

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° : ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ**

**ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ**

**Ερωτήσεις θεωρίας - Τύπου Α**

**ΕΡΩΤΗΣΗ 1.** Η αντίδραση  $2\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{NO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g})$  βρέθηκε να έχει μέση ταχύτητα  $U = 0,4 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ . Για το ίδιο χρονικό διάστημα, ο μέσος ρυθμός παραγωγής του  $\text{H}_2\text{O}$  είναι:

- α.  $0,2 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$     β.  $0,4 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$     γ.  $0,6 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$     δ.  $0,8 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$

**Λύση**

Αφού το νερό έχει συντελεστή 2 θα ισχύει  $U_{\text{H}_2\text{O}} = 2U_{\text{αντίδρασης}} = 0,8 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Εναλλακτικά:  $U_{\text{αντίδρασης}} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{H}_2\text{O}]}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta[\text{H}_2\text{O}]}{\Delta t} = 2U_{\text{αντίδρασης}} \Rightarrow U_{\text{H}_2\text{O}} = 0,8 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Σωστό το δ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 2.** Δίνεται η αντίδραση:  $2\text{A}(\text{g}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightarrow 2\text{Γ}(\text{g}) + 3\text{Δ}(\text{g})$ . Την μέση ταχύτητα της αντίδρασης εκφράζει σωστά η σχέση:

- α.  $U = 2 \frac{\Delta[\text{A}]}{\Delta t}$     β.  $U = -\frac{\Delta[\text{A}]}{\Delta t}$     γ.  $U = -2 \frac{\Delta[\text{A}]}{\Delta t}$     δ.  $U = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{A}]}{\Delta t}$

**Λύση**

Το Α είναι αντιδρών άρα απαιτείται μείον στον τύπο, προκειμένου να προκύπτει θετική ταχύτητα. Επίσης, έχει συντελεστή 2 στη χημική εξίσωση, άρα απαιτείται πολλαπλασιασμός επί  $\frac{1}{2}$  στον τύπο. Τις προδιαγραφές αυτές πληροί μόνο το δ.

Σωστό το δ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 3.** Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η αρχική ταχύτητα:

- α. όλων των αντιδράσεων    β. μόνο των μονόδρομων αντιδράσεων  
 γ. μόνο των εξώθερμων αντιδράσεων    δ. μόνο των ενδόθερμων αντιδράσεων

**Λύση**

Η ταχύτητα μιας αντίδρασης γενικώς, αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σωστό το α.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 4.** Η ταχύτητα της αντίδρασης  $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}(\text{g})$ , δεν επηρεάζεται από:

- α. τη συγκέντρωση του  $\text{CO}_2$   
 β. την ολική πίεση των αερίων αντιδρώντων  
 γ. τη θερμοκρασία του συστήματος  
 δ. την ποσότητα του παραγόμενου  $\text{CO}$

### Λύση

Τα προϊόντα δεν επηρεάζουν την ταχύτητα της αντίδρασης.

Σωστό το δ

**ΕΡΩΤΗΣΗ 5.** Σε μια ενδόθερμη αντίδραση ισχύει ότι:

- α. η ενθαλπία των προϊόντων είναι μεγαλύτερη από την ενθαλπία των αντιδρώντων
- β. η ενθαλπία των αντιδρώντων είναι μεγαλύτερη από την ενθαλπία των προϊόντων
- γ. η ενθαλπία του ενεργοποιημένου συμπλόκου είναι μικρότερη από την ενέργεια των προϊόντων
- δ. η ενθαλπία του ενεργοποιημένου συμπλόκου είναι μικρότερη από την ενέργεια των αντιδρώντων

### Λύση

Η αντίδραση είναι ενδόθερμη, συνεπώς

$$\Delta H > 0 \Rightarrow H_{\text{προϊόντων}} - H_{\text{αντιδρώντων}} > 0 \Rightarrow H_{\text{προϊόντων}} > H_{\text{αντιδρώντων}} \cdot \text{ Σωστό το α.}$$

**ΕΡΩΤΗΣΗ 6.** Η ενέργεια ενεργοποίησης μιας αντίδρασης :  
 $A(g) + B(g) \rightarrow \Gamma(g) + \Delta(g)$  εκφράζεται ως η:

- α. ενέργεια του ενεργοποιημένου συμπλόκου
- β. ενεργειακή διαφορά μεταξύ των προϊόντων και των αντιδρώντων
- γ. ενεργειακή διαφορά μεταξύ του ενεργοποιημένου συμπλόκου και των αντιδρώντων
- δ. ενεργειακή διαφορά μεταξύ του ενεργοποιημένου συμπλόκου και των προϊόντων

### Λύση

Σωστό είναι το γ, με βάση τον ορισμό της ενέργειας ενεργοποίησης.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 7.** Σε μια ενδόθερμη αντίδραση ισχύει ότι:

- α. η ενθαλπία του ενεργοποιημένου συμπλόκου είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια ενεργοποίησης
- β. η ενθαλπία των αντιδρώντων είναι μεγαλύτερη από την ενθαλπία των προϊόντων
- γ. η ενθαλπία του ενεργοποιημένου συμπλόκου είναι μικρότερη από την ενθαλπία των προϊόντων
- δ. η ενθαλπία του ενεργοποιημένου συμπλόκου είναι μικρότερη από την ενθαλπία των αντιδρώντων

### Λύση

Το ενεργοποιημένο σύμπλοκο έχει, εξ ορισμού, την μέγιστη ενθαλπία στην πορεία μετάβασης από τα αντιδρώντα στα προϊόντα. Ειδικότερα, η ενέργειά του δίνεται από τη σχέση  $E_{\text{ΕΣ}} = H_{\text{αντιδρώντων}} + E_a$  ( $H_{\text{αντιδρώντων}}, E_a > 0$ ).

Σωστό το α (μάλιστα ισχύει για όλες τις αντιδράσεις ανεξάρτητα αν είναι ενδόθερμες ή εξώθερμες).

**ΕΡΩΤΗΣΗ 8.** Κατά την διάρκεια της αντίδρασης :  $2\text{O}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$   
 για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο ο μέσος ρυθμός μεταβολής της  
 συγκέντρωσης του  $\text{N}_2$  είναι  $x_1$  και ο αντίστοιχος μέσος ρυθμός μεταβολής  
 της συγκέντρωσης του  $\text{NO}_2$  είναι  $x_2$ . Ο λόγος  $\frac{x_1}{x_2}$  είναι ίσος με:

- α.  $\frac{3}{2}$       β.  $-\frac{1}{2}$       γ. 2      δ. -2

**Λύση**

Ρυθμός μεταβολής  $\text{N}_2 = \frac{\Delta[\text{N}_2]}{\Delta t} = x_1 < 0$  (το  $\text{N}_2$  καταναλώνεται άρα  $\Delta[\text{N}_2] < 0$ ).

Ο συντελεστής του  $\text{N}_2$  στη χημική εξίσωση είναι 1, συνεπώς

Ρυθμ. μεταβ.  $\text{N}_2 = x_1 = -\bar{v}_{\text{αντίδρασης}}$ .

Ρυθμός μεταβολής  $\text{NO}_2 = \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} = x_2 > 0$  (το  $\text{NO}_2$  παράγεται άρα  $\Delta[\text{NO}_2] > 0$ ).

Ο συντελεστής του  $\text{NO}_2$  στη χημική εξίσωση είναι 2, συνεπώς

Ρυθμ. μεταβ.  $\text{NO}_2 = x_2 = 2\bar{v}_{\text{αντίδρασης}}$ .

Άρα,  $\frac{x_1}{x_2} = -\frac{1}{2}$ .

Σωστό το β.

Παρατήρηση

Ο ρυθμός μεταβολής παίρνει αρνητικές τιμές αν το μελετώμενο σώμα είναι αντιδρών και θετικές τιμές αν το μελετώμενο σώμα είναι προϊόν.

Ο ρυθμός κατανάλωσης (η μείωση της συγκέντρωσης γίνεται σαφής από τη λέξη κατανάλωση), ο ρυθμός παραγωγής και οι ταχύτητες παίρνουν πάντα θετικές τιμές.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 9.** Ο καταλύτης:

- α. αυξάνει την κινητική ενέργεια των μορίων των αντιδρώντων
- β. ελαττώνει την κινητική ενέργεια των μορίων των αντιδρώντων
- γ. δημιουργεί μια νέα πορεία για την αντίδραση με μικρότερη ενέργεια ενεργοποίησης  $E_a$
- δ. δημιουργεί μια νέα πορεία για την αντίδραση με μεγαλύτερη ενέργεια ενεργοποίησης  $E_a$

**Λύση**

Σωστό το γ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 10.** Κατά την διάρκεια της αντίδρασης  $A(g) \rightarrow B(g) + \Gamma(g)$  η συγκέντρωση του σώματος B:

- αυξάνεται με σταθερό ρυθμό
- παραμένει σταθερή
- αυξάνεται με φθίνοντα ρυθμό
- αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό από τον ρυθμό μείωσης του σώματος A

**Λύση**

Η ταχύτητα της αντίδρασης μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Η συγκέντρωση του A μειώνεται με φθίνοντα ρυθμό και η συγκέντρωση του B αυξάνεται με τον ίδιο φθίνοντα ρυθμό, επειδή και τα δύο σώματα έχουν ίδιο συντελεστή στη χημική εξίσωση.

Σωστό το γ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 11.** Ο λόγος  $\frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t}$  που αναφέρεται στην αντίδραση:

$A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$  εκφράζει:

- το ρυθμό διάσπασης του Γ
- το ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του Γ
- τη μεταβολή της συγκέντρωσης του Γ
- τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο χρονικό διάστημα  $\Delta t$

**Λύση**

Το Γ παράγεται δεν διασπάται, απορρίπτεται το α.

Το  $\frac{\Delta[\Gamma]}{\Delta t}$  είναι ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης, απορρίπτεται το γ.

Η μέση ταχύτητα μπροστά από το ρυθμό μεταβολής έχει το κλάσμα  $\frac{1}{2}$  λόγω του συντελεστή 2 που έχει το προϊόν Γ στη χημική εξίσωση.  
Σωστό το β.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 12.** Σε κενό δοχείο εισάγονται ισομοριακές ποσότητες από τα σώματα A και B, οπότε πραγματοποιείται η αντίδραση  $A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$ . Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης αυτής:

- οι συγκεντρώσεις των A και B ελαττώνονται με τον ίδιο ρυθμό
- η συγκέντρωση του Γ αυξάνεται με σταθερό ρυθμό
- ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του B είναι διπλάσιος από το ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του A
- η συγκέντρωση του A ελαττώνεται με φθίνοντα ρυθμό και τελικά μηδενίζεται

**Λύση**

Τα A και B έχουν διαφορετικούς συντελεστές, απορρίπτεται το α.

Η συγκέντρωση του Γ αυξάνεται με φθίνοντα ρυθμό μέχρι που σταθεροποιείται σε μία τελική τιμή, απορρίπτεται το β.

$$U = -\frac{1}{1} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} \Rightarrow 2 \cdot \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{\Delta[B]}{\Delta t},$$
 άρα η συγκέντρωση του B

μεταβάλλεται με το διπλάσιο ρυθμό απ' ότι η συγκέντρωση του A.

Σωστό το γ

Επισημαίνεται, ότι αφού τα A και B εισήχθηκαν σε ισομοριακές ποσότητες και το B καταναλώνεται με διπλάσιο ρυθμό από το A θα καταναλωθεί πρώτο, άρα η συγκέντρωση του A δεν μπορεί να μηδενιστεί, συνεπώς απορρίπτεται το δ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 13.** Για να είναι μία σύγκρουση μεταξύ των σωματιδίων των αντιδρώντων αποτελεσματική:

- α. αρκεί τα σωματίδια κατά τη σύγκρουση να έχουν σωστό προσανατολισμό
- β. αρκεί το αντιδρών σύστημα να βρίσκεται στην κατάλληλη θερμοκρασία και πίεση
- γ. αρκεί τα σωματίδια κατά τη σύγκρουση να έχουν σωστό προσανατολισμό και κατάλληλη ταχύτητα
- δ. αρκεί τα σωματίδια κατά τη σύγκρουση να έχουν τη σωστή ταχύτητα

**Λύση**

Σωστό το γ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 14.** Για την αντίδραση:  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NOCl}(\text{g})$  δίνεται ότι ο ρυθμός κατανάλωσης του NO είναι:  $v_{\text{NO}} = 0,2 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ . Συνεπώς, η ταχύτητα της αντίδρασης είναι:

- α.  $0,1 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$
- β.  $0,4 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$
- γ.  $-0,4 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$
- δ.  $-0,1 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$

**Λύση**

Από τον τύπο της ταχύτητας για το NO έχουμε:  $U = \frac{1}{2} U_{\text{NO}} = 0,1 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$

Σωστό το α.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 15.** Δίνεται η αντίδραση  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

Την ταχύτητα της αντίδρασης εκφράζει σωστά η σχέση:

- α.  $U = -\frac{\Delta[\text{CaCO}_3]}{\Delta t}$
- β.  $U = \frac{\Delta[\text{CaO}]}{\Delta t}$
- γ.  $U = \frac{\Delta[\text{CO}_2]}{\Delta t}$
- δ. όλες οι παραπάνω

**Λύση**

Δεδομένου ότι τα στερεά αντιδρώντα συμμετέχουν στις συγκρούσεις ανάμεσα στα μόρια των αντιδρώντων με την εκάστοτε επιφάνειά τους (όχι με την συγκέντρωσή τους), δεν συμπεριλαμβάνονται στις εξισώσεις ταχύτητας.

Σωστό το γ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 16.** Η αύξηση της πίεσης που προκαλείται με ελάττωση του όγκου του δοχείου και με διατήρηση των υπολοίπων παραγόντων σταθερών, οδηγεί στην αύξηση της ταχύτητας:

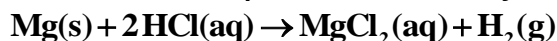
- α. όλων των αντιδράσεων
- β. μόνο των αντιδράσεων που έχουν ένα τουλάχιστον αέριο στα αντιδρώντα ή στα προϊόντα
- γ. μόνο των αντιδράσεων που έχουν ένα τουλάχιστον αέριο αντιδρών
- δ. μόνο των αντιδράσεων που έχουν ένα τουλάχιστον αέριο προϊόν

**Λύση**

Η μεταβολή της πίεσης επηρεάζει την ταχύτητα μόνο όταν στα αντιδρώντα υπάρχει τουλάχιστον ένα αέριο. Επίσης, η παρουσία των προϊόντων δεν επηρεάζει την ταχύτητα της αντίδρασης.

Σωστό το γ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 17. Η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης:**



όταν χρησιμοποιείται περίσσεια Mg και διάλυμα HCl 1 M επηρεάζεται από

- τον όγκο διαλύματος HCl
- την ολική πίεση του συστήματος
- τη θερμοκρασία
- τη ποσότητα του H<sub>2</sub>

**Λύση**

Δεδομένου ότι η ταχύτητα επηρεάζεται από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και όχι από τις ποσότητές τους, απορρίπτεται το α και το δ.

Δεν υπάρχουν αέρια αντιδρώντα, απορρίπτεται το β.

Σωστό το γ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 18. Τη χρονική στιγμή  $t = 4 \text{ min}$  ο ρυθμός παραγωγής του Γ, στην αντίδραση με χημική εξίσωση  $\text{A(g)} + 3\text{B(g)} \rightarrow 2\text{Γ(g)}$  είναι ίσος με  $0,4 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$ .**

Την ίδια στιγμή, ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του B είναι:

- $0,4 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$
- $0,6 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$
- $-0,4 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$
- $-0,6 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$

**Λύση**

Το B είναι αντιδρών, άρα ο ρυθμός μεταβολής του είναι αρνητικός. Από το νόμο ταχύτητας έχουμε:

$$v = -\frac{1}{3} \frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{Γ}]}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t} = -\frac{3}{2} \frac{\Delta[\text{Γ}]}{\Delta t} = -\frac{3}{2} \cdot 0,4 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1} \Rightarrow \frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t} = -0,6 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Σωστό το δ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 19. Στα πρώτα 4 min της αντίδρασης  $\text{A(g)} + 3\text{B(g)} \rightarrow 2\text{Γ(g)}$  ο μέσος ρυθμός παραγωγής του Γ είναι ίσος με  $0,4 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$ . Ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης του σώματος B κατά το ίδιο χρονικό διάστημα είναι:**

- $0,4 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$
- $0,6 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$
- $-0,4 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$
- $-0,6 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$

**Λύση**

Ο όρος κατανάλωση δηλώνει μείωση της συγκέντρωσης και γι' αυτό είναι πάντα θετικός, οπότε

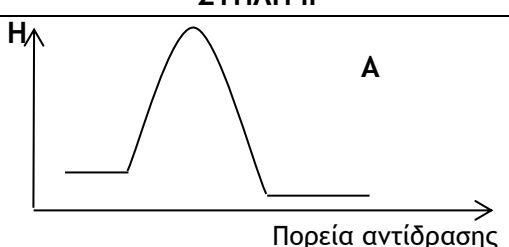
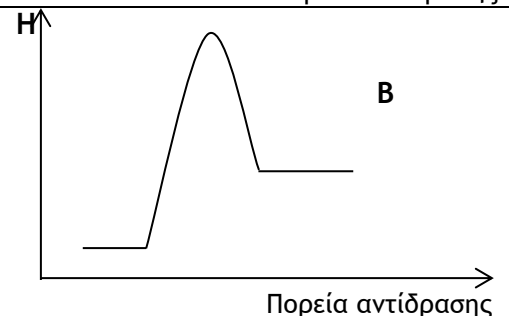
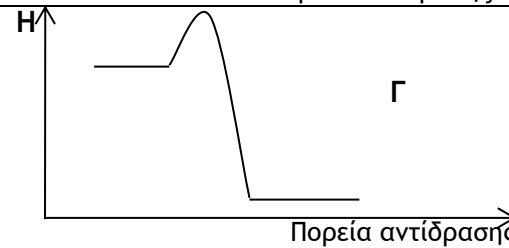
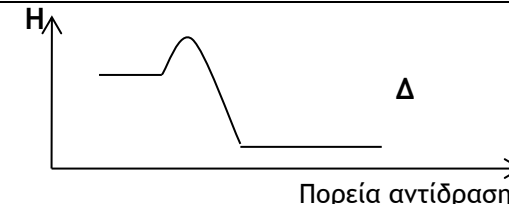
Ρυθμός κατανάλωσης B =  $-\frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t}$ . Από το νόμο ταχύτητας έχουμε:

$$v = -\frac{1}{3} \frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{Γ}]}{\Delta t} \Rightarrow -\frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t} = \frac{3}{2} \frac{\Delta[\text{Γ}]}{\Delta t} = \frac{3}{2} \cdot 0,4 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1} \Rightarrow -\frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t} = 0,6 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$$

Σωστό το β.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 20.**

Να αντιστοιχίσετε, με σωστό τρόπο, τα χαρακτηριστικά των αντιδράσεων της στήλης I με τα ενεργειακά προφίλ της στήλης II.

