$\begin{array}{l} \text{Τα } 3\text{ mol H}_2 \quad \text{με πλήρη μετατροπή δίνουν} \quad 2\text{ mol NH}_3 \\ \text{Τα } x\text{ mol H}_2 \quad \text{»} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \varphi = \frac{2x}{3}\text{ mol NH}_3 \end{array}$$

2ος τρόπος: Χρησιμοποιούμε τη σχέση βάσει της οποίας η απόδοση ($\alpha = 0,6$) είναι ίση με τον βαθμό μετατροπής του αντιδρώντος που δε βρίσκεται σε περίσσεια, δηλαδή:

$$\alpha = \alpha_{\text{H}_2} = \frac{n_{\text{H}_2(\text{αντέδρασαν})}}{n_{\text{H}_2(\text{αρχικά})}} \quad \text{ή} \quad 0,6 = \frac{3\omega}{x} \quad \text{ή} \quad \omega = 0,2x$$

Αντικαθιστούμε στη σταθερά της χημικής ισορροπίας τις συγκεντρώσεις των σωμάτων στη θέση της χημικής ισορροπίας ($V = 4 \text{ L}$, ο όγκος του δοχείου):

$$K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} \quad \text{ή} \quad 2 = \frac{\left(\frac{0,4x}{4}\right)^2}{\frac{x - 0,2x}{4} \left(\frac{x - 0,6x}{4}\right)^3} \quad \text{ή} \quad 2 = \frac{\left(\frac{0,4x}{4}\right)^2}{\frac{0,8x}{4} \left(\frac{0,4x}{4}\right)^3} \quad \text{ή}$$

$$2 = \frac{1}{\frac{0,8x}{4} \cdot \frac{0,4x}{4}} \quad \text{ή} \quad 2 = \frac{1}{0,02x^2} \quad \text{ή} \quad x^2 = 25 \quad \text{ή} \quad x = 5$$

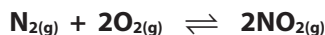
Επομένως, αρχικά είχαμε 5 mol N_2 και 5 mol H_2 .

Προσέχουμε

Όταν μας ενδιαφέρει η απόδοση αμφίδρομης αντίδρασης, πρέπει να γνωρίζουμε ποιο αντιδρών δεν είναι σε περίσσεια.

Εφαρμογή 4.4.4

Στους 128°C σε δοχείο $V = 15 \text{ L}$ εισάγονται ισομοριακές ποσότητες N_2 και O_2 , με αποτέλεσμα να σχηματίζεται NO_2 με απόδοση 50%. Αν η σταθερά K_c της ισορροπίας:



στους 128°C , είναι ίση με 10, να προσδιορίσετε τα αρχικά mol του N_2 και του O_2 .

Άσκηση 4.4.5

Σε δοχείο 20 L εισάγεται αέριο μείγμα H_2 και I_2 , με σύσταση 25% v/v H_2 . Αυξάνεται η θερμοκρασία στους 227°C με αποτέλεσμα να σχηματίζεται HI με απόδοση 50%. Στους 227°C το αέριο μείγμα της ισορροπίας ασκεί πίεση 1,64 atm. Να υπολογίσετε:

α. τα αρχικά mol των αερίων και

β. τη σταθερά K_c της ισορροπίας $2\text{HI}_{(\text{g})} \rightleftharpoons \text{H}_{2(\text{g})} + \text{I}_{2(\text{g})}$.

Απάντηση

Ορίζουμε τις αρχικές ποσότητες σε mol.

Εισάγεται αέριο μείγμα σύστασης 25% v/v H_2 και 75% v/v I_2 . Επομένως ισχύει:

$$\frac{V_{\text{H}_2}}{V_{\text{I}_2}} = \frac{25}{75} = \frac{1}{3}, \quad \text{άρα είναι} \quad \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{I}_2}} = \frac{1}{3}$$

Συνεπώς, αρχικά έχουμε x mol H_2 και $3x$ mol I_2 .

Βρίσκουμε τη σύσταση του μείγματος στη θέση ισορροπίας σε mol.

		$2\text{HI}_{(g)}$	\rightleftharpoons	$\text{H}_{2(g)}$	+	$\text{I}_{2(g)}$
Αρχικά	mol	-		x		3x
Αντιδρούν/παράγονται	mol	+2ω		-ω		-ω
Θέση χημικής ισορροπίας	mol	2ω		x - ω		3x - ω

Γράφουμε τα δεδομένα που αναφέρονται στο μείγμα της ισορροπίας.

Δίνεται η απόδοση της αντίδρασης 50%. Έχουμε περίσσεια I_2 , άρα ισχύει ότι ο βαθμός μετατροπής του H_2 είναι 0,5, και κατά συνέπεια αντιδρούν 0,5x mol H_2 . Ισχύει ότι: $\omega = 0,5x$.

Στο μείγμα της ισορροπίας υπάρχουν:

$$x \text{ mol HI}, \quad x - 0,5x = 0,5x \text{ mol H}_2, \quad 3x - 0,5x = 2,5x \text{ mol I}_2$$

Το μείγμα της ισορροπίας στο δοχείο $V = 20 \text{ L}$ ασκεί πίεση 1,64 atm στους 227°C. Χρησιμοποιούμε την καταστατική εξίσωση των αερίων για το μείγμα της ισορροπίας.

$$p_{\text{ολ.}} \cdot V_{\text{ολ.}} = n_{\text{ολ.}} \cdot R \cdot T \quad \text{ή} \quad 1,64 \cdot 20 = (x + 0,5x + 2,5x) \cdot 0,082 \cdot (273 + 227) \quad \text{ή} \quad x = 0,2$$

α. Αρχικά είχαμε στο δοχείο 0,2 mol H_2 και 0,6 mol I_2 .

β. Αντικαθιστούμε στη σταθερά της χημικής ισορροπίας τις συγκεντρώσεις των σωμάτων στη θέση της χημικής ισορροπίας ($V = 20 \text{ L}$, ο όγκος του δοχείου):

$$K_c = \frac{[\text{H}_2][\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} \quad \text{ή} \quad K_c = \frac{0,5x \cdot 2,5x}{\left(\frac{x}{20}\right)^2} \quad \text{ή} \quad K_c = 1,25$$

Εφαρμογή 4.4.6

Σε δοχείο 40 L εισάγεται αέριο μείγμα CO και Cl_2 , με σύσταση 40% v/v CO. Αυξάνουμε τη θερμοκρασία στους 127°C με αποτέλεσμα να σχηματίζεται COCl_2 με απόδοση 50%. Αν στους 127°C το αέριο μείγμα της ισορροπίας ασκεί πίεση 1,64 atm, να υπολογίσετε:

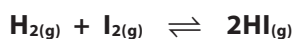
α. τα αρχικά mol των αερίων και

β. τη σταθερά K_c της ισορροπίας $\text{COCl}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$.



Εφαρμογή 4.5.14

Στους $\theta^\circ\text{C}$ σε δοχείο σταθερού όγκου 100 L, ίσοι όγκοι H_2 , I_2 και HI βρίσκονται σε ισορροπία σύμφωνα με την εξίσωση:



α. Αν στο μείγμα της ισορροπίας περιέχονται 6 mol αερίων συνολικά, να υπολογίσετε τη σταθερά K_c της ισορροπίας στους $\theta^\circ\text{C}$.

β. Στη συνέχεια αυξάνεται η θερμοκρασία στους 227°C με αποτέλεσμα να διαταράσσεται η ισορροπία. Στο μείγμα της ισορροπίας στους 227°C τα mol του HI βρέθηκαν ίσα με 4.

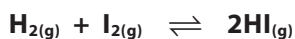
- i. Να προσδιορίσετε αν η αντίδραση σύνθεσης του HI είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη.
- ii. Να υπολογίσετε τη σταθερά της ισορροπίας K_c στους 227°C .

Δ. Γενικές ασκήσεις με επίδραση στη θέση ισορροπίας

Μελετάμε γενικά προβλήματα με επίδραση στο μείγμα της ισορροπίας, όπου χρησιμοποιούμε τις γνώσεις που έχουμε από τις βασικές επιδράσεις (συγκέντρωση, θερμοκρασία και πίεση).

Άσκηση 4.5.15

Σε κενό δοχείο όγκου 10 L εισάγονται 0,5 mol H_2 και 0,5 mol I_2 , τα οποία θερμαίνονται στους 448°C . Στη θερμοκρασία αυτή, για τη χημική αντίδραση:



η σταθερά της χημικής ισορροπίας K_c είναι ίση με 64. Να υπολογίσετε:

- α. τη σύσταση του μείγματος στους 448°C μετά την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας,
- β. την ολική πίεση που ασκείται στο δοχείο, όταν η θερμοκρασία ανέλθει στους 727°C .

Απάντηση

Έχουμε αναφορά σε δύο διαδοχικές καταστάσεις (επίδραση στο μείγμα της αρχικής ισορροπίας), με μεταβολή στη θερμοκρασία.

Κατάσταση (1)

Ορίζουμε τις αρχικές ποσότητες σε mol.

Έχουμε 0,5 mol H_2 και 0,5 mol I_2 .

Βρίσκουμε τη σύσταση του μείγματος στη θέση ισορροπίας σε mol.

		H _{2(g)}	+	I _{2(g)}	⇌	2HI _(g)
Αρχικά	mol	0,5		0,5		-
Αντιδρούν/παράγονται	mol	-ω		-ω		+2ω
Θέση χημικής ισορροπίας	mol	0,5 - ω		0,5 - ω		2ω

Γράφουμε τα δεδομένα που αναφέρονται στο μείγμα της ισορροπίας.

Αντικαθιστούμε στη σταθερά της χημικής ισορροπίας τις συγκεντρώσεις των σωμάτων στη θέση της χημικής ισορροπίας ($V = 10 \text{ L}$, ο όγκος του δοχείου):

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \quad \text{ή} \quad 64 = \frac{\left(\frac{2\omega}{10}\right)^2}{\left(\frac{0,5 - \omega}{10}\right)^2} \quad \text{ή} \quad 64 = \left(\frac{\frac{2\omega}{10}}{0,5 - \omega}\right)^2 \quad \text{ή} \quad 8 = \frac{2\omega}{0,5 - \omega} \quad \text{ή}$$

$$4 - 8\omega = 2\omega \quad \text{ή} \quad 4 = 10\omega \quad \text{ή} \quad \omega = 0,4$$

α. Επομένως, στο μείγμα της ισορροπίας υπάρχουν:

$$0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ mol H}_2, \quad 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ mol I}_2, \quad 0,8 \text{ mol HI}$$

Κατάσταση (2)

Ορίζουμε τις αρχικές ποσότητες σε mol.

