Το περιοδικό του τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ.

Φαινόμενον

Περίοδος Δ' | Τεύχος 34 | Ιούνιος 2021
ISSN: 2529-1874/2529-1882 (online)

Πλασμονικά νανοσωματίδια
Σελ. 24

Συλλογισμοί περί φωτός
Σελ.16

Τομογραφία μιονίων
Μία μη επεμβατική μέθοδος απεικόνισης του εσωτερικού τύμβων. **Σελ. 6**

Λουκρητίου: "De Rerum Natura"
ένα αρχαίο ποίημα για τη φύση και τα άτομα **Σελ. 18**

Πόσο ασφαλή είναι τα τοξικά απόβλητα...
...σε ένα γυάλινο "κλουβί"; **Σελ. 12**

Λίγα λόγια για τον Στάθη Πολυχρονιάδη
Σελ.28

Παγκόσμια Υπερθέρμανση

Σελ. 3

Φαινόμενον

Περίοδος Δ΄ • Τεύχος 34 • Ιούνιος 2021
Περιοδική έκδοση του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ. (προεδρία Δ. Μελά)

ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

Επιτροπή εκδόσεων, σεμιναρίων και προβολής του Τμήματος Φυσικής

Μαρία Κατσικίνη · Ελένη Βίγκα · Σπύρος Κασσαβέτης · Χαράλαμπος Σαραφίδης · Νικόλαος Χαστάς · Παναγιώτης Πατσαλάς · Αργύρης Λασκαράκης · Ιωάννης Τσιαούσης

—

Δημήτριος Ευαγγελινός

ΣΤΟ ΤΕΥΧΟΣ ΑΥΤΟ ΣΥΝΕΡΓΑΣΤΗΚΑΝ

Ιφιγένεια Γιαννακούδη
(φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
Χαράλαμπος Δημητριάδης
(ομότιμος καθηγητής Τμ. Φυσικής)
Ήλια Καλαϊτζίδου
(μεταπτυχιακή φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
Μαρία Κατσικίνη
(αναπλ. καθηγήτρια Τμ. Φυσικής)
Τάσος Λιόλιος
(καθηγητής Τμ. Φυσικής)
Βασίλειος Οικονόμου
(ΕΔΙΠ Τμ. Φυσικής)
Φανή Πινακίδου
(μεταδιδακτ. ερευνήτρια Τμ. Φυσικής)
Νικόλαος Πλιάτσικας
(μεταδιδακτ. ερευνητής Τμ. Φυσικής)
Γεώργιος Ρήγας
(φοιτητής Τμ. Φυσικής)
Χάρης Σαραφίδης
(επικ. καθηγητής Τμ. Φυσικής)
Νικόλαος Φράγκης
(καθηγητής Τμ. Φυσικής)
Πελαγία Φωτιάδου
(απόφοιτος Τμ. Φυσικής)

ΕΚΤΥΠΩΣΗ
COPYCITY Ε.Π.Ε.

ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΚΔΟΣΗ
http://phenomenon.physics.auth.gr

e-mail επικοινωνίας
phenomenon@physics.auth.gr

facebook: *Περιοδικό "Φαινόμενον"*
ISSN: 2529-1874 · 2529-1882 (online)

σημείωμα της σύνταξης

Το παρόν τεύχος του «ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΝ» περιλαμβάνει άρθρα για την υπερθέρμανση του πλανήτη, την αδρανοποίηση τοξικών αποβλήτων και τη χρήση της τομογραφίας μιονίων για την απεικόνιση του εσωτερικού τύμβων. Περιέχονται επίσης άρθρα για το φως, τα πλασμονικά νανοσωματίδια και την αρχή λειτουργίας του παλμικού οξυμέτρου. Το τεύχος πλαισιώνεται και από ένα άρθρο για τις αντιλήψεις του Λουκρητίου για τη φύση και τα άτομα. Από το τεύχος δεν λείπουν τα νέα του τμήματος και τα επιστημονικά νέα καθώς και λίγα λόγια για τον προσφάτως εκλιπόντα Ομ. Καθ. Στάθη Πολυχρονιάδη.

Η ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

περιεχόμενα

- Επιστημονικά νέα **1**
- Παγκόσμια υπερθέρμανση **3**
- Τομογραφία μιονίων: μία μη επεμβατική μέθοδος απεικόνισης του εσωτερικού τύμβων **6**
- Πόσο ασφαλή είναι τα τοξικά απόβλητα σε ένα γυάλινο «κλουβί»; **12**
- Πως λειτουργεί το παλμικό οξύμετρο; **15**
- Συλλογισμοί περί φωτός **16**
- Λουκρητίου "De Rerum Natura": ένα αρχαίο ποίημα για τη φύση και τα άτομα **18**
- Πλασμονικά νανοσωματίδια για εφαρμογές στο βιολογικό παράθυρο του κοντινού υπέρυθρου **24**
- Λίγα λόγια για τον Στάθη Πολυχρονιάδη **28**
- Συνέβησαν στο Τμήμα **29**

Εξώφυλλο: Αλέξανδρος Μυλωνάς (φοιτητής Τμ. Φυσικής)

πνευματικά δικαιώματα

Το δημοσιευμένο υλικό στο περιοδικό αυτό προστατεύεται από Copyright. Το υλικό δημοσιεύεται υπό όρους που καθορίζονται από την Creative Commons Public License και απαγορεύεται κάθε χρήση του με διαφορετικές προϋποθέσεις από αυτές που καθορίζονται από την άδεια. Είστε ελεύθεροι να διανείμετε, αναπαράγετε, κατανείμετε, διαδώσετε, διασκευάσετε το έργο αυτό με τις ακόλουθες προϋποθέσεις: Η *αναφορά στο έργο* πρέπει να γίνει κατά τον τρόπο που καθορίζεται από το συγγραφέα ή το χορηγό της άδειας (αλλά όχι με τρόπο που να υποδηλώνει ότι παρέχουν επίσημη έγκριση σε σας ή για χρήση του έργου από εσάς). Εάν αλλοιώσετε, τροποποιήσετε ή δομήσετε πάνω στο έργο αυτό, η διανομή του παράγωγου έργου μπορεί να γίνει μόνο υπό τους όρους της ίδιας, παρόμοιας ή συμβατής άδειας.

Δείτε αναλυτικά τους όρους:
http://creativecommons.org/licences/by-sa/3.0/

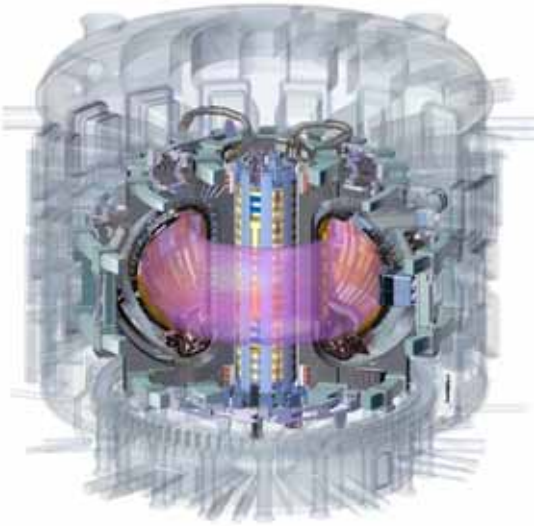
Οι απόψεις που παρουσιάζονται σε κάθε κείμενο εκφράζουν το συγγραφέα του και όχι υποχρεωτικά τη συντακτική ομάδα του περιοδικού.

επιστημονικά νέα

Χάρης Σαραφίδης
Επίκουρος Καθηγητής
Τμήματος Φυσικής

Ο ισχυρότερος ηλεκτρομαγνήτης του κόσμου βρίσκεται κα-θ' οδόν για το Saint-Paul-lès-Durance στην Γαλλία όπου πρόκειται να αποτελέσει βασικό δομικό στοιχείο του ευρωπαϊκού αντιδραστήρα σύντηξης ITER. Το επονομαζόμενο «κεντρικό σωληνοειδές» (central solenoid) έχει ύψος 18 μέτρα, διάμετρο 4,2 μέτρα, μάζα 1000 τόνους και θα παράγει μαγνητικό πεδίο 13 T. Οι περιελίξεις των πηνίων του, από υπεραγωγούς Nb-Sn, θα έχουν μήκος περίπου 260 χιλιόμετρα. Το ισχυρό μαγνητικό πεδίο θα διατηρεί το πλάσμα, θερμοκρασίας 150 εκατομμυρίων °C, μακριά από τα τοιχώματα του αντιδραστήρα.

Ο ITER, ο ευρωπαϊκός Ήλιος, αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2025 με στόχο τη συνεχή παραγωγή ισχύος 500 MW. Οι αντιδραστήρες σύντηξης δεν παράγουν ραδιενεργά κατάλοιπα με μεγάλο χρόνο ημιζωής και το βασικό τους καύσιμο, το δευτέριο, υπάρχει σε σχετικά μεγάλη αφθονία ενώ ταυτόχρονα είναι περισσότερο ασφαλείς από τους αντιδραστήρες σχάσης.



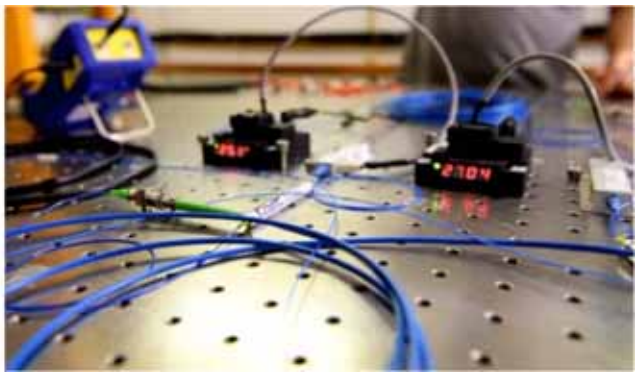
Ο ευρωπαϊκός Ήλιος (ITER), η πρώτη διάταξη παραγωγής καθαρής ενέργειας με πυρηνική σύντηξη.
(https://www.iter.org)

Εξαιρετικά λεία σφαίρα πυριτίου που χρησιμοποιείται από οργανισμούς μετρολογίας για τον προσδιορισμό του αριθμού του Avogadro.
(Φωτογραφία: NIST, https://www.nist.gov/)

Πως θα φτιάξουμε έναν καινούργιο ορισμό, ένα νέο πρότυπο για το μέγεθος της μάζας, το kg, που να βασίζεται σε πείραμα και όχι σε ένα αντικείμενο; Μία προσέγγιση, η οποία τελικά χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματικά, θα μπορούσε να περιγραφεί ως μέτρηση των ατόμων που περιέχονται σε μία όσο πιο «τέλεια σφαιρική» μπάλα από πυρίτιο μάζας 1 kg. Ο στόχος φυσικά είναι ο προσδιορισμός της σταθεράς N_A του Avogadro, που συνδέει τον αριθμό των ατόμων ενός αντικειμένου με την μάζα του.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 ξεκίνησε μια συντονισμένη διεθνής προσπάθεια για τον προσδιορισμό της σταθεράς του Avogadro με σχετική αβεβαιότητα της τάξης του 0,00000001. Οι ερευνητές από τα ινστιτούτα μετρολογίας της Γερμανίας, της Ιαπωνίας, της Κίνας, της Ελβετίας, των ΗΠΑ, της Ιταλίας, του Βελγίου και του Διεθνούς Γραφείου Μέτρων και Σταθμών, χρησιμοποίησαν τέτοιες σφαίρες πυριτίου μάζας 1 kg διαμέτρου 94 mm (± 0,000002 mm) και με ειδικές τεχνικές φασματοσκοπίας επιβεβαίωσαν την απόσταση μεταξύ των ατόμων του Si. Από την ακριβή μέτρηση του όγκου της σφαίρας προσδιορίστηκε ο συνολικός αριθμός των ατόμων που περιείχε. Οι σφαίρες είναι τόσο λείες, ώστε αν είχαν το μέγεθος της Γης τότε το υψηλότερο βουνό θα είχε ύψος 1 ως 2 μέτρα. Το υλικό ήταν εμπλουτισμένο ώστε να αποτελείται από 99,9995% ^{28}Si ελαχιστοποιώντας τα υπόλοιπα ισότοπα που απαντώνται υπό φυσιολογικές συνθήκες στο πυρίτιο.

Οι κβαντικοί υπολογιστές αναμένεται να φέρουν επανάσταση σε πολλούς τομείς της επιστήμης, της τεχνολογίας αλλά και σε εφαρμογές της καθημερινότητάς μας. Η βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας δεδομένων όμως δεν θα έχει νόημα αν δεν ακολουθήσουν και τα δίκτυα. Ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση υλοποίησης του κβαντικού διαδικτύου (quantum internet), ενός δικτύου όπου η πληροφορία θα βρίσκεται αποθηκευμένη σε qubits υπό κατάσταση κβαντικής διεμπλοκής, έγινε πρόσφατα. Κβαντική διεμπλοκή ονομάζουμε το φαινόμενο όπου δύο σωματίδια αλληλεπιδρούν διαρκώς μέσω των κυματοσυναρτήσεών τους, ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις, με την αλλαγή κατάστασης του ενός να μεταδίδεται πρακτικά άμεσα στο άλλο σαν τηλεμεταφορά. Μία ομάδα του εθνικού εργαστηρίου των ΗΠΑ Fermilab υπό τον Παναγιώτη Σπεντζούρη, σε συνεργασία με επιστήμονες από διάφορους φορείς (AT&T, Caltech, Harvard University, NASA Jet Propulsion Laboratory, University of Calgary) πέτυχε για πρώτη φορά την μετάδοση πληροφορίας μέσω τηλεμεταφοράς σε απόσταση 44 χιλιομέτρων χρησιμοποιώντας διαθέσιμη τεχνολογία οπτικών ινών. Όπως υπογραμμίζει η καθηγήτρια του Caltech Μαρία Σπυροπούλου, πρόκειται για σημαντικό ορόσημο στην κατεύθυνση της πρακτικής χρήσης δικτύων κβαντικής τηλεμεταφοράς και σύντομα αναμένονται ακόμη καλύτερα αποτελέσματα. Στον σύνδεσμο θα βρείτε την ανακοίνωση του Fermilab και σύνδεσμο προς την (ελεύθερης πρόσβασης) δημοσίευση της ερευνητικής ομάδας στο επιστημονικό περιοδικό PRX Quantum: https://news.fnal.gov/2020/12/fermilab-and-partners-achieve-sustained-high-fidelity-quantum-teleportation/



Φωτογραφία: FERMILAB

Καλλιτεχνική απεικόνιση NASA του οχήματος Perseverance στον πλανήτη Άρη.

Τη 18η Φεβρουαρίου 2021 και ώρα Γης 20:55 UTC, το όχημα Perseverance (επιμονή) προσεδαφίστηκε στον πλανήτη Άρη. Οι βασικοί αντικειμενικοί σκοποί της αποστολής είναι:

1) η αναγνώριση σημείων στο περιβάλλον του πλανήτη που θα μπορούσαν να συντηρήσουν μικροβιακή ζωή,

2) ο εντοπισμός υπολειμμάτων μικροβιακής ζωής (βιουπογραφές), ειδικά σε συγκεκριμένα πετρώματα,

3) η συλλογή και αποθήκευση στην επιφάνεια του πλανήτη δειγμάτων τα οποία θα επιστραφούν στη Γη από μελλοντικές αποστολές και

4) η δοκιμή τεχνολογίας παραγωγής οξυγόνου από την υπάρχουσα ατμόσφαιρα του πλανήτη.

Η εντυπωσιακή διαδικασία προσεδάφισης αναφέρονταν από το προσωπικό του Οργανισμού Αεροναυτικής και Διαστήματος των ΗΠΑ (NASA) ως «7 λεπτά τρόμου». Μαζί με το όχημα προσεδαφίστηκε και ένα μικρό, τηλεκατευθυνόμενο ελικόπτερο το οποίο εκτελεί σύντομες πτήσεις στην περιοχή, δίνοντας επιπλέον στοιχεία στους ερευνητές.

Πριν από 40 χρόνια, τον Ιούνιο του 1981, κυκλοφόρησε ο προσωπικός υπολογιστής TI-99/4A, ένα πρωτοποριακό για την εποχή του 16-bit σύστημα, που παρά την σχετική εμπορική του επιτυχία προκάλεσε οικονομική ζημιά στην κατασκευάστρια εταιρία. Σε αρχική τιμή 525 δολαρίων χωρίς οθόνη (που αντιστοιχεί σε περίπου 1500 δολάρια σήμερα) περιλάμβανε επεξεργαστή TMS9900 χρονισμένο στα 3 MHz, 16 kB μνήμη (ένα κινητό τηλέφωνο στην εποχή μας έχει περισσότερη μνήμη από όλους τους συγκεκριμένους υπολογιστές που φτιάχτηκαν) και ανάλυση οθόνης 256×192 στοιχεία (16 χρώματα) μαζί με πρωτοποριακές τεχνολογίες όπως σύστημα σύνθεσης φωνής και συμπίεση εικόνας. Πολλοί επιστήμονες και μηχανικοί έκαναν τα πρώτα τους βήματα στον προγραμματισμό σε υπολογιστές της εποχής με αντίστοιχες προδιαγραφές.

Φωτογραφία: Ron Reuter
http://www.mainbyte.com/
CC BY-SA 3.0 de

παγκόσμια υπερθέρμανση

Πελαγία Φωτιάδου
Απόφοιτος
Τμήματος Φυσικής

Με αφορμή την παγκόσμια ημέρα περιβάλλοντος στις 5 Ιουνίου, το παρόν άρθρο στοχεύει σε μία συνοπτική ενημέρωση σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη καθώς και στην μέγιστη δυνατή ευαισθητοποίηση των αναγνωστών. Η συμφωνία του Παρισιού με στόχο την αποκλιμάκωση του φαινομένου βρίσκεται στο προσκήνιο τον τελευταίο καιρό, με τους αρχηγούς των κρατών να παρουσιάζουν το πλαίσιο των μέτρων που θα λάβουν προκειμένου η αποστολή να έρθει εις πέρας. Πριν όμως πραγματευτούμε την φύση της συμφωνίας αυτής και άλλων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, θα αναφερθούμε στα αίτια της αύξησης της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, καθώς και στις καταστροφικές συνέπειες αυτής. Ως γνωστόν, το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο με εξαιρετικά ευεργετικά αποτελέσματα στο κλίμα της Γης. Ορισμένα αέρια όπως το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο κ.α. γνωστά ως θερμοκηπικά αέρια απορροφούν την εκπεμπόμενη από την επιφάνεια της Γης θερμότητα και συνακόλουθα συμβάλλουν στην διατήρηση της θερμοκρασίας του πλανήτη προσεγγιστικά στους 15 ^{o}C.

Τα αίτια

Ανθρωπογενείς δραστηριότητες και παράγοντες που θα αναλυθούν περαιτέρω αυξάνουν ανεξέλεγκτα την συγκέντρωση των θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 βασικές κατηγορίες:

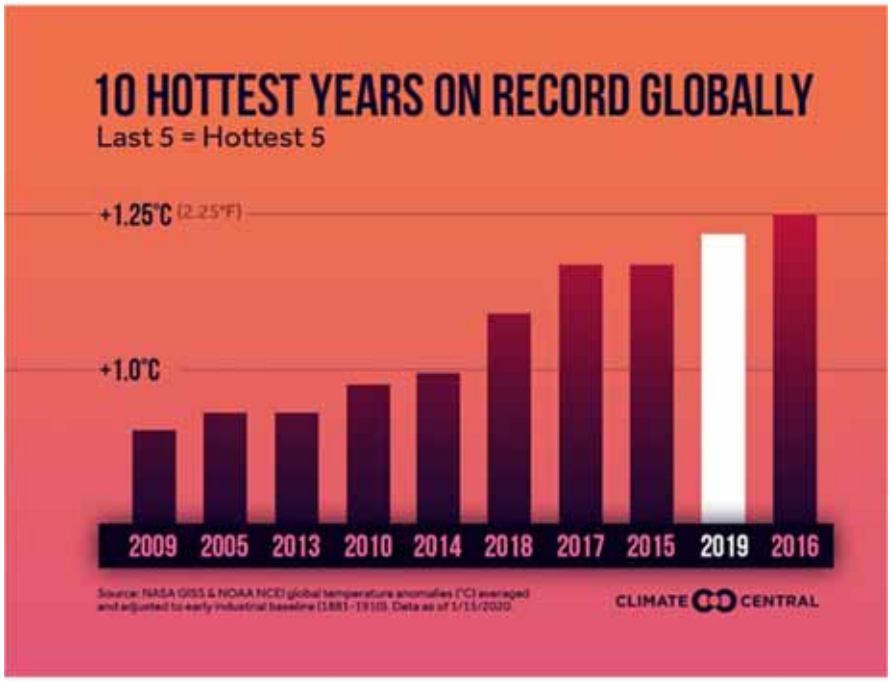
α) Στην υπέρμετρη χρήση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο) που έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και την συνακόλουθη αύξηση της συγκέντρωσης του.

β) Στην αποψίλωση δασικών εκτάσεων. Σημειώνεται ότι από το 2004 έως το 2017 έχουν αποψιλωθεί περίπου 106 εκατομμύρια στρέμματα Γης, έκταση ισοδύναμη με το μέγεθος του Μαρόκου. Από την παραπάνω έρευνα εξαιρείται η αποψίλωση σημαντικού μέρους του Αμαζονίου κατά τα έτη 2019 και 2020. Πως επηρεάζει η αποψίλωση την παγκόσμια υπερθέρμανση; Τα δάση συχνά αναφερόμενα και ως αποθήκες άνθρακα, αναδεικνύουν την κυριαρχία της φωτοσύνθεσης στην ύπαρξη και ανάπτυξη της ζωής στον πλανήτη μας. Στην περίπτωση αποψίλωσης μιας δασικής έκτασης, το αποθηκευμένο στους φυτικούς οργανισμούς διοξείδιο του άνθρακα, απελευθερώνεται εκ νέου στην ατμόσφαιρα, με καταστροφικές για τον πλανήτη και την θερμοκρασία του συνέπειες.

γ) Στη γεωργία και την κτηνοτροφία. Η υπέρμετρη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού συνεπάγεται και την επιτακτική ανάγκη αυτού να τραφεί. Τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στην γεωργία καθώς και τα αέρια που απελευθερώνονται, εξέχοντος του μεθανίου, από τις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, επιβαρύνουν επιπλέον το φαινόμενο.

Οι συνέπειες

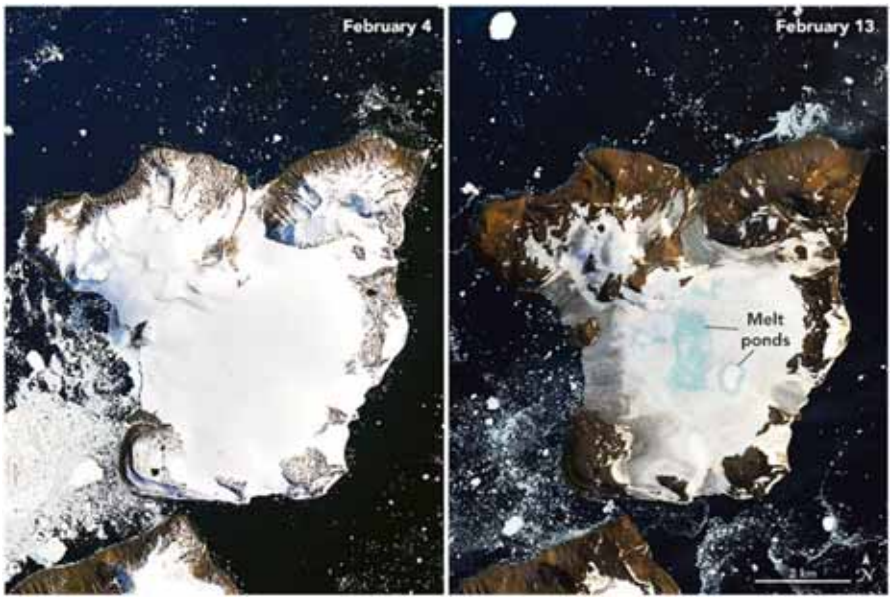
Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι οι συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη δεν έχουν εξαπλωθεί ομοιόμορφα σε όλες τις περιοχές του. Το θεσμοθετημένο και κατά κόρον χρησιμοποιούμενο από την επιστημονική κοινότητα όριο αύξησης της θερμοκρασίας των 1,5 ^{o}C, συγκριτικά με τα προβιομηχανικά δεδομένα, έχει ξεπεραστεί σε πολλά γεωγραφικά μήκη και πλάτη γεγονός που εγείρει πολλούς προβληματισμούς. Μπορεί σε κάποιους αυτό το νούμερο να μην δικαιολογεί την παγκόσμια ανησυχία αλλά δεδομένου του μεγέθους και της τεράστιας θερμοχωρητικότητας των ωκεανών, απαιτείται μεγάλη ποσότητα θερμότητας προκειμένου να αυξηθεί η θερμοκρασία της Γης ακόμα και μερικά κλάσματα του ορίου αυτού. Έρευνες έχουν δείξει ότι περισσότερο από το 1/5 του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε περιοχές όπου η μέση θερμοκρασία έχει ξεπεράσει το όριο των 1,5 βαθμών κατά την διάρκεια τουλάχιστον ενός ημερολογιακού έτους. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι η δεκαετία που διανύσαμε χαρακτηρίζεται από τους επιστήμονες ως η θερμότερη δεκαετία που έχει καταγραφεί ποτέ. Ενδεικτικά το διάγραμμα του Σχήματος 1 επιβεβαιώνει



Σχήμα 1: Τα 10 πιο θερμά έτη που έχουν καταγραφεί παγκοσμίως.

αυτή την άποψη. Όσον αφορά τις συνέπειες της παγκόσμιας υπερθέρμανσης, είμαι σίγουρη ότι οι περισσότερες είναι γνωστές και καταδεικνύουν τον κίνδυνο στον οποίο βρίσκεται ο πλανήτης. Ενδεικτικά αναφέρεται το λιώσιμο των πάγων στην Ανταρκτική, η εξαφάνιση κάποιων ειδών τα οποία δεν μπορούν να προσαρμοστούν στις νέες μετεωρολογικές συνθήκες που αναπτύσσονται, η αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας καθώς και τα εκτενή κύματα καύσωνα.

Η φωτογραφία του Σχήματος 2 αφορά το Eagle Island της Ανταρκτικής και αποτελεί δείγμα της σφοδρότητας της παγκόσμιας υπερθέρμανσης. Επιστήμονες εργαζόμενοι στην ήπειρο, κατέγραψαν την υψηλότερη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί ποτέ στις 6 Φεβρουαρίου του 2020, 18,3 °C, παρόμοια με αυτή του Los Angeles την ίδια μέρα.

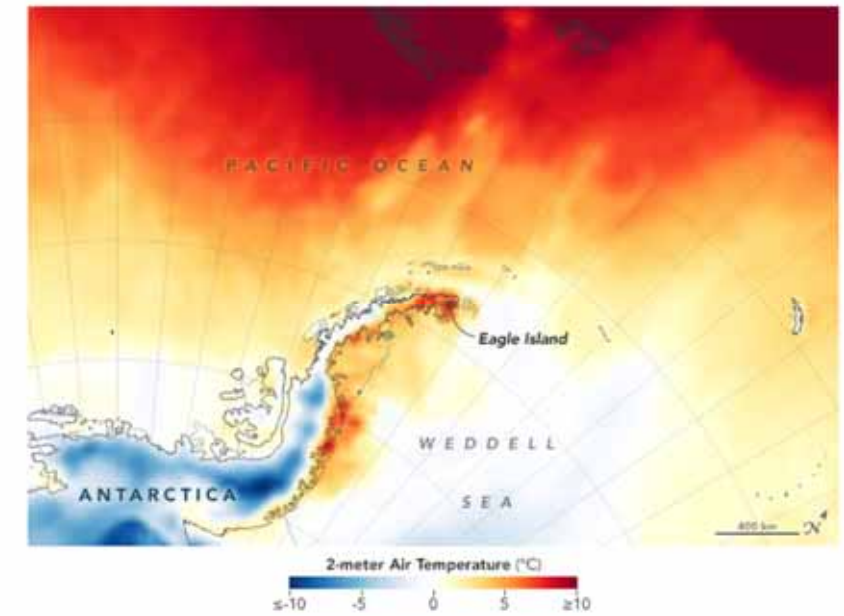


Σχήμα 2: Φωτογραφίες του Eagle Island στην Ανταρκτική που ελήφθησαν στις 4 και στις 13 Φεβρουαρίου (NASA Earth Observatory).

Στον χάρτη του Σχήματος 3, που προέρχεται από το σύστημα Goddard Earth Observing System (GEOS), αναπαρίστανται οι θερμοκρασίες του αέρα στην ψυχρή ήπειρο στα 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Στα σημεία με έντονο κόκκινο χρώμα το σύστημα κατέγραψε θερμοκρασίες που ξεπέρασαν ακόμη και τους 10 °C.

Παγκόσμια ανησυχία και δράση

Μπροστά λοιπόν στην απειλή της παγκόσμιας υπερθέρμανσης, από τις δεκαετίες του 1960 και 1970 οι επιστήμονες έκρουαν τον κώδωνα του κινδύνου. Η πρώτη συλλογική προσπάθεια όμως για την αντιμετώπιση του προβλήματος έγινε μόλις το 1992 στο Ρίο της Βραζιλίας. Στην συνδιάσκεψη του Ρίο, στην οποία πήραν μέρος 172 κυβερνήσεις, διατυπώθηκαν οι αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης και συζητήθηκαν τα μέτρα που θα εξυπηρετούσαν την επίτευξη της (Ατζέντα 21). Την σκυτάλη στην μακροπρόθεσμη λύση του προβλήματος πήρε το 1997 το Κιότο της Ιαπωνίας, το πρωτόκολλο του οποίου αριθμεί σήμερα 192 συμμετέχοντα κράτη. Τα ισχυρότερα εξ αυτών, που είναι υπεύθυνα και για τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα, δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές τους κατά ένα συγκεκριμένο στόχο σε σχέση με τις εκπομπές τους το 1990. Σε αντίθεση με το πρωτόκολλο του Κιότο έρχεται η συμφωνία του Παρισίου της Γαλλίας η οποία τέθηκε σε ισχύ τον Νοέμβριο του 2016. Στοχεύει σε όλα τα κράτη του πλανήτη, οικονομικά ανεξάρτητα και μη, προκειμένου μέχρι το τέλος του αιώνα που διανύουμε, η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας να μην έχει ξεπεράσει σε καμία περίπτωση τους 2 °C.



Σχήμα 3: Χάρτης από το σύστημα Goddard Earth Observing System (GEOS) με τις θερμοκρασίες του αέρα στην ψυχρή ήπειρο στα 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Ενδιαφέροντα στοιχεία

Σύμφωνα με τα στοιχεία που δημοσίευσε η διακυβερνητική επιτροπή για τη αλλαγή του κλίματος, γνωρίζουμε ότι:

- Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη είχε αύξηση 0,82 °C από το 1880 έως το 2012.
- Η μέση στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε κατά 19 εκατοστά από το 1901 έως το 2010.
- 1,07 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα πάγου λιώνουν κάθε δεκαετία στην Αρκτική.
- Οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έχουν αυξηθεί σχεδόν κατά 50% συγκριτικά με το 1990.
- Ακόμα και αν οι εκπομπές θερμοκηπικών αερίων σταματούσαν σήμερα, πολλές από τις επιπτώσεις της παγκόσμιας υπερθέρμανσης θα ταλαιπωρούσαν τον πλανήτη για πολλές ακόμα δεκαετίες.

Πηγές

- *https://earthobservatory.nasa.gov/images/146322/antarctica-melts-under-its-hottest-days-on-record*
- *https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/?fbclid=IwAR3sQfso1ADX6p-WlddnauhfbrKq-mXgrldMK0UhP6KP9c-WaCkLNmWIPbk*
- *https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature?fbclid=IwAR2yLxYdsby6n_8qeiH42esZfS63AH06g52NhVi_atkD6dK4fX4ArlnEp0Y*
- *https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement?fbclid=IwAR34k26JHORNgLMbWg2doMv4iq1mg0RfkphaqNj7x8UeAhVMBWgZ_kU6ngA*
- *https://www.wwf.org.au/what-we-do/climate/causes-of-global-warming#gs.1a9the*

ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Σβήσε τα φώτα που δεν χρειάζεσαι.
- Αντικατάστησε τους λαμπτήρες με λάμπες LED.
- Χρησιμοποίησε φωτιστικό γραφείου όταν διαβάζεις και όχι το φωτιστικό στο ταβάνι.
- Χρησιμοποίησε όπου είναι δυνατόν φυσικό φως.
- Αντικατάστησε τον desktop υπολογιστή σου με ένα laptop και την παλιάς τεχνολογίας τηλεόραση με νέας.
- Συντόμευσε τη διάρκεια του ντους σου με ζεστό νερό.
- Σβήσε το κλιματιστικό όταν δεν βρίσκεσαι στο σπίτι.
- Ρύθμισε σωστά το θερμοστάτη του συστήματος θέρμανσης.
- Χρησιμοποίησε στρατηγικά τα στόρια και τις κουρτίνες σου (κόψε τη θερμική ακτινοβολία του Ήλιου, διευκόλυνε τη ροή αέρα).
- Τοποθέτησε το θερμοστάτη σε σωστή θέση.
- Απόφυγε τη χρήση φούρνου το καλοκαίρι. Οι φρέσκες σαλάτες και τα φρούτα είναι πιο δροσερά.
- Όπου είναι δυνατό, χρησιμοποίησε το φούρνο μικροκυμάτων αντί του συμβατικού φούρνου. Στη δεύτερη περίπτωση σβήσε το φούρνο νωρίτερα. Η θερμοκρασία του διατηρείται υψηλή για αρκετή ώρα.
- Απόφυγε τις πλύσεις με μισοάδειο τον κάδο του πλυντηρίου.
- Βάλε μια στεγνή πετσέτα στο στεγνωτήριο.
- Απόφυγε το θερμό στέγνωμα στο πλυντήριο πιάτων. Αντ' αυτού άνοιξε ελαφρώς της πόρτα του πλυντηρίου και άφησε τα πιατικά να στεγνώσουν μόνα τους.
- Καθάριζε συχνά το στεγνωτήριο.
- Ρύθμισε το ψυγείο και τον καταψύκτη στη σωστή θερμοκρασία.
- Χρησιμοποίησε ανεμιστήρες οροφής.
- Άφησε τις συσκευές σου σε λειτουργία stand by ή απενεργοποίησέ τες όταν δεν τις χρειάζεσαι.
- Χρησιμοποίησε ηλιακό θερμοσίφωνα και εκμεταλλεύσου όσο μπορείς την ηλιακή ενέργεια.
- Μόνωσε τους σωλήνες ζεστού νερού.

τομογραφία μιονίων

μία μη επεμβατική μέθοδος απεικόνισης του εσωτερικού τύμβων

Ήλια Καλαϊτζίδου
Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια
Τμήματος Φυσικής

Η τομογραφία μιονίων είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί τα μιόνια της κοσμικής ακτινοβολίας για την αναπαραγωγή τρισδιάστατων εικόνων του εσωτερικού όγκων. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει εφαρμοσθεί σε ποικίλους τομείς, όπως η γεωλογία, η αρχαιολογία και η ασφάλεια. Μετά την ανακάλυψη μιας κρυμμένης κάμαρας στο εσωτερικό της μεγάλης πυραμίδας του Χέοπα στην Γκίζα το Νοέμβριο του 2017 [1], προέκυψε η ιδέα να εφαρμοστεί η τεχνική αυτή σε μία αρχαιολογική δομή μικρότερης κλίμακας. Μία τέτοια δομή θα μπορούσε να είναι ένας τύμβος, δηλαδή ένας μικρός ανθρωπογενής λόφος φτιαγμένος από χώμα με τυπική διάμετρο βάσης της τάξης μερικών δεκάδων μέτρων. Οι τύμβοι που βρίσκονται στην Ελλάδα έχουν κατασκευασθεί για να καλύπτουν Μακεδονικούς τάφους και ταφικά αντικείμενα, τα οποία αναμένεται να βρίσκονται στη βάση του τύμβου, στο επίπεδο του εδάφους. Η απεικόνιση του εσωτερικού ενός τύμβου χρησιμοποιώντας τα κοσμικά μιόνια, αποτελεί μία μη επεμβατική τεχνική, καθώς η δομή δεν χρειάζεται να ανασκαφεί και είναι παθητική τεχνική καθώς η πηγή σωματιδίων που αξιοποιείται δεν είναι τεχνητή. Μετρώντας το έλλειμμα ή την περίσσεια μιονικών τροχιών προερχόμενων από μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, είναι δυνατόν να προσδιορισθεί ένα αντικείμενο μεγαλύτερης πυκνότητας ή ένας κενός χώρος στο εσωτερικό του τύμβου.

Το πρόγραμμα ΕΚΑΤΥ, χρηματοδοτούμενο από το ΕΣΠΑ, έχει ως στόχο την καινοτόμο απεικόνιση του υπεδάφους αρχαιολογικών χώρων και του εσωτερικού μνημείων στις «τρεις» και «τέσσερις» διαστάσεις, όπου ως τέταρτη διάσταση θεωρείται εδώ η πυκνότητα του υλικού του προς μελέτη αντικειμένου. Στο πλαίσιο του προγράμματος ΕΚΑΤΥ, ένα μιονικό τηλεσκόπιο αποτελούμενο από τέσσερις ανιχνευτές MicroMegas θα τοποθετηθεί δίπλα στον τύμβο της Νέας Απολλωνίας, από την ομάδα τομογραφίας μιονίων του τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η ομάδα αποτελείται από τους Χ. Πετρίδου, Δ. Σαμψωνίδη, Κ. Κορδά, Σ. Τζαμαρία, Χ. Λαμπούδη, Γ. Τσιλεδάκη, Η. Καλαϊτζίδου, Δ. Αμπεριάδου, Χ. Τσιάφη, Α. Λέισο και Α. Τσιριγώτη. Ο τύμβος της Νέας Απολλωνίας, που φαίνεται στο Σχήμα 1, βρίσκεται κοντά στη Θεσσαλονίκη και έχει ανασκαφεί μερικώς από την Εφορία Αρχαιοτήτων. Καθώς υπάρχουν πειραματικές ενδείξεις ότι πιθανώς περιέχει επιπλέον ευρήματα, αποτελεί μια κατάλληλη δομή για να εξετασθεί η τεχνική της τομογραφίας μιονίων.

Πριν τη λειτουργία του τηλεσκοπίου για τη συλλογή δεδομένων για την απεικόνιση του εσωτερικού του τύμβου, προηγείται η μελέτη για τη δυνατότητα εφαρ-

Για τις κοσμικές ακτίνες και τα μιόνια στην ατμόσφαιρα

Οι κοσμικές ακτίνες ανακαλύφθηκαν από τον Victor Hess στις αρχές του 20ου αιώνα, με μια σειρά πρωτοποριακών πειραμάτων. Από τότε οι επιστήμονες, για να κατανοήσουν τα μοναδικά χαρακτηριστικά των κοσμικών ακτίνων, ανέβηκαν σε βουνά, κατέβηκαν σε ορυχεία, πέταξαν με αερόστατα και ταξίδεψαν σε όλη τη Γη, ώστε να μελετήσουν λεπτομερώς αυτά τα σωματίδια μεγάλης ενέργειας από το διάστημα. Αυτή η έρευνα συνεχίζεται με πειράματα μεγάλων επίγειων διατάξεων ανιχνευτών, με πειράματα στα βάθη θαλασσών και λιμνών, μέσα στους πάγους της Ανταρκτικής, ακόμη και με ανιχνευτές σωματιδίων τοποθετημένους σε δορυφόρους σε τροχιά.

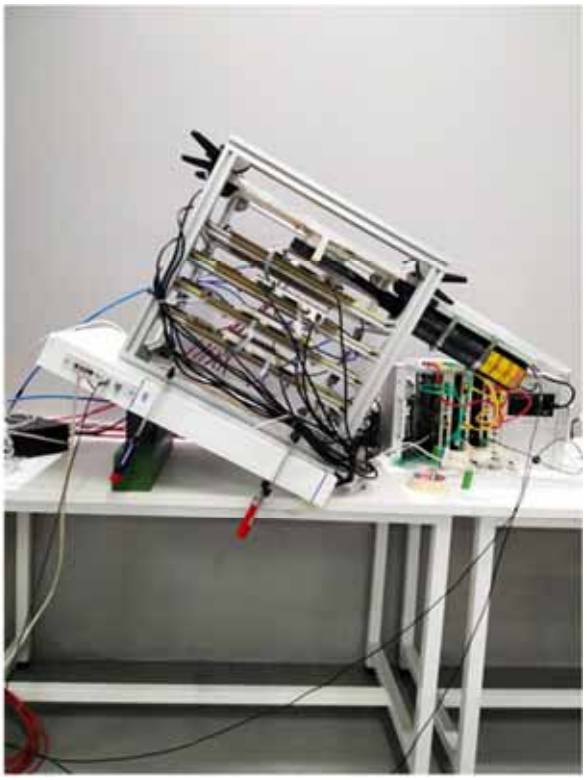
Τα ενεργητικά σωματίδια των πρωτογενών κοσμικών ακτίνων που βομβαρδίζουν την ατμόσφαιρα, παράγουν μια ασταμάτητη ροή μιονίων, που φτάνει στην επιφάνεια της Γης σε ρυθμούς της τάξης των 10.000 μιονίων ανά τετρ. μέτρο ανά λεπτό. Τα τελευταία χρόνια, εξειδικευμένες ερευνητικές προσπάθειες δείχνουν ότι αυτή η βροχή σωματιδίων που παρέχει η φύση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τομείς εφαρμογών όπως είναι οι έλεγχοι για την ασφάλεια και η αρχαιολογία.

μογής της συγκεκριμένης μεθόδου με προσομοίωση της γεωμετρίας του τύμβου και του πιθανού ευρήματος στο εσωτερικό, καθώς και της συμπεριφοράς των κοσμικών μιονίων που τον διαπερνούν. Παράλληλα με τη μελέτη της μεθόδου με προσομοίωση, εξετάζεται στο εργαστήριο (ΚΕΔΕΚ) ένα κοσμικό τηλεσκόπιο μικρότερων διαστάσεων από αυτό που θα χρησιμοποιηθεί στο πείραμα, αλλά με την ίδια σύνθεση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.

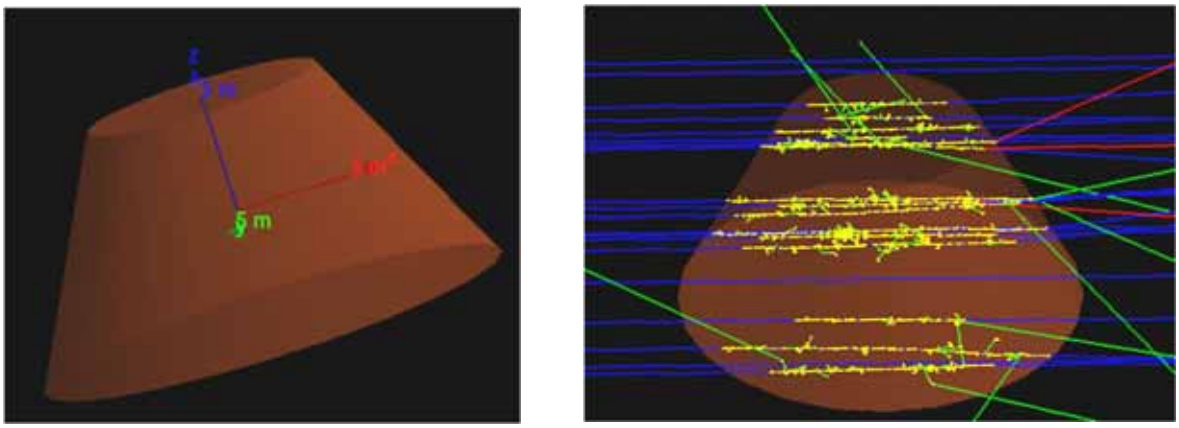
Σχήμα 1: Τύμβος Νέας Απολλωνίας [2].

Προσομοίωση τύμβου

Ο τύμβος έχει το σχήμα ενός κόλουρου κώνου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3α, όπου παρατηρείται μία οπτική αναπαράσταση ενός τύμβου μικρότερων διαστάσεων από τις πραγματικές, με χρήση του προγράμματος προσομοίωσης Geant4 [3]. Αποτελείται από χώμα πυκνότητας ρ=1,2 gr/cm^3 με σύσταση όπως ορίζεται στο Engineering ToolBox [4] -Al 9%, Ca 3%, Fe 5%, Mg 0,6%, O 49%, K 2%, Si 29% και Na 2,4%. Τα μιόνια, γεννημένα ομοιόμορφα στο yz επίπεδο, χτυπούν παράπλευρα τον τύμβο και, διερχόμενα από το εσωτερικό του, αλληλεπιδρούν με το υλικό του δημιουργώντας δευτερογενή σωματίδια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3β. Οι μονοενεργειακές μιονικές ακτίνες αρχικής ενέργειας 4 GeV χάνουν σταδιακά την ενέργειά τους κυρίως μέσω των ιονισμών και διεγέρσεων με το υλικό του τύμβου, πληροφορία που αξιοποιεί η μιονική ραδιογραφία, και εκτρέπονται από την αρχική τους κατεύθυνση ως αποτέλεσμα της πολλαπλής σκέδασης Coulomb, που μελετάται από τη λεγόμενη muon scattering tomography. Εξετάζοντας τη συμπεριφορά των μιονίων καθώς διαπερνούν έναν τύμβο διαφορετικών υλικών, επιλέχθηκαν τρία επιπλέον υλικά, η αιθανόλη πυκνότητας ρ=0,78 gr/cm^3, το τσιμέντο με ρ=2,3 gr/cm^3 και το μάρμαρο (ανθρακικό ασβέστιο $CaCO_3$) με ρ=2,8 gr/cm^3. Η τελική θέση των μιονίων, καθώς εξέρχονται από τον τύμβο με τα παραπάνω υλικά φαίνεται στο Σχήμα 4. `Οπως αναμένεται, παρατηρείται αυξημένη ροή μιονίων καθώς διέρχονται από ένα αραιό υλικό όπως η αιθανόλη. Αντίθετα, περισσότερα μιόνια απορροφώνται πλήρως από ένα πιο πυκνό υλικό όπως το τσιμέντο και



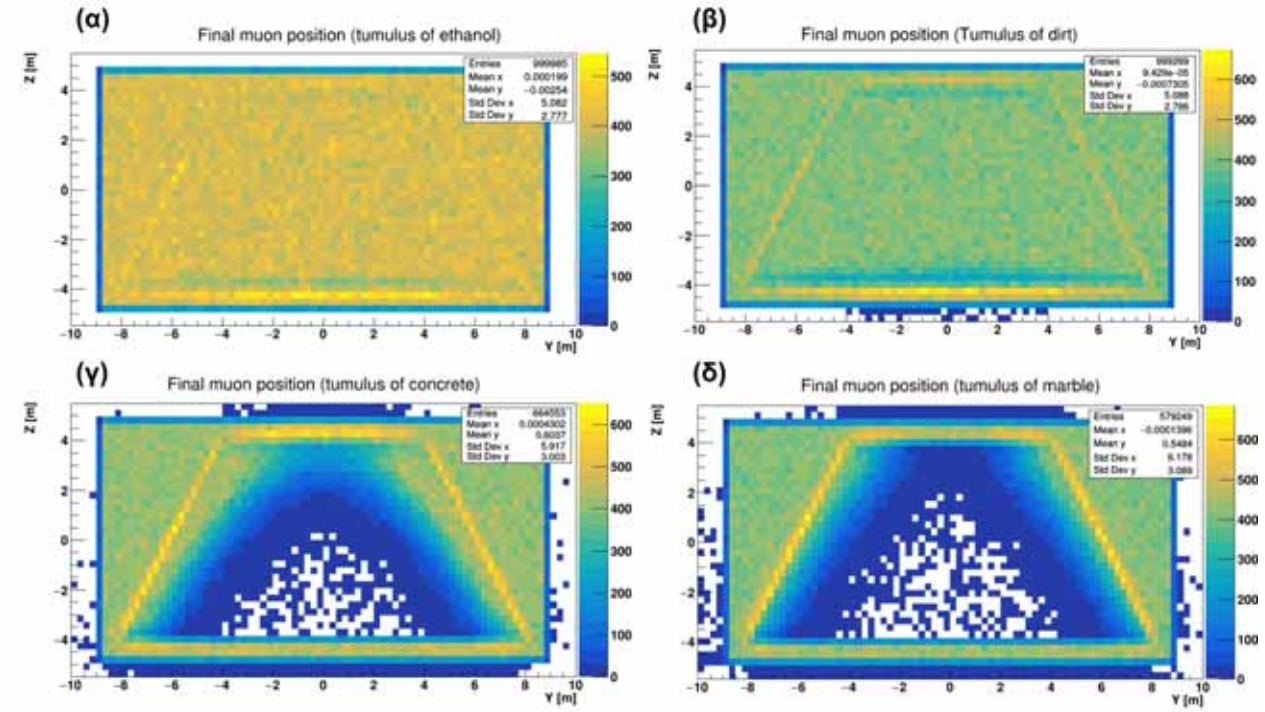
Σχήμα 2: Μιονικό τηλεσκόπιο με τέσσερις ανιχνευτές Micromegas στο εργαστήριο στο ΚΕΔΕΚ



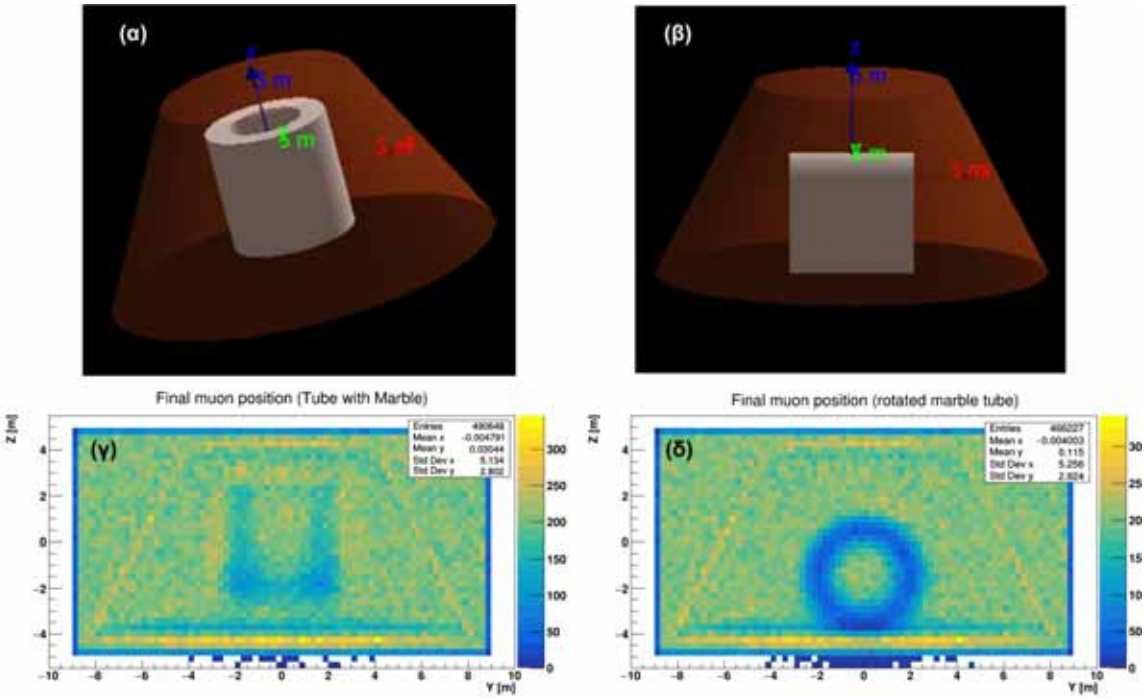
Σχήμα 3: Οπτική αναπαράσταση τύμβου μικρότερων διαστάσεων με χρήση του προγράμματος προσομοίωσης Geant4 (αριστερά) και ομοιόμορφα γεννημένων μιονικών τροχιών να τον διαπερνούν (δεξιά).

ακόμη περισσότερο από το μάρμαρο. Επιπλέον, στην περίπτωση αυτή, το αποτέλεσμα της πολλαπλής σκέδασης Coulomb είναι εντονότερο και παρατηρείται ιδιαίτερα στα όρια του τύμβου, όπου τα σκεδαζόμενα μιόνια προστίθενται σε εκείνα που διέρχονται από το εξωτερικό και εκδηλώνεται μία αύξηση της ροής τους.

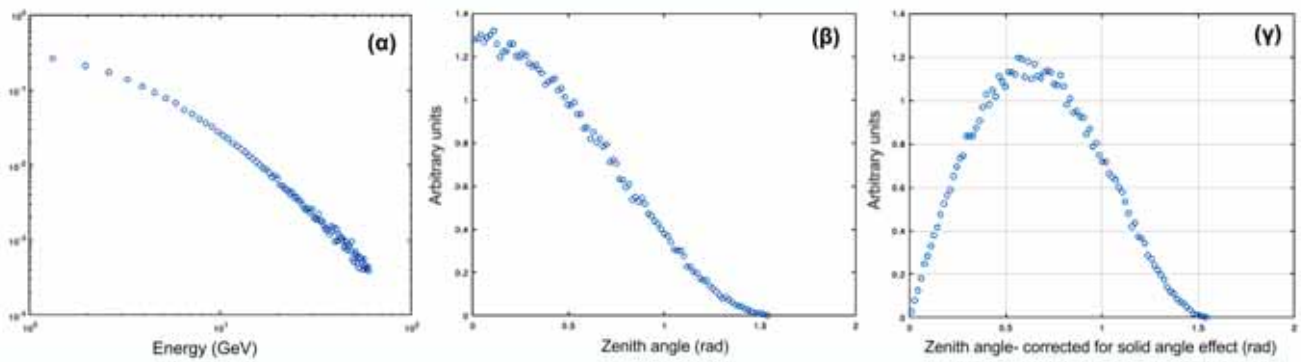
Εισάγοντας στον τύμβο έναν μαρμάρινο κενό κύλινδρο πάχους 1 m και ύψους 5 m τοποθετημένο με δύο διαφορετικούς προσανατολισμούς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5 (πάνω), παρατηρείται η τελική θέση των μιονίων στο Σχήμα 5 (κάτω). Οπως φαίνεται από τα δισδιάστατα ιστογράμματα της θέσης των μιονίων στην έξοδο, το αντικείμενο στο εσωτερικό του τύμβου είναι ανιχνεύσιμο. Η προβολή του κυλίνδρου παρατηρείται άμεσα και ο κενός χώρος στο εσωτερικό του είναι εμφανής από την αυξημένη ροή των μιονίων σε σχέση με το υπόλοιπο αντικείμενο. Το ιδανικό σενάριο μονοενεργειακών μιονίων με ισοτροπική γωνιακή κατανομή είναι μακριά από την πραγματικότητα. Για να προσομοιωθεί σωστά η συμπεριφορά των κοσμικών μιονίων καθώς διέρχονται από τον τύμβο και να ελεγχθεί αν μπορεί να ανιχνευθεί ένα κρυμμένο αντικείμενο είναι αναγκαίο τα μιόνια να γεννώνται σύμφωνα με τις πραγματικές κατανομές τους. Ο γεννήτορας που χρησιμοποιεί για τις πραγματικές κατανομές των κοσμικών μιονίων είναι ο Geant4-MATLAB [5], που αξιοποιεί φαινομενολογικά μοντέλα και στατιστικούς αλγόριθμους και παράγει τις απαραίτητες κατανομές, κατάλληλες για εισαγωγή στην προσομοίωση στο Geant4. Στο Σχήμα 6 φαίνονται οι κατανομές των κοσμικών μιονίων που εξάγει ο κώδικας MatLab, που σχεδιάσθηκαν από τον μεταδιδακτορικό ερευνητή Γεώργιο Τσιλεδάκη, μέλος της ομάδας τομογραφίας μιονίων του ΑΠΘ. Εισάγοντας τις πραγματικές διαστάσεις, όπως έχουν εκτιμηθεί για τον τύμβο της Νέας Απολλωνίας, η δομή προσομοιώνεται να έχει διάμετρο βάσης 92 m, διάμετρο κορυφής 32 m και ύψος 17 m, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7 (πάνω αριστερά). Επιπλέον, εισάγεται η γεωμετρία του μιονικού τηλεσκοπίου αποτελούμενο από τέσσερις ανιχνευτικές πλάκες 45x45 cm που απέχουν



Σχήμα 4: Θέση μιονίων στην έξοδό τους από τύμβο με αιθανόλη (α), χώμα (β), τσιμέντο (γ) και μάρμαρο (δ).



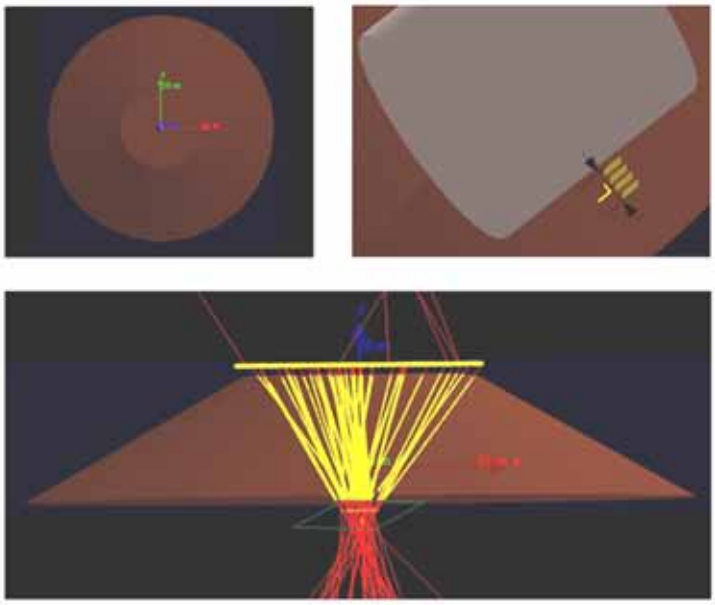
Σχήμα 5: Αναπαράσταση τύμβου που περιέχει κενό μαρμάρινο κύλινδρο (επάνω) και η αντίστοιχη τελική θέση των μιονίων στην έξοδο (κάτω).



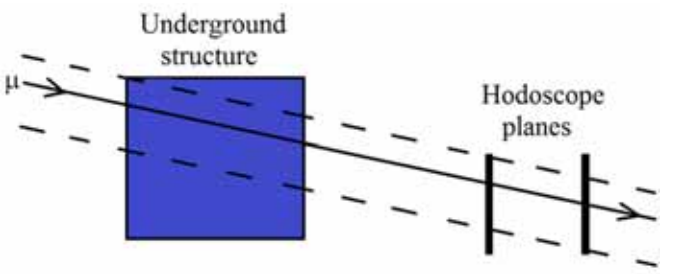
Σχήμα 6: Ενεργειακή κατανομή (α), κατανομή ζενίθ γωνίας (β) και διορθωμένης ως προς την στερεά γωνία (γ) των κοσμικών μιονίων με χρήση του κώδικαMatLab.

μεταξύ τους 20 cm. Το τηλεσκόπιο αρχικά τοποθετείται στη βέλτιστη θέση για την ανίχνευση του αντικειμένου, δηλαδή κάτω από τον τύμβο με τις ανιχνευτικές πλάκες παράλληλες με τη βάση του. Οι μιονικές τροχιές γεννώνται σε επίπεδο παράλληλο με την κορυφή του τύμβου και διακόπτεται η πορεία τους εάν δεν καταλήγουν στην περιοχή αποδοχής που περιτριγυρίζει τον ανιχνευτή (πράσινη διακεκομμένη γραμμή).

Η μέθοδος που εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό της θέσης και των διαστάσεων του κρυμμένου αντικειμένου είναι η μέθοδος back-projection [6]. Η μέθοδος προτείνεται από τους συγγραφείς της ως ευνοϊκή για τον εντοπισμό αντικειμένων που περιτριγυρίζονται από μεγάλη ποσότητα υλικού διαφορετικής πυκνότητας. Ακόμη, για να εφαρμοσθεί αποτελεσματικά, πρέπει οι διαστάσεις του προς μελέτη αντικειμένου να είναι συγκρίσιμες με τις αντίστοιχες του τηλεσκοπίου και επιπλέον η μεταξύ τους απόσταση να είναι επίσης συγκρίσιμη με το μέγεθος της ανιχνευτι-



Σχήμα 7: Προσομοίωση τύμβου πραγματικών διαστάσεων (πάνω αριστερά), μιονικού τηλεσκοπίου (πάνω δεξιά) και μιονικών κοσμικών ακτίνων (κάτω).



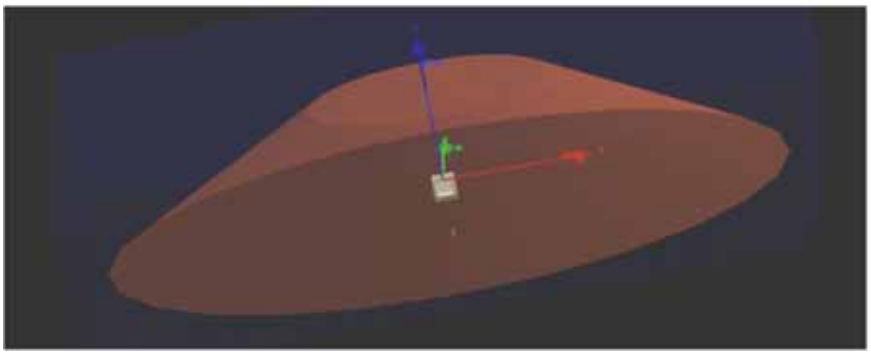
Σχήμα 8: Πιθανή γεωμετρική διάταξη για την εφαρμογή της μιονικής ραδιογραφίας στην αρχαιολογία. Η προς μελέτη κυβική δομή βρίσκεται κοντά στον ανιχνευτή που δεν έχει αμελητέο μέγεθος σε σχέση με το αντικείμενο [6].

κής διάταξης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8. Οι προϋποθέσεις αυτές εν γένει πληρούνται στην περίπτωση ενός μνημείου σε έναν τύμβο που θα έχει διαστάσεις της τάξης των 2-3 m. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να αξιοποιηθεί η πληροφορία όχι μόνο της αρχικής κατεύθυνσης της μιονικής τροχιάς αλλά και του προσπίπτοντος σημείου όπου διήλθε από τον ανιχνευτή. Οι μιονικές τροχιές που ανιχνεύονται από το τηλεσκόπιο προβάλλονται προς τα πίσω -προς την κατεύθυνση που βρίσκεται το αντικείμενο- σε επίπεδα κάθετα στον άξονα του τηλεσκοπίου. Στο επίπεδο που βρίσκεται το αντικείμενο στην πραγματικότητα, αναμένεται να παρατηρηθεί η προβολή του, από το έλλειμμα μιονικών τροχιών που απορροφήθηκαν από το αντικείμενο σε σχέση με τη ροή μιονίων στην απουσία του αντικειμένου.

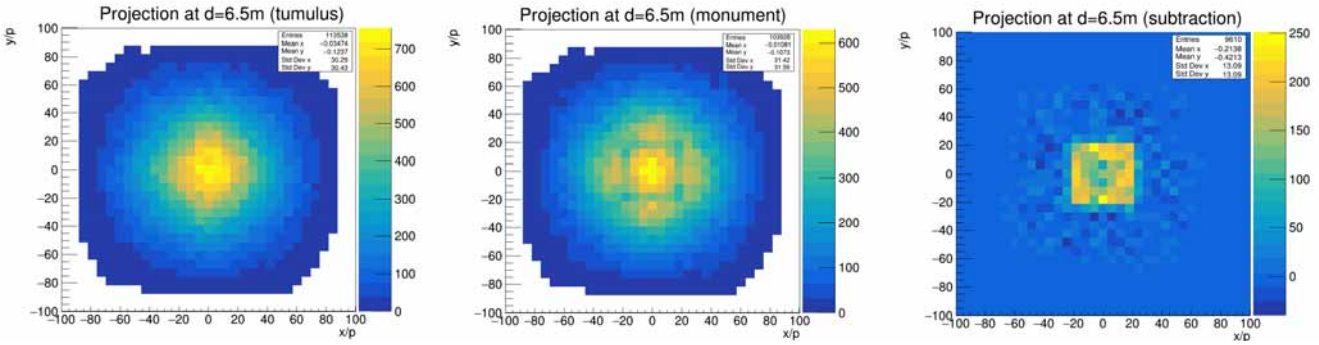
Τοποθετώντας ένα κυβικό σιδερένιο κενό κουτί πλευράς 3 m και πάχους 0,5 m σε απόσταση 6,5 m από τον ανιχνευτή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9, παρατηρείται η προβολή των μιονικών τροχιών στο επίπεδο που βρίσκεται η μπροστινή επιφάνεια του κουτιού. Το δισδιάστατο ιστόγραμμα της προβαλλόμενης θέσης φαίνεται για την περίπτωση που ο τύμβος δεν περιέχει κάποιο εύρημα, περιέχει το κουτί και για την αφαίρεση των δύο κατανομών. Η προβολή του κουτιού από το έλλειμμα των μιονικών τροχιών παρατηρείται ήδη από το μεσαίο ιστόγραμμα του Σχήματος 9, χωρίς την ανάγκη αφαίρεσης των δύο ιστογραμμάτων.

Φυσικά στην πραγματικότητα όταν το πείραμα διεξαχθεί, δεν υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης της ανιχνευτικής διάταξης στη βέλτιστη θέση της, δηλαδή κάτω από τον τύμβο. Το τηλεσκόπιο θα τοποθετηθεί δίπλα στον τύμβο, με μία μικρή γωνία ανύψωσης από το έδαφος, έτσι ώστε να «παρατηρεί» τη βάση του, όπου αναμένεται να βρίσκεται το κρυμμένο μνημείο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 (τέσσερα παράλληλα κίτρινα επίπεδα). Στην περίπτωση αυτή, δύο κουτιά τοποθετούνται στο εσωτερικό του τύμβου, μαζί με το μεγαλύτερο κενό κουτί, ένα μικρότερο συμπαγές κουτί πλευράς 1,5 m, με τις θέσεις τους να εναλλάσσονται όπως φαίνεται στο Σχήμα 10. Τα κουτιά είναι κατασκευασμένα από μάρμαρο και από σίδηρο με τα υλικά τους να εναλλάσσονται επίσης. Από την αφαίρεση των ιστογραμμάτων στο επίπεδο όπου βρίσκεται το κοντινότερο κουτί κάθε φορά είναι εμφανής η ύπαρξη δύο αντικειμένων, ιδιαίτερα στην περίπτωση που το μεγαλύτερο κουτί βρίσκεται πλησιέστερα στον ανιχνευτή και είναι κατασκευασμένο από σίδηρο, όπως παρατηρείται στο Σχήμα 11.

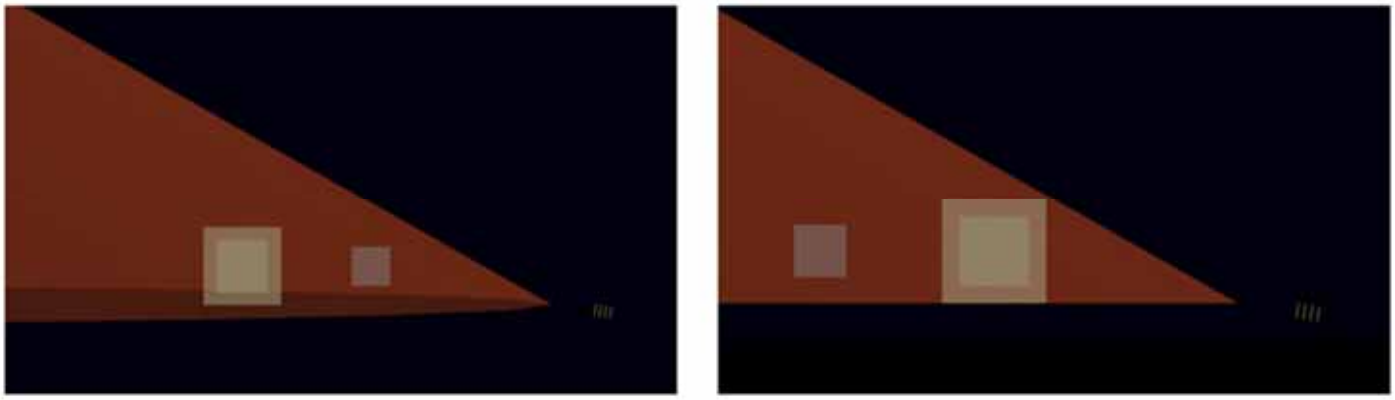
Η τομογραφία μιονίων αποτελεί μια τεχνική που μπορεί να εφαρμοσθεί αποτελεσματικά για την απεικόνιση του εσωτερικού τύμβων. Η ανάγκη της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μελέτη μίας δομής αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, λόγω της μη επεμβατικής φύσης της.



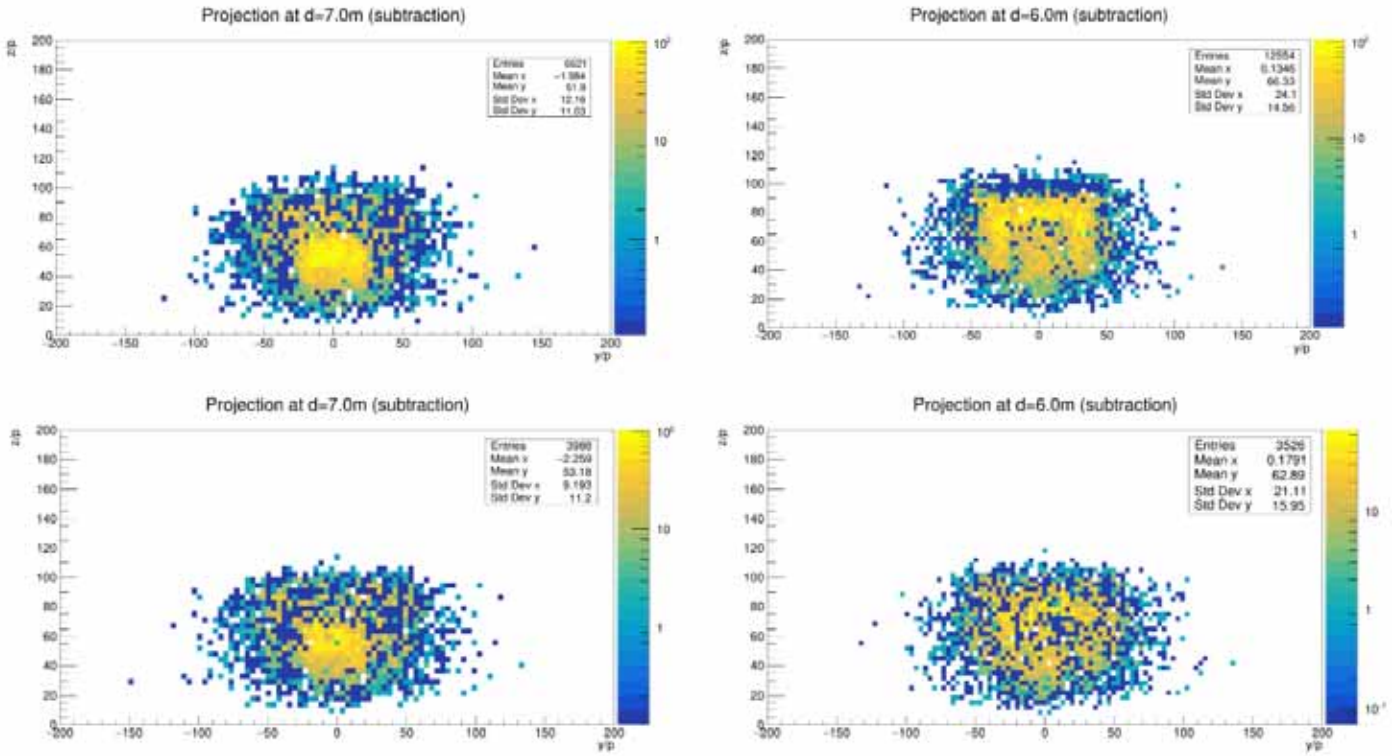
Ως μελλοντική ιδέα, η εισαγωγή μίας δεύτερης ανιχνευτικής διάταξης θα παρείχε επιπλέον πληροφορίες. Τοποθετώντας το δεύτερο τηλεσκόπιο με τρόπο ώστε να «παρατηρεί» τον τύμβο με διαφορετικό προσανατολισμό, παρέχεται μία επιπλέον δισδιάστατη εικόνα του αντικειμένου. Οι δύο διαφορετικές προβολές συνδυαστικά θα μπορούσαν να παρέχουν μια καλύτερη



Σχήμα 9: Κενό σιδερένιο κουτί στο εσωτερικό του τύμβου (πάνω) και η προβολή των μιονικών τροχιών στο επίπεδο της βάσης του (κάτω).



Σχήμα 10: Δύο κουτιά στο εσωτερικό του τύμβου με το τηλεσκόπιο δίπλα στη βάση.



Σχήμα 11: Προβολή μιονικών τροχιών στην περίπτωση που ο τύμβος περιέχει δύο κουτιά όταν το μεγαλύτερο κουτί είναι φτιαγμένο από σίδηρο και το μικρότερο από μάρμαρο (πάνω) και εναλλάσσοντας τα υλικά τους (κάτω).

εικόνα του εσωτερικού και τρισδιάστατη πληροφορία. Τοποθετώντας τη δεύτερη ανιχνευτική διάταξη αντιδιαμετρικά της πρώτης στραμμένη προς την αντίθετη κατεύθυνση, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η πληροφορία της πολλαπλής σκέδασης Coulomb. Συγκρίνοντας την αρχική προσπίπτουσα τροχιά με την εξερχόμενη από τον τύμβο, μπορεί να υπολογισθεί η συνολική γωνία εκτροπής και να αξιοποιηθεί για τον υπολογισμό της πυκνότητας του αντικειμένου στο εσωτερικό.

Πηγές

[1] K. Morishima, M. Kuno, and A. Nishio et al. Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons. Nature, 552:386–390, 2017.

[2] Geoparticles Experiment Field Trip to Apollonia. Université de Paris, July 2018 http://www.univearths.fr/en/2018/07/18/geoparticles-experiment-field-trip-to-apollonia/

[3] GEANT4 collaboration. URL https://geant4.web.cern.ch/.

[4] The Engineering ToolBox: Soil composition. https://www.engineeringtoolbox.com/earth-soil-weight-d_1349.html.

[5] S. Chatzidakis, S. Chrysikopoulou, and L.H. Tsoukalas. Developing a cosmic ray muon sampling capability for muon tomography and monitoring applications. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 804:33–42, 2015.

[6] L. Bonechi, R. D'Alessandro, N. Mori, and L. Viliani. A projective reconstruction method of underground or hidden structures using atmospheric muon absorption data. Journal of Instrumentation, 10(02):P02003–P02003, feb 2015.

πόσο ασφαλή είναι τα τοξικά απόβλητα

...σε ένα γυάλινο «κλουβί»;

Φανή Πινακίδου
Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια
Τμήματος Φυσικής

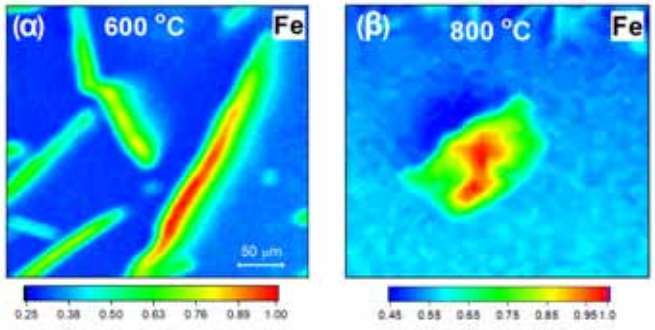
Το γυαλί είναι ένα εξαιρετικά εύθραυστο υλικό. Ολοι έχουμε μια ενοχλητική εμπειρία με ένα μπουκάλι γεμάτο με υγρό που μας έχει πέσει από τα χέρια. Τα γυαλιά πέρα από την κατασκευή δοχείων, έχουν ποικίλες άλλες χρήσεις, από τζάμια παραθύρων έως φακούς οράσεως ή οπτικές ίνες. Γιατί όμως κάποιος, από όλες τις πιθανές εναλλακτικές εφαρμογές ενός γυαλιού, να θέλει να το χρησιμοποιήσει για να εγκλωβίσει σε αυτό τοξικά απόβλητα; Ο λόγος είναι ότι το γυαλί δεν αποτελεί απλώς μια «παγίδα» για τα τοξικά στοιχεία, αλλά και το ίδιο το τοξικό απόβλητο μετατρέπεται σε γυαλί. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται υαλοποίηση. Αποτελεί μια εναλλακτική λύση της κοινής αποτέφρωσης, κατά την οποία τα κατάλοιπα της καύσης του αποβλήτου αποθηκεύονται σε δεξαμενές ή απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Δυνητικά, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση των υπόγειων υδάτων και περιβαλλοντογενή διάβρωση.

Η μετατροπή σε γυαλί είναι μια σχετικά απλή και οικονομική μέθοδος για τη διαχείριση τοξικών αποβλήτων που περιέχουν σίδηρο και μόλυβδο (Fe και Pb) και τα οποία προέρχονται από τις δεξαμενές αποθήκευσης πετρελαίου στα διυλιστήρια. Η διαδικασία οδηγεί στον σχηματισμό υαλωδών και υαλοκεραμικών προϊόντων (Σχήμα 1) τα οποία μπορούν να ενσωματώσουν στη δομή τους διάφορα τοξικά στοιχεία.[1] Η διαδικασία υαλοποίησης συνίσταται κατά βάση στην ανάμιξη και ακόλουθη τήξη της τέφρας (προϊόν αποτέφρωσης των τοξικών αποβλήτων) μαζί με πυριτία (SiO_2) και σόδα (ανθρακικό νάτριο) και ταχεία ψύξη του τήγματος ώστε να σχηματιστούν στερεά υλικά. Οι ιδιότητες των τελικών προϊόντων καθορίζονται από τη σύσταση αυτών, δηλαδή τη συγκέντρωση της τέφρας, του υαλοσχηματιστή (πυριτία) και του τροποποιητή δικτύου (ανθρακικό νάτριο). Οι υαλοσχηματιστές είναι οξείδια στοιχείων τα οποία συναρμόζονται έτσι ώστε να συμμετέχουν στο σχηματισμό της υαλώδους μήτρας. Οι τροποποιητές, αντιθέτως, είναι ενώσεις που τροποποιούν το δίκτυο του πυριτικού γυαλιού και προστίθενται για να μειώσουν το σημείο τήξης του. Τα υαλοποιημένα στερεά απόβλητα μπορούν να αποτεθούν ελεύθερα στη φύση ή να χρησιμοποιηθούν ως κατασκευαστικά και διακοσμητικά υλικά.[2,3] Ωστόσο, τίθεται το ερώτημα: Πόσο ανθεκτικά είναι αυτά τα γυαλιά;

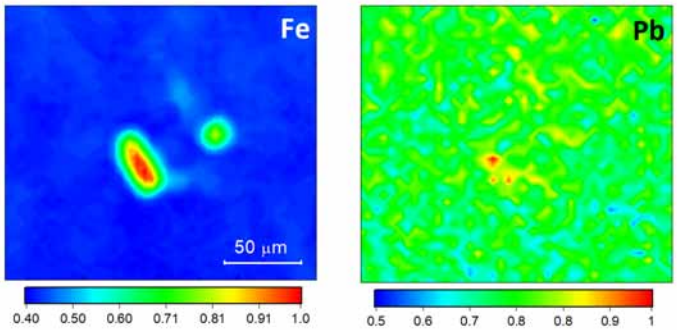
Σχήμα 1: Γυαλί (αριστερά) και υαλοκεραμικό (δεξιά) που περιέχουν απόβλητο. Τα γυαλιά έχουν λαμπερό, σκούρο χρώμα, ενώ τα υαλοκεραμικά παρουσιάζουν χρωματική διαβάθμιση λόγω της επιφανειακής τους κρυστάλλωσης.

Για να διερευνηθεί η επίδραση της χημικής σύστασης και της διαδικασίας σύνθεσης στην νανοδομή τέτοιων υαλοποιημένων στερεών προϊόντων, εφαρμόζονται συγκεκριμένες τεχνικές για τη μελέτη τους.* Πράγματι, η χημική αδράνεια και η σταθερότητα αδρανοποιημένων αποβλήτων που είναι πλούσια σε Fe και Pb, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον δομικό ρόλο των δυο αυτών στοιχείων. Μια σειρά από τεχνικές που βρίσκουν εφαρμογή προς αυτήν τη κατεύθυνση, χρησιμοποιούν ακτίνες-Χ υψηλής έντασης που παράγονται σε εγκαταστάσεις ακτινοβολίας Σύγχροτρον. Σε αυτούς τους επιταχυντές, ελαφρά σωματίδια όπως είναι τα ηλεκτρόνια ή τα ποζιτρόνια, κινούνται σε κλειστές τροχιές με σχετικιστικές ταχύτητες εκπέμποντας ακτινοβολία Σύγχροτρον εφαπτομενικά στην τροχιά τους. Η ακτινοβολία Σύγχροτρον χαρακτηρίζεται από μικρό γωνιακό άνοιγμα, μεγάλη λαμπρότητα και ενέργεια που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα από το υπέρυθρο έως τις σκληρές ακτίνες-Χ. Η ακτινοβολία Σύγχροτρον χρησιμοποιείται για την εφαρμογή των φασματοσκοπιών απορρόφησης και εκπομπής ακτίνων-Χ και ειδικότερα της φασματοσκοπίας λεπτής υφής απορρόφησης ακτίνων-Χ (XAFS) και της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων-Χ (XRF). Πρόκειται για ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές οι οποίες επιτρέπουν τον μη-καταστρεπτικό δομικό χαρακτηρισμό υλικών και τον προσδιορισμό της σύστασής τους. Ειδικότερα στην περίπτωση των αδρανοποιημένων αποβλήτων ενδιαφέρει η χωρική κατανομή και το δεσμικό περιβάλλον των ατόμων Fe και Pb. Ένα φάσμα XAFS παρέχει την εξάρτηση του συντελεστή απορρόφησης ακτίνων-Χ από την ενέργεια την προσπίπτουσας ακτινοβολίας γύρω

** Τα δείγματα υλοποιημένων αποβλήτων αναπτύχθηκαν από την ομάδα του Ομ. Καθηγητή του Τμ. Φυσικής Θ. Καρακώστα.*



Σχήμα 2: Χάρτες μ-XRF δύο σταθεροποιημένων γυαλιών που έχουν υποστεί ανόπτηση στους (α) 600 και (β) 800 °C, αντίστοιχα. Οι χάρτες απεικονίζουν την ανομοιογενή κατανομή του Fe στα υαλοποιημένα απόβλητα.

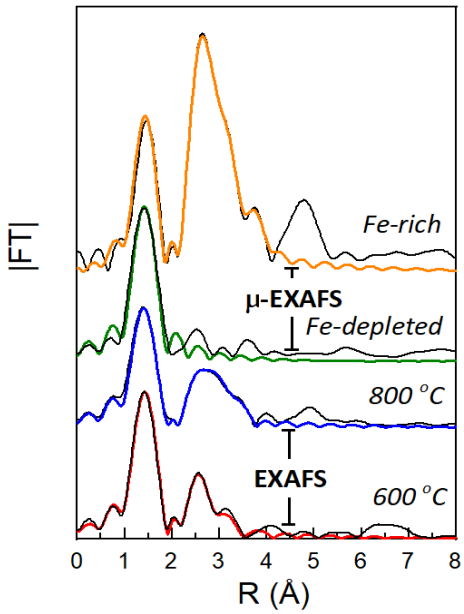


Σχήμα 3: Χάρτες μ-XRF ενός προϊόντος που περιέχει 70% κ.β. απόβλητο όπου φαίνεται η κατανομή των Fe και Pb. Παρατηρήστε την ομοιογενή κατανομή του Pb στις περιοχές όπου ο Fe σχηματίζει μικροκρυσταλλικά εγκλείσματα.

και πάνω από την ακμή απορρόφησης ενός στοιχείου του δείγματος. Η διαμόρφωση του συντελεστή απορρόφησης καθορίζεται από φαινόμενα συμβολής μεταξύ του υλοκύματος του εξερχόμενου από το άτομο φωτοηλεκτρονίου και του οπισθοσκεδαζόμενου, από γειτονικά άτομα, κύματος. Με κατάλληλη ανάλυση των φασμάτων XAFS είναι δυνατόν να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με το χημικό περιβάλλον (κατάσταση οξείδωσης και συμμετρία) καθώς και την συναρμογή (μήκη δεσμών και αριθμός γειτονικών ατόμων) αυτού του στοιχείου. Αυτές οι παράμετροι καθορίζουν μονοσήμαντα τον δομικό ρόλο του Fe και του Pb στον σχηματισμό μιας σταθερής υαλώδους δομής και επομένως την σταθερότητα των τελικών προϊόντων.[4] Οι δυνατότητες της φασματοσκοπίας XAFS μπορούν να διευρυνθούν με την χρήση κατάλληλων οπτικών διατάξεων, οι οποίες μειώνουν τις διαστάσεις της δέσμης των ακτίνων-X μέχρι και 1-5 μm, παρέχοντας πληροφορίες με χωρική διακριτική ικανότητα. Πρόκειται για γυάλινους τριχοειδείς σωλήνες που στηρίζονται στην ολική ανάκλαση των ακτίνων X με τις διαστάσεις της δέσμης να καθορίζονται από τη διάμετρο εξόδου του σωλήνα. Επιπλέον, η φασματοσκοπία μ-XRF στηρίζεται στην εκπομπή ακτινοβολίας φθορισμού μετά τη διέγερση του δείγματος, που είναι χαρακτηριστική των στοιχείων που περιέχονται στο δείγμα. Με τον τρόπο αυτόν είμαστε σε θέση να σαρώσουμε την επιφάνεια των δειγμάτων και να χαρτογραφήσουμε την κατανομή των δυο στοιχείων ενδιαφέροντος (Fe και Pb). Σε περίπτωση ανομοιογενούς κατανομής της συγκέντρωσης αυτών, δίνεται η δυνατότητα καταγραφής φασμάτων μ-XAFS από διαφορετικές περιοχές του δείγματος. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να προσδιορίσουμε το δεσμικό περιβάλλον αυτών των στοιχείων, τοπικά, ως συνάρτηση της διαφορετικής τους συγκέντρωσης. Επομένως, εφαρμόζοντας την τεχνική XAFS σε προεπιλεγμένα σημεία ενός δείγματος (με οδηγό πάντα στους χάρτες μ-XRF), μπορούμε να αποτιμήσουμε το αποτέλεσμα της ανομοιογενούς κατανομής συγκεκριμένων στοιχείων στη νανοδομή τους.

`Ενα πολύ ενδιαφέρον ζήτημα που χρήζει αντιμετώπισης, είναι η κόπωση των υαλοποιημένων προϊόντων. Η ανόπτησή τους σε υψηλές θερμοκρασίες προάγει την εμφάνιση φαινομένων που σχετίζονται με την κόπωση και επομένως μιμείται την επίδραση της μακροχρόνιας έκθεσης των προϊόντων στο περιβάλλον. Επιπλέον, η ανόπτηση χρησιμοποιείται για την παραγωγή υαλοκεραμικών υλικών τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες συγκριτικά με τα αντίστοιχα υαλώδη προϊόντα. Στο Σχήμα 2 απεικονίζονται οι χάρτες μ-XRF δύο γυαλιών που περιέχουν 60 % κ.β. απόβλητο και τα οποία έχουν υποστεί ανόπτηση στους 600 και τους 800 °C ενώ στο Σχήμα 3 φαίνονται αντίστοιχοι χάρτες για ένα γυαλί που περιέχει 70 % κ.β απόβλητο και το οποίο δεν έχει υποστεί θερμική κατεργασία. Διακρίνουμε σαφώς ορισμένες περιοχές με υψηλή και χαμηλή συγκέντρωση σε Fe οι οποίες έχουν αναπτυχθεί στο εσωτερικό των δειγμάτων. Ωστόσο η κατανομή του Pb, στο Σχήμα 3, εμφανίζεται περισσότερο ομοιογενής. Δεδομένου ότι ο Pb απουσιάζει από αυτές τις πλούσιες σε Fe περιοχές, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι πρόκειται για μικροκρυσταλλίτες οξειδίων του Fe.

Σε επόμενο βήμα, για να διαπιστωθεί εάν η ανομοιογενής κατανομή του Fe συνδέεται και με διαφοροποίηση της νανοδομής γύρω από τα άτομα του Fe, κατεγράφησαν φάσματα μ-EXAFS από τις περιοχές του χάρτη του Σχήματος 2 με υψηλή (κόκκινο χρώμα) και χαμηλή (μπλε χρώμα) συγκέντρωση Fe (EXAFS=extended XAFS, εκτεταμένη λεπτή υφή απορρόφησης ακτίνων X). Το πλάτος του μετασχηματισμού Fourier του φάσματος EXAFS παρέχει την (ψευδο) ακτινική κατανομή της ηλεκτρονικής πυκνότητας και συνεπώς μέγιστα του πλάτους αντιστοιχούν σε αποστάσεις στις οποίες συναντώνται γειτονικά άτομα. Οι μετασχηματισμοί Fourier των φασμάτων μ-EXAFS που κατεγράφησαν στις δύο αυτές διακριτές περιοχές, έχουν σαφέστατα διαφορετικό προφίλ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Μόνο μια κορυφή διακρίνεται στα φάσματα από τις περιοχές με χαμηλή συγκέντρωση σε Fe, γεγονός που καταδεικνύει ότι αυτές οι περιοχές είναι τμήματα του γυαλιού, όπου ο Fe δρα ως υαλοσχηματιστής.[5,6] Αντίθετα, η δομή που εμφανίζεται σε αποστάσεις 2-4 Å στον μετασχηματισμό Fourier του φάσματος που καταγράφηκε από την περιοχή με υψηλή συγκέντρωση σε Fe, αποτελεί μια ισχυρή ένδειξη για την παρουσία κρυσταλλικότητας.[7,8] Πράγματι, η προσαρμογή του φάσματος σε αυτήν την περιοχή αποκαλύπτει την παρουσία μικροκρυσταλλιτών μαγνητοπλουμπίτη



Σχήμα 4: Πλάτη των μετασχηματισμών Fourier (|FT|) των φασμάτων μ-EXAFS που κατεγράφησαν από περιοχές του γυαλιού (60 % κ.β. απόβλητο) με υψηλή (Fe-rich) και χαμηλή (Fe-depleted) συγκέντρωση σε Fe, έπειτα από ανόπτηση στους 600 και 800 °C και τα φάσματα EXAFS του ίδιου γυαλιού έπειτα από ανόπτηση στις ίδιες θερμοκρασίες. Η πειραματική καμπύλη και η προσαρμογή παρουσιάζονται με μαύρη και έγχρωμη γραμμή, αντίστοιχα.

($PbFe_{12}O_{19}$), μια μεικτής ένωσης οξειδίων του Fe και Pb. Αυτές οι μικροκρυσταλλικές περιοχές βρίσκονται εγκλωβισμένες μέσα στην υαλώδη μήτρα. Συνεπώς, η ανόπτηση σε υψηλή θερμοκρασία καταστρέφει την ομοιογένεια του γυαλιού και οδηγεί στο σχηματισμό ενός υαλοκεραμικού προϊόντος. Ωστόσο, τόσο ο σίδηρος όσο και ο μόλυβδος εντοπίζονται τόσο στην υαλώδη μήτρα όσο και στις κρυσταλλικές νησίδες, δηλαδή και τα δυο στοιχεία έχουν παγιδευτεί επιτυχώς μέσα στο αδρανοποιημένο στερεό απόβλητο.

Προκειμένου να βρεθεί το ποσοστό των ατόμων Fe που συμμετέχουν στον σχηματισμό του γυαλιού ή που προτιμούν να σχηματίζουν κρυσταλλικές φάσεις, αφαιρέθηκε ο γυάλινος τριχοειδής σωλήνας και κατεγράφησαν εκ νέου φάσματα EXAFS. Με αυτόν τον τρόπο, το μέγεθος της δέσμης γίνεται μεγαλύτερο και οι πληροφορίες που συλλέγονται αντιπροσωπεύουν, κατά μέσο όρο, μεγαλύτερο όγκο του δείγματος. Οι μετασχηματισμοί Fourier των φασμάτων EXAFS που κατεγράφησαν από τα δύο θερμικά κατεγρασμένα δείγματα, φαίνονται στο Σχήμα 4. Η προσαρμογή πραγματοποιήθηκε υποθέτοντας ότι ένα ποσοστό των ατόμων Fe σχηματίζει τετράεδρα FeO4 όντας ενσωματωμένο στο γυαλί[6] ενώ τα υπόλοιπα καταλαμβάνουν οκταεδρικές θέσεις στους μικροκρυσταλλίτες.[9] Αποκαλύπτεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ανόπτησης δεν επηρεάζει τον βαθμό κρυσταλλικότητας, δηλαδή το ίδιο ποσοστό ατόμων Fe (~ 80 at%) ανήκει στην υαλώδη μήτρα. Μετά την ανόπτηση στους 600 °C, σχηματίζονται μόνο κρυσταλλίτες μαγνητοπλουμπίτη, γεγονός που εξασφαλίζει την ασφαλή αδρανοποίηση του Pb. Ωστόσο, περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας ανόπτησης προκαλεί τον σχηματισμό μικροκρυσταλλιτών πλούσιων μόνο σε οξείδια Fe, εκτός των ήδη παρόντων από μεικτά οξείδια Pb και Fe. Το γεγονός αυτό έχει μια δραματική επίδραση στη σταθερότητα του προϊόντος, καθώς οι κρυσταλλικές περιοχές που περιέχουν μόνο σίδηρο, αναπτύσσονται απομακρύνοντας Fe από την υαλώδη μήτρα, διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο την διαφυγή του Pb από το υλικό. Διαπιστώνουμε λοιπόν, ότι το είδος των μικροκρυσταλλιτών που αναπτύσσονται ως αποτέλεσμα της θερμικής κατεργασίας επηρεάζει σημαντικά τη σταθερότητα του προϊόντος. Τα υαλοκεραμικά προϊόντα της θερμικής κατεργασίας δεν παρουσιάζουν επομένως όλα την ίδια χημική σταθερότητα:

- το προϊόν που υπέστη ανόπτηση στους 600 °C είναι ένα ασφαλές υλικό για την αδρανοποίηση του τοξικού αποβλήτου, αφού ο Pb είναι παγιδευμένος μέσα στην κρυσταλλική φάση του μαγνητοπλουμπίτη αλλά και στην υαλώδη μήτρα
- η ανόπτηση στους 800 °C αντίθετα, οδηγεί σε δραστική καταστροφή της σταθερότητας του υλικού. Αυτή η θερμοκρασία ενεργοποιεί τον σχηματισμό κρυσταλλιτών αιματίτη (Fe_2O_3) και δεδομένου ότι η ανάλυση EXAFS υπέδειξε ότι δεν συμβαίνει μεταβολή στο βαθμό κρυσταλλικότητας, η ανάπτυξη του αιματίτη θα γίνεται με αφαίρεση Fe από τον μαγνητοπλουμπίτη. Ο Pb συνεπώς θα απελευθερώνεται μέσα στην δομή του υλικού και με το τρόπο αυτό θα το καθιστά τοξικό.

Η μελέτη μιας εκτενούς σειράς από αδρανοποιημένα τοξικά απόβλητα μας επιτρέπει να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ο σχηματισμός ενός γυαλιού, ικανού να εγκλωβίζει και συνεπώς θα αδρανοποιεί τον Pb, είναι δυνατός μόνο όταν η περιεκτικότητα σε απόβλητο είναι μικρότερη από 65 % κ.β. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, το υλικό είναι υαλοκεραμικό με τους κρυσταλλίτες να αποτελούνται μόνο από οξείδια του σιδήρου. Πράγματι, σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αποβλήτου, το ποσοστό της πυριτίας που είναι ο κύριος υαλοσχηματιστής, δεν επαρκεί για την κατασκευή ενός εκτεταμένου υαλώδους δικτύου και επομένως απαιτείται η συμμετοχή του Fe που είναι συστατικό της τέφρας. Ομως, ο σχηματισμός μικροκρυσταλλικών περιοχών από οξείδια Fe συνεπάγεται και την απώλεια του Fe από την υαλώδη μήτρα, η οποία με τον τρόπο αυτό χάνει την δομική της σταθερότητα. Επομένως, τα υαλοκεραμικά υλικά που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση σε τέφρα δεν είναι κατάλληλα για την αδρανοποίηση του Pb, λόγω της ανομοιογένειας στην κατανομή του Fe μέσα στην υαλώδη μήτρα.

Πηγές

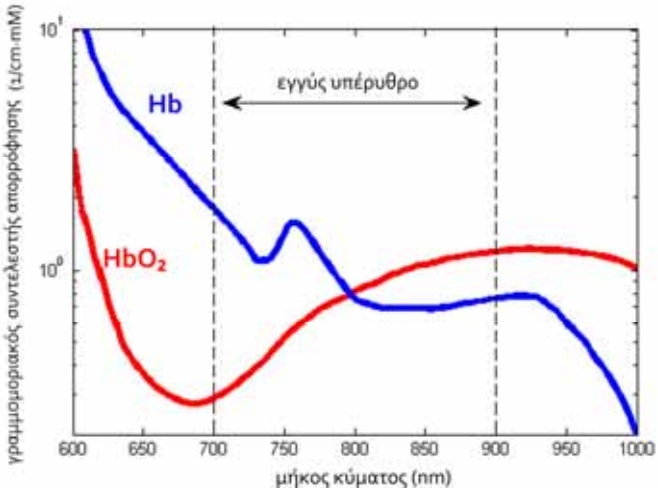
[1] *K.E. Haugsten et al., Waste Manage., 20 167 (2000).*
[2] *G. Scarinci et al., J. Eur. Ceram. Soc., 20 2485 (2000).*
[3] *G.H. Zheng et al.,, Environmental Progress, 15 283 (1996).*
[4] *"EXAFS: Basics, Principles & Data Analysis", B.K. Teo, Springer-Verlag, Berlin (1986).*
[5] *F. Pinakidou et al., J. Non-Cryst. Solids, 352, 2933 (2006).*
[6] *F. Pinakidou et al., J. Non-Cryst. Solids, 351, 2474 (2005).*
[7] *F. Pinakidou et al., Nucl. Instr. Meth. B, 246, 238 (2006).*
[8] *F. Pinakidou et al., Nucl. Instr. Meth. B, 246, 170 (2006).*
[9] *Crystal Structures, vol. 2, R.W.G. Wyckoff, John Wiley & Sons, New York (1964).*

το παλμικό οξύμετρο

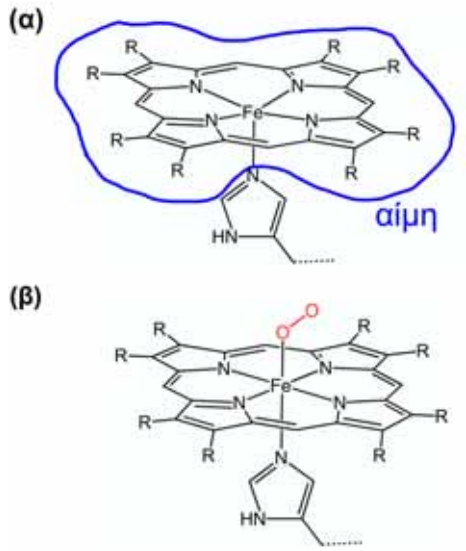
Μια πολύ χρήσιμη και εύχρηστη συσκευή για την εκτίμηση της αναπνευστικής λειτουργίας είναι το παλμικό οξύμετρο (Σχήμα 1). Τους τελευταίους μήνες, λόγω των επιπτώσεων της πανδημίας COVID-19 στους πνεύμονες, παλμικά οξύμετρα χρησιμοποιούνται εκτενώς.

Με τη βοήθειά του οξυμέτρου είναι δυνατόν να μετρηθεί, έμμεσα, ο κορεσμός του αίματος σε οξυγόνο. Ο κορεσμός τους οξυγόνου ορίζεται ως το ποσοστό της αιμοσφαιρίνης που είναι οξυγονωμένη προς το συνολικό ποσό της αιμοσφαιρίνης (οξυγονωμένης και μη). Οι φυσιολογικές τιμές του κορεσμού σε οξυγόνο κυμαίνονται από 95-100%. Κύρια στοιχεία ενός παλμικού οξυμέτρου είναι μια (διπλή) πηγή φωτός (φωτοεκπέμπουσες δίοδοι) και ένας αισθητήρας. Μεταξύ της πηγής και του αισθητήρα τοποθετείται το άκρο ενός δακτύλου του χεριού. Δέσμες φωτός δύο διαφορετικών μηκών κύματος διέρχονται μέσω του δακτύλου: κόκκινο 660 nm και υπέρυθρο 940 nm. Στο Σχήμα 2 φαίνονται οι καμπύλες απορρόφησης της οξυγονωμένης (HbO2) και της μη-οξυγονωμένης (Hb) αιμοσφαιρίνης. Η απορρόφηση της HbO2 είναι μικρότερη στο κόκκινο και μεγαλύτερη στο υπέρυθρο και έτσι κατάλληλα βαθμονομημένος αισθητήρας παρέχει το ποσοστό της οξυγόνωσης του αίματος. Λόγω της αρχής λειτουργίας του, η ένδειξη του οξυμέτρου αντιστοιχεί στο περιφερειακό οξυγόνο (που υπάρχει τους ιστούς) και μπορεί να είναι διαφορετικό από το επίπεδο του οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα το οποίο μπορεί να μετρηθεί μετά από αιμοληψία. Ωστόσο, το παλμικό οξύμετρο αποτελεί μη επεμβατική και ταχεία μέθοδο προσδιορισμού.

Σχήμα 1: Το παλμικό οξύμετρο



Σχήμα 2: Φάσματα απορρόφησης της οξυγονωμένης (HbO_2) και μη-οξυγονωμένης (Hb) αιμοσφαιρίνης



Σχήμα 3: Δέσμευση της αίμης σε (α) μη-οξυγονωμένη και (β) οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη.

Η αιμοσφαιρίνη είναι το κύριο συστατικό των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Είναι μια μεταλλοπρωτεΐνη (περιέχει σίδηρο) και ο ρόλος της είναι η μεταφορά οξυγόνου από τους πνεύμονες στους ιστούς.

Η αιμοσφαιρίνη είναι μια σφαιρική πρωτεΐνη που αποτελείται από 4 πεπτιδικές αλυσίδες ανά δύο όμοιες. Κάθε αλυσίδα περιέχει μια προσθετική ομάδα, την αίμη, η οποία αποτελείται από ένα άτομο Fe δεσμευμένο σε ένα οργανικό μόριο (Σχήμα 3). Ο Fe δεσμεύεται με 4 άτομα N. Σε φυσιολογικές συνθήκες ο Fe είναι δισθενής. Ωστόσο, μπορεί να σχηματίσει 2 ακόμη δεσμούς (πάνω και κάτω από το επίπεδο της αίμης), ένας εκ των οποίων (πέμπτος δεσμός) είναι με ένα άτομο N της ιστιδίνης (αμινοξύ που ανήκει στην πρωτεΐνη). Στην μη-οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη, η έκτη θέση παραμένει κενή, ενώ στην οξυγονωμένη δεσμεύεται ένα άτομο οξυγόνου.

Πηγές

- *Biochemistry, J. M. Berg, J. L. Tymoczko, L. Stryer, W. H. Freeman, New York (2002).*
- *wikipedia*
- *startup.info/what-is-a-pulse-oximeter*

Μαρία Κατσικίνη, Αναπλ. Καθ.
Τμήματος Φυσικής

συλλογισμοί περί φωτός

Γεώργιος Ρήγας
Φοιτητής
Τμήματος Φυσικής

Όλες οι εκ πρώτης όψεως απλές ιδέες που αναφέρονται παρακάτω συνιστούν βαθιές έννοιες, αναπόσπαστα συναρτημένες με έναν από τους σημαντικότερους κλάδους της φυσικής: την οπτική. Ελάχιστοι υπήρξαν οι τομείς της φυσικής που από την αρχή κιόλας της ανάπτυξής τους επέτυχαν τέτοια βαρυσήμαντα αποτελέσματα τα οποία διατήρησαν την αξία τους ως τις μέρες μας. Έτσι εξηγείται, λοιπόν, γιατί η έρευνα στην οπτική μπόρεσε να ασκήσει μεγάλη επίδραση στην συγκρότηση νέων κλάδων των φυσικών επιστημών, να επιβάλει την επανεξέταση των θεμελίων της κλασικής φυσικής και να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη γένεση τόσο της θεωρίας της σχετικότητας όσο και της κβαντικής μηχανικής.

Ευελπιστώ ότι το παρόν άρθρο θα σας βοηθήσει να δείτε «με άλλο μάτι» τα οπτικά φαινόμενα και τα όργανα, τα οποία συναντάτε στην καθημερινή σας ζωή (όπως οι φακοί ή οι φωτογραφικές μηχανές), καθώς και ότι πιθανόν να σας παρακινήσει να σκεφτείτε σοβαρά γύρω από το μηχανισμό της ανθρώπινης όρασης.

«Θέλω να πιστεύω ότι όσοι αρέσκονται να μαθαίνουν τις αιτίες των φαινομένων θα βρουν ευχαρίστηση σε αυτούς τους συλλογισμούς για το ζήτημα του φωτός...» μας λέει ο Christiaan Huygens

Ένας δύτης βλέπει έναν άλλο που βρίσκεται στην επιφάνεια του νερού (https://www.offthescaleangling.ie/the-science-bit/fish-vision/).

• Ένας αυτοδύτης μπορεί να βλέπει μέσα από το νερό κάποιον που ψαρεύει στην παραλία, αλλά ο τελευταίος καταφέρνει να δει τον αυτοδύτη μόνο κάτω από ιδιαίτερες συνθήκες. Πως το εξηγείτε αυτό;

Το φως που προέρχεται από τον αυτοδύτη και προσπίπτει υπό μεγάλες γωνίες στη διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα υφίσταται ολική εσωτερική ανάκλαση, οπότε παραμένει μέσα στο νερό. Αντίθετα, το φως που προέρχεται από τον άνθρωπο στην όχθη και προσπίπτει στην επιφάνεια της θάλασσας υπό οποιαδήποτε γωνία εισέρχεται πάντοτε στο νερό. Ο άνθρωπος στην όχθη βέβαια μπορεί και βλέπει τις φυσαλίδες του αέρα να λάμπουν μέσα στο νερό κι αυτό λόγω της ανάκλασης του φωτός στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα νερού. Γενικότερα χαρακτηριστική είναι και η λάμψη των πολύτιμων λίθων, η οποία οφείλεται στις πολλαπλές εσωτερικές ανακλάσεις που υφίσταται το φως που προσπίπτει πάνω τους.

• Γιατί δεν μπορούμε να δούμε τόσο καλά κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ακόμη και όταν τα νερά είναι πεντακάθαρα;

Οι φωτεινές ακτίνες διαθλώνται ελαφρώς στη διαχωριστική επιφάνεια οφθαλμού-νερού, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ασαφές είδωλο στον αμφιβληστροειδή μας. Σε αντίθεση με τον άνθρωπο και τα ζώα της ξηράς, τα ψάρια και τα υδρόβια πτηνά διαθέτουν πέρα από τις πέντε γνωστές μας αισθήσεις και μία έκτη αίσθηση, ένα εκπληκτικό βιολογικό όργανο, την πλευρική γραμμή. Η πλευρική γραμμή εκτείνεται κατά μήκος όλου του σώματός τους και πρόκειται για μια σειρά οργάνων, νευρώνων, τα οποία ανιχνεύουν την κίνηση, τη δόνηση και την αλλαγή πίεσης στο υδάτινο περιβάλλον και τους επιτρέπει να έχουν πιο ολοκληρωμένη άποψη του τι γίνεται στον χώρο γύρω τους μέσω κυμάτων πίεσης. Κι αυτή είναι η απάντηση σε όλους αυτούς τους ψαράδες που αναρωτιούνται πώς τα ψάρια πλέουν ασφαλώς σε θολά νερά και πώς είναι δυνατό να αποφύγουν φυσικά ή τεχνητά δολώματα ακόμη και στο σκοτάδι. Τέλος, εντύπωση προκαλεί και το ότι ορισμένα είδη ψαριών μπορούν με το μισό μάτι να εστιάσουν καλά στο νερό και με το άλλο μισό στον αέρα.

• Μπορείτε να ανάψετε φωτιά χρησιμοποιώντας πάγο;

Μπορείτε πράγματι να ανάψετε φωτιά, αν χρησι-

Ανάβοντας φωτιά με τη βοήθεια του πάγου (https://www.youtube.com/watch?v=1Hrn98efEEs).

