



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

Ομάδα συγγραφής αναφοράς :

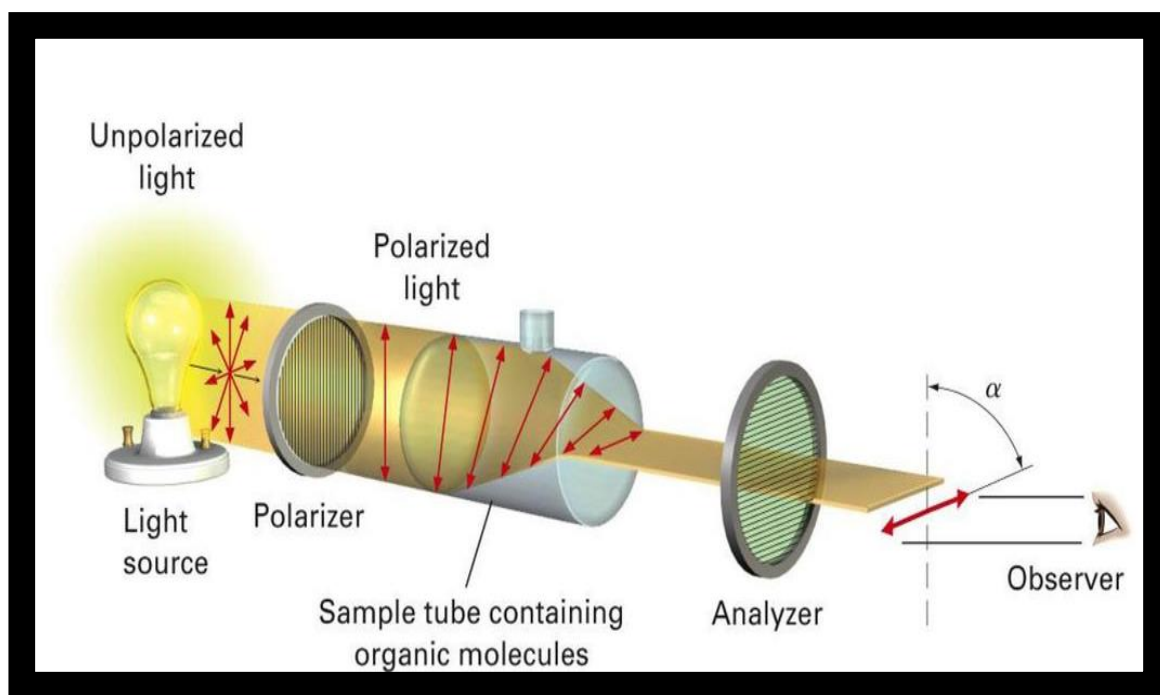
Παντής Άγγελος 2018050055

Κυριακή Θεοχάρη 2018050043

Σιγαλός Δημήτριος 2018050024

Τίτλος Άσκησης

**<<ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 3^ο – ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΟΜΟΓΕΝΟΥΣ ΧΗΜΙΚΗΣ
ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ>>**



Περίληψη

Στο πρώτο μέρος του πειράματος γίνεται μέτρηση της γωνίας στροφής (α) διαλυμάτων καλαμοσακχάρου ($C_{12}H_{22}O_{11}$), συγκεντρώσεων 0,5,10,20 % w/v και χαράζεται η καμπύλη βαθμονόμησης του πολωσίμετρου. Μέσω αυτής υπολογίζεται η άγνωστη περιεκτικότητα %w/v ίδιου διαλύματος με $\alpha = 8,2^\circ$. Στο δεύτερο μέρος ακολουθεί υδρόλυση του διαλύματος σε όξινο περιβάλλον και βρίσκεται η ευθεία γραμμή που προσεγγίζει καλύτερα τα πειραματικά σημεία που προκύπτουν από τη συσχέτιση του κλάσματος $\ln \frac{a_0 - a_\infty}{a - a_\infty}$ ως προς τον χρόνο (t). Προσδιορίζεται η κλίση της παραπάνω ευθείας, που αποτελεί τη τιμή της κινητικής σταθεράς της αντίδρασης (k). Για την υδρόλυση της σακχαρόζης βρέθηκε ότι $k=0,0003$.

Εισαγωγή

Η **ταχύτητα (ρυθμός) χημικής αντίδρασης**, που συμβολίζεται με r , εκφράζει τη μεταβολή της συγκέντρωσης κάποιου από τα συστατικά στοιχεία της αντίδρασης (αντιδρών, προϊόν) σε συνάρτηση με τον χρόνο (και τη θερμοκρασία).