Έχουμε 0,1 mol H₂, 0,1 mol I₂, 0,8 mol HI.

Προσδιορίζουμε την κατεύθυνση πραγματοποίησης της αντίδρασης.

Η αύξηση της θερμοκρασίας μετατοπίζει τη θέση της ισορροπίας προς την ενδόθερμη αντίδραση. Με τα δεδομένα της άσκησης δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τη μετατόπιση της θέσης ισορροπίας. Επομένως, για να απαντήσουμε, δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη σύσταση για το μείγμα της κατάστασης (θέσης) ισορροπίας.

Γράφουμε τα δεδομένα που αναφέρονται στο μείγμα της ισορροπίας.

Για το μείγμα της χημικής ισορροπίας ισχύει:

$$p_{\text{ολ.}} \cdot V_{\text{ολ.}} = n_{\text{ολ.}} \cdot R \cdot T \quad \text{ή} \quad p_{\text{ολ.}} \cdot 10 = n_{\text{ολ.}} \cdot 0,082 \cdot (273 + 727)$$

$$\text{ή} \quad p_{\text{ολ.}} = n_{\text{ολ.}} \cdot 8,2 \quad (1)$$

Κατά την αντίδραση προς οποιαδήποτε κατεύθυνση δε μεταβάλλεται ο συνολικός αριθμός των mol αερίων (αντιδρούν κάθε φορά 2 αέρια μόρια και παράγονται 2 αέρια μόρια). Επομένως, τα συνολικά mol αερίων στη θέση της ισορροπίας είναι ίσα με τα αρχικά mol αερίων.

$$n_{\text{ολ.}} = n_{\text{αρχικά}} = 0,1 + 0,1 + 0,8 = 1 \text{ mol}$$

Η σχέση (1) γίνεται: $p_{\text{ολ.}} = 1 \cdot 8,2$ ή $p_{\text{ολ.}} = 8,2 \text{ atm}$.

β. Η ολική πίεση είναι 8,2 atm.

Προσέχουμε στις χημικές ισορροπίες της μορφής:

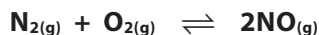


στις οποίες $\Delta n_{\text{αερίων}} = 0$, προκύπτει ότι:

1. Η θέση της χημικής ισορροπίας δεν επηρεάζεται αν μεταβληθεί ο όγκος του δοχείου, σε σταθερή θερμοκρασία.
2. Τα ολικά mol των αερίων ($n_{\text{ολ.}}$) παραμένουν σταθερά, αν στο δοχείο δεν εισαχθεί ή δεν αφαιρεθεί ποσότητα αερίου.

Εφαρμογή 4.5.16

Σε κενό δοχείο όγκου 10 L εισάγονται 0,6 mol N_2 και 0,6 mol O_2 , τα οποία θερμαίνονται στους 127°C. Στη θερμοκρασία αυτή, για τη χημική αντίδραση:

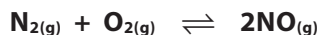


η σταθερά της χημικής ισορροπίας K_c είναι 16. Να υπολογίσετε:

- α. τη σύσταση του μείγματος στους 127°C μετά την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας,
- β. την ολική πίεση που ασκείται στο δοχείο, όταν η θερμοκρασία ανέλθει στους 227°C.

Άσκηση 4.5.17

Ένα δοχείο όγκου $V_1 = 10 \text{ L}$ περιέχει 6 mol N_2 και 6 mol O_2 . Το μείγμα θερμαίνεται στους 227°C, οπότε αποκαθίσταται η ισορροπία:



Η σταθερά της χημικής ισορροπίας K_c είναι ίση με 100 στους 227°C.

- α. Να υπολογίσετε τον αριθμό mol κάθε συστατικού στο μείγμα της κατάστασης ισορροπίας.
- β. Ο όγκος του δοχείου αυξάνεται σε $V_2 = 100 \text{ L}$ υπό σταθερή θερμοκρασία 227°C. Να εξετάσετε αν μεταβάλλεται η σύσταση του μείγματος και να υπολογίσετε:
 - i. τη συγκέντρωση κάθε συστατικού του και

ii. την ολική πίεσή του.

γ. Αυξάνεται η θερμοκρασία του συστήματος στους 327°C με διατήρηση του όγκου του δοχείου σταθερού ($V_2 = 100 \text{ L}$). Μετά την αποκατάσταση της νέας χημικής ισορροπίας βρέθηκαν στο δοχείο 11 mol NO.

i. Να εξετάσετε αν η αντίδραση σύνθεσης του NO από N_2 και O_2 είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη.

ii. Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c στους 327°C.

Απάντηση

Έχουμε αναφορά σε δύο διαδοχικές καταστάσεις (επίδραση στο μείγμα της αρχικής ισορροπίας), με μεταβολή στη θερμοκρασία.

Κατάσταση (1)

Ορίζουμε τις αρχικές ποσότητες σε mol.

Έχουμε 6 mol N_2 και 6 mol O_2 .

Βρίσκουμε τη σύσταση του μείγματος στη θέση ισορροπίας σε mol.

		$\text{N}_{2(g)}$	+	$\text{O}_{2(g)}$	\rightleftharpoons	$2\text{NO}_{(g)}$
Αρχικά	mol	6		6		–
Αντιδρούν/παράγονται	mol	– ω		– ω		+2 ω
Θέση χημικής ισορροπίας	mol	6 – ω		6 – ω		2 ω

Γράφουμε τα δεδομένα που αναφέρονται στο μείγμα της ισορροπίας.

Αντικαθιστούμε στη σταθερά της χημικής ισορροπίας τις συγκεντρώσεις των σωμάτων στη θέση της χημικής ισορροπίας ($V_1 = 10 \text{ L}$, ο όγκος του δοχείου):

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \quad \text{ή} \quad 100 = \frac{\left(\frac{2\omega}{10}\right)^2}{\left(\frac{6-\omega}{10}\right)^2} \quad \text{ή} \quad 100 = \left(\frac{\frac{2\omega}{10}}{\frac{6-\omega}{10}}\right)^2 \quad \text{ή} \quad 10 = \frac{2\omega}{6-\omega} \quad \text{ή}$$

$$60 - 10\omega = 2\omega \quad \text{ή} \quad 60 = 12\omega \quad \text{ή} \quad \omega = 5$$

a. Στο μείγμα της ισορροπίας υπάρχουν:

$$6 - 5 = 1 \text{ mol } \text{N}_2, \quad 6 - 5 = 1 \text{ mol } \text{O}_2, \quad 2 \cdot 5 = 10 \text{ mol } \text{NO}$$

Κατάσταση (2)

Ορίζουμε τις αρχικές ποσότητες σε mol.

Έχουμε 1 mol N_2 , 1 mol O_2 , 10 mol NO.

Προσδιορίζουμε την κατεύθυνση πραγματοποίησης της αντίδρασης.

Αυξάνεται ο όγκος του δοχείου στην ίδια θερμοκρασία, άρα μειώνεται η ολική πίεση στο δοχείο. Εφόσον δεν παρατηρείται μεταβολή στον συνολικό αριθμό των mol αερίων, η αύξηση του όγκου δεν επηρεάζει τη θέση της ισορροπίας.

Να θυμηθούμε

Για την εφαρμογή της αρχής Le Chatelier πρέπει αρχικά να ελέγξουμε:

- α. αν το σύστημα των σωμάτων είναι σε κατάσταση χημικής ισορροπίας.**
β. αν η μεταβολή που προκαλείται διαταράσσει τη θέση της χημικής ισορροπίας.

Βρίσκουμε τη σύσταση του μείγματος στη θέση ισορροπίας σε mol.

1 mol N₂, 1 mol O₂ και 10 mol NO

β. i. Οι ζητούμενες συγκεντρώσεις είναι:

$$[N_2] = \frac{n_{N_2}}{V_{ολ.}} \quad \text{ή} \quad [N_2] = \frac{1}{100} \quad \text{ή} \quad [N_2] = 0,01 \text{ mol/L}$$

$$[O_2] = \frac{n_{O_2}}{V_{ολ.}} \quad \text{ή} \quad [O_2] = \frac{1}{100} \quad \text{ή} \quad [O_2] = 0,01 \text{ mol/L}$$

$$[NO] = \frac{n_{NO}}{V_{ολ.}} \quad \text{ή} \quad [NO] = \frac{10}{100} \quad \text{ή} \quad [NO] = 0,1 \text{ mol/L}$$

Γράφουμε τα δεδομένα που αναφέρονται στο μείγμα της ισορροπίας.

Χρησιμοποιούμε την καταστατική εξίσωση των αερίων για το μείγμα της χημικής ισορροπίας:

$$p_{ολ.} \cdot V_{ολ.} = n_{ολ.} \cdot R \cdot T \quad \text{ή} \quad p_{ολ.} \cdot 100 = (1 + 1 + 10) \cdot 0,082 \cdot (273 + 227) \quad \text{ή} \\ p_{ολ.} = 4,92 \text{ atm}$$

ii. Η ζητούμενη πίεση είναι ίση με 4,92 atm.

Κατάσταση (3)**Ορίζουμε τις αρχικές ποσότητες σε mol.**

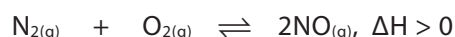
Έχουμε 1 mol N₂, 1 mol O₂, 10 mol NO.

Προσδιορίζουμε την κατεύθυνση πραγματοποίησης της αντίδρασης.

Αυξάνεται η θερμοκρασία του συστήματος και, σύμφωνα με την αρχή Le Chatelier, η θέση της ισορροπίας μετατοπίζεται προς την ενδόθερμη αντίδραση. Δίνεται ότι στο νέο μείγμα

της θέσης ισορροπίας η ποσότητα του NO είναι μεγαλύτερη, άρα η θέση της ισορροπίας μετατοπίστηκε προς τα δεξιά.

Επομένως η αντίδραση προς τα δεξιά είναι ενδόθερμη.