ΣΤΗΛΗ I	ΣΤΗΛΗ II
1) Εξώθερμη, σχετικά γρήγορη	
2) Ισχυρά εξώθερμη, σχετικά γρήγορη	
3) Ενδόθερμη, σχετικά αργή	
4) Ασθενώς εξώθερμη, σχετικά αργή	

**Λύση**

Ός προς το αν η αντίδραση είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη, θα πρέπει να ελέγξουμε αν η ενθαλπία των αντιδρώντων είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη αντίστοιχα εκείνης των προϊόντων. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά τόσο περισσότερο ενδόθερμη ή εξώθερμη θα είναι η αντίδραση

Ός προς το αν η αντίδραση είναι αργή ή γρήγορη θα πρέπει να ελέγξουμε αν η ενέργεια ενεργοποίησης είναι μεγάλη ή μικρή αντίστοιχα. Όσο μικρότερη είναι η ενέργεια ενεργοποίησης τόσο ταχύτερη θα είναι η αντίδραση.

Κατά συνέπεια:

Το μόνο διάγραμμα που αντιστοιχεί σε ενδόθερμη αντίδραση είναι το Β, καθώς η ενθαλπία των προϊόντων είναι μεγαλύτερη εκείνης των αντιδρώντων. Συνεπώς το διάγραμμα Β αντιστοιχεί σε ενδόθερμη και σχετικά αργή αντίδραση. (3Β)

Στο διάγραμμα Α η μεταβολή ενθαλπίας μεταξύ προϊόντων και αντιδρώντων είναι πολύ μικρή, ενώ η ενέργεια ενεργοποίησης είναι μεγάλη. Άρα το διάγραμμα αντιστοιχεί σε ασθενώς εξώθερμη και σχετικά αργή αντίδραση. (4Α)

Στο διάγραμμα Γ μεταβολή ενθαλπίας μεταξύ προϊόντων και αντιδρώντων είναι μεγάλη και η ενέργεια ενεργοποίησης είναι μικρή. Άρα το διάγραμμα αντιστοιχεί σε ισχυρά εξώθερμη και σχετικά γρήγορη αντίδραση. (2Γ)

Στο διάγραμμα Δ η τιμή της μεταβολής ενθαλπίας μεταξύ προϊόντων και αντιδρώντων είναι συγκριτικά ενδιάμεση και η ενέργεια ενεργοποίησης είναι μικρή. Άρα το διάγραμμα αντιστοιχεί σε εξώθερμη και σχετικά γρήγορη αντίδραση. (1Δ)

Συνεπώς η σωστή αντιστοίχιση είναι : 1Δ, 2Γ, 3Β, 4Α

**ΕΡΩΤΗΣΗ 21.** Η απλή αντίδραση  $A(s) + 3B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$  είναι

- α. πρώτης τάξης.
- β. δεύτερης τάξης.
- γ. τρίτης τάξης.
- δ. τέταρτης τάξης.

**Λύση**

Σωστό είναι το γ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 22.** Βρέθηκε ότι ο νόμος ταχύτητας της αντίδρασης

$A(g) + 3B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$  είναι  $v = k \cdot [A][B]^2$ . Η αντίδραση αυτή

- α. είναι απλή.
- β. ολοκληρώνεται πολύ γρήγορα.
- γ. ολοκληρώνεται πολύ αργά.
- δ. είναι πολύπλοκη.

**Λύση**

Σωστό είναι το δ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 23.** Στην απλή αντίδραση  $A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$ ,  $\Delta H < 0$ :

- α. αυξάνεται η ταχύτητά της, με αύξηση της θερμοκρασίας.
- β. οκταπλασιάζεται η αρχική της ταχύτητα, όταν διπλασιάζεται ο όγκος του δοχείου, με ίδιες αρχικές ποσότητες συστατικών και θερμοκρασία.
- γ. έχει σταθερά ταχύτητας  $k$  με μονάδες  $M^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- δ. έχει σταθερά ταχύτητας  $k$  με μονάδες  $\text{mol}^{-2} \cdot L^2$ .

**Λύση**

Σωστό είναι το α.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 24.** Για την απλή αντίδραση  $3A(g) + B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$

Η στιγμιαία ταχύτητα σχηματισμού του  $\Gamma$  δίνεται από τη σχέση:

- α.  $v_{\Gamma} = k \cdot C_A \cdot C_B$ .
- β.  $v_{\Gamma} = 2k \cdot C_A^3 \cdot C_B$ .
- γ.  $v_{\Gamma} = k \cdot C_A^3 \cdot C_B$ .
- δ.  $v_{\Gamma} = k \cdot C_A \cdot C_B$ .

**Λύση**

Σωστό είναι το β.

Ερωτήσεις θεωρίας - Τύπου Β

**ΕΡΩΤΗΣΗ 1.** Σε ένα πείραμα οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ψευδάργυρο, με τη μορφή λεπτού ελάσματος, και 50 mL διαλύματος HCl 1 M. Η αντίδραση που πραγματοποιήθηκε ήταν η:  $Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$ .

Ποια επίδραση θα έχει:

α) στην αρχική ταχύτητα της αντίδρασης και  
β) στον όγκο του παραγόμενου υδρογόνου,  
κάθε μια από τις παρακάτω μεταβολές:

- i. Προσθέτουμε την ίδια ποσότητα Zn, αλλά σε σκόνη.
- ii. Πραγματοποιούμε την αντίδραση σε χαμηλότερη θερμοκρασία.
- iii. Χρησιμοποιούμε 50 mL διαλύματος HCl 2 M.

Δίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις ο Zn είναι σε περίσσεια.

Στο (α) ερώτημα να απαντήσετε χρησιμοποιώντας τις λέξεις: *βραδύτερη - ταχύτερη - ίδια.*

Στο (β) ερώτημα να απαντήσετε χρησιμοποιώντας τις λέξεις: *μικρότερος - μεγαλύτερος - ίδιος.*

**Λύση**

Για να συγκρίνουμε τις αρχικές ταχύτητες σε κάθε ζεύγος θα εξετάσουμε αν υπάρχουν αλλαγές σε κάποιον από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα, δηλαδή: Συγκέντρωση αντιδρώντων, Πίεση, Επιφάνεια Επαφής στερεού, Θερμοκρασία, Ακτινοβολία και Καταλύτες.

Για να συγκρίνουμε τις ποσότητες του παραγομένου αερίου σε κάθε ζεύγος θα ελέγξουμε πώς αλλάζει η ποσότητα του HCl σε mol, δεδομένου ότι ο Zn είναι σε περίσσεια.

i. ταχύτερη - ίδιος.

Η επιφάνεια επαφής του Zn αυξάνεται.

Αντιδρά ίδια ποσότητα HCl.

ii. Βραδύτερη - ίδιος.

Η ελάττωση της θερμοκρασίας ελαττώνει τη ταχύτητα της αντίδρασης.

Αντιδρά ίδια ποσότητα HCl.

iii. ταχύτερη - μεγαλύτερος.

Αυξάνεται η συγκέντρωση του HCl.

Αυξάνεται η ποσότητα του HCl. Μάλιστα αν παρ'όλη την αύξηση των mol του HCl παραμένει σε περίσσεια ο Zn θα παραχθούν διπλάσια mol H<sub>2</sub>.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 2.** Σε ένα πείραμα οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ψευδάργυρο σε σκόνη και 50 mL διαλύματος HCl 1 M. Η αντίδραση που πραγματοποιήθηκε ήταν η:  $Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$ .

Ποια επίδραση θα έχει:

- α) στην αρχική ταχύτητα της αντίδρασης,
  - β) στον όγκο του παραγόμενου υδρογόνου,
- κάθε μια από τις παρακάτω μεταβολές:

- i. Πριν προσθέσουμε τον Zn προσθέτουμε νερό στο διάλυμα HCl.
- ii. Χρησιμοποιούμε 25 mL διαλύματος HCl 2 M
- iii. Μαζί με τη σκόνη Zn προσθέτουμε μικρή ποσότητα στερεού NaOH.
- iv. Προσθέτουμε την μισή ποσότητα Zn, σε μορφή λεπτού ελάσματος.

Δίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις το διάλυμα HCl είναι σε περίσσεια.

Στο (α) ερώτημα να απαντήσετε χρησιμοποιώντας τις λέξεις: *βραδύτερη - ταχύτερη - ίδια*

Στο (β) ερώτημα να απαντήσετε χρησιμοποιώντας τις λέξεις: *μικρότερος - μεγαλύτερος - ίδιος*.

### Λύση

Για να συγκρίνουμε τις αρχικές ταχύτητες σε κάθε ζεύγος θα εξετάσουμε αν υπάρχουν αλλαγές σε κάποιον από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα, δηλαδή: Συγκέντρωση αντιδρώντων, Πίεση, Επιφάνεια Επαφής στερεού, Θερμοκρασία, Ακτινοβολία και Καταλύτες.

Για να συγκρίνουμε τις ποσότητες του παραγόμενου αερίου σε κάθε ζεύγος θα ελέγξουμε πώς αλλάζει η ποσότητα του Zn σε mol, δεδομένου ότι το HCl είναι σε περίσσεια.

i. Βραδύτερη - ίδιος.

Λόγω αραιώσης ελαττώνεται η συγκέντρωση του διαλύματος HCl, άρα και η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης.

Αντιδρά ίδια ποσότητα Zn.

ii. Ταχύτερη - ίδιος.

Αυξάνεται η συγκέντρωση του HCl, άρα και η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης.

Αντιδρά ίδια ποσότητα Zn.

iii. Βραδύτερη-ίδιος.

Μέρος του HCl αντιδρά με το NaOH (εξουδετέρωση), άρα η συγκέντρωση του διαλύματος HCl μειώνεται, συνεπώς και η αρχική ταχύτητα της αντίδρασής του με τον Zn.

Αντιδρά ίδια ποσότητα Zn.

ii. Βραδύτερη - μικρότερος.

Μειώθηκε η επιφάνεια επαφής του Zn.

Μειώθηκε η ποσότητα Zn.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 3.** Για τη μελέτη της ταχύτητας της χημικής αντίδρασης



πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα όπου χρησιμοποιήθηκε περίσσεια άνθρακα με τη μορφή κόκκων. Ποια επίδραση θα έχει:

- α) στην αρχική ταχύτητα της αντίδρασης,  
β) στο ποσό θερμότητας που πρέπει να προσφερθεί στο χημικό σύστημα, κάθε μια από τις παρακάτω μεταβολές:
- χρησιμοποιούμε αρχικά μικρότερη ποσότητα  $\text{CO}_2$ .
  - χρησιμοποιούμε αρχικά την ίδια ποσότητα C, αλλά σε λεπτότερο διαμερισμό.
  - πραγματοποιούμε την αντίδραση σε χαμηλότερη θερμοκρασία.
  - πραγματοποιούμε την αντίδραση σε δοχείο μεγαλύτερου όγκου.

#### Λύση

Για να συγκρίνουμε τις αρχικές ταχύτητες σε κάθε ζεύγος θα εξετάσουμε αν υπάρχουν αλλαγές σε κάποιον από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα, δηλαδή: Συγκέντρωση αντιδρώντων, Πίεση, Επιφάνεια Επαφής στερεού, Θερμοκρασία, Ακτινοβολία και Καταλύτες.

Για να συγκρίνουμε το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφερθεί στο χημικό σύστημα θα εξετάσουμε πώς αλλάζει η ποσότητα του αντιδρώντος  $\text{CO}_2$ , δεδομένου ότι ο C είναι σε περίσσεια. Όσο μεγαλύτερη ποσότητα  $\text{CO}_2$  αντιδρά, τόσο μεγαλύτερο ποσό θερμότητας πρέπει να προσφερθεί στο χημικό σύστημα.

i. Μικραίνει η συγκέντρωση του  $\text{CO}_2$ , άρα μειώνεται η αρχική ταχύτητα.

Μικραίνει η ποσότητα του  $\text{CO}_2$ , συνεπώς πρέπει να προσφερθεί μικρότερο ποσό θερμότητας.

ii. Αυξάνεται η επιφάνεια επαφής, άρα και η ταχύτητα της αντίδρασης.

Η ποσότητα του  $\text{CO}_2$  δεν μεταβάλλεται, συνεπώς δεν μεταβάλλεται και το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσφερθεί.

iii. Ελαττώνεται η θερμοκρασία, άρα μικραίνει η αρχική ταχύτητα.

Η ποσότητα του  $\text{CO}_2$  δεν μεταβάλλεται, συνεπώς δεν μεταβάλλεται και το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσφερθεί.

iv. Μεγαλύτερος όγκος δοχείου συνεπάγεται μικρότερη συγκέντρωση  $\text{CO}_2$ , άρα πιο αργή αρχική αντίδραση.

Η ποσότητα του  $\text{CO}_2$  δεν μεταβάλλεται, συνεπώς δεν μεταβάλλεται και το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσφερθεί.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 4.** Αύξηση της θερμοκρασίας κατά  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  θεωρούμε ότι τριπλασιάζει την ταχύτητα της αντίδρασης:  $2\text{A}(\text{g}) \rightarrow 2\text{B}(\text{g}) + \text{Γ}(\text{g})$ . Σε θερμοκρασία  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  η αρχική ταχύτητα της αντίδρασης είναι  $U_0$ .

- A.** Ποια θα είναι η ταχύτητα της αντίδρασης σε θερμοκρασία  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
 α.  $18 U_0$                       β.  $9 U_0$                       γ.  $27 U_0$   
**B.** Ποια θα είναι η ταχύτητα κατανάλωσης του A σε θερμοκρασία  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
 α.  $18 U_0$                       β.  $9 U_0$                       γ.  $27 U_0$

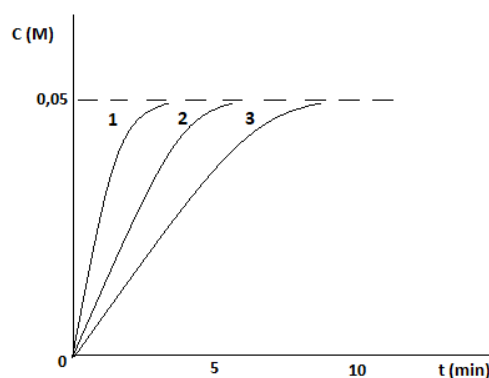
**Λύση**

**A.**  $\Delta\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 2 \cdot 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , συνεπώς έχουμε δύο τριπλασιασμούς, σωστό το β.

Εναλλακτικά:  $U' = 3^{\frac{\Delta T}{10}} \cdot U_0 = 3^{\frac{2 \cdot 10}{10}} U_0 = 3^2 U_0 = 9U_0$ , σωστό το β.

**B.** Από τους συντελεστές προκύπτει ότι  $U_A' = 2 \cdot U'$ , σε κάθε χρονική στιγμή. Σωστό το α.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 5.** Σε τρία όμοια δοχεία 1, 2 και 3 εισάγεται ίση ποσότητα αερίου A, το οποίο αντιδρά σύμφωνα με την αντίδραση  $\text{A}(\text{g}) \rightarrow 2\text{B}(\text{g})$ . Το ένα από αυτά δοχεία βρίσκεται σε θερμοκρασία  $T_1$ , το άλλο βρίσκεται σε θερμοκρασία  $T_2 > T_1$  και το τρίτο περιέχει καταλύτη και βρίσκεται σε θερμοκρασία  $T_2$ . Η γραφική παράσταση της συγκέντρωσης του προϊόντος B σε συνάρτηση με το χρόνο παρουσιάζεται, και για τα τρία δοχεία, στο διπλανό διάγραμμα.



Να επιλέξετε την σωστή απάντησή.

- A.** Ο καταλύτης βρίσκεται:  
 α. στο δοχείο 1,    β. στο δοχείο 2,    γ. στο δοχείο 3.  
**B.** Σε θερμοκρασία  $T_1$  βρίσκεται :  
 α. το δοχείο 1,    β. το δοχείο 2,    γ. το δοχείο 3.

Να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας.

