ΓΕΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ 1η Έκδοση 1936

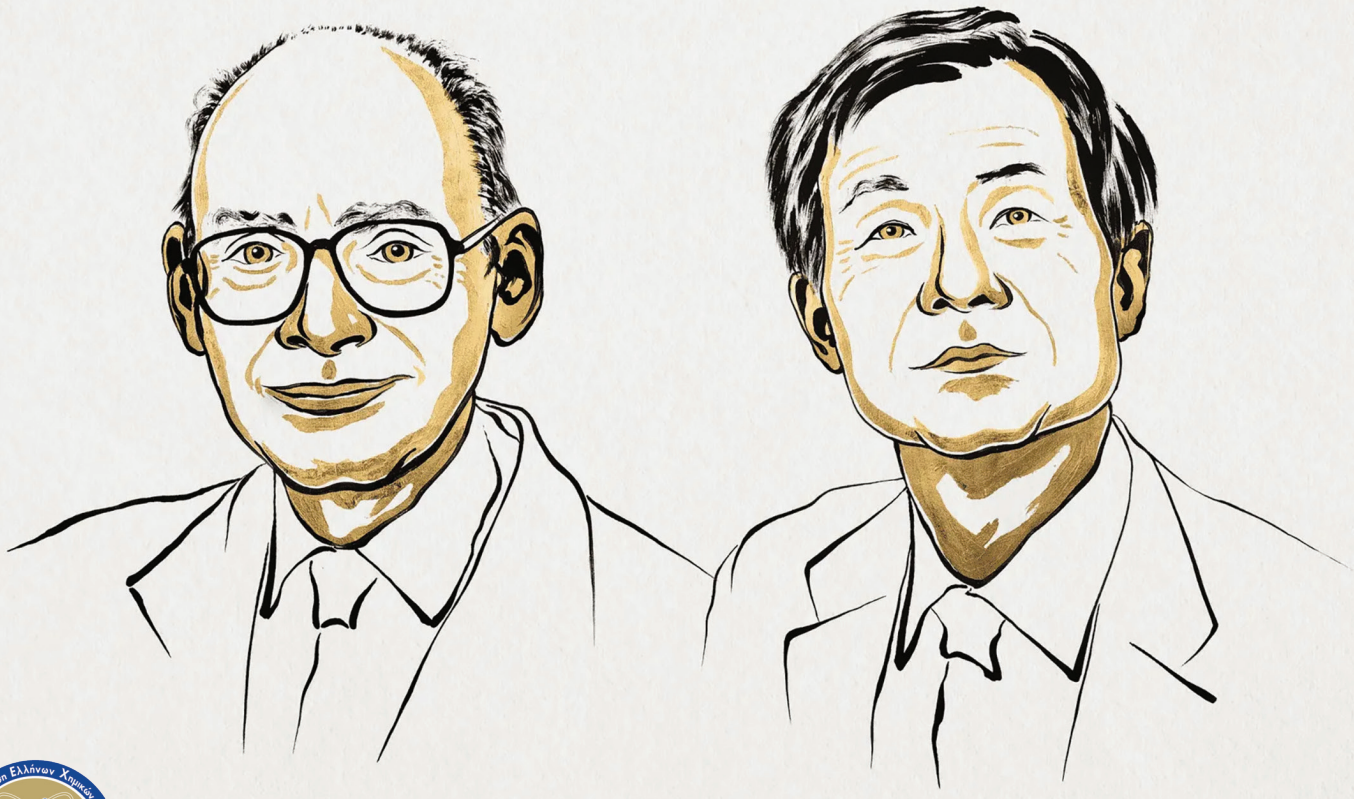
Χημικά Χρονικά

ΤΕΥΧΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2026

Οργανομεταλλικές σύμπλοκες ενώσεις με δομή «piano stool» του Ρουθηνίου ως αντικαρκινικά φάρμακα

Διερεύνηση της Κλίμακας pH με πολλαπλές αναπαραστάσεις:
Διδακτικό Σενάριο με προσομοίωση PhET

Νόμπελ Χημείας 2026



ISSN 0366-5526 Σεπτέμβριος - Οκτώβριος 2026 Τεύχος 05, Τόμος 88 September - October2026 Issue 05, Vol. 88

Χημικά Χρονικά

ΕΠΙΣΗΜΟ ΟΡΓΑΝΟ
ΤΗΣ ΕΝΩΣΗΣ ΕΛΛΗΝΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ

Ν.Π.Δ.Δ., Κάνιγγος 27, Τ.Κ. 10682 Αθήνα, τηλ.: 210 3832151, 210 3821524, fax: 210 3833597, ιστοσελίδα: www.eex.gr,
e-mail Ε.Ε.Χ.: info@eex.gr, e-mail Χ.Χ.: chemchro@eex.gr

Η Διοικούσα Επιτροπή της Ε.Ε.Χ. (2025-2027)

Πρόεδρος: Παπαδόπουλος Αθανάσιος
Α' Αντιπρόεδρος: Κορίλλης Αναστάσιος
Β' Αντιπρόεδρος: Κουλός Βασίλειος
Γενικός Γραμματέας: Σιταράς Ιωάννης
Ειδικός Γραμματέας: Βαφειάδης Ιωάννης - Αλέξανδρος
Ταμίας: Σωτηρίου Πέτρος
Μέλη: Στεφανίδου Άννα, Παπαγιαννοπούλου Ειρήνη, Στάικος Χρήστος, Ψαρουδάκης Νικόλαος, Σιδέρη Τριανταφυλλένια

Περιφερειακά τμήματα της Ε.Ε.Χ.

Αττικής και Κυκλάδων (Πρόεδρος: Κορωνιά Αικατερίνη), Κάνιγγος 27, Τ.Κ. 10682 Αθήνα, τηλ : 210 3821524, 210 3829266, fax : 2103833597, e-mail : ptak@eex.gr

Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας (Πρόεδρος: Κουλός Βασίλειος), Αριστοτέλους 6, Τ.Κ. 54623 Θεσσαλονίκη, τηλ./fax : 2310 278077, e-mail: ptkdm@eex.gr

Πελοποννήσου και Δυτικής Ελλάδας (Πρόεδρος: Παναγόπουλος Βασίλειος), Μαιζώνος 211, Τ.Κ. 26222 Πάτρα, τηλ./fax : 2610 362460, e-mail : eexpat@eex.gr

Κρήτης (Πρόεδρος: Σκουληκάρη Εμμανουέλα), Επιμενίδου 19, Τ.Κ. 71110 Ηράκλειο Κρήτης, Τ.Θ. 1335, τηλ./fax : 2810 220292, e-mail : crete@ eex.gr , eexkritis@yahoo.com

Θεσσαλίας (Πρόεδρος: Γούναρης Στέργιος), Σκενδεράνη 2, Τ.Κ. 38221 Βόλος, τηλ./fax : 24210 37421, e-mail : eexthes@eex.gr

Ηπείρου - Κερκύρας - Λευκάδας (Πρόεδρος: Χασιώτης Γεώργιος) Γραφείο Χ2 - 109, Ισόγειο, Τμήμα Χημείας-Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Πανεπιστημιούπολη Ιωαννίνων, 45110 Ιωάννινα, Τηλ.: 26510 08358 , e-mail: epiruseex@gmail.com

Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας Λεβαδίτου 2, Τ.Κ. 35100 Λαμία, τηλ. : 22310 25388, e-mail : eex.astereas@gmail.com

Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (Πρόεδρος: Κουτσιανόπουλος Φώτης), Τμήμα Χημείας ΔΙΠΑΕ, Άγιος Λουκάς, ΤΚ 654 04, Καβάλα, τηλ./fax : 25510 81002, e-mail : ptamth.eex@gmail.com

Νοτίου Αιγαίου Κλ. Πέππερ 1, Τ.Κ. 85100 Ρόδος, τηλ. : 22410 28638, 22410 37522, fax : 22410 35623, 22410 37522, e-mail : eex@rho.forthnet.gr

Βορείου Αιγαίου (Πρόεδρος: Τσεκούρα Ελένη), Ηλία Βενέζη 1, Τ.Κ. 81100 Μυτιλήνη, τηλ./fax : 22510 28183, e-mail : n.aegean@eex.gr

Ιδιοκτήτης: Ένωση Ελλήνων Χημικών
Εκδότης: Ο πρόεδρος της Ε.Ε.Χ. Παπαδόπουλος Αθανάσιος
Αρχισυντάκτης: Καραγιάννης Μιλτιάδης
Αναπληρωτής Αρχισυντάκτης: Κιτσινέλης Σπύρος
Μέλη Συντακτικής Επιτροπής: Κατσαφούρου Αγγελική, Κούσκουρα Μαρία, Κυριακού Ηρακλής, Παναγιώτης Πάντος, Τατάρογλου Αθανάσιος, Στέλλα Χατζημιχαηλίδου, Χατζημητάκος Θεόδωρος
Εκπρόσωπος της Δ.Ε. της Ε.Ε.Χ. στη Συντακτική Επιτροπή: Σιταράς Ιωάννης
Βοηθός έκδοσης: Κιτσινέλης Σπύρος
Τιμή Τεύχους: 3 €
Συνδρομές: Τακτικά μέλη (ενεργά): 35€
Τακτικά μέλη (συνταξιούχοι): 35€
Άνεργοι, μεταπτυχιακοί φοιτητές και στρατευμένοι: 15€
Βιομηχανίες – Οργανισμοί : 74€
Συνδρομή Εξωτερικού: $120
Σχεδίαση - Παραγωγή Έκδοσης: Adjust Lane
Ελευθερίας 51Α, 14235 Ν. Ιωνία
τηλ.: +306945594308
e-mail : panlampro@yahoo.gr

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3 Σημείωμα του Εκδότη

4 Επικαιρότητα

13 Άρθρα

27 Δράσεις ΕΕΧ/ Δελτία Τύπου

Η Χημεία στο επίκεντρο των μεγάλων ευρωπαϊκών προκλήσεων

Αγαπητές και αγαπητοί συνάδελφοι,

Η συζήτηση για το μέλλον της ευρωπαϊκής βιομηχανίας αποκτά ολοένα μεγαλύτερη σημασία. Το ενεργειακό κόστος, ο διεθνής ανταγωνισμός, η ανάγκη για τεχνολογική καινοτομία και η μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο παραγωγικό μοντέλο διαμορφώνουν ένα νέο περιβάλλον για την ευρωπαϊκή οικονομία. Σε αυτή τη συζήτηση, η χημική βιομηχανία βρίσκεται σε μια ιδιαίτερα κρίσιμη θέση.

Δεν είναι πάντοτε ορατό στον τελικό καταναλωτή, αλλά πίσω από ένα τεράστιο εύρος προϊόντων και τεχνολογιών βρίσκεται η Χημεία: από τα φάρμακα, τα υλικά και τα ηλεκτρονικά συστήματα μέχρι τις μπαταρίες, τις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας και τις εφαρμογές που υποστηρίζουν την καθημερινή μας ζωή. Η ισχυρή παραγωγική βάση στον τομέα των χημικών δεν αποτελεί, επομένως, απλώς ένα βιομηχανικό πλεονέκτημα. Συνδέεται με την οικονομική ανθεκτικότητα, την τεχνολογική αυτονομία και τη δυνατότητα μιας κοινωνίας να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της.

Οι προκλήσεις, ωστόσο, είναι σημαντικές. Η Ευρώπη καλείται να διατηρήσει την παραγωγική της ικανότητα, να επενδύσει στον εκσυγχρονισμό των εγκαταστάσεών της και να αναπτύξει ασφαλέστερες και πιο βιώσιμες χημικές διεργασίες, χωρίς να παραβλέπει την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων και τις ανάγκες της κοινωνίας. Η καινοτομία και η περιβαλλοντική προστασία δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως αντίθετοι στόχοι. Η πρόκληση είναι να συνδυαστούν με τρόπο επιστημονικά τεκμηριωμένο, οικονομικά βιώσιμο και κοινωνικά ωφέλιμο.

Σε αυτή την προσπάθεια, οι χημικοί δεν μπορούν να απουσιάζουν. Η επιστημονική τους κατάρτιση είναι απαραίτητη τόσο για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όσο και για τον έλεγχο της ποιότητας, την ασφάλεια των προϊόντων, την προστασία του περιβάλλοντος και τη βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών. Παράλληλα, η τεχνητή νοημοσύνη, η αυτοματοποίηση και οι νέες μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων δημιουργούν δυνατότητες που μπορούν να μεταμορφώσουν την έρευνα και τη βιομηχανική παραγωγή. Για να αξιοποιηθούν, όμως, χρειάζονται επιστημονική γνώση, κατάλληλη εκπαίδευση και ουσιαστική συνεργασία μεταξύ πανεπιστημίων, ερευνητικών κέντρων, επιχειρήσεων και επαγγελματικών φορέων.
Για την Ελλάδα, η συζήτηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία. Η αξιοποίηση του επιστημονικού δυναμικού της χώρας, η ενίσχυση της έρευνας, η σύνδεση της εκπαίδευσης με τις πραγματικές ανάγκες της παραγωγής και η δημιουργία ουσιαστικών επαγγελματικών ευκαιριών για τους νέους χημικούς αποτελούν προϋποθέσεις για ένα πιο δημιουργικό μέλλον. Δεν αρκεί να παράγουμε επιστημονική γνώση χρειάζεται να δημιουργούμε τις συνθήκες ώστε αυτή να μετατρέπεται σε καινοτομία, παραγωγική δραστηριότητα και κοινωνική πρόοδο.

Η Ένωση Ελλήνων Χημικών έχει σημαντικό ρόλο να διαδραματίσει σε αυτή την κατεύθυνση. Με παρεμβάσεις στον δημόσιο διάλογο, με τεκμηριωμένες προτάσεις προς την Πολιτεία, με την υποστήριξη της επιστημονικής και επαγγελματικής εξέλιξης των μελών της και με την ανάδειξη της συμβολής των χημικών στην κοινωνία, οφείλουμε να συμβάλουμε ενεργά στη διαμόρφωση των εξελίξεων. Η υπεράσπιση των επαγγελματικών δικαιωμάτων μας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ανάδειξη της πραγματικής αξίας της επιστήμης μας. Τα Χημικά Χρονικά, με τη μακρά τους διαδρομή από το 1936, αποτελούν έναν σημαντικό χώρο έκφρασης, ενημέρωσης και ανταλλαγής γνώσης για την ελληνική χημική κοινότητα. Σε μια περίοδο μεγάλων αλλαγών, η επιστημονική ενημέρωση και ο ουσιαστικός διάλογος αποκτούν ακόμη μεγαλύτερη αξία.

Το μέλλον της Χημείας δεν θα καθοριστεί μόνο από τις νέες ανακαλύψεις, αλλά και από την ικανότητά μας να τις αξιοποιούμε προς όφελος της κοινωνίας. Σε αυτή την προσπάθεια, η γνώση, η συνεργασία και η ενεργή συμμετοχή των χημικών είναι απαραίτητες.

Με συναδελφικούς χαιρετισμούς,
Δρ Αθανάσιος Παπαδόπουλος
Πρόεδρος Ένωσης Ελλήνων Χημικών

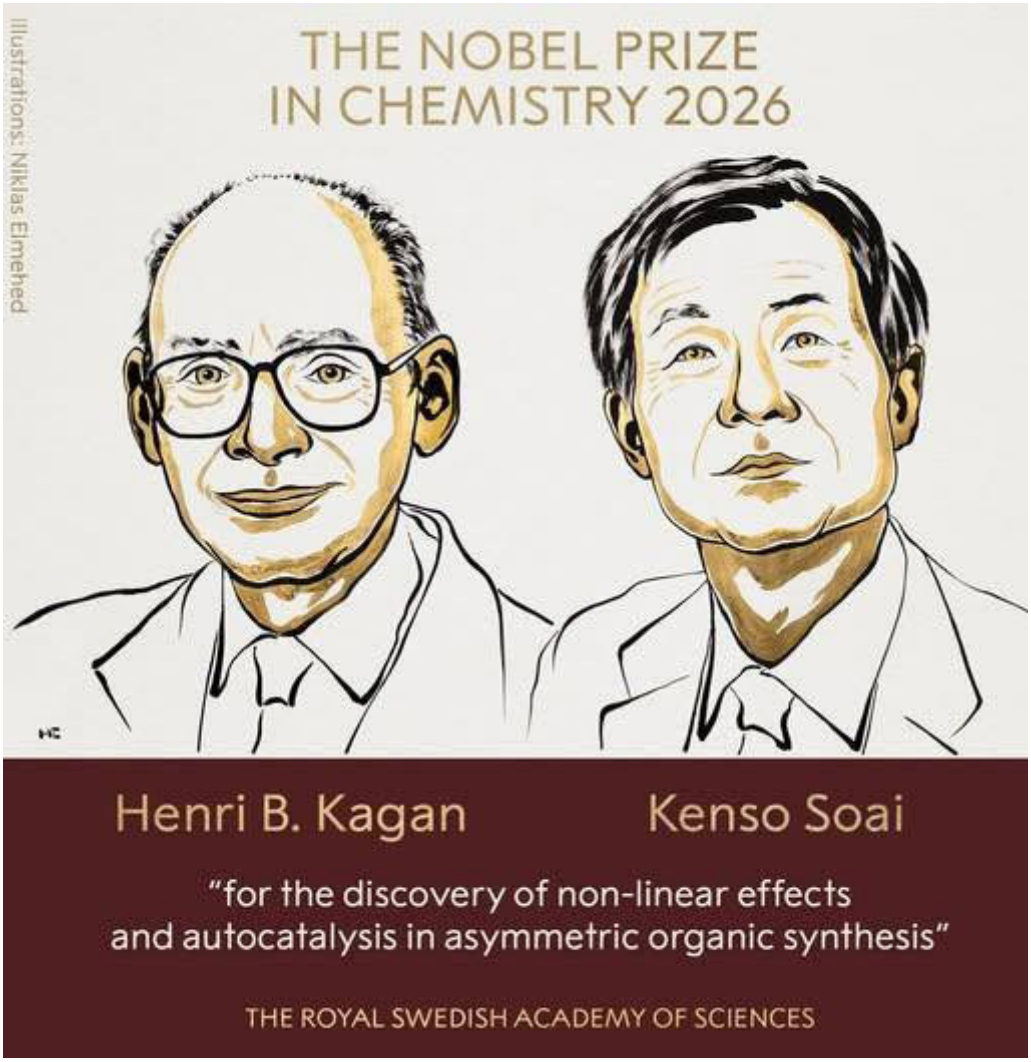
Νόμπελ Χημείας 2026

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Το Νόμπελ Χημείας 2026 απονεμήθηκε στους **Henri B. Kagan** και **Kenso Soai** για την ανακάλυψη και ανάπτυξη θεμελιωδών φαινομένων που σχετίζονται με τη μη γραμμικότητα και την αυτοκατάλυση στην ασύμμετρη οργανική σύνθεση. Η δουλειά τους έφερε στο προσκήνιο έναν ιδιαίτερα γοητευτικό μηχανισμό της χημείας, την ικανότητα ενός συστήματος να μετατρέπει μια μικρή αρχική ασυμμετρία σε μια πολύ μεγαλύτερη. Η ιδέα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία όχι μόνο για τη σύγχρονη οργανική και φαρμακευτική χημεία, αλλά και για ένα από τα παλαιότερα και πιο δύσκολα ερωτήματα της επιστήμης που είναι γιατί η ζωή στη Γη είναι χειρόμορφη;

Ορισμένα μόρια υπάρχουν σε δύο μορφές οι οποίες είναι κατοπτρικά είδωλα η μία της άλλης. Όπως το αριστερό και το δεξί μας χέρι, έτσι και αυτές οι δύο μορφές δεν μπορούν να ταυτιστούν απλώς με περιστροφή στον χώρο. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται χειρομορφία (chirality) και οι δύο μορφές ονομάζονται εναντιομερή.

Από χημικής άποψης, τα δύο εναντιομερή μπορεί να φαίνονται σχεδόν πανομοιότυπα. Στον ζωντανό οργανισμό όμως η διαφορά μπορεί να είναι τεράστια. Τα βιολογικά μόρια με τα οποία αλληλεπιδρούν, ένζυμα, υποδοχείς, πρωτεΐνες και νουκλεϊκά οξέα, είναι και αυτά χειρόμορφα και μπορούν επομένως να «αναγνωρίζουν» διαφορετικά τις δύο μορφές. Η ίδια η ζωή παρουσιάζει μια εντυπωσιακή προτίμηση. Τα αμινοξέα που δομούν τις πρωτεΐνες είναι σχεδόν αποκλειστικά της L-διαμόρφωσης, ενώ τα σάκχαρα που συμμετέχουν στη βιολογία των νουκλεϊκών οξέων ανήκουν στη D-σειρά. Τα γράμματα **L** και **D** προέρχονται από τις λατινικές λέξεις *laevus* (αριστερός) και *dexter* (δεξιός) και χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη χωρική διάταξη (τη στερεοχημική διαμόρφωση) των ατόμων γύρω από ένα ασύμμετρο κέντρο. Αν η αβιοτική χημεία μπορούσε να παράγει τις δύο μορφές χωρίς προτίμηση, θα περίμενε κανείς ένα περίπου ισομοριακό μείγμα. Πώς προέκυψε λοιπόν η προτίμηση της ζωής για το ένα «χέρι»;



Η έρευνα του Henri B. Kagan αποτέλεσε σημαντικό βήμα προς την κατανόηση αυτού του προβλήματος. Στην ασύμμετρη σύνθεση, ο στόχος είναι η παραγωγή ενός εναντιομερούς σε μεγαλύτερη ποσότητα από το άλλο. Η πρώτη διαισθητική σκέψη θα ήταν ότι αν ένας καταλύτης έχει, για παράδειγμα, 10% περίσσεια της μίας χειρόμορ-

φης μορφής, τότε θα πρέπει να προκαλεί περίπου αντίστοιχη ασυμμετρία στο προϊόν. Ο Kagan και οι συνεργάτες του έδειξαν ότι η σχέση μεταξύ της χειρομορφικής καθαρότητας του καταλύτη και της εναντιοεκλεκτικότητας του προϊόντος μπορεί να είναι μη γραμμική. Μια μικρή αλλαγή στη σύσταση του καταλύτη μπορεί, υπό κατάλληλες συνθήκες, να οδηγήσει σε δυσανάλογα μεγάλη αλλαγή στην εναντιοεκλεκτικότητα του προϊόντος. Η παρατήρηση αυτή ήταν πολύ σημαντική καθώς έδειχνε ότι η χημεία διαθέτει μηχανισμούς με τους οποίους μια μικρή ασυμμετρία μπορεί να ενισχυθεί αντί απλώς να μεταφερθεί αναλογικά από ένα μόριο σε ένα άλλο. Και αυτή ακριβώς η έννοια της ενίσχυσης είναι που συνδέει την ασύμμετρη σύνθεση με την προέλευση της ζωής.