Βρίσκουμε τη σύσταση του μείγματος στη θέση ισορροπίας σε mol.

		$\text{N}_{2(\text{g})}$	+	$\text{O}_{2(\text{g})}$	\rightleftharpoons	$2\text{NO}_{(\text{g})}$
Αρχικά	mol	1		1		10
Αντιδρούν/παράγονται	mol	-y		-y		+2y
Θέση χημικής ισορροπίας	mol	1 - y		1 - y		10 + 2y

Γράφουμε τα δεδομένα που αναφέρονται στο μείγμα της ισορροπίας.

Έχουμε 11 mol NO στο μείγμα της ισορροπίας, άρα ισχύει:

$$10 + 2y = 11 \quad \text{ή} \quad 2y = 1 \quad \text{ή} \quad y = 0,5$$

Συνεπώς, στο νέο μείγμα της ισορροπίας υπάρχουν:

$$1 - 0,5 = 0,5 \text{ mol N}_2, \quad 1 - 0,5 = 0,5 \text{ mol O}_2, \quad 11 \text{ mol NO}$$

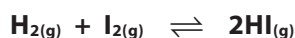
Αντικαθιστούμε στη σταθερά της χημικής ισορροπίας τις συγκεντρώσεις των σωμάτων στη θέση της χημικής ισορροπίας ($V_2 = 100 \text{ L}$, ο όγκος του δοχείου):

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \quad \text{ή} \quad K_c = \frac{\left(\frac{11}{100}\right)^2}{\left(\frac{0,5}{100}\right)^2} \quad \text{ή} \quad K_c = 484$$

γ. i. Η αντίδραση σύνθεσης του NO είναι ενδόθερμη. **ii.** $K_c = 484$.

Εφαρμογή 4.5.18

Ένα δοχείο όγκου $V_1 = 10 \text{ L}$ περιέχει 2 mol H_2 και 2 mol I_2 . Το μείγμα θερμαίνεται στους 127°C , οπότε αποκαθίσταται η ισορροπία:



με τη σταθερά της χημικής ισορροπίας $K_c = 64$ στους 127°C .

α. Να υπολογίσετε τον αριθμό mol κάθε συστατικού για το μείγμα της κατάστασης ισορροπίας.

β. Ο όγκος του δοχείου αυξάνεται σε $V_2 = 100 \text{ L}$ υπό σταθερή θερμοκρασία 127°C . Να εξετάσετε αν μεταβάλλεται η σύσταση του μείγματος και να υπολογίσετε:

- i. τη συγκέντρωση κάθε συστατικού του και**
- ii. την ολική πίεσή του.**

γ. Αυξάνεται η θερμοκρασία του συστήματος στους 227°C με διατήρηση του όγκου του δοχείου σταθερού ($V_2 = 100 \text{ L}$). Μετά την αποκατάσταση της νέας χημικής ισορροπίας βρέθηκαν στο δοχείο $3,6 \text{ mol HI}$.

- i. Να εξετάσετε αν η αντίδραση σύνθεσης του HI από H_2 και I_2 είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη.**
- ii. Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c στους 227°C .**

4.

- Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής με αιτιολόγηση για τη θεωρία, σύμφωνα με το 1ο και 2ο θέμα των Πανελληνίων εξετάσεων για απάντηση από τον μαθητή.
- Ασκήσεις και προβλήματα για λύση, των οποίων το πλήθος και η πολυμορφία εξασφαλίζουν τη σωστή προετοιμασία του μαθητή.
- Συνδυαστικά θέματα στις ενότητες που εξετάζονται.
- Διαγωνίσματα ύστερα από κάθε ενότητα, σύμφωνα με τα θέματα των Πανελληνίων εξετάσεων.

Ερωτήσεις σύμφωνα με το 1ο θέμα των εξετάσεων

1.1.7 Ποια από τις παρακάτω προτάσεις, οι οποίες αναφέρονται στον βρασμό του οινοπνεύματος ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) είναι σωστή;

- α.** Διασπώνται οι ομοιοπολικοί δεσμοί του μορίου του οινοπνεύματος.
- β.** Διασπώνται οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων του οινοπνεύματος.
- γ.** Διασπώνται οι δυνάμεις Van der Waals.
- δ.** Διασπώνται οι ενδομοριακές ή οι διαμοριακές δυνάμεις, ανάλογα με την τιμή του σημείου βρασμού.

1.1.8 Κατά την εξάχνωση του στερεού διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) διασπώνται:

- α.** οι ομοιοπολικοί δεσμοί μεταξύ άνθρακα και οξυγόνου.
- β.** οι δυνάμεις διπόλου-διπόλου μεταξύ των μορίων του CO_2 .
- γ.** οι δυνάμεις μεταξύ παροδικών διπόλων.
- δ.** οι δυνάμεις London και οι ενδομοριακές δυνάμεις.

1.1.9 Ποιο από τα παρακάτω μόρια συμπεριφέρεται ως ηλεκτρικό δίπολο;

- α.** He **β.** H_2 **γ.** O_2 **δ.** CO

1.1.10 Ποιο από τα παρακάτω μόρια συμπεριφέρεται ως ηλεκτρικό δίπολο;

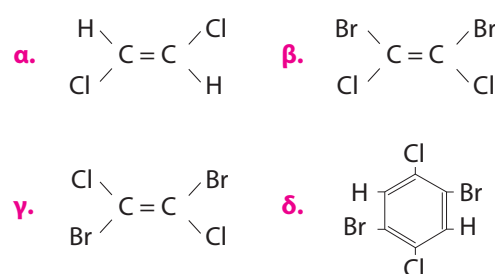
- α.** CH_3CH_3 **β.** CH_4
- γ.** C_2H_2 **δ.** CO_2
- ε.** H_2S

1.1.11 Ένα διατομικό μόριο παρουσιάζει διπολική ροπή όταν:

- α.** έχει σχηματιστεί από άτομα που θέλουν να πάρουν ηλεκτρόνια για να αποκτήσουν δομή ευγενούς αερίου.
- β.** αποτελείται από άτομα με τον ίδιο ατομικό αριθμό.
- γ.** τα άτομά του συνδέονται με διπλό ή τριπλό ομοιοπολικό δεσμό.

δ. αποτελείται από άτομα με διαφορετικό ατομικό αριθμό.

1.1.12 Ποια από τις ακόλουθες ενώσεις έχει διπολική ροπή;



1.1.13 Ποια από τις παρακάτω προτάσεις που αφορούν το μεθάνιο (CH_4) είναι λανθασμένη;

- α.** Το μεθάνιο έχει ομοιοπολικούς πολικούς δεσμούς.
- β.** Το μόριο του μεθανίου εμφανίζει δομή κανονικού τετραέδρου.
- γ.** Η διπολική ροπή του μορίου είναι ίση με το μηδέν ($\mu_{\text{ολ.}} = 0$).
- δ.** Μεταξύ των μορίων του μεθανίου αναπτύσσονται δυνάμεις διπόλου-διπόλου.

1.1.14 Σε ποια ή σε ποιες από τις παρακάτω περιπτώσεις έχουμε δυνάμεις διπόλου-διπόλου;

- α.** $\text{CO}_2 - \text{CO}_2$ **β.** $\text{CHCl}_3 - \text{CH}_3\text{CH}_3$
- γ.** $\text{CCl}_4 - \text{CH}_4$ **δ.** $\text{CHCl}_3 - \text{CHBr}_3$
- ε.** $\text{H}_2\text{O} - \text{I}_2$ **στ.** $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$
- ζ.** $\text{H}_2\text{O} - \text{HBr}$

1.1.15 Οι διαμοριακές δυνάμεις μεταξύ των μορίων του HBr είναι:

- α.** δεσμοί υδρογόνου.
- β.** δυνάμεις μεταξύ παροδικών διπόλων.
- γ.** δυνάμεις διπόλου-διπόλου.
- δ.** δυνάμεις London.

ε. δυνάμεις διπόλου-παροδικού διπόλου.

1.1.16 Σε ποια ή σε ποιες από τις παρακάτω περιπτώσεις υπάρχουν δεσμοί υδρογόνου;

α. Στο νερό.

β. Στο μόριο του H₂O.

γ. Στον πάγο.

δ. Οι επιλογές α και β είναι αληθείς.

ε. Οι επιλογές α και γ είναι αληθείς.

1.1.17 Το μέτρο των ελκτικών διαμοριακών δυνάμεων μιας ουσίας δείχνεται κυρίως από:

α. το σημείο βρασμού.

β. την πυκνότητα.

γ. το χρώμα.

δ. την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

1.1.18 Να αντιστοιχίσετε τα σώματα της στήλης (I) με το είδος των διαμοριακών δυνάμεων της στήλης (II).

	Στήλη (I)		Στήλη (II)
α.	HCl	i.	δεσμός υδρογόνου
β.	[K(H ₂ O) _v] ⁺	ii.	δυνάμεις μεταξύ παροδικών διπόλων
γ.	NH ₃	iii.	δυνάμεις μεταξύ διπόλου-παροδικού διπόλου
δ.	CO ₂	iv.	δυνάμεις μεταξύ διπόλου-διπόλου
ε.	I _{2(s)}	v.	δυνάμεις μεταξύ ιόντος-διπόλου

1.1.19 Ποιες από τις παρακάτω ενώσεις αναμένεται να διαλύονται στο νερό;

α. NH₃

β. NaCl

γ. CH₄

δ. C₈H₁₈

ε. CH₃CH₂OH

στ. CH₃ – O – CH₃

1.1.20 Ποια από τις παρακάτω ενώσεις διαλύεται σε μη πολικό διαλύτη:

α. NaCl

β. HBr

γ. KNO₃

δ. CCl₄

1.1.21 Να αντιστοιχίσετε τις υδρογονούχες ενώσεις των στοιχείων της VIA ομάδας του περιοδικού πίνακα (στήλη (I)) με σημεία βρασμού (στήλη (II)):

	Στήλη (I)		Στήλη (II)
α.	H ₂ O	i.	-41°C
β.	H ₂ S	ii.	-2°C
γ.	H ₂ Se	iii.	100°C
δ.	H ₂ Te	iv.	-61°C

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

1.1.22 Σε ποια από τις παρακάτω περιπτώσεις έχουν καταταχθεί οι χημικές ενώσεις σε σειρά αυξανόμενου σημείου βρασμού;

α. NH₃ < PH₃ < AsH₃

β. PH₃ < AsH₃ < NH₃

γ. AsH₃ < PH₃ < NH₃

δ. AsH₃ < NH₃ < PH₃

1.1.23 Το Br₂ βράζει στους 58,8°C, ενώ το ICl βράζει στους 97,4°C. Ο κύριος λόγος, που το ICl βράζει 40°C περίπου υψηλότερα από το Br₂, είναι ότι:

α. η σχετική μοριακή μάζα (M_r) του ICl είναι 163,5, ενώ του Br₂ είναι 160.