**Λύση**

**A.** Το δοχείο 1.

Η αντίδραση ολοκληρώνεται ταχύτερα στο δοχείο που την ταχύτητα επηρεάζουν θετικά δύο παράγοντες, ο καταλύτης και η υψηλότερη θερμοκρασία ( $T_2$ ).

**B.** Το δοχείο 3.

Στα δύο δοχεία που απομένουν η αντίδραση ολοκληρώνεται ταχύτερα στο δοχείο που την ταχύτητα επηρεάζει θετικά η υψηλότερη θερμοκρασία  $T_2$ . Συνεπώς, το δοχείο με τη χαμηλότερη θερμοκρασία  $T_1$  είναι το τρίτο

**ΕΡΩΤΗΣΗ 6.** Για την αντίδραση  $A+B \rightarrow \Gamma$ ,  $\Delta H$  δίνεται η ενέργεια ενεργοποίησης  $E_{\alpha}$ . Η ενέργεια ενεργοποίησης  $E'_{\alpha}$  της αντίστροφης αντίδρασης δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha. E_{\alpha} + E'_{\alpha} = \Delta H, \quad \beta. E_{\alpha} - E'_{\alpha} = \Delta H \quad \gamma. E'_{\alpha} - E_{\alpha} = \Delta H.$$

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

**Λύση**

Σωστό το β.

Το ενεργοποιημένο σύμπλοκο είναι το ίδιο είτε εξετάζουμε την αντίδραση  $A+B \rightarrow \Gamma$ ,  $\Delta H$  είτε την αντίστροφή της  $\Gamma \rightarrow A+B$ ,  $-\Delta H$ . Επίσης, για την αντίδραση  $A+B \rightarrow \Gamma$ ,  $\Delta H$ , ισχύει:  $E_{\text{ΕνεργοποιημένουΣυμπλόκου}} = H_{A+B} + E_{\alpha}$  (1) και για την  $\Gamma \rightarrow A+B$ ,  $-\Delta H$  ισχύει:  $E_{\text{ΕνεργοποιημένουΣυμπλόκου}} = H_{\Gamma} + E'_{\alpha}$  (2). Από (1) και (2) προκύπτει  $H_{A+B} + E_{\alpha} = H_{\Gamma} + E'_{\alpha} \Rightarrow E_{\alpha} - E'_{\alpha} = H_{\Gamma} - H_{A+B} \Rightarrow E_{\alpha} - E'_{\alpha} = \Delta H$

**ΕΡΩΤΗΣΗ 7.** Να χαρακτηρίσετε τις παρακάτω προτάσεις με τη λέξη σωστό, αν η πρόταση είναι σωστή ή με τη λέξη λάθος αν η πρόταση είναι λανθασμένη. Στη συνέχεια, να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας για όλες τις προτάσεις.

α) Μεγάλη ενέργεια ενεργοποίησης συνεπάγεται μικρή ταχύτητα αντίδρασης.

β) Για να αντιδράσουν δύο μόρια αντιδρώντων πρέπει να συγκρουστούν αποτελεσματικά, δηλαδή να έχουν κατάλληλη κινητική ενέργεια και σωστό προσανατολισμό.

γ) Κατά την διάρκεια της αντίδρασης  $A(g)+B(g) \rightarrow [A \cdots B] \rightarrow AB(g)$  τα μόρια των αντιδρώντων που συγκρούονται χωρίς να έχουν ικανή κινητική ενέργεια, σχηματίζουν το ενεργοποιημένο σύμπλοκο  $[A \cdots B]$ , το οποίο όμως δεν μπορεί να σχηματίσει το προϊόν  $AB$ .

δ) Σε δοχείο εισάγουμε 5 mol A και 5 mol B, θερμαίνουμε στους  $\theta$  °C, οπότε λαμβάνει χώρα η αντίδραση  $A(g)+B(g) \rightarrow AB(g)$ , η οποία ολοκληρώνεται σε 50 min. Συνεπώς, τη στιγμή  $t = 25$  min θα έχουν παραχθεί 2,5 mol AB.

**Λύση**

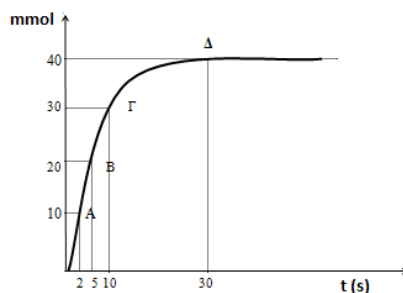
α) Σωστό. Αν η ενέργεια ενεργοποίησης είναι μεγάλη τότε πολύ μικρό πλήθος μορίων αντιδρώντων έχει κινητική ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για αποτελεσματική σύγκρουση, συνεπώς η αντίδραση προχωρά με πολύ αργό ρυθμό.

β) Σωστό. Η κατάλληλη ταχύτητα απαιτείται ώστε να έχουμε αρκετά σφοδρή σύγκρουση που θα οδηγήσει στη διάσπαση των παλαιών δεσμών. Ο σωστός προσανατολισμός είναι απαραίτητος για να έρθουν σε επαφή τα άτομα που θα κάνουν τους νέους δεσμούς.

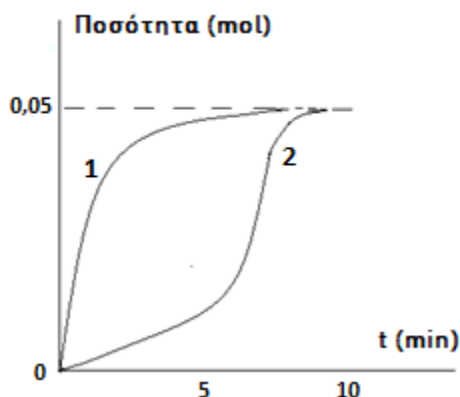
γ) Λάθος. Αφού τα μόρια των αντιδρώντων δεν έχουν ικανή ενέργεια δεν μπορούν να σχηματίσουν το ενεργοποιημένο σύμπλοκο.

δ) Η ταχύτητα παραγωγής ενός προϊόντος μειώνεται με φθίνοντα ρυθμό μέχρι να μηδενιστεί.

Ως εκ τούτου, η παραγωγή του προϊόντος είναι έντονη στην αρχή και μικρή προς το τέλος της αντίδρασης. Με άλλα λόγια, η μισή ποσότητα προϊόντος παράγεται πολύ νωρίτερα από το χρονικό μέσο της αντίδρασης. Για παράδειγμα, στο παραπάνω σχήμα η μισή ποσότητα προϊόντος έχει παραχθεί στα 5 s, ενώ το χρονικό μέσο της αντίδρασης είναι στα 15 s.



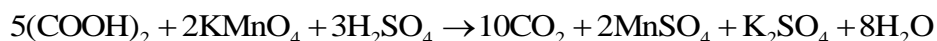
**ΕΡΩΤΗΣΗ 8.** Σε δύο όμοια δοχεία προσθέτουμε ίσες ποσότητες από οξαλικό οξύ, υπερμαγγανικό κάλιο και θειικό οξύ. Στο ένα από τα δύο δοχεία προσθέτουμε ταυτόχρονα ικανή ποσότητα ιόντων  $Mn^{2+}$  (προσθέτοντας  $MnCl_2$ ). Τα διαγράμματα του διπλανού σχήματος αντιστοιχούν στην μεταβολή των mol του παραγόμενου αερίου σε συνάρτηση με το χρόνο, για τις αντιδράσεις που συμβαίνουν στα δοχεία 1 και 2.



- α) Ποιο είναι το αέριο του οποίου η μεταβολή των mol με το χρόνο απεικονίζεται στο σχήμα;  
 β) Σε ποιο δοχείο προστέθηκε το  $MnCl_2$ ;

**Λύση**

α) Το παραγόμενο αέριο είναι το  $CO_2$  σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:



Επίσης, η αντίδραση αυτή αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση αυτοκατάλυσης με το παραγόμενα ιόντα  $Mn^{+2}$  να είναι ο καταλύτης

β) Η προσθήκη ικανής ποσότητας ιόντων  $Mn^{+2}$  από την αρχή της αντίδρασης συνεπάγεται ότι η αντίδραση θα εξελίσσεται υπό την παρουσία καταλύτη από την αρχή μέχρι το τέλος της, άρα περιμένουμε ένα τυπικό διάγραμμα γρήγορης παραγωγής προϊόντων (η καμπύλη στην αρχή θα είναι εγγύτερα στον άξονα  $y'y$ ).

Αν ο καταλύτης παράγεται κατά την εξέλιξη της αντίδρασης μέχρι να σχηματισθεί ικανή ποσότητα αυτού η παραγωγή των προϊόντων θα είναι σχετικά αργή (η καμπύλη στην αρχή θα είναι εγγύτερα στον άξονα  $x'x$ ) και μετά θα επιταχυνθεί. Επίσης, η αντίδραση θα ολοκληρωθεί λίγο πιο γρήγορα στο δοχείο που ο καταλύτης δρα από την αρχή της αντίδρασης.

Συνεπώς, στο 1<sup>ο</sup> δοχείο προστέθηκε η ποσότητα  $MnCl_2$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 9.** Να χαρακτηρίσετε τις παρακάτω προτάσεις με τη λέξη σωστό, αν η πρόταση είναι σωστή ή με τη λέξη λάθος αν η πρόταση είναι λανθασμένη.

Στη συνέχεια, να αιτιολογήσετε τις επιλογές σας για όσες προτάσεις χαρακτηρίσατε ως λανθασμένες.

α. Η ταχύτητα μιας χημικής αντίδρασης καθ' όλη τη διάρκεια της παραμένει σταθερή.

β. Η κλίση της εφαπτομένης σε ένα σημείο Α της καμπύλης αντίδρασης μας δείχνει τη στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης.

γ. Ένα από τα αντικείμενα της χημικής κινητικής είναι και ο προσδιορισμός του μηχανισμού με τον οποίο λαμβάνει χώρα η αντίδραση που μελετάται.

δ. Ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας μιας αντίδρασης της μορφής  $\alpha A(g) + \beta B(g) \rightarrow \gamma \Gamma(s) + \delta \Delta(g)$  είναι δυνατόν να γίνει από τον προσδιορισμό του ρυθμού μεταβολής της συγκέντρωσης οποιουδήποτε σώματος συμμετέχει σε αυτή.

**Λύση**

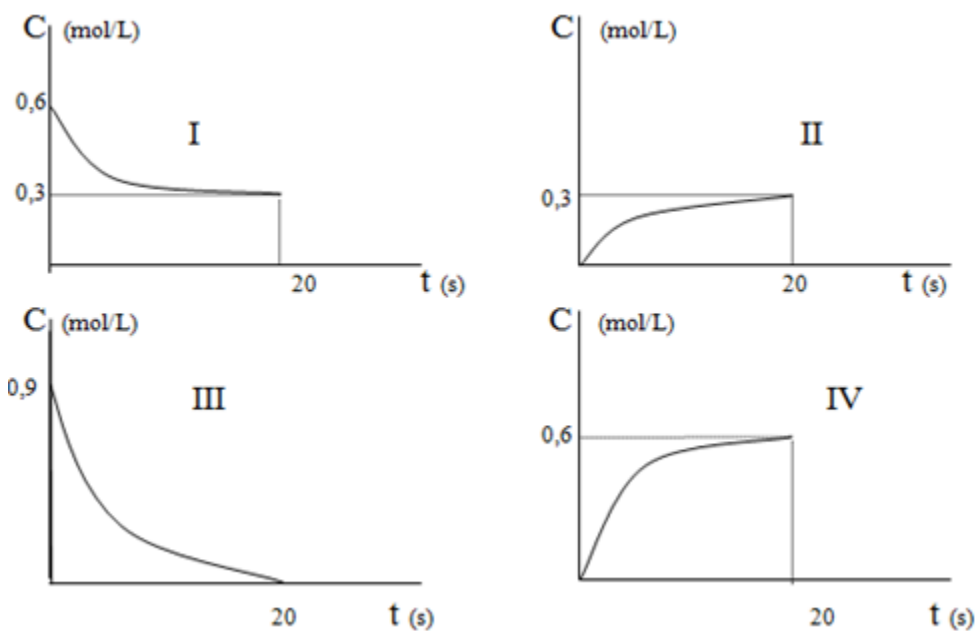
α. Λάθος. Η ταχύτητα μειώνεται συνεχώς, με φθίνοντα ρυθμό, επειδή ελαττώνονται οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων, άρα και το πλήθος των συγκρούσεων στη μονάδα του χρόνου.

β. Λάθος. Μας δείχνει τη στιγμιαία ταχύτητα του προϊόντος ή αντιδρώντος στο οποίο αντιστοιχεί η καμπύλη, τη στιγμή  $t$  η οποία αντιστοιχεί στην προβολή του σημείου Α στον άξονα του χρόνου. Αν το σώμα στο οποίο αντιστοιχεί η καμπύλη έχει συντελεστή 1 τότε η στιγμιαία ταχύτητά του είναι και η στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης τη στιγμή  $t$ . Αν, όμως, έχει συντελεστή  $\lambda \neq 1$  τότε η στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης υπολογίζεται από τη σχέση  $U_{\text{αντίδρασης}} = \pm \frac{1}{\lambda} U_{\text{σώματος}}$ .

γ. Σωστό.

δ. Λάθος. Το σώμα Γ είναι καθαρό στερεό, άρα η συγκέντρωσή του σε mol/L είναι σταθερή και ανεξάρτητη από την ποσότητα του. Ως εκ τούτου, η μέση ταχύτητα της παραπάνω αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί μόνο από τον προσδιορισμό του ρυθμού μεταβολής της συγκέντρωσης ενός από τα σώματα Α, Β και Δ. Επισημαίνεται ότι, από την μεταβολή της ποσότητας του Γ (σε mol), μπορούμε μέσω στοιχειομετρικών υπολογισμών να βρούμε τη μεταβολή ποσότητας (σε mol) κάποιου από τα Α, Β ή Δ, στη συνέχεια να υπολογίσουμε τη μεταβολή της συγκέντρωσης αυτού και, εν τέλει, να υπολογίσουμε την ταχύτητα της αντίδρασης.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 10.** Οι γραφικές παραστάσεις  $C=f(t)$  των σωμάτων που συμμετέχουν στη χημική αντίδραση:  $A(g) + 3B(g) \rightarrow 2\Gamma(g) + \Delta(g)$ , παρουσιάζονται στα διαγράμματα I έως IV.



- α) Να βρείτε σε ποια ουσία ανήκει κάθε διάγραμμα.  
 β) Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης τα πρώτα 20 s;  
 γ) Να βρείτε την ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική στιγμή  $t = 20$  s;

**Λύση**

α) Τα διαγράμματα I και III δείχνουν μείωση της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου, άρα αναφέρονται σε αντιδρώντα. Η μεταβολή της συγκέντρωσης στο III είναι τριπλάσια της μεταβολής στο I. Συνεπώς, η ουσία της οποίας η μεταβολή συγκέντρωσης παρουσιάζεται στο III έχει τριπλάσιο συντελεστή από την ουσία της οποίας η μεταβολή συγκέντρωσης παρουσιάζεται στο I. Ως εκ τούτου, το διάγραμμα I περιγράφει τη μεταβολή συγκέντρωσης του αντιδρώντος Α και το III του αντιδρώντος Β.

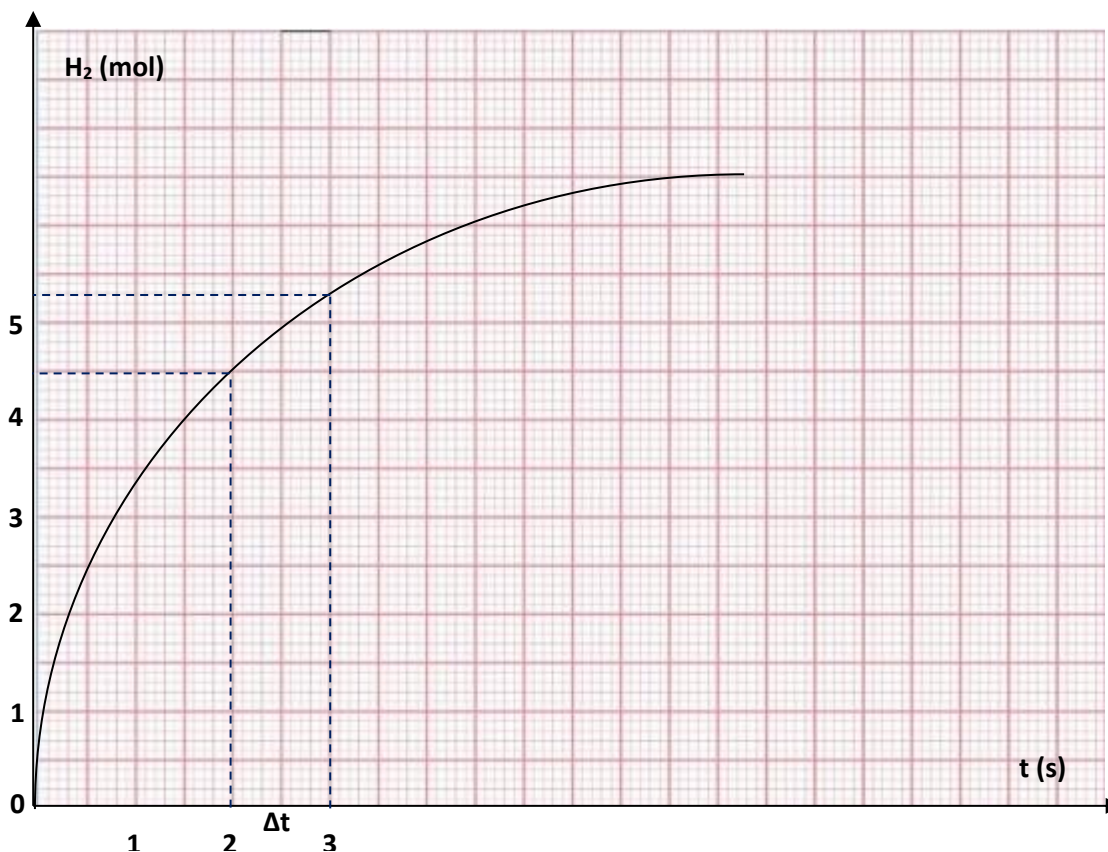
Αντίστοιχα, προκύπτει ότι το διάγραμμα II περιγράφει τη μεταβολή συγκέντρωσης του προϊόντος Δ και το IV του προϊόντος Γ.