Η επόμενη μεγάλη εξέλιξη ήρθε από τον Kenso Soai και τους συνεργάτες του. Η αυτοκατάλυση είναι ένα ιδιαίτερο φαινόμενο κατά το οποίο ένα προϊόν μιας αντίδρασης συμμετέχει στην κατάλυση της ίδιας αντίδρασης. Με άλλα λόγια, το προϊόν δεν είναι απλώς το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας αλλά μπορεί να βοηθά στη δημιουργία περισσότερου από τον εαυτό του. Η ιδέα γίνεται ακόμη πιο εντυπωσιακή όταν το προϊόν είναι χειρόμορφο. Ας υποθέσουμε ότι σε ένα αρχικό σύστημα υπάρχει μια απειροελάχιστη περίσσεια της μίας χειρόμορφης μορφής. Αν αυτή η μορφή μπορεί να λειτουργήσει ως αποτελεσματικότερος καταλύτης για την παραγωγή περισσότερης ίδιας μορφής, τότε δημιουργείται ένας θετικός βρόχος ανάδρασης. Η διαδικασία μπορεί έτσι να οδηγήσει σε δραματική ενίσχυση μιας αρχικά πολύ μικρής διαφοράς.

Αυτό είναι το εντυπωσιακό χαρακτηριστικό της περίφημης αντίδρασης Soai, που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1990 και αποτέλεσε ένα από τα πιο χαρακτηριστικά πειραματικά παραδείγματα ασύμμετρης αυτοκατάλυσης. Το 1995 ο Soai και οι συνεργάτες του δημοσίευσαν την εργασία που ανέδειξε την εντυπωσιακή ικανότητα του συστήματος να ενισχύει τη χειρομορφική ασυμμετρία. Η αντίδραση αυτή έκτοτε αποτέλεσε αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης και χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο για την κατανόηση της αυτοενίσχυσης της χειρομορφίας.

Η προέλευση αυτού του φαινομένου δεν έχει ακόμη εξηγηθεί οριστικά, γνωρίζουμε όμως ότι πρέπει να συνέβη κάτι που έσπασε την αρχική συμμετρία μεταξύ των δύο εναντιομερών. Το ερώτημα δεν είναι μόνο πώς δημιουργήθηκε η αρχική ασυμμετρία, αλλά και πώς αυτή θα μπορούσε να ενισχυθεί. Ακόμη και αν κάποιος φυσικός ή χημικός μηχανισμός δημιουργούσε μια ελάχιστη περίσσεια της μίας μορφής, ένα ελάχιστο πλεονέκτημα που από μόνο του θα ήταν σχεδόν αμελητέο, ένας μηχανισμός αυτοκατάλυσης θα μπορούσε θεωρητικά να το ενισχύσει. Αυτό δεν αποδεικνύει ότι η αντίδραση Soai ήταν ο υπεύθυνος μηχανισμός. Δεν γνωρίζουμε αν μια τέτοια αντίδραση έλαβε χώρα στην πρώιμη Γη. Δείχνει όμως κάτι πολύ σημαντικό, το ότι η χημεία διαθέτει έναν πραγματικό και πειραματικά παρατηρήσιμο μηχανισμό με τον οποίο μια μικρή αρχική ασυμμετρία μπορεί να γίνει πολύ μεγάλη. Και αυτό αλλάζει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να σκεφτούμε την εμφάνιση της βιολογικής χειρομορφίας.

Η χειρομορφία δεν αποτελεί μόνο ένα συναρπαστικό πρόβλημα θεμελιώδους χημείας αλλά είναι εξαιρετικά σημαντική για τη φαρμακολογία. Ένα φάρμακο και το εναντιομερές του μπορεί να έχουν διαφορετική αλληλεπίδραση με τα μόρια-στόχους στον ανθρώπινο οργανισμό. Ο λόγος είναι ότι οι βιολογικοί υποδοχείς και τα ένζυμα έχουν συγκεκριμένη τρισδιάστατη δομή. Ένα μόριο μπορεί να «ταιριάζει» σε έναν υποδοχέα όπως ένα κλειδί σε μια κλειδαριά, ενώ το κατοπτρικό του είδωλο μπορεί να ταιριάζει πολύ χειρότερα ή να αλληλεπιδρά με διαφορετικό τρόπο. Η δυνατότητα παραγωγής ενός φαρμακευτικού μορίου με συγκεκριμένη χειρομορφία αποτελεί επομένως βασικό στόχο της σύγχρονης οργανικής σύνθεσης. Η ασύμμετρη κατάλυση έχει μετατραπεί σε ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία της σύγχρονης συνθετικής χημείας, επιτρέποντας στους χημικούς να σχεδιάζουν αντιδράσεις που παράγουν επιλεκτικά το επιθυμητό εναντιομερές.

Το πιο ενδιαφέρον από την έρευνα των Kagan και Soai δεν αφορά μια συγκεκριμένη αντίδραση αλλά τη μη γραμμικότητα. Στη γραμμική σκέψη, μια μικρή αιτία προκαλεί ένα μικρό αποτέλεσμα. Στα μη γραμμικά συστήματα, όμως, αυτό δεν είναι απαραίτητο. Μια μικρή αλλαγή μπορεί να προκαλέσει δυσανάλογα μεγάλη μεταβολή, ιδιαίτερα όταν υπάρχει θετική ανάδραση. Η αρχή αυτή συναντάται σε πολλά διαφορετικά πεδία της επιστήμης, από τη φυσική και τη χημεία έως τη βιολογία και την επιστήμη των πολύπλοκων συστημάτων. Στην περίπτωση της χειρομορφίας, η αυτοκατάλυση προσφέρει ένα ιδιαίτερα όμορφο χημικό παράδειγμα όπου ένα μόριο μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία περισσότερων μορίων σαν τον εαυτό του. Από μια μικρή διαταραχή μπορεί να προκύψει μια μεγάλη ασυμμετρία και σε ένα κυρίαρχο χαρακτηριστικό ενός συστήματος.

Πηγή

Nobel Prize – Chemistry 2026, Royal Swedish Academy of Sciences
https://www.nobelprize.org

Μια τυχαία ανακάλυψη που αλλάζει όσα γνωρίζαμε για τη φωτοχημεία

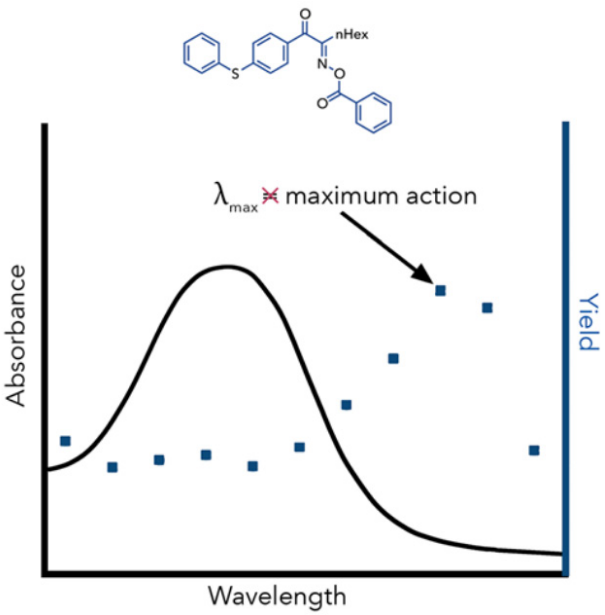
Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

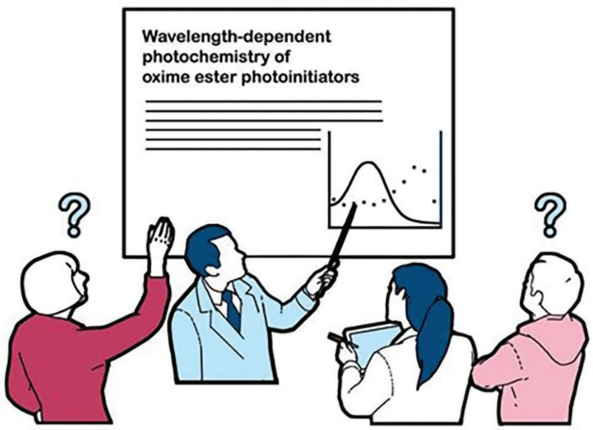
Η ιστορία της επιστήμης είναι γεμάτη από ανακαλύψεις που έγιναν κατά τύχη, αλλά εδραιώθηκαν χάρη στην επιμονή των ερευνητών. Από την πενικιλίνη του Alexander Fleming μέχρι την ανακάλυψη των ακτίνων Χ από τον Wilhelm Röntgen, η προσεκτική παρατήρηση ενός «παράξενου» αποτελέσματος έχει πολλές φορές οδηγήσει σε επιστημονικές επαναστάσεις. Μια αντίστοιχη ιστορία εκτυλίχθηκε πρόσφατα στον χώρο της φωτοχημείας, όπου μια φαινομενικά ασήμαντη παρατήρηση οδήγησε στην αναθεώρηση μιας θεμελιώδους παραδοχής που καθοδηγούσε τους φωτοχημικούς εδώ και δεκαετίες.

Η φωτοχημεία είναι ο κλάδος της χημείας που μελετά τις χημικές μεταβολές που προκαλούνται από την απορρόφηση φωτός. Όταν ένα μόριο απορροφήσει ένα φωτόνιο, αποκτά ενέργεια και μεταβαίνει σε διεγερμένη ηλεκτρονική κατάσταση. Από εκεί μπορεί να εκπέμψει φως, να μεταφέρει ενέργεια ή ηλεκτρόνια σε άλλα μόρια ή να υποστεί χημικό μετασχηματισμό. Οι αρχές αυτές αποτελούν τη βάση πλήθους εφαρμογών, από τη φωτοσύνθεση και τη φωτοκατάλυση μέχρι την τρισδιάστατη εκτύπωση, τη φωτοδυναμική θεραπεία του καρκίνου και την ανάπτυξη νέων υλικών.

Για δεκαετίες επικρατούσε μία σχεδόν αυτονόητη παραδοχή: εάν ένα μόριο απορροφά εντονότερα σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, τότε η φωτοχημική αντίδραση θα είναι αποτελεσματικότερη όταν φωτιστεί ακριβώς σε αυτό το μήκος κύματος. Η λογική ήταν απλή, όσο περισσότερα φωτόνια απορροφώνται, τόσο περισσότερα μόρια διεγείρονται και τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι η απόδοση της αντίδρασης. Η παραδοχή αυτή επηρέαζε τον σχεδιασμό σχεδόν όλων των φωτοχημικών πειραμάτων. Η εικόνα αυτή άρχισε να αλλάζει το 2016, όταν η ερευνητική ομάδα του καθηγητή Christopher Barner-Kowollik στο Queensland University of Technology της Αυστραλίας μελετούσε φωτοεκκινητές πολυμερισμού, ενώσεις που χρησιμοποιούνται ευρέως στην παραγωγή πολυμερών, στις οδοντιατρικές ρητίνες, στις προστατευτικές επιστρώσεις και στις τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, ένας ερευνητής αποφάσισε να χρησιμοποιήσει μια διαφορετική πηγή φωτός, σε μήκη κύματος όπου οι συγκεκριμένες ενώσεις απορροφούσαν ελάχιστα.

Το αποτέλεσμα ήταν εντελώς απροσδόκητο. Αντί η αντίδραση να επιβραδυνθεί, όπως προέβλεπε η θεωρία, σε αρκετές περιπτώσεις πραγματοποιήθηκε ταχύτερα και με μεγαλύτερη απόδοση. Η παρατήρηση έμοιαζε τόσο παράλογη ώστε οι ίδιοι οι ερευνητές υπέθεσαν αρχικά ότι είχαν κάνει κάποιο λάθος. Ακολούθησε ένας δεκαε-





της επιστημονικός «μαραθώνιος». Η ομάδα επανέλαβε τα πειράματα αμέτρητες φορές, χρησιμοποίησε διαφορετικές πηγές φωτός, διαφορετικούς διαλύτες και ανεξάρτητες πειραματικές διατάξεις, ενώ επένδυσε περισσότερα από 100.000 ευρώ σε εξειδικευμένο εξοπλισμό λέιζερ ώστε να ελέγχει με απόλυτη ακρίβεια τόσο το μήκος κύματος όσο και τον αριθμό των φωτονίων που έφθαναν στο δείγμα. Παράλληλα, συνεργάστηκε με θεωρητικούς χημικούς και φυσικούς προκειμένου να αποκλείσει κάθε πιθανή εναλλακτική εξήγηση.

Η δυσκολία δεν βρισκόταν μόνο στο εργαστήριο. Για αρκετά χρόνια οι αξιολογητές επιστημονικών περιοδικών θεωρούσαν ότι τα αποτελέσματα οφείλονταν σε πειραματικά σφάλματα, προσμίξεις ή λανθασμένες μετρήσεις. Η ιδέα ότι ένα μόριο θα μπορούσε να αντιδρά αποτελεσματικότερα σε μήκη κύματος όπου απορροφά λιγότερο φως ερχόταν σε αντίθεση με μια βαθιά εδραιωμένη αντίληψη της φωτοχημείας. Χρειάστηκαν σχεδόν δέκα χρόνια μέχρι να συσσωρευτούν αρκετά ανεξάρτητα δεδομένα ώστε η επιστημονική κοινότητα να αποδεχθεί ότι το φαινόμενο είναι πραγματικό και γενικότερο από όσο αρχικά θεωρήθηκε. Σημαντική επιβεβαίωση προήλθε και από άλλες ερευνητικές ομάδες, οι οποίες διαπίστωσαν ότι είχαν παρατηρήσει αντίστοιχες αποκλίσεις στο παρελθόν, αλλά τις είχαν αποδώσει σε πειραματικές ατέλειες. Σήμερα έχουν δημοσιευθεί αρκετές ανεξάρτητες εργασίες που καταδεικνύουν ότι η φωτοχημική δραστικότητα δεν ακολουθεί πάντοτε την καμπύλη απορρόφησης ενός μορίου.

Η απάντηση στο γιατί συμβαίνει αυτό φαίνεται να βρίσκεται στη συμπεριφορά των μορίων μέσα στο πραγματικό τους περιβάλλον. Σε ένα διάλυμα, κάθε μόριο αλληλεπιδρά διαφορετικά με τα γειτονικά μόρια του διαλύτη, δημιουργώντας ένα πλήθος ελαφρώς διαφορετικών μικροπεριβαλλόντων. Οι μικροσκοπικές αυτές διαφορές επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο κατανέμεται και εξελίσσεται η ενέργεια μετά την απορρόφηση του φωτός. Ως αποτέλεσμα, σε ορισμένες περιπτώσεις φωτόνια χαμηλότερης ενέργειας μπορούν να οδηγήσουν αποτελεσματικότερα στη χημική αντίδραση από ό,τι φωτόνια υψηλότερης ενέργειας. Οι ερευνητές συνδέουν το φαινόμενο αυτό με το λεγόμενο red-edge effect, ένα γνωστό φασματοσκοπικό φαινόμενο που μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνταν κυρίως για τη μελέτη της δομής πρωτεϊνών και πολύπλοκων βιολογικών συστημάτων. Η νέα εργασία δείχνει ότι το ίδιο φυσικό φαινόμενο μπορεί να επηρεάζει ουσιαστικά και την απόδοση φωτοχημικών αντιδράσεων, ανοίγοντας έναν νέο τρόπο σκέψης για τον σχεδιασμό φωτοδραστικών μορίων.

Οι πρακτικές συνέπειες της ανακάλυψης είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Η δυνατότητα ενεργοποίησης χημικών αντιδράσεων με φως μεγαλύτερου μήκους κύματος συνεπάγεται μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, καλύτερη διείσδυση του φωτός σε παχύτερα υλικά και βιολογικούς ιστούς, καθώς και μειωμένη φωτοαποικοδόμηση ευαίσθητων ενώσεων. Αυτό μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τεχνολογίες όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση, η φωτοπολυμεριστική κατασκευή προηγμένων υλικών, η φωτοφαρμακολογία, η ελεγχόμενη χορήγηση φαρμάκων και η μηχανική ιστών. Επιπλέον, η εργασία ανοίγει νέες προοπτικές για τη φωτοκατάλυση και την οργανική σύνθεση. Εάν διαφορετικά μήκη κύματος μπορούν να ευνοούν διαφορετικά φωτοχημικά μονοπάτια, τότε οι χημικοί θα μπορούν στο μέλλον να κατευθύνουν επιλεκτικότερα τις αντιδράσεις προς το επιθυμητό προϊόν, μειώνοντας τα παραπροϊόντα και βελτιώνοντας τη βιωσιμότητα των διεργασιών. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα ελκυστική για την ανάπτυξη πιο «πράσινων» χημικών διεργασιών και νέων φωτοκαταλυτικών συστημάτων.

Παρότι η συγκεκριμένη ανακάλυψη δεν ανατρέπει τους θεμελιώδεις νόμους της φωτοχημείας, υπενθυμίζει ότι ακόμη και οι πιο καθιερωμένες εμπειρικές παραδοχές δεν αποτελούν αμετάβλητα δόγματα. Η επιστήμη εξελίσσεται διαρκώς, καθώς νέα πειραματικά δεδομένα οδηγούν σε βαθύτερη κατανόηση πολύπλοκων φυσικών φαινομένων. Αυτό που θεωρείται σήμερα αυτονόητο μπορεί αύριο να χρειάζεται αναθεώρηση. Η ιστορία αυτή αποτελεί επίσης ένα εξαιρετικό παράδειγμα της έννοιας του serendipity, της δημιουργικής αξιοποίησης μιας απρόσμενης παρατήρησης. Ένα αποτέλεσμα που αρχικά θεωρήθηκε λάθος μετατράπηκε, μέσα από χρόνια επίμονης έρευνας, σε μια ανακάλυψη που ενδέχεται να επηρεάσει τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται οι φωτοχημικές αντιδράσεις στο μέλλον.

Ίσως τελικά αυτό να είναι και το σημαντικότερο μήνυμα της συγκεκριμένης ιστορίας. Η πρόοδος της επιστήμης δεν προκύπτει μόνο από την επιβεβαίωση των θεωριών, αλλά και από την προθυμία των ερευνητών να αμφισβητήσουν, με τεκμηριωμένα πειράματα και κριτική σκέψη, ακόμη και τις πιο εδραιωμένες αντιλήψεις. Όπως απέδειξε αυτή η δεκαετής ερευνητική προσπάθεια, πολλές φορές οι σημαντικότερες ανακαλύψεις βρίσκονται ακριβώς εκεί όπου οι περισσότεροι βλέπουν απλώς ένα «περίεργο» ή «λανθασμένο» αποτέλεσμα.

Πηγή

How a chance discovery overturned one of photochemistry's oldest dogmas, Chemistry World, 2026.
https://www.chemistryworld.com/news/how-a-chance-discovery-overturned-one-of-photochemistrys-oldest-dogmas/4023163.article?utm_source=cw_reaction&utm_medium=email&utm_campaign=cw_newsletters

Η Τεχνητή Νοημοσύνη από την πρόβλεψη νέων υλικών έως τις πραγματικές εφαρμογές

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Η σύζευξη της τεχνητής νοημοσύνης με την πειραματική χημεία και την επιστήμη των υλικών αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο αναζητούμε υλικά με νέες και χρήσιμες ιδιότητες. Το ζητούμενο, πλέον, δεν είναι μόνο να προβλεφθεί ένα υλικό στον υπολογιστή, αλλά να συντεθεί, να παραμείνει σταθερό σε πραγματικές συνθήκες και να μπορεί να παραχθεί σε βιομηχανική κλίμακα. Από καταλύτες και υλικά για ηλιακές κυψέλες έως μεμβράνες για την απομάκρυνση ρύπων και υλικά δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα, ο αριθμός των πιθανών χημικών συνδυασμών είναι πρακτικά απεριόριστος. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) έρχεται να περιορίσει δραστικά αυτόν τον χώρο αναζήτησης, υποδεικνύοντας ποιες από τις αμέτρητες πιθανότητες αξίζει να εξεταστούν πειραματικά.

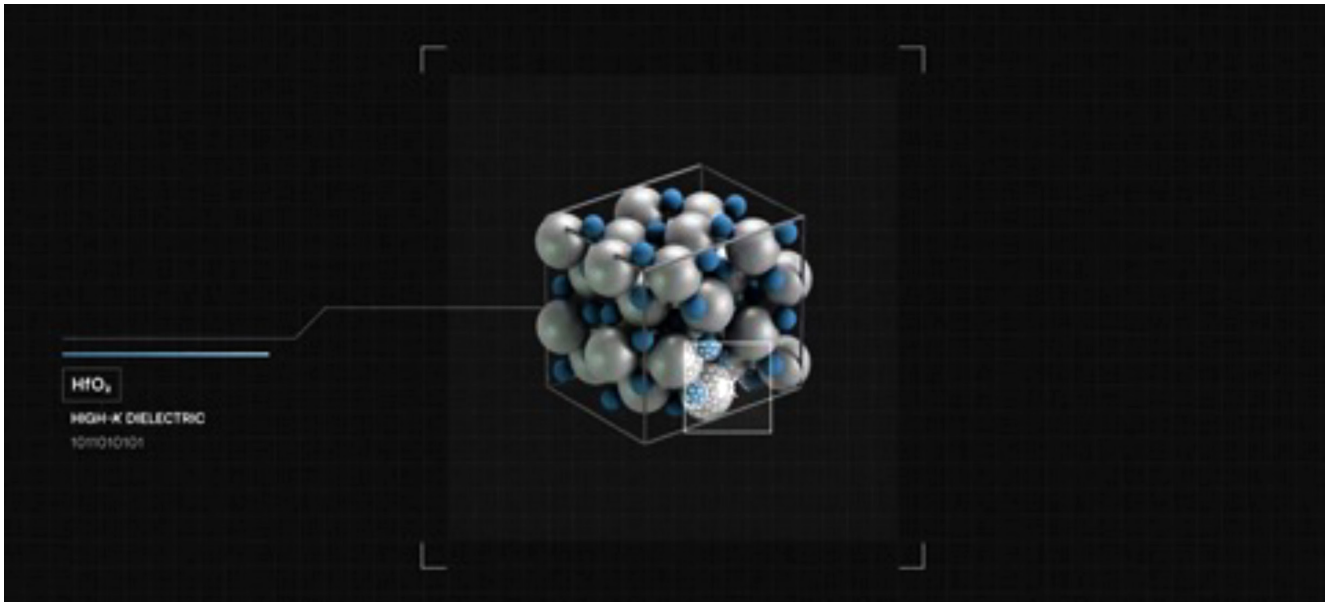
Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η βρετανική εταιρεία υπολογιστικής χημείας CuspAI, με έδρα το Cambridge, η οποία δημιούργησε το AI Materials Foundry, ένα διεθνές δίκτυο 45 οργανισμών. Στο εγχείρημα συμμετέχουν εταιρείες τεχνολογίας, χημικές και αυτοκινητοβιομηχανίες, επιχειρήσεις του κλάδου των ημιαγωγών και της ηλιακής ενέργειας, καθώς και οργανισμοί που παρέχουν επιστημονικά δεδομένα.