β. το ICl είναι ιοντική ένωση, ενώ το Br₂ είναι μοριακή ένωση.

γ. το ICl έχει μεγαλύτερη τάση ατμών από το Br₂ σε θερμοκρασία δωματίου.

δ. το ICl είναι πολικό μόριο, ενώ το Br₂ δεν είναι πολικό μόριο.

1.1.24 Το σημείο ζέσεως της NH₃ (-33°C) είναι υψηλότερο από το σημείο ζέσεως της PH₃ (-87,7°C), γιατί:

α. η σχετική μοριακή μάζα της NH₃ είναι μικρότερη της σχετικής μοριακής μάζας της PH₃.

β. η τάση ατμών της NH_3 είναι μεγαλύτερη της τάσης ατμών της PH_3 .

γ. μεταξύ των μορίων της NH_3 αναπτύσσονται δεσμοί υδρογόνου, ενώ μεταξύ των μορίων της PH_3 δεν αναπτύσσονται δεσμοί υδρογόνου.

δ. το μόριο της NH_3 είναι πολικό, ενώ της PH_3 δεν είναι πολικό.

1.1.25 Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές και ποιες λανθασμένες;

α. Το μόριο του CH_4 είναι μη πολικό, ενώ το μόριο του CCl_4 είναι πολικό.

β. Τα μόρια της αιθανόλης ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) διαλύονται εύκολα στο νερό (H_2O), αφού μπορούν να αναπτυχθούν μεταξύ τους δεσμοί υδρογόνου.

γ. Ο αιθέρας ($\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$) έχει υψηλότερο σημείο ζέσεως από την αιθανόλη ($\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$).

δ. Οι δυνάμεις μεταξύ δύο παροδικών δίπολων μορίων είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσης.

ε. Η διπολική ροπή του HCl είναι μεγαλύτερη από τη διπολική ροπή του HI , άρα το HCl θα έχει υψηλότερο σημείο βρασμού από το HI .

Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

1.1.26 Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές και ποιες λανθασμένες;

α. Τα μόρια που περιέχουν υδρογόνο εμφανίζουν δεσμούς υδρογόνου.

β. Τα μόρια που περιέχουν υδρογόνο και οξυγόνο ή υδρογόνο και άζωτο εμφανίζουν υψηλά σημεία ζέσεως, λόγω δεσμών υδρογόνου.

γ. Το HF έχει μεγαλύτερο σημείο βρασμού από το HBr .

δ. Ο δεσμός υδρογόνου εξηγεί γιατί το οινόπνευμα ($\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$) έχει υψηλότερο σημείο βρασμού από τον διμεθυλαιθέρα ($\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$).

1.1.27 Αν γνωρίζουμε ότι $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3 > \theta_4$, να γίνει η αντιστοίχιση μεταξύ των μορίων της στήλης (I) με τα σημεία ζέσεως (T_b) της στήλης (II).

	Στήλη (I)		Στήλη (II)
α.	NaI	i.	$T_b = \theta_1^\circ\text{C}$
β.	He	ii.	$T_b = \theta_2^\circ\text{C}$
γ.	HF	iii.	$T_b = \theta_3^\circ\text{C}$
δ.	CH_4	iv.	$T_b = \theta_4^\circ\text{C}$

1.1.28 Να αντιστοιχίσετε τα υδραλογόνα της στήλης (I) με τα σημεία βρασμού (T_b) της στήλης (II).

	Στήλη (I)		Στήλη (II)
α.	HCl	i.	$T_b = 188\text{ K}$
β.	HI	ii.	$T_b = 17^\circ\text{C}$
γ.	HF	iii.	$T_b = 238\text{ K}$
δ.	HBr	iv.	$T_b = 206\text{ K}$

1.1.29 Να αντιστοιχίσετε τις ενώσεις της στήλης (I) με τα αντίστοιχα σημεία βρασμού της στήλης (II).

	Στήλη (I)		Στήλη (II)
α.	A ($\mu = 1,5\text{ D}$)	i.	$T_b = -25^\circ\text{C}$
β.	B ($\mu = 4\text{ D}$)	ii.	$T_b = 230\text{ K}$
γ.	Γ ($\mu = 2,6\text{ D}$)	iii.	$T_b = 260\text{ K}$
δ.	Δ ($\mu = 0,5\text{ D}$)	iv.	$T_b = 77^\circ\text{C}$
ε.	E ($\mu = 1,8\text{ D}$)	v.	$T_b = 22^\circ\text{C}$

Οι ενώσεις της στήλης (I) έχουν παραπλήσια σχετική μοριακή μάζα (M_r).

1.1.30 Για δεδομένη ένωση μεταξύ των στοιχείων A ($Z = 11$) και B ($Z = 16$), ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή;

α. Η ένωση A_2B είναι διαλυτή σε μη πολικούς διαλύτες (π.χ. βενζόλιο).

β. Η ένωση A_2B έχει χαμηλό σημείο τήξης.

γ. Η ένωση A_2B είναι ομοιοπολική ένωση.

δ. Το τήγμα της ένωσης A_2B άγει το ηλεκτρικό ρεύμα.

1.1.31 Δίνονται οι αλκοόλες:

i. $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - OH$

ii. $CH_3 - \underset{\begin{array}{c} | \\ CH_3 \end{array}}{C} - CH_2 - CH_2 - OH$

iii. $CH_3 - CH_2 - \underset{\begin{array}{c} | \\ CH_3 \end{array}}{CH} - CH_2 - OH$

iv. $CH_3 - \underset{\begin{array}{c} | \\ CH_3 \end{array}}{C} - \underset{\begin{array}{c} | \\ CH_3 \end{array}}{C} - CH_2 - OH$

Ποια από τις παραπάνω ενώσεις αναμένεται να έχει μεγαλύτερο σημείο ζέσεως;

α. η (i)

β. η (ii)

γ. η (iii)

δ. η (iv)

Εξετάσεις 2020

Ερωτήσεις σύμφωνα με το 2ο θέμα των εξετάσεων

1.1.32 α. Ποιες δυνάμεις ονομάζονται ενδομοριακές και ποιες διαμοριακές;

β. Ποια είναι η σχέση μεταξύ των ενδομοριακών και των διαμοριακών δυνάμεων;

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας δίνοντας σχετικό παράδειγμα.

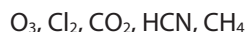
1.1.33 α. Δίνονται τα μόρια:

i. του βρομίου (Br_2) και

ii. του υδροβρομίου (HBr).

Να χαρακτηρίσετε τους ομοιοπολικούς δεσμούς των δύο αυτών μορίων.

β. Να προσδιορίσετε σε ποια από τα παρακάτω μόρια υπάρχουν πολικοί δεσμοί.



γ. Να εξετάσετε την ορθότητα της πρότασης: «σε ένα πολυατομικό μόριο έχουμε οπωσδήποτε ομοιοπολικούς πολικούς δεσμούς».

1.1.34 α. Πώς ορίζεται η διπολική ροπή;

β. Να σχεδιάσετε το διάνυσμα της διπολικής ροπής του δεσμού στο μόριο του υδροχλωρίου (HCl).

γ. Να συγκρίνετε τις διπολικές ροπές των παρακάτω χημικών δεσμών:

i. $C - H, C - O, C - N$ και $C - Br$

Δίνονται: ${}_6C, {}_7N, {}_8O, {}_{35}Br$.

ii. $N - O, N - S$ και $N - H$

Δίνονται: ${}_1H, {}_8O, {}_{16S}$.

iii. $Cl - Cl, Cl - Br, Cl - I$ και $Cl - F$.

δ. Με ποιο κριτήριο ένα μόριο χαρακτηρίζεται ως ηλεκτρικό δίπολο;

1.1.35 Πότε ένα μόριο το οποίο αποτελείται από δύο άτομα συμπεριφέρεται ως ηλεκτρικό δίπολο και πότε δε συμπεριφέρεται; Να αναφέρετε παραδείγματα για να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

1.1.36 α. Τα αλογόνα βρίσκονται στην VIIA ομάδα του περιοδικού πίνακα και η ηλεκτραρνητικότητα τους αυξάνεται από κάτω προς τα πάνω. Να συγκρίνετε:

α. τα υδραλογόνα (HX) ως προς την πολικότητά τους.

β. τα μόρια HCl, Cl_2 και $BrCl$ ως προς τη διπολική ροπή.

Δίνονται: ${}_9F, {}_{17}Cl, {}_{35}Br, {}_{53}I$.

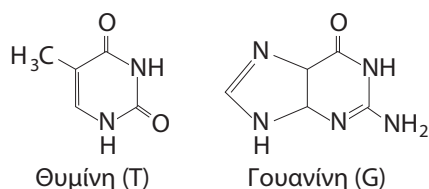
Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



ε. Όσο μεγαλύτερη η ισχύς των διαμοριακών δυνάμεων ενός υγρού, τόσο μικρότερα η εξάτμιση και το σημείο βρασμού του.

Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

1.1.90 Η θυμίνη (T) και η γουανίνη (G) είναι δύο από τις αζωτούχες βάσεις που σχηματίζουν το δίκλωνο μόριο DNA λόγω των δεσμών υδρογόνου που σχηματίζουν με την αδενίνη (A) και την κυτοσίνη (C) αντίστοιχα.



Να εξηγήσετε με βάση την δομή τους ποια θα σχηματίζει τους περισσότερους δεσμούς υδρογόνου και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

1.1.91 Να δοθεί μια θεωρητική ερμηνεία των εξής παρατηρήσεων:

α. Το χλωροφόρμιο (CHCl_3) που είναι πολική ουσία έχει σημείο ζέσεως 61°C , ενώ ο τετραχλωράνθρακας (CCl_4) που είναι μη πολική ουσία έχει σημείο ζέσεως $76,5^\circ\text{C}$.