β) Η μέση ταχύτητα από την έναρξη μέχρι τη στιγμή  $t = 20 \text{ s}$  μπορεί να βρεθεί από το

$$\text{προϊόν } \Delta, U_{\text{αντίδρασης}, 0 \rightarrow 20 \text{ s}} = \frac{1}{1} \cdot U_{\Delta} = \frac{\Delta[\Delta]_{0 \rightarrow 20 \text{ s}}}{\Delta t_{0 \rightarrow 20 \text{ s}}} = \frac{0,3 \text{ M}}{20 \text{ s}} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1},$$

γ) Τη στιγμή  $t = 20 \text{ s}$  η συγκέντρωση του Β μηδενίζεται. Συνεπώς, η αντίδραση ολοκληρώθηκε και  $U_{t=20 \text{ s}} = 0 \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 11.** Για τη μελέτη της ταχύτητας αντίδρασης του ψευδαργύρου με διάλυμα υδροχλωρίου μετρήθηκε η ποσότητα του παραγόμενου  $\text{H}_2$  (σε mol) σε διάφορες χρονικές στιγμές και κατασκευάστηκε η παρακάτω γραφική παράσταση.



Να εξηγήσετε σύντομα ποιά άλλα στοιχεία πρέπει να γνωρίζετε για να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο χρονικό διάστημα  $\Delta t$ .

**Λύση**

Πρέπει να γνωρίζουμε:

α) τη χημική εξίσωση που περιγράφει τη μεταβολή και

β) τον όγκο του διαλύματος.

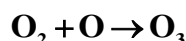
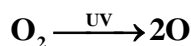
Η χημική εξίσωση που περιγράφει τη μεταβολή,  $\text{Zn(s)} + 2\text{HCl(aq)} \rightarrow \text{ZnCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$ , μας επιτρέπει να γράψουμε τον τύπο μέσω του οποίου μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο χρονικό διάστημα  $\Delta t$ , δηλαδή  $U = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[\text{HCl}]}{\Delta t}$ .

Ο όγκος του διαλύματος είναι απαραίτητος για να βρούμε τις συγκεντρώσεις που θα χρησιμοποιήσουμε στον παραπάνω τύπο.

Θα εργασθούμε ως εξής:

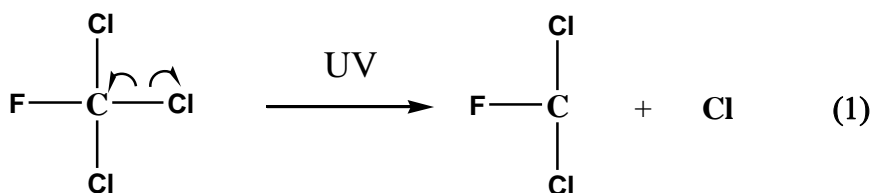
Από το διάγραμμα θα βρούμε τη μεταβολή των mol  $H_2$  ( $\Delta n_{H_2}$ ) σε χρόνο  $\Delta t$ . Μέσω της στοιχειομετρίας της αντίδρασης θα υπολογίσουμε τη μεταβολή των mol  $HCl$  ( $\Delta n_{HCl}$ ) στο ίδιο χρονικό διάστημα. Διαιρώντας τη μεταβολή των mol  $HCl$  με τον όγκο του διαλύματος έχουμε τη μεταβολή της συγκέντρωσης του  $HCl$  στο χρόνο  $\Delta t$ . Βάζοντας την τιμή της  $\Delta[HCl]$  στον παραπάνω τύπο υπολογίζεται η ταχύτητα της αντίδρασης.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 12.** Το όζον στη στρατόσφαιρα σχηματίζεται με τις ακόλουθες αντιδράσεις



Οι χλωροφθοράνθρακες ( $CFCl_3$ ), γνωστοί με την ονομασία Freon και χρησιμοποιούνταν σε κλιματιστικά, ψυγεία, ψυκτικές μηχανές ή ως προωθητικό αέριο σε αερολύματα (σπρέυ). Διαπιστώθηκε ότι είναι οι ουσίες που ευθύνονται για την καταστροφή του όζοντος ( $O_3$ ) της στρατόσφαιρας, με τον εξής μηχανισμό.

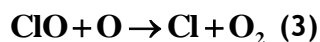
i. Αρχικά, γίνεται η ομολυτική σχάση του δεσμού άνθρακα χλωρίου ( $C-Cl$ ) με την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV)



Έτσι, ελευθερώνεται ένα άτομο χλωρίου. Το άτομο του χλωρίου έχει επτά ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα  $:\ddot{Cl}\cdot$  και είναι ιδιαίτερα δραστικό.

Συχνά, για να φανεί το κέντρο δραστικότητάς του, δηλαδή το μονήρες ηλεκτρόνιο που διαθέτει, συμβολίζεται ως  $Cl\cdot$  και αποκαλείται ελεύθερη ρίζα χλωρίου ή απλώς ρίζα χλωρίου.

ii. Στη συνέχεια, τα άτομα χλωρίου δίνουν τις εξής αντιδράσεις,



Προσέξτε ότι ένα άτομο χλωρίου καταστρέφει ένα μόριο όζοντος με την αντίδραση (2) και αναγεννιέται με την αντίδραση (3). Συνεπώς, ένα άτομο χλωρίου μπορεί να διασπάσει δεκάδες χιλιάδες μόρια όζοντος.

Επιπλέον, οι αντιδράσεις (2) και (3) συνολικά, αντιστοιχούν στην ακόλουθη αντίδραση:  $O_3(g) + O(g) \xrightarrow{Cl(g)} 2O_2(g)$ .

Αξιοποιώντας τις προηγούμενες πληροφορίες να συμπληρώσετε σωστά τα κενά, στις προτάσεις που ακολουθούν, βάζοντας τη σωστή από τις δύο λέξεις που δίνονται στην παρένθεση.

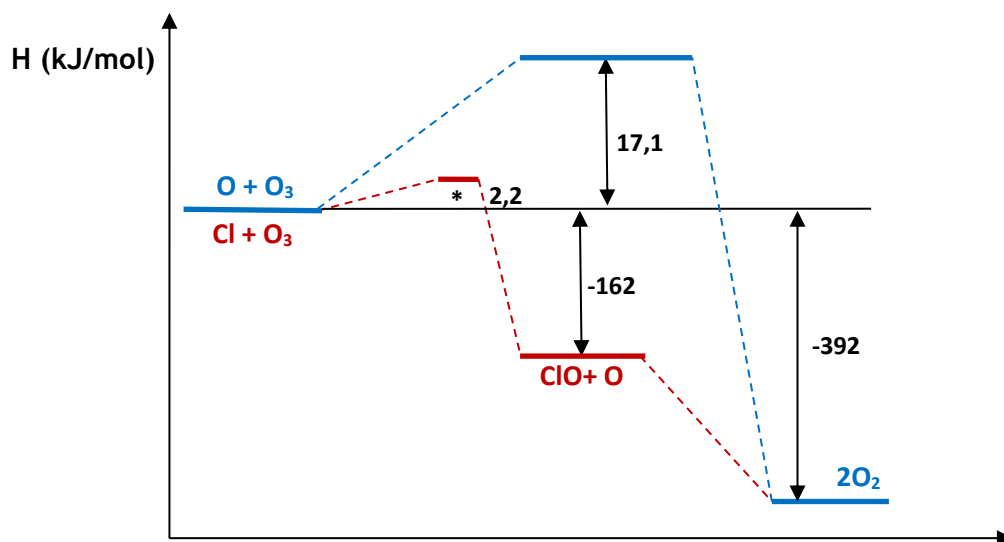
α) Στο σύστημα αντιδράσεων (2) και (3) το οξείδιο του χλωρίου ( $ClO$ ) αποτελεί ..... (τελικό προϊόν - ενδιάμεσο προϊόν).

β) Στο σύστημα αντιδράσεων (2) και (3) το ατομικό χλώριο δρα ως ..... (αντιδρών - καταλύτης).

γ) Η αντίδραση  $\text{O}_3(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) \xrightarrow{\text{Cl}(\text{g})} 2\text{O}_2(\text{g})$  ανήκει στις ..... (ομογενείς καταλύσεις - ετερογενείς καταλύσεις).

δ) Το σύνολο των αντιδράσεων που περιγράφουν τη διάσπαση του όζοντος στην στρατόσφαιρα, μπορεί να θεωρηθεί ότι συνδυάζει αφενός την ερμηνεία της καταλυτικής δράσης με βάση τη θεωρία ..... (της προσρόφησης - των ενδιάμεσων προϊόντων) και αφετέρου την επίδραση του παράγοντα ..... (ακτινοβολίες - πίεση) στην ταχύτητα καταστροφής του όζοντος.

ε) Το παρακάτω ενεργειακό διάγραμμα περιγράφει την αντίδραση της διάσπασης του όζοντος με καταλύτη και χωρίς καταλύτη. Σύμφωνα με το διάγραμμα μικρότερη ..... (μεταβολή ενθαλπίας - ενέργεια ενεργοποίησης) παρουσιάζει η διάσπαση παρουσία καταλύτη.



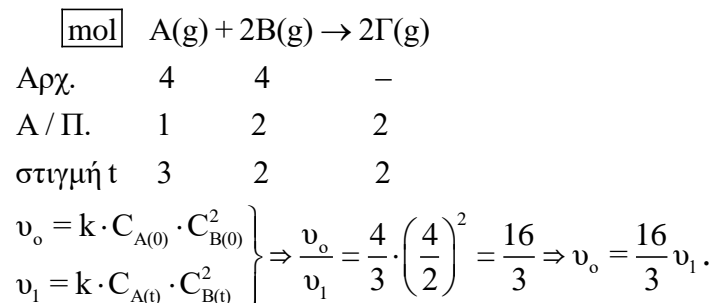
Πορεία αντίδρασης

Λύση

- α) ενδιάμεσο προϊόν
- β) καταλύτης
- γ) ομογενείς καταλύσεις
- δ) των ενδιάμεσων προϊόντων, ακτινοβολίες.
- ε) ενέργεια ενεργοποίησης.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 13.** Έστω η απλή αντίδραση  $A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$ . Σε δοχείο όγκου 2 L εισάγουμε 4 mol A και 4 mol B, οπότε η αρχική ταχύτητα είναι  $v_0$ . Κάποια χρονική στιγμή  $t$  στο δοχείο υπάρχουν 2 mol  $\Gamma$ , ενώ η στιγμιαία ταχύτητα είναι  $v_1$ . Να βρείτε τη σχέση που συνδέει τις δύο ταχύτητες.

**Λύση**



**ΕΡΩΤΗΣΗ 14.** Έστω η αντίδραση  $A(g) + 2B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$  με σταθερά ταχύτητας  $k = 2 M^{-1} \cdot \min^{-1}$ . Σε δοχείο X όγκου 2 L εισάγουμε 4 mol A και 4 mol B, οπότε η αρχική ταχύτητα είναι  $v_0$ . Σε άλλο δοχείο Ψ όγκου 4 L εισάγουμε 4 mol A και 4 mol B, οπότε η αρχική ταχύτητα είναι  $v_0'$ .

- α. Να βρείτε την τάξη της αντίδρασης.  
 β. Να βρείτε τη σχέση που συνδέει τις δύο αρχικές ταχύτητες.

**Λύση**

α. Από τη γενική μορφή του νόμου ταχύτητας  $v = k \cdot C_A^x \cdot C_B^y$  έχουμε :  $k = \frac{v}{C_A^x \cdot C_B^y}$ ,

άρα οι μονάδες της σταθεράς ταχύτητας είναι  $k \rightarrow M^{1-x-y} \cdot \min^{-1}$ .

Δίνεται ότι οι μονάδες της  $k$  είναι  $M^{-1} \cdot \min^{-1}$ , επομένως έχουμε την εξίσωση  $M^{1-x-y} \cdot \min^{-1} = M^{-1} \cdot \min^{-1} \Rightarrow 1-x-y = -1 \Rightarrow x+y = 2$ , άρα η αντίδραση είναι 2<sup>ης</sup> τάξης.

β. Για τις δύο ταχύτητες έχουμε

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= k \cdot C_A^x \cdot C_B^y \\ v_0' &= k \cdot (C_A')^x \cdot (C_B')^y \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{v_0}{v_0'} = \left(\frac{4}{4}\right)^x \cdot \left(\frac{4}{4}\right)^y = (2)^{x+y} = 4 \Rightarrow v_0 = 4v_0'.$$

### Ασκήσεις - Τύπου Γ

**ΑΣΚΗΣΗ 1.** Σε δοχείο 2 L τοποθετούνται 400 g στερεού  $\text{CaCO}_3$ . Το δοχείο θερμαίνεται στους  $\theta$  °C, οπότε λαμβάνει χώρα η αντίδραση:



Γ1) Να εξηγήσετε ποιον ή ποιους από τους ακόλουθους τρόπους θα χρησιμοποιούσατε για να επιταχύνετε την παραπάνω αντίδραση.

i. Υψηλότερη πίεση.

ii. Υψηλότερη θερμοκρασία.

Γ2) Στα πρώτα 4 min της αντίδρασης η μάζα των στερεών βρέθηκε ίση με 312 g. Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης κατά το παραπάνω χρονικό διάστημα.

Δίνεται ότι:  $M_{\text{r}_{\text{CaCO}_3}} = 100$ ,  $M_{\text{r}_{\text{CaO}}} = 56$  και  $M_{\text{r}_{\text{CO}_2}} = 44$ .

#### Λύση

Γ1) Επειδή στα αντιδρώντα δεν υπάρχουν αέρια η αύξηση της πίεσης δεν επηρεάζει την ταχύτητα της αντίδρασης. Συνεπώς, θα χρησιμοποιούσαμε υψηλότερη θερμοκρασία.

$$\text{Γ2) Η αρχική ποσότητα } \text{CaCO}_3 \text{ είναι: } n = \frac{m}{M_{\text{r}}} = \frac{400 \text{ g}}{100 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 4 \text{ mol}$$

Το πινακάκι μεταβολών ποσοτήτων της αντίδρασης είναι το ακόλουθο:

[mol]	$\text{CaCO}_3(\text{s})$	$\rightarrow$	$\text{CaO}(\text{s})$	$+$	$\text{CO}_2(\text{g})$
Αρχ.	4	–	–	–	–
Αντ./Παρ.	x		x		x
Τηστιγμή t = 4 min	4 – x		x		x

Από την αρχή διατήρησης της μάζας στα χημικά φαινόμενα ισχύει ότι:

$$m_{\text{στερεών}, t=4 \text{ min}} + m_{\text{CO}_2(\text{g}), t=4 \text{ min}} = m_{\text{αρχικό}} \Rightarrow 312 \text{ g} + m_{\text{CO}_2(\text{g}), t=4 \text{ min}} = 400 \text{ g} \Rightarrow m_{\text{CO}_2(\text{g}), t=4 \text{ min}} = 88 \text{ g}$$

$$\text{Συνεπώς, } n_{\text{CO}_2} = \frac{88 \text{ g}}{44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \Rightarrow n_{\text{CO}_2} = 2 \text{ mol} = x.$$

$$U = \frac{\Delta[\text{CO}_2]}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{2}{2} - \frac{0}{2}\right) \text{M}}{4 \text{ min}} = 0,25 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$$

**ΑΣΚΗΣΗ 2.** Σε κλειστό δοχείο όγκου 2 L εισάγονται ποσότητες από τα αέρια A και B. Θερμαίνουμε στους 127 °C, οπότε αρχίζει η αντίδραση:  $3A(g) + B(g) \rightarrow 2\Gamma(g) + \Delta(g)$ , η οποία ολοκληρώνεται με μέση ταχύτητα  $2 \cdot 10^{-3} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Γ1) Αν γνωρίζετε ότι στο τέλος της αντίδρασης η συγκέντρωση του προϊόντος Δ είναι 0,6 M. Να υπολογίσετε το χρόνο που απαιτήθηκε για να ολοκληρωθεί η αντίδραση.

Γ2) Δεδομένου ότι η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους 127 °C να εξηγήσετε πώς μεταβάλλεται η πίεση στο δοχείο.

