

Αναστάσιος Π. Βαφειάδης

Η ΧΗΜΕΙΑ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΑΝΕΛΛΑΔΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ

1ος τόμος



Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα

Επιμέλεια – Διορθώσεις: Αλεξάνδρα Θ. Λιθοξοΐδου

ISBN 978-960-456-631-0

© Copyright Νοέμβριος 2024, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Αναστάσιος Π. Βαφειάδης

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Φωτοστοιχειοθεσία Π. ΖΗΤΗ & Σια ΙΚΕ
Εκτύπωση 18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας
Βιβλιοδεσία Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19
Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ:
Αρμενοπούλου 27, 546 35 Θεσσαλονίκη
Τηλ.: 2310.203.720, Fax: 2310.211.305 • e-mail: sales@ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΠΩΛΗΣΗ ΛΙΑΝΙΚΗ-ΧΟΝΔΡΙΚΗ:
Χαριλάου Τρικούπη 22, 106 79 Αθήνα
Τηλ.-Fax: 210.3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: www.ziti.gr

Ο συγγραφέας

Ο Αναστάσιος Π. Βαφειάδης σπούδασε Χημεία στο ΑΠΘ. Απέκτησε διδακτορικό δίπλωμα στη Χημεία στο Εργαστήριο Κβαντικής και Υπολογιστικής Χημείας του ΑΠΘ και μεταπτυχιακό δίπλωμα από το ΕΚΠΑ στη Διδακτική της Χημείας και τις Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες. Εργάστηκε ως ερευνητής στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών “Δημόκριτος” και ως καθηγητής στα ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης και ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας. Μετά από επιτυχή εξέταση στον γραπτό διαγωνισμό του ΑΣΕΠ, διορίστηκε ως καθηγητής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Υπήρξε μέντορας Χημείας της Εθνικής αποστολής στην Ευρωπαϊκή Ολυμπιάδα Φυσικών Επιστημών (EUSO). Είναι συγγραφέας βιβλίων και επιστημονικών δημοσιεύσεων σε διεθνή περιοδικά και επιμορφωτής στα Νέα Προγράμματα Σπουδών της Χημείας. Από το 2014 διδάσκει στο Πειραματικό Γενικό Λύκειο του Πανεπιστημίου Μακεδονίας.

Για επικοινωνία: vafiadis.chem@gmail.com

Πρόλογος

Για όσους μελετάνε σε βάθος τις Πανελλαδικές εξετάσεις, είναι κοινός τόπος ότι αυτές με τα χρόνια διαρκώς αλλάζουν. Και πώς θα μπορούσε άραγε, να είναι αλλιώς; Όπως εξελίσσεται και αλλάζει η κοινωνία, έτσι εξελίσσονται και αλλάζουν και οι Πανελλαδικές εξετάσεις. Αν, για παράδειγμα, κάποιος συγκρίνει τα θέματα Χημείας του 2004, του 2014 και του 2024, θα παρατηρήσει σημαντικές αλλαγές στη φιλοσοφία τους.

Για τις εξετάσεις στη Χημεία κομβικό έτος ήταν το 2017. Δεν θα ήταν υπερβολή να πούμε ότι τα θέματα μπορούν να χωριστούν σε αυτά πριν το '17 και μετά το '17, όπως η Ιστορία χωρίζεται σε π.Χ. και μ.Χ. Εκείνη τη χρονιά υπήρξε μια σημαντική αλλαγή στη φιλοσοφία των θεμάτων και για πρώτη φορά εισήχθησαν σχήματα και διαγράμματα. Από τότε, χρόνο με τον χρόνο, άλλες φορές πιο ήπια και άλλες φορές πιο έντονα, **τα θέματα γίνονται περισσότερο κριτικά** και βλέπουμε στις εκφωνήσεις ρήματα όπως «εξηγήσετε» και «συγκρίνετε» που δεν υπήρχαν παλιότερα. Παρατηρούμε, επίσης, μία τάση απομαθηματικοποίησης των θεμάτων.

Υπό το πρίσμα αυτό, θεώρησα πως έχει αξία η συγγραφή ενός βοηθήματος που βασίζεται στη σύγχρονη κατεύθυνση των Πανελλαδικών εξετάσεων, αλλά και στη φιλοσοφία του Νέου Προγράμματος Σπουδών του μαθήματος της Χημείας. Τα 20 συναπτά έτη διδασκαλίας μου στη Γ' τάξη, σε διάφορους τύπους Λυκείων (Επαγγελματικά, Γενικά, Πρότυπα, Πειραματικά), αλλά και η άμεση εμπλοκή μου στις Πανελλαδικές εξετάσεις από διάφορες θέσεις, βοήθησαν σημαντικά στην ολοκλήρωση του εγχειρήματος. Καταλυτικός παράγοντας αποτέλεσαν οι μαθητές και οι μαθήτριά μου, που όλα αυτά τα χρόνια μου παρείχαν κίνητρο με τη φιλομάθειά τους.

Ευελπιστώ το βιβλίο να φανεί χρήσιμο σε όσους περνάνε την απαιτητική και ψυχοφθόρα διαδικασία των Πανελλαδικών εξετάσεων. Να τους βοηθήσει να οργανώσουν καλύτερα τη μελέτη τους, να αποσαφηνίσουν δύσκολες έννοιες και να εξασκηθούν σε θέματα σύγχρονης φιλοσοφίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την Δρ. Χημείας Αλεξάνδρα Θ. Λιθοξοΐδου, που διάβασε όλα τα πρωτότυπα κείμενα και έκανε τις απαραίτητες αλλαγές και διορθώσεις. Στο πλαίσιο της βελτίωσης του βιβλίου, με χαρά θα αναμένω τις παρατηρήσεις και τις επισημάνσεις μαθητών και συναδέλφων.

Αναστάσιος Π. Βαφειάδης
Δρ. Χημείας

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	9
-----------------------	---

Κεφάλαιο 1

Ηλεκτρονιακή Δομή των ατόμων, Περιοδικός Πίνακας και Χημικός δεσμός	13
1.1. Κβαντική θεωρία, Ατομικό πρότυπο Bohr, Τροχιακό	14
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	27
1.2. Κβαντικοί Αριθμοί	31
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	35
1 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (σύντομης διάρκειας) Ενότητες 1.1 – 1.2	39
1.3. Αρχές ηλεκτρονιακής δόμησης των ατόμων	40
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	48
1.4. Περιοδικός Πίνακας	53
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	60
2 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (σύντομης διάρκειας) Ενότητες 1.3 – 1.4	64
1.5. Μεταβολή ορισμένων περιοδικών ιδιοτήτων	65
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	72
3 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (σύντομης διάρκειας) Ενότητα 1.5	77
1.6. Θεωρία Δεσμού Σθένους – Υβριδισμός	78
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	85
4 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (επαναληπτικό) - Κεφάλαιο 1	89

Κεφάλαιο 2

Διαμοριακές Δυνάμεις	91
2.1. Διαμοριακές δυνάμεις	92
Ερωτήσεις	104
2.2. Ώσμωση	108
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	117
5 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (επαναληπτικό) - Κεφάλαιο 2	121

Κεφάλαιο 3

Θερμοχημεία	123
3.1. Ενθαλπία αντίδρασης	124
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	136
3.2. Νόμοι θερμοχημείας	140
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	146
6 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (επαναληπτικό) - Κεφάλαιο 3	149

Κεφάλαιο 4

Χημική Κινητική	151
4.1. Ταχύτητα χημικής αντίδρασης	152
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	167
4.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης	174
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	185
7 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (σύντομης διάρκειας) - Ενότητες 4.1 – 4.2	190
4.3. Νόμος ταχύτητας – Μηχανισμός αντίδρασης	191
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	196
8 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (επαναληπτικό) - Κεφάλαιο 4	200

Κεφάλαιο 5

Χημική Ισορροπία	203
5.1. Χημική ισορροπία - Απόδοση αντίδρασης	204
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	211
5.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση της χημικής ισορροπίας	216
Ερωτήσεις	228
9 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (σύντομης διάρκειας) - Ενότητες 5.1 – 5.2	234
5.3. Σταθερά χημικής ισορροπίας, K_c	235
Μεθοδολογία ασκήσεων Χημικής Ισορροπίας	239
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	253
10 ^ο Κριτήριο αξιολόγησης (επαναληπτικό) - Κεφάλαιο 5	260

Απαντήσεις - Λύσεις στις Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα

Κεφάλαιο 1	265
Κεφάλαιο 2	282
Κεφάλαιο 3	287
Κεφάλαιο 4	290
Κεφάλαιο 5	299

Παραρτήματα

A. Πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια μονάδων	309
Ιδιότητες δυνάμεων	309
B. Τιμές θεμελιωδών σταθερών	310
Γ. Σχετικές ατομικές μάζες (A_r)	310
Δ. Ηλεκτρονιακή δομή ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση	311
E. Περιοδικός Πίνακας των χημικών στοιχείων	313
Ευρετήριο όρων - εννοιών	317
Βιβλιογραφία	319

Εισαγωγή

Στο βιβλίο υιοθετείται μια **σύγχρονη μορφή** στη ροή και παρουσίαση της ύλης. Κάθε κεφάλαιο χωρίζεται σε ενότητες, οι οποίες απαρτίζονται από το τμήμα της **θεωρίας** και το τμήμα των **ερωτήσεων-ασκήσεων-προβλημάτων**. Στις περισσότερες ενότητες υπάρχει στο τέλος και ένα **κριτήριο αξιολόγησης**.

Να σημειωθεί ότι, όπου είναι απαραίτητο για την ορθή επίλυση των ασκήσεων υιοθετείται η έννοια της **μολαρικής μάζας**, M (αντί της σχετικής μοριακής μάζας, M_r), όπως άλλωστε προτείνεται και στα Νέα Προγράμματα Σπουδών. **Η μολαρική μάζα μιας ουσίας είναι η μάζα ενός mol της ουσίας**. Η μολαρική μάζα έχει μονάδες g/mol, ενώ η σχετική μοριακή μάζα δεν έχει μονάδες. Για παράδειγμα, $M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18$ και $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g/mol}$.

Συνεπώς, ο σωστή σχέση που συνδέει τη μάζα (m) με τα mol (n) μιας ένωσης είναι:

$$n = \frac{m}{M}$$

Θεωρία

Μία πρακτική, που λανθασμένα υιοθετούν πολλοί μαθητές και μαθήτριες, είναι ότι μελετούν μόνο από τα εξωσχολικά βοηθήματα. Ωστόσο, σημείο αναφοράς για τα θέματα των Πανελλαδικών εξετάσεων είναι το σχολικό βιβλίο. Οποιοδήποτε άλλο σύγγραμμα έρχεται να βοηθήσει επικουρικά στην κατανόηση του σχολικού βιβλίου και όχι να το αντικαταστήσει. Με αυτή τη φιλοσοφία, στο παρόν βοήθημα δεν πλατειάζουμε στη θεωρία, αλλά προσπαθούμε να αναδείξουμε τις σκοτεινές και αθέατες πλευρές της.

Εικονίδια

Εμβόλιμα στη θεωρία υπάρχουν σημαντικές παρατηρήσεις, που τονίζονται με τα παρακάτω εικονίδια.



ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ

Πολλά πράγματα δεν εξηγούνται επαρκώς στο σχολικό βιβλίο. Στο εικονίδιο «Επίσημανση» αναφέρουμε τις χρήσιμες προεκτάσεις της θεωρίας και φωτίζουμε τις σκοτεινές πλευρές της.



ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΟ
ΛΑΘΟΣ

Όσοι καθηγητές διορθώνουμε γραπτά των Πανελλαδικών εξετάσεων, γνωρίζουμε πως οι μαθητές επαναλαμβάνουν τα ίδια λάθη. Δίπλα στο εικονίδιο αυτό είναι καταγεγραμμένα –για πρώτη φορά στην ελληνική βιβλιογραφία– λάθη, που επανειλημμένως συναντάμε στα γραπτά των Πανελλαδικών εξετάσεων.



ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ

Με αυτό το εικονίδιο υπενθυμίζουμε έννοιες που αναφέρθηκαν σε παλιότερες τάξεις του Λυκείου και είναι χρήσιμες για την κατανόηση της νέας ύλης.



ΑΝΑΛΟΓΙΑ

Πολλές έννοιες είναι δυσνόητες για αρκετούς μαθητές. Με τις αναλογίες επιχειρούμε μια συσχέτιση μεταξύ αφηρημένων και δύσκολων εννοιών με την καθημερινή ζωή, έτσι ώστε να καταστούν ευκολότερα αντιληπτές.

Παραδείγματα

Είναι αποδεδειγμένο πως οι μαθητές μαθαίνουν καλύτερα με συγκεκριμένα παραδείγματα και όχι μόνο με ανάλυση της θεωρίας. Για τον λόγο αυτό, δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα τόσο στο περιεχόμενο, όσο και στη δομή των λυμένων παραδειγμάτων.

Τα περισσότερα παραδείγματα επιλέχθηκαν από την **Τράπεζα Θεμάτων του ΙΕΠ και από πρόσφατα θέματα Πανελλαδικών εξετάσεων** και οι λύσεις τους είναι **βασισμένες στις επίσημες ενδεικτικές απαντήσεις**.

Αναφορικά με τη δομή, δεν γράψαμε «ξερά» μόνο την επίλυση των ασκήσεων, αλλά επιλέξαμε μία σύγχρονη παιδαγωγική προσέγγιση, τη **Λογική μέθοδο επίλυσης ασκήσεων**. Η μέθοδος αυτή βοηθά τον μαθητή να αναπτύξει κριτική σκέψη και όχι να μάθει τυποποιημένα να λύνει ασκήσεις και προβλήματα, χωρίς να κατανοεί το τι ακριβώς κάνει. Επίσης, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τους μαθητές που δυσκολεύονται να βρουν με ποιον τρόπο θα ξεκινήσουν να λύνουν μια άσκηση. Την ίδια μέθοδο ακολουθήσαμε και στις ερωτήσεις των παραδειγμάτων.

Η μέθοδος αυτή είναι μία διαδικασία που χωρίζεται σε **4 στάδια**. Συγκεκριμένα, σε κάθε Παράδειγμα παρουσιάζονται: **1.** η **Ανάλυση** του ερωτήματος, **2.** η **Στρατηγική** που ακολουθείται, **3.** η **Λύση** της άσκησης και **4.** ο **Έλεγχος** (ή ένα σχόλιο) του αποτελέσματος. Επιπλέον, σε πολλά παραδείγματα γράφουμε και το **Μονοπάτι σκέψης**, το οποίο αποτυπώνει όλα τα νοητικά βήματα που ακολουθούμε για να λύσουμε μια άσκηση. Σαν μία «φωτογραφία» ολόκληρης της άσκησης.

Παράδειγμα 1.1

Υπολογισμός ενέργειας φωτονίου

Τα πράσινα λέιζερ που βλέπουμε πολλές φορές στα γήπεδα να ενοχλούν τα μάτια των ποδοσφαιριστών, έχουν μήκος κύματος ίσο με 518 nm. Να υπολογίσετε την ενέργεια ενός φωτονίου του πράσινου φωτός. Δίνεται $c = 3 \cdot 10^8$ m/s και $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s

Ανάλυση

Μας δίνεται το μήκος κύματος μιας ακτινοβολίας και ζητείται να υπολογίσουμε την ενέργεια ενός φωτονίου της.

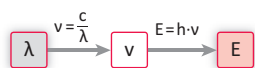
Δεδομένα: $\lambda = 518$ nm

Ζητούμενα: $E = ?$

Στρατηγική

Αρχικά, θα υπολογίσουμε τη συχνότητα από το μήκος κύματος και στη συνέχεια θα βρούμε την ενέργεια από την εξίσωση $E = h\nu$.

Μονοπάτι σκέψης



Λύση

Μετατρέπουμε τα nm σε m.

$$\lambda = 518 \text{ nm} = 518 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Υπολογίζουμε τη συχνότητα του φωτονίου.

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{518 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 8,79 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

Υπολογίζουμε την ενέργεια του φωτονίου

$$E = h\nu = 5,79 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 3,84 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Έλεγχος

Οι μονάδες της απάντησης είναι σωστές. Επίσης, το μέγεθος της ενέργειας είναι λογικό, εφόσον ένα φωτόνιο έχει πάρα πολύ μικρή ενέργεια.

Στο αριστερό μέρος της **Ανάλυσης** δίνεται το γενικό πλαίσιο του ερωτήματος της εκφώνησης.

Σημαντικό τμήμα κάθε παραδείγματος είναι η **Στρατηγική** που θα ακολουθήσουμε για να λύσουμε την άσκηση.

Στο αριστερό μέρος της **Λύσης** αποτυπώνεται αναλυτικά, το τι ακριβώς σκεφτόμαστε, πριν γράψουμε κάθε βήμα της απάντησης.

Στο δεξί μέρος της **Ανάλυσης** ταξινομούνται τα δεδομένα και τα ζητούμενα της άσκησης.

Το **Μονοπάτι σκέψης** καταγράφει όλα τα βήματα που θα γίνουν, μέχρι να οδεύσουμε από τα δεδομένα στο ζητούμενο.

Το δεξί μέρος της **Λύσης** αποτυπώνεται το τι πρέπει να γράψουμε, για να είναι πλήρης η απάντησή μας.

Στο τέλος των παραδειγμάτων υπάρχει ο απαραίτητος **Έλεγχος**, στον οποίο αξιολογούμε το αν είναι εύλογο το αποτέλεσμα ή αν έχει χημική υπόσταση η απάντησή μας.

Ερωτήσεις – Ασκήσεις – Προβλήματα

Στην ενότητα αυτή οι ερωτήσεις, οι ασκήσεις και τα προβλήματα δίνονται με τη σειρά που τα συναντάμε και μέσα στα θέματα των Πανελλαδικών εξετάσεων.

Ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών

Οι ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών βρίσκονται στο **Θέμα Α** των εξετάσεων, το οποίο στοχεύει στην εξέταση της θεωρίας. Δεν είναι σπάνιο οι μαθητές να επιλέγουν τη σωστή επιλογή, με λάθος όμως σκεπτικό. Γεγονός που δεν το αντιλαμβάνονται ποτέ, γιατί απλώς απάντησαν ορθά! Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαιώνιση της λανθασμένης σκέψης τους, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες απαντήσεις σε άλλα ερωτήματα. Για τον λόγο αυτό, στο τέλος του βιβλίου, δίνεται όχι μόνο η σωστή επιλογή, αλλά και ο σχολιασμός της κάθε σωστής απάντησης.

Ερωτήσεις Σωστού-Λάθους με αιτιολόγηση

Στο βοήθημα υπάρχουν ερωτήσεις Σωστού-Λάθους μόνο με **αιτιολόγηση**. Η εμπειρία έχει δείξει ότι όταν οι ερωτήσεις αυτές είναι μόνο κλειστού τύπου, χωρίς αιτιολόγηση, αρκετές φορές οι μαθητές απαντούν σωστά, με λάθος όμως σκεπτικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι λανθασμένες απόψεις τους να συνεχίζουν να υπάρχουν. Η αιτιολόγηση των απαντήσεων, βοηθά πάντα τους μαθητές να διορθώσουν τυχόν παρανοήσεις και να αποφύγουν τη λανθασμένη απάντηση.

Ερωτήσεις ανάπτυξης

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρατηρείται στα γραπτά των Πανελλαδικών εξετάσεων τα τελευταία χρόνια με τα σύγχρονα θέματα, είναι η αδυναμία των μαθητών να τεκμηριώσουν τις απαντήσεις τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χάνουν τις περισσότερες μονάδες στο **Θέμα Β**. Οι ερωτήσεις ανάπτυξης, μαζί με τις αιτιολογημένες ερωτήσεις Σωστού-Λάθους, έχουν σκοπό να βελτιώσουν τους μαθητές στην εκφορά του επιστημονικού λόγου.

Ασκήσεις – Προβλήματα

Οι Ασκήσεις και τα Προβλήματα βρίσκονται στο **Θέμα Γ** και στο **Θέμα Δ** των Πανελλαδικών εξετάσεων. Θεωρώντας πως ένα ογκώδες βοήθημα με πολλές ασκήσεις έχει παράπλευρα αρνητικά αποτελέσματα τη δημιουργία ανασφάλειας και επιπλέον άγχους στους μαθητές, επιλέξαμε στο βιβλίο αυτό να περιλάβουμε σε κάθε ενότητα τόσες ασκήσεις, όσες θεωρούμε ότι επαρκούν για την προετοιμασία του μαθητή. Για όσους ωστόσο, έχουν χρόνο και θέλουν να εξασκηθούν περισσότερο, προτείνουμε να λύσουν θέματα από την Τράπεζα Θεμάτων Διαβαθμισμένης Δυσκολίας του ΙΕΠ.

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει πρώτα να λυθούν όλες οι ασκήσεις του σχολικού βιβλίου.

Κριτήρια αξιολόγησης

Τα κριτήρια αξιολόγησης χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Τα “Σύντομης διάρκειας” και τα “Επαναληπτικά”. Και στα δύο υπάρχει προτεινόμενος χρόνος επίλυσης, εφόσον ο σημαντικότερος «αντίπαλος» στις Πανελλαδικές εξετάσεις είναι ο χρόνος.

- ♦ **Σύντομης διάρκειας:** Βρίσκονται στο τέλος κάποιων ενοτήτων, έχουν προτεινόμενη διάρκεια 20 λεπτά και περιλαμβάνουν την ύλη μίας ή δύο ενοτήτων.
- ♦ **Επαναληπτικά:** Βρίσκονται στο τέλος κάθε κεφαλαίου, έχουν προτεινόμενη διάρκεια 80 λεπτά (4πλάσια από τα σύντομης διάρκειας), και περιλαμβάνουν ύλη από ολόκληρο το κεφάλαιο.

Στην τελευταία σελίδα δίνεται ένας πίνακας, όπου μπορεί ο κάθε υποψήφιος να σημειώνει τους βαθμούς τους σε κάθε κριτήριο, έτσι ώστε να ελέγχει την **εξέλιξη της επίδοσής** του.

4 Χημική Κινητική

*Υπάρχουν περισσότερα στη ζωή
από το να αυξάνουμε την ταχύτητά της.*

Mahatma Gandhi

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν μπορούμε να πούμε κάτι με σιγουριά, είναι πως με το πέρασμα των χρόνων η ζωή μας εξελίσσεται πιο γρήγορα. Η έννοια της ταχύτητας είναι κάτι ιδιαίτερα σημαντικό στην καθημερινότητα και φυσικά στη Χημεία. Οπότε, στο **Κεφάλαιο 4** θα βάλουμε (έστω και λίγο αργοπορημένα) στη συζήτησή μας τον παράγοντα **ταχύτητα**.

Στις ενότητες που ακολουθούν, θα απαντηθούν τα ερωτήματα:

- Τι σημαίνει ταχύτητα για μια χημική αντίδραση;

4.1 Ταχύτητα χημικής αντίδρασης
- Με ποιον τρόπο επηρεάζουν συγκεκριμένοι παράγοντες την ταχύτητα μιας αντίδρασης;

4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης
- Με ποιον μηχανισμό πραγματοποιείται μια χημική αντίδραση;

4.3 Νόμος ταχύτητας – Μηχανισμός αντίδρασης

4.1 Ταχύτητα χημικής αντίδρασης

Ένα θέμα που απασχολεί τους χημικούς (και όχι μόνο) και δεν έχει σχολιαστεί μέχρι τώρα, είναι το πόσο γρήγορα γίνεται μια αντίδραση. Υπάρχουν, λοιπόν, αντιδράσεις που χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να γίνουν και άλλες που γίνονται σε δευτερόλεπτα. Ο κλάδος της Χημείας που ασχολείται με ό,τι έχει σχέση με την ταχύτητα μιας αντίδρασης ονομάζεται Χημική Κινητική.

Η Χημική Κινητική ασχολείται:

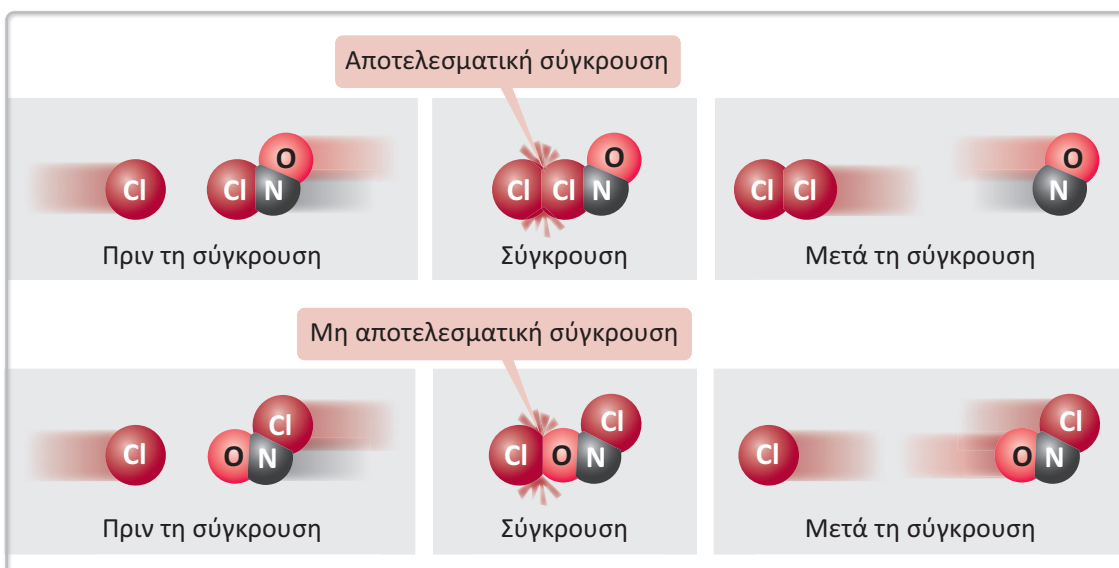
1. Με την **ταχύτητα** (ή το ρυθμό) με την οποία εξελίσσονται οι χημικές αντιδράσεις.
2. Με τους **παράγοντες** που επηρεάζουν την ταχύτητα των αντιδράσεων.
3. Με τον **μηχανισμό**, δηλαδή το σύνολο των στοιχειωδών αντιδράσεων, με τον οποίο πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις.

❖ Ερμηνεία του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται μια αντίδραση

α) Θεωρία των Συγκρούσεων

Σύμφωνα με τη **θεωρία των συγκρούσεων** για να πραγματοποιηθεί μια χημική αντίδραση, πρέπει τα μόρια να συγκρουστούν **αποτελεσματικά** (ή ενεργά). Δηλαδή, να έχουν κατάλληλη **ταχύτητα** και κατάλληλο **προσανατολισμό**. Αυτό σημαίνει ότι τα μόρια θα πρέπει να έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από κάποια ελάχιστη τιμή, ώστε να σπάσουν οι παλιοί δεσμοί και να δημιουργηθούν οι καινούριοι. Η ελάχιστη τιμή ενέργειας (ενεργειακό φράγμα) που πρέπει να έχουν τα μόρια ονομάζεται **ενέργεια ενεργοποίησης, E_a** (activation energy). Ένα μικρό ποσοστό των συγκρούσεων είναι αποτελεσματικές, της τάξης του $1/10^8$.

Για παράδειγμα, για την αντίδραση: $\text{Cl} + \text{NOCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{NO}$ κάποιες περιπτώσεις σύγκρουσης απεικονίζονται παρακάτω:





ΑΝΑΛΟΓΙΑ

Όπως ακριβώς για να παραχθεί ήχος από τα παλαμάκια, πρέπει τα χέρια μας να κινηθούν το ένα στο άλλο με κατάλληλη ταχύτητα και κατάλληλο προσανατολισμό, έτσι και για να αντιδράσουν τα μόρια πρέπει να συγκρουστούν μεταξύ τους με κατάλληλη ταχύτητα και κατάλληλο προσανατολισμό.



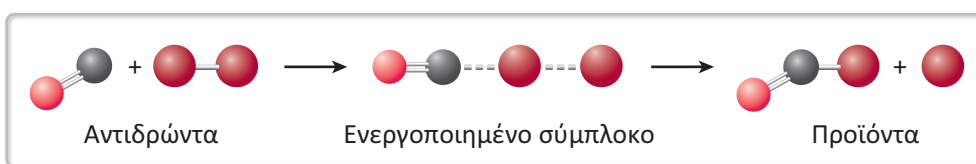
ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ

- ✓ Η E_a εξαρτάται από τη φύση των αντιδρώντων και από την ύπαρξη καταλυτών, αλλά δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία.
- ✓ Όσο μικρότερη τιμή έχει η E_a , τόσο γρηγορότερα γίνεται μια χημική αντίδραση, επειδή, στην ίδια θερμοκρασία, περισσότερα μόρια έχουν την απαιτούμενη ενέργεια για να συγκρουστούν αποτελεσματικά.

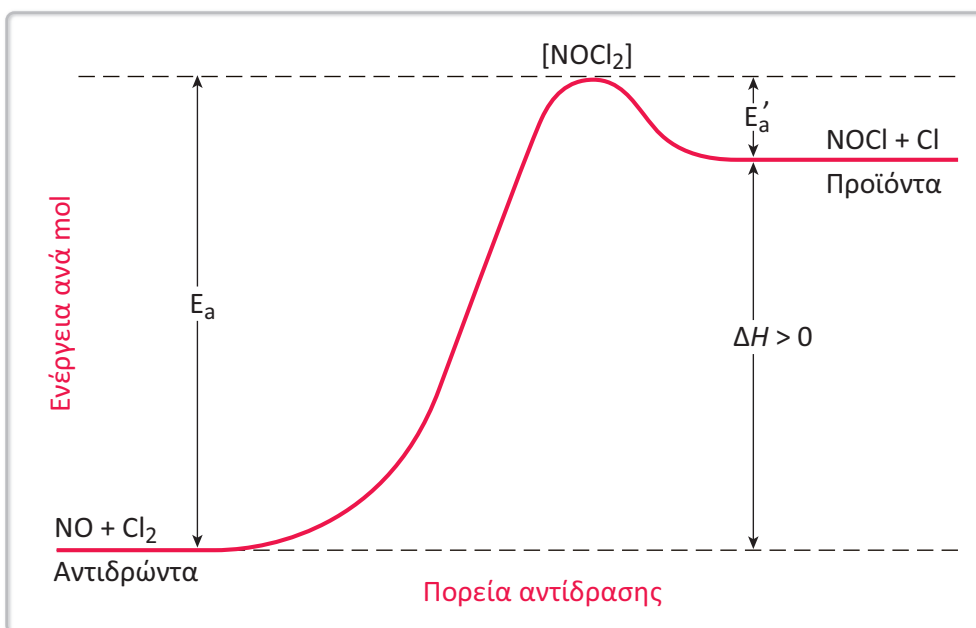
β) Θεωρία της Μεταβατικής Κατάστασης

Σύμφωνα με τη **θεωρία της μεταβατικής κατάστασης** για να πραγματοποιηθεί μια χημική αντίδραση, πρέπει να σχηματιστεί ένα **ενδιάμεσο**, ασταθές προϊόν, που απορροφά την ενέργεια ενεργοποίησης, E_a , και το οποίο ονομάζεται **ενεργοποιημένο σύμπλοκο** (το συμβολίζουμε τοποθετώντας το σε μια αγκύλη).

Ανεξάρτητα από το αν η αντίδραση είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη, για να πραγματοποιηθεί, θα πρέπει τα αντιδρώντα να ξεπεράσουν το ενεργειακό φράγμα της E_a . Για παράδειγμα, για την ενδόθερμη αντίδραση:



προκύπτει η παρακάτω καμπύλη δυναμικής ενέργειας:

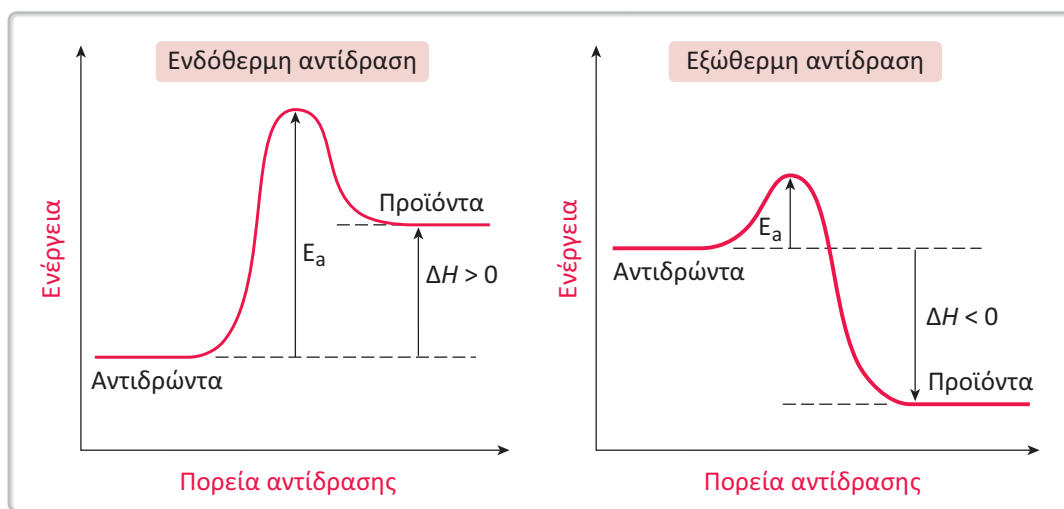


Οι δύο θεωρίες μπορούμε να θεωρήσουμε ότι συμπληρώνουν η μία την άλλη.



ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ

Η τιμή της ΔH μιας ενδόθερμης αντίδρασης θα είναι πάντα μικρότερη από την τιμή της E_a της αντίδρασης. Επίσης, η τιμή της $|\Delta H|$ μιας εξώθερμης αντίδρασης δεν σχετίζεται με την τιμή της E_a της αντίδρασης.



❖ Ταχύτητα χημικής αντίδρασης

Η **ταχύτητα αντίδρασης** καθορίζεται (και όχι απαραίτητα ισούνται) από την αύξηση της συγκέντρωσης ενός προϊόντος μιας αντίδρασης ή την ελάττωση της συγκέντρωσης ενός αντιδρώντος ανά μονάδα χρόνου. Δηλαδή, από τον ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η συγκέντρωση ενός συστατικού (προϊόντος ή αντιδρώντος) της αντίδρασης. Ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης είναι η μεταβολή της συγκέντρωσης, Δc , ενός συστατικού ως προς τη μεταβολή του χρόνου, Δt , δηλαδή ο λόγος $\Delta c/\Delta t$. Ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης μπορεί να πάρει θετικές και αρνητικές τιμές.



ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ

Συγκέντρωση: $c = \frac{n}{V}$ με μονάδες $M \left(\frac{\text{mol}}{L} \right)$.

Όπου: n τα mole της διαλυμένης ουσίας σε mol και V ο όγκος του διαλύματος σε L.

Επειδή τα αντιδρώντα καταναλώνονται, η συγκέντρωσή τους μειώνεται με το πέρασμα του χρόνου, οπότε $\Delta c_{\text{αντ}} < 0$. Αντίθετα, επειδή τα προϊόντα παράγονται, η συγκέντρωσή τους αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου, οπότε $\Delta c_{\text{πρ}} > 0$.