β. Ο πάγος επιπλέει στο νερό.

γ. Οι ROH με μικρή σχετική μοριακή μάζα διαλύονται πολύ εύκολα στο νερό, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες με μεγάλη σχετική μοριακή μάζα που διαλύονται ελάχιστα ή καθόλου.

δ. Το προπάνιο σε συνήθη θερμοκρασία είναι αέριο, ενώ το δεκαοκτάνιο είναι στερεό.

ε. Το φθοριούχο βηρύλλιο (BeF_2) είναι μη πολικό μόριο, ενώ οι δύο δεσμοί ($\text{Be} - \text{F}$) είναι πολικοί.

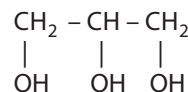
στ. Το υδροχλώριο δε διαλύεται στη βενζίνη.

1.1.92 Να δοθεί μια θεωρητική ερμηνεία των εξής παρατηρήσεων:

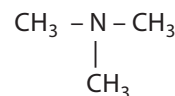
α. Το νερό έχει σημείο ζέσεως 100°C , ενώ το υδροθείο έχει σημείο ζέσεως -60°C .

β. Το μόριο του NF_3 είναι πολικό, αλλά το μόριο του BF_3 δεν είναι πολικό μόριο.

γ. Η 1-προπανόλη ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) έχει μικρότερο σημείο ζέσεως από τη γλυκερίνη (1,2,3-προπανοτριόλη)



δ. Η προπυλαμίνη ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$) εμφανίζει ισχυρότερες διαμοριακές δυνάμεις από την τριμεθυλαμίνη



ε. Το στερεό CO_2 εξαχνώνεται.

στ. Το σημείο ζέσεως της προπυλαμίνης ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$) είναι πολύ μικρότερο από το σημείο ζέσεως του 1,2-διαμινο αιθάνιου ($\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$).

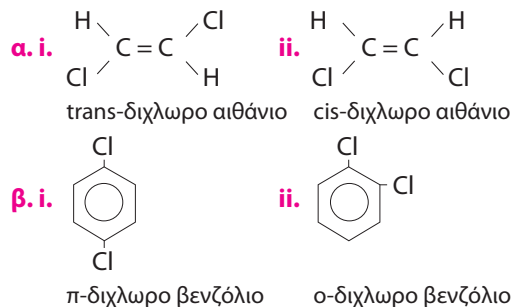
ζ. Πειραματικά μπορεί να βρεθεί ότι η σχετική μοριακή μάζα του οξικού οξέος (CH_3COOH) είναι διπλάσια από την τιμή που βρίσκεται σύμφωνα με τον μοριακό τύπο.

η. Η 1-βουτανόλη έχει υψηλότερο σημείο ζέσεως από τη 2-μεθυλο-1-προπανόλη.

θ. Το σημείο τήξεως του F_2 (-235°C) είναι πολύ μικρότερο από το σημείο τήξεως του Br_2 (-7°C).

ι. Η διπολική ροπή της μοριακής ένωσης του φθοριούχου βηρυλλίου (BeF_2) είναι μηδέν.

1.1.93 Να συγκρίνετε τις παρακάτω ουσίες ως προς την ισχύ των διαμοριακών δυνάμεων.



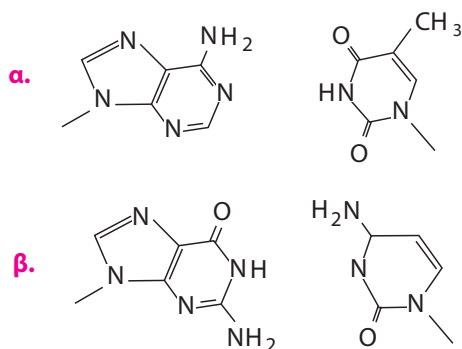
Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

1.1.94 α. Να εξηγήσετε το είδος των διαμοριακών δυνάμεων στα παρακάτω μόρια:



β. Σε θερμοκρασία δωματίου ο τετραχλωράνθρακας (CCl_4) είναι υγρό (σ.ζ.: $76,5^\circ\text{C}$), ενώ το μεθυλοχλωρίδιο (CH_3Cl) είναι αέριο (σ.ζ.: $-24,2^\circ\text{C}$). Να δώσετε μια πιθανή εξήγηση.

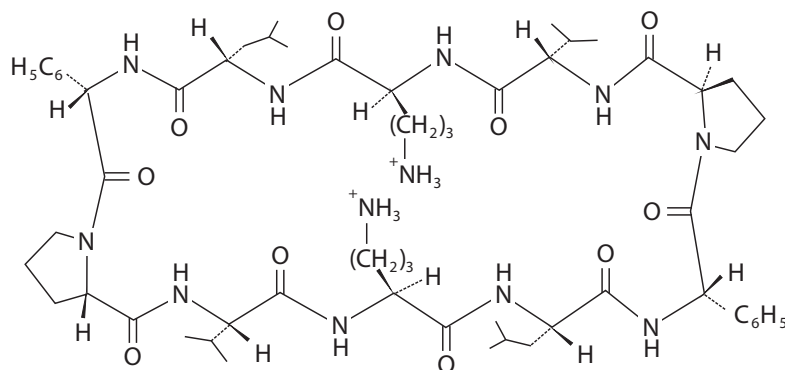
1.1.95 Δίνονται οι εξής δομές οργανικών ετεροκυκλικών ενώσεων στον χώρο που συνδέονται με δεσμούς υδρογόνου.



Να αντιγράψετε τις δομές και να σημειώσετε σε αυτές τους δεσμούς υδρογόνου.

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

1.1.96 Δίνεται η παρακάτω βιολογική δομή της γραμισιδίνης S:



Να σημειώσετε στη δομή τους δεσμούς υδρογόνου και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



Συνδυαστικές ασκήσεις χημικής ισορροπίας

4.5.108 Σε οργανικό διαλύτη, στους 27°C, διαλύεται ποσότητα μοριακής ένωσης A, με αποτέλεσμα να μετατρέπεται στη μοριακή ένωση B, και στο διάλυμα αποκαθίσταται η ισορροπία:



Το τελικό διάλυμα όγκου 1 L περιέχει ισομοριακές ποσότητες συστατικών και έχει ωσμωτική πίεση 4,92 atm στους 27°C.

α. Να υπολογίσετε τα mol των συστατικών στο μείγμα της ισορροπίας και τη σταθερά της χημικής ισορροπίας K_c .

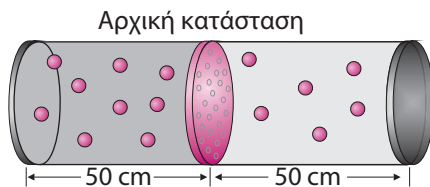
Στη συνέχεια με την προσθήκη ποσότητας διαλύτη αυξάνεται ο όγκος του διαλύματος.

β. Να εξηγήσετε πώς επηρεάστηκε η θέση της χημικής ισορροπίας με την αύξηση στον όγκο του διαλύματος και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

γ. Με δεδομένο ότι η συνολική απόδοση της αμφίδρομης αντίδρασης γίνεται 66,67%, να υπολογίσετε:

- την ωσμωτική πίεση του διαλύματος αν η θερμοκρασία παραμένει σταθερή,
- τον τελικό όγκο του διαλύματος.

4.5.109 Οριζόντιο κυλινδρικό δοχείο έχει μήκος 100 cm, εμβαδό βάσης 50 cm² και χωρίζεται στο μέσο με κινητή ημιπερατή μεμβράνη.

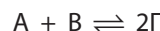


Στο ένα μέρος εισάγεται μοριακό διάλυμα ένωσης A με 0,3 mol διαλυμένης ουσίας θερμοκρασίας 27°C, ενώ στο άλλο μέρος εισάγεται μοριακό διάλυμα ένωσης B με 0,2 mol διαλυμένης ουσίας ίδιας θερμοκρασίας.

α. Να προσδιορίσετε την κατεύθυνση προς την οποία θα μετακινηθεί η μεμβράνη και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

β. Να υπολογίσετε τη μετατόπιση της μεμβράνης και την ωσμωτική πίεση των διαλυμάτων όταν ισορροπήσει η μεμβράνη.

γ. Στη συνέχεια με κατάλληλο τρόπο αφαιρείται η κινητή μεμβράνη, με αποτέλεσμα οι δύο διαλυμένες ουσίες να αντιδρούν μεταξύ τους προς τον σχηματισμό της μοριακής ένωσης Γ, σύμφωνα με την αντίδραση:

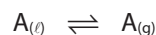


Με σταθερή τη θερμοκρασία η απόδοση της αμφίδρομης αντίδρασης βρέθηκε 75%. Να υπολογίσετε:

- τη σταθερά χημικής ισορροπίας K_c .
- την τελική ωσμωτική πίεση του διαλύματος.

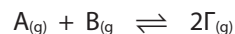
δ. Στη συνέχεια αυξάνεται η θερμοκρασία στους 47°C. Να υπολογίσετε την τελική ωσμωτική πίεση του διαλύματος.

4.5.110 Στους 27°C σε δοχείο 3 L επικρατεί η ισορροπία μεταξύ ατμών ένωσης A και 0,1 mol υγρής ένωσης A:



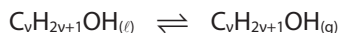
α. Τι πρόκειται να συμβεί αν διπλασιαστεί ο όγκος του δοχείου στους 27°C; Να υπολογίσετε την τελική σύσταση στο δοχείο. Δίνεται στους 27°C η τάση ατμών (p°) της ένωσης A ίση με 0,82 atm.

β. Στη συνέχεια διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία στο δοχείο ($V = 6$ L) εισάγονται ταυτόχρονα 0,2 mol $B_{(g)}$ και 0,4 mol $\Gamma_{(g)}$. Η σταθερά K_c της ισορροπίας



είναι ίση με 196, στους 27°C. Να υπολογίσετε τα τελικά mol των αερίων στο δοχείο.

4.5.111 Σε δοχείο όγκου 10 L, στους 27°C, επικρατεί η ισορροπία:



Στην κατάσταση ισορροπίας έχουμε 9,6 g υγρής αλκοόλης και 6,4 g ατμών αλκοόλης.

α. Να προσδιορίσετε τον μοριακό τύπο της αλκοόλης. Δίνεται για την αλκοόλη, στους 27°C, η τάση ατμών $p^\circ = 0,492$ atm.

