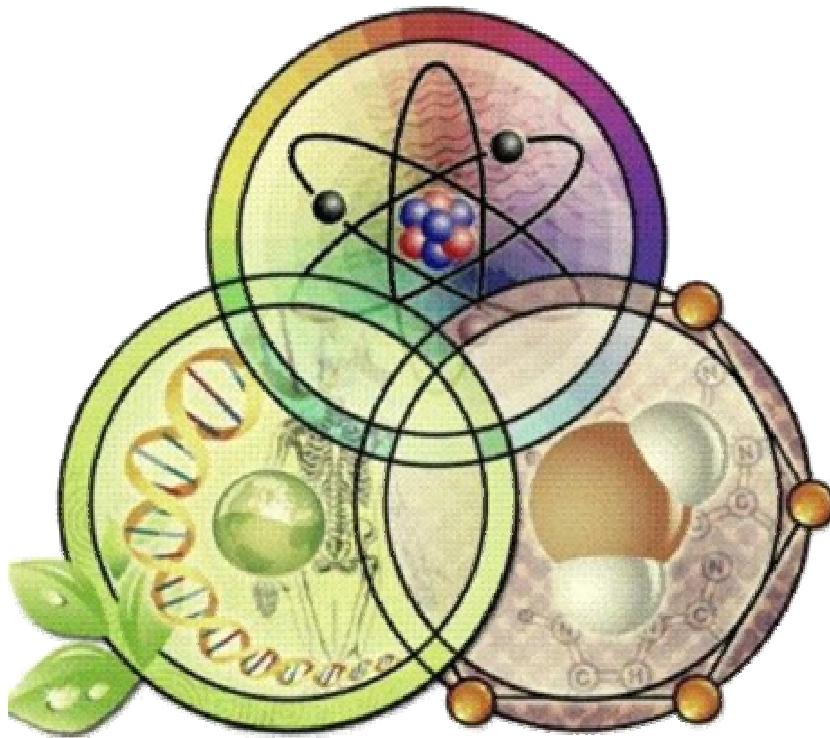


Πανελλήνιος Μαθητικός Διαγωνισμός
για την επιλογή στην 11η Ευρωπαϊκή Ολυμπιάδα Επιστημών - EUSO 2013
Σάββατο 19 Ιανουαρίου 2013

ΧΗΜΕΙΑ



Σχολείο:.....

1)

Όνομ/επώνυμα μαθητών: 2)

3)

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ – ΡΟΛΟΪ ΙΩΔΙΟΥ

Θεωρητική εισαγωγή

Η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων κυμαίνεται σε ένα τεράστιο εύρος τιμών. Υπάρχουν αντιδράσεις οι οποίες ολοκληρώνονται σε κλάσματα του δευτερολέπτου, όπως π.χ. ορισμένες εκρήξεις, αλλά και αντιδράσεις που χρειάζονται χιλιάδες ή και εκατομμύρια χρόνια να ολοκληρωθούν, όπως π.χ. ο σχηματισμός διαμαντιών και άλλων ορυκτών του στερεού φλοιού της γης.

Η χημική κινητική είναι ένα θέμα ιδιαίτερης σημασίας για την καθημερινή μας ζωή. Σχετίζεται για παράδειγμα με το πόσο γρήγορα δρα ένα φάρμακο, με το αν η καταστροφή του όζοντος στην ανώτερη ατμοσφαιρα είναι σε ισορροπία με τη φυσική του αναγέννηση, όπως και με προβλήματα της βιομηχανίας, π.χ. η ανάπτυξη καταλυτών για τη σύνθεση νέων υλικών.

(Brown, Chemistry: The Central Science, 9e, Pearson Prentice Hall)

Για να μετρήσουμε την ταχύτητα μιας χημικής αντίδρασης πρέπει να μετρήσουμε το ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης ενός από τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα. Για τη γενική, π.χ., αντίδραση $\alpha\text{A} + \beta\text{B} \rightarrow \gamma\text{Γ} + \delta\text{Δ}$, η ταχύτητα δίνεται από τη σχέση:

$$V_{\text{αντιδρασης}} = -\frac{1}{\alpha} \frac{\Delta[\text{A}]}{\Delta t} = -\frac{1}{\beta} \frac{\Delta[\text{B}]}{\Delta t} = \frac{1}{\gamma} \frac{\Delta[\text{Γ}]}{\Delta t} = \frac{1}{\delta} \frac{\Delta[\text{Δ}]}{\Delta t}$$

Η ταχύτητα αντίδρασης εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων, τη θερμοκρασία, την παρουσία καταλυτών και την επιφάνεια επαφής μεταξύ των αντιδρώντων. Η ταχύτητα αντίδρασης είναι μέγιστη κατά την έναρξη της αντίδρασης, καθώς οι συγκεντρώσεις αντιδρώντων είναι μέγιστες κατά το χρόνο αυτό.