Στόχος του δικτύου είναι η ανάπτυξη και αξιοποίηση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης για τον σχεδιασμό νέων λειτουργικών υλικών, αλλά και η πειραματική επιβεβαίωση των υπολογιστικών προβλέψεων.

Για πολλά χρόνια, η υπολογιστική χημεία χρησιμοποιήθηκε κυρίως για να εξηγήσει ή να προβλέψει τη συμπεριφορά ήδη γνωστών μορίων και υλικών. Η σημερινή γενιά μοντέλων AI επιδιώκει κάτι πιο φιλόδοξο, δηλαδή να σχεδιάσει εξαρχής υλικά τα οποία θα διαθέτουν συγκεκριμένες, επιθυμητές ιδιότητες. Πρόκειται για ένα αντίστροφο πρόβλημα σχεδιασμού. Αντί ο ερευνητής να ξεκινά από μια χημική δομή και να ρωτά «ποιες είναι οι ιδιότητές της;», ξεκινά από τις επιθυμητές ιδιότητες και αναζητά ποιες δομές θα μπορούσαν να τις παρουσιάζουν. Η προσέγγιση αυτή θυμίζει, σε κάποιο βαθμό, τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα. Όπως ένα γλωσσικό μοντέλο μαθαίνει συσχετίσεις μεταξύ λέξεων και μπορεί να προβλέψει ποια λέξη ταιριάζει σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, έτσι και ένα μοντέλο για υλικά μπορεί να αναγνωρίζει συσχετίσεις μεταξύ χημικής δομής και ιδιοτήτων. Με αυτόν τον τρόπο, ο τεράστιος χώρος πιθανών χημικών ενώσεων δεν εξετάζεται εξαντλητικά. Η τεχνητή νοημοσύνη λειτουργεί ως «φίλτρο», εντοπίζοντας τις περιοχές του χημικού χώρου που εμφανίζουν μεγαλύτερη πιθανότητα να οδηγήσουν σε χρήσιμα υλικά.

Καθοριστικό ρόλο στην πρόοδο αυτών των μεθόδων διαδραματίζουν τα δεδομένα. Όσο μεγαλύτερη και ποιοτικότερη είναι η βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση ενός μοντέλου, τόσο περισσότερες χημικές και δομικές συσχετίσεις μπορεί να αναγνωρίσει. Η CuspAI αξιοποιεί δεδομένα από επιστημονικές βάσεις, όπως το Cambridge Crystallographic Data Centre, καθώς και περιεχόμενο από επιστημονικούς εκδότες. Παράλληλα, χρησιμοποιεί μεγάλης κλίμακας υπολογιστικές προσομοιώσεις, δημιουργώντας σύνολα δεδομένων που περιλαμβάνουν δεκάδες εκατομμύρια ουσίες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αξιοποίηση του Universal Model for Atoms (UMA), ενός μοντέλου που αναπτύχθηκε από τη Meta. Το UMA επεκτείνει τις δυνατότητες των machine-learning interatomic potentials (MLIPs), τα οποία μπορούν να υπολογίζουν ατομικές δυνάμεις με σημαντικά μικρότερο υπολογιστικό κόστος από προσεγγίσεις όπως Density Functional Theory, DFT. Η εξέλιξη αυτή είναι σημαντική, καθώς παραδοσιακά απαιτούνταν διαφορετικά μοντέλα για διαφορετικά χημικά συστήματα. Η δυνατότητα ενός μοντέλου να γενικεύει σε διαφορετικές χημικές κατηγορίες δημιουργεί προϋποθέσεις για πολύ ευρύτερη χρήση της υπολογιστικής τεχνητής νοημοσύνης στην επιστήμη των υλικών.

Παρά την εντυπωσιακή πρόοδο των υπολογιστικών μοντέλων, η πρόβλεψη μιας επιθυμητής ιδιότητας δεν αποτελεί από μόνη της λύση. Όπως επισημαίνει ο Aron Walsh, Chief Scientific Officer της CuspAI και επιστήμονας υλικών στο Imperial College London, η πρόβλεψη της επιθυμητής ιδιότητας ενός υλικού έχει σε μεγάλο βαθμό πάψει να είναι το βασικό εμπόδιο. Η πραγματική πρόκληση μετατοπίζεται πλέον στη σύνθεση, στη σταθερότητα υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και στη δυνατότητα βιομηχανικής παραγωγής. Η παρατήρηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη χημεία. Ένα υλικό μπορεί να εμφανίζεται εξαιρετικό σε μία υπολογιστική προσομοίωση, αλλά να αποδεικνύεται δύσκολο ή αδύνατο να παρασκευαστεί. Μπορεί επίσης να αποσυντίθεται, να αντιδρά με άλλες ουσίες ή να χάνει τις ιδιότητές του όταν λειτουργεί σε πραγματικές θερ-



Source: © CuspAI

μοκρασίες, πιέσεις ή χημικά περιβάλλοντα. Επομένως, η πραγματική αξία της AI στη χημεία δεν βρίσκεται μόνο στην παραγωγή υποσχόμενων δομών αλλά και στη δημιουργία ενός κλειστού κύκλου σχεδιασμού–πρόβλεψης–σύνθεσης–μέτρησης–βελτιστοποίησης, όπου οι πειραματικές παρατηρήσεις επιστρέφουν στο μοντέλο και βελτιώνουν τις επόμενες προβλέψεις.

Ένας από τους τομείς στους οποίους εφαρμόζονται αυτές οι τεχνικές είναι η αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Το 2025, η CuspAI συνεργάστηκε με τη Meta για την ανάπτυξη συνόλων δεδομένων και μοντέλων AI που αφορούν υλικά ικανά να δεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα απευθείας από την ατμόσφαιρα. Η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός προβλήματος όπου ο αριθμός των πιθανών υλικών είναι τεράστιος και η υπολογιστική αναζήτηση μπορεί να περιορίσει σημαντικά το πεδίο των υποψηφίων. Ακόμη πιο χαρακτηριστική είναι η συνεργασία με τη φινλανδική εταιρεία χημικών Kemira. Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν, η CuspAI πρότεινε 20 νέα μεταλλο-οργανικά πλαίσια (Metal–Organic Frameworks, MOFs) για την απομάκρυνση ενώσεων PFAS από το νερό μέσα σε περίπου έξι μήνες, διαδικασία που υπό συμβατικές προσεγγίσεις θα μπορούσε να απαιτήσει αρκετά χρόνια. Τα MOFs αποτελούν ιδιαίτερα ελκυστική κατηγορία υλικών λόγω της μεγάλης ποικιλίας δομών και των ρυθμιζόμενων ιδιοτήτων τους. Η δυνατότητα της AI να αναζητά αποτελεσματικά μέσα σε αυτόν τον τεράστιο χώρο πιθανών δομών μπορεί να επιταχύνει σημαντικά την ανάπτυξη νέων προσροφητικών υλικών.

Η μετατόπιση από την ακαδημαϊκή έρευνα προς τα πραγματικά βιομηχανικά προβλήματα αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο της νέας προσέγγισης. Σε ένα εργαστήριο, ένα υλικό μπορεί να αξιολογείται με βάση μία ή περισσότερες ιδιότητες υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Στη βιομηχανία, όμως, η εικόνα είναι πολύ πιο σύνθετη. Το υλικό πρέπει να είναι οικονομικά βιώσιμο, να μπορεί να παραχθεί σε μεγάλη κλίμακα, να παρουσιάζει επαρκή διάρκεια ζωής και να ενσωματώνεται σε μία υφιστάμενη παραγωγική διαδικασία. Για τον λόγο αυτό, η συμμετοχή εταιρειών από διαφορετικούς κλάδους στο AI Materials Foundry έχει ιδιαίτερη σημασία. Η τεχνητή νοημοσύνη δεν χρησιμοποιείται πλέον μόνο για να απαντήσει στο ερώτημα «ποιο υλικό έχει τις καλύτερες ιδιότητες;», αλλά σταδιακά και στο πολύ πιο απαιτητικό ερώτημα «ποιο υλικό μπορεί πραγματικά να χρησιμοποιηθεί;».

Η εξέλιξη αυτή δεν σημαίνει ότι ο αλγόριθμος αντικαθιστά τον χημικό. Αντίθετα, δημιουργεί ένα νέο μοντέλο συνεργασίας. Ο χημικός γνωρίζει τους περιορισμούς της σύνθεσης, τη χημική σταθερότητα, τη συμπεριφορά των στοιχείων και τις πρακτικές δυσκολίες ενός πειράματος. Το μοντέλο AI μπορεί να εξετάσει έναν χώρο πιθανών ενώσεων πολύ μεγαλύτερο από αυτόν που θα μπορούσε να διερευνήσει ένας άνθρωπος ή ακόμη και μία συμβατική υπολογιστική προσέγγιση. Η πραγματική πρόοδος προκύπτει όταν οι δύο αυτές μορφές γνώσης συνδυάζονται. Η AI προτείνει, ο χημικός αξιολογεί, το εργαστήριο συνθέτει και μετρά, και τα νέα δεδομένα επιστρέφουν στον αλγόριθμο. Έτσι, η διαδικασία μετατρέπεται από μία γραμμική ακολουθία «σχεδιασμός–σύνθεση–δοκιμή» σε έναν επαναληπτικό και αυτοβελτιούμενο κύκλο ανακάλυψης.

Η μεγάλη επένδυση κεφαλαίων στην τεχνητή νοημοσύνη έχει δημιουργήσει και μεγάλες προσδοκίες όπως και είχε συμβεί και με προηγούμενες τεχνολογικές τάσεις (combinatorial chemistry, high-throughput screening). Η σημερινή κατάσταση βέβαια είναι διαφορετική ως προς την κλίμακα των διαθέσιμων δεδομένων, την υπολογι-

στική ισχύ και τις δυνατότητες των σύγχρονων μοντέλων. Ωστόσο, το βασικό κριτήριο επιτυχίας παραμένει το ίδιο και αυτό είναι ότι η τεχνολογία πρέπει να παράγει μετρήσιμο αποτέλεσμα στον πραγματικό κόσμο. Για τη χημεία και την επιστήμη των υλικών, αυτό σημαίνει ότι η επιτυχία δεν θα κριθεί από τον αριθμό των υποσχόμενων ενώσεων που θα προτείνει ένας αλγόριθμος. Θα κριθεί από το πόσες από αυτές θα μπορέσουν να συντεθούν, να λειτουργήσουν αξιόπιστα και τελικά να μετατραπούν σε χρήσιμα προϊόντα ή διεργασίες.

Εάν η τεχνητή νοημοσύνη καταφέρει να συνδεθεί αποτελεσματικά με τη σύνθεση, τον χαρακτηρισμό, την αξιολόγηση της σταθερότητας και την κλιμάκωση της παραγωγής, τότε δεν θα αποτελεί απλώς ένα ακόμη υπολογιστικό εργαλείο για τους χημικούς αλλά θα μπορούσε να εξελιχθεί σε βασικό μέρος μιας νέας, ταχύτερης και περισσότερο στοχευμένης διαδικασίας ανακάλυψης υλικών, από την πρώτη υπολογιστική πρόβλεψη μέχρι το υλικό που τελικά φτάνει στη βιομηχανία.

Πηγή
Extance, A. "Combining AI with experiments to solve real-world materials problems." *Chemistry World*, 12 August 2026.

Μέλι ή νοθευμένο σιρόπι; Η αναλυτική χημεία απέναντι σε μια δύσκολη μορφή διατροφικής απάτης

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Το μέλι είναι ίσως ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα ενός φυσικού προϊόντος που φαίνεται απλό, αλλά παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη χημική πολυπλοκότητα. Για τον καταναλωτή, η βασική ερώτηση είναι αν αυτό που βρίσκεται μέσα στο βάζο είναι πράγματι μέλι ή περιέχει φθηνότερα σάκχαρα και σιρόπια; Για τον αναλυτικό χημικό, η απάντηση είναι δύσκολη.

Το πρόβλημα δεν είναι απλώς η ανίχνευση ενός «ξένου» συστατικού. Το μέλι είναι ένα φυσικό προϊόν με τεράστια μεταβλητότητα στη σύστασή του. Η βοτανική και γεωγραφική προέλευση, τα φυτά από τα οποία συλλέγουν νέκταρ οι μέλισσες, η διαχείριση της κυψέλης, οι συνθήκες αποθήκευσης και οι διαδικασίες επεξεργασίας μπορούν να μεταβάλουν σημαντικά το χημικό του αποτύπωμα. Ένα δείγμα που αποκλίνει από ένα «τυπικό» μέλι δεν είναι επομένως κατ' ανάγκην νοθευμένο.

Το μέλι μάλιστα αποτελεί στόχο καθώς η μεγάλη διαφορά τιμής μεταξύ αυθεντικού μελιού και φθηνών σιροπιών δημιουργεί ισχυρό οικονομικό κίνητρο για νοθεία. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, στο συντονισμένο πρόγραμμα «From the Hives», ανέλυσε 320 φορτία μελιού που είχαν εισαχθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση και χαρακτήρισε 147 δείγματα, δηλαδή το 46%, ως ύποπτα μη συμμόρφωσης με τη νομοθεσία λόγω ενδείξεων παρουσίας εξωγενών σακχάρων. Το ποσοστό αυτό δεν πρέπει να ερμηνεύεται ως απόδειξη ότι το 46% του συνόλου του μελιού που καταναλώνεται στην Ευρώπη είναι νοθευμένο. Αφορά συγκεκριμένο δείγμα εισαγόμενων φορτίων και, επιπλέον, τα χρησιμοποιούμενα αναλυτικά εργαλεία ήταν διαφορετικά και πιο ευαίσθητα από εκείνα προηγούμενων ελέγχων.

Από χημική άποψη, το μέλι αποτελεί κυρίως ένα υδατικό διάλυμα σακχάρων, με κυρίαρχα τη γλυκόζη και τη φρουκτόζη. Ωστόσο, το σχετικά μικρό ποσοστό των υπόλοιπων συστατικών περιλαμβάνει εκατοντάδες ενώσεις όπως άλλα σάκχαρα, οργανικά οξέα, αμινοξέα, πρωτεΐνες και ένζυμα, ανόργανα στοιχεία, πτητικές και αρωματικές ενώσεις, καθώς και ενώσεις που προέρχονται από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς. Αυτή ακριβώς η πολυπλοκότητα αποτελεί ταυτόχρονα πλεονέκτημα και πρόβλημα. Από τη μία πλευρά, δημιουργεί ένα μοναδικό χημικό «δακτυλικό αποτύπωμα» που μπορεί θεωρητικά να χρησιμοποιηθεί για την ταυτοποίηση της προέλευσης και της αυθεντικότητας. Από την άλλη, το αποτύπωμα ενός ανθόμελου μπορεί να διαφέρει σημαντικά από εκείνο ενός μελιού με διαφορετική βοτανική ή γεωγραφική προέλευση.

Ακόμη και η ίδια πρακτική στη μελισσοκομία μπορεί να επηρεάσει τα αναλυτικά αποτελέσματα. Η τροφοδότηση των μελισσών με σακχαρούχα διαλύματα κατά τη διάρκεια περιόδων περιορισμένης ανθοφορίας, για παράδειγμα, μπορεί να αφήσει ίχνη στο τελικό προϊόν. Αναλυτικά, είναι εξαιρετικά δύσκολο να διαχωριστεί πάντοτε η επίδραση μιας τέτοιας πρακτικής από τη σκόπιμη προσθήκη σιροπιού μετά τη συγκομιδή. Παράλληλα, οι σύγχρονες πρακτικές παραγωγής και επεξεργασίας προσθέτουν νέες μεταβλητές. Το μέλι μπορεί να υποστεί ανάμιξη διαφορετικών παρτίδων, θέρμανση, απομάκρυνση νερού και άλλες διαδικασίες που μεταβάλλουν το χημικό του προφίλ. Έτσι, ο αναλυτής δεν συγκρίνει ένα «σταθερό» υλικό

με ένα νοθευμένο αντίστοιχο, αλλά προσπαθεί να εντοπίσει μικρές αποκλίσεις μέσα σε ένα φυσικά μεταβαλλόμενο σύστημα. Μία από τις σημαντικότερες τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση νοθείας του μελιού είναι η φασματομετρία λόγου σταθερών ισοτόπων (Isotope Ratio Mass Spectrometry, IRMS). Η μέθοδος βασίζεται σε μία ενδιαφέρουσα βιοχημική διαφορά. Τα φυτά δεν ενσωματώνουν τα ισότοπα του άνθρακα με ακριβώς τον ίδιο τρόπο κατά τη φωτοσύνθεση. Τα φυτά όπως το ζαχαροκάλαμο και το καλαμπόκι, παρουσιάζουν διαφορετικό λόγο $^{13}C/^{12}C$ σε σχέση με τα περισσότερα φυτά από τα οποία προέρχεται μεγάλο μέρος του νέκταρος. Έτσι, η μέτρηση του ισοτοπικού λόγου μπορεί να αποκαλύψει την παρουσία ορισμένων σιροπιών που δεν ταιριάζουν με το ισοτοπικό αποτύπωμα του φυσικού μελιού.

Η τεχνική, όμως, δεν είναι πανάκεια. Τα τελευταία χρόνια οι παραγωγοί νοθευμένων σιροπιών έχουν στραφεί σε σιρόπια που προέρχονται από φυτά όπως το ρύζι, το σιτάρι και τα ζαχαρότευτλα. Τα σιρόπια αυτά μπορούν να παρουσιάζουν ισοτοπική σύσταση παρόμοια με εκείνη του μελιού και επομένως να μην ανιχνεύονται εύκολα με την κλασική προσέγγιση IRMS. Η ίδια η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σημειώνει ότι η κλασική EA-IRMS δεν ήταν αποτελεσματική στην πρόσφατη ευρωπαϊκή δράση για τον εντοπισμό των νέων αυτών τύπων σιροπιών. Η εξέλιξη αυτή αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός διαρκούς «αγώνα δρόμου» μεταξύ αναλυτικής χημείας και νοθείας όπου όταν μία μέθοδος αποκτά ευρεία χρήση, η νοθεία μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να μην αφήνει το συγκεκριμένο αναλυτικό ίχνος.

Μία διαφορετική προσέγγιση βασίζεται στη φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR). Αντί να αναζητείται αποκλειστικά ένα συγκεκριμένο συστατικό, η NMR μπορεί να καταγράψει ένα πολύ ευρύτερο χημικό προφίλ του δείγματος. Η λογική είναι ότι εάν διαθέτουμε μία μεγάλη και αξιόπιστη βάση δεδομένων αυθεντικών μελιών, μπορούμε να συγκρίνουμε το φάσμα ενός άγνωστου δείγματος με τα φάσματα αναφοράς και να αναζητήσουμε αποκλίσεις. Εδώ, όμως, εμφανίζεται ένα δεύτερο μεγάλο πρόβλημα που είναι ότι η βάση δεδομένων είναι τόσο σημαντική όσο και το ίδιο το όργανο. Μία βάση δεδομένων που περιλαμβάνει κυρίως μέλια συγκεκριμένης γεωγραφικής ή βοτανικής προέλευσης μπορεί να χαρακτηρίσει λανθασμένα ως ύποπτο ένα απολύτως αυθεντικό μέλι από διαφορετική περιοχή. Για τον λόγο αυτό απαιτούνται μεγάλες, αντιπροσωπευτικές και πλήρως τεκμηριωμένες συλλογές αυθεντικών δειγμάτων. Η προέλευση κάθε δείγματος, η βοτανική του ταυτότητα και η αλυσίδα ιχνηλασιμότητάς του πρέπει να είναι γνωστές. Η πρόκληση αυτή έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πρωτοκόλλων για τη δημιουργία βάσεων δεδομένων αυθεντικότητας, ενώ παράλληλα η NMR χρησιμοποιείται τόσο για στοχευμένες μετρήσεις συγκεκριμένων ενώσεων όσο και για μη στοχευμένη ανάλυση του συνολικού χημικού προφίλ.

Η υγροχρωματογραφία υψηλής διακριτικής ικανότητας σε συνδυασμό με φασματομετρία μάζας (LC-HRMS) προσφέρει μία ακόμη ισχυρή προσέγγιση. Η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί στοχευμένα, αναζητώντας συγκεκριμένους χημικούς δείκτες, αλλά και μη στοχευμένα, δημιουργώντας ένα ευρύτερο χημικό προφίλ του δείγματος. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μαννόζη. Η αυξημένη παρουσία της μπορεί να αποτελεί ένδειξη προσθήκης ορισμένων σιροπιών. Ωστόσο, και εδώ η χημεία δεν προσφέρει ένα απλό «ναι ή όχι». Η μαννόζη μπορεί να υπάρχει φυσικά σε ορισμένες κατηγορίες μελιού, όπως σε μέλι από φλαμούρι, καστανιά ή άλλες συγκεκριμένες φυτικές πηγές. Επομένως, η ανίχνευση μιας ουσίας δεν αρκεί από μόνη της για να αποδείξει νοθεία. Πρόσφατες εργασίες του Joint Research Centre έδειξαν ότι οι διαφορετικές αναλυτικές τεχνικές δεν έδωσαν πάντοτε ταυτόσημα αποτελέσματα. Αυτό αποτελεί ισχυρό επιχείρημα υπέρ της πολυπαραμετρικής προσέγγισης.



Source: © Joe Klamar/AFP/Getty Images

Το μέλι περιέχει επίσης DNA, προερχόμενο από τις μέλισσες, τη γύρη των φυτών που επισκέπτονται και μικροοργανισμούς. Η ανάλυση DNA έχει επομένως προταθεί ως ένα ακόμη εργαλείο για την ταυτοποίηση της προέλευσης και της νοθείας. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, αλλά δεν είναι απαλλαγμένη από περιορισμούς. Τα σιρόπια υφίστανται συχνά επεξεργασία που μπορεί να καταστρέψει μεγάλο μέρος του αρχικού γενετικού υλικού τους. Συνεπώς, η απουσία ενός συγκεκριμένου DNA marker δεν σημαίνει κατ' ανάγκην απουσία του αντίστοιχου σιροπιού.

Παράλληλα, αναπτύσσονται φασματοσκοπικές τεχνικές όπως η spatially offset Raman spectroscopy (SORS). Ένα από τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματά της είναι η δυνατότητα μέτρησης μέσα από γυάλινα δοχεία, γεγονός που δημιουργεί την προοπτική

ταχύτερων ελέγχων σε τελωνεία, εγκαταστάσεις παραγωγής ή ακόμη και στην αλυσίδα λιανικής.

Η επόμενη φάση στην αυθεντικοποίηση του μελιού πιθανότατα δεν θα αφορά μόνο την ανάπτυξη καλύτερων αισθητήρων, αλλά και την καλύτερη αξιοποίηση των δεδομένων που αυτοί παράγουν. Η φασματοσκοπία Raman, η NMR και η LC-HRMS δημιουργούν πολύπλοκα πολυδιάστατα δεδομένα. Η μηχανική μάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση χαρακτηριστικών που είναι δύσκολο να εντοπιστούν με απλές μονοπαραμετρικές συγκρίσεις. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο μπορεί να εκπαιδευτεί με αυθεντικά μέλια διαφορετικής βοτανικής και γεωγραφικής προέλευσης, καθώς και με δείγματα στα οποία έχουν προστεθεί γνωστοί τύποι σιροπιών σε διαφορετικές συγκεντρώσεις. Στη συνέχεια, ένα άγνωστο δείγμα μπορεί να ταξινομηθεί με βάση την απόστασή του από τα γνωστά χημικά πρότυπα. Αλλά και εδώ υπάρχει μία κρίσιμη προϋπόθεση που είναι ότι η ποιότητα του μοντέλου εξαρτάται από την ποιότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων εκπαίδευσης. Ένας αλγόριθμος δεν μπορεί να διορθώσει μία ανεπαρκή ή μεροληπτική βάση δεδομένων.

Ίσως το σημαντικότερο συμπέρασμα από την προσπάθεια αυθεντικοποίησης του μελιού είναι ότι η αναλυτική χημεία δεν πρέπει να αναζητά απαραίτητα το «μαγικό τεστ». Η σύγχρονη προσέγγιση μετακινείται προς αυτό που στην επιστήμη της εγκληματολογίας είναι γνωστό ως weight of evidence, αξιολόγηση του συνολικού βάρους των ανεξάρτητων ενδείξεων. Ένα δείγμα μπορεί να παρουσιάζει μία ασυνήθιστη ισοτοπική υπογραφή, ένα δεύτερο χαρακτηριστικό στο NMR και έναν ακόμη ύποπτο δείκτη στο LC-HRMS. Κανένα από αυτά τα ευρήματα δεν είναι απαραίτητα αποδεικτικό από μόνο του. Όταν όμως ανεξάρτητες αναλυτικές παρατηρήσεις συγκλίνουν προς το ίδιο συμπέρασμα, η συνολική αξιοπιστία της αξιολόγησης αυξάνεται σημαντικά. Η ευρωπαϊκή εμπειρία επιβεβαιώνει αυτή την ανάγκη. Στην έρευνα των 320 δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές αναλυτικές προσεγγίσεις, ενώ τα ύποπτα αποτελέσματα συμπληρώθηκαν με στοιχεία ιχνηλασιμότητας και ερευνητικές διαδικασίες. Η ίδια η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επισημαίνει ότι οι υφιστάμενες μέθοδοι δεν είναι ακόμη επαρκώς εναρμονισμένες και διεθνώς επικυρωμένες ώστε ένα απλό αναλυτικό αποτέλεσμα να αρκεί πάντοτε για την απόδειξη νοθείας.

Η αυθεντικοποίηση επομένως δεν είναι αποκλειστικά πρόβλημα αναλυτικής χημείας. Είναι και πρόβλημα ιχνηλασιμότητας. Ένα πραγματικά αξιόπιστο σύστημα θα πρέπει να συνδυάζει τα αναλυτικά δεδομένα με πληροφορίες για την προέλευση του προϊόντος, τον μελισσοκόμο, την παρτίδα, τη μεταφορά, την επεξεργασία, την ανάμιξη και την εμφιάλωση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό επειδή η νοθεία μπορεί να γίνει ολοένα και πιο «έξυπνη». Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει αναφέρει περιπτώσεις όπου οι δράστες χρησιμοποιούσαν αναλύσεις σε διαπιστευμένα εργαστήρια για να προσαρμόζουν μίγματα μελιού και σιροπιού έτσι ώστε να αποφεύγουν την ανίχνευση. Με άλλα λόγια, ο στόχος της αναλυτικής χημείας δεν είναι πλέον απλώς να κατασκευάσει ένα τεστ που θα βρίσκει τη νοθεία. Πρέπει να κατασκευάσει ένα σύστημα ελέγχου αρκετά εξελιγμένο ώστε να προσαρμόζεται και στις νέες μορφές νοθείας.

Η περίπτωση του μελιού αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο εξελίσσεται η σύγχρονη αναλυτική χημεία. Το πρόβλημα δεν λύνεται με την αναζήτηση ενός μοναδικού μορίου-«αποτυπώματος», αλλά με τον συνδυασμό χημικών, ισοτοπικών, φασματοσκοπικών, γενετικών και υπολογιστικών δεδομένων. Στο μέλλον, η πιο αποτελεσματική στρατηγική πιθανότατα θα βασίζεται σε τρία επίπεδα: πολυπαραμετρική ανάλυση, μεγάλες και διαφανείς βάσεις δεδομένων αυθεντικών δειγμάτων και προηγμένη στατιστική ή μηχανική μάθηση. Παράλληλα, θα απαιτηθεί διεθνής εναρμόνιση των μεθόδων, κοινά αποδεκτά όρια και σαφείς διαδικασίες επικύρωσης. Η πρόκληση είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για την επιστήμη της Χημείας. Το αυθεντικό μέλι δεν είναι ένα σταθερό χημικό πρότυπο αλλά ένα φυσικό, δυναμικό και εξαιρετικά μεταβλητό σύστημα. Και ακριβώς γι' αυτό η προσπάθεια να ξεχωρίσουμε το φυσικό από το τεχνητά τροποποιημένο αποτελεί ένα από τα πιο απαιτητικά προβλήματα της σύγχρονης επιστήμης τροφίμων.

Η μάχη εναντίον του «ψεύτικου μελιού» είναι, τελικά, κάτι περισσότερο από μια μάχη μεταξύ μελισσοκόμων και νοθευτών. Είναι μια δοκιμασία για την ίδια την αναλυτική χημεία και για το πόσο καλά μπορούμε να αναγνωρίσουμε ένα φυσικό προϊόν όταν αυτό δεν έχει μία μοναδική χημική ταυτότητα; Η απάντηση φαίνεται να βρίσκεται όχι σε ένα καλύτερο τεστ, αλλά σε ένα καλύτερο σύστημα επιστημονικών αποδείξεων.

Πηγές

1. **Notman, N.**, "The sticky problem of detecting fake honey", *Chemistry World*, 17 August 2026. Το άρθρο αποτέλεσε τη βασική πηγή για την αναλυτική προσέγγιση, τις δυσκολίες αυθεντικοποίησης του μελιού και τις τεχνικές NMR, LC-HRMS, DNA και Raman.
2. **European Commission**, *EU Coordinated Action "From the Hives" (Honey 2021–2022)*. Η επίσημη ευρωπαϊκή έρευνα στην οποία αναλύθηκαν 320 δείγματα εισαγόμενου μελιού και 147 (46%) χαρακτηρίστηκαν ύποπτα μη συμμόρφωσης. European Commission – From the Hives
3. **European Commission**, *Questions and Answers surrounding Honey Adulteration*, 22 March 2023. Ιδιαίτερα χρήσιμη πηγή για τους περιορισμούς της EA-IRMS, την αντικατάσταση παλαιότερων τύπων σιροπιών από σιρόπια ρυζιού, σιταριού και ζαχαρότευτλων, καθώς και την ανάγκη για εναρμονισμένες και επικυρωμένες αναλυτικές μεθόδους.
4. **Council Directive 2001/110/EC relating to honey**, όπως ισχύει μετά την πρόσφατη αναθεώρηση της ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Η οδηγία καθορίζει τον νομικό ορισμό του μελιού, τα κριτήρια σύστασης και τις απαιτήσεις επισήμανσης.

Οργανομεταλλικές σύμπλοκες ενώσεις με δομή «piano stool» του Ρουθηνίου ως αντικαρκινικά φάρμακα

Σκόνδρα Παναγιώτα, προπτυχιακή φοιτήτρια, τμήμα χημείας ΕΚΠΑ
Φιλιππόπουλος Αθανάσιος, αναπληρωτής καθηγητής, τμήμα χημείας ΕΚΠΑ

Περίληψη: Ο καρκίνος αποτελεί την δεύτερη αιτία θανάτου παγκοσμίως. Η θεραπεία του στηρίζεται στη χημειοθεραπεία με ισχυρά φάρμακα, όπως οι σύμπλοκες ενώσεις του Λευκοχρύσου. Όμως, προκαλούν ποικίλες παρενέργειες. Συνεπώς, είναι επιτακτική ανάγκη η δημιουργία βελτιωμένων αντικαρκινικών φαρμάκων βασισμένα σε άλλα μεταλλικά ιόντα. Οι σύμπλοκες ενώσεις του Ρουθηνίου είναι πολλά υποσχόμενες, λόγω αυξημένης εκλεκτικότητας σε ένζυμα – DNA και χαμηλής κυτταροτοξικότητας.

1. Εισαγωγή

Οι οργανομεταλλικές σύμπλοκες ενώσεις του Ρουθηνίου συγκεντρώνουν μεγάλο ενδιαφέρον στον τομέα της βιολογικής ανόργανης χημείας, καθώς αποτελούν μια πιο ασφαλή και πιο αποτελεσματική εναλλακτική λύση[1] σε σχέση με τα παραδοσιακά αντικαρκινικά φάρμακα του Λευκοχρύσου.[2] Οι μηχανισμοί δράσης των μέταλλο-φαρμάκων στο περιβάλλον του όγκου[3,4] βασίζονται τόσο στις ιδιότητες ολόκληρης της σύμπλοκης ένωσης όσο και του Ρουθηνίου.[4] Οι υπό μελέτη μηχανισμοί αναδεικνύουν την αλληλεπίδρασή τους με ένζυμα και DNA.[5,6] Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι η αγγειογένεση και οι μεταστάσεις περιορίζονται σε σημαντικό βαθμό.[3,6] Γι' αυτό, οι ενώσεις του Ρουθηνίου χρησιμοποιούνται συνδυαστικά με θεραπείες, ενισχύοντας τη φαρμακευτική δράση και αμβλύνοντας τις παρενέργειες.[7]

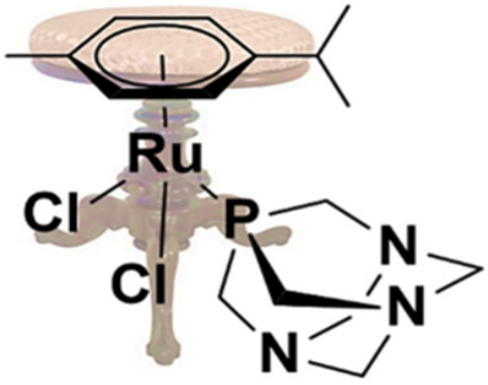
2. Πλεονεκτήματα μεταλλικού κέντρου

Η δημιουργία μέταλλο-φαρμάκων (metallodrugs), και η ενσωμάτωση εγκεκριμένων φαρμάκων με κέντρο το Ρουθήνιο, προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα και ανοίγει νέους δρόμους στην αντιμετώπιση του καρκίνου. Συγκεκριμένα, το Ρουθήνιο εμφανίζει μεταβλητές οξειδωτικές καταστάσεις (II, III, IV) ανάλογα με το περιβάλλον[8]. Σε pH=7.6 η κυρίαρχη οξειδωτική κατάσταση Ru(III) εξασφαλίζει την σχετική αδράνεια του φαρμάκου.[8]Όμως, οι συμπαγείς όγκοι έχουν έντονα υποξικό και όξινο περιβάλλον, δρώντας αναγωγικά[8]. Συνεπώς, το αδρανές Ru(III) ανάγεται στο πιο δραστικό Ru(II) in situ μέσα στα καρκινικά κύτταρα, στοχεύοντάς τα επιλεκτικά[8,9]. Παράλληλα, επιτυγχάνεται η επιλεκτική σύνδεση του Ρουθηνίου (II, III) με άτομα βιομορίων αντίστοιχης σκληρότητας[10] (S, N) για τη μεταφορά του μέσα στα κύτταρα.[11]

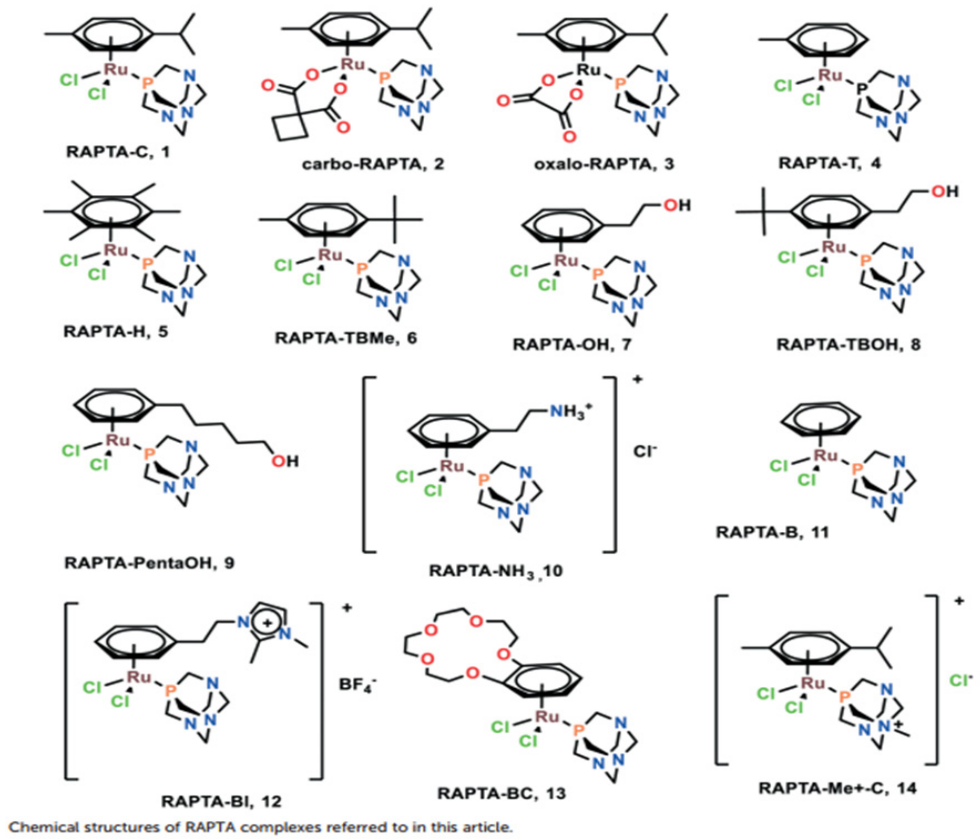
3. Δομικά πλεονεκτήματα

Οι ενώσεις τύπου piano-stool, αποτελούν μια από τις πιο ανταγωνιστικές και ελπιδοφόρες κατηγορίες μέταλλο-φαρμάκων. Στη δομή αυτή (Εικόνα 1), ο δακτύλιος του αρενίου (p-cymene) είναι το «κάθισμα» του σκαμπό και οι υπόλοιποι υποκαταστάτες τα «πόδια».[12,13] Ο δακτύλιος συνδέεται με το Ru(II) (απτικότητα-η^6) λειτουργώντας ως δότης και ως π-δέκτης ηλεκτρονίων, γεγονός που σταθεροποιεί την οξειδωτική κατάσταση.[12,13] Επιπλέον, η δομή αυτών των ενώσεων παρέχει εξαιρετική ευελιξία (Εικόνα 2), καθώς μπορεί να μεταβάλλονται τόσο οι υποκαταστάτες του αρενίου όσο και οι υπόλοιποι.[14] Με αυτόν τον τρόπο, ρυθμίζεται αντίστοιχα η λιποφιλικότητα και η υδατοδιαλυτότητα των φαρμάκων.[14] Η διαλυτότητα στο νερό είναι σημαντική για την μετακίνησή τους στο κυτταρόπλασμα.[14]

Η αύξηση της λιποφιλικότητας επιτρέπει την ευκολότερη διέλευσή τους από τις κυτταρικές μεμβράνες, αυξάνοντας την κυτταρική πρόσληψη και κατ' επέκταση την κυτταροτοξικότητα.[15] Αυτή επιτυγχάνεται με την προσθήκη πολλών π-αλκυλίων ή ογκωδών οργανικών υποκαταστατών στον δακτύλιο.[16] Συνεπώς, τα μέταλλο-φάρμακα αποκτούν υδρόφοβο τμήμα που εξασφαλίζει την αλληλεπίδρασή τους με πρωτεΐνες και με το DNA[17]



Εικόνα 1. Αναπαράσταση γεωμετρίας piano stool. https://doi.org/10.1021/acsptsci.3c00085



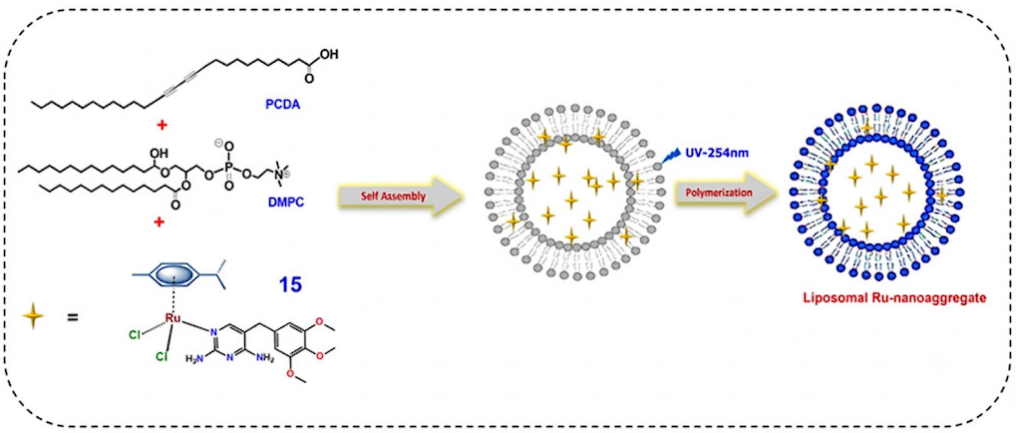
Εικόνα 2. Σύμπλοκες ενώσεις τύπου RAPTA. https://doi.org/10.1039/d1md00220a

Ωστόσο, δεν επιτίθονται ανεξέλεγκτα στην διπλή έλικα, εξαιτίας της στερεοχημικής παρεμπόδισης μεταξύ του αρενίου και των υπολοίπων υποκαταστατών.[16]

Παράλληλα, ευνοούνται θερμοδυναμικά υδρόφοβες δυνάμεις, Wan der Waals και δεσμοί υδρογόνου με πρωτεΐνες[15,16] (όπως ουμπικουιτίνη, κυτόχρωμα c, καθεψίνη B) μεταξύ του αρενίου και των υποκαταστατών του με τις υδρόφοβες πλευρικές ομάδες των αμινοξέων που απαρτίζουν την πρωτεΐνη.[17] Συνεπώς, διευκολύνεται η ομοιοπολική σύνδεση του μεταλλο-φαρμάκου με αυτές.[15,16,17]

4. Μεταφορά στα καρκινικά κύτταρα

Σε αντίθεση με άλλα μεταλλο-φάρμακα που εισέρχονται στα κύτταρα μέσω παθητικής διάχυσης, τα φάρμακα Ρουθηνίου έχουν έναν μοναδικό και εξειδικευμένο μηχανισμό κυτταρικής πρόσληψης.[18] Η μεταφορά και η είσοδός τους στο κύτ-



Εικόνα 3. Μηχανισμός ενεργοποίησης της 1ης γενιάς. Αναπαράσταση πιθανών δράσεων του ενεργού φαρμάκου. http://doi.org/10.2147/DDDT.S275007

ταρο καθοδηγείται από την σύνδεσή τους με πρωτεΐνες μεταφοράς, όπως η αλβουμίνη (human serum albumin) και η τρανσφερρίνη (transferrin).[19]

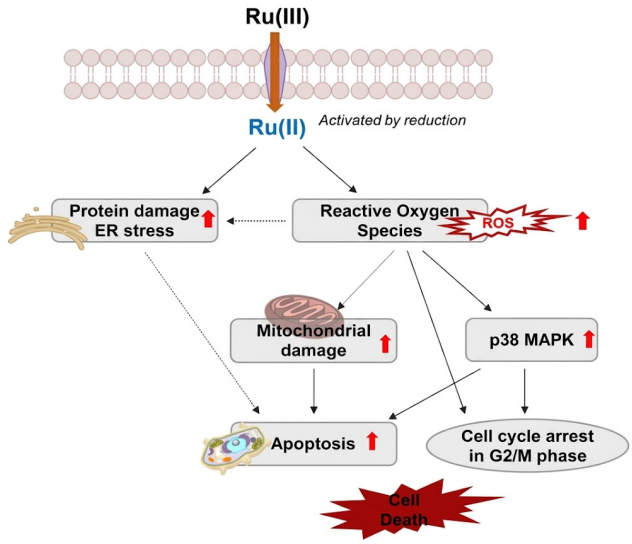
Τα ταχέως αναπτυσσόμενα καρκινικά κύτταρα έχουν τεράστιες ανάγκες σε Σίδηρο, υπερεκφράζουν τους υποδοχείς τρανσφερρίνης (N-λοβός: Asp63, Tyr95, Tyr188, His249, C-λοβός: Asp392, Tyr426, Tyr517, His585) στην επιφάνειά τους, προσλαμβάνοντας αποτελεσματικά το Ru(III), χάρη στη χημική του συγγένεια και ομοιότητα με το Fe(III).[19,20]

Η αλληλεπίδραση με την αλβουμίνη επιτυγχάνεται μέσω του ομοιοπολικού δεσμού μεταξύ του Ru(III) ή του Ru(II) με το Άζωτο των ιστιδινών 146 και 242, λόγω της παρόμοιας σκληρότητάς τους.[19]

Τα μέταλλο-φάρμακα RAPTA 1^{ns} γενιάς ενεργοποιούνται από την αναγωγή του Ru(III) σε Ru(II) (Εικόνα 3). Η μεταφορά τους στην επιφάνεια των καρκινικών κυττάρων επιτυγχάνεται τόσο με τη σύνδεση του Ru(III) του προφαρμάκου με την αλβουμίνη όσο και με την προσρόφηση του προφαρμάκου στους λοβούς-κοιλότητες της τρανφερρίνης. [18,19]

Στα μέταλλο-φάρμακα RAPTA 2^{ns} γενιάς το Ru βρίσκεται ήδη σε οξειδωτική κατάταση (II) και ενεργοποιούνται από την αντικατάσταση του Cl^- από H_2O (Εικόνα 4). Στον ορό του αίματος τα προφάρμακα παραμένουν σταθερά, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης[21] Cl- (100 mM). Ενδοκυτταρικά η συγκέντρωση τους είναι πολύ χαμηλότερη (4 mM) μετατοπίζοντας την ισορροπία προς την ενεργή μορφή.[21] Επιπλέον, η μεταφορά τους στην επιφάνεια των καρκινικών κυττάρων επιτυγχάνεται με τη σύνδεση του Ru(II) του προφαρμάκου με την αλβουμίνη.[19]

Τα μέταλλο-φάρμακα RAPTA 1^{ns} και 2^{ns} γενιάς περικλείονται μέσα σε νανοφορείς και πλέον αποτελούν την $3^{η}$ γενιά (Εικόνα 5). Οι νανοφορείς, όπως τα λιποσώματα, χρησιμοποιούνται για την στοχευμένη απελευθέρωση των προφαρμάκων μέσα στα καρκινικά κύτταρα. Ενισχύουν έως και 20 φορές την πρόσληψη και τη στοχευμένη απελευθέρωσή τους.[20] Κατ' επέκταση περιορίζουν την τοξικότητα στα υγιή κύτταρα και εξασφαλίζουν την βιοδιαθεσιμότητα των φαρμάκων.[18,19] Τα μέταλλο-φάρμακα RAPTA δεν είναι τόσο τοξικά όσο τα παραδοσιακά αντικαρκινικά φάρμακα.[7] Η δράση τους επικεντρώνεται στην εξάληψη των μεταστάσεων και



Εικόνα 4. Μηχανισμός ενεργοποίησης (υδρόλυση) της 2ης γενιάς. Παράδειγμα με την ένωση 1. https://doi.org/10.1021/acsptsci.3c00085

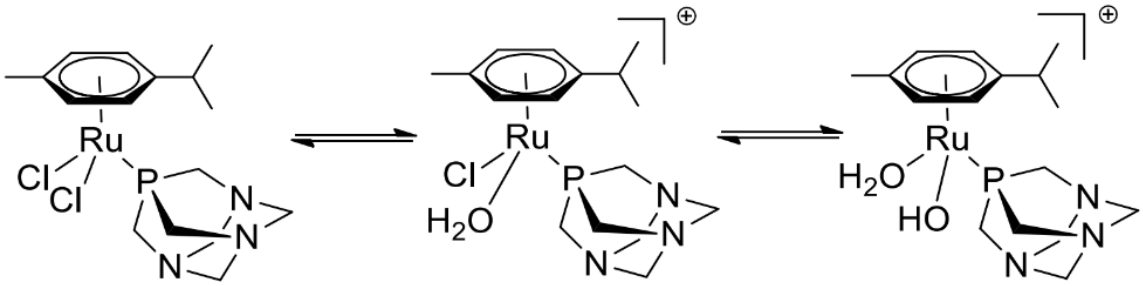
την αποφυγή γένεσης νέων αγγείων όπου θα τροφοδοτούσαν τον κακοήθη όγκο.[3,6]

5. Αλληλεπίδραση με βιομόρια

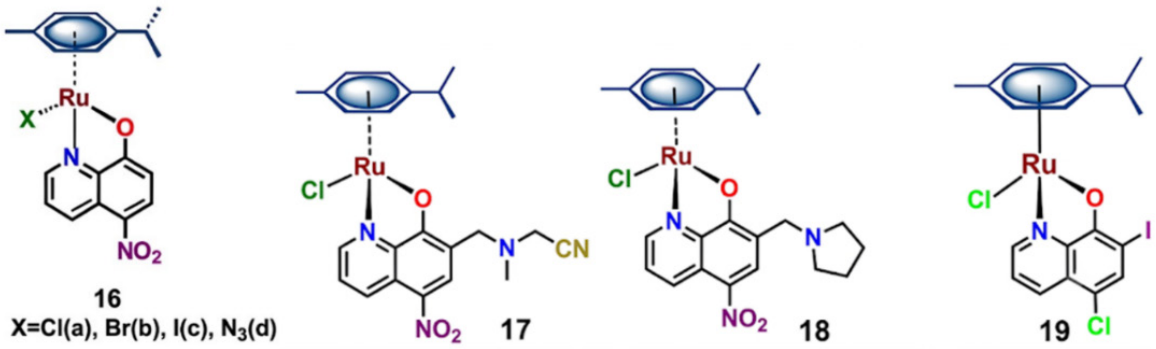
5.1. Αλληλεπίδραση με ένζυμα

Αφού η σύμπλοκη ένωση λάβει την ενεργή μορφή της, ανάλογα με το φάρμακο που είναι προσδεμένο στο Ρουθήνιο, αλληλεπιδρά με συγκεκριμένα ένζυμα. Η αλληλεπίδραση περιλαμβάνει κυρίως την ομοιοπολική σύνδεση του Ru(II) με το θείο των κυστεϊνών. Αυτή επάγει την μεταβολή της στερεοδιάταξης των ενζύμων και συνεπώς την αναστολή τους. Κάποια από αυτά είναι:

Α) Ένζυμα Καθεψίνης. Σύμπλοκες ενώσεις που περιέχουν φάρμακα όπως nitroxoline και τα παράγωγά της ή clioquinol (Εικόνα 6) αναστέλλουν την Καθεψίνη Β (Cys29), ένα ένζυμο που παίζει κρίσιμο ρόλο στη μετανάστευση, την εισβολή και



Εικόνα 5. Μηχανισμός εγκλεισμού του προφαρμάκου 15 σε νανοφορέα. Η ένωση 15 στοχεύει την κυτταρική σειρά καρκινώματος ήπατος HepG2 αναστέλλοντας την αναγωγάση του διυδροφυλλικού οξέος (DHFR).21 https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.2c01027



Εικόνα 6. Προφάρμακα με nitroxile (16), παράγωγα (17,18) και clioquinol (19). https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.2c01027

τη μετάσταση των όγκων.[22] Το ίδιο ένζυμο απενεργοποιείται και από την ένωση 1 (Εικόνα 7).

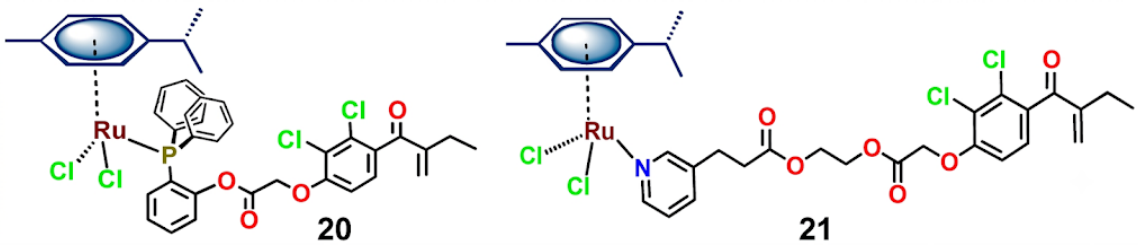
Β) Γλουταθειόνη-S-τρανσφεράση (GST). Σύμπλοκες ενώσεις με το διουρητικό φάρμακο εθακρυνικό οξύ, κυρίως τον εστέρα του (Εικόνα 8), στοχεύουν το ένζυμο GST (ειδικά το ισοένζυμο GST P1-1).[23] Το GST ευθύνεται για την ανάπτυξη φαρμακευτικής αντίστασης στους όγκους.[23] Το Ρουθήνιο λόγω της υψηλής χημικής συγγένειας με το Θείο, συνδέεται ομοιοπολικά με κατάλοιπα κυστεΐνης (Cys101) του ενζύμου, αδρανοποιώντας το ταχύτατα.[23] Εξετάζονται για τον καρκίνο των ωοθηκών και του μαστού.[23]

Γ) Κυκλοοξυγενάση COX-2. Σύμπλοκες ενώσεις που φέρουν μη στεροειδή αντιφλεγμονώδη φάρμακα (όπως οξικάμες, Εικόνα 9) στοχεύουν την πρωτεάση COX-2 (Εικόνα 10), η οποία ρυθμίζει τον πολλαπλασιασμό και την αγγειογένεση των καρκινικών κυττάρων.[24,25] Μόνο το φάρμακο που είναι προσδεμένο στο Ρουθήνιο, δημιουργεί υδρόφοβους δεσμούς και υδρογόνου, με το ενεργό κέντρο του ενζύμου (Tyr385, Ser516, Arg120, Tyr355, Val523), αναστέλλοντάς το. Δοκιμάζονται για την καταπολέμηση του καρκίνου του παχέος εντέρου, του πνεύμονα, του τραχήλου της μήτρας και των ωοθηκών.[24]

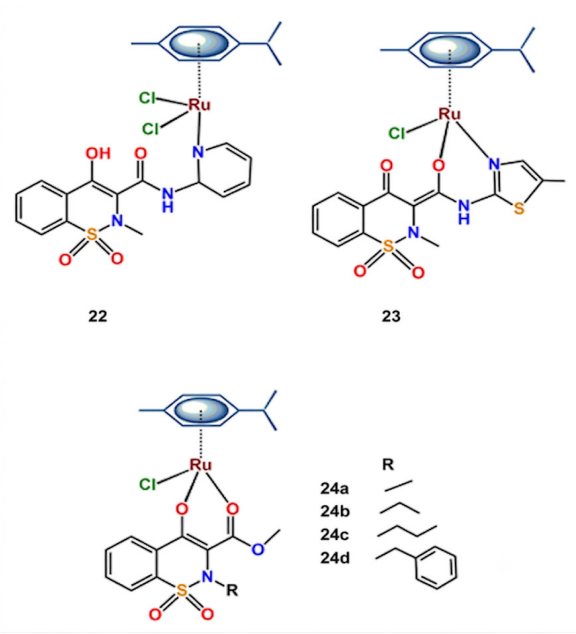
5.2. Αλληλεπίδραση με DNA

Η δομή του DNA επηρεάζει καθοριστικά τον τρόπο αλληλεπίδρασής του με τα μέταλλο-φάρμακα, καθώς παρέχει πληθώρα ειδικών θέσεων και διαφορετικά δομικά χαρακτηριστικά.[26] (Εικόνα 11). Συγκεκριμένα, τα μέταλλα μπορούν να συνδεθούν στο Άζωτο και στο Οξυγόνο των αζωτούχων βάσεων, στην ομάδα υδροξυλίου (OH^-) της δεοξυριβόζης και στις αρνητικά φορτισμένες φωσφορικές ομάδες.[26] Όμως, το τμήμα του φαρμάκου που περιέχει το Ρουθήνιο δεν στοχεύει τα γονίδια των προαναφερθέντων ενζύμων[26] (Ενότητα 5.1). Αντίθετα, αλληλεπιδρά με το γενετικό υλικό σε γενικότερο επίπεδο.[26]

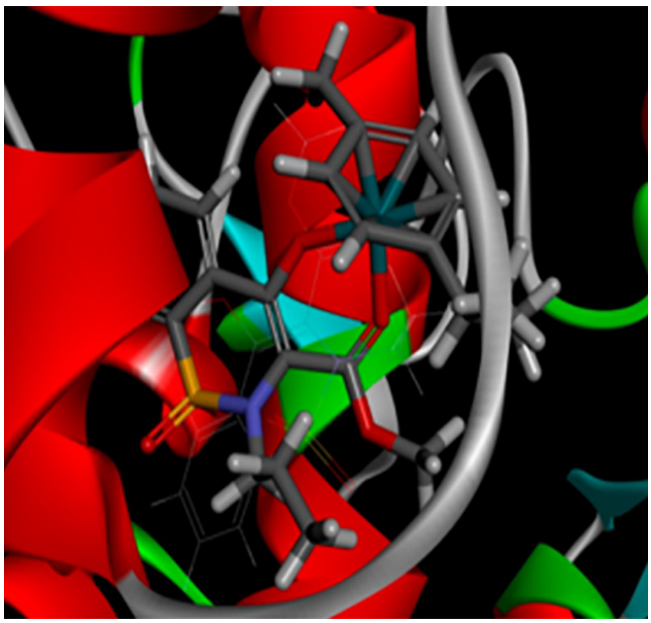
Οι περιοχές πλούσιες σε γουανίνη μπορούν να αναδιπλωθούν, με την αρωγή ιόντων (Na^+, K^+, Ca^{2+}) και μικρών οργανικών μορίων[27] (γλυκόζη) δημιουργώντας τετραπλές δομές που ονομάζονται G-quadruplex[28,29] (G4). Το Ρουθήνιο συνδέεται κατά προτίμηση σε περιοχές πλούσιες σε γουανίνη (π.χ. θέση N7 της γουανίνης).[28] Αυτό συμβαίνει διότι ευνοείται ο σχηματισμός δεσμών υδρογόνου με κατάλοιπα γουανίνης. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνεται η αλληλεπίδραση της σύμπλοκης ένωσης (μέσω κατιονικών βραχιόνων) με τις αύλακες (grooves) και τις θηλιές (loops) των δομών G-quadruplex.[30] Οι δομές αυτές βρίσκονται στα τελομερή άκρα[31] του DNA και ελέγχουν τον αριθμό των αντιγράφων.[31,32] Παράλληλα, περιέχονται σε υποκινητές (promoter regions) σημαντικών ογκογονιδίων,[33] όπως είναι τα c-Myc, VEGF, c-Kit και Bcl-2. Περίπου στο 85% των μορφών καρκίνου, οι τελομεράσες υπερεκφράζονται,[33] γεγονός που οδηγεί σε ανεξέλεγκτη επιμήκυνση των τελομερών άκρων και αύξηση της ζωής των καρκινικών κυττάρων.[33,34] Ωστόσο, όταν τα τελομερή άκρα ή οι υποκινητές των ογκογονιδίων αναδιπλώνονται σε τετραπλές έλικες



Εικόνα 7. Σημείο πρόσδεσης της ένωσης 1 σε βιομόρια. https://doi.org/10.1021/acsptsci.3c00085

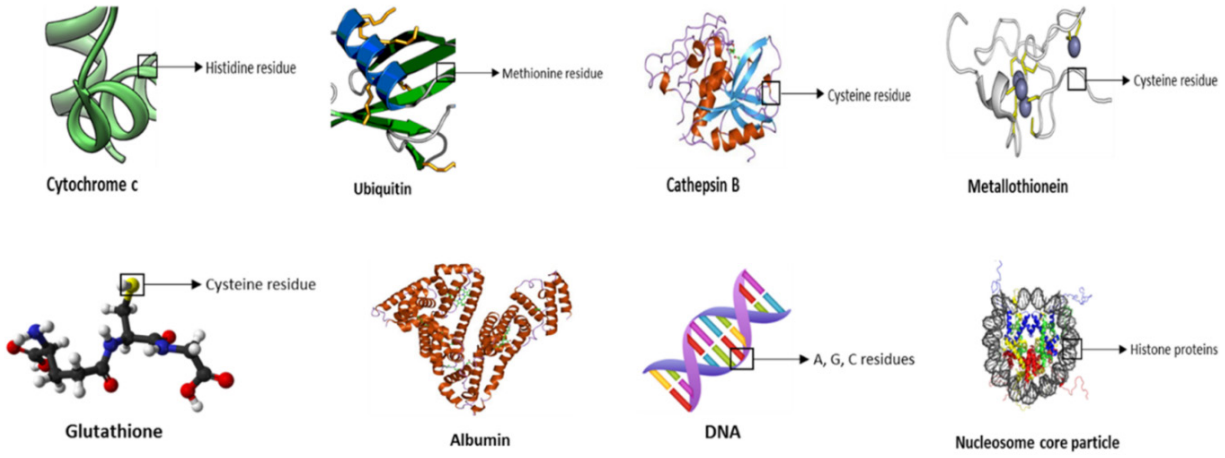


Εικόνα 8. Προφάρμακα με εστέρες του εθακρυνικού οξέος. https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.2c01027

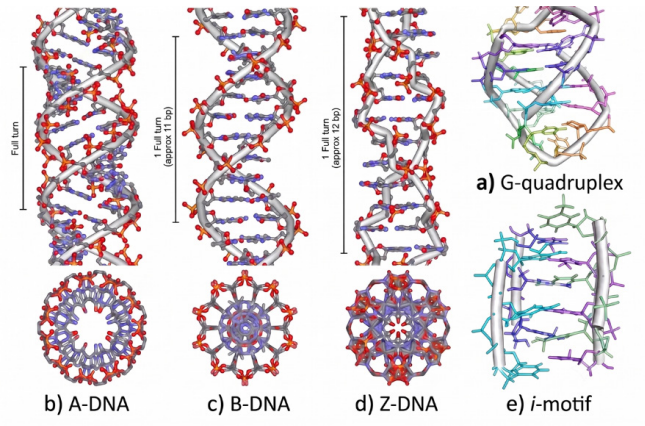


Εικόνα 9. Προφάρμακα με στερεοειδή αντιφλεγμονώδη https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.2c01027

(G4), η αλυσίδα δεν μπορεί να αντιγραφεί, με αποτέλεσμα την αναστολή της ανεξέλεγκτης κυτταρικής διαίρεσης.[34]
Εξαιτίας αυτού του βιολογικού τους ρόλου, οι δομές G4 αποτελούν εξαιρετικά ελκυστικούς στόχους για την ανάπτυξη νέων αντικαρκινικών φαρμάκων.[34] Τα μέταλλο-φάρμακα που προσδένονται σε αυτές τις δομές και τις σταθεροποιούν[30,31] (Εικόνα 12) εμποδίζουν την ενζυμική επιμήκυνση του DNA αποτρέποντας την έκφραση ογκογόνων πρωτεϊνών (oncoproteins).[32,33] Συνεπώς, δρουν θεραπευτικά.[33]
Επιπρόσθετα, η συστροφή της διπλής έλικας του DNA (Εικόνα 13) δημιουργεί δύο αυλακώσεις: τη μεγάλη αύλακα (πλάτους 22 Å και προσβάσιμης επιφάνειας 12 Å) και τη μικρή αύλακα (πλάτους 12 Å και προσβάσιμης επιφάνειας 6 Å).[35] Η διαφορά στο μέγεθος καθορίζει ποιες σύμπλοκες ενώσεις θα συνδεθούν εκεί.[35] Η μεγάλη αύλακα διαθέτει πολυάριθμες θέσεις πρόσδεσης και το μεγαλύτερο μέγεθός της, επιτρέπει την υποδοχή πιο ογκωδών μορίων.[35,36] Αντίθετα, η μικρή αύλακα φιλοξενεί μικρότερα μόρια.[36] Συνεπώς, αναδεικνύεται ξανά η σημασία του αρενίου με τους υποκαταστάτες του.
Αναλυτικότερα, η αυξημένη στερεοχημική παρεμπόδιση ευνοεί θερμοδυναμικά απωστικές δυνάμεις και όχι δεσμούς υδρογόνου[36] μεταξύ του αρενίου και των υπολοίπων υποκαταστατών (εφόσον δεν έχουν αποκολληθεί) με τον ανθρακικό σκελετό του DNA και με το αρνητικό φορτίο από τις φωσφο-



Εικόνα 10. Η ένωση 24c στο ενεργό κέντρο της COX-2. https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.2c01027



Εικόνα 11. Δομές DNA. https://doi.org/10.3390/molecules29184361

ρικές ομάδες. Γι' αυτό, είναι υψίστης σημασίας η επιλογή υποκατασταών, ώστε η σύμπλοκη ένωση να έχει την κατάλληλη λιποφιλικότητα, για να διαβεί την πλασματική μεμβράνη και παράλληλα να είναι υδατοδιαλυτή στο κυτοσόλιο, για να αλληλεπιδράσει εν τέλει επιτυχώς με το DNA και τα ένζυμα.[35,36]

6. Προκλήσεις στη χρήση των μεταλλο-φαρμάκων του Ρουθηνίου

Αναντιστοιχία μεταξύ in vitro και in vivo δοκιμών. Η δράση των φαρμάκων Ρουθηνίου στηρίζεται στην ιδιότητά τους να περιορίζουν τις μεταστάσεις και τη δημιουργία νέων αγγείων που θα τροφοδοτήσουν τον όγκο.[37] Συνεπώς, δεν παρουσιάζουν την επιθυμητή τοξικότητα στις in vitro αναλύσεις (πάνω σε καλλιέργειες καρκινικών κυττάρων στο εργαστήριο).[37] Υπάρχει, δηλαδή, ελάχιστη συσχέτιση μεταξύ της συμπεριφοράς τους στο εργαστήριο και της ισχυρής θεραπευτικής τους δράσης σε ζωντανούς οργανισμούς (in vivo).[37] Αυτό το γεγονός, καθιστά αναγκαία τη χρήση πιο εξειδικευμένων και πολύπλοκων δοκιμών για να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά τους.[37]

Προβλήματα υδάτωσης (aquation). Η δυνητική χημική αστάθεια αυτών των φαρμάκων, καθώς και τα ζητήματα που σχετίζονται με την υδάτωσή τους (η διαδικασία με την οποία αλληλεπιδρούν με το νερό στο πλάσμα του αίματος ή στο κυτοσόλιο για να ενεργοποιηθούν), αποτελούν τροχοπέδη στη δράση τους.[38]

Η εξασφάλιση της αποτελεσματικής διείσδυσης του φαρμάκου στα καρκινικά κύτταρα και της παραμονής του στον οργανισμό είναι μια δύσκολη διαδικασία. Παράγοντες όπως η μειωμένη βιοδιαθεσιμότητα, η περιορισμένη κυτταρική πρόσληψη, οι υποξικές συνθήκες και το πολύπλοκο δυναμικό οξειδοαναγωγής του περιβάλλοντος των όγκων δυσκολεύουν τη θεραπευτική τους δραστηριότητα.[38,39]

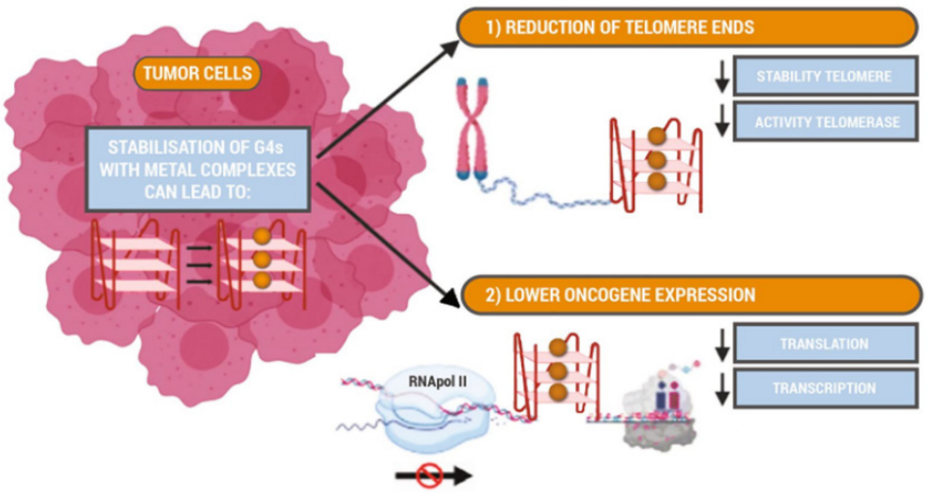
Υποβοήθηση της ενεργούς μεταφοράς και της εκλεκτικότητας. Η κύρια πρόκληση στη δημιουργία αντικαρκινικών φαρμάκων Ρουθηνίου παραμένει η βελτίωση, η ικανότητα απορρόφησής τους και η θεραπευτική τους εκλεκτικότητα, ώστε να στοχεύουν αυστηρά τα καρκινικά κύτταρα χωρίς να επηρεάζουν υγιείς ιστούς.[37]

7. Συμπεράσματα

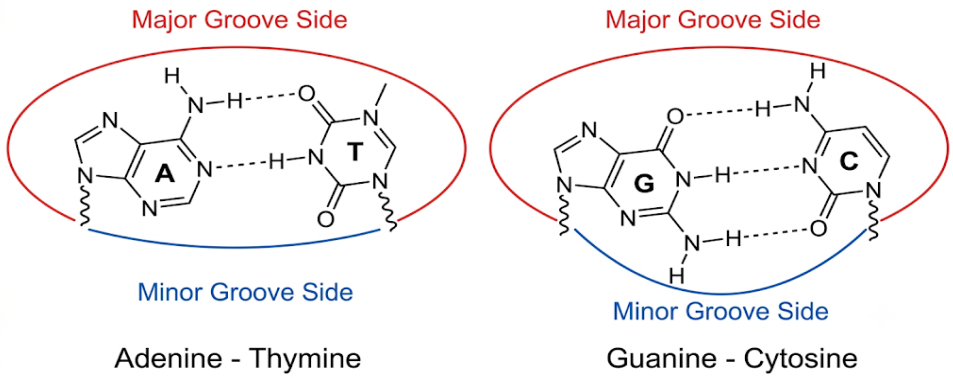
Οι οργανομεταλλικές σύμπλοκες ενώσεις του Ρουθηνίου γεωμετρίας piano stool είναι ελπιδοφόρες στη θεραπεία ποικίλων μορφών καρκίνου. Αυτή βασίζεται στην πολύπλευρη δράση και στην εκλεκτική αλληλεπίδραση του Ρουθηνίου με συγκεκριμένα ένζυμα και με το DNA. Η πρόσδεση του Ρουθηνίου στο DNA εγκυμονεί περισσότερες αρνητικές συνέπειες για την υγεία του ασθενούς, διότι προκαλεί βλάβες στο γενετικό υλικό οι οποίες καταστρέφουν και υγιή κύτταρα.

Για να είναι η θεραπεία πιο στοχευμένη και με λιγότερες παρενέργειες οι έρευνες έχουν επικεντρωθεί κυρίως στην αλληλεπίδραση του φαρμάκου με συγκεκριμένες πρωτεΐνες του κυτταροπλάσματος, αλλά και των μιτοχονδρίων. Τα δοκιμασμένα μέταλλο-φάρμακα στηρίζονται στη συνέργεια της σύμπλοκης ένωσης με ήδη υπάρχοντα φάρμακα, ώστε να αυξηθεί η αντικαρκινική δράση.

Επιπρόσθετα, η βελτίωση των φαρμακευτικών χαρακτηρι-



Εικόνα 12. Δράση μέταλλο-φαρμάκων στα τελομερή άκρα. https://doi.org/10.1007/s00775-022-01973-0



Εικόνα 13. Επίδραση των ζευγών δεοξυριβονουκλεοτιδίων στις αύλακες. https://doi.org/10.3390/molecules29184361

στικών τους, επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχεδιασμό των υποκαταστατών (ligand design) και των νανοφορέων, ώστε να έχουν τις επιθυμητές και προβλεπόμενες ιδιότητες.
Τέλος, είναι μείζονος σημασίας η έρευνα πάνω στην βιονανοτεχνολογία, τόσο για τη δημιουργία αποτελεσματικών νανοφορέων όσο και για τη δημιουργία βελτιωμένων αντικαρκινικών φαρμάκων. Αυτά πρέπει να εξασφαλίζουν αφενός την ίαση ή τον σημαντικό περιορισμό των συμπτωμάτων του καρκίνου και αφετέρου μία καλύτερη ποιότητα ζωής των ασθενών.

8. Βιλιογραφία

1. S. Dasari, P. B. Tchounwou, "Cisplatin in cancer therapy: molecular mechanisms of action", Eur J. Pharmacol.,740(2014):364–378. https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2014.07.025
2. Kokkosi A, Garofallidou E, Zacharopoulos N, Tsoureas N, Diamanti K, Thomaidis NS, Cheilari A, Machalia C, Emmanouilidou E, Philippopoulos AI.Ruthenium p-Cymene Complexes Incorporating Substituted Pyridine-Quinoline-Based Ligands: Synthesis, Characterization, and Cytotoxic Properties.
Molecules. 2024 Jul 6;29(13):3215. doi:10.3390/molecules29133215.
3. O.A. Lenis-Rojas, M.P.Robalo, A.I.Tomaz, A.Carvalho, A.R.Fernandes, F.Marques, M.Folgueira, J.Yáñez, D.Vázquez-García, M.López-Torres, etal., "Ru (II)(p-cymene) compounds as effective and selective anticancer candidates with no toxicity in vivo" Inorg. Chem.,57(2018):13150–13166. https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.8b01270
4. O.A. Lenis-Rojas, C.Roma-Rodrigues, A.R.Fernandes, F.Marques, D.P.Fernández, J.Guerra-Varela, L.Sánchez, D.Vázquez-García, M.López-Torres, A.Fernández, etal., "Dinuclear Ru (II)(bipy)2 derivatives: structural, biological and in vivo zebrafish toxicity evaluation", Inorg.Chem. 56(2017):7127–7144. https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b00790
5. O.A.Lenis-Rojas, A.R.Fernandes, C.Roma-Rodrigues, P.V.Baptista, F.Marques, D.Pérez-Fernández, J.Guerra-Varela, L.Sánchez, D.Vázquez-García, M.L.Torres, etal., "Heteroleptic mononuclear compounds of ruthenium(ii): synthesis, structural analyses, in vitro antitumor activity and in vivo toxicity on zebrafish embryos",DaltonTra ns.,45(2016):19127–19140 https://doi.org/10.1039/c6dt03591d
6.O.A.Lenis-Rojas, M.P.Robalo, A.I.Tomaz, A.R.Fernandes, C.Roma-Rodrigues, R.G.Teixeira, F.Marques, M.Folgueira, J.Yáñez, A.A.Gonzalez, etal., "Halfsandwich Ru(p-cymene) compounds with diphosphanes: In vitro and in vivo evaluation as potential anticancer metallodrugs" Inorg.Chem., 60(2021):2914–2930, https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c02768
7.Paulus L., Gallardo-Villagrán M., Carrion C., Ouk C., Martin F., Therrien B., Léger D.Y., Liagre B., "The effect of photosensitizer metalation incorporated into arene–ruthenium assemblies on prostate cancer", Int.J.Mol.Sci.,24(2023): 13614.
8.Hartinger C.G., Zorbas-Seifried S., Jakupec M.A., Kynast B., Zorbas H., Keppler B.K., "From Bench to Bedside-Preclinical and Early Clinical Development of the Anticancer Agent Indazolium Trans-[Tetrachlorobis(1H-Indazole) Ruthenate (III)] (KP1019 or FFC14A)", J. Inorg. Biochem,100.5-6(2006): 891-904.
9.Hirsch, H.A., Iliopoulos D., Tsichlis P.N., Struhl K., "Metformin Selectively Targets Cancer Stem Cells and Acts Together with Chemotherapy to Block Tumor Growth and Prolong Remission", CancerRes., 69.19(2009):7507-7511.
10.Gopalakrishnan, D., Ganeshpandian M., Loganathan R., Bhuvanesh N.S.P., Sabina X.J., Karthikeyan J., "Water Soluble Ru (II)-Arene Complexes of the Antidiabetic Drug Metformin: DNA and Protein Binding, Molecular Docking, Cytotoxicity and Apoptosis Inducing Activity", RSCAdv.,7.60(2017): 37706-37719.
11.Tapia G., Diaz-Padill,"Molecular Mechanisms of Platinum Resistance in Ovarian Cancer" Ovarian Cancer-ACl in. Transl. Updat (2013), https://doi.org/10.5772/55562

12.Kreutz D., Gerner C., Meier-Menches S. M., "Enabling Methods to Elucidate the Effects of Metal-Based Anticancer Agents" Metal based Anticancer Agents, (2019):246-270.
13.Mondal A., Sen U., Roy N., Muthukumar V., Sahoo S.K., Bose B., Paira P., "DNA Targeting Half Sandwich Ru (II)-p-cymene N, N Complexes as Cancer Cell Imaging and Terminating Agents: Influence of Regioisomers in Cytotoxicity", DaltonTra ns.,50.3(2021):979-997.
14.Vock C.A., Ang, W. H., Scolaro, C., Phillips, A. D., Lagopoulos L., Juillerat-Jeanneret L., Sava G., Scopelliti, R., Dyson, P. J., "Development of Ruthenium Antitumor Drugs That Overcome Multidrug Resistance Mechanisms", J.Med. Chem.,50.9(2007):2166-2175.
15.Balendiran, G.K., Dabur, R., Fraser D., "The Role of Glutathione in Cancer", Cell Biochem. Funct., 22.6(2004):343-352.
16.Wu, B., Ong, M.S., Groessl M., Adhireksan Z., Hartinger C.G., Dyson P. J., Davey C A., "A Ruthenium Antimetastasis Agent Forms Specific Histone Protein Adducts in the Nucleosome Core", Chem.Eur.J., 17.13(2011):3562-3566.
17.De Berardinis R.J., Lum J.J., Hatzivassiliou G., Thompson C.B., "The Biology of Cancer metabolic Reprogramming Fuels Cell Growth and Proliferation", CellMetab.,7.1(2008):11-20. Web.15Ιουλ.2026.
18.Alessio E., Messori L., "Anticancer Drug Candidates Face-to-Face: A Case Story in Medicinal Inorganic Chemistry", Molecules,24(2019):1995.
19.Sonkar C., Sarkar S., Mukhopadhyay S., "Ruthenium (II)-Arene Complexes as Anti-Metastatic Agents and Related Techniques", RSCMed.Chem.,13.1(2022):22-38.
20.Hudej R., Kljun J., Kandioller W., Repnik U., Turk B., Hartinger C.G., Keppler B.K., Miklavčič D., Turel I., "Synthesis and Biological Evaluation of the Thionated Antibacterial Agent Nalidixic Acid and Its Organoruthenium(II) Complex", Organometallics,31.16(2012): 5867−5874.
21.Eliopoulos G.M., Huovinen P., "Resistance to Trimethoprim Sulfamethoxazole", Clin.Infect.Dis., 32.11(2001):1 608−1614.
22.Wijma R.A., Huttner A., Koch B.C.P., Mouton J.W., Muller A.E., "Review of the Pharmacokinetic Properties of Nitrofurantoin and Nitroxoline" J. Antimicrob. Chemother., 73.11(2018):2916−2926.
23.Habig W.H., Jakoby W.B., "Assays for Differentiation of Glutathione S-Transferases" Methods Enzymol.,77.C (1981):398−405.
24.Williams B.S., "Nonopioid analgesics: nonsteroidal antiinflammatory drugs, cyclooxygenase-2 inhibitors and acetaminophen" Essentials of pain medicine, (2018):457−468.
25.Zha S., Yegnasubramanian V., Nelson W.G., Isaacs W.B., DeMarzo A.M., "Cyclooxygenases in Cancer: Progress and Perspective", CancerLett.,215.1(2004):1−20.
26.Odani A., "Inorganic biochemistry", In Metal Ions and Complexes in Solution Yamaguchi T., Persson I, Eds. Royal Society of Chemistry: London, UK, Vol.2(2023).
27.Burge S., Parkinson G.N., Hazel P., Todd A.K., Neidle S., "Quadruplex DNA sequence, topology and structure", NucleicAc idsRes.,34.19(2006):5402−5415. https://doi.org/10.1093/nar/gkl655
28.Hägerlöf M., Papsai P., Chow C.S., Elmroth S.K.C., "More pronounced salt dependence and higher reactivity for platina ion of the hairpin r(CGCGUUGUUCGCG) compared with d(CGCGTTGTTCGCG)", J. Biol. Inorg. Chem,11(2006):974−990.
29. Huppert J.L., "Structure, location and interactions of G-quadruplexes", FEBSJ., 277(2010) :3452−3458.
30.Li X., Peng, Y., Ren J., Qu X., "Carboxyl-modified single walled carbon nanotubes selectively induce human telomeric imotif formation", Proc.Natl.Acad.Sci.USA,103(2006):19658−19663.
31.Johnson F.B., "Fundamentals of G-quadruplex biology" Annu.Rep.Med.Chem.,54(2020):3, https://doi.org/10.1016/ bs.armc.2020.06.004
32.Zaccari F., Guerra C.F., "RNA versus DNA G-quadruplex: the origin of increased stability", Chem.,24.61(2018):16315, https://doi.org/10.1002/chem.201803530
33.Eddy J., Maizels N., "Gene function correlates with potential for G4 DNA formation in the human genome", NucleicAcids Res.,34.14(2006):3887−3896. https://doi.org/10.1093/nar/gkl529
34.Qin Y., Hurley L.H., "Structures, folding patterns and functions of intramolecular DNA G-quadruplexes found in eukaryotic promoter regions", Biochim.,90.8(2008):1149−1171. https://doi.org/10.1016/j.biochi.2008.02.020
35.Cowan J.A., "Bioinorganic Chemistry. An Introduction",2nded. Wiley-VCH: New York, NY, USA (1997).
36.Yakovchuk P., Protozanova E., Frank-Kamenetskii M.D., "Base-stacking and base-pairing contributions into the thermal stability of the DNA double helix", NucleicAcidsRes,34(2006):564−574.
37.Lee S.Y., Kim C.Y., Nam T.G., "Ruthenium Complexes as Anticancer Agents: A Brief History and Perspectives" Drug Des. Devel. Ther.,14(2020):5375−5392.
38.Liu J., Lai H., Xiong Z., Chen B., Chen T., Chem.Commun.,55(2019):9904−9914.
39.Petruk G., Monti D.M., Ferraro G., Pica A., D'Elia L., Pane F., Amoresano A., Furrer J., Kowalski K., Merlino A., ChemMedChem,14(2019):594−602.

Πώς οι ερευνητές μπορούν να μετατρέψουν την πανεπιστημιακή έρευνα σε προϊόντα, επιχειρηματικές δραστηριότητες και νέες επαγγελματικές προοπτικές

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Η πραγματική επίδραση της έρευνας σπάνια περιορίζεται στο άμεσο πρόβλημα που είχε αρχικά ως στόχο να επιλύσει. Η εργασία του Alfred Nobel για τη σταθεροποίηση της νιτρογλυκερίνης οδήγησε σε σημαντικές αλλαγές στους τομείς των κατασκευών, των εξορύξεων, του πολέμου και της πολιτικής. Η περιουσία που δημιουργήθηκε από αυτή την καινοτομία χρηματοδότησε αργότερα τα βραβεία Nobel. Αυτά τα κοινωνικά και οικονομικά οφέλη βρίσκονται πίσω από την αυξανόμενη έμφαση που δίνουν τα πανεπιστήμια στην αξιοποίηση και εμπορική αξιοποίηση της έρευνας, μέσω των Γραφείων Μεταφοράς Τεχνολογίας (Technology Transfer Offices – TTOs). Υπολογίζεται ότι περίπου 3.000 νέες εταιρείες-τεχνοβλαστοί (*spin-outs*) δημιουργούνται παγκοσμίως από πανεπιστήμια κάθε χρόνο, δημιουργώντας παράλληλα ένα ευρύ φάσμα θέσεων εργασίας σε ολόκληρο το οικοσύστημα καινοτομίας.

Για τους ερευνητές, αυτό δημιουργεί επαγγελματικές ευκαιρίες που οι προηγούμενες γενιές δεν είχαν σε τόσο μεγάλο βαθμό. Το επόμενο βήμα μετά το διδακτορικό ή τη μεταδιδακτορική έρευνα δεν χρειάζεται να είναι μια ακόμη θέση στο εργαστήριο. Η ίδια επιστημονική εξειδίκευση μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη προϊόντων, την αδειοδότηση τεχνολογιών, τις επενδύσεις, τη δημιουργία επιχειρήσεων και τις συνεργασίες με εταιρείες. Στα περισσότερα πανεπιστήμια, τα Γραφεία Μεταφοράς Τεχνολογίας αποτελούν τον βασικό μηχανισμό για τον εντοπισμό της διανοητικής ιδιοκτησίας (IP) που μπορεί να αξιοποιηθεί εμπορικά και για τον καθορισμό του κατάλληλου τρόπου αξιοποίησής της. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω αδειοδότησης, πώλησης της τεχνολογίας ή δημιουργίας μιας νέας εταιρείας-τεχνοβλαστού, ενός λεγόμενου *spin-out*.

Ο Max Meissner, υπεύθυνος εμπορικής αξιοποίησης στο University of Wolverhampton του Ηνωμένου Βασιλείου, ηγήθηκε της δημιουργίας ενός spin-out μετά την ολοκλήρωση του διδακτορικού του και, επομένως, έχει βιώσει τη διαδικασία μετατροπής της έρευνας σε εμπορική δραστηριότητα τόσο από την ακαδημαϊκή όσο και από την επιχειρηματική πλευρά. «Η συμβατική δημιουργία μιας επιχείρησης ξεκινά από ένα πρόβλημα του πελάτη και στη συνέχεια αναπτύσσεται μια λύση για την αντιμετώπισή του. Η πανεπιστημιακή έρευνα συνήθως ξεκινά από μια επιστημονική ανακάλυψη και μπορεί να υπάρχει ή να μην υπάρχει μια προφανής εφαρμογή της. Αυτό δημιουργεί μια θεμελιώδη πρόκληση ως προς την αντιστοίχιση προϊόντος και αγοράς, επειδή οι επιχειρήσεις αγοράζουν λύσεις για τα προβλήματά τους. Η ομάδα του Γραφείου Μεταφοράς Τεχνολογίας βοηθά τους ερευνητές να αξιολογήσουν πιο αντικειμενικά τον τρόπο με τον οποίο η τεχνολογία τους μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες της βιομηχανίας». Παράλληλα, δεν είναι απαραίτητο κάθε πανεπιστήμιο να προσπαθήσει να μιμηθεί το Silicon Valley και ιδρύματα όπως το Stanford ή το UC Berkeley. Το οικοσύστημα που συνδέει ερευνητικά ιδρύματα, εξειδικευμένους επενδυτές, έμπειρους επιχειρηματίες και ώριμες θερμοκοιτίδες έχει αναπτυχθεί εκεί επί δεκαετίες. Άλλες περιοχές ακολουθούν πλέον τον ίδιο δρόμο. Όπως επισημαίνει ο Meissner, «η Γερμανία και η Ελβετία ηγούνται στην Ευρώπη χάρη στους ισχυρούς βιομηχανι-



© *Olena Koliesnik/Getty Images*

κούς τους σχηματισμούς και στις στενές σχέσεις μεταξύ ερευνητικών ιδρυμάτων και επιχειρήσεων».

Τα πανεπιστήμια, ωστόσο, χρειάζεται πρώτα να αποφασίσουν τι ακριβώς επιδιώκουν μέσω της αξιοποίησης της έρευνας. Είναι ο στόχος μια μεγάλη οικονομική έξοδος μέσω της πώλησης της συμμετοχής στην εταιρεία; Ή μήπως είναι η δημιουργία θέσεων εργασίας, η προσέλκυση τοπικών επενδύσεων και η ανάπτυξη τεχνολογιών που θα φέρουν νέες επιχειρήσεις στην περιοχή; Η μεταφορά της έρευνας στην αγορά δεν σημαίνει απαραίτητα τη δημιουργία ενός προβεβλημένου spin-out. Η παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών, η έρευνα κατόπιν σύμβασης και η αδειοδότηση τεχνολογιών μπορούν επίσης να δημιουργήσουν σημαντικό αντίκτυπο. «Το δυσκολότερο μέρος της δουλειάς είναι να αποφασίσεις ποια διαδρομή είναι η κατάλληλη για την τεχνολογία, τη διανοητική ιδιοκτησία και την ομάδα», σημειώνει ο Meissner.

Στην αξιοποίηση της διανοητικής ιδιοκτησίας των πανεπιστημίων συμβάλλουν επίσης οι θερμοκοιτίδες επιχειρήσεων, οι οποίες επιταχύνουν την ανάπτυξη των spin-outs, φέρνοντας τους ιδρυτές σε επαφή με χρηματοδότες, επενδυτές και άλλες επιχειρήσεις. Ορισμένες συνδέονται άμεσα με πανεπιστήμια, όπως το πρόγραμμα SETsquared στο Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ άλλες είναι πιο ανεξάρτητες, όπως το Conception X, που υποστηρίζει ερευνητές στο Ηνωμένο Βασίλειο και την Ευρώπη. Το επιχειρηματικό οικοσύστημα Change Makers της Royal Society of Chemistry προσφέρει επίσης μια ολοκληρωμένη διαδρομή από τον διαγωνισμό Emerging Technologies Competition έως το πρόγραμμα επιτάχυνσης, υποστηρίζοντας νεοφυείς επιχειρήσεις βαθιάς τεχνολογίας (*deep tech*) στον χώρο της χημείας, με έμφαση στην ανάπτυξη τεχνολογιών, την πρόσβαση στην αγορά και την προετοιμασία για προσέλκυση επενδύσεων.

Άλλοι οργανισμοί δημιουργίας και επιτάχυνσης επιχειρήσεων, όπως οι Y Combinator και Entrepreneurs First, βρίσκονται ένα βήμα πιο μακριά από το ακαδημαϊκό οικοσύστημα, αλλά εξακολουθούν να απευθύνονται σε ιδρυτές τεχνολογικών επιχειρήσεων, βοηθώντας τους να δημιουργήσουν και να αξιοποιήσουν τη διανοητική ιδιοκτησία τους. Η Mission Zero Technologies, για παράδειγμα, προέκυψε από την Deep Science Ventures και όχι από ένα πανεπιστημιακό Γραφείο Μεταφοράς Τεχνολογίας. Οι ιδρυτές της εμπορευματοποίησαν τεχνολογίες χημείας και μηχανικής για την άμεση δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα (*direct air capture*), δείχνοντας ότι οι ερευνητές μπορούν να μετατρέψουν την επιστημονική γνώση σε επιχειρηματική δραστηριότητα μέσω πολλών διαφορετικών διαδρομών.

Όλα αυτά έχουν οδηγήσει σε μια έκρηξη επαγγελματικών ευκαιριών για τους ερευνητές πέρα από την παραδοσιακή διαδρομή του διδακτορικού και της μεταδιδακτορικής έρευνας. Πλέον μπορούν να αξιοποιήσουν την επιστημονική τους εμπειρία σε τομείς όπως η ανάπτυξη προϊόντων, οι επενδύσεις σε τεχνολογία και η δημιουργία νέων επιχειρήσεων.

Η εμπορική αξιοποίηση της έρευνας παρουσιάζεται συχνά ως μια ιστορία που αφορά κυρίως τους ιδρυτές των εταιρειών. Στην πραγματικότητα, όμως, μια πολύ ευρύτερη ομάδα επαγγελματιών συμβάλλει στη μετατροπή της έρευνας σε πρακτικές εφαρμογές. Οι δικηγόροι διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας, για παράδειγμα, συνδυάζουν τεχνικές γνώσεις με τη νομοθεσία, προκειμένου να αξιολογήσουν τη νεωτερικότητα μιας εφεύρεσης και τα δικαιώματα επί αυτής. Οι υπεύθυνοι ανάπτυξης προϊόντων μετατρέπουν τις εργαστηριακές επιδόσεις μιας τεχνολογίας σε προϊόντα που θέλουν και μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι πελάτες. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής διαμορφώνουν το κανονιστικό πλαίσιο που διέπει την επιστημονική έρευνα και τις εφαρμογές της. Εκ πρώτης όψεως, πρόκειται για εντελώς διαφορετικές επαγγελματικές διαδρομές. Όλες όμως απαιτούν κατανόηση της επιστήμης και την ικανότητα σαφούς και συνοπτικής επικοινωνίας επιστημονικών εννοιών σε μη ειδικό κοινό. Σε συνδυασμό με ισχυρές δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων και αριθμητικού εγγραμματισμού, αυτές οι ικανότητες μπορούν να καταστήσουν πολλές διαφορετικές επαγγελματικές επιλογές προσβάσιμες στους ερευνητές.

Η μετάβαση από τον ακαδημαϊκό χώρο στη βιομηχανία είναι πλέον τόσο συνηθισμένη, ώστε αυτές οι διαδρομές αρχίζουν να αποκτούν πιο οργανωμένη και θεσμοθετημένη μορφή. Για παράδειγμα, η Deep Science Ventures έχει αναπτύξει τα Venture Science Doctorates, προγράμματα διδακτορικής έρευνας που τοποθετούν τη δημιουργία επιχειρήσεων και την εμπορική αξιοποίηση της διανοητικής ιδιοκτησίας στο επίκεντρο της ερευνητικής διαδικασίας. Αντίστοιχα, προγράμματα υποτροφιών και επαγγελματικής ανάπτυξης, όπως το Venture Capital Fellowship που οργανώνεται από το Imperial College London και τη Royal Academy of Engineering, συμβάλλουν στην εκπαίδευση επενδυτών ώστε να κατανοούν καλύτερα το οικονομικό δυναμικό της επιστημονικής έρευνας.

Και για τους επιστήμονες που επιθυμούν να συνεχίσουν τη μεταδιδακτορική τους έρευνα, αλλά είναι ανοιχτοί στο ενδεχόμενο να το κάνουν σε ένα εμπορικό περιβάλλον, μεγάλες τεχνολογικές και ερευνητικά προσανατολισμένες εταιρείες, όπως οι Meta, Google και Amazon, χρειάζονται μια σταθερή ροή επιστημονικού ταλέντου. Έτσι, οι χημικοί δεν χρειάζεται πλέον να επιλέγουν απλώς ανάμεσα στην ακαδημαϊκή σταδιοδρομία και την «εγκατάλειψη της επιστήμης», όπως ίσως συνέβαινε μέχρι πριν από λίγα χρόνια. Αντίθετα, η επιστημονική γνώση μπορεί να αποτελέσει τη βάση για μια πολύ ευρύτερη γκάμα σταδιοδρομιών: από την έρευνα και την ανάπτυξη προϊόντων έως τη μεταφορά τεχνολογίας, την επιχειρηματικότητα, τις επενδύσεις και τη δημιουργία καινοτόμων επιχειρήσεων.

Για έναν ερευνητή, το διδακτορικό δεν χρειάζεται να αποτελεί το τέλος της επιστημονικής διαδρομής. Μπορεί να είναι η αφετηρία μιας επιχειρηματικής πορείας που μετατρέπει την επιστημονική γνώση σε πραγματικό κοινωνικό και οικονομικό αντίκτυπο.

Πηγή

Fawzi Abou-Chahine, *From PhD to spin-out: how researchers can become entrepreneurs*, **Chemistry World**, 6 August 2026.

Διερεύνηση της Κλίμακας pH με πολλαπλές αναπαραστάσεις:
Διδακτικό Σενάριο με προσομοίωση PhET

Χρήστος Ρουπακιάς, Χημικός (ΠΕ04.02) – 1ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΛΥΚΕΙΟ ΛΑΡΙΣΑΣ
Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο: roupakiasx@gmail.com

Περίληψη: Παρουσιάζεται ένα Διδακτικό Σενάριο δύο διδακτικών ωρών για την Α΄ Λυκείου, με την προσομοίωση «pH Scale» του PhET Colorado. Οι μαθητές/τριες διερευνούν σε ομάδες την κλίμακα pH και συνδέουν μακροσκοπικές, μικροσκοπικές και συμβολικές αναπαραστάσεις, ώστε να κατανοήσουν τη σχέση του pH με τα ιόντα H_3O^+ και OH^- και την επίδραση της αραίωσης.

Exploring the pH Scale with Multiple Representations
A Teaching Scenario using the PhET Simulation

Christos Roupakias, Chemist - 1st Experimental High School of Larissa

Abstract: A two-hour teaching Scenario for lower secondary Chemistry (grade 10) is presented, using the PhET "pH Scale" simulation. Working in groups, students explore the pH scale and connect macroscopic, microscopic and symbolic representations, in order to understand how pH relates to H_3O^+ and OH^- ions and to dilution.

Εισαγωγή

Η έννοια του pH είναι κεντρική στη διδασκαλία της Χημείας στο Λύκειο (αλλά και στο Γυμνάσιο), αλλά αποτελεί συχνά πηγή δυσκολιών για τους μαθητές/τριες. Η κατανόησή της απαιτεί τη σύνδεση τριών επιπέδων περιγραφής: του μακροσκοπικού (τι παρατηρούμε), του μικροσκοπικού (τι συμβαίνει σε επίπεδο σωματιδίων) και του συμβολικού (σύμβολα, τύποι και αριθμητικές τιμές)[1]. Συχνά οι μαθητές απομνημονεύουν τιμές pH γνωστών ουσιών χωρίς να τις συσχετίζουν με τη συγκέντρωση των ιόντων ή με τη συμπεριφορά των διαλυμάτων.

Οι πολλαπλές αναπαραστάσεις (multiple representations), δηλαδή η ταυτόχρονη χρήση περισσότερων από μίας μορφών παρουσίασης της ίδιας έννοιας, θεωρούνται σημαντικό εργαλείο στη διδασκαλία της Χημείας[2]. Η παιδαγωγική τους αξία δεν συνίσταται απλώς στην ύπαρξη πολλών μορφών, αλλά στο ότι οι διαφορετικές αναπαραστάσεις αλληλοσυμπληρώνονται και, όταν ο μαθητής μαθαίνει να τις συσχετίζει, η μία στηρίζει την ερμηνεία της άλλης[3]. Οι διαδραστικές προσομοιώσεις (simulations) προσφέρουν τη δυνατότητα να γίνουν ορατές χημικές οντότητες που δεν μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα στην τάξη[4].

Στο άρθρο παρουσιάζεται ένα Διδακτικό Σενάριο για την Α΄ Λυκείου, με τίτλο «Διερεύνηση της Κλίμακας pH με Πολλαπλές Αναπαραστάσεις», που αξιοποιεί την προσομοίωση «pH Scale» του PhET (University of Colorado Boulder)[5]. Το άρθρο έχει χαρακτήρα διδακτικής πρότασης και σκοπός του είναι να παρουσιάσει το σκεπτικό, την οργάνωση και τις δραστηριότητες του Σεναρίου, ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί ή να προσαρμοστεί από άλλους εκπαιδευτικούς. Το Σενάριο εφαρμόστηκε στους μαθητές και στις μαθήτριες της Α΄ Τάξης του 1ου Πειραματικού Λυκείου Λάρισας, τον Σεπτέμβριο του 2026.

Σκεπτικό και παιδαγωγική προσέγγιση

Η προσομοίωση «pH Scale» επιλέχθηκε επειδή παρέχει δυναμική οπτικοποίηση της κλίμακας pH, δυνατότητα άμεσης μεταβολής των διαλυμάτων, μικροσκοπική απεικόνιση των ιόντων, διερεύνηση καθημερινών ουσιών και δυνατότητα αραίωσης του διαλύματος. Έτσι οι μαθητές μπορούν να παρατηρούν ταυτόχρονα το χρώμα του διαλύματος, την αριθμητική τιμή του pH, τις συγκεντρώσεις των ιόντων οξωνίου (H_3O^+) και υδροξειλίου (OH^-), τη μικροσκοπική απεικόνιση των ιόντων και την επίδραση της αραίωσης. Η χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων βοηθά στη μετάβαση από το επίπεδο της εμπειρίας στο επίπεδο της επιστημονικής ερμηνείας.

Το Σενάριο βασίζεται στις αρχές του Εποικοδομητισμού (Constructivism) και της Διερευνητικής Μάθησης: οι μαθητές/τριες οικοδομούν ενεργητικά τη γνώση μέσα από τον πειραματισμό, τη συνεργασία και τον αναστοχασμό[6,7]. Αξιοποιούνται η μάθηση μέσω ανακάλυψης, η ομαδοσυνεργατική προσέγγιση και η χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων. Ο εκπαιδευτικός λειτουργεί ως συντονιστής, εμψυχωτής και καθοδηγητής, ενώ οι μαθητές διερευνούν, παρατηρούν, συγκρίνουν, διατυπώνουν συμπεράσματα και ερμηνεύουν δεδομένα. Οι διδακτικές στρατηγικές είναι ο καταιγισμός ιδεών, η συζήτηση, ο πειραματισμός με την προσομοίωση και η συνεργατική μάθηση, με υποστήριξη από φύλλο εργασίας και φύλλο αυτοαξιολόγησης[8].

Η διδακτική έρευνα έχει αναδείξει τη σημασία των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών[6]. Στο παρόν Σενάριο αναμένεται ότι ενδέχεται να εμφανιστούν, ενδεικτικά, οι αντιλήψεις ότι όλα τα διαφανή υγρά είναι ουδέτερα, ότι το pH σχετίζεται μόνο με το χρώμα, ότι μεγαλύτερη τιμή pH σημαίνει πάντα «ισχυρότερο» διάλυμα, ότι τα οξέα είναι πάντα επικίνδυνα και ότι η αραίωση δεν επηρεάζει το pH του διαλύματος. Η επιδίωξη είναι η αναδόμηση των αντιλήψεων αυτών μέσα από τη διερεύνηση και τη σύνδεση των πολλαπλών αναπαραστάσεων.

Πίνακας 1. Δομή των δραστηριοτήτων του Σεναρίου.

Δραστηριότητα	Αναπαραστάσεις που αξιοποιούνται	Διάρκεια (min)*	Οργάνωση τάξης
1. Διερεύνηση καθημερινών ουσιών και της κλίμακας pH.	Χρώμα του διαλύματος, τιμή pH.	25	Ομάδες 2–3 μαθητών
2. Συσχέτιση pH και συγκέντρωσης ιόντων.	Τιμή pH, συγκεντρώσεις H_3O^+ και OH^- μικροσκοπική απεικόνιση ιόντων.	30	Ομάδες 2–3 μαθητών
3. Σύνδεση μακροσκοπικής και μικροσκοπικής αναπαράστασης, συσχέτιση αραίωσης με το pH.	Συνδυασμός όλων των παραπάνω (χρώμα πριν και μετά την αραίωση, τιμή pH, συγκεντρώσεις, μικροσκοπική απεικόνιση).	25	Ολομέλεια (συζήτηση)

** Ο χρόνος που απομένει από τις δύο διδακτικές ώρες αξιοποιείται για την εισαγωγή, τη γνωριμία με την προσομοίωση και την αξιολόγηση.*

Πλαίσιο υλοποίησης

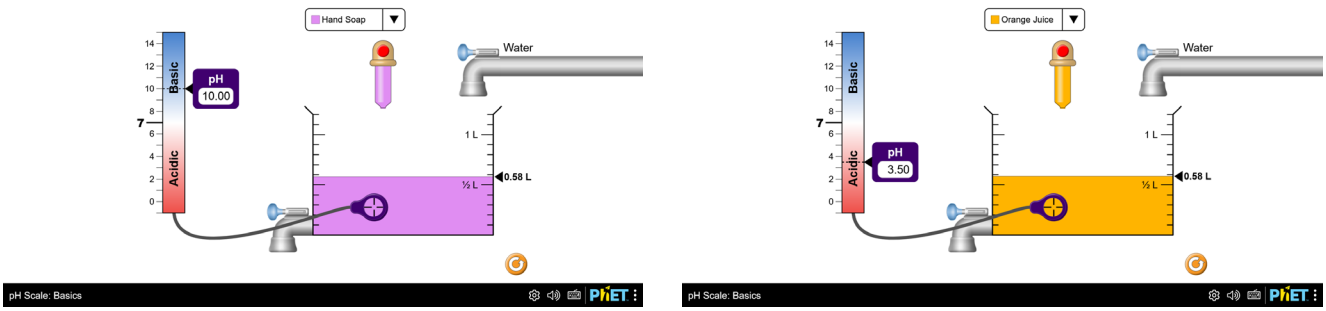
Το Σενάριο απευθύνεται σε μαθητές της Α΄ Λυκείου και εντάσσεται στις θεματικές ενότητες «Οξέα - Βάσεις και Κλίμακα pH» του μαθήματος της Χημείας[9]. Οι βασικές έννοιες είναι τα οξέα και οι βάσεις, η κλίμακα pH, τα ιόντα H_3O^+ και OH^-, τα όξινα και βασικά διαλύματα και η αραίωση διαλύματος. Οι μαθητές αναμένεται να γνωρίζουν ήδη βασικές έννοιες για τα διαλύματα από το Γυμνάσιο, την έννοια του ιόντος και καθημερινά παραδείγματα όξινων και βασικών ουσιών.

Η διάρκεια του Σεναρίου είναι δύο διδακτικές ώρες. Η πρώτη ώρα αφιερώνεται στην εισαγωγή στις έννοιες των οξέων και των βάσεων, στη γνωριμία με την προσομοίωση, στη διερεύνηση της κλίμακας pH και στην εισαγωγή της έννοιας της αραίωσης. Η δεύτερη ώρα αφιερώνεται στη μελέτη των μικροσκοπικών αναπαραστάσεων, στη σύνδεση της συγκέντρωσης των ιόντων με το pH, στη διατύπωση συμπερασμάτων και στην αξιολόγηση. Οι μαθητές εργάζονται σε ομάδες των 2–3 ατόμων και κάθε ομάδα διαθέτει έναν υπολογιστή ή tablet με πρόσβαση στο διαδίκτυο και φύλλο εργασίας και φύλλο αυτοαξιολόγησης. Απαιτούνται εργαστήριο πληροφορικής ή φορητοί υπολογιστές και βιντεοπροβολέας ή διαδραστικός πίνακας. Η δομή των τριών δραστηριοτήτων συνοψίζεται στον Πίνακα 1.

Οι δραστηριότητες

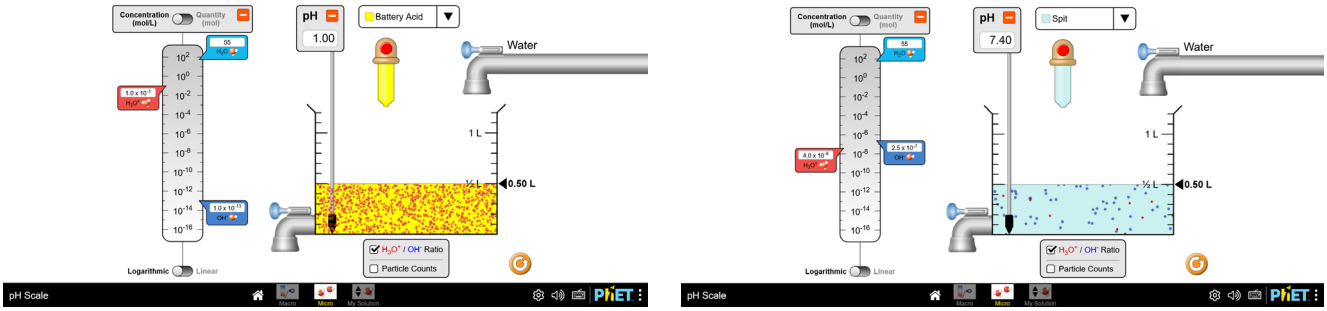
Δραστηριότητα 1: Διερεύνηση καθημερινών ουσιών και της κλίμακας pH

Ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει καθημερινές ουσίες, όπως το σαπούνι, το νερό και ο χυμός πορτοκαλιού. Με καταιγισμό ιδεών οι ομάδες προβλέπουν αν κάθε ουσία είναι όξινη ή βασική και διατυπώνουν υποθέσεις. Στη συνέχεια χρησιμοποιούν την προσομοίωση για να ελέγξουν τις προβλέψεις τους (Σχήμα 1): επιλέγουν την ουσία, καταγράφουν την τιμή pH που δείχνει ο μετρητής και την αντιστοιχίζουν στη χρωματική κλίμακα από το κόκκινο (όξινο) έως το μπλε (βασικό). Η σύγκριση πρόβλεψης και παρατήρησης οδηγεί σε συζήτηση και δίνει την ευκαιρία να αμφισβητηθούν αντιλήψεις, όπως ότι το pH σχετίζεται μόνο με το χρώμα. Η δραστηριότητα διαρκεί 25 min.



(α) (β)

Σχήμα 1. Στιγμιότυπα από την προσομοίωση «pH Scale»: (α) σαπούνι χεριών (Hand Soap), pH 10,00, στη βασική περιοχή της κλίμακας (Basic), (β) χυμός πορτοκαλιού (Orange Juice), pH 3,50, στην όξινη περιοχή (Acidic). Πηγή: PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, https://phet.colorado.edu (άδεια CC-BY 4.0).



(α) (β)

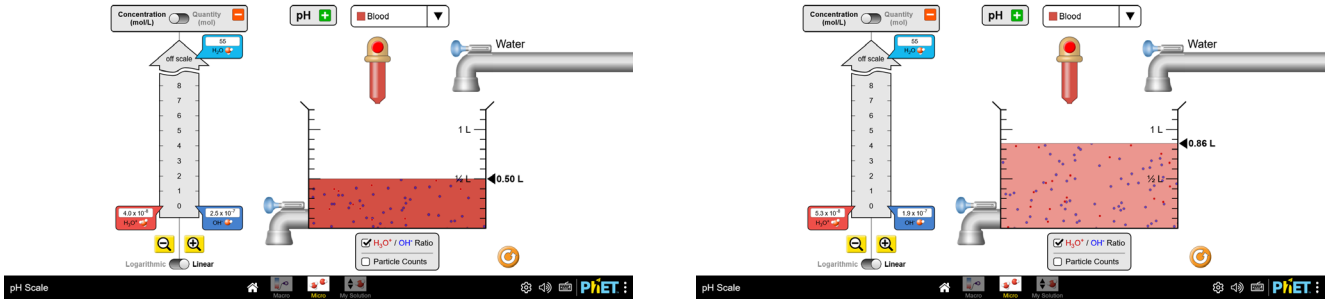
Σχήμα 2. Στιγμιότυπα από την προσομοίωση «pH Scale» με μικροσκοπική απεικόνιση των ιόντων (κόκκινες κουκκίδες: H_3O^+, μπλε κουκκίδες: OH^-): (α) οξύ μπαταρίας (Battery Acid), pH 1,00, $[H_3O^+] = 1,0 \times 10^{-1}$ mol/L και $[OH^-] = 1,0 \times 10^{-13}$ mol/L, (β) σάλιο (Spit), pH 7,40, $[H_3O^+] = 4,0 \times 10^{-8}$ mol/L και $[OH^-] = 2,5 \times 10^{-7}$ mol/L. Πηγή: PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, https://phet.colorado.edu (άδεια CC-BY 4.0).

Δραστηριότητα 2: Συσχέτιση pH και συγκέντρωσης ιόντων
Στη δεύτερη δραστηριότητα οι μαθητές εστιάζουν στη μικροσκοπική και τη συμβολική αναπαράσταση. Μεταβάλλοντας το διάλυμα, παρατηρούν την τιμή pH, τη συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+, τη συγκέντρωση των ιόντων OH^- και τη μικροσκοπική απεικόνιση των ιόντων (Σχήμα 2). Συγκρίνουν όξινα, ουδέτερα και βασικά διαλύματα και καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους στο φύλλο εργασίας. Αναμένεται να διαπιστώσουν ότι όσο μειώνεται το pH αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+, ενώ όσο αυξάνεται το pH αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων OH^-. Ο εκπαιδευτικός ενθαρρύνει τη σύγκριση των δεδομένων μεταξύ των ομάδων. Η δραστηριότητα διαρκεί 30 min.

Δραστηριότητα 3: Σύνδεση των αναπαραστάσεων και αραίωση
Η τρίτη δραστηριότητα πραγματοποιείται στην ολομέλεια με τη χρήση βιντεοπροβολέα ή διαδραστικού πίνακα. Οι μαθητές παρατηρούν ταυτόχρονα το χρώμα του διαλύματος και τη μεταβολή του με την αραίωση, την τιμή pH, τη συγκέντρωση των ιόντων και τη μικροσκοπική απεικόνιση (Σχήμα 3). Με την προσθήκη νερού ο όγκος του διαλύματος αυξάνεται και το χρώμα του γίνεται πιο ανοιχτό. Ακολουθεί συζήτηση για το πώς κάθε μορφή αναπαράστασης βοηθά στην κατανόηση του φαινομένου και για το πού τείνει η τιμή του pH όταν γίνεται αραίωση, ώστε να αμφισβητηθεί η αντίληψη ότι η αραίωση δεν επηρεάζει το pH. Η δραστηριότητα στηρίζεται στον αναστοχασμό και τη συνεργατική μάθηση και διαρκεί 25 min.

Φύλλο Εργασίας
Καθ' όλη τη διάρκεια οι μαθητές συμπληρώνουν φύλλο εργασίας πέντε ενοτήτων (Πίνακας 2), το οποίο καθοδηγεί την παρατήρηση και την καταγραφή των δεδομένων και οδηγεί στη διατύπωση συμπερασμάτων.

Αξιολόγηση
Η αξιολόγηση είναι διαμορφωτική και συνεχής και πραγματοποιείται σε όλα τα στάδια της μαθησιακής διαδικασίας. Ο εκπαιδευτικός παρατηρεί τη συμμετοχή των μαθητών, τον τρόπο συνεργασίας τους στις ομάδες και την ικανότητά τους να αξιοποιούν τις πολλαπλές αναπαραστάσεις της προσομοί-



(α) (β)

Σχήμα 3. Στιγμιότυπα από την προσομοίωση «pH Scale»: (α) αίμα (Blood), όγκος 0,50 L, (β) το ίδιο διάλυμα μετά την προσθήκη νερού, όγκος 0,86 L, με ανοιχτότερο χρώμα. Πηγή: PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, https://phet.colorado.edu (άδεια CC-BY 4.0).

Πίνακας 2. Δομή του φύλλου εργασίας.

Ενότητα	Περιεχόμενο
1. Παρατήρηση της προσομοίωσης	Τι εκφράζει η τιμή pH, ποιες ουσίες θεωρούν οι μαθητές όξινες και ποιες βασικές και τι συμβαίνει στο pH όταν το διάλυμα αραιώνεται.
2. Διερεύνηση καθημερινών ουσιών	Πίνακας καταγραφής της τιμής pH και του χαρακτηρισμού (όξινο, ουδέτερο, βασικό) ουσιών όπως το νερό, το σαπούνι και ο χυμός πορτοκαλιού.
3. Παρατήρηση ιόντων	Τι συμβαίνει στη συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ όταν το pH μειώνεται και στη συγκέντρωση των ιόντων OH^- όταν το pH αυξάνεται.
4. Σύνδεση αναπαραστάσεων	Πώς βοήθησαν στην κατανόηση του pH το χρώμα του διαλύματος πριν και μετά την αραίωση, οι αριθμητικές τιμές, η μικροσκοπική αναπαράσταση και οι συγκεντρώσεις των ιόντων.
5. Συμπεράσματα	Πότε ένα διάλυμα χαρακτηρίζεται όξινο ή βασικό, πού τείνει το pH κατά την αραίωση και ποια αναπαράσταση βοήθησε περισσότερο και γιατί.

ωσης. Αξιολογούνται ειδικότερα η κατανόηση της έννοιας του pH, η ικανότητα σύνδεσης μακροσκοπικών και μικροσκοπικών αναπαραστάσεων, η ορθή χρήση των επιστημονικών όρων (H_3O^+, OH^-, οξύ, βάση, αραίωση), η ερμηνεία των δεδομένων της προσομοίωσης, η συνεργασία και η ενεργή συμμετοχή. Ως εργαλεία ανατροφοδότησης αξιοποιούνται το φύλλο εργασίας, η συζήτηση στην ολομέλεια και το φύλλο αυτοαξιολόγησης.

Το φύλλο αυτοαξιολόγησης περιλαμβάνει έξι δηλώσεις, τις οποίες οι μαθητές βαθμολογούν με την κλίμακα «πολύ», «αρκετά», «λίγο» (για παράδειγμα αν κατάλαβαν τι εκφράζει το pH, αν συνεργάστηκαν αποτελεσματικά και αν οι πολλαπλές αναπαραστάσεις τους βοήθησαν να κατανοήσουν καλύτερα το μάθημα), καθώς και τρεις ερωτήσεις αναστοχασμού: τι καινούριο έμαθαν, τι τους δυσκόλεψε περισσότερο και ποια δραστηριότητα τους βοήθησε περισσότερο.

Συζήτηση και συμπεράσματα

Η εφαρμογή του Σεναρίου αναμένεται να έχει θετικό παιδαγωγικό αντίκτυπο: οι μαθητές/τριες δεν περιορίζονται στην απομνημόνευση τιμών pH, αλλά συνδέουν πολλαπλές αναπαραστάσεις του ίδιου φαινομένου και αποκτούν βαθύτερη κατανόηση της έννοιας. Παράλληλα αναμένεται να ενισχυθούν το ενδιαφέρον για τη Χημεία και η ενεργός συμμετοχή, να καλλιεργηθεί η διερευνητική μάθηση και να βελτιωθεί η ικανότητα επιστημονικής ερμηνείας και ομαδοσυνεργατικότητας.

Το Σενάριο είναι ευέλικτο: μπορεί να εφαρμοστεί ως πλήρες σενάριο δύο διδακτικών ωρών ή ως επιμέρους διερευνητική δραστηριότητα μίας ώρας, ανάλογα με το επίπεδο της τάξης και τον διαθέσιμο χρόνο, ενώ μπορεί να αξιοποιηθεί και σε άλλα θέματα των Φυσικών Επιστημών που απαιτούν σύνδεση μικρόκοσμου και μακρόκοσμου. Επειδή η προσομοίωση αποτελεί απλοποιημένο μοντέλο, προτείνεται ο συνδυασμός της με πραγματικό εργαστηριακό πείραμα μέτρησης του pH με δείκτες και πεχάμετρο (pH meter), ώστε οι μαθητές να συγκρίνουν ψηφιακά και πραγματικά πειραματικά δεδομένα. Συμπερασματικά, ο συνδυασμός προσομοίωσης, διερευνητικής προσέγγισης και πολλαπλών αναπαραστάσεων προσφέρει στον εκπαιδευτικό ένα πρακτικό πλαίσιο για να συνδέσει τον μακρόκοσμο με τον μικρόκοσμο στη διδασκαλία του pH διαλυμάτων.

Το σενάριο με τα φύλλα εργασίας και αυτοαξιολόγησης βρίσκονται στο ψηφιακό αποθετήριο Ιφιγένεια https://ifigeneia.cti.gr/handle/9596/11540

Βιβλιογραφία - Δικτυογραφία

1. Johnstone, A.H. "Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem", *Journal of Computer Assisted Learning*, 7.2 (1991): 75-83.
2. Gilbert, J.K. & Treagust, D.F. (Eds.) *Multiple Representations in Chemical Education*, Springer, Dordrecht, 2009.
3. Ainsworth, S. "The functions of multiple representations", *Computers & Education*, 33.2-3 (1999): 131-152.
4. Wieman, C.E., Adams, W.K. & Perkins, K.K. "PhET: Simulations that enhance learning", *Science*, 322.5902 (2008): 682-683.
5. pH Scale: Basics. PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder.
Web. <https://phet.colorado.edu/sims/html/ph-scale/latest/ph-scale_all.html>
6. Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood-Robinson, V. *Οικοδόμηση των εννοιών των Φυσικών Επιστημών*, 1998.
7. Κόκκοτας, Π. *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*, 2004.
8. Ματσαγγούρας, Η. *Θεωρία και Πράξη της Διδασκαλίας*, 2011.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ
ΤΜΗΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Χημείας
Πανεπιστήμιο Κρήτης
Department of Chemistry
University of Crete

Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΟΥ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ
ΠΟΙΟΤΗΤΑ • ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ • ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ

28/09/2026

Ολοκληρώθηκε με επιτυχία το Συνέδριο «Η Επιστήμη του Ελαιολάδου» στο Ηράκλειο
Τρεις ημέρες επιστημονικού διαλόγου, γνώσης και σύνδεσης της έρευνας με την παραγωγή και την αγορά

Ολοκληρώθηκε, με την παρουσία πλήθους κόσμου, το τριήμερο Συνέδριο **«Η Επιστήμη του Ελαιολάδου, Ποιότητα, Καινοτομία, Βιωσιμότητα»**, που πραγματοποιήθηκε από τις **25 έως τις 27 Σεπτεμβρίου 2026 στο Ηράκλειο Κρήτης**, με επίκεντρο τις σύγχρονες επιστημονικές, αναλυτικές, παραγωγικές και τεχνολογικές εξελίξεις γύρω από το ελαιόλαδο.
Το Συνέδριο διοργανώθηκε από το **Περιφερειακό Τμήμα Κρήτης της Ένωσης Ελλήνων Χημικών**, σε συνεργασία με το **Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης**, και επιδίωξε να δημιουργήσει έναν κοινό χώρο συνάντησης και διαλόγου μεταξύ της επιστημονικής και ακαδημαϊκής κοινότητας, των θεσμικών φορέων, των εργαστηρίων, της παραγωγής, των επιχειρήσεων και των νέων επιστημόνων. Στη διοργάνωση έδωσαν, επίσης, το «παρών» μέλη της ακαδημαϊκής και ερευνητικής κοινότητας από άλλα Πανεπιστήμια και εκπαιδευτικά ιδρύματα της χώρας, ενισχύοντας τον διεπιστημονικό χαρακτήρα και την ανταλλαγή γνώσης και εμπειριών γύρω από την επιστήμη του ελαιολάδου.

Η επίσημη έναρξη
Οι εργασίες του Συνεδρίου ξεκίνησαν την Παρασκευή 25 Σεπτεμβρίου στο **Επιμελητήριο Ηρακλείου**.
Κατά την επίσημη έναρξη απηύθυναν χαιρετισμό η **Εμμανουέλα Σκουλικάρη**, Πρόεδρος του Περιφερειακού Τμήματος Κρήτης της Ένωσης Ελλήνων Χημικών, ο **Γιώργος Βασιλικογιαννάκης**, Καθηγητής Οργανικής Χημείας και Πρόεδρος του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης, ο **Ιωάννης Ανδριανός**, Υφυπουργός Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, ο **Σταύρος Τζεδάκης**, Αντιπεριφερειάρχης Αγροτικής Οικονομίας της Περιφέρειας Κρήτης, ο **Αθανάσιος Παπαδόπουλος**, Πρόεδρος της Ένωσης Ελλήνων Χημικών, ο Ιδομενέας Μαρκάκης, Αντιπρόεδρος του ΔΣ του ΕΦΕΤ και ο **Ιωάννης Σιταράς**, Διευθυντής Εργαστηρίων ΕΣΥΔ και Γενικός Γραμματέας της Ένωσης Ελλήνων Χημικών.
Η πρώτη ημέρα έθεσε τις βάσεις για τον επιστημονικό διάλογο που ακολούθησε, με θεματικές γύρω από την ελαιοκαλλιέργεια, τη χημική σύσταση και την ποιότητα του ελαιολάδου, τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά, την κυκλική οικονομία, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τους σύγχρονους χημικούς κινδύνους. Η εναρκτήρια επιστημονική ομιλία πραγματοποιήθηκε από τον **Εμμανουήλ Χατζάκη**, Αναπληρωτή Καθηγητή στο The Ohio State University, με αντικείμενο τις εφαρμογές της φασματοσκοπίας NMR στα εδώδιμα έλαια.







Ένα ευρύ επιστημονικό πρόγραμμα για το ελαιόλαδο

Την έναρξη της δεύτερης ημέρας χαιρέτισε ο κ. Γιώργος Οικονόμου, Πρόεδρος της ΦΙΛΑΙΟΣ, πριν από την έναρξη των επιστημονικών συνεδριών του Σαββάτου.

Το Σάββατο 26 Σεπτεμβρίου αναπτύχθηκε ο κύριος κορμός του επιστημονικού προγράμματος, με τη συμμετοχή επιστημόνων, ερευνητών και επαγγελματιών από πανεπιστήμια, ερευνητικά ιδρύματα, εργαστήρια, δημόσιους φορείς και επιχειρήσεις.

Οι παρουσιάσεις κάλυψαν ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, από τη χημική σύσταση, τα φαινολικά και άλλα βιοδραστικά συστατικά και τη λειτουργική αξία του ελαιολάδου έως τις σύγχρονες αναλυτικές και φασματοσκοπικές τεχνικές, την αυθεντικότητα και την ανίχνευση νοθείας, την οργανοληπτική αξιολόγηση, την επισήμανση και την κανονιστική συμμόρφωση.

Παράλληλα, ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην ασφάλεια, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, την κυκλική οικονομία και τις τεχνολογίες αξιοποίησης των παραπροϊόντων του ελαιοτριβείου, καθώς και στις προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο τομέας ως προς την παραγωγή και τη διεθνή ανταγωνιστικότητα.

Στο ίδιο τραπέζι επιστήμη, παραγωγή, θεσμικοί φορείς και αγορά

Ιδιαίτερο μέρος του προγράμματος αποτέλεσε η **Στρογγυλή Τράπεζα** με θέμα **«Το μέλλον του ελληνικού ελαιολάδου: από την παραγωγή και την ποιότητα στη βιωσιμότητα και τις διεθνείς αγορές»**, με συντονιστή τον δημοσιογράφο **Νίκο Αγγελάκη**.

Στη συζήτηση συμμετείχαν οι **Ευτύχης Γιακουμάκης**, **Εμμανουήλ Καρπαδάκης**, **Ιδομενέας Μαρκάκης**, **Γιώργος Οικονόμου**, **Ελευθέριος Ρενιέρης**, **Ιωάννης Σιταράς**, **Φώτης Σουσαλής**, **Απόστολος Σπύρος** και **Έφη Χριστοπούλου**, εκπροσωπώντας διαφορετικές πλευρές της παραγωγής, της επιστήμης, της τυποποίησης, των εξαγωγών, των θεσμικών φορέων και της αγοράς.

Η σύνθεση της Στρογγυλής Τράπεζας ανέδειξε έναν από τους βασικούς στόχους της διοργάνωσης: τη δημιουργία ενός κοινού πεδίου διαλόγου μεταξύ διαφορετικών κρίκων της αλυσίδας αξίας του ελληνικού ελαιολάδου.



Foods Best Abstract Award και Special Issue

Στο πλαίσιο του Συνεδρίου πραγματοποιήθηκε επίσης η παρουσίαση αναρτημένων επιστημονικών εργασιών (**Poster Exhibition**), με προγραμματισμένες Poster Sessions κατά τις δύο πρώτες ημέρες της διοργάνωσης.

Το **Foods Best Abstract Award** απονεμήθηκε στη **Δρ. Αιμιλία Ρηγάκου** για την εργασία με τίτλο **«Αλγόριθμος Γευσιγνωστικής Ταυτότητας Εξαιρετικού Παρθένου Ελαιολάδου (EVOO-SIA)»**. Η απονομή πραγματοποιήθηκε από τον **Δρ. Ματθαίο Καββαλάκη**, εκπρόσωπο της Επιτροπής Αξιολόγησης του βραβείου.



Η διάκριση συνοδεύεται από τη **δυνατότητα δωρεάν δημοσίευσης επιστημονικής εργασίας στο διεθνές επιστημονικό περιοδικό Foods του MDPI**, κατόπιν υποβολής και επιτυχούς ολοκλήρωσης της προβλεπόμενης διαδικασίας αξιολόγησης (peer review), σύμφωνα με τα επιστημονικά και εκδοτικά κριτήρια του περιοδικού.
Η επιστημονική συνέχεια του Συνεδρίου ενισχύεται μέσα από τη συνεργασία με το διεθνές επιστημονικό περιοδικό *Foods* και το Special Issue με τίτλο "Recent Advances in Olive Oil Science: From Sensory Characteristics and Quality to Food Safety and Human Health", με Guest Editor τον Dr. Matthaios P. Kavvalakis. Το Special Issue, με προθεσμία υποβολής εργασιών έως τις 15 Μαΐου 2027, καλύπτει ένα ευρύ φάσμα σύγχρονων θεμάτων της επιστήμης του ελαιολάδου, από τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά και την ποιότητα έως την ασφάλεια τροφίμων και την ανθρώπινη υγεία. Το Foods διαθέτει Impact Factor 6.0 και CiteScore 10.3 και είναι ευρετηριασμένο στη PubMed.

Από τη θεωρία στην πράξη - Workshops και Career Day

Η τρίτη και τελευταία ημέρα, την Κυριακή 27 Σεπτεμβρίου, πραγματοποιήθηκε στο **Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης στις Βούτες Ηρακλείου**, μεταφέροντας το ενδιαφέρον από τις επιστημονικές εισηγήσεις στη βιωματική εκπαίδευση και την επαγγελματική δικτύωση.



Το πρόγραμμα περιλάμβανε **γευσιγνωσία Εξαιρετικού Παρθένου Ελαιολάδου με την Έφη Χριστοπούλου**, **Food Pairing με τη Μαρία Καλιτσουνάκη** και βιωματικό εργαστήριο **μέτρησης πολυφαινολών στο εξαιρετικό παρθένο ελαιόλαδο**.
Παράλληλα πραγματοποιήθηκε η **Ημέρα Καριέρας & Επαγγελματικής Δικτύωσης (Career Day)**, δημιουργώντας έναν χώρο άμεσης επαφής φοιτητών και νέων επιστημόνων με επιχειρήσεις και εκπροσώπους του επαγγελματικού χώρου και

ενισχύοντας έναν ακόμη βασικό άξονα του Συνεδρίου: τη σύνδεση της πανεπιστημιακής γνώσης με την εφαρμογή και την αγορά εργασίας.

Η πολύτιμη συμβολή των εθελοντών

Καθοριστική για την ομαλή διεξαγωγή του τριημέρου ήταν η παρουσία και η ουσιαστική συμβολή των **φοιτητών-εθελοντών του τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης**, οι οποίοι υποστήριξαν τις οργανωτικές και λειτουργικές ανάγκες του Συνεδρίου και συνέβαλαν με συνέπεια και ενθουσιασμό στην υποδοχή των συμμετεχόντων και στην πραγματοποίηση των επιμέρους δράσεων.

Η Οργανωτική Επιτροπή εκφράζει τις θερμές της ευχαριστίες σε όλους τους εθελοντές για την πολύτιμη προσφορά τους.

Ένα σημείο συνάντησης γύρω από την επιστήμη του ελαιολάδου

Η ολοκλήρωση του τριημέρου ανέδειξε τη σημασία της διεπιστημονικής προσέγγισης ενός προϊόντος που συνδέεται άρρηκτα με την Κρήτη και την Ελλάδα, αλλά παράλληλα αποτελεί ένα σύγχρονο πεδίο επιστημονικής έρευνας, τεχνολογικής ανάπτυξης και επιχειρηματικής δραστηριότητας.

Η συνύπαρξη επιστημόνων, ερευνητών, επαγγελματιών, παραγωγικών και θεσμικών φορέων, επιχειρήσεων, φοιτητών και νέων επιστημόνων δημιούργησε τις προϋποθέσεις για ανταλλαγή γνώσης, εμπειριών και προβληματισμών γύρω από το παρόν και το μέλλον του ελληνικού ελαιολάδου.

Η ανταπόκριση στην πρώτη αυτή διοργάνωση δημιουργεί παράλληλα τις προϋποθέσεις για τη **συνέχιση και περαιτέρω ανάπτυξη της πρωτοβουλίας τα επόμενα χρόνια**.

Η Οργανωτική Επιτροπή ευχαριστεί θερμά όλους τους ομιλητές, τους συντονιστές, τα μέλη των Επιτροπών, τους συμμετέχοντες και, ιδιαίτερα, τους εθελοντές που συνέβαλαν στην πραγματοποίηση του Συνεδρίου.

Θερμές ευχαριστίες στους φορείς που έθεσαν το Συνέδριο υπό την αιγίδα τους, τους θεσμικούς υποστηρικτές, τους κύριους χορηγούς, τους χορηγούς, τους υποστηρικτές και τους χορηγούς επικοινωνίας, των οποίων η συμβολή υπήρξε καθοριστική για την πραγματοποίηση της διοργάνωσης.





Association
of Greek Chemists

Journal of the Association of Greek Chemists

CONNECTING CHEMISTRY. ADVANCING SCIENCE.
FROM GREECE TO THE WORLD.



Share your research. Make an impact.

We invite chemists and researchers from Greece and around the world to submit their original research, reviews, and short communications.

Together, let's build a journal of global reach and scientific excellence.

Why publish with us?

Dedicated to Chemistry
A journal run by chemists, for chemists—covering all areas of chemical science.

International Visibility
Open to the global research community with a strong international perspective.

Open Access
Your research is freely available to readers worldwide.

Rigorous Peer Review
High-quality, transparent, and constructive peer review process.

Growing Impact
Help us increase our visibility and work toward indexing in Scopus and other major databases.

Support a Local Initiative with Global Ambition
Strengthen the voice of the Greek chemistry community on the global stage.

Your research. Our platform. A stronger future for chemistry.

Submit your work today!

Be part of our journey. Help shape the future of the Journal of the Association of Greek Chemists.

www.eex.gr eex@eex.gr


Ένωση Ελλήνων Χημικών
ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ
Association of Greek Chemists