Ως εκ τούτου, η ταχύτητα μιας αντίδρασης εκφράζεται με μια συνάρτηση που τη συσχετίζει με τις συγκεντρώσεις των συστατικών που παίρνουν μέρος σε αυτή.

Ισχύει:

$$r = k f([C1], [C2], \dots [Ci])$$

$$r = \frac{dC}{dT} \frac{\text{mol}}{\text{cm}^3 \text{s}}$$

, όπου k είναι η **κινητική σταθερά (ή σταθερά ταχύτητας) της αντίδρασης**, η οποία εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία (σύμφωνα με τον Arrhenius $\rightarrow k(T)$). Έχει χαρακτηριστική τιμή για κάθε εξίσωση και κάθε θερμοκρασία. Οι μονάδες της εξαρτώνται εκάστοτε από τη συνολική μορφή της κινητικής εξίσωσης.

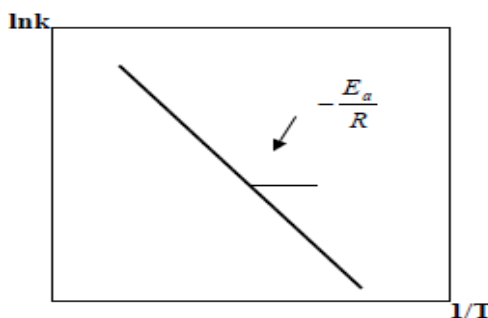
Ο Arrhenius βρήκε ότι το k αυξάνει πάντα με την θερμοκρασία, σύμφωνα με τη παρακάτω εξίσωση (εξίσωση Arrhenius) :

$$k(T) = k_0 \frac{e^{-E_a/RT}}{\Rightarrow \ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT}}$$

όπου:

E_a = **ενέργεια ενεργοποίησης** της αντίδρασης [=] kcal/mol

k_0 = ο **προεκθετικός παράγοντας** της σταθεράς ταχύτητας της αντίδρασης



Εικόνα 1 Διάγραμμα Arrhenius

Ο ρυθμός μιας χημικής αντίδρασης μπορεί να μελετηθεί εργαστηριακά σε διάφορους τύπους εργαστηριακών αντιδραστήρων. Η πιο απλή διαδικασία εύρεσης του ρυθμού και ιδιαίτερα σε υγρά αντιδρώντα συστήματα, είναι η χρήση του αντιδραστήρα Batch. Σε αυτόν γίνεται μέτρηση της μεταβολής της σύστασης του αντιδρώντος στο χρόνο μηδέν κατά την παρέλευση του χρόνου (ανεξάρτητη μεταβλητή ο χρόνος). Η μέθοδος του αντιδραστήρα διαλείποντος έργου (Batch) είναι αυτή που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα.

Αν θεωρηθεί ότι η υπό μελέτη αντίδραση (υδρόλυση διαλύματος καλαμοσάκχαρου) είναι αμφίδρομη αντίδραση α' τάξης και προς τις δυο κατευθύνσεις με κινητικούς συντελεστές k_1 και k_{-1} , ισχύει η σχέση :

$$\ln \frac{C_{A0}-C_{A\infty}}{C_A-C_{A\infty}} = (k_1 + k_{-1})t \quad (1)$$

Όπου:

C_{A0} η συγκέντρωση του αντιδρώντος συστατικού κατά την έναρξη της αντίδρασης

$C_{A\infty}$ η συγκέντρωση του αντιδρώντος συστατικού μετά την επίτευξη της ισορροπίας (τέλος αντίδρασης)

Πολωσιμετρία και Γωνία στροφής α

Μια ουσία λέγεται **οπτικά ενεργή** αν αυτή έχει τη δυνατότητα στρέφει το επίπεδο του πολωμένης ακτινοβολίας (φωτός) όταν αυτή διέρχεται μέσα από αυτές. Η σακχαρόζη είναι μια από αυτές τις ουσίες. Αυτή η ιδιότητά οφείλεται σε μια ενδομοριακή ή κρυσταλλική ασυμμετρία τους (ασύμμετρο άτομο C στο μόριο τους). Οι οπτικά ενεργές ουσίες διακρίνονται ανάλογα με τη φορά στροφής του επιπέδου πόλωσης του πολωμένου φωτός, σε δεξιόστροφες και αριστερόστροφες.