β. Να υπολογίσετε την τελική σύσταση στο δοχείο, αν ο όγκος του δοχείου γίνει 25 L στην ίδια θερμοκρασία.

γ. Στη συνέχεια αυξάνουμε τη θερμοκρασία στους $\theta^\circ\text{C}$, με αποτέλεσμα στο δοχείο να αποκαθίσταται η ισορροπία:



Στο μείγμα της θέσης ισορροπίας το γραμμομοριακό κλάσμα του CO είναι ίσο με $\frac{1}{7}$. Να υπολογίσετε:

- i.** την απόδοση της αντίδρασης.
- ii.** τη σταθερά χημικής ισορροπίας K_c .

δ. Κατόπιν στην ίδια θερμοκρασία μεταβάλλεται ο όγκος του δοχείου, με αποτέλεσμα η συνολική απόδοση της αντίδρασης διάσπασης της αλκοόλης να είναι ίση με 80%. Να υπολογίσετε την τιμή του όγκου του δοχείου.

4.5.112 Στους $\theta^\circ\text{C}$ σε δοχείο 1 L εισάγονται ταυτόχρονα 3 mol PCl_5 , 2 mol PCl_3 και 2 mol Cl_2 . Σε αυτές τις συνθήκες στο δοχείο μπορεί να αποκατασταθεί η ισορροπία:



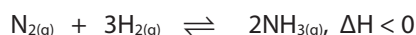
Από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας παρατηρήθηκε ότι απορροφήθηκαν 180 kJ.

α. Να προσδιορίσετε τι έχει συμβεί.
β. Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c της αμφίδρομης αντίδρασης στους $\theta^\circ\text{C}$.

Δίνεται η θερμοχημική εξίσωση:



4.5.113 Στους $\theta^\circ\text{C}$ σε δοχείο σταθερού όγκου 4 L εισάγονται ποσότητες αέριων N_2 και H_2 , με αποτέλεσμα να αποκαθίσταται η ισορροπία:



Από την έναρξη της αντίδρασης μέχρις ότου αποκατασταθεί η ισορροπία έχουν εκλυθεί 22,1 kcal, ενώ το μείγμα της κατάστασης ισορροπίας περιέχει ισομοριακές ποσότητες αερίων.

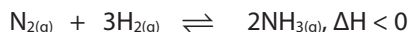
α. Να υπολογίσετε:

- i.** τις αρχικές ποσότητες των αέριων N_2 και H_2 ,
- ii.** την απόδοση της αντίδρασης,
- iii.** τη σταθερά K_c της ισορροπίας στους $\theta^\circ\text{C}$.

β. Να προσδιορίσετε τη μεταβολή της σταθεράς K_c αν μειωθεί η θερμοκρασία.

Δίνεται ότι κατά τον σχηματισμό 1 g NH_3 από την αντίδραση N_2 με H_2 εκλύονται 650 kcal.

4.5.114 Στους $\theta^\circ\text{C}$ σε δοχείο 40 L εισάγονται ταυτόχρονα 12 mol N_2 , 16 mol H_2 και 6 mol NH_3 . Από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι να αποκατασταθεί η ισορροπία



εκλύθηκαν 204 kJ.

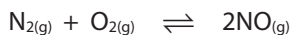
α. Να εξηγήσετε αν αρχικά το σύστημα των σωμάτων ήταν σε κατάσταση ισορροπίας -και αν όχι, προς ποια κατεύθυνση εκδηλώθηκε αντίδραση.

β. Να υπολογίσετε:

- i.** τη σύσταση του μείγματος της ισορροπίας,
- ii.** τη σταθερά K_c της ισορροπίας στους $\theta^\circ\text{C}$.

Δίνεται ότι κατά τον σχηματισμό 1 g NH_3 από την αντίδραση N_2 με H_2 εκλύονται 3 kJ.

4.5.115 Στους $\theta^\circ\text{C}$ σε δοχείο σταθερού όγκου 10 L εισάγεται ισομοριακό αέριο μείγμα N_2 και O_2 συνολικής μάζας 120 g. Τα σώματα αντιδρούν προς τον σχηματισμό NO, ενώ στο δοχείο αποκαθίσταται η ισορροπία:



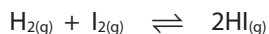
Το μείγμα της ισορροπίας περιέχει 10% v/v O₂.

α. Να υπολογίσετε τη σταθερά χημικής ισορροπίας K_c στους θ°C.

β. Να φτιάξετε το διάγραμμα των ταχυτήτων των δύο αντιδράσεων σε συνάρτηση με τον χρόνο, αν η ισορροπία αποκαθίσταται μετά από 100 s.

γ. Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης σύνθεσης NO από την αρχή μέχρι τη χρονική στιγμή t₁ = 100 s.

4.5.116 Στους θ°C για την ισορροπία:



η σταθερά K_c είναι ίση με 9. Στους θ°C σε δοχείο 2 L εισάγονται ταυτόχρονα 2 mol H₂, 2 mol I₂ και 8 mol HI. Η ισορροπία αποκαταστάθηκε μετά από 50 s, ενώ μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας εκλύθηκαν 24 kJ. Να υπολογίσετε:

α. τη σύσταση του μείγματος της θέσης ισορροπίας,

β. το ποσό της θερμότητας που απορροφάται ανά mol HI που διασπάται και

γ. τη μέση ταχύτητα διάσπασης του HI και τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης προς τα αριστερά στο χρονικό διάστημα [0 s, 50 s].

4.5.117 Στους 127°C σε δοχείο 8,2 L εισάγεται μείγμα ισομοριακών ποσοτήτων N₂, O₂ και NO, το οποίο περιέχει συνολικά 9 mol. Μέχρι να αποκατασταθεί η ισορροπία:



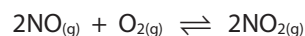
απορροφήθηκε ένα ποσό θερμότητας.

α. Να εξηγήσετε την απορρόφηση του ποσού θερμότητας και να το υπολογίσετε.

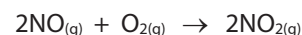
β. Στο μείγμα της ισορροπίας περιέχονται 150 g NO. Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c της ισορροπίας στους 127°C.

γ. Στη συνέχεια η θερμοκρασία αυξάνεται στους 227°C. Να υπολογίσετε την τιμή της τελικής πίεσης στο δοχείο στους 227°C.

4.5.118 Σε δοχείο όγκου V = 5 L εισάγεται ισομοριακό μείγμα αέριων NO και O₂, συνολικής ποσότητας 4 mol, τα οποία αντιδρούν και τελικά αποκαθίσταται χημική ισορροπία, που περιγράφεται από την εξίσωση:



Η ενθαλπία της απλής αντίδρασης:



είναι ΔH = -28 kcal.

Τη χρονική στιγμή t₁ = 50 s έχει αντιδράσει το 25% της ποσότητας του O₂, ενώ τη χρονική στιγμή t₂ = 100 s εξισώνονται οι ταχύτητες υ₁ και υ₂ των δύο αντίθετων αντιδράσεων και την ίδια στιγμή έχουν εκλυθεί 21 kcal.

Να υπολογίσετε:

α. τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στα χρονικά διαστήματα [0 s, 50 s] και [0 s, 100 s],

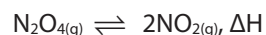
β. την ταχύτητα της αντίδρασης σύνθεσης του NO₂ τις χρονικές στιγμές t₁ και t₂,

γ. την απόδοση της αντίδρασης,

δ. τις ποσότητες όλων των σωμάτων στην κατάσταση χημικής ισορροπίας και

ε. τη σταθερά K_c της αμφίδρομης αντίδρασης. Δίνεται για την αντίδραση σύνθεσης του NO₂ η σταθερά k₁ = 18 · 10⁻² mol⁻² · L² · s⁻¹.

4.5.119 Σε δοχείο όγκου V = 2 L, στους T₁ K, εισάγεται ισομοριακό μείγμα αέριων N₂O₄ και NO₂, συνολικής ποσότητας 8 mol, με αποτέλεσμα η τελική πίεση να είναι κατά 25% μεγαλύτερη της αρχικής. Στους T₁ K μπορεί να αποκατασταθεί η ισορροπία:



Να υπολογίσετε, για τη στιγμή που σταθεροποιήθηκε η πίεση στους T₁ K:

α. τα τελικά mol κάθε αερίου στο δοχείο,

β. το ποσό θερμότητας που έχει απορροφηθεί και

γ. τη σταθερά K_{c1} της ισορροπίας.

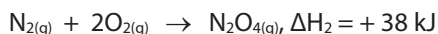
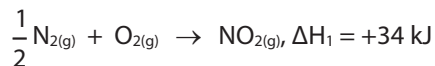
Στη συνέχεια μεταβάλλεται η θερμοκρασία στους T₂ K, με αποτέλεσμα τελικά να αυξάνεται ο συνολικός αριθμός των αέριων mol κατά 1.

δ. Να εξηγήσετε αν αυξήθηκε ή ελαττώθηκε η θερμοκρασία.

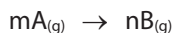
ε. Να υπολογίσετε:

- i.** τα τελικά mol κάθε αερίου στο δοχείο και
- ii.** τη σταθερά K_c της ισορροπίας.

Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις:



4.5.120 α. Στους $\theta^\circ\text{C}$ για την απλή αντίδραση:



βρέθηκαν τα εξής:

- i.** όταν διπλασιάζεται η $[\text{A}]$, διπλασιάζεται και η τιμή της ταχύτητας αντίδρασης,
- ii.** όταν η αρχική $[\text{A}]$ είναι 0,2 M, η αρχική τιμή για την ταχύτητα είναι ίση με 1 M/s.

Να υπολογίσετε τη σταθερά ταχύτητας k_1 .

β. Στους $\theta^\circ\text{C}$ για την απλή αντίδραση



βρέθηκαν τα εξής:

- i.** όταν διπλασιάζεται η $[\text{B}]$, τετραπλασιάζεται και η τιμή της ταχύτητας αντίδρασης,
- ii.** όταν η αρχική $[\text{B}]$ είναι 2 M, η αρχική τιμή για την ταχύτητα είναι ίση με 2 M/s.

Να προσδιορίσετε τη σταθερά ταχύτητας k_2 .

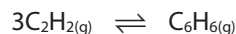
γ. Στους $\theta^\circ\text{C}$ σε δοχείο όγκου V_1 L εισάγονται 2 mol A, με αποτέλεσμα να αποκαθίσταται η ισορροπία:



Το αέριο μείγμα της θέσης ισορροπίας περιέχει 33,33% v/v A.

- i.** Να υπολογίσετε τα mol των αερίων A και B στο τελικό μείγμα και την τιμή του όγκου V_1 .
- ii.** Διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία αυξάνουμε τον όγκο του δοχείου στα 1,8 L. Τι πρόκειται να συμβεί; Να υπολογίσετε την τελική σύσταση στο δοχείο.

4.5.121 Ποσότητα ακετυλενίου ($\text{HC}\equiv\text{CH}$) διαβιβάζεται στους 500°C σε δοχείο 0,6 L, με αποτέλεσμα να πολυμερίζεται με απόδοση 60% προς τον σχηματισμό βενζολίου (C_6H_6). Στο δοχείο αποκαθίσταται η ισορροπία:



Το μείγμα της θέσης ισορροπίας απομονώνεται με κατάλληλο τρόπο χωρίς να μεταβάλλεται η σύστασή του και στη συνέχεια καίγεται πλήρως, οπότε εκλύονται 186 Kcal.

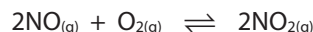
Να υπολογίσετε:

- α.** την αρχική ποσότητα του ακετυλενίου και
- β.** τη σταθερά K_c της ισορροπίας στους 500°C .

Δίνονται:

- i.** κατά την πλήρη καύση 1 mol $\text{C}_2\text{H}_{2(g)}$ εκλύονται 300 kcal και
- ii.** κατά την πλήρη καύση 1 mol $\text{C}_6\text{H}_{6(g)}$ εκλύονται 20 kcal.

4.5.122 Στους $\theta^\circ\text{C}$ σε δοχείο 10 L εισάγονται στοιχειομετρικές ποσότητες NO και O_2 , με αποτέλεσμα να αποκαθίσταται η ισορροπία:



$$(K_c = 10)$$

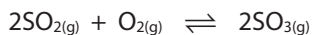
Το αέριο μείγμα της ισορροπίας περιέχει 20% v/v O_2 . Να υπολογίσετε:

- α.** τα mol του μείγματος της ισορροπίας και
- β.** το ποσό της θερμότητας που εκλύθηκε από την έναρξη της αντίδρασης μέχρις ότου αποκατασταθεί η ισορροπία.

Δίνονται:

- i.** κατά τον σχηματισμό 1 mol $\text{NO}_{2(g)}$ από την ένωση N_2 με O_2 απορροφώνται 30 kJ και
- ii.** κατά τον σχηματισμό 1 g $\text{NO}_{(g)}$ από την ένωση N_2 με O_2 απορροφώνται 3 kJ.

4.5.123 Στους 127°C σε δοχείο 10 L εισάγονται στοιχειομετρικές ποσότητες SO_2 και O_2 . Το αρχικό μείγμα των δύο αερίων ασκεί πίεση 24,6 atm. Την $t = 0$, η θερμοκρασία αυξάνεται στους $\theta^\circ\text{C}$, με αποτέλεσμα, μετά από 10 s, να αποκαθίσταται η ισορροπία:



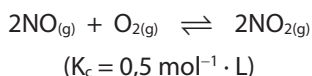
Από την έναρξη της αντίδρασης μέχρις ότου αποκατασταθεί η ισορροπία εκλύθηκαν 150 kJ. Να υπολογίσετε:

- α.** τα mol κάθε αερίου στο τελικό μείγμα,
- β.** την απόδοση της αμφίδρομης αντίδρασης,
- γ.** τη σταθερά K_c της ισορροπίας και
- δ.** τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο διάστημα [0 s, 10 s].

Δίνονται:

- i. κατά τον σχηματισμό 1 mol $\text{SO}_{2(g)}$ από την ένωση S με O_2 εκλύονται 245 kJ και
- ii. κατά τον σχηματισμό 1 mol $\text{SO}_{3(g)}$ από την ένωση S με O_2 εκλύονται 295 kJ.

4.5.124 Τη χρονική στιγμή $t = 0$, στους $\theta^\circ\text{C}$, σε δοχείο 1 L εισάγονται στοιχειομετρικές ποσότητες NO και O_2 , με αποτέλεσμα τη χρονική στιγμή $t_1 = 20$ s να αποκαθίσταται η ισορροπία:



Από την έναρξη της αντίδρασης μέχρις ότου αποκατασταθεί η ισορροπία εκλύθηκαν 400 kJ. Να υπολογίσετε:

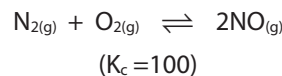
- α.** τα αρχικά mol των δύο αερίων,
- β.** τα mol κάθε αερίου στο τελικό μείγμα,
- γ.** τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο χρονικό διάστημα [0 s, 20 s] και
- δ.** η ταχύτητα της αντίδρασης σχηματισμού του NO_2 τη χρονική στιγμή που έχει αντιδράσει το 25% της ποσότητας του O_2 .

Δίνονται:

- i. κατά τον σχηματισμό 1 mol $\text{NO}_{2(g)}$ από την ένωση N_2 με O_2 απορροφώνται 80 kJ,
- ii. κατά τον σχηματισμό 1 mol $\text{NO}_{(g)}$ από την ένωση N_2 με O_2 απορροφώνται 180 kJ και
- iii. η αντίδραση σχηματισμού του $\text{NO}_{2(g)}$ είναι απλή με σταθερά $k_1 = 0,01 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{s}^{-1}$.

4.5.125 Τη χρονική στιγμή $t = 0$, στους $\theta^\circ\text{C}$, σε δοχείο σταθερού όγκου 10 L εισάγεται αέριο

μείγμα N_2 , O_2 και NO σε αναλογία mol 1:1:8 αντίστοιχα. Στο δοχείο σε αυτές τις συνθήκες τη χρονική στιγμή $t_1 = 50$ s αποκαθίσταται η ισορροπία:



Από το τελικό μείγμα της κατάστασης ισορροπίας με κατάλληλο τρόπο απομονώνεται όλη η ποσότητα του NO, η οποία με τη βοήθεια οξυγόνου μετατρέπεται ποσοτικά σε NO_2 , οπότε εκλύονται 27 kcal.

Να υπολογίσετε:

- α.** τα αρχικά mol και τα mol του μείγματος των αερίων στην κατάσταση ισορροπίας και
- β.** την ταχύτητα της αντίδρασης σύνθεσης του NO, στην κατάσταση χημικής ισορροπίας, και τη σταθερά k_2 για την προς τα αριστερά απλή αντίδραση.

Δίνονται:

- i. κατά τον σχηματισμό 1 mol $\text{NO}_{2(g)}$ από την ένωση N_2 με O_2 απορροφώνται 8 kcal,
- ii. κατά τον σχηματισμό 1 mol $\text{NO}_{(g)}$ από την ένωση N_2 με O_2 απορροφώνται 21,5 kcal και
- iii. η σταθερά της ταχύτητας k_1 για την προς τα δεξιά απλή αντίδραση είναι $2 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{s}^{-1}$.

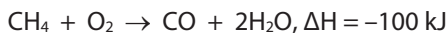
4.5.126 α. Στους 127°C σε δοχείο 8,2 L εισάγεται μείγμα με ισομοριακές ποσότητες N_2 , O_2 , και NO, το οποίο περιέχει συνολικά 9 mol. Μέχρι να αποκατασταθεί η ισορροπία:



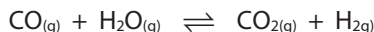
έχουν απορροφηθεί 80 kJ.

- i.** Να εξηγήσετε την απορρόφηση του ποσού θερμότητας.
- ii.** Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c της ισορροπίας στους 127°C .
- β.** Στη συνέχεια η θερμοκρασία αυξάνεται στους 227°C . Να υπολογίσετε την τιμή της τελικής πίεσης στο δοχείο στους 227°C .

4.5.127 Ορισμένη ποσότητα μεθανίου (CH_4) καίγεται ατελώς σύμφωνα με την εξίσωση:



Το αέριο μείγμα CO και υδρατμών που εκλύθηκε, τη χρονική στιγμή $t = 0$, διοχετεύεται σε κλειστό δοχείο όγκου 0,5 L στους 227°C, με αποτέλεσμα, τη χρονική στιγμή $t_1 = 20 \text{ s}$, στο δοχείο να αποκαθίσταται η ισορροπία:



με σταθερά ισορροπίας K_c ίση με $\frac{1}{3}$. Στο χρονικό διάστημα [0 s, 20 s] η ταχύτητα παραγωγής CO_2 βρέθηκε ίση με $0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$.

Να υπολογίσετε:

- α.** τα g του μεθανίου που κάηκαν,
- β.** το ποσό της θερμότητας που εκλύθηκε κατά την καύση και
- γ.** τη σύσταση του μείγματος της θέσης ισορροπίας.

4.5.128 Τη χρονική στιγμή $t = 0$ εισάγεται σε δοχείο 2 L, στους $\theta^\circ\text{C}$, ισομοριακό μείγμα N_2 και H_2 , συνολικής μάζας 15 g. Σε αυτές τις συνθήκες στο δοχείο, τη χρονική στιγμή $t_1 = 5 \text{ min}$, αποκαθίσταται η ισορροπία:



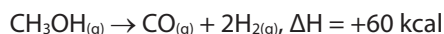
Το μείγμα της θέσης ισορροπίας περιέχει 25% v/v H_2 . Να υπολογίσετε:

- α.** την απόδοση της αντίδρασης,
- β.** τη σταθερά της ισορροπίας K_c στους $\theta^\circ\text{C}$,
- γ.** το ποσό της θερμότητας που εκλύθηκε από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι να αποκατασταθεί η ισορροπία,
- δ.** τη μέση ταχύτητα παραγωγής της NH_3 στο χρονικό διάστημα [0 min, 5 min] και
- ε.** την ταχύτητα διάσπασης της NH_3 στην κατάσταση ισορροπίας, αν η σταθερά ταχύτητας k_2 είναι ίση με $0,5 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{s}^{-1}$.

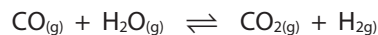
4.5.129 3,2 g S αντιδρούν πλήρως με την απαιτούμενη ποσότητα O_2 σύμφωνα με την αντίδραση:



Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται χρησιμοποιείται για να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω αντιδράσεις:



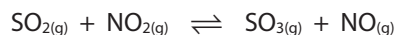
Από τις δύο αντιδράσεις εκλύονται ισομοριακές ποσότητες αέριων CO και H_2 . Το αέριο μείγμα των δύο αερίων διαβιβάζεται σε ορισμένη θερμοκρασία σε δοχείο V L το οποίο περιέχει 0,2 mol CO_2 και 0,2 mol H_2O . Στις συνθήκες που επικρατούν μπορεί να αποκατασταθεί η ισορροπία:



$$(K_c = 9)$$

- α.** Να υπολογίσετε την τελική σύσταση των αερίων στο δοχείο.
- β.** Για τη χημική ισορροπία να φτιάξετε το διάγραμμα συγκεντρώσεων-χρόνου.

4.5.130 14 g N_2 υφίστανται πλήρη κατεργασία με κατάλληλη ποσότητα O_2 , με αποτέλεσμα να σχηματίζεται αέριο μείγμα NO και NO_2 σε αναλογία mol 2:3 αντίστοιχα. Το αέριο μείγμα του NO και του NO_2 που εκλύθηκε διαβιβάζεται, στους $\theta^\circ\text{C}$, σε δοχείο σταθερού όγκου το οποίο περιέχει 0,4 mol SO_2 . Στο δοχείο αποκαθίσταται η ισορροπία:



Στο μείγμα της θέσης ισορροπίας το γραμμομοριακό κλάσμα του NO είναι ίσο με $\frac{3}{7}$.

Να υπολογίσετε:

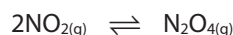
- α.** τα kcal θερμότητας που προσφέρθηκαν για την πραγματοποίηση των αντιδράσεων σχηματισμού των δύο οξειδίων του αζώτου και
- β.** τη σταθερά K_c της ισορροπίας στους $\theta^\circ\text{C}$.
Δίνονται:

- i. κατά τον σχηματισμό 1 mol $\text{NO}_{2(g)}$ από την ένωση N_2 με O_2 απορροφώνται 8 kcal και
- ii. κατά τον σχηματισμό 1 g $\text{NO}_{(g)}$ από την ένωση N_2 με O_2 απορροφώνται 21,5 kcal.

4.5.131 Σε δεδομένες συνθήκες το N_2 αντιδρά πλήρως με O_2 σύμφωνα με την αντίδραση:



Για να γίνει η μετατροπή του N_2 σε NO_2 απορροφήθηκαν 136 kJ. Το αέριο NO_2 που σχηματίστηκε διοχετεύτηκε, στους $\theta^\circ C$, σε δοχείο V_1 L με αποτέλεσμα να αποκαθίσταται η ισορροπία:



Το αέριο μείγμα της ισορροπίας περιέχει 33,333% v/v N_2O_4 .

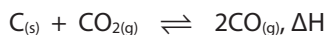
α. Να υπολογίσετε τα mol κάθε αερίου στο μείγμα της ισορροπίας.

β. Διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία ο όγκος του δοχείου γίνεται $V_2 = 4,5V_1$.

i. Να εξηγήσετε ποια θα είναι η επίδραση στη θέση της ισορροπίας.

ii. Να υπολογίσετε τα τελικά mol κάθε αερίου στο δοχείο.

4.5.132 Στους T_1 K σε δοχείο 1 L στο οποίο περιέχεται περίσσεια στερεού άνθρακα εισάγονται 2 mol CO_2 , με αποτέλεσμα να σχηματίζεται CO, σύμφωνα με την αμφίδρομη αντίδραση:



Να υπολογίσετε:

α. τα mol αερίων στο μείγμα της ισορροπίας,
β. το ποσό της θερμότητας που εκλύθηκε ή απορροφήθηκε από την έναρξη της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας.

Δίνονται:

i. για την ισορροπία η σταθερά K_c , στους T_1 K, ίση με $\frac{2}{3}$,

ii. κατά την πλήρη καύση 1 mol $C_{(s)}$ εκλύονται 94 kcal και

iii. κατά τον σχηματισμό 1 mol $CO_{(g)}$ από την ένωση C με O_2 εκλύονται 44 kcal.

γ. Στη συνέχεια ελαττώνουμε τη θερμοκρασία στους T_2 K.

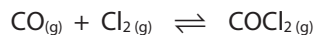
i. Να εξηγήσετε προς ποια κατεύθυνση θα μετατοπιστεί η θέση της ισορροπίας.

ii. Στο δοχείο, στο τελικό αέριο μείγμα το γραμμομοριακό κλάσμα του CO είναι ίσο με $\frac{2}{3}$. Να υπολογίσετε τη σταθερά K_c της ισορροπίας στους T_2 K.

4.5.133 Στους $\theta^\circ C$ το CO_2 αντιδρά με περίσσεια γραφίτη, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται CO, σύμφωνα με την αντίδραση:



Για την παρασκευή του CO προσφέρθηκαν 75 kcal. Η ποσότητα του CO που παράχθηκε διαβιβάζεται με απώλειες 20%, σε δοχείο όγκου 40 L το οποίο περιέχει ορισμένη ποσότητα Cl_2 . Στις συνθήκες που επικρατούν στο δοχείο τα σώματα αντιδρούν προς φωσγένιο ($COCl_2$) και στο δοχείο αποκαθίσταται η ισορροπία:



$$K_c = 10 \left(\frac{\text{mol}}{\text{L}} \right)^{-1}$$

Το μείγμα της κατάστασης ισορροπίας περιέχει 50% v/v Cl_2 .

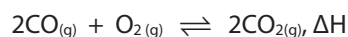
α. Να υπολογίσετε την ποσότητα του Cl_2 που υπήρχε αρχικά στο δοχείο.

β. Στη συνέχεια, στην ίδια θερμοκρασία μεταβάλλουμε τον όγκο του δοχείου, με αποτέλεσμα στη νέα θέση ισορροπίας να περιέχεται 33,33% v/v CO.

i. Να προσδιορίσετε την κατεύθυνση προς την οποία μετατοπίστηκε η θέση της χημικής ισορροπίας.

ii. Να υπολογίσετε την τιμή του όγκου του δοχείου.

4.5.134 Σε δοχείο όγκου 1 L, στους $\theta^\circ C$, εισάγονται ποσότητα CO και ποσότητα αέρα, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται CO_2 , σύμφωνα με την αμφίδρομη αντίδραση:

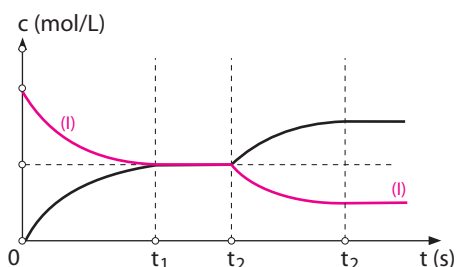


Τη χρονική στιγμή t_1 στο δοχείο αποκαθίσταται ισορροπία. Τη χρονική στιγμή t_2 μεταβάλλεται παράγοντας της ισορροπίας, με αποτέλεσμα

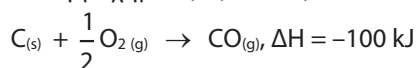
να αποκαθίσταται νέα θέση ισορροπίας, όπου το αέριο μείγμα περιέχει 24% v/v CO₂.

Δίνονται:

- η ποσότητα του αέρα καταλαμβάνει όγκο 224 L όταν μετρηθεί σε STP, ενώ έχει σύσταση 20% v/v O₂ και 80% v/v N₂.
- στους θ°C η σταθερά K_c είναι ίση με 1.
- τη χρονική στιγμή t₂ δε μεταβάλλεται η ποσότητα αερίου.
- το διάγραμμα μεταβολής της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου για δύο αέρια σώματα της ισορροπίας:

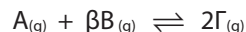


5. οι θερμοχημικές εξισώσεις:



- Να εξηγήσετε ποιος παράγοντας μεταβλήθηκε τη χρονική στιγμή t₂.
- Να υπολογίσετε τη συνολική απόδοση της αμφίδρομης αντίδρασης.

4.5.135 Σε δοχείο όγκου 8,2 L, στους 127°C, εισάγονται ισομοριακές ποσότητες αερίων A και B, με αποτέλεσμα να αποκαθίσταται η ισορροπία:



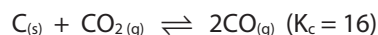
Το μείγμα της χημικής ισορροπίας ασκεί πίεση 3,2 atm, στους 127°C, ενώ η απόδοση της αμφί-

δρομης αντίδρασης είναι ίση με 75%. Στη συνέχεια ο όγκος γίνεται 4,1 L υπό σταθερή θερμοκρασία, με αποτέλεσμα η πίεση να γίνεται ίση με 6,4 atm. Κατόπιν μειώνεται η θερμοκρασία στους 47°C.

Να υπολογίσετε:

- τη σταθερά K_c στους 127°C.
- την ολική πίεση στους 47°C.

4.5.136 Σε δοχείο όγκου 4 L, στους 127°C, εισάγονται ποσότητες στερεού C και αερίου CO₂, με αποτέλεσμα τη χρονική στιγμή t₁ = 50 s να αποκαθίσταται η ισορροπία:



με απόδοση 80%, ενώ στο μείγμα της χημικής ισορροπίας το 80% του συνολικού αριθμού των αέριων mol είναι CO.

Να υπολογίσετε:

- τις αρχικές ποσότητες που εισήχθησαν στο δοχείο σε mol.
- το ποσό θερμότητας που απορροφήθηκε μέχρι τη χρονική στιγμή t₁ = 50 s.
- τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης του C με το CO₂ στο διάστημα [0 s, 50 s].
- τη σύσταση του μείγματος της θέσης ισορροπίας.

Στη συνέχεια μεταβάλλεται ο όγκος του δοχείου υπό σταθερή θερμοκρασία, με αποτέλεσμα η συνολική απόδοση της αντίδρασης να γίνεται 60%.

Να υπολογίσετε:

- την τελική σύσταση στο δοχείο σε mol.
- τον όγκο του δοχείου.

Δίνονται οι θερμοχημικές εξισώσεις:

