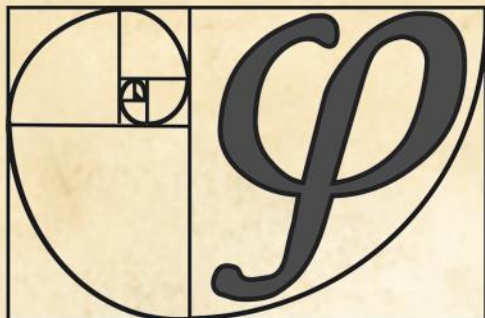




Φαινόμενο

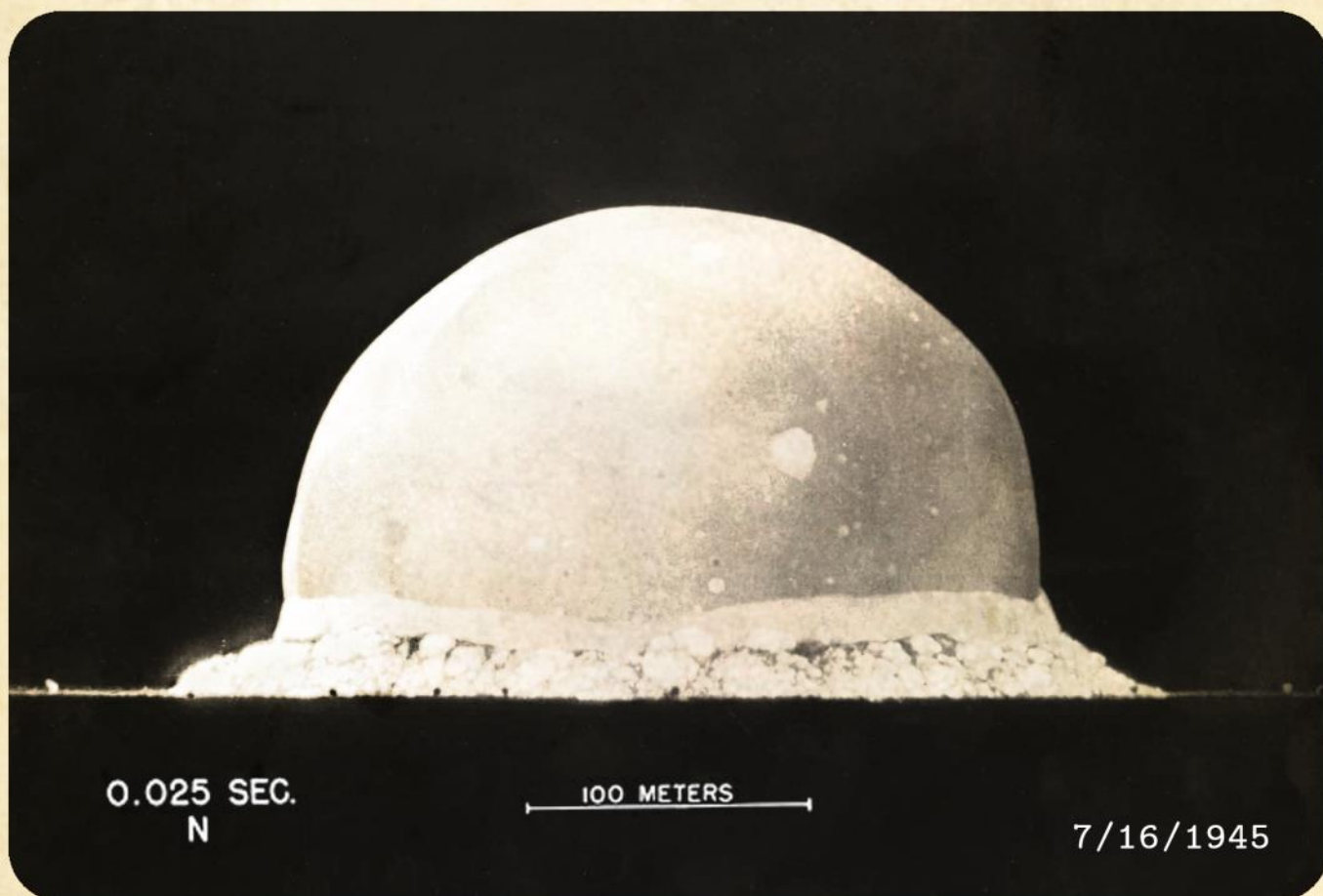
Περίοδος Δ' | Τεύχος 39 | Ιανουάριος 2024

ISSN: 2529-1874/2529-1882 (online)

Αιθιοπία, εκεί που η τέχνη
συναντά την επιστήμη
Σελίδα 9

Εύκαμπτες & πολυμορφικές
οργανικές δίοδοι εκπομπής
φωτός (OLEDs) Σελίδα 12

Οι θησαυροί του Τουταγχαμών:
ταξίδι από την Αίγυπτο
στο διάστημα Σελίδα 14



Trinity Nuclear Test

Type: Atmospheric

Device type: Plutonium implosion fission

Yield: 25 kilotons of TNT

Director: J. Robert Oppenheimer

Σελίδα: 3

Προς την περιοχή των
αττοδευτερολέπτων
Νόμπελ Φυσικής 2023
Σελίδα 18

Κατανοώντας τον άορατο
κίνδυνο με τον τετράποδο
υπέρυθρο ανιχνευτή
Σελίδα 23

Τα άτομα της επικούρειας
φιλοσοφίας - συσχετίσεις
με τη σύγχρονη φυσική
Σελίδα 26



Φαινόμενον

Περίοδος Δ' · Τεύχος 39
Ιανουάριος 2024

Περιοδική έκδοση του Τμήματος
Φυσικής Α.Π.Θ.
(προεδρία Α. Ιωαννίδου)

συντακτική ομάδα

Επιτροπή εκδόσεων, σεμιναρίων
και προβολής του Τμήματος
Φυσικής

Σ. Κασσαβέτης · Φ. Πινακίδου · Ε. Βίγκα ·
Χ. Σαραφίδης · Π. Πατσαλός · Α.
Λασκαράκης · Α. Μάτζαρη · Ι.
Τσιαούσης · Ν. Χαστάς

στο τεύχος αυτό συνεργάστηκαν

Σωτήριος Βεσ
(Ομότιμος Καθηγ. Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ.)
Γεωργία Βλαμάκη
(Απόφοιτη Τμ. Φυσικής, Ε.Κ.Π.Α.)
Νικόλαος Βουρουτζής
(Αναπλ. Καθηγ. Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ.)
Νικόλαος Θεοδωρακόπουλος
(Φοιτητής Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ.)
Αναστάσιος Λιόλιος
(Ομοτ. Καθηγ. Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ.)
Φλώρα Μαντελάκη
(Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ.)
Θωμάς Πάνου
(Απόφοιτος Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ.)
Χάρης Σαραφίδης
(Αναπλ. Καθηγ. Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ.)
Δέσποινα Τσελεκίδου
(Διδάκτωρ Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ.)
Νικόλαος Φράγκης
(Καθηγ. Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ.)

Εκτύπωση

COPYCITY Ε.Π.Ε.

ψηφιακή έκδοση

<http://phenomenon.physics.auth.gr>

E-mail επικοινωνίας:

phenomenon@physics.auth.gr

facebook: τμήμα φυσικής απθ &
περιοδικό "φαινόμενον"

ISSN: 2529-1874 · 2529-1882 (online)

σημείωμα της σύνταξης

Στο νέο **Τεύχος 39 του «ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΝ»** θα διαβάσετε άρθρα φοιτητών/τριών και μελών του Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ. για τη Φυσική & Φιλοσοφία και το πώς σχετίζονται τα άτομα της επικούρειας φιλοσοφίας με την σύγχρονη φυσική, για εφαρμογές της Φυσικής στη μελέτη έργων τέχνης (Αιθιοπική τέχνη) & την αρχαιολογία (Θησαυροί του Τουταγχαμών), για την τεχνολογία φωτισμού (εύκαμπτες οργανικές διόδους εκπομπής φωτός) και την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Το κεντρικό άρθρο είναι αφιερωμένο στο Νόμπελ Φυσικής 2023 προς αναγνώριση της μεγάλης σπουδαιότητας των υπερβραχέων παλμών στην μελέτη και κατανόηση υπερταχέων φαινομένων όπως η δυναμική των ηλεκτρονίων στην ύλη. Τέλος, μπορείτε να διαβάσετε ένα αφιέρωμα στον J. Robert Oppenheimer το οποίο συνεισέφερε απόφοιτος του Τμ. Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α.

Η ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

περιεχόμενα

Επιστημονικά νέα	1
J. Robert Oppenheimer και η επιστήμη της πυρηνικής φυσικής	3
Αιθιοπία, εκεί που η τέχνη συναντά την επιστήμη	9
Εύκαμπτες & πολυμορφικές οργανικές διόδοι εκπομπής φωτός (OLEDs)	12
Οι θησαυροί του Τουταγχαμών: ταξίδι από την Αίγυπτο στο διάστημα	14
Προς την περιοχή των αττοδευτερολέπτων	18
Κατανοώντας τον αόρατο κίνδυνο με τον τετράποδο υπέρυθρο ανιχνευτή	23
Τα άτομα της επικούρειας φιλοσοφίας - Συσχετίσεις με την σύγχρονη φυσική	26
Συνέβησαν στο Τμήμα	31 - 32



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.

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

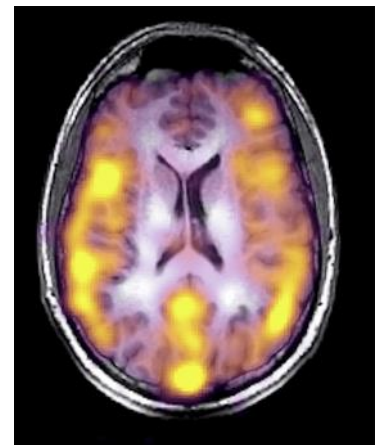


Χαράλαμπος Σαραφίδης
Αναπληρωτής Καθηγητής
Τμήματος Φυσικής, Α.Π.Θ.

Όλοι μας έχουμε κάποια ιδέα για το τι είναι η μαγνητική τομογραφία, έστω αν αυτή η ιδέα μπορεί να συνοψιστεί στην φράση «ένα μηχάνημα που βλέπει τα μόρια του νερού στο ανθρώπινο σώμα και δίνει ωραίες εικόνες στους γιατρούς αλλά οι μαγνήτες του κάνουν απαίσιο θόρυβο». Η δυνατότητα παρατήρησης και μέτρησης της ποσότητας συγκεκριμένων πυρήνων στοιχείων σε βιολογικά συστήματα είναι η μεγαλύτερη χρησιμότητα της απεικόνισης MRI, τόσο ώστε να χαρακτηρίζεται φασματοσκοπία. Δυστυχώς η δυνατότητα της τεχνικής να παρατηρεί μόρια σε βιολογικά συστήματα δεν είναι απεριόριστη. Μόρια ιδιαίτερα σημαντικά για τις βιολογικές λειτουργίες των οργανισμών, όπως το γαλακτικό και το πυροσταφυλικό οξύ δίνουν ιδιαίτερα αδύναμο σήμα περιορίζοντας την διακριτική ικανότητα της τεχνικής. Πρέπει να έχουμε υπόψη, ότι αυτά τα μόρια είναι ιδιαίτερα σημαντικά και αποτελούν δείκτες για πολλές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού.



Ερευνητές από την Δανία όμως έχουν διαπιστώσει ότι μία τεχνική που χρησιμοποιήθηκε αρχικά στην πυρηνική και σωματιδιακή φυσική μπορεί να βελτιώσει θεαματικά την ακρίβεια του προσδιορισμού αυτών των μορίων μέσω της μαγνητικής τομογραφίας, η τεχνική της δυναμικής πυρηνικής πόλωσης (d-DNP). Ας θυμηθούμε ότι η παρουσία ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου μπορεί να διαχωρίσει τα ενεργειακά επίπεδα των πυρήνων, με την ενεργειακή διαφορά να εξαρτάται από την τιμή του πεδίου. Για να έχουμε ένα καλό σήμα χρειαζόμαστε όσο το δυνατόν περισσότερους πυρήνες στην ενεργειακά ψηλότερη κατάσταση, κάτι που εξαρτάται από μικροσκοπικές και μακροσκοπικές παραμέτρους, για παράδειγμα τη θερμοκρασία. Σε φυσιολογικές συνθήκες το σήμα που παίρνουμε είναι ασθενές και η ανάλυση της εικόνας πολύ μέτρια, αυτός είναι ο λόγος που σε κάποιες περιπτώσεις χρειάζεται πολύς χρόνος για πρακτικά χρήσιμες τομογραφίες MRI. Σήμερα, ερευνητές από τις ΗΠΑ κατάφεραν να αναπτύξουν μία τεχνική η οποία μπορεί να αυξήσει 100 χιλιάδες φορές το σήμα από τα συγκεκριμένα βιολογικά μόρια. Η τεχνική συνίσταται στην ανάμιξη πυροσταφυλικού οξέως με ενώσεις-δότες ηλεκτρονίων όπως καρβονυλικές ρίζες, την στερεοποίηση του μίγματος σε θερμοκρασία υγρού ηλίου (1,4 K), την έκθεση του παγωμένου μίγματος σε μικροκύματα ώστε να αυξηθεί η πυρηνική πόλωση και στην συνέχεια την έκχυση υπέρθερμου νερού υπό πίεση σε συνδυασμό με κατάλληλα χημικά ώστε να αδρανοποιηθεί το pH του μίγματος. Στην συνέχεια πρέπει μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα να εγχυθεί το μίγμα στον ασθενή και να εκτελεστεί η τομογραφία. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι αυτή η διαδικασία εμπεριέχει μεγάλες τεχνικές και επιστημονικές προκλήσεις είναι όμως ένα ακόμη εργαλείο που μελλοντικά θα σώζει ζωές.



Η τεχνική της δυναμικής πυρηνικής πόλωσης d-DNP, ενισχύει τον λόγο σήματος προς θόρυβο της μαγνητικής τομογραφίας κατά 100.000, δημιουργώντας απίστευτες εικόνες!



Οι πρώτοι στους οποίους εφαρμόστηκε η τεχνική ήταν μια ομάδα ανδρών με διαγνωσμένο καρκίνο του προστάτη. Σε μια μελέτη με επικεφαλής τη Sarah Nelson από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Σαν Φρανσίσκο το 2013, φαρμακοποιοί υψηλής εξειδίκευσης δημιούργησαν πυροσταφυ-

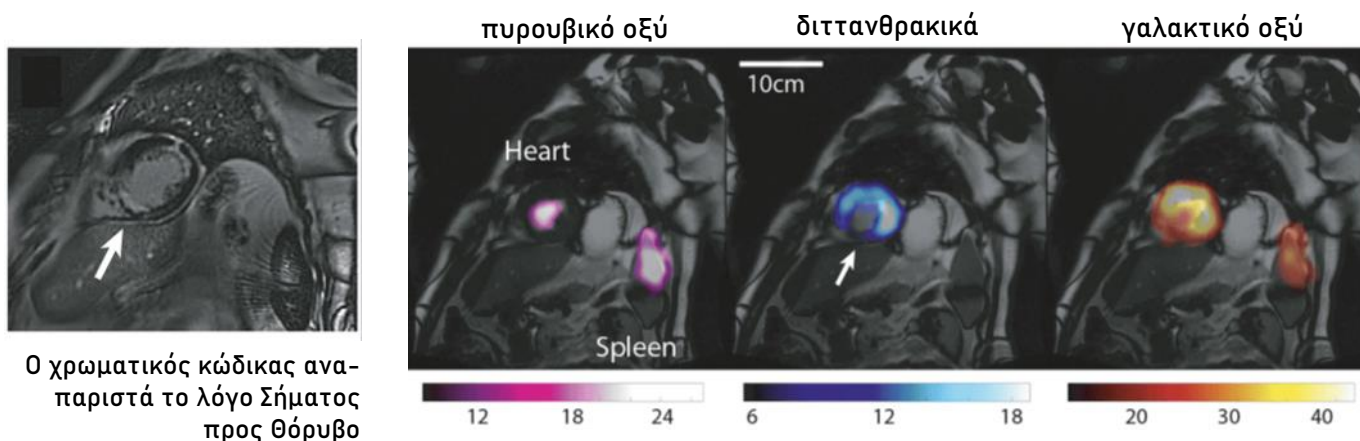
λικό οξύ με d-DNP χρησιμοποιώντας τον παροπλισμένο μαγνήτη μιας μηχανής πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) της Oxford Instruments ο οποίος λειτουργούσε σε πεδίο 3,35 T. Μετά την έγχυση της ουσίας στους ασθενείς, οι ερευνητές μπόρεσαν να εξακριβώσουν την παρουσία καρκίνου σε καθένα από τους υπό εξέταση ασθενείς, ανιχνεύοντας το αυξημένο ποσοστό γαλακτικού οξέος που παράχθηκε ακολούθως.



Το γαλακτικό οξύ αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του καρκίνου, δεδομένου ότι οι όγκοι παράγουν σημαντική ποσότητα αυτού του οξέως προκαλώντας οξείδωση στο τοπικό περιβάλλον. Ως επακόλουθο, προκαλείται μια τοπική διαταραχή στα γειτονικά κύτταρα η οποία διευκολύνει την εξάπλωση του όγκου. Σε έναν ασθενή, η ομάδα στο Σαν Φρανσίσκο εντόπισε μια ακόμη επιπρόσθετη εναπόθεση όγκου η οποία δεν είχε γίνει αντιληπτή στην αρχική συμβατική απεικόνιση. Αφού επιβεβαιώθηκε από μια ακόμη βιοψία, η ανίχνευση της οδήγησε τελικά στους γιατρούς σε τροποποίηση της θεραπείας στην οποία υποβλήθηκε ο ασθενής.



Το παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η καρδιά ενός ασθενούς με ενίσχυση d-DNP ο οποίος υπέστη καρδιακή προσβολή πέντε ημέρες πριν. Η πρώτη εικόνα είναι μια «συνηθισμένη» εικόνα MRI και το βέλος υποδεικνύει την καρδιά. Στη δεύτερη εικόνα φαίνεται το πυροσταφυλικό οξύ που εγχύθηκε σε μία από τις φλέβες του ασθενούς, το οποίο μεταφέρθηκε γρήγορα σε κάθε ιστό του σώματος, συμπεριλαμβανομένης της καρδιάς και του σπλήνα (ροζ περιοχές). Η καρδιά χρησιμοποιεί το πυροσταφυλικό οξύ σε μια σύνθετη σειρά βιοχημικών αντιδράσεων, με την ενέργεια που εκλύεται να χρησιμοποιείται για τη σύσπαση του καρδιακού μυός, γεγονός που γίνεται αντιληπτό από τον δακτύλιο διττανθρακικών που παράγεται - ο οποίος απομακρύνεται γρήγορα μέσω της εκπνοής ως διοξείδιο του άνθρακα.



Απεικόνιση καρδιακής προσβολής με ενίσχυση d-DNP. Η καρδιά χρησιμοποιεί κατά την λειτουργία της οξέα όπως το πυροστικό για και η ενισχυμένη τομογραφία μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για την κατάσταση του ασθενούς (Jack Miller, Aarhus University, Denmark, St. Hugh's

Οι ασθενείς που έχουν υποστεί καρδιακή προσβολή ωστόσο, δεν επεξεργάζονται το πυροσταφυλικό οξύ με τον κανονικό τρόπο, οδηγώντας σε μια ευδιάκριτη «οπή» στον δακτύλιο (όπως υποδεικνύει το βέλος στην μεσαία εικόνα). Αυτές οι εικόνες αποκαλύπτουν μια αντίστοιχη αύξηση του γαλακτικού οξέος (η οποία φαίνεται στην τελευταία εικόνα με πορτοκαλί χρώμα) και στα δύο όργανα, ειδικά στον σπλήνα του ασθενούς. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν την παραγωγή περισσότερων ανοσοκυττάρων σε αυτές τις περιοχές - μια γνωστή και όχι πλήρως κατανοητή αντίδραση σε μια καρδιακή προσβολή.



J. Robert Oppenheimer

και η επιστήμη της πυρηνικής φυσικής



Γεωργία Βλαμάκη
Απόφοιτη
Τμήματος Φυσικής,
Ε.Κ.Π.Α.

Η πορεία της ανθρωπότητας στον κόσμο της φυσικής και των επιστημών είναι μια ιστορία εξαιρετικών μυαλών και καινοτομιών. Ανάμεσα σε αυτά τα φωτεινά μυαλά ξεχωρίζει ο J. Robert Oppenheimer, ένας από τους πιο επιφανείς φυσικούς του 20^{ου} αιώνα. Η σημαντικότερη συμβολή του Oppenheimer στην ιστορία της ανθρωπότητας ήρθε με τον ρόλο του στην ανάπτυξη και χρήση της ατομικής ενέργειας.

σχευαστεί το πρώτο πυρηνικό όπλο. Αυτή η προσπάθεια έλαβε χώρα σε ένα μυστικό εργαστήριο στο Λος Άλαμος στην πολιτεία του Νέου Μεξικού. Η εργασία του σε αυτό το πρόγραμμα οδήγησε στη δημιουργία της πρώτης ατομικής βόμβας, γνωστής ως «Little Boy». Η εξέλιξη αυτού του εκρηκτικού οπλικού συστήματος αποτελεί αναμφισβήτητη κρίσιμη επιστημονική και τεχνολογική επίτευξη, αλλά και μια ανθρώπινη και κοινωνική πρόκληση. Ως ο «πατέρας της ατομικής βόμβας» υποστήριξε τη χρήση αυτής της τεχνολογίας, η οποία κατέστρεψε τις ιαπωνικές πόλεις της Χιροσίμα και του Ναγκασάκι στις 6 και 9 Αυγούστου 1945, κατά την τελική φάση του Β' Παγκοσμίου Πολέμου αλλά εξέφρασε επίσης βαθιές ανησυχίες για τις συνέπειες αυτών των ανακαλύψεων. Μια από τις πιο γνωστές φράσεις του Oppenheimer είναι από την αντίδρασή του μετά την πρώτη επιτυχή δοκιμή της ατομικής βόμβας στην έρημο του Νέου Μεξικού: «Εγίνα ο θάνατος, ο καταστροφέας των κόσμων». Με αυτή τη φράση, ο Oppenheimer εκφράζει την πεποίθησή του για την ανάγκη να επιβάλλουμε περιορισμούς στη χρήση αυτής της νέας, καταστροφικής δύναμης.

**"Now I am become death,
the destroyer of worlds."**

J. ROBERT OPPENHEIMER

Άλλες εργασίες με τις οποίες ασχολήθηκε ήταν σχετικές με τη θεωρητική αστρονομία, την κβαντική θεωρία πεδίου και τη φασματοσκοπία. Απεβίωσε στις 18 Φεβρουαρίου 1967 και ο θάνατός του αποτέλεσε μεγάλη απώλεια για τον επιστημονικό χώρο.

Βασικές επιστημονικές ανακαλύψεις που διευκόλυναν την κατασκευή της ατομικής βόμβας

- **Ανακάλυψη του νετρονίου (1932) από τον James Chadwick:** Αυτή η ανακάλυψη διευκόλυνε την κατανόηση της δομής του ατόμου και του πυρήνα του. Τα νετρόνια, ως ηλεκτρικά ουδέτερα, μπορούν εύκολα να αλληλεπιδρούν με τον πυρήνα του ατόμου.
- **Πειραματική ανακάλυψη της σχάσης των ατομικών πυρήνων (1938) από τους Otto Hahn και Fritz Strassmann:** Πυρηνικά πειράματα δεί-



Robert Oppenheimer

χνουν ότι οι πυρήνες του ουρανίου με νετρόνια δίνουν πυρήνες πολύ μικρότερους από τον πυρήνα του ουρανίου.

- **Θεωρητική εξήγηση της σχάσης (1939) από την Lise Meitner και τον Otto Frisch:** Χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Αϊνστάιν $E = mc^2$, κατάφεραν να εξηγήσουν τα αποτελέσματα των πειραμάτων των Otto Hahn και Fritz Strassmann και να δικαιολογήσουν την ενέργεια που παράγεται κατά τη διάσπαση του πυρήνα του ουρανίου. Ονόμασαν αυτή τη διαδικασία "σχάση", εμπνευσμένοι για τον όρο αυτόν από τη βιολογία.
- **Το 1939, ο Δανός φυσικός Niels Bohr** (1885 - 1962) και ο **Αμερικανός φυσικός John Wheeler** (1911 - 2008) πρότειναν τη θεωρία της σχάσης του πυρήνα, επιλέγοντας ως πιθανό υλικό για τη σχάση το ουράνιο-235, αντί του ουρανίου-238. Ο Niels Bohr μετανάστευσε στις Ηνωμένες Πολιτείες για να αποφύγει τους ναζιστές, αφήνοντας τη Δανία πίσω του. Εκεί, σε συνεργασία με τον John Wheeler, εξήγησαν θεωρητικά τον τρόπο διάσπασης του πυρήνα του ουρανίου και υπέδειξαν τη δυνατότητα έναρξης αλυσιδωτής αντίδρασης στο ουράνιο-235. Δύο χρόνια αργότερα, ο Αμερικανός χημικός Glenn Seaborg (1912-1999) ανακάλυψε ένα νέο στοιχείο, το πλουτώνιο-239, το οποίο επίσης μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν υλικό σχάσης σε μια ατομική βόμβα.
- **Το 1942, ο Enrico Fermi** και οι συνεργάτες του πραγματοποίησαν σε εργαστήριο ελεγχόμενη πυρηνική αντίδραση. Ο Fermi είχε μεταναστεύσει στις Ηνωμένες Πολιτείες από την Ιταλία το 1938 λόγω του φασιστικού καθεστώτος του Μουσολίνι. Στις ΗΠΑ, συνέχισε τις έρευνές του στον τομέα

της πυρηνικής φυσικής, επικεντρώνοντας τις προσπάθειες στην επίτευξη μιας ελεγχόμενης αλυσιδωτής αντίδρασης. Κατασκεύασε τον πρώτο πυρηνικό αντιδραστήρα στον κόσμο και στις 2 Δεκεμβρίου 1942, κατάφερε να επιτύχει μια ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση. Ταυτόχρονα, η λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα διευκόλυνε την παραγωγή πλουτωνίου-239.

Φυσική Σχάσης

Σχάση, είναι η αντίδραση κατά την οποία ένας βαρύς πυρήνας (δηλαδή μεγάλου μαζικού αριθμού, όπως π.χ. πυρήνας ουρανίου) διασπάται σε δύο κομμάτια και απελευθερώνονται επιπλέον νετρόνια. Αυτά τα νετρόνια μπορούν να προκαλέσουν τη διάσπαση άλλων βαρέων πυρήνων, δημιουργώντας μια αλυσιδωτή αντίδραση. Κατά την αλυσιδωτή αντίδραση, η ενέργεια ελευθερώνεται σε εξαιρετικά μικρά χρονικά διαστήματα.

Ισότοπα, θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως διαφορετικές εκδοχές ή παραλλαγές του ίδιου του στοιχείου. Όλα τα ισότοπα ενός στοιχείου έχουν ίδιο ατομικό αριθμό και επομένως τις ίδιες χημικές ιδιότητες, παρουσιάζοντας διαφορά μόνο στον μαζικό αριθμό. Ωστόσο τα ισότοπα μπορεί να παρουσιάζουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες όπως για παράδειγμα στην πυκνότητα. Ένα ισότοπο καθορίζεται από τον μαζικό αριθμό του που ονομάζεται και αριθμός νουκλεονίων. Πρόκειται για το συνολικό αριθμό των πρωτονίων και των νετρονίων του ατομικού του πυρήνα.

Κρίσιμη μάζα, είναι η ελάχιστη ποσότητα σχάσιμου υλικού που απαιτείται για να προκληθεί αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση. Η κρίσιμη μάζα του σχάσιμου υλικού εξαρτάται από τις πυρηνικές του ιδιότητες την ενεργό διατομή, την πυκνότητα, το σχήμα του, τον εμπλουτισμό του, την καθαρότητά του, τη θερμοκρασία του και το περιβάλλον του.

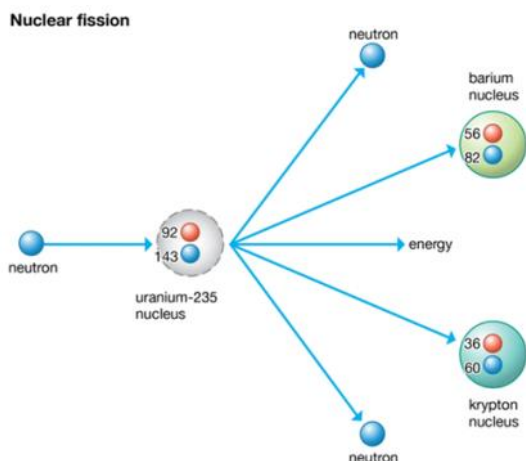
Μια αριθμητική μέτρηση της κρίσιμης μάζας, εξαρτάται από τον ενεργό παράγοντα αποτελεσματικότητας του πολλαπλασιασμού των νετρονίων k , δηλαδή τη μέση τιμή των νετρονίων που απελευθερώνονται σε κάθε σχάση και προκαλούν με τη σειρά τους σχάση.

Η **αλυσιδωτή αντίδραση** είναι το βήμα που οδηγεί στην έκρηξη μιας ατομικής βόμβας και τη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων. Ένα σημαντικό στάδιο είναι η αύξηση της



Manhattan Project - Οι φυσικοί στο Los Alamos. Από αριστερά προς δεξιά: Kenneth Bainbridge, Joseph Hoffman, Robert Oppenheimer, Louis Hempelmann, Robert Bacher, Victor Weisskopf and Richard Dodson.

(Πηγή: © SCIENCE SOURCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY)



Πυρηνική σχάση. (Πηγή: wikipedia.org)

μάζας του ουρανίου για να υπερβεί την κρίσιμη μάζα, ούτως ώστε η αλυσιδωτή αντίδραση να ξεκινήσει. Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση εκρηκτικών ώστε τα δύο τμήματα ουρανίου με υποκρίσιμη μάζα το καθένα, να συνενωθούν και να υπερβούν με τον τρόπο αυτό την κρίσιμη μάζα.

Η ποσότητα του ουρανίου και η διαμόρφωσή του εντός της ατομικής βόμβας είναι κρίσιμες για την αποφυγή της τυχαίας έκρηξης. Συνολικά, η αλυσιδωτή αντίδραση απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες ενέργειας σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα.

Τεχνολογία ατομικής βόμβας ουρανίου

Ας εξετάσουμε τώρα πώς είναι δυνατόν να διασπαστεί ένας πυρήνας ουρανίου και γιατί παράγεται τόση ενέργεια. Ο πυρήνας του ατόμου του ουρανίου περιέχει 92 πρωτόνια και περιβάλλεται από νέφος 92 ηλεκτρονίων. Στον πυρήνα υπάρχει επίσης ένας αριθμός νετρονίων. Ανάλογα με τον αριθμό των νετρονίων στον πυρήνα, το ουράνιο χωρίζεται σε δύο ισότοπα : ουράνιο-238 και ουράνιο-235. Το ουράνιο-235, που αποτελεί το 0,7% του φυσικού ουρανίου, υποστηρίζει πιο εύκολα τη σχάση σε σχέση με το ουράνιο-238.

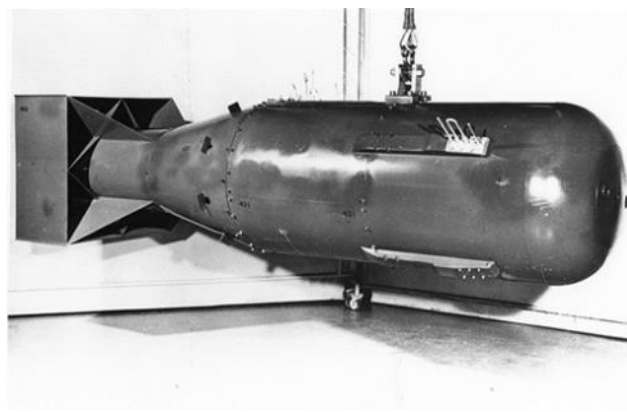
Για την κατασκευή της ατομικής βόμβας, ήταν απαραίτητο το ουράνιο-235. Το φυσικό ουράνιο, όμως, περιείχε 99,3% ουράνιο-238 και μόνο 0,7% ουράνιο-235. Η κύρια τεχνική δυσκολία ήταν ο διαχωρισμός του ουρανίου-235 από το ουράνιο-238. Αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι διαχωρισμού, βασισμένες στο γεγονός ότι το ουράνιο-235 είναι ελαφρύτερο από το ουράνιο-238.

"Little Boy"

Η βόμβα Little Boy είχε ως γόμωση το ισότοπο ουρανίου U-235. Η διαδικασία συλλογής του U-235 δεν ήταν εύκολη για πολλούς από τους επιστήμονες

του Manhattan Project που εργάζονταν στη διαδικασία εξόρυξης και εμπλουτισμού ουρανίου. Το μεγαλύτερο μέρος του ουρανίου που βρίσκεται ως φυσικό ορυκτό στο υπέδαφος υπάρχει ως ουράνιο-238, αφήνοντας μόνο το 0,7% του φυσικά υπάρχοντος ουρανίου ως ισότοπο U-235. Όταν ένα ταχύ νετρόνιο βομβαρδίζει το U-238, το ισότοπο συχνά αιχμαλωτίζει ή σκεδάζει το νετρόνιο για να γίνει U-239, αποτυγχάνοντας να διασπαστεί και επομένως αποτυγχάνοντας να υποκινήσει μια αλυσιδωτή αντίδραση που θα πυροδοτούσε μια βόμβα.

Η πρώτη πρόκληση του έργου ήταν επομένως να καθοριστεί ο πιο αποτελεσματικός τρόπος διαχωρισμού και καθαρισμού του ουρανίου-235 από το υπερβολικά άφθονο ουράνιο-238. Οι τυπικές μέθοδοι διαχωρισμού ισωτόπων δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν λόγω της ισχυρής χημικής ομοιότητας μεταξύ των δύο ισωτόπων. Προκειμένου να αποφευχθεί η απώλεια χρόνου σε μια νέα μέθοδο που αργότερα θα μπορούσε να αποδειχθεί ανεπαρκής για την παραγωγή αρκετού U-235 ώστε να επιτρέψει στην ατομική βόμβα να φτάσει σε κρίσιμη μάζα, ο στρατηγός Leslie Groves συμβουλευτήκε τους επικεφαλής επιστήμονες του έργου και συμφώνησε να ερευνήσει ταυτόχρονα τρεις ξεχωριστές μεθόδους διαχωρισμού και καθαρισμού του ουρανίου-235: αέρια διάχυση, φυγοκέντρωση και ηλεκτρομαγνητικός διαχωρισμός.



Η βόμβα "Little Boy" που ρίχτηκε στη Χιροσίμα με ισχύ 15.000 τόνους TNT
(Πηγή: wikipedia.org)

Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιούσε το φαινόμενο της διάχυσης. Αέριες χημικές ενώσεις του ουρανίου διαπερνούσαν φίλτρα. Επειδή το άτομο του ουρανίου-235 είναι ελαφρύτερο από το άτομο του ουρανίου-238, τα μόρια της χημικής ένωσης που περιέχουν ουράνιο-235 είναι πιο ευκίνητα και, συνεπώς, η περικριτικότητα σε ουράνιο-235 αυξάνεται μετά από κάθε φίλτρο.

Η δεύτερη μέθοδος ήταν η φυγοκέντρωση, όπου

αέριες χημικές ενώσεις του ουρανίου περιστρέφονταν με μεγάλη ταχύτητα σε κυλινδρικά δοχεία. Τα μόρια που περιείχαν ουράνιο-235, ως ελαφρύτερα, μαζεύονταν στο κέντρο του δοχείου.

Η τρίτη μέθοδος χρησιμοποιούσε την απόκλιση φορτισμένων σωματιδίων όταν περνούν μέσα από μαγνητικό πεδίο. Όσο πιο μικρή είναι η μάζα του σωματιδίου, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση του στο μαγνητικό πεδίο. Έτσι, οι χημικές ενώσεις του ουρανίου, που είναι φορτισμένες, κατευθύνονταν μέσα σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Τα μόρια που περιείχαν ουράνιο-235 απέκλιναν περισσότερο από αυτά που περιείχαν ουράνιο-238, καθιστώντας δυνατό τον διαχωρισμό τους.

Τεχνολογία ατομικής βόμβας πλουτωνίου

Το πλουτώνιο είναι ραδιενεργό μέταλλο και το ισότοπο Pu-239, είναι ένα από τα τρία βασικότερα σχάσιμα ισότοπα. Για να θεωρηθεί σχάσιμο ένα ισότοπο πρέπει ο πυρήνας του να είναι σε θέση να διασπαστεί ή να υποστεί σχάση όταν χτυπηθεί από βραδέως κινούμενο νετρόνιο, απελευθερώνοντας έτσι αρκετά επιπλέον νετρόνια και συντηρώντας την πυρηνική αλυσιδωτή αντίδραση.

Το πλουτώνιο-239 έχει πολλαπλασιαστικό παράγοντα (k) μεγαλύτερο από ένα, πράγμα που σημαίνει ότι αν συγκεντρωθεί επαρκής ποσότητα του μετάλλου και με την κατάλληλη γεωμετρία (π.χ. μία συμπιεσμένη σφαίρα), μπορεί να αποτελέσει κρίσιμη μάζα. Κατά τη διάρκεια της σχάσης, ένα μέρος της ενέργειας σύνδεσης, η οποία συγκρατεί τον πυρήνα συμπαγή, απελευθερώνεται με τη μορφή μεγάλης ποσότητας θερμικής, ηλεκτρομαγνητικής και κινητικής ενέργειας: ένα κιλό πλουτωνίου-239, μπορεί να παράγει έκρηξη ισοδύναμη με 20.000 τόνους TNT. Αυτή είναι η ενέργεια που κάνει το πλουτώνιο-239 χρήσιμο για πυρηνικά όπλα και πυρηνικούς αντιδραστήρες.

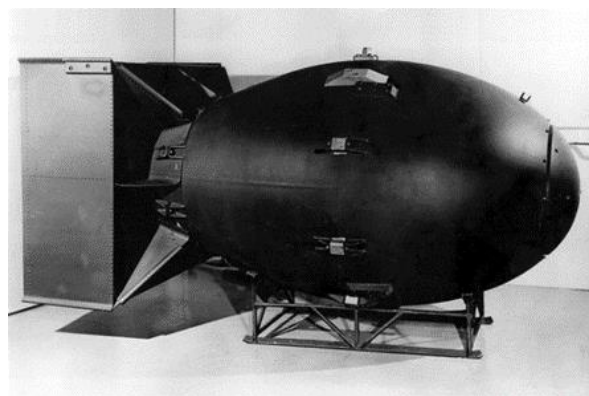
Η παρουσία του ισότοπου Pu-240 σε ένα δείγμα, περιορίζει τις δυνατότητες της πυρηνικής βόμβας διότι αυτό έχει ένα σχετικά υψηλό ποσοστό αυθόρμητης σχάσης αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο πρόωρης έκρηξης. Τα όπλα πλουτωνίου περιέχουν λιγότερο από 7 % πλουτώνιο-240. Το πλουτώνιο που προορίζεται για καύσιμο περιέχει από 7 % έως λιγότερο από 19% πλουτώνιο-240 και το πλουτώνιο των αντιδραστήρων περιέχει 19 % ή περισσότερο πλουτώνιο-240.

"Fat Man"

Με γόμωση από πλουτώνιο, η βόμβα Fat Man δεν μπορούσε να χρησιμοποιήσει τον ίδιο τύπο

όπλου που επέτρεψε στη Little Boy να εκραγεί αποτελεσματικά.

Ο φυσικός Seth Neddermeyer στο Los Alamos κατασκεύασε ένα σχέδιο για τη βόμβα πλουτωνίου που χρησιμοποίησε συμβατικά εκρηκτικά γύρω από μια κεντρική μάζα πλουτωνίου για να συμπιέσει γρήγορα και να σταθεροποιήσει το πλουτώνιο, αυξάνοντας την πίεση και την πυκνότητα της ουσίας. Μια αυξημένη πυκνότητα επέτρεψε στο πλουτώνιο να φτάσει στην κρίσιμη μάζα του, πυροδοτώντας νετρόνια και επιτρέποντας στην αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης να προχωρήσει. Για να πυροδοτηθεί η βόμβα, τα εκρηκτικά πυροδοτήθηκαν, απελευθερώνοντας ένα ωστικό κύμα που συμπίεσε το εσωτερικό πλουτώνιο και οδήγησε στην έκρηξη του.

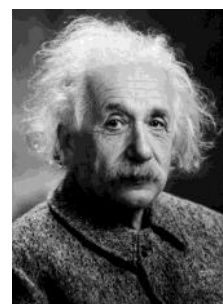


Η βόμβα "Fat Man" που ρίχτηκε στο Ναγκασάκι με ισχύ 21.000 τόνους TNT.
(Πηγή: [wikipedia.org](https://www.wikipedia.org))

Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν και η συμβολή του στην κατασκευή της ατομικής βόμβας

Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν (1879 - 1955), ένας από τους πιο διάσημους φυσικούς και επιστήμονες του 20ου αιώνα, διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην κατασκευή της πρώτης ατομικής βόμβας. Αυτή η εξέλιξη έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και είχε μείζονες επιπτώσεις στην παγκόσμια ιστορία.

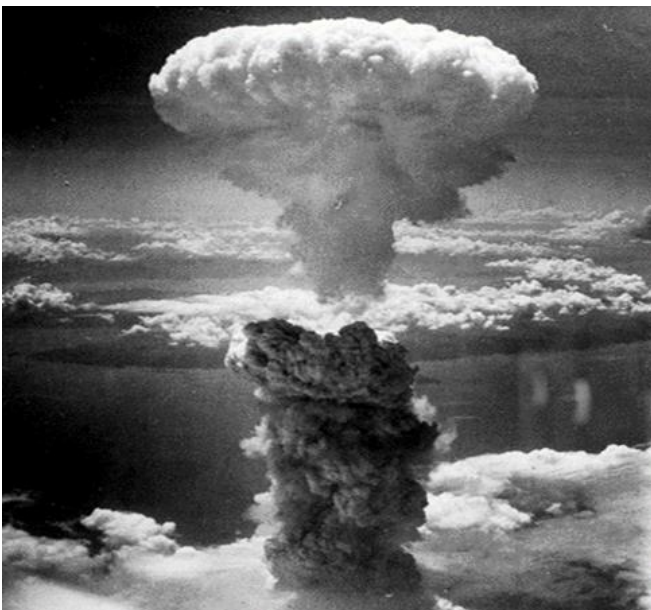
Το 1939, πριν ακόμη ξεσπάσει ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος, οι φυσικοί Λέο Σιλάρντ, Ένρι Μπρουκς και άλλοι, ηγούμενοι στην πυρηνική έρευνα, προειδοποίησαν την κυβέρνηση των Η.Π.Α. για τις πιθανές πολεμικές εφαρμογές της πυρηνικής ενέργειας. Αυτό έκανε τους Αμερικανούς πολιτικούς και επιστήμονες να δράσουν. Ο Αϊνστάιν, παρά το γεγονός ότι δεν συμμετείχε απευθείας στην έρευνα για την ατομική βόμβα, απέστειλε υπογεγραμμένη επι-



Albert Einstein



Το πυρηνικό «μανιτάρι» που σχηματίστηκε μετά την έκρηξη στη Χιροσίμα. (Πηγή: wikipedia.org)



Το πυρηνικό «μανιτάρι» ύψους 18 χιλιομέτρων που σχηματίστηκε από την έκρηξη στο Ναγκασάκι. (Πηγή: wikipedia.org)

στολή στον πρόεδρο των ΗΠΑ, Φράνκλιν Ρούζβελτ, που υπογράμμιζε τον κίνδυνο της ναζιστικής Γερμανίας να αποκτήσει πυρηνική τεχνολογία. Αυτός ήταν ένας από τους παράγοντες που συνέβαλαν στην έναρξη του Προγράμματος Μανχάταν.

Η θεωρητική συνεισφορά του Αϊνστάιν ήταν κρίσιμη για την κατανόηση των φυσικών αρχών που κρύβονται πίσω από την λειτουργία της ατομικής βόμβας. Οι εξισώσεις της θεωρίας της σχετικότητας ήταν σημαντικές για τον υπολογισμό των αντιδράσεων και της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά την εκρηκτική αντίδραση που συμβαίνει σε μια ατομική βόμβα. Παρά το γεγονός ότι ο Αϊνστάιν δεν ήταν μέλος της ομάδας που κατασκεύασε την ατομική βόμβα, η θεωρητική του συνεισφορά ήταν απαραίτητη για την επιτυχή υλοποίηση του έργου.

Επίλογος

Η ατομική βόμβα που έπληξε την Χιροσίμα ("Little Boy") είχε ισχύ ισοδύναμη με δεκαπέντε χιλιάδες τόνους TNT. Στο Ναγκασάκι, η βόμβα "Fat Man" είχε ισχύ ισοδύναμη με είκοσι μία χιλιάδες τόνους TNT. Αυτή η τεράστια ποσότητα ενέργειας απελευθερώνεται σε κλάσματα δευτερολέπτου λόγω της σχεδόν ταυτόχρονης διάσπασης των πυρήνων του υλικού μιας ατομικής βόμβας. Ο αρχικός αριθμός των θυμάτων που πέθαναν ακαριαία από τη ρίψη των βομβών υπολογίζεται σε περίπου 70.000 στη Χιροσίμα και 40.000 στο Ναγκασάκι. Όμως οι ολέθριες συνέπειες της πυρηνικής ακτινοβολίας τους επόμενους τέσσερις μήνες αύξησαν τον αριθμό των νεκρών σε 90.000-166.000 στη Χιροσίμα και 80.000 στο Ναγκασάκι. Σήμερα, αρκετές χώρες κατέχουν πυρηνικά όπλα, συμπεριλαμβανομένων των ΗΠΑ, της Ρωσίας, της Κίνας, της Γαλλίας, της Μεγάλης Βρετανίας, της Ινδίας, του Πακιστάν και του Ισραήλ.

Η θέση των επιστημόνων που συμμετείχαν στο πρόγραμμα κατασκευής της ατομικής βόμβας ήταν αρκετά δύσκολη. Ο κίνδυνος ότι η Γερμανία θα μπορούσε να κατασκευάσει αυτό το όπλο ώθησε πολλούς επιστήμονες να ξεπεράσουν τις ανησυχίες τους και να συμμετάσχουν στο πρόγραμμα. Αργότερα, όταν συνειδητοποίησαν ότι η ατομική βόμβα δεν ήταν πλέον απαραίτητη για τη λήξη του πολέμου, αντιτάχθηκαν με έντονο τρόπο στη χρήση της, με αποτέλεσμα να υποστούν ζημιά στην επαγγελματική τους πορεία. Κάθε επιστήμονας κράτησε διαφορετική στάση απέναντι στην χρήση αυτών των όπλων. Μετά τον πόλεμο, ο Oppenheimer έγινε επικεφαλής σύμβουλος στη νεοσύστατη Επιτροπή Ατομικής Ενεργείας των Ηνωμένων Πολιτειών και χρησιμοποίησε τη θέση του για να ασκήσει πιέσεις για τον διεθνή έλεγχο της πυρηνικής ενέργειας και την αποτροπή της διάδοσης των πυρηνικών όπλων. Η στάση του Oppenheimer αντανάκλα την επιθυμητή στάση ενός ηθικού επιστήμονα. Συνέχισε να παραδίδει μαθήματα, να γράφει και να εργάζεται στη φυσική.

Πηγές

- **A. Βεργανελάκης (επιμέλεια) «Εμείς και η ραδιενέργεια»** Παν. Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 1989
- **D. Bodanis «E=mc². Η βιογραφία της πιο διάσημης εξίσωσης στον κόσμο»** Εκδ. Οργ. Λιβάνη, Αθήνα, 2003
- **F. Jerome «The Einstein File: J. Edgar Hoover's secret war against the world's most famous scientist»** St. Martin's Griffin, New York, 2003
- **A. Pais, «The science and the life of Albert Einstein»,** Oxford University Press Oxford, 1982
- **E. Segre «Enrico Fermi. Physicist»** The University of Chicago Press, Chicago, 1970
- **Ντ. Β. Σιβούχιν, «Ατομική και πυρηνική φυσική»** Εκδοτικός οίκος Ναούκα, Μόσχα, 1989
- http://en.wikipedia.org/wiki/The_Manhattan_Project

Oppenheimer: η ταινία



Το «**Oppenheimer**» είναι μια βιογραφική ταινία του 2023 σε σενάριο και σκηνοθεσία Christopher Nolan με πρωταγωνιστή τον Cillian Murphy ως J. Robert Oppenheimer, τον αποκαλούμενο «πατέρα της ατομικής βόμβας». Βασισμένη στη βιογραφία του 2005 «**American Prometheus**» από τους Kai Bird και Martin J. Sherwin, η ταινία εξιστορεί την καριέρα του Oppenheimer, με την ιστορία να επικεντρώνεται κυρίως στις σπουδές του, τον διευθυντικό του ρόλο στο Manhattan Project κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και την τελική συντριβή του μετά τη ακρόαση στην Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας των Η.Π.Α. το 1954. Στα Όσκαρ 2024 είναι υποψήφια σε 13 κατηγορίες, πολύ κοντά στο ρεκόρ των 14 υποψηφιότητων.

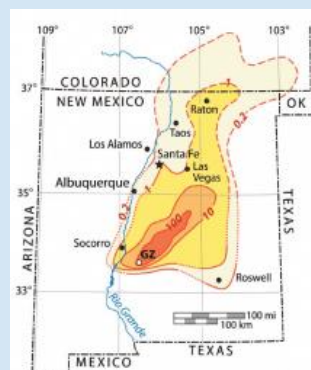
... και τι δεν μας λέει για τη δοκιμή Trinity

Τα τελευταία χρόνια, έχει ενταθεί η διαμάχη σχετικά με τα ραδιενεργά κατάλοιπα της έκρηξης της πρώτης ατομικής βόμβας στον κόσμο, στο Alamogordo του Νέου Μεξικού στις 16 Ιουλίου 1945, με την κωδική ονομασία **Trinity**. Στοιχεία τα οποία συλλέχθηκαν από τις υγειονομικές υπηρεσίες του Νέου Μεξικού και οι οποίες ωστόσο αγνοήθηκαν για περίπου 70 χρόνια, κατέδειξαν ένα ασυνήθιστα υψηλό ποσοστό βρεφικής θνησιμότητας στις κομητείες του Νέου Μεξικού. Εγείρεται λοιπόν το σοβαρό ερώτημα: ήταν τελικά Αμερικανοί τα πρώτα θύματα της πρώτης έκρηξης ατομική βόμβας;

Τον Οκτώβριο του 1947, ένας τοπικός ιατρός στο Νέο Μεξικό σημείωσε συναγερμό σχετικά με τους βρεφικούς θανάτους ειδικά τους τρεις πρώτους μήνες μετά τη δοκιμή Trinity. Η έκρηξη των 21 κιλοτόνων έχει παρομοιαστεί ως μια «βρώμικη βόμβα» που εκτόξευσε σε έκταση χιλιάδων τετραγωνικών μέτρων, τεράστιες ποσότητες από εξαιρετικά μολυσμένο έδαφος και θραύσματα τα οποία περιείχαν το 80 % του πλουτωνίου της βόμβας!! Έπειτα από μισό αιώνα άρνησης, το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. κατέληξε το 2006 στο συμπέρασμα ότι «η δοκιμή Trinity αποτέλεσε τον πιο σημαντικό κίνδυνο σε όλο το Manhattan Project. Οι κάτοικοι του Νέου Μεξικού δεν προειδοποιήθηκαν πριν από την έκρηξη στη δοκιμή Trinity, δεν εγκατέλειψαν την περιοχή πριν, κατά τη διάρκεια ή μετά τη δοκιμή, ούτε ενημερώθηκαν για τους μετέπειτα κινδύνους στην ανθρώπινη υγεία. Τα ποσοστά έκθεσης που μετρήθηκαν σε δημόσιους χώρους της πρώτης πυρηνικής έκρηξης στον κόσμο βρέθηκαν 10.000 φορές υψηλότερα από τα σήμερα επιτρεπτά». Περισσότερα από 70 χρόνια μετά, η έκθεση σε ακτινοβολία μέσω της εισπνοής και της κατάποσης μολυσμένου νερού και τροφής δεν αξιολογήθηκε ποτέ. Η εκτίμηση της απορροφειθείσας δόσης κρίνεται πλέον αδύνατη κυρίως λόγω του θανάτου των κατοίκων που ζούσαν στις γύρω περιοχές καθώς και των μεγάλων αλλαγών στον τρόπο ζωής και στις διατροφικές συνήθειες που έχουν λάβει χώρα από το 1945 μέχρι σήμερα.

Σε μια άλλη αμερικανική κοινότητα το St. Louis του Missouri, οι κάτοικοι άρχισαν να παρατηρούν μια αλυσίδα από ανεξήγητα υψηλά περιστατικά καρκίνων στον πληθυσμό της. Για δεκαετίες, τόσο οι πρώην όσο και οι σημερινοί κάτοικοι περίπου 90 δήμων αυτής της πόλης είχαν διαγνωστεί με μια μακρά σειρά απειλητικών για τη ζωή σπάνιων ασθενειών. Αλλά κανείς δεν αναρωτήθηκε ποτέ, τι πραγματικά αρρωσταίνει αυτούς τους αθώους ανθρώπους; Δυστυχώς, η ατομική βόμβα γεννήθηκε με έδρα το St Louis Στα μέσα της δεκαετίας του 1940, όλοι οι χώροι εναπόθεσης των ραδιενεργών αποβλήτων της εταιρείας Mallinckrodt Chemical Works (προσλήφθηκε από την κυβέρνηση των ΗΠΑ για την επεξεργασία του ουρανίου για την ανάπτυξη των πρώτων πυρηνικών όπλων) είχαν εξαντληθεί. Ως αποτέλεσμα, ξεκίνησε το 1946 την αποστολή τους σε μια σχετικά αραιοκατοικημένη περιοχή βόρεια του St Louis, δίπλα σε έναν κολπίσκο με το όνομα Coldwater. Εδώ πετάχτηκαν περίπου 250.000 βαρέλια ραδιενεργού υλικού σε ρηχούς λάκκους παραμένοντας εκτεθειμένα στα στοιχεία της φύσης. Σε ορισμένες περιοχές όπου υπήρχε διαρροή αποβλήτων από τα φορτηγά, διαπιστώθηκε ότι τα επίπεδα ακτινοβολίας υπερέβαιναν κατά επτά φορές την κανονική τιμή. Τα τοξικά αυτά απόβλητα μεταφέρθηκαν και πετάχτηκαν κρυφά με την έγκριση της τότε κυβέρνησης.

Όμως στις δεκαετίες του 1950 και του 1960, η οικιστική έκρηξη της περιοχής οδήγησε σε επέκταση της πόλης. Το αποτέλεσμα; Δημιουργήθηκαν νέοι οδοί μεταφοράς του μολυσμένου ιζήματος το οποίο σύντομα άρχισε να εξαπλώνεται στο υπέδαφος όλης της περιοχή. Εν αγνοία τους, οι άνθρωποι κατανάλωναν πλέον αυτά τα καρκινογόνα υπολείμματα. Το 2011, με την έλευση του Facebook, οι κάτοικοι της κοινότητας άρχισαν να μοιράζονται ιστορίες, παρατηρώντας ωστόσο ένα περίεργο φαινόμενο. Ανεξήγητα υψηλός αριθμός περιστατικών σπάνιων μορφών καρκίνων: καρκίνος της σκωληκοειδούς υπόφυσης, καρκίνος του εγκεφάλου, καρκίνος του θυρεοειδούς, λύκο, πολλαπλή σκλήρυνση και άλλα αυτοάνοσα νοσήματα. Αυτό που διαπίστωσαν ήταν στην πραγματικότητα μια περιβαλλοντική καταστροφή της υγείας που εκτυλίσσονταν αργά εδώ και δεκαετίες. Ο καθαρισμός του «χάους» ανατέθηκε το 1989 σε Σώμα του Στρατού των Η.Π.Α., το οποίο βρήκε επιπλέον ραδιενεργά εδάφη σε διάφορες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των αυλών σπιτιών και ενός δημόσιου πάρκου. Μετά από σχεδόν 34 χρόνια ανασκαφών για τον καθαρισμό των δηλητηρίων του Coldwater Creek, τα προβλήματα δυστυχώς εξακολουθούν να υπάρχουν.



Εκτιμώμενος ρυθμός έκθεσης (mR/h) 12 ώρες μετά την έκρηξη. GZ: σημείο μηδέν δοκιμής Trinity



Χιλιάδες βαρέλια με ραδιενεργά απόβλητα που πετάχτηκαν στο St. Louis.

Αιθιοπία, εκεί που η τέχνη συναντά την επιστήμη



**Νικόλαος
Θεοδωρακόπουλος**
Φοιτητής Τμήματος
Φυσικής, Α.Π.Θ.

Η αλήθεια είναι πως μέχρι την επιλογή του θέματος της εργασίας μου δεν γνώριζα την ύπαρξη του όρου «Αιθιοπική Τέχνη» καθώς και ούτε τί αυτή περιλάμβανε. Παρόλα αυτά, κατά την διάρκεια της εργασίας και εμπλουτίζοντας τις δικές μου γνώσεις επί του θέματος, εντυπωσιάστηκα με το πώς αυτή η χώρα συνδυάζει την Χριστιανική παράδοση και την τέχνη με την επιστήμη της φυσικής. Πιο συγκεκριμένα, στο άρθρο θα ανα-

φερθούν κάποιες βασικές πληροφορίες για την χώρα της Αιθιοπίας, τις τεχνικές ζωγραφικής και τις χρωστικές που χρησιμοποιούσαν και τέλος, το κυρίως θέμα του άρθρου, η ανάλυση εικόνων από το Αφρικανικό Μουσείο Τέχνης, χρησιμοποιώντας τεχνικές της φυσικής, όπως υπεριώδες φως, ακτίνες-Χ, μικροσκόπιο πολωμένου φωτός (PLM), φασματοσκοπία υπερύθρου μετασχηματισμού Fourier (FTIR) κ.α.

Ορισμός της Αιθιοπικής τέχνης

Στον νανόκοσμο, τα πράγματα συμπεριφέρονται διαφορετικά. Η Αιθιοπική τέχνη αναφέρεται σε οποιαδήποτε μορφή αρχαίας και σύγχρονης τέχνης που ανιχνεύεται από τον 4^ο αιώνα έως τον 20^ο αιώνα. Μπορεί να χωριστεί σε **δύο μεγάλες ομάδες**. Πρώτα έρχεται μια ξεχωριστή παράδοση κυρίως για τις εκκλησίες, αυτή της Χριστιανικής Τέχνης σε μορφές όπως ζωγραφική, σταυροί, εικόνες, φωτισμένα χειρόγραφα και άλλα μεταλλικά έργα, όπως κορώνες (Εικόνα 1). Δεύτερον, υπάρχουν **δημοφιλείς τέχνες και χειροτεχνίες** όπως τα υφάσματα, η καλαθοπλεκτική και τα κοσμήματα, στα οποία οι παραδόσεις της Αιθιοπίας είναι πιο κοντά σε εκείνες άλλων λαών της περιοχής.

Χριστιανική τέχνη

Στην Αιθιοπία εισέδυσαν από τους πρώτους αιώνες οι ακτίνες του Χριστιανισμού. Παρόλα αυτά, ο

Χριστιανισμός επικράτησε από τον 4^ο αιώνα και μετά, χάρη στη δράση δυο εμπόρων από την Τύρο, τον Φρουμέντιο και τον Αιδέσιο.



Εικόνα 1: Τρίπτυχο του 15^{ου} αιώνα. Απεικονίζεται στο κέντρο η Παρθένος Μαρία και στα πλάγια οι 12 Απόστολοι.

Υλικά και τεχνικές ζωγραφικής

Οι **τοιχογραφίες** στις αιθιοπικές εκκλησίες που είναι λαξευτές σε βράχο, γινόταν είτε απευθείας πάνω στο φυσικό πέτρωμα, είτε πάνω σε στρώμα ασβέστη ή πηλού (Εικόνα 2). Μετά τον 17^ο αιώνα, οι παραστάσεις φιλοτεχνούνται πάνω σε καμβά και κατόπιν επικολλούνταν στην επιφάνεια του τοίχου, ιδίως σε τρούλους.

Οι **φορητές εικόνες** συναντώνται συνήθως σε μορφή διπτύχου και τριπτύχου, γινόταν σε ξύλο και πάνω από ένα στρώμα γύψου και μετά τον 17^ο αιώνα πάνω σε καμβά που είχε διαμορφωθεί κατάλληλα. (Εικόνα 3)

Οι χρωστικές παρασκευάζονταν από ορυκτά και τοπικά φυτά, με εξαίρεση το ινδικό που εισαγόταν από την Ινδία. Το λεύκωμα και ο κρόκος αυγού χρη-



Εικόνα 2: Τοιχογραφία από την εκκλησία Debre Berham Selassie



Εικόνα 3: Φορητή εικόνα-δίπτυχο του 18^{ου} αιώνα.

σιμοποιούνταν ως συνδετικές ουσίες των χρωμάτων, όπως επίσης ως φυτικές και ζωικές κόλλες. Από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα εισάγονται βιομηχανικά χρώματα από την Δύση.

Ανάλυση και συντήρηση εικόνων από το Αφρικανικό Μουσείο Τέχνης

Το 2003 έξι εικόνες από την συλλογή του Εθνικού Μουσείου Αφρικανικής Τέχνης βρέθηκαν στο επίκεντρο ενός ετήσιου έργου για την έρευνα των υλικών και των τεχνικών κατασκευής και τη συντήρησή τους. Αυτή η τεχνική μελέτη είναι μια από τις πρώτες που εντόπισαν και τεκμηρίωσαν επιστημονικά τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη ζωγραφική των Αιθιοπικών εικόνων. Τα αποτελέσματα της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν για να επιβεβαιώσουν και να υποστηρίξουν τις ιστορικές πηγές. Χρησιμοποιήθηκαν ποικίλες αναλυτικές μέθοδοι για την μελέτη των υποστηρικτικών υλικών, της σύνθεσης των πινάκων, το συνδετικό της βαφής και τις χρωστικές που χρησιμοποιήθηκαν.

Πως κατασκευάστηκαν οι Αιθιοπικές εικόνες.

Κάθε εικονίδιο του Αφρικανικού Μουσείου Τέχνης είναι κατασκευασμένο από ξύλινες σανίδες (συνήθως από ελιές ή δέντρα wanza) κομμένες ακτινωτά. Τα μεμονωμένα πλαίσια ενός εικονιδίου χωρίζονται από τον ίδιο πίνακα. Αρχίζοντας από τον 17^ο αιώνα, συχνά στο ξύλο κολλούσαν ένα βαμβάκερο ύφασμα προκειμένου να παρέχει μια ομοιομορφή επιφάνεια για ζωγραφική στις χοντροκομμένες σανίδες. Ένα λευκό στρώμα εδάφους από gesso (γύψο) εφαρμόστηκε σε πολλές στρώσεις πάνω από τα καλυμμένα με ύφασμα πάνελ. Η σύνθεση στη συνέχεια σχεδιάστηκε στο στρώμα εδάφους.

Ανάλυση με υπεριώδες φως (UV): Ο συντηρητής με αυτή την μέθοδο εξετάζει την παρουσία επικαλύ-

ψεων, βερνικιών και αποκαταστάσεων, όπως υλικά πλήρωσης ή βαφής. Η υπέρυθρη φωτογραφία, η οποία καταγράφει υλικά με βάση τον άνθρακα, και η ακτινογραφία ακτίνων-Χ, η οποία καταγράφει τις σχετικές πυκνότητες των υλικών, χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση τυχόν αλλαγών της εικόνας σε σχέση με το κάτω σχέδιο έως την τελική ζωγραφική. Δεν σημειώθηκαν τέτοιες αλλαγές για κανένα από τα εικονίδια.

Σε αυτό το αντικείμενο, δεν είναι ορατό κάποιο βερνίκι ή τυχόν αποκαταστάσεις κάτω από το υπεριώδες φως (Εικόνα 4). Τα βερνίκια και οι επικαλύψεις συνήθως φθορίζουν λευκό, κίτρινο, ανοιχτό πράσινο ή πορτοκαλί φως. Η βαφή απορροφά συνήθως το υπεριώδες φως δίνοντας ένα μαύρο χρώμα. Κατά πάσα πιθανότητα, τα λευκά φθορίζοντα σημεία αντιστοιχούν σε ζωική κόλλα.

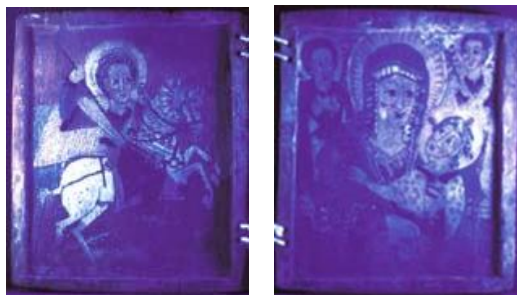


Εικόνα 4: Η προς ανάλυση εικόνα. Αριστερά απεικονίζεται ο Άγιος Γεώργιος και από τα δεξιά η Παναγία.

Υπέρυθρη ακτινοβολία (IR): Ο συντηρητής χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο πρωτίστως για να δει κατώτερα σχέδια που συχνά εκτελούνται σε άνθρακα ή γραφίτη, τα οποία και τα δύο είναι υλικά με βάση τον άνθρακα. Τα υλικά με βάση τον άνθρακα απορροφούν φως στην περιοχή του υπέρυθρου δίνοντας τα μαύρα περιγράμματα του σχεδίου.

Σε αυτό το αντικείμενο, δεν έγιναν αλλαγές από το αρχικό σχέδιο στην τελική σύνθεση (Εικόνα 5). Τα εμφανή μαύρα περιγράμματα σε αυτήν την εικόνα υπέρυθρου είναι αποτέλεσμα του περιγράμματος πάνω από το κάτω σχέδιο. Στην Εικόνα 5, οι αλλαγές χρώματος που είναι ορατές στην υπέρυθρη εικόνα είναι αποτέλεσμα του φίλτρου πάνω από το φως. Έτσι, το κόκκινο φαίνεται να είναι πράσινο και το πράσινο να είναι μπλε.

Ακτίνες-Χ: Ο συντηρητής χρησιμοποιεί αυτή την μέθοδο προκειμένου να καταγράψει τις διαφορετικές πυκνότητες των υλικών, περνώντας μια δέσμη ακτίνων-Χ μέσα από ένα τεχνούργημα το οποίο



Εικόνα 5: Το δίπτυχο κάτω από υπεριώδες φως.

στηρίζεται σε ένα μεγάλο φύλλο φιλμ (Εικόνα 6). Οι λευκές περιοχές αντιστοιχούν στην πυκνότερη χρωστική ουσία που χρησιμοποιείται για τη ζωγραφική της εικόνας. Το Vermilion, που χρησιμοποιείται για τις κόκκινες περιοχές, είναι κατασκευασμένο από θειούχο υδράργυρο. Επειδή ο υδράργυρος είναι ένα βαρύ μέταλλο υψηλής πυκνότητας, οι ακτίνες-Χ δεν διείσδυσαν στις περιοχές του ερυθρού, είναι επομένως ραδιοαδιαφανείς.

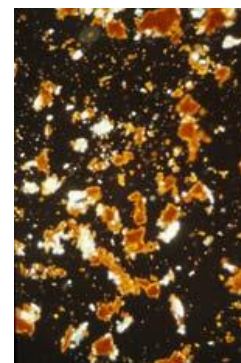


Εικόνα 6: Ακτινογραφία της εικόνας.

Μικροσκόπιο πολωμένου φωτός (PLM): Χρησιμοποιείται για τη μελέτη σωματιδίων και ινών τόσο στο εκπεμπόμενο φως (το οποίο διέρχεται από το δείγμα) όσο και στο ανακλώμενο φως σε μεγεθύνσεις έως και 1000 X. Ο συντηρητής χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο για την ποιοτική αναγνώριση χρωστικών και ινών με βάση το μέγεθος των σωματιδίων, τη μορφολογία και τις ανακλαστικές ιδιότητες. Σε αυτό το αντικείμενο μελετήθηκαν και τα οκτώ χρώματα για ταυτοποίηση με PLM. Ένα δείγμα που λήφθηκε από το κόκκινο φόντο του δεξιού πλαισίου δείχνει σωματίδια του λευκού εδάφους (γύψου) και της κόκκινης χρωστικής ουσίας (βερμύλιον) σε μεγέθυνση 200 X (Εικόνα 7). Η πορτοκαλί «άλως» γύρω από τα κόκκινα σωματίδια βοήθησαν στην αναγνώριση της χρωστικής ως βερμύλιον.

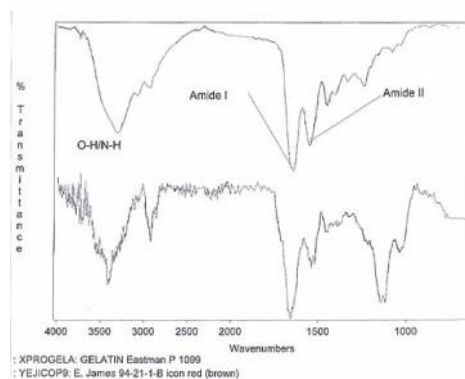
Φασματοσκοπία υπέρυθρου μετασχηματισμού Fourier (FTIR): Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό οργανικών υλικών. Συγκεκριμένα, μετρούνται τα μήκη κύματος και οι συχνότητες

των δονήσεων των μοριακών τους δεσμών και το προκύπτον φάσμα συγκρίνεται με μια βάση δεδομένων γνωστών υλικών. Οι οργανικές ουσίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με αυτή τη μέθοδο (π.χ. αλκοόλες, κόμμεα, κερία, πρωτεΐνες κλπ.) αλλά δεν μπορούν να προσδιοριστούν επακριβώς. Ο συντηρητής χρησιμοποιεί την τεχνική FTIR για να χαρακτηρίσει επιστρώσεις, βερνίκια, συνδετικά και κόλλες. Αυτός ο χαρακτηρισμός βοηθά στην κατανόηση των υλικών του καλλιτέχνη και στην εύρεση της κατάλληλης αντιμετώπισης.



Εικόνα 7: Δείγμα από κόκκινο χρώμα.

Δείγμα της βαφής υποβλήθηκε στην τεχνική FTIR για να χαρακτηριστεί το συνδετικό μέσο. Το φάσμα του δείγματος ταίριαζε περισσότερο με τα φάσματα των πρωτεϊνικών υλικών (Εικόνα 8). Οι πρωτεΐνες βρίσκονται σε όλα τα υλικά ζωικής προέλευσης και χαρακτηρίζονται στο φάσμα FTIR από τους δεσμούς τους αζώτου-υδρογόνου (N-H). Οι κορυφές στις περιοχές κυματιθμών $1630-1690\text{ cm}^{-1}$ και $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ υποδεικνύουν τον σχηματισμό διαφορετικών δεσμών N-H στις ουσίες που υπάρχουν. Συγκεκριμένα, το δείγμα ταυτίζεται περισσότερο με το φάσμα μιας ζωικής κόλλας. Αυτά τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν προφορικές ιστορικές αφηγήσεις σχετικά με τα υλικά που χρησιμοποιούσαν οι Αιθίοπες αγιογράφοι.



Εικόνα 8: Φάσμα FTIR της εικόνας.

Πηγές

- <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/>
- Yekimov A.I. *Optical-Properties of Semiconductor Quantum Dots in Glass Matrix*. *Phys Scripta* 1991, T39, 217-222;
- Efros A.L.; Brus L.E. *Nanocrystal Quantum Dots: From Discovery to Modern Development*. *ACS Nano* 2021, 15, 6192-6210.
- Dong G. et al. *Quantum dot-doped glasses and fibers: fabrication and optical properties*. *Front. Mater*, 2015, 2:13

εύκαμπτες & πολυμορφικές οργανικές δίοδοι εκπομπής φωτός (OLEDs)



Δέσποινα Τσελεκίδου
Διδάκτωρ
Τμήματος Φυσικής,
Α.Π.Θ.

Η επάρκεια ενέργειας αποτελεί επιτακτική ανάγκη στις σύγχρονες προηγμένες κοινωνίες και ο καλύτερος τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας είναι ο έλεγχος και η μείωση της κατανάλωσής της. Ανάμεσα στις προτεινόμενες λύσεις σημαντική θέση έχει η χρήση λιγότερο ενεργοβόρων συστημάτων φωτισμού.

Στον παγκόσμιο στόχο εξοικονόμησης ενέργειας αποφασιστικά συμβάλλει η τεχνολογία των οργανικών δίοδων

εκπομπής φωτός (Organic Light Emitting Diodes, OLEDs), οι οποίες ανήκουν στις διατάξεις φωτισμού στερεάς κατάστασης. Συγκεκριμένα, η αντικατάσταση των συστημάτων φωτισμού που βασίζονταν στις λυχνίες κενού από διατάξεις φωτισμού στερεάς κατάστασης έδωσε το έναυσμα για την σύνθεση νέων υλικών, όπως είναι οι οργανικοί ημιαγωγοί, και έτσι από το τέλος του 20ου αιώνα μέχρι σήμερα, οι διατάξεις φωτισμού στερεάς κατάστασης αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μας ζωής.

Η λειτουργία της Οργανικής Διόδου Εκπομπής Φωτός βασίζεται στο φαινόμενο της Ηλεκτροφωταύγειας, δηλαδή στη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε φως. Σε αντίθεση με τους κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως, στους οποίους το φως εκπέμπεται όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει ένα νήμα Βολφραμίου (θερμιονική εκπομπή) ή τις λάμπες φθορισμού, στις οποίες το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από ένα αέριο (συνήθως ευγενή αέρια, όπως Νέο, Αργό, Κρυπτό, Ξένο ή ατμούς Υδραργύρου χαμηλής πίεσης), στις διατάξεις OLED το φως προκύπτει από το ρεύμα που διέρχεται από ένα ή περισσότερα φωτοενεργά οργανικά λεπτά υμένια.

Πιο αναλυτικά, οι βασικές φυσικές διεργασίες που την διέπουν την λειτουργία διάταξης OLED περιλαμβάνουν: 1) την έγχυση ηλεκτρονίων και οπών από δύο ηλεκτρόδια αντίθετης πολικότητας, την κάθοδο και την άνοδο αντίστοιχα, στις στάθμες HOMO και LUMO αντίστοιχα του οργανικού ημιαγωγού, 2) την μεταφορά τους στη ζώνη εκπομπής, όπου λαμβάνει χώρα 3) η επανασύνδεση ηλεκτρονίων-οπών με αποτέλεσμα τη

δημιουργία διεγερμένων καταστάσεων (εξιτόνια) μέσα στο ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού, και 4) κατά την αποδιέγερση (αποσύνθεση εξιτονίων) εκπέμπεται φως.

Οι μοναδικές ιδιότητες των OLED, τις καθιστούν ιδανικές υποψήφιες για τις οθόνες και τις τεχνολογίες φωτισμού στερεάς κατάστασης (solid state lighting). Στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγονται η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η δυνατότητα παραγωγής εύκαμπτων και διατάξεων OLED σε εύκαμπτα υποστρώματα με υγρές τεχνικές εκτύπωσης, γεγονός που προσφέρει OLEDs με χαμηλό βάρος, φορητότητα και ευελιξία στην προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές επιφάνειες. Τα χαρακτηριστικά αυτά ανοίγουν τον δρόμο σε νέες εφαρμογές όπως για παράδειγμα σε βιοαισθητήρες, σήμανση κλπ.

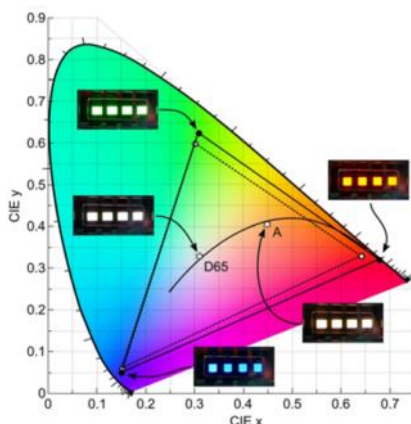
Σήμερα, η κατασκευή εύκαμπτων OLED (Flexible Organic Light Emitting Diodes, FOLEDs) σε πολυμερικά υποστρώματα (όπως PET) έχει προσελκύσει τον ενδιαφέρον των ερευνητών και της βιομηχανίας. Οι προκλήσεις κατασκευής λειτουργικών και FOLED αφορούν την αναζήτηση καινοτόμων και φθηνών υλικών, τα οποία να μπορούν να εκτυπωθούν, επομένως να διαλύονται σε κοινούς διαλύτες και να μπορούν να επεξεργαστούν εύκολα με υγρές τεχνικές εκτύπωσης σε θερμοκρασία δωματίου. Επίσης, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στο πεδίο της έρευνας, η διερεύνηση των φωτοεκπομπών ως προς την επιλεκτικότητα και τη σταθερότητα χρώματος εκπομπής κατά τη λειτουργία της διάταξης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις διατάξεις OLED με εκπομπή στο λευκό, δηλαδή σε όλο το ορατό φάσμα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την επίτευξη της εκπομπής λευκού φωτός, η οποία επιτυγχάνεται με την ανάμειξη είτε των συμπληρωματικών (μπλε και κίτρινο ή πορτοκαλί) ή των βασικών (κόκκινο, πράσινο και μπλε) χρωμάτων. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι κρίνεται απαραίτητη η παρουσία δύο ή και περισσότερων φωτοεκπομπών σε διαφορετικό φασματικό εύρος με στόχο τον συντονισμό των επιμέρους εκπομπών για την κάλυψη του ορατού, καθώς από μόνος του ένας φωτοεκπομπός αδυνατεί να παρέχει εκπομπή σε τόσο μεγάλο φασματικό εύρος.

Στην Εικόνα 1 φαίνεται η χρωματική καμπάνα CIE, όπου τα όρια του διαγράμματος αποτελούν το μονοχρωματικό φως, και η ανάμειξη των χρωμάτων (λευκό)

εντοπίζεται πιο κοντά στο κέντρο. Οι χρωματικές συντεταγμένες για το ιδανικό λευκό υπολογίζονται (0.33, 0.33) και το σημείο αυτό βρίσκεται στο κέντρο του διαγράμματος CIE. Τέλος, η βελτίωση της απόδοσης και ο χρόνος ζωής αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την χρήση των FOLED στην τεχνολογία οθονών αλλά και στον φωτισμό.

Στο Τμ. Φυσικής ΑΠΘ, το Εργαστήριο Νανοτεχνολογίας LTFN δραστηριοποιείται στα οργανικά εκτυπωμένα ηλεκτρονικά με ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη τεχνολογιών μεγάλης κλίμακας όσον αφορά την κατασκευή, τις διεργασίες και τα υλικά. Συγκεκριμένα στο συνεργατικό ερευνητικό έργο "APOLLON" με Επιστημονικά Υπεύθυνη την Αναπλ. Καθηγήτρια του Τμ. Φυσικής Μαρία Γιώτη, επιτεύχθηκε ο σχηματισμός της αλυσίδας αξίας (Value Chain) για την δημιουργία μιας βιώσιμης και φιλικής προς το περιβάλλον διαδικασίας παραγωγής οργανικών OLEDs υψηλής απόδοσης σε μεγάλη κλίμακα με τεχνικές roll-to-roll (R2R) και sheet-to-sheet (S2S). Η πιλοτική γραμμή παραγωγής περιλαμβάνει όλα τα στάδια που απαιτούνται για τη δημιουργία προηγμένων εύκαμπτων ή άκαμπτων πρωτότυπων προϊόντων OLED:

- Μεταλλικά λεπτά υμένια ηλεκτροδίων πρότυπων μοτίβων με χρήση λέιζερ υψηλής ακρίβειας για τη σχηματοποίησή τους
- Κατασκευή OLEDs με διαδικασίες εκτύπωσης R2R και S2S
- Υψηλής απόδοσης ενθυλάκωση των διατάξεων OLED



Εικόνα 1. Διάγραμμα χρωματικότητας CIE 1931. Στις άκρες της καμπάνας φαίνεται η καθαρή εκπομπή στο κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώμα. Στο κέντρο της καμπάνας απεικονίζονται οι χρωματικές συντεταγμένες για την εκπομπή στο λευκό (0.33, 0.33).

Η προτυποποίηση και η πιλοτική παραγωγή ειδικά σχεδιασμένων διατάξεων OLED οδήγησε στην ενσωμάτωση και ολοκλήρωση εύκαμπτων και άκαμπτων διατάξεων OLED, από επίπεδο συστήματος σε καινοτόμα προϊόντα φωτισμού (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Εύκαμπτες Διατάξεις OLED, οι οποίες κατασκευάστηκαν στο Εργαστήριο Νανοτεχνολογίας LTFN στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «APOLLON» .

Επίσης στην διδακτορική διατριβή μου, υπό την επίβλεψη της Αναπλ. Καθηγήτριας Μ. Γιώτη, με θέμα «Ανάπτυξη και μελέτη ιδιοτήτων νανοδομημένων υλικών για φωτονικές εφαρμογές» αναπτύχθηκαν και μελετήθηκαν καινοτόμα νανοδομημένα οργανικά φωτοενεργά λεπτά υμένια και χρησιμοποιήθηκαν ως υλικά εκπομπής σε διατάξεις OLED..

Οι διατάξεις OLEDs κατασκευάστηκαν αποκλειστικά με τεχνικές εκτύπωσης σε εύκαμπτα πολυμερικά υποστρώματα. Η συσχέτιση των ιδιοτήτων των υλικών και των μηχανισμών της φωταύγειας και ηλεκτροφωταύγειας οδήγησε στην κατασκευή εύκαμπτων OLEDs με προσαρμοστικότητα σε επιφάνειες διαφορετικής γεωμετρίας. Τα αποτελέσματα αφορούν την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της φωτεινότητας και της πυκνότητας ρεύματος συναρτήσει της εφαρμοζόμενης τάσης, της φασματικής κατανομής εκπομπής για σταθερά εφαρμοζόμενες τάσεις, καθώς και των χρωματικών συντεταγμένων εκπομπής. Επομένως, μπορούμε να συσχετίσουμε τις ιδιότητες των επιμέρους υλικών με τα χαρακτηριστικά των διατάξεων OLED, κατανοώντας τους μηχανισμούς εκπομπής τόσο στην περίπτωση της Φωτοφωταύγειας όσο και στην περίπτωση της Ηλεκτροφωταύγειας με τελικό στόχο την καθαρότητα και τη σταθερότητα εκπομπής. Το γεγονός αυτό ανοίγει το δρόμο για νέες εφαρμογές, οι οποίες στηρίζονται στις εύκαμπτες διατάξεις OLED.

Πηγές

- <http://www.ltfn.gr/index.php/research/r-d-projects/completed-projects/453-apollo>

οι Θησαυροί του Τουταγχαμών: ...ταξίδι από την Αίγυπτο στο διάστημα



Φλώρα Μαντελάκη
Φοιτήτρια
Τμήματος Φυσικής,
Α.Π.Θ.

Δεν είναι λίγοι αυτοί που πιστεύουν πως θα πρέπει κανείς να γνωρίζει για το παρελθόν, προκειμένου να κατανοήσει το παρόν. Η πολιτισμική κληρονομιά παραμένει η βάση για τη μελέτη του ανθρώπου και της εξέλιξής του, καθώς μέσω των έργων τέχνης ο ίδιος έχει τη δυνατότητα να έρθει σε επαφή με πολιτισμούς και γεγονότα που συνέβησαν αιώνες πριν. Μέσω της μελέτης της δομής των υλικών, η επιστήμη της

Φυσικής μας δίνει για άλλη μια φορά τη δυνατότητα να μεταφερθούμε και να γνωρίσουμε πτυχές ενός πολιτισμού τα επιτεύγματα του οποίου κάθε άλλο παρά αμελητέα θεωρούνται, κάνοντας μια στάση στην αρχαία Αίγυπτο. Πέραν των πυραμίδων και των τοιχογραφιών, ένα από τα πιο φημισμένα έργα τέχνης στον κόσμο είναι και η Χρυσή Μάσκα του Τουταγχαμών, η οποία ανακαλύφθηκε το 1925 από τον Howard Carter, στον τάφο του φαραώ στην Κοιλάδα των Βασιλέων (Σχήμα 2) όπου παρέμεινε για περισσότερα από 3.000 χρόνια και φιλοξενείται πλέον στο Αιγυπτιακό Μουσείο του Καΐρου μέχρι και σήμερα.

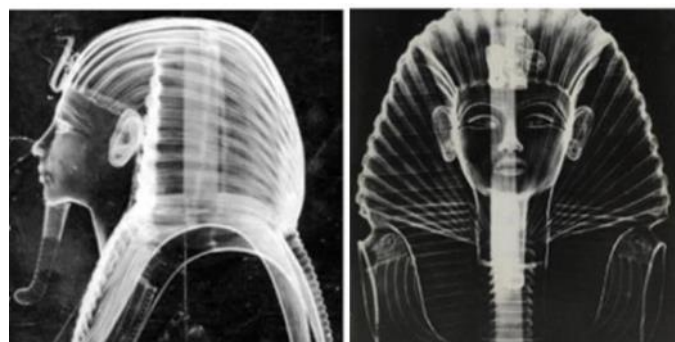
Η Χρυσή Μάσκα του Τουταγχαμών

Πρόκειται για το νεκρικό προσωπείο του αρχαίου Αιγύπτιου Φαραώ Τουταγχαμών της 18^{ης} δυναστείας που βασίλεψε μεταξύ 1332-1323 π.Χ. Σύμφωνα με τον Αιγυπτιολόγο Nicholas Reeves, η μάσκα αυτή δεν αποτελεί μόνο το αξιολογότερο αντικείμενο από αυτά που βρέθηκαν στο εσωτερικό του τάφου του Τουταγχαμών, αλλά είναι ίσως και το γνωστότερο αντικείμενο της αρχαίας Αιγύπτου. Θυμίζοντας τον Όσιρι, τον Αιγύπτιο θεό της μεταθανάτιας ζωής, η μά-



Σχήμα 1: Η Μάσκα του Τουταγχαμών

σκα έχει ύψος 54 cm, πλάτος 39,3 cm και βάθος 49 cm (Σχήμα 2). Είναι διαμορφωμένη από δύο στρώσεις υψηλής ποιότητας χρυσού πάχους μεταξύ 1,5 - 3 mm και ζυγίζουν 10,23 kg. Το προσωπείο διαθέτει ένα περιδέραιο διακοσμημένο με ημιπολύτιμους λίθους, με τρεις σειρές από δισκοειδείς χάντρες φτιαγμένες από χρυσό και μπλε φαγεντιανή, ενώ περιέχει ενθέματα από χρωματιστό υάλωμα και ημιπολύτιμα πετράδια, μεταξύ των οποίων lapis lazuli, χαλαζία, οψιδιανό κ.α. Στον ώμο υπάρχει επιγραφή στα ιερογλυφικά ενός αρχαίου αιγυπτιακού ξορκιού από το Βιβλίο των Νεκρών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει έρευνα του 2001 σύμφωνα με την οποία πιθανότατα προοριζόταν αρχικά για την βασίλισσα Νεφερτίτη, καθώς ο βασιλικός της τίτλος βρέθηκε μερικώς σβησμένος στο εσωτερικό της μάσκας.

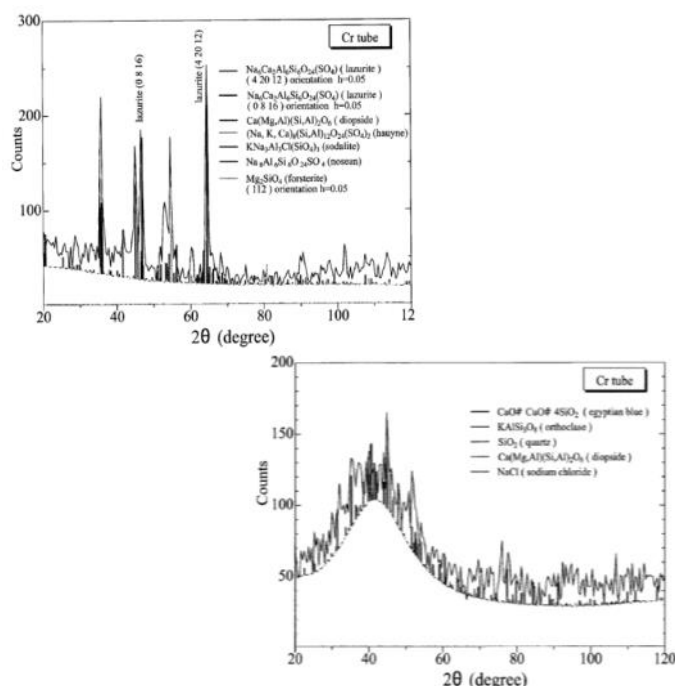


Σχήμα 2: Η πρώτη ακτινογραφία της μάσκας του Τουταγχαμών (1968)

Μελέτη της Δομής της Μάσκας: Συνδυασμός μεθόδων XRD και XRF

Μεγάλη έκπληξη προκάλεσαν τα αποτελέσματα της ανάλυσης της μάσκας με ακτίνες-Χ που εφαρμόσαν οι ερευνητές προκειμένου να χαρτογραφήσουν τη δομή της. Στο Αιγυπτιακό Μουσείο του Καΐρου το έργο μελετήθηκε χρησιμοποιώντας μια διάταξη XRDF (Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ εξοπλισμένο με φασματομέτρο φθορισμού ακτίνων-Χ), με την οποία μπορεί να ληφθεί στον αέρα ένα διάγραμμα περίθλασης και ένα φάσμα φθορισμού από την ίδια μικρή περιοχή (διαμέτρου 1-2 mm) ενός δείγματος. Η εγκατάσταση XRDF ήταν εξοπλισμένη με λυχνία Cr που λειτουργούσε στα 20-35 kV και 1 mA και μια φωτοδίοδο Si για ανίχνευση τόσο της περιθλώμενης όσο και της ακτινοβολίας φθορισμού.

Με τη βοήθεια της περίθλασης ακτίνων-Χ (XRD) αποκαλύφθηκε πως περιέχει δύο κράματα χρυσού (Σχήμα 3): ένα ανοιχτής απόχρωσης 18,4 καρατίων (cts) για το πρόσωπο και το λαιμό και ένα βάρους 22,5 cts για την υπόλοιπη μάσκα, επιβεβαιώνοντας την πρόοδο που είχε πετύχει ο αρχαίος αιγυπτιακός πολιτισμός όσον αφορά τη γνώση και την επεξεργασία του χρυσού.



Σχήμα 3: Διαγράμματα XRD που λήφθηκαν από διάφορα σημεία της μάσκας: (α) γραμμή του ματιού και (β) κεφαλή (νέμες)

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το πρόσωπο και ο λαιμός αποτελούνταν από μήτρα 23,2 – 23,5 cts, καλυμμένη με ένα λεπτό στρώμα Au-Ag-Cu λευκού χρυσού χρώματος 18 cts και με ένα λεπτό στρώμα Au-Ag-Cu χρυσού χρώματος 22,5 cts. Ένα σκούρο μπλε υλικό που χρησιμοποιήθηκε για το κάλυμμα της κεφαλής χαρακτηρίστηκε με ένα νέο είδος γυάλινης πάστας με κύρια συστατικά το μπλε Amarna και το αιγυπτιακό μπλε, ενώ οι θωρακικές κόκκινες και πράσινες χάντρες κατασκευάστηκαν από καρνελιάνα και αμαζονίτη. Τα αντίστοιχα ακτινογραφήματα στα οποία εντοπίζονται τα δύο κράματα χρυσού, καθώς επίσης και η παρουσία lapis lazuli και αιγυπτιακού μπλε, αφορούν διάφορα σημεία της μάσκας, όπως η κόμπρα, οι νέμες, τα μάτια, το μπροστινό και το πίσω μέρος, καθώς και οι ημιπολίτιμοι λίθοι που περιλαμβάνει.

Συντήρηση μάσκας: Αποκόλληση υπογενείου

Θύελλα αντιδράσεων προκάλεσε το 2015 η ανάγκη για τη συντήρηση της μάσκας, όταν η 2,5 Kg

γενειάδα τυλιγμένη σε πλεξούδα αποκολλήθηκε εξαιτίας ατυχήματος κατά την ώρα του καθαρισμού. Υπάλληλοι του Αιγυπτιακού Μουσείου επισημαίνουν τη θραύση του υπογενείου κατά την διαδικασία καθαρισμού της, ενώ κάποιοι από αυτούς υποστήριξαν ότι είχε χαλαρώσει και αφαιρέθηκε. (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Στιγμιότυπο από την προσπάθεια αποκατάστασης του υπογενείου

Στην προσπάθεια αποκατάστασης της βλάβης, οι αρμόδιοι υπάλληλοι του μουσείου χρησιμοποίησαν εποξική κόλλα, κίνηση που είχε ως αποτέλεσμα να καταστραφεί το ανεκτίμητης ιστορικής και καλλιτεχνικής αξίας έργο, συμβάλλοντας στην πραγματικότητα σε αποσταθεροποίηση του υπογενείου. (Σχήμα 5). Η συγκεκριμένη κόλλα δεν έπρεπε να εφαρμοστεί, ωστόσο η πίεση του χρόνου προκειμένου να εκτεθεί η μάσκα όσο το δυνατόν γρηγορότερα οδήγησε στη χρήση του συγκεκριμένου επικίνδυνου υλικού. Επιπροσθέτως, συντηρητής του Αιγυπτιακού Μουσείου δήλωσε ότι κατά την προσπάθεια απομάκρυνσης της ξεραμένης κόλλας ένας συνάδελφός του χρησιμοποίησε σπάτουλα για να την αφαιρέσει, αφήνοντας πάνω στη μάσκα χαραγματιές.

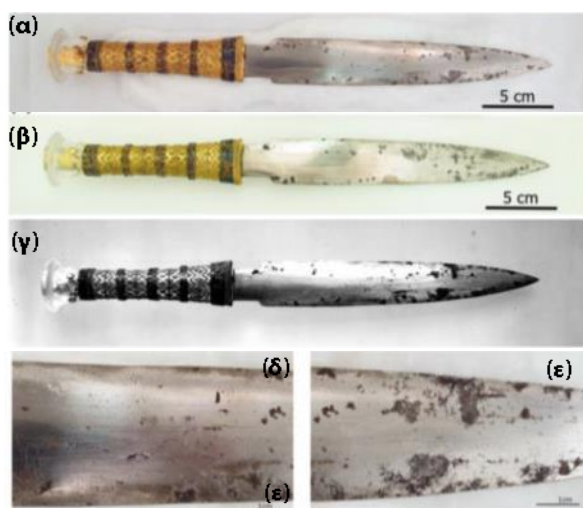
Προς επίρρωση των παραπάνω, οκτώ υπάλληλοι του Αιγυπτιακού Μουσείου θα δικάζονταν με την κατηγορία ότι έχουν αγνοήσει τις επιστημονικές και επαγγελματικές μεθόδους αποκατάστασης και έχουν προκαλέσει μόνιμη καταστροφή στο έργο τέχνης. Μια ομάδα συντηρητών εργάστηκε στη συνέχεια με σκοπό να αφαιρέσει τη ζημιά και να επανοποθετήσει με βάση τα επιστημονικά πρωτόκολλα τη γενειάδα. Μετά την επιτυχή αποκατάσταση, η μάσκα τέθηκε ξανά σε δημόσια έκθεση.



Σχήμα 5: Επικόλληση γενειάδας με τη χρήση εποξικής κόλλας

Το στιλέτο του Τουταγχαμών: Μελέτη της δομής και ενδείξεις προέλευσης από μετεωρίτη

Μετά την ιστορική ανακάλυψη της τελευταίας κατοικίας του Τουταγχαμών, συνεχίζουν να συναρπάζουν τα ευρήματα που βρέθηκαν μέσα στον τάφο του φαραώ. Μεταξύ των τεχνουργημάτων ήταν και μια σειρά από σιδερένιες λεπίδες, ανάμεσα στις οποίες υπήρχε και ένα σιδερένιο στιλέτο στο εσωτερικό μιας διακοσμητικής χρυσής θήκης, με τους ειδικούς να έχουν επισημάνει πως η κατασκευή του έγινε από κάποιον πολύ επιδέξιο τεχνίτη. (Σχήμα 6). Πρόκειται για μία πολύ λεπτή λεπίδα μήκους περίπου 32,5 cm, κατασκευασμένη από ομοιογενές μέταλλο, ενώ η λαβή είναι κατασκευασμένη από χρυσό και διαθέτει πέντε λωρίδες πλάτους 3 mm έως 1 cm περίπου, οι οποίες είναι διακοσμημένες με λίθους όπως lapis lazuli, καρνελιάνο και μαλαχίτη (Σχήμα 7). Σημειώνεται πως τέτοιου είδους πολύτιμα τεχνουργήματα, φτιαγμένα από σίδηρο, ήταν πολύ σπάνια κατά τη διάρκεια της 18^{ης} Δυναστείας στην αρχαία Αίγυπτο.



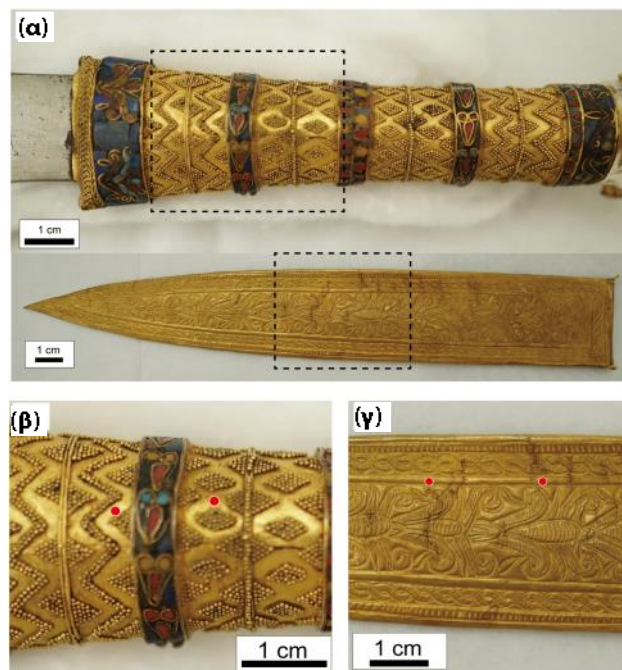
Σχήμα 6: (α) και (β) φωτογραφίες του στιλέτου από τις δύο πλευρές, (γ) φωτογραφία του στιλέτου το 1925 και (δ) και (ε) λεπτομέρειες

Μελέτη της Δομής του Στιλέτου: Μέθοδος XRF

Η στοιχειακή ανάλυση της λεπίδας μέσω ακτίνων-X ταυτοποίησε Fe, Ni, Mn και Co. Επιπλέον, εντοπίστηκαν S, Cl, Ca και Zn στα μαυρισμένα σημεία της λεπίδας. Η παρουσία του νικελίου στη δομή του στιλέτου ήταν μια ένδειξη πως προέρχεται από μετεωρίτη! (Σχήμα 8(α)) Το συγκεκριμένο πόρισμα ήρθε να επιβεβαιώσει νεότερη μελέτη που πραγματοποιήθηκε το 2016, σύμφωνα με την οποία η σύνθεση της λεπίδας περιέχει κυρίως σίδηρο, ενώ περιέχει νικέλιο κατά 10,8% και κοβάλτιο κατά 0,58%.

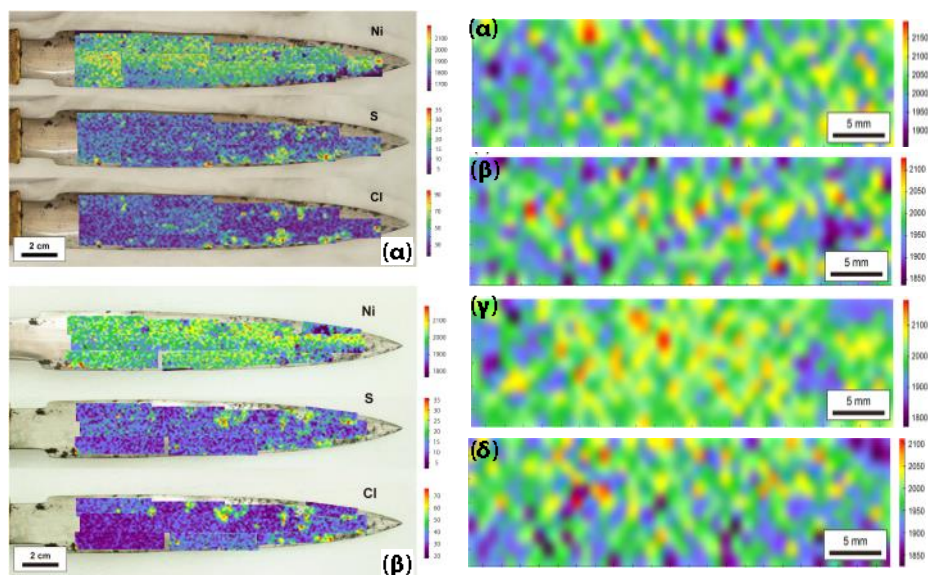
Η συγκεκριμένη μελέτη συνέκρινε τη σύνθεση της λεπίδας με έντεκα γνωστούς μετεωρίτες κατα-

λήγοντας στο συμπέρασμα ότι η σύνθεση και η ομοιογένεια της λεπίδας συσχετίζονται στενά με τη σύνθεση και την ομοιογένεια ενός μετεωρίτη. Αυτό υποστηρίζει αντίστοιχα έρευνα που δημοσιεύθηκε τον Φεβρουάριο του 2022, με τους ειδικούς να προχωρούν σε μια ειδική χημική ανάλυση, η οποία έδειξε ότι το στιλέτο περιέχει οκταεδρίτη, ο οποίος χαρακτηρίζει τους πιο κοινούς μετεωρίτες σιδήρου που έχουν εντοπιστεί. Πρόκειται για ένα αξιοσημείωτο φαινόμενο που εμφανίζεται σε ορισμένους μεταλλικούς μετεωρίτες και προκαλείται από τον τρόπο κατανομής του νικελίου στα αντικείμενα.

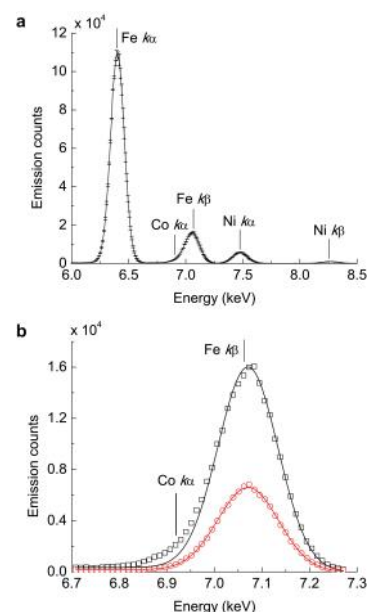


Σχήμα 7: (α) Φωτογραφία της χρυσής λαβής και της θήκης (β) Περιοχές του στιλέτου που μελετήθηκαν (σημειωμένες με κόκκινους κύκλους).

Ως προς την κατανόηση της κατασκευής και προέλευσης του στιλέτου, πραγματοποιήθηκαν χωρίς επαφή, μη-καταστροφικές διαδικασίες χημικές αναλύσεις στο Αιγυπτιακό Μουσείο του Καΐρου τον Φεβρουάριο του 2020. Ένα φορητό αναλυτικό όργανο σάρωσης φθορισμού ακτίνων-X (XRF) χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των κύριων και δευτερευόντων στοιχείων του στιλέτου, της λαβής και του περιβλήματος και για την έρευνα της κατανομής στοιχείων στην επιφάνεια της μεταλλικής λεπίδας. Η δέσμη διέγερσης συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του δείγματος σε ένα σημείο διαμέτρου ίσης με 1,2 mm περίπου. Η τυπική ενεργειακή ανάλυση του φασματομέτρου είναι μικρότερη από 135 eV, κατάλληλη για την ανίχνευση της ασυμμετρίας της κορυφής K_{β} του Fe λόγω της παρουσίας μιας υποκείμενης κορυφής K_{α} του Co χαμηλής έντασης, όπως συμβαίνει συχνά σε δείγματα μετεωριτών σιδήρου (Σχήμα 9).



Σχήμα 8: (α) Κατανομή των στοιχείων Ni, S, Cl (chemical mapping) στις δύο πλευρές της λεπίδας, μέσω της ανάλυσης XRF. (β) Κατανομή Ni σε επιλεγμένες περιοχές.



Σχήμα 9: Φάσμα XRF της λεπίδας.

Η στοιχειακή χαρτογράφηση του Ni στην επιφάνεια της λεπίδας δείχνει ασυνεχείς διατάξεις ζωνών σε μέρη με «κυβική» συμμετρία και εύρος ζώνης ίσο περίπου με 1 mm, ενώ η ενδιάμεση περιεκτικότητα σε Ni υποδηλώνει ότι ο μετεωρίτης πηγής της λεπίδας του σιλήτου είναι οκταεδρίτης (Σχήμα 8(β)). Οι τυχαία κατανεμημένες μαύρες κηλίδες πλούσιες σε θείο είναι πιθανά υπολείμματα εγκλεισμάτων τριλιθίου (FeS) σε μετεωρίτη σιδήρου. Η παρουσία θειούχου σιδήρου, καθώς και του οκταεδρίτη, υποδηλώνουν ότι το σιλήτο σφυρηλατήθηκε σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, λιγότερο δηλαδή από 950 °C. Η χρυσή λαβή με χαμηλό ποσοστό ασβεστίου που στερείται θείου υποδηλώνει τη χρήση ασβεστοκονιάματος ως συγκολλητικό υλικό για διακοσμήσεις στη λαβή.

Ημιποσοτικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε σημεία της μεταλλικής λεπίδας, συμπεριλαμβανομένων των μαύρων κηλίδων και της προεξέχουσας ρωγμής. Η δομή της παρουσιάζει αφθονία σε Fe, Ni, Co και περιέχει ίχνη Mn και Cr, με τη συγκέντρωσή τους να βρίσκεται κάτω από το ποσοτικό όριο. Ίχνη Ca, Mn, Zn και Cr ανιχνεύθηκαν κάτω από το όριο ποσοτικοποίησης, ενώ η προεξέχουσα ρωγμή παρουσιάζει παρόμοια σύνθεση με εκείνη των μαύρων κηλίδων. Η διακύμανση της περιεκτικότητας του Cl στα μαύρα στίγματα σχετίζεται με την κατάσταση οξείδωσης του Fe και μπορεί να αποδοθεί στην ανομοιογενή παρουσία Fe(II) και Fe(III) ως αποτέλεσμα της οξείδωσης κατά τη θέρμανση κατά την κατασκευή της λεπίδας και της επακόλουθης διάβρωσης.

Μπορεί το σιλήτο του Τουταγχαμών να προέρχεται από το διάστημα, το σίγουρο όμως είναι πως η

πρόοδος και η αξία του αρχαίου αιγυπτιακού πολιτισμού όσον αφορά τον τομέα των υλικών είναι κάτι παραπάνω από ανεκτίμητη. Η αξιοποίηση των παραπάνω μεθόδων καθίσταται ιδιαίτερως σημαντική τόσο για αρχαιολόγους όσο και φυσικούς, αποτελώντας τον φάρο που οδηγεί στην ανακάλυψη και αναζήτηση των βαθύτερων σημείων της ιστορίας διαφόρων πολιτισμών όπως και ο αιγυπτιακός, συνδυάζοντας με τον τρόπο αυτό επιστήμη και τέχνη. Η κρυσταλλογραφία και οι ακτίνες-Χ έχουν καθοδηγήσει ερευνητές προς την κατανόηση της δομής των υλικών, αλλά και αρχαιολόγους προς την περαιτέρω κατανόηση της ίδιας της ιστορίας. Από τον Τουταγχαμών στις πυραμίδες, τον πάπυρο στις τοιχογραφίες, η πολυχρωμία που παρουσιάζει αυτή η ιστορία είναι ανεξίτηλη με την πάροδο των χρόνων και θα συνεχίσει να απασχολεί τους ερευνητές φωτίζοντας τον δρόμο στο πέραςμα τους. Όπως είπε κάποιος: στη φύση το φως δημιουργεί το χρώμα, στην τέχνη το χρώμα δημιουργεί το φως...

Πηγές

- T. Matsui et.al., "The manufacture and origin of the Tutankhamen meteoritic iron dagger", *Meteoritics & Planetary Science*, 57 (2022) 747 – 758.
- D. Comelli et.al., "The meteoric origin of Tutankhamun's iron dagger blade", *Meteoritics & Planetary Science*, 51 (2016) 1301 – 1309
- M. Uda et.al., "Tutankhamun's Golden Mask and Throne" p.149 in "Quest for the Dream of Pharaohs, Studies of Honour of Sakuji Yoshimura", Publisher: Ministry of Antiquities Cairo, Ed. Jiro Kondo (2014)
- egypt-museum.com/mask-of-tutankhamun/
- www.bbc.com/news/world-middle-east-35392531
- www.bbc.com/news/world-middle-east-30931369



προς την περιοχή των αττοδευτερολέπτων



Σωτήριος Βεσ
Ομότιμος Καθ.
Τμήματος Φυσικής,
Α.Π.Θ.

Την μεγάλη σπουδαιότητα των υπερβραχέων παλμών για την μελέτη και κατανόηση υπερταχέων φαινομένων αναγνώρισε και η Σουηδική Ακαδημία Επιστημών η οποία απένειμε το **βραβείο Nobel Φυσικής για το έτος 2023** στους **Pierre Agostini**, The Ohio State University, Columbus, USA, **Ferenc Krausz**, Max Planck Institute of Quantum Optics, Garching and Ludwig-Maximilians-

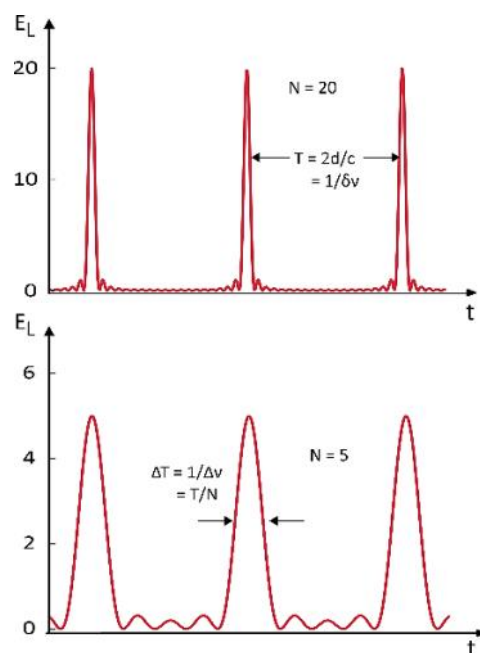
Universität München, Germany, και την **Anne L'Huillier**, Lund University, Sweden, για τις πρωτοπόρες εργασίες τους στην ανάπτυξη μεθόδων δημιουργίας υπερβραχέων παλμών, οι οποίοι έδωσαν στην ανθρωπότητα νέα εργαλεία για την εξερεύνηση του κόσμου των ηλεκτρονίων μέσα στα άτομα και τα μόρια.¹

Δημιουργία πολύ στενών παλμών

Ένα αττοδευτερόλεπτο (as) αντιστοιχεί σε 10^{-18} s. Εδώ και μερικά χρόνια έχουμε επιτύχει τη δημιουργία παλμών έως και κάτω από 100 as. Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής στενών παλμών είναι η μέθοδος της εγκλειδωσης ρυθμού, η οποία απαιτεί την παρουσία πολλών κυμάτων ίδιας συχνότητας με σταθερή διαφορά φάσεων (συμφώνων) μεταξύ των. Το αποτέλεσμα της συμβολής τέτοιων κυμάτων απεικονίζεται στο Σχήμα 1, ακριβώς όπως σε ένα φράγμα συμβολής N σχισμών. Συνεπώς για την παραγωγή λίαν στενών παλμών απαιτείται η παρουσία όσον το δυνατόν περισσότερων συμφώνων κυμάτων, υλοποιήσιμων μέσω

ενός Laser με σχεδόν ευρύ φάσμα εκπομπής (πολυτροπική λειτουργία).

Η εγκλειδωση των επιμέρους τρόπων επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους, αρχομένων των μηχανικών (δύσκολη η επίτευξη στενών παλμών), με πιεζοηλεκτρικό διαμορφωτή (παλμοί της τάξεως μερικών δεκάδων ps). Η αποτελεσματικότερη τεχνική εγκλειδωσης τρόπων είναι αυτή με φακό Kerr* η οποία έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία σε Laser Ti:Σαπφείρου για την παραγωγή πολύ στενών παλμών, μερικών fs (10^{-15} s). Μια πιθανή διάταξη απεικονίζεται στο Σχήμα 2. Ο κρύσταλλος Ti:Σαπφείρου είναι ταυτόχρονα και το ενεργό μέσο (εντός του οποίου δημιουργούνται οι παλμοί) και το

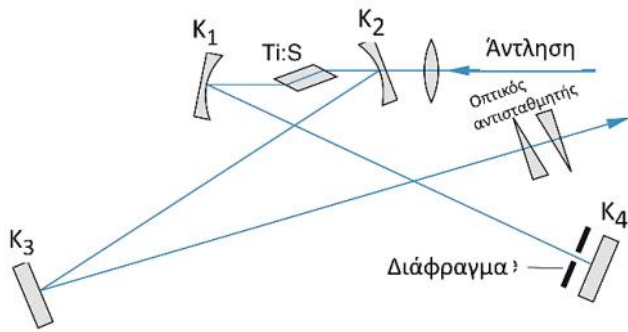


Σχήμα 1. Ενέργεια παλμών που προκύπτουν από εγκλειδωση τρόπων. Παρατηρήστε την αύξηση της εντάσεως με τον αριθμό των εγκλειδομένων παλμών.

* Το φαινόμενο Kerr προκαλεί μια μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως με την ένταση.

$$n(\omega, I) = n_0 + \frac{3\chi^{(3)}}{8n_0} |E(\omega)|^2 = n_0(\omega) + n_2(\omega) \cdot I$$

Όταν, λοιπόν, μια δέσμη Laser με προφίλ Gauss, $I(r)$, διέρχεται από ένα μέσο, ο δείκτης διαθλάσεως θα εμφανίζει και αυτός μια κατανομή Gauss, $n(r)$, περί τον άξονα της δέσμης. Αυτή η χωρική κατανομή του δείκτη διαθλάσεως είναι ισοδύναμη με την παρουσία ενός συγκλίνοντος φακού. Δηλαδή, το ίδιο το μέσο δρα ως συγκλίνων φακός προκαλώντας την εστίαση της δέσμης. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **αυτοεστίαση (self-focusing)**.

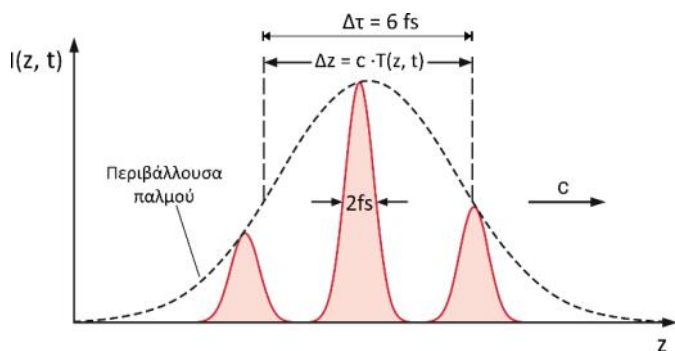


Σχήμα 2. Πειραματική διάταξη για την παραγωγή εξαιρετικά στενών παλμών σε Laser Ti: Sapphire με τη τεχνική φακού Kerr.

μέσο εντός του οποίου λαμβάνει χώρα η αυτοεστίαση. Το διάφραγμα τοποθετείται έμπροσθεν του κατόπτρου K_4 . Ο φακός Kerr μεταβάλλει την εστιακή απόσταση, και συνεπώς και τα χαρακτηριστικά απεικονίσεως της οπτικής κοιλότητας, έτσι ώστε το μέγιστο του παλμού να κείται στο κέντρο του διαφράγματος. Με μια τέτοια διάταξη έχουν επιτευχθεί παλμοί διάρκειας 4 fs. Από τη σχέση αβεβαιότητας συνάγεται ότι αυτοί οι παλμοί εμφανίζουν πολύ μεγάλο φασματικό εύρος και, οιαδήποτε φαινόμενα διασποράς εντός της κοιλότητας συντονισμού και των διηλεκτρικών κατόπτρων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Για παράδειγμα, για ένα φωτεινό κύμα μήκους κύματος $\lambda = 600 \text{ nm}$ ($\nu = 5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$), η περίοδος είναι $T = 1/\nu = 2 \text{ fs}$. Δηλαδή, ένας παλμός με FWHM θα περιέχει μόνον τρεις ταλαντώσεις, Σχήμα 3.

Ανίχνευση πολύ στενών παλμών

Πέραν της δημιουργίας πολύ στενών παλμών, σημαντικό πρόβλημα αποτελεί και η μέτρηση της χρονικής των διάρκειας, δεδομένου ότι η χρονική διακριτική ικανότητα των ταχέων οπτικών ανιχνευτών έχει κάτω όριο περίπου τα 100 ps, με εξαίρεση την **αστραπιαία κάμερα (streak camera)**, η οποία κατέρχεται έως το 1 ps. Συνεπώς, η μέτρηση τόσο μικρής διάρκειας



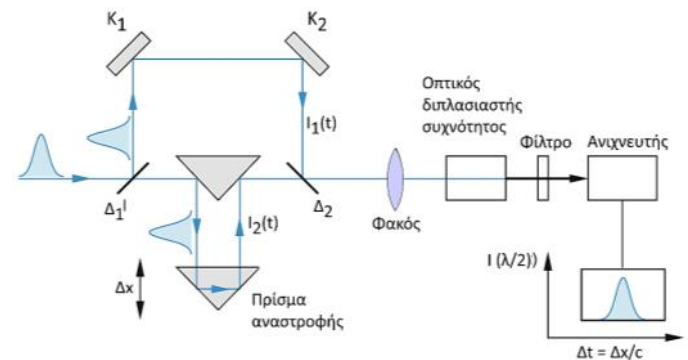
Σχήμα 3. Σχηματική αναπαράσταση ενός εξαιρετικά στενού φωτεινού παλμού, ο οποίος εμπεριέχει μόνο τρεις περιόδους. Η περιβάλλουσα έχει εύρος $\Delta t = 6 \text{ fs}$ και χωρική έκταση $\Delta z = c \cdot \Delta t \approx 2 \mu\text{m}$.

ας παλμών, απαιτεί νέες μεθόδους και τεχνικές. Η τεχνική με την οποία επιτεύχθηκε η μέτρηση αττοδευτερολέπτων βασίζεται στην **οπτική συμβολομετρία (optical interferometry)** όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.

Η αρχική δέσμη του Laser διαχωρίζεται από τον διαχωριστή Δ_1 σε δύο επιμέρους παλμούς, οι οποίοι ακολουθούν διαφορετικού μήκους διαδρομές και στη συνέχεια οι επιμέρους παλμοί επαναενώνονται με μεταβλητό χρόνο καθυστέρησης τ μεταξύ των. Η υπέρθεση των δύο παλμών, με μεταβλητό χρόνο καθυστέρησης, εντάσεων $I_1(t) = |A(t)|^2$ και $I_2(t) = |A(t + \tau)|^2$ καθορίζει την τελική ένταση του παλμού.

$$I(t, \tau) = |A_1(t) + A_2(t - \tau)|^2 = I_1(t) + I_2(t) + 2 \cdot A_1(t) \cdot A_2(t - \tau)$$

η οποία εξαρτάται από τη σχετική φάση μεταξύ των δύο επιμέρους οπτικών κυμάτων, δηλαδή από τη χρονική καθυστέρηση τ .



Σχήμα 4. Οπτικό συμβολόμετρο με μετακινούμενο πρίσμα αναστροφής και διπλασιαστή συχνότητας, κατάλληλου για τη μέτρηση του εύρους πολύ στενών παλμών.

Όμως ο οπτικός ανιχνευτής δεν μπορεί να ακολουθήσει αυτές καθαυτές τις ταχύτατες μεταβολές των οπτικών κυμάτων αφού γενικά ο χρόνος αποκρίσεως του $T \gg \Delta T = 1/\Delta\omega$ και δίδει έναν μέσο όρο $\langle I(t) \rangle$ ίσο με το άθροισμα των δύο εντάσεων (ασύμφωνη συμβολή) και συνεπώς δεν δίδει καμία πληροφορία για το προφίλ $I(t)$.

$$I(t, \omega) \sim \langle I_1(t) \rangle + \langle I_2(t) \rangle$$

Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν, δεν προκύπτει σαφής εικόνα συμβολής και ο ανιχνευτής απλά καταμετρά το άθροισμα των δύο εντάσεων $I_1(t) + I_2(t)$, ανεξάρτητα από την καθυστέρηση τ . Για να αποφύγουμε τον σκόπελο αυτό, διπλασιάζουμε την θεμελιώδη συχνότητα στον επαναενωμένο παλμό, με τη βοήθεια ενός μη-γραμμικού κρυστάλλου, καθόσον ένας στενός παλμός εμπεριέχει έναν πολύ μεγάλο αριθμό μονοχρωματικών κυμάτων, με σχεδόν συνεχές φάσμα συχνοτήτων. Το φίλτρο συχνοτήτων εξασφαλίζει ότι

διέρχεται μόνο η δεύτερη αρμονική. Έτσι η ένταση στη δεύτερη αρμονική θα είναι ανάλογος του

$$I(2\omega, \tau) \sim \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |A_1(t) + A_2(t-\tau)|^2 dt$$

$$A_1(t) = A_{10}(t)e^{i(\omega t + \varphi_1)} \quad A_2(t) = A_{20}(t)e^{i(\omega(t-\tau) + \varphi_2 + \tau)}$$

Εκτελώντας τις πράξεις στην παραπάνω σχέση, βρίσκουμε:

$$I(2\omega, \tau) \cong \frac{1}{T} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} (I_1(t) + I_2(t)) dt + 4 \frac{1}{T} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} I_1(t) \cdot I_2(t-\tau) dt$$

Το πρώτο ολοκλήρωμα στην παραπάνω σχέση είναι ανεξάρτητο του τ και δίδει ένα σταθερό υπόβαθρο ανεξάρτητα από το χρόνο καθυστέρησης τ . Το δεύτερο όμως εξαρτάται από τον χρόνο καθυστέρησης και δίδει πληροφορίες για το προφίλ του παλμού, καθόσον παριστά τη δίπλωση του προφίλ της εντάσεως $I(t)$ και του καθυστερημένου $I(t-\tau)$. Επίσης, μας δίδει και την περιβάλλουσα του παλμού με το τ .

Η μέθοδος, στη οποία βασίζονται διατάξεις που αξιοποιούν τη συμβολή δύο δεσμών (παλμών) με χρονική καθυστέρηση των παλμών κατά τ και εν συνεχεία διπλασιάζουν τη συχνότητα μέσω μη-γραμμικών φαινομένων, ονομάζεται οπτική **συσχέτιση (optical correlation)**. Στην προκειμένη περίπτωση, επειδή διαιρούμε τον παλμό, οι συμβάλλουσες δέσμες (παλμοί) είναι ίδιες και η μέθοδος ονομάζεται **αυτοσυσχέτιση (autocorrelation)**.

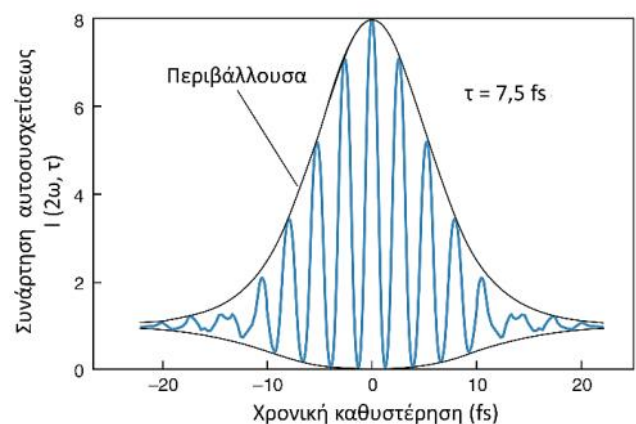
Με τη μέθοδο της αυτοσυσχετίσεως έχουμε επιτύχει τη μέτρηση παλμών διάρκειας μερικών fs. Πράγματι, το Σχήμα 5 απεικονίζει έναν παλμό εύρους 7,5 fs (FWHM) ενός Laser Ti: Σαπφείρου, ο οποίος εμπεριέχει 5 πλήρεις ταλαντώσεις των 2,5 fs και ο οποίος καταγράφηκε από έναν ανιχνευτή με χρόνο αποκρίσεως περίπου 1 ns και μετρήθηκε με την παραπάνω τεχνική.²

Για τη δημιουργία οδοντώντων παλμών με ακόμη μικρότερο εύρος, το κρίσιμο μέγεθος, όπως είδαμε παραπάνω, είναι το διαθέσιμο φασματικό εύρος αλλά και το κεντρικό μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, καθόσον όσο μεγαλύτερο το φασματικό εύρος τόσο μικρότερη η χρονική διάρκεια του παλμού $\Delta\tau \approx 1/\Delta\omega$ ή γενικότερα $\Delta\tau \approx \beta/\Delta\omega$ όπου $\beta \approx 1$, ανάλογα με τη μορφή του παλμού. Όμως υπάρχει ένα κατώτερο όριο χρονικού εύρους του παλμού, το οποίο εξαρτάται από την κεντρική συχνότητα. Το όριο τίθεται από την κεντρική συχνότητα $T = 1/\omega = \lambda/c$, δηλαδή να εμπεριέχεται μόνον μια ταλάντωση του πεδίου στον παλμό. Για παράδειγμα, για $\lambda = 800$ nm προκύπτει $T_{\text{παλμού}} = 2,67$ fs. Συνεπώς, αν θέλουμε να δημιουργήσουμε ακόμη στενότερους παλμούς θα πρέπει να μει-

ώσουμε το κεντρικό μήκος κύματος και να πάμε στο βαθύ υπεριώδες ή ακόμη στις μαλακές ακτίνες-Χ. Έτσι για κεντρικό μήκος κύματος $\lambda = 30$ nm θα μπορούσαμε, θεωρητικά, να επιτύχουμε παλμούς διάρκειας έως και 100 as. Συνεπώς μας χρειάζονται πηγές μαλακών ακτίνων-Χ με ευρύ φασματικό εύρος. Η πλέον κατάλληλη πηγή θα είναι λοιπόν ο Laser ελευθέρων ηλεκτρονίων ή ακτινοβολία σύγχροτρον ή με τη δημιουργία ανωτέρων αρμονικών, έως και 100 φορές, οπότε ένα μήκος κύματος της οπτικής περιοχής $\lambda = 600$ nm μεταπίπτει σε $\lambda = 6$ nm. Όπως διαισθάνεται κανείς, οι απαιτούμενες πειραματικές διατάξεις παραγωγής και ανίχνευσης παλμών της τάξεως των as είναι αρκετά περίπλοκες και απαιτητικές.

Το βασικό πρόβλημα στη μέθοδο της αυτοσυσχετίσεως είναι η επίτευξη σταθερότητας στην χρονική καθυστέρηση τ (ή διαφορά φάσεως μεταξύ των συμβαλλόντων κυματοπαλμών. Η διαμήκης συμφωνία (= συσχέτιση διαδοχικών παλμών στους Lasers ελευθέρων ηλεκτρονίων - FEL) είναι εξαιρετικά μικρή. Το ίδιο ισχύει και μεταξύ των ανωτέρων αρμονικών, αν αυτές χρησιμοποιούνται ως συμβάλλουσες δέσμες παρόλο που υφίσταται κάποιας μορφής συσχέτιση μεταξύ της φάσεως της αρχικής δέσμης και αυτών των αρμονικών. Να επισημάνουμε εδώ, ότι η δημιουργία αττοπαλμών μέσω ανωτέρων αρμονικών έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι μπορούν να δημιουργηθούν με επιτραπέζια συστήματα.

Εντός ενός συγκεκριμένου παλμού ενός FEL, οι σχετικές φάσεις παραμένουν σε σταθερή σχέση, όμως μεταξύ διαφορετικών παλμών υφίστανται μεγάλες διακυμάνσεις. Πηγή αυτών των διακυμάνσεων είναι κυρίως η ενεργειακή κατανομή των εγχόμενων ηλεκτρονίων. Ο ρόλος των, όπως και στους συμβατικούς Lasers, μειώνεται αισθητά με τη χρήση όπου είναι δυνα-



Σχήμα 5. Μέτρηση ενός παλμού ο οποίος περιλαμβάνει πέντε οπτικές περιόδους των $T = 2,5$ fs εντός του FWHM της περιβάλλουσας. [Κατά L. Xu et al., High-Power sub-10 fs Ti:sapphire oscillators. Appl. Phys. B 65, 151 (1997)]

τόν, κοιλοτήτων συντονισμού. Τελευταία, οι Lasers ελευθέρων ηλεκτρονίων τροφοδοτούνται από έναν Laser συντονισμένο στην συχνότητα συντονισμού του undulator, με στόχο να αυξήσουν τη χρονική συμφωνία και τη σταθερότητα φάσεως μεταξύ των επιμέρους παλμών, ή να συγχρονίσουν την έξοδο του FEL με μια εξωτερική πηγή. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι γνωστός ως **συγχρονισμένη διέγερση (seeding)**. Για μήκη κύματος έως και το βαθύ υπεριώδες (DUV) η συντονισμένη διέγερση μπορεί να επιτευχθεί με τη δημιουργία ανωτέρων αρμονικών της οπτικής περιοχής, ως αρχικό παλμό. Στη περιοχή των ακτίνων-Χ, η συντονισμένη διέγερση μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας ως αρχικό παλμό την έξοδο του ιδίου του Laser ελευθέρων ηλεκτρονίων η οποία φιλτράρεται από έναν μονοχρωμάτορα αδάμαντος. Για το σκοπό αυτό, μεταξύ των τμημάτων του undulator κοντά στο σημείο εκκίνησης της παραγωγής φωτός και εντός της δέσμης ακτινοβολίας τοποθετείται ένας κρύσταλλος αδάμαντος. Αυτός ο κρύσταλλος περιορίζει το φάσμα των μηκών κύματος σε ένα πολύ μικρό εύρος οπότε στον επόμενο undulator ενισχύεται περαιτέρω μόνον αυτό φασματικό εύρος. Η τεχνική αυτή ονομάζεται **αυτοσυγχρονισμένη διέγερση (self-seeding)**.

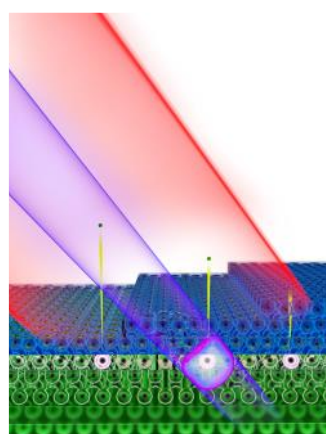
Φυσική Αττοδευτερολέπτων

Όμως, η επιστημονική γνώση που προκύπτει από την χρήση αττοπαλμών είναι τόσο δελεαστική, ώστε σήμερα η μελέτη παραγωγής και χρήσεως λίαν στενών παλμών να αποτελεί πεδίο έρευνας πρώτης γραμμής. Πράγματι, η διερεύνηση ταχέων διεργασιών, όπως οι κινήσεις ηλεκτρονίων σε άτομα ή μόρια (η περιφορά της πρώτης τροχιάς στο άτομο του υδρογόνου διαρκεί 152 as), η αποδιέγερση διεγερμένων επιπέδων μέσω ακτινοβολίας ή κρούσεων, ο ισομερισμός διεγερμένων μορίων ή η χαλάρωση ενός οπτικά διεγερμένου συστήματος προς την κατάσταση θερμικής ισορροπίας, ανοίγει το δρόμο για την λεπτομερή μελέτη των δυναμικών ιδιοτήτων των διεγερμένων ατόμων και μορίων. Γενικά, ένα μεγάλο μέρος των κβαντομηχανικών φαινομένων που ελέγχουν τον κόσμο μας, όπως τα ηλεκτρόνια που κινούνται για να σχηματίσουν ή να σπάσουν χημικούς δεσμούς, συμβαίνουν σε εξαιρετικά σύντομες χρονικές κλίμακες, τόσο μικρές όσο 100 zepto-δευτερόλεπτα (ένα zepto-δευτερόλεπτο ισούται με 10^{-21} s, είναι ένα χιλιοστό του αττοδευτερολέπτου) ή χωρικά σε περιοχές της τάξεως του 0,01 nm. Τα ηλεκτρόνια διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη φύση, καθώς συνδέουν τα άτομα μεταξύ τους στη διαδικασία σχηματισμού μοριακών δεσμών και καθορίζουν τις οπτικές ιδιότητες των μακροσκοπικών υλικών. Αποτελούν επίσης στη βάση του μεγαλύτερου μέρους

της σύγχρονης τεχνολογίας πληροφοριών. Επειδή τα ηλεκτρόνια είναι φερμιόνια, τα ηλεκτρόνια (και οι οπές) υπακούουν στην αρχή του αποκλεισμού Pauli και βιώνουν αλληλεπιδράσεις ανταλλαγής/συσχέτισης οι οποίες καθορίζουν την περίπλοκη και μη τετριμμένη δυναμική τους η οποία δεν περιορίζεται, από θεωρητική άποψη, στην ακριβή περιγραφή τους, όπως για παράδειγμα στη προσέγγιση του μέσου πεδίου. Δεδομένου ότι η οπτική περίοδος των φωτεινών πεδίων στην περιοχή του ορατού μήκους κύματος είναι μερικά fs, η επιστήμη του είναι εγγενώς σχετική με την βαθύτερη και θεμελιώδη κατανόηση των αλληλεπιδράσεων φωτός-ύλης.

Για να «δούμε» τι διαδραματίζεται σε αυτούς τους χρόνους, χρειαζόμαστε έναν παλμό χρονικά αρκετά στενό για να «παγώσει» την όλη διαδικασία. Όπως για παράδειγμα, όταν μελετούμε ένα – ένα τα καρέ ενός φιλμ μιας δράσεως. Το Σχήμα 6 απεικονίζει διαγραμματικά τον χρόνο διελεύσεως ενός μονοστρώματος, ενώ το Σχήμα 7 απεικονίζει στιγμιότυπα της κατανομής της ηλεκτρονικής πυκνότητας στο άτομο του υδρογόνου (H) κατά την μετάπτωση ($1s \rightarrow 2s$). Η ενδελεχής γνώση των δυναμικών διαδικασιών (= χρονική εξέλιξη) είναι θεμελιώδους σημασίας για πολλούς κλάδους της φυσικής, της χημείας ή της βιολογίας. Παραδείγματα είναι, οι ρυθμοί προ διάσπασης διεγερμένων μορίων, η χημεία φεμτοδευτερολέπτου ή η κατανόηση του μηχανισμού της οράσεως και των επιμέρους βημάτων, από τη φωτοδιέγερση των μορίων ροδοψίνης που εμπεριέχεται στα κύτταρα του αμφιβληστροειδούς, στην άφιξη των ηλεκτρικών νευρικών παλμών στον εγκέφαλο.

Η φωτοχημεία αποσκοπεί στον έλεγχο της δυναμικής των πυρήνων μέσω επιλεκτικής διέγερσης ηλεκτρονικών καταστάσεων εκτός ισορροπίας μέσω εξαιρετικά στενών παλμών. Παραδοσιακά, η φωτοχημεία χρησιμοποιεί χρονικά ευρύτερους παλμούς (ενεργειακά στενούς), οι οποίοι οδηγούν σε επιλεκτική διέγερση μιας καθορισμένης ηλεκτρονικής καταστά-

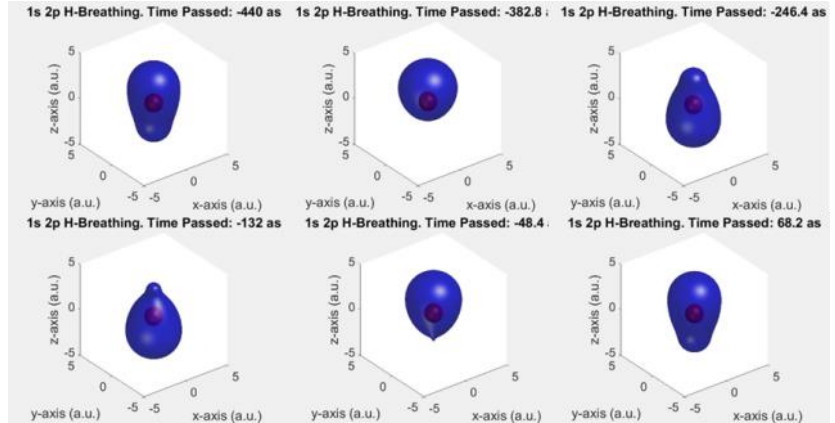


Σχήμα 6. Αττοπαλμοί εξαιρετικά βαθύς υπεριώδους φωτός (ιώδες) εκσφενδονίζουν ηλεκτρόνια έξω από έναν κρύσταλλο Βολφραμίου (πράσινο). Χρησιμοποιώντας παλμούς υπερύθρου (κάκκινο) μελετητές στο Garching της Γερμανίας μέτρησαν ότι ο χρόνος διελεύσεως ενός μονοστρώματος ατόμων Μαγνησίου (μπλε) είναι 40 as.

σεως της ηλεκτρονικής δομής και η οποία κατάσταση εν συνεχεία, διασπάται σε καθορισμένα προϊόντα. Όταν όμως χρησιμοποιούμε εξαιρετικά στενούς παλμούς, τα πράγματα είναι διαφορετικά. Τώρα, ο παλμός έχει μεγάλο ενεργειακό εύρος και συνεπώς διεγείρει σύμφωνα όλες τις καταστάσεις που εμπίπτουν εντός του ενεργειακού του εύρους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η ηλεκτρονική πυκνότητα να προσδιορίζεται από αρκετές ηλεκτρονικές καταστάσεις και μάλιστα μπορεί να εμφανίζει διακροτήματα μεταξύ των επιμέρους περιοχών του μορίου. Η περίοδος του διακροτήματος δίδεται από την συχνότητα μεταπτώσεως μεταξύ των ηλεκτρονικών καταστάσεων και, κατά κανόνα, βρίσκεται στην περιοχή των fs και as. Συνεπώς, επιλέγοντας τη συχνότητα των παλμών άντλησης, είναι δυνατόν να προσαρμόσουμε τον χωρικό εντοπισμό της ηλεκτρονικής πυκνότητας σε σημεία πριν την εμφάνιση σημαντικής κίνησης των πυρήνων. Δηλαδή, να ελέγχουμε την δυναμική του πλέγματος και έτσι να είμαστε ακόμη και στην **διαβατική περιγραφή (diabatic representation)**.⁴

Το ρεκόρ του στενότερου παλμού έως σήμερα, είναι 53 as που αντιστοιχεί σε ένα μήκος ίσο περίπου με 16 nm.⁵ Ο παλμός περιέχει φωτόνια που εκτείνονται σε μια ενεργειακή περιοχή από περίπου 55 έως 160 eV περίπου 100 φορές την ενέργεια του αρχικού φωτονίου $\lambda = 800 \text{ nm}$ ή $E = 1,55 \text{ eV}$ [$1 \text{ Hz} = 4,135 \times 10^{-15} \text{ eV}$]. Σίγουρα, σε λίγο καιρό τα αποτελέσματα θα επεκταθούν για να δημιουργηθούν παλμοί της τάξεως των zepto-δευτερολέπτων με ενέργεια μJ , αποδίδοντας ισχύ $10^{13} \text{ W} = 10 \text{ TW}$, δηλαδή δέκα τρισεκατομμυρίων Watt! Τέτοιες μαλακές ακτίνες-X ενός αττοδευτερολέπτου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός βίντεο αργής κίνησης ηλεκτρονίων και ατόμων,⁶ βιολογικών μορίων σε ζωντανά κύτταρα ή για τη βελτίωση της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών με την καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των φωτοαντιδράσεων (φωτοσύνθεση). Μια καλή ανασκόπηση των επιμέρους μεθόδων παρουσιάζεται στο άρθρο επισκόπησης,⁷ ως και μια καλή θεώρηση της συμβολής των αττοπαλμών στη μελέτη της κινήσεως των ηλεκτρονίων δίδεται από το Max-Planck Institut für Quanten Optik.⁶

Κλείνοντας την σύντομη αυτή παρουσίαση θα θέλαμε να διευκρινίσουμε τη διαφορά μεταξύ των όρων Φασματοσκοπία και **Χρονοσκοπία (Chronoscopy)**. Η χρονοσκοπία αττοδευτερολέπτων ασχολείται με την χρονική διακριτική ικανότητα υπερταχέων ηλεκτρονικών διεργασιών της κβαντικής φυσικής της ύλης με



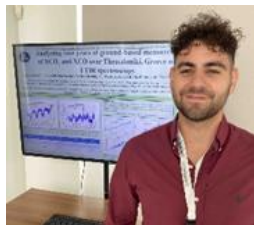
Σχήμα 7. Κατανομή της ηλεκτρονικής πυκνότητας στο άτομο του υδρογόνου κατά την μετάπτωση ($1s \rightarrow 2s$). Η περίοδος επικάλυψης είναι 400 as.

εφαρμογές σε άτομα, μόρια και στερεά. Οι τυπικές χρονικές κλίμακες που καλύπτονται κυμαίνονται από attoseconds (10^{-18} s) έως femtoseconds (10^{-15} s). Οι παρατηρήσεις σε πραγματικό χρόνο τέτοιων διαδικασιών έχουν καταστεί δυνατές από την αλλαγή της χιλιετίας, όταν έγιναν διαθέσιμοι καλά ελεγχόμενοι παλμοί λέιζερ υποδευτερολέπτων (subfemtosecond). Η χρονοσκοπία μπορεί να παρέχει πληροφορίες συμπληρωματικές προς αυτές που είναι προσβάσιμες μέσω συμβατικής φασματοσκοπίας. Ενώ η φασματοσκοπία στοχεύει στο χαρακτηρισμό διεργασιών μέσω μετρήσεων με την υψηλότερη δυνατή ενεργειακή ανάλυση αλλά χωρίς χρονική ανάλυση, η χρονοσκοπία επιχειρεί να συλλάβει τις δυναμικές πτυχές της κβαντικής δυναμικής μέσω υψηλής χρονικής ανάλυσης αλλά με περιορισμένη ενεργειακή ανάλυση. Σημαντικές εφαρμογές της είναι η μελέτη μη στάσιμων και φθινουσών καταστάσεων, η κβαντική μεταφορά και η μεταφορά φορτίου, οι μη αναστρέψιμες διεργασίες (το "βέλος του χρόνου") ως και η απώλεια πληροφοριών φάσης που ονομάζεται **αποσυμφωνία (decoherence)** ενός κβαντικού συστήματος λόγω της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον.

Πηγές

1. www.kva.se/en/news/the-nobel-prize-in-physics-2023/
2. Σ. Βεσ, Κ. Παπαγγελής "Κβαντική Οπτική & Lasers". Εκδ. Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη 2024, υποενότητα 6.7.3
3. Σ. Βεσ Κ. Παπαγγελής "Κβαντική Οπτική & Lasers". Εκδ. Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη 2024, ενότητα 7.9.
4. L. Restaino, D. Jadoun, M. Kowalewska, *Structural Dynamics* 9, 034101 (2022),.
5. J. Li, Xiaoming R, et al. *Nature Communications* 8, 186 (2017).
6. www.mpg.de/9298413/F002_focus_024-031.pdf
7. V. V. Strelkov et al., "Physics Uspekhi 59, 425 (2016).

κατανοώντας τον αόρατο κίνδυνο με τον τετράποδο υπέρυθρο ανιχνευτή



Θωμάς Πάνου
Φυσικός M.Sc
Τμήματος Φυσικής,
Α.Π.Θ.

Η παρουσία της ατμόσφαιρας είναι απαραίτητη για την ύπαρξη και τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας. Η ατμόσφαιρα αποτελεί το περιβάλλον που συνοδεύει τον πλανήτη στις κινήσεις του. Αποτελεί ένα συστατικό μέρος της βιόσφαιρας όπου αναφέρεται συχνά ως «life zone» της Γης.

Το Εργαστήριο της Φυσικής της Ατμόσφαιρας (Ε.Φ.Α.) του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ. δραστηριοποιείται από το 1981 στους τομείς της Ατμοσφαιρικής Φυσικής και της Φυσικής του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος. Στον πειραματικό εξοπλισμό του Ε.Φ.Α. έχει προστεθεί το φασματοφωτόμετρο υπέρυθρου Bruker EM27/SUN FTIR (Fourier Transform Infrared), το οποίο διεξάγει μετρήσεις από το 2019 έως και σήμερα στο δώμα της Σχολής Θετικών Επιστημών.

Το φασματοφωτόμετρο Bruker EM27/SUN (Εικόνα 1) αναπτύχθηκε από την Bruker Optics σε συνεργασία με το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Καