



***ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ  
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ  
Για το Τμήμα Βιολογίας***



*Εργαστήριο Φυσικοχημείας, Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ 2017*

# **ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ**

**ΑΣΦΑΛΕΙΑ  
ΣΤΟ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΧΗΜΕΙΑΣ**



**Ι. ΠΟΥΛΙΟΣ  
Ε. ΜΑΝΩΛΗ  
Α. ΚΟΥΡΑΣ**

*Εργαστήριο Φυσικοχημείας, Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ 2017*

# Ασφάλεια στο εργαστήριο χημείας



<http://chemistry.berkeley.edu/emergency>

## Εισαγωγή

Στο Εργαστήριο Χημείας, όπως και σε κάθε επιστημονικό εργαστήριο, όπου χρησιμοποιούνται χημικά αντιδραστήρια, εγκυμονούν κίνδυνοι ασφάλειας.

Πολλές φορές οι ίδιες οι ιδιότητες, που εκμεταλλευόμαστε ερευνητικά σε ορισμένες χημικές ουσίες, είναι αυτές που τις καθιστούν κι επικίνδυνες. Επιλέγουμε, για παράδειγμα, ένα ισχυρό οξύ, εξαιτίας της δραστικότητάς του, προκειμένου να πραγματοποιήσουμε μια χημική μετατροπή, αλλά αυτή η δραστικότητά του είναι που το καθιστά επικίνδυνο, αν έρθει σε επαφή με το δέρμα μας ή το καταπιούμε.

Οι φοιτητές χημείας, αλλά και όλοι οι φοιτητές άλλων τμημάτων, που ασκούνται στα εργαστήρια χημείας, πρέπει να κατανοήσουν τους κινδύνους, που απορρέουν από τη χρήση των χημικών αντιδραστηρίων, αλλά και από την εφαρμογή των διαφόρων διαδικασιών, ώστε να εργαστούν με ασφάλεια στο εργαστήριο χημείας.

Επιπλέον, για να εργάζεται κάποιος με ασφάλεια στο εργαστήριο, πρέπει να μάθει, εκτός από το να αναγνωρίζει τους κινδύνους, να τους αξιολογεί και να τους ελαχιστοποιεί, καθώς και να είναι προετοιμασμένος για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Είναι κρίσιμο, για την ασφάλεια όλων, όλοι όσοι εργάζονται στο εργαστήριο να κατανοούν τους κινδύνους και τις διαδικασίες, που πρέπει να ακολουθούνται προκειμένου να αποτραπούν δυσμενή περιστατικά.

## 1. Βασικά στοιχεία σχετικά με τα μέτρα ασφάλειας και την ασφάλεια

### 1.1. Ο ρόλος του φοιτητή στη διατήρηση ενός ασφαλούς εργαστηριακού περιβάλλοντος

Η πρόληψη των δυσμενών περιστατικών είναι μια συλλογική ευθύνη, η οποία απαιτεί την πλήρη συνεργασία όλων στο εργαστήριο.

Δυσμενή περιστατικά συχνά προκύπτουν από:

- μια αδιάφορη στάση απέναντι στην ασφάλεια,
- αδυναμία αναγνώρισης των κινδύνων ή των επικίνδυνων καταστάσεων,
- αδυναμία εκτίμησης των κινδύνων, που συνδέονται με το έργο που επιτελείται,
- αδυναμία τήρησης οδηγιών ή μέτρων για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων και
- αδυναμία αναγνώρισης των περιορισμένων γνώσεων και της έλλειψης εμπειρίας.

Αν και ο καθένας (διδάσκοντας, φοιτητής, Τμήμα) είναι υπεύθυνος για την ασφάλεια στο εργαστήριο, οι παραπάνω αιτίες πρόκλησης δυσμενών περιστατικών σχετίζονται ιδιαίτερα με τον πειραματιστή, δηλαδή το φοιτητή, ο οποίος μπορεί και να τα αποτρέψει άμεσα, με κατάλληλη εκπαίδευση.

## 1.2. Χρήση μέσων ατομικής προστασίας



<http://slideplayer.com/slide/9341540/>

Τα μέσα ατομικής προστασίας χρησιμοποιούνται για την εξάλειψη ή την ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε ορισμένους κινδύνους, που αντιμετωπίζονται κατά την εργασία στο εργαστήριο χημείας. Περιλαμβάνουν αντικείμενα, που έχουν σχεδιαστεί για να προστατεύουν συγκεκριμένες περιοχές του σώματος, όπως τα μάτια (ειδικά γυαλιά εργαστηρίου), τα χέρια (γάντια διαφόρων υλικών) κ.ά., αλλά και όλο το σώμα (εργαστηριακές ποδιές).

Ωστόσο, ο πειραματιστής δεν πρέπει να βασίζεται στην ασφάλειά του αποκλειστικά στα μέσα ατομικής προστασίας, γιατί συχνά αυτά αποτελούν μόνο το τελικό εμπόδιο μεταξύ αυτού και της έκθεσής του σε κίνδυνο.

### 1.2.1. Ένδυση, υπόδηση, αλλά και... κόμμωση και χρήση κοσμημάτων

Τα ενδύματα που φοριούνται στο εργαστήριο θα πρέπει να προσφέρουν στο δέρμα βασική προστασία από πιτσιλιές και διαρροές.

Είναι συνετό να ελαχιστοποιείται η επιφάνεια του δέρματος που εκτίθεται στο εργαστηριακό περιβάλλον. Σορτς,



<https://www.ehs.iastate.edu/occupational/ppe/laboratory-ppe>

κοντές φούστες και μπλούζες ή πουκάμισα, που αφήνουν ακάλυπτη την περιοχή μεταξύ στήθους και μέσης, είναι πιθανόν να εκθέσουν το δέρμα σε άμεση επαφή με επικίνδυνες χημικές ουσίες.

Τα ογκώδη, καθώς και τα πολύ χαλαρά και φαρδιά ενδύματα, δεν είναι κατάλληλα για το εργαστήριο. Τα φαρδιά μανίκια μπορεί να παρασύρουν εργαστηριακά αντικείμενα, να απορροφήσουν χημικά, που έχουν διαρρεύσει, ή να αποτελέσουν κίνδυνο πυρκαγιάς σε πειράματα με ανοικτές φλόγες. Επιπλέον, είναι προτιμότερο τα ενδύματα, που φοριούνται στο εργαστήριο, να είναι κατασκευασμένα από φυσικά υλικά, όπως το βαμβάκι.

Σε ό,τι αφορά την κόμμωση, τα μακριά μαλλιά μπορούν εύκολα να μπλεχτούν στον εξοπλισμό, να εκτεθούν σε χημικές ουσίες ή να καούν σε πειράματα με ανοικτές φλόγες. Για τους λόγους αυτούς είναι καλό να είναι μαζεμένα.

Για την προστασία του δέρματος, στα περισσότερα χημικά εργαστήρια είναι υποχρεωτικό οι πειραματιστές να φορούν εργαστηριακή ποδιά, η οποία πρέπει να είναι κουμπωμένη και να έχει μακριά μανίκια.

Σε ό,τι αφορά την υπόδηση, θα πρέπει να φοριούνται κλειστά παπούτσια, που να καλύπτουν πλήρως τα πόδια και τα δάχτυλα των ποδιών, και όχι πέδιλα. Επίσης, είναι προτιμότερο να είναι

κατασκευασμένα από δέρμα ή πολυμερές δερμάτινο υποκατάστατο. Αυτό το είδος των παπουτσιών προσφέρει την καλύτερη προστασία από διαρροές και πτώση αντικειμένων. Επιπλέον, τα παπούτσια πρέπει να εξασφαλίζουν στον πειραματιστή σταθερότητα τόσο όταν στέκεται όσο και όταν περπατά.

Σχετικά με τα κοσμήματα, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση δαχτυλιδιών,



<http://slideplayer.com/slide/8703810/>



<https://www.slideshare.net/mrLandi/lab-safety-good-ppt>



<http://slideplayer.com/slide/9341540/>

### Going to the Lab? Dress for the occasion.



**Wear appropriate footwear!**

IOWA STATE UNIVERSITY  
Department of Environmental Health and Safety  
515-281-5329 www.ehs.iastate.edu

<https://www.ehs.iastate.edu/occupational/ppe/laboratory-ppe>

βραχιολιών, περιδέραιων και ρολογιών χεριού στο εργαστήριο. Εκτός του ότι τα κοσμήματα μπορεί να υποστούν βλάβη από χημικά αέρια, από ατμούς, καθώς και από διαρροές, υπάρχει κίνδυνος να εγκλωβιστούν χημικά μεταξύ του κοσμήματος και του δέρματος, θέτοντας έτσι το δέρμα σε άμεση επαφή με επικίνδυνες ουσίες. Τα κοσμήματα, επίσης, μπορούν να μπλεχτούν με τον εξοπλισμό, προκαλώντας τραυματισμούς.

### 1.2.2. Προστασία ματιών

Ο καθένας που βρίσκεται στο εργαστήριο, ακόμη και οι επισκέπτες, οφείλουν να φορούν ειδικά προστατευτικά γυαλιά, ακόμη και όταν δεν εκτελούν κάποια χημική διαδικασία.

Τα γυαλιά ασφαλείας προφυλάσσουν τα μάτια από ενδεχόμενη εκτίναξη μικροσταγονιδίων χημικών ουσιών, λόγω λάθους χειρισμού, αλλά και όταν εκτελούνται πειράματα, που παρουσιάζουν κινδύνους εκτίναξης. Υπάρχουν διάφορα είδη προστατευτικών γυαλιών, ανάλογα με την περίπτωση. Ωστόσο, για λόγους οικονομίας και ευκολίας, προτείνεται για όλες τις πειραματικές διαδικασίες να χρησιμοποιούνται γυαλιά, που παρέχουν το μεγαλύτερο δυνατό βαθμό προστασίας.

Τα κανονικά οφθαλμικά γυαλιά δεν παρέχουν την κατάλληλη προστασία των ματιών στις περιπτώσεις εκτίναξης σταγονιδίων επικίνδυνων χημικών ουσιών ή μικρών τεμαχίων υλικών μετά από έκρηξη. Έχουν σημειωθεί σοβαροί τραυματισμοί σε χημικά εργαστήρια, λόγω της χρήσης απλών οφθαλμικών γυαλιών, χωρίς προστατευτικά γυαλιά ασφαλείας.



Safety Glasses Required

<https://www.ehs.gatech.edu/chemical/lsm/11>



<http://slideplayer.com/slide/8703810/>

Επιπλέον, **δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται φακοί επαφής κατά την εργασία στο χημικό εργαστήριο**. Υπάρχει κίνδυνος οι ατμοί που εκλύονται είτε να εγκλωβιστούν μεταξύ των φακών επαφής και των ματιών, είτε να αντιδράσουν με τους φακούς επαφής, προκαλώντας βλάβες στα μάτια.

### 1.2.3. Προστασία χεριών - Γάντια

Το βασικό μέσο προστασίας των χεριών από τις χημικές ουσίες είναι τα γάντια. Ωστόσο, κανένα υλικό γαντιού δεν είναι τελείως αδιαπέραστο σε μια συγκεκριμένη χημική ουσία για μεγάλο χρονικό διάστημα και κανένα υλικό γαντιού δεν είναι ανθεκτικό σε όλες τις χημικές ουσίες.

## Going to the Lab? Dress for the occasion.



Get your hands in  
some protection.



## Wear appropriate gloves!

IOWA STATE UNIVERSITY  
Department of Environmental Health and Safety  
515-294-6309 www.ehs.iastate.edu

<https://www.ehs.iastate.edu/sites/default/files/uploads/publications/posters/2GlovesOPT3.1.pdf>

Τα προστατευτικά γάντια για χημικές ουσίες κατασκευάζονται από μια ποικιλία υλικών, όπως καουτσούκ, πολυβινυλοχλωρίδιο, πολυαιθυλένιο κλπ., τα οποία προσδίδουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες στο προϊόν.

Τα υλικά για τα γάντια ταξινομούνται από τους κατασκευαστές με βάση το χρόνο διέλευσης, δηλαδή το χρόνο που απαιτείται ώστε μια χημική ουσία να διαχυθεί από την εξωτερική στην εσωτερική επιφάνεια του γαντιού. Με βάση το

χρόνο, που απαιτείται για τη διάχυση (permeation) μέσω του υλικού του γαντιού, τα γάντια κατατάσσονται σε 6 τάξεις, ανάλογα με το βαθμό προστασίας που παρέχουν:

Τάξη 1 > 10 min	Τάξη 2 > 30 min	Τάξη 3 > 60 min
Τάξη 4 > 120 min	Τάξη 5 > 240 min	Τάξη 6 > 480 min

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μια ουσία μπορεί να διαπεράσει το υλικό του γαντιού με δύο τρόπους. Είτε μέσω των ραφών, των μικρών οπών ή άλλων ατελειών του γαντιού (penetration), είτε μέσω του ανέπαφου, χωρίς φθορές υλικού (permeation).

Υπάρχουν δύο εικονογράμματα, τα οποία υποδηλώνουν τα διαφορετικά επίπεδα προστασίας, που παρέχουν τα γάντια, και τα οποία αναγράφονται στην επιφάνεια ή τη συσκευασία του προϊόντος. Πρόκειται για τα εικονογράμματα του «δοχείου ζέσης» και της «φιιάλης» τα χαρακτηριστικά των οποίων αναφέρονται στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος Ι.

Στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος Ι δίνονται διάφοροι τύποι γαντιών, με βάση το υλικό κατασκευής τους, που παρέχουν προστασία από συγκεκριμένους διαλύτες.

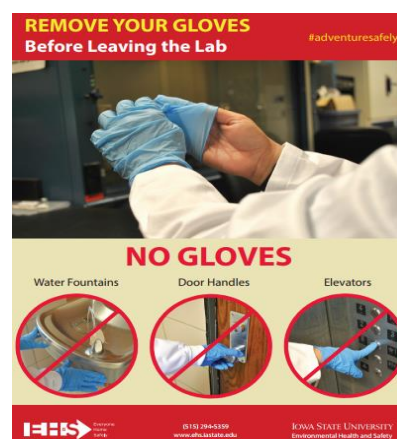
Στον Πίνακα 3 του Παραρτήματος Ι, δίνεται μια σύντομη περίληψη των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των γαντιών, παραθέτοντας και μερικές σύντομες παρατηρήσεις για την αντίσταση που παρουσιάζουν στις συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες χημικές ουσίες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι διαφορετικοί τύποι γαντιών μπορεί να έχουν και διαφορετικά μήκη. Μερικά καλύπτουν ολόκληρο το χέρι, μερικά μόνο το αντιβράχιο, ενώ άλλα μόνο το μήκος καρπού.

Γάντια μιας χρήσης και γάντια τα οποία έχει διαπεράσει μια χημική ουσία δεν πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται. Γενικά, τα γάντια δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν με ασφάλεια, επειδή μια χημική ουσία δεν μπορεί να απομακρυνθεί πλήρως.

Στον Πίνακα 4 του Παραρτήματος Ι, δίνεται και ένας πίνακας συμβατότητας γαντιού - διαλυτών.

Τέλος επισημαίνεται ότι τα γάντια πρέπει να αφαιρούνται όταν πρόκειται να αγγίξουμε κοινόχρηστες επιφάνειες (βρύση πόσιμου νερού, πόρτα, ασανσέρ κλπ)



<https://www.ehs.iastate.edu/sites/default/files/uploads/publications/posters/nogloves.pdf>

### 1.3. Εργαστηριακά πρωτόκολλα

#### 1.3.1. Εργαστηριακό περιβάλλον

Όποιος εργάζεται στο εργαστήριο, πρέπει να έχει σαφή και ακριβή γνώση των ενεργειών του, αλλά και των ενεργειών όσων τον περιβάλλουν.

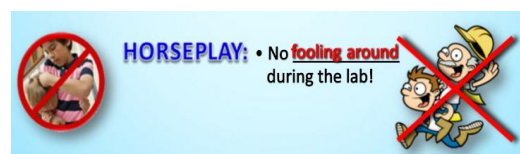
Όλοι θα πρέπει να γνωρίζουν το χώρο του εργαστηρίου, τους κανόνες που το διέπουν και τις δραστηριότητες (πειράματα) που διεξάγονται.

Τροποποιήσεις της πειραματικής διαδικασίας, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι αλλαγές στις χημικές ουσίες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ή στις ποσότητες που θα χρησιμοποιηθούν, μπορεί να είναι επικίνδυνες. Τέτοιου είδους αλλαγές πρέπει να γίνονται μόνο με γνώση και έγκριση του υπεύθυνου του εργαστηρίου.

Ο ασκούμενος, πριν ξεκινήσει την εργασία στο εργαστήριο, πρέπει να είναι προετοιμασμένος για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, δηλαδή να έχει εντοπίσει τις εξόδους, τους σταθμούς συναγερμού πυρκαγιάς, τις συσκευές έκπλυσης ματιών, τα ντους ασφαλείας, τις κουβέρτες πυροπροστασίας, το κουτί πρώτων βοηθειών και τους πυροσβεστήρες και να έχει εξασκηθεί στη χρήση τους.

Περιττά προσωπικά αντικείμενα (ρουχισμός, τσάντες κλπ.), που αφενός περιορίζουν την ελευθερία κινήσεων και αφ' ετέρου μπορούν να υποστούν ζημιές, δεν πρέπει να βρίσκονται εντός των εργαστηρίων.

Δεν επιτρέπεται η παρουσία, η αποθήκευση ή η κατανάλωση κάθε είδους (στερεάς ή υγρής) τροφής στους χώρους των εργαστηρίων. Έτσι εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξει πιθανότητα οποιαδήποτε επιμόλυνση της τροφής να οδηγήσει σε κατάποση ενός εργαστηριακού χημικού προϊόντος.



<http://slideplayer.com/slide/8703810/>



<http://slideplayer.com/slide/9341540/>



### 1.3.2. Επισκέπτες στο εργαστήριο

Μέσα στον εργαστηριακό χώρο θα πρέπει να βρίσκονται μόνον όσοι έχουν άμεση σχέση με τις εργαστηριακές δραστηριότητες, που λαμβάνουν χώρα σ' αυτό.

Επισκέπτες, όπως φίλοι ή συγγενείς, ενδέχεται να μην γνωρίζουν τους κινδύνους και να διαπράξουν, κατά λάθος, ανασφαλείς πράξεις. Οποιοσδήποτε επισκέπτης θα πρέπει να έχει την έγκριση του υπεύθυνου του εργαστηρίου, πριν επισκεφτεί το εργαστήριο, και κατά τη διάρκεια της παραμονής του σ' αυτό, ανεξάρτητα από το πόσο σύντομη είναι, θα πρέπει να φορά προστατευτικά γυαλιά.

### 1.3.3. Οικοκυρική!

Η διατήρηση της καθαριότητας και της τάξης σε έναν εργαστηριακό χώρο γενικά οδηγεί σε ασφαλέστερο περιβάλλον.



[http://ehs.ucr.edu/laboratory/audits/housekeeping\\_in\\_the\\_laboratory.html](http://ehs.ucr.edu/laboratory/audits/housekeeping_in_the_laboratory.html)

Ο πάγκος εργασίας και τα σκεύη / όργανα, που χρησιμοποιούνται, θα πρέπει να διατηρούνται καθαρά και τακτοποιημένα, τόσο για λόγους ασφάλειας όσο και για την ακρίβεια των πειραματικών δεδομένων.



[http://ehs.ucr.edu/laboratory/audits/housekeeping\\_in\\_the\\_laboratory.html](http://ehs.ucr.edu/laboratory/audits/housekeeping_in_the_laboratory.html)

Οι διάδρομοι, καθώς και οι προσβάσεις σε εξοπλισμό ασφάλειας, θα πρέπει να διατηρούνται ανεμπόδιστοι (χωρίς να παρεμβάλλονται καρέκλες, κιβώτια, ανοιχτά συρτάρια, σακίδια, δοχεία απορριμμάτων κ.ά.).

Για να αποφευχθούν κίνδυνοι ολίσθησης, το δάπεδο θα πρέπει να είναι καθαρό, απαλλαγμένο από υπολείμματα χημικών, πάγο, πώματα, γυάλινα σφαιρίδια ή ράβδους και άλλα τέτοια μικροαντικείμενα.



[http://ehs.ucr.edu/laboratory/audits/housekeeping\\_in\\_the\\_laboratory.html](http://ehs.ucr.edu/laboratory/audits/housekeeping_in_the_laboratory.html)

Οι χώροι εργασίας και οι αποθηκευτικοί χώροι πρέπει να είναι απαλλαγμένοι από σπασμένα γυάλινα σκεύη, χημικά που έχουν χυθεί και βρώμικα γυάλινα σκεύη.

Σπασμένα γυάλινα σκεύη, σύριγγες και άλλα μυτερά αντικείμενα θα πρέπει πάντα να απορρίπτονται σε ειδικούς κάδους ακρήστων και με πλαστική συσκευασία ασφαλή για τους εργαζόμενους στην καθαριότητα και ποτέ σε ένα συνηθισμένο δοχείο απορριμμάτων.

Οι εκπαιδευόμενοι πρέπει να ενημερώνουν αμέσως τον υπεύθυνο του εργαστηρίου, εάν έχει σπάσει κάποιο γυάλινο σκεύος ή έχουν χυθεί χημικά.

Οι εκπαιδευόμενοι πρέπει, πριν εγκαταλείψουν το εργαστήριο, να καθαρίζουν την περιοχή του πάγκου, όπου εργάστηκαν, έτσι ώστε οι επόμενοι να μην αγγίζουν ακούσια χημικά υπολείμματα. Για τον ίδιο λόγο, δεν πρέπει να αφήνονται οι χημικές ουσίες στους ζυγούς, οι οποίοι επιπλέον είναι ακριβοί και μπορούν εύκολα να καταστραφούν από διαβρωτικά χημικά.

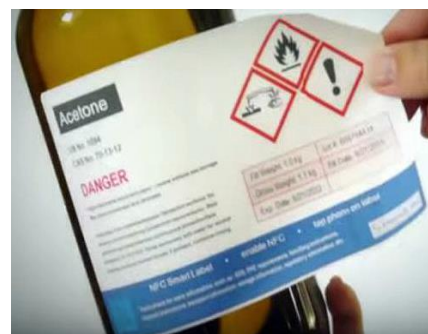
Έχουν αναφερθεί πολλά δυσμενή περιστατικά εξαιτίας της χρήσης ισχυρών οξειδωτικών διαλυμάτων καθαρισμού, όπως μίγματα νιτρικού οξέος ή χρωμοθεικού οξέος. Τέτοια διαλύματα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται, παρά μόνο με κατάλληλο εξοπλισμό προστασίας, και μόνο όταν ο υπεύθυνος εργαστηρίου το ζητήσει. Επίσης, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται εύφλεκτοι διαλύτες ως καθαριστικά, εκτός εάν ο υπεύθυνος εργαστηρίου απαιτεί συγκεκριμένα τη χρήση τους.

#### 1.3.4. Επισήμανση χημικών ουσιών

Τα δοχεία, που περιέχουν χημικές ουσίες, μπορεί να έχουν είτε την ετικέτα που τοποθέτησε ο κατασκευαστής είτε κάποια καινούρια, δευτερεύουσα, ετικέτα, όταν το δοχείο, αφού τελειώσει το αρχικό αντιδραστήριο, επαναχρησιμοποιείται.

Πολυάριθμα δυσμενή περιστατικά έχουν προκληθεί εξαιτίας ακατάλληλων ή ανεπαρκών επισημάνσεων των δοχείων.

Είναι σημαντικό η ετικέτα του κατασκευαστή να μην



<https://www.linkedin.com/pulse/flexstr8-offers-nfc-enabled-labels-hazardous-chemicals-automated-id>

μεταβάλλεται, να μην καλύπτεται και γενικά να μην αλλάζει με οποιοδήποτε τρόπο, μέχρι το δοχείο να αδειάσει.

Συχνά, τα άδεια δοχεία επαναχρησιμοποιούνται για την αποθήκευση διαλυμάτων, που παρασκευάζονται από τους εκπαιδευόμενους. Πριν από την επαναχρησιμοποίηση ενός δοχείου για την αποθήκευση διαφορετικού διαλύματος, η προηγούμενη ετικέτα πρέπει να αφαιρεθεί εντελώς και το δοχείο πρέπει να πλυθεί καλά και να αφεθεί να στεγνώσει στον αέρα. Δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιείται απλά ένας μαρκαδόρος, για να γίνει καινούρια επισήμανση, πάνω σε μια υπάρχουσα ετικέτα του κατασκευαστή. Επίσης, σε καμία περίπτωση δεν πρέπει ένα δοχείο να έχει δύο ετικέτες, μία σε κάθε πλευρά του.

Μία δευτερεύουσα ετικέτα για προσωρινή χρήση (κατά τη διάρκεια μιας εργαστηριακής περιόδου ή μέχρι μια μελλοντική εργαστηριακή περίοδο) θα πρέπει κατ' ελάχιστο να φέρει το όνομα του χημικού προϊόντος, το όνομα του ατόμου που γέμισε το δοχείο, την ημερομηνία γεμίσματος και τους κινδύνους.

### 1.3.5. Καθαρισμός γυάλινων σκευών

Τα γυάλινα σκεύη καθαρίζονται από τους εκπαιδευόμενους στο νεροχύτη του εργαστηρίου με νερό, περιβαλλοντικά αποδεκτά μέσα καθαρισμού και βούρτσες κατάλληλης σκληρότητας και μεγέθους. Δεν πρέπει να ασκείται πίεση με τις βούρτσες μέσα στα γυάλινα σκεύη.



<http://www.labglasscleaning.com/home/reinigungsmethode-cleaning-method/manuelle-reinigung-manual-cleaning?lang=en>

Κατά το πλύσιμο των γυάλινων σκευών

είναι απαραίτητη η χρήση προστατευτικών γυαλιών και γαντιών. Σε ορισμένες βρύσες εργαστηρίου τοποθετούνται ακροφύσια, που αυξάνουν την ταχύτητα ροής του νερού. Όταν χρησιμοποιούνται τέτοιου είδους ακροφύσια, πρέπει πάντα η ρύθμιση της ροής να γίνεται αργά και χωρίς να βρίσκεται από κάτω το γυάλινο σκεύος. Το νερό μπορεί να βγει με δύναμη και να εκτοξευθεί πίσω στο πρόσωπο του εκπαιδευόμενου ή να χτυπήσει το σκεύος που κρατά στα χέρια του.

Επίσης είναι σημαντικό να αποφεύγεται η συσσώρευση πάρα πολλών αντικειμένων στην περιοχή καθαρισμού. Ο χώρος εργασίας γύρω από έναν νεροχύτη είναι συνήθως περιορισμένος και η συσσώρευση βρώμικων ή καθαρισμένων γυαλικών μπορεί να οδηγήσει στην θραύση τους.

Εάν σπάσει κάποιο γυάλινο σκεύος στο νεροχύτη, για την απομάκρυνση των σπασμένων τεμαχίων πρέπει να χρησιμοποιηθούν γάντια, τσιμπιδάκια ή λαβίδες ανθεκτικά στην κοπή. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά τον καθαρισμό της περιοχής αποστράγγισης, επειδή τα τεμάχια γυαλιού μπορούν να παγιδευτούν στις οπές και να είναι σχεδόν αδύνατο να

εντοπιστούν. Για να ελαχιστοποιηθεί η θραύση των γυάλινων αντικειμένων, τα στόμια νεροχύτη ενδέχεται να έχουν ελαστικά ή πλαστικά καλύμματα, που δεν εμποδίζουν τις αποχετεύσεις.

### 1.3.6. Εισπνοή χημικών ουσιών

Αν ο υπεύθυνος εργαστηρίου ζητήσει από τους εκπαιδευόμενους να μυρίσουν ένα χημικό αντιδραστήριο, τότε αυτοί πρέπει να χρησιμοποιήσουν το χέρι τους, για να δημιουργήσουν ρεύμα αέρα προς το πρόσωπό τους, και να εισπνεύσουν απαλά. Δεν πρέπει ποτέ να εισπνέεται μια χημική ουσία με την τοποθέτηση της μύτης κατευθείαν πάνω από το δοχείο, που την περιέχει.



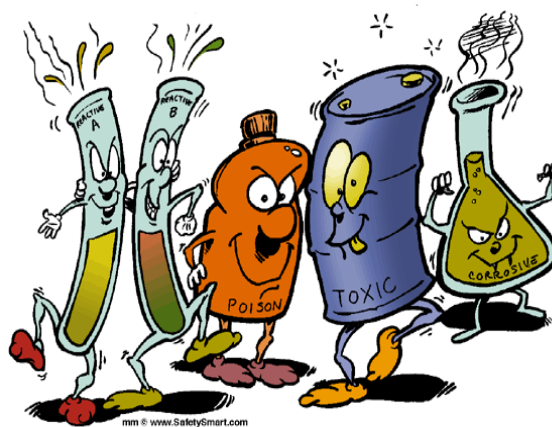
<https://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/chemicalsafety/publications/safety-in-academic-chemistry-laboratories-students.pdf> <http://slideplayer.com/slide/7083348/>

Αξίζει να σημειωθεί ότι, όπως η παρουσία οσμής δεν αποτελεί αξιόπιστη ένδειξη πιθανής επικινδυνότητας, έτσι και η απουσία οσμής δεν αποτελεί αξιόπιστη ένδειξη απουσίας επικινδυνότητας. Πολλές ουσίες, που μπορεί να έχουν ή όχι οσμή, είναι επιβλαβείς αν εισπνευστούν. Η ετικέτα στο δοχείο και το δελτίο δεδομένων ασφάλειας (SDS) της χημικής ουσίας μπορεί να φέρει προειδοποίηση σχετικά με τους κινδύνους εισπνοής.

### 1.3.7. Διάθεση χημικών ουσιών

Υπάρχουν πολύ συγκεκριμένοι κανόνες για τη διάθεση των χημικών ουσιών.

Ο σωστός χειρισμός των χημικών αποβλήτων, των παραπροϊόντων των αντιδράσεων, των πλεονασμάτων των χημικών υλικών και των ρυπασμένων υλικών παίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόληψη των δυσμενών περιστατικών στο εργαστήριο. Η ακατάλληλη διάθεση μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και μπορεί επίσης να εμπλέξει σε νομικά ζητήματα



<http://waste.pages.tcnj.edu/info-for-students/chemicals/>

ένα πανεπιστημιακό ίδρυμα. Κάθε φοιτητής είναι υπεύθυνος να εξασφαλίσει ότι τα απόβλητα, που παράγει όταν εκπαιδεύεται στο εργαστήριο, αντιμετωπίζονται κατά τρόπο που ελαχιστοποιεί τον ατομικό κίνδυνο. Ακόμη, πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τη δυνατότητα, που έχουν αυτά να προκαλέσουν περιβαλλοντική ρύπανση.

Συνήθως, τα παραπροϊόντα των χημικών αντιδράσεων και τα πλεονάσματα των χημικών ουσιών μεταφέρονται σε κατάλληλα επισημασμένα δοχεία για σωστή διάθεση.

Ο υπεύθυνος εργαστηρίου είναι υποχρεωμένος να καθοδηγεί τους εκπαιδευόμενους, ώστε να χρησιμοποιούν τα κατάλληλα επισημασμένα δοχεία διάθεσης.

Η έκχυση απορριμμάτων σε λάθος δοχείο μπορεί να προκαλέσει απρόβλεπτες, ανεπιθύμητες αντιδράσεις, με αποτέλεσμα πυρκαγιές ή εκρήξεις. Οι εκπαιδευόμενοι οφείλουν να δίνουν ιδιαίτερη προσοχή και να ακολουθούν τις σχετικές οδηγίες του υπευθύνου του εργαστηρίου.

Δύο βασικές γενικές οδηγίες διάθεσης:

1. **Κατά τη διάθεση των χημικών ουσιών, κάθε κατηγορία χημικών αποβλήτων τοποθετείται στο ειδικά επισημασμένο δοχείο διάθεσης.** Πρέπει να διαβάζεται προσεκτικά η ετικέτα περιεχομένων και να επανατοποθετείται το καπάκι του δοχείου στη θέση του μετά τη χρήση.
2. **Ποτέ δεν πρέπει να διατίθενται χημικές ουσίες στην αποχέτευση,** εκτός εάν ο υπεύθυνος εργαστηρίου έχει ενημερώσει ότι οι τοπικοί κανονισμοί επιτρέπουν τη διάθεση αυτών των ουσιών στο αποχετευτικό σύστημα. Για παράδειγμα, το νερό και τα αραιά υδατικά διαλύματα χλωριούχου νατρίου, ζάχαρης και σαπουνιού από ένα εργαστήριο χημείας μπορούν να απορριφθούν στο νεροχύτη.

## 2. Οδηγός για τους χημικούς κινδύνους

### 2.1. Εισαγωγικά στοιχεία

**Κίνδυνος (Hazard)** είναι οτιδήποτε έχει τη δυναμική να προκαλέσει βλάβη, δηλαδή η πιθανή πηγή κινδύνου ή βλάβης. Εάν οι χημικοί κίνδυνοι δεν αναγνωριστούν, μπορεί να προκύψουν (και να συμβούν) απροσδόκητα γεγονότα, που προκαλούν τραυματισμό ή / και υλικές ζημιές.

Η **επικινδυνότητα (risk)** είναι ένας συνδυασμός της πιθανότητας εμφάνισης ανεπιθύμητου συμβάντος, που οφείλεται στην έκθεση στον κίνδυνο, της σοβαρότητας των συνεπειών, εάν συμβεί το ανεπιθύμητο συμβάν, και της συχνότητας έκθεσης στον κίνδυνο.

Το γεγονός ότι μία χημική ουσία μπορεί να είναι επικίνδυνη δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο, δεδομένου ότι οι χημικές ουσίες αποτελούν τα εργαλεία, που χρησιμοποιούν οι χημικοί για την εκτέλεση των εργασιών τους. Από την άλλη, ένας ανεξέλεγκτος κίνδυνος παρουσιάζει αυξημένη επικινδυνότητα.

# HAZARD x EXPOSURE = RISK



<https://www.dartmouth.edu/~ehs/biological/risk.html>

Είναι ενδιαφέρον ότι οι ίδιες οι ιδιότητες, που κάνουν μια χημική ουσία χρήσιμη, είναι συχνά εκείνες, που την καθιστούν επικίνδυνη, οπότε οι χημικοί, αλλά και γενικά οι ασκούμενοι στα χημικά εργαστήρια, πρέπει να μάθουν πώς να χρησιμοποιούν με ασφάλεια χημικές ουσίες, που έχουν σημαντικούς εγγενείς κινδύνους.

Αν και πολλές χημικές ουσίες παρουσιάζουν κινδύνους, οι περισσότερες δεν παρουσιάζουν επικινδυνότητα στην καθημερινή μας ζωή με κανονική χρήση, διότι μάθαμε πώς να αναγνωρίζουμε τους κινδύνους και να ελαχιστοποιούμε την επικινδυνότητά τους.

Οι χημικοί χρησιμοποιούν πολλές μεθόδους για την ελαχιστοποίηση ή τον έλεγχο της επικινδυνότητας, που σχετίζονται με τη χρήση χημικών. Για να είναι σε θέση κάποιος να χειρίζεται σωστά τις χημικές ουσίες, πρέπει πρώτα να είναι σε θέση να προσδιορίζει και να κατανοεί τους κινδύνους που παρουσιάζουν.

Είναι ευθύνη του κατασκευαστή ή του εισαγωγέα να εντοπίσει και να κοινοποιήσει τον (τους) κίνδυνο (-ους) κάθε χημικού προϊόντος, που παράγει ή μεταπωλεί. Εναπόκειται όμως στο χρήστη να κατανοήσει τις πληροφορίες, που παρέχονται στην ετικέτα και στο δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS).



**RISK = HAZARD x EXPOSURE**

<http://toxedfoundation.org/hazard-vs-risk/>

Αν υπάρξει έκθεση σε κάποια επικίνδυνη χημική ουσία, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν έγκαιρα τα σημάδια ή τα συμπτώματα της έκθεσης.

Τα σημάδια της έκθεσης είναι εξωτερικά κι επομένως είναι ορατά σε άλλους. Είναι αντικειμενικά και σε ορισμένες περιπτώσεις μετρήσιμα. Τέτοια σημάδια είναι η κνίδωση, το οίδημα, η αύξηση ή μείωση του ρυθμού αναπνοής, το φτάρνισμα, ο βήχας και τα υγρά μάτια. Τα σημάδια είναι συνήθως προσωρινά και σταματούν, όταν σταματήσει η έκθεση στην πηγή.

Τα συμπτώματα έκθεσης είναι περισσότερο υποκειμενικά, εκδηλώνονται εσωτερικά και συνεπώς δεν είναι προφανή ή ορατά σε άλλους. Μερικά παραδείγματα συμπτωμάτων είναι ο πονοκέφαλος, η ζάλη και ο πόνος.

Υπάρχουν περισσότερα από 126 εκατομμύρια χημικές ουσίες καταχωρημένες στην υπηρεσία ευρετηρίου χημικών ουσιών (Chemical Abstracts Service, CAS). Από αυτές περίπου 80.000 έχουν καταχωρηθεί για χρήση, ενώ περίπου 2000 προσθέτονται κάθε χρόνο. Μόνο ένα πολύ μικρό κλάσμα των χρησιμοποιούμενων χημικών ουσιών έχει αξιολογηθεί για τη δυνατότητα να προκαλέσει βλάβη. Σχετικά μικρός αριθμός χημικών ουσιών, στις οποίες είμαστε εκτεθειμένοι καθημερινά ως καταναλωτές, θεωρείται ότι αποτελούν κινδύνους για την υγεία, στα επίπεδα που τις χρησιμοποιούμε ως καταναλωτές. Ωστόσο, ο κίνδυνος μπορεί να είναι πιο σημαντικός για έναν εργαζόμενο σ' ένα εργαστήριο, που χρησιμοποιεί την καθαρή μορφή ενός μερικώς εκτιμημένου χημικού, εάν δεν ληφθούν μέτρα για την ελαχιστοποίηση της επικινδυνότητας έκθεσης.

Προκειμένου να αποφευχθούν δυσμενή περιστατικά κατά την άσκηση στο χημικό εργαστήριο, οι ασκούμενοι πρέπει να γνωρίζουν και να κατανοούν τα επικίνδυνα χαρακτηριστικά των χημικών ουσιών, με τις οποίες θα εργαστούν. Οι ασκούμενοι φοιτητές, ακόμη και στα εισαγωγικά εργαστήρια, θα χρησιμοποιήσουν αρκετές δεκάδες χημικές ουσίες. Για να είναι σε θέση να γνωρίζουν τα επικίνδυνα χαρακτηριστικά αυτών των πολλών διαφορετικών χημικών ουσιών, πρέπει αρχικά να γνωρίζουν την ταξινόμησή τους. Τα επικίνδυνα χαρακτηριστικά όλων των χημικών ουσιών μπορούν να ταξινομηθούν σε μερικές μόνο κατηγορίες.

**Υπάρχουν τέσσερις ευρείες υποκατηγορίες χημικού κινδύνου: η τοξικότητα (toxicity), η ευφλεκτότητα (flammability), η διαβρωτικότητα (corrosivity) και η δραστικότητα (reactivity).**

Ορισμένες χημικές ουσίες είναι επικίνδυνες μόνο με έναν από αυτούς τους τρόπους, ενώ κάποιες άλλες είναι επικίνδυνες με περισσότερους από έναν τρόπους. Πολλές χημικές ουσίες, που χρησιμοποιούνται σε εργαστήρια χημείας, είναι επικίνδυνες τουλάχιστον με έναν από αυτούς τους τρόπους, αλλά ο βαθμός κινδύνου ποικίλλει - μπορεί να είναι μεγάλος, μικρός ή ενδιάμεσος.

## 2.2 Τοξικότητα

Μια χημική ουσία χαρακτηρίζεται ως τοξική, όταν μπορεί να προκαλέσει βλάβη σ' ένα ζωντανό οργανισμό. Ωστόσο, είναι γνωστό ότι η έκθεση σε επαρκή ποσότητα οποιασδήποτε ουσίας μπορεί να είναι θανατηφόρα και ότι οι τοξικές επιδράσεις μιας χημικής ουσίας καθορίζονται από τη δόση έκθεσης, δηλαδή από την ποσότητα.

Η επιστήμη, που μελετά τις δυσμενείς επιπτώσεις μιας

ουσίας στους ζωντανούς οργανισμούς και στο οικοσύστημα, είναι γνωστή ως τοξικολογία.



Σύμβολο κινδύνου για χημικά προϊόντα: Τοξικό  
([http://ec.europa.eu/taxation\\_customs/dds2/SA/MANCTA/EL/Safety/SymbolsOfHazard\\_EL.htm](http://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SA/MANCTA/EL/Safety/SymbolsOfHazard_EL.htm))

Οι τοξικές επιδράσεις μιας χημικής ουσίας μπορεί να είναι άμεσες ή όχι, αναστρέψιμες ή μη αναστρέψιμες και τοπικές ή συστηματικές. Επίσης, ποικίλλουν από ήπιες και αναστρέψιμες (π.χ., κεφαλαλγία από ένα μόνο επεισόδιο εισπνοής ατμών κάποιου οργανικού διαλύτη, που εξαφανίζεται, όταν το άτομο εισπνεύσει καθαρό αέρα) μέχρι σοβαρές και μη αναστρέψιμες (π.χ. καρκίνο από υπερβολική έκθεση σε φορμαλδεΐδη).

Γενικά (με εξαίρεση τις αλλεργικές αντιδράσεις), όσο μεγαλύτερη ή συχνότερη είναι η έκθεση σε μια χημική ουσία, τόσο πιο σοβαρό είναι το αποτέλεσμα. Επομένως, αν, κατά τη χρήση μιας χημικής ουσίας στο εργαστήριο, η έκθεση του πειραματιστή (χημικού, ασκούμενου φοιτητή, υπεύθυνου εργαστηρίου κλπ.) περιοριστεί στο ελάχιστο, ελαχιστοποιείται ή και αποφεύγεται τελείως η πιθανότητα πρόκλησης βλάβης.

Ο τρόπος (το μονοπάτι), με τον οποίο μια χημική ουσία εισέρχεται στο σώμα, ονομάζεται οδός εισόδου / έκθεσης. Είναι σημαντικό ο φοιτητής, όταν χρησιμοποιεί μια χημική ουσία, να γνωρίζει μέσω ποιων οδών μπορεί αυτή να εισαχθεί στο σώμα του, ώστε να μπορέσει να προστατευτεί κατάλληλα από την έκθεση.

**Υπάρχουν τέσσερις τρόποι, με τους οποίους οι χημικές ουσίες μπορούν να εισέλθουν στο σώμα:**

**Εισπνοή:** Είναι η πιο κοινή οδός εισόδου / έκθεσης στα εργαστήρια χημείας.

**Κατάποση:** Μία χημική ουσία μπορεί να εισέρθει στο πεπτικό σύστημα μέσω της κατάποσης. Βέβαια, είναι απίθανο κάποιος εσκεμμένα να καταπιεί χημικά στο εργαστήριο, ωστόσο πρέπει να τηρούνται οι βασικοί κανόνες για την πρόληψη μιας τυχαίας κατάποσης. Η έκθεση σε χημικές ουσίες μέσω αυτής της διαδρομής μπορεί να συμβεί, όταν καταναλώνονται τροφές μέσα στο εργαστήριο (ακόμη και τσίχλες), εφαρμόζονται καλλυντικά μέσα στο εργαστήριο ή καταναλώνονται γεύματα στη συνέχεια, εκτός εργαστηρίου, μετά από την εργασία στο εργαστήριο, χωρίς να έχει προηγηθεί κατάλληλος καθαρισμός των χεριών. Αυτή η οδός έκθεσης εξαλείφεται, σχεδόν, όταν δεν γίνεται κατανάλωση φαγητών και ποτών στο εργαστήριο.

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι ο συχνότερος τρόπος εισαγωγής υγρών χημικών ουσιών – διαλυμάτων μέσω της κατάποσης έχει παρατηρηθεί ότι γίνεται κατά την λάθος αναρρόφηση των υγρών για την πλήρωση των σιφωνίων – πιπετών. Τα ογκομετρικά αυτά σκεύη απαιτούν τη δημιουργία κενού για το γέμισμά τους. Αν αυτό το κενό γίνει

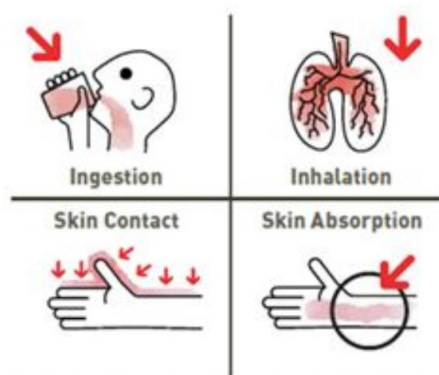




με αναρρόφηση με το στόμα, τότε ΕΙΝΑΙ ΠΟΛΥ ΠΙΘΑΝΟ να αναρροφηθεί και αέρας με αποτέλεσμα μεγάλη ποσότητα του υγρού να εισέλθει στη στοματική κοιλότητα και να καταποθεί. Ο σωστός τρόπος δημιουργίας κενού σε αυτά τα σκεύη είναι μέσω συσκευών, που ονομάζονται πουάρ. Πρόκειται για ελαστικές φούσκες από καουτσούκ 2 ή 3 εισόδων, όπως φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα.

**Απορρόφηση:** Όταν μια χημική ουσία έρχεται σε επαφή με το δέρμα, μπορεί να υπάρξει δερματική απορρόφηση της. Μπορεί, επίσης, να συμβεί απορρόφηση ατμών μιας χημικής ουσίας μέσω των ματιών και των βλεννογόνων μεμβρανών.

**Έκχυση:** Μια χημική ουσία μπορεί να εισέλθει στο σώμα μέσω εκδορών ή ενός κοψίματος, που μπορεί να υπάρχει στο δέρμα. Τέτοιες εκδορές ή κοψίματα μπορεί να δημιουργηθούν και μέσα στο εργαστήριο πχ από κακό χειρισμό αιχμηρών αντικειμένων (σύριγγες) ή σπασμένων γυάλινων σκευών.



<http://slideplayer.com/slide/10727763/37/images/39/Routes+of+Exposure.jpg>

### 2.2.1 Κατηγορίες χημικών ουσιών, που είναι γνωστό ότι προκαλούν τοξικές επιδράσεις

**Τα αλλεργιογόνα** είναι παράγοντες, που προκαλούν ανοσολογική αντίδραση. Αλλεργιογόνες χημικές ουσίες υπάρχουν στα χημικά εργαστήρια. Ένα αλλεργιογόνο μπορεί να προκαλέσει αναπνευστική απόκριση τύπου άσθματος ή αντίδραση δερματίτιδας εξ επαφής (έκζεμα). Δεν είναι όλοι ευπαθείς στα αλλεργιογόνα. Μια χημική ουσία λέγεται ότι είναι ευαισθητοποιητής, εάν προκαλεί αλλεργική αντίδραση σε σημαντικό πληθυσμό. Συνηθισμένες χημικές ουσίες – ευαισθητοποιητές, στις οποίες μπορεί να εκτεθεί κάποιος σε ένα εργαστήριο χημείας, είναι **το νικέλιο, το θείο και οι ενώσεις του, τα σαλικυλικά** (ασπιρίνη), **η φορμαλδεΐδη** και **το latex** (το οποίο τελευταία χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά). Οι φοιτητές θα πρέπει να έχουν ενημερώσει τον υπεύθυνο εργαστηρίου, εάν γνωρίζουν ή υποψιάζονται ότι είναι αλλεργικοί σε μια χημική ουσία, που θα χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο.

**Τα δακρυγόνα** είναι χημικές ουσίες, που προκαλούν δάκρυσμα των ματιών, λόγω της βαθιάς επίδρασής τους στους δακρυϊκούς αδένες. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα δακρυγόνα δεν προκαλούν μόνιμη βλάβη στα μάτια. Αν μια χημική ουσία προκαλεί δάκρυσμα, τότε αυτό αναγράφεται στην ετικέτα της συσκευασίας και στο δελτίο δεδομένων ασφαλείας. Τα προστατευτικά γυαλιά δεν εμποδίζουν απαραίτητα την έναρξη της αντίδρασης, οπότε αυτές οι ουσίες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μέσα σε απαγωγούς. Πάντα απαιτείται καλό πλύσιμο των χεριών μετά από εργασία με τέτοιου είδους χημικές ουσίες. Το πλύσιμο των χεριών διασφαλίζει ότι αυτές δεν θα έρθουν σε επαφή με τα μάτια.

**Οι οργανικοί διαλύτες** μπορούν να εισέλθουν στο σώμα είτε με απορρόφηση μέσω του δέρματος είτε μέσω της εισπνοής, ιδιαίτερα όταν είναι πτητικοί. Συνεπώς, πέρα από τον κίνδυνο της ευφλεκτότητας που παρουσιάζουν πολλοί από αυτούς, παρουσιάζουν και κίνδυνο για την υγεία. Οι περισσότεροι οργανικοί διαλύτες, όταν έρχονται σε επαφή με το δέρμα, προκαλούν ξηρότητα και ρωγμές σε αυτό. Οι ατμοί όλων των οργανικών διαλυτών είναι τοξικοί, κάποιιοι περισσότερο από άλλους. Στα τυπικά σημάδια και συμπτώματα υπερέκθεσης στους ατμούς των οργανικών διαλυτών περιλαμβάνονται πονοκέφαλοι, ζάλη, δυσκολία στην ομιλία, αλλαγές στην αναπνοή ή τον καρδιακό ρυθμό, απώλεια των αισθήσεων και, σπάνια, θάνατος. Τα τυπικά όργανα-στόχοι, που επηρεάζονται από τους οργανικούς διαλύτες, είναι το κεντρικό νευρικό σύστημα, το ήπαρ και τα νεφρά.

Οι εργασίες με οργανικούς διαλύτες πρέπει να γίνονται πάντα μέσα σε απαγωγούς, ώστε να διατηρούνται οι ατμοί στον αναπνεύσιμο αέρα σε αποδεκτά επίπεδα. Κατά την εργασία με οργανικούς διαλύτες, πρέπει να αποφεύγεται η επαφή του δέρματος με αυτούς. Τα γάντια πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά, ώστε να προστατεύουν επαρκώς το δέρμα από την έκθεση στους συγκεκριμένους διαλύτες.

**Τα βαρέα μέταλλα** έχουν πολυάριθμες γνωστές τοξικολογικές επιδράσεις. Σε ένα ακαδημαϊκό εργαστήριο χημείας διαρροή στοιχειακού υδραργύρου μπορεί να προκληθεί από ένα σπασμένο θερμόμετρο ή μια διαρροή από ένα μανόμετρο, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της πίεσης. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι, όλο και περισσότερο, τα ακαδημαϊκά εργαστήρια αντικαθιστούν τις συσκευές που περιέχουν υδράργυρο με ασφαλέστερες εναλλακτικές λύσεις, λόγω της επικινδυνότητας του υδραργύρου.

Ο υδράργυρος είναι ένα νευροτοξικό στοιχείο, που βιοσυσσωρεύεται. Έκθεση μπορεί να προκληθεί από την απορρόφηση μέσω του δέρματος, αλλά και από την εισπνοή ατμών. Ο υδράργυρος, όταν χυθεί σε ανοιχτή επιφάνεια, ο υδράργυρος σχηματίζει σφαιρικές σταγόνες, μερικές από τις οποίες είναι πολύ μικροσκοπικές για να τις δούμε επομένως πολύ δύσκολο να τις μαζέψουμε. Ο υδράργυρος που χύθηκε πρέπει να καθαριστεί αμέσως και διεξοδικά από κατάλληλα εκπαιδευμένα άτομα, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο εξοπλισμό και μεθόδους ανίχνευσης. Ο φοιτητής οφείλει να ενημερώσει αμέσως τον υπεύθυνο του εργαστηρίου εάν σπάσει ένα θερμόμετρο υδραργύρου ή δει ένα σπασμένο θερμόμετρο. Ποτέ δεν χρησιμοποιούμε κοινή ηλεκτρική σκούπα για να μαζέψουμε σταγονίδια υδραργύρου.

**Τα ασφυξιγόνα** είναι ουσίες που έχουν την ικανότητα να στερούν το σώμα από το οξυγόνο. Ένα απλό ασφυξιγόνο (όπως το άζωτο) αντικαθιστά ή αραιώνει το οξυγόνο στον αέρα σε επίπεδο ασφυξίας. Ένα χημικό ασφυξιγόνο (όπως το μονοξείδιο του άνθρακα) είτε εμποδίζει το σώμα να χρησιμοποιήσει το οξυγόνο, που είναι διαθέσιμο στον αέρα, είτε εμποδίζει τη μεταφορά οξυγόνου στο σώμα.

## 2.3 Ευφλεκτότητα

### 2.3.1 Διαλύτες

Πολλοί οργανικοί διαλύτες παρουσιάζουν σημαντικούς κινδύνους ευφλεκτότητας. Συνήθως, στα ακαδημαϊκά εργαστήρια χρησιμοποιούνται αρκετοί εύφλεκτοι διαλύτες, όπως ακετόνη, εξάνιο, μεθανόλη, αιθανόλη και ακετονιτρίλιο.

Οι οργανικοί διαλύτες μπορούν να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: εκείνους που περιέχουν μόνο υδρογόνο και άνθρακα (υδρογονάνθρακες), εκείνους που, εκτός από υδρογόνο και άνθρακα, περιέχουν και οξυγόνο (οξυγονωμένοι διαλύτες) κι εκείνους που περιέχουν αλογόνα (αλογονωμένοι διαλύτες).

Αρκετοί αλογονωμένοι διαλύτες (π.χ. μεθυλενοχλωρίδιο, τετραχλωράνθρακας και χλωροφόρμιο) δεν είναι εύφλεκτοι, αλλά είναι αρκετά τοξικοί. Οι

υδρογονάνθρακες (π.χ., εξάνιο, τολουόλιο και ξυλόλιο) και οι οξυγονωμένοι οργανικοί διαλύτες (π.χ. μεθανόλη, διαιθυλαιθέρας και ακετόνη) είναι συνήθως πολύ εύφλεκτοι. Ωστόσο, κατά την εργασία στο χημικό εργαστήριο δεν πρέπει οι φοιτητές να βασίζονται σε γενικεύσεις σχετικά με την ευφλεκτότητα, αλλά να ελέγχουν πάντοτε την ετικέτα στο δοχείο του διαλύτη, που χρησιμοποιούν, όπου αναγράφονται πληροφορίες σχετικά με την ευφλεξιμότητα. Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, ότι οι ατμοί πολλών οργανικών διαλυτών είναι πυκνότεροι από τον αέρα και μπορούν να μεταφερθούν σε μια πηγή ανάφλεξης, οπότε χρειάζεται προσοχή και κατά τη διαρροή διαλυτών, καθώς παράγονται αόρατοι, εύφλεκτοι ατμοί, οι οποίοι, αν εκτεθούν σε μια κοντινή πηγή ανάφλεξης, μπορούν να αναφλεγούν.

Όλα τα εύφλεκτα υγρά και στερεά πρέπει να φυλάσσονται μακριά από οξειδωτικά μέσα και από πηγές ανάφλεξης, όπως συσκευές θέρμανσης που βρίσκονται στους απαγωγούς. Δεν πρέπει να αποθηκεύονται δοχεία με διαλύτες στους απαγωγούς, όπου διεξάγονται πειράματα. Οι εύφλεκτοι οργανικοί διαλύτες πρέπει να αποθηκεύονται σε θερμοκρασία δωματίου σε ειδικό θάλαμο, εκτός εάν στην ετικέτα του κατασκευαστή αναφέρονται άλλες συνθήκες αποθήκευσης.

### 2.3.2 Εύφλεκτα στερεά

Πολλά μέταλλα, που χρησιμοποιούνται συνήθως σε ακαδημαϊκά εργαστήρια, όπως ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το ασβέστιο και το αργίλιο, είναι εύφλεκτα. Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το υλικό, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος. Οι πυρκαγιές εύφλεκτων μετάλλων είναι εύκολο να ξεκινήσουν και είναι δύσκολο να σβήσουν, απαιτώντας εξειδικευμένα υλικά πυρόσβεσης. Ποτέ δεν πρέπει να απορρίπτονται λεπτά τεμάχια μετάλλων σε δοχεία απορριμμάτων μαζί με εύφλεκτα υλικά.

## 2.4 Διαβρωτικότητα

Η διάβρωση είναι η σταδιακή καταστροφή, που προκύπτει από τη επίδραση μιας χημικής ουσίας σε μέταλλο ή ζωντανό ιστό. Όλα τα ισχυρά οξέα (υδροχλωρικό οξύ, θειικό οξύ, νιτρικό οξύ κλπ.), όλες οι ισχυρές βάσεις (υδροξείδιο του νατρίου, υδροξείδιο του καλίου κλπ. ), ορισμένα ασθενή οξέα (οξικό



Σύμβολο κινδύνου για χημικά προϊόντα: Πολύ εύφλεκτο ([http://ec.europa.eu/taxation\\_customs/dds2/SAMANCTA/EL/Safety/SymbolsOfHazard\\_EL.htm](http://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/EL/Safety/SymbolsOfHazard_EL.htm))

οξύ, φορμικό οξύ, φωσφορικό οξύ κλπ.), ορισμένες ασθενείς βάσεις (υδροξείδιο του αμμωνίου) και κάποιες ελαφρώς διαλυτές βάσεις (π.χ. υδροξείδιο του ασβεστίου) είναι διαβρωτικές χημικές ουσίες. Ακόμα και μια οξεία έκθεση σε μια διαβρωτική χημική ουσία μπορεί να καταστρέψει μη αναστρέψιμα έναν ζωντανό ιστό. Τα μάτια είναι ιδιαίτερα ευάλωτα. Όσο πιο πυκνό είναι το οξύ ή η βάση και / ή όσο μεγαλύτερη χρονική διάρκεια έχει η επαφή, τόσο μεγαλύτερη είναι η καταστροφή. Ορισμένα οξέα και βάσεις προκαλούν ζημιά μέσα σε 15 δευτερόλεπτα από την επαφή. Για το λόγο αυτό, είναι πάντα απαραίτητη η χρήση των προστατευτικών γυαλιών, όταν στο εργαστήριο χρησιμοποιούνται διαβρωτικές ουσίες. Στα εργαστήρια χημείας πρέπει πάντα να υπάρχει πρόσβαση από οποιοδήποτε σημείο σε μία συσκευή πλύσης ματιών και μια ντουζιέρα ασφαλείας και μάλιστα να διασφαλίζεται ότι η πρόσβαση αυτή είναι εφικτή εντός χρονικού πλαισίου 10 δευτερολέπτων.



Το διεθνές εικονόγραμμα για τις διαβρωτικές χημικές ουσίες ([https://en.wikipedia.org/wiki/Corrosive\\_substance](https://en.wikipedia.org/wiki/Corrosive_substance))



<https://www.haws.ch/emergency-equipment/>

Οι ασκούμενοι πρέπει οπωσδήποτε να γνωρίζουν πού βρίσκονται οι συσκευές αυτές και δε θα ήταν υπερβολή να εξασκηθούν στο περπάτημα ως εκεί με κλειστά τα μάτια!!!

Τα διαβρωτικά διαλύματα, τα οποία είναι πιο πιθανό να χρησιμοποιήσει ένας φοιτητής σε διάφορες συγκεντρώσεις στα πρώτα εργαστήρια χημείας, είναι το υδροχλωρικό οξύ, το θειικό οξύ, το φωσφορικό οξύ, το οξικό οξύ, το νιτρικό οξύ, το υδροξείδιο του νατρίου και το υδροξείδιο του αμμωνίου.

### Οξέα

Κατά την αραιώση πυκνών διαλυμάτων οξέων, πρέπει πάντα να γίνεται προσθήκη με αργό ρυθμό του οξέος στο νερό, με ταυτόχρονη ανάδευση του μείγματος, επειδή η θερμότητα διάλυσης θα αυξήσει σημαντικά τη θερμοκρασία.

Για παράδειγμα, η θερμότητα διάλυσης, που εκλύεται κατά τη διάρκεια της αραιώσης του πυκνού θειικού οξέος στο νερό, είναι τέτοια που η διάλυση είναι προτιμότερο να διεξάγεται, ενώ το ποτήρι βρίσκεται σε πάγο, για να αποφευχθεί ο βρασμός και η εκτίναξη σταγονιδίων του διαλύματος.

Εκτός από τη διαβρωτικότητα, πολλά από τα κοινά εργαστηριακά οξέα έχουν και άλλα επικίνδυνα χαρακτηριστικά.

Το πυκνό θειικό οξύ είναι ένας πολύ ισχυρός παράγοντας αφυδάτωσης (ικανός να απομακρύνει το νερό) και όλα τα διαλύματά του (εκτός από πολύ αραιά) έχουν ισχυρές οξειδωτικές ιδιότητες. Το φωσφορικό οξύ είναι ένα ασθενές οξύ. Το πυκνό φωσφορικό οξύ είναι ένα ιξώδες υγρό και, όπως το θειικό οξύ, είναι ένας ισχυρός παράγοντας αφυδάτωσης.



<http://slideplayer.com/slide/10294159/>

Το νιτρικό οξύ είναι, επίσης, ένας ισχυρός οξειδωτικός παράγοντας. Γενικά, αντιδρά ταχύτερα από ό,τι το θειικό οξύ. Εάν το αραιό νιτρικό οξύ εισχωρήσει στο δέρμα και δεν αποπλυθεί εντελώς, το χρωματίζει κιτρινωπό-καφέ, καθώς προκαλεί μετουσίωση πρωτεϊνών.

Τα υδατικά διαλύματα όλων των αλογονιδίων υδρογόνου (HF, HCl, HBr και HI) είναι τοξικά, αλλά το HF είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο. Οι ατμοί αυτών των οξέων είναι σοβαρά ερεθιστικά της αναπνοής.

Είναι απίθανο κάποιος φοιτητής να συναντήσει υπερχλωρικό οξύ, πικρικό οξύ (2,4,6-τρινιτροφαινόλη (TNP)) ή υδροφθορικό οξύ (HF) στα πρώτα εργαστήρια χημείας. Όλα τα παραπάνω οξέα παρουσιάζουν πολλούς και σοβαρούς κινδύνους. Η χρήση τους στα ακαδημαϊκά ερευνητικά εργαστήρια δεν είναι τόσο συνηθισμένη, όσο ήταν κάποτε, αλλά, όταν χρησιμοποιούνται, αυτό πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Οι βλαβερές συνέπειες του ακατάλληλου χειρισμού τέτοιων αντιδραστηρίων είναι μεγάλες.

Το HF είναι τοξικό και απορροφάται πολύ γρήγορα μέσω του δέρματος, όπου διεισδύει βαθιά και καταστρέφει τους υποκείμενους ιστούς. Η επαφή με ένα αραιό διάλυμα HF είναι, συνήθως, ανώδυνη για μερικές ώρες, αλλά ακολουθούμενη από σοβαρά εγκαύματα, δυσμενείς εσωτερικές επιδράσεις (συμπεριλαμβανομένης της καταστροφής των οστών) και ανυπόφορου πόνου. Έκθεση έως το 25% του σώματος σε αυτό το οξύ μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο. Δεν θα πρέπει ποτέ να χρησιμοποιείται HF χωρίς πλήρη κατανόηση των κινδύνων, πολύ συγκεκριμένη εκπαίδευση και χρήση κατάλληλου εξοπλισμού ατομικής προστασίας, ενώ, επίσης, θα πρέπει να έχει διασφαλιστεί ότι υπάρχουν διαδικασίες αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών.

### **Βάσεις**

Οι πιο κοινές βάσεις, που χρησιμοποιούνται στα ακαδημαϊκά εργαστήρια, είναι τα υδροξείδια αλκαλιμετάλλων και τα υδατικά διαλύματα αμμωνίας. Το υδροξείδιο του νατρίου και το υδροξείδιο του καλίου είναι ισχυρές αλκαλικές βάσεις και είναι εξαιρετικά επιβλαβείς για το δέρμα και τα μάτια. Η αμμωνία, η οποία σε υδατικό διάλυμα εμφανίζεται ως υδροξείδιο του

αμμωνίου, είναι μια ασθενής βάση. Οι ατμοί των υδατικών διαλυμάτων αμμωνίας είναι ερεθιστικοί και τοξικοί. Τα υδατικά διαλύματα αμμωνίας είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για τα μάτια.

Οι ισχυρές βάσεις είναι όλες διαβρωτικές και μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά, καταστροφικά χημικά εγκαύματα και τύφλωση, αν έρθουν σε επαφή με τα μάτια. Ωστόσο, οι βάσεις έχουν κάποιες ιδιότητες, που μπορούν να δράσουν προειδοποιητικά για τον κίνδυνο: συνήθως, όταν έρθουν σε επαφή με το δέρμα, αφήνουν ένα «γλοιώδες» αίσθημα, λόγω της σαπωνοποίησης των ελαίων στο δέρμα, και, ως εκ τούτου, γνωρίζουμε τότε έχουν εκπλυθεί πλήρως, αφού μόνο τότε εξαφανίζεται αυτό το αίσθημα. Παρόλα αυτά χρειάζεται προσοχή, γιατί, αν δεν γίνει

πλήρης έκπλυση, ένα διάλυμα ισχυρής βάσης μπορεί να μην προκαλέσει πόνο έως ότου η διαβρωτική βλάβη είναι αρκετά σοβαρή.



*Χημικό έγκαυμα που προκλήθηκε από την έκθεση σε διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου μετά από 44 ώρες. [https://en.wikipedia.org/wiki/Chemical\\_burn](https://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_burn)*

## 2.5 Δραστικότητα

Όπως είναι γνωστό, οι χημικές ουσίες έχουν την ικανότητα να αντιδρούν με άλλες χημικές ουσίες και να μετατρέπονται σε νέες ουσίες. Αυτή είναι η βάση όλων των χημικών πειραμάτων. Η δραστικότητα επομένως των χημικών ουσιών δεν προκαλεί αναγκαστικά κάποιο πρόβλημα. Ωστόσο, όταν η δραστικότητα αυτή δεν μπορεί να ελεγχθεί, δημιουργούνται προβλήματα. Για να μπορεί να διαχειριστεί ο φοιτητής τη δραστικότητα, πρέπει αρχικά να μάθει να αναγνωρίζει ορισμένες ιδιότητες των χημικών ουσιών. Επιπλέον, πρέπει να γνωρίζει ότι η δραστικότητα δεν σχετίζεται πάντα με την αντίδραση μεταξύ διαφορετικών χημικών ουσιών. Ορισμένες χημικές ουσίες είναι αυτοαντιδρώσες (θερμικά ασταθείς χημικές ουσίες ή μείγματα, που ενδέχεται να υποστούν έντονη εξωθερμική διάσπαση, ακόμη και χωρίς τη συμμετοχή του οξυγόνου, πχ. αιθίνιο, εκρηκτικά ασταθή οργανικά αζίδια, R-N<sub>3</sub> κ.ά.), ενώ άλλες είναι ασταθείς και διασπώνται βίαια, αν διαταραχθούν έντονα. Η έννοια της δραστικότητας περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Ο φοιτητής πρέπει να έχει διαρκώς υπόψη του ότι ακόμη και οι μη επικίνδυνες χημικές ουσίες μπορούν να παρουσιάσουν κινδύνους, σε συγκεκριμένες συνθήκες.

### Οξειδωτικές χημικές ουσίες

Μια μεγάλη κατηγορία δραστικών χημικών ουσιών, που οι φοιτητές είναι πιθανόν να συναντήσουν, ακόμα και στα πρώτα εργαστήρια χημείας, είναι εκείνες που ταξινομούνται ως οξειδωτικά. Αυτές οι ουσίες είτε μπορούν να παρέχουν οξυγόνο σε μια αντίδραση, είτε μπορούν να αναχθούν (να προσλάβουν ηλεκτρόνια), διευκολύνοντας έτσι την οξείδωση (απώλεια ηλεκτρονίων) μιας άλλης ουσίας. Μερικά κοινά οξειδωτικά διαλύματα, που μπορεί ο φοιτητής να συναντήσει στα πρώτα του πειράματα, είναι τα νιτρικά άλατα διαφόρων μετάλλων, το υπερμαγγανικό κάλιο, το υπεροξείδιο του υδρογόνου, το θειικό οξύ και το νιτρικό οξύ. Για τις οξειδωτικές ουσίες, η σωστή αποθήκευση είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ό,τι αφορά την ασφάλεια. Πρέπει πάντα να αποθηκεύονται χωριστά από οποιαδήποτε χημική ουσία

ή υλικό, που μπορεί να οξειδωθεί. Αυτό περιλαμβάνει και τη μη αποθήκευση φιαλών σε ξύλινα ράφια ή μαζί με εύφλεκτους διαλύτες.

Πολλά δυσμενή περιστατικά, που αφορούν οξειδωτικές ουσίες, συμβαίνουν κάθε χρόνο σε ακαδημαϊκά εργαστήρια και αρκετά από αυτά αφορούν το νιτρικό οξύ. Η πλειοψηφία αυτών οφείλεται στις πολύ βίαιες αντιδράσεις, που εμφανίζονται μεταξύ νιτρικού οξέος και κοινών οργανικών ουσιών, όπως η αιθυλική αλκοόλη και η ακετόνη, με αποτέλεσμα εκρήξεις. Το νιτρικό οξύ δεν πρέπει ποτέ να αναμιγνύεται με

οργανικούς διαλύτες. Η πλειονότητα των αναφερθέντων δυσμενών περιστατικών αφορά είτε δοχεία διάθεσης αποβλήτων, που έχουν υποστεί λάθος επισήμανση, ή χρήστες, που δεν γνωρίζουν αυτόν τον κίνδυνο και αναμιγνύουν νιτρικό οξύ με οργανικούς διαλύτες στο ίδιο δοχείο αποβλήτων.



Σύμβολο κινδύνου για χημικά προϊόντα: Οξειδωτικό  
([http://ec.europa.eu/taxation\\_customs/dds2/SAMA/NCTA/EL/Safety/SymbolsOfHazard\\_EL.htm](http://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMA/NCTA/EL/Safety/SymbolsOfHazard_EL.htm)).

### **Υπεροξειδία**

Ένα υπεροξείδιο είναι μια ένωση, που περιέχει δύο άτομα οξυγόνου συνδεδεμένα με έναν απλό δεσμό (-O-O-). Ένα από τα πιο κοινά υπεροξείδια είναι το υπεροξείδιο του υδρογόνου. Στα οργανικά υπεροξείδια το ένα ή και τα δύο άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί από μια οργανική ομάδα. Όλα τα υπεροξείδια είναι δραστικά, αλλά ιδιαίτερα τα οργανικά. Είναι απίθανο να χρειαστεί να χρησιμοποιήσει ένας φοιτητής υπεροξείδια στα πρώτα του πειράματα, αλλά ενδέχεται να εργαστεί με ένα διαλύτη, που μπορεί να σχηματίσει ασταθή υπεροξείδια με την πάροδο του χρόνου, όταν εκτίθεται στον αέρα ή στο φως. Μερικοί οργανικοί διαλύτες (π.χ. αιθέρες και ορισμένοι μη αρωματικοί ακόρεστοι κυκλικοί υδρογονάνθρακες) είναι δυνατό να σχηματίσουν εκρηκτικά υδροϋπεροξείδια και υπεροξείδια. Αυτοί οι διαλύτες είναι ιδιαίτερα επικίνδυνοι, εάν εξατμιστούν μέχρι ξηρού.

Σε κάθε περίπτωση, μέχρι ο φοιτητής να μάθει ποιοι οργανικοί διαλύτες σχηματίζουν υπεροξείδια, δεν πρέπει να μετακινεί ή να ανοίγει παλιά δοχεία οργανικών διαλυτών. Όλα τα οργανικά υπεροξείδια είναι εξαιρετικά εύφλεκτα, ενώ μερικά είναι ευαίσθητα στους κραδασμούς κι εκρηκτικά. Επιπλέον, ένα υπεροξείδιο, που υπάρχει ως επιμόλυνση σ' ένα διαλύτη, μπορεί να αλλάξει την πορεία μιας προγραμματισμένης αντίδρασης. Ο φοιτητής οφείλει να ενημερώνει αμέσως τον υπεύθυνο του εργαστηρίου, εάν δει κρυστάλλους γύρω από το καπάκι του δοχείου, που περιέχει τον οργανικό διαλύτη, ή μέσα στον οργανικό διαλύτη.

### **Υπερχλωρικό οξύ**

Το υπερχλωρικό οξύ σε υψηλές θερμοκρασίες είναι ένας πολύ ισχυρός οξειδωτικός παράγοντας και μπορεί να προκληθεί έκρηξη, όταν αντιδρά με οργανικές ενώσεις και άλλους αναγωγικούς παράγοντες. Η χρήση αυτού του οξέος για την πέψη των δειγμάτων απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις κι εκπαίδευση.

## **Πικρικό οξύ**

Το πικρικό οξύ (2,4,6-τρινιτροφαινόλη, TNP) είναι ένα στερεό οξύ με χημική δομή παρόμοια με εκείνη του τρινιτροτολουολίου (TNT). Το οξύ αυτό πρέπει πάντοτε να διαβρέχεται, επειδή το ξηρό πικρικό οξύ είναι εκρηκτικό. Εάν ο φοιτητής συναντήσει ένα μπουκάλι αυτού του επικίνδυνου στερεού και δεν μπορεί να καθορίσει την κατάσταση ή την ηλικία του, πρέπει αμέσως να ζητήσει βοήθεια από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου. Αυτό δεν είναι ένα χημικό που πρέπει να χειρίζεται ένας μη εκπαιδευμένος φοιτητής.

## **Πυροφορικά υλικά**

Τα πυροφορικά υλικά είναι πολύ δραστικά αντιδραστήρια, που είναι επικίνδυνα, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, επειδή ενδέχεται να αναφλεγούν πολύ σύντομα (μέσα σε 5 λεπτά ή λιγότερο) μετά την επαφή με τον αέρα. Αυτές οι ενώσεις απαιτούν εξειδικευμένη εκπαίδευση, πριν από τη χρήση. Παραδείγματα αυτών των ενώσεων είναι οι ενώσεις οργανολιθίου (π.χ. διάλυμα τριτ-βουτυλολιθίου) και κάποιες πολύ λεπτές μεταλλικές σκόνες (π.χ. μαγνήσιο). Οι ουσίες αυτές πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο μετά από τεκμηριωμένα προηγμένα εκπαιδευση των φοιτητών και πάντα υπό την εποπτεία έμπειρου προσωπικού.

## **Χημικές ουσίες ευαίσθητες σε κραδασμούς και τριβή**

Ορισμένες γνωστές χημικές ουσίες αυτής της κατηγορίας είναι τα αζίδια των μετάλλων, τα υπερχλωρικά άλατα και τα οργανικά υπεροξειδία. Η χρήση αυτών των χημικών ουσιών στα ακαδημαϊκά εργαστήρια θα πρέπει να είναι ελεγχόμενη και να γίνεται με την εποπτεία του υπεύθυνου του εργαστηρίου.

## **2.6 Πηγές πληροφοριών για την αναγνώριση των χημικών κινδύνων**

### **2.6.1 Υπεύθυνος του εργαστηρίου**

Ο υπεύθυνος του εργαστηρίου είναι εκείνος που θα δώσει στους εκπαιδευόμενους τη σημαντική πληροφόρηση σχετικά με τη χημική ασφάλεια. Ως αρχικό σημείο επαφής στο εργαστήριο, ο υπεύθυνος του εργαστηρίου εξηγεί τους κινδύνους οι οποίοι σχετίζονται με τις χημικές ουσίες, που χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια, και δίνει στους φοιτητές τις απαραίτητες οδηγίες προφύλαξης, ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος και να αποφευχθεί η έκθεση σε επικίνδυνες χημικές ουσίες.

### **2.6.2 Παγκόσμια εναρμονισμένο σύστημα ταξινόμησης κι επισήμανσης χημικών ουσιών (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS)**

Στο παγκόσμια εναρμονισμένο σύστημα ταξινόμησης κι επισήμανσης χημικών ουσιών υπάρχουν 17 κατηγορίες φυσικών κινδύνων, 10 κατηγορίες κινδύνου για την υγεία και 2 κατηγορίες περιβαλλοντικών κινδύνων. Μέσα σε κάθε κατηγορία υπάρχουν υποκατηγορίες. Ο κίνδυνος ταξινομείται σε μια κατηγορία με βάση διάφορα κριτήρια, ειδικά για την ταξινόμηση αυτή. Σε κάθε κατηγορία έχει εκχωρηθεί ένας αριθμός ή ένα γράμμα, για παράδειγμα 1 έως 5 ή Α έως Ε. Στο GHS, όσο χαμηλότερη είναι η τιμή της κατηγορίας, στην οποία ταξινομείται μια χημική ουσία, τόσο πιο σοβαρός είναι ο κίνδυνος.


Οι κατηγορίες κινδύνων κοινοποιούνται σε όσους χρησιμοποιούν τις χημικές ουσίες μέσω εικονογραμμάτων, δηλώσεων κινδύνου, δηλώσεων προφύλαξης και λέξεων - σημάτων. Οι




κατηγορίες κινδύνων είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την εκτίμηση της επικινδυνότητας. Για παράδειγμα, το ακετονιτρίλιο ταξινομείται στο GHS ως εύφλεκτο υγρό (κατηγορία 2) με το εικονόγραμμα φλόγας και τη λέξη σήματος "Κίνδυνος". Επίσης, αυτός ο διαλύτης, αν προσληφθεί από το στόμα, αξιολογείται ως χημική ουσία οξείας τοξικότητας της κατηγορίας 4. Υπενθυμίζεται ότι στην κατηγορία 1 ή Α κατατάσσονται οι πιο σοβαροί κίνδυνοι.

**Τα εικονογράμματα** είναι εικόνες, που αντιπροσωπεύουν μια έννοια. Το GHS χρησιμοποιεί εννέα εικονογράμματα για την οπτική προειδοποίηση των χρηστών σχετικά με την τάξη κινδύνου της χημικής ουσίας. Τα εικονογράμματα GHS, μαζί με τις κατηγορίες κινδύνου που καλύπτουν, παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:


**Σύμβολο: εκρηγνύομενη βόμβα**

Εικονόγραμμα	Τάξη κινδύνου και κατηγορία κινδύνου
	<p>Τμήμα 2.1 Ασταθή εκρηκτικά Εκρηκτικά των υποδιαίρέσεων 1.1, 1.2, 1.3, 1.4</p> <p>Τμήμα 2.8 Αυτοαντιδρώντα — ουσίες και μείγματα, τύπου Α, Β</p> <p>Τμήμα 2.15 Οργανικά υπεροξειδία, τύπου Α, Β</p>


**Σύμβολο: φλόγα**

Εικονόγραμμα	Τάξη κινδύνου και κατηγορία κινδύνου
	<p>Τμήμα 2.2 Εύφλεκτα αέρια, κατηγορία κινδύνου 1</p> <p>Τμήμα 2.3 Εύφλεκτα αερολύματα, κατηγορίες κινδύνου 1, 2</p> <p>Τμήμα 2.6 Εύφλεκτα υγρά, κατηγορίες κινδύνου 1, 2, 3</p> <p>Τμήμα 2.7 Εύφλεκτα στερεά, κατηγορίες κινδύνου 1, 2</p> <p>Τμήμα 2.8 Αυτοαντιδρώντα — ουσίες και μείγματα, τύπου Β, C, D, E, F</p> <p>Τμήμα 2.9 Πυροφορικά υγρά, κατηγορία κινδύνου 1</p> <p>Τμήμα 2.10 Πυροφορικά στερεά, κατηγορία κινδύνου 1</p> <p>Τμήμα 2.11 Αυτοθερμαινόμενες ουσίες και μείγματα, κατηγορίες κινδύνου 1, 2</p> <p>Τμήμα 2.12 Ουσίες και μείγματα, τα οποία, σε επαφή με το νερό, εκλύουν εύφλεκτα αέρια, κατηγορίες κινδύνου 1, 2, 3</p> <p>Τμήμα 2.15 Οργανικά υπεροξειδία, τύπου Β, C, D, E, F</p>


**Σύμβολο: φλόγα υπεράνω κύκλου**

Εικονόγραμμα	Τάξη κινδύνου και κατηγορία κινδύνου
	Τμήμα 2.4 Οξειδωτικά αέρια, κατηγορία κινδύνου 1 Τμήμα 2.13 Οξειδωτικά υγρά, κατηγορίες κινδύνου 1, 2, 3 Τμήμα 2.14 Οξειδωτικά στερεά, κατηγορίες κινδύνου 1, 2, 3


**Σύμβολο: φιάλη αερίου**

Εικονόγραμμα	Τάξη κινδύνου και κατηγορία κινδύνου
	Τμήμα 2.5 Αέρια υπό πίεση: Πεπιεσμένα αέρια, Υγροποιημένα αέρια, Υγροποιημένα αέρια υπό ψύξη, Διαλυμένα αέρια.


**Σύμβολο: διάβρωση**

Εικονόγραμμα	Τάξη κινδύνου και κατηγορία κινδύνου
	Τμήμα 2.16 Διαβρωτικό για τα μέταλλα, κατηγορία κινδύνου 1 Τμήμα 3.2 Διάβρωση του δέρματος, κατηγορίες κινδύνου 1A, 1B, 1C Τμήμα 3.3 Σοβαρή οφθαλμική βλάβη, κατηγορία κινδύνου 1


**Σύμβολο: νεκροκεφαλή με διασταυρούμενα οστά**

Εικονόγραμμα	Τάξη κινδύνου και κατηγορία κινδύνου
	Τμήμα 3.1 Οξεία τοξικότητα (από το στόμα, διά του δέρματος, διά της εισπνοής), κατηγορίες κινδύνου 1, 2, 3


**Σύμβολο: θαυμαστικό**

Εικονόγραμμα	Τάξη κινδύνου και κατηγορία κινδύνου
	<p>Τμήμα 3.1 Οξεία τοξικότητα (από το στόμα, διά του δέρματος, διά της εισπνοής), κατηγορία κινδύνου 4</p> <p>Τμήμα 3.2 Ερεθισμός του δέρματος, κατηγορία κινδύνου 2</p> <p>Τμήμα 3.3 Ερεθισμός των οφθαλμών, κατηγορία κινδύνου 2</p> <p>Τμήμα 3.4 Ευαισθητοποίηση του δέρματος, κατηγορία κινδύνου 1</p> <p>Τμήμα 3.8 Ειδική τοξικότητα σε όργανα-στόχους (STOT) ύστερα από μία εφάπαξ έκθεση, κατηγορία κινδύνου 3 Ερεθισμός της αναπνευστικής οδού Ναρκωτική επίδραση</p>

**Σύμβολο: κίνδυνος για την υγεία**

Εικονόγραμμα	Τάξη κινδύνου και κατηγορία κινδύνου
	<p>Τμήμα 3.4 Ευαισθητοποίηση του αναπνευστικού, κατηγορία κινδύνου 1</p> <p>Τμήμα 3.5 Μεταλλαξιγένεση των γεννητικών κυττάρων, κατηγορίες κινδύνου 1A, 1B, 2</p> <p>Τμήμα 3.6 Καρκινογένεση, κατηγορίες κινδύνου 1A, 1B, 2</p> <p>Τμήμα 3.7 Τοξικότητα στην αναπαραγωγή, κατηγορίες κινδύνου 1A, 1B, 2</p> <p>Τμήμα 3.8 Ειδική τοξικότητα σε όργανα-στόχους (STOT) ύστερα από μία εφάπαξ έκθεση, κατηγορίες κινδύνου 1, 2</p> <p>Τμήμα 3.9 Ειδική τοξικότητα σε όργανα-στόχους (STOT) ύστερα από επανειλημμένη έκθεση, κατηγορίες κινδύνου 1, 2</p> <p>Τμήμα 3.10 Κίνδυνος από αναρρόφηση, κατηγορία κινδύνου 1</p>

**Σύμβολο: περιβάλλον**

Εικονόγραμμα	Τάξη κινδύνου και κατηγορία κινδύνου
	<p>Τμήμα 4.1 Επικίνδυνο για το υδάτινο περιβάλλον Οξύς κίνδυνος κατηγορίας 1 Χρόνιος κίνδυνος κατηγοριών 1, 2</p>

[http://ec.europa.eu/taxation\\_customs/dds2/SAMANCTA/EL/Safety/SymbolsOfHazard\\_EL.htm](http://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/EL/Safety/SymbolsOfHazard_EL.htm)

Ο βαθμός κάθε κινδύνου για κάθε χημική ουσία μέσα σε κάθε κατηγορία πρέπει να αξιολογείται από τον κατασκευαστή. Εάν ο βαθμός κινδύνου είναι αρκετά μεγάλος σε μια κατηγορία, τότε το εικονόγραμμα αυτό απαιτείται στην ετικέτα και στο δελτίο δεδομένων ασφαλείας (Safety Data Sheet, SDS). Δεν υπάρχει ελάχιστος ή μέγιστος αριθμός εικονογραμμάτων, που μπορεί να δικαιολογεί μια ουσία.

**Οι δηλώσεις κινδύνου** είναι σύντομες δηλώσεις, που περιγράφουν κάθε φυσικό, περιβαλλοντικό ή / και κίνδυνο για την υγεία. Υπάρχουν αρκετές δηλώσεις κινδύνου και σε κάθε μία έχει εκχωρηθεί ένας κωδικός H ως αλφαριθμητικό αναγνωριστικό.

**Οι δηλώσεις προφύλαξης** είναι σύντομες δηλώσεις, που υποδεικνύουν τον τρόπο χειρισμού, αποθήκευσης, πρόληψης της έκθεσης σε μια ουσία και απόρριψής της. Υπάρχουν περισσότερες δηλώσεις προφύλαξης απ' ό,τι δηλώσεις επικινδυνότητας. Σε κάθε μία από αυτές έχει εκχωρηθεί ένας κωδικός P ως αλφαριθμητικό αναγνωριστικό.

**Οι λέξεις-σήματα** παρέχουν στο χρήστη μια άμεση ένδειξη της σοβαρότητας του κινδύνου σε κάθε κατηγορία. Υπάρχουν δύο λέξεις-σήματα: "Κίνδυνος" και "Προειδοποίηση". Σε μια συγκεκριμένη τάξη κινδύνου χρησιμοποιείται η λέξη "Κίνδυνος" για τους σοβαρότερους κινδύνους, ενώ η λέξη "Προειδοποίηση" χρησιμοποιείται για τους λιγότερο σοβαρούς κινδύνους. Με τόσους κινδύνους και τόσες δηλώσεις προφύλαξης, είναι πιθανόν ο φοιτητής να αισθάνεται προβληματισμένος. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι δεν χρειάζεται να απομνημονεύσει τους κωδικούς, επειδή το κείμενο της δήλωσης κινδύνου ή της δήλωσης προφύλαξης απαιτείται σε πληροφορίες, που συνοδεύουν ένα επικίνδυνο χημικό προϊόν. Ωστόσο, αν συμβεί να δείτε έναν κώδικα H ή έναν κώδικα P από μόνο του κάπου, υπάρχει ένας γρήγορος τρόπος για να προσδιορίσετε τουλάχιστον τη βασική ταξινόμηση που αντιπροσωπεύεται. Όλοι οι κωδικοί κινδύνου αρχίζουν με το γράμμα H, ακολουθούμενο από τρία ψηφία. Το πρώτο ψηφίο μετά το H δηλώνει εάν ο κίνδυνος είναι φυσικός κίνδυνος (2), κίνδυνος για την υγεία (3) ή για το περιβάλλον (4). Μπορεί, επίσης, ο φοιτητής να μάθει να αναγνωρίζει τις υποκατηγορίες σε μια κατηγορία. Για παράδειγμα, οι κωδικοί 220 έως 230 υποδεικνύουν κάποιο είδος κινδύνου ευφλεκτότητας. Όλες οι δηλώσεις προφύλαξης αρχίζουν με το γράμμα P, ακολουθούμενο από τρία ψηφία. Εδώ, το πρώτο ψηφίο μετά το P δείχνει κάτι γενικό (1), για πρόληψη (2), για απόκριση (3), για αποθήκευση (4) ή για απόρριψη (5).

