

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών
Διδακτική της Χημείας και Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες (Δι.Χη.ΝΕΤ)

Πολυμερισμός γαλακτικού οξέος με μικροκύματα

Εργασία στο μάθημα:

Το πείραμα στη διδασκαλία της χημείας

Χημεία και Καθημερινή ζωή - Η Πράσινη Προσέγγιση

Μεταπτυχιακός φοιτητής: Καραμπέρης Χρήστος

Επιβλέποντες Καθηγητές: Μαρούλης Απόστολος,
Χατζηαντωνίου-Μαρούλη Κωνσταντίνα

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2005

Πολυμερισμός γαλακτικού οξέος με μικροκύματα



Πρόλογος

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Το πείραμα στη διδασκαλία της χημείας» που διδάσκεται το τρίτο εξάμηνο του διαπανεπιστημιακού διατμηματικού μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Διδακτική της Χημείας και Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες (Δι.Χη.Ν.Ε.Τ.)».

Σκοπός της εργασίας είναι η υλοποίηση πειράματος χημείας, που θα ακολουθεί τις επιταγές της Πράσινης Χημείας. Για το σκοπό αυτό επελέγη ως θέμα ο πολυμερισμός του γαλακτικού οξέος και κατόπιν σχεδιάστηκε, και υλοποιήθηκε ένα πλήρες πρωτότυπο πείραμα.

Το πείραμα παρουσιάστηκε στους σπουδαστές του μεταπτυχιακού προγράμματος προς εκτέλεση. Η διδασκαλία του πειράματος περιελάμβανε προεργαστηριακή διάλεξη στη διάρκεια της οποίας εκτελέστηκε και πείραμα επιδείξεως και στη συνέχεια εκτέλεση του πειράματος από τους ίδιους τους σπουδαστές στα πλαίσια του οποίου συμπληρώθηκε ένα φύλλο δραστηριοτήτων και απαντήθηκαν προ- και μετά- εργαστηριακές ερωτήσεις.

Θα ήταν τεράστια παράληψη, αν δεν ευχαριστούσα θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές κύριο Απόστολο Μαρούλη και κυρία Κωνσταντίνα Χατζηαντωνίου-Μαρούλη, των οποίων η υποστήριξη, η συμπαράσταση, η ενθάρρυνση και η επιστημονική καθοδήγηση ήταν καθοριστικές για την αρχική διερεύνηση, την επιλογή, την προσαρμογή και τελικά την υλοποίηση του πειράματος.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές, για τα πολύτιμα σχόλια και τις παρατηρήσεις τους που βοήθησαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Η επιμέλεια των κειμένων οφείλεται στον κ. Απόστολο Μαρούλη και την κ. Κωνσταντίνα Χατζηαντωνίου-Μαρούλη. Η φωτογράφιση των πειραμάτων έγινε από τον κ. Χρήστο Καραμπέρη και τον κ. Απόστολο Μαρούλη.

Περίληψη

Το προτεινόμενο πείραμα πολυμερισμού γαλακτικού οξέος μπορεί να αποτελέσει μέρος μιας σειράς μαθημάτων Πράσινης Χημείας. Μια οικιακή συσκευή μικροκυμάτων υιοθετείται για την παρασκευή ενός βιοαποικοδομησίμου πολυμερούς από ανανεώσιμες πρώτες ύλες χωρίς τη χρήση οργανικών διαλυτών ή ακραίων συνθηκών θερμοκρασίας ή πίεσεως. Ένας ανόργανος δείκτης χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει την παραγωγή νερού κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού και το προϊόν διαμορφώνεται σε μια επιθυμητή μορφή. Τέλος, ένα μικρό δείγμα χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πυκνότητας του προϊόντος. Επίσης οι προεργαστηριακές ερωτήσεις εξετάζουν την κατανόηση της σχετικής θεωρίας και οι μεταεργαστηριακές ερωτήσεις αξιολογούν την αφομοίωση από τους σπουδαστές των νέων γνώσεων.

Περιεχόμενα

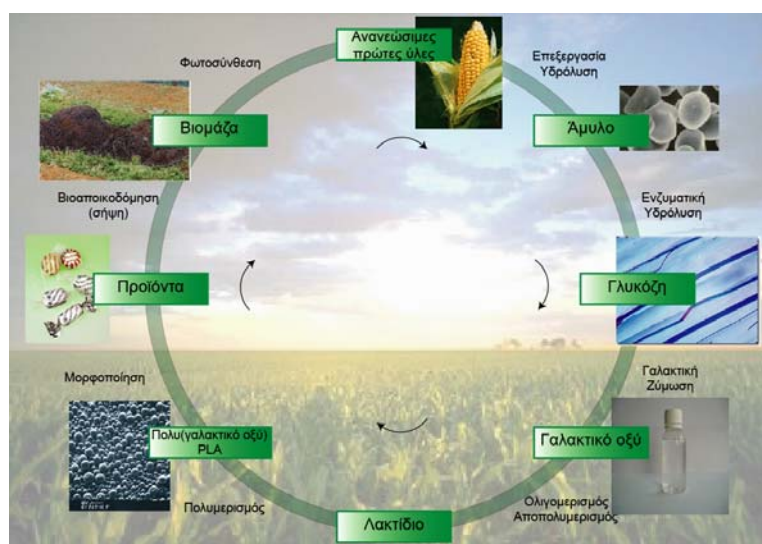
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1.2 ΓΑΛΑΚΤΙΚΟ ΟΞΥ	3
1.3 ΠΟΛΥΓΑΛΑΚΤΙΚΟ ΟΞΥ	4
1.4 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	8
1.5 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ	10
1.5.1 Εισαγωγή.....	10
1.5.2 Οδηγίες ασφαλούς χρήσεως του φούρνου μικροκυμάτων.....	15
2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	17
2.1 ΣΚΟΠΟΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	18
2.2 ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	18
2.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ	18
2.4 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ	19
2.5 ΥΓΙΕΙΝΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ	20
2.6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	21
2.6.1 Παρασκευή του δείκτου χλωριούχου κοβαλτίου.....	21
2.6.2 Παρασκευή πολυγαλακτικού οξέος.....	21
2.6.3 Μορφοποίηση του προϊόντος.....	24
2.6.4 Προσδιορισμός πυκνότητας πολυμερούς.....	26
2.7 ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	27
3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	28
4 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	30
4.1 ΠΡΟΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	32
4.2 ΜΕΤΑΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	33
4.3 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΠΡΟΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....	34
4.4 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....	35
4.5 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ.....	37
4.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	38
4.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΥΨΙΝΟΥ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ.....	39
4.8 ΔΕΛΤΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ	41
Γαλακτικό οξύ	42
Ένυδρο χλωριούχο κοβάλτιο	48
Ιωδιούχο κάλιο.....	54
Ένυδρος χλωριούχος κασσίτερος.....	59
5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	61

1 Θεωρητικό μέρος

1 Θεωρητικό μέρος

1.1 Εισαγωγή

Στη σημερινή κοινωνία γίνεται ευρεία χρήση πλαστικών σε κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα (ενδύματα, υλικά συσκευασίας, ίνες σύνθετων υλικών, ιατρική κλπ). Μετά τη χρήση τους, τα πλαστικά αντικείμενα καταλήγουν στο περιβάλλον ως απορρίμματα ή στην καλύτερη περίπτωση στους Χώρους Υγιεινής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Τα πλαστικά της προηγούμενης γενιάς αποικοδομούνται πολύ αργά και τα προϊόντα της διασπάσεως μπορεί να επιβαρύνουν το περιβάλλον. Για το λόγο αυτό καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια δημιουργίας «πράσινων» πλαστικών, τα οποία μετά τη χρήση τους θα αποικοδομούνται εύκολα και σύντομα προς αβλαβή προϊόντα (συνήθως υδρογονάνθρακες μικρού μοριακού βάρους). Ένα τέτοιο είδος πράσινων πλαστικών είναι τα πολυμερή από γαλακτικό οξύ (Εικόνα 1), το οποίο μπορεί να παραχθεί από γλυκόζη με γαλακτική ζύμωση. Η γλυκόζη με τη σειρά της μπορεί να προέρχεται είτε από άμυλο (καλαμποκιού, ρυζιού, πατάτας) είτε από σάκχαρα (σακχαρότευτλων, σακχαροκάλαμου).

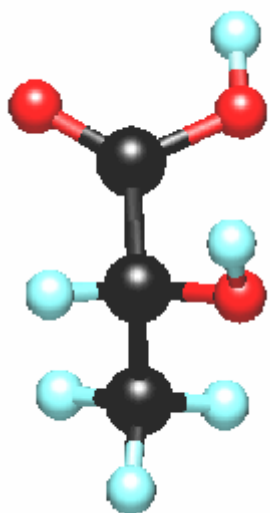


Εικόνα 1. Κύκλος ζωής του γαλακτικού οξέος.

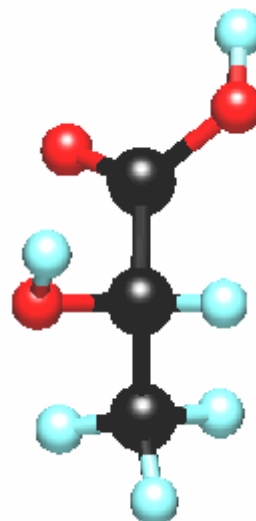
Τα προϊόντα από πολυγαλακτικό οξύ, μετά τη χρήση τους, αποικοδομούνται σχετικά εύκολα προς γαλακτικό οξύ (περίπου σε χρονικό διάστημα από 45 μέχρι 60 ημέρες).

1.2 Γαλακτικό οξύ

Το γαλακτικό οξύ ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$) είναι ένα κορεσμένο μονοϋδροξυ-μονοκαρβοξυλικό οξύ, δηλαδή περιέχει ένα υδροξύλιο (αλκοόλη) και ένα καρβοξύλιο (οξύ). Η κατά IUPAC ονομασία του είναι 2-υδροξυπροπανικό οξύ ή α-υδροξυπροπανικό οξύ. Ο συντακτικός τύπος του γαλακτικού οξέος εμφανίζεται στις εικόνες 2 και 3.



Εικόνα 2. D-γαλακτικό οξύ.



Εικόνα 3. L-γαλακτικό οξύ.

Όπως φαίνεται, το γαλακτικό οξύ περιέχει ένα ασύμμετρο άτομο άνθρακα και για το λόγο αυτό διαθέτει δύο εναντιομερείς μορφές, την D και την L μορφή. Το L εναντιομερές είναι αυτό που εμφανίζεται στη φύση (στους μύς του ανθρώπου κατά τη διάσπαση του γλυκογόνου, στα γαλακτοκομικά προϊόντα π.χ. γιαούρτι, ξινόγαλα, βούτυρο, τυρί). Παράγωγα του γαλακτικού οξέος χρησιμοποιούνται ως πολυμερή, ως συστατικά τροφίμων, διαλυτών, συγκολλητικών, επικαλυπτικών, αντιψυκτικών αλλά και πολλών άλλων υλικών.

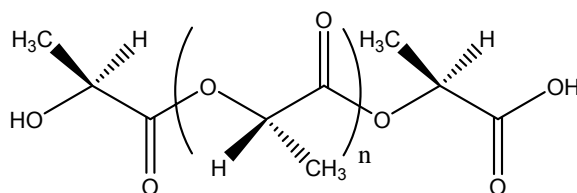
Το γαλακτικό οξύ είναι μη πτητικό, άχρωμο ή κιτρινωπό, άοσμο κρυσταλλικό στερεό, πολύ υγροσκοπικό (φίλυδρο) και εύκολα μετατρέπεται σε παχύρρευστο σιροπώδες υγρό. Είναι ευδιάλυτο στο νερό και τους διαλυτούς στο νερό οργανικούς διαλύτες (π.χ. το οινόπνευμα) και ως οξύ είναι ισχυρότερο του αντίστοιχου προπανικού οξέος. Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι κυριότερες φυσικές ιδιότητες του γαλακτικού οξέος.

Πίνακας 1. Κυριότερες φυσικές ιδιότητες γαλακτικού οξέος.

Ιδιότητα	Τιμή
Μοριακός τύπος	CH ₃ CH(OH)COOH
Μοριακό βάρος	90.08
Σημείο τήξεως	16.8° C
Σημείο βρασμού	82° C σε πίεση 0.5 mm Hg 122° C σε πίεση 14 mm Hg
Σταθερά διαστάσεως, K _a (στους 25° C)	1.37.10 ⁻⁴
Θερμότητα ή ενθαλπία καύσεως ΔH _c	1361 KJ/mole
Ειδική θερμότητα c (στους 20° C)	190 J/mole/°C

1.3 Πολυγαλακτικό οξύ

Το πολυγαλακτικό οξύ (polylactic acid, PLA) είναι ένας αλειφατικός πολυεστέρας που παρασκευάζεται από τον πολυμερισμό του γαλακτικού οξέος (Εικόνα 4). Είναι θερμοπλαστικό, γραμμικό, ομοπολυμερές, υψηλής αντοχής και σκληρότητα. Το υψηλού μοριακού βάρους PLA είναι άχρωμο, κολλώδες, σκληρό θερμοπλαστικό πολυμερές, παρόμοιο με το πολυστυρένιο. Το άμορφο είναι διαλυτό στους περισσότερους οργανικούς διαλύτες. Μετά τη χρήση του, υδρολύεται προς αβλαβή, φυσικά προϊόντα (γαλακτικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα και νερό). Ο χρόνος αποικοδομήσεως στο φυσικό περιβάλλον κυμαίνεται από μερικούς μήνες μέχρι δύο χρόνια.