Πολωμένο φως είναι το φως (ακτινοβολία) του οποίου οι ταλαντώσεις γίνονται μόνο σ' ένα από τα δυνατά επίπεδα που περνάει από τη γραμμή διάδοσής του. Αυτό το επίπεδο ονομάζεται **επίπεδο πόλωσης**. Τα όργανα που εξαναγκάζουν το φως σε ευθύγραμμη διάδοση προς μια μόνο διεύθυνση στο χώρο (όταν διέρχεται μέσα από αυτούς) ονομάζονται **πολωτές**. Το κοινό φως μετατρέπεται σε επίπεδα πολωμένο φως αν διέλθει μέσα από ένα φακό Polaroid ή από πρίσμα Nicol. Η μέτρηση της γωνίας στροφής του πολωμένου φωτός γίνεται με το **πολωσίμετρο**.

Βάσει των παραπάνω, **πολωσιμετρία** είναι η μέθοδος με την οποία μετράται η γωνία στροφής του πολωμένου φωτός που προκαλεί μια οπτικά ενεργή ουσία.

Η **γωνία στροφής** (σε μοίρες), όπως τη δίνει ως μέτρηση το πολωσίμετρο, είναι ανάλογη της συγκέντρωσης της οπτικά ενεργής ουσίας καθώς και του μήκους της κυψελίδας στην οποία εισάγεται το δείγμα. Εξαρτάται επίσης από το μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου φωτός και τη θερμοκρασία του εξεταζόμενου διαλύματος.

Καθώς η γωνία στροφής α είναι μια φυσική ιδιότητα ανάλογη της συγκέντρωσης του αντιδρώντος συστατικού, η (1) μπορεί να μετασχηματιστεί στην (1)'

$$\ln \frac{\alpha_0 - \alpha_\infty}{\alpha - \alpha_\infty} = kt \quad (1)'$$

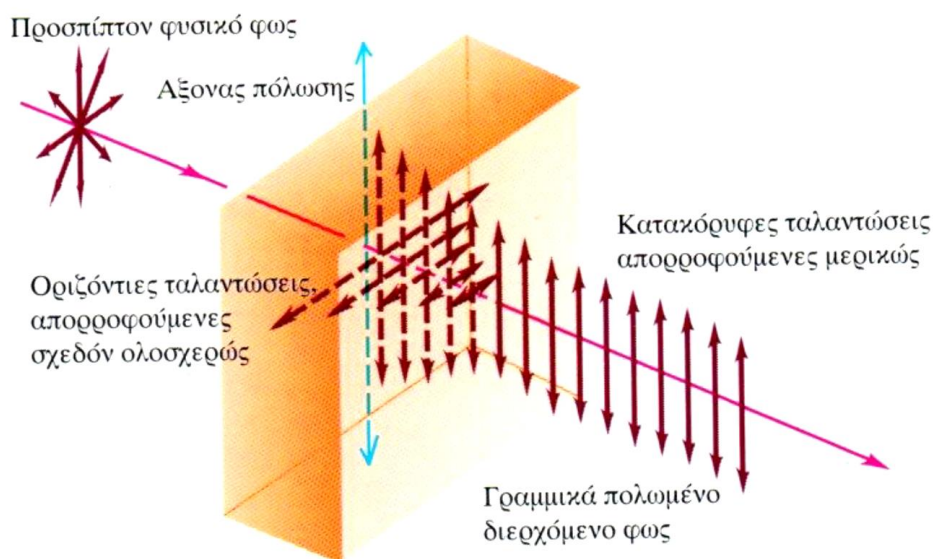
,όπου:

α_0 η τιμή της στροφικής ικανότητας πριν την έναρξη της αντίδρασης

α_∞ η τιμή της στροφικής ικανότητας μετά το τέλος της αντίδρασης (κατάσταση ισορροπίας)

α η μετρούμενη κατά το πείραμα γωνία στροφής τη χρονική στιγμή t

Μέσω της γραφικής αναπαράστασης της σχέσης (1)' υπολογίζεται η τιμή της σταθεράς της αντίδρασης (k).

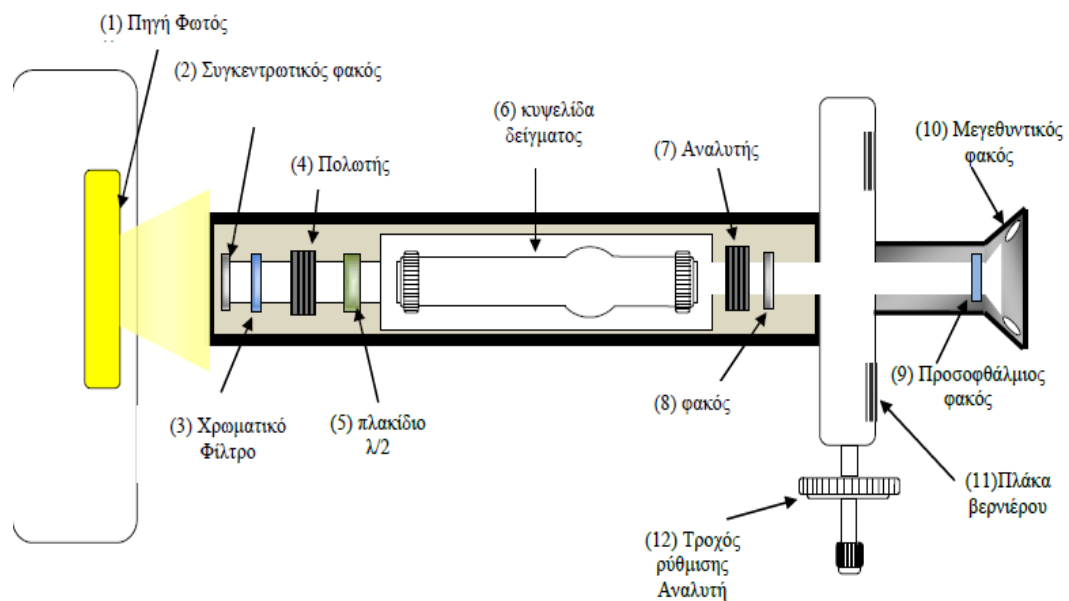


Εικόνα 2 Διέλευση φυσικού φωτός από πολωτή

Πειραματική Διάταξη και Διαδικασία



Εικόνα 3 Πολωσίμετρο



Εικόνα 4: Εσωτερική Διάταξη Πολωσίμετρου

Πηγή μονοχρωματικού φωτός για το πολωσίμετρο του πειράματος αποτελεί μια λάμπα ατμών νατρίου που εκπέμπει στα 589nm. Με τη βοήθεια αντικειμενικού φακού (2) συγκεντρώνεται στην είσοδο και περνά από στον πολωτή (4). Ο πολωτής μετατρέπει το φως σε γραμμικά πολωμένο, το οποίο κατά τη δίοδο του από το διπλοθλαστικό πλακίδιο $\lambda/2$ (5), υφίσταται διπλή διάθλαση. Η "τακτική ακτίνα" παθαίνει ολική ανάκλαση και απομακρύνεται, ενώ η "έκτακτη ακτίνα" παθαίνει ευθύγραμμη πόλωση και περνά από την κυψελίδα (μήκους $\cong 10cm$) (6), όπου βρίσκεται το διάλυμα σακχαρόζης. Η κυψελίδα διαθέτει βιδωτό καπάκι ώστε να μπορεί να αφαιρεθεί για να τοποθετηθεί το διάλυμα σακχαρόζης. Το διογκωμένο τμήμα της κυψελίδας εξυπηρετεί στο να μην εμποδίζει ο εγκλωβισμένος αέρας (φυσαλίδες) τη διαδρομή του φωτός. Από την κυψελίδα (6) η ακτίνα περνά διαδοχικά στον αναλυτή (7), που είναι ένας δεύτερος πολωτής περιστρεφόμενος με την αρχική του θέση να είναι κάθετη με τον πρώτο πολωτή (4). Ο αναλυτής θα δείξει πόσο έχει στραφεί η γωνία του επιπέδου πόλωσης. Κατόπιν περνά από σύστημα φακών (8), (9) και τέλος προσπίπτει στο σύστημα (οπτικού πεδίου) που προσδιορίζει τη γωνία στροφής.



Εικόνα 5 Προσοφθάλμιος φακός

Παρατηρώντας από τον προσοφθάλμιο φακό βλέπουμε μια «τριπλή» εικόνα όπως φαίνεται στην εικόνα 5.

Στρέφοντας το τροχό ρύθμισης του αναλυτή επιτυγχάνουμε μια ενιαία φωτεινότητα (ή συσκότιση) . Τότε και μόνο η γωνία στροφής μπορεί να διαβαστεί στην κλίμακα του Βερνιέρου με τη βοήθεια ή όχι των μεγεθυντικών φακών (10).

Η κύρια (σταθερή) κλίμακα της πλάκας (11) χωρίζεται σε 360 υποδιαίρέσεις η κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε 1° . Ο μετρητής (κινητή κλίμακα) χωρίζεται σε 20 υποδιαίρέσεις οι οποίες δίνουν διακριτική ικανότητα στο όργανο της τάξης $0,05^\circ$.

Για τον υπολογισμό της γωνίας στροφής γίνεται αρχικά ανάγνωση των μοιρών στην ένδειξη της ακίνητης κλίμακας. Έπειτα βρίσκεται η γραμμή από τις διαβαθμίσεις του βερνιέρου αποτελεί προέκταση των γραμμών της ακίνητης κλίμακας και γίνεται καταγραφή των δεκαδικών.