μοποιήσετε τον πάγο ως πρώτη ύλη για να κατασκευάσετε ένα συγκλίνοντα φακό. Για να επιτευχθεί βέβαια το παραπάνω πρέπει ο Ήλιος να καίει, δηλαδή να είναι καλοκαίρι. Βέβαια, ο πάγος λιώνει γρήγορα από τον Ήλιο, με αποτέλεσμα να αλλάζει πολύ γρήγορα και η εστιακή απόσταση του φακού-πάγου και να χάνεται έτσι η χρησιμότητά του. Αξίζει να εξεταστεί και να ερευνηθεί αν τελικά ο πάγος προλαβαίνει να εστιάσει επαρκώς το φως. Οριακά το παραπάνω πείραμα επιτυγχάνεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, όπως η ισχύς του Ήλιου στην επιφάνεια της Γης, το ποσό ενέργειας που απορροφά ο πάγος, αλλά και το ποσό ενέργειας που χρειάζεται ο πάγος για να λιώσει. Για περισσότερη μελέτη, υπάρχουν στο διαδίκτυο, αρκετά βίντεο που περιγράφουν όλα αυτά.

Δέσμες φωτός στην ομίχλη (http://www.fubiz.net/en/2016/11/28/mystical-pictures-of-night-lights-in-the-fog/).

Οι μύωπες συχνά μισοκλείνουν τα μάτια τους για να δουν πιο καθαρά (https://www.mykidsvision.org/blog/myopia-myths-what-has-evidence/).

- **Μπορούμε να δούμε πιο εύκολα τη δέσμη ενός προβολέα όταν έχει ομίχλη, αλλά πιο δύσκολα όταν ο καιρός είναι αίθριος. Γιατί άραγε;**

Στην ομίχλη βλέπετε πιο εύκολα τη φωτεινή δέσμη, διότι το φως σκεδάζεται από τα σταγονίδια νερού που αιωρούνται στον αέρα. Η ανθρώπινη όραση διακρίνεται για την μεγάλη της προσαρμοστικότητα. Όντας αίθριος ο καιρός τείνει να θεωρεί (υποκειμενικά) ως «λευκή» μια επιφάνεια ακόμη και αν έχει εμφανή χροιά. Έτσι, δεν δίνουμε ιδιαίτερη σημασία στη φωτεινή πηγή, ακόμη και αν είναι υπερβολικά θερμή, όπως οι λάμπες πυράκτωσης των εσωτερικών χώρων.

- **Οι μύωπες μισοκλείνουν τα μάτια τους όταν προσπαθούν να δουν κάτι καλύτερα. Γιατί;**

Όταν μισοκλείνουμε τα μάτια μας μειώνουμε το «άνοιγμά» τους και με τον τρόπο αυτό το είδωλο καθίσταται ευκρινέστερο λόγω του αυξημένου «βάθους πεδίου», ακριβώς όπως συμβαίνει και στη φωτογραφική μηχανή όταν μειώνουμε το άνοιγμα του φακού κλείνοντας περισσότερο το διάφραγμα.

Γνωρίζατε ότι...
Στην εποχή του ο Νεύτων έχαιρε μεγάλης αναγνώρισης -ακόμη και πέραν των επιστημονικών κύκλων- για τις έρευνές του στην οπτική. Το δημοφιλέστερο έργο του υπήρξε η Οπτική, η οποία παρέμεινε επί δεκαετίες μια αληθινή εγκυκλοπαίδεια που συγκεφαλαίωνε την τότε διαθέσιμη γνώση γύρω από το φως.

Πηγές:

- *Quantum,τόμος 3ος -τεύχος 4ο: ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ, εκδόσεις ΚΑΤΟΠΤΡΟ*
- *https://www.sciencedaily.com/*

Λουκρητίου: “De Rerum Natura”

ένα αρχαίο ποίημα για τη φύση και τα άτομα

Τάσος Λιόλιος
Καθηγητής
Τμήματος Φυσικής

Αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο ως ένα σύνολο από οντότητες οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με ποικίλους τρόπους βάσει των ιδιοτήτων τους. Έχουμε έτσι φαινόμενα και μέσα από την παρατήρηση των φαινομένων αντιλαμβανόμαστε και κατανοούμε την ύπαρξη του κόσμου. Αλλά, ποιο είναι το αρχικό και αναλλοίωτο συστατικό του κόσμου; «Τί το όν;», έγραψε ο Αριστοτέλης.

Η συγκρότηση της ύλης από ελάχιστα μέρη, τα «άτομα», ήταν η απάντηση των ατομικών φιλοσόφων στο πρόβλημα της συνέχειας της ύλης ή στο πρόβλημα του ελαχίστου, θέση που λειτούργησε λυτρωτικά για την ανθρώπινη σκέψη. Ο Erwin Schrödinger, εμβληματική μορφή της κβαντικής φυσικής, είπε (σε διάλεξή του το 1948):

> «*Ο ατομισμός ήταν ένα όπλο σφυρηλατημένο ειδικά για την υπέρβαση των δυσκολιών του μαθηματικού συνεχούς, των οποίων δυσκολιών ο Δημόκριτος είχε πλήρη επίγνωση. Γι’ αυτόν, ο ατομισμός ήταν ένα μέσον για τη γεφύρωση του χάσματος ανάμεσα στα πραγματικά φυσικά σώματα και στα εξιδανικευμένα γεωμετρικά σχήματα των καθαρών Μαθηματικών*» *(Φύση και οι Έλληνες, Εκδ. Τραυλός, σελ. 95).*

Οι ατομικοί φιλόσοφοι, Λεύκιππος και Δημόκριτος έκαναν με την παραδοχή των ατόμων μια τολμηρή υπόθεση στη φιλοσοφία των φυσικών φιλοσόφων. Ο Επίκουρος, λίγο μετά, υιοθέτησε αυτήν την «*αναγνωρισμένη φυσική -ό,τι καλύτερο υπήρχε τον 4° αιώνα- την επεξεργάστηκε σε κάποια κύρια σημεία της και την ενσωμάτωσε στη διδασκαλία του*» (Χαράλαμπος Θεοδωρίδης, Επίκουρος, η αληθινή όψη του αρχαίου κόσμου, σελ. 302).

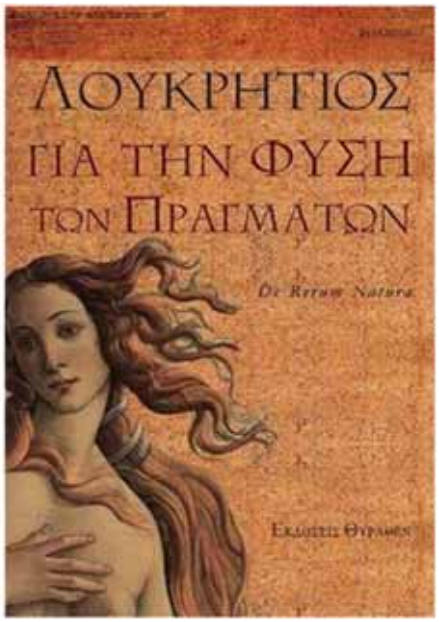
Βάση της επικούρειας φιλοσοφίας είναι η επικούρεια φυσική και μαζί με αυτή η πεποίθηση ότι ο κόσμος μπορεί να γίνει κατανοητός.

Δυο – τρεις αιώνες μετά τον Επίκουρο, ο Ρωμαίος φιλόσοφος και ποιητής Λουκρήτιος Κάρος (98-55 π.Χ.), με το ποίημά του “De Rerum Natura”, διέσωσε για τις μελλοντικές γενιές σε βάθος αιώνων, μέχρι και σήμερα, όλη την επικούρεια φυσική για τα άτομα και το κενό και τις προεκτάσεις της φυσικής αυτής στην ηθική φιλοσοφία.

Γράφει ο καθηγητής Χ. Θεοδωρίδης:

> «*Την ιωνική φυσική την έσωσε η ατομική θεωρία... Η νέα θεωρία παίρνει γι’ αρχικά στοιχεία τα άτομα και το κενό. Τα άτομα είναι ελαχιστότατα κομμάτια της ύλης, αόρατα κι άπιαστα, αντιληπτά μόνο με τη νόηση... Το άτομο λοιπόν είναι το στέρεο κι ανάλλαγο, που το απαιτούσε η διανόηση της εποχής. Παλαιοί και νεότεροι το παρομοίασαν με το έν ακίνητον του Παρμενίδη... «Κενόν» είναι ο άδειος χώρος. Σ’ αυτό μέσα βρίσκονται τα άτομα, κινούνται και κάνουν τους άπειρους συνδυασμούς, που αποτέλεσμά τους είναι τα όντα*».

Στο De Rerum Natura υπάρχουν πολλά θέματα που σχετίζονται με την ατομική θεωρία του Επίκουρου. Έχει ενδιαφέρον να συνδέσει κανείς κάποια από τα θέματα περί ατόμων που υπάρχουν στο έργο του Λουκρητίου, με γνώσεις από τη νεότερη φυσική. Μπορεί έτσι να γίνει αντιληπτό πόσο πλούσιες και εύστοχες μπορεί να είναι οι φιλοσοφικές ιδέες όταν εδράζονται στην αισθητηριακή εμπειρία. Επίσης, πόσο απαραίτητη είναι η επιστημονική μέθοδος που αναπτύχθηκε στους νεότερους χρόνους για το ξεκαθάρισμα των φιλοσοφικών προτάσεων, για την στήριξη και τον εμπλουτισμό των πιο πετυχημένων από αυτές με νέες έννοιες και με νέα οπτική και τον μετασχηματισμό τους τελικά σε επιστημονική γνώση.



Η ύλη συγκροτείται από «άτομα» (ή από μόρια, σωματίδια, κουάρκ κλπ.).

Η βασική ιδέα είναι στο ότι η ύλη είναι ασυνεχής στη δομή της. Η έμφαση πρέπει να δοθεί στον σωματιδιακό χαρακτήρα, στην ασυνέχεια, στην ύπαρξη «ελαχίστου» με τις συγκεκριμένες ιδιότητες. Όχι στο «άτμητο». Είναι πολύ ενδιαφέρον το πόσο πειστικά μιλά ο Λουκρήτιος, με επιχειρήματα στηριγμένα στην εμπειρία και στα δεδομένα των αισθήσεων, υπέρ της ύπαρξης των ατόμων ("De Rerum Natura", μετάφραση από τις εκδόσεις ΘΥΡΑΘΕΝ, βιβλίο Ι, στίχοι 298-318):

«... νιώθουμε τις διάφορες οσμές των πραγμάτων, αν και ποτέ δεν τις βλέπουμε να φτάνουν στα ρουθούνια μας.

Μήτε διακρίνουμε τα κύματα του καύσωνα, μήτε μπορούμε να αντικρίσουμε το κρύο, ή να δούμε ποτέ τις φωνές.

Κι όμως πρέπει να ομολογήσουμε πως όλα αυτά έχουν σωματική υφή, αφού και μπορούν και προσβάλλουν τις αισθήσεις μας: γιατί τίποτε δεν μπορεί να αισθανθεί ή να γίνει αισθητό αν δεν είναι σώμα.

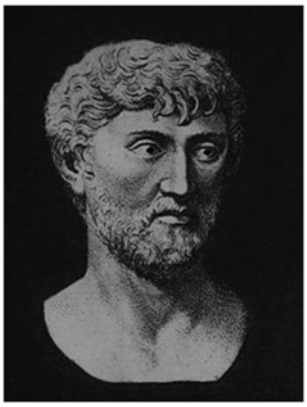
Τα υφάσματα πάλι κρεμασμένα στην ακτή, όπου σπάει το κύμα, μαζεύουν υγρασία. Ενώ τα ίδια απλωμένα στον ήλιο, στεγνώνουν. Κι όμως κανείς δεν είδε πώς τα πότισε η υγρασία, ούτε πάλι πώς στέγνωσαν με τη ζέστη. Άρα το νερό διαλύεται σε μόρια ολωσδιόλου αόρατα για τα δικά μας μάτια.

Κι ακόμα, το δαχτυλίδι, σαν περάσουν χρόνια με τους κύκλους του ήλιου, από τη χρήση λεπταίνει πάνω στο δάχτυλό μας.

Η σταλαγματιά πέφτοντας σκάβει την πέτρα, το γυρτό σιδερένιο υνί του αρότρου λιώνει ανεπαίσθητα μες τα χωράφια, τα λιθόστρωτα, καθώς βλέπουμε, τρίβονται απ' τις πατημασιές του πλήθους.

Και τα μπρούτζινα αγάλματα στις πύλες των πόλεων φαίνονται να έχουν το δεξί τους χέρι φθαρμένο από το αδιάκοπο άγγιγμα των περαστικών που τα χαιρετίζουν.»

Βλέπουμε πόσο πειστικά χρησιμοποιεί ο Λουκρήτιος την καθημερινή άμεση εμπειρία, «τας αισθήσεις», και καλεί ταυτόχρονα τους ανθρώπους να παρατηρήσουν με προσοχή τον κόσμο γύρω τους για να τον κατανοήσουν. Εδώ, συγκεκριμένα, τους καλεί να αντιληφθούν ότι αντικείμενα που χρησιμοποιούνται συχνά, χάνουν σιγά-σιγά, με τη φθορά, κάποια μη ορατά μέρη τους, άρα να βγάλουν το συμπέρασμα ότι τα υλικά αποτελούνται από αόρατα άτομα.



Τίτος Λουκρήτιος Κάρος (98-55 π.Χ.)

Τα άτομα (ή μόρια, σωματίδια, κουάρκ κλπ.) βρίσκονται σε διαρκή κίνηση

Σε ένα άλλο σημείο του βιβλίου του ο Λουκρήτιος επικαλείται πάλι την απλή εμπειρία κάποιου προσεκτικού παρατηρητή για να δείξει ότι τα άτομα βρίσκονται σε διαρκή κίνηση. Αναφέρεται στο φαινόμενο της τυχαίας κίνησης των κόκκων σκόνης που δεν σταματά ποτέ. Στο παρακάτω κείμενο περιγράφει το φαινόμενο, αλλά δίνει και την ερμηνεία του μέσω της κίνησης των ελευθέρων ατόμων:

«Πρόσεξε, κάθε φορά που τρυπώνουν οι ακτίνες του Ήλιου και ρίχνουν το φως τους μες στο σκοτάδι των σπιτιών μας: θα δεις πολλά μικρά σωματίδια να αναδεύονται με χίλιους δυο τρόπους στο κενό που φωτίζει η ακτίνα... Θα δεις πολλά μόρια σκόνης σπρωγμένα από αθέατα χτυπήματα να αλλάζουν πορεία και ωθούμενα προς τα πίσω να στρέφουν, πότε έτσι και πότε αλλιώς, προς κάθε κατεύθυνση.

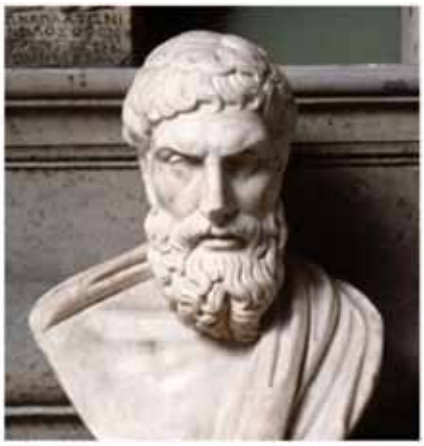
Κι είναι φανερό πως όλη τούτη η περιπλάνηση οφείλεται στα άτομα. Καταρχάς, τα άτομα κινούνται έτσι κι αλλιώς από μόνα τους. Στη συνέχεια, με αθέατα χτυπήματα, θέτουν σε κίνηση τις μικρότερες ατομικές ενώσεις, που έχουν, θα λέγαμε, δύναμη παραπλήσια με αυτή των ατόμων. Αυτές οι ενώσεις με τη σειρά τους μεταδίδουν την κίνηση σε άλλες, κάπως μεγαλύτερες. Έτσι η κίνηση, με αφετηρία τα άτομα, αρχίζει ν' ανεβαίνει και φτάνει σταδιακά και στην δική μας αντίληψη. Μεταδίδεται τελικά και στα σωματίδια που μπορούμε να διακρίνουμε στο φως του Ήλιου, χωρίς όμως να αποκαλύπτει τα χτυπήματα που την προκαλούν.» (De rerum natura, βιβλίο ΙΙ, στίχοι 114-141).

Ο Αϊνστάιν χρησιμοποίησε παρόμοιο επιχείρημα υπέρ της ύπαρξης των ατόμων, που ακόμα στις αρχές του 20ου αιώνα ήταν υπό αμφισβήτηση από μερίδα των επιστημόνων. Ο Αϊνστάιν λοιπόν επέστησε την προσοχή σε μια πολύ σημαντική φυσική ένδειξη για την ύπαρξη των ατόμων: σε μια εργασία του το 1905, λίγες μόνο εβδομάδες πριν από τη δημοσίευση της

διάσημης εργασίας του για την σχετικότητα, έδειξε ότι το φαινόμενο που ονομάζεται «κίνηση Brown» (η ακανόνιστη τυχαία κίνηση των μικροσκοπικών σωματιδίων σκόνης σε ένα υγρό) μπορεί να εξηγηθεί από τη σύγκρουση των ατόμων με τα σωματίδια της σκόνης.

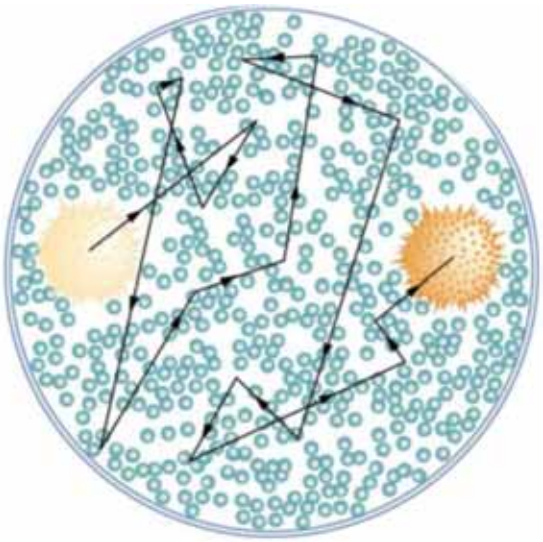
«Κίνηση Brown», λοιπόν, ονομάστηκε η ακανόνιστη τυχαία κίνηση των μικροσκοπικών σωματιδίων σκόνης που επιπλέουν σε ένα υγρό. Η κίνηση αυτή παρατηρήθηκε με το μικροσκόπιο (χρησιμοποιώντας κόκκους γύρης) και καταγράφηκε από τον βοτανολόγο Brown το 1827. Ο Brown παρατήρησε ότι η κίνηση του κάθε κόκκου γύρης έχει τα χαρακτηριστικά τυχαίας διαδρομής (random walk) και ότι η κίνηση αυτή δεν σταματά ποτέ! Η κίνηση Brown με όλα τα μετρήσιμα χαρακτηριστικά της μελετήθηκε διεξοδικά και ερμηνεύτηκε λεπτομερώς από τον Αϊνστάιν, σε μια από τις ρηξικέλευθες δημοσιεύσεις του το 1905 (έτος γνωστό και ως "annus mirabilis"). Ο Αϊνστάιν βάσισε τη μελέτη του στην ανεπιφύλακτη αποδοχή της ύπαρξης των ατόμων ως των δομικών στοιχείων της ύλης και στην κινητική θεωρία της θερμότητας. Με δυο λόγια, θεώρησε ότι η κίνηση Brown οφείλεται στην συνεχή κίνηση των ατόμων που με αθέατα χτυπήματα, μεταδίδουν την κίνηση στον κόκκο σκόνης. Αυτή η μελέτη αναγνωρίστηκε ως η χαριστική βολή εναντίον της αμφισβήτησης της ατομικής θεωρίας και του σκεπτικισμού μέρους της επιστημονικής κοινότητας περί της ύπαρξης των ατόμων.

Για την εξήγηση της κίνησης Brown αρκεί να στηριχθεί κανείς σε γνώσεις της κλασικής φυσικής όπως είχαν διαμορφωθεί στο τέλος του 19^{ου} αιώνα. Αυτές οι γνώσεις είναι, συνοπτικά, ότι η ύλη αποτελείται από άτομα διαφόρων ειδών που διαφέρουν κατά σχήμα και μέγεθος, ότι τα άτομα συνενώνονται και δημιουργούν ενώσεις -τα μόρια- και ότι τα άτομα και τα μόρια βρίσκονται πάντα σε άτακτη κίνηση, μια κίνηση που εκδηλώνεται μακροσκοπικά ως θερμοκρασία. Η αντίθεση μεταξύ της ισχύος σύνδεσης των ατόμων από τη μία και της θερμικής κίνησης από την άλλη, καθορίζει ποια θα είναι η κατάσταση της ύλης: στερεά, υγρή, αέρια.



Επίκουρος (341-270 π.Χ.)

Πολλές από τις σημερινές αντιλήψεις μας για την ύλη και τη θερμότητα έχουν την αφετηρία τους στη μελέτη της συμπεριφοράς των αερίων, στα πλαίσια της στατιστικής φυσικής και θερμοδυναμικής, για την οποία εργάστηκαν μερικοί από τους πιο σημαντικούς θεωρητικούς και πειραματικούς φυσικούς, στη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα.



Κίνηση Brown. Το σχήμα δείχνει την τυχαία κίνηση ενός κόκκου γύρης (ορατού στο μικροσκόπιο), καθώς δέχεται τυχαία χτυπήματα από τα αόρατα άτομα ή μόρια του υγρού στο οποίο επιπλέει.

Τα άτομα (ή μόρια, σωματίδια, κουάρκ κλπ.) δεν έχουν καθορισμένες τροχιές, αλλά υπάρχει απροσδιοριστία στην κίνησή τους

Εδώ πρόκειται για την επικούρεια παρέγκλιση και την κίνηση των σωματιδίων σε ένα κόσμο πιθανοτήτων. Ο Επίκουρος εισήγαγε τον πρωτοποριακό όρο «παρέγκλιση», ως μια ενδογενή ιδιότητα των ατόμων σύμφωνα με την οποία μπορεί να συμβεί μια μικρή, απρόβλεπτη και αναίτια απόκλιση από την κίνηση των ατόμων, η οποία δίνει έτσι τη δυνατότητα επαφής ή σύγκρουσης μεταξύ τους. Η αλληλεπίδραση αυτή γίνεται αιτία για να δημιουργηθούν συνδυασμοί ατόμων σε όλο και πιο σύνθετες δομές.

Η Επικούρεια «παρέγκλιση» φέρνει στο νου την κβαντική συμπεριφορά των σωματιδίων και την πιθανοκρατική έκβαση των τελικών καταστάσεών τους. Κατά την κβαντική φυσική, το κάθε σωματίδιο μπορεί να περιγραφεί ως ένα κινούμενο ή στάσιμο «κυματοπακέτο», ενώ το πλάτος του κύματος σε κάποιο χώρο και κάποιο χρονικό διάστημα, σχετίζεται με την πιθανότητα εύρεσης του σωματιδίου στον χώρο αυτόν σε αυτό το χρονικό διάστημα. Άρα, δύο κβαντικά σωματίδια που εκτοξεύονται από την ίδια συσκευή, με τις ίδιες αρχικές συνθήκες, μπορεί να κάνουν διαφορετική διαδρομή και να καταλήξουν σε δύο διαφορετικά μέρη. Παρομοίως, δύο ολόιδιοι πυρήνες μπορεί να διασπαστούν σε πολύ διαφορετικούς χρόνους, ή ακόμη και σε διαφορετικά τελικά σωματίδια. Αναφέρει ο Λουκρήτιος:

> *«Όταν τα άτομα φέρονται από το ίδιο τους το βάρος σε ευθεία γραμμή προς τα κάτω μες στο κενό, σε στιγμές ακαθόριστες και σε τόπους ακαθόριστους, παρεκκλίνουν κάπως από την τροχιά*

τους. ... Αν δεν υπήρχε αυτή η παρέκκλιση, όλα θα κατευθύνονταν σα σταγόνες της βροχής προς τα τρίσβαθα του κενού, και καμιά επαφή, καμιά πρόσκρουση δεν θα γινόταν ανάμεσα στα αρχικά στοιχεία, κι έτσι η φύση δεν θα δημιουργούσε τίποτα...» (Λουκρήτιος, «Για την Φύση των Πραγμάτων», βιβλίο ΙΙ, στίχοι 216-224).

Μια απόδοση ως σύγχρονο κείμενο φυσικής:

Ενώ τα σωματίδια αναμένεται κλασικά να κινούνται ευθύγραμμα μέσα στο κενό, εν τούτοις λόγω της κβαντικής απροσδιοριστίας, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή χωρική θέση μπορούν να αποκλίνουν από την αναμενόμενη κλασική τροχιά τους... Αν δεν υπήρχε αυτή η απροσδιοριστία στη θέση και στην ορμή, όλα θα κατευθύνονταν μέσα στο άπειρο του κενού χώρου, ακολουθώντας μηδενικού εύρους τροχιές που δεν έχουν καμμιά δυνατότητα αλληλεπικάλυψης και επαφής, άρα καμμιά αλληλεπίδραση δεν θα συνέβαινε ανάμεσα στα αρχικά σωματίδια, κι έτσι η φύση δεν θα δημιουργούσε τίποτα...

Η Επικούρεια «παρέγκλισις» θα μπορούσε, με σημερινούς όρους, να αποδοθεί επίσης στην κβαντική συμπεριφορά του κενού. Αλλά αυτό είναι μια άλλη μεγάλη συζήτηση.

Η σημασία της «παρέγκλισης», πάντως, ξεπερνά κατά πολύ την σωματιδιακή φυσική και έχει να κάνει με την βασική ειδοποιό διαφορά του ανθρώπου, την ελευθερία του. Γράφει ο Γιώργος Καραμπελιάς στο βιβλίο του Η θεμελιώδης παρέκκλιση, (εναλλακτικές εκδόσεις, 2004, σελ. 7-8):

T. LVCRETII CARI DE
RERVM NATVRA,
LIBRI VI.
A DION. LAMBINO MONSTROLIENSI, LITTERARVM Graecarum in vrbe Lutetia doctore Regio, vbi fere innumerabilibus ex auctoritate quinque codicum manu scriptorum emendati, ac fere redintegrati, & praeterea breuibus, ac perquàm vtilibus commentariis illustrati: nunc ab eodem recogniti, & longè meliores facti, planéque iam in suam pristinam integritatem restituti: cum ijdem commentariis, plus quarta parte aucti.
ACCESSERVNT HAC PRAETEREA,
Vita Lucretij, eodem Lambino auctore.
PRAETER, eò indice, qui in omnibus aliis libris antè impressis paucissimos est, omnium rerum, quae à Lucretio singulis libris tractantur, ac disputantur, capita continens, Index alij duo,
VNVS, rerum, quae sunt in contextu Lucretij, & vocum, dictionumque ferè omnium Lucretianarum:
ALTER, earū rerum, quae sunt in commentariis Lambini.
Βασιλῆ τ' ἀγαθῷ, κ' σοφῷ τ' ἀίχμητῇ.
LVTETIAE, ANNO CIↃ. IↃ. LXX.
Apud Ioannem Bene natum.
CVM PRIVILEGIO REGIS.

«*Η απόκλιση – παρέγκλισις του Επίκουρου –είναι συστατική του κόσμου μας... Επιτρέπει στον κόσμο να συγκροτηθεί, στην ύλη να πορευτεί αντίστροφα προς την αποσυνθετική εντροπία –προς διαρκώς πολυπλοκότερες συγκροτήσεις, στο σύμπαν και στη ζωή να υπάρξουν... Ο Επίκουρος σε ανύποπτο χρόνο, φιλοσοφικά, με βάση τη λογική επαγωγή, διατύπωσε αυτήν την αρχή, 2200 χρόνια πριν εκφράσει ο Χάιζεμπεργκ την αρχή της απροσδιοριστίας.*

Ο Επίκουρος και οι επικούρειοι δεν θα περιοριστούν μόνον στα φυσικά φαινόμενα και τη συγκρότηση του σύμπαντος, καθώς θα επεκτείνουν τη θεωρία της παρέγκλισης στο πεδίο της ιστορίας και της ελευθερίας του ανθρώπου. Η απόκλιση είναι το θεμέλιο της ελευθερίας.

Η απόσπαση από τη μοίρα, αυτό το μικρό, ελάχιστο ποσοστό ελευθερίας και αυτονομίας που δίνεται σε κάθε άνθρωπο απέναντι στον φυσικό και ιστορικό ντετερμινισμό... είναι συνέπεια της «επικούρειας» παρέκκλισης.»

Η ιστορική συμβολή του "De Rerum Natura" και της θεωρίας περί ατόμων στην επιστημονική επανάσταση

Το έργο του Λουκρήτιου "De rerum natura" επανήλθε στο προσκήνιο των νεοτέρων χρόνων τον 15^{ο} αιώνα, με την ανακάλυψη ενός πλήρους αντιγράφου του στο γερμανικό μοναστήρι της Φούλντα, από τον Poggio Bracciolini το 1417, και με την ανάπτυξη της τυπογραφίας έγινε προσιτό σε όλη την ευρωπαϊκή διανόηση (πρώτη του εκτύπωση το 1473).

Η ατομική θεωρία εδραιώθηκε ως επιστημονική θεωρία, μέσα από την επιστημονική επανάσταση του 16^{ου}-17^{ου} αιώνα και των όσων ακολούθησαν. Η ανάπτυξη της επιστημονικής έρευνας, η οποία στηριγμένη σε όλο και πιο ακριβείς μετρήσεις από παρατηρήσεις και πειράματα και την επεξεργασία των δεδομένων με νέες μεθόδους και μαθηματική ανάλυση, οδήγησε βαθμιαία στην εδραίωση μιας επιστημονικής θεωρίας για τα άτομα, τις ιδιότητες και τις κινήσεις τους, στα πλαίσια της κινητικής θεωρίας για την ύλη και τη θερμότητα.Η διαμάχη όμως δεν διευθετήθηκε οριστικά υπέρ των ατομιστών παρά μόνο στις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

Στα χρόνια του μεσαίωνα, πολλοί Άραβες στοχαστές αποδέχτηκαν την ατομική θεωρία, αντίθετα με τους σχολαστικούς φιλοσόφους-θεολόγους της Δύσης, οι οποίοι αντιτέθηκαν στη θεώρηση της ατομικής δομής της ύλης υποστηρίζοντας ότι αυτή έρχεται σε σύγκρουση με το δόγμα της μετουσίωσης. Κυρίαρχη άποψη ήταν αυτή του Αριστοτέλη που θεωρούσε ότι κάθε υλικό αποτελείται από τα τέσσερα στοιχεία

ύδωρ, αήρ, γαία, πυρ, που είχε εισάγει ο Εμπεδοκλής. Οπότε το κύριο πρόβλημα των ασχολούμενων με τα υλικά και τις ουσίες (αλχημιστές, φυσιοδίφες, γιατροί κλπ.) ήταν η αναζήτηση της αναλογίας μίξης των συστατικών αυτών στην κάθε ουσία και η επιδίωξη της «μεταστοιχείωσης», δηλαδή της αλλαγής των ιδιοτήτων των ουσιών. Η θερμότητα εθεωρείτο κατά τον μεσαίωνα ότι είναι ένα αβαρές ρευστό που έχει την ιδιότητα να διεισδύει στα υλικά σώματα και να τους προσδίδει την ιδιότητα του θερμού.

Η ατομική θεωρία επανήλθε στο προσκήνιο κατά την περίοδο της Αναγέννησης. Ιδέες σχετικές με τον ατομισμό εμφανίζονται στα γραπτά του Giordano Bruno (1548-1600), Galileo Galilei (1564-1642) και άλλων. Ο Γάλλος φιλόσοφος Πιερ Γκασεντί (Petrus Gassendi 1592-1655) συνέγραψε βιογραφία του Επίκουρου, ξαναφέρνοντας την ατομική θεωρία στην αναγεννησιακή φιλοσοφία. Η ατομική υπόθεση υποστηρίχθηκε αρχικά με επιχειρήματα κυρίως φιλοσοφικού-λογικού περιεχομένου και όχι με βάση παρατηρήσεις και, βεβαίως, όχι με βάση ποσοτικές μετρήσεις. Εν τούτοις ο «νεωτερισμός» των παρατηρήσεων μέσω πειραμάτων, μετρήσεων και μαθηματικών σχέσεων, άρχισε σύντομα να εφαρμόζεται από τους πιο πρωτοπόρους ερευνητές.

Η αναγέννηση και το κίνημα του διαφωτισμού είναι συνδεδεμένα με την επιστημονική επανάσταση, έναυσμα της οποίας ήταν οι αστρονομικές μελέτες του Κοπέρνικου, τον 16^{ο} αιώνα, που κατέληξαν στην τολμηρή παραδοχή για την περιστροφή της Γης γύρω από τον εαυτό της και την περιφορά των πλανητών γύρω από τον Ήλιο (στο περίφημο έργο του "De Revolutionibus Orbium Coelestium", 1543). Αξίζει να σημειωθεί ότι το "Revolutionibus" παρέμεινε στον περίφημο Index της καθολικής εκκλησίας, δηλαδή στον «Κατάλογο απαγορευμένων βιβλίων», μέχρι το 1835. Ο Γαλιλαίος πίστευε ότι για να υπάρχει πρόοδος στην επιστήμη δεν αρκεί μόνο η σκέψη σχετικά με ένα πρόβλημα, πρέπει να πραγματοποιηθούν πειράματα και να εξεταστούν οι ιδέες στον πραγματικό κόσμο. Ήταν από τους οπαδούς της ατομικής θεωρίας στα πλαίσια ενός μηχανιστικού υλισμού και θεωρούσε ότι η κίνηση των ατόμων είναι εξ ίσου σημαντική ιδιότητα με το μέγεθος και το σχήμα τους.

Ο Γκασεντί θεώρησε την ιδέα της ατομικής συγκρότησης της ύλης βασικό σημείο της φιλοσοφίας του και υποστήριξε την εμπειρική μελέτη των φαινομένων και την μέσω αυτών προσέγγιση της επιστημονικής γνώσης για την φυσική πραγματικότητα. Ο Γκασεντί συσχέτιζε τις ιδιότητες των μακροσκοπικών σωμάτων με τις διαφορετικές μορφές των ατόμων που τα απαρτίζουν. Για παράδειγμα, πίστευε ότι τα θερμά σώματα περιείχαν άτομα που ήταν σφαιρικά, ενώ τα ψυχρά σώματα περιείχαν άτομα που είχαν σχήμα πυραμίδας και οι οξείες γωνίες τους προκαλούσαν την αίσθηση του ψύχους. Ο Francis Bacon (1561-1626) δεχόταν την ατομική συγκρότηση της ύλης και θεωρούσε ότι η κίνηση των ατόμων εκδηλώνεται ως θερμότητα του σώματος. Πολύ σημαντικό ρόλο επίσης έπαιξε ο Evangelista Torricceli (1608-1647) που απέδειξε πειραματικά την ύπαρξη του κενού, καταφέρνοντας έτσι ένα σημαντικό πλήγμα στην αριστοτελική φυσική που αρνείτο την ύπαρξη του κενού (υπάρχει ακόμη η έκφραση «η φύση απεχθάνεται το κενό»).

Η επιστημονική επανάσταση που ξεκίνησε με το έργο του Κοπέρνικου, απέκτησε σημαντική δυναμική κυρίως με τις λεπτομερείς αστρονομικές παρατηρήσεις του Τύχο Μπράχε (1546-1601) και τα έργα του Κέπλερ (1571-1630) και του Γαλιλαίου για την κίνηση των πλανητών και την κινηματική και δυναμική των σωμάτων, στα οποία έργα περιλαμβανόταν και η ποσοτική έκφραση και συσχέτιση των μετρούμενων μεγεθών μέσω μαθηματικών σχέσεων. Η σύγχρονη φυσική φιλοσοφία της κλασικής κινηματικής και δυναμικής κορυφώθηκε με την θαυμαστή σύνθεση του Νεύτωνα (1642-1727), που δημοσιεύτηκε το 1687, με το όνομα «Μαθηματικές Αρχές Φυσικής Φιλοσοφίας» Philosophiae Naturalis Principia Mathematica), γνωστό και ως, απλώς,"Principia".

Ο Νεύτων είχε την άποψη ότι η ύλη αποτελείται από σωματίδια σε κίνηση. Ακόμη και για το φως πίστευε ότι αποτελείται από σωματίδια, σε αντίθεση με τη θέση του Χόιχενς για την κυματική φύση του φωτός. Η ύλη του Νεύτωνα δεν ήταν φτιαγμένη από κάτι ποιοτικά διαφορετικό σε σχέση με τα άτομα του Δημόκριτου. Λέει ο Νεύτων:

> «*Μου φαίνεται πιθανόν ότι ο Θεός διαμόρφωσε την ύλη σε σώματα στερεά, συμπαγή, στερεά, αδιαπέραστα, ικανά για κίνηση - και με μεγέθη, μορφές και ιδιότητες τέτοιας φύσης και σε μια τέτοια αναλογία στο χώρο, ώστε να ταιριάζουν κατά τον καλύτερο τρόπο στο σκοπό για τον οποίο τα δημιούργησε. Και τα πρωταρχικά αυτά σωματίδια, όντας στερεά, είναι ασύγκριτα πιο σκληρά από οποιοδήποτε άλλο πορώδες σώμα που συντίθεται από αυτά, κι είναι μάλιστα τόσο σκληρά, ώστε δεν φθείρονται ποτέ κι ούτε σπάνε σε κομμάτια, μια και δεν υπάρχει συνηθισμένη δύναμη ικανή να διαιρέσει αυτό που ο ίδιος ο Θεός έκανε ένα, στην πρώτη στιγμή της δημιουργίας*».

Ο Ντανιέλ Μπερνούλι (1700-1782) προχώρησε στην ιδέα ότι τα αέρια σχηματίζονται από ελαστικά σφαιρίδια που τρέχουν με μεγάλη ταχύτητα, συγκρουόμενα και ανακλώμενα σύμφωνα με τους νόμους της απλής μηχανικής. Η σημερινή αντίληψη που έχουμε για τη φύση της θερμότητας, είναι ότι πρόκειται για την ενέργεια της άτακτης κίνησης των ατόμων και μορίων, μια κίνηση που εκδηλώνεται μακροσκοπικά ως θερμοκρασία, όμως η άποψη αυτή

διαμορφώθηκε μέσα από την ερευνητική δουλειά μεγάλου αριθμού επιστημόνων, μέχρι και τις αρχές του 20ου αιώνα. Εν τούτοις, μέχρι και τον 19ο αιώνα δεν υπήρχε γενική αποδοχή της πραγματικής ύπαρξης των ατόμων.

Μια άλλη θεμελιώδης έννοια που έδωσε ώθηση στην ατομική υπόθεση, είχε διαμορφωθεί μέχρι τον θάνατο του Λαβουαζιέ (1743-1794), η έννοια του χημικού στοιχείου. Χημικά στοιχεία κατά τον Λαβουαζιέ είναι οι ουσίες που δεν μπορεί να αναλυθούν περαιτέρω σε άλλες ουσίες με κανένα φυσικό ή χημικό τρόπο (π.χ. το νερό είναι μια ουσία που μπορεί να αναλυθεί σε άλλες ουσίες, το οξυγόνο και το υδρογόνο, άρα το νερό δεν είναι χημικό στοιχείο, ενώ π.χ. ο χαλκός δεν μπορεί να αναλυθεί σε άλλες ουσίες, άρα είναι χημικό στοιχείο). Είναι ενδιαφέρον ότι στον πρόλογο των «Στοιχείων Χημείας» (1789) ο Λαβουαζιέ γράφει: «*Όλα όσα θα μπορούσαν να ειπωθούν σχετικά με τον αριθμό και την φύση των στοιχείων... είναι συζητήσεις καθαρά μεταφυσικού χαρακτήρα*». Και παρακάτω «*...αν με τον όρο χημικά στοιχεία εννοούμε τα απλά και αδιαίρετα άτομα της ύλης, είναι εξαιρετικά πιθανόν ότι δεν γνωρίζουμε τίποτα γι' αυτά*». Ο Λαβουαζιέ λοιπόν αναφέρει μεν τα άτομα, αλλά θεωρεί ότι πρόκειται μάλλον για φιλοσοφική έννοια και όχι για έννοια που ανήκει στη Χημεία.

Ο πρώτος που ερμήνευσε τα αποτελέσματα των χημικών διαδικασιών και τους νόμους της χημείας, συνδέοντας την έννοια του χημικού στοιχείου με τα άτομα της αρχαίας φιλοσοφίας, είναι ο Άγγλος χημικός John Dalton (1766-1844). Ας σημειωθεί ότι ο Dalton ήταν αυτοδίδακτος, γιός φτωχού υφαντή, που έβγαζε τα προς το ζην ως ιδιωτικός δάσκαλος.

Σε αυτή την συνοπτική εξιστόρηση είδαμε ότι η περιπέτεια της γνώσης για την ατομική δόμηση της ύλης, χρειάστηκε αιώνες για να φτάσει να θεωρείται σήμερα αυτονόητη γνώση και να διδάσκεται στους μαθητές ως η βάση για να μπορέσουν να κατανοήσουν την φυσική πραγματικότητα, δηλαδή τους βασικούς νόμους της Χημείας και της Φυσικής.

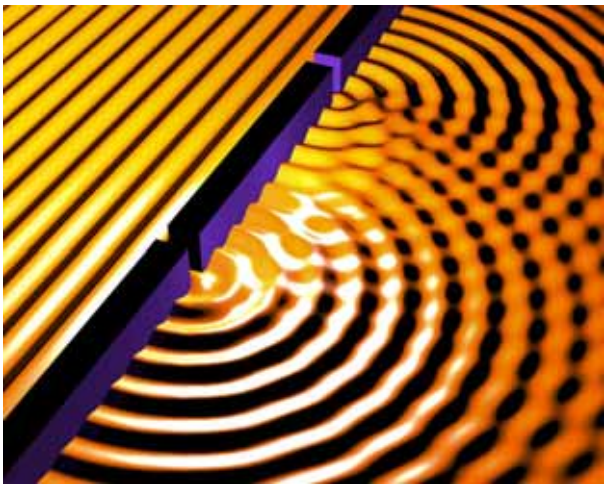
Αλλά, γιατί να ενδιαφέρει σήμερα τους ανθρώπους η επικούρεια φυσική;

Η απάντηση βρίσκεται στην ίδια την επικούρεια φιλοσοφία και είναι η ίδια όπως και στην εποχή του Επίκουρου. Η φυσική είναι ο τρόπος να βλέπουμε την πραγματικότητα, τον κόσμο, βέβαιοι ότι μπορούμε να τον κατανοήσουμε, και ότι δεν περιλαμβάνει στοιχεία έξω από τη λογική μας που να μην μπορούμε να τα προσεγγίσουμε. Η φυσική βέβαια έχει προχωρήσει πολύ από τότε και η διδασκαλία της και η κατανόησή της λεπτομερώς, θέλει ειδικές σπουδές και έρευνα με την επιστημονική μέθοδο. Αλλά όταν έρθουμε σε αυτό που λέγεται εκλαΐκευση της επιστήμης, ή στην πρώτη επαφή μας με την επιστήμη, όπως π.χ. συμβαίνει όταν την προσέγγισή της στο σχολείο από τους μαθητές του δημοτικού και του γυμνασίου, τότε η επικούρεια φυσική μπορεί να αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο. Γιατί είναι η προσέγγιση στον κόσμο και στα φαινόμενο με τη ματιά του απλού ανθρώπου. Η επικούρεια φυσική κάνει επίκληση της προσοχής των ανθρώπων για παρατήρηση των φαινομένων στηριγμένη στην ενάργεια των αισθήσεων. Μετά τον οδηγεί με απλά επιχειρήματα και λογική συνεπαγωγή, σε συσχετισμό της πληροφορίας που αποκτάται για τη δημιουργία πιο γενικών συμπερασμάτων που να είναι κατανοητά από όλους. Οι αστήρικτοι συλλογισμοί και οι νοητικές κατασκευές που δεν εδράζονται στην παρατήρηση και στα γεγονότα, δεν έχουν θέση στην εικόνα μας για τον κόσμο, δεν μας προσφέρουν τη χαρά της κατανόησης και πολλές φορές προκαλούν ακόμη ανησυχία και φόβο. Όπως γράφει ο Αβραάμ Κοέν στο βιβλίο του Η φιλοσοφία του Επίκουρου:

> «*Η επιστημονική έρευνα του φυσικού κόσμου πρέπει να μας δίνει ευλογοφανείς και σύμφωνες με την κοινή λογική και την κοινή αίσθηση προτάσεις για την φύση, τα αίτια και τη λειτουργία των φαινομένων... (που είναι) ένα εκ των ων ουκ άνευ για την επιδίωξη του ευ ζην, της αταραξίας – μιας ζωής απαλλαγμένης από αδικαιολόγητη ανησυχία και φόβο*».

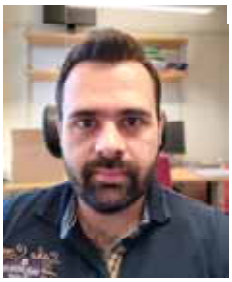
Συμπέρασμα: Η επικούρεια φυσική, ο επικούρειος τρόπος να βλέπουμε τον κόσμο, είναι χρήσιμα για το χτίσιμο μιας κουλτούρας που φέρνει το πλατύ κοινό στην επιστημονική γνώση, που εξοικειώνει τους ανθρώπους με τη λογική της επιστήμης.

Η επικούρεια φυσική μπορεί να αποτελέσει μια καλή εισαγωγή στην εκλαΐκευση της επιστήμης και μπορεί να εφαρμοστεί στην εκπαίδευση των μαθητών.



πλασμονικά νανοσωματίδια για εφαρμογές στο βιολογικό παράθυρο του κοντινού υπέρυθρου

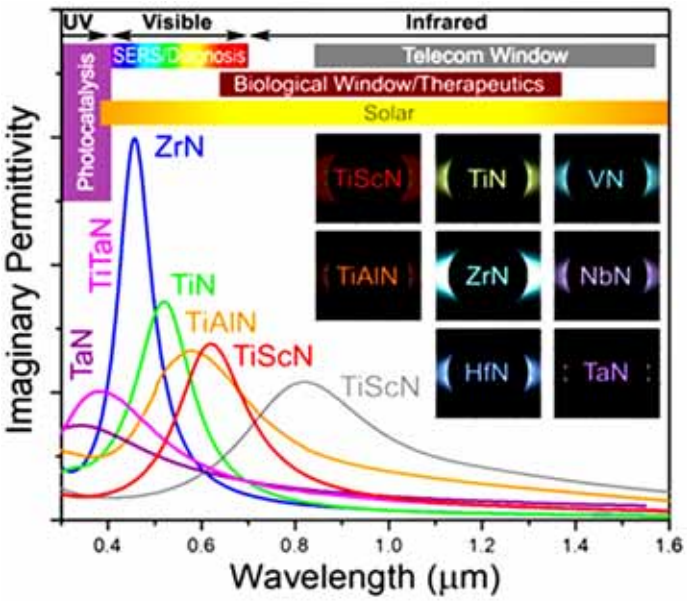
...μία υπόσχεση για την καταπολέμηση του καρκίνου



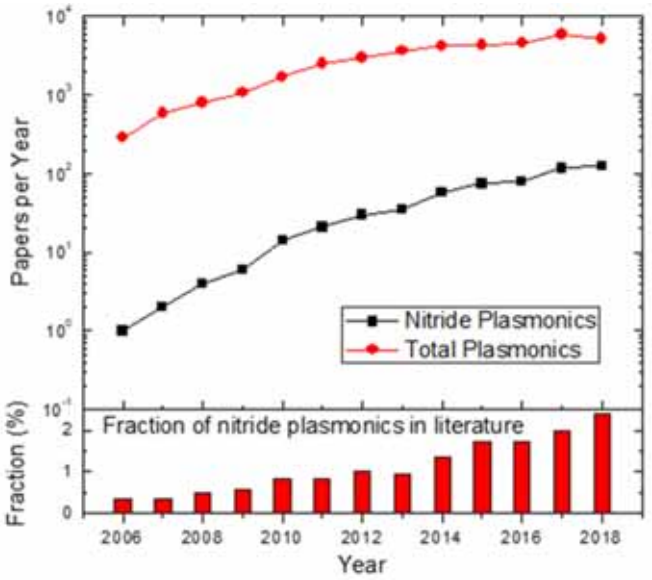
Νικόλαος Πλιάτσικας
Μεταδιδακτορικός Ερευνητής
Τμήματος Φυσικής

Η πλασμονική είναι η επιστήμη που μελετά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φωτονίων και μεταλλικών νανοδομών που εμφανίζουν μοναδικά οπτικά φαινόμενα, όπως ο τοπικός συντονισμός επιφανειακών πλασμονίων (Local Surface Plasmon Resonance – LSPR). Ο LSPR εκφράζεται αποκλειστικά στη νανοκλίμακα μέσω αλληλεπιδράσεων φωτονίων με μεταλλικές πλασμονικές νανοδομές. Τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η πλασμονική έχει καθιερωθεί ως μία από τις πιο δυναμικές και ταχέως αναπτυσσόμενες τεχνολογίες που υπόσχεται ριζικές αλλαγές στην αντίληψη και κατανόηση των αλληλεπιδράσεων φωτός-ύλης, στις βασικές τεχνολογίες, όπως στις τηλεπικοινωνίες, τους υπολογιστές, και στην φωτο- και βιο-ανίχνευση/διάγνωση. Επιπλέον, βρίσκει εφαρμογή στη συλλογή ηλιακής ενέργειας καθιστώντας την αποτελεσματικότερη, στους λαμπτήρες στερεάς κατάστασης, στη φωτοχημεία καθώς και σε θεραπευτικές μεθόδους.[1,2] Ωστόσο, ένα βασικό μειονέκτημα στην πορεία από το εργαστήριο στην αγορά, είναι η εξάρτηση των περισσότερων πλασμονικών συστημάτων από τα παραδοσιακά πλασμονικά μέταλλα, τον χρυσό (Au) και τον άργυρο (Ag), τα οποία έχουν χαμηλά σημεία τήξης, ειδικά στη μορφή νανοσωματιδίων. Κατά συνέπεια, η μεγάλη επιφανειακή διάχυση που προκύπτει, οδηγεί στην αδυναμία αντοχής υψηλών θερμοκρασιών ή/και υψηλών ηλεκτρικών πεδίων συγκεντρωμένου φωτός, που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες ρεαλιστικές εφαρμογές. Προκειμένου να ξεπεραστεί το εμπόδιο αυτό, προτάθηκε η χρήση Πυρίμαχων Αγώγιμων Νιτριδίων,[3,4] όπως το νιτρίδιο του τιτανίου (TiN)[5] και το νιτρίδιο του ζιρκονίου (ZrN).[6]

Το TiN και το ZrN είναι διαδεδομένοι πυρίμαχοι αγωγοί και χρησιμοποιούνται ήδη από τη δεκαετία του 1990 στη βασική βιομηχανία μικροηλεκτρονικής ως διαφράγματα διάχυσης. Οι οπτικές τους ιδιότητες ανταγωνίζονται τις αντίστοιχες του Au. Η επιτυχία των πρώτων προσπαθειών χρήσης κυρίως του TiN ως πλασμονικό συστατικό οδήγησε στη διερεύνηση άλλων νιτριδίων της ίδιας κατηγορίας (HfN, VN, NbN, TaN, WN, MoN)[7,8] και τριμερών κραμάτων αυτών, οι οποίες εμφάνισαν παραμετροποιημένες πλασμονικές ιδιότητες από το υπεριώδες (150 nm) έως το κοντινό υπέρυθρο (1500 nm) ως μια ενιαία πλατφόρμα (Σχήμα 1). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το θέμα των πλασμονικών νιτριδίων και των νανοδομών τους αποτελεί μία από τις αναδυόμενες πτυχές της τεχνολογίας στην πλασμονική, με την εξέλιξη των δημοσιεύσεων στην πλασμονική (κόκκινα σημεία) να συγκρίνεται με αυτά των πλασμονικών νιτριδίων (μαύρα σημεία) σύμφωνα με την πλατφόρμα αναζήτησης Scopus (Σχήμα 2). Φαίνεται λοιπόν, ότι τα πλασμονικά νιτρίδια αποτελούν ένα αρκετά ανεξερεύνητο θέμα, το οποίο εμφανίζεται τα τελευταία πέντε χρόνια. Μάλιστα, η εμφάνιση των πλασμονικών νιτριδίων δεν ακολουθεί τη συνεχή ανάπτυξη του πεδίου της πλα-



Σχήμα 1: Η προβλεπόμενη πλασμονική απόδοση διαφόρων αγώγιμων νανοσωματιδίων από μεταλλικά νιτρίδια στον αέρα.[12]



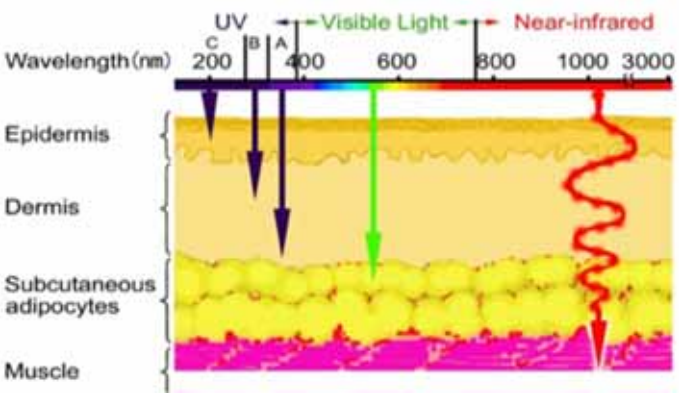
Σχήμα 2: Εξέλιξη της βιβλιογραφίας σε θέματα της πλασμονικής στο σύνολό της και ειδικότερα των πλασμονικών νιτριδίων. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από το www.scopus.com.

σμονικής, αλλά την ξεπερνάει καταλαμβάνοντας αυξανόμενα με το χρόνο ποσοστά επί των συνολικών εφαρμογών, αποδεικνύοντας έτσι τη δυναμικότητα του θέματος αυτού [Σχήμα 2 (κάτω)].

Μία ιδιαιτερότητα στην πλασμονική απόδοση του TiN είναι η ικανότητα του να επεκτείνεται στο εύρος του κοντινού υπέρυθρου, και συγκεκριμένα στο παράθυρο των βιολογικών εφαρμογών και εφαρμογών τηλεπικοινωνίας (Σχήματα 1 και 3) μέσω κράματος με Mg[10] ή Al,[11] ή μεταβάλλοντας τη στοιχειομετρία του N.[12] Η φασματική αυτή μετατόπιση στο κοντινό υπέρυθρο οφείλεται στην εξάντληση των ηλεκτρονίων αγωγιμότητας του TiN λόγω περίσσειας N ή λόγω της αντικατάστασης των ατόμων Ti στο μεταλλικό υπόστρωμα από Al ή Mg, το οποίο έχει ένα ηλεκτρόνιο σθένους μικρότερο από Ti.[11] Κατόπιν παρόμοιων εκτιμήσεων σχετικά με την ηλεκτρονική δομή των συστατικών στοιχείων και τη δομική σταθερότητα των τριαδικών ενώσεων, αναμένεται ότι το νιτρίδιο του ζιρκονίου (ZrN) καθώς και κράματα αυτού, μπορούν επίσης να είναι ισχυροί υποψήφιοι ως πλασμονικά υλικά στο κοντινό υπέρυθρο.

Τα πλασμονικά νανοσωματίδια με συντονισμό στο κοντινό υπέρυθρο (ειδικά μεταξύ 1000-1100 nm) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτελεσματική συλλογή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και την κατά τόπους θέρμανση κοντά στο σωματίδιο.[13] Η διαδικασία αυτή ονομάζεται «οπτική υπερθερμία»[14] ή «πλασμονική υπερθερμία»[15,16] και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια ποικιλία φωτοθερμικών εφαρμογών από αισθητήρες και ενεργοποιητές έως φωτοκατάλυση και σήμανση ασφαλείας, και κυρίως στην βιοϊατρική. Για παράδειγμα, τα νανοσωματίδια που εγχέονται σε μια περιοχή όγκου μπορούν να θερμανθούν μέσω φωτός λέιζερ με μήκος κύματος στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου όπου η εξασθένιση του φωτός μέσω βιολογικού ιστού είναι πολύ χαμηλή (Σχήματα 3 και 4), αντί μαγνητικού πεδίου εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιείται στην παραδοσιακή μαγνητική υπερθερμία.[17,18] Το κύριο πλεονέκτημα της οπτικής/πλασμονικής υπερθερμίας σε σύγκριση με τη μαγνητική είναι η εξαιρετικά υψηλή χωρική ακρίβεια στη στόχευση του όγκου χρησιμοποιώντας μια εστιασμένη δέσμη λέιζερ. Η χρήση πλασμονικών νανοσωματιδίων που απορροφούν σε μεγάλο βαθμό στο εύρος του κοντινού υπέρυθρου ενδείκνυνται για την τοπική θέρμανση των όγκων χρησιμοποιώντας αρκετά χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας, προστατεύοντας έτσι το δέρμα από τη γήρανση.[9]

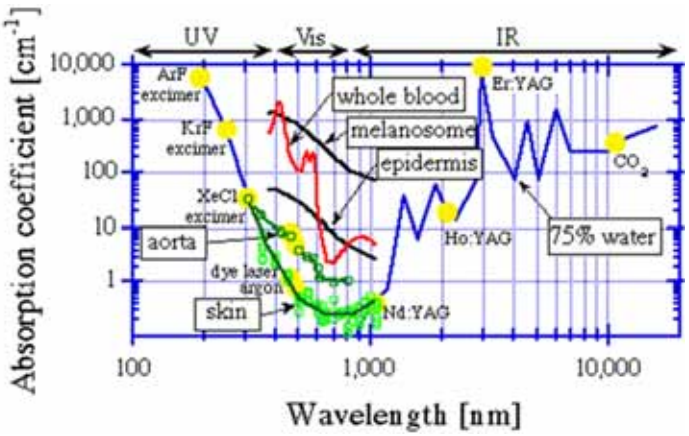
Τα νανοσωματίδια και οι νανοδομές Au έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε φωτοθερμικά πειράματα. Ωστόσο, η φασματική αναντιστοιχία των σφαιρικών νανοσωματιδίων Au και της διαφάνειας στο βιολογικό παράθυρο οδήγησε στην ανάγκη για σχετικά μεγαλύτερες διαστάσεις και πιο περίπλοκες νανοδομές όπως τα μονοστρωματικά (nanoshells) και πολυστρωματικά (multishells) κελύφη.[19] Το μέγεθος των νανοσωματιδίων είναι μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει βασικές διαδικασίες όπως η κυτταρική πρόσληψη και η απομάκρυνση από το σώμα μετά τη θεραπεία. Οι Huang *et al.* χρησιμοποίησαν βιοαποικοδομήσιμα νανοσωματίδια Au για να βελτιώσουν την αποβολή των νανοσωματιδίων.[20] Η ενισχυμένη πλασμονική σύζευξη μεταξύ των νανοσωματιδίων σε κλειστή δομή οδήγησε σε μια μετατόπιση σε υψηλότερα μήκη κύματος και διεύρυνση του συντονισμού, επιτρέποντας την οπτική διέγερση στο βιολογικό παράθυρο εφαρμογών. Για να μειωθούν οι διαστάσεις των σωματιδίων και να αυξηθεί η πρόσληψη όγκου, οι Goodman *et al.* πρόσφατα εξέτασαν *in vivo* σφαιρικά Au μονοστρωματικά κελύφη και παρατήρησαν αστάθειες λόγω κατακερματισμού.[21] Οι νανοράβδοι (nanorods) μπορούν να



Σχήμα 3: Σχηματική απεικόνιση της διείσδυσης του φωτός στο ανθρώπινο δέρμα και τους μύες στις φασματικές περιοχές υπεριώδους, ορατού και κοντινού υπερύθρου (UV-Vis-NIR).[9]

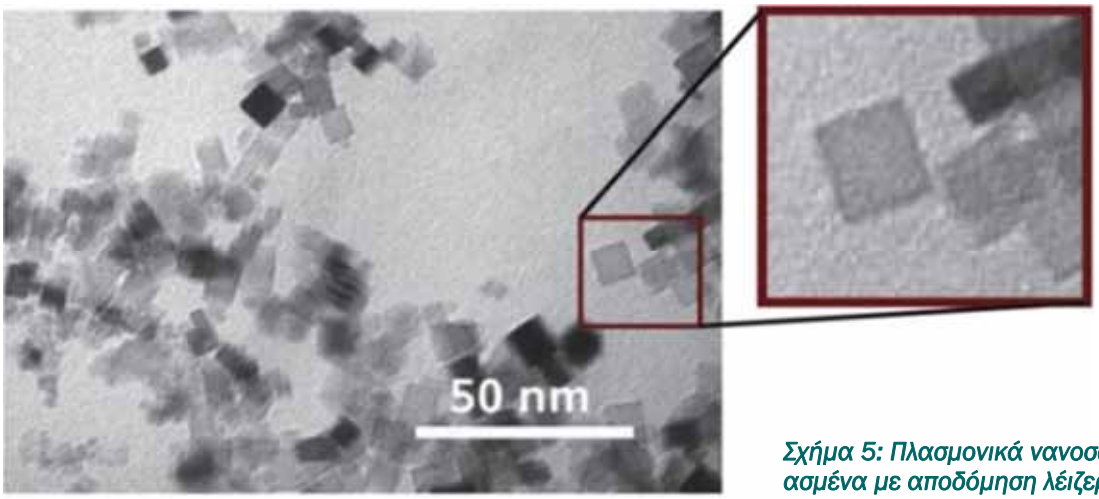
χρησιμοποιηθούν ως μια απλούστερη γεωμετρία, όπου το πρόβλημα της φασματικής αναντιστοιχίας επιλύεται μέσω υψηλότερων αναλογικών διαστάσεων που μετατοπίζουν εκ νέου τον πλασμονικό συντονισμό στο βιολογικό παράθυρο εφαρμογών. Ωστόσο, οι επιφανειοδραστικές ουσίες που διαδέχονται από μία τέτοια σύνθεση νανοσωματιδίων προκαλούν προβλήματα τοξικότητας που επιφέρουν περιορισμούς στη χρήση των νανοράβδων στις βιοϊατρικές εφαρμογές.[22] Επιπλέον, έχει αναφερθεί ότι νανοσωματίδια με υψηλότερο λόγο διαστάσεων είναι πιθανό να καταστέλλουν την κυτταρική πρόσληψη.[23] Οι μικρότερες διαστάσεις σωματιδίων με απλούστερες δομές είναι ικανές να εξαλείψουν τις πολυπλοκότητες, λόγω της γεωμετρίας των νανοσωματιδίων. Συνεπώς, ένα βιοσυμβατό υλικό με διπολική πλασμονική συχνότητα συντονισμού κοντά στο βιολογικό παράθυρο θα αύξανε την αποτελεσματικότητα της μεθόδου σημαντικά. Πρόσφατα, έχει αποδειχθεί ότι το TiN καθώς και τριμερή κράματα αυτού μπορούν να παρέχουν διπολικούς συντονισμούς ακριβώς στο επιθυμητό εύρος για θεραπευτικές εφαρμογές. Επιπλέον, έχει επίσης αποδειχθεί ότι τα νανοσωματίδια του TiN δρουν πιο αποτελεσματικά σε σχέση με τα νανοσωματίδια του Au πανομοιότυπων γεωμετριών όταν διεγείρονται με ακτινοβολία λέιζερ στα 800 nm.[24] Η κορυφή συντονισμού των νανοσωματιδίων του TiN βρέθηκε να είναι ευρύτερη από τα νανοσωματίδια του Au. Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα πλασμονικά νανοσωματίδια του TiN με ένα απλό σφαιρικό σχήμα, χωρίς κανένα περιορισμό μεγέθους, μπορούν να είναι κατάλληλα για χρήση στην φωτοθερμική θεραπεία. Το γεγονός ότι το TiN χρησιμοποιείται ήδη ως επίστρωση για βιοϊατρικά εμφυτεύματα και πολλές άλλες βιολογικές εφαρμογές, το καθιστά μια πολύ ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση έναντι των νανοδομών Au, καθώς η βιοσυμβατότητά του έχει αποδειχτεί, τουλάχιστον σε μορφή υμενίου. Ωστόσο, η κατασκευή κολλοειδών πλασμονικών νανοσωματιδίων TiN, η οποία είναι η απαιτούμενη μορφή στις θεραπευτικές εφαρμογές με βελτιστοποιημένες οπτικές ιδιότητες, εξακολουθεί να αποτελεί μεγάλη τεχνολογική πρόκληση και σήμερα. Για μια τέτοια προσπάθεια, η από τη βάση προς τα πάνω προσέγγιση θα ήταν ευνοϊκή ή/και απαραίτητη στις περιπτώσεις που απαιτούνται νανοσωματίδια σε μορφή αιωρήματος σε διάλυμα. Έτσι, η ανάπτυξη σκόνης TiN με βελτιστοποιημένες πλασμονικές ιδιότητες γίνεται μια σημαντική και συναρπαστική πρόκληση υψηλού αντίκτυπου.

Έχει αναφερθεί μέχρι σήμερα ποικιλία μεθόδων που οδηγούν στην ανάπτυξη TiN σε μορφή σκόνης. Μεταξύ πολλών διαφορετικών προσεγγίσεων, η άμεση νιτριδίωση του τιτανίου, η αμμωνόλυση του οξειδίου του τιτανίου, η σύνθεση ατμών, η αναγωγή



Σχήμα 4: Κύρια φάσματα απορρόφησης βιολογικών ιστών. Εμφανίζονται επίσης οι συντελεστές απορρόφησης σε ορισμένα τυπικά μήκη κύματος από διατάξεις λέιζερ.[9]

-νιτριδίωση, η ουρία και η θερμική κατεργασία του βενζολίου μπορούν να καταχωριστούν ως κοινές μέθοδοι.[25,26] Ωστόσο, οι οπτικές ιδιότητες TiN σε μορφή σκόνης που αποκτήθηκαν μέσω αυτών των μεθόδων δεν έχουν διερευνηθεί περαιτέρω, και έτσι η πλασμονική τους απόδοση εμφανίζεται ως ένα πολύ σοβαρό κενό στη βιβλιογραφία και την επιστημονική γνώση. Η πλασμονική τους δραστηριότητα δεν μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη, καθώς η ύπαρξη ατελειών δομής μπορεί να την εξαλείψει. Η πιο ελπιδοφόρος οδός απόκτησης πλασμονικών σωματιδίων TiN, τα οποία έχουν αποδεδειγμένη πλασμονική δραστηριότητα,[27] είναι η μέθοδος αποδόμησης με χρήση λέιζερ. Χρησιμοποιώντας ένα λεπτό υμένιο TiN με βελτιστοποιημένες πλασμονικές ιδιότητες ως πρόδρομο υλικό, μπορεί κανείς να αποκτήσει νανοσωματίδια αφαιρώντας τον στόχο. Πράγματι, οι Reinholdt *et al.* χρησιμοποίησαν την τεχνική αποδόμησης λέιζερ στην εργασία τους, όπου προέκυψαν τα πρώτα πειραματικά δεδομένα σχετικά με τα σωματίδια πλασμονικού TiN[27] (Σχήμα 5). Τα νανοσωματίδια που παρήχθησαν έδειξαν πανομοιότυπες δομικές ιδιότητες με το αρχικό υλικό. Τα αναφερόμενα μεγέθη σωματιδίων ήταν κάτω των 10 nm με ευρεία διασπορά και λήφθηκαν κορυφές απορρόφησης περίπου στα 1.7 eV. Λαμβάνοντας δε υπόψη το γεγονός ότι η αποδόμηση με λέιζερ έχει μελετηθεί ευρέως και το επίπεδο γνώσεων σχετικά με τη μέθοδο αυξάνεται σταθερά,[28] η μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας πιθανός τρόπος επίτευξης του στόχου των κολλοειδών πλασμονικών νανοσωματιδίων με βάση το TiN. Πράγματι, η μέθοδος είναι γνωστή ότι είναι επωφελής για βιολογικές εφαρμογές λόγω των επιφανειών νανοσωματιδίων χωρίς προσδέματα.[29] Οι Takada *et al.* χρησιμοποίησαν έναν στόχο Ti σε περιβάλλον υγρού αζώτου, προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα που προκύπτουν από τις μηχανικές ιδιότητες του TiN ως στόχος. Ωστόσο, τα μεγέθη σωματιδίων που προέκυψαν ήταν περίπου 800 nm, διαστάσεις δηλαδή πολύ μεγαλύτερες



Σχήμα 5: Πλασμονικά νανοσωματίδια TiN κατασκευασμένα με αποδόμηση λέιζερ σε διάλυμα.[27]

από τις συνήθεις σε εφαρμογές πλασμονικής.[30] Επομένως, η μέθοδος είναι πολύ ελπιδοφόρα για την παραγωγή κολλοειδών πλασμονικών αιωρημάτων με βάση το TiN. Δεδομένου ότι οι πλασμονικές ιδιότητες των υλικών στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου είναι εξαιρετικά ευαίσθητες στη στοιχειομετρία[12] ή στο ντόπινγκ[10,31] του TiN, η αποδόμηση με ακτινοβολία λέιζερ εμφανίζεται ως η αδιαμφισβήτητη μέθοδος επιλογής, επειδή ένα από τα κύρια πλεονεκτήματά της είναι ότι διατηρείται στα παραγόμενα νανοσωματίδια η στοιχειομετρία του στόχου.[32,33]

Πηγές

[1] *Boltasseva A., Dionne J., Optical Materials Express 5, 2978 (2015).*
[2] *Babicheva V.E. et al., Optics Express 21, 27326 (2013).*
[3] *Ndukaife J., Shalaev V.M., Boltasseva A., Science 351, 334 (2016).*
[4] *Gui L. et al, Nano Letters 16, 5708 (2016).*
[5] *Patsalas P. et al., Mater. Sci. Eng. R: Reports 123, 1 (2018).*
[6] *Naik G., Shalaev V.M., Boltasseva A., Adv. Mater. 25, 3264 (2013).*
[7] *Lalisse A. et al., Scientific Reports 6, 38647 (2016)*
[8] *Guler U., Shalaev V.M., Boltasseva A., Mater. Today 18, 227 (2015).*
[9] *Tanaka Y. et al., Plastic Surgery: An Inter. J. 2013, 973073 (2013).*
[10] *Kassavetis S. et al., Journal of Applied Physics 120, 225106 (2016).*
[11] *Kassavetis S. et al., Surf. Coat. Technology 295, 125 (2015).*
[12] *Patsalas P. et al., Mater. Sci. Eng. R: Reports 123, 1 (2018).*
[13] *Govorov A.O., Richardson H.H., Nano Today 2 30 (2007).*
[14] *Hirsch L.R. et al, Proc. Nat. Acad. Sci. USA 100, 13549 (2003).*
[15] *Fratila R., Martínez De La Fuente J. (Eds), Nanomaterials for Magnetic and Optical Hyperthermia Applications, Elsevier (2018).*
[16] *Ovejero, J.G. et al., Phys. Chem. Chem. Phys. 20, 24065 (2018)*
[17] *Mornet S. et al Journal of Materials Chemistry 14, 2161 (2004).*
[18] *Kumar C.S.S.R. et al, Adv. Drug Delivery Reviews 63, 789 (2011).*
[19] *Ayala-Orozco C. et al.. ACS Nano 8, 6372 (2014).*
[20] *Huang P. et al. Angew. Chem. Int. ed. 52, 13958 (2013).*
[21] *Goodman A.M. et al. ACS Nano 8, 3222 (2014)*
[22] *Li Z. et al. Mol. Pharm. 7, 94 (2009).*
[23] *Dasgupta S. et al, Nano Lett. 14, 687 (2014).*
[24] *Guler U. et al. Nano Lett. 13, 6078 (2013).*
[25] *Li J., et al. J. Am. Ceram. Soc. 84, 3045 (2001).*
[26] *Giordano C., et al. Chem. Mater. 21, 5136 (2009).*
[27] *Reinholdt A., et al. Eur. Phys. J. D 31, 69 (2004).*
[28] *Unger C., et al. Opt. Express 20, 24864 (2012).*
[29] *Barcikowski S., Mafune F., J. Phys. Chem. C 115, 4985 (2011).*
[30] *Takada N., Sasaki T., Sasaki K., Appl. Phys. A 93, 833 (2008).*
[31] *Kassavetis S. et al, Applied Physics Letters 108, 263110 (2016).*
[32] *Zeng H. et al, Advanced Functional Materials 22, 1333 (2012).*
[33] *Zhang D., Gökce B., Barcikowski S., Chem. Rev. 117, 3990 (2017).*

Το άρθρο αποτελεί σύντομη περιγραφή του Ερευνητικού Έργου με τίτλο "Παρασκευή, πλασμονική και φωτοθερμική απόδοση και κυτταροτοξικότητα νανοσωματιδίων με βάση το νιτρίδιο του Τιτανίου στο βιολογικό παράθυρο του υπερύθρου για βιοϊατρικές εφαρμογές» / Fabrication, plasmonic and photothermal performance and cytotoxicity of TiN-based nanoparticles in the infrared biological window for biomedical applications (BioNanoTiN)" το οποίο επιλέχθηκε για χρηματοδότηση από το ΕΛ.Ι.ΔΕ.Κ στο πλαίσιο της «2ης Προκήρυξης ερευνητικών έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση Μεταδιδακτορικών Ερευνητών/τριών», Επιστημονικά Υπεύθυνος: Δρ. Ν. Πλιάτσικας, Επιστημονικός Σύμβουλος έργου: Καθηγ. Παναγιώτης Πατσαλάς, Φορέας Υποδοχής: Τμήμα Φυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΑΠΘ .

λίγα λόγια για τον Στάθη Πολυχρονιάδη

Στις 13 Μαΐου 2021 έφυγε από τη ζωή ο Ομότιμος Καθηγητής Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του ΑΠΘ Στάθης Πολυχρονιάδης. Μέρα Μαγιού μας άφησε ο Στάθης….

Γεννήθηκε στη Θεσσαλονίκη το 1946. Ολοκλήρωσε τις εγκύκλιες και πανεπιστημιακές του σπουδές (πτυχίο Φυσικής) στη Θεσσαλονίκη. Οι μεταπτυχιακές του σπουδές (M.Sc. και Ph.D.) στην Επιστήμη Υλικών Τεχνολογίας έγιναν στο Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ.

Εργάσθηκε ερευνητικά στο εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ και στο εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Τμήματος Επιστήμης Υλικών του Κέντρου Πυρηνικής Ενέργειας SCK/CEN, στο Βέλγιο.

Το 1973 διορίσθηκε Βοηθός στο τότε Εργαστήριο της Β΄ Έδρας Φυσικής και το 2006 εξελίχθηκε στη θέση του καθηγητή στον Τομέα Φυσικής Στερεάς Κατάστασης, θέση που κατείχε μέχρι τη συνταξιοδότησή του στις 31 Αυγούστου 2013, υπηρετώντας ευδόκιμα το Τμήμα Φυσικής και το Πανεπιστήμιό μας γενικότερα επί 40 χρόνια. Το 2014, με απόφαση της Συγκλήτου, του απονεμήθηκε ο τίτλος του ομότιμου καθηγητή του ΑΠΘ.

Στα ερευνητικά του ενδιαφέροντα ήταν οι μελέτες στην ανάπτυξη και δομικό χαρακτηρισμό υλικών τεχνολογίας σε μικροσκοπική και νανοσκοπική κλίμακα με Ηλεκτρονική Μικροσκοπία. Έχει συντονίσει ως επιστημονικώς υπεύθυνος πολλά ευρωπαϊκά και εθνικά ερευνητικά προγράμματα. Συνέγραψε μόνος ή σε συνεργασία 9 διδακτικά βιβλία και σημειώσεις και περισσότερες από 230 δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά και πρακτικά διεθνών συνεδρίων που είχαν μεγάλη διεθνή απήχηση.

Έχει επιβλέψει 7 διδακτορικές διατριβές, έχει οργανώσει πολλά διεθνή επιστημονικά συνέδρια και σχολεία και συμμετείχε στις επιστημονικές ή οργανωτικές επιτροπές πολλών διεθνών συνεδρίων. Υπήρξε από τους πρωτεργάτες της Balkan Physical Union (BPU). Μέσω όλων αυτών των δραστηριοτήτων συνεργάσθηκε με δεκάδες ερευνητές από Ευρώπη, Ασία και Αφρική, ενώ πολλοί νέοι ερευνητές από διάφορες χώρες φιλοξενήθηκαν στο εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας για ερευνητική δραστηριότητα.

Εξαιρετικός επιστήμονας, υπηρέτησε την επιστήμη της Φυσικής με πάθος και ανιδιοτέλεια, ιδιαίτερα αγαπητός στους φοιτητές του και στους συναδέλφους του, σεμνός άνθρωπος, με ακαδημαϊκό ήθος, ξεχωριστός από κάθε άποψη.

Βοήθησε πολλούς νεότερους του συναδέλφους, υποψήφιους διδάκτορες, μεταπτυχιακούς και προπτυχιακούς φοιτητές στην επιστημονική τους εξέλιξη.

Μόχθησε για την εύρυθμη λειτουργία του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας καθώς για περισσότερα από δέκα χρόνια ήταν υπεύθυνος της ομάδας Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας, τα δε δύο τελευταία έτη της πανεπιστημιακής του καριέρας είχε και τυπικά τον τίτλο του Διευθυντή του Εργαστηρίου. Το ενδιαφέρον του για το εργαστήριο συνεχίσθηκε και μετά τη συνταξιοδότησή του.

Ένας άνθρωπος με πολλές ευαισθησίες στα πολιτιστικά, ένας άνθρωπος που διέθετε πολύ από το χρόνο του, την ενέργειά του και τα συναισθήματά του για να προσφέρει ποικιλοτρόπως στις Ελληνικές μειονότητες, κυρίως στην Τουρκία και στην Αλβανία. Διοργανωτής πολιτιστικών εκδηλώσεων, επισκέψεων, εκδρομών που ενδιέφεραν την ελληνική κοινωνία και ιδιαίτερα την κοινωνία της πόλης μας.

Σταχυολογούμε ορισμένα από αυτά που έγραψαν γι' αυτόν, συνάδελφοι από πολλά τμήματα του ΑΠΘ.

- *Ο Στάθης ήταν ένας πολύ αγαπητός συνάδελφος με αγάπη και προσφορά για όλους και για όλα. Χαμογελαστός και πρόθυμος να βοηθήσει!*
- *Άνθρωπος με καθαρή ματιά και ίσιες απόψεις ο Στάθης. Χαμηλών τόνων, άνθρωπος της προσφοράς.*
- *Εξαιρετικός και αγαπητός συνάδελφος και φίλος.*
- *Θα τον θυμόμαστε πάντοτε σαν ένα γλυκό δάσκαλο και άνθρωπο.*
- *Ο Στάθης ήταν ένας ιδιαίτερα φιλικός συνάδελφος, με ανοιχτό μυαλό και έντονη κοινωνική προσφορά.*
- *Ο Στάθης ήταν ένα υπέροχος συνάδελφος και φίλος.*

- *Στάθη καλό ταξίδι. Η ευγένεια σου δυσαναπλήρωτη. Θα θυμάμαι το χαμόγελο σου.*
- *Θαύμαζα πάντα τη σύνεση αλλά και τη γλυκύτητά του. Εύχομαι η προσφορά του να αποτελέσει παράδειγμα για τους νεότερους.*
- *Άνθρωπος ήπιος, του διαλόγου και κατανόησης, της επιστημονικής, κοινωνικής, πολιτιστικής και πατριωτικής προσφοράς. Ταξιδευτής διοργανωτής και επικεφαλής μιας ομάδας ανθρωπιστικής -πολιτιστικής-πατριωτικής κατεύθυνσης.*
- *Άνθρωπος ξεχωριστός για την καλοσύνη και την ευγένεια του χαρακτήρα του. Θα μας λείψει πολύ.*
- *Ο Στάθης Πολυχρονιάδης άφησε πίσω του μνήμη ανδρός αγαθού με τα έργα του εντός και εκτός των τειχών του Πανεπιστημίου μας. Θα τον θυμάμαι πάντα με μια αγνή καρδιά και παιδική χαρά και με το κεφάλι ψηλά να ταξιδεύει στην ομορφιά του έναστρου ουρανού.*

Θα λείψει σε όλους μας. Θα τον θυμόμαστε πάντα.

Καλό σου ταξίδι Στάθη

Χαράλαμπος Δημητριάδης
Ομότιμος Καθηγητής, ΑΠΘ

Νικόλαος Φράγκης
Καθηγητής Τμήματος Φυσικής, ΑΠΘ

Με τον αρχιεπίσκοπο Αλβανίας Αναστάσιο, από επίσκεψη στα Τίρανα το 2014.

απόφοιτοι του τμήματος έδωσαν τα ονόματά τους σε Αστεροειδείς του Ηλιακού μας συστήματος

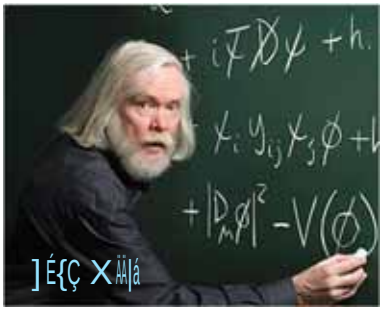
συνέβησαν στο τμήμα

Η επιτροπή ονοματολογίας μικρών σωμάτων της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης τίμησε τρεις πρώην φοιτητές του τμήματός μας, τον Γιώργο Τσιρβούλη, την Αθανασία Τόλιου και την Χρύσα Αβδελίδου, δίνοντας τα ονόματά τους σε Αστεροειδείς του Ηλιακού μας συστήματος [(28609) Tsirvoulis, (31873) Toliou, (45846) Avdellidou]. Πρόκειται για μια σημαντική διάκριση η οποία τους απονέμεται λόγω της σημαντικής συνεισφοράς τους στην μελέτη των αστεροειδών και της εξέλιξης του Ηλιακού μας συστήματος.

- Η **Χρύσα Αβδελίδου** αποφοίτησε το 2012 και συνέχισε τις διδακτορικές της Σπουδές στο Πανεπιστήμιο του Kent στην Αγγλία όπου έλαβε το δίπλωμά της το 2016. Στη συνέχεια εργάστηκε για δύο χρόνια στην ESA και σήμερα είναι μεταδιδακτορική ερευνήτρια στο Αστεροσκοπείο της Νίκαιας.
- Η **Αθανασία Τόλιου** αποφοίτησε το 2011. Έλαβε το μεταπτυχιακό της δίπλωμα από το πανεπιστήμιο της Uppsala της Σουηδίας και συνέχισε τις διδακτορικές της σπουδές στο Τμήμα μας. Ορκίστηκε διδάκτορας το 2019 και σήμερα εργάζεται ως μεταδιδακτορική ερευνήτρια σε ερευνητικό κέντρο του Πανεπιστημίου της Luleå στη Σουηδία.
- Ο **Γιώργος Τσιρβούλης** αποφοίτησε το 2011 και συνέχισε τις μεταπτυχιακές του σπουδές στην Uppsala της Σουηδίας όπου πήρε το δίπλωμά του το 2013 και στη συνέχεια έκανε την διδακτορική του διατριβή στο Αστεροσκοπείο του Βελιγραδίου μέχρι το 2018. Σήμερα εργάζεται ως μεταδιδακτορικός ερευνητής σε ερευνητικό κέντρο του Πανεπιστημίου της Luleå στη Σουηδία.

η ομιλία του John Ellis

στο 38ο ετήσιο Συνέδριο της ΕΕΣΦΥΕ



Το Σάββατο 19/6/21 δόθηκε από τον John Ellis ομιλία με θέμα «Το μέλλον της Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων» στο πλαίσιο των Σεμιναρίων του Τομέα Πυρηνικής Φυσικής & Στοιχειωδών Σωματιδίων αλλά και του 38ου ετήσιου Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας Σπουδών στη Φυσική Υψηλών Ενεργειών (ΕΕΣΦΥΕ).

Το φετινό Συνέδριο διοργανώθηκε από τον τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων του Τμήματος Φυσικής, ΑΠΘ, υπό την αιγίδα του Τμήματος Φυσικής. Στις τρεις ημέρες του, 16-19/6/21, παρουσιάστηκαν πρόσφατα πειραματικά και θεωρητικά αποτελέσματα σε θέματα όπως η ανώμαλη διπολική μαγνητική ροπή του μιονίου, ο πληθωρισμός, η σκοτεινή ύλη, αλλά και οι εξελίξεις στο χώρο των επιταχυντών σωματιδίων κ.α.

Καθοριστικό σημείο του φετινού Συνεδρίου ήταν η ομιλία του γνωστού παγκοσμίως θεωρητικού φυσικού Dr. John Ellis, ο οποίος αφότου έλαβε το διδακτορικό δίπλωμά του από το Πανεπιστήμιο του Cambridge, εργάστηκε στο SLAC, το Caltech και στο CERN (1973-2011) όπου διατέλεσε και επικεφαλής του Θεωρητικού Τομέα για 6 χρόνια. Ορόσημα της ερευνητικής του πορείας αποτελούν η πρόταση που έκανε το 1976, που οδήγησε στην ανακάλυψη του γκλουονίου το 1979, ενώ ήταν από τους πρώτους που μελέτησαν το πώς μπορεί να παραχθεί και να ανιχνευτεί το μποζόνιο Higgs, που τελικά ανακαλύφθηκε το 2012 στο CERN. Σήμερα, με έδρα το King's College στο Λονδίνο, ασχολείται με την περαιτέρω κατανόηση των ιδιοτήτων του μποζονίου Higgs, τα προβλήματα του Καθιερωμένου Προτύπου των Στοιχειωδών Σωματιδίων και τη λύση αυτών με νέες θεωρίες φυσικής (π.χ. υπερσυμμετρία), καθώς και με πειράματα για την εύρεση υπερσυμμετρικών σωματιδίων, αλλά και την ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων.

Η ομιλία ξεκίνησε με μια ιστορική αναδρομή, από το Big Bang στο διαχωρισμό των τεσσάρων θεμελιωδών δυνάμεων και τη δημιουργία των στοιχειωδών σωματιδίων που περιγράφονται μέχρι σήμερα από το Καθιερωμένο Πρότυπο. Το τελευταίο περιγράφει τη δομή και τις αλληλεπιδράσεις της ορατής ύλης, ωστόσο παρέμενε το ερώτημα από πού προέρχεται η μάζα των στοιχειωδών σωματιδίων που την αποτελούν. Από τον Νεύτωνα μέχρι τον Einstein, επιστήμονες συνέδεσαν τη μάζα με άλλες φυσικές ποσότητες, όπως την ενέργεια, χωρίς ωστόσο να εξηγούν την προέλευσή της. Το δρόμο άνοιξε ο Peter Higgs, ο οποίος πρότεινε ότι τα σωματίδια αποκτούν μάζα αλληλεπιδρώντας με ένα πεδίο, του οποίου έκφανση αποτελεί ένα μποζόνιο το οποίο ονομάστηκε Higgs. Το τελευταίο ανακαλύφθηκε το 2012 στο πείραμα ATLAS του CERN στον LHC. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα ελέγχεται αν το σωματίδιο που ανακαλύφθηκε συμπεριφέρεται όπως αναμένεται σύμφωνα με τη θεωρία. Αν και τα αποτελέσματα μέχρι στιγμής είναι θετικά, έρχονται μαζί με κάποια προβλήματα, όπως το γιατί η μάζα του είναι πολύ μικρότερη από αυτή που προβλέπουν πολλές θεωρίες. Ένα δεύτερο πρόβλημα είναι το ότι σε υψηλές ενέργειες η αλληλεπίδραση του Higgs με την υπόλοιπη ύλη και το ίδιο του το πεδίο καθιστά το κενό ασταθές, κάτι που αν ίσχυε το σύμπαν θα είχε ήδη καταρρεύσει! Μελετώντας τις αλληλεπιδράσεις του μποζονίου Higgs, πέφτει φως και σε αυτά τα προβλήματα, ενώ ταυτόχρονα οι επιστήμονες προσπαθούν να ανακαλύψουν τα αποτυπώματα φυσικής πέρα από το Καθιερωμένο Πρότυπο. Και αυτό είναι, ουσιαστικά, το μέλλον! Πλέον, μας είναι γνωστό πως αυτή η θεωρία δεν είναι αρκετή για να παρέχει τα κομμάτια του συμπαντικού παζλ που μας λείπουν, όπως τη φύση της σκοτεινής ύλης, τις ταλαντώσεις των νετρίνων, τον πληθωρισμό, την ύπαρξη μιας θεωρίας κβαντικής βαρύτητας κ.α.

Επιστρέφοντας πίσω στους σωματιδιακούς επιταχυντές, ο Ellis παρουσίασε διάφορα πειράματα που τρέχουν για την ανίχνευση σωματιδίων σκοτεινής ύλης, χωρίς να έχουν βρει κάτι προς το παρόν. Στον αντίποδα, αίσθηση προκάλεσε η πρόσφατη μέτρηση από το Fermilab της ανώμαλης μαγνητικής διπολικής ροπής του μιονίου, που απέχει από την προβλεπόμενη από το Καθιερωμένο Πρότυπο, επομένως είναι η έναρξη της εξέτασης των διαφόρων αλληλεπιδράσεων στην τιμή της μαγνητικής διπολικής ροπής. Λόγω αυτού αλλά και της συμπεριφοράς των μιονίων στις διασπάσεις B-σωματιδίων, επικρατεί ενθουσιασμός και στον κλάδο της θεωρητικής φυσικής με αποτέλεσμα πληθώρα δημοσιεύσεων! Ο ίδιος ο Ellis βρίσκει αρκετά ελκυστική την ερμηνεία των παραπάνω θεμάτων μέσω της θεωρίας της υπερσυμμετρίας, που μέχρι τώρα δεν έχουν βρεθεί αποδείξεις της ορθότητας της … αλλά ούτε κάποιας άλλης θεωρίας, όπως λέει προς υπεράσπισή της!

Κλείνοντας, ο John Ellis μας έδωσε μια γεύση από τα μελλοντικά σχέδια των επιταχυντών. Το κυρίαρχο όραμα είναι η κατασκευή του FCC (Future Circular Collider) από το CERN και παρόμοιων επιταχυντών σε άλλες χώρες, για τη μελέτη της κλίμακας των 100 TeV είτε άμεσα μέσω συγκρούσεων πρωτονίου-πρωτονίου είτε έμμεσα μέσω συγκρούσεων ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου. Ενώ οι συγκρούσεις μεταξύ αδρονίων θα μας δώσουν περισσότερα στοιχεία και για τις ιδιότητες του μποζονίου Higgs. Φυσικά, ο LHC θα συνεχίσει να λειτουργεί δίνοντας 20 φορές περισσότερα δεδομένα. Μεταφερόμενοι, επιπλέον, από την υποατομική στην κοσμική κλίμακα, με τη βοήθεια των ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων μας ανοίγεται μια προοπτική επίλυσης ερωτημάτων αστροφυσικής και κοσμολογικής φύσης, αλλά και η αναζήτηση φυσικής πέρα από το Καθιερωμένο Πρότυπο, ένα πεδίο με το οποίο ασχολείται και ο John Ellis μέσα από τη συνεργασία AION. Η ομιλία ολοκληρώθηκε με την ανακεφαλαίωση των ανοιχτών προβλημάτων της Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων σήμερα.

Ιφ. Γιαννακούδη & Βασ. Οικονόμου, Τμ. Φυσικής

ημερίδα παρουσίασης ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Μη-Γραμμικών Συστημάτων, Κυκλωμάτων & Πολυπλοκότητας (LaNSCom)

Το Σάββατο 29/5/2021 πραγματοποιήθηκε διαδικτυακά η Ημερίδα παρουσίασης των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Μη-Γραμμικών Συστημάτων, Κυκλωμάτων & Πολυπλοκότητας του Τμήματος Φυσικής. Στην Ημερίδα κλήθηκαν να παρουσιάσουν τις ερευνητικές δραστηριότητες τους οι συνεργάτες του Εργαστηρίου που είτε εκπονούν την έρευνα τους αυτήν την περίοδο, είτε έχουν συνεργαστεί με το Εργαστήριο στο πρόσφατο παρελθόν. Το ακροατήριο της Ημερίδας περιελάμβανε φοιτητές προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς του Τμήματος Φυσικής, αλλά και άλλων ακαδημαϊκών ιδρυμάτων. Η Ημερίδα περιελάμβανε τέσσερις ειδικές συνεδρίες σχετικές με την ακαδημαϊκή βαθμίδα των συμμετεχόντων. Συγκεκριμένα συμμετείχαν:

- Διδάκτορες που είναι πλέον Εξωτερικοί Συνεργάτες του Εργαστηρίου, οι οποίοι είτε έχουν εκπονήσει την διδακτορική τους διατριβή στο Εργαστήριο, είτε έχουν συνεργαστεί με μέλη του Εργαστηρίου κατά την εκπόνηση της.
- Μεταδιδακτορικοί Ερευνητές που εκπονούν την μεταδιδακτορική τους έρευνα στο Εργαστήριο.
- Υποψήφιοι Διδάκτορες που εκπονούν την διδακτορική τους διατριβή στο Εργαστήριο.
- Προπτυχιακοί Φοιτητές που εκπονούν την πτυχιακή τους εργασία στο Εργαστήριο.

Η ημερίδα είχε πολύ μεγάλη επιτυχία, αν κρίνουμε από τον αριθμό των συμμετοχών, τις συζητήσεις και τους προβληματισμούς που αναπτύχθηκαν, και δώσαμε ραντεβού, στην επόμενη ημερίδα που θα πραγματοποιηθεί στο τέλος του έτους.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΙΔΑΣ

10^{00}: Έναρξη – Χαιρετισμός, *Ιωάννης Στούμπουλος*, Καθηγητής, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ, Διευθυντής LaNSCom

10^{05}: Παρουσίαση Εργαστηρίου LaNSCom και Ε-ρευν. Δραστηριοτήτων, *Χρήστος Βόλος*, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμ. Φυσικής

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΩΝ-ΣΥΝΕΡΓΑΤΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

10^{20}: Στοχευμένη μεταφορά ενέργειας σε μη-γραμμικούς ταλαντωτές, *Τζαμάλ-Οδυσσέας Μαάιτα*, Διδάσκων- Πανεπιστημιακός Υπότροφος Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, ΔΙΠΑΕ, Μεταδιδάκτορας Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

10^{35}: Συσκευή βασισμένη σε μικροελεγκτή για τη μελέτη χαοτικών δυναμικών συστημάτων, *Άγγελος Γιακουμής*, Λέκτορας, Τμ. Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων, Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος.

10^{50}: Ηλεκτρικά Κυκλώματα με Στοιχεία Μνήμης (Memristors), *Δημήτρης Προύσαλης*, Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems

11^{05}: Μη-Γραμμική Ανάλυση Χρονοσειρών, *Νικόλαος Γεροδήμος*, Φυσικός Ραδιοηλεκτρολόγος, Ηλεκτρονικός Μηχανικός Ασφαλείας Εναερίου Κυκλοφορίας

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

11^{20}: Παρατηρητής Κατάστασης και Εφαρμογές στον Χαοτικό Συγχρονισμό και την Ασφάλεια Επικοινωνιών, *Λάζαρος Μωυσής*, Μεταδιδάκτορας, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

11^{35}: Εφαρμογές Χαοτικών Συστημάτων σε Θέματα Ασφάλειας Προσωπικών Κωδικών, *Ιωάννης Καφετζής*, Συνεργάτης Εργαστηρίου - Υποψήφιος Διδάκτορας Τμ. Μαθηματικών

11^{50}: Η διδασκαλία των Μη-Γραμμικών Κυκλωμάτων: Από την Θεωρία στην Πράξη, *Μαρία Παπαδοπούλου*, Μεταδιδάκτορας, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΥΠΟΨΗΦΙΩΝ ΔΙΔΑΚΤΟΡΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

12^{30}: Χρήση Ασαφών Συναρτήσεων Σε Χαοτικούς Χάρτες, *Νικόλαος Χαραλαμπίδης*, Υποψ. Διδάκτορας, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

12^{45}: Μη-Γραμμική Δυναμική και Χάος στην Οικονοφυσική, *Θανάσης Γιργωλάς*, Υποψ. Διδάκτορας, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

13^{00}: Μελέτη και Έλεγχος της Συμπεριφοράς ενός Μοντέλου Ανάπτυξης και Μετάστασης του Καρκίνου, Διονύσιος Σουραϊλίδης, Υποψ. Διδάκτορας, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

13^{15}: Έλεγχος της Κίνησης Αυτόνομων Ρομποτικών Οχημάτων με τη Χρήση Χαοτικών Συστημάτων, *Λευτέρης Πετάβρατζης*, Υποψ. Διδάκτορας, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ

13^{30}: Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς Τετραδιάστατου Οικονομικού Μοντέλου, *Κωνσταντίνα Τσιμπιτά*, Προπτυχιακή Φοιτήτρια, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

13^{45}: Αυτόνομο Ρομποτικό Όχημα Οδηγούμενο από Συνεχές Χαοτικό Σύστημα, *Λευτέρης Πεξομάτης*, Προπτυχιακός Φοιτητής, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

14^{00}: Κρυπτογράφια Εικόνας με τη Χρήση Διακριτών Χαοτικών Συστημάτων, *Χρύσα Τσιάρα*, Προπτυχιακή Φοιτήτρια, Τμ. Φυσικής ΑΠΘ

ορκωμοσίες

Στις 8/4/2021 έγινε η αναγόρευση των νέων πτυχιούχων του Τμήματος. Η απονομή πτυχίων πραγματοποιήθηκε ηλεκτρονικά και ταχυδρομικώς λόγω της πανδημίας του κορωνοϊού.

ΑΓΓΕΛΗΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ • ΑΓΡΙΟΔΗΜΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΒΑΖΟΥΡΑ ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ • ΒΑΛΑΒΑΝΗ ΛΕΥΚΟΘΕΑ ΔΑΝΑΗ • ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΓΙΑΜΟΥΡΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ • ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΑΝΔΡΙΑΝΗ • ΔΙΟΥΣΛΟΥΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ • ΖΑΛΑΚΩΣΤΑ ΠΗΝΕΛΟΠΗ • ΖΙΑΚΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ • ΘΕΟΔΟΣΙΑΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ • ΙΤΟΥΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΚΑΛΛΕΑ ΕΥΘΥΜΙΑ • ΚΑΛΛΙΑΡΕΚΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ • ΚΑΝΤΑ ΕΛΕΝΗ • ΚΑΡΑΠΙΠΕΡΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ • ΚΑΣΩΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ • ΚΑΤΣΟΥΛΑΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ • ΚΕΤΙΠΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ • ΚΟΥΖΟΥΔΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ • ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ • ΜΑΝΩΛΙΑ ΕΛΕΝΗ • ΜΑΡΚΕΣΙΝΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ • ΜΑΣΤΡΟΓΙΩΡΓΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΜΗΤΟΥ ΘΕΟΔΟΣΙΑ • ΜΙΝΤΣΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΜΟΚΑ ΦΑΝΗ • ΜΠΕΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ • ΝΑΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΝΙΚΗΤΑΡΑΣ ΜΙΧΑΗΛ • ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ ΣΟΦΙΑ • ΠΕΤΡΙΔΗΣ ΠΕΤΡΟΣ • ΠΕΧΛΙΒΑΝΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ • ΣΙΔΗΡΟΠΟΥΛΟΣ ΣΑΒΒΑΣ ΡΑΦΑΗΛ • ΣΟΥΒΑΪΤΖΗΣ ΛΑΖΑΡΟΣ • ΣΤΑΥΡΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ • ΤΖΙΑΜΠΑΖΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΤΣΕΛΙΟΥ ΕΥΔΟΞΙΑ • ΤΣΙΜΠΕΡΗ ΑΡΤΕΜΙΣ • ΤΣΙΤΟΥΡΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ • ΤΣΟΥΜΑΡΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ • ΦΑΣΟΥΛΑ ΕΛΙΣΑΒΕΤ • ΦΩΤΙΑΔΟΥ ΠΕΛΑΓΙΑ • ΧΑΣΑΠΗΣ ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ

** παρατίθενται μόνο τα ονόματα αυτών που συναίνεσαν*

Τη Δευτέρα 19/4/2021 ορκίστηκαν οι νέοι διδάκτορες του τμήματος

Διδάκτορας	Επιβλέπων	Θέμα
Αγγελή Βασιλική	Γ. Κίτης	Δοσιμετρικός χαρακτηρισμός νέων υλικών με θερμικώς και οπτικώς προτρεπόμενη φωταύγεια για δοσιμετρία ιοντιζουσών ακτινοβολιών
Αλιφέρης Γεώργιος	Ν. Βλάχος	Υπολογιστική ανάλυση σύγχρονων προτύπων στοιχειωδών σωματιδίων και κοσμολογίας
Δρόσογλου Θεανώ	Α. Μπάης	Μετρήσεις ατμοσφαιρικών αερίων με τη μέθοδο της διαφορικής φασματικής απορρόφησης και συγκρίσεις με δορυφορικά δεδομένα
Καραμπατέα Αποστολία	Α. Σιακαβάρα	Κεραίες και ολοκληρωμένα συστήματα συλλογής μικροκυματικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το περιβάλλον
Καρφαρίδης Δημητριος	Γ. Βουρλιάς	Ανάπτυξη, δομικός και μαγνητικός χαρακτηρισμός νανομετρικών διαστάσεων προηγμένων ετεροδομών για εφαρμογές ηλεκτρονικών διατάξεων μαγνονίων
Μαλλετζίδου Λαμπρινή	Κ. Παρασκευόπουλος	Συνεισφορά στην αποκατάσταση των ζωγραφικών έργων: Μελέτη της αλληλεπίδρασης χρωματικών στρωμάτων και συνδετικού υλικού και/με χαρακτηρισμό νέων, τεχνητά γηρασμένων και αυθεντικών δειγμάτων από παλαιά έργα ζωγραφικής
Μαργαρίτης Χρυσοβαλάντης	Χ. Μουστακίδης	Μελέτη της καταστατικής εξίσωσης της πυρηνικής ύλης και εφαρμογές σε στατικούς και γρήγορα περιστρεφόμενους αστέρες νετρονίων
Μασουρα Βασιλεία– Ασπασία	Ε. Πλειώνης, (συνεπίβλεψη) Ι. Γεωργαντόπουλος (ΕΑΑ)	Μελέτη της αλληλεπίδρασης των ενεργών γαλαξιακών πυρήνων με τον περιβάλλοντα γαλαξία
Μίαρης Γεώργιος	Ι. Σάχαλος	Σχεδίαση και Βελτιστοποίηση Πολυσυχνοτικών Στοιχειοκεραιών
Σολωμού Ερμιόνη	Δ. Μελάς	Επαλήθευση αριθμητικού μοντέλου ποιότητας του αέρα και ανάπτυξη μετεπεξεργαστικού φίλτρου
Φλωρίνη Νικολέτα	Θ. Κεχαγιάς	Μελέτη της δομής και της μηχανικής συμπεριφοράς χαμηλοδιάστατων ημιαγωγικών ετεροδομών III-V

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Π.Μ.Σ. Ηλεκτρονικής Φυσικής (Ραδιοηλεκτρολογίας)

Λειτουργεί από το 1965 και είναι το πρώτο Π.Μ.Σ. που λειτούργησε στο ΑΠΘ. Το νέο αναμορφωμένο πρόγραμμα σπουδών (Σεπτέμβριος 2018) είναι σχεδιασμένο με βάση τις σημερινές τάσεις της ηλεκτρονικής τεχνολογίας και τις διαγραφόμενες συνθήκες απασχόλησης των εξειδικευμένων αποφοίτων του. **Οδηγεί στην απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης με τις εξής κατευθύνσεις: α) Ηλεκτρονική και β) Τηλεπικοινωνίες.**

Π.Μ.Σ. Φυσικής και Τεχνολογίας Υλικών

Σκοπός του είναι η διεπιστημονική, υψηλής ποιότητας θεωρητική και πειραματική εκπαίδευση σε νέα υλικά αιχμής, θέματα ανάπτυξης, ιδιοτήτων, χαρακτηρισμού, επιλογής και βελτιστοποίησης υλικών, επιχειρηματικές δεξιότητες, διαχείριση και μεταφορά τεχνογνωσίας. Οι απόφοιτοι εξειδικεύονται στην κατανόηση και τον φορμαλισμό προχωρημένων αρχών **φυσικής και τεχνολογίας υλικών και εφαρμογών τους, τις περιβαλλοντολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις, την αειφόρο ανάπτυξη**

Π.Μ.Σ. Φυσικής του Περιβάλλοντος

Το Π.Μ.Σ. εκπαιδεύει πτυχιούχους τμημάτων Φυσικής και συναφών τμημάτων Θετικών Επιστημών και Πολυτεχνείων σε προχωρημένα θέματα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Κύριος στόχος είναι η παροχή εξειδικευμένης γνώσης στους πτυχιούχους του καθιστώντας τους ικανούς **να διαπιστώνουν, να κατανοούν, να αναλύουν, και τέλος να αντιμετωπίζουν τα ποικίλα περιβαλλοντικά προβλήματα που απασχολούν τη σύγχρονη κοινωνία**.

Διατμηματικό Π.Μ.Σ. Νανοεπιστήμες & Νανοτεχνολογάς (N&N)

Το πρώτο Δ.Π.Μ.Σ. στις **N&N** στην Ευρώπη (2002), διοργανώνεται από τα Τμ. Φυσικής, Χημείας και Ιατρικής του ΑΠΘ (συνεργασία με «Δημόκριτο», ΕΚΕΤΑ, και Πανεπ. Πατρών, Κρήτης, Ιωαννίνων, Berkeley, Οξφόρδης). Προσελκύει αποφοίτους Σχολών Θετικών Επιστημών, Ιατρικής, Πολυτεχνείου και Γεωπονικής. Παρέχει ειδίκευση στις κατευθύνσεις: **1) Τεχνολογία Λεπτών Υμενίων & Οργανικών Εκτυπωμ. Ηλεκτρονικών, 2) Νανομηχανική, Νανοβιοϋλικά, Νανοσωματίδια, 3) Νανοϊατρική, Νανοβιοτεχνολογία, Βιοηλεκτρονική**

Π.Μ.Σ. Υπολογιστικής Φυσικής

Στοχεύει στην ειδίκευση των φοιτητών **σε μεθόδους προσομοίωσης φαινομένων και διεργασιών, τεχνικές μοντελοποίησης και προσομοίωσης, και υπολογιστικές τεχνικές** στατιστικής φυσικής, ηλεκτρομαγνητισμού και κβαντομηχανικής με εφαρμογή στα επιστημονικά και τεχνολογικά πεδία φυσικής, χημείας, βιολογίας, περιβάλλοντος, επιστήμες μηχανικών, οικονομικών, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρονική, κβαντικούς υπολογιστές, οπτοηλεκτρονική και τη νανοτεχνολογία.

Π.Μ.Σ. Διδακτική της Φυσικής & Εκπαιδευτική Τεχνολογία

Σκοπός του Π.Μ.Σ. είναι η εξειδίκευση σε θέματα που αφορούν **τη Διδακτική της Φυσικής και τη χρήση της Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας στη διδασκαλία**, ώστε οι απόφοιτοι να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της αγοράς εργασίας για μια σύγχρονη εκπαίδευση, αλλά και να αποτελέσουν τους μελλοντικούς εκπαιδευτικούς, που από θέσεις ευθύνης θα επιχειρήσουν να αναμορφώσουν το εκπαιδευτικό τοπίο της χώρας μας.

Π.Μ.Σ. Υποατομική Φυσική & Τεχνολογικές Εφαρμογές

Σκοπός του Π.Μ.Σ. είναι **η ειδίκευση στη θεμελιώδη Φυσική και στις σύγχρονες επιστημονικές απόψεις για τα θεμελιώδη συστατικά της Ύλης και τις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις** και η απόκτηση δεξιοτήτων και γνώσεων σε σύγχρονες ερευνητικές μεθόδους και τεχνολογίες με στόχο την εφαρμογής τους, σε υψηλό θεωρητικό και τεχνικό επίπεδο, σε ευρύτερα ερευνητικά ή/και αναπτυξιακά έργα.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Π.Μ.Σ. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ (ΡΑΔΙΟΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ)

elecom@physics.auth.gr
http://elecom.physics.auth.gr

Π.Μ.Σ. ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

materials@physics.auth.gr
http://pms.physics.auth.gr/materials

Π.Μ.Σ. ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

msc-env@physics.auth.gr
http://msc-env.physics.auth.gr

Post Graduate Program on Nanosciences & Nanotechnologies

nninfo@physics.auth.gr
http://nn.physics.auth.gr

Π.Μ.Σ. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

info@physics.auth.gr
http://pms.physics.auth.gr/comphys

ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ & ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

pms-difet@physics.auth.gr
http://pms-difet.physics.auth.gr

ΥΠΟΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

pms-subatomic@physics.auth.gr
http://pms-subatomic.physics.auth.gr