Η συγκέντρωση μίας ουσίας συμβολίζεται και με μία αγκύλη που περιέχει τον χημικό τύπο της ουσίας. Π.χ. η συγκέντρωση της NH_3 , συμβολίζεται ως $[\text{NH}_3]$.

Έτσι, για την αντίδραση: $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma \Gamma + \delta \Delta$, ορίζεται η **μέση ταχύτητα χημικής αντίδρασης** ως:

$$v = -\frac{1}{\alpha} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{\beta} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{\gamma} \frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t} = \frac{1}{\delta} \frac{\Delta[\Delta]}{\Delta t} \quad (1)$$

♦ Σχετικά με τους **συντελεστές**:

Για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας θα πρέπει η απόλυτη τιμή του ρυθμού μεταβολής κάθε ουσίας, $|\Delta[X]/\Delta t|$ (δηλαδή η ταχύτητα κατανάλωσης ή παραγωγής του X, u_x), να διαιρεθεί με τον συντελεστή της ουσίας στη συγκεκριμένη χημική εξίσωση. Αυτό συμβαίνει γιατί οι $|\Delta[X]/\Delta t|$ των ουσιών μπορεί να έχουν διαφορετικές τιμές μεταξύ τους, αλλά η **ταχύτητα της αντίδρασης, u , είναι μόνο μία**.

Για παράδειγμα, στην αντίδραση: $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2 HI(g)$

ο ρυθμός παραγωγής του προϊόντος HI, $u(HI)$, είναι διπλάσιος από τον ρυθμό κατανάλωσης των αντιδρώντων H_2 και I_2 , $u(H_2)$ και $u(I_2)$, αντίστοιχα. Επίσης, ο ρυθμός κατανάλωσης του H_2 είναι ίσος με αυτόν του I_2 (με βάση τη στοιχειομετρία της αντίδρασης, $u(H_2) = u(I_2)$).

Συνολικά, ισχύει η σχέση: $u(H_2) = u(I_2) = 1/2 u(HI)$.

♦ Σχετικά με τα **πρόσημα**:

Όταν η ταχύτητα της αντίδρασης εκφράζεται με βάση τα αντιδρώντα χρησιμοποιείται αρνητικό πρόσημο (-), ώστε ο λόγος $\Delta c/\Delta t$ να προκύπτει θετικός. Όταν εκφράζεται με βάση τα προϊόντα δεν χρειάζεται το αρνητικό πρόσημο.

Για την αντίδραση: $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma \Gamma + \delta \Delta$,

η μέση ταχύτητα (u) της αντίδρασης είναι μία και υπολογίζεται από τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα, ενώ οι ταχύτητες σχηματισμού/κατανάλωσης των σωμάτων, είναι διαφορετικές μεταξύ τους. Από την **(1)** προκύπτει:

$$u = \frac{u_A}{\alpha} = \frac{u_B}{\beta} = \frac{u_\Gamma}{\gamma} = \frac{u_\Delta}{\delta}$$



ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΟ
ΛΑΘΟΣ

Πολλοί υποψήφιοι συγχέουν τις έννοιες Ρυθμός μεταβολής, Ταχύτητα κατανάλωσης (ή σχηματισμού) και Ταχύτητα αντίδρασης.

Ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης ενός αντιδρώντος έχει πάντα αρνητικές τιμές, ενώ ενός προϊόντος έχει πάντα θετικές τιμές.

Αντίθετα, οι ταχύτητες (κατανάλωσης, παραγωγής και αντίδρασης) έχουν πάντα θετικές τιμές.

Για παράδειγμα, για την αντίδραση: $2 HI(g) \rightarrow H_2(g) + I_2(g)$

♦ Ρυθμός μεταβολής [HI]: $\frac{\Delta [HI]}{\Delta t} < 0$

♦ Ταχύτητα κατανάλωσης HI: $u(HI) = -\frac{\Delta [HI]}{\Delta t} > 0$

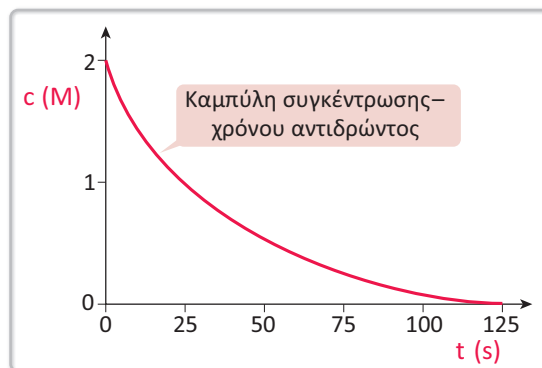
♦ Ταχύτητα αντίδρασης: $u = -\frac{1}{2} \frac{\Delta [HI]}{\Delta t} > 0$



ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ

Δεν εκφράζεται η ταχύτητα μιας αντίδρασης με βάση τα στερεά (s) και τα καθαρά υγρά (l) σώματα που τυχόν υπάρχουν στην αντίδραση, γιατί έχουν σταθερή συγκέντρωση, οπότε γι' αυτά ισχύει $\Delta c = 0$.

Η **καμπύλη συγκέντρωσης-χρόνου** ($c-t$) αποτυπώνει το πώς μεταβάλλεται η συγκέντρωση ενός αντιδρώντος ή προϊόντος συναρτήσει του χρόνου.



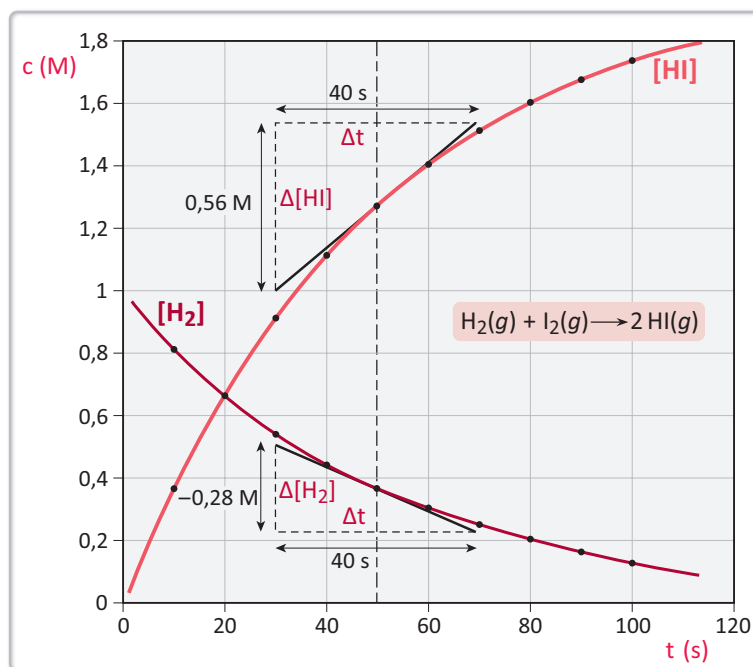
Για μια χημική αντίδραση μπορούμε να ορίσουμε και τη **στιγμαία ταχύτητα χημικής αντίδρασης**, η οποία αναφέρεται σε μια δεδομένη χρονική στιγμή t ($dt =$ απειροελάχιστη μεταβολή, $dt \rightarrow 0$).

Για παράδειγμα για την αντίδραση $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma \Gamma + \delta \Delta$, ορίζεται η στιγμιαία ταχύτητα ως

$$v = -\frac{1}{\alpha} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{\beta} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{\gamma} \frac{d[\Gamma]}{dt} = \frac{1}{\delta} \frac{d[\Delta]}{dt}$$

Η στιγμιαία ταχύτητα για μία χρονική στιγμή t_v , υπολογίζεται από την **κλίση** της εφαπτομένης της καμπύλης συγκέντρωσης-χρόνου, που αντιστοιχεί στο σημείο t_v . Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα.

Για παράδειγμα, για την αντίδραση $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2 HI(g)$ η στιγμιαία ταχύτητα στα 50 s μπορεί να υπολογιστεί από την κλίση της εφαπτομένης της καμπύλης είτε του αντιδρώντος H_2 είτε του προϊόντος HI , με τη βοήθεια του παρακάτω διαγράμματος.



$$v = -\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = -\frac{-0,28 M}{40 s} = 0,007 M/s \quad \text{ή} \quad v = \frac{1}{2} \frac{\Delta[HI]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{0,56 M}{40 s} = 0,007 M/s$$

Παράδειγμα 4.4 Υπολογισμός αρχικής ποσότητας με πινακάκι

Σε κενό δοχείο όγκου 2 L εισάγουμε 3 mol Cl_2 και ποσότητα F_2 , τα οποία αντιδρούν σύμφωνα με τη χημική εξίσωση: $\text{Cl}_2(g) + 3 \text{F}_2(g) \rightarrow 2 \text{ClF}_3(g)$

Τη χρονική στιγμή $t = 2 \text{ min}$ υπάρχουν στο δοχείο 2 mol F_2 και 4 mol ClF_3 .

Να υπολογίσετε τα mol του F_2 που τοποθετήθηκαν αρχικά στο δοχείο.

Ανάλυση

Μας δίνονται τα αρχικά mol του Cl_2 , όπως και οι ποσότητες του αντιδρώντος F_2 και προϊόντος ClF_3 που υπάρχουν στο δοχείο μετά από δύο λεπτά και μας ζητούνται τα mol του F_2 που τοποθετήσαμε αρχικά στο δοχείο.

Δεδομένα: $n(\text{Cl}_2)_{\text{αρχ}} = 3 \text{ mol}$
 $n(\text{F}_2)_{2\text{min}} = 2 \text{ mol}$
 $n(\text{ClF}_3)_{2\text{min}} = 4 \text{ mol}$
Ζητούμενα: $n(\text{F}_2)_{\text{αρχ}} = ?$

Στρατηγική

Θα καταστρώσουμε το πινακάκι τριών σειρών, έτσι ώστε να υπολογίσουμε τα αρχικά mol του F_2 .

Λύση

Αρχικά, γράφουμε τη **χημική εξίσωση** και δίπλα της σημειώνουμε τις μονάδες των τιμών που θα περιέχει το πινακάκι (mol).

Πινακάκι

Στην πρώτη σειρά γράφουμε τα αρχικά mole του Cl_2 και συμβολίζουμε με n την άγνωστη ποσότητα του F_2 .

Στη δεύτερη σειρά γράφουμε τις **μεταβολές** των mol όλων των ουσιών συναρτήσει ενός αγνώστου x , με βάση τους **συντελεστές** στη χημική εξίσωση. Στα αντιδρώντα βάζουμε αρνητικό πρόσημο επειδή καταναλώνονται και στα προϊόντα θετικό γιατί παράγονται.

Στην τρίτη σειρά γράφουμε τα mol που αντιστοιχούν σε **$t = 2 \text{ min}$** και προκύπτουν από το άθροισμα της στήλης κάθε ουσίας.

Γνωρίζουμε πως τη χρονική στιγμή $t = 2 \text{ min}$ υπάρχουν στο δοχείο 2 mol F_2 και 4 mol ClF_3 .

(mol)	$\text{Cl}_2(g)$	$+ 3 \text{F}_2(g)$	$\rightarrow 2 \text{ClF}_3(g)$

(mol)	$\text{Cl}_2(g)$	$+ 3 \text{F}_2(g)$	$\rightarrow 2 \text{ClF}_3(g)$
Αρχικά	3	n	–
Μεταβολή			

(mol)	$\text{Cl}_2(g)$	$+ 3 \text{F}_2(g)$	$\rightarrow 2 \text{ClF}_3(g)$
Αρχικά	3	n	–
Μεταβολή	$-x$	$-3x$	$+2x$

(mol)	$\text{Cl}_2(g)$	$+ 3 \text{F}_2(g)$	$\rightarrow 2 \text{ClF}_3(g)$
Αρχικά	3	n	–
Μεταβολή	$-x$	$-3x$	$+2x$
$t = 2 \text{ min}$	$3-x$	$n-3x$	$2x$

Στην $t = 2 \text{ min}$ ισχύει: για το ClF_3 : $2x = 4$
και για το F_2 : $n - 3x = 2$.
Οπότε: $x = 2$ και $n = 8$.
Άρα, αρχικά τοποθετήσαμε 8 mol F_2 .

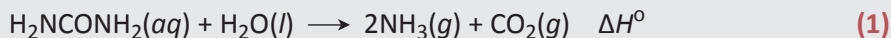
Έλεγχος

Μπορεί να γίνει ένας μικρός έλεγχος υπολογίζοντας την τελική ποσότητα του Cl_2 , η οποία δεν πρέπει να έχει αρνητική τιμή. $n(\text{Cl}_2)_{2\text{min}} = 1 \text{ mol} > 0$.

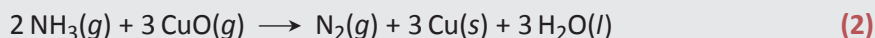
Παράδειγμα 4.5

Υπολογισμός μέσης ταχύτητας με πινακάκι

Η ουρία (H_2NCONH_2) αντιδρά με νερό (H_2O) σε κατάλληλες συνθήκες και πραγματοποιείται η αντίδραση που παριστάνεται με τη θερμοχημική εξίσωση (1):



Αντιδρούν 0,1 mol ουρίας (σημ.: δεδομένο που υπολογίστηκε σε προηγούμενο ερώτημα της άσκησης) σύμφωνα με τη θερμοχημική εξίσωση (1) και η αμμωνία (NH_3) που παράγεται διαβιβάζεται σε δοχείο όγκου 0,5 L και αντιδρά με περίσσεια οξειδίου του χαλκού (CuO), οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση που παριστάνεται με την εξίσωση (2):



Σε χρόνο $t = 10\text{ s}$ έχει διασπαστεί το 20% της ποσότητας αμμωνίας (NH_3).

Να προσδιορίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης και τη μέση ταχύτητα κατανάλωσης της αμμωνίας (NH_3) στο χρονικό διάστημα των 10 s. (Πανελλαδικές εξετάσεις 2023)

Ανάλυση

Μας δίνεται η ποσότητα ουρίας που αντιδρά για την παραγωγή αμμωνίας, το % ποσοστό της NH_3 που διασπάται στη συνέχεια, σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, και μας ζητείται η μέση ταχύτητα της αντίδρασης και η μέση ταχύτητα κατανάλωσης της NH_3 .

Δεδομένα: $n_{\text{ουρ}} = 0,1\text{ mol}$
 $V = 0,5\text{ L}$
 $t = 10\text{ s}$
 Διάσπαση NH_3 : 20%

Ζητούμενα: $u = ?$
 $u(\text{NH}_3) = ?$

Στρατηγική

Με τη βοήθεια της χημικής εξίσωσης (1) θα υπολογίσουμε τα mol της NH_3 που παράγονται. Στη συνέχεια, από τη στοιχειομετρία της χημικής εξίσωσης (2) θα υπολογίσουμε τα mol της NH_3 που καταναλώνονται, για να υπολογίσουμε τη $\Delta[\text{NH}_3]$ και τις ταχύτητες που ζητούνται.

Λύση

Αρχικά, θα υπολογίσουμε την ποσότητα της NH_3 που παράγεται σύμφωνα με τη στοιχειομετρία της χημικής εξίσωσης (1).

$\text{NH}_2\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$	
1 mol	2 mol
0,1 mol	$x = 0,2\text{ mol}$

Καταστρώνουμε πινακάκι κάτω από τη χημική εξίσωση (2) για να συμβολίσουμε τα mol της NH_3 που αντιδρούν και που υπάρχουν στα 10 s.

(mol)	$2\text{NH}_3 + 3\text{CuO} \longrightarrow \text{N}_2 + 3\text{Cu} + 3\text{H}_2\text{O}$
Αρχικά	0,2
Αντιδρούν	$-2x$
$t = 10\text{ s}$	$0,2 - 2x$

Υπολογίζουμε τα mol της NH_3 που καταναλώθηκαν στα 10 s.

Το ποσοστό της NH_3 που διασπάται είναι αυτό που αντιδρά. Οπότε:

$$2x = 0,2 \cdot 20\% = 0,04$$

Υπολογίζουμε τα mol στα 10 s.

$$\text{Οπότε: } 0,2 - 0,04 = 0,16.$$

Υπολογίζουμε την u .

$$u = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NH}_3]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \frac{0,16 - 0,2}{10\text{ s}} \text{ M} = 0,004 \text{ M/s}$$

Υπολογίζουμε την $v(\text{NH}_3)$.

$$v(\text{NH}_3) = -\frac{\Delta[\text{NH}_3]}{\Delta t} = -\frac{0,16 - 0,2}{10\text{s}} \text{ M} = 0,008 \text{ M/s}$$

Έλεγχος

Από τη στοιχειομετρία της εξίσωσης προκύπτει ότι $v(\text{NH}_3) = 2v$. Οπότε, οι τιμές των δύο ταχυτήτων που υπολογίσαμε είναι σε συμφωνία μεταξύ τους.

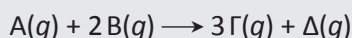


Επειδή πολλές φορές οι υποψήφιοι –ορθώς– καταστρώνουν πινακάκι με mol για τον υπολογισμό των τελικών ποσοτήτων, στη συνέχεια στον υπολογισμό της ταχύτητας ξεχνούν να διαιρέσουν τα mol (που βρήκαν στο πινακάκι) με τον όγκο (για να υπολογίσουν τη συγκέντρωση) και έτσι υπολογίζουν λανθασμένα την ταχύτητα.