### Λύση

Γ1) Από τον ορισμό της μέσης ταχύτητας και με βάση τις πληροφορίες που δίνονται για το προϊόν Δ, έχουμε:

$$U = \frac{\Delta[\Delta]}{\Delta t} = \frac{(0,6 - 0) \text{ M}}{t} \Rightarrow 2 \cdot 10^{-3} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1} = \frac{0,6 \text{ M}}{t} \Rightarrow t = 300 \text{ s}$$

Γ2) Κάνουμε το πινακάκι μεταβολής των mol για οποιαδήποτε στιγμή t, θεωρώντας τις αρχικές ποσότητες των A και B ως α mol και β mol, αντίστοιχα.

mol	$3A(g) + B(g) \rightarrow 2\Gamma(g) + \Delta(g)$			
Αρχ.	α	β	–	–
Αντ.	3x	x	–	–
Παρ.	–	–	2x	x
Στιγμή t	α – 3x	β – x	2x	x

Παρατηρούμε ότι:

$$n_{\text{αρχικά}} = n_A + n_B = (\alpha + \beta) \text{ mol και}$$

$$n_{\text{τελικά}} = n_A + n_B + n_{\Gamma} + n_{\Delta} = (\alpha - 3x) + (\beta - x) + 2x + x = (\alpha + \beta - x) \text{ mol}$$

Συνεπώς, από την έναρξη της αντίδρασης και μετά ισχύει  $n_{\text{τελικά}} < n_{\text{αρχικά}}$  (1), δηλαδή τα mol των αερίων μειώνονται συνεχώς, καθώς εξελίσσεται η αντίδραση.

Από την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων  $PV = n_{\text{αερίων}}RT$  και δεδομένου

ότι V, T διατηρούνται σταθερά προκύπτει  $P = n_{\text{αερίων}} \frac{RT}{V} \Rightarrow P = k \cdot n_{\text{αερίων}}$  (2), άρα η

πίεση που ασκείται στα τοιχώματα του δοχείου είναι ανάλογη των mol των αερίων που υπάρχουν στο δοχείο.

Συνδυάζοντας τις (1) και (2) συμπεραίνουμε ότι κατά την εξέλιξη της αντίδρασης μειώνεται η ασκούμενη πίεση, επειδή μειώνονται τα mol των αερίων που υπάρχουν στο δοχείο.

### Εναλλακτικά:

Από τους συντελεστές της χημικής εξίσωσης που αφορούν αέρια παρατηρούμε ότι για κάθε 4 mol αερίων που αντιδρούν παράγονται 3 mol αερίων, άρα τα συνολικά mol αερίων στο δοχείο ελαττώνονται με την πάροδο του χρόνου. Ανάλογα, θα ελαττώνεται και η ασκούμενη πίεση στα τοιχώματα του δοχείου, δεδομένου ότι τα V, T διατηρούνται σταθερά.

**ΑΣΚΗΣΗ 3.** Σε κενό δοχείο όγκου 5 L εισάγονται  $k$  mol  $O_2$  και 7 mol  $N_2$ . Θερμαίνουμε στους  $\theta$  °C, οπότε αρχίζουν να αντιδρούν, σύμφωνα με την χημική εξίσωση:  $N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g)$

Τη στιγμή  $t = 2$  min από την έναρξη της αντίδρασης στο δοχείο υπάρχουν 5 mol  $O_2$  και 8 mol NO.

Γ1) Να υπολογίσετε τη ποσότητα  $O_2$  που προστέθηκε στην αρχή.

Γ2) Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στα πρώτα 2 min.

Γ3) Τελικά η αντίδραση ολοκληρώθηκε με συνολική μέση ταχύτητα παραγωγής μονοξειδίου του αζώτου,  $U_{NO} = 0,14 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$ . Να υπολογίσετε το συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης της αντίδρασης.

### Λύση

Γ1) Γράφουμε το πινακάκι μεταβολής mol για την αντίδραση.

mol	$N_2(g)$	+	$O_2(g)$	$\rightarrow$	$2NO(g)$
Αρχ.	7		$k$		–
Αντ./Παρ.	$x$		$x$		$2x$
$t = 2 \text{ min}$ .	$7 - x$		$k - x$		$2x$

Δίνεται για το NO :  $2x = 8 \Rightarrow x = 4$ .

Επίσης, για το  $O_2$ :  $k - x = 5 \Rightarrow k = 9$ .

Συνεπώς,  $n_{O_2} = 9 \text{ mol}$

Γ2)

$$U_{\text{αντίδρασης}(0 \rightarrow 2 \text{ min})} = \frac{1}{2} \cdot U_{NO(0 \rightarrow 2 \text{ min})} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{8}{5} - \frac{0}{5}\right)M}{2 \text{ min}} = 0,4 \frac{M}{\text{min}}$$

Γ3) Γράφουμε το πινακάκι μεταβολής mol για την ολοκληρωμένη αντίδραση.

mol	$N_2(g)$	+	$O_2(g)$	$\rightarrow$	$2NO(g)$
Αρχ.	7		9		–
Αντ./Παρ.	7		7		14
$t = 2 \text{ min}$ .	–		2		14

$$U_{NO} = \frac{\Delta C_{NO}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta C_{NO}}{U_{NO}} \Rightarrow \Delta t = \frac{\left(\frac{14}{5} - \frac{0}{5}\right)M}{0,14 \frac{M}{\text{min}}} \Rightarrow \Delta t = 20 \text{ min}.$$

**ΑΣΚΗΣΗ 4.** Σε κενό δοχείο όγκου 1 L εισάγουμε 0,6 mol NO και 0,6 mol O<sub>2</sub>. Θερμαίνουμε αρχικά το μίγμα, οπότε τα συστατικά αρχίζουν να αντιδρούν σύμφωνα με την χημική εξίσωση:  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$ .

Παρατηρούμε ότι, ενώ κατά τη διάρκεια της αντίδρασης διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία, η πίεση στο δοχείο ελαττώνεται συνεχώς, μέχρι που σταθεροποιείται από τη στιγμή 2 min και μετά.

Γ1) Ποια είναι η σύσταση σε mol του μίγματος που υπάρχει στο δοχείο μετά τη σταθεροποίηση της πίεσης;

Γ2) Ποιο είναι το % ποσοστό ελάττωσης της αρχικής πίεσης;

Γ3) Ποιος είναι ο μέσος ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του O<sub>2</sub> σε όλο το χρονικό διάστημα που πραγματοποιήθηκε η αντίδραση ;

### Λύση

Γ1) Η πίεση ελαττώνεται γιατί παράγονται λιγότερα mol αέριων από όσα αντιδρούν. Η σταθεροποίηση της πίεσης δείχνει ότι η αντίδραση ολοκληρώθηκε.

Γράφουμε το πινακάκι μεταβολής mol για την αντίδραση.

mol	$2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$		
Αρχ.	0,6	0,6	–
Αντ./Παρ.	0,6	0,3	0,6
Τελικά	0	0,3	0,6

Στο δοχείο, τελικά, υπάρχουν 0,3 mol O<sub>2</sub> και 0,6 mol NO<sub>2</sub>

Γ2) Εφαρμόζοντας την καταστατική για την αρχική και τελική κατάσταση έχουμε:

$$\frac{P_{\text{αρχική}} \cdot V}{P_{\text{τελική}} \cdot V} = \frac{n_{\text{αρχικά}} RT}{n_{\text{τελικά}} RT} \Rightarrow \frac{P_{\text{αρχική}}}{P_{\text{τελική}}} = \frac{n_{\text{αρχικά}}}{n_{\text{τελικά}}} = \frac{1,2}{0,9} = \frac{4}{3}, \text{ άρα } P_{\text{τελική}} = \frac{3}{4} P_{\text{αρχική}}.$$

Η % μεταβολή της P δίνεται από τον τύπο:  $\frac{\Delta P}{P_{\text{αρχική}}} \cdot 100$ .

$$\% \text{ μεταβ. } P = \frac{\Delta P}{P_{\text{αρχική}}} \cdot 100 = \frac{P_{\text{τελική}} - P_{\text{αρχική}}}{P_{\text{αρχική}}} \cdot 100 = \frac{\frac{3}{4} P_{\text{αρχική}} - P_{\text{αρχική}}}{P_{\text{αρχική}}} \cdot 100 = \frac{-\frac{1}{4} P_{\text{αρχική}}}{P_{\text{αρχική}}} \cdot 100 = -25\%.$$

Συνεπώς, η πίεση ελαττώθηκε κατά 25 % σε σχέση με την αρχική.

Γ3)

$$\frac{\Delta C_{\text{O}_2}}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{0,3}{1} - \frac{0,6}{1}\right) \text{M}}{2 \text{ min}} = -0,15 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$$

**ΑΣΚΗΣΗ 5.** Το οξυζενέ είναι αραιό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου και χρησιμοποιείται για την απολύμανση των πληγών. Το υπεροξείδιο του υδρογόνου διασπάται σύμφωνα με την αντίδραση:

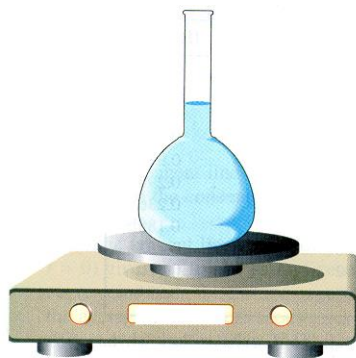


Δίνεται ότι το παραγόμενο αέριο  $\text{O}_2$ , στο σύνολο του, φεύγει από το διάλυμα.

Σε ένα πείραμα μελετήθηκε η αντίδραση διάσπασης του  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Γ1) Για την επιτάχυνση τη αντίδρασης οι ερευνητές χρησιμοποίησαν στερεό  $\text{MnO}_2$ . Να εξηγήσετε αν η κατάλυση είναι ομογενής ή ετερογενής.

Γ2) Για τη μέτρηση της ταχύτητας της αντίδρασης οι ερευνητές χρησιμοποίησαν την ακόλουθη διάταξη, όπου ο όγκος του διαλύματος στην ογκομετρική φιάλη είναι σταθερός και ίσος με 1 L.



Μετρήθηκε η μείωση μάζας του περιεχομένου της ογκομετρικής φιάλης και οι μετρήσεις που ελήφθησαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

t (min)	Μάζα διαλύματος (g)
0	1126
1	1122
2	1120
3	1119

α) Που οφείλεται η μείωση της μάζας του περιεχομένου της ογκομετρικής φιάλης;

β) Να υπολογίσετε τη μεταβολή της συγκέντρωσης του υπεροξειδίου του υδρογόνου από 0 έως 2 min

γ) Να υπολογίσετε το μέσο ρυθμό διάσπασης του υπεροξειδίου του υδρογόνου από 0 έως 2 min.

δ) Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης  $U_1$  από 0 έως 1 min και τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης  $U_2$  από 0 έως 2 min και να σχολιάσετε τη διαφορά ανάμεσα στις ευρεθείσες τιμές.

ε) Αν το πείραμα πραγματοποιούνταν με κλειστή τη φιάλη να εξηγήσετε αν θα άλλαζαν οι τιμές στον πίνακα και γιατί;

Γ3) Η συγκεκριμένη αντίδραση χωρίς καταλύτη έχει πάρα πολύ μικρή ταχύτητα. Εντούτοις, όταν το οξυζενέ έρθει σε επαφή με το αίμα της πληγής παρατηρείται έντονος αφρισμός (δηλαδή ταχεία παραγωγή  $\text{O}_2$ ). Να δώσετε μια εξήγηση για το φαινόμενο αυτό. Επισημαίνεται ότι έντονος αφρισμός παρατηρείται και όταν το οξυζενέ έρθει σε επαφή με φρεσκοκαθαρισμένη πατάτα.

**Λύση**

Γ1) Είναι ετερογενής, γιατί το αντιδρών και ο καταλύτης σε διαφορετικές φυσικές καταστάσεις (το υπεροξείδιο του υδρογόνου είναι σε υγρή φάση και το διοξείδιο του μαγγανίου σε στερεή).

Γ2)

α. Η μείωση της μάζας οφείλεται στην ποσότητα του αερίου οξυγόνου επειδή αμέσως μόλις παραχθεί εκφεύγει από το δοχείο της αντίδρασης.

β. Δεδομένης της ελάχιστης διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το σύνολο του παραγόμενου οξυγόνου, κάθε χρονική στιγμή, εκφεύγει της φιάλης.

Επομένως στο χρονικό διάστημα  $\Delta t = (2 - 0) \text{ min} = 2 \text{ min}$  παράχθηκαν:

$$n_{\text{O}_2} = \frac{\Delta m_{\text{Διαλύματος}}}{M_r} = \frac{1126 - 1120}{32} \text{ mol} = \frac{3}{16} \text{ mol}$$

Από τη στοιχειομετρία της αντίδρασης προκύπτει ότι διασπάσθηκε διπλάσια ποσότητα  $\text{H}_2\text{O}_2$  σε mol, δηλαδή,  $n_{\text{H}_2\text{O}_2} = \frac{3}{8} \text{ mol}$ . Η μεταβολή της συγκέντρωσης του

$$\text{H}_2\text{O}_2 \text{ είναι } \Delta C_{\text{H}_2\text{O}_2} = -\frac{n_{\text{H}_2\text{O}_2}}{V} = -\frac{\frac{3}{8} \text{ mol}}{1 \text{ L}} = -\frac{3}{8} \text{ M}$$

$$\gamma. \text{ Συνεπώς, } U_{\text{H}_2\text{O}_2, (0 \rightarrow 2) \text{ min}} = -\frac{\Delta C_{\text{H}_2\text{O}_2}}{\Delta t} = -\frac{-\frac{3}{8} \text{ M}}{2 \text{ min}} = \frac{3}{16} \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$$

δ. Στο χρονικό διάστημα  $\Delta t = 2 \text{ min}$  η ταχύτητα της αντίδρασης είναι το μισό της ταχύτητας διάσπασης (κατανάλωσης) του  $\text{H}_2\text{O}_2$ , αφού το  $\text{H}_2\text{O}_2$  εμφανίζεται με συντελεστή 2 στη χημική εξίσωση, Ως εκ τούτου,  $U_{\text{αντίδρασης}, 0 \rightarrow 2 \text{ s}} = \frac{3}{32} \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$

Στο χρονικό διάστημα  $\Delta t = (1 - 0) \text{ min} = 1 \text{ min}$  παράχθηκαν:

$$n_{\text{O}_2} = \frac{\Delta m_{\text{Διαλύματος}}}{M_r} = \frac{1126 - 1122}{32} \text{ mol} = \frac{1}{8} \text{ mol}$$

Από τη στοιχειομετρία της αντίδρασης προκύπτει ότι διασπάσθηκε διπλάσια ποσότητα  $\text{H}_2\text{O}_2$  σε mol, δηλαδή,  $n_{\text{H}_2\text{O}_2} = \frac{1}{4} \text{ mol}$ . Η μεταβολή της συγκέντρωσης του

$$\text{H}_2\text{O}_2 \text{ είναι } \Delta C_{\text{H}_2\text{O}_2} = -\frac{n_{\text{H}_2\text{O}_2}}{V} = -\frac{1 \text{ mol}}{4 \text{ L}}$$

Συνεπώς η μέση ταχύτητα της αντίδρασης από 0 έως 1 min είναι:

$$U_{\text{αντίδρασης}, 0 \rightarrow 1 \text{ s}} = -\frac{1}{2} U_{\text{H}_2\text{O}_2, (0 \rightarrow 1) \text{ min}} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta C_{\text{H}_2\text{O}_2}}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{-\frac{1}{4} \text{ M}}{1 \text{ min}} = \frac{1}{8} \text{ M} \cdot \text{min}^{-1} = \frac{4}{32} \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$$

Παρατηρούμε ότι  $U_{\text{αντίδρασης}, 0 \rightarrow 1 \text{ s}} > U_{\text{αντίδρασης}, 0 \rightarrow 2 \text{ s}}$ , που είναι συμβατό με το γεγονός ότι η ταχύτητα κάθε αντίδρασης μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, λόγω ελάττωσης της συγκέντρωσης των αντιδρώντων.

ε. Σε κλειστή φιάλη το παραγόμενο αέριο  $\text{O}_2$  εγκλωβίζεται. Συνεπώς, η μάζα του συστήματος θα παρέμενε σταθερή στην τιμή των 1126 g.

Γ3) Κάποια ουσία του αίματος (ή της πατάτας) δρα καταλυτικά και επιταχύνει την αντίδραση.

Σημείωση: Πρόκειται για το ένζυμο καταλάση.

**ΑΣΚΗΣΗ 6.** Σε δοχείο 10 L εισάγουμε 48 mol μείγματος  $H_2$  και  $N_2$ . Σε κατάλληλες συνθήκες μετά από 200 s ολοκληρώθηκε η αντίδραση  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ , με μέση ταχύτητα  $U_{(0 \rightarrow 200\text{ s})} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Γ1) Να υπολογισθούν τα mol της  $NH_3$  που σχηματίστηκαν.

Γ2) Κάποια χρονική στιγμή  $t$  στο δοχείο βρίσκονται ισομοριακές ποσότητες όλων των συστατικών. Να υπολογισθούν τα αρχικά mol του  $H_2$  και του  $N_2$ .

Γ3) Να κατασκευάσετε ποιοτικά σε κοινό διάγραμμα τις καμπύλες αντίδρασης και για τα τρία συστατικά, από την αρχή μέχρι το τέλος της αντίδρασης.

Γ4) Να εκτιμηθεί η τιμή της χρονικής στιγμής  $t$  που τα τρία συστατικά ήταν ισομοριακά.

**Λύση**

Γ1)

$$U = \frac{1}{2} \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} \Rightarrow [NH_3]_{\text{τελ.}} - [NH_3]_{\text{αρχ.}} = 2 \cdot U \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{n_{NH_3, \text{τελ.}}}{V} - \frac{0}{V} = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{M}}{\text{s}} \cdot 200 \text{ s}$$

$$\Rightarrow n_{NH_3, \text{τελ.}} = 2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 10 \text{ L} = 20 \text{ mol}$$

Γ2) Γράφουμε το πινακάκι μεταβολών mol της αντίδρασης για τη στιγμή  $t$ .

mol	$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$		
Αρχ.	$\omega$	$\varphi$	–
Αντ.	$x$	$3x$	–
Παρ.	–	–	$2x$
Στιγμή $t$	$\omega - x$	$\varphi - 3x$	$2x$

Αφού όλα τα συστατικά είναι ισομοριακά ισχύει:

$$\omega - x = 2x \Rightarrow \omega = 3x \quad (1)$$

$$\varphi - 3x = 2x \Rightarrow \varphi = 5x \quad (2)$$

Επίσης, γνωρίζουμε ότι:  $\omega + \varphi = 48 \quad (3)$ .