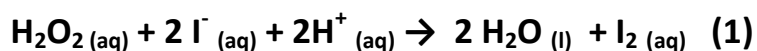
Ο νόμος της ταχύτητας εκφράζει αυτές τις παραμέτρους :

$$V = k \cdot [\text{A}]^x \cdot [\text{B}]^y$$

όπου x και y εκθέτες οι οποίοι προσδιορίζονται πειραματικά και k η σταθερά ταχύτητας, η οποία εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία.

Ζητούμενο:

Να προσδιορίσουμε πειραματικά το νόμο της ταχύτητας για την αντίδραση:



Σκέψη:

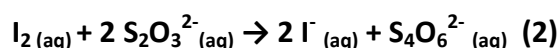
Κατά την αντίδραση (1), τα ιόντα ιωδίου (I^-) οξειδώνονται με τη βοήθεια υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) σε όξινο περιβάλλον, παράγοντας νερό και μοριακό ιώδιο (I_2).

Το μοριακό ιώδιο είναι γνωστό για το χαρακτηριστικό μπλε (ή μαύρο, σε μεγαλύτερη συγκέντρωση) χρώμα που σχηματίζει με αραιό διάλυμα αμύλου (δείκτης αμύλου). Αν, π.χ., προσθέταμε μερικές σταγόνες δείκτη αμύλου στο μίγμα της αντίδρασης (1), το παραγόμενο ιώδιο θα έδινε αμέσως μπλε χρώμα που λίγο αργότερα θα γινόταν μαύρο λόγω της μεγάλης του έντασης.

Μπορούμε να εκμεταλλευτούμε αυτή την ιδιότητα του ιωδίου για να μετρήσουμε, με τη βοήθεια της έντασης του μπλε χρώματος (χρωματομετρία) την ποσότητα του ιωδίου που παράγεται σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Έτσι θα μπορούσαμε να προσδιορίσουμε το ρυθμό παραγωγής του I_2 , άρα την ταχύτητα της αντίδρασης (1).

Στην πράξη είναι όμως ευκολότερο να προσδιορίσει κανείς πειραματικά το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την κατανάλωση συγκεκριμένης ποσότητας κάποιας ουσίας, παρά το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την παραγωγή της.

Έτσι, προκειμένου να μετρήσουμε το παραγόμενο ιώδιο, επιλέγουμε να το καταναλώσουμε χρησιμοποιώντας μια εξαιρετικά γρήγορη αντίδρασή του, π.χ. με θειοθειϊκά ανιόντα:



Τα $S_2O_3^{2-}$ δεν παρεμποδίζουν την αντίδραση (1) και αντιδρούν ταχύτατα με το ιώδιο, οπότε το καταστρέφουν αμέσως μόλις παραχθεί.

Ας προβλέψουμε λοιπόν τι θα συμβεί αν προσθέσουμε μικρή ποσότητα $S_2O_3^{2-}$ και δείκτη αμύλου σε ένα μίγμα H_2O_2 και ιόντων I^- :

Το ιώδιο που παράγεται αντιδρά αμέσως με τα θειοθειϊκά ανιόντα και καταστρέφεται πλήρως. Φαινομενικά δεν συμβαίνει καμία μεταβολή στο μίγμα μας. Το σημαντικό χρονικό σημείο είναι όμως μόλις καταναλωθούν όλα τα $S_2O_3^{2-}$ που προσθέσαμε. Τότε, το παραγόμενο ιώδιο περισσεύει και δίνει ξαφνικά ένα χαρακτηριστικό μπλε-μαύρο χρώμα με τον δείκτη αμύλου, επισημαίνοντας έτσι με ακρίβεια σε ποια χρονική στιγμή καταναλώθηκε όλη η ποσότητα των $S_2O_3^{2-}$.

Γνωρίζοντας την αρχική ποσότητα των $S_2O_3^{2-}$ που προσθέσαμε και μετρώντας το χρονικό διάστημα (Δt) που απαιτείται για την κατανάλωσή τους (χρονομετρώντας μέχρι την εμφάνιση μπλε χρώματος), μπορούμε να υπολογίσουμε το ρυθμό κατανάλωσης των $S_2O_3^{2-}$

$(-\Delta[S_2O_3^{2-}]/\Delta t)$. άρα και το ρυθμό παραγωγής του ιωδίου $\left(\frac{\Delta[I_2]}{\Delta t}\right)$.