### **2.6.3 Ετικέτες, που τοποθετούνται από τον κατασκευαστή στα δοχεία, που περιέχουν χημικές ουσίες**

Το τελευταίο πράγμα, που βρίσκεται ανάμεσα στην αναγνώριση του κινδύνου και το άτομο που χρησιμοποιεί μια χημική ουσία, είναι ακριβώς στην άκρη των δακτύλων του: πρόκειται για την ετικέτα στο δοχείο, που αποθηκεύεται η χημική ουσία. Από την 1η Ιουνίου 2015, οι επικίνδυνες

χημικές ουσίες πρέπει να διαθέτουν ειδικά στοιχεία ετικέτας, που απαιτούνται από συγκεκριμένο πρότυπο. Πρόκειται για τα ακόλουθα στοιχεία που βασίζονται στα στοιχεία του GHS και πρέπει να υπάρχουν στην ετικέτα του κατασκευαστή:

- **Ο αναγνωριστικός κωδικός προϊόντος.** Αυτό είναι τυπικά το όνομα της Διεθνούς Ένωσης Καθαρής και Εφαρμοσμένης Χημείας (IUPAC), αλλά μπορεί να δοθεί και η εμπορική ονομασία ή η κοινή ονομασία για τη χημική ουσία. Σχεδόν πάντα συμπεριλαμβάνεται και ο αριθμός μητρώου (CAS). Ο αναγνωριστικός κωδικός στην ετικέτα πρέπει να ταιριάζει ακριβώς με εκείνον στο δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS).
- **Πληροφορίες που αφορούν τον προμηθευτή.** Περιλαμβάνουν το όνομα, τη διεύθυνση και τον αριθμό τηλεφώνου του κατασκευαστή, του εισαγωγέα ή του υπεύθυνου προσώπου.
- **Μία λέξη - σήμα,** εάν απαιτείται, όπως καθορίζεται από το επίπεδο κινδύνου σε κάθε κατηγορία. Στην ετικέτα με τη λέξη – σήμα αντιπροσωπεύεται το μεγαλύτερο επίπεδο κινδύνου, ακόμη και αν μια χημική ουσία έχει πολλαπλούς κινδύνους, που δικαιολογούν μια άλλη λέξη - σήμα.
- **Κάθε δήλωση κινδύνου, ως κείμενο.** Αυτό απαιτείται στην ετικέτα, εκτός και αν υπάρχει νομοθεσία, που ορίζει κάτι διαφορετικό.
- **Όλα τα εικονογράμματα,** όπως καθορίζονται από το επίπεδο κάθε υπάρχοντος κινδύνου.
- **Κάθε δήλωση προφύλαξης,** ως κείμενο.

Η ετικέτα μπορεί, επίσης, να περιλαμβάνει συμπληρωματικές πληροφορίες κινδύνου, όπως αυτές καθορίζονται από τον κατασκευαστή.

#### 2.6.4 Δελτία δεδομένων ασφαλείας, ΔΔΑ (Safety Data Sheets, SDSs)

Ως επικίνδυνη χημική ουσία ορίζεται "κάθε χημική ουσία, που χαρακτηρίζεται ως φυσικός κίνδυνος ή κίνδυνος για την υγεία, ως ασφυξιογόνος, ως καύσιμη σκόνη, ως πυροφορικό αέριο ή ως κίνδυνος, που δεν ταξινομείται με άλλο τρόπο".

Το Δελτίο Δεδομένων Ασφαλείας για μια επικίνδυνη χημική ουσία είναι ένα έγγραφο, το οποίο περιγράφει τους κινδύνους, που παρουσιάζει αυτή η χημική ουσία, και τις προφυλάξεις, που πρέπει να λαμβάνονται για να αποφεύγονται τυχόν βλάβες κατά τη χρήση της. Ο Οργανισμός για την ασφάλεια και την υγεία στην εργασία (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) απαιτεί από τους εργοδότες να διατηρούν στο χώρο εργασίας ένα δελτίο δεδομένων ασφαλείας για κάθε επικίνδυνη χημική ουσία, διαθέσιμο σε κάθε υπάλληλο που το ζητά. Ο φοιτητής, μπορεί επίσης να ζητήσει το ΔΔΑ για μια χημική ουσία. Επιπλέον, είναι πολύ εύκολη και η απευθείας αναζήτηση και εύρεση ΔΔΑ στο Διαδίκτυο.

Κάθε ΔΔΑ χωρίζεται σε 16 τμήματα. Η σειρά των πληροφοριών, που παρουσιάζονται σε αυτό, είναι υποχρεωτική με κανονισμό, επομένως οι παρεχόμενες πληροφορίες είναι σχετικά ομοιόμορφες και

δεν διαφέρουν μεταξύ των κατασκευαστών. Διεθνώς τα ΔΔΑ πρέπει να είναι γραμμένα και στα αγγλικά, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση πρέπει να παρέχονται σε μια επίσημη γλώσσα των κρατών μελών, όπου η ουσία ή το μείγμα τοποθετείται στην αγορά. Μια περίληψη των 16 τμημάτων, που πρέπει να περιέχονται σε ένα δελτίο δεδομένων ασφαλείας, είναι η παρακάτω:

Τμήμα	Σύντομη περιγραφή κάθε τμήματος
1.	Ταυτοποίηση της χημικής ένωσης
2.	Ταυτοποίηση του/των κινδύνου/ων
3.	Σύσταση / Πληροφορίες για τα συστατικά
4.	Μέτρα Πρώτων Βοηθειών
5.	Μέτρα πυρόσβεσης
6.	Μέτρα για την αντιμετώπιση τυχαίας έκλυσης
7.	Χειρισμός και αποθήκευση
8.	Έλεγχος της έκθεσης/ατομική προστασία
9.	Φυσικές και χημικές ιδιότητες
10.	Σταθερότητα και δραστικότητα
11.	Τοξικολογικές πληροφορίες
12.	Οικολογικές πληροφορίες
13.	Οδηγίες σχετικά με τη διάθεση
14.	Πληροφορίες σχετικά με τη μεταφορά
15.	Πληροφορίες σχετικά με τις κανονιστικές διατάξεις
16.	Άλλες πληροφορίες

Στα ΔΔΕ περιλαμβάνονται, εφόσον είναι γνωστές, οι κατευθυντήριες οδηγίες για την έκθεση στις χημικές ουσίες. Οι οδηγίες αυτές βασίζονται σε πληροφορίες σχετικά με τους κινδύνους για την υγεία, στα νομοθετημένα ή προτεινόμενα όρια έκθεσης, που ορίζονται από διάφορες υπηρεσίες ή από μελέτες σε ζώα. Οι τιμές PEL, TLV, STEL και C (που εξηγούνται παρακάτω) αφορούν τους ρύπους του αέρα. Κατά την αξιολόγηση των αριθμητικών τιμών, αυτές δεν πρέπει να εκλαμβάνονται ως κάποια μαγική γραμμή, που χωρίζει μια "ασφαλή" έκθεση από μια "μη ασφαλή" έκθεση. Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνεται δείγμα αέρα, για να προσδιοριστούν αυτές οι τιμές στον αναπνεύσιμο αέρα, και, για τις περισσότερες χημικές ουσίες, αυτό δεν αποτελεί μια μέτρηση ρουτίνας. Συχνά, σε ένα ΔΔΑ, στην ενότητα τοξικολογικά

στοιχεία, υπάρχει η δήλωση: "Δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα". Αυτό δεν ισοδυναμεί με τη φράση "ασφαλής χημική ουσία". Απλώς σημαίνει ότι η ουσία δεν έχει αξιολογηθεί σε σχέση με την τιμή αυτή.

**Η θανατηφόρος δόση** αναφέρεται στη μέτρηση της ανεπιθύμητης επίδρασης σε πληθυσμό συγκεκριμένου ζωικού είδους, στον οποίο γίνεται η δοκιμή. Η θανατηφόρος δόση, 50% (**LD<sub>50</sub>**), είναι η υπολογιζόμενη μοναδική δόση (χιλιοστόγραμμα της ουσίας ανά χιλιόγραμμο σωματικής μάζας), που αναμένεται να οδηγήσει σε θάνατο του 50% του πληθυσμού, στον οποίο γίνεται η δοκιμή, όταν χορηγείται από οποιαδήποτε οδό εισόδου στον οργανισμό, πλην της εισπνοής. Για την εισπνοή, η θανατηφόρος δόση είναι η θανατηφόρος συγκέντρωση, 50% (**LC<sub>50</sub>**), δηλαδή η συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας στον αναπνεύσιμο αέρα, που υπολογίζεται ότι έχει ως αποτέλεσμα το θάνατο του 50% του εξεταζόμενου πληθυσμού, που εκτίθεται σε αυτή για συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

**Τα επιτρεπτά όρια έκθεσης (Permissible exposure limits, PELs)** καθορίζονται από τον Οργανισμό για την ασφάλεια και την υγεία στην εργασία και θεωρούνται ως η μέγιστη συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας, που μπορεί να εισπνευστεί κατά τη διάρκεια της εργασίας του από έναν ενήλικα εργαζόμενο για 8 ώρες την ημέρα, 40 ώρες την εβδομάδα, χωρίς να του προκαλέσει βλάβη. Τα όρια αυτά είναι νομοθετημένα.

**Οι οριακές τιμές κατωφλίου (Threshold limit values, TLV)** καθορίζονται από την Αμερικανική Συνδιάσκεψη Κυβερνητικών Βιομηχανικών Υγιεινολόγων (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH). Οι οριακές τιμές κατωφλίου αποτελούν προαιρετικά συνιστώμενα όρια και μπορεί να διαφέρουν από τα επιτρεπτά όρια έκθεσης. Ωστόσο, οι περισσότερες αρχές διαπιστώνουν ότι οι TLVs είναι πιο αξιόπιστες, σε ό,τι αφορά την ατομική προστασία, απ' ό,τι τα PEL επειδή αναθεωρούνται ετησίως, ενώ ο κατάλογος των PEL σπάνια αναθεωρείται.

**Το όριο βραχυπρόθεσμης έκθεσης (Short-Term Exposure Limit STEL)** είναι η συγκέντρωση σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή σε χιλιοστόγραμμα ανά κυβικό μέτρο (mg / m<sup>3</sup>), η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από μια σύντομη περίοδο (συνήθως 15 λεπτά) κατά τη διάρκεια των 8 ωρών της ημερήσιας εργασίας.

**Όρια οροφής - τιμές C (Ceiling limits, C values)** αποδίδονται σε ορισμένες χημικές ουσίες, που παρουσιάζουν πολύ σοβαρούς κινδύνους για την υγεία. Το όριο οροφής είναι μια τιμή, που δεν πρέπει να ξεπεραστεί ποτέ, σε καμία στιγμή, ανεξάρτητα από τη διάρκεια έκθεσης.

## Συμπεράσματα

### Σ' ένα εργαστήριο χημείας ο νέος φοιτητής θα πρέπει:

- Να συνειδητοποιήσει ότι, όταν εργάζεται με χημικές ουσίες, είναι πάντα συνετό να αποτρέψει ή να ελαχιστοποιήσει την έκθεσή του σε αυτές. Αυτό γίνεται με την κατανόηση των επικίνδυνων ιδιοτήτων των χημικών ουσιών, με τις οποίες εργάζεται, τηρώντας τις καθιερωμένες βέλτιστες πρακτικές, διαβάζοντας τις προφυλάξεις ασφαλείας, που περιγράφονται στις πειραματικές διαδικασίες που ακολουθεί, και φορώντας τον κατάλληλο εξοπλισμό ατομικής προστασίας. Η χρήση των διαλυτών γίνεται πάντα στους απαγωγούς, ώστε να εμποδιστεί η εισπνοή τους, η οποία είναι η πιο κοινή οδός εισόδου των τοξικών ουσιών στο σώμα.
- Να συνειδητοποιήσει ότι υπάρχουν περιορισμοί στις γνώσεις του σχετικά με τους χημικούς κινδύνους, ότι βρίσκεται στο στάδιο της εκμάθησης και ότι δεν έχει πλήρη εικόνα του ποια είναι τα θέματα που αγνοεί. Για να προστατέψει τον εαυτό του και τους άλλους, πρέπει να ρωτά τον υπεύθυνο του εργαστηρίου για οτιδήποτε δεν είναι σίγουρος και να διαβάζει όλες τις πληροφορίες, που του δίνονται, ώστε να μπορεί να αρχίσει να μαθαίνει να αναγνωρίζει τους κινδύνους, που σχετίζονται με τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιεί.
- Να σκέφτεται τις χημικές ουσίες ως χρήσιμα εργαλεία για τους επιστήμονες και για όλη την κοινωνία. Στην πραγματικότητα, τα χημικά προϊόντα σώζουν ζωές και βελτιώνουν την ποιότητα ζωής για εκατομμύρια ανθρώπους κάθε μέρα. Χρειαζόμαστε και χρησιμοποιούμε χημικές ουσίες σε πολλές καθημερινές δραστηριότητες και μπορούμε και πρέπει να μάθουμε να ελαχιστοποιούμε την επικινδυνότητα των χημικών κινδύνων, να διατηρούμε την ασφάλειά μας και την ασφάλεια των άλλων.





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Safety in Academic Chemistry Laboratories, 8th edition, Best practices for first- and second-year university students, American Chemical Society, Copyright © 2017, ISBN 978-0-8412-3732-2  
<https://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/chemicalsafety/publications/safety-in-academic-chemistry-laboratories-students.pdf>
2. Βασικές αρχές αναλυτικής Χημείας, Δ. Γ. Θεμελής, Εκδ. Ζήτη, 4<sup>η</sup> έκδοση 2015, ISBN 978-960-456-444-6
3. Γενική και Ανόργανη Χημεία, Αρχές και Εργαστηριακές Ασκήσεις, Μ. Λάλια – Καντούρη, Σ. Παπαστεφάνου, Εκδ. Ζήτη, 2012, ISBN 978-960-456-335-7
4. Βασικές αρχές υγιεινής και ασφάλειας σε χημικά και βιοχημικά εργαστήρια , Πληροφορίες για επικίνδυνες χημικές ουσίες, Αθ. Βαλαβανίδης, 3<sup>η</sup> έκδοση, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2006
5. Οδηγός ασφάλειας και υγείας για εργαστήρια χημείας, Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας του Υπουργείου Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων σε συνεργασία με το Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κύπρου, Λευκωσία Δεκέμβριος 2011, 3<sup>η</sup> έκδοση, [http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/30B3659087FD1EF7C2257E0D004A32B7/\\$file/TEE\\_Chemistry\\_lab\\_guide.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/30B3659087FD1EF7C2257E0D004A32B7/$file/TEE_Chemistry_lab_guide.pdf)
6. Επιλογή - χρήση προστατευτικών γαντιών για έκθεση σε χημικές ουσίες, Υπουργείο Εργασίας, Κοινωνικής Ασφάλισης και Πρόνοιας, Γενική Διεύθυνση Συνθηκών και Υγιεινής της Εργασίας, Κέντρο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΚΥΑΕ), Ε. Νυφούδη, Γ. Καλπούζος, Ηλεκτρονική έκδοση, ΑΘΗΝΑ 2014, [www.ypakp.gr/uploads/files/9477.pdf](http://www.ypakp.gr/uploads/files/9477.pdf)
7. Handbook of Laboratory Health and Safety, R. Scott Stricoff, D.B. Walters, John Wiley & Sons, Inc., 1995
8. <https://osha.europa.eu/el/healthy-workplaces-campaigns>
9. Ταξινόμηση και επισήμανση επικίνδυνων χημικών ουσιών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, <http://users.uoi.gr/deapi/index.files/Page1730.htm>
10. Κανονισμός 1272/2008 - CLP. Κριτήρια ταξινόμησης - Κίνδυνοι από φυσικούς παράγοντες, Εκπαίδευση νέων χημικών REACH-CLP, Αθήνα 14,15,16/10/2013, ΓΧΚ. Ελένη Φούφα, Δ/ση Περιβάλλοντος, Γενικό Χημείο Κράτους. <http://www.gcsf.gr/media/Environment/WORKSHOPEEX/CLASSIFICATIONPHYSICALHAZARDSFOUFA.pdf>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

**Πίνακας 1.** Εικονογράμματα που υποδηλώνουν τα διαφορετικά επίπεδα προστασίας, που παρέχουν τα γάντια

<p><b>Εικονογράμμα «δοχείο ζέσης» (EN 374)</b></p> 	<p>Δηλώνει την προστασία έναντι της διείσδυσης (penetration) μιας ουσίας (μέσω ραφών κλπ.) σύμφωνα με το πρότυπο EN 374-2. Ο δείκτης προστασίας πρέπει να είναι τουλάχιστον της τάξης 1. Στην περίπτωση της διείσδυσης ο μέγιστος βαθμός προστασίας είναι το 3. Το γάντι αυτό ενδείκνυται για προστασία από χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς. Πρόκειται για ένα αεροστεγές και αδιάβροχο γάντι, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιορισμένο χρόνο.</p>																																							
<p><b>Εικονογράμμα «φιάλη» (EN 374)</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>XYZ</b></p>	<p>Δηλώνει την προστασία έναντι χημικών κινδύνων σύμφωνα με το EN 374, EN 374-3 για προστασία έναντι της διάχυσης (permeation). Το γάντι προστασίας, που φέρει το εικονίδιο της φιάλης, δηλώνει ότι έχει ελεγχθεί σε τρεις τουλάχιστον από τις χημικές ουσίες του πίνακα που ακολουθεί και παρουσιάζει προστασία, τουλάχιστον της τάξης 2, και για τις τρεις αυτές ουσίες.</p> <p>Τα γράμματα A,B,...L του παρακάτω πίνακα αποτελούν μέρος του εικονογράμματος (XYZ) και αναγράφουν τις ουσίες για τις οποίες έχει ελεγχθεί το συγκεκριμένο προϊόν.</p> <p>Σύμφωνα με το πρότυπο EN 374-1: 2003:</p> <table border="1" data-bbox="746 1294 1485 2020"> <thead> <tr> <th>Γράμμα κώδικα</th> <th>Κατηγοριοποίηση ουσιών</th> <th>Παράδειγμα</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Πρωτοταγής αλκοόλη</td> <td>Μεθανόλη</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Κετόνη</td> <td>Ακετόνη</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Νιτρίλιο</td> <td>Ακετονιτρίλιο</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Χλωριωμένες παραφίνες</td> <td>Διχλωρομεθάνιο</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Θειούχες οργανικές ουσίες</td> <td>Διθειάνθρακας</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Αρωματικοί υδρογονάνθρακες</td> <td>Τολουόλιο</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Αμίνες</td> <td>Διαιθυλαμίνη</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>Ετεροκυκλικές και αιθερικές ενώσεις</td> <td>Τετραϋδροφουράνιο</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>Εστέρες</td> <td>Οξείκος αιθυλεστέρας</td> </tr> <tr> <td>J</td> <td>Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες</td> <td>n- επτάνιο</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>Ανόργανες βάσεις</td> <td>Υδροξείδιο του Νατρίου 40%</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>Ανόργανα οξέα</td> <td>Θειικό οξύ 96%</td> </tr> </tbody> </table>	Γράμμα κώδικα	Κατηγοριοποίηση ουσιών	Παράδειγμα	A	Πρωτοταγής αλκοόλη	Μεθανόλη	B	Κετόνη	Ακετόνη	C	Νιτρίλιο	Ακετονιτρίλιο	D	Χλωριωμένες παραφίνες	Διχλωρομεθάνιο	E	Θειούχες οργανικές ουσίες	Διθειάνθρακας	F	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	Τολουόλιο	G	Αμίνες	Διαιθυλαμίνη	H	Ετεροκυκλικές και αιθερικές ενώσεις	Τετραϋδροφουράνιο	I	Εστέρες	Οξείκος αιθυλεστέρας	J	Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	n- επτάνιο	K	Ανόργανες βάσεις	Υδροξείδιο του Νατρίου 40%	L	Ανόργανα οξέα	Θειικό οξύ 96%
Γράμμα κώδικα	Κατηγοριοποίηση ουσιών	Παράδειγμα																																						
A	Πρωτοταγής αλκοόλη	Μεθανόλη																																						
B	Κετόνη	Ακετόνη																																						
C	Νιτρίλιο	Ακετονιτρίλιο																																						
D	Χλωριωμένες παραφίνες	Διχλωρομεθάνιο																																						
E	Θειούχες οργανικές ουσίες	Διθειάνθρακας																																						
F	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	Τολουόλιο																																						
G	Αμίνες	Διαιθυλαμίνη																																						
H	Ετεροκυκλικές και αιθερικές ενώσεις	Τετραϋδροφουράνιο																																						
I	Εστέρες	Οξείκος αιθυλεστέρας																																						
J	Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	n- επτάνιο																																						
K	Ανόργανες βάσεις	Υδροξείδιο του Νατρίου 40%																																						
L	Ανόργανα οξέα	Θειικό οξύ 96%																																						

**Πίνακας 2.** Τύποι γαντιών για χρήση με διάφορους διαλύτες

<b>Διαλύτης</b>	<b>Υλικό κατασκευής (Τύπος γαντιών)</b>
Acetone (ακετόνη)	Butyl rubber; Polyethylene
Benzene (βενζόλιο)	PVA; Viton; (Polyurethane; Butyl/Neoprene)
Ethanol (αιθανόλη)	Butyl rubber; Nitrile rubber; Neoprene; Natural rubber; Viton
Gasoline (βενζίνη)	PVA; Nitrile
Hexane (εξάνιο)	Viton; Neoprene; PVA; Nitrile
Isopropanol (ισοπροπανόλη)	Natural rubber; Neoprene; Nitrile rubber; PVC
Mesitylene (μεσιτυλένιο)	PVA; Viton
Methyl cellosolve (2-μεθοξυαιθανόλη)	Butyl rubber; PVA;
Methyl ethyl ketone (MEK, μεθυλο-αιθυλο-κετόνη)	Butyl rubber; (PVA; Viton; Polyethylene)
Methyl isobutyl ketone (ΜΙΚ, μεθυλο-ισοβουτυλο-κετόνη)	PVA
Naphtha (νάφθα)	Polyurethane; Nitrile rubber
Toluene (τολουόλιο)	PVA; Viton; (Butyl rubber)
Toluene diisocyanate (TDI, διισοκυανικό τολουόλιο)	PVA;
1,1,1-Trichloroethane (1,1,1-Τριχλωροαιθάνιο)	Viton; (Natural rubber; Butyl rubber; Polyethylene)
Trichloroethylene (τριχλωροαιθυλένιο)	Viton; (Natural rubber; Butyl rubber; Polyethylene)
Turpentine (τερεβινθέλαιο, νέφτι)	PVA; Nitrile rubber
Xylene (ξυλόλιο)	PVA; Nitrile rubber

Τα υλικά, που αναγράφονται εντός παρενθέσεων, παρέχουν περιορισμένη προστασία.

**Πίνακας 3.** Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υλικών κατασκευής γαντιών

Γάντια από:	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
PE/PE Laminates (πολυστρωματικό γάντι)	-Συνολικά άριστη αντίσταση στις χημικές ουσίες.	-Μειωμένη μηχανική αντοχή. -Δεν ενδείκνυται για εργασίες που απαιτούν λεπτομέρεια, ακρίβεια κλπ. -Περιορισμένη απτική ικανότητα.
PVA (Polyvinyl alcohol, πολυβίνυλοαλκοόλη))	-Υψηλή αντίσταση σε αλειφατικούς, αρωματικούς, χλωριωμένους διαλύτες, εστέρες και τις περισσότερες κετόνες. -Αντοχή σε διάσχιση, διάτρηση, τριβή και κόψιμο.	-Διαλυτά στο νερό: Αποσυντίθενται εάν εκτεθούν σε υδατικά διαλύματα.
Βουτυλίου	-Παρέχει αντίσταση έναντι αλδεϋδών, κετονών, εστέρων και συμπυκνωμένων ανόργανων οξέων. -Άριστο για εργασίες που απαιτούν λεπτομέρεια, ακρίβεια, επιδεξιότητα και ευκαμψία.	- <b>Σχετικά χαμηλή αντίσταση σε ανόργανα διαλύματα.</b> -Υψηλή τιμή.
Viton	-Παρέχει αντίσταση ενάντια σε αλειφατικούς, χλωριωμένους και αρωματικούς υδρογονάνθρακες και πυκνά ανόργανα οξέα.	-Πολύ υψηλή τιμή.
Νιτριλίου	-Παρέχει άριστη αντίσταση στη διάτρηση, την τριβή και τη διάσχιση. - Προστατεύει από βάσεις, έλαια, πολλούς διαλύτες, γράσα και ζωικά λίπη. -Προσφέρει άριστη απτική ικανότητα στο χρήστη είτε είναι υγρό είτε στεγνό.	- <b>Θα πρέπει να αποφεύγονται για κετόνες και αρωματικούς ή χλωριωμένους διαλύτες (ξυλόλιο, τολουόλιο, χλωρίδιο του μεθυλενίου, τριχλωροεθυλένιο).</b> -Προσφέρει περιορισμένη απτική ικανότητα σε λερωμένα με γράσα αντικείμενα.
Νεοπρένιο ή χλωροπρένιο	-Αντίσταση σε πολλά έλαια, οξέα, καυστικά και διαλύτες (φαινόλη, αιθυλενογλυκόλη, ανιλίνη). - Προσφέρει άριστη ευκινησία και ευκαμψία, ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες.	-Μειωμένη αντίσταση σε διάσχιση, διάτρηση, τριβή και κοψίματα. - <b>Δεν συνιστάται για οργανικούς διαλύτες.</b>
PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο) ή βινύλιο	-Καλή αντοχή σε πολλά οξέα, βάσεις και αλκοόλες. -Άριστη αντοχή στην τριβή.	- <b>Δεν συνιστάται για κετόνες και πολλούς διαλύτες.</b> -Μειωμένη αντίσταση σε διάτρηση και διάσχιση. -Σημαντική επίδραση του ψύχους στη μηχανική αντοχή τους.
Φυσικό καουτσούκ	-Καλή αντοχή σε πολλά οξέα. -Πολύ εύκαμπτα.	-Μπορεί να προκαλέσουν αλλεργικές αντιδράσεις. - <b>Να μην χρησιμοποιούνται με λιπαντικά, έλαια ή οργανικές χημικές ουσίες όπως οργανικής βάσεως διαλύτες.</b>

Πίνακας 4. Συμβατότητα γαντιών – διαλυτών.

Αναγνώριση της χημικής ουσίας	PE	PVA	Βουτυλίου	Βιτόν	Νιτριλίου	Νεοπρενίου	PVC	Φυσικού καουτσούκ λάτεξ
Αλκοόλες	Ισχύει	Δεν συστήνεται	Ισχύει	Ισχύει	Ισχύει	Ανάμικτα	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται
Εθανόλη								
N- Βουτανόλη								
Ισοπροπανόλη								
Αιθέρες	Ισχύει	Ισχύει	Δεν συστήνεται	Ανάμικτα	Ανάμικτα	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται
Διαβυλεθέρας								
Εστέρες	Ισχύει	Ισχύει	Ανάμικτα	Ισχύει	Ανάμικτα	Ανάμικτα	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται
Οξικός αιθυλεστέρας								
Οξικός ισοπροπυλεστέρας								
Οξικός Βουτυλεστέρας								
Κετόνες	Ισχύει	Ανάμικτα	Ισχύει	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται
Ακετόνη								
Μέθυλ αιθυλ κετόνη								
Μέθυλ ισοβουτυλο κετόνη								
Γλυκολικοί εθέρες	Ισχύει	Ανάμικτα	Ισχύει	Ανάμικτα	Ανάμικτα	Ανάμικτα	Ισχύει	Ισχύει
1-Μέθοξυ-2- Προπανόλη								
Βουτυλο γλυκόλη								
Γλυκολικοί εθερικοί εστέρες	Ισχύει	Ανάμικτα	Ισχύει	Ανάμικτα	Ισχύει	Ανάμικτα	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται
Οξική βουτυλογλυκόλη								
οξική 1-Μέθοξυ-1-προπυλογλυκόλη								
Αρωματικοί	Ισχύει	Ισχύει	Δεν συστήνεται	Ισχύει	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται
Ευλόλιο								
Τολουόλιο								
Αλειφατικοί	Ισχύει	Ισχύει	Δεν συστήνεται	Ισχύει	Ισχύει	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται
Ελαφρά κλάσματα (όπως Εξάνιο)								
Αποαρωματισμένοι υδρογονάνθρακες								
White spirit								
Παραφινικοί	Ισχύει	Ισχύει	Δεν συστήνεται	Ισχύει	Ισχύει	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται	Δεν συστήνεται
N- Παραφίνες								
Ισοπαραφίνες								

< 10	10	30	60	120	240	> 480
Δεν συστήνεται	Προστασία από πιτσιλισμα		Μεσαία		Καλή προστασία	

Χρόνος Διέλευσης σε λεπτά

# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

## 1<sup>η</sup> Άσκηση ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ



Ι. Πούλιος  
Ι. Ζιώγας  
Θ. Στεργιόπουλος  
Ε. Μανώλη  
Α. Κούρας

Εργαστήριο Φυσικοχημείας, Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ 2017

## Διαλύματα – Παρασκευή Διαλυμάτων

**Ως διάλυμα** ορίζεται το ομογενές μίγμα δύο ή περισσότερων χημικών ουσιών, που έχει την ίδια χημική σύσταση και τις ίδιες ιδιότητες σε όλη τη μάζα του. Χαρακτηριστικό των ομογενών μιγμάτων είναι ότι δεν μπορούμε να διακρίνουμε τα συστατικά τους. Ως **διαλύτης** χαρακτηρίζεται εκείνο το συστατικό του διαλύματος, που έχει την ίδια φυσική κατάσταση με αυτό και βρίσκεται, συνήθως, σε περίσσεια. Τα υπόλοιπα συστατικά του διαλύματος ονομάζονται **διαλυμένες ουσίες**. Αν σε ένα διάλυμα γνωρίζουμε το είδος του διαλύτη και των διαλυμένων ουσιών, τότε το επόμενο βήμα είναι να προσδιορίσουμε και την ποσότητα της διαλυμένης ουσίας, που περιέχεται σε ορισμένη ποσότητα διαλύματος (ή σπανιότερα σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη), δηλαδή, την **περιεκτικότητα** (ή **συγκέντρωση**) του διαλύματος. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι περισσότερο συνηθισμένες εκφράσεις της περιεκτικότητας – συγκέντρωσης των διαλυμάτων.

Έκφραση της περιεκτικότητας	Συμβολισμός	Ορισμός	
<b>Φ Υ Σ Ι Κ Ε Σ Μ Ο Ν Α Δ Ε Σ</b>			
Στα εκατό κατά βάρος	% w/w	Γραμμάρια. (g) διαλυμένης ουσίας (δ.ο.) σε 100 g δ/τος	
Στα εκατό κατ' όγκο	% v/v	mL διαλυμένης ουσίας σε 100 mL δ/τος	
Στα εκατό βάρος προς όγκο	% w/v	g διαλυμένης ουσίας σε 100 mL δ/τος	
Μέρη στο εκατομμύριο	ppm	μέρη βάρους δ.ο. σε 1.000.000 μέρη βάρους (ή όγκου αν $d=1 \text{ g/mL}$ ) δ/τος	
Μέρη στο δισεκατομμύριο	ppb	μέρη βάρους δ.ο. σε 1.000.000.000 μέρη βάρους (ή όγκου αν $d=1 \text{ g/mL}$ ) δ/τος	
<b>Χ Η Μ Ι Κ Ε Σ Μ Ο Ν Α Δ Ε Σ</b>			
Μοριακότητα κατ' όγκο (molarity)	M (mol/L)	Γραμμομόρια (moles) δ.ο. σε 1 L δ/τος	<i>Γραμμομόριο (mole) μιας ουσίας είναι ποσότητα αυτής σε g, αριθμητικά ίση με το μοριακό της βάρος.</i>
Μοριακότητα κατά βάρος (molality)	m	Γραμμομόρια (moles) δ.ο. σε 1000 g διαλύτη	
Κανονικότητα (Normality)	N (geq/L)	Γραμμοϊσοδύναμα (geq) δ.ο. σε 1 L δ/τος	
Γραμμομοριακό ή μοριακό κλάσμα	$N_x$	Ο αριθμός moles του συστατικού προς το συνολικό αριθμό moles όλων των συστατικών του δ/τος	
			<i>Αντίθετα από το γραμμομόριο (που είναι πάντοτε ίδιο για μια ουσία), το γραμμοϊσοδύναμο μπορεί να έχει περισσότερες τιμές για την ίδια ουσία.</i>

Κάποιες μαθηματικές σχέσεις, που χρησιμοποιούνται συνήθως για υπολογισμούς, μοριακών ή κανονικών συγκεντρώσεων διαλυμάτων, δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Μαθηματικός τύπος	Επεξηγήσεις συμβόλων	Εφαρμογές
$N = n \cdot M$	N: κανονικότητα M: μοριακότητα n: αριθμός που δείχνει πόσα γραμμοίσοδύναμα αποτελούν το mole της ένωσης	Μετατροπή των εκφράσεων της μοριακότητας σε κανονικότητα και αντίστροφα. π.χ. 1 M H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> αντιστοιχεί σε N= 1*3=3, διότι 1 mol = 3 geq H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$	M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> : αρχική και τελική συγκέντρωση (Μοριακότητα) V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> : αρχικός και τελικός όγκος αραιώσης	<b>Ο τύπος της αραιώσης διαλυμάτων.</b> π.χ. αν 5 mL (V <sub>1</sub> ) ενός διαλύματος NaOH 2 M (M <sub>1</sub> ) αραιωθούν σε τελικό όγκο 250 mL (V <sub>2</sub> ), τότε το αραιωμένο διάλυμα που θα προκύψει θα έχει συγκέντρωση M <sub>2</sub> = 5*2/250 = 0,04 M.
$M = \frac{g \cdot 1000}{MW \cdot V}$	M: μοριακότητα g: βάρος ένωσης σε g MW: μοριακό βάρος της ένωσης V: τελικός όγκος του διαλύματος (mL)	Σχέση που εφαρμόζεται όταν θέλουμε να υπολογίσουμε τη μοριακότητα ενός διαλύματος, εάν g γραμμάρια μιας ένωσης με μοριακό βάρος MW διαλύονται μέχρι τελικού όγκου V mL. Π.χ. όταν 2 g NaCl (MW 58,45) διαλυθούν σε 100 mL νερού, το διάλυμα που θα προκύψει θα έχει μοριακότητα M = 2*1000/58,45*100 = 0,342 M.
$g = \frac{M \cdot MW \cdot V}{1000}$	Όπως και στο προηγούμενο	Σχέση που προκύπτει από την προηγούμενη κι εφαρμόζεται όταν θέλουμε να υπολογίσουμε το βάρος g (σε γραμμάρια) μιας ένωσης με μοριακό βάρος MW, που θα πρέπει να διαλυθεί μέχρι τελικού όγκου V mL, για να παρασκευαστεί διάλυμα συγκέντρωσης M. Π.χ. για να παρασκευαστούν 500 mL διαλύματος 0,1 M NaCl (MW 58,45), θα πρέπει να διαλυθούν g=0,1*58,45*500/1000 = 2,9225 g NaCl.
$d = \frac{m}{V}$	d: πυκνότητα M: μάζα V: όγκος	Υπολογισμός του όγκου, που καταλαμβάνει ένα διάλυμα μάζας m και πυκνότητας d και αντίστροφα.

**Αρχή της άσκησης.** Δύο είναι οι πιο συνηθισμένοι τρόποι παρασκευής διαλυμάτων, που εφαρμόζονται σε ένα εργαστήριο χημείας:

- 1) Ζύγιση της πρότυπης χημικής ουσίας (στερεής ή υγρής) και στη συνέχεια διάλυσή της με ορισμένη ποσότητα διαλύτη (συνήθως απιονισμένου νερού) μέσα σε ογκομετρική φιάλη προκαθορισμένου όγκου.
- 2) Αραίωση ενός πυκνού διαλύματος γνωστής συγκέντρωσης με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό, σε ογκομετρική φιάλη προκαθορισμένου όγκου. Στην περίπτωση αυτή, για τους υπολογισμούς, εφαρμόζεται η μαθηματική σχέση της α-ραίωσης. Η σχέση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι ο αριθμός των moles της χημικής ουσίας παραμένει ίδιος πριν και μετά την αραίωση.

Στο πειραματικό μέρος περιγράφονται 2 ασκήσεις παρασκευής διαλυμάτων εφαρμόζοντας τους παραπάνω τρόπους, λαμβάνοντας υπόψη δηλαδή τις διαφορετικές μορφές των αρχικών ενώσεων (σε μορφή στερεής πρότυπης ουσίας ή σε μορφή πυκνού διαλύματος).



## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

**Πείραμα 1<sup>ο</sup>: Παρασκευή 250 mL δ/τος 0,02 M CH<sub>3</sub>COONa με διάλυση στερεής ουσίας CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O.**

Σκεύη: Ογκομετρική φιάλη των 250 mL, ξηραντήρας, ποτήρι ζέσεως των 50 mL ή φιαλίδιο ζύγισης, γυάλινο χωνί.

Αντιδραστήρια: CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O (ένυδρο οξικό νάτριο), απιονισμένο νερό.

Αρχικά, με τη βοήθεια του περιοδικού πίνακα, υπολογίζεται το μοριακό βάρος (MW) του CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O. Κατόπιν, σύμφωνα με τον ορισμό της μοριακότητας των διαλυμάτων, υπολογίζεται η απαιτούμενη μάζα (βάρος) CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O, που πρέπει να ζυγισθεί, ώστε, όταν διαλυθεί με κατάλληλο όγκο νερού, να παρασκευαστεί διάλυμα 250 mL συγκέντρωσης 0,02 M. Για τον υπολογισμό μπορεί να εφαρμοστεί ο κατάλληλος μαθηματικός τύπος του παραπάνω πίνακα. Επειδή το CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O είναι υγροσκοπική ένωση, διατηρείται μέσα σε φιαλίδιο ζύγισης στον ξηραντήρα.

Αφού ζυγιστεί η υπολογισθείσα ποσότητα, μεταφέρεται ποσοτικά με γυάλινο χωνί στην ογκομετρική φιάλη, ξεπλένοντας με μικρές ποσότητες απιονισμένου νερού το φιαλίδιο ζύγισης και το χωνί. Τα εκπλύματα μεταφέρονται και αυτά στη φιάλη. Διαλύεται η ποσότητα του CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O με περίπου 200 mL νερού, αναδεύοντας τη φιάλη με οριζόντιες κυκλικές κινήσεις. Κατόπιν το περιεχόμενο της φιάλης αραιώνεται μέχρι τη χαραγή με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια αναδεύεται και πάλι η φιάλη, ώστε να ομογενοποιηθεί το διάλυμα, και τέλος αναγράφεται στη φιάλη το είδος της διαλυμένης ουσίας και η συγκέντρωσή της.

**Πείραμα 2<sup>ο</sup>: Παρασκευή 100 mL δ/τος 0,005 M CH<sub>3</sub>COONa με αραιώση διαλύματος 0,02 M CH<sub>3</sub>COONa**

Σκεύη: Ογκομετρική φιάλη των 100 mL, σιφώνια πλήρώσεως των 5, 10, 25 mL, πουάρ αναρρόφησης.

Αντιδραστήρια: CH<sub>3</sub>COONa 0,02 M, απιονισμένο νερό.

Αρχικά υπολογίζεται ο όγκος του πυκνού αντιδραστηρίου, που απαιτείται να αραιωθεί, εφαρμόζοντας το μαθηματικό τύπο της αραιώσης. Στη συνέχεια, ο υπολογισθείς όγκος διαλύματος αναρροφάται με κατάλληλο σιφώνιο και πουάρ και μεταφέρεται στην ογκομετρική φιάλη των 100 mL. Αραιώνεται το περιεχόμενο με απιονισμένο νερό, μέχρι τη

χαραγή της φιάλης, αναδεύεται η φιάλη αρκετές φορές, για να ομογενοποιηθεί το περιεχόμενό της, και τέλος αναγράφεται στη φιάλη το είδος της διαλυμένης ουσίας και η συγκέντρωσή της.

### Ερωτήσεις - Προβλήματα:

Από τους υπολογισμούς των πειραμάτων να συμπληρωθούν οι παρακάτω πίνακες:

#### Πείραμα 1°

Μοριακό Βάρος $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (g/mol)	
Συγκέντρωση (moles/L, M) τελικού δ/τος	
Όγκος τελικού δ/τος (mL)	
Μάζα $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ προς ζύγιση (g)	

#### Πείραμα 2°

Συγκέντρωση (moles/L, M) αρχικού δ/τος $\text{CH}_3\text{COONa}$	
Συγκέντρωση (moles/L, M) τελικού δ/τος $\text{CH}_3\text{COONa}$	
Όγκος τελικού δ/τος $\text{CH}_3\text{COONa}$ (mL)	
Απαιτούμενος όγκος (για αραιώση) $\text{CH}_3\text{COONa}$ (mL)	

# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

## 2<sup>η</sup> Άσκηση ΑΓΩΓΙΜΟΜΕΤΡΙΑ



The image displays laboratory equipment and the chemical structure of Sodium Dodecyl Sulfate (SDS). On the left is a vertical burette. In the center is a digital conductivity meter with a probe. To the right is a beaker containing a blue liquid on a magnetic stirrer. Below these is the chemical structure of SDS, showing a long hydrophobic tail and a hydrophilic head. The text 'NaC<sub>12</sub>H<sub>25</sub>SO<sub>4</sub> = Sodium dodecyl sulfate' and 'S D S' are also present.

NaC<sub>12</sub>H<sub>25</sub>SO<sub>4</sub> = Sodium dodecyl sulfate  
**S D S**

Hydrophobic Tail

Hydrophilic Head

Ι. Πούλιος  
Ι. Ζιώγας  
Θ. Στεργιόπουλος  
Ε. Μανώλη  
Α. Κούρας

Εργαστήριο Φυσικοχημείας, Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ 2017

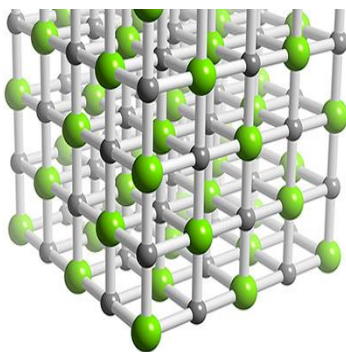
## ΑΓΩΓΙΜΟΜΕΤΡΙΑ

### Θεωρητικό Μέρος

#### Ηλεκτρολύτες – Ηλεκτρολυτική διάσταση

**Ηλεκτρολύτης ή ηλεκτρολυτική ουσία** είναι κάθε ουσία της οποίας τα μόρια σε διάλυμα ή τήγμα της μπορούν να διασπαστούν και να δώσουν φορτισμένα σωματίδια που λέγονται **ιόντα**. Τα ιόντα αν είναι φορτισμένα θετικά λέγονται **κατιόντα** και αν είναι φορτισμένα αρνητικά λέγονται **ανιόντα**. Στα διαλύματα ή τα τήγματα αυτών των ηλεκτρολυτών, το φορτίο (ρεύμα) μεταφέρεται (άγεται) από τα ιόντα, και γι' αυτό αυτά ονομάζονται και **ηλεκτρολυτικοί αγωγοί ή αγωγοί δεύτερου είδους**, σε αντιδιαστολή με τους **ηλεκτρονιακούς αγωγούς ή αγωγούς πρώτου είδους** (τους γνωστούς μας μεταλλικούς αγωγούς) στους οποίους το ρεύμα μεταφέρεται από τα ηλεκτρόνια.

Οι περισσότεροι ηλεκτρολύτες είναι στερεά κρυσταλλικά σώματα (άλατα, στερεά ορυκτά οξέα κ.ά.), τα ιόντα των οποίων αποτελούν δομικά στοιχεία του πλέγματος τους και προϋπάρχουν σ' αυτό. Αυτοί οι ηλεκτρολύτες ονομάζονται **γνήσιοι ηλεκτρολύτες** και εμφανίζουν αγωγιμότητα τόσο στη στερεή, όσο και στην υγρή τους κατάσταση.



**Σχήμα 1:** Κρύσταλλος NaCl

Όταν τα ιόντα δεν προϋπάρχουν στο μόριο, αλλά δημιουργούνται κατά το σχηματισμό του ηλεκτρολυτικού διαλύματος, ως αποτέλεσμα κάποιας χημικής δράσης, ονομάζονται **δυναμικοί ή εν δυνάμει ηλεκτρολύτες** (π.χ. ανόργανα και οργανικά οξέα, βάσεις κ.ά.).

Η φυσικοχημική διεργασία της δημιουργίας ελεύθερων ιόντων από έναν ηλεκτρολύτη (γνήσιο ή δυναμικό) ονομάζεται **ηλεκτρολυτική διάσταση**. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους:

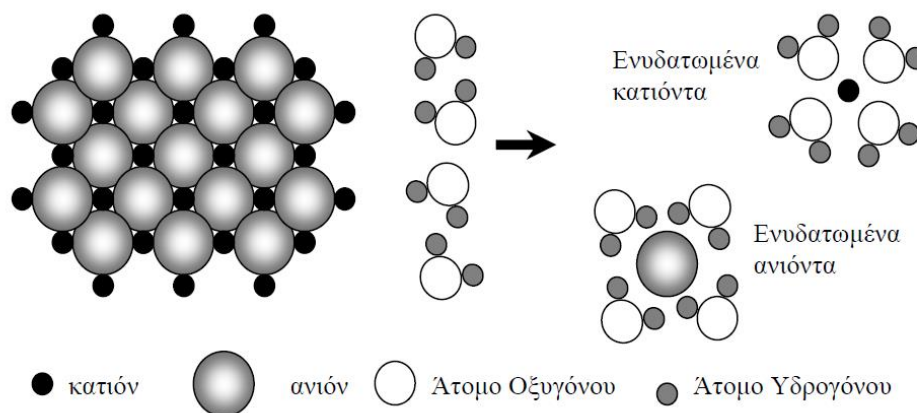
**1. Με τήξη γνήσιων ηλεκτρολυτών**, κατά την οποία λόγω αύξησης της θερμικής κίνησης των ιόντων, που καταλαμβάνουν καθορισμένες θέσεις στο κρυσταλλικό πλέγμα,

υπερνικούνται οι ελκτικές πλεγματικές δυνάμεις και επέρχεται απελευθέρωσή τους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρολυτικών τηγμάτων.

**2. Με διάλυση γνήσιων ή δυναμικών ηλεκτρολυτών**, μέσα σε διαλύτες μεγάλης διηλεκτρικής σταθεράς (πολικούς διαλύτες όπως το νερό, το διμεθυλοφορμαμίδιο κ.ά.) και δημιουργία των ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων.

Ο μηχανισμός δημιουργίας των ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων διαφοροποιείται στους γνήσιους και στους δυναμικούς ηλεκτρολύτες.

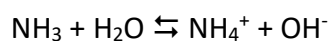
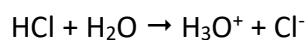
A. Στους γνήσιους ηλεκτρολύτες τα μόρια του πολικού διαλύτη παρεμβάλλονται ανάμεσα στα ιόντα του πλέγματος, με αποτέλεσμα οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ τους να ελαττώνονται και αυτά να απομακρύνονται το ένα από το άλλο, τόσο στο πλέγμα, αλλά στη συνέχεια και στο διάλυμα. Μόρια του διαλύτη συγκρατούνται με ηλεκτροστατικές δυνάμεις πάνω στα ιόντα. Το φαινόμενο αυτό λέγεται επιδιαλύτωση και, αν ο διαλύτης είναι το νερό, εφυδάτωση. Η ηλεκτρολυτική διάσταση είναι πλήρης.



Κρύσταλλος γνήσιου ηλεκτρολύτη Μόριο νερού

**Σχήμα 2:** Διάλυση και επιδιαλύτωση ενός γνήσιου ηλεκτρολύτη (NaCl).

B. Στους δυναμικούς ηλεκτρολύτες η διάσταση οφείλεται σε χημική αντίδραση των αδιάστατων μορίων τους με μόρια του διαλύτη. Η ηλεκτρολυτική διάσταση μπορεί να είναι πλήρης ή μερική. Αν είναι πλήρης αναφερόμαστε σε **ισχυρούς** ηλεκτρολύτες (πχ HCl), ενώ αν είναι μερική σε **ασθενείς** (πχ NH<sub>3</sub>).



Στα διαλύματα τόσο των ασθενών όσο και των ισχυρών ηλεκτρολυτών ισχύει η αρχή της ηλεκτροουδετερότητας, δηλαδή το συνολικό φορτίο είναι μηδέν.

## ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΩΝ

Σύμφωνα με το νόμο του Ohm, η ένταση του ρεύματος  $i$  που διαρρέει έναν αγωγό είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης διαφοράς δυναμικού  $V$  και αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης  $R$ :

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Όταν η ένταση δίνεται σε Amperes, η διαφορά δυναμικού  $V$  δίνεται σε Volts και η αντίσταση σε Ohm ( $\Omega$ ). Το αντίστροφο της αντίστασης:

$$L = \frac{1}{R} \quad (2)$$

ονομάζεται **αγωγιμότητα ( $L$ )** και μετριέται σε αντίστροφα Ohm. Οι μονάδες της αγωγιμότητας γράφονται με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

$\text{Ohm}^{-1}$ ,  $\Omega^{-1}$  ή S (Siemens).

Η αντίσταση, που παρουσιάζει ένας ομογενής αγωγός μήκους  $l$  και τομής  $A$ , είναι ίση προς

$$R = \rho \frac{l}{A}, \quad (3)$$

όπου ο συντελεστής αναλογίας  $\rho$  ονομάζεται **ειδική αντίσταση**.

**Ειδική αγωγιμότητα ( $\kappa$ )** καλείται το αντίστροφο της ειδικής αντίστασης ( $\kappa=1/\rho$ ), οπότε είναι:

$$R = \frac{1}{\kappa} * \frac{l}{A} \quad \text{ή} \quad \kappa = \frac{1}{R} * \frac{l}{A} \quad (4)$$

Ως μονάδες της ειδικής αγωγιμότητας  $\kappa$  στο I.S. χρησιμοποιούνται το  $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$  ή το  $\text{S}^{-1}\text{m}^{-1}$ , αλλά, ειδικά στην αγωγιμομετρία, επειδή το  $\rho$  μετριέται σε  $\text{ohm}\cdot\text{cm}$ , το  $\kappa$  μετριέται σε  $\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$  ή  $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  ή  $\text{S}^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των ιόντων ενός ηλεκτρολύτη, όταν η θερμοκρασία παραμένει σταθερή, αυξάνεται ή ελαττώνεται με την αύξηση ή ελάττωση αντίστοιχα του αριθμού των ιόντων. Όμως, αν ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα, που περιέχει ορισμένο αριθμό ιόντων, τοποθετηθεί μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, που απέχουν μεταξύ τους 1cm, η προσθήκη διαλύτη συνεπάγεται αύξηση της αγωγιμότητας. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στην εξασθένηση των ενδοϊονικών έλξεων με την ελάττωση της συγκέντρωσης.

Έτσι, είναι φυσικό να αναφερόμαστε σε γραμμομοριακό μέγεθος αγωγιμότητας, όπως είναι η **γραμμομοριακή ή μοριακή αγωγιμότητα**.

Γραμμομοριακή ή μοριακή αγωγιμότητα  $\Lambda_m$  ενός ηλεκτρολύτη είναι η αγωγιμότητα αυτού ανηγμένη σε 1 mol, δηλαδή:

$$\Lambda_m = \frac{1000\kappa}{c} \quad (5)$$

όπου C η συγκέντρωση του διαλύματος σε moles ανά lit (ή  $\text{dm}^3$ ) και  $\kappa$  η ειδική αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη. Οι μονάδες του  $\Lambda_m$  είναι  $\Omega^{-1}\text{cm}^2\text{mol}^{-1}$ .

Όσο η αραίωση του διαλύματος αυξάνει, δηλ. η συγκέντρωσή του τείνει στο μηδέν, η γραμμομοριακή αγωγιμότητα τείνει σε μια οριστική τιμή, που παριστάνεται με  $\Lambda_m^0$  ή  $\Lambda_m^A$  και ονομάζεται γραμμομοριακή αγωγιμότητα άπειρης αραίωσης.

Με τον ίδιο τρόπο ορίζεται η **ισοδύναμη αγωγιμότητα**  $\Lambda$  ενός ηλεκτρολύτη. Έτσι:

$$\Lambda = \frac{1000\kappa}{c_z} \quad (6)$$

Όπου: C η συγκέντρωση σε γραμμοϊσοδύναμα ανά λίτρο. Είναι φανερό ότι στην περίπτωση των 1:1 ηλεκτρολυτών τα  $\Lambda$  και  $\Lambda_m$  συμπίπτουν.

Η οριστική τιμή, που λαμβάνει η ισοδύναμη αγωγιμότητα σε άπειρη αραίωση, ονομάζεται **ισοδύναμη αγωγιμότητα άπειρης αραίωσης** ( $\Lambda^0$ ). Η  $\Lambda^0$  ενός ηλεκτρολυτικού διαλύματος μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά. Μπορεί όμως να προκύψει και από την άθροιση των ισοδύναμων ιονικών αγωγιμοτήτων των ιόντων του ηλεκτρολύτη με βάση την **αρχή του Kohlraush**, σύμφωνα με την οποία:

$$\Lambda^0 = \lambda_+ + \lambda_- \quad (7)$$

όπου  $\lambda_+$  = η ιονική αγωγιμότητα του κατιόντος (σε άπειρη αραίωση)

και  $\lambda_-$  = η ιονική αγωγιμότητα του ανιόντος (σε άπειρη αραίωση).

Επίσης, πρέπει να πούμε ότι, σε αναλογία με αυτά που ισχύουν για την ισοδύναμη αγωγιμότητα ενός ηλεκτρολύτη, η ισοδύναμη ιονική αγωγιμότητα,  $\lambda_i$ , ενός είδους ιόντων,  $i$ , είναι ανάλογη της ειδικής αγωγιμότητας του ιόντος και αντιστρόφως ανάλογη προς τη συγκέντρωσή του. Έχουμε δηλαδή:

$$\lambda_i = \frac{1000\kappa_i}{C_i}$$

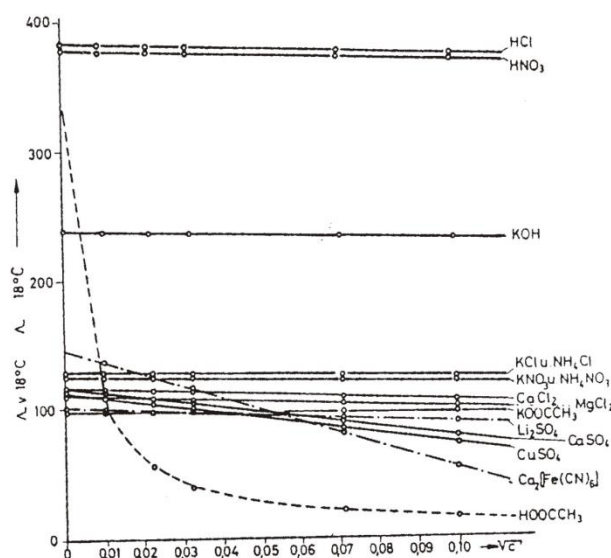
Η εξάρτηση της ισοδύναμης αγωγιμότητας από τη συγκέντρωση είναι διαφορετική στους ισχυρούς και στους ασθενείς ηλεκτρολύτες. Σε αραιά διαλύματα ισχυρών ηλεκτρολυτών, η ισοδύναμη αγωγιμότητα μεταβάλλεται γραμμικά με την τετραγωνική ρίζα της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη. Ισχύει η εμπειρική σχέση που είναι γνωστή ως **εξίσωση του Kohlrausch**:

$$\Lambda = \Lambda^0 - A\sqrt{C} \quad (8)$$

Όπου  $\Lambda$  μια σταθερά που εξαρτιέται από τον ηλεκτρολύτη, τον διαλύτη και τη θερμοκρασία.

Το Σχ. 1 δείχνει την εξάρτηση της  $\Lambda$  από την  $\sqrt{C}$  του ηλεκτρολύτη για την περίπτωση ισχυρών (KCl) και ασθενών ηλεκτρολυτών (CH<sub>3</sub>COOH).

Όπως φαίνεται από το σχήμα, η ισοδύναμη αγωγιμότητα άπειρης αραιώσης,  $\Lambda^0$ , για τους ισχυρούς ηλεκτρολύτες μπορεί να βρεθεί πειραματικά με προέκταση της ευθείας, που λαμβάνεται στις χαμηλές συγκεντρώσεις, ενώ για τους ασθενείς ηλεκτρολύτες, για τους οποίους στο αντίστοιχο διάγραμμα δεν υπάρχει γραμμικό τμήμα, δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου της προέκτασης. Για τους ασθενείς ηλεκτρολύτες η  $\Lambda^0$  μπορεί να βρεθεί υπολογιστικά, από τη σχέση 7, η οποία ισχύει και για τους ισχυρούς και για τους ασθενείς ηλεκτρολύτες, αν γνωρίζουμε τις τιμές των ιονικών αγωγιμοτήτων.



Σχ.3. Αγωγιμομετρικές καμπύλες διαφόρων ηλεκτρολυτικών υδατικών διαλυμάτων.

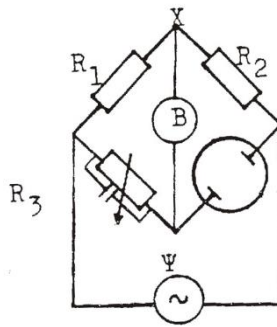
## ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Για να αποφευχθούν φαινόμενα έντονης ηλεκτρόλυσης και πόλωσης των ηλεκτροδίων η μέτρηση της αγωγιμότητας (ή της αντίστασης) ενός ηλεκτρολυτικού διαλύματος γίνεται με τη χρησιμοποίηση εναλλασσόμενου ρεύματος. Βρέθηκε ότι η καταλληλότερη περιοχή συχνοτήτων για τέτοιου είδους μετρήσεις είναι από 500 έως 3000 Hz.

Η διάταξη της γέφυρας Wheatstone, της οποίας η μορφή δίνεται στο παρακάτω σχήμα, βρέθηκε η πιο κατάλληλη για μετρήσεις αγωγιμότητας (σχ. 2).

$$\text{Η συνθήκη ισορροπίας της γέφυρας είναι: } \frac{R1}{R2} = \frac{R3}{R\chi} \quad (9)$$





Σχ. 4. Γέφυρα Wheatstone

Από τη σχέση αυτή είναι δυνατός ο υπολογισμός της άγνωστης αντίστασης  $R_x$ .

Η κυψέλη αγωγιμότητας στην απλή της μορφή αποτελείται από ένα δοχείο, μέσα στο οποίο βρίσκονται δύο ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια είναι συνήθως ελάσματα λευκοχρύσου, που έχουν καλυφθεί με μέλινα λευκόχρυσο. Το προς μέτρηση διάλυμα τοποθετείται μέσα στην κυψέλη και μετρείται η αντίσταση που παρουσιάζει.



Σχ. 5. Διάφοροι τύποι αγωγιμομετρικών κυψελών.

## Εύρεση της σταθεράς της κυψέλης αγωγιμότητας

Χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε αγωγιμομετρικής κυψέλης είναι η σταθερά της.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η αντίσταση ενός αγωγού εξαρτάται από τη γεωμετρία του, σύμφωνα με τη σχέση:  $R = \rho \frac{l}{A}$ .

Το μέγεθος  $k = \frac{l}{A}$  ονομάζεται **σταθερά της αγωγιμομετρικής κυψέλης**. Επειδή η  $k$  δεν μπορεί να υπολογιστεί άμεσα, έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφοροι μέθοδοι προσδιορισμού της. Μια από

αυτές είναι η μέθοδος των Jones και Bradshaw. Αυτοί μέτρησαν με μεγάλη ακρίβεια την ειδική αντίσταση μιας σειράς διαλυμάτων KCl. Οι τιμές αυτές δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

$\alpha/\alpha$	gr KCl/ 1000 gr H <sub>2</sub> O	$\kappa$ ( 18°C ) mho.cm <sup>-1</sup>	$\kappa$ ( 25°C ) mho.cm <sup>-1</sup>
1.	71.1352	0.097838	0.111342
2.	7.41913	0.011191	0.012856
3.	0.745263	0.00122052	0.00140877

Παρασκευάζεται έτσι ένα από τα παραπάνω διαλύματα (εκλέγοντας το καταλληλότερο για την περίπτωση) και μετριέται με τη γέφυρα αγωγιμότητας η αντίσταση που παρουσιάζει.

Από τη σχέση  $k=kR$  υπολογίζεται στη συνέχεια η σταθερά της αγωγιμομετρικής κυψέλης.

## Προσδιορισμός της ισοδύναμης αγωγιμότητας ηλεκτρολύτη

Η ισοδύναμη αγωγιμότητα ενός ηλεκτρολύτη δίνεται, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, από τη σχέση  $\Lambda = \frac{1000\kappa}{c}$

Πολλές φορές η ειδική αγωγιμότητα του νερού ή γενικότερα του διαλύτη, ( $\kappa'$ ), είναι σημαντική σε σχέση με την ειδική αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη. Αυτό συμβαίνει σε πολύ αραιά διαλύματα. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να αφαιρεθεί η ειδική αγωγιμότητα του διαλύτη,  $\kappa'$ , από την ειδική αγωγιμότητα του διαλύματος, ( $\kappa$ ), οπότε η παραπάνω σχέση παίρνει τη μορφή:

$$\Lambda = \frac{1000(\kappa - \kappa')}{c} \quad (10)$$

Μετά τον υπολογισμό της σταθεράς της κυψέλης, αυτή καθαρίζεται, ώστε να μην υπάρχουν υπολείμματα άλατος ή άλλων ουσιών, γεμίζεται με νερό ή άλλο διαλύτη και μετριέται η αντίσταση  $R'$ . Η ειδική αγωγιμότητα του διαλύτη υπολογίζεται από τη σχέση  $\kappa' = k/R'$ .

Στη συνέχεια παρασκευάζεται διάλυμα ηλεκτρολύτη με συγκέντρωση  $C=0.1N$  και από αυτό με διαδοχικές αραιώσεις λαμβάνεται μια σειρά αραιών διαλυμάτων. Κάθε ένα διάλυμα τίθεται μέσα στην κυψέλη και μετριέται η αντίστασή του,  $R$ , οπότε για κάθε διάλυμα θα έχουμε:  $\kappa = k/R$ .

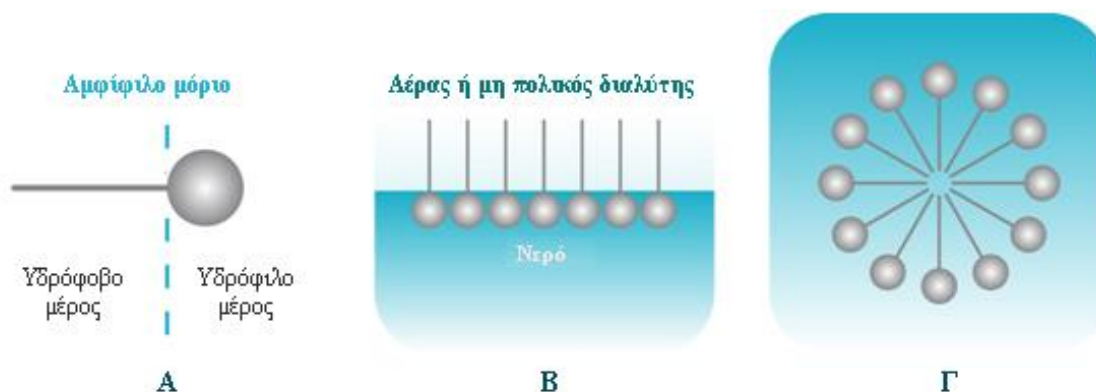
Χρησιμοποιώντας στη συνέχεια τον τύπο:  $\Lambda = \frac{1000(\kappa - \kappa')}{c}$

υπολογίζεται η ισοδύναμη αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη.

## ΤΑΣΕΝΕΡΓΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ - ΜΙΚΥΛΛΙΑ – ΚΡΙΣΙΜΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΙΚΚΥΛΙΩΝ (CMC)

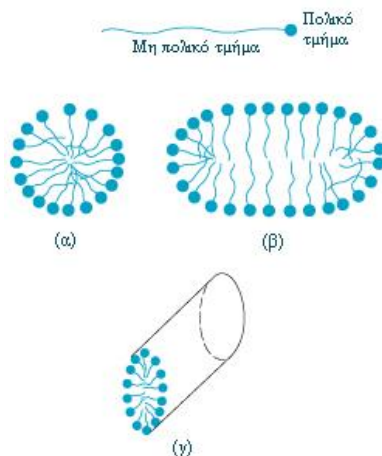
Τασενεργές λέγονται οι ενώσεις, που μειώνουν την επιφανειακή τάση ανάμεσα σε δύο μη αναμίξιμα υγρά. Είναι αμφίφιλες ενώσεις, έχουν δηλαδή ένα υδρόφιλο (-OH, -COOH, -O-SO<sub>3</sub>H) κι ένα υδρόφοβο (R: C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>) μέρος (Σχήμα 1 Α και Β). Παραδείγματα τέτοιων ουσιών είναι οι σάπωνες, τα συνθετικά απορρυπαντικά, διάφορες χρωστικές κ.ά.

Αραιά διαλύματα διαφόρων τασενεργών ουσιών συμπεριφέρονται όπως και τα διαλύματα ασθενών ηλεκτρολυτών, σε ό,τι αφορά τη μεταβολή διαφόρων ιδιοτήτων τους με τη συγκέντρωση. Σε μεγαλύτερες όμως συγκεντρώσεις, και μάλιστα πάνω από μια ορισμένη τιμή, εμφανίζουν αποκλίσεις από τη συμπεριφορά των αραιών διαλυμάτων, καθώς παρατηρούνται απότομες αλλαγές στη μεταβολή διαφόρων ιδιοτήτων τους (συμπεριλαμβανομένης και της αγωγιμότητας) με τη συγκέντρωση. Οι αποκλίσεις αυτές αποδόθηκαν από τον McBain στον αυθόρμητο σχηματισμό συσσωματωμάτων από τα ιόντα του διαλύματος. Τα νέα αυτά σωματίδια, γνωστά με τον όρο μικκύλια, έχουν κολλοειδείς διαστάσεις (10<sup>-7</sup> έως 10<sup>-5</sup> cm), βρίσκονται σε ισορροπία με τα ιόντα τους, ενώ, σε ό,τι αφορά τη δομή τους, έχουν τις υδρόφοβες υδρογονοανθρακούχες αλυσίδες τους προσανατολισμένες προς το εσωτερικό του μικκυλίου, αφήνοντας τα υδρόφιλα άκρα σε επαφή με το υδατικό μέσο (Σχήμα 6Γ).



Σχήμα 6. Τασενεργές ενώσεις - Μικκύλια

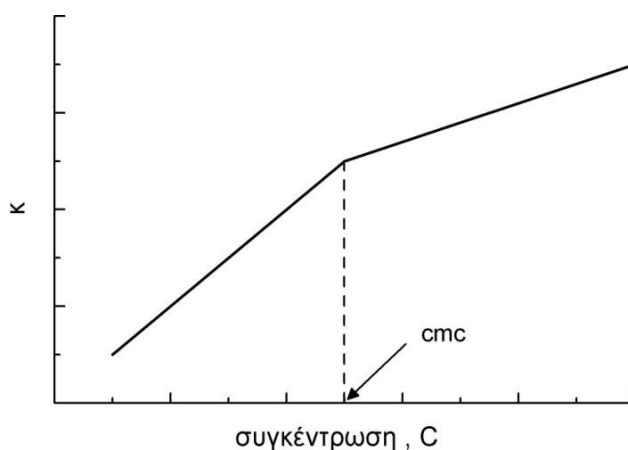
Τα μικκύλια μπορούν να έχουν διάφορες μορφές, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 7. Αμφίφιλο και διάφορες μορφές μικκυλίων: (α) σφαιρικό, (β) δίσκου, (γ) κυλινδρικό.

Η συγκέντρωση, πάνω από την οποία παρατηρείται ο σχηματισμός των μικκυλίων, ονομάζεται κρίσιμη συγκέντρωση σχηματισμού μικκυλίων, CMC (Critical Micelle Concentration).

Η CMC μιας ιονικής τασενεργής ουσίας μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί παρακολουθώντας τη μεταβολή της ειδικής αγωγιμότητάς της, με τη μεταβολή της συγκέντρωσής της. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις η ειδική αγωγιμότητα αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της συγκέντρωσης. Πάνω από την CMC η ειδική αγωγιμότητα συνεχίζει μεν να αυξάνει, αλλά πολύ λιγότερο. Έτσι, παρακολουθώντας τη μεταβολή αυτή, λαμβάνεται ένα διάγραμμα της παρακάτω μορφής (Σχήμα 3), από το οποίο είναι δυνατός ο προσδιορισμός της CMC:



Σχήμα 8. Μεταβολή της ειδικής αγωγιμότητας με τη συγκέντρωση μιας ιονικής τασενεργής ουσίας

Η αγωγιμότητα επηρεάζεται από το σχηματισμό των μικκυλίων για τους εξής λόγους:

1. Η συνολική ιξώδης επίδραση στα τασενεργά μόρια ελαττώνεται με τη συσσωμάτωση.
2. Μειώνεται ο αριθμός των ιόντων αντίθετου φορτίου, αφού αυτά κινητικά γίνονται μέρος του μικκυλίου. Επομένως, μειώνεται ο αριθμός των ιόντων αντίθετου φορτίου, που είναι διαθέσιμα για να μεταφέρουν το ρεύμα, καθώς επίσης και το καθαρό φορτίο των ιόντων.
3. Η συσσωμάτωση αυξάνει την επιβραδυντική επίδραση των ιονικών ατμοσφαιρών των ιόντων αντίθετου φορτίου, που δεν είναι προσδεδεμένα στη μετακίνηση των τασενεργών ιόντων.

Οι δύο τελευταίοι παράγοντες επικαλύπτουν τον πρώτο, που έχει την αντίθετη δράση, με αποτέλεσμα, πάνω από την CMC, η ειδική αγωγιμότητα να μεταβάλλεται με τη συγκέντρωση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Αγωγιμομετρικός προσδιορισμός της κρίσιμης συγκέντρωσης σχηματισμού μικκυλίων (CMC)

Θα προσδιοριστεί η CMC μιας ιονικής τασενεργής ένωσης, του δωδεκυλοσουλφονικού νατρίου, SDS (Sodium Dodecyl Sulfate:  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ ), από την παρακολούθηση της μεταβολής της ειδικής αγωγιμότητας, καθώς μεταβάλλεται η συγκέντρωσή της.

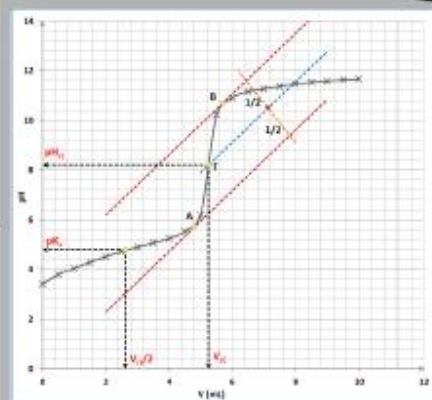
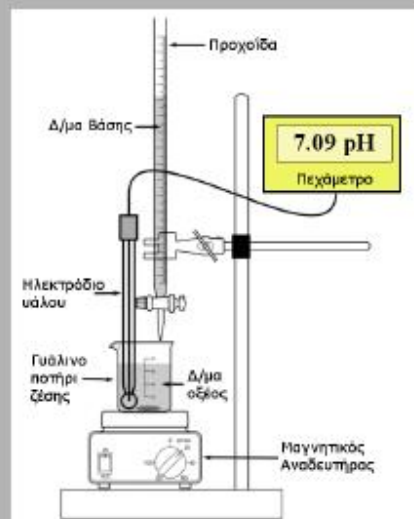
Αντιδραστήρια, που θα χρησιμοποιηθούν: Διαλύματα SDS 0,05%w/v και 2% w/v

Σε ποτήρι ζέσης των 150 mL μεταφέρονται 100 mL διαλύματος SDS 0,05%w/v. Με το αγωγιμόμετρο μετριέται η ειδική αγωγιμότητα αυτού του διαλύματος και καταγράφεται. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια προχοϊδας, προσθέτονται διαδοχικά 2,5 mL πυκνού διαλύματος SDS 2% w/v, για 10 φορές μετρώντας και καταγράφοντας μετά από κάθε προσθήκη την ειδική αγωγιμότητα. Γίνεται μία τελευταία προσθήκη 10 mL πυκνού διαλύματος SDS 2% w/v και μετριέται και καταγράφεται η ειδική αγωγιμότητα.

Από τις πειραματικές μετρήσεις σχηματίζεται διάγραμμα  $k$  vs  $C$ , από το οποίο προσδιορίζεται η CMC του SDS. Αναμένεται τιμή CMC για το SDS ίση με  $8,1 \cdot 10^{-3} \text{M}$ .

# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

## 3<sup>η</sup> Άσκηση ΠΕΧΑΜΕΤΡΙΑ



Ι. Πούλιος  
Ι. Ζιώγας  
Θ. Στεργιόπουλος  
Ε. Μανώλη  
Α. Κούρας

Εργαστήριο Φυσικοχημείας, Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ 2017

## ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της άσκησης είναι ο προσδιορισμός της σταθεράς διάστασης (ιονισμού) μονοπρωτικού ασθενούς οξέος, από μετρήσεις pH.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Γενικά

Η μέτρηση της ενεργότητας των υδρογονοκατιόντων  $H_3O^+$  ( $H^+$ ) και υδροξυλίωντων ( $OH^-$ ), που προκύπτουν από τις πρωτολυτικές δράσεις ιονισμού των οξέων και βάσεων αντίστοιχα, αποτελεί αντικείμενο της πεχαμετρίας.

Το pH ενός διαλύματος είναι ίσο με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της ενεργότητας των υδρογονοκατιόντων του. Δηλαδή:

$$pH = -\log a_{H^+} \quad (1)$$

Τα ιόντα σ' ένα υδατικό διάλυμα συμπεριφέρονται σαν να είναι λιγότερα από ό,τι στην πραγματικότητα. Έχουν δηλαδή μια συγκέντρωση μικρότερη από τη στοιχειομετρική, η οποία ονομάζεται *ενεργότητα (activity)* ή αλλιώς *δρώσα συγκέντρωση* και συμβολίζεται με  $a_i$ . Η ενεργότητα ενός ιόντος  $i$  υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό της στοιχειομετρικής του συγκέντρωσης  $C_i$  με έναν συντελεστή  $\gamma_i$ , που καλείται *συντελεστής ενεργότητας*. Δηλαδή:

$$a_i = \gamma_i \cdot C_i \quad (2)$$

Στα αραιά υδατικά διαλύματα των ασθενών ηλεκτρολυτών ο συντελεστής ενεργότητας είναι περίπου ίσος με τη μονάδα. Δεν ισχύει όμως το ίδιο στα υδατικά διαλύματα των ισχυρών ηλεκτρολυτών, λόγω διαφόρων ηλεκτροστατικών επιδράσεων ανάμεσα στα ιόντα τους. Έτσι, για παράδειγμα, ένα διάλυμα HCl 0.1M συμπεριφέρεται σαν να περιέχει μόνο 0,086M  $H^+$ . Γι'αυτό και είναι πιο σωστό να χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό του pH την ενεργότητα των υδρογονοκατιόντων, αντί για τη συγκέντρωσή τους.

Ο συντελεστής ενεργότητας  $\gamma_i$  ενός ιόντος  $i$ , που έχει φορτίο  $z_i$  και συγκέντρωση  $C_i$ , υπολογίζεται για αραιά διαλύματα ισχυρών ηλεκτρολυτών από τη σχέση:

$$\log \gamma_i = -Az_i^2\sqrt{I} \quad (3)$$

και για υψηλότερες συγκεντρώσεις από τη σχέση:

$$\log \gamma_i = \frac{-Az_i^2\sqrt{I}}{1+Bd_i\sqrt{I}} \quad (4)$$

όπου:

- ✚ A και B παράμετροι, χαρακτηριστικές του διαλύτη, που εξαρτιούνται από τη θερμοκρασία του διαλύματος,
- ✚  $d_i$  η φαινόμενη διάμετρος του ιόντος  $i$ , η οποία λαμβάνει συνήθως τιμές μεταξύ 4.0 και 4,8 Å
- ✚ και  $I$  η ιονική ισχύς του διαλύματος (ionic strength), η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n C_i z_i^2 \quad (5)$$

όπου  $i \dots n$  τα διάφορα είδη ιόντων (ανιόντα και κατιόντα).

## Ποτενσιομετρικός προσδιορισμός του pH υδατικών διαλυμάτων

Ο προσδιορισμός του pH υδατικών διαλυμάτων μπορεί, όπως θα αποδειχθεί παρακάτω, να γίνει εύκολα με τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού ενός κατάλληλου γαλβανικού στοιχείου. Ο ποτενσιομετρικός προσδιορισμός του pH υδατικών διαλυμάτων χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις, που απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια στη μέτρηση του pH.

Γαλβανικό στοιχείο ονομάζεται κάθε ηλεκτροχημικό σύστημα, που μετατρέπει την ελεύθερη ενέργεια μιας χημικής μεταβολής σε ελεύθερη ηλεκτρική ενέργεια. Τα γαλβανικά στοιχεία αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια ή ημιστοιχεία (συνήθως μεταλλικά ελάσματα βυθισμένα σε διάλυμα ιόντων τους), που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ηλεκτρολυτικού συνδέσμου (γέφυρα άλατος), ο οποίος επιτρέπει τη μετακίνηση των ιόντων των διαλυμάτων, χωρίς όμως να επιτρέπει την ανάμιξή τους.

Σε κάθε ηλεκτρόδιο εμφανίζεται μια διαφορά δυναμικού εξαιτίας της μεταφοράς ατόμων μετάλλου, από το έλασμα στο διάλυμα, και ιόντων μετάλλου, από το διάλυμα στο έλασμα.

Για τη μέτρηση του pH χρησιμοποιείται ένα γαλβανικό στοιχείο, το οποίο αποτελείται από δύο ημιστοιχεία, εκ των οποίων το δυναμικό του ενός εξαρτάται άμεσα από τη συγκέντρωση των ιόντων του υδρογόνου, ενώ το δυναμικό του δεύτερου είναι ανεξάρτητο από αυτή. Ηλεκτρόδια ευαίσθητα στη μεταβολή του pH, που χρησιμοποιούνται πολύ στην πράξη, είναι το ηλεκτρόδιο του υδρογόνου (Pt,  $H_2/H^+$ ), της υάλου, της κινυδρόνης (Pt, κινόνη ή υδροκινόνη/ $H^+$ ), ενώ πολύ διαδεδομένα ηλεκτρόδια, το δυναμικό των οποίων είναι ανεξάρτητο από τη μεταβολή του pH, είναι το ηλεκτρόδιο του καλομέλανα ( $Hg/Hg_2Cl_2, Cl^-$ ) και το ηλεκτρόδιο του αργύρου ( $Ag/AgCl, Cl^-$ ).



Το ηλεκτρόδιο της υάλου είναι το πιο διαδεδομένο ηλεκτρόδιο για τον εργαστηριακό προσδιορισμό του pH. Ανήκει στην κατηγορία των ηλεκτροδίων στερεής μεμβράνης. Αποτελείται από γυάλινο σωλήνα, ο οποίος στο κάτω άκρο έχει μία λεπτότατη γυάλινη μεμβράνη, διαπερατή μόνο από τα υδρογονοκατιόντα. Μέσα στο σωλήνα υπάρχει διάλυμα HCl γνωστής και σταθερής ενεργότητας  $\alpha_{H^+}$  και εσωτερικό ηλεκτρόδιο αναφοράς πχ. αργύρου ή καλομέλανα.

Η λειτουργία του ηλεκτροδίου της υάλου στηρίζεται στην παρατήρηση ότι μια λεπτότατη μεμβράνη από γυαλί, που χωρίζει δύο διαλύματα ιόντων υδρογόνου διαφορετικής ενεργότητας, εμφανίζει χαρακτηριστική διαφορά δυναμικού, που εξαρτιάται από το λόγο των δύο διαφορετικών ενεργοτήτων των ιόντων υδρογόνου.

Το πλήρες γαλβανικό στοιχείο, που χρησιμοποιείται για τον ποτενσιομετρικό προσδιορισμό του pH με το ηλεκτρόδιο της υάλου, δίνεται στο Σχήμα 1.:

Εσωτερικό ηλεκτρόδιο αναφοράς Ag/AgCl	Εσωτερικό διάλυμα HCl γνωστής συγκέντρωσης (0,1M)	Γυάλινη μεμβράνη	Άγνωστο διάλυμα	Εξωτερικό ηλεκτρόδιο αναφοράς (Ηλεκτρόδιο καλομέλανα)
← Ηλεκτρόδιο υάλου →				

**Σχήμα 1. Πλήρες γαλβανικό στοιχείο για τον ποτενσιομετρικό προσδιορισμό του pH με το ηλεκτρόδιο της υάλου.**

Το δυναμικό ισορροπίας (E) του γαλβανικού αυτού στοιχείου είναι:

$$E = E_{αναφ} - E_Y \quad (6)$$

όπου:  $E_{αναφ}$ : το δυναμικό του εξωτερικού ηλεκτροδίου αναφοράς και

$E_Y$ : το δυναμικό του ηλεκτροδίου της υάλου

Το δυναμικό όμως του ηλεκτροδίου της υάλου, δίνεται από τη σχέση:

$$E_Y = E_Y^0 - 2,303 \frac{RT}{F} pH \quad (7)$$

όπου:  $E_Y^0$ : το δυναμικό του ηλεκτροδίου της υάλου, όταν αυτό τοποθετηθεί σε διάλυμα με  $\alpha_{H^+}=1$ ,

R: η παγκόσμια σταθερά των αερίων ( $R=8.314 \frac{Coulomb \cdot Volt}{K \cdot mole}$ ),

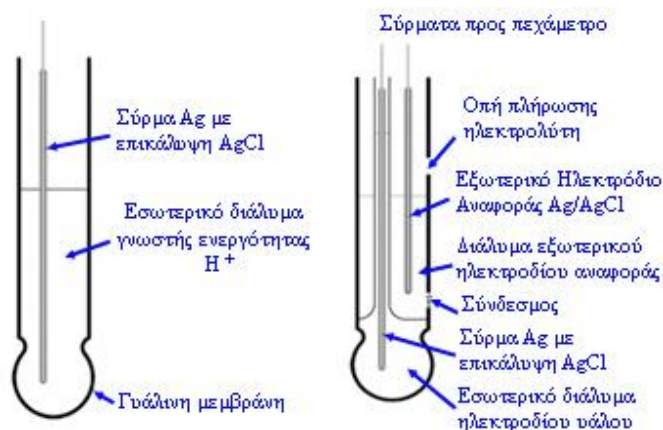
F: η σταθερά Faraday ( $F=96486.7 \frac{Coulomb}{eq}$ )

Αντικαθιστώντας το  $E_Y$  από τη σχέση (7) στη σχέση (6) και λύνοντας ως προς pH προκύπτει:

$$pH = \frac{E - (E_{αναφ} - E_Y^0)}{2,303RT} F \quad (8)$$

Από τη σχέση (8) φαίνεται ότι ο προσδιορισμός του pH μπορεί να γίνει με τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού του γαλβανικού στοιχείου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις για τη μέτρηση του pH χρησιμοποιείται το συνδυασμένο ηλεκτρόδιο υάλου, το οποίο περιέχει και το ευαίσθητο στη μεταβολή του pH ηλεκτρόδιο κι επιπλέον ηλεκτρόδιο αναφοράς, συνδυασμένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2B. Για κάποιες ειδικές περιπτώσεις εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ξεχωριστά ηλεκτρόδια, αντί του συνδυασμένου – επιτρέπουν μεγαλύτερη ακρίβεια που ορισμένες φορές απαιτείται στην έρευνα. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως τα συνδυασμένα ηλεκτρόδια είναι αρκετά ακριβή και πολύ πιο εύχρηστα.



**Σχήμα 2.** Α) Ηλεκτρόδιο υάλου Β) Συνδυασμένο ηλεκτρόδιο υάλου

Τα όργανα, που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του pH, με τη χρησιμοποίηση των ηλεκτροδίων, που προαναφέρθηκαν, ονομάζονται πεχάμετρα (Σχήμα 3).



**Σχήμα 3.** Πechάμετρο, στο οποίο χρησιμοποιείται συνδυασμένο ηλεκτρόδιο υάλου.

## Ρύθμιση πεχάμετρων

Το πεχάμετρο είναι ένα τροποποιημένο βολτόμετρο με πολύ μεγάλη εσωτερική αντίσταση, βαθμολογημένο σε μονάδες pH. Το δυναμικό της ιδανικής απόκρισης ενός ηλεκτροδίου υάλου ως προς το ηλεκτρόδιο αναφοράς, δίνεται, όπως προαναφέρθηκε, από τη σχέση (7):

$$E_Y = E_Y^0 - 2,303 \frac{RT}{F} pH \quad (7)$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι στο πεχάμετρο πρέπει να γίνονται δύο ρυθμίσεις:

Η πρώτη αφορά τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και η δεύτερη τη ρύθμιση της αντιστάθμισης του δυναμικού  $E_Y^0$ . Για τη δεύτερη ρύθμιση, τοποθετούμε το ηλεκτρόδιο της υάλου σ' ένα πρότυπο διάλυμα με γνωστό pH και ρυθμίζουμε το πεχάμετρο, έτσι ώστε να δείχνει το pH του πρότυπου διαλύματος.

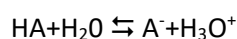
Συνήθως, το πεχάμετρο ρυθμίζεται μ' ένα πρότυπο διάλυμα κι ελέγχεται με άλλο. Ο έλεγχος με το δεύτερο πρότυπο διάλυμα επιτρέπει την εξακρίβωση της λειτουργικής κατάστασης του ηλεκτροδίου της υάλου. Μετά από κάθε μέτρηση, πρέπει να ξεπλένεται καλά με αποσταγμένο νερό, μέσα στο οποίο πρέπει και να διατηρείται.

## Πεχαμετρική τιτλοδότηση και προσδιορισμός του $pK_A$ ασθενούς μονοπρωτικού οξέος

Στη σταδιακή εξουδετέρωση ενός διαλύματος οξέος από διάλυμα βάσης, τα υδρογονοκατιόντα του οξέος αντιδρούν με τα υδροξυλιόντα της βάσης, με αποτέλεσμα να παρατηρείται συνεχής μεταβολή του pH, ώσπου να περατωθεί η εξουδετέρωση.

Στο Σχήμα 4 δίνεται μια τυπική καμπύλη πεχαμετρικής τιτλοδότησης ενός ασθενούς οξέος από μια ισχυρή βάση. Με την έναρξη της τιτλοδότησης η μεταβολή του pH με τη μεταβολή του όγκου του διαλύματος είναι μικρή, ενώ, όσο η εξουδετέρωση πλησιάζει στο τέλος της, η κλίση της καμπύλης αυξάνει, παίρνει μια μέγιστη τιμή και στη συνέχεια παρουσιάζει σημείο καμπής. Τα πειραματικά αποτελέσματα μιας πεχαμετρικής καμπύλης, όπως αυτής του Σχήματος 4, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του  $pK$  ενός ασθενούς οξέος, δηλαδή του αρνητικού δεκαδικού λογάριθμου της σταθεράς διάστασής του.

Στην περίπτωση της διάστασης ενός ασθενούς μονοπρωτικού οξέος HA έχουμε:



Η σταθερά διάστασης  $K_A$  του HA δίνεται από τη σχέση:

$$K_A = \frac{a_{H_3O^+} \cdot a_{A^-}}{a_{HA}} \quad (9)$$

οπότε:

$$\log K_A = \log \alpha_{H_3O^+} + \log \frac{a_{A^-}}{a_{HA}} \quad (10)$$

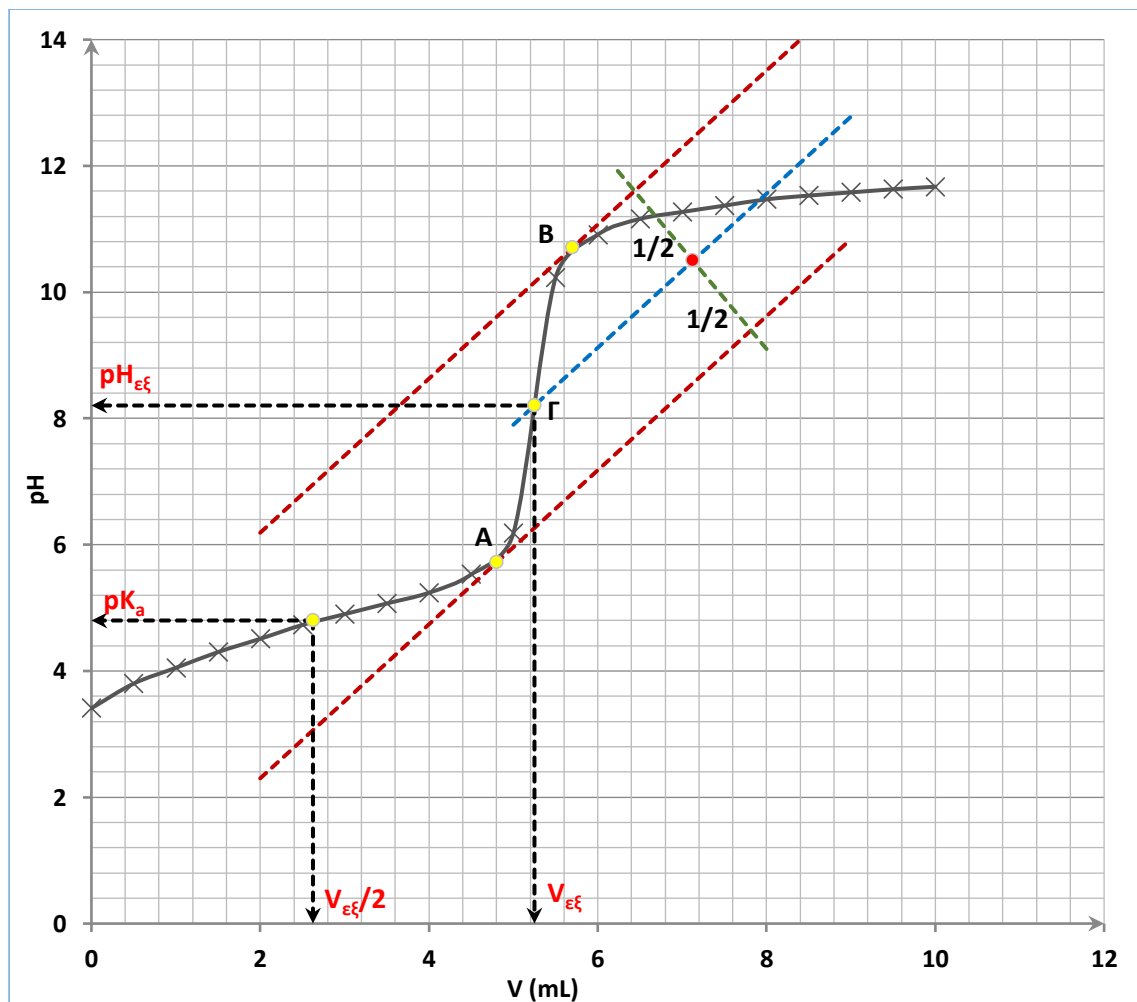
Γνωρίζοντας ότι:  $pK_A = -\log K_A$   $pH = -\log \alpha_{H_3O^+}$  και  $\alpha_i = C_i \cdot \gamma_i$

προκύπτει ότι:

$$pH = pK_A + \log \frac{C_{A^-}}{C_{HA}} + \log \frac{\gamma_{A^-}}{\gamma_{HA}} \quad (11)$$

Στη σχέση (11) pH είναι η τιμή που προκύπτει από την ανάγνωση του πεχάμετρου,  $C_{HA}$  είναι η συγκέντρωση του αδιάστατου οξέος και  $C_{A^-}$  η συγκέντρωση του ανιόντος του οξέος. Ο συντελεστής ενεργότητας του αδιάστατου οξέος  $\gamma_{HA}$ , για σχετικά μικρές συγκεντρώσεις, ισούται με τη μονάδα, ενώ ο συντελεστής ενεργότητας του ανιόντος,  $\gamma_{A^-}$  δίνεται από τη σχέση (3).

Η διόρθωση, που επιφέρει η χρήση των συντελεστών ενεργότητας, είναι σχετικά μικρή, αλλά πρέπει να χρησιμοποιείται, όταν στον προσδιορισμό της σταθεράς διάστασης ζητείται ακρίβεια μεγαλύτερη από 0,1 μονάδες pH.



Σχήμα 4. Καμπύλη πεχαμετρικής τιτλοδότησης ενός ασθενούς οξέος από μια ισχυρή βάση.

Όταν η απαιτούμενη ακρίβεια δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη, τότε η σχέση (11) γίνεται:

$$pH = pK_A + \log \frac{C_{A^-}}{C_{HA}} \quad (12)$$

Από τη σχέση (12) βλέπουμε ότι, αν  $C_{A^-} = C_{HA}$ , δηλαδή στο σημείο μισής εξουδετέρωσης του οξέος, ισχύει  $pK_A = pH$ .

Έτσι, από την καμπύλη πεχαμετρικής εξουδετέρωσης ενός ασθενούς οξέος από μια ισχυρή βάση, μπορούμε να υπολογίσουμε τη σταθερά διάστασής του, υπολογίζοντας το pH, που αντιστοιχεί στο σημείο μισής εξουδετέρωσής του. Η σχέση (12) δίνει ακριβή αποτελέσματα, κυρίως στην περιοχή pH από 4 έως 10, όταν η ολική συγκέντρωση του τιτλοδοτούμενου οξέος είναι περίπου ίση με 0,01M.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Τιτλοδότηση ασθενούς μονοπρωτικού οξέος με ισχυρή βάση – Υπολογισμός της $K_A$ του οξέος

Θα τιτλοδοτηθεί διάλυμα  $CH_3COOH$  με διάλυμα  $NaOH$  και θα υπολογιστεί η σταθερά διάστασης  $K_A$  του  $CH_3COOH$ .

Αντιδραστήρια, που θα χρησιμοποιηθούν:

- Διάλυμα 0,01M  $CH_3COOH$ ,
- Διάλυμα 0,1M  $NaOH$ .

Σε ποτήρι ζέσης των 150 mL μεταφέρονται 50 mL διαλύματος 0,01M  $CH_3COOH$ . Με τη βοήθεια του πεχαμέτρου, μετριέται το pH του διαλύματος αυτού και καταγράφεται.

Τοποθετούνται σε προχοΐδα περίπου 20 mL διαλύματος 0,1M  $NaOH$ . Στη συνέχεια, προσθέτονται διαδοχικά 0,5 mL διαλύματος 0,1M  $NaOH$ , από την προχοΐδα στο ποτήρι ζέσης, ώσπου να προστεθούν συνολικά 10 mL διαλύματος 0,1M  $NaOH$ . Το ποτήρι ζέσης βρίσκεται τοποθετημένο πάνω σε μαγνητικό αναδευτήρα, με τη βοήθεια του οποίου ομογενοποιείται το διάλυμα μετά από κάθε προσθήκη. Μετά από κάθε προσθήκη μετριέται και καταγράφεται το pH του διαλύματος που προκύπτει.

Σχηματίζεται από τα πειραματικά αποτελέσματα καμπύλη εξουδετέρωσης (Σχήμα 4), απ' όπου και προσδιορίζεται γραφικά η  $pK_{CH_3COOH}$  και από αυτή η  $K_{CH_3COOH}$ .

Ο γραφικός προσδιορισμός της  $pK_{CH_3COOH}$  γίνεται ως εξής:

- ✚ Χαράζονται δύο παράλληλες εφαπτόμενες στα σημεία καμπής της καμπύλης και η μεσοπαράλληλός τους.

✚ Το σημείο, που η μεσοπαράλληλος τέμνει την καμπύλη, αντιστοιχεί στο σημείο εξουδετέρωσης. Ο όγκος δηλαδή του NaOH, που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό ( $V_{εξ}$ ), είναι ο όγκος του καυστικού νατρίου, που απαιτείται για την πλήρη εξουδετέρωση του οξικού οξέος.

✚ Το pH, που αντιστοιχεί στο σημείο μισής εξουδετέρωσης (όταν δηλαδή  $V = \frac{1}{2}V_{εξ}$ ), θα είναι, σύμφωνα με τη σχέση (12), το  $pK_{CH_3COOH}$ .

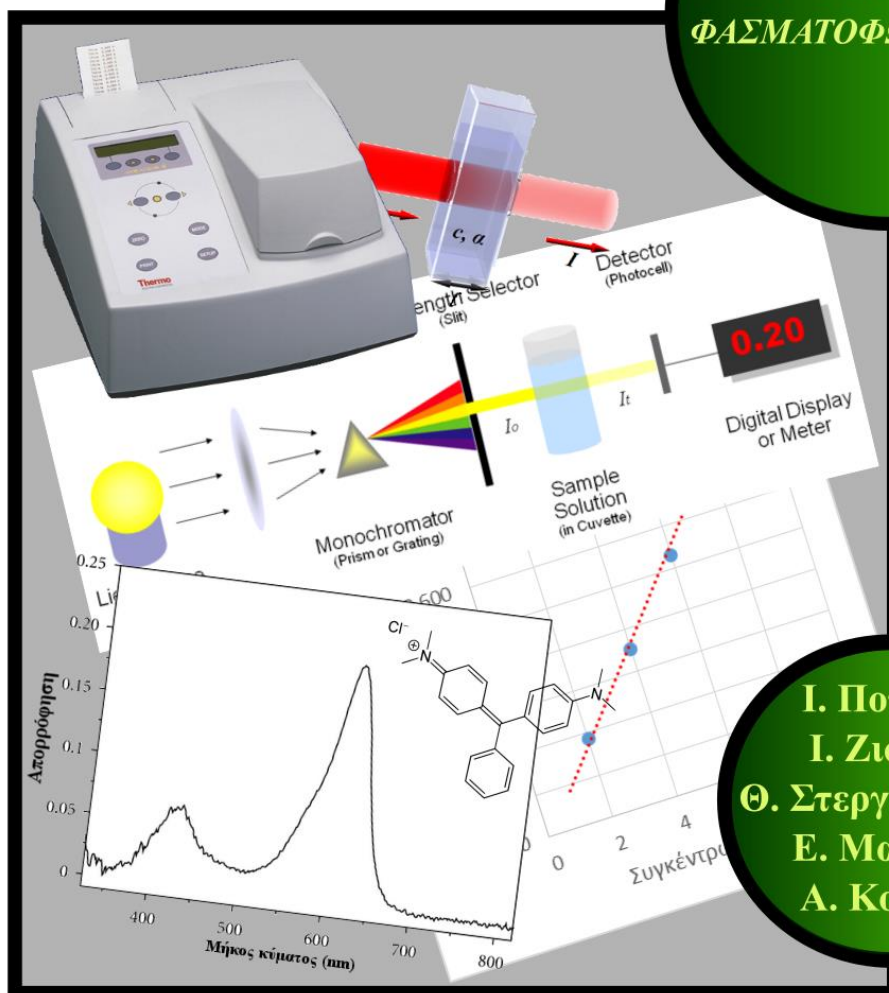
Επιπλέον, με τη βοήθεια της καμπύλης εξουδετέρωσης υπολογίζεται η ακριβής συγκέντρωση του  $CH_3COOH$ .

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Πειραματική Φυσική-Χημεία», Ι.Α. Μουμτζής, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσ/νίκη, 1994.
2. «Σημειώσεις Πειραματικής Ηλεκτροχημείας», Α. Αναστόπουλος, Ν. Παπαδόπουλος, Ι. Πούλιος, Δ. Σαζού, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2000-01.
3. «Σημειώσεις Φυσικοχημείας – για τους φοιτητές του Φαρμακευτικού Τμήματος», Α. Αβρανάς, Ι. Ζιώγας, Α. Παπουτσής, Σ. Σωτηρόπουλος, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2005.

# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

## 4<sup>η</sup> Άσκηση ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ



Ι. Πούλιος  
Ι. Ζιώγας  
Θ. Στεργιόπουλος  
Ε. Μανώλη  
Α. Κούρας

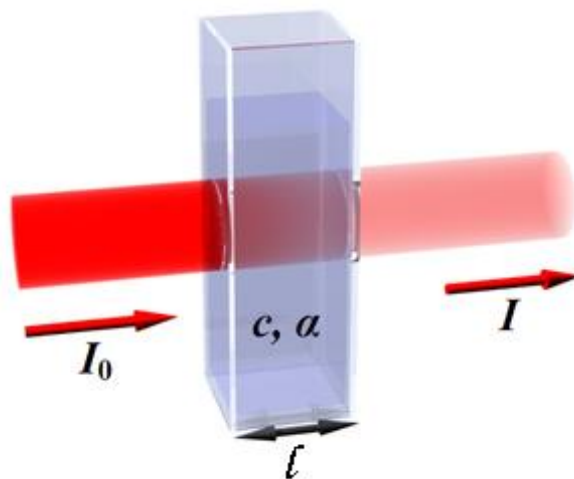
Εργαστήριο Φυσικοχημείας, Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ 2017

## Διαπερατότητα - Οπτική πυκνότητα

Αντικείμενο της φασματοφωτομετρίας είναι ο προσδιορισμός της κατάλληλης ακτινοβολίας, η οποία είναι ικανή να προκαλέσει, σ' ένα είδος μορίων ή ατόμων, τη μετάβαση από μια ενεργειακή κατάσταση σε μια άλλη, καθώς, επίσης, και η μέτρηση του ποσοστού της ακτινοβολίας ορισμένου μήκους κύματος (μ.κ.), που διέρχεται μέσα από μια ουσία ή ένα διάλυμα.

Φάσμα απορρόφησης είναι το διάγραμμα, που παριστάνει το ποσοστό της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας, που διαπέρασε μια ουσία ή ένα διάλυμα σε συνάρτηση με το μήκος κύματος.

Ας θεωρήσουμε ότι παράλληλη φωτεινή δέσμη ορισμένου μήκους κύματος διαπερνά υλικό πάχους  $d$ , μέσα στο οποίο υπάρχει διάλυμα ουσίας με συγκέντρωση  $C$ , που απορροφά το φως, (Σχ.1).



**Σχήμα 1:** Εισερχόμενη κι εξερχόμενη ακτινοβολία από διάλυμα ουσίας πάχους  $d$ .

Η ελάττωση της έντασης  $I_0$  είναι ανάλογη του πάχους του δείγματος, της συγκέντρωσης της ουσίας και της έντασης του φωτός, που προσπίπτει, δηλ.:

$$dI = -aCIdx \quad (1)$$

όπου  $a$  είναι συντελεστής αναλογίας, που ονομάζεται "**συντελεστής απορρόφησης**", κι εξαρτάται κυρίως από τη φύση της εξεταζόμενης ουσίας και τη συχνότητα του φωτός, που προσπίπτει.

Η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$\frac{dI}{I} = -aCdx \quad (2)$$



Ολοκληρώνοντας την εξίσωση (2):

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -aC \int_0^d dx$$

προκύπτει:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -aCd \quad (3)$$

ή 
$$I = I_0 e^{-aCd} \quad (4)$$

Η σχέση αυτή ονομάζεται νόμος των **Lambert-Beer**.

Αντικαθιστώντας τη βάση των φυσικών λογαρίθμων  $e$  με τη βάση 10, η εξίσωση (4) γράφεται:

$$I = I_0 10^{-\epsilon Cd} \quad (5)$$

Η εξίσωση (5) με τη μορφή αυτή ονομάζεται νόμος του **Beer** και ο συντελεστής  $\epsilon$ , που είναι ίσος με  $a/2.303$ , ονομάζεται **μοριακός συντελεστής απόσβεσης**.

Η σχέση του Beer γράφεται και με τη μορφή:

$$\log \frac{I}{I_0} = -\epsilon Cd \quad (6)$$

Ο λόγος  $T = I/I_0$  ονομάζεται **οπτική διαπερατότητα**.

Επίσης, το μέγεθος  $D$ , που ορίζεται από τη σχέση:

$$D = -\log T \quad (7)$$

ονομάζεται **οπτική πυκνότητα** του συστήματος.

Είναι φανερό ότι η οπτική πυκνότητα και η συγκέντρωση συνδέονται με τη σχέση:

$$D = \epsilon Cd \quad (8)$$

Από την εξίσωση αυτή προκύπτει ότι, για την ίδια πάντα ουσία, και για καθορισμένο μήκος κύματος, η οπτική πυκνότητα  $D$  είναι γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης.

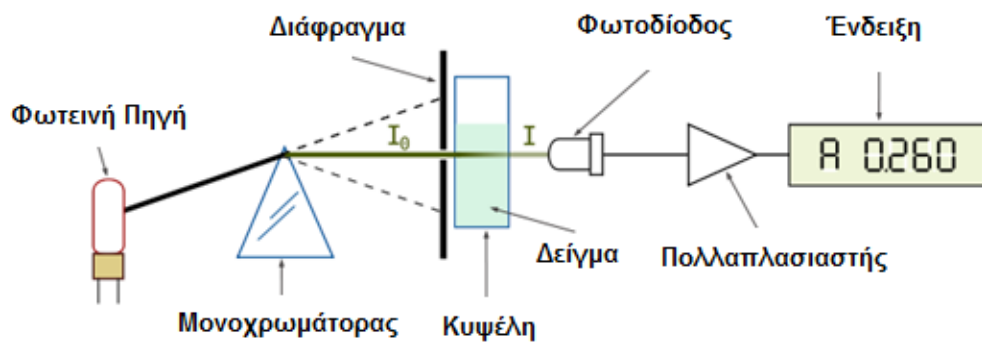
Η σχέση του Beer, με τη μορφή της εξίσωσης (8), χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό άγνωστης συγκέντρωσης  $C$  ουσίας, όταν είναι γνωστές οι εντάσεις του φωτός  $I$  και  $I_0$ , στο μήκος κύματος όπου η ουσία εμφανίζει μέγιστο απορρόφησης.

## Φασματοφωτόμετρα

Τα όργανα, που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της σχετικής έντασης μονοχρωματικής ακτινοβολίας, η οποία διαπερνά ένα υλικό, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος είναι τα φασματοφωτόμετρα.

Τα βασικά τμήματα, από τα οποία αποτελείται ένα φασματοφωτόμετρο, είναι η πηγή φωτός, ο μονοχρωμάτορας και η φωτοδίοδος. Το λευκό φως της λυχνίας βολφραμίου (W)

διέρχεται από τη "σχισμή εισόδου" κι εστιάζεται πάνω στον μονοχρωμάτορα, ο οποίος είναι συνήθως ένα πρίσμα, που προκαλεί σκέδαση του φωτός. Με ειδική διάταξη (επιλογέας μήκους κύματος) απομονώνεται η ακτινοβολία με το επιθυμητό μήκος κύματος και κατευθύνεται προς λεπτή σχισμή. Στη συνέχεια η μονοχρωματική δέσμη διέρχεται από το προς εξέταση δείγμα (διάλυμα), που βρίσκεται εντός της φασματοφωτομετρικής κυψέλης, και προσπίπτει στη φωτοδίοδο, όπου η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα. Το παραγόμενο ρεύμα ενισχύεται και η έντασή του μετριέται με κατάλληλη διάταξη. Στο Σχ. 2 δίνεται σχηματικά η διάταξη του οπτικού συστήματος ενός φασματοφωτόμετρου:



**Σχήμα 2:** Σχηματική διάταξη του οπτικού συστήματος του φασματοφωτόμετρου.

Τα φασματοφωτόμετρα, που χρησιμοποιούνται για τις παρούσες εργαστηριακές ασκήσεις, ανήκουν στην κατηγορία των φασματοφωτόμετρων απλής δέσμης (Σχ. 3) και λειτουργούν στη φασματική περιοχή από 325 nm έως 1100 nm.



**Σχήμα 3:** Φασματοφωτόμετρα, που χρησιμοποιούνται για τις εργαστηριακές ασκήσεις.

Πριν από κάθε μέτρηση, είναι απαραίτητο να γίνουν οι ακόλουθες τρεις βασικές ρυθμίσεις:

- 1) ρύθμιση του μήκους κύματος,





- 2) ρύθμιση του μηδενός (γίνεται αυτόματα από το φασματοφωτόμετρο),
- 3) ρύθμιση του 100% T (διαπερατότητας).

Για τη ρύθμιση του δείκτη στην ένδειξη 100% T, χρησιμοποιείται κυψέλη, η οποία περιέχει μόνο αποσταγμένο νερό ή γενικότερα διαλύτη. **Η ρύθμιση αυτή πρέπει να επαναλαμβάνεται κάθε φορά που αλλάζει το μήκος κύματος.** Όταν η μέτρηση γίνεται σε σταθερό μήκος κύματος και σχετικά μεγάλη χρονική περίοδο, πρέπει να γίνεται περιοδικά έλεγχος της ένδειξης 100%T.

## Μεθοδολογία για τη μέτρηση των δειγμάτων

Πριν από την εκτέλεση μετρήσεων, μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στις γενικές προφυλάξεις, που αφορούν στην καθαρότητα των γυάλινων σκευών και τη σωστή παρασκευή των διαλυμάτων.

Ιδιαίτερα πρέπει να προσέχουμε τα παρακάτω:

-  τα δείγματα που βρίσκονται μέσα στην κυψέλη να μην περιέχουν φυσαλίδες, και εξωτερικά της κυψέλης να μην υπάρχουν σταγόνες. Και στις δύο περιπτώσεις αλλοιώνονται οι μετρήσεις.
-  η κυψέλη πρέπει να είναι γεμάτη, τουλάχιστον κατά τα 2/3,
-  να γίνεται τακτικά έλεγχος του 100% T, για να διορθώνονται πιθανές μετατοπίσεις του δείκτη της κλίμακας,
-  αν η κυψέλη έχει ενδεικτική χαραγή, για μεγαλύτερη ακρίβεια, πρέπει αυτή να συμπίπτει με τη χαραγή στο επάνω μέρος της υποδοχής, ώστε η κυψέλη να έχει πάντα τον ίδιο προσανατολισμό.

## Φάσμα απορρόφησης διαλυμένης ουσίας

Για να πάρουμε το φάσμα απορρόφησης μιας διαλυμένης ουσίας, π.χ. της χρωστικής malachite green (MG) (πράσινο του μαλαχίτη), εργαζόμαστε ως ακολούθως.

Παρασκευάζουμε ένα "πυκνό" διάλυμα MG συγκέντρωσης 0.01M, από το οποίο με αραιώση λαμβάνουμε ένα νέο διάλυμα συγκέντρωσης  $5 \cdot 10^{-4}$ M. Με αυτό γεμίζουμε την κυψέλη του φασματοφωτόμετρου, ενώ μία δεύτερη κυψελίδα την έχουμε γεμίσει με απιονισμένο νερό. Για να πάρουμε την μέτρηση στο πρώτο μήκος κύματος (450 nm) ακολουθούμε τα επόμενα βήματα:

- A) Ρυθμίζουμε το μήκος κύματος στα 450nm,
- B) ρυθμίζουμε στο 100%T με την κυψελίδα γεμάτη με απιονισμένο νερό,

Γ) στη συνέχεια, αφού τοποθετήσουμε την κυψελίδα με το δείγμα, καταγράφουμε την ένδειξη στην κλίμακα της διαπερατότητας.

Αν Α είναι η ένδειξη του οργάνου, τότε:

η διαπερατότητα θα είναι:  $T = A/100$

και η οπτική πυκνότητα:  $D = \log \frac{1}{T}$  ή  $D = \log \frac{100}{A}$

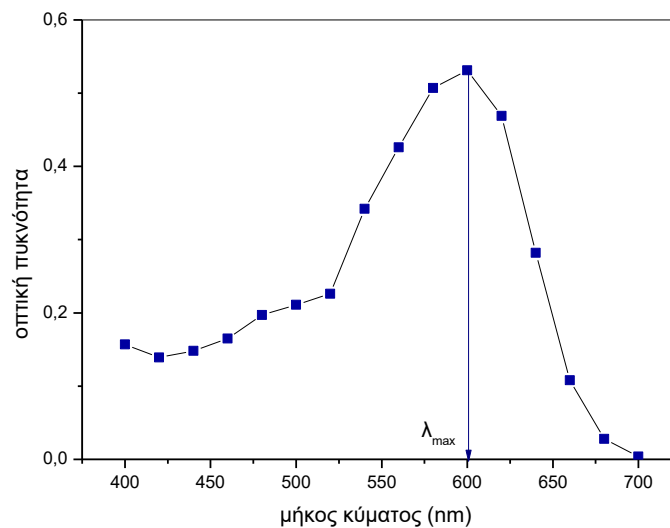
Οπότε τελικά:  $D = 2 - \log A$

Η σχέση αυτή χρησιμεύει για την εύρεση της οπτικής πυκνότητας της ουσίας.

Με τον ίδιο τρόπο, ακολουθώντας τα βήματα Α έως Γ, λαμβάνουμε και τις υπόλοιπες μετρήσεις για μήκη κύματος από 450-700nm, ώστε να συμπληρωθεί ο αντίστοιχος Πίνακας 1, καλύπτοντας με τον τρόπο αυτό τη φασματική περιοχή απορρόφησης του MG.

Από τις τιμές του πίνακα αυτού σχηματίζουμε διάγραμμα ανάλογο με αυτό του σχήματος 4.

Η καμπύλη του σχήματος είναι το φάσμα απορρόφησης της χρωστικής MG.



**Σχήμα 4:** Φάσμα απορρόφησης έγχρωμης ουσίας στην περιοχή του ορατού.

Από το διάγραμμα αυτό υπολογίζουμε το  $\lambda_{\max}$ , δηλ. το μήκος κύματος που η οπτική πυκνότητα λαμβάνει τη μέγιστή της τιμή.

## Συσχέτιση της συγκέντρωσης της χρωστικής Πράσινο του Μαλαχίτη (Malachite Green, MG) με την οπτική πυκνότητα (κατασκευή καμπύλης αναφοράς)

Σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml παρασκευάζουμε πυκνό διάλυμα της χρωστικής **MG** συγκέντρωσης  $500 \text{ mg L}^{-1}$ .

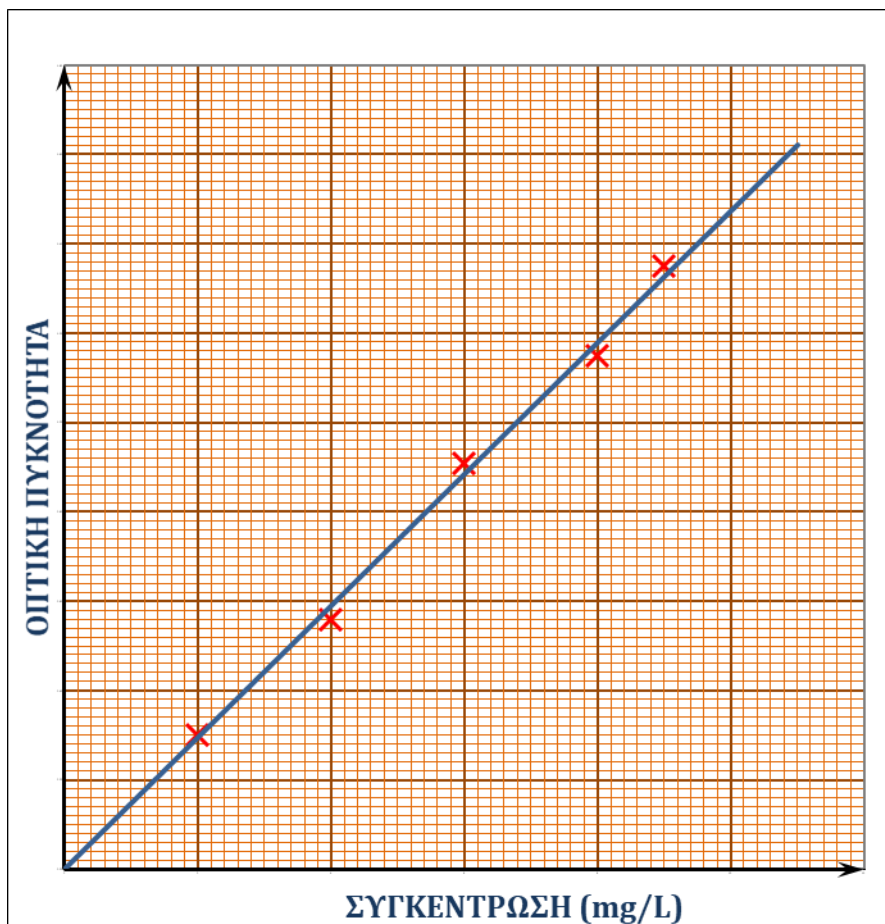
Από το διάλυμα αυτό κατόπιν παρασκευάζουμε διαλύματα συγκεντρώσεων:

2 mg L<sup>-1</sup>, 4 mg L<sup>-1</sup>, 6 mg L<sup>-1</sup>, 8 mg L<sup>-1</sup>, 10 mg L<sup>-1</sup>

Κατόπιν, ρυθμίζουμε το φασματοφωτόμετρο με τον τρόπο που περιγράψαμε προηγουμένως, δηλ. να έχουμε την ένδειξη "0", όταν δεν υπάρχει κυψελίδα στην υποδοχή της συσκευής, και "100", όταν η κυψελίδα είναι γεμάτη με αποσταγμένο νερό. Η παραπάνω ρύθμιση γίνεται, όπου η χρωστική παρουσιάζει μέγιστο στο φάσμα απορρόφησης και μετρούμε με τη βοήθειά του τη διαπερατότητα (I) των διαλυμάτων.

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα σχηματίζουμε τον πίνακα:

Από τις τιμές του πίνακα σχηματίζουμε το διάγραμμα του Σχ. 5:



**Σχήμα 5:** Γραφική παράσταση της μεταβολής της οπτικής πυκνότητας με τη συγκέντρωση της χρωστικής.

## Ερωτήσεις

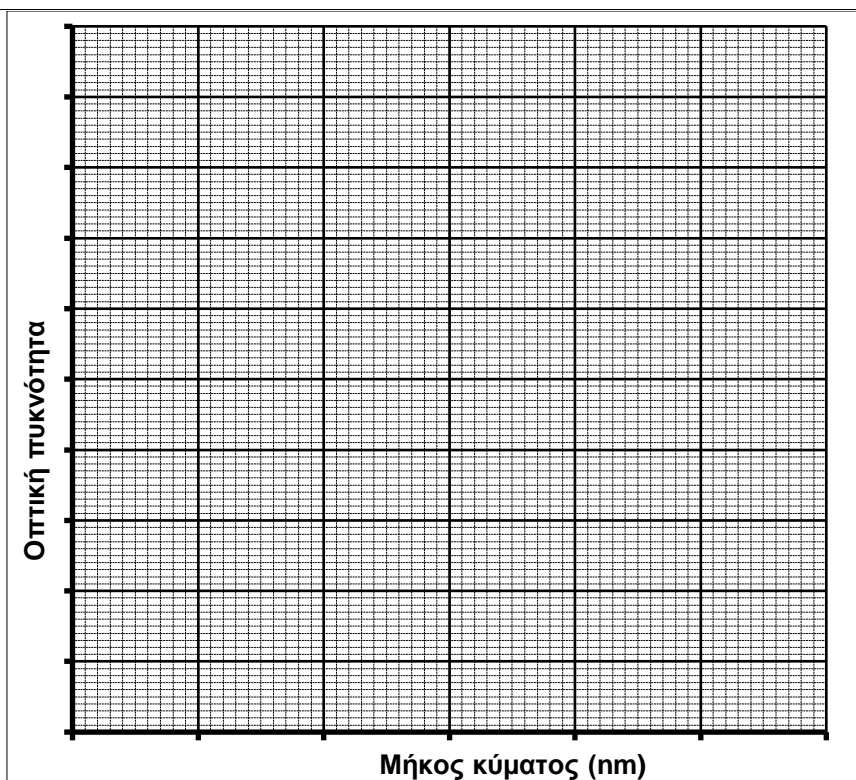
- 1) Να βρεθεί η μαθηματική σχέση, που συνδέει την οπτική πυκνότητα D με τη συγκέντρωση C.
- 2) Με βάση τη σχέση αυτή να βρεθεί η συγκέντρωση άγνωστου διαλύματος της χρωστικής με διαπερατότητα 25 ή 50 %.

## ΠΕΙΡΑΜΑ 1<sup>ο</sup>

Φάσμα απορρόφησης της Χρωστικής Malachite Green (Μ.Γ. Πράσινο του Μαλαχίτη) \_\_\_\_\_ mg/L

Πίνακας 1.

α/α	λ (nm)	T%	D = 2 - logT%
1	450		
2	500		
3	525		
4	550		
5	575		
6	600		
7	610		
8	615		
9	620		
10	625		
11	650		
12	675		
13	700		

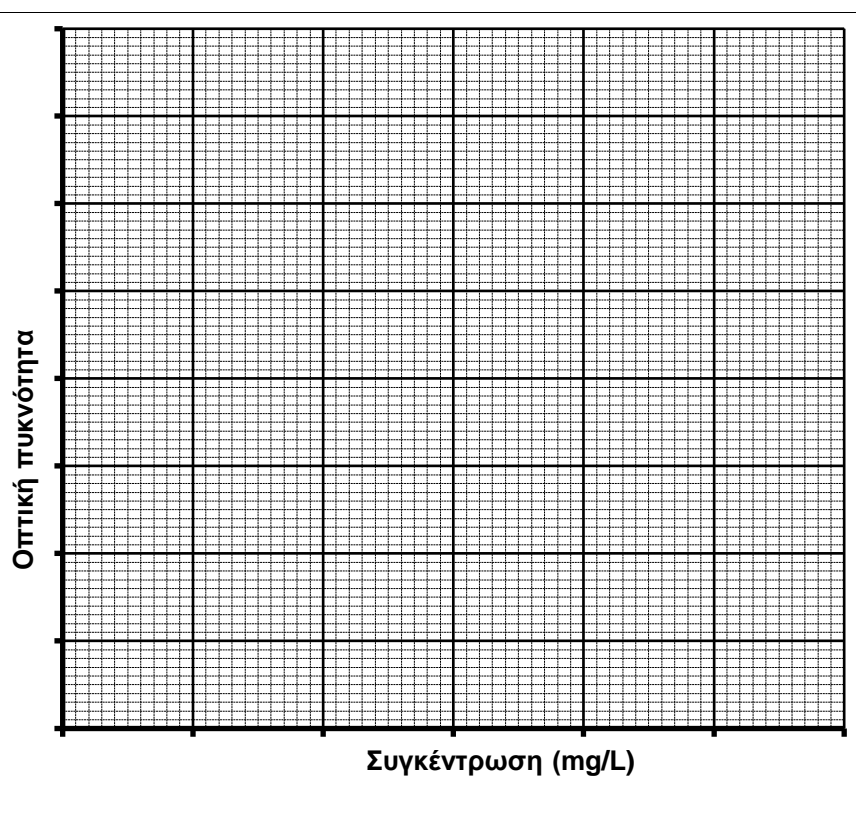


## ΠΕΙΡΑΜΑ 2<sup>ο</sup>

Γραφική παράσταση της μεταβολής της οπτικής πυκνότητας με τη συγκέντρωση της χρωστικής Malachite Green (Πράσινο του Μαλαχίτη)

Πίνακας 2.

α/α	C (mg L <sup>-1</sup> )	T%	D
1	2		
2	4		
3	_____		
4	_____		
Αγν.1			
Αγν.2			
ε = _____ (_____)			



# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

## 5<sup>η</sup> Άσκηση ΠΟΛΩΣΙΜΕΤΡΙΑ

$$\ln \frac{\alpha_0 - \alpha_\infty}{\alpha_t - \alpha_\infty} = k \cdot t$$

$$\frac{dC}{dt} = kC$$

Σακχαρόζη (Καλαμοσάκχαρο) + H<sub>2</sub>O  $\xrightarrow{H^+}$  Γλυκόζη + Φρουκτόζη

Ι. Πούλιος  
 Ι. Ζιώγας  
 Θ. Στεργιόπουλος  
 Ε. Μανώλη  
 Α. Κούρας

Εργαστήριο Φυσικοχημείας, Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ 2017

## ΟΠΤΙΚΗ ΠΟΛΩΣΙΜΕΤΡΙΑ

Οι ουσίες που έχουν την ικανότητα να στρέφουν το επίπεδο πόλωσης του ευθύγραμμο πολωμένου φωτός καλούνται οπτικά ενεργές ουσίες.

Η ιδιότητα αυτή αποδίδεται: **α)** σε κρυσταλλική ασυμμετρία,  
**β)** σε ενδομοριακή ασυμμετρία.

Η κρυσταλλική ασυμμετρία οφείλεται στην εναντιόμορφη διάταξη των υλικών μονάδων στο χώρο, δηλαδή σε κρυσταλλική δομή, που δεν έχει ούτε επίπεδο ούτε κέντρο συμμετρίας.

Η ενδομοριακή ασυμμετρία οφείλεται στην ύπαρξη ασυμμέτρων ατόμων στο μόριο των οπτικά ενεργών ουσιών. Η ύπαρξη ενδομοριακής ασυμμετρίας σε ένα σώμα (ουσία) συνεπάγεται στροφική ικανότητα για το σώμα αυτό ακόμα και όταν βρίσκεται σε υγρή ή αέρια κατάσταση.

Οι οπτικά ενεργές ουσίες διακρίνονται ανάλογα με τη φορά στροφής του επιπέδου πόλωσης του ευθύγραμμο πολωμένου φωτός σε δεξιόστροφες και αριστερόστροφες.

Η γωνία στροφής  $\alpha$ , του επιπέδου πόλωσης του ευθύγραμμο πολωμένου φωτός, που προκαλείται από διάλυμα οπτικά ενεργής ουσίας δίδεται από τη σχέση

$$a = [\alpha]_{\lambda}^t \frac{lC}{100} \quad (1)$$

όπου  $[\alpha]$  = συντελεστής αναλογίας, ο οποίος ονομάζεται *ειδική στροφική ικανότητα*,  $l$  (σε dm) = πάχος της στοιβάδος του οπτικά ενεργού μέσου μέσα από την οποία διέρχεται το πολωμένο φως,  $C$  (%w/v) = συγκέντρωση του διαλύματος.

Η ειδική στροφική ικανότητα παριστάνει τη γωνία στροφής για πάχος στοιβάδος 1dm και συγκέντρωση του διαλύματος  $1\text{gr}/\text{cm}^3$  και εκφράζεται συνήθως σε μοίρες για τη ράβδωση D του νατρίου. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου φωτός και από τη φύση της οπτικά ενεργής ουσίας.

Εάν η συγκέντρωση  $C$  του διαλύματος της οπτικά ενεργού ουσίας εκφράζεται σε  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , τότε η γωνία στροφής υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση

$$a = [\alpha]_{\lambda}^t \frac{lCM}{1000} \quad (2)$$

όπου  $C$  = η συγκέντρωση του διαλύματος σε  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$M$  = μοριακό βάρος της οπτικά ενεργού ουσίας.



Αντί για την ειδική στροφική ικανότητα χρησιμοποιείται συχνά και η έννοια της *μοριακής στροφικής ικανότητας*,  $[M]_{\lambda}^t$ , που ορίζεται από τη σχέση

$$[M]_{\lambda}^t = [a]_{\lambda}^t \frac{M}{100} \quad (3)$$

Έτσι η σχέση (2) γίνεται:  $a = [M]_{\lambda}^t \frac{lC}{100} \quad (4)$

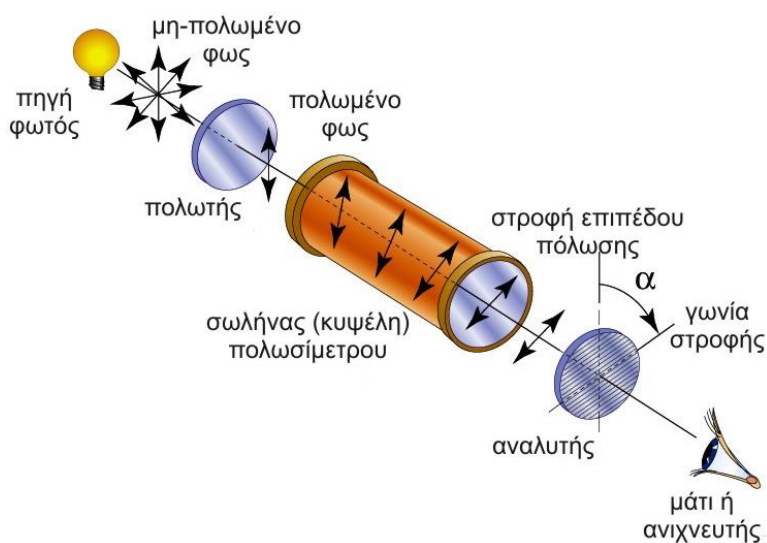
## Πολωσίμετρο

Για τη μέτρηση της γωνίας στροφής του επιπέδου πόλωσης του πολωμένου φωτός, χρησιμοποιούνται όργανα που λέγονται *πολωσίμετρα* (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1:** Πολωσίμετρο

Σχηματική παράσταση του τρόπου λειτουργίας ενός πολωσιμέτρου δίνεται στο παρακάτω σχήμα



**Σχήμα 2:** Σχηματική παράσταση του τρόπου λειτουργίας ενός πολωσιμέτρου

Η αρχή λειτουργίας τού οργάνου είναι η εξής:

Μονοχρωματικό φως, που προέρχεται συνήθως από λάμπα ατμών Na, συγκεντρώνεται με τη βοήθεια αντικειμενικών φακών και περνώντας από τον πολωτή "P" (πρίσμα Nicol ακίνητο), παθαίνει διπλή διάθλαση. Η "τακτική ακτίνα" παθαίνει ολική ανάκλαση και απομακρύνεται, ενώ η "έκτακτη ακτίνα" παθαίνει ευθύγραμμη πόλωση. Στη συνέχεια η ευθύγραμμη πολωμένη ακτίνα περνά κατά το ήμισυ από ένα άλλο πρίσμα Nicol, το πάχος του οποίου είναι ίσο με το μισό του πάχους του πολωτή και στη συνέχεια περνά από τον σωλήνα, ο οποίος ονομάζεται *πολωσιμετρική κυψέλη* όπου βρίσκεται το προς εξέταση διάλυμα. Από το σωλήνα S η ακτίνα περνά διαδοχικά στον αναλυτή, που είναι πρίσμα Nicol περιστρεφόμενο και η αρχική του θέση είναι κάθετη με τον πολωτή, κατόπιν από σύστημα φακών και τέλος προσπίπτει στο σύστημα του οπτικού πεδίου που προσδιορίζει τη γωνία στροφής. Όταν ο αναλυτής βρίσκεται σε θέση κάθετη με τον πολωτή και ο σωλήνας S περιέχει διαφανή ουσία, μη οπτικά ενεργή, πχ νερό, το οπτικό πεδίο είναι τελείως σκοτεινό. Στην πραγματικότητα στη θέση αυτή, το οπτικό πεδίο εμφανίζει την ελάχιστη φωτεινότητα από όλες τις άλλες θέσεις του αναλυτή. Αυτό σημαίνει ότι το ευθύγραμμη πολωμένο φως δεν διέρχεται από τον αναλυτή και τα δύο μισά του ολικού πεδίου ισοφωτίζονται με την ελάχιστη φωτεινότητα.

Για την καλή διεξαγωγή των μετρήσεων και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι πολύ σημαντικό το διάλυμα που μετράμε να είναι διαυγές. Σε αντίθετη περίπτωση το διηθούμε. Ο σωλήνας του οργάνου να είναι στεγνός και καθαρός. Εάν είναι δυνατόν να μην περιέχει φυσαλίδες. Σε περίπτωση που υπάρχουν φυσαλίδες φροντίζουμε να συγκεντρωθούν στο διογκωμένο τμήμα του σωλήνα S. Το προσοφθάλμιο σύστημα του οργάνου πρέπει να ρυθμίζεται έτσι ώστε το οπτικό πεδίο να είναι απόλυτα ευκρινές. Η θερμοκρασία πρέπει να παραμένει σταθερή. Πριν τη μέτρηση πρέπει να γίνεται ο μηδενισμός του οργάνου, με νερό ή αέρα. Επαναλαμβάνουμε 3-4 φορές τις μετρήσεις και παίρνουμε το μέσο όρο.

## Προσδιορισμός της ειδικής στροφικής ικανότητας οπτικά ενεργού ουσίας και εύρεση της συγκέντρωσης

Για τον προσδιορισμό της ειδικής στροφικής ικανότητας οπτικά ενεργού ουσίας παρασκευάζονται διαλύματα της ουσίας με γνωστές περιεκτικότητες (επί τοις εκατό w/v) και με το πολωσίμετρο μετράμε τη γωνία στροφής κάθε διαλύματος.

Κατόπιν κατασκευάζεται διάγραμμα με τεταγμένες τις τιμές της γωνίας στροφής,  $[\alpha]$  και τεταγμένες τις τιμές της περιεκτικότητας, % w/v.

Μ' αυτόν τον τρόπο παίρνουμε καμπύλη αναφοράς, η οποία στην περίπτωση αυτή είναι ευθεία που διέρχεται από την αρχή των αξόνων, όπως φαίνεται και από τη σχέση

$$a = [\alpha]_{\lambda}^t \frac{lC}{100}$$

Από την κλίση της ευθείας υπολογίζεται η  $[\alpha]_{\lambda}^t$ .

Κατόπιν γεμίζουμε το σωλήνα του πολωσιμέτρου με το διάλυμα του οποίου τη συγκέντρωση θέλουμε να προσδιορίσουμε και μετρούμε τη γωνία στροφής. Με τη βοήθεια της σχέσης,

$$C = \frac{a100}{l[\alpha]_{\lambda}^t}$$

υπολογίζουμε την άγνωστη περιεκτικότητα του διαλύματος εφόσον γνωρίζουμε:

α) Τη γωνία στροφής,  $\alpha$ .

β) Την ειδική στροφική ικανότητα,  $[\alpha]_{\lambda}^t$  και

γ) Το πάχος της στοιβάδας,  $l$ .

Εάν η οπτικά ενεργός ουσία είναι σάκχαρο και μάλιστα καλαμοσάκχαρο, τότε η μέθοδος ποσοτικού προσδιορισμού των διαλυμάτων της ουσίας, λέγεται *σακχαρομετρία*.

Σε μετρήσεις ρουτίνας η κλίμακα των οργάνων αυτών δίνει απευθείας την εκατοστιαία περιεκτικότητα του διαλύματος σε καλαμοσάκχαρο.

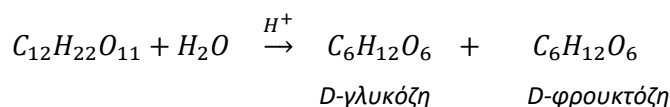
### Παρακολούθηση της κινητικής αντιδράσεων πολωσιμετρικά.

Η οπτική πολωσιμετρία χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση της κινητικής αντιδράσεων, στις οποίες συμμετέχουν οπτικά ενεργά σώματα.

Όταν υπάρχουν τέτοια σώματα στο αντιδρών σύστημα, τότε η μεταβολή της συγκέντρωσής τους με το χρόνο συνεπάγεται μεταβολή της γωνίας στροφής. Επομένως, η παρακολούθηση της μεταβολής της συγκέντρωσης με το χρόνο ανάγεται στην παρακολούθηση της γωνίας στροφής με το χρόνο, αφού η γωνία στροφής είναι γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης.

Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η παρακολούθηση της κινητικής της υδρολύσεως διαφόρων οπτικά ενεργών σωμάτων όπως π.χ. εστέρων, ακεταλών, γλυκοζιτών, σακχάρων κλπ. Οι υδρολύσεις αυτές καταλύονται από ιόντα υδρογόνου και γι' αυτό η σταθερά ταχύτητας της αντιδράσεως υδρολύσεως θα είναι συνάρτηση του pH του διαλύματος.

Η ιμμεροποίηση του καλαμοσακχάρου προς γλυκόζη και φρουκτόζη είναι μια απλή αντίδραση, της οποίας η κινητική μπορεί να μελετηθεί πολωσιμετρικά.



Το καλαμοσάκχαρο στρέφει το επίπεδο του πολωμένου φωτός προς τα δεξιά, η D-γλυκόζη το στρέφει επίσης προς τα δεξιά, ενώ η D-φρουκτόζη το στρέφει προς τα αριστερά. Επειδή η ειδική

γωνία στροφής της φρουκτόζης είναι κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερη από την ειδική γωνία στροφής της γλυκόζης, το ιμπερτοσάκχαρο (=ισομοριακό μίγμα γλυκόζης και φρουκτόζης) στρέφει προς τα αριστερά. Έτσι, η γωνία στροφής του διαλύματος του καλαμοσακχάρου είναι αρχικά θετική, ενώ καθώς προχωρεί η υδρόλυση ελαττώνεται και τελικά φθάνει σε αρνητικές τιμές.

Επομένως, μπορούμε να παρακολουθήσουμε την κινητική της ιμπερτοποίησης του καλαμοσακχάρου μετρώντας τη γωνία στροφής του αντιδρώντος μίγματος (που περιέχεται στο σωλήνα του πολωσιμέτρου) σε διάφορα χρονικά διαστήματα.

Επειδή η ποσότητα του H<sub>2</sub>O είναι πάντοτε πολύ μεγαλύτερη από την ποσότητα του καλαμοσακχάρου, η υδρόλυση του καλαμοσακχάρου είναι αντίδραση διμοριακή 1<sup>ης</sup> τάξεως και γι' αυτό χαρακτηρίζεται και μελετιέται σαν **ψευδομονομοριακή** αντίδραση. Έτσι, η ταχύτητα ελαττώσεως της συγκεντρώσεως του καλαμοσακχάρου σε κάθε χρονική στιγμή θα είναι ανάλογη της εκάστοτε συγκεντρώσεώς του:

Ο νόμος της ταχύτητας στην περίπτωση αυτή θα είναι:

$$-\frac{dC}{dt} = kC \quad \text{ή} \quad \frac{dC}{C} = -kdt \quad (5)$$

Για t=0 έχουμε C=C<sub>0</sub> ενώ μετά από χρόνο t θα έχουμε C=C<sub>t</sub>. Λύνοντας την παραπάνω διαφορική εξίσωση με βάση αυτές τις συνθήκες προκύπτει η σχέση:

$$\ln \frac{C_o}{C_t} = kt \quad (6)$$

ή

$$\log \frac{C_o}{C_t} = \frac{1}{2.303} kt \quad (7)$$

Όσον αφορά την πολωσιμετρία, μέτρο της αρχικής συγκεντρώσεως του καλαμοσακχάρου, C<sub>0</sub>, είναι η διαφορά (α<sub>0</sub>-α<sub>∞</sub>), ενώ μέτρο της συγκεντρώσεως C<sub>t</sub> του καλαμοσακχάρου που δεν έχει υδρολυθεί, είναι η διαφορά (α<sub>t</sub>-α<sub>∞</sub>).

Έτσι, η σχέση (4) γίνεται:

$$\log \frac{a_o - a_\infty}{a_t - a_\infty} = \frac{1}{2.303} kt \quad (8)$$

ή

$$\ln \frac{a_o - a_\infty}{a_t - a_\infty} = kt \quad (9)$$

Η σχέση αυτή αποτελεί τη διαμορφωμένη κινητική εξίσωση της υδρόλυσης του καλαμοσακχάρου κατάλληλη να παρακολουθηθεί με τη μέθοδο της πολωσιμετρίας. Στο τέλος της άσκησης δίνεται αναλυτικά η μεθοδολογία παραγωγής της.

Από την τελευταία σχέση είναι φανερό ότι η σταθερά της ταχύτητας της αντιδράσεως ιμβερτοποιήσεως του καλαμοσακχάρου, για ορισμένη θερμοκρασία και συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου, τα οποία καταλύουν την αντίδραση, μπορεί να υπολογιστεί από την κλίση της ευθείας

που προκύπτει από διάγραμμα  $\ln \frac{a_o - a_\infty}{a_t - a_\infty}$  έναντι του  $t$ .

## Πειραματικό Μέρος

Για την πειραματική εύρεση της σταθεράς της ταχύτητας ιμβερτοποιήσεως του καλαμοσακχάρου παρασκευάζουμε τρία υδατικά διαλύματα καλαμοσακχάρου με συγκέντρωση 20% W/V.

Το πρώτο διάλυμα είναι σε ουδέτερο pH.

Το δεύτερο σε όξινο pH με συγκέντρωση 4N σε HCl.

Το τρίτο επίσης σε όξινο pH με συγκέντρωση 2N σε HCl.

Τα τρία διαλύματα παρασκευάζονται με τη σειρά που αναφέρονται παραπάνω.

Γεμίζουμε το σωλήνα του πολωσιμέτρου με το ουδέτερο διάλυμα του καλαμοσακχάρου και μετρούμε τη γωνία στροφής. Αυτή η γωνία μπορεί να θεωρηθεί σαν γωνία στροφής σε χρόνο μηδέν,  $\alpha_0$ , διότι η υδρόλυση του καλαμοσακχάρου στα απλά υδατικά διαλύματα γίνεται πολύ αργά και η ποσότητα που υδρολύεται είναι ελάχιστη.

Τη γωνία στροφής του όξινου διαλύματος του καλαμοσακχάρου, που έχει συγκέντρωση 4N σε HCl, τη μετρούμε στο τέλος της εργασίας, περίπου 2 h μετά την παρασκευή του διαλύματος. Η γωνία αυτή λαμβάνεται σαν γωνία στροφής σε άπειρο χρόνο,  $\alpha_\infty$ , διότι εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης των  $H^+$ , που καταλύουν την υδρόλυση, και μετά από χρονικό διάστημα 2 h, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η υδρόλυση έχει ολοκληρωθεί.

Το τρίτο διάλυμα του καλαμοσακχάρου, με συγκέντρωση 2N σε HCl είναι αυτό, στο οποίο θα παρακολουθήσουμε την κινητική της υδρόλυσης. Γι' αυτό πρέπει να παρασκευασθεί με ακρίβεια.

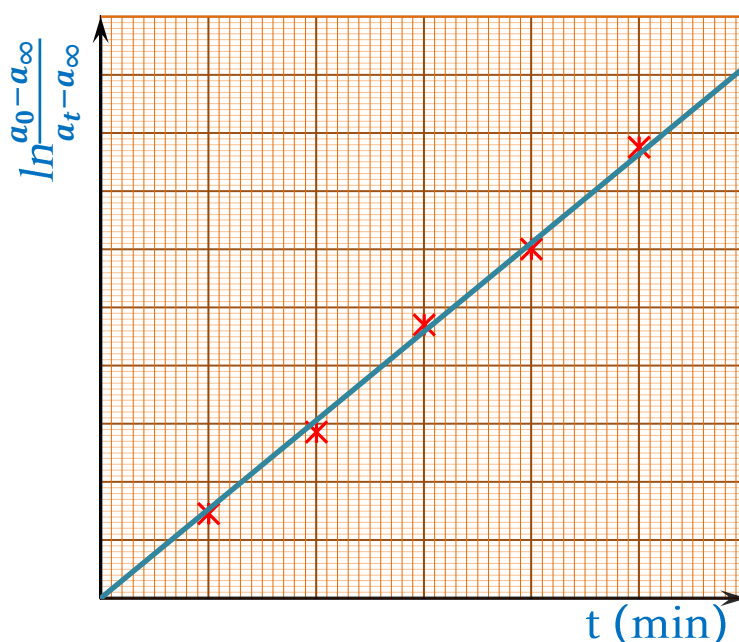
Σε ογκομετρική φιάλη των 100mL προστίθενται 20 gr καλαμοσακχάρου και περίπου 50 mL αποσταγμένο νερό. Μετά την πλήρη διάλυση του καλαμοσακχάρου προστίθεται η κατάλληλη ποσότητα πυκνού διαλύματος υδροχλωρικού οξέος 5N, ώστε το τελικό διάλυμα να έχει συγκέντρωση 2N σε HCl. Σαν χρόνος έναρξης της αντίδρασης θεωρείται η στιγμή της προσθήκης του οξέος.

Με το διάλυμα αυτό γεμίζουμε το σωλήνα του πολωσιμέτρου και μετρούμε την πρώτη γωνία στροφής 5min μετά την παρασκευή του διαλύματος. Κατόπιν μετρούμε τη γωνία στροφής  $\alpha_t$  ανά 5min, μέχρις ότου οι ενδείξεις του οργάνου να μην έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους.

Για να μετρήσουμε τη γωνία στροφής,  $\alpha_\infty$ , που αντιστοιχεί στο πέρας της υδρόλυσης, πρέπει να περιμένουμε να σταθεροποιηθεί η γωνία στροφής του διαλύματος ή αντί γι' αυτό, μπορούμε, όπως αναφέραμε παραπάνω, να μετρήσουμε τη γωνία στροφής όξινου διαλύματος καλαμοσακχάρου 20% w/v με συγκέντρωση 4N σε HCl.

Αναγράφουμε τις πειραματικές τιμές στον πίνακα 1.

Από τις τιμές του πίνακα κατασκευάζουμε το διάγραμμα  $\ln \frac{a_0 - a_\infty}{a_t - a_\infty} - t$  από την κλίση του οποίου προσδιορίζουμε τη σταθερά της ταχύτητας της αντιδράσεως, k.



**Σχήμα 5:** Γραφική παράσταση της μεταβολής της οπτικής πυκνότητας με τη συγκέντρωση της χρωστικής

#### Επίδραση του pH του διαλύματος στη σταθερά ταχύτητας υμβερτοποίησης του καλαμοσακχάρου

Για την εύρεση της επίδρασης του pH του διαλύματος στην k υμβερτοποίησης του καλαμοσακχάρου επαναλαμβάνεται η παραπάνω πειραματική εργασία με διάφορες συγκεντρώσεις  $H^+$  του αρχικού διαλύματος του καλαμοσακχάρου και προσδιορίζονται οι k υμβερτοποίησης που αντιστοιχούν στις διάφορες  $[H^+]$ . Κατόπιν κατασκευάζεται διάγραμμα των τιμών της k συναρτήσει του  $pH = -\log[H^+]$ . Το διάγραμμα που παίρνουμε απεικονίζει την εξάρτηση της k υμβερτοποίησης του καλαμοσακχάρου από το pH του διαλύματος.

# ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΙΜΒΕΡΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΛΑΜΟΣΑΚΧΑΡΟΥ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΠΟΛΩΣΙΜΕΤΡΙΑ

Πίνακας 1. Αποτελέσματα μετρήσεων οπτικής πολωσιμετρίας

t	α <sub>t</sub>	α <sub>t</sub> - α <sub>∞</sub>	$\frac{a_0 - a_\infty}{a_t - a_\infty}$	$\ln \frac{a_0 - a_\infty}{a_t - a_\infty}$

α<sub>0</sub> = \_\_\_\_\_

α<sub>∞</sub> = \_\_\_\_\_