Από (1), (2) και (3) προκύπτει ότι  $x = 6$ ,  $\omega = 18$  και  $\varphi = 30$ .

Άρα εισήχθηκαν στο δοχείο 18 mol  $N_2$  και 30 mol  $H_2$ .

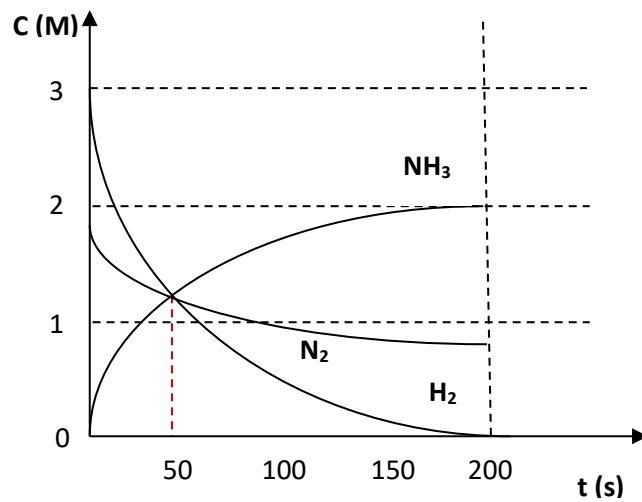
Γ3) Όταν η αντίδραση έχει ολοκληρωθεί στο δοχείο θα έχουμε:

mol	$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$		
Αρχ.	18	30	–
Αντ.	10	30	–
Παρ.	–	–	20
Στιγμή $t$	8	0	20

Δεδομένου ότι ο όγκος του δοχείου είναι 10 L, έχουμε τον ακόλουθο πίνακα τιμών.

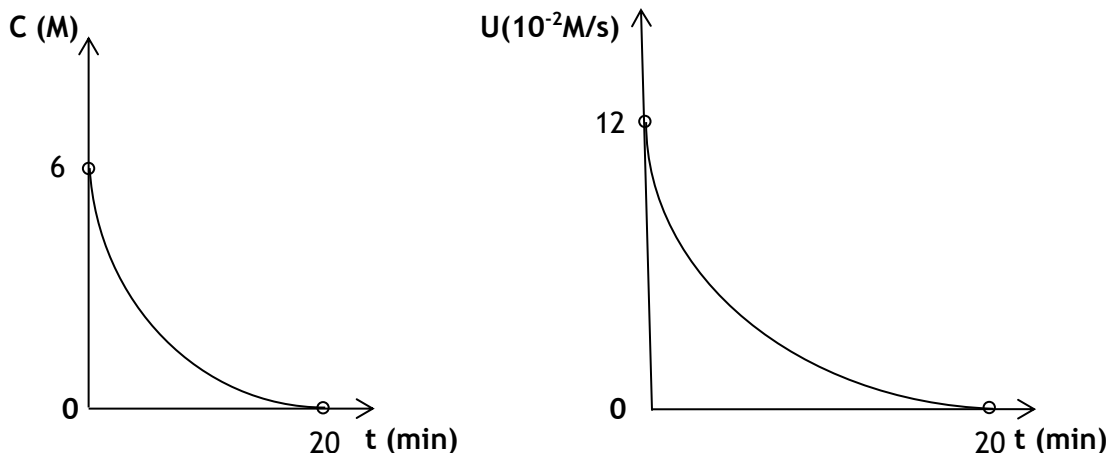
	$[N_2](\text{M})$	$[H_2](\text{M})$	$[NH_3](\text{M})$
Αρχικά (0 s)	1,8	3,0	0
Στιγμή $t$	1,2	1,2	1,2
Τελικά (200s)	0,8	0	2,0

Με βάση τον παραπάνω πίνακα και έχοντας υπόψη τη γενική μορφή που έχουν οι καμπύλες κατανάλωσης και παραγωγής προκύπτει, ποιοτικά, ένα διάγραμμα της ακόλουθης μορφής.



Γ4) Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η χρονική στιγμή  $t$  αντιστοιχεί σε χρόνο, περίπου, 50 s

**ΑΣΚΗΣΗ 7.** Σε δοχείο εισάγεται ισομοριακό μείγμα  $H_2$  και  $N_2$ . Σε κατάλληλες συνθήκες αντιδρούν σύμφωνα με την χημική εξίσωση:  $3H_2(g) + N_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ . Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι καμπύλες  $C=f(t)$  και  $U=f(t)$  για ένα από τα συστατικά της αντίδρασης.



- Γ1) Σε ποιο συστατικό αναφέρονται τα σχήματα; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.  
 Γ2) Αν ο όγκος του δοχείου ήταν 5 L, να υπολογίσετε την σύσταση του τελικού μείγματος.  
 Γ3) Να παρουσιάσετε πάνω στα υπάρχοντα διαγράμματα, ποιοτικά,  
 i) τις καμπύλες αντίδρασης των δύο άλλων συστατικών και  
 ii) τις ταχύτητες των δύο άλλων συστατικών.

#### Λύση

Γ1) Το διάγραμμα  $C = f(t)$  δείχνει μείωση της συγκέντρωσης με την πάροδο του χρόνου, άρα παρουσιάζει τη μεταβολή συγκέντρωσης κάποιου από τα αντιδρώντα. Οι αρχικές ποσότητες αντιδρώντων είναι ισομοριακές και το  $H_2$  καταναλώνεται με τριπλάσιο ρυθμό από το  $N_2$  (λόγω των συντελεστών 3:1), άρα είναι σε έλλειμμα και θα καταναλωθεί πλήρως. Το διάγραμμα  $C = f(t)$  δείχνει ότι το συστατικό που περιγράφεται καταναλώνεται πλήρως, συνεπώς περιγράφει τη μεταβολή συγκέντρωσης του  $H_2$ .

$$\Gamma 2) n_{H_2, αρχικά} = C_{αρχικό} \cdot V = 6 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 5 \text{ L} = 30 \text{ mol}.$$

mol	$3H_2(g)$	+	$N_2(g)$	$\rightarrow$	$2NH_3(g)$
Αρχ.	30		30		–
Αντ./Παρ.	30		10		20
Τελικά	0		20		20

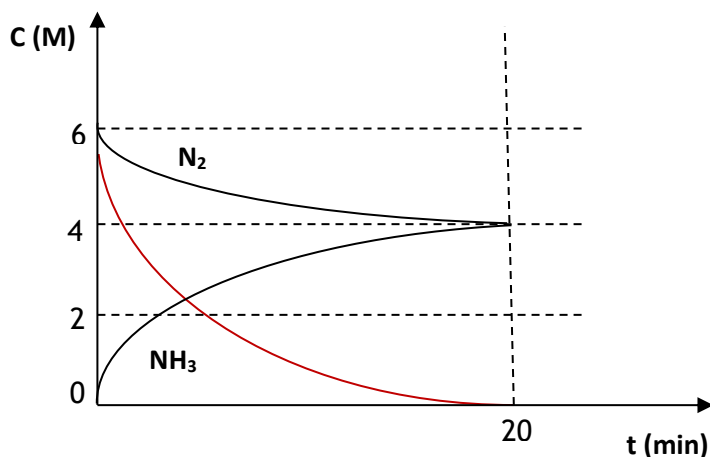
Συνεπώς στο τελικό μείγμα έχουμε 20 mol  $N_2$  και 20 mol  $NH_3$ .

Γ3)

i) Εύκολα βρίσκουμε ότι:  $[N_2]_{αρχική} = \frac{30 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 6 \text{ M}.$

Επίσης,  $[N_2]_{τελική} = [NH_3]_{τελική} = \frac{20 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 4 \text{ M}.$

Με βάση τις τιμές αυτές και έχοντας υπόψη τη γενική μορφή που έχουν οι καμπύλες καταπόλησης και παραγωγής προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα.



Επισημαίνεται ότι δύο μόνο τιμές δεν είναι επαρκείς για την χάραξη ακριβούς διαγράμματος όταν η γραμμή που προκύπτει είναι καμπύλη, γι' αυτό και πρόκειται για ποιοτικό διάγραμμα.

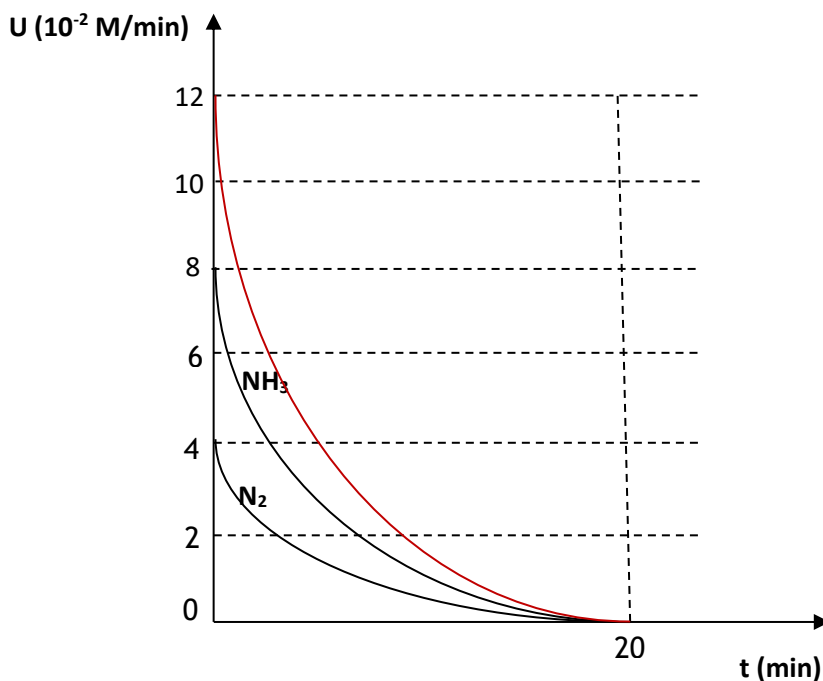
ii) Για τις στιγμιαίες ταχύτητες ισχύει η αναλογία των συντελεστών κάθε χρονική στιγμή, συνεπώς:

$$U_{N_2, \text{αρχική}} = \frac{1}{3} U_{H_2, \text{αρχική}} = \frac{1}{3} \cdot 12 \cdot 10^{-2} \frac{M}{\text{min}} = 4 \cdot 10^{-2} \frac{M}{\text{min}}$$

$$\text{και } U_{NH_3, \text{αρχική}} = \frac{2}{3} U_{H_2, \text{αρχική}} = \frac{2}{3} \cdot 12 \cdot 10^{-2} \frac{M}{\text{min}} = 8 \cdot 10^{-2} \frac{M}{\text{min}} .$$

Επίσης, από τη στιγμή  $t = 20 \text{ min}$  και μετά οι ταχύτητες όλων των σωμάτων μηδενίζονται, αφού καταναλώθηκε πλήρως το  $H_2$ . Αυτό προκύπτει και από τις καμπύλες αντίδρασης των  $N_2$  και  $NH_3$  για  $t \geq 20 \text{ min}$ , αφού γίνονται παράλληλες στον άξονα του χρόνου, δηλαδή ισχύει  $\Delta C=0$ .

Μπορούμε τώρα, ποιοτικά, να χαράξουμε το ζητούμενο διάγραμμα.



**ΑΣΚΗΣΗ 8.** Σε ορισμένη θερμοκρασία, βρέθηκαν τα παρακάτω πειραματικά δεδομένα για την αντίδραση  $2A(g) + B(g) \rightarrow 2\Gamma(g)$ .

Πείραμα	$C_{o,A} (M)$	$C_{o,B} (M)$	$v_o (M \cdot s^{-1})$
1 <sup>ο</sup>	0,1	0,1	$4 \cdot 10^{-3}$
2 <sup>ο</sup>	0,2	0,1	$16 \cdot 10^{-3}$
3 <sup>ο</sup>	0,05	0,4	$4 \cdot 10^{-3}$

Γ1)

α. Να προσδιορίσετε το νόμο της ταχύτητας της αντίδρασης.

β. Να υπολογίσετε τη τάξη της αντίδρασης.

γ. Να υπολογίσετε τη σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης.

Γ2) Σε δοχείο όγκου  $5n L$  εισάγονται ισομοριακές ποσότητες των αερίων A και B από  $n mol$  το καθένα.

α. Να υπολογίσετε την ταχύτητα κατανάλωσης του A τη χρονική στιγμή  $t_o = 0 s$ , κατά την οποία ξεκινά η αντίδραση.

β. Να υπολογίσετε τη ταχύτητα της αντίδρασης τη χρονική στιγμή  $t$  κατά την οποία οι ποσότητες των αερίων A και Γ είναι ισομοριακές.

**Λύση**

Γ1)

α. Η γενική μορφή του νόμου ταχύτητας είναι  $v = k \cdot C_A^x \cdot C_B^y$ .

Για το πρώτο και το δεύτερο πείραμα έχουμε:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= k \cdot C_{1,A}^x \cdot C_{1,B}^y \\ v_2 &= k \cdot C_{2,A}^x \cdot C_{2,B}^y \end{aligned} \right\} \xrightarrow{\div} \frac{v_1}{v_2} = \left( \frac{0,1}{0,2} \right)^x \left( \frac{0,1}{0,1} \right)^y \Rightarrow \frac{1}{4} = \left( \frac{1}{2} \right)^x \Rightarrow x = 2.$$

Για το τρίτο και το πρώτο πείραμα έχουμε:

$$\left. \begin{aligned} v_3 &= k \cdot C_{3,A}^x \cdot C_{3,B}^y \\ v_1 &= k \cdot C_{1,A}^x \cdot C_{1,B}^y \end{aligned} \right\} \xrightarrow{\div} \frac{v_3}{v_1} = \left( \frac{0,05}{0,1} \right)^2 \left( \frac{0,4}{0,1} \right)^y \Rightarrow \frac{1}{1} = \frac{1}{4} (4)^y \Rightarrow 4^1 = 4^y \Rightarrow y = 1.$$

Συνεπώς,  $v = k \cdot C_A^2 \cdot C_B$ .

β. Επομένως, η αντίδραση είναι τρίτης τάξης.

$$\gamma. v = k \cdot C_A^2 \cdot C_B \Rightarrow k = \frac{v_1}{C_{1,A}^2 \cdot C_{1,B}} \Rightarrow k = \frac{4 \cdot 10^{-3} M \cdot s^{-1}}{(0,1 M)^2 \cdot 0,1 M} = 4 M^{-2} \cdot s^{-1}.$$

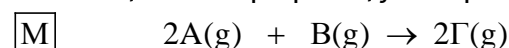
Γ2)

α. Τη χρονική στιγμή  $t_o = 0 s$  έχουμε:  $C_{o,A} = C_{o,B} = \frac{n mol}{5n L} = 0,2 M$ . Με αντι-

κατάσταση  $v_{o,αντιδρασης} = 4 M^{-2} \cdot s^{-1} (0,2M)^2 (0,2M) \Rightarrow v_{o,αντιδρασης} = 3,2 \cdot 10^{-2} M \cdot s^{-1}$ .

Συνεπώς,  $v_{o,αντιδρασης} = \frac{1}{2} v_{o,A} \Rightarrow v_{o,A} = 6,4 \cdot 10^{-2} M \cdot s^{-1}$ .

β. Από τη στοιχειομετρία της αντίδρασης έχουμε :



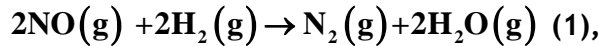
Αρχ.  $0,2 \quad 0,2 \quad -$

A/Π  $2\omega \quad \omega \quad 2\omega$

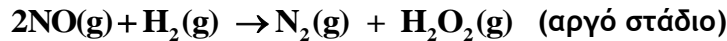
στιγμή t  $0,2 - 2\omega \quad 0,2 - \omega \quad 2\omega$

Δίνεται ότι  $0,2 - 2\omega = 2\omega \Rightarrow \omega = 0,05$ , άρα  $C_{t,A} = 0,1 \text{ M}$  και  $C_{t,B} = 0,15 \text{ M}$ , οπότε  $v = k \cdot C_A^2 \cdot C_B \Rightarrow v_t = 4 \cdot (0,1)^2 (0,15) \text{ M} \cdot \text{s}^{-1} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**ΑΣΚΗΣΗ 9.** Σε κενό και κλειστό δοχείο όγκου 2 L εισάγονται 0,4 mol NO και 0,3 mol H<sub>2</sub>, οπότε λαμβάνει χώρα η αντίδραση



η οποία πραγματοποιείται στα εξής στάδια:



Δίνεται ότι η θερμοκρασία είναι σταθερή ( $\theta$  °C), η σταθερά της ταχύτητας της αντίδρασης δίνεται από τη σχέση  $k = 4 \text{ M}^{-x} \text{ s}^{-1}$  και η μέση ταχύτητά της για τα πρώτα 10 s είναι  $5 \cdot 10^{-3} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Γ1) Να γράψετε το νόμο της ταχύτητας για την αντίδραση (1)

Γ2) Να υπολογίσετε την σταθερά της ταχύτητας της αντίδρασης (1).