Η στοιχειομετρία της αντίδρασης (2) μας δείχνει ότι για κάθε δύο ανιόντα $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ που καταναλώνονται έχει παραχθεί ένα μόριο I_2 . Αυτό σημαίνει πως τα θειοθειικά καταναλώνονται δυο φορές γρηγορότερα απ' ότι παράγεται το ιώδιο. Αν $\Delta[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$ είναι η μεταβολή της συγκέντρωσης των θειοθειικών σε χρόνο Δt και $\Delta[\text{I}_2]$ η μεταβολή της συγκέντρωσης του ιωδίου στον ίδιο χρόνο, τότε θα ισχύει:

$$V_{\text{αντιδρασης (1)}} = \frac{\Delta[\text{I}_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]}{\Delta t}$$

Στη συνέχεια, με την επεξεργασία των πειραματικών μας δεδομένων μπορούμε να προσδιορίσουμε το νόμο της ταχύτητας για την αντίδραση (1), έχοντας υπόψη ότι η ταχύτητα είναι ανεξάρτητη της συγκέντρωσης H^+ και έχει τη γενική μορφή:

$$V_{\text{αντιδρασης (1)}} = k \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^x \cdot [\text{I}^-]^y$$

όπου x και y **ακέραιοι** αριθμοί, τους οποίους θα προσδιορίσουμε πειραματικά.

Πειραματικό μέρος



ΠΡΟΣΟΧΗ!

ΦΟΡΑΜΕ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΓΥΑΛΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥΣ

Θα εκτελέσουμε τρία πειράματα για τον προσδιορισμό της ταχύτητας της αντίδρασης $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ (aq)} + 2 \text{I}^- \text{ (aq)} + 2\text{H}^+ \text{ (aq)} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} \text{ (l)} + \text{I}_2 \text{ (aq)}$ (1), χρησιμοποιώντας διαφορετικές συγκεντρώσεις H_2O_2 και I^- σε κάθε πείραμα. Ακολουθήστε προσεκτικά τα βήματα που ακολουθούν, προκειμένου να εκτελέσετε σωστά τα πειράματα.

Βήμα 1^ο – προετοιμασία πειραμάτων

Αριθμούμε με μαρκαδόρο τρία ποτήρια ζέσεως των 250 mL και προσθέτουμε στο καθένα δείκτη αμύλου, ποσότητα διαλύματος H_2SO_4 (1M) και ποσότητα απεσταγμένου νερού, όπως δείχνει ο πίνακας που ακολουθεί. Μετράμε τους αναγκαίους όγκους νερού και οξέος με τον ογκομετρικό κύλινδρο των 100 mL, που έχει ετικέτα $\text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{SO}_4$.

| ποτήρι | Δείκτης αμύλου (σταγόνες) | H_2O (mL) | δ. H_2SO_4 1M (mL) |
|--------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 1 | 10 | 60 | 10 |
| 2 | 10 | 50 | 10 |
| 3 | 10 | 50 | 10 |

Σημείωση: Σχηματίστε πρώτα το μίγμα νερού – οξέος στον ογκομετρικό κύλινδρο των 100 mL και μετά προσθέστε το προσεκτικά στο ποτήρι, χωρίς να αναπηδούν σταγόνες στα τοιχώματα του ποτηριού.

Βήμα 2^ο – προετοιμασία πειραμάτων

Προσθέστε στα τρία ποτήρια κατά σειρά:

- διάλυμα ιωδιούχου καλίου (KI – 0,1 M), μετρώντας τον απαιτούμενο όγκο στον ογκομετρικό κύλινδρο, που έχει ετικέτα KI.
- διάλυμα θειοθειϊκού νατρίου ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, - 0,01 M), μετρώντας τον απαιτούμενο όγκο **με το σιφώνιο πληρώσεως** των 10 mL,

όπως δείχνει ο παρακάτω πίνακας:

| ποτήρι | δ. KI 0,1 M (mL) | δ. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,01M (mL) |
|--------|------------------|---|
| 1 | 10 | 10 |
| 2 | 10 | 10 |
| 3 | 20 | 10 |

Βήμα 3^ο – τελική προετοιμασία 1ου πειράματος

- Προσθέστε **10 mL διαλύματος H_2O_2 (0,1 M)** στον ογκομετρικό κύλινδρο, που έχει ετικέτα H_2O_2 .
- Ετοιμάστε το χρονόμετρο.
- Τοποθετήστε το ποτήρι Νο.1 σε άσπρο χαρτί και αναδεύστε το περιεχόμενο με γυάλινη ράβδο προσέχοντας να μην εκτινάσσονται σταγόνες στα τοιχώματα του ποτηριού.