Παράδειγμα 4.6

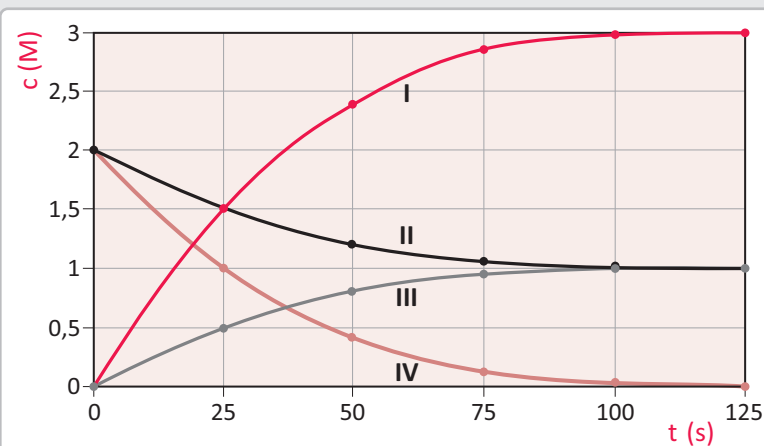
Καμπύλη Συγκέντρωσης – Χρόνου

Οι γραφικές παραστάσεις συγκέντρωσης (c) – χρόνου (t) των σωμάτων που συμμετέχουν στη χημική αντίδραση:



παρουσιάζονται στις καμπύλες I-IV στο διπλανό διάγραμμα.

Να αιτιολογήσετε σε ποια ουσία ανήκει κάθε καμπύλη του διαγράμματος.



Ανάλυση

Μας δίνονται σε κοινό διάγραμμα τέσσερις καμπύλες, μία για κάθε ουσία μιας χημικής εξίσωσης και μας ζητείται να βρούμε ποια καμπύλη αντιστοιχεί σε ποια ουσία.

Στρατηγική

Με τη βοήθεια του διαγράμματος θα υπολογίσουμε τις μεταβολές των συγκεντρώσεων από την αρχή της αντίδρασης μέχρι το τέλος της και με βάση τη στοιχειομετρία θα αντιστοιχήσουμε τις καμπύλες στις ουσίες. Αρχικά, θα διαχωρίσουμε τις καμπύλες σε αυτές που αναφέρονται στα αντιδρώντα και σε αυτές που αναφέρονται στα προϊόντα.

Λύση

Οι καμπύλες II και IV αποτυπώνουν μείωση της συγκέντρωσης με την πάροδο του χρόνου, άρα αναφέρονται στα αντιδρώντα. Αντίθετα, οι καμπύλες I και III αποτυπώνουν αύξηση της συγκέντρωσης με την πάροδο του χρόνου, άρα αναφέρονται στα προϊόντα.

Οι απόλυτες τιμές των μεταβολών των συγκεντρώσεων ($|\Delta c|$), από την αρχή έως το τέλος της αντίδρασης, που αποτυπώνουν οι καμπύλες II και IV είναι 1 M και 2 M, αντίστοιχα. Οι μεταβολές καθορίζονται από τους συντελεστές της χημικής εξίσωσης, οπότε η ουσία της οποίας η Δc αποτυπώνεται στην καμπύλη IV θα έχει διπλάσιο συντελεστή στη χημική εξίσωση από την ουσία της οποίας η Δc

αποτυπώνεται στην καμπύλη II. Άρα η καμπύλη II αντιστοιχεί στο αντιδρών A και η καμπύλη IV στο αντιδρών B.

Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων (Δc), από την αρχή έως το τέλος της αντίδρασης, που αποτυπώνονται οι καμπύλες I και III είναι 3 M και 1 M, αντίστοιχα. Οι μεταβολές καθορίζονται από τους συντελεστές της χημικής εξίσωσης, οπότε η ουσία της οποίας η Δc αποτυπώνεται στην καμπύλη I θα έχει τριπλάσιο συντελεστή στη χημική εξίσωση από την ουσία, της οποίας η Δc αποτυπώνεται στην καμπύλη III. Άρα, η καμπύλη I αντιστοιχεί στο προϊόν Γ και η καμπύλη III στο προϊόν Δ.

Έλεγχος

Ο λόγος $\Delta[A]/\Delta[B] = 1/2$ είναι ίδιος με τον λόγο των συντελεστών των ουσιών A και B στη χημική εξίσωση. Επίσης, ο λόγος $\Delta[\Gamma]/\Delta[\Delta] = 3/1$ είναι ίδιος με τον λόγο των συντελεστών των ουσιών Γ και Δ στην χημική εξίσωση, άρα είμαστε σωστοί.



ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΟ
ΛΑΘΟΣ

Αρκετά συχνά οι υποψήφιοι υπολογίζουν την ταχύτητα με βάση τη συγκέντρωση ενός αέριου (π.χ. H_2) που παράγεται σε μια αντίδραση. Όμως αν κάποιο από τα αντιδρώντα είναι διάλυμα, ο όγκος που θα δίνεται στην εκφώνηση (π.χ. 100 mL) θα αφορά τον όγκο του υγρού διαλύματος και όχι τον όγκο του δοχείου στο οποίο εκλύεται το αέριο (αν είναι κλειστό το δοχείο). Οπότε, αυτός ο τρόπος υπολογισμού είναι λανθασμένος, γιατί εφόσον δεν γνωρίζουμε τον όγκο που βρίσκεται το αέριο, δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τη συγκέντρωσή του.

Παράδειγμα 4.7

Υπολογισμός μέσης ταχύτητας μέσω καμπύλης

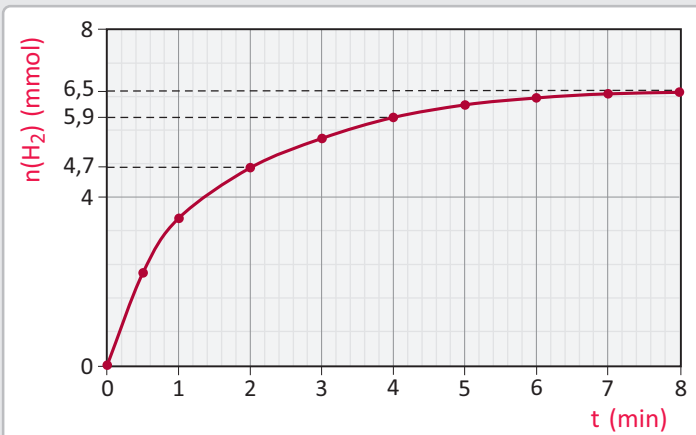
Σε 100 mL υδατικού διαλύματος HCl, προσθέτουμε περίσσεια Zn και λαμβάνει χώρα η αντίδραση:



Κατά τη διάρκεια του πειράματος, υπολογίστηκε η ποσότητα (σε mmol) του εκλυόμενου H_2 σε διάφορες χρονικές στιγμές και κατασκευάστηκε η διπλανή γραφική παράσταση.

Με τη βοήθεια της γραφικής παράστασης, να υπολογίσετε:

- τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για όλη τη διάρκεια της αντίδρασης (έως τα 8 min).
- τον ρυθμό παραγωγής του $ZnCl_2$ για το χρονικό διάστημα 2 min – 4 min.



Ανάλυση

Μας δίνεται το διάγραμμα της παραγόμενης ποσότητας H_2 με τον χρόνο, από την αντίδραση του Zn με το HCl, και μας ζητείται να υπολογίσουμε τη μέση ταχύτητα από την αρχή μέχρι το τέλος της αντίδρασης και τον ρυθμό παραγωγής του $ZnCl_2$ για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Δεδομένα:

- $n_{0\min} = 0 \text{ mmol}$
- $n_{2\min} = 4,7 \text{ mmol}$
- $n_{4\min} = 5,9 \text{ mmol}$
- $n_{8\min} = 6,5 \text{ mmol}$

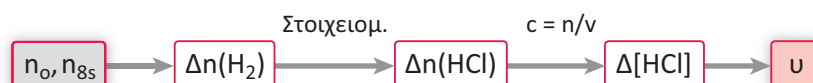
Ζητούμενα:

- $v_{0-8\min} = ?$
- $v(ZnCl_2)_{2-4\min} = ?$

Στρατηγική

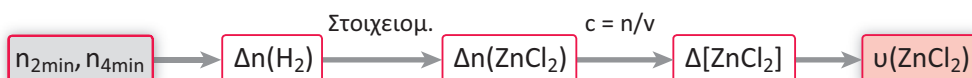
- α.** Με τη βοήθεια του διαγράμματος θα βρούμε τη μεταβολή των mmol του H_2 για τα πρώτα 8 min. Στη συνέχεια, μέσω της στοιχειομετρίας της αντίδρασης, θα υπολογίσουμε τη μεταβολή των mmol του HCl στο ίδιο χρονικό διάστημα, γιατί το H_2 είναι αέριο και δεν γνωρίζουμε τον όγκο που θα βρεθεί για να υπολογίσουμε τη συγκέντρωσή του. Ακολουθώντας, διαιρώντας τη μεταβολή των mmol HCl με τον όγκο του διαλύματος θα υπολογίσουμε τη μεταβολή της συγκέντρωσης του HCl, $\Delta[HCl]$ στο χρόνο Δt . Τέλος, από τον τύπο $u = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[HCl]}{\Delta t}$ θα υπολογίσουμε την ταχύτητα της αντίδρασης.

Μονοπάτι σκέψης



- β.** Θα ακολουθήσουμε παρόμοια διαδικασία με το ερώτημα **α**, αλλά για το χρονικό διάστημα 2 min – 4 min. Ο ρυθμός παραγωγής του $ZnCl_2$ θα δοθεί από τον τύπο $u(ZnCl_2) = \frac{\Delta[ZnCl_2]}{\Delta t}$.

Μονοπάτι σκέψης



Λύση

- α.** Από το διάγραμμα παρατηρούμε πως τη χρονική στιγμή $t=0$ min, τα mol του H_2 είναι 0 και τη χρονική στιγμή $t=8$ min είναι 6,5 mmol, οπότε υπολογίζουμε το $\Delta n(H_2)_{0-8\text{min}}$.

Από τη στοιχειομετρία της αντίδρασης υπολογίζουμε το Δn για το HCl στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Μετατρέπουμε τα mL σε L.

Υπολογίζουμε τη $\Delta[HCl]_{0-8\text{min}}$.

Τέλος, υπολογίζουμε την u .

$$n_0 = 0 \text{ mmol}, \quad n_{8s} = 6,5 \text{ mmol}$$

$$\text{Οπότε: } \Delta n(H_2)_{0-8\text{min}} = (6,5 - 0) \text{ mmol} \\ = 6,5 \text{ mmol}$$



$$2 \text{ mol} \qquad \qquad \qquad 1 \text{ mol}$$

$$x = 13 \text{ mmol} \qquad \qquad \qquad 6,5 \text{ mmol}$$

$$V = 100 \text{ mL} = 100 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 0,1 \text{ L.}$$

$$\Delta[HCl] = \frac{\Delta n}{V} = \frac{-13 \text{ mmol}}{0,1 \text{ L}} = -130 \text{ mM.}$$

$$u = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[HCl]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \frac{-130 \text{ mM}}{(8 - 0) \text{ min}} \\ = 8,125 \cdot 10^{-3} \text{ M/min.}$$

- β.** Από το διάγραμμα παρατηρούμε πως τη χρονική στιγμή $t=2$ min, τα mol του H_2 είναι 4,7 mmol και τη χρονική στιγμή $t=4$ min 5,9 mmol, οπότε υπολογίζουμε το $\Delta n(H_2)_{2-4\text{min}}$.

Από τη στοιχειομετρία της αντίδρασης υπολογίζουμε το Δn για το $ZnCl_2$ στο ίδιο χρονικό διάστημα.

$$n_{2s} = 4,7 \text{ mmol}, \quad n_{4s} = 5,9 \text{ mmol}$$

$$\text{Οπότε: } \Delta n(H_2)_{2-4\text{min}} = (5,9 - 4,7) \text{ mmol} \\ = 1,2 \text{ mmol}$$



$$1 \text{ mol} \qquad \qquad \qquad 1 \text{ mol}$$

$$y = 1,2 \text{ mmol} \qquad \qquad \qquad 1,2 \text{ mmol}$$

Υπολογίζουμε τη $\Delta[\text{ZnCl}_2]_{2-4\text{min}}$

$$\Delta[\text{ZnCl}_2]_{2-4\text{min}} = \frac{\Delta n}{V} = \frac{1,2 \text{ mmol}}{0,1 \text{ L}} = 12 \text{ mM}$$

Τέλος, υπολογίζουμε την $v(\text{ZnCl}_2)_{2-4\text{min}}$.

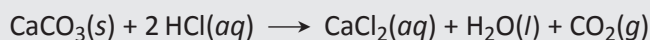
$$v(\text{ZnCl}_2)_{2-4\text{min}} = \frac{\Delta[\text{ZnCl}_2]}{\Delta t} = \frac{12 \text{ mM}}{(4 - 2) \text{ min}}$$

$$= 6 \cdot 10^{-3} \text{ M/min.}$$

Παράδειγμα 4.8

Πειραματική μέτρηση ταχύτητας αντίδρασης

Σε μια ανοιχτή κωνική φιάλη τοποθετούμε 100 mL HCl 1 M και στη συνέχεια προσθέτουμε ποσότητα CaCO_3 , οπότε πραγματοποιείται αντίδραση που περιγράφεται από τη χημική εξίσωση:



Να προτείνετε δύο διαφορετικές πειραματικές μετρήσεις που μπορούμε να πραγματοποιήσουμε, έτσι ώστε να υπολογίσουμε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης.

Ανάλυση

Μας δίνεται η χημική εξίσωση μιας αντίδρασης και μας ζητείται να βρούμε δύο διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους θα μπορούσαμε να προσδιορίσουμε πειραματικά την ταχύτητα της αντίδρασης.

Στρατηγική

Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης μπορεί να εκφραστεί μόνο από τα υδατικά διαλύματα των HCl και CaCl_2 , γιατί μόνο σε αυτά αλλάζει η συγκέντρωση καθώς εξελίσσεται η αντίδραση. Το CaCO_3 είναι στερεό και το H_2O είναι καθαρό υγρό, οπότε έχουν σταθερές συγκεντρώσεις. Επίσης, το CO_2 είναι αέριο και το πείραμα γίνεται σε ανοιχτή φιάλη, οπότε δεν θα βρίσκεται σε ορισμένο όγκο για να υπολογίσουμε τη συγκέντρωσή του. Συνεπώς, θα πρέπει άμεσα ή έμμεσα να βρούμε πώς μεταβάλλονται οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων των HCl και CaCl_2 .

Λύση

1^{ος} τρόπος.

Η μοναδική ουσία που επηρεάζει το pH του διαλύματος είναι το HCl, οπότε μπορούμε να μετράμε το pH σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και από την τιμή του να προσδιορίζουμε την εκάστοτε [HCl].

Στη συνέχεια, θα υπολογίσουμε την v από την εξίσωση $v = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{HCl}]}{\Delta t}$.

2^{ος} τρόπος.

Το CO_2 είναι αέριο και εκλύεται από το διάλυμα προς το περιβάλλον. Αν εκτελέσουμε το πείραμα πάνω σε ζυγό, η μείωση της μάζας του διαλύματος θα αντιστοιχεί στη μάζα του παραγόμενου CO_2 . Από τη μάζα του CO_2 που παράγεται, μπορούμε να υπολογίσουμε τα mol του CO_2 και από τη στοιχειομετρία της αντίδρασης τα mol του παραγόμενου CaCl_2 . Επειδή γνωρίζουμε ότι ο όγκος του διαλύματος είναι 100 mL, μπορούμε να υπολογίσουμε την $[\text{CaCl}_2]$ και πώς αυτή μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Οπότε, θα υπολογίσουμε την v από την εξίσωση $v = \frac{\Delta[\text{CaCl}_2]}{\Delta t}$.

Ερωτήσεις – Ασκήσεις – Προβλήματα

Ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών

Στις ακόλουθες ερωτήσεις να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

1. Δεν αποτελεί αντικείμενο της χημικής κινητικής:

- α.** η μέτρηση της ταχύτητας μιας χημικής αντίδρασης.
- β.** η εύρεση των ταχυτήτων με τις οποίες κινούνται τα μόρια των αντιδρώντων.
- γ.** η μελέτη των παραγόντων που μεταβάλλουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης.
- δ.** σε πόσα στάδια ένα χημικό σύστημα μεταβαίνει από την αρχική στην τελική κατάσταση.

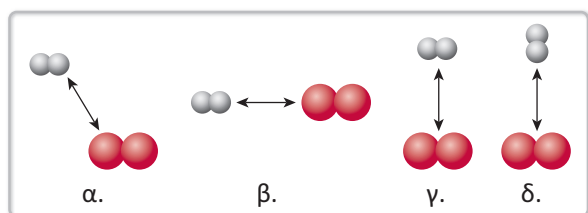
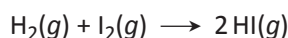
2. Τι πρέπει να ισχύει για την ενέργεια δύο μορίων για να υπάρξει αποτελεσματική σύγκρουση μεταξύ τους;

- α.** Να έχουν ίδια ενέργεια.
- β.** Να έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από την $|\Delta H|$ της αντίδρασης.
- γ.** Να έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης.
- δ.** Το ένα μόριο να έχει μεγαλύτερη ενέργεια από το άλλο.

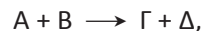
3. Με βάση τη θεωρία των συγκρούσεων, ποια από τις ακόλουθες χημικές αντιδράσεις είναι ευκολότερο να πραγματοποιηθεί όσον αφορά τον προσανατολισμό των αντιδρώντων μορίων;

- α.** $\text{Cl} + \text{Cl} \rightarrow \text{Cl}_2$
- β.** $\text{Cl} + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}$
- γ.** $\text{H}_2 + \text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_3$
- δ.** Όλες έχουν την ίδια ευκολία.