Γ3) Να υπολογίσετε στο τέλος των 10 s τη συγκέντρωση κάθε αερίου που υπάρχει στο δοχείο.

Γ4) Να υπολογίσετε τη χρονική στιγμή  $t = 10 \text{ s}$  την ταχύτητα της αντίδρασης (1).

**Λύση**

Γ1) Ο νόμος της ταχύτητας καθορίζεται από το πιο αργό στάδιο:  $v = k \cdot C_{\text{NO}}^2 \cdot C_{\text{H}_2}$ .

Γ2) Αντικαθιστώντας στο νόμο μόνο τις μονάδες έχουμε:

$$\frac{\text{M}}{\text{s}} = \frac{\text{M}^{-x}}{\text{s}} \text{M}^2 \cdot \text{M} \Rightarrow \text{M}^1 = \text{M}^{3-x} \Rightarrow 1 = 3 - x \Rightarrow x = 2. \text{ Άρα, } k = 4 \text{ M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Γ3) Η ταχύτητα της αντίδρασης δίνεται από τις σχέσεις :

$$v = -\frac{1}{2} \frac{\Delta C_{\text{NO}}}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta C_{\text{H}_2}}{\Delta t} = \frac{\Delta C_{\text{N}_2}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta C_{\text{H}_2\text{O}}}{\Delta t}. \text{ Συνεπώς, στο τέλος των } 2 \text{ s έχουμε:}$$

$$\Delta C_{\text{NO}} = \Delta C_{\text{H}_2} = -2 \cdot v \cdot \Delta t = -2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \text{ M} = -0,1 \text{ M}.$$

$$\Delta C_{\text{NO}} = C_{\text{τελ., NO}} - C_{\text{αρχ., NO}} \Rightarrow C_{\text{τελ., NO}} = \Delta C_{\text{NO}} + C_{\text{αρχ., NO}} = \left(-0,1 + \frac{0,4}{2}\right) \text{ M} = 0,1 \text{ M}.$$

$$\Delta C_{\text{H}_2} = C_{\text{τελ., H}_2} - C_{\text{αρχ., H}_2} \Rightarrow C_{\text{τελ., H}_2} = \Delta C_{\text{H}_2} + C_{\text{αρχ., H}_2} = \left(-0,1 + \frac{0,3}{2}\right) \text{ M} = 0,05 \text{ M}.$$

$$\Delta C_{\text{N}_2} = v \cdot \Delta t = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \text{ M} = 0,05 \text{ M}, \text{ άρα } C_{\text{τελ., N}_2} = \Delta C_{\text{N}_2} + 0 = 0,05 \text{ M}.$$

$$\Delta C_{\text{H}_2\text{O}} = 2v \cdot \Delta t = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \text{ M} = 0,1 \text{ M}, \text{ άρα } C_{\text{τελική, N}_2} = \Delta C_{\text{N}_2} + 0 = 0,1 \text{ M}.$$

$$\text{Γ4) } v = k \cdot C_{\text{NO}}^2 \cdot C_{\text{H}_2} \Rightarrow v_{t=10\text{s}} = 4 \text{ M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (0,1 \text{ M})^2 \cdot 0,05 \text{ M} \Rightarrow v_{t=10\text{s}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ M} \cdot \text{s}^{-1}.$$

**ΑΣΚΗΣΗ 10.** Δίνεται η αντίδραση  $2A(g) + B(g) \rightarrow 3\Gamma(g)$  η οποία πραγματοποιείται σε κατάλληλες συνθήκες μέσα σε δοχείο όγκου 2 L. Οι αρχικές ποσότητες των A και B είναι ίσες από 5 mol το καθένα. Μετά από χρόνο 10 s από την έναρξη της αντίδρασης, στο δοχείο βρέθηκαν 3 mol του σώματος B.

Γ1) Ποιές είναι οι ποσότητες των σωμάτων A και Γ αντίστοιχα, σε χρόνο  $t = 10\text{ s}$  ;

Γ2) Να υπολογίσετε τη ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα από 0 έως 10 s.

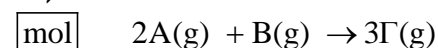
Γ3) Πειραματική μελέτη έδειξε ότι ο νόμος της ταχύτητας αυτής της αντίδρασης είναι  $v = k \cdot C_A^2 \cdot C_B$ . Η αντίδραση αυτή είναι απλή ή γίνεται σε περισσότερα στάδια;

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας και να καθορίσετε την τάξη της αντίδρασης.

*Πανελλήνιες εξετάσεις 2001 / Β' ΛΥΚΕΙΟΥ*

**Λύση**

Γ1)



Αρχ.      5          5

A / Π    2x          x          3x

σε 10 s 5 - 2x    5 - x      3x

Όμως  $n_B = (5 - x) \text{ mol} \Rightarrow 3 \text{ mol} = (5 - x) \text{ mol} \Rightarrow x = 2$ .

Τη στιγμή  $t = 10\text{ s}$  στο δοχείο έχουμε

$n_A = (5 - 2x) \text{ mol} = 1 \text{ mol}$  και  $n_\Gamma = 3x \text{ mol} = 6 \text{ mol}$ .

Γ2) 
$$v = -\frac{\Delta C_B}{\Delta t} = -\frac{n_{t,B} - n_{o,B}}{V \cdot \Delta t} = -\frac{3 - 5}{2 \cdot 10} \text{ M/s} = 0,1 \text{ M/s}$$

Γ3) Παρατηρούμε ότι οι εκθέτες των αντιδρώντων στο νόμο ταχύτητας συμπίπτουν με τους συντελεστές των σωμάτων A, B στην αντίδραση, επομένως είναι πολύ πιθανό η αντίδραση να είναι απλή, δηλαδή να γίνεται σε ένα στάδιο. Επίσης, η αντίδραση είναι τρίτης τάξης.

Προβλήματα - Τύπου Δ

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1.** Σε κενό δοχείο όγκου 5 L εισάγονται ποσότητα  $H_2$  και 8 mol  $I_2$ , τα οποία αρχίζουν να αντιδρούν, σε σταθερή θερμοκρασία, σύμφωνα με την χημική εξίσωση:  $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$ .

Με τη συμπλήρωση του 2<sup>ου</sup> min από την έναρξή της αντίδρασης στο δοχείο υπάρχουν 5 mol  $H_2$  και 8 mol  $HI$ .

Δ1) Ποια ήταν η αρχική ποσότητα του  $H_2$ ;

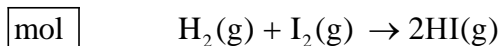
Δ2) Ποια η μέση ταχύτητα σχηματισμού του  $HI$  και ποια η μέση ταχύτητα της αντίδρασης στα πρώτα 2 min;

Δ3) Μια χρονική στιγμή  $t_1$ , οι ποσότητες του  $H_2$  και του  $HI$  είναι ισομοριακές, ενώ οι ποσότητες του  $I_2$  και του  $HI$  είναι ισομοριακές την χρονική στιγμή  $t_2$ . Να συγκρίνετε τις χρονικές στιγμές  $t_1$  και  $t_2$ .

Δ4) Μετά το τέλος της αντίδρασης, όλη η παραγόμενη ποσότητα του  $HI$  διαβιβάζεται σε 1950 mL διαλύματος  $KMnO_4$  1 M. Να εξετάσετε αν αποχρωματίστηκε το διάλυμα. Δίνεται η χημική εξίσωση, χωρίς συντελεστές:  $KMnO_4 + HI \rightarrow KI + MnI_2 + I_2 + H_2O$ .

**Λύση**

Δ1)



Αρχικά            x            8            -

Αντ./Παρ.    ψ            ψ            2ψ

t = 2 min.    x - ψ    8 - ψ    2ψ

Δίνεται για το  $HI$ :  $2\psi = 8 \Rightarrow \psi = 4$ .

Επίσης, για το  $H_2$ :  $x - \psi = 5 \Rightarrow x = 9$ , άρα,  $n_{H_2, αρχικά} = 9 \text{ mol}$ .

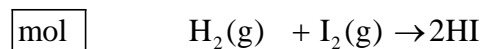
Δ2)

$$U_{HI} = \frac{\Delta[HI]}{\Delta t} \Rightarrow U_{HI} = \frac{\left(\frac{8}{5} - \frac{0}{5}\right) \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{2 \text{ min}} = 0,8 \frac{\text{M}}{\text{min}} \quad \text{και}$$

$$U_{\text{αντίδρασης}} = \frac{1}{2} U_{HI} \Rightarrow U_{\text{αντίδρασης}} = 0,4 \frac{\text{M}}{\text{min}}$$

Δ3)

Για την χρονική στιγμή  $t_1$  έχουμε:



Αρχικά            9            8            -

Αντ./Παρ.    ω            ω            2ω

Στιγμή  $t_1$     9 - ω    8 - ω    2ω

Για τη χρονική στιγμή  $t_1$  δίνεται ότι:  $9 - \omega = 2\omega \Rightarrow \omega = 3$ , οπότε  $n_{\text{HI,τη στιγμή } t_1} = 6 \text{ mol}$ .

Για την χρονική στιγμή  $t_2$  έχουμε:

mol	$\text{H}_2(\text{g})$	$\text{I}_2(\text{g})$	$\rightarrow$	$2\text{HI}(\text{g})$
Αρχικά	9	8		–
Αντ./Παρ.	$z$	$z$		$2z$
Στιγμή $t_2$	$9 - z$	$8 - z$		$2z$

Συνεπώς για την χρονική στιγμή  $t_2$  ισχύει:  $8 - z = 2z \Rightarrow z = \frac{8}{3}$  και

$$n_{\text{HI,τη στιγμή } t_1} = \frac{16}{3} \text{ mol}.$$

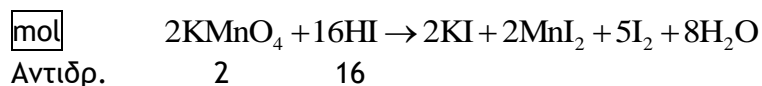
Το HI είναι προϊόν της αντίδρασης, άρα η ποσότητα του αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Επειδή δε,  $6 > \frac{16}{3} \Rightarrow t_1 > t_2$ .

Δ4)

Βρίσκουμε πόσα mol HI παράγονται όταν ολοκληρωθεί η αντίδραση.

mol	$\text{H}_2(\text{g})$	$\text{I}_2(\text{g})$	$\rightarrow$	$2\text{HI}(\text{g})$
Αρχικά	9	8		–
Αντ./Παρ.	8	8		16
Τελικά	1	–		16

Στη συνέχεια, εξετάζουμε πόσα mol  $\text{KMnO}_4$  είναι δυνατό να αποχρωματίσουν τα 16 mol HI.

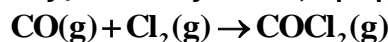


Τέλος, συγκρίνουμε την ποσότητα  $\text{KMnO}_4$  που βρήκαμε με την ποσότητα του  $\text{KMnO}_4$  που υπάρχει στο διάλυμα.

$$n_{\text{KMnO}_4} = C \cdot V = 1 \cdot 1,95 \text{ mol} = 1,95 \text{ mol} < 2 \text{ mol}$$

Συνεπώς, το  $\text{KMnO}_4$  είναι σε έλλειμμα και το διάλυμα αποχρωματίζεται.

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2.** Σε δοχείο όγκου 20 L στους 27 °C εισάγεται αέριο μείγμα που αποτελείται κατά 25 % (v/v) από CO και κατά 75 % (v/v) από Cl<sub>2</sub>. Στις συνθήκες αυτές το αέριο μείγμα ασκεί πίεση 2,46 atm. Όταν η θερμοκρασία αυξηθεί στους 127 °C, πραγματοποιείται η αντίδραση:



Δ1) Να υπολογίσετε τις αρχικές ποσότητες σε mol των CO και Cl<sub>2</sub>.

Δ2) Τη στιγμή t = 2 min η πίεση στο δοχείο είναι 2,87 atm. Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης στο χρονικό διάστημα των 2 min.

Δ3) Από τη χρονική στιγμή t<sub>1</sub> = 5 min και μετά η πίεση στο δοχείο σταθεροποιείται. Να υπολογίσετε την συγκέντρωση κάθε συστατικού, από τη χρονική στιγμή t<sub>2</sub> = 5 min και μετά.

Δ4) Να υπολογίσετε τον μέσο ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του Cl<sub>2</sub>, για τη συνολική διάρκεια της αντίδρασης.

**Λύση**

Δ1)

Από την καταστατική εξίσωση των αερίων βρίσκουμε τα συνολικά mol αερίων που περιέχονται στο δοχείο:

$$PV = n_{\text{ολ.}} RT \Rightarrow n_{\text{ολ.}} = \frac{PV}{RT} = \frac{2,46 \text{ atm} \cdot 20 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 300 \text{ K}} = 2 \text{ mol}$$

Με δεδομένο ότι για τα αέρια που βρίσκονται στις ίδιες συνθήκες οι αναλογίες όγκων είναι και αναλογίες mol, υπολογίζουμε τα mol κάθε αερίου. Έτσι:

$$n_{\text{CO}} = 0,25 \cdot n_{\text{ολ.}} = 0,5 \text{ mol} \quad \text{και} \quad n_{\text{Cl}_2} = 0,75 \cdot n_{\text{ολ.}} = 1,5 \text{ mol}$$

Δ2)

Τη στιγμή t = 2 min και πάλι από την καταστατική εξίσωση υπολογίζουμε τα συνολικά mol αερίων στο δοχείο. Έτσι:

$$n_{\text{ολ.}} = \frac{PV}{RT} = \frac{2,87 \text{ atm} \cdot 20 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 400 \text{ K}} = 1,75 \text{ mol}$$

Ταυτόχρονα, έχουμε τον παρακάτω πίνακα μεταβολών:

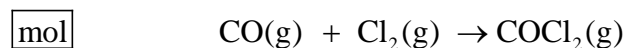
[mol]	CO(g)	Cl <sub>2</sub> (g)	COCl <sub>2</sub> (g)
Αρχικά	0,5	1,5	–
Αντ./Παρ.	x	x	x
Στιγμή 2 min.	0,5 – x	1,5 – x	x

$$\text{Όμως } n_{\text{ολ.}} = 1,75 \Rightarrow (0,5 - x) + (1,5 - x) + x = 1,75 \Rightarrow x = 0,25$$

Συνεπώς, η μέση ταχύτητα για τα 2 πρώτα min της αντίδρασης αυτής είναι

$$U = \frac{\Delta[\text{COCl}_2]}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{0,25}{20} - \frac{0}{20}\right) \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{2 \text{ min}} = 6,25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{min}}$$

Δ3) Στα 5 min η αντίδραση ολοκληρώνεται. Συνεπώς έχει αντιδράσει πλήρως το CO, δεδομένου ότι βρίσκεται σε στοιχειομετρικό έλλειμμα.



Αρχικά	0,5	1,5	–
--------	-----	-----	---

Αντ./ Παρ.	0,5	0,5	0,5
------------	-----	-----	-----

5° min και μετά	–	1,5 – 0,5	0,5
-----------------	---	-----------	-----

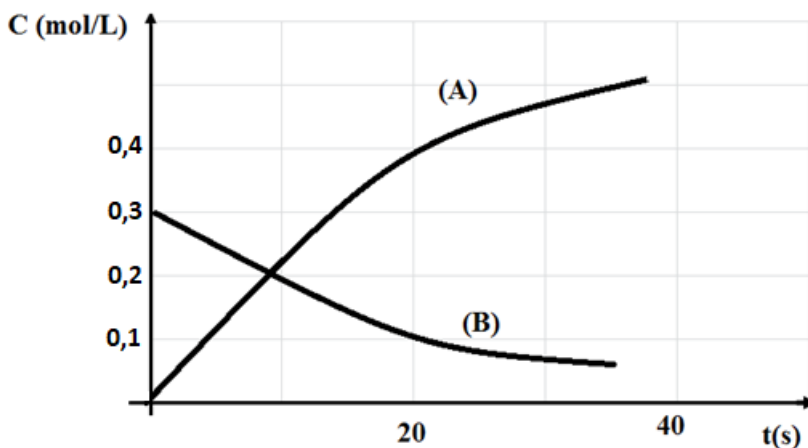
Άρα  $[\text{Cl}_2] = \frac{1 \text{ mol}}{20 \text{ L}} = 0,05 \text{ M}$  και  $[\text{COCl}_2] = \frac{0,5 \text{ mol}}{20 \text{ L}} = 0,025 \text{ M}$

Δ4)

Ο μέσος ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του  $\text{Cl}_2$  είναι  $\frac{\Delta[\text{Cl}_2]}{\Delta t}$ , επομένως:

$$\frac{\Delta[\text{Cl}_2]}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{1}{20} - \frac{1,5}{20}\right) \text{ mol}}{5 \text{ min}} = -0,005 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}.$$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 3.** Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται σαν οικιακό και βιομηχανικό καύσιμο και έχει ως κύριο συστατικό του το μεθάνιο. Το μεθάνιο καίγεται σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ . Για τη μελέτη της ταχύτητας της αντίδρασης καύσης του μεθανίου σε δοχείο όγκου 1 L εισήχθησαν 6,72 L μετρημένα σε STP και περίσσεια ατμοσφαιρικού αέρα (σύσταση αέρα: 80 %  $\text{N}_2$  και 20 %  $\text{O}_2$  v/v). Στο διάγραμμα που ακολουθεί περιγράφεται η μεταβολή της συγκέντρωσης δύο συστατικών της αντίδρασης, σε συνάρτηση με το χρόνο.