Βήμα 4^ο – εκτέλεση 1^{ου} πειράματος

- Αδειάστε με μια κίνηση το περιεχόμενο του ογκομετρικού κυλίνδρου στο ποτήρι **και αρχίστε αμέσως τη μέτρηση του χρόνου.**
- Αναδεύετε απαλά το διάλυμα με τη γυάλινη ράβδο κάθε 30 sec.
- Παρατηρείτε **συνεχώς** το ποτήρι για την εμφάνιση μπλε χρώματος.
- Μόλις εμφανιστεί το πρώτο μπλε χρώμα **σταματήστε αμέσως το χρονόμετρο** και καταγράψτε το χρόνο.

Βήμα 5^ο – τελική προετοιμασία και εκτέλεση του 2^{ου} πειράματος

- Προσθέστε **20 mL διαλύματος H_2O_2 (0,1 M)** στον ογκομετρικό κύλινδρο, που έχει ετικέτα H_2O_2 .
- Ετοιμάστε το χρονόμετρο.
- Εργασθείτε στη συνέχεια όπως και στο προηγούμενο πείραμα προσθέτοντας το περιεχόμενο του ογκομετρικού κυλίνδρου στο ποτήρι και καταγράφοντας το χρόνο που απαιτείται για την εμφάνιση του πρώτου μπλε χρώματος.

Βήμα 6^ο – τελική προετοιμασία και εκτέλεση του 3^{ου} πειράματος

- Προσθέστε **10 mL διαλύματος H_2O_2 (0,1 M)** στον ογκομετρικό κύλινδρο, που έχει ετικέτα H_2O_2 .
- Ετοιμάστε το χρονόμετρο.
- Εργασθείτε στη συνέχεια όπως και στα προηγούμενα πειράματα προσθέτοντας το περιεχόμενο του ογκομετρικού κυλίνδρου στο ποτήρι και καταγράφοντας το χρόνο που απαιτείται για την εμφάνιση του πρώτου μπλε χρώματος.

Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων

Για τα τρία πειράματα χρησιμοποιήσαμε μίγματα αντιδρώντων, όπως φαίνεται παρακάτω:

Μίγματα αντίδρασης

| Πείραμα | δ. H ₂ SO ₄ 1M (mL) | δ. KI 0,1 M (mL) | δ. H ₂ O ₂ 0,1 M (mL) | δ. Na ₂ S ₂ O ₃ 0,01 M (mL) | H ₂ O (mL) | Όγκος μίγματος (mL) |
|---------|--|---------------------|--|--|--------------------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 10 | 10 | 10 | 60 | 100 |
| 2 | 10 | 10 | 20 | 10 | 50 | 100 |
| 3 | 10 | 20 | 10 | 10 | 50 | 100 |

1. Παρατηρήστε τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα και

α) υπολογίστε τη $[I^-]_{\text{αρχική}}$ στο μίγμα της αντίδρασης κάθε πειράματος

Πείραμα 1:

Πείραμα 2:

Πείραμα 3:

β) υπολογίστε τη $[H_2O_2]_{\text{αρχική}}$ στο μίγμα της αντίδρασης κάθε πειράματος

Πείραμα 1:

Πείραμα 2:

Πείραμα 3:

γ) Μεταφέρετε τα αποτελέσματά σας στις στήλες **1** και **2** του πίνακα αποτελεσμάτων που ακολουθεί.

2. Παρατηρήστε ότι σε κάθε πείραμα χρησιμοποιήσαμε την ίδια ποσότητα δ. Na₂S₂O₃ (0,01 M). Υπολογίστε τη $[S_2O_3^{2-}]_{\text{αρχική}}$ για όλα τα πειράματα:

.....

Παρατηρήστε ότι τα S₂O₃²⁻ καταναλώθηκαν πλήρως στη διάρκεια των τριών πειραμάτων και υπολογίστε για όλα τα πειράματα την

$$\Delta [S_2O_3^{2-}] = [S_2O_3^{2-}]_{\text{τελική}} - [S_2O_3^{2-}]_{\text{αρχική}} = \dots\dots\dots$$

Εκφράστε το αποτέλεσμα σας σε μονάδες **mM** :
 και μεταφέρετέ το στη στήλη **3** του πίνακα αποτελεσμάτων που ακολουθεί.

3. Γράψτε τον χρόνο **Δt** που μετρήσατε σε κάθε πείραμα

Πείραμα 1 :

Πείραμα 2:

Πείραμα 3:

και υπολογίστε τον αντίστροφο χρόνο **$1/\Delta t$** για κάθε πείραμα, με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων:

Πείραμα 1 :

Πείραμα 2:

Πείραμα 3:

Μεταφέρετε τα αποτελέσματά σας στις στήλες **4** και **5** του πίνακα αποτελεσμάτων.

4. Υπολογίστε το ρυθμό κατανάλωσης του θειοθειϊκού για κάθε πείραμα, **πολλαπλασιάζοντας τις τιμές της στήλης 3 με τις τιμές της στήλης 5** και εκφράστε το αποτέλεσμα σε μονάδες **mM/s** :

Πείραμα 1 :
$$-\frac{\Delta [S_2O_3^{2-}]}{\Delta t} = \dots\dots\dots$$

Πείραμα 2:
$$-\frac{\Delta [S_2O_3^{2-}]}{\Delta t} = \dots\dots\dots$$

Πείραμα 3:
$$-\frac{\Delta [S_2O_3^{2-}]}{\Delta t} = \dots\dots\dots$$

Μεταφέρετε τα αποτελέσματά σας στη στήλη **6** του πίνακα αποτελεσμάτων.

5. Υπολογίστε την ταχύτητα της αντίδρασης (1) σε κάθε πείραμα **σε μονάδες mM/s**:

Πείραμα 1 : **V** αντίδρασης (1) =

Πείραμα 2: **V** αντίδρασης (1) =

Πείραμα 3: **V** αντίδρασης (1) =

Μεταφέρετε τα αποτελέσματά σας στη στήλη **7** του πίνακα αποτελεσμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

| α/α | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----|---------------------------------|--|--|--------|-------------------------|--|--------------------------------|
| | Αρχική [I ⁻] (M) | Αρχική [H ₂ O ₂] (M) | Δ [S ₂ O ₃ ²⁻] (mM) | Δt (s) | 1/Δt (s ⁻¹) | $-\frac{\Delta [S_2O_3^{2-}]}{\Delta t}$ (mM/s) | V _{αντίδρασης} (mM/s) |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |

6. Θέτοντας V_1 , V_2 και V_3 την ταχύτητα της αντίδρασης (1) σε καθεμιά από τις δοκιμές μας υπολογίζουμε τα x και y , ως εξής (συμπληρώστε τα κενά):

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{k \cdot [H_2O_2]_1^x \cdot [I^-]_1^y}{k \cdot [H_2O_2]_2^x \cdot [I^-]_1^y} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{[H_2O_2]_1}{[H_2O_2]_2} \right)^x \Rightarrow \dots = (\dots)^x \Rightarrow x = \dots$$

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{k \cdot [H_2O_2]^x \cdot [I^-]_1^y}{k \cdot [H_2O_2]^x \cdot [I^-]_3^y} \Rightarrow \frac{V_1}{V_3} = \left(\frac{[I^-]_1}{[I^-]_3} \right)^y \Rightarrow \dots = (\dots)^y \Rightarrow y = \dots$$

Συμπερασματικά (συμπληρώστε) :

Ο ζητούμενος νόμος της ταχύτητας έχει την μορφή:

$$V = k \cdot [H_2O_2]^n \cdot [I^-]^m$$

Εφαρμογή

Το χημικό σύστημα των δύο αντιδράσεων που μελετήσαμε εμφανίζει μπλε χρώση σε χρόνο που καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων. Με τη χρήση κατάλληλων συγκεντρώσεων μπορεί να υποδεικνύει την παρέλευση συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος και γι' αυτό το λόγο ονομάζεται **«ρολόι ιωδίου»**.

Χρησιμοποιώντας τα ίδια διαλύματα αντιδραστηρίων και διατηρώντας αμετάβλητες τις συγκεντρώσεις των KI και H₂O₂, πώς θα μεταβάλλατε το μίγμα αντίδρασης του 1^{ου} πειράματος, προκειμένου το χημικό σας ρολόι να δείξει χρονικό διάστημα **1 min** στην ίδια θερμοκρασία;