4. Με την προϋπόθεση ότι τα μόρια έχουν την κατάλληλη ταχύτητα, ποια από τις παρακάτω συγκρούσεις μπορεί να οδηγήσει σε προϊόν, για τη χημική αντίδραση που δίνεται από τη χημική εξίσωση:



5. Σ' ένα παλιό βιβλίο που έχουν φθαρεί κάποιες σελίδες, διαβάζετε ότι για την αντίδραση



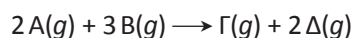
ένα μέγεθος έχει την τιμή -50 . Σε ποιο μέγεθος μπορεί να αναφέρεται η τιμή;

- α.** Στην ταχύτητα της αντίδρασης.
- β.** Στη ΔH της αντίδρασης.
- γ.** Στην E_a της αντίδρασης.
- δ.** Στην ταχύτητα κατανάλωσης ενός αντιδρώντος.

6. Η ταχύτητα της αντίδρασης $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{Γ}$, εκφράζει:

- α.** τον ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται η μάζα του Γ.
- β.** τον ρυθμό με τον οποίο αυξάνονται τα mol του Γ.
- γ.** το πηλίκο της μεταβολής των mol ενός αντιδρώντος ή προϊόντος προς τον αντίστοιχο χρόνο.
- δ.** την απόλυτη τιμή του ρυθμού μεταβολής της συγκέντρωσης του Α.

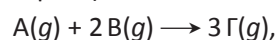
7. Σε κενό δοχείο σταθερού όγκου εισάγονται ισομοριακές ποσότητες από τις χημικές ουσίες Α και Β και πραγματοποιείται η αντίδραση:



Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης αυτής:

- α.** οι συγκεντρώσεις των Α και Β ελαττώνονται με τον ίδιο ρυθμό.
- β.** η συγκέντρωση της Δ αυξάνεται με σταθερό ρυθμό.
- γ.** η συγκέντρωση του Β ελαττώνεται με τριπλάσιο ρυθμό από τη συγκέντρωση του Α.
- δ.** η συγκέντρωση του Β ελαττώνεται με φθίνοντα ρυθμό και τελικά μηδενίζεται.

8. Για την αντίδραση:



η ταχύτητα κατανάλωσης του Α είναι:

- α.** διπλάσια από την ταχύτητα κατανάλωσης του Β.
- β.** τριπλάσια από την ταχύτητα παραγωγής του Γ.
- γ.** υποτριπλάσια από την ταχύτητα παραγωγής του Γ.
- δ.** διπλάσια από την ταχύτητα της αντίδρασης.

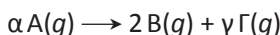
9. Κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της αντίδρασης



σε κλειστό δοχείο σταθερού όγκου, ο λόγος του ρυθμού μεταβολής της συγκέντρωσης του Α προς τον ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του Β έχει τιμή:

- α.** $-3/2$
- β.** $-2/3$
- γ.** $3/2$
- δ.** $2/3$

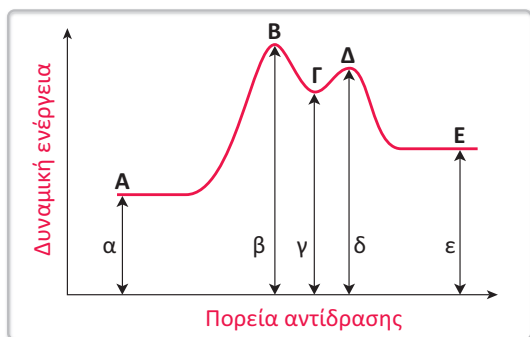
10. Για τη χημική εξίσωση:



Η ταχύτητα παραγωγής του Γ είναι ίση με την ταχύτητα παραγωγής του Β και η ταχύτητα κατανάλωσης του Α είναι η μισή από την ταχύτητα παραγωγής του Β. Συνεπώς, οι συντελεστές α και γ θα έχουν τις τιμές, αντίστοιχα:

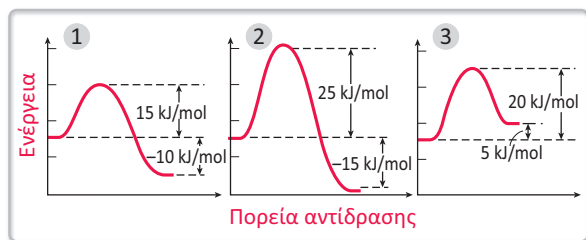
- α. 1 και 1. β. 1 και 2.
γ. 2 και 1. δ. 2 και 2.

11. Ποια από τις ακόλουθες προτάσεις είναι σωστή για την παρακάτω καμπύλη της αντίδρασης $A \rightarrow E$;



- α. Τα Β, Γ και Δ αποτελούν ενεργοποιημένα σύμπλοκα της αντίδρασης $A \rightarrow E$.
β. Οι τιμές της E_a των αντιδράσεων $A \rightarrow \Gamma$ και $\Gamma \rightarrow A$ είναι ίσες.
γ. Η ΔH της αντίδρασης $A \rightarrow E$ βρίσκεται από τη διαφορά $\varepsilon - \alpha$.
δ. Η αντίδραση $E \rightarrow A$ είναι ενδόθερμη.

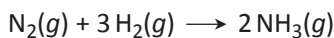
12. Δίνονται τα ακόλουθα τρία ενεργειακά διαγράμματα για τρεις διαφορετικές αντιδράσεις:



Ποια από τις τρεις αντιδράσεις είναι ταχύτερη;

- α. Η 1η β. Η 2η γ. Η 3η
δ. Όλες έχουν την ίδια ταχύτητα.

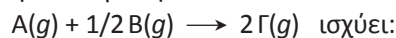
13. Αν για την αντίδραση:



η ταχύτητα κατανάλωσης του υδρογόνου είναι 0,150 M/s, η ταχύτητα παραγωγής της αμμωνίας είναι:

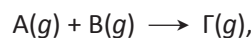
- α. 0,100 M/s β. 0,150 M/s
γ. 0,225 M/s δ. 0,300 M/s

14. Για την αντίδραση:



- α. $u_A = u_B$ β. $u_A = u_\Gamma$
γ. $2 u_A = u_B$ δ. $4 u_B = u_\Gamma$

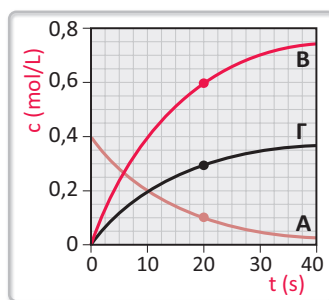
15. Κατά την πορεία της αντίδρασης:



η συγκέντρωση του Γ:

- α. αυξάνεται με φθίνοντα ρυθμό.
β. μειώνεται με σταθερό ρυθμό.
γ. αυξάνεται με σταθερό ρυθμό.
δ. παραμένει σταθερή.

16. Στο παρακάτω διάγραμμα



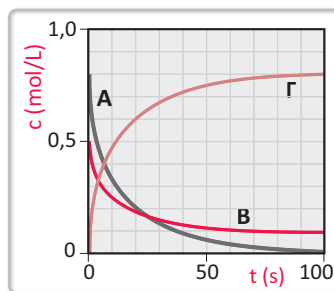
i) αντιστοιχεί η εξίσωση:

- α. $A(g) \rightarrow 2 B(g) + 2 \Gamma(g)$
β. $A(g) \rightarrow 1/2 B(g) + \Gamma(g)$
γ. $A(g) \rightarrow 2 B(g) + \Gamma(g)$
δ. $2 A(g) \rightarrow B(g) + \Gamma(g)$

ii) τη χρονική στιγμή $t = 20$ s

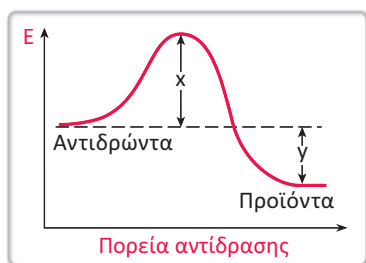
- α. $[A] = [A]_0/2$
β. $[A] = 3[\Gamma]$
γ. $[B] = [\Gamma]/2$
δ. $[B] = 3/2 [A]_0$

17. Για τη χημική αντίδραση που αντιστοιχεί στο παρακάτω διάγραμμα ισχύει:



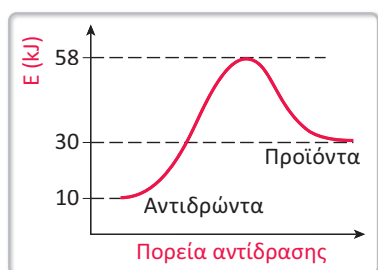
- α. σε όλη τη διάρκεια της αντίδρασης $[A] > [B]$.
β. οι ουσίες Α και Β καταναλώνονται με τον ίδιο ρυθμό.
γ. στα 100 δευτερόλεπτα τελειώνει η αντίδραση.
δ. παράγονται δύο προϊόντα.

18. Για το διάγραμμα που δίνεται:



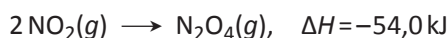
ποια από τις ακόλουθες σχέσεις είναι σωστή;
α. $\Delta H + y = 0$ **β.** $E_a = y$ **γ.** $E_a = x + y$ **δ.** $\Delta H + y = x$

19. Για το ακόλουθο ενεργειακό διάγραμμα:

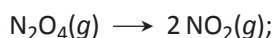


- i) η E_a της αντίδρασης ισούται με:
α. $E_a = 30 \text{ kJ}$ **β.** $E_a = 28 \text{ kJ}$
γ. $E_a = 20 \text{ kJ}$ **δ.** $E_a = 48 \text{ kJ}$
- ii) η ΔH της αντίδρασης ισούται με:
α. 10 kJ **β.** -20 kJ
γ. 20 kJ **δ.** -10 kJ

20. Αν για την αντίδραση:



ισχύει $E_a = 3,2 \text{ kJ}$, ποια είναι η E'_a της αντίδρασης



- α.** $3,2 \text{ kJ}$ **β.** $57,2 \text{ kJ}$ **γ.** $54,0 \text{ kJ}$ **δ.** $50,8 \text{ kJ}$

21. Δίνονται οι παρακάτω τιμές για τέσσερις αντιδράσεις για τις οποίες όλοι οι παράγοντες σύγκρουσης είναι μεταξύ τους όμοιοι. Ποια από όλες θα πραγματοποιηθεί πιο αργά;

- α.** $E_a = 40 \text{ kJ}, \Delta H = -10 \text{ kJ}$ **β.** $E_a = 50 \text{ kJ}, \Delta H = 40 \text{ kJ}$
γ. $E_a = 25 \text{ kJ}, \Delta H = -30 \text{ kJ}$ **δ.** $E_a = 35 \text{ kJ}, \Delta H = 10 \text{ kJ}$

22. Για την αντίδραση: $2 \text{CH}_2=\text{CH}_2(g) \rightarrow \text{C}_4\text{H}_8(g)$ έχουμε αρχικά μέγιστη ταχύτητα, η οποία μειώνεται συνεχώς. Αν στα 40 s έχουν σχηματιστεί 0,30 mol προϊόντος. Πόσα mol θα έχουν σχηματιστεί στα 20 s;

- α.** 0,15 mol.
β. περισσότερα από 0,15 mol.
γ. λιγότερα από 0,15 mol.
δ. λιγότερα από 0,10 mol.

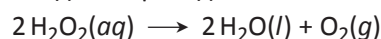
Ερωτήσεις Σωστού-Λάθους με αιτιολόγηση

23. Να αιτιολογήσετε αν οι ακόλουθες προτάσεις είναι σωστές ή λανθασμένες.

- Για να γίνει μία επιτυχής χημική αντίδραση τα μόρια πρέπει να συγκρουστούν με κατάλληλη ταχύτητα και σωστό προσανατολισμό.
- Η E_a είναι η διαφορά μεταξύ της ενθαλπίας των αντιδρώντων και των προϊόντων.
- Αν μία αντίδραση έχει μεγάλη τιμή E_a , σημαίνει ότι αυτή εξελίσσεται πιο αργά από μία άλλη αντίδραση που έχει μικρότερη τιμή E_a .
- Το ενεργοποιημένο σύμπλοκο έχει ενέργεια πάντα μεγαλύτερη από τα αντιδρώντα.
- Οι περισσότερες συγκρούσεις μεταξύ των μορίων των αντιδρώντων είναι αποτελεσματικές.

24. Να αιτιολογήσετε αν οι ακόλουθες προτάσεις είναι σωστές ή λανθασμένες.

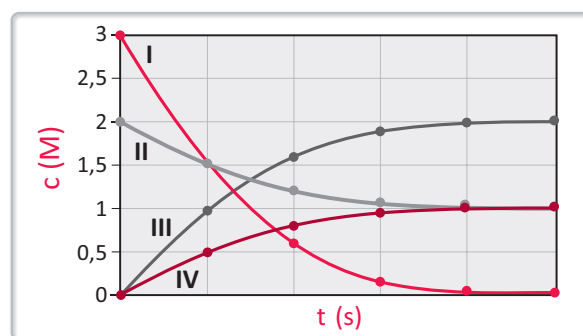
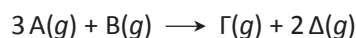
- Η θεωρία των συγκρούσεων έρχεται σε αντίθεση με τη θεωρία της μεταβατικής κατάστασης.
- Το ενεργοποιημένο σύμπλοκο είναι ένα σταθερό προϊόν της αντίδρασης.
- Για κάθε εξώθερμη αντίδραση ισχύει: $E_a = |\Delta H|$.
- Αν τα αντιδρώντα σε μια αντίδραση είναι αέρια, οι συγκεντρώσεις τους ελαττώνονται με τον ίδιο ρυθμό.
- Μπορούμε να υπολογίσουμε πειραματικά την ταχύτητα της αντίδρασης:



μετρώντας τη μάζα του εκλυόμενου O_2 συναρτήσει του χρόνου.

Ερωτήσεις ανάπτυξης

25. Τα αέρια A και B αντιδρούν παράγοντας τα αέρια Γ και Δ σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

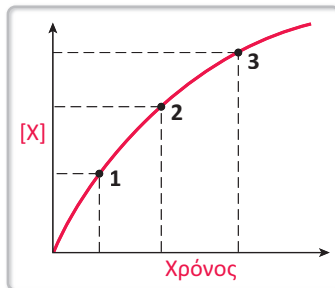


Να βρείτε σε ποια χημική ουσία της χημικής εξίσωσης που δίνεται, αντιστοιχεί κάθε καμπύλη του

διαγράμματος c-t. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

26. Ένας φοιτητής ισχυρίζεται πως σε γενικές γραμμές μία αντίδραση στην οποία συγκρούονται δύο μόρια, γίνεται γρηγορότερα από μία άλλη αντίδραση (στις ίδιες συνθήκες) στην οποία συγκρούονται τρία μόρια. Να αιτιολογήσετε αν είναι σωστός ο ισχυρισμός του.

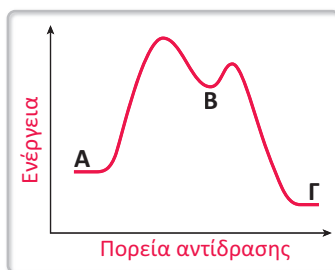
27. Δίνεται η παρακάτω καμπύλη για την αντίδραση $A(g) \rightarrow X(g)$.



Να απαντήσετε με αιτιολόγηση, στις ακόλουθες ερωτήσεις:

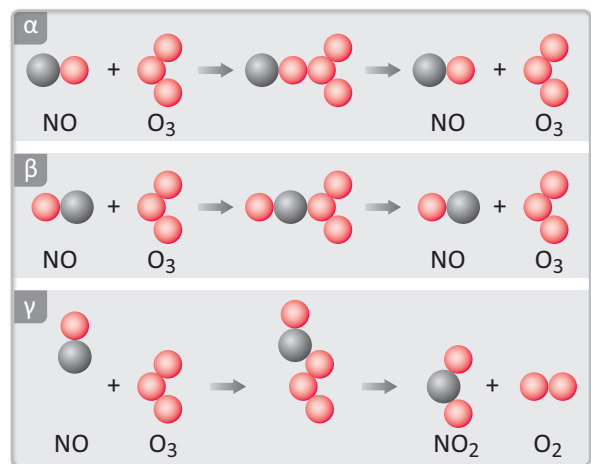
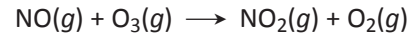
- α)** Η μέση ταχύτητα είναι μεγαλύτερη μεταξύ των σημείων 1 και 2 ή των 2 και 3;
β) Σε ποιο από τα τρία σημεία 1, 2, 3, είναι μεγαλύτερη η συγκέντρωση του X;
γ) Σε ποιο από τα τρία σημεία 1, 2, 3, έχει μεγαλύτερη τιμή η στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης;

28. Με βάση το παρακάτω διάγραμμα να απαντήσετε με αιτιολόγηση:



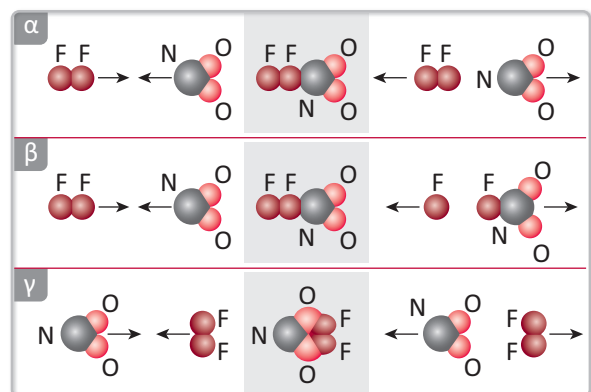
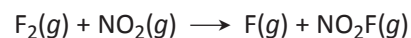
- α)** Πόσα ενεργοποιημένα σύμπλοκα σχηματίζονται στην αντίδραση $A \rightarrow \Gamma$;
β) Το στάδιο $A \rightarrow B$ ή το $B \rightarrow \Gamma$ είναι ταχύτερο;
γ) Η αντίδραση $\Gamma \rightarrow A$ είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη;

29. Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνονται τρεις διαφορετικές συγκρούσεις μορίων που αφορούν την αντίδραση:



Να αιτιολογήσετε γιατί μόνο η σύγκρουση (γ) είναι αποτελεσματική.

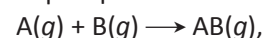
30. Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνονται τρεις διαφορετικές συγκρούσεις μορίων που αφορούν την αντίδραση:



Να αιτιολογήσετε ποια από τις τρεις συγκρούσεις είναι αποτελεσματική και γιατί οι άλλες δύο δεν είναι αποτελεσματικές.

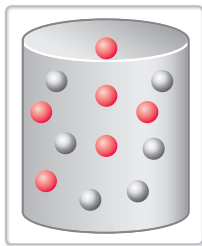
31. Η αντίδραση του βουτανίου, που περιέχεται στα γκαζάκια, με το O_2 της ατμόσφαιρας είναι ισχυρά εξώθερμη. Ωστόσο, αν απλά ανοίξουμε τη στρόφιγγα από ένα γκαζάκι, δεν θα παρατηρήσουμε καύση. Χρειαζόμαστε τη βοήθεια ενός σπρίττου για να ξεκινήσει η αντίδραση του βουτανίου με το O_2 . Να αιτιολογήσετε για ποιον λόγο είναι απαραίτητο το σπρίττο.

32. Για την αντίδραση

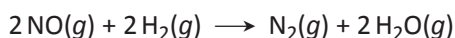


για το πρώτο λεπτό η μέση ταχύτητα είναι 0,05 M/s.

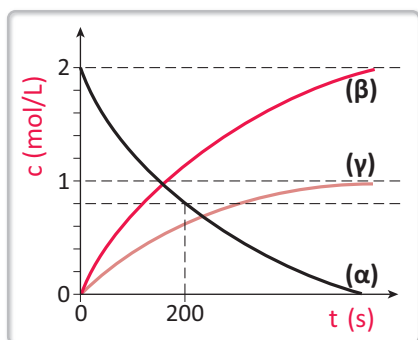
Αν στο διπλανό κλειστό δοχείο, όγκου 1 L, τοποθετήσουμε τις ουσίες Α και Β, όπως φαίνεται στην εικόνα, να σχεδιάσετε την εικόνα του δοχείου μόλις συμπληρωθεί ένα λεπτό. Σημειώνεται πως κάθε σφαίρα αντιστοιχεί σε 1 mol ουσίας.



33. Δίνεται η μονόδρομη αντίδραση:



Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η μεταβολή των συγκεντρώσεων των σωμάτων που μετέχουν σε αυτή, σε συνάρτηση με τον χρόνο. Δίνεται ότι οι αρχικές συγκεντρώσεις NO και H₂ είναι ίδιες και η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.



α. Να αντιστοιχίσετε τις καμπύλες α, β, γ με καθένα από τα σώματα που συμμετέχουν στην αντίδραση. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

β. Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης τα πρώτα 200 s είναι:

i) $2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}\cdot\text{s}$

ii) $3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}\cdot\text{s}$

iii) $6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}\cdot\text{s}$

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

γ. Ο ρυθμός σχηματισμού του H₂O τα πρώτα 200 s είναι:

i) $2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}\cdot\text{s}$

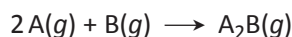
ii) $3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}\cdot\text{s}$

iii) $6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}\cdot\text{s}$

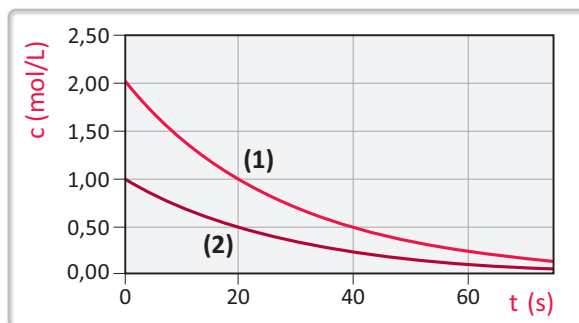
Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

(Πανελλαδικές εξετάσεις 2017)

34. Σε ένα δοχείο όγκου V και σταθερής θερμοκρασίας T εισάγονται τα αέρια Α και Β, οπότε λαμβάνει χώρα η ακόλουθη αντίδραση:

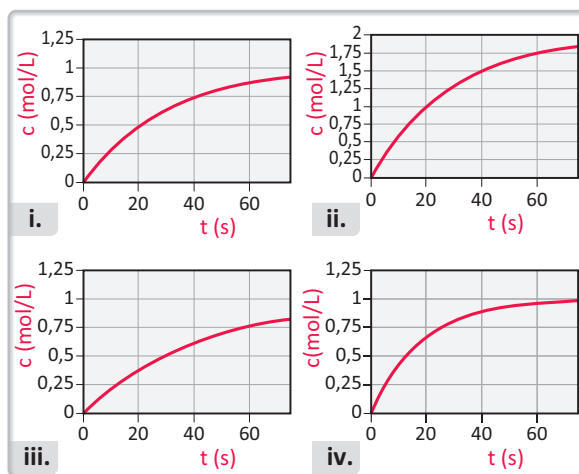


Στο διάγραμμα που ακολουθεί δίνονται οι καμπύλες αντίδρασης για τις δύο ουσίες.



α) Σε ποια ουσία αναφέρεται η κάθε καμπύλη; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

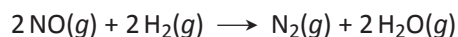
β) Ποιο από τα κάτωθι διαγράμματα παριστάνει την καμπύλη αντίδρασης του A₂B; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



(Επαναληπτικές Πανελλαδικές εξετάσεις 2019)

Ασκήσεις – Προβλήματα

35. Δίνεται η αντίδραση:



α) Να γράψετε όλες τις σχέσεις ορισμού της μέσης ταχύτητας της αντίδρασης.

β) Να γράψετε μία σχέση ορισμού της στιγμιαίας ταχύτητας της αντίδρασης.

γ) Σε δοχείο όγκου 2 L εισάγονται 9 mol NO και 6 mol H₂. Μετά από 40 s βρέθηκε ότι περιέχονται 2 mol αερίου N₂ στο δοχείο. Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

δ) Η αντίδραση ολοκληρώνεται σε 2 λεπτά. Να υπολογίσετε:

i) τις τελικές συγκεντρώσεις όλων των σωμάτων.

ii) τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης μέχρι να ολοκληρωθεί.

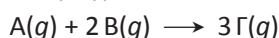
- ε) Να σχεδιάσετε σε χαρτί μιλιμετρέ τις καμπύλες $c-t$ για όλες τις ουσίες της αντίδρασης από 0-2 min.

36. Δίνεται η αντίδραση:



- α) Να γράψετε όλες τις σχέσεις ορισμού της μέσης ταχύτητας της αντίδρασης.
 β) Διαλύουμε σε 0,5 L νερού (χωρίς μεταβολή του όγκου του διαλύματος) 6 mmol FeCl_3 και 4 mmol SnCl_2 . Μετά από 4 min στο διάλυμα περιέχονται 1,6 mmol FeCl_3 . Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
 γ) Να υπολογίσετε τις συγκεντρώσεις όλων των σωμάτων της αντίδρασης, που υπάρχουν στα 4 min.
 δ) Η αντίδραση ολοκληρώνεται σε 12 λεπτά. Να υπολογίσετε τις τελικές συγκεντρώσεις όλων των σωμάτων και τη μέση ταχύτητα από το ξεκίνημα έως το τέλος της αντίδρασης.

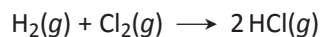
37. Σε κλειστό, κενό δοχείο όγκου 4 L και σε θερμοκρασία $\theta^\circ\text{C}$ εισάγονται 0,5 mol αερίου A και 0,8 mol αερίου B, οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση:



Μετά από 10 s η συγκέντρωση του B στο δοχείο είναι 0,1 M.

- α) Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για τα πρώτα 10 s.
 β) Να αιτιολογήσετε ποιο αντιδρών θα τελειώσει πρώτο και να υπολογίσετε την τελική συγκέντρωση του Γ.

38. Σε κενό δοχείο όγκου 2 L εισάγονται 1,2 mol H_2 και 1 mol Cl_2 , τα οποία αρχίζουν να αντιδρούν με σταθερή θερμοκρασία, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:

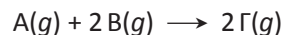


Αν ο μέσος ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του H_2 κατά τα 2 πρώτα min από την έναρξή της είναι (κατά απόλυτη τιμή) $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, να υπολογίσετε τις συγκεντρώσεις των H_2 , Cl_2 και HCl , 2 min μετά την έναρξη της αντίδρασης.

39. Σε κενό δοχείο στους 500 K θερμαίνεται στερεό CaCO_3 , το οποίο διασπάται σε $\text{CaO}(s)$ και $\text{CO}_2(g)$. Μετά από 1000 s η πίεση στο δοχείο μετρήθηκε 0,82 atm. Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για τα πρώτα 1000 s.

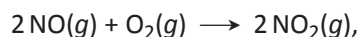
Δίνεται: $R = 0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} / (\text{mol} \cdot \text{K})$

40. Σε κενό, κλειστό δοχείο 1 L εισάγονται οι ουσίες A και B με αναλογία mol 1:3 και αντιδρούν σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:



Να σχεδιάσετε σε χαρτί μιλιμετρέ το διάγραμμα $c-t$ για τις ουσίες A, B και Γ.

41. Για την αντίδραση:



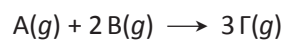
έχουμε τα παρακάτω πειραματικά δεδομένα:

t (min)	0	2	4	6
$[\text{NO}_2]$ (M)	0	1,4	1,9	2,0

Να υπολογίσετε:

- α) τον ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του NO_2 , για τα χρονικά διαστήματα: 0-2 min, 2-4 min, 4-6 min και 0-6 min.
 β) τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 0-6 min.

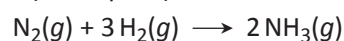
42. Σε κενό, κλειστό δοχείο εισάγονται τα αέρια A και B με συγκεντρώσεις 2,5 M και 6 M, αντίστοιχα και αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:



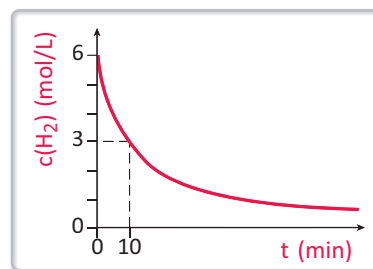
Αν ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του Γ για τα δύο πρώτα λεπτά είναι $0,06 \text{ mol/L} \cdot \text{s}$, να υπολογιστούν:

- α) οι ταχύτητες κατανάλωσης των A και B στα δύο πρώτα λεπτά.
 β) οι συγκεντρώσεις όλων των ουσιών στο τέλος του δεύτερου λεπτού.

43. Δίνεται η αντίδραση:



Η παρακάτω γραφική παράσταση απεικονίζει τη συγκέντρωση του $\text{H}_2(g)$, $c(\text{H}_2)$, σε συνάρτηση με τον χρόνο, (t), κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Η αντίδραση λαμβάνει χώρα σε δοχείο σταθερού όγκου και υπό σταθερή θερμοκρασία.

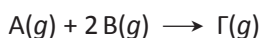


- α) Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 0 έως 10 min.

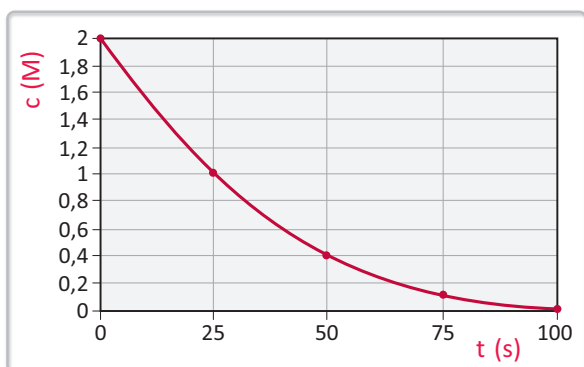
β) Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση της $\text{NH}_3(g)$ τη χρονική στιγμή $t = 10 \text{ min}$.

(Επαναληπτικές Πανελλαδικές εξετάσεις 2017)

44. Σε κενό, κλειστό δοχείο εισάγονται ισομοριακές ποσότητες των αερίων Α και Β, οι οποίες αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:



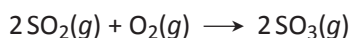
α) Σε ποια ουσία αντιστοιχεί η καμπύλη του παρακάτω διαγράμματος; Να σχεδιάσετε τις καμπύλες για τις άλλες δύο ουσίες.



β) Ποια είναι η μέση ταχύτητα της αντίδρασης για τα πρώτα 25 s και ποια για τα πρώτα 100 s;

γ) Να υπολογίσετε την ταχύτητα κατανάλωσης του Α για το χρονικό διάστημα 0-50 s.

45. Σε κενό δοχείο όγκου 2 L εισάγονται 179,2 L (μετρημένα σε STP συνθήκες) ισομοριακού μίγματος SO_2 και O_2 , όπου αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:



Η μέση ταχύτητα της αντίδρασης για τα πρώτα 8 λεπτά είναι ίση με $0,1 \text{ M/min}$. Να υπολογίσετε:

α) τις ταχύτητες του SO_3 και του O_2 για τα πρώτα 8 min.

β) τις ποσότητες των ουσιών που βρίσκονται στο δοχείο στην αρχή του 9^{ου} λεπτού.

46. Σε 400 mL διαλύματος HCl 0,5 M προσθέτουμε 1,3 g στερεού Zn (χωρίς μεταβολή όγκου) και πραγματοποιείται η αντίδραση:

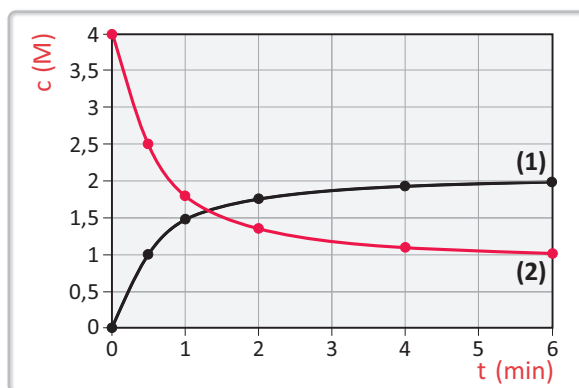


Μετά από 30 s από την έναρξη, έχουν παραχθεί 89,6 mL H_2 μετρημένα σε STP. Να υπολογίσετε:

α) τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στα πρώτα 30 s.

β) τον όγκο του H_2 (μετρημένο σε STP) στο τέλος της αντίδρασης.

47. Σε κενό δοχείο εισάγονται ισομοριακές ποσότητες των αερίων Α και Β, οπότε αντιδρούν με στοιχειομετρική αναλογία 2:3 και δίνουν τα αέρια Γ και Δ με στοιχειομετρική αναλογία 2:1. Στο διάγραμμα που ακολουθεί δίνονται οι συγκεντρώσεις δύο ουσιών της αντίδρασης συναρτήσει του χρόνου:



α) Να αιτιολογήσετε σε ποια ουσία αντιστοιχεί η καμπύλη (1) και σε ποια η καμπύλη (2).

Να υπολογίσετε:

β) τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 0-6 min.

γ) τη μέση ταχύτητα κατανάλωσης του Β και παραγωγής του Γ στο ίδιο χρονικό διάστημα.

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ - ΛΥΣΕΙΣ

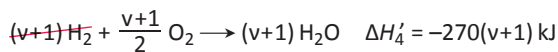
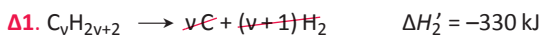
ΣΤΙΣ **ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**
ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Η καύση 0,125 mol H₂ ελευθερώνει (142–110) kJ

» 1 mol » z = 256 kJ

Άρα, $\Delta H_c^\circ(\text{H}_2) = -256 \text{ kJ/mol}$

Θέμα Δ



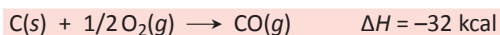
$$\Delta H_1 = \Delta H_2' + \Delta H_3' + \Delta H_4'$$

$$-3200 = -330 - 380v - 270(v+1)$$

Οπότε, $v = 4$.

Άρα, ο μοριακός τύπος του αλκανίου είναι C₄H₁₀.

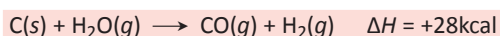
- Δ2. α.** Για να μην παρατηρηθεί θερμική μεταβολή θα πρέπει η θερμότητα που θα εκλυθεί από την καύση του C να ισούται με τη θερμότητα που θα απορροφηθεί από την αντίδραση του C με το H₂O(g). Δηλαδή $q_1 = -q_2$ (1)



0,5 mol εκλύει 32 kcal

x mol εκλύουν 64x kcal

Άρα, $q_1 = 64 \text{ kcal}$.



1 mol απορροφά 28 kcal

γ mol απορροφούν 28γ kcal

Άρα, $q_2 = -28 \text{ kcal}$.

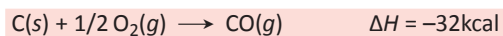
Από (1) προκύπτει $64x = 28\gamma$. Συνεπώς, $x/\gamma = 7/16$.

β. i. Το μίγμα είναι ισομοριακό, οπότε:

$$n(\text{O}_2) = n(\text{H}_2\text{O}) \quad (1)$$

Επίσης, $n(\text{O}_2) + n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{112 \text{ L}}{22,4 \text{ L/mol}} = 5 \text{ mol}$ (2)

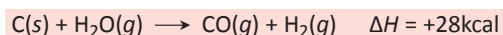
Από (1) και (2) προκύπτει: $n(\text{O}_2) = n(\text{H}_2\text{O}) = 2,5 \text{ mol}$



0,5 mol εκλύει 32 kcal

2,5 mol εκλύουν z = 160 kcal

Άρα, $q_3 = 160 \text{ kcal}$.

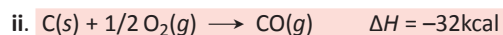


1 mol απορροφά 28 kcal

2,5 mol απορροφούν w = 70 kcal

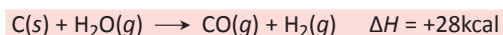
Άρα, $q_4 = -70 \text{ kcal}$.

$$q_{\text{ολικό}} = q_3 + q_4 = 160 \text{ kcal} - 70 \text{ kcal} = 90 \text{ kcal}$$



0,5 mol 1 mol

2,5 mol α = 5 mol



1 mol 1 mol 1 mol

2,5 mol β γ β = γ = 2,5 mol

$$n_{\text{αερίων}} = \alpha + \beta + \gamma = 10 \text{ mol.}$$

$$\text{Συνεπώς, } V(\text{αερίων}) = 10 \cdot 22,4 \text{ L} = 224 \text{ L}$$

Κεφάλαιο 4

Χημική Κινητική

4.1 Ταχύτητα Αντίδρασης

Ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών

- β.** Στη χημική κινητική δεν μας ενδιαφέρουν οι ταχύτητες με τις οποίες κινούνται τα μόρια των αντιδρώντων.
- γ.** Θα πρέπει να έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης, έτσι ώστε να σπάσουν οι παλιοί δεσμοί και να δημιουργηθούν οι νέοι.
- α.** Είναι πιο εύκολο, με το κριτήριο του προσανατολισμού, να συγκρουστούν κατάλληλα δυο άτομα, παρά ένα μόριο και ένα άτομο.
- γ.** Θέλουμε να δημιουργηθούν δύο νέοι δεσμοί H–I, οπότε θα πρέπει να συγκρουστούν τα H₂ και I₂ με τέτοιο τρόπο, ώστε να έρθουν ταυτόχρονα σε επαφή τα άτομα H με τα άτομα I.
- β.** Η ταχύτητα και η E_a κάθε αντίδρασης έχουν πάντα θετικές τιμές.
- δ.** Η ταχύτητα μιας αντίδρασης έχει θετικές τιμές, οπότε πρέπει να λάβουμε την απόλυτη τιμή της Δ[A], γιατί το A είναι αντιδρών και Δ[A] < 0.
- δ.** Το B βρίσκεται σε έλλειμμα, οπότε η συγκέντρωσή του τελικά μηδενίζεται.
- γ.** Για κάθε 1 mol A που καταναλώνεται, στο ίδιο χρονικό διάστημα παράγονται 3 mol Γ.
- α.** Δ[A]/Δt < 0 και Δ[B]/Δt > 0. Συνεπώς, ο λόγος τους θα έχει αρνητικό πρόσημο.
- β.** Εφόσον η ταχύτητα παραγωγής του Γ είναι ίση με την ταχύτητα παραγωγής του Β, οι ουσίες Β και Γ θα έχουν τον ίδιο συντελεστή στη χημική εξίσωση. Οπότε, γ = 2. Επίσης, εφόσον η ταχύτητα κατανάλωσης του Α είναι η μισή από την ταχύτητα παραγωγής του Β, αυτό

σημαίνει πως το Β θα έχει διπλάσιο συντελεστή από το Α. Συνεπώς, $\alpha = 1$.

11. γ. Η αντίδραση είναι ενδόθερμη, οπότε $\Delta H > 0$ και θα ισούται με $\varepsilon - \alpha$.
12. α. Ταχύτερη είναι η αντίδραση με τη μικρότερη ενέργεια ενεργοποίησης.
13. α. $v = v(\text{H}_2)/3 = v(\text{NH}_3)/2$.
Οπότε: $v(\text{NH}_3) = 2v(\text{H}_2)/3 = 0,100 \text{ M/s}$
14. δ. $v = v_{\text{B}}/(1/2) = v_{\text{r}}/2$. Οπότε: $v_{\text{r}} = 4v_{\text{B}}$
15. α. Στο ξεκίνημα της αντίδρασης η $[\Gamma]$ αυξάνεται γρήγορα, αλλά όσο περνάει ο χρόνος μειώνεται ο ρυθμός μεταβολής της, γιατί μειώνονται οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων.
16. i) γ. $|\Delta[A]| = \Delta[\Gamma] = \Delta[B]/2$
ii) δ. $[A]_0 = 0,4 \text{ M}$ και στα 20 s, $[B] = 0,6 \text{ M}$
17. γ. Στα 100 δευτερόλεπτα μηδενίζεται η $[A]$ και ολοκληρώνεται η αντίδραση.
18. α. $\Delta H < 0$ και $\gamma > 0$.
19. i) δ. $E_a = 58 \text{ kJ} - 10 \text{ kJ} = 48 \text{ kJ}$.
ii) γ. $\Delta H = 30 \text{ kJ} - 10 \text{ kJ} = 20 \text{ kJ}$.
20. β. $E_a' = |\Delta H| + E_a$.
21. β. Πιο αργά θα πραγματοποιηθεί η αντίδραση που έχει τη μεγαλύτερη τιμή E_a .
22. β. Εφόσον η ταχύτητα μειώνεται συνεχώς, στα πρώτα 20 s θα έχουν σχηματιστεί περισσότερα από τα μισά mol που σχηματίστηκαν έως τα 40 s.

Ερωτήσεις Σωστού - Λάθους με αιτιολόγηση

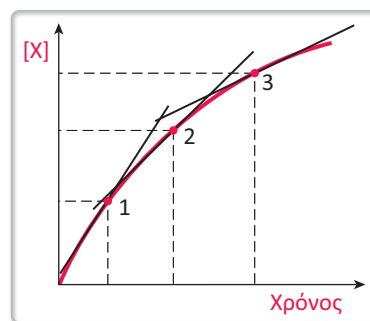
23. i. Σωστή. Για να σπάσουν οι παλιοί δεσμοί και να δημιουργηθούν οι νέοι, θα πρέπει τα μόρια να συγκρουστούν με κατάλληλη ταχύτητα και συγκεκριμένο προσανατολισμό.
ii. Λανθασμένη. Η E_a είναι η διαφορά μεταξύ της ενεργαίας του ενεργοποιημένου συμπλόκου και των αντιδρώντων.
iii. Σωστή. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει η E_a , σημαίνει πως λιγότερα μόρια έχουν την κατάλληλη ενέργεια ώστε για να συγκρουστούν αποτελεσματικά. Συνεπώς, η αντίδραση είναι σχετικά αργή.
iv. Σωστή. Το ενεργοποιημένο σύμπλοκο έχει απορροφήσει την ενέργεια ενεργοποίησης, οπότε έχει πάντα μεγαλύτερη ενέργεια από τα αντιδρώντα.
v. Λανθασμένη. Οι περισσότερες συγκρούσεις μεταξύ των μορίων των αντιδρώντων δεν οδηγούν σε προϊόντα. Περίπου 1 στις 10^8 συγκρούσεις θεωρείται ότι είναι αποτελεσματική.
24. i. Λανθασμένη. Η μία θεωρία συμπληρώνει την άλλη και οι δύο έχουν ως κοινό σημείο την ενέργεια ενεργοποίησης.
ii. Λανθασμένη. Το ενεργοποιημένο σύμπλοκο είναι ένα ασταθές, ενδιάμεσο προϊόν, που τάχιστα μετατρέπεται στο τελικό προϊόν (ή προϊόντα).
iii. Λανθασμένη. Δεν συσχετίζεται η E_a με την ΔH , είτε η αντίδραση είναι εξώθερμη είτε ενδόθερμη.

iv. Λανθασμένη. Ο ρυθμός ελάττωσης των συγκεντρώσεων καθορίζεται από τους συντελεστές των αερίων στη χημική εξίσωση.

v. Σωστή. Μετρώντας τη μάζα του αερίου O_2 μπορούμε να υπολογίσουμε τα mol του και από τη στοιχειομετρία της αντίδρασης τα mol του H_2O_2 που διασπάστηκαν. Μέσω αυτών των mol, υπολογίζουμε την $\Delta[\text{H}_2\text{O}_2]$ και τέλος, την ταχύτητα της αντίδρασης, από τη σχέση: $v = \Delta[\text{H}_2\text{O}_2]/(2\Delta t)$.

Ερωτήσεις ανάπτυξης

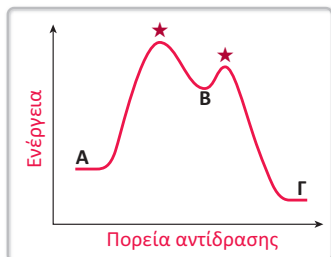
25. Α-Καμπύλη I Β-Καμπύλη II
Γ-Καμπύλη IV Δ-Καμπύλη III
- Οι καμπύλες I και II αντιστοιχούν σε αντιδρώντα, γιατί αποτυπώνουν μείωση της συγκέντρωσης με το πέρασμα του χρόνου και οι καμπύλες III και IV αντιστοιχούν σε προϊόντα, γιατί αποτυπώνουν αύξηση της συγκέντρωσης με το πέρασμα του χρόνου. Σύμφωνα με το διάγραμμα, από την αρχή έως το τέλος της αντίδρασης έχουμε τις μεταβολές: $\Delta C(\text{I}) = -3 \text{ M}$, $\Delta C(\text{II}) = -1 \text{ M}$, $\Delta C(\text{III}) = 2 \text{ M}$ και $\Delta C(\text{IV}) = 1 \text{ M}$. Οι μεταβολές καθορίζονται από τους συντελεστές των ουσιών στη χημική εξίσωση. Οπότε, επειδή $\Delta C(\text{I}) = 3\Delta C(\text{II})$, η καμπύλη I αντιστοιχεί στην ουσία Α και η καμπύλη II στην ουσία Β, διότι η Α έχει τριπλάσιο συντελεστή από την Β. Τέλος, επειδή $\Delta C(\text{III}) = 2\Delta C(\text{IV})$, η καμπύλη III αντιστοιχεί στην ουσία Δ και η καμπύλη IV στην ουσία Γ, διότι η Δ έχει διπλάσιο συντελεστή από την Γ.
26. Ο ισχυρισμός του είναι σωστός, γιατί υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να συγκρουστούν με κατάλληλο προσανατολισμό δύο μόρια, από ό,τι τρία μόρια στις ίδιες συνθήκες. Συνεπώς, οι αποτελεσματικές συγκρούσεις στην περίπτωση των δυο μορίων θα είναι περισσότερες ανά μονάδα χρόνου και η ταχύτητα μεγαλύτερη, σε σύγκριση με την περίπτωση των τριών μορίων.
27. α) Όσο εξελίσσεται η αντίδραση, μειώνονται οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων, οπότε μειώνεται και η πιθανότητα των αποτελεσματικών συγκρούσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται και η μέση ταχύτητα της αντίδρασης. Συνεπώς, η μεγαλύτερη μέση ταχύτητα θα είναι μεταξύ των σημείων 1 και 2.



- β) Από την τεταγμένη στον άξονα γ βρίσκουμε ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση του X είναι στο σημείο 3.
γ) Η στιγμιαία ταχύτητα για μια χρονική στιγμή υπολογίζεται από την κλίση της εφαπτομένης στο σημείο

που αντιστοιχεί η συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Μεγαλύτερη κλίση έχει η εφαπτομένη στο σημείο 1. Συνεπώς, στο σημείο 1 η στιγμιαία ταχύτητα έχει μεγαλύτερη τιμή.

28. α) Υπάρχουν δυο ενεργοποιημένα σύμπλοκα, τα οποία βρίσκονται στις δύο κορυφές της καμπύλης του διαγράμματος όπου συμβολίζονται μ' ένα αστεράκι (*).



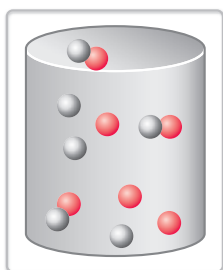
β) Ταχύτερο είναι το στάδιο B → Γ, γιατί έχει μικρότερη ενέργεια ενεργοποίησης από το στάδιο A → B.

γ) Η αντίδραση Γ → A είναι ενδόθερμη, γιατί $H_A > H_\Gamma$.

29. Για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση θα πρέπει να δημιουργηθεί ένας νέος δεσμός N–O στο NO και να σπάσει ένας δεσμός O–O στο O₃. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει το μόριο του NO να συγκρουστεί με κατάλληλη ταχύτητα από την πλευρά του ατόμου του N με το ακριανό άτομο O του μορίου του O₃. Αυτό διότι το ακριανό άτομο O είναι ευκολότερο να αποσπαστεί, επειδή ενώνεται μόνο με ένα άτομο O (σε αντιδιαστολή με το κεντρικό άτομο O, που ενώνεται με δύο άτομα O). Η εν λόγω απόσπαση γίνεται μόνο μέσω του προσανατολισμού που έχει η σύγκρουση (γ), γι' αυτό είναι η μοναδική αποτελεσματική.

30. Αποτελεσματική είναι η σύγκρουση (β), γιατί τα δύο μόρια συγκρούονται με κατάλληλη ταχύτητα και σωστό προσανατολισμό. Ο σωστός προσανατολισμός λαμβάνει χώρα όταν το μόριο του F₂ συγκρουστεί με το μόριο του NO₂, το πρώτο από την πλευρά του ενός ατόμου F και το δεύτερο από την πλευρά του ατόμου του N, έτσι ώστε να αποσπαστεί ένα άτομο F και να ενωθεί με το N του NO₂. Η σύγκρουση (α) δεν είναι αποτελεσματική, γιατί παρόλο που τα δύο μόρια έχουν τον σωστό προσανατολισμό, δεν έχουν την απαιτούμενη ταχύτητα. Τέλος, η σύγκρουση (γ) δεν είναι αποτελεσματική, γιατί τα δύο μόρια δεν έχουν τον σωστό προσανατολισμό.
31. Η φλόγα του σπέρτου δίνει την απαιτούμενη ενέργεια ενεργοποίησης που χρειάζεται η αντίδραση καύσης του βουτανίου με το οξυγόνο για να ξεκινήσει.

32. Μετρώντας τις σφαίρες βρισκουμε ότι $n(A) = n(B) = 6$ mol. Εφόσον η ταχύτητα είναι 0,05 M/s μετά από 60 sec για όλες τις ουσίες θα ισχύει: $|\Delta c| = 3$ M και επειδή $V = 1$ L, $|\Delta n| = 3$ mol. Συνεπώς, στα 60 sec θα υπάρχουν στο δοχείο 3 mol από όλες τις ουσίες και η εικόνα στο δοχείο θα είναι η διπλανή.



33. α. (α) → NO και H₂, (β) → H₂O, (γ) → N₂.

Τα NO και H₂ είναι αντιδρώντα και με τον ίδιο συντελεστή στη χημική εξίσωση, οπότε οι συγκεντρώσεις τους θα μειώνονται όμοια με την πάροδο του χρόνου, οπότε αντιστοιχούν στην καμπύλη (α). Το H₂O είναι προϊόν και η συγκέντρωσή του αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου. Επίσης, το H₂O έχει ίδιο συντελεστή με τα NO και H₂, οπότε για το ίδιο χρονικό διάστημα ισχύει: $\Delta[H_2O] = |\Delta[NO]|$. Σύμφωνα με το διάγραμμα, από την αρχή έως το τέλος της αντίδρασης η καμπύλη (β) αποτυπώνει την ίδια, κατ' απόλυτη τιμή, μεταβολή με την καμπύλη (α), $\Delta[H_2O] = |\Delta[NO]| = 2$ M.

Τέλος, το N₂ είναι προϊόν και η συγκέντρωσή του θα αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου. Αλλά επειδή έχει υποδιπλάσιο συντελεστή από το H₂O, για το ίδιο χρονικό διάστημα, $\Delta[N_2] = \Delta[H_2O]/2$. Σύμφωνα με το διάγραμμα, από την αρχή έως το τέλος της αντίδρασης η καμπύλη (γ) αποτυπώνει τη μισή μεταβολή σε σχέση με την καμπύλη (β), $\Delta[N_2] = \Delta[H_2O]/2 = 1$ M.

$$\beta. \text{ii) } v_{0-200s} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[NO]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \frac{(0,8 - 2) \text{ M}}{(200 - 0) \text{ s}} = 0,003 \text{ M/s} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}\cdot\text{s}$$

$$\gamma. \text{iii) } v(H_2O)_{0-200s} = \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} = \frac{\Delta[NO]}{\Delta t} = -\frac{(0,8 - 2) \text{ M}}{(200 - 0) \text{ s}} = 0,006 \text{ M/s} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}\cdot\text{s}$$

34. α) Καμπύλη (1) → A και Καμπύλη (2) → B

Και οι δυο καμπύλες αποτυπώνουν μείωση της συγκέντρωσης με το πέρασμα του χρόνου, οπότε αναφέρονται στα αντιδρώντα.

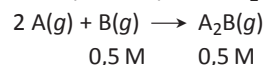
Από το διάγραμμα παρατηρούμε πως για τα πρώτα 20s: $c|\Delta c(1)| = 1$ M και $|\Delta c(2)| = 0,5$ M.

Οι μεταβολές καθορίζονται από τους συντελεστές στη χημική εξίσωση. Εφόσον, $|\Delta c(1)| = 2|\Delta c(2)|$, η ουσία που αντιστοιχεί στην καμπύλη (1) θα έχει διπλάσιο συντελεστή από την ουσία που αντιστοιχεί στην καμπύλη (2). Συνεπώς, η καμπύλη (α) αναφέρεται στην ουσία A και η καμπύλη (2) στην ουσία B.

β) Το διάγραμμα (i) παριστάνει την καμπύλη αντίδρασης του A₂B.

Σύμφωνα με το πρώτο διάγραμμα στα 20 s καταναλώνονται 0,5 M της ουσίας B.

Με βάση τη στοιχειομετρία της χημικής εξίσωσης, όση ουσία B καταναλώθηκε, τόση ουσία A₂B παράχθηκε.



$$0,5 \text{ M} \quad 0,5 \text{ M}$$

Συνεπώς, στα 20 s, $[A_2B] = 0,5$ M. Τιμή που αποδίδεται μόνο στο διάγραμμα (i).

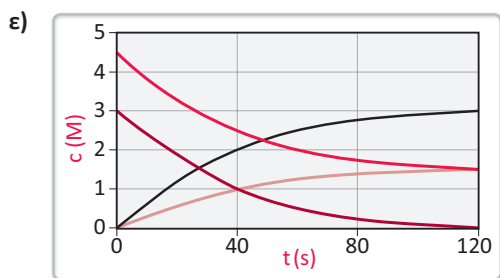
▸ Ασκήσεις – Προβλήματα

$$35. \alpha) v = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[NO]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[N_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t}$$

$$\beta) v = \frac{d[N_2]}{dt}$$

$$\gamma) v = 0,025 \text{ M/s}$$

- δ) i) $[NO] = 1,5 M$, $[H_2] = 0$, $[N_2] = 1,5 M$, $[H_2O] = 3 M$
 ii) $u' = 0,0125 M/s$



36. α) $u = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[FeCl_3]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[SnCl_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[FeCl_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[SnCl_4]}{\Delta t}$

β) $u = 1,1 \text{ mM/min}$

γ) $[FeCl_3] = 3,2 \text{ mM}$, $[SnCl_2] = 3,6 \text{ mM}$, $[FeCl_2] = 8,8 \text{ mM}$
 και $[SnCl_4] = 4,4 \text{ mM}$.

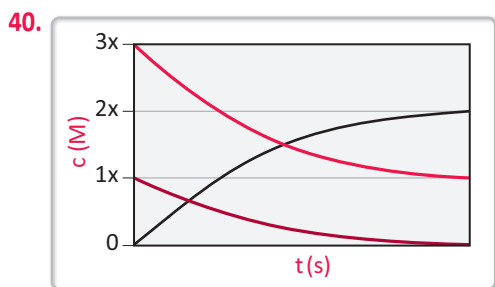
δ) $[FeCl_3] = 0 \text{ mM}$, $[SnCl_2] = 2 \text{ mM}$, $[FeCl_2] = 12 \text{ mM}$,
 $[SnCl_4] = 6 \text{ mM}$ και $u = 0,5 \text{ mM/min}$

37. α) $u = 0,005 M/s$

β) Τα $0,5 \text{ mol A}$ αντιδρούν με $1 \text{ mol B} < 0,8 \text{ mol}$.
 Συνεπώς, θα τελειώσει πρώτο το B, γιατί σύμφωνα με τη στοιχειομετρία της αντίδρασης βρίσκεται σε έλλειμμα. $[Γ] = 0,3 M$.

38. $[H_2] = 0,3 M$, $[Cl_2] = 0,2 M$, $[HCl] = 0,6 M$.

39. Το μοναδικό αέριο στο δοχείο είναι το CO_2 . Οπότε, η πίεση οφείλεται αποκλειστικά σε αυτό και από την καταστατική εξίσωση υπολογίζουμε: $[CO_2] = 0,02 M$.
 Επίσης, $\Delta[CO_2] = [CO_2]$, γιατί $[CO_2]_0 = 0$.
 Οπότε, $u = \Delta[CO_2]/\Delta t = 0,02 M/1000 s = 2 \cdot 10^{-5} M/s$.



41. α) $u(NO_2)_{0-2 \text{ min}} = 0,70 M/min$,
 $u(NO_2)_{2-4 \text{ min}} = 0,25 M/min$,
 $u(NO_2)_{4-6 \text{ min}} = 0,05 M/min$,
 $u(NO_2)_{0-6 \text{ min}} = 1/3 M/min$.

β) $u_{0-6 \text{ min}} = 1/6 M/min$

42. α) $u(A) = 0,02 M/s$ και $u(B) = 0,04 M/s$

β) $[A] = 0,1 M$, $[B] = 1,2 M$ και $[Γ] = 7,2 M$.

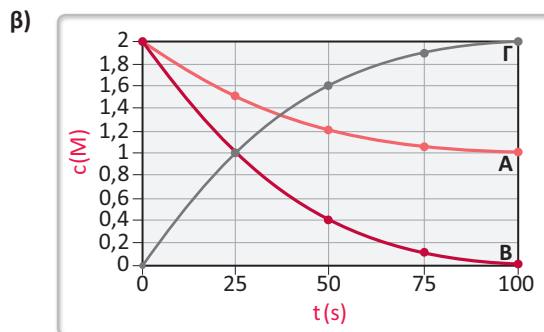
43. α) $u = -\frac{1}{3} \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{3} \frac{(3M - 6M)}{10s} = 0,1 M/s$.

β) $u = \frac{1}{2} \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$. Οπότε, $\frac{1}{2} \frac{[NH_3]_{10 \text{ min}} - 0}{10s} = 0,1 M/s$.

Άρα, $[NH_3]_{10 \text{ min}} = 2 M$.

44. α) Εφόσον οι ουσίες A και B είναι ισομοριακές και η B έχει μεγαλύτερο συντελεστή στη χημική εξίσωση, βρι-

σκεται σε έλλειμμα. Οπότε, με την ολοκλήρωση της αντίδρασης θα μηδενιστεί η συγκέντρωση της B. Συνεπώς, η καμπύλη αντιστοιχεί στην ουσία B.



$u_{0-25s} = 0,02 M/s$ και $u_{0-100s} = 0,016 M/s$.

γ) $u(A)_{0-50s} = 0,01 M/s$.

45. α) $u(SO_3) = 0,2 M/min$ και $u(O_2) = 0,1 M/min$.

β) $n(SO_2) = 0,8 \text{ mol}$, $n(O_2) = 2,4 \text{ mol}$ και $n(SO_3) = 3,2 \text{ mol}$.

46. α) $u = 0,02 M/min$.

Σημειώνεται πως η μέση ταχύτητα της αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί μόνο με βάση τα mol του HCl ή του $ZnCl_2$, γιατί μπορούμε να υπολογίσουμε τις συγκεντρώσεις αυτών των ουσιών, επειδή γνωρίζουμε τον όγκο του διαλύματος.

β) $V(H_2) = 448 \text{ mL}$.

47. α) Καμπύλη (1) → Γ και Καμπύλη (2) → B

(M)	2 A	+ 3 B	→	2 Γ	+ Δ
Αρχ.	4	4			
Μετ.	-2x	-3x		+2x	+x
Τελ. (6 min)	4-2x	4-3x		2x	x

Έστω ότι καμπύλη (2) αντιστοιχεί στο A, τότε $4-2x=1$, οπότε $x=1,5$. Σε αυτήν την περίπτωση $[B]_{6 \text{ min}} = 4 M - 3(1,5) M = -1,5 M$. Άτοπο. Οπότε, η καμπύλη (2) αντιστοιχεί στο B και $4-3x=1$. Οπότε, $x=1$. Συνεπώς, $[Γ]_{6 \text{ min}} = 2 M$ και $[Δ]_{6 \text{ min}} = 1 M$ και η καμπύλη (1) αντιστοιχεί στο Γ.

Παρατηρούμε ότι στο τέλος της αντίδρασης κανένα αντιδρών δεν τελειώνει, γεγονός που σημαίνει ότι η αντίδραση είναι αμφίδρομη, φαινόμενο που θα μελετήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

β) $u = 1/6 M/min$.

γ) $u_B = 1/2 M/min$ και $u_\Gamma = 1/3 M/min$.

4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης

Ερωτήσεις κλειστού τύπου

- α. Την ταχύτητα επηρεάζουν οι συγκεντρώσεις μόνο των αντιδρώντων.
- δ. Αυξάνεται η μέση κινητική ενέργεια των αντιδρώντων μορίων και αυξάνονται οι αποτελεσματικές συγκρούσεις μεταξύ τους.
- γ. Η αύξηση του αριθμού των συγκρούσεων ανά μονά-

Πίνακας Παραδειγμάτων

Παράδειγμα 1.1	Υπολογισμός ενέργειας φωτονίου	17
Παράδειγμα 1.2	Γραμμικό φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου	18
Παράδειγμα 1.3	Σχέση συχνοτήτων	19
Παράδειγμα 1.4	Αριθμός συχνοτήτων	20
Παράδειγμα 1.5	Μετάπτωση ηλεκτρονίων	21
Παράδειγμα 1.6	Μήκος κύματος de Broglie	22
Παράδειγμα 1.7	Τετράδες κβαντικών αριθμών	33
Παράδειγμα 1.8	Πλήθος τροχιακών σε υποστιβάδες	34
Παράδειγμα 1.9	Πλήθος τροχιακών σε στιβάδες	34
Παράδειγμα 1.10	Μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων	43
Παράδειγμα 1.11	Ενέργεια ηλεκτρονίων ίδιου ατόμου	44
Παράδειγμα 1.12	Ηλεκτρονιακή δομή ατόμων	44
Παράδειγμα 1.13	Κανόνας του Hund και διάγραμμα τροχιακών	46
Παράδειγμα 1.14	Ηλεκτρονιακή δομή ιόντων	47
Παράδειγμα 1.15	Κβαντικοί αριθμοί ηλεκτρονίων	47
Παράδειγμα 1.16	Θέση στοιχείων των κύριων ομάδων στον Περιοδικό Πίνακα	56
Παράδειγμα 1.17	Θέση στοιχείων των δευτερευουσών ομάδων στον Περιοδικό Πίνακα	57
Παράδειγμα 1.18	Παραμαγνητικά στοιχεία	58
Παράδειγμα 1.19	Εύρεση ηλεκτρονικής δομής με βάση τη θέση στον Περιοδικό Πίνακα	58
Παράδειγμα 1.20	Εύρεση ηλεκτρονικής δομής με βάση τη διάταξη στον Περιοδικό πίνακα	59
Παράδειγμα 1.21	Σύγκριση ατομικής ακτίνας	68
Παράδειγμα 1.22	Σύγκριση μεγέθους ατόμων και ιόντων	69
Παράδειγμα 1.23	Σύγκριση ενεργειών πρώτου ιοντισμού, E_{i1}	70
Παράδειγμα 1.24	Σύγκριση E_{i3}	71
Παράδειγμα 1.25	σ και π δεσμοί	80
Παράδειγμα 1.26	Υβριδισμός	84
Παράδειγμα 1.27	Αναλυτική περιγραφή δεσμών	84
Παράδειγμα 2.1	Ταυτοποίηση ελκτικών διαμοριακών δυνάμεων	96
Παράδειγμα 2.2	Μόρια που σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου	97
Παράδειγμα 2.3	Άτομα που συμμετέχουν δεσμούς υδρογόνου	98
Παράδειγμα 2.4	Σύγκριση δυνάμεων διασποράς και διπόλου-διπόλου	101
Παράδειγμα 2.5	Σύγκριση σημείων βρασμού ομοιοπολικών ενώσεων	101
Παράδειγμα 2.6	Σύγκριση σημείων βρασμού ομοιοπολικών και ετεροπολικών ενώσεων	102
Παράδειγμα 2.7	Διαλυτότητα	103
Παράδειγμα 2.7	Ωσμωτική Πίεση	111
Παράδειγμα 2.8	Ωσμωμετρία	112
Παράδειγμα 2.9	Ωσμωτική πίεση και ανάμειξη διαλυμάτων	113
Παράδειγμα 2.10	Ωσμωτική πίεση και αναλογία όγκων	113
Παράδειγμα 2.11	Συντελεστής van't Hoff	115
Παράδειγμα 2.12	Κινούμενη ημιπερατή μεμβράνη	115
Παράδειγμα 3.1	Γραφή θερμοχημικής εξίσωσης που αναφέρεται στη ΔH_f°	129

Παράδειγμα 3.2	Υπολογισμός ΔH αντίδρασης από ΔH_f°	130
Παράδειγμα 3.3	Στοιχειομετρικός υπολογισμός με ΔH	131
Παράδειγμα 3.4	Υπολογισμός ΔH και στοιχειομετρία	132
Παράδειγμα 3.5	Στοιχειομετρικοί υπολογισμοί μίγματος με ΔH	133
Παράδειγμα 3.6	Στοιχειομετρικοί υπολογισμοί με περίσσεια	135
Παράδειγμα 3.7	Υπολογισμός ΔH μέσω τριών χημικών εξισώσεων	141
Παράδειγμα 3.8	Υπολογισμός ΔH μέσω τεσσάρων χημικών εξισώσεων	142
Παράδειγμα 3.9	Ενεργειακό διάγραμμα (θερμοχημικός κύκλος)	144
Παράδειγμα 3.10	Σύγκριση ΔH_f στερεού με υγρού	145
Παράδειγμα 4.1	Υπολογισμός μέσης ταχύτητας αντίδρασης	157
Παράδειγμα 4.2	Λόγος ταχυτήτων και ρυθμών μεταβολής συγκεντρώσεων	158
Παράδειγμα 4.3	Υπολογισμός τελικών ποσοτήτων με πινακάκι	159
Παράδειγμα 4.4	Υπολογισμός αρχικής ποσότητας με πινακάκι	161
Παράδειγμα 4.5	Υπολογισμός μέσης ταχύτητας με πινακάκι	162
Παράδειγμα 4.6	Καμπύλη Συγκέντρωσης – Χρόνου	163
Παράδειγμα 4.7	Υπολογισμός μέσης ταχύτητας μέσω καμπύλης	164
Παράδειγμα 4.8	Πειραματική μέτρηση ταχύτητας αντίδρασης	166
Παράδειγμα 4.9	Επίδραση θερμοκρασίας στην ταχύτητα αντίδρασης	179
Παράδειγμα 4.10	Επίδραση καταλύτη στην ταχύτητα αντίδρασης	180
Παράδειγμα 4.11	Επίδραση ενζύμου στην ταχύτητα αντίδρασης	181
Παράδειγμα 4.12	Παράγοντες ταχύτητας αντίδρασης	181
Παράδειγμα 4.13	Παράγοντες ταχύτητας αντίδρασης σε διάγραμμα (I)	183
Παράδειγμα 4.14	Παράγοντες ταχύτητας αντίδρασης σε διάγραμμα (II)	184
Παράδειγμα 4.15	Νόμος ταχύτητας	193
Παράδειγμα 4.16	Μηχανισμός αντίδρασης	193
Παράδειγμα 4.17	Υπολογιστική εύρεση νόμου ταχύτητας	195
Παράδειγμα 5.1	Συγκεντρώσεις στη χημική ισορροπία	206
Παράδειγμα 5.2	Χημική ισορροπία και απόδοση	207
Παράδειγμα 5.3	Υπολογισμός απόδοσης αντίδρασης	209
Παράδειγμα 5.4	Υπολογισμός απόδοσης με πινακάκι	210
Παράδειγμα 5.5	Επίδραση της μεταβολής συγκεντρώσεως στη χημική ισορροπία	220
Παράδειγμα 5.6	Επίδραση της μεταβολής θερμοκρασίας στη χημική ισορροπία	220
Παράδειγμα 5.7	Επίδραση της μεταβολής πίεσης στη χημική ισορροπία	221
Παράδειγμα 5.8	Μεταβολές στη χημική ισορροπία και στην απόδοση αντίδρασης	221
Παράδειγμα 5.9	Επίδραση της προσθήκης στερεού στη χημική ισορροπία	222
Παράδειγμα 5.10	Διαγραμματική απεικόνιση της μεταβολής της χημικής ισορροπίας (I)	223
Παράδειγμα 5.11	Διαγραμματική απεικόνιση της μεταβολής της χημικής ισορροπίας (II)	224
Παράδειγμα 5.12	Διαγραμματική απεικόνιση της επίδρασης του καταλύτη και της μεταβολής όγκου στην ταχύτητα και την ισορροπία	225
Παράδειγμα 5.13	Διαγραμματική απεικόνιση της επίδρασης της μεταβολής πίεσης και της θερμοκρασίας στην απόδοση της αντίδρασης	226
Παράδειγμα 5.14	Διαγραμματική απεικόνιση της επίδρασης της μεταβολής πίεσης στις ταχύτητες αμφίδρομης αντίδρασης	227

Παράδειγμα 5.15	Έκφραση K_c	238
Παράδειγμα 5.16	Έκφραση K_c σε σχέση με τη χημική εξίσωση	238
Παράδειγμα 5.17	Υπολογισμός K_c	239
Παράδειγμα 5.18	Υπολογισμοί με K_c	241
Παράδειγμα 5.19	Υπολογισμοί με K_c σε δύο ίδιες ισορροπίες	242
Παράδειγμα 5.20	Q_c με μοριακά μοντέλα	244
Παράδειγμα 5.21	Μεταβολή θερμοκρασίας στη Χ.Ι.	246
Παράδειγμα 5.22	Μεταβολή πίεσης, μέσω όγκου, στη Χ.Ι.	247
Παράδειγμα 5.23	Μεταβολή συγκέντρωσης στη Χ.Ι.	249
Παράδειγμα 5.24	Επίδραση της μεταβολής της συγκέντρωσης στην απόδοση (I)	250
Παράδειγμα 5.25	Επίδραση της μεταβολής της συγκέντρωσης στην απόδοση (II)	252