Κάθε σημείο της παραπάνω περιγραφής έχει αριθμηθεί σε αντιστοιχία με την εικόνα 4.



Εικόνα 6 Λάμπα Νατρίου



Εικόνα 7 Κυψελίδα

Όργανα και Συστατικά που χρησιμοποιήθηκαν

- Πολωσίμετρο με λυχνία νατρίου
- Κωνικές φιάλες /Ποτήρια ζέσεως
- Ογκομετρικές φιάλες των 100ml
- Σιφόνια
- Χρονόμετρο
- Υδροχλωρικό οξύ 2M
- Καθαρό καλαμοσάκχαρο

Μέρος 1^ο : Χάραξη καμπύλης βαθμονόμησης και υπολογισμός συγκέντρωσης οπτικά ενεργής ουσίας

Αρχικά παρασκευάζεται διάλυμα καλαμοσακχάρου συγκέντρωσης 20% w/v (20g ζάχαρης σε 100ml απιονισμένου νερού).

Σε πρώτο χρόνο τοποθετούνται 20g ζάχαρης σε κωνική φιάλη και προστίθεται όγκος απιονισμένου νερού περίπου 50ml. Το διάλυμα της κωνικής αναδεύεται μέχρι να επιτευχθεί σχετική ομογενοποίηση του μίγματος.

Ο όγκος του νερού που προστέθηκε αρχικά δεν πρέπει να είναι μικρότερος των 50 ml καθώς το διάλυμα θα βρεθεί σε κατάσταση κορεσμού πριν τη διάλυση όλης της ποσότητας ζάχαρης. Δεν πρέπει επίσης να πλησιάζει τον όγκο των 100ml γιατί υπάρχει κίνδυνος υπέρβασης του αντίστοιχου όγκου που καταγράφεται στην ογκομετρική φιάλη, κατά τη μεταφορά του σε αυτή.

Το διάλυμα που προέκυψε μεταφέρεται σε ογκομετρική φιάλη των 100ml, η οποία πωματίζεται και αναδεύεται μέχρι να διαλυθεί η ζάχαρη.

Η κωνική φιάλη ξεπλένεται δυο-τρεις φορές με μικρές ποσότητες απιονισμένου νερού (περίπου 5 ml) ώστε να μην παραληφθεί από το τελικό διάλυμα τυχόν ζάχαρη που έχει παραμείνει. Μεταφέρονται αυτές οι ποσότητες απιονισμένου νερού στην ογκομετρική φιάλη και γίνεται πάλι ανάδευση.

Συμπληρώνεται απιονισμένο νερό μέχρι η στάθμη του διαλύματος να φτάσει τη χαραγή της ογκομετρικής φιάλης. Έχει προκύψει διάλυμα σακχαρόζης 20% w/v.

Για τη παρασκευή διαλύματος καλαμοσακχάρου 10% w/v, μεταφέρονται 50 ml διαλύματος 20% w/v σε νέα ογκομετρική φιάλη των 100ml και συμπληρώνεται απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Ακολουθεί ανάδευση.

Για τη παρασκευή διαλύματος 5% w/v, λαμβάνονται 50 ml διαλύματος συγκέντρωσης 10% w/v και τοποθετούνται σε νέα ογκομετρική φιάλη των 100ml. Προστίθεται απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή και το τελικό διάλυμα αναδεύεται.

Λαμβάνονται περίπου 15ml από τα διαλύματα συγκέντρωσης 0(τυφλό),5,10,20% και από διάλυμα άγνωστης συγκέντρωσης. Μεταφέρονται στη κυψελίδα του πολωσίμετρου και γίνεται μέτρηση της γωνίας στροφής τους. Δημιουργείται η καμπύλη βαθμονόμησης (περιεκτικότητα ως προς γωνία στροφής) από τις γνωστές περιεκτικότητες (με χρήση M.E.T) και μέσω της εξίσωσής της υπολογίζεται και η άγνωστη (κάνοντας αντικατάσταση της αντίστοιχης γωνίας στροφής στον τύπο της ευθείας).

Μέρος 2^ο : Κινητικές μετρήσεις υδρόλυσης καλαμοσάκχαρου

Μεταφέρονται με σιφώνιο 25ml διαλύματος 20% w/v σε ένα ποτήρι ζέσεως των 100 ml και προστίθεται διάλυμα HCl 2M όγκου 25ml. Το διάλυμα που προκύπτει αναδεύεται και ξεκινάει καταγραφή του χρόνου. Η σακχαρόζη (καλαμοσάκχαρο) στο όξινο περιβάλλον θα υποστεί υδρόλυση σε D-γλυκόζη και D-φρουκτόζη. Σε σχετικά γρήγορο χρόνο (πριν προχωρήσει πολύ η αντίδραση) μεταφέρεται το διάλυμα στη κυψελίδα του πολωσίμετρου (χωρητικότητας $\cong 15\text{ml}$). Λαμβάνονται μετρήσεις της γωνίας στροφής περίπου κάθε 5 min για 30 min και καταγράφεται ο ακριβής χρόνος μέτρησης.

Μόλις περάσουν 30min μεταφέρεται το διάλυμα της κυψελίδας στο ποτήρι ζέσεως των 100ml (με το υπόλοιπο διάλυμα που υδρολύεται) και θερμαίνουμε στους 60 C (θερμόμετρο είναι τοποθετημένο στο ποτήρι ζέσεως για ελεγχόμενη διατήρηση της θερμοκρασίας) για 3–5 min. Οι παραπάνω τιμές θερμοκρασίας και χρόνου τηρούνται αυστηρώς, ώστε να αποφευχθεί πιθανός βρασμός. Γίνεται μέτρηση της γωνίας στροφής και θεωρείται ενδεικτική της τιμής a_{∞} .

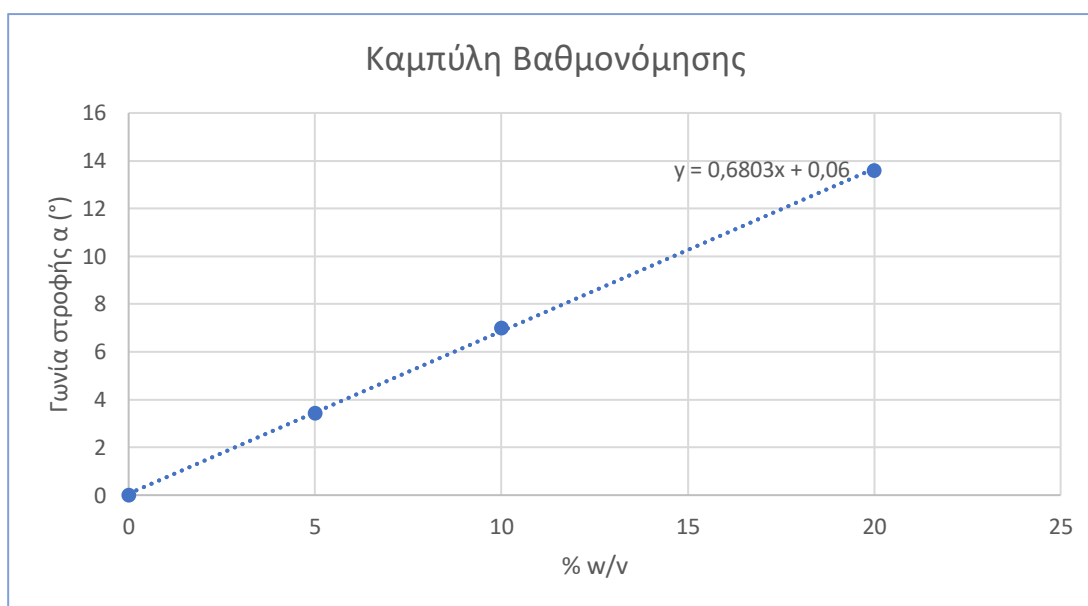
Ως a_0 λαμβάνεται η μέτρηση του διαλύματος καλαμοσάκχαρου 10% που έγινε στο πρώτο μέρος του πειράματος.

Κάνοντας αντικατάσταση των πειραματικών μετρήσεων της γωνίας στροφής και του χρόνου στη σχέση (1)´ δημιουργείται η γραφική παράσταση (M.E.T.) που προσεγγίζει καλύτερα τη συμπεριφορά των 8 ($i=1-8$) σημείων ($\ln \frac{a_0 - a_{\infty}}{a_i - a_{\infty}}$) συναρτήσει του χρόνου (t_i). Η κινητική σταθερά k της αντίδρασης υπολογίζεται από τη κλίση της ευθείας που προκύπτει.

Επεξεργασία Μετρήσεων και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Πίνακας 1: Δεδομένα καμπύλης βαθμονόμησης

% w/v	α (°)
0	0
5,00	3,45
10,00	7,00
20,00	13,60
άγνωστο	8,20



Η εξίσωση της καμπύλης βαθμονόμησης βρέθηκε : $y = 0,6803x + 0,06$

Βάζοντας όπου y τη τιμή της γωνίας διάθλασης του αγνώστου διαλύματος, βρίσκεται η περιεκτικότητα του σε σακχαρόζη. Συγκεκριμένα:

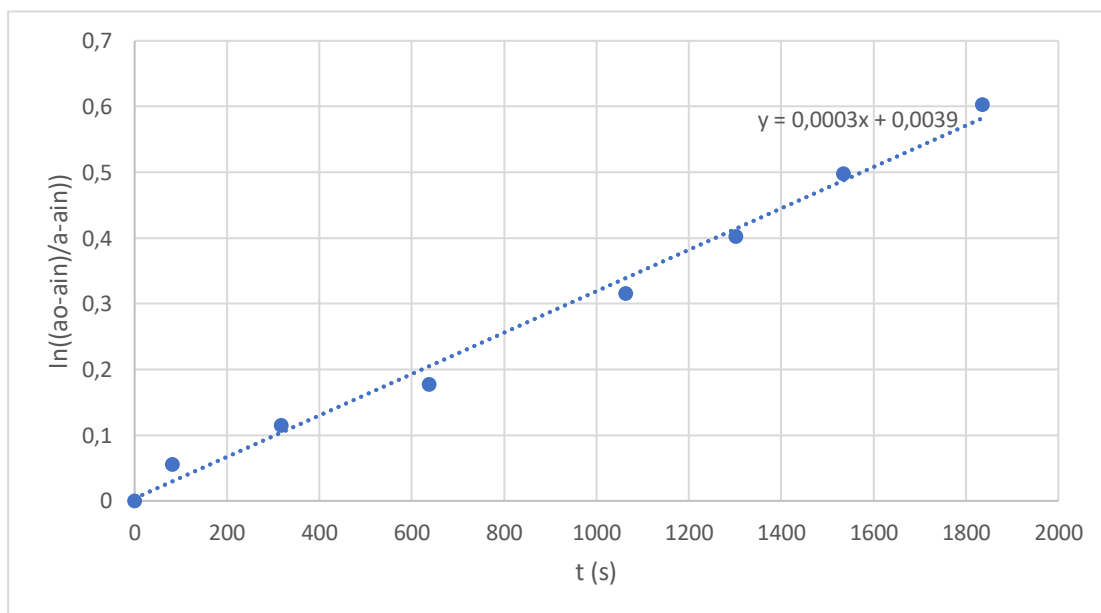
$$x \left(\% \frac{w}{v} \right) = \frac{8,20 - 0,06}{0,6803} = 11,96\%$$

Πίνακας 2 : Πειραματικά δεδομένα υδρόλυσης σακχαρόζης

t (s)	α (°)
0	7,00
81	6,60
317	6,20
637	5,80
1063	5,00
1302	4,55
1535	4,10
1835	3,65
α_{∞}	-0,40

Από τις τιμές του πίνακα 2 παρατηρείται ότι η γωνία στροφής μειώνεται με τη πάροδο του χρόνου. Σημειώνεται ότι στο πέρας της αντίδρασης αποκτά αρνητική τιμή, δηλαδή από δεξιόστροφη καταλήγει αριστερόστροφη. Εκτενέστερος σχολιασμός του παραπάνω ακολουθεί στα συμπεράσματα.

t (sec)	$\ln(a_0 - a_{\infty})/(\alpha - a_{\infty})$
0	0
81	0,055569851
317	0,114410351
637	0,176930708
1063	0,315081047
1302	0,402092424
1535	0,497402603
1835	0,602763119



Οι πράξεις για τον υπολογισμό των τιμών $\ln(\alpha_0 - \alpha_\infty)/(\alpha - \alpha_\infty)$ έγιναν με κατάλληλες πράξεις κελιών σε περιβάλλον Excel. Ενδεικτικά για τη τιμή που αντιστοιχεί στα 81s :

$$\ln\left(\frac{7,0 - (-0,4)}{6,6 - (-0,4)}\right) = 0,055569851$$

Η κλίση της παραπάνω ευθείας υπολογίστηκε ίση με 0,0003. Η τιμή της κλίσης αντιστοιχεί στη σταθερά ταχύτητας k της αντίδρασης, σύμφωνα με τη σχέση (1)'.

Παρατηρείται ότι η εξίσωση (1)' δεν παρουσιάζει σταθερό όρο, είναι δηλαδή της μορφής $y = bx$, όπου b η κλίση της ευθείας. Η ευθεία που προέκυψε πειραματικά εμφανίζει σταθερό όρο ($y = bx + a$), η εμφάνιση του οποίου αποδίδεται σε σφάλματα κατά τη πειραματική διαδικασία. Καθώς ο σταθερός όρος a προσεγγίζει τη τιμή του μηδενός ($a = 0,0039$) μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα σφάλματα που είχαν επενέργεια στις πειραματικές μετρήσεις δεν ήταν μεγάλα ώστε να προκαλέσουν μη αντιστοιχία των εν λόγω εξισώσεων.

Συμπεράσματα

Από τη παραπάνω διαδικασία γίνεται εμφανής η επίδραση της θερμοκρασίας στο μέγεθος της γωνίας στροφής και κατά συνέπεια στη σταθερά της ταχύτητας αντίδρασης.

Η σακχαρόζη στο όξινο περιβάλλον, που δημιουργήθηκε με προσθήκη HCl, υδρολύεται σε D-γλυκόζη και D-φρουκτόζη. Ενώ η σακχαρόζη είναι δεξιόστροφη ουσία (+ 66.5°), στα προϊόντα της αντίδρασής της με το οξύ επικρατεί αριστερή φορά στρέψης. Συγκεκριμένα, η D-φρουκτόζη είναι αριστερόστροφη (ειδική στροφική ικανότητα -92.4°) και επικρατεί της D-γλυκόζης που είναι δεξιόστροφη (ειδική στροφική ικανότητα +52.7°).

Όπως παρατηρείται και στις τιμές του Πίνακα 2 οι αρχικές μετρήσεις της γωνίας στροφής την υποδεικνύουν δεξιόστροφη. Με τη πάροδο του χρόνου οι τιμές της γωνίας στροφής αλλάζουν συνεχώς, λόγω της συνεχούς παραγωγής προϊόντων. Συγκεκριμένα η τιμή της α μειώνεται συνεχώς, καθώς μειώνεται η συγκέντρωση του αντιδρώντος (δεξιόστροφη ουσία) και αυξάνεται η συγκέντρωση των προϊόντων (επικράτηση αριστερόστροφης α). Στο πέρας της υδρόλυσης όπου η σακχαρόζη έχει διασπαστεί πλήρως, η γωνία στροφής – όπως ήταν αναμενόμενο σύμφωνα με τη θεωρία – υπολογίζεται αρνητική.

Η αντίδραση αυτή λόγω του ότι το νερό βρίσκεται σε περίσσεια και η συγκέντρωσή του είναι πρακτικά σταθερή, μπορεί να θεωρηθεί ως αντίδραση α' τάξης (αντίδραση ψευδοπρώτης τάξης). Η παραπάνω παραδοχή κρίνεται ορθή καθώς η γραφική παράσταση της εξίσωσης (1)' δίνει ευθεία γραμμή.

Η τιμή της σταθεράς k που υπολογίστηκε δεν είναι εύκολο να συγκριθεί με κάποια θεωρητική, καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που συμμετέχουν στη διεξαγωγή του πειράματος (παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η γωνία στροφής). Παρ' όλα αυτά τα σφάλματα κατά τη πειραματική διαδικασία δεν αναμένονται μεγάλα και ως εκ τούτου η τιμή $k = 0,0003$ κρίνεται ικανοποιητική (για τα δεδομένα του πειράματος).

Σφάλματα για τα οποία γίνεται λόγος παραπάνω και δύνανται να έχουν επηρεάσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, αφορούν:

- Τον ακριβή υπολογισμό της ποσότητας ζάχαρης που χρησιμοποιήθηκε για τη παρασκευή διαλυμάτων διαφόρων συγκεντρώσεων. (1^ο μέρος)
- Τους όγκους όλων των διαλυμάτων που μεταφέρθηκαν για να γίνουν οι απαραίτητες παρασκευές του πειράματος. (1^ο και 2^ο μέρος)
- Την ακριβή καταγραφή του χρόνου τη στιγμή μέτρησης της γωνίας στροφής. Η ακρίβεια βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην αντίληψη του παρατηρητή. (1^ο μέρος)
- Τον ακριβή υπολογισμό της γωνίας στροφής (διακριτική ικανότητα 0,05°) κατά τη πολωσιμετρία. (1^ο και 2^ο μέρος)
- Τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας μέχρι να επιτευχθεί το πέρας της υδρόλυσης της σακχαρόζης. (2^ο μέρος)
- Τις στρογγυλοποιήσεις στη διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων. (1^ο και 2^ο μέρος)

Βιβλιογραφία

1. Ι. Γεντεκάκης, “Φυσικές Διεργασίες: Ανάλυση & Σχεδιασμός, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2010.
2. Ν. Κατσάνος, Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικοχημείας, Πάτρα 1989.
3. Ν. Στρατηγάκης, «Εργαστήριο Φυσικοχημείας 1», Πανεπιστήμιο Κρήτης, Έκδοση: 1.0, Ηράκλειο 2015.