**Δ1)** Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα:

- Να προσδιορίσετε τις ουσίες Α και Β, αιτιολογώντας την επιλογή σας.
- Να υπολογίσετε τη μέση ταχύτητα της αντίδρασης για τα πρώτα 20 s.
- Να εξηγήσετε, χωρίς υπολογισμούς, πότε η μέση ταχύτητα θα είναι μεγαλύτερη στα πρώτα 10 s, ή στα πρώτα 20 s.

**Δ2)** Η αντίδραση ολοκληρώθηκε τη στιγμή  $t = 80$  s. Τότε στο δοχείο βρέθηκαν 1,12 L  $\text{O}_2$  μετρημένα σε STP. Να υπολογίσετε τον μέσο ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του  $\text{CO}_2$  από την έναρξη μέχρι την ολοκλήρωση της αντίδρασης, καθώς και τη μάζα του  $\text{N}_2$  που βρίσκεται στο δοχείο.

**Δ3)** Να εξηγήσετε:

- Αν η μεταβολή της ενθαλπίας της αντίδρασης ( $\Delta H$ ) είναι θετική ή αρνητική.
- Με ποιο τρόπο θα επηρέαζε ένας καταλύτης
  - την ταχύτητα της αντίδρασης,
  - την  $\Delta H$  της αντίδρασης.

**Λύση**

**Δ1) α.**

Το Β αντιστοιχεί σε αντιδρών επειδή παρουσιάζει ελάττωση της συγκέντρωσής του. Αντίστοιχα το Α αντιστοιχεί σε προϊόν. Βολική χρονική στιγμή για ακριβή σύγκριση της μεταβολής των συγκεντρώσεων είναι το σημείο που αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή  $t = 20$  s που βλέπουμε ότι η μεταβολή του Β είναι, κατ' απόλυτη τιμή, 0,2 Μ, ενώ του Α είναι 0,4 Μ. Συνεπώς μεταξύ Β και Α υπάρχει η σχέση 1:2, άρα οι συντελεστές τους στη χημική εξίσωση έχουν σχέση 1:2, οπότε υποχρεωτικά το Β είναι το  $\text{CH}_4$  και το Α το  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Δ1) β.**

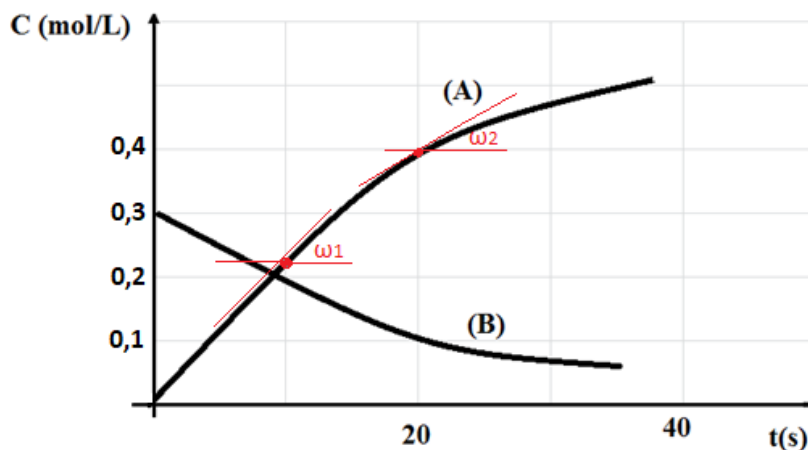
Από το διάγραμμα, και δεδομένου ότι  $V_{\text{δοχείου}} = 1$  L, έχουμε ότι  $n_{\text{CH}_4, \text{αρχικά}} = 0,3$  mol και ότι  $n_{\text{CH}_4, t=20 \text{ s}} = 0,1$  mol

(Εναλλακτικά για τα αρχικά mol:  $n_{\text{CH}_4, \text{αρχικά}} = \frac{V_{\text{STP}}}{V_{\text{mol, STP}}} \Rightarrow n_{\text{CH}_4} = \frac{6,72}{22,4} \text{ mol} = 0,3 \text{ mol}$  ).

Οπότε, για τα πρώτα 20 s έχουμε:

$$U_{(0 \rightarrow 20 \text{ s})} = -\frac{\Delta[\text{CH}_4]_{(0 \rightarrow 20 \text{ s})}}{\Delta t_{(0 \rightarrow 20 \text{ s})}} \Rightarrow U_{(0 \rightarrow 20 \text{ s})} = -\frac{\left(\frac{0,1}{1} - \frac{0,3}{1}\right) \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{20 \text{ s}} = 10^{-2} \frac{\text{M}}{\text{s}}$$

Δ1) γ.



Εξετάζοντας την καμπύλη  $C=f(t)$  για το  $\text{H}_2\text{O}$  βλέπουμε ότι όσο ο χρόνος αυξάνεται, τόσο η γωνία μεταξύ της καμπύλης της αντίδρασης και της εφαπτομένης σε αυτή μειώνεται. Αφού μειώνεται η γωνία  $\omega$ , μειώνεται και η τιμή της εφαπτομένης, δηλαδή η στιγμιαία ταχύτητα της αντίδρασης. Ως εκ τούτου, μειώνεται και η μέση ταχύτητα της αντίδρασης. Οπότε η μέση ταχύτητα για το χρονικό διάστημα των 10 πρώτων s θα είναι μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα για το χρονικό διάστημα των πρώτων 20 s.

B' τρόπος (χωρίς χρήση του διαγράμματος)

Αφού όσο περνά ο χρόνος μειώνεται η συγκέντρωση των αντιδρώντων θα μειώνονται οι συγκρούσεις των σωματιδίων των αντιδρώντων, στη μονάδα του χρόνου, συνεπώς θα μειώνεται η στιγμιαία ταχύτητα, άρα και η μέση ταχύτητα. Ως εκ τούτου, η μέση ταχύτητα θα είναι μεγαλύτερη όσο εγγύτερα στην έναρξη είναι το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα. Οπότε η μέση ταχύτητα για το χρονικό διάστημα των 10 πρώτων s θα είναι μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα για το χρονικό διάστημα των πρώτων 20 s.

Δ2)

Με δεδομένο ότι έχουμε περίσσεια ατμοσφαιρικού αέρα, άρα και περίσσεια  $\text{O}_2$ , θα αντιδράσει όλη η ποσότητα του  $\text{CH}_4$ . Η συνολική εξέλιξη της αντίδρασης είναι η ακόλουθη:

mol	$\text{CH}_4(\text{g})$	$+ 2\text{O}_2(\text{g})$	$\rightarrow$	$\text{CO}_2(\text{g})$	$+ 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
Αρχικά	0,3	$\omega$	—	—	—
Αντ./Παρ.	0,3	0,6		0,3	0,6
80 s (τελικά)	—	$\omega - 0,6$		0,3	0,6

$$\text{Οπότε, } U_{\text{αντίδρασης, (0} \rightarrow 80 \text{ s)}} = \frac{\Delta[\text{CO}_2]_{(0 \rightarrow 80 \text{ s})}}{\Delta t_{(0 \rightarrow 80 \text{ s})}} = \frac{\left(\frac{0,3}{1} - \frac{0}{1}\right) \text{ M}}{80 \text{ s}} = 0,00375 \frac{\text{M}}{\text{s}}$$

Επίσης, από το πινακάκι προκύπτει ότι το συνολικό οξυγόνο που εισήχθη στο

$$\text{δοχείο είναι: } n_{\text{O}_2, \text{αρχικό}} = n_{\text{O}_2, \text{που καταναλώθηκε}} + n_{\text{O}_2, \text{που περίσσεψε}} = 0,6 + \frac{1,12}{22,4} = 0,65 \text{ mol.}$$

Επειδή η αναλογία όγκων είναι και αναλογία mol, για το μείγμα του ατμοσφαιρικού αέρα ισχύει:

$$\frac{n_{\text{O}_2}}{n_{\text{N}_2}} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{N}_2}} = \frac{20}{80} = \frac{1}{4} \Rightarrow n_{\text{N}_2} = 4 \cdot n_{\text{O}_2} \Rightarrow n_{\text{N}_2} = 4 \cdot 0,65 = 2,6 \text{ mol}$$

$$\text{Οπότε, } m_{\text{N}_2} = 2,6 \text{ mol} \cdot 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 72,8 \text{ g}$$

Δ3)

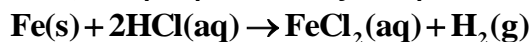
α. Όλες οι καύσεις (όπως και οι εξουδετερώσεις) είναι εξώθερμες. Άρα  $\Delta H < 0$ .

β. i. Ο καταλύτης, εξ ορισμού, αυξάνει την ταχύτητα της αντίδρασης.

ii. Ο καταλύτης δεν αλλάζει την μεταβολή ενθαλπίας οποιασδήποτε αντίδρασης.

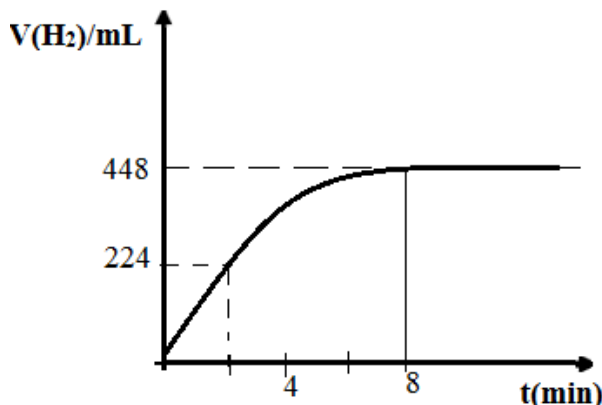
Επισημαίνεται ότι παρουσία καταλύτη, το συνολικώς εκλυόμενο ποσό θερμότητας θα εκλυθεί σε πολύ πιο σύντομο χρονικό διάστημα.

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 4.** Η διαβίβαση διαλύματος υδροχλωρίου (HCl) μέσω σιδερένιων σωλήνων μπορεί να τους διαβρώσει σύμφωνα με την αντίδραση:



Για τη μελέτη της ταχύτητας διάβρωσης του σιδήρου (Fe) από υδατικό διάλυμα υδροχλωρίου πραγματοποιήθηκαν τα ακόλουθα πειράματα:

Δ1) Στο πρώτο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 1,40 g Fe με τη μορφή σύρματος και 100 mL HCl 0,4 M. Στο διάγραμμα φαίνεται ο όγκος του παραγομένου αερίου, μετρημένου σε STP, συναρτήσει του χρόνου.



α. Να γράψετε όλες τις εκφράσεις που δίνουν την μέση ταχύτητα της χημικής αντίδρασης.

β. Να υπολογίσετε τον μέσο ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης του FeCl<sub>2</sub> από την αρχή μέχρι το τέλος της αντίδρασης.

γ. Να υπολογίσετε την μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το ίδιο χρονικό διάστημα.

δ. Να υπολογίσετε την μέση ταχύτητα της αντίδρασης για το χρονικό διάστημα 0 έως 2 min.

ε. Να εξηγήσετε αν η μέση ταχύτητα της αντίδρασης στα πρώτα 4 min μπορεί να είναι 0,01 M/s.

Δ2) Σε άλλο πείραμα χρησιμοποιήθηκε η ίδια ποσότητα σιδήρου και διαφορετικά διαλύματα HCl. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν i) 200 mL HCl 0,2 M και ii) 120 mL HCl 0,5 M.

α. Να συγκρίνετε την αρχική ταχύτητα των τριών πειραμάτων, χωρίς να κάνετε υπολογισμούς.

β. Να υπολογίσετε τον όγκο του υδρογόνου, μετρημένο σε STP, που θα παραχθεί σε καθένα από τα δύο παραπάνω πειράματα.

**Λύση**

Δ1)

α. Το HCl αντιδρά πρώτα με τα επιφανειακά σωματίδια σιδήρου, μετά με την ενδότερη επιφάνεια κλπ. Ως εκ τούτου, ο σίδηρος με μορφή σύρματος ως στερεό δεν μπορεί να αντιδρά με τη συγκέντρωσή του, οπότε δεν μπορεί να μπει στις εξισώσεις ταχύτητας της αντίδρασης. Αντίστοιχα, το H<sub>2</sub> είναι αέριο που εκφεύγει του διαλύματος, συνεπώς δεν μπορεί να υπολογιστεί η συγκέντρωσή του με βάση τον όγκο του διαλύματος (100 mL = 0,1 L). Συνεπώς,

$$U_{\text{αντίδρασης}} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[\text{HCl}]}{\Delta t} = \frac{1}{1} \cdot \frac{\Delta[\text{FeCl}_2]}{\Delta t}$$

$$\beta. n_{\text{Fe}} = \frac{m}{M_r} = \frac{1,4 \text{ g}}{56 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,025 \text{ mol} \quad \text{και} \quad n_{\text{HCl}} = C \cdot V = 0,4 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,1 \text{ L} = 0,04 \text{ mol}$$

Σύμφωνα με τη στοιχειομετρία της αντίδρασης το HCl είναι σε έλλειμμα, οπότε αντιδρά πλήρως.



Αρχικά	0,025	0,04	–	–
Αντιδρούν	0,02	0,04	–	–
Παράγονται	–	–	0,02	0,02
Τελικά	0,005	–	0,02	0,02

$$\frac{\Delta[\text{FeCl}_2]}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{0,020}{0,1} - \frac{0}{0,1}\right) \text{ M}}{8 \text{ min}} = 0,025 \frac{\text{M}}{\text{min}}$$

γ. Αφού ο FeCl<sub>2</sub> έχει συντελεστή 1, η μέση ταχύτητα του συμπίπτει με την μέση ταχύτητα της αντίδρασης, άρα  $U_{\text{αντίδρασης}} = 0,025 \text{ M} \cdot \text{min}^{-1}$

δ. Ο FeCl<sub>2</sub> και το H<sub>2</sub> έχουν ίδιο συντελεστή στη χημική εξίσωση και μηδενικές αρχικές ποσότητες, συνεπώς οι ποσότητές τους σε mol είναι ίσες σε κάθε χρονική στιγμή. Οπότε, για τη χρονική περίοδο 0 έως 2 min, από το διάγραμμα προκύπτει ότι:

$$n_{\text{H}_2, t=2 \text{ min}} = \frac{224 \text{ ml}}{22.400 \frac{\text{mL}}{\text{mol}}} = 0,01 \text{ mol}, \quad \text{οπότε} \quad n_{\text{FeCl}_2, t=2 \text{ min}} = n_{\text{H}_2, t=2 \text{ min}} = 0,01 \text{ mol} \text{ και}$$

$$U_{\text{αντίδρασης}, 0 \rightarrow 2 \text{ min}} = \frac{\Delta[\text{FeCl}_2]_{(0 \rightarrow 2 \text{ min})}}{\Delta t_{(0 \rightarrow 2 \text{ min})}} = \frac{\left(\frac{0,01}{0,1} - \frac{0}{0,1}\right) \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{2 \text{ min}} = 0,05 \frac{\text{M}}{\text{min}}$$

ε. Γενικά ισχύει  $U_{0 \rightarrow 2 \text{ min}} > U_{0 \rightarrow 4 \text{ min}} > U_{0 \rightarrow 8 \text{ min}}$ . Συνεπώς θα ισχύει και η ανισότητα:

$$0,050 \frac{\text{M}}{\text{s}} > U_{0 \rightarrow 4 \text{ min}} > 0,025 \frac{\text{M}}{\text{s}}, \quad \text{άρα δεν μπορεί να ισχύει} \quad U_{0 \rightarrow 4 \text{ min}} = 0,01 \frac{\text{M}}{\text{s}}.$$

Δ2)

α. Ο μόνος παράγοντας που μεταβάλλεται είναι η συγκέντρωση του διαλύματος HCl. Γνωρίζουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του αντιδρώντος, τόσο ταχύτερη είναι η αντίδραση και ότι  $C_{\text{HCl}(i)}(0,2 \text{ M}) < C_{\text{HCl}(αρχ.)}(0,4 \text{ M}) < C_{\text{HCl}(ii)}(0,5 \text{ M})$ .

Συνεπώς  $U_{\text{HCl}(i)} < U_{\text{HCl}(αρχ.)} < U_{\text{HCl}(ii)}$ .

β. Για το πείραμα (i) ισχύει:  $n_{\text{HCl}(i)} = 0,2 \cdot 0,2 \text{ mol} = 0,04 \text{ mol}$  ίδια με του αρχικού πειράματος, άρα θα εκλυθεί η ίδια ποσότητα H<sub>2</sub> με του αρχικού πειράματος, δηλαδή 448 mL.

Για το πείραμα (ii) ισχύει:  $n_{\text{HCl}(ii)} = 0,5 \cdot 0,12 \text{ mol} = 0,06 \text{ mol}$ , δηλαδή το HCl είναι σε περίσσεια.

mol	Fe(s)	2HCl(aq)	FeCl <sub>2</sub> (aq)	H <sub>2</sub> (g)
Αρχικά	0,025	0,06	–	–
Αντιδρούν	0,025	0,05	–	–
Παράγονται	–	–	0,025	0,025
Τελικά	–	0,01	0,025	0,025

Οπότε,  $V_{\text{H}_2(\text{ii})} = n_{\text{H}_2(\text{ii})} \cdot V_{\text{mol, STP}} = 0,025 \text{ mol} \cdot 22.400 \frac{\text{mL}}{\text{mol}} = 560 \text{ mL} .$

Ημερομηνία τροποποίησης: 17/04/2020

Επιμέλεια: Βατούγιος Πέτρος - Παπαστεργιάδης Θωμάς

Επιστημονικός έλεγχος: Αποστολόπουλος Κωνσταντίνος - Γιαλούρης Παρασκευάς