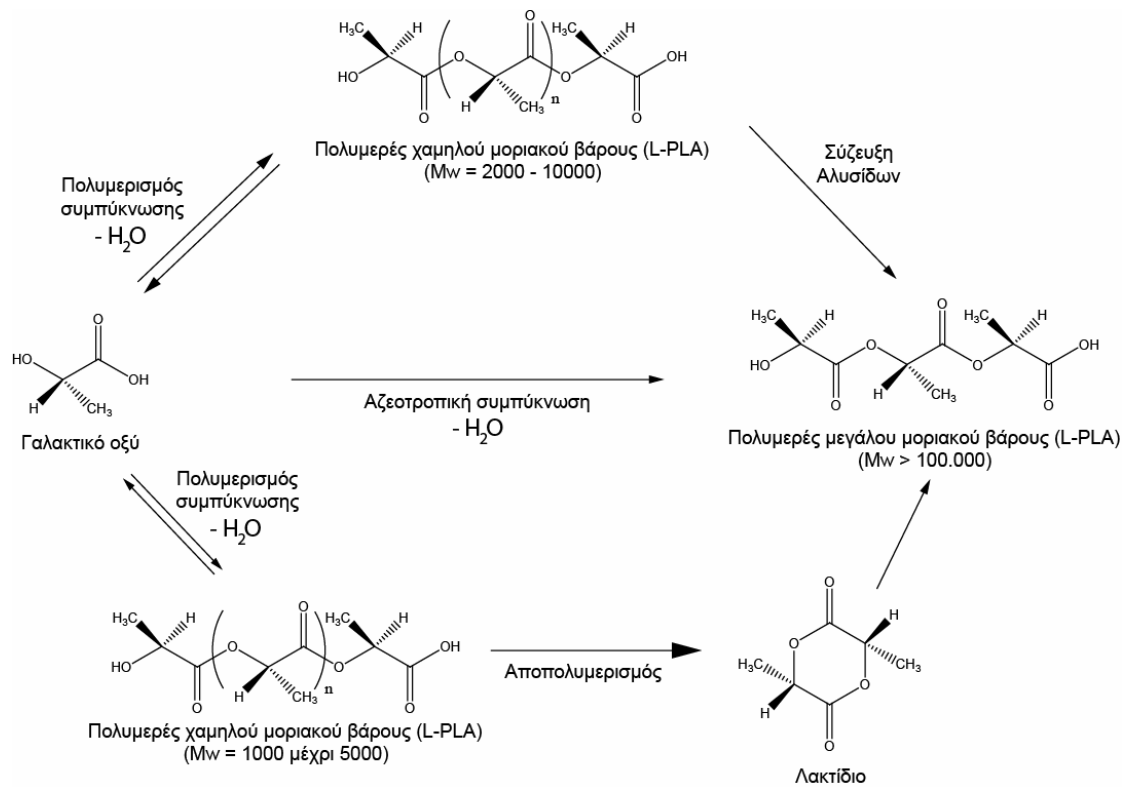
Εικόνα 4. Πολυγαλακτικό οξύ.

Η διαδικασία παραγωγής πολυμερών PLA μεγάλου μοριακού βάρους μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικές μεθόδους¹ (Εικόνα 5). Η πρώτη και παλαιότερη χρησιμοποιεί πολυμερισμό συμπυκνώσεως κατά τον οποίο αποβάλλεται νερό και παράγεται πολυγαλακτικό οξύ σχετικά μικρού μοριακού βάρους και φυσικοχημικών ιδιοτήτων που το καθιστούν ακατάλληλο για βιομηχανική και εμπορική χρήση. Η αντίδραση αυτή είναι αμφίδρομη με συνέπεια η αδυναμία αφαιρέσεως του υπολείμματος νερού να προκαλεί αποπολυμερισμό και μείωση του μοριακού βάρους του πολυμερούς. Η μέθοδος αυτή μπορεί να βελτιωθεί με ένα επιπλέον βήμα επεκτάσεως της πολυμερικής αλυσίδας για να μεγαλώσει το μοριακό βάρος του πολυμερούς.

Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί αζεοτροπική απόσταξη με τη χρήση ενός διαλύτη με υψηλό σημείο ζέσεως για την απομάκρυνση του νερού που παράγεται κατά τον πολυμερισμό συμπυκνώσεως.

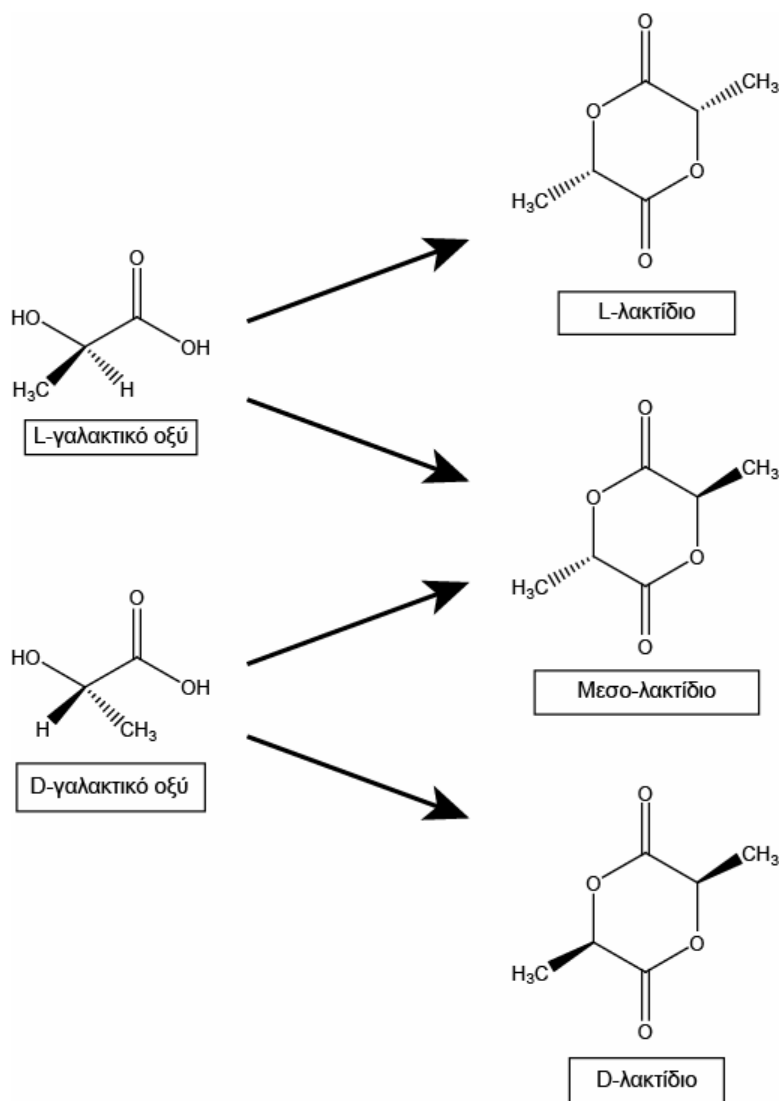
Τέλος, η τρίτη μέθοδος, που επινοήθηκε από την εταιρεία Cargill Dow LLC, περιλαμβάνει τρία στάδια, κατά τα οποία με πρώτη ύλη το άμυλο και χωρίς τη χρήση οργανικών διαλυτών, παράγεται αρχικά γαλακτικό οξύ με ζύμωση, στη συνέχεια ολιγομερή με πολυμερισμό συμπυκνώσεως του γαλακτικού οξέος και κυκλικά διμερή, τα λακτίδια, με διάσπαση των ολιγομερών, και τελικά πολυμερές πολυγαλακτικό οξύ (PLA), με πολυμερισμό ανοίγματος δακτυλίου των λακτιδίων. Τα λακτίδια είναι κυκλικοί διεστέρες που προκύπτουν με πολυμερισμό συμπυκνώσεως κατά τη θέρμανση του γαλακτικού οξέος, οπότε εκλύονται υδρατμοί. Με ενζυματική υδρόλυση τα λακτίδια μπορούν να αποικοδομηθούν και να μετατραπούν και πάλι σε γαλακτικό οξύ. Κατά τον πολυμερισμό του γαλακτικού οξέος, τήγμα λακτιδίων και πολυμερούς χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα για τις αντιδράσεις συνθέσεως του διμερούς και του πολυμερούς. Κάθε στάδιο έχει υψηλή απόδοση (>95%) και ανακυκλώνει σε μεγάλο βαθμό τα παραπροϊόντα. Για τα στάδια της συνθέσεως των λακτιδίων και του πολυμερισμού χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες καταλυτών, της τάξεως των ppm, που αυξάνουν ακόμα περισσότερο την απόδοση και μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας.

¹ D. Garlotta: *A Literature Review of Poly(Lactic Acid)*, *Journal of Polymers and the Environment*, Vol.9, No.2, April 2001.



Εικόνα 5. Μέθοδοι παρασκευής πολυγαλακτικού οξέος.

Όπως αναφέρθηκε, το γαλακτικό οξύ έχει δύο εναντιομερείς μορφές, την D (R) και την L (S), με αποτέλεσμα όταν πολυμερίζεται προς λακτίδιο να σχηματίζει τρεις εναντιομερείς μορφές, το D-λακτίδιο, το L-λακτίδιο και το μεσο-λακτίδιο, που προκύπτουν από δύο D, από δύο L και από ένα D και ένα L μόριο γαλακτικού οξέος αντίστοιχα (Εικόνα 6).

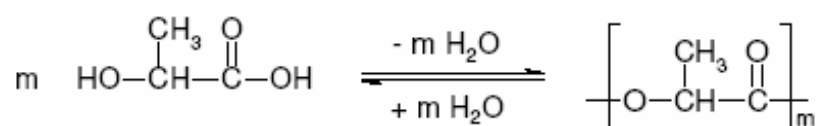


Εικόνα 6. Εναντιομερείς μορφές γαλακτικού οξέος και λακτιδίου.

Η στερεοχημική δομή του PLA και κατ' επέκταση οι ιδιότητές του, μπορούν να ελεγχθούν εύκολα με τη μεταβολή της συγκεντρώσεως των τριών ισομερών μορφών του μονομερούς, δηλαδή του λακτιδίου. Το τελικό προϊόν μπορεί να είναι είτε άμορφο ή κρυσταλλικό, μεγάλου μοριακού βάρους και «θεωρείται γενικά ως ασφαλές» (generally regarded as safe, GRAS). Αν στο μονομερές περιέχεται μεσο-λακτίδιο, το προϊόν έχει μικρή ανθεκτικότητα και σκληρότητα. Επειδή τήκεται στους 175°C και υδρολύεται θερμικά στους 200°C, η περιοχή θερμοκρασιών για την μηχανική επεξεργασία του περιορίζεται μεταξύ 185-190°C. Η θερμοκρασία υαλώδους μεταβάσεως (T_g) είναι 55°C.

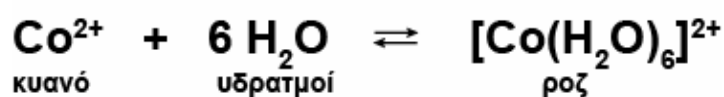
1.4 Αντιδράσεις

Για την εκκίνηση της αντίδρασης εστεροποίησης του γαλακτικού οξέος απαιτείται ένας καταλύτης που θα συμπεριφέρεται ως οξύ κατά Lewis (πολυμερισμός συμπυκνώσεως του γαλακτικού οξέος). Κατά την εστεροποίηση, δύο μόρια γαλακτικού οξέος, όπου το ένα συμπεριφέρεται ως οξύ και το άλλο ως βάση, αντιδρούν και δίνουν ένα διμερές και ένα μόριο νερού (Εικόνα 7). Για τον πολυμερισμό θα χρησιμοποιηθεί ως καταλύτης ένυδρος χλωριούχος κασσίτερος (SnCl_2).



Εικόνα 7. Αντίδραση πολυμερισμού συμπυκνώσεως γαλακτικού οξέος.

Όσο διαρκεί ο πολυμερισμός, παράγεται νερό με μορφή υδρατμών. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί με τη χρήση δείκτη χλωριούχου κοβαλτίου CoCl_2 . Το χλωριούχο κοβάλτιο όταν είναι άνυδρο είναι κυανό (Εικόνα 8), ενώ παρουσία νερού σχηματίζει ενυδατωμένα ιόντα κοβαλτίου με ροζ χρώμα (Εικόνα 10), σύμφωνα με την αντίδραση²:



Εικόνα 8. Δείκτης χωρίς νερό.



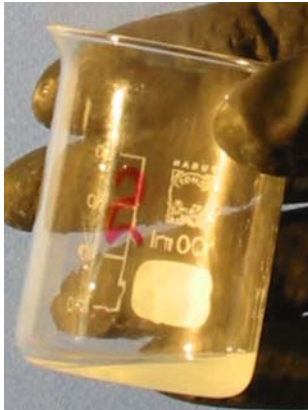
Εικόνα 9. Ανίχνευση υδρατμών με χρήση του δείκτη.



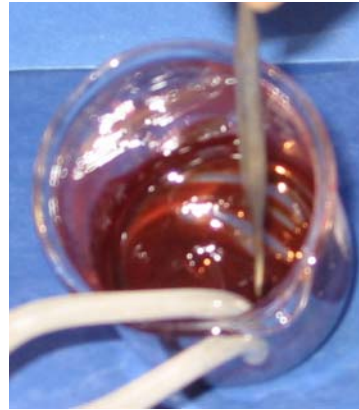
Εικόνα 10. Δείκτης διαποτισμένος με υδρατμούς.

² S. Horn, H. Baker, K. Buchholz: *Plastics from renewable raw materials and biologically degradable plastics from fossil raw materials*, Royal Society of Chemistry.

Το τέλος του πολυμερισμού διαπιστώνεται με την έντονη αλλαγή του χρώματος του προϊόντος από αρχικά διαφανές άχρωμο (Εικόνα 11), σε κιτρινωπό ή ανοικτό καφέ και τελικά σε σκούρο καφέ (Εικόνα 12).



Εικόνα 11. Αρχικό διάλυμα γαλακτικού οξέος και καταλύτη.



Εικόνα 12. Τελικό προϊόν πολυμερισμού.

1.5 Θέρμανση με μικροκύματα

1.5.1 Εισαγωγή

Μέχρι πρόσφατα, η απαραίτητη για πολλές χημικές αντιδράσεις πηγή θερμότητας, είχε τη μορφή είτε λύχνου βουτανίου, είτε συνήθους φούρνου θερμάνσεως. Η θέρμανση με τις πηγές αυτές στηρίζεται στην αγωγή ή μεταφορά της θερμότητας από την πηγή στην επιφάνεια και κατόπιν στο εσωτερικό του θερμαινόμενου σώματος. Οι πηγές αυτές παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα, όπως ανομοιογενή θέρμανση, συνήθως μόνο σε μια μικρή περιοχή κοντά στην πηγή ή στα εξωτερικά τοιχώματα του δοχείου που περιέχει τα αντιδρώντα υλικά, σχετικά ακριβά καύσιμα υλικά, παραγωγή προϊόντων καύσεως που επιβαρύνουν το περιβάλλον, αδυναμία ακριβούς ελέγχου της θερμοκρασίας κ.α.

Σχετικά πρόσφατα άρχισαν να χρησιμοποιούνται ως πηγές θερμάνσεως αντιδραστηρίων οι φούρνοι μικροκυμάτων (microwave heating), είτε οι απλοί οικιακοί με ή χωρίς μετατροπές (Εικόνα 13), είτε ειδικοί εργαστηριακοί φούρνοι μικροκυμάτων με κατάλληλους αισθητήρες μετρήσεως της θερμοκρασίας και της πίεσεως στο χώρο θερμάνσεως (Εικόνα 14).



Εικόνα 13. Οικιακός φούρνος μικροκυμάτων.



Εικόνα 14. Εργαστηριακός φούρνος μικροκυμάτων.
(Milestone Ethos TouchControl, Milestone, Italy, www.milestonesci.com)

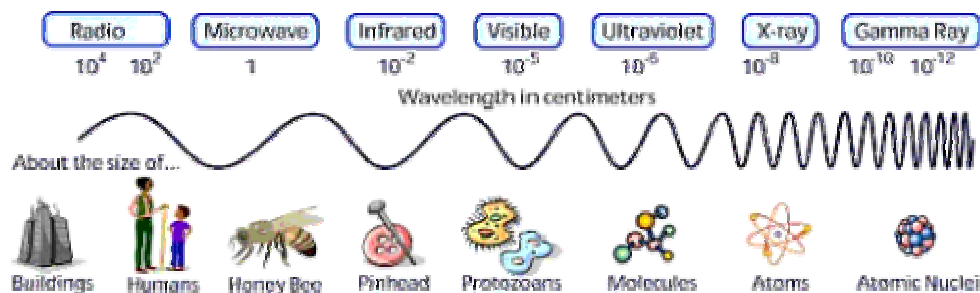
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ο συνδυασμός ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου που ταλαντώνονται (μεταβάλλονται χρονικά) και

ταυτόχρονα διαδίδονται στο χώρο. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ως κύμα, χαρακτηρίζεται από τη συχνότητα f , την περίοδο T και το μήκος κύματος λ , που σχετίζονται με τις σχέσεις:

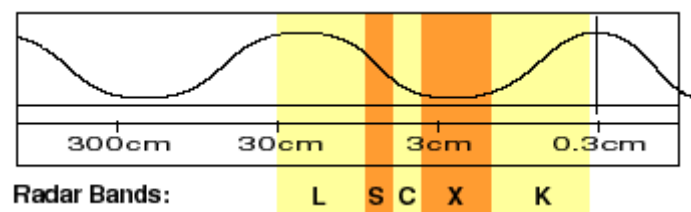
$$f = \frac{1}{T} \quad (1) \quad \text{και} \quad c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (2)$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός με την οποία διαδίδονται όλες οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες.

Είναι γνωστό ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεταφέρει ενέργεια. Έτσι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη χημεία, διότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική πηγή θερμότητας σε μια μεγάλη ποικιλία αντιδράσεων. Το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Εικόνα 15) με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη χημεία είναι τα μικροκύματα. Το εύρος συχνοτήτων των μικροκυμάτων κυμαίνεται από 300 MHz έως 300 GHz και τα αντίστοιχα μήκη κύματος είναι από 1 m έως 1 mm (Εικόνα 16).



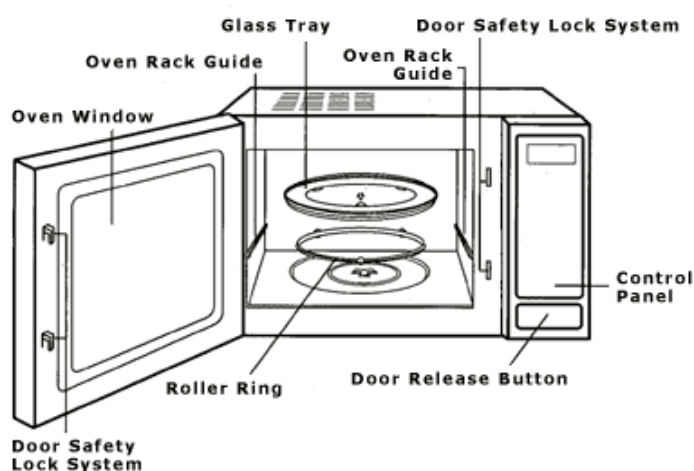
Εικόνα 15. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συχνοτήτων.



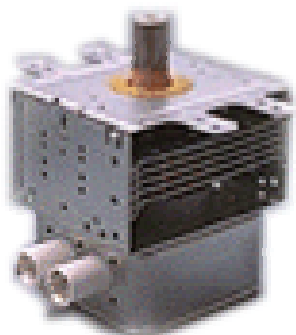
Εικόνα 16. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα της περιοχής των μικροκυμάτων.

Τα μεγαλύτερου μήκους μικροκύματα, της τάξεως των μερικών εκατοστών, χρησιμοποιούνται στους (οικιακούς ή εργαστηριακούς) φούρνους μικροκυμάτων για τη θέρμανση αντικειμένων (τροφών ή χημικών αντιδραστηρίων). Τα μικροκύματα εξαναγκάζουν σε ταλάντωση τα μόρια των αντικειμένων που τοποθετούμε στους φούρνους, λόγω της οποίας αυτά συγκρούονται μεταξύ τους και τα αντικείμενα θερμαίνονται. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση των μικροκυμάτων για τη θέρμανση υλικών είναι αυτά να παρουσιάζουν πολικότητα. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η διηλεκτρική σταθερά των υλικών τόσο μεγαλύτερη είναι η ταλάντωση των μορίων του και συνεπώς η αντίστοιχη απορρόφηση θερμότητας από τα μικροκύματα της κοιλότητας. Τέτοια πολικά υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται στη χημεία ως διαλύτες είναι το νερό, η μεθανόλη, το διμεθυλοφομαμίδιο και η διγλύμη.

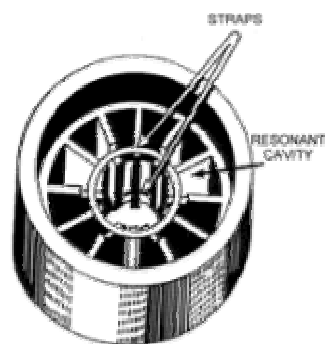
Τα κύρια μέρη ενός φούρνου μικροκυμάτων (Εικόνα 17) είναι μία πηγή παραγωγής μικροκυμάτων, η λυχνία μάγνητρον (Εικόνες 18 και 19), και η μεταλλική κοιλότητα μέσα στην οποία διοχετεύονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που παράγει η πηγή και τοποθετούνται τα αντιδραστήρια. Η κοιλότητα έχει κατάλληλες διαστάσεις, ώστε να σχηματίζονται στάσιμα κύματα, των οποίων η ενέργειά τους παραμένει εγκλωβισμένη μέσα στην κοιλότητα. Επειδή τα στάσιμα κύματα αποτελούνται από δεσμούς μηδενικού πλάτους και κοιλίες μέγιστου πλάτους, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται δεν είναι ομογενές. Για την κατά το δυνατό ομογενή θέρμανση των αντικειμένων, πρέπει να περιστρέφονται είτε τα αντικείμενα είτε η πηγή ακτινοβολίας.



Εικόνα 17. Οικιακός φούρνος μικροκυμάτων.



Εικόνα 18. Λυχνία μάγνητρον.



Εικόνα 19. Σχηματικό διάγραμμα της λυχνίας μάγνητρον.

Για την αποφυγή παρεμβολών με άλλες τηλεπικοινωνιακές συσκευές, η συνήθης συχνότητα λειτουργίας των περισσότερων οικιακών συσκευών είναι 2450 MHz ή 2,450 GHz, ενώ το αντίστοιχο μήκος κύματος $\lambda=0,122$ m ή 12,2 cm. Στη συχνότητα αυτή παράγουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα κατάλληλου μήκους κύματος που απορροφούνται από το νερό, τα λίπη και έλαια και τους υδατάνθρακες, ενώ αντίθετα δεν απορροφούνται από πολλά άλλα κοινά υλικά όπως το γυαλί, το χαρτί, το πλαστικό (πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο, νάυλον, τεφλόν) και τα κεραμικά που συνήθως χρησιμοποιούνται ως υλικά κατασκευής σκευών και δοχείων. Τέλος τα μικροκύματα ανακλώνται σχεδόν πλήρως από τα μέταλλα. Αυτός είναι και ο λόγος κατασκευής της κοιλότητας των φούρνων από μεταλλικά υλικά.

Η χρήση των φούρνων μικροκυμάτων για την υποβοήθηση των χημικών αντιδράσεων ή «**χημεία MORE**» (**MicrowaveOven – induced Reaction Enhancement**) που παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και ορισμένα μειονεκτήματα συγκριτικά με τους συνηθισμένους τρόπους θερμάνσεως³. Συγκεκριμένα:

- Μειώνουν τη διάρκεια θερμάνσεως (στις αντιδράσεις πολυμερισμού έχει διαπιστωθεί συντόμευση της διάρκειας της αντιδράσεως κατά εβδομήντα φορές),

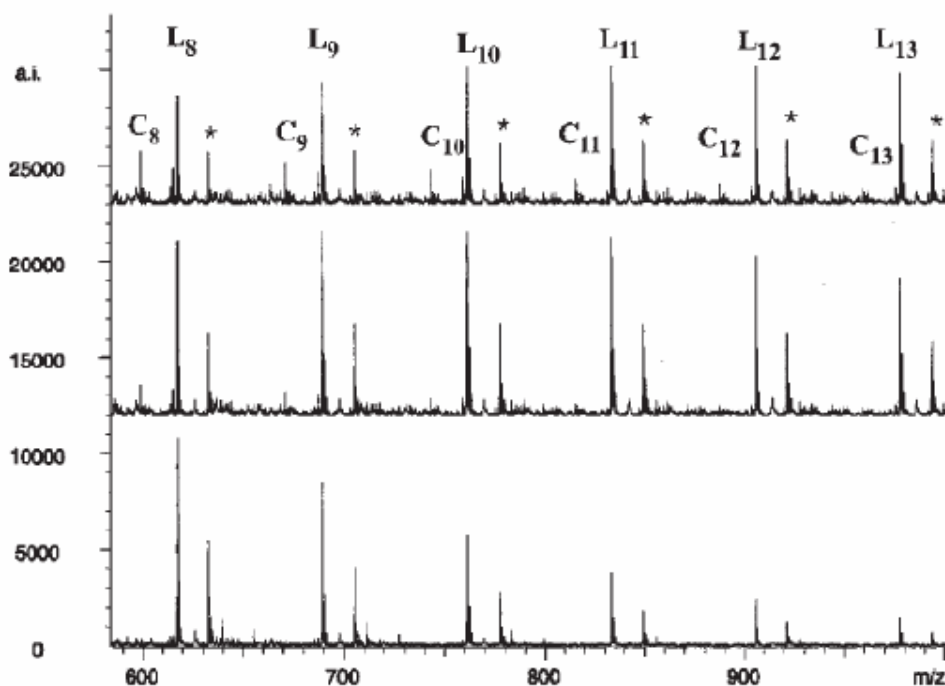
³ U. S. Schubert et al: *Microwave-Assisted Polymer Synthesis: State-of-the-Art and Future Perspectives*, *Macromolecular Rapid Communications*, 2004, 25, 1739-1764.

- Αυξάνουν την απόδοση των αντιδράσεων (70-90% του θεωρητικού μέγιστου),
- Προσφέρουν ομογενή θέρμανση όλης της μάζας των αντιδρώντων (η θερμότητα δεν μεταφέρεται από το εξωτερικό προς το εσωτερικό, αλλά κατανέμεται ομογενώς και τα εξωτερικά στρώματα του υλικού δεν κινδυνεύουν να αλλοιωθούν λόγω υπερθερμάνσεως),
- Εξοικονομούν ενέργεια (λόγω της φθηνότερης ηλεκτρικής ενέργειας και της μείωσης της διάρκειας θερμάνσεως),
- Βελτιώνουν την απόδοση ορισμένων αντιδράσεων (εκλεκτικότητα),
- Δίνουν καθαρά προϊόντα, κυρίως λόγω της μειωμένης θερμικής διασπάσεως και συνεπώς δεν απαιτούνται πρόσθετες διαδικασίες καθαρισμού,
- Απαιτούν μικρές ποσότητες διαλυτών έως και καθόλου με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους των προϊόντων και προστασία του περιβάλλοντος

ενώ ταυτόχρονα:

- Είναι κατάλληλες για τη θέρμανση μόνο πολικών ουσιών,
- Οι απλές οικιακές συσκευές παρουσιάζουν ορισμένα προβλήματα ασφάλειας,
- Μπορεί να προκαλούν τον αποπολυμερισμό των πολυμερών προϊόντων όταν χρησιμοποιούνται σε αντιδράσεις πολυμερισμού (Εικόνα 20).

Ήδη κατασκευάζονται εργαστηριακοί φούρνοι μικροκυμάτων που έχουν μικρό χώρο θερμάνσεως, ικανό να δεχτεί μόνο ένα δοχείο που θα περιέχει τα αντιδρώντα υλικά. Στο μικρό αυτό χώρο επιτυγχάνεται ομογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και συνεπώς ομογενής θέρμανση, με αποτέλεσμα να καθίσταται περιττή η περιστροφή των δοχείων ή του πεδίου. Τα δοχεία μπορούν να σφραγίζονται ώστε να μπορεί να ελεγχθεί η πίεση, ενώ με κατάλληλο ανιχνευτή υπερύθρων (IR) είναι δυνατό να μετρηθεί με ακρίβεια η θερμοκρασία κοντά στα τοιχώματα του δοχείου. Έτσι γίνεται δυνατός ο έλεγχος των συνθηκών της αντιδράσεως καθώς και η δυναμική ρύθμιση της ισχύος του φούρνου ώστε να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Εικόνα 20. Φάσμα δείγματος πολυμερούς με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας μαζών. (Τα τρία φάσματα αντιστοιχούν από κάτω προς τα επάνω σε θέρμανση διάρκειας 10, 20 και 30 λεπτών. Η παρατεταμένη θέρμανση (30 λεπτά) προκαλεί σχηματισμό κυκλικών ολιγομερών με 8 έως 13 άτομα άνθρακα που προκύπτουν από τον αποπολυμερισμό του πολυμερούς).

1.5.2 Οδηγίες ασφαλούς χρήσεως του φούρνου μικροκυμάτων

Η μικροκυματική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι μη ιονίζουσα, αλλά έχει σημαντικές επιδράσεις στον οργανισμό των έμβιων όντων. Συνεπώς η χρήση της θα πρέπει να γίνεται με προσοχή και μόνο όταν δεν μπορεί να αποφευχθεί. Διεθνώς έχουν οριστεί διάφορα επίπεδα εκθέσεως σε μικροκυματική ακτινοβολία που ποικίλουν από 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (για διάρκεια 20 λεπτών) μέχρι 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ για συνεχή έκθεση.

Η ισχύς των μικροκυμάτων έχει μετρηθεί 180-700 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ μπροστά στο φούρνο και μικρότερη από 1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ σε απόσταση μισού μέτρου.

Συνεπώς είναι συνετό να τηρείται αυτή η απόσταση ασφαλείας και να αποφεύγεται η άσκοπη παραμονή μπροστά στο φούρνο μικροκυμάτων.

Κατά τη λειτουργία του φούρνου μικροκυμάτων πρέπει η πόρτα του φούρνου να κλείνει ερμητικά (αεροστεγώς) και να μην έχει ρωγμές. Η έκθεση σε μικροκυματική ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα, των οποίων η έκταση εξαρτάται από την απόσταση από την πηγή, τη διάρκεια της εκθέσεως και την ονομαστική ισχύ της πηγής. Για λόγους ασφαλείας, οι φούρνοι είναι κατασκευασμένοι ώστε να διακόπτεται η λειτουργία της πηγής μικροκυμάτων, όταν ανοίγει η πόρτα.

Τέλος δεν πρέπει να τοποθετούμε σε φούρνο μικροκυμάτων:

- Εύφλεκτα ή εκρηκτικά υλικά, διότι μέσα στο φούρνο παράγονται συχνά σπινθήρες που μπορεί να προκαλέσουν ανάφλεξη ή έκρηξη,
- Μεταλλικά αντικείμενα διότι αλλοιώνουν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο,
- Διαβρωτικά υλικά που μπορεί να καταστρέψουν το προστατευτικό μεταλλικό περίβλημα του φούρνου,
- Κλειστά δοχεία χωρίς τις ειδικές βαλβίδες ασφαλείας.

2 Πειραματικό μέρος

2 Πειραματικό μέρος

2.1 Σκοποί του πειράματος

- Ο πολυμερισμός του γαλακτικού οξέος για την παρασκευή πολυγαλακτικού οξέος με θέρμανση σε απλό οικιακό φούρνο μικροκυμάτων παρουσία καταλύτη $\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$,
- Η μορφοποίηση του παραγόμενου πολυγαλακτικού οξέος,
- Ο προσδιορισμός της πυκνότητας του παραγόμενου πολυγαλακτικού οξέος.

2.2 Στόχοι του πειράματος

- Κατανόηση του πολυμερισμού συμπυκνώσεως του γαλακτικού οξέος,
- Κατανόηση της επιδράσεως των συνθηκών πολυμερισμού στις ιδιότητες του παραγόμενου προϊόντος,
- Κατανόηση της επιδράσεως των ιδιοτήτων του πολυμερούς στα τελικά χρηστικά προϊόντα,
- Χαρακτηρισμός πολυμερούς (μέσω της πυκνότητας ή άλλης ιδιότητας),
- Ανάδειξη των ωφελειών από τη χρήση μικροκυμάτων.

2.3 Απαιτούμενα υλικά και αντιδραστήρια

- Ηλεκτρονικός ζυγός (Εικόνα 21)
- Ποτήρι ζέσεως 50 mL
- Σπάτουλα
- Ογκομετρικός κύλινδρος
- Οικιακός φούρνος μικροκυμάτων (Εικόνα 22)
- Φύλλο αλουμινίου

- Δοκιμαστικός σωλήνας
- Χαρτί διηθήσεως
- Σιφώνιο
- Πιστολάκι θερμάνσεως (Εικόνα 23)
- Γύψινο καλούπι (Εικόνα 24)



Εικόνα 21. Ηλεκτρονικός ζυγός.



Εικόνα 22. Οικιακός φούρνος μικροκυμάτων.








Εικόνα 23. Πιστολάκι θερμάνσεως.



Εικόνα 24. Γύψινο καλούπι.

2.4 Απαιτούμενα αντιδραστήρια

- Ρακεμικό μίγμα γαλακτικού οξέος (5 mL) 
- Ένυδρος χλωριούχος κασσίτερος σε κρυσταλλική μορφή ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 
- Ένυδρο χλωριούχο κοβάλτιο ($\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 
- Χρωστική ουσία 
- Κορεσμένο διάλυμα ιωδιούχου καλίου (KI) 



Εικόνα 25. Απαραίτητα αντιδραστήρια.

(Από αριστερά προς τα δεξιά, πίσω: κρύσταλλοι χλωριούχου κοβαλτίου, διάλυμα γαλακτικού οξέος, ένυδρο χλωριούχο κοβάλτιο, μπροστά: ιωδιούχο κάλιο, χρωστική ουσία, διηθητικό χαρτί).

2.5 Υγιεινή και Ασφάλεια

Φοράμε εργαστηριακή μπλούζα και προστατευτικά γυαλιά και κατά τη χρήση του φούρνου μικροκυμάτων απαραίτητα προστατευτικά γάντια. Ο καταλύτης ερεθίζει τα μάτια και το δέρμα και είναι επικίνδυνος με οξειδωτικές ενώσεις, όπως νιτρικά άλατα και τα υπεροξειδία. Η χρωστική ουσία είναι τοξική. Περισσότερες πληροφορίες για την ασφάλεια των αντιδραστηρίων υπάρχουν στα αντίστοιχα φύλλα δεδομένων ασφάλειας υλικών που επισυνάπτονται στο Παράρτημα (σελ. 41).

2.6 Πειραματική διαδικασία

2.6.1 Παρασκευή του δείκτη χλωριούχου κοβαλτίου

Σε ποτήρι ζέσεως ρίχνουμε 25 mL αποσταγμένου νερού και προσθέτουμε 1 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Το διάλυμα αποκτά ζωηρό κόκκινο χρώμα. Κατόπιν αναδεύουμε το διάλυμα και εμβαπτίζουμε διηθητικό χαρτί κομμένο σε στενές λωρίδες (Εικόνα 26).



Εικόνα 26. Παρασκευή δείκτη χλωριούχου κοβαλτίου.

2.6.2 Παρασκευή πολυγαλακτικού οξέος

Τοποθετούμε ποτήρι ζέσεως στον ηλεκτρονικό ζυγό και τον μηδενίζουμε. Με μια μικροσπάτουλα προσθέτουμε 0,250 g κρυστάλλων καταλύτου SnCl_2 . Λαμβάνουμε με ένα ογκομετρικό σωλήνα ποσότητα 5 mL διαλύματος ρακεμικού μίγματος γαλακτικού οξέος. Προσθέτουμε τα 5 mL του διαλύματος του γαλακτικού οξέος στο ποτήρι ζέσεως και το ζυγίζουμε (Εικόνα 27). Τοποθετούμε το ποτήρι ζέσεως με το διάλυμα του γαλακτικού οξέος και τον καταλύτη στο φούρνο μικροκυμάτων. Για να μπορέσει να γίνει ο πολυμερισμός σωστά, θα πρέπει να τοποθετηθούν ταυτόχρονα τέσσερα ποτήρια ζέσεως, ένα από κάθε μία ομάδα εκπαιδευομένων (Εικόνα 28).



Εικόνα 27. Προετοιμασία και ζύγιση διαλύματος γαλακτικού οξέος και διαλύτη.

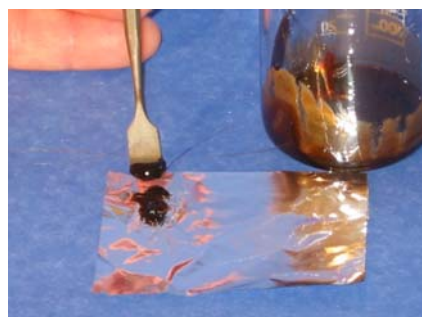


Εικόνα 28. Θέρμανση και πολυμερισμός δειγμάτων γαλακτικού οξέος.

Ρυθμίζουμε την ισχύ λειτουργίας του φούρνου μικροκυμάτων στα 800 Watt και τη διάρκεια θέρμανσεως στα πέντε λεπτά (Εικόνα 29). Μετά από μισό λεπτό, αφαιρούμε το ποτήρι ζέσεως και το αναδεύουμε ώστε να αναμιχθεί ο καταλύτης στο διάλυμα γαλακτικού οξέος. Μετά από 2,5 λεπτά λαμβάνουμε με μια μικροσπάτουλα, μικρό δείγμα και το τοποθετούμε επάνω σε φύλλο αλουμινίου (Εικόνα 30), το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του προϊόντος (σελ. 26).



Εικόνα 29. Ρυθμίσεις φούρνου μικροκυμάτων.



Εικόνα 30. Λήψη πρώτου δείγματος πολυμερούς.

Κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού παρατηρούμε έντονη παραγωγή υδρατμών, που οφείλονται αρχικά στο νερό του υδατικού διαλύματος του γαλακτικού οξέος και στη συνέχεια στο νερό που δημιουργείται κατά τον πολυμερισμό συμπυκνώσεως του γαλακτικού οξέος (Εικόνα 31). Μετά το πέρας του πολυμερισμού, αφαιρούμε τα ποτήρια ζέσεως και με τη μικροσπάτουλα λαμβάνουμε μικρή ποσότητα πολυμερούς και την τοποθετούμε στο φύλλο αλουμινίου μαζί με το δείγμα που πήραμε στα 2,5 λεπτά (Εικόνα 32), για τη σύγκριση των ιδιοτήτων τους και τη διαπίστωση της επιδράσεως σε αυτές του χρόνου πολυμερισμού.



Εικόνα 31. Εξάτμιση νερού από το ποτήρι ζέσεως.



Εικόνα 32. Δείγματα πολυμερούς (αριστερά το πρώτο και δεξιά το δεύτερο δείγμα).

Παρατήρηση: Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την τοποθέτηση και απομάκρυνση των ποτηριών ζέσεως στο φούρνο μικροκυμάτων λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αποκτούν.

2.6.3 Μορφοποίηση του προϊόντος

Στο στάδιο αυτό εργαζόμαστε ανά δύο εκπαιδευόμενοι, ώστε η ποσότητα πολυμερούς να αρκεί για την κατασκευή ενός αντικειμένου ικανοποιητικών διαστάσεων. Θερμαίνουμε με ειδικό θερμαντικό πιστόλι το ένα ποτήρι ζέσεως, ώστε να τακεί και να το μεταφέρουμε στο δεύτερο ποτήρι ζέσεως (Εικόνα 33). **Ο συγκεκριμένος χειρισμός πρέπει να γίνει προσεκτικά και με τη χρήση κατάλληλης λαβίδας, διότι υπάρχει κίνδυνος εγκαύματος από το πιστόλι θέρμανσεως.** Διατηρώντας θερμό το πολυμερές με τη βοήθεια του θερμαντικού πιστολιού, αναμιγνύουμε καλά το προϊόν. Αν επιθυμούμε να αλλάξουμε το χρώμα του προϊόντος, προσθέτουμε μικρή ποσότητα χρωστικής ουσίας (Εικόνα 34). Η χρωστική ουσία είναι τοξική για αυτό πρέπει να αποφεύγεται η άμεση επαφή μαζί της.



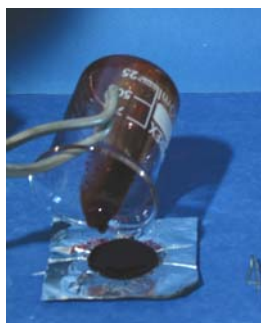
Εικόνα 33. Θέρμανση και συνένωση δύο ποσοτήτων πολυμερούς.



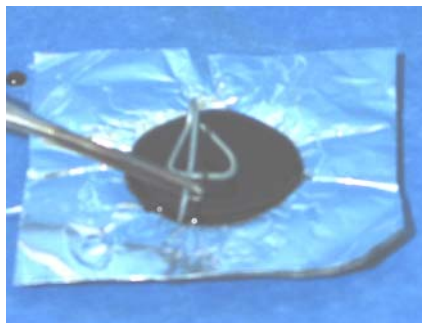
Εικόνα 34. Προσθήκη χρωστικής ουσίας.

Με τη βοήθεια του πιστολιού θέρμανσεως, αναμιγνύουμε την χρωστική ουσία και αδειάζουμε το πολυμερές στο γύψινο καλούπι που έχουμε (Εικόνα 35)⁴. Κατασκευάζουμε από λεπτό σύρμα μικρή μεταλλική καρφίτσα και την βυθίζουμε στο πολυμερές ενώ είναι ακόμα θερμό και υγρό (Εικόνα 36).

⁴ Οδηγίες για την κατασκευή γύψινου καλουπιού δίνονται στο Παράρτημα (σελ. 39).



Εικόνα 35. Τοποθέτηση πολυμερούς στο γύψινο καλούπι.



Εικόνα 36. Προσθήκη μεταλλικής καρφίτσας.

Αφήνουμε το πολυμερές να κρυώσει περίπου πέντε λεπτά και μετά αφαιρούμε προσεκτικά τη γύψινη βάση και το φύλλο αλουμινίου (Εικόνα 37) και λαμβάνουμε το τελικό μορφοποιημένο προϊόν (Εικόνα 38).



Εικόνα 37. Αποκόλληση καλουπιού.



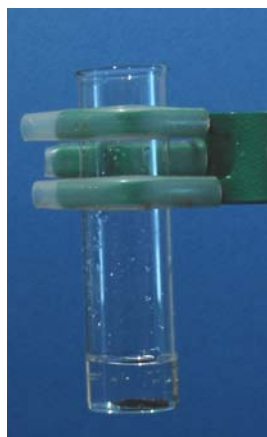
Εικόνα 38. Τελικό μορφοποιημένο προϊόν.

2.6.4 Προσδιορισμός πυκνότητας πολυμερούς

Για τον υπολογισμό της πυκνότητας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο της μέτρησης του όγκου (V) και της ζύγισης της μάζας (m) ενός δείγματος, οπότε η πυκνότητα ρ θα προκύψει από τη σχέση:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Εναλλακτικά θα χρησιμοποιηθεί μία άλλη μέθοδος προσδιορισμού της πυκνότητας πολυμερών⁵. Λαμβάνουμε από το τελικό δείγμα του παραχθέντος πολυμερούς, περίπου 0,5 cm x 0,5 cm, το τοποθετούμε σε μικρό δοκιμαστικό σωλήνα και προσθέτουμε περίπου 1-2 mL αποσταγμένου νερού. Παρατηρούμε ότι το πολυμερές επειδή είναι πυκνότερο καταβυθίζεται (Εικόνα 39). Λαμβάνουμε με βαθμολογημένο σιφώνιο ποσότητα κορεσμένου υδατικού διαλύματος ιωδιούχου καλίου ή νατρίου (KI ή NaI) και αρχίζουμε να προσθέτουμε σταγόνες στο δοκιμαστικό σωλήνα μέχρι το πολυμερές να αιωρείται αλλά να μην επιπλέει (Εικόνα 40).



Εικόνα 39. Εμβάπτιση δείγματος σε δοκιμαστικό σωλήνα με αποσταγμένο νερό.



Εικόνα 40. Προσθήκη σταγόνων κορεσμένου διαλύματος ιωδιούχου καλίου.

⁵ G E Anderson: *A simpler small scale method for the identification of plastics*, Journal of Chemical Education, 1996, 73, 8, p. A173.

Όταν το δείγμα αιωρείται μέσα στο υδατικό διάλυμα λαμβάνουμε με το σιφώνιο πλήρωσεως 1 mL του διαλύματος και το ζυγίζουμε. Η ένδειξη που θα πάρουμε είναι το βάρος ανά 1 mL διαλύματος και άρα η πυκνότητά του. Συνεπώς η πυκνότητα του πολυμερούς θα είναι:

$$\rho_{\text{πολυμερούς}} = \rho_{\text{διαλύματος}} = \frac{m}{V} = \frac{m_{1\text{mL}}}{1\text{mL}} (\text{g} / \text{cc}) \quad (4)$$

2.7 Διάθεση αποβλήτων του πειράματος

Τα προϊόντα του πολυμερισμού μπορούν να διατεθούν όπως όλα τα οικιακά απόβλητα. Πρόκειται για πολυμερή μικρού μοριακού βάρους που όπως αναφέρθηκε αποικοδομούνται σχετικά εύκολα. Οι δείκτες και το διάλυμα ιωδιούχου καλίου είναι επαναχρησιμοποιήσιμα.

3 Συμπεράσματα

3 Συμπεράσματα

Στο πείραμα που παρουσιάστηκε κατασκευάστηκε ένα πολυμερές γαλακτικού οξέος. Μέσα από το πείραμα αναδεικνύονται αρκετές από τις αρχές της Πράσινης Χημείας. Συγκεκριμένα:

- Δεν γίνεται χρήση οργανικών διαλυτών ή άλλων τοξικών ουσιών,
- Χρησιμοποιήθηκε φούρνος μικροκυμάτων αντί συμβατικής πηγής θερμότητας,
- Τα παραγόμενα υποπροϊόντα μειώνονται σημαντικά,
- Τα παραγόμενα προϊόντα είναι αποικοδομήσιμα και οι παραγόμενες χημικές ενώσεις ακίνδυνες για το περιβάλλον,
- Η συνολική διαδικασία παραγωγής των τελικών προϊόντων καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από ότι άλλα συμβατικά πλαστικά (της τάξεως 20-50%).

Εφόσον ενταχθεί σε ένα ευρύτερο κύκλο εργαστηριακών ασκήσεων με περισσότερο διαθέσιμο χρόνο, το πείραμα μπορεί να εμπλουτισθεί με τη μελέτη περισσότερων φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των πολυμερών και με τη μελέτη της επίδρασης της σύστασης του γαλακτικού οξέος στις ιδιότητες του παραγομένου πολυμερούς. Επίσης μπορεί να προστεθεί ένα πείραμα σύνθεσης γαλακτικού μεθυλεστέρα και να μελετηθεί η διαλυτική του ικανότητα, ώστε να αναδειχθεί η πολύπλευρη σημασία του γαλακτικού οξέος στη χημική βιομηχανία.

4 Παράρτημα

4 Παράρτημα

- 4.1 Προεργαστηριακές ερωτήσεις**
- 4.2 Μεταεργαστηριακές ερωτήσεις**
- 4.3 Απαντήσεις στις προεργαστηριακές ερωτήσεις**
- 4.4 Απαντήσεις στις μεταεργαστηριακές ερωτήσεις**
- 4.5 Εργαστηριακή αναφορά**
- 4.6 Διαδικασία επιλογής του πειράματος**
- 4.7 Κατασκευή γύψινου καλουπιού για τη μορφοποίηση του πολυμερούς**
- 4.8 Φύλλα Δεδομένων Ασφαλείας Υλικών των αντιδραστηρίων του πειράματος**

4.1 Προεργαστηριακές ερωτήσεις

1. Ποιοι είναι οι τρόποι πολυμερισμού του γαλακτικού οξέος. Να γραφούν οι αντίστοιχες χημικές αντιδράσεις.

.....

.....

.....

.....

.....

2. Ποιος είναι ο ρόλος του χλωριούχου κοβαλτίου στο πείραμα;

.....

.....

.....

.....

.....

3. Ποιος είναι ο ρόλος του χλωριούχου κασσιτέρου στο πείραμα;

.....

.....

.....

.....

.....

4.2 Μεταεργαστηριακές ερωτήσεις

1. Ποια επίδραση πιστεύετε ότι μπορεί να έχει η αλλαγή της ποσότητας του χλωριούχου κασσιτέρου στις φυσικές ιδιότητες του πολυμερούς που παράγεται;

.....
.....
.....
.....

2. Ποια επίδραση θα είχε η αλλαγή της ισχύος του φούρνου μικροκυμάτων στο προϊόν του πολυμερισμού;

.....
.....
.....
.....
.....

3. Μπορείτε να κατασκευάσετε ένα διάγραμμα ροής της διαδικασίας μετρήσεως της πυκνότητας του πολυμερούς;

4.3 Απαντήσεις στις προεργαστηριακές ερωτήσεις

1. Ποιοι είναι οι τρόποι πολυμερισμού του γαλακτικού οξέος. Να γραφούν οι αντίστοιχες χημικές αντιδράσεις.

Το γαλακτικό οξύ μπορεί να πολυμεριστεί: α) με πολυμερισμό συμπυκνώσεως και προαιρετικά σύζευξη αλυσίδων, β) με αζεοτροπική συμπύκνωση και γ) με αρχικό πολυμερισμό συμπυκνώσεως, αποπολυμερισμό και σχηματισμό των λακτιδίων και τελικά με πολυμερισμό των λακτιδίων με το μηχανισμό διανοίξεως δακτυλίου.

Οι αντίστοιχες αντιδράσεις εμφανίζονται στην εικόνα 5 (σελίδα 6).

2. Ποιος είναι ο ρόλος του χλωριούχου κοβαλτίου στο πείραμα;

Το άνυδρο ιόν του κοβαλτίου είναι κυανό, ενώ παρουσία νερού σχηματίζει ενυδατωμένα σύμπλοκα ροζ χρώματος. Έτσι το χλωριούχο κοβάλτιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση του νερού που παράγεται κατά τον πολυμερισμό του γαλακτικού οξέος, ώστε να διαπιστωθεί ο μηχανισμός του πολυμερισμού.

3. Ποιος είναι ο ρόλος του χλωριούχου κασσιτέρου στο πείραμα;

Ο χλωριούχος κασσίτερος χρησιμοποιείται ως καταλύτης για την εκκίνηση της αντίδρασεως πολυμερισμού.

4.4 Απαντήσεις στις μεταεργαστηριακές ερωτήσεις

1. Ποια επίδραση πιστεύετε ότι μπορεί να έχει η αλλαγή της ποσότητας του χλωριούχου κασσιτέρου στις φυσικές ιδιότητες του πολυμερούς που παράγεται;

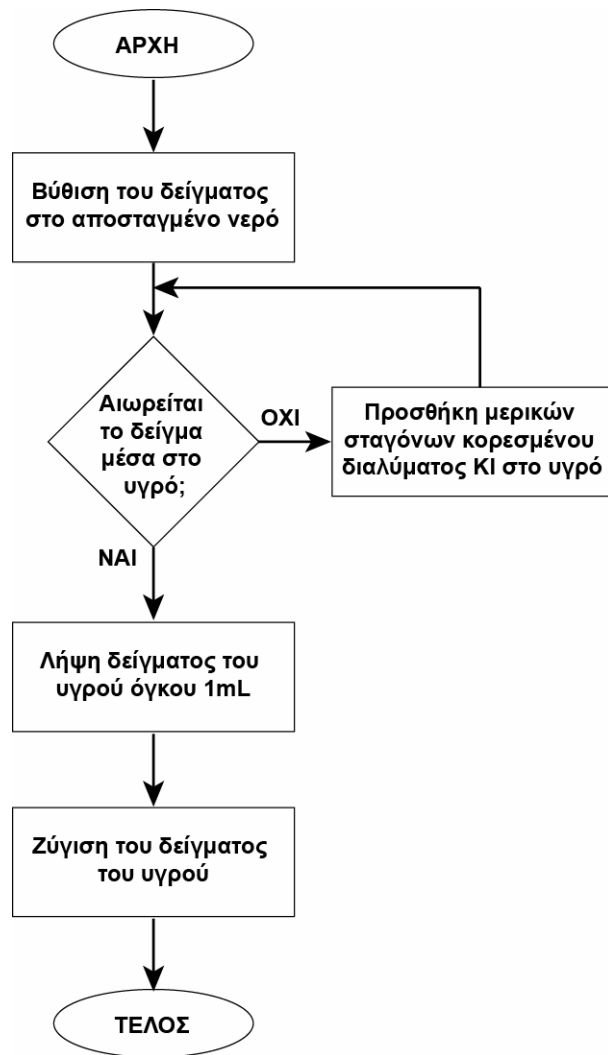
Μείωση της ποσότητας του καταλύτη θα επιβραδύνει τον πολυμερισμό του γαλακτικού οξέος αφού θα υπάρχουν λιγότερα κέντρα (μόρια καταλύτη) για την εκκίνηση του πολυμερισμού. Ο πολυμερισμός θα πρέπει να διαρκέσει περισσότερο χρόνο και το παραγόμενο προϊόν θα έχει μεγαλύτερο μοριακό βάρος. Αντίθετα, αύξηση της ποσότητας του καταλύτη θα επιταχύνει τον πολυμερισμό, ενώ θα σχηματιστεί πολυμερές μικρότερου μοριακού βάρους.

Η διαφορά μοριακού βάρους θα εκφραστεί στις φυσικές ιδιότητες του παραγόμενου προϊόντος.

2. Ποια επίδραση θα είχε η αλλαγή της ισχύος του φούρνου μικροκυμάτων στο προϊόν του πολυμερισμού;

Η ισχύς του φούρνου μικροκυμάτων, όπως και η θερμοκρασία αλλά και η διάρκεια πολυμερισμού, πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά διότι υπερβολική θέρμανση θα προκαλέσει έντονο αποπολυμερισμό του προϊόντος.

3. Μπορείτε να κατασκευάσετε ένα διάγραμμα ροής της διαδικασίας μέτρησης της πυκνότητας του πολυμερούς;



Σχήμα 1. Διαδικασία προσδιορισμού της πυκνότητας του παραγόμενου πολυμερούς.

4.5 Εργαστηριακή αναφορά

Τίτλος: Πολυμερισμός γαλακτικού οξέος και προσδιορισμός της πυκνότητας του παραγόμενου προϊόντος

Ονοματεπώνυμο:

Ημερομηνία:

I. Πολυμερισμός γαλακτικού οξέος

Ιδιότητες αρχικού διαλύματος αντιδρώντων (αρχικά):

.....

.....

Ιδιότητες προϊόντος μετά από 2,5 λεπτά θέρμανσεως (ενδιάμεσο στάδιο):.....

.....

.....

Ιδιότητες προϊόντος μετά από 5 λεπτά θέρμανσεως (τελικά):

.....

.....

II. Προσδιορισμός πυκνότητας πολυμερούς

1. Επιλέξτε την σωστή απάντηση: Σε καθαρό αποσταγμένο νερό, το παραγόμενο προϊόν:

- Επιπλέει
- Βυθίζεται
- Αιωρείται

2. Προσδιορισμός πυκνότητας πολυμερούς (g/cc):

3. Δίνεται ο παρακάτω πίνακας πυκνοτήτων μερικών διαδεδομένων πολυμερών. Να κατατάξετε το πολυγαλακτικό οξύ με κριτήριο την πυκνότητα στον πίνακα αυτό.

A/A	Πολυμερές	Πυκνότητα (g/cc)
1	Πολυπροπυλένιο (PP)	0,89-0,92
2	Πολυαιθυλένιο (PE)	0,91-0,98
3	Πολυστυρένιο (PS)	1,04-1,06
4	Τερεφθαλικός αιθυλεστέρας (PET)	1,35
5	Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (Teflon)	2,2

4.6 Διαδικασία επιλογής του πειράματος

Αρχική μας σκέψη για την παραγωγή του πολυγαλακτικού οξέος ήταν η σύνθεσή του με πρώτη ύλη το άμυλο και ακολουθώντας όλα τα ενδιάμεσα βήματα, δηλαδή την υδρόλυση του αμύλου προς γλυκόζη, την ζύμωση της γλυκόζης προς γαλακτικό οξύ, τον πολυμερισμό του γαλακτικού οξέος προς PLA και τέλος τη διαδικασία βιοαποικοδόμησης του PLA πάλι προς γαλακτικό οξύ. Έτσι θα γινόταν φανερός ο κύκλος που δημιουργείται μεταξύ πρώτων υλών και τελικών προϊόντων, και θα αναδεικνύονταν η σημασία των ανανεώσιμων πρώτων υλών και η συνεισφορά της Πράσινης Χημείας.

Τα στάδια της υδρολύσεως του αμύλου, της γαλακτικής ζυμώσεως της γλυκόζης και της υδρολύσεως του τελικού πολυμερούς προϊόντος, διαρκούν από αρκετές ώρες μέχρι και μήνες, και δεν προσφέρονται ως εκπαιδευτικά πειράματα στα πλαίσια αυτονόμων και συντόμων διαλέξεων. Εξάλλου, ήδη κάποια άλλα εκπαιδευτικά πειράματα άλλων ομάδων, περιέχουν κάποιες παραπλήσιες διαδικασίες (π.χ. βιοκαταλυτική υδρόλυση λακτόζης, υδρόλυση αμύλου για την παρασκευή συγκολλητικών υλικών κλπ).

Έτσι επελέγη μόνο το στάδιο του πολυμερισμού, που μπορεί να υλοποιηθεί μέσα στα χρονικά πλαίσια που ετέθησαν από την εκπαιδευτική διαδικασία του μαθήματος (περίπου 1 ώρα προεργαστηριακή διάλεξη και διενέργεια πειραμάτων επιδείξεως και μέχρι 2 ώρες για το εργαστηριακό μέρος που θα υλοποιηθεί από τους σπουδαστές).

Για τον πολυμερισμό, αρχικά διερευνήθηκε η μέθοδος βιομηχανικής παρασκευής πολυγαλακτικού οξέος μεγάλου μοριακού βάρους, που χρησιμοποιεί η εταιρία Cargill Dow, αλλά οι συνθήκες και ο απαιτούμενος εξοπλισμός κατέστησαν μη εφικτή αυτήν την επιλογή. Έτσι τελικά επελέγη η υλοποίηση πειράματος παρασκευής πολυγαλακτικού οξέος μικρού σχετικά μοριακού βάρους, που είναι σημαντικά απλούστερη. Η επιλογή αυτή δεν στερείται εκπαιδευτικού περιεχομένου και ενδιαφέροντος, διότι επιτυγχάνει να αναδείξει τη χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών για την παραγωγή ποικιλίας χρήσιμων και βιοαποικοδομήσιμων χημικών προϊόντων, τον περιορισμό χρήσεως οργανικών διαλυτών, τη χρήση φούρνου μικροκυμάτων ως πηγή θερμάνσεως για την εξοικονόμηση χρόνου και ενέργειας κλπ.

4.7 Κατασκευή γύψινου καλουπιού για τη μορφοποίηση του πολυμερούς

Για τη μορφοποίηση του πολυμερούς γίνεται χρήση ενός γύψινου καλουπιού. Για την κατασκευή του μπορεί κανείς να ακολουθήσει τα παρακάτω βήματα. Τοποθετούμε φύλλο αλουμινίου επάνω στο ανάγλυφο αντικείμενο του οποίου το καλούπι θέλουμε να κατασκευάσουμε και το πιέζουμε ώστε να αποκτήσει το ανάγλυφο του αντικειμένου. Στη συνέχεια κολλάμε το φύλλο στο αντικείμενο με κολλητική ταινία (Εικόνες 41 και 42).



Εικόνα 41. Δημιουργία ανάγλυφου φύλλου αλουμινίου.



Εικόνα 42. Φύλλο αλουμινίου με διαμορφωμένο ανάγλυφο.

Σε κατάλληλο «σκεύος» κόβουμε λίγες ίνες από σκοινί που θα αποτελέσουν τον «οπλισμό» του γύψινου καλουπιού (Εικόνα 43).



Εικόνα 43. Κατασκευή γύψινου καλουπιού βάσεως (προσθήκη ινών).

Προσθέτουμε στο σκεύος γύψο σε μορφή σκόνης και νερό και ανακατεύουμε το μίγμα (Εικόνα 44). Μόλις το μίγμα γύψου-νερού-ινών γίνει ομογενής μάζα, το τοποθετούμε πάνω στο φύλλο αλουμινίου προσέχοντας να μη χαλάσουμε το ανάγλυφο του φύλλου αλουμινίου (Εικόνα 45).



Εικόνα 44. Κατασκευή γύψινου καλουπιού (προσθήκη γύψου και νερού).

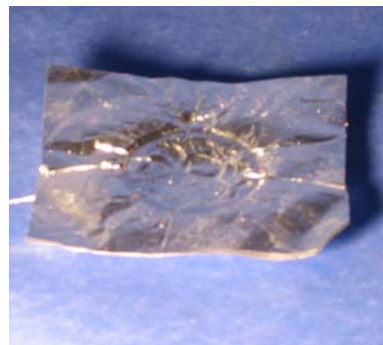


Εικόνα 45. Κατασκευή γύψινου καλουπιού (διαμόρφωση).

Φροντίζουμε η επιφάνεια του καλουπιού να είναι λεία και οριζόντια (Εικόνα 46). Αφήνουμε το καλούπι να στεγνώσει (Εικόνα 47).



Εικόνα 46. Κατασκευή γύψινου καλουπιού (βάση).



Εικόνα 47. Ολοκληρωμένο γύψινο καλούπι.

4.8 Δελτία Δεδομένων Ασφαλείας Υλικών

Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται τα φύλλα ασφαλείας δεδομένων των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούνται στο πειραματικό μέρος της εργασίας. Τα φύλλα εμφανίζονται στην αγγλική γλώσσα, όπως διατίθενται από τις εταιρίες που προμηθεύουν τα αντιδραστήρια αυτά.

Συγκεκριμένα παρατίθενται τα φύλλα για:

- το ρακεμικό μίγμα γαλακτικού οξέος,
- το ένυδρο χλωριούχο κοβάλτιο,
- το ιωδιούχο κάλιο και
- τον ένυδρο χλωριούχο κασσίτερο.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα φύλλα ασφαλείας, μπορεί κανείς βρει στην ιστοσελίδα της εταιρείας Vermont Safety Information Resources Inc. από την οποία αντλήθηκαν (<http://hazard.com/msds/index.php>).

Γαλακτικό οξύ

Section 1 - Chemical Product

MSDS Name: Lactic acid

Catalog Numbers: S93271, A159-500, A162-1, A162-500, S80046, S80046-1

Synonyms: 1-Hydroxyethanecarboxylic acid; 2-Hydroxypropanoic acid; 2-Hydroxypropionic acid; Milk acid; DL-Lactic acid; Racemic lactic acid; alpha-Hydroxypropionic acid; 2-Hydroxy-2-methylacetic acid.

Section 2 - Composition, Information on Ingredients

CAS#	Chemical Name	Percent	EINECS/ELINCS
50-21-5	Lactic acid	85-90	200-018-0
97-73-4	Lactic anhydride	10-15	202-604-1

Section 3 - Hazards Identification

EMERGENCY OVERVIEW

Appearance: colorless to slight yellow liquid.

Danger! Causes eye and skin burns. Causes digestive and respiratory tract burns.

Target Organs: Eyes, skin, mucous membranes.

Potential Health Effects

Eye: Causes eye burns. Causes redness and pain. May cause chemical conjunctivitis and corneal damage.

Skin: Causes skin burns. Causes redness and pain.

Ingestion: Causes gastrointestinal tract burns.

Inhalation: Causes chemical burns to the respiratory tract. May cause systemic effects.

Chronic: Chronic exposure may cause effects similar to those of acute exposure.

Section 4 - First Aid Measures

Eyes: Get medical aid immediately. Do NOT allow victim to rub eyes or keep eyes closed. Extensive irrigation with water is required (at least 30 minutes).

Skin: Get medical aid immediately. Immediately flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse.

Ingestion: Get medical aid immediately. Do NOT induce vomiting. If conscious and alert, rinse mouth and drink 2-4 cupfuls of milk or water.

Inhalation: Get medical aid immediately. Remove from exposure and move to fresh air immediately. If breathing is difficult, give oxygen. Do NOT use mouth-to-mouth resuscitation. If breathing has ceased apply artificial respiration using oxygen and a suitable mechanical device such as a bag and a mask.

Notes to Physician: Treat symptomatically and supportively.

Section 5 - Fire Fighting Measures

General Information: As in any fire, wear a self-contained breathing apparatus in pressure-demand, MSHA/NIOSH (approved or equivalent), and full protective gear. During a fire, irritating and highly toxic gases may be generated by thermal decomposition or combustion. Use water spray to keep fire-exposed containers cool. Containers may explode when heated.

Extinguishing Media: Cool containers with flooding quantities of water until well after fire is out. Use water spray, dry chemical, carbon dioxide, or appropriate foam.

Flash Point: > 112 deg C (> 233.60 deg F)

Autoignition Temperature: Not available.

Explosion Limits, Lower: Not available.

Upper: Not available.

NFPA Rating: (estimated) Health: 3; Flammability: 1; Instability: 1

Section 6 - Accidental Release Measures

General Information: Use proper personal protective equipment as indicated in Section 8.

Spills/Leaks: Absorb spill with inert material (e.g. vermiculite, sand or earth), then place in suitable container. Avoid runoff into storm sewers and ditches which lead to waterways. Clean up spills immediately, observing precautions in the Protective Equipment section. Provide ventilation.

Section 7 - Handling and Storage

Handling: Wash thoroughly after handling. Remove contaminated clothing and wash before reuse. Use with adequate ventilation. Do not breathe dust, vapor, mist, or gas. Do not get in eyes, on skin, or on clothing. Keep container tightly closed. Do not ingest or inhale. Discard contaminated shoes.

Storage: Store in a tightly closed container. Store in a cool, dry, well-ventilated area away from incompatible substances. Corrosives area. Store protected from moisture.

Section 8 - Exposure Controls, Personal Protection

Engineering Controls: Facilities storing or utilizing this material should be equipped with an eyewash facility and a safety shower. Use adequate ventilation to keep airborne concentrations low.

Exposure Limits

Chemical Name	ACGIH	NIOSH	OSHA - Final PELs
Lactic acid	none listed	none listed	none listed
Lactic anhydride	none listed	none listed	none listed

OSHA Vacated PELs: Lactic acid: No OSHA Vacated PELs are listed for this chemical. Lactic anhydride: No OSHA Vacated PELs are listed for this chemical.

Personal Protective Equipment

Eyes: Wear chemical goggles.

Skin: Wear appropriate protective gloves to prevent skin exposure.

Clothing: Wear appropriate protective clothing to minimize contact with skin.

Respirators: A respiratory protection program that meets OSHA's 29 CFR 1910.134 and ANSI Z88.2 requirements or European Standard EN 149 must be followed whenever workplace conditions warrant a respirator's use.

Section 9 - Physical and Chemical Properties

Physical State: Liquid

Appearance: colorless to slight yellow

Odor: odorless

pH: <1

Vapor Pressure: 0.0813 mm Hg @ 25 deg C

Vapor Density: Not available.

Evaporation Rate: Not available.

Viscosity: Not available.

Boiling Point: 122 deg C @ 15 mm Hg

Freezing/Melting Point: 17-33 deg C

Decomposition Temperature: Not available.

Solubility: Soluble.

Specific Gravity/Density: 1.2

Molecular Formula: C₃H₆O₃

Molecular Weight: 90.08

Section 10 - Stability and Reactivity

Chemical Stability: Stable at room temperature in closed containers under normal storage and handling conditions. Hygroscopic: absorbs moisture or water from the air.

Conditions to Avoid: Excess heat, exposure to moist air or water.

Incompatibilities with Other Materials: Metals, strong oxidizing agents, strong reducing agents, strong bases, nitric acid, iodides.

Hazardous Decomposition Products: Carbon monoxide, carbon dioxide.

Hazardous Polymerization: Will not occur.

Section 11 - Toxicological Information

RTECS#:

CAS# 50-21-5: OD2800000

CAS# 97-73-4 unlisted.

LD50/LC50:

CAS# 50-21-5:

Draize test, rabbit, eye: 750 ug Severe;

Draize test, rabbit, skin: 5 mg/24H Severe;
 Draize test, rabbit, skin: 100 mg/24H Moderate;
 Oral, mouse: LD50 = 4875 mg/kg;
 Oral, rat: LD50 = 3543 mg/kg;
 Skin, rabbit: LD50 = >2 gm/kg; <BR.

CAS# 97-73-4: <BR.

Carcinogenicity:

CAS# 50-21-5: Not listed by ACGIH, IARC, NTP, or CA Prop 65.

CAS# 97-73-4: Not listed by ACGIH, IARC, NTP, or CA Prop 65.

Epidemiology: No data available.

Teratogenicity: No data available.

Reproductive Effects: No data available.

Neurotoxicity: No data available.

Mutagenicity: No data available.

Other Studies: No data available.

Section 12 - Ecological Information

Ecotoxicity: Fish: Pseudomonas putida:

Section 13 - Disposal Considerations

Chemical waste generators must determine whether a discarded chemical is classified as a hazardous waste. US EPA guidelines for the classification determination are listed in 40 CFR Parts 261.3. Additionally, waste generators must consult state and local hazardous waste regulations to ensure complete and accurate classification.

RCRA P-Series: None listed.

RCRA U-Series: None listed.

Section 14 - Transport Information

	US DOT	Canada TDG
Shipping Name:	CORROSIVE LIQUID, ACIDIC, ORGANIC, N.O.S.	CORROSIVE LIQUID, ACIDIC, ORGANIC,
Hazard Class:	8	8
UN Number:	UN3265	UN3265
Packing Group:	II	II
Additional Info:		N.O.S.

Section 15 - Regulatory Information

US FEDERAL

TSCA

CAS# 50-21-5 is listed on the TSCA inventory.

CAS# 97-73-4 is listed on the TSCA inventory.

Health & Safety Reporting List

None of the chemicals are on the Health & Safety Reporting List.

Chemical Test Rules

None of the chemicals in this product are under a Chemical Test Rule.

Section 12b

None of the chemicals are listed under TSCA Section 12b.

TSCA Significant New Use Rule

None of the chemicals in this material have a SNUR under TSCA.

CERCLA Hazardous Substances and corresponding RQs

None of the chemicals in this material have an RQ.

SARA Section 302 Extremely Hazardous Substances

None of the chemicals in this product have a TPQ.

SARA Codes

CAS # 50-21-5: acute.

Section 313 No chemicals are reportable under Section 313.

Clean Air Act:

This material does not contain any hazardous air pollutants.

This material does not contain any Class 1 Ozone depletors.

This material does not contain any Class 2 Ozone depletors.

Clean Water Act:

None of the chemicals in this product are listed as Hazardous Substances under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Priority Pollutants under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Toxic Pollutants under the CWA.

OSHA:

None of the chemicals in this product are considered highly hazardous by OSHA.

STATE

CAS# 50-21-5 is not present on state lists from CA, PA, MN, MA, FL, or NJ.

CAS# 97-73-4 is not present on state lists from CA, PA, MN, MA, FL, or NJ.

California Prop 65

California No Significant Risk Level: None of the chemicals in this product are listed.

European/International Regulations

European Labeling in Accordance with EC Directives

Hazard Symbols:

C

Risk Phrases:

R 34 Causes burns.

Safety Phrases:

S 26 In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.

S 36/37/39 Wear suitable protective clothing, gloves and eye/face protection.

S 45 In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately (show the label where possible).

WGK (Water Danger/Protection)

CAS# 50-21-5: 0

CAS# 97-73-4: No information available.

Canada - DSL/NDSL

CAS# 50-21-5 is listed on Canada's DSL List.

CAS# 97-73-4 is listed on Canada's NDSL List.

Canada - WHMIS

This product has a WHMIS classification of E.

Canadian Ingredient Disclosure List

CAS# 50-21-5 is listed on the Canadian Ingredient Disclosure List.

Section 16 - Additional Information

MSDS Creation Date: 9/02/1997

Revision #5 Date: 8/03/2004

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall Fisher be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if Fisher has been advised of the possibility of such damages.

Ένυδρο χλωριούχο κοβάλτιο

Section 1 - Chemical Product

MSDS Name: Cobalt(II) Chloride Hexahydrate

Catalog Numbers: S71930, S72893, S75089, S93179, C371-100, C371-500, C371500LC, FLC371-500LC

Synonyms: Cobaltous chloride hexahydrate; Cobalt muriate hexahydrate.

Section 2 - Composition, Information on Ingredients

CAS#	Chemical Name	Percent	EINECS/ELINCS
7791-13-1	Cobalt(II) chloride hexahydrate	100	unlisted

Section 3 - Hazards Identification

EMERGENCY OVERVIEW

Appearance: purple solid.

Warning! May cause asthma. Causes respiratory tract irritation. Causes eye and skin irritation. May cause allergic skin reaction. May be harmful if swallowed. May cause blood abnormalities. Potential cancer hazard. May cause lung damage. May cause cancer based on animal studies. Dangerous for the environment.

Target Organs: Lungs, cardiovascular system, red blood cells, skin.

Potential Health Effects

Eye: Causes eye irritation.

Skin: Prolonged and/or repeated contact may cause irritation and/or dermatitis. May cause skin sensitization, an allergic reaction, which becomes evident upon re-exposure to this material.

Ingestion: May cause gastrointestinal irritation with nausea, vomiting and diarrhea. May be harmful if swallowed.

Inhalation: Causes delayed lung injury. Causes respiratory tract irritation. May cause asthmatic attacks due to allergic sensitization of the respiratory tract. May cause asthma and shortness of breath.

Chronic: Cobalt compounds may cause cancer based upon animal studies.

Section 4 - First Aid Measures

Eyes: Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Get medical aid.

Skin: Get medical aid. Flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse.

Ingestion: Do not induce vomiting. If victim is conscious and alert, give 2-4

cupfuls of milk or water. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical aid.

Inhalation: Remove from exposure and move to fresh air immediately. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical aid. Do NOT use mouth-to-mouth resuscitation.

Notes to Physician: Treat symptomatically and supportively.

Section 5 - Fire Fighting Measures

General Information: As in any fire, wear a self-contained breathing apparatus in pressure-demand, MSHA/NIOSH (approved or equivalent), and full protective gear. During a fire, irritating and highly toxic gases may be generated by thermal decomposition or combustion. Non-combustible, substance itself does not burn but may decompose upon heating to produce irritating, corrosive and/or toxic fumes.

Extinguishing Media: Substance is noncombustible; use agent most appropriate to extinguish surrounding fire.

Flash Point: Noncombustible.

Autoignition Temperature: Not available.

Explosion Limits, Lower: Not available.

Upper: Not available.

NFPA Rating: (estimated) Health: 2; Flammability: 0; Instability: 0

Section 6 - Accidental Release Measures

General Information: Use proper personal protective equipment as indicated in Section 8.

Spills/Leaks: Vacuum or sweep up material and place into a suitable disposal container. Clean up spills immediately, observing precautions in the Protective Equipment section. Avoid generating dusty conditions. Provide ventilation.

Section 7 - Handling and Storage

Handling: Use with adequate ventilation. Minimize dust generation and accumulation. Avoid contact with skin and eyes. Keep container tightly closed. Avoid ingestion and inhalation.

Storage: Store in a cool, dry, well-ventilated area away from incompatible substances.

Section 8 - Exposure Controls, Personal Protection

Engineering Controls: Facilities storing or utilizing this material should be equipped with an eyewash facility and a safety shower. Use adequate general or local exhaust ventilation to keep airborne concentrations below the permissible exposure limits.

Exposure Limits

Chemical Name	ACGIH	NIOSH	OSHA - Final PELs
Cobalt(II) chloride hexahydrate	none listed	none listed	none listed
Cobalt dichloride anhydrous	none listed	none listed	none listed

OSHA Vacated PELs: Cobalt(II) chloride hexahydrate: No OSHA Vacated PELs are listed for this chemical. Cobalt dichloride anhydrous: No OSHA Vacated PELs are listed for this chemical.

Personal Protective Equipment

Eyes: Wear appropriate protective eyeglasses or chemical safety goggles as described by OSHA's eye and face protection regulations in 29 CFR 1910.133 or European Standard EN166.

Skin: Wear appropriate gloves to prevent skin exposure.

Clothing: Wear appropriate protective clothing to prevent skin exposure.

Respirators: Follow the OSHA respirator regulations found in 29 CFR 1910.134 or European Standard EN 149. Always use a NIOSH or European Standard EN 149 approved respirator when necessary.

Section 9 - Physical and Chemical Properties

Physical State: Solid

Appearance: purple

Odor: none reported

pH: 4.6 @ M solution.

Vapor Pressure: Negligible.

Vapor Density: Not available.

Evaporation Rate: Negligible.

Viscosity: Not available.

Boiling Point: 1920 deg F

Freezing/Melting Point: 87 deg C

Decomposition Temperature: 230 deg F

Solubility: 77 g/100ml (0 C)

Specific Gravity/Density: 1.924

Molecular Formula: $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Molecular Weight: 237.9196

Section 10 - Stability and Reactivity

Chemical Stability: Stable at room temperature in closed containers under normal storage and handling conditions.

Conditions to Avoid: Dust generation, moisture, excess heat.

Incompatibilities with Other Materials: Strong oxidizers and alkali metals. Absorbs NH_3 from air.

Hazardous Decomposition Products: Hydrogen chloride, irritating and toxic fumes and gases, cobalt/cobalt oxides.

Hazardous Polymerization: Has not been reported.

Section 11 - Toxicological Information

RTECS#:

CAS# 7791-13-1: GG0200000

CAS# 7646-79-9: GF9800000

LD50/LC50:

CAS# 7791-13-1:

Oral, rat: LD50 = 766 mg/kg;

Skin, rat: LD50 = >2 gm/kg; <BR.

CAS# 7646-79-9:

Oral, mouse: LD50 = 80 mg/kg;

Oral, rat: LD50 = 80 mg/kg;

Oral, rat: LD50 = 418 mg/kg; <BR.

Carcinogenicity:

CAS# 7791-13-1: Not listed by ACGIH, IARC, NTP, or CA Prop 65.

CAS# 7646-79-9: Not listed by ACGIH, IARC, NTP, or CA Prop 65.

Epidemiology: IARC Group 2B: Proven animal carcinogenic substance of potential relevance to humans. IARC Group 2B: No data available on human carcinogenicity, however sufficient evidence of carcinogenicity in animals.

Teratogenicity: No information found.

Reproductive Effects: No information found.

Neurotoxicity: No information found.

Mutagenicity: No information found.

Other Studies: See actual entry in RTECS for complete information.

Section 12 - Ecological Information

No information available.

Section 13 - Disposal Considerations

Chemical waste generators must determine whether a discarded chemical is classified as a hazardous waste. US EPA guidelines for the classification determination are listed in 40 CFR Parts 261.3. Additionally, waste generators must consult state and local hazardous waste regulations to ensure complete and accurate classification.

RCRA P-Series: None listed.

RCRA U-Series: None listed.

Section 14 - Transport Information

	US DOT	Canada TDG
Shipping Name:	Not reviewed.	ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, SOL

Hazard Class:		9
UN Number:		UN3077
Packing Group:		III

Section 15 - Regulatory Information

US FEDERAL

TSCA

CAS# 7791-13-1 is not listed on the TSCA inventory. It is for research and development use only.

CAS# 7646-79-9 is listed on the TSCA inventory.

Health & Safety Reporting List

None of the chemicals are on the Health & Safety Reporting List.

Chemical Test Rules

None of the chemicals in this product are under a Chemical Test Rule.

Section 12b

None of the chemicals are listed under TSCA Section 12b.

TSCA Significant New Use Rule

None of the chemicals in this material have a SNUR under TSCA.

CERCLA Hazardous Substances and corresponding RQs

None of the chemicals in this material have an RQ.

SARA Section 302 Extremely Hazardous Substances

None of the chemicals in this product have a TPQ.

SARA Codes

CAS # 7791-13-1: acute, chronic.

CAS # 7646-79-9: acute, chronic, reactive.

Section 313

This material contains Cobalt(II) chloride hexahydrate (listed as Cobalt compounds), 100%, (CAS# 7791-13-1) which is subject to the reporting requirements of Section 313 of SARA Title III and 40 CFR Part 373.

This material contains Cobalt dichloride anhydrous (listed as Cobalt compounds), -%, (CAS# 7646-79-9) which is subject to the reporting requirements of Section 313 of SARA Title III and 40 CFR Part 373.

Clean Air Act:

CAS# 7791-13-1 (listed as Cobalt compounds) is listed as a hazardous air pollutant (HAP).

CAS# 7646-79-9 (listed as Cobalt compounds) is listed as a hazardous air pollutant (HAP).

This material does not contain any Class 1 Ozone depletors.

This material does not contain any Class 2 Ozone depletors.

Clean Water Act:

None of the chemicals in this product are listed as Hazardous Substances under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Priority Pollutants under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Toxic Pollutants under the CWA.

OSHA:

None of the chemicals in this product are considered highly hazardous by OSHA.

STATE

CAS# 7791-13-1 can be found on the following state right to know lists: Pennsylvania, (listed as Cobalt compounds).

CAS# 7646-79-9 can be found on the following state right to know lists: Pennsylvania, (listed as Cobalt compounds).

California Prop 65

California No Significant Risk Level: None of the chemicals in this product are listed.

European/International Regulations**European Labeling in Accordance with EC Directives****Hazard Symbols:**

T N

Risk Phrases:

- R 22 Harmful if swallowed.
- R 42/43 May cause sensitization by inhalation and skin contact.
- R 49 May cause cancer by inhalation.
- R 50/53 Very toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.

Safety Phrases:

- S 22 Do not breathe dust.
- S 45 In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately (show the label where possible).
- S 53 Avoid exposure - obtain special instructions before use.
- S 60 This material and its container must be disposed of as hazardous waste.
- S 61 Avoid release to the environment. Refer to special instructions/safety data sheets.

WGK (Water Danger/Protection)

CAS# 7791-13-1: 2

CAS# 7646-79-9: 2

Canada - DSL/NDSL

CAS# 7646-79-9 is listed on Canada's DSL List.

Canada - WHMIS

This product does not have a WHMIS classification.

Canadian Ingredient Disclosure List

CAS# 7791-13-1 is not listed on the Canadian Ingredient Disclosure List.

CAS# 7646-79-9 is listed on the Canadian Ingredient Disclosure List.

Section 16 - Additional Information

MSDS Creation Date: 12/12/1997

Revision #10 Date: 9/30/2004

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall Fisher be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if Fisher has been advised of the possibility of such damages.

Ιωδιούχο κάλιο

Section 1 - Chemical Product

MSDS Name: Potassium Iodide

Catalog Numbers: AC418250030, AC418260030, S71981, S719812, S77567, S93339, S93340, BP367-500, NC9079298, NC9501981, NC9974530, P410-10, P410-100, P410-3, P410-500, P412-10, P412-3, P412-500, XXP41030KG

Synonyms: Knollide; Potide

Section 2 - Composition, Information on Ingredients

CAS#	Chemical Name	Percent	EINECS/ELINCS
7681-11-0	Potassium Iodide	100	231-659-4

Section 3 - Hazards Identification

EMERGENCY OVERVIEW

Appearance: colorless or white crystals.

Warning! May cause respiratory tract irritation. Causes digestive tract irritation. May cause eye and skin irritation. Light sensitive. Moisture sensitive. May cause fetal effects.

Target Organs: Thyroid.

Potential Health Effects

Eye: May cause eye irritation.

Skin: May cause skin irritation. Chronic ingestion of iodides during pregnancy has resulted in fetal death, severe goiter, and cretinoid appearance of the newborn.

Ingestion: Causes gastrointestinal irritation with nausea, vomiting and diarrhea. Chronic ingestion of iodides during pregnancy has resulted in fetal death, severe goiter, and cretinoid appearance of the newborn.

Inhalation: May cause respiratory tract irritation.

Chronic: Chronic exposure can lead to iodism characterized by salivation, nasal discharge, sneezing, conjunctivitis, fever, laryngitis, bronchitis, stomatitis, and skin rashes. May cause reproductive and fetal effects. Chronic ingestion of iodides during pregnancy has resulted in fetal death, severe goiter, and cretinoid appearance of the newborn.

Section 4 - First Aid Measures

Eyes: Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Get medical aid.

Skin: Flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Get medical aid if irritation develops or persists.

Wash clothing before reuse.

Ingestion: Do not induce vomiting. If victim is conscious and alert, give 2-4 cupfuls of milk or water. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical aid.

Inhalation: Remove from exposure and move to fresh air immediately. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical aid if cough or other symptoms appear.

Notes to Physician: Treat symptomatically and supportively.

Section 5 - Fire Fighting Measures

General Information: During a fire, irritating and highly toxic gases may be generated by thermal decomposition or combustion. Wear appropriate protective clothing to prevent contact with skin and eyes. Wear a self-contained breathing apparatus (SCBA) to prevent contact with thermal decomposition products.

Extinguishing Media: Use agent most appropriate to extinguish fire. Do NOT get water inside containers. In case of fire, use carbon dioxide, dry chemical powder or appropriate foam.

Flash Point: Not applicable.

Autoignition Temperature: Not applicable.

Explosion Limits, Lower: Not available.

Upper: Not available.

NFPA Rating: (estimated) Health: 1; Flammability: 1; Instability: 1

Section 6 - Accidental Release Measures

General Information: Use proper personal protective equipment as indicated in Section 8.

Spills/Leaks: Vacuum or sweep up material and place into a suitable disposal container. Clean up spills immediately, observing precautions in the Protective Equipment section. Avoid generating dusty conditions. Provide ventilation. Do not get water inside containers.

Section 7 - Handling and Storage

Handling: Wash thoroughly after handling. Use with adequate ventilation. Minimize dust generation and accumulation. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid ingestion and inhalation. Store protected from light. Do not allow contact with water. Keep from contact with moist air and steam.

Storage: Store in a cool, dry, well-ventilated area away from incompatible substances. Store protected from moisture. Store protected from light.

Section 8 - Exposure Controls, Personal Protection

Engineering Controls: Facilities storing or utilizing this material should be equipped with an eyewash facility and a safety shower. Use adequate ventilation to keep airborne concentrations low.

Exposure Limits

Chemical Name	ACGIH	NIOSH	OSHA - Final PELs
Potassium Iodide	none listed	none listed	none listed

OSHA Vacated PELs: Potassium Iodide: No OSHA Vacated PELs are listed for this chemical.

Personal Protective Equipment

Eyes: Wear appropriate protective eyeglasses or chemical safety goggles as described by OSHA's eye and face protection regulations in 29 CFR 1910.133 or European Standard EN166.

Skin: Wear appropriate protective gloves to prevent skin exposure.

Clothing: Wear appropriate protective clothing to prevent skin exposure.

Respirators: Follow the OSHA respirator regulations found in 29 CFR 1910.134 or European Standard EN 149. Always use a NIOSH or European Standard EN 149 approved respirator when necessary.

Section 9 - Physical and Chemical Properties

Physical State: Crystals

Appearance: colorless or white

Odor: odorless

pH: 7 to 9

Vapor Pressure: Not available.

Vapor Density: Not available.

Evaporation Rate: Not available.

Viscosity: Not available.

Boiling Point: 1330 deg C

Freezing/Melting Point: 680 deg C

Decomposition Temperature: Not available.

Solubility: Soluble in water

Specific Gravity/Density: 3.13

Molecular Formula: KI

Molecular Weight: 166.0028

Section 10 - Stability and Reactivity

Chemical Stability: Stable under normal temperatures and pressures.

Conditions to Avoid: Incompatible materials, light, dust generation, moisture, metals, excess heat.

Incompatibilities with Other Materials: Strong acids, strong reducing agents, strong bases, strong oxidizing agents.

Hazardous Decomposition Products: Oxides of potassium, iodine.

Hazardous Polymerization: Has not been reported.

Section 11 - Toxicological Information

RTECS#:

CAS# 7681-11-0: TT2975000

LD50/LC50:

Not available.

Carcinogenicity:

CAS# 7681-11-0: Not listed by ACGIH, IARC, NTP, or CA Prop 65.

Epidemiology: No data available.

Teratogenicity: No information available.

Reproductive Effects: Reproductive effects have occurred in humans.

Neurotoxicity: No information available.

Mutagenicity: Mutagenic effects have occurred in experimental animals.

Other Studies: See actual entry in RTECS for complete information.

Section 12 - Ecological Information

Ecotoxicity: Material Safety Data Sheet ; ;

Section 13 - Disposal Considerations

Chemical waste generators must determine whether a discarded chemical is classified as a hazardous waste. US EPA guidelines for the classification determination are listed in 40 CFR Parts 261.3. Additionally, waste generators must consult state and local hazardous waste regulations to ensure complete and accurate classification.

RCRA P-Series: None listed.

RCRA U-Series: None listed.

Section 14 - Transport Information

	US DOT	Canada TDG
Shipping Name:	Not regulated as a hazardous material	No information available.
Hazard Class:		
UN Number:		
Packing Group:		

Section 15 - Regulatory Information

US FEDERAL

TSCA

CAS# 7681-11-0 is listed on the TSCA inventory.

Health & Safety Reporting List

None of the chemicals are on the Health & Safety Reporting List.

Chemical Test Rules

None of the chemicals in this product are under a Chemical Test Rule.

Section 12b

None of the chemicals are listed under TSCA Section 12b.

TSCA Significant New Use Rule

None of the chemicals in this material have a SNUR under TSCA.

CERCLA Hazardous Substances and corresponding RQs

None of the chemicals in this material have an RQ.

SARA Section 302 Extremely Hazardous Substances

None of the chemicals in this product have a TPO.

SARA Codes

CAS # 7681-11-0: acute, chronic.

Section 313 No chemicals are reportable under Section 313.

Clean Air Act:

This material does not contain any hazardous air pollutants.

This material does not contain any Class 1 Ozone depletors.

This material does not contain any Class 2 Ozone depletors.

Clean Water Act:

None of the chemicals in this product are listed as Hazardous Substances under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Priority Pollutants under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Toxic Pollutants under the CWA.

OSHA:

None of the chemicals in this product are considered highly hazardous by OSHA.

STATE

CAS# 7681-11-0 is not present on state lists from CA, PA, MN, MA, FL, or NJ.

California Prop 65

California No Significant Risk Level: None of the chemicals in this product are listed.

European/International Regulations**European Labeling in Accordance with EC Directives****Hazard Symbols:**

Not available.

Risk Phrases:**Safety Phrases:****WGK (Water Danger/Protection)**

CAS# 7681-11-0: 1

Canada - DSL/NDSL

CAS# 7681-11-0 is listed on Canada's DSL List.

Canada - WHMIS

This product has a WHMIS classification of D2A.

Canadian Ingredient Disclosure List

CAS# 7681-11-0 is listed on the Canadian Ingredient Disclosure List.

Section 16 - Additional Information

MSDS Creation Date: 2/25/1999

Revision #2 Date: 3/18/2003

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall Fisher be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if Fisher has been advised of the possibility of such damages.

Ένυδρος χλωριούχος κασσίτερος

```

===== Product Identification =====
Product ID:STANNOUS CHLORIDE,DIHYDRATE
MSDS Date:12/08/1994
FSC:6810
NIIN:00-145-2910
MSDS Number: BMDMH
===== Composition/Information on Ingredients =====
Ingred Name:STANNOUS (TIN II) CHLORIDE DIHYDRATE
CAS:10025-69-1
RTECS #:XP8850000
Fraction by Wt: 100%
Other REC Limits:NONE RECOMMENDED
===== Hazards Identification =====
LD50 LC50 Mixture:ORAL LD50 (MS) 250 MG/KG (ANHYDROUS)
Routes of Entry: Inhalation:YES Skin:YES Ingestion:YES
Reports of Carcinogenicity:NTP:NO IARC:NO OSHA:NO
Health Hazards Acute and Chronic:**CORROSIVE**EYES:MAY CAUSE
IRRITATION.SKIN:MAY CAUSE IRRITATION.INGEST:1000MG/KG CAUSES
NECROSIS OF THE LIVER OR SPLEEN.INHAL:400MG/M3 IS IMMEDIATELY
DANGEROUS TO LIFE AND HEALTH.CHRONIC:DERMATITIS,C
ONJUNCTIVITIS,ANEMIA,LIVER,SPLEEN AND PANCREAS DAMAGE.
Explanation of Carcinogenicity:RATS FED 1000PPM STANNOUS CHLORIDE
DEVELOPED C-CELL THYROID TUMORS.
Effects of Overexposure:INGEST:ABDOMINAL
PAIN,VOMITING,DIARRHEA,METALLIC TASTE IN MOUTH,CHEST
PAIN,CONVULSIONS.EYES:REDNESS,PAIN.SKIN:REDNESS,PAIN.INHAL:SORE
THROAT,COUGHING,SHORTNESS OF BREATH.
Medical Cond Aggravated by Exposure:PERSONS WITH PRE-EXISTING
PANCREAS,SPLEEN,LIVER OR KIDNEY AILMENTS MAY BE AT INCREASED RISK
FROM EXPOSURE.
===== First Aid Measures =====
First Aid:SKIN:REMOVE CONTAMINATED CLOTHING;WASH WITH SOAP OR MILD
DETERGENT AND WATER.GET MEDICAL ATTENTION.EYES:FLUSH WITH NORMAL
SALINE OR WATER FOR 15 MINUTES.GET MEDICAL ATTENTION.INHAL:REMOVE
TO FRESH AIR .MAINTAIN AIRWAY AND BLOOD PRESSURE.GIVE OXYGEN OR
ARTIFICIAL RESPIRATION IF NEEDED.INGEST:GET MEDICAL ATTENTION.IF
CONSCIOUS,GIVE WATER OR MILK.FOR SPONTANEOUS VOMITING,KEEP HEAD
LOWER THAN HIPS.SUPP
===== Fire Fighting Measures =====
Flash Point:NONE
Extinguishing Media:WATER SPRAY,DRY CHEMICAL,CARBON DIOXIDE,FOAM.
Fire Fighting Procedures:USE A SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS AND
FULL PROTECTIVE EQUIPMENT.COOL FIRE EXPOSED CONTAINERS WITH WATER
FOG.FIGHT FIRE FROM UPWIND.
Unusual Fire/Explosion Hazard:MAY BURN;DOES NOT READILY IGNITE.FIRE
CONTROL WATER MAY CAUSE ENVIRONMENTAL DAMAGE;DIKE TO CONTAIN.DO
NOT SPREAD SPILLED MATERIAL WITH WATER STREAMS.
===== Accidental Release Measures =====
Spill Release Procedures:DO NOT TOUCH SPILLED MATERIAL.SHOVEL INTO A
DRY CONTAINER FOR DISPOSAL.DIKE AHEAD OF LARGE SPILLS TO PREVENT
ENVIRONMENTAL DAMAGE.
Neutralizing Agent:NOT APPLICABLE.
===== Handling and Storage =====
Handling and Storage Precautions:STORE IN A COOL,DRY,WELL-VENTILATED
PLACE.KEEP CONTAINER CLOSED WHEN NOT IN USE.KEEP AWAY FROM
COMBUSTIBLE AND INCOMPATIBLE MATERIALS.
Other Precautions:AVOID MOISTURE CONTAMINATION.AVOID SKIN AND EYE
CONTACT. DO NOT INHALE DUST.
===== Exposure Controls/Personal Protection =====
Respiratory Protection:WHERE ENVIRONMENTAL CONTROLS ARE LACKING OR IN

```


ENCLOSED SPACES USE EITHER A SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS OR A NIOSH/MSHA APPROVED RESPIRATOR FOR DUST AND MISTS, DEPENDING ON THE AIRBORN CONCENTRATION.

Ventilation: USE LOCAL EXHAUST.

Protective Gloves: CHEMICALLY RESISTANT GLOVES

Eye Protection: SPLASH OR DUST-PROOF GOGGLES

Other Protective Equipment: PROTECTIVE CLOTHING, AS NEEDED. PROVIDE A LOCAL EYE WASH STATION AND SAFETY SHOWER.

Work Hygienic Practices: EXECISE GOOD LABORATORY PRACTICES. WASH HANDS AFTER USE AND BEFORE EATING.

Supplemental Safety and Health

GASTRIC IRRITATION MAY BE RELIEVED WITH 10G CORNSTARCH OR FLOUR IN 1 LITER OF WATER. MAINTAIN BLOOD PRESSURE AND AIRWAY. GASTRIC LAVAGE MUST BE PERFORMED BY QUALIFIED MEDICAL APERSONNEL.

===== Physical/Chemical Properties =====

HCC: C1

Boiling Pt: B.P. Text: DECOMPOSES

Melt/Freeze Pt: =37.8C, 100.F

M.P/F.P Text: 100F, 38C

Spec Gravity: 2.7

Solubility in Water: DECOMPOSES

Appearance and Odor: NOT REPORTED.

===== Stability and Reactivity Data =====

Stability Indicator/Materials to Avoid: YES

BROMINE TRIFLUORIDE, CA ACETYLIDE, CL*2, ETHYLENE OXIDE, HYDRAZINE HYDRATE, H*2O*2, METAL NITRATES, K, NA, TURPENTINE.

Stability Condition to Avoid: AIR, WATER. ABSORBS OXYGEN TO BECOME UNSTABLE OXYCHLORIDE. WATER FORMS THE INSOLUBLE BASIC SALT.

AVOID COMBUSTIBLE MATERIALS

Hazardous Decomposition Products: CORROSIVE CHLORIDE FUMES.

===== Disposal Considerations =====

Waste Disposal Methods: DISPOSE OF IN ACCORDANCE WITH FEDERAL, STATE AND LOCAL REGULATIONS.

Disclaimer (provided with this information by the compiling agencies): This information is formulated for use by elements of the Department of Defense. The United States of America in no manner whatsoever, expressly or implied, warrants this information to be accurate and disclaims all liability for its use. Any person utilizing this document should seek competent professional advice to verify and assume responsibility for the suitability of this information to their particular situation.

5 Βιβλιογραφία

5 Βιβλιογραφία

1. D. Garlotta: *A Literature Review of Poly(Lactic Acid)*, *Journal of Polymers and the Environment*, 2001, 9, 2, p.63-84.
2. S Horn, H J Bader, K Buchholz: *Plastics from renewable raw materials and biologically degradable plastics from fossil raw Materials*, Royal Society of Chemistry.
3. U. S. Schubert et al: *Microwave-Assisted Polymer Synthesis: State-of-the-Art and Future Perspectives*, *Macromolecular Rapid Communications*, 2004, 25, 1739-1764.
4. C.R.Strauss: *Applications of microwaves for environmentally benign organic chemistry*, *Handbook of Green Chemistry and Technology*; Clark, J. C. and Macquarrie, D., Eds; Blackwell Science: Oxford, 2002, pp 397-415.
5. G. E. Anderson: *A simpler small scale method for the identification of plastics*, *Journal of Chemical Education*, 1996, 73, 8, p. A173.
6. A. Srivastava et al: *L(+) lactic acid fermentation and its product polymerization*, *Electronic Journal of Biotechnology*, Vol.7, No.2, 15 August 2004.
7. P.A.Gruber et al: *Poly(lactic Acid Technology)*, *Advanced Materials*, 2000, 12, No. 23, December 1.
8. L. Liu et al: *Rapid Ring-Opening Polymerization of D,L-Lactide by Microwaves*, *Macromolecular Rapid Communications*, 2004, 25, 1402-1405.
9. Α. Ντόντος: *Συνθετικά Μακρομόρια*, Εκδόσεις Κωσταράκη, 2003.
10. Ε. Σιδερίδου: *Γενικές γνώσεις επιστήμης πολυμερών*, Χημικό Τμήμα, ΑΠΘ, 2004.
11. Χ. Καραμπέρης: *Η φυτική παραγωγή ως πηγή πρώτων υλών της χημικής βιομηχανίας, Η πράσινη προσέγγιση*, Διαπανεπιστημιακό διατμηματικό μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Διδακτική της Χημείας και Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες», Χημικό Τμήμα, ΑΠΘ, 2004.
12. Ιστοσελίδα της εταιρείας Cargill Dow LLC, www.cargilldow.com, τελευταία πρόσβαση 23 Φεβρουαρίου 2005.

13. Ιστοσελίδα της εταιρείας Vermont Safety Information Resources Inc.
<http://hazard.com/msds/index.php>, τελευταία πρόσβαση 16 Μαρτίου 2005.