

Πειραματικές Μαρτυρίες της Χημείας στην Ερμηνεία του Φαινομένου της Ζωής

Σύνοψη

Ο κύκλος των χημικών αντιδράσεων αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στο ΕΚΦΕ Ρεθύμνου κατά την διάρκεια τριών θερινών σχολείων με τίτλο «Υψηλή Ενεργειακή και Ζωή». Ο κύκλος των αντιδράσεων στοχεύει στην εξοικείωση των μαθητών με χημικές αντιδράσεις οι οποίες αναδεικνύουν ιδιότητες της ανόργανης ύλης, αντίστοιχες με ιδιότητες που συναντάμε στους ζωντανούς οργανισμούς. Η απαίτηση από την επιστήμη να μπορεί να ερμηνεύσει το φαινόμενο της ζωής, οδηγεί σε επέκταση των θεωριών σε νέους τομείς, με τους οποίους επιδιώκεται να έρθουν σε επαφή οι μαθητές. Το ερώτημα προέλευσης της ζωής, είναι σε μεγάλο βαθμό πρόβλημα χημείας. Οι επιστήμονες προτείνουν διάφορες θεωρίες για την προέλευση της ζωής με τη διαδικασία της αβιογένεσης. Η δημιουργία του πρώτου ζωντανού οργανισμού περιλαμβάνει ένα αριθμό σταδίων. Για κάθε στάδιο αναπτύξαμε και αντίστοιχα πειράματα, που εξοικειώνουν τον μαθητή με την εγγενή δυνατότητα της ανόργανης ύλης να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις φαινομένων των ζώντων κυττάρων.

Πείραμα 1 : Πολυμερισμός: Σχηματισμός μικρών οργανικών μορίων από ανόργανα συστατικά στην προβιοτική σούπα και η περαιτέρω ένωση τους προς σχηματισμό μεγαλύτερων βιομορίων (πρωτεΐνες, RNA, λιπίδια) με πολυμερισμό (πείραμα Miller). Η εξοικείωση με τον πολυμερισμό, ως χημική διαδικασία, γίνεται μέσα από το πείραμα του σχηματισμού του nylon 6,10.

Πείραμα 2 : Ημιπερατές μεμβράνες. Η δημιουργία ημιπερατών μεμβρανών, μέσα στις οποίες τα έγκλειστα συστατικά αντιδρούν για το σχηματισμό πολύπλοκων μορίων και διεργασιών, οπτικοποιείται και αναλύεται μέσα από το πείραμα της δημιουργίας του πυριτικού κήπου.

Πείραμα 3 : Κατάλυση. Οπτικοποίηση της καταλυτικής δράσης, ελεγχόμενης αποδέσμευσης ενέργειας, μέσα από ένα πείραμα καταλυτικής οξειδωτικής της ακετόνης.

Πείραμα 4 και 5: Αυτοοργάνωση, αυτοκατάλυση, ανάδραση. Τα συστατικά των κυττάρων αυτοοργανώθηκαν σε ένα ανώτερο στάδιο και σχηματίστηκε ζωντανός οργανισμός με δυνατότητα μεταβολισμού και αναπαραγωγής. Το μέγεθος ενός φυτού ή η ανάπτυξη ενός εμβρύου γίνονται με τη βοήθεια πολύπλοκων φαινομένων που απαιτούν υψηλή οργάνωση ατόμων και μορίων. Μερικά χημικά συστήματα κάνουν χημικές ταλαντώσεις, χρονικές και χωρικές εμφανίζοντας αυθόρμητα φαινόμενα αυτοοργάνωσης, αυτοκατάλυσης και ανάδρασης (Νικολής 1995:168), που αποτελούν συστατικές ιδιότητες των ζωντανών οργανισμών. Η μελέτη αυτών των φαινομένων είναι πολύ σημαντική για την κατανόηση πιο πολύπλοκων συστημάτων που είναι μακριά από την ισορροπία και έχουν μεγάλη ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες (χαοτικά). Τα συστήματα αυτά κατ' αρχήν αντιβαίνουν το 2^ο νόμο της θερμοδυναμικής γιατί μειώνουν την εντροπία τους, και η διαδικασία συμβιβασμού τους με τις υπάρχουσες θεωρίες εξοικειώνει τους μαθητές με την άενη αναζήτηση της επιστήμης πέρα από τις βεβαιότητες. (Πείραμα 4 : Αντίδραση Briggs Rausher και Πείραμα 5 : Αντίδραση Belousov Zhabotinsky)

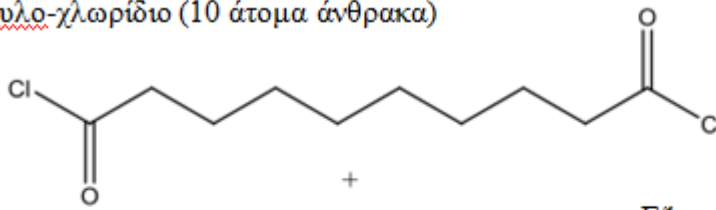
Αναλυτική περιγραφή πειραμάτων.

Πείραμα 1 : Πολυμερισμός nylon 6,10

Μια κατηγορία πολυμερών είναι τα Nylon (συνθετικά πολυαμίδια). Η παρασκευή του Nylon 6,10 γίνεται σε θερμοκρασία δωματίου απλά με ανάμειξη των δυο διαλυμάτων που περιέχουν τα δυο αντιδρώντα (McMurry John 2012, Callister 2003)

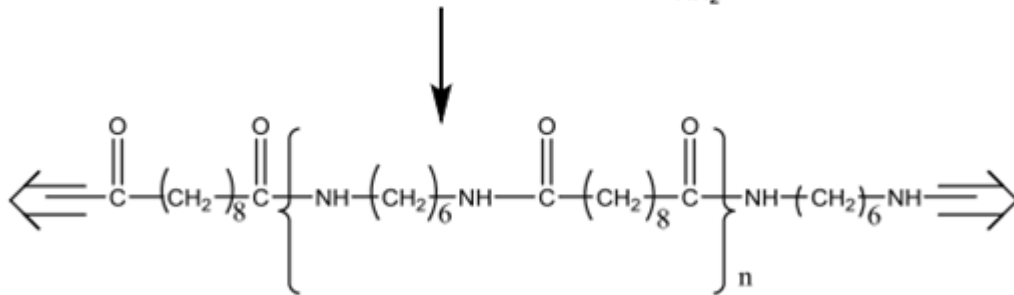
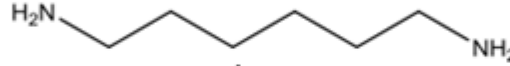
Εικόνα 1 : Αντιδρώντα και χημική εξίσωση για την παρασκευή του Nylon 6,10

Σεμπακουλο-χλωρίδιο (10 άτομα άνθρακα)



Εξαμεθυλενοδιαμίνη

(6 άτομα άνθρακα)



Το n μπορεί να είναι από μερικές εκατοντάδες ως πολλές χιλιάδες. $+ n \text{HCl}$

Η αμίνη διαλύεται στο νερό και το διχλωρίδιο σε οργανικό διαλύτη. Από την ανάμειξή τους προκύπτει ένα σύστημα 2 φάσεων και το nylon σχηματίζεται στη διεπιφάνεια τους (S. L. Weaver, 2013).

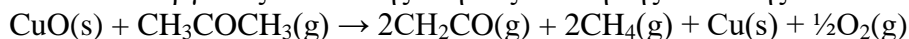
Πείραμα 2 : Πυριτικός κήπος

Όταν κρύσταλλοι από διάφορα άλατα προστεθούν σε διάλυμα πυριτικού νατρίου, σχηματίζονται αμέσως χρωματιστά «φυτά» από την επιφάνεια του κάθε κρυστάλλου προς τα πάνω. Καθώς το κάθε αλάτι διαλύεται, τα κατιόντα του μετάλλου συνδέονται με τα πυριτικά ανιόντα και σχηματίζουν μεμβράνες από δυσδιάλυτα πυριτικά άλατα γύρω από τον κρύσταλλο με αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης. Η μεμβράνη αυτή είναι ημιπερατή και το εσωτερικό της περιέχει λιγότερο νερό από το εξωτερικό και έτσι νερό περνά στο εσωτερικό της μεμβράνης λόγω ώσμωσης. Αυτό κάνει τη μεμβράνη να σπάει και περισσότερα μεταλλικά ιόντα έρχονται σε επαφή με τα πυριτικά ανιόντα και σχηματίζεται καινούρια μεμβράνη. Η μεμβράνη σπάει προς τα πάνω λόγω άνωσης γιατί η πυκνότητα εσωτερικά είναι μικρότερη από το περιβάλλον πυριτικό διάλυμα. Έτσι δημιουργούνται χρωματιστά «φυτά» προς τα πάνω. Το χρώμα του κάθε «φυτού» εξαρτάται από το μέταλλο (Cartwright 2002).

Το πείραμα έχει συνδεθεί με το φαινόμενο της ζωής τόσο από τον Γάλλο χημικό S. Leduc που το ανακάλυψε, όσο και από άλλους που θεωρούν ότι η ζωή ξεκίνησε σε υποθαλάσσια ηφαίστεια και υδροθερμικά κανάλια στα βάθη της θάλασσας όπου υγρά πλούσια σε μέταλλα από το εσωτερικό της γης βρίσκοντας διέξοδο στη θάλασσα, δημιούργησαν παρόμοιους πυριτικούς κήπους. Η ανάπτυξη των «πυριτικών φυτών» σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας βοηθά την κατανόηση της δομής και λειτουργίας των βιολογικών συστημάτων σε ατομικό επίπεδο.

Πείραμα 3 : Καταλυτική οξείδωση ακετόνης

Ο χαλκός όταν ερυθροπυρώνεται, οξειδώνεται και σχηματίζεται το οξείδιο του χαλκού CuO το οποίο λειτουργεί ως καταλύτης στην οξείδωση της ακετόνης :



Η συνολική αντίδραση είναι : $\text{CH}_3\text{COCH}_3\text{(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{C=C=O (g)} + \text{CH}_4\text{(g)}$

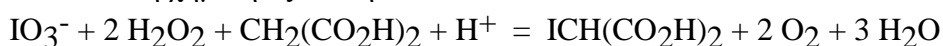
Η αιθενόνη και το μεθάνιο οξειδώνονται περαιτέρω σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

Η οξείδωση της ακετόνης αλλά και της αιθενόνης και του μεθανίου είναι εξώθερμες αντιδράσεις. Έτσι το σύρμα χαλκού παραμένει καυτό και επανοξειδώνεται στον αέρα οπότε γίνεται μαύρο. Οι ατμοί της ακετόνης οξειδώνονται, το οξείδιο του χαλκού ανάγεται σε χαλκό με μεταλλικό χρώμα, επαναλαμβάνοντας τον κύκλο μέχρι να τελειώσει η ακετόνη. Είναι ένα αυτοκαταλυτικό σύστημα με ετερογενή κατάλυση, όπου έχουμε ελεγχόμενη απελευθέρωση θερμότητας, ανάλογα με τη διαθέσιμη επιφάνεια του χαλκού (T Lister,1996).

Πείραμα 4 : Αντίδραση Briggs Rausher

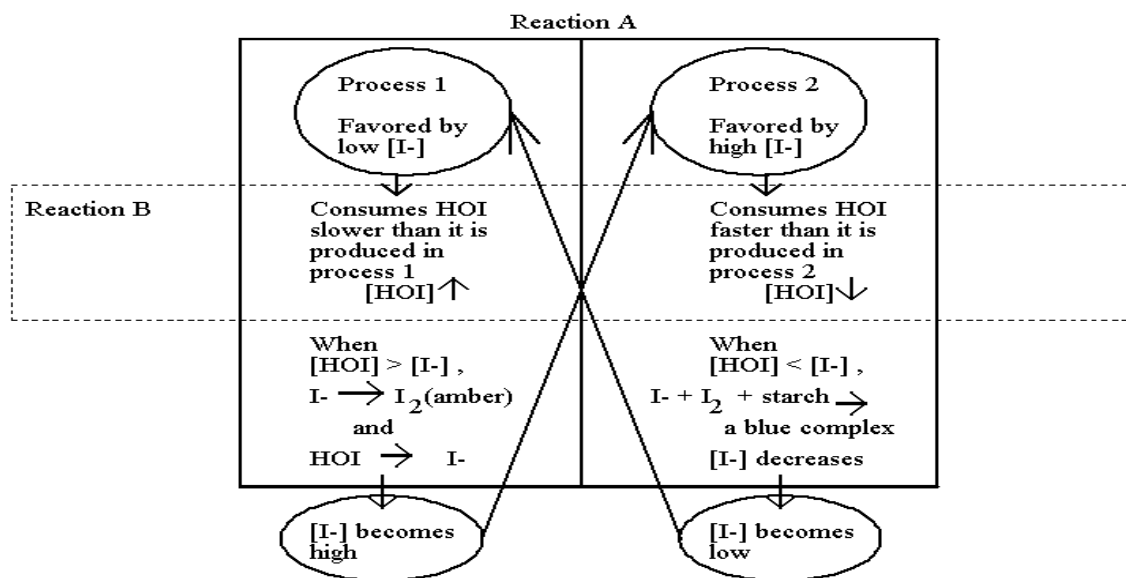
Η αντίδραση Briggs Rausher, είναι μια ταλαντούμενη χωρικά και χρονικά, χημική αντίδραση όπου αρχικά αναμειγνύουμε διαφανή διαλύματα τα οποία σχηματίζουν υποκίτρινο διάλυμα που γίνεται μπλε και τα χρώματα εναλλάσσονται περιοδικά για πολλούς κύκλους. Οφείλει το όνομά της σε δυο καθηγητές στο Σαν Φρανσίσκο που την ανακάλυψαν το 1973 (Shakhashiri, 1985).

Η συνολική χημική εξίσωση είναι :



Ο μηχανισμός της αντίδρασης είναι πολύπλοκος και εμπεριέχει σταδία αυτοκατάλυσης-ανάδρασης σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.

Εικόνα 2 : Μηχανισμός αντίδρασης Briggs Rausher



Πείραμα 5: Αντίδραση Belousov Zhabotinsky (B-Z)

Σε ανοιχτά συστήματα που υπόκεινται σε συνεχή και έντονη εντροπιακή ροή προς το περιβάλλον, είναι δυνατόν το εντροπιακό ισοζύγιο να οδηγήσει στο σχηματισμό λειτουργικών δομών μεγάλης οργάνωσης και μεγάλης εντροπιακής παραγωγής. Οι ζώντες οργανισμοί θεωρούνται ακραία παραδείγματα τέτοιων λειτουργικών δομών (Οικονόμου 1995). Στη χημεία

η αντίδραση B-Z αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα. Πρόκειται για μια καταλυτική οξείδωση του μαλονικού οξέος (καταλύτης το δημήτριο) από βρωμικά ιόντα σε όξινο περιβάλλον. Αναμειγνύουμε 4 διαλύματα τα οποία σχηματίζουν σταδιακά 4 χρώματα (πράσινο, μπλε, μωβ, κόκκινο) μέσα από στάδια ανάδρασης, που εναλλάσσονται περιοδικά για πολλούς κύκλους. Η ταλαντούμενη αυτή αντίδραση παράγει ζωηρά χρώματα που αντιστοιχούν στις αλλαγές στα στάδια οξείδωσης των ιόντων δημήτριου και σιδήρου.

Ο συνολικός μηχανισμός της αντίδρασης είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος και προτάθηκε αρχικά από τους M. Noyes, R. J. Fields and E. Körös (1972) – μηχανισμός FKN με τα πιο σημαντικά σημεία. Ένα πιο πρόσφατο μοντέλο περιλαμβάνει 80 στάδια.

Αν η παραπάνω αντίδραση γίνει σε τρυβλίο, οι χημικές αντιδράσεις μαζί με τη διάχυση, εμφανίζουν φαινόμενα αυτοοργάνωσης, με τη μορφή κυμάτων χημικής δραστηριότητας που διαδίδονται σε μακροσκοπικές αποστάσεις (Πριγκοζίν & Στεντζερς 1986), αποτελούμενα από ζώνες υψηλής και χαμηλής συγκέντρωσης που εναλλάσσονται περιοδικά και μοιάζουν να κινούνται.

Παρόλο που η αντίδραση B-Z είναι μια χημική ταλάντωση, η κατανόηση του μηχανισμού της μας βοηθάει να κατανοήσουμε βιολογικές ταλαντώσεις όπως οι χτύποι της καρδιάς. Τα χημικά κύματα που παρατηρούμε σε τρυβλίο είναι παρόμοια με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε ένα μυϊκό ιστό.

Βιβλιογραφία

Νικολής Γ., Η Θερμοδυναμική της Εξέλιξης στο Οικονόμου Ε.Ν., (1995) Η Φυσική Σήμερα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 156-181

Οικονόμου Ε.Ν., (1995) Η Φυσική Σήμερα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, σ.117

Πριγκοζίν Ι., Στεντζερς Ι. (1986). Τάξη Μέσα από το Χάος, Κέδρος, 214

Callister, W.D., Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών, Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2003

Cartwright J., Juan Manuel García-Ruiz, María Luisa Novella, and Fermín Otálora (2002) "Formation of Chemical Gardens". Journal of Colloid and Interface Science. 256 (2): 351.

R.J. Field, E. Körös, and R.M. Noyes, Oscillations in chemical systems, Part 2. Thorough analysis of temporal oscillations in the bromate-cerium-malonic acid system, Journal of the American Chemical Society 94 (1972), 8649–8664.

T Lister, Classic chemistry demonstrations, No. 100. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 1996

McMurry John, Οργανική Χημεία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2012 (ενιαίος τόμος)

B. Z. Shakhshiri, 1985, Chemical Demonstrations: A Handbook for Teachers of Chemistry, vol. 2, pp. 248-256.

S. L. Weaver, Synthesis of Nylon 6,10 Revised November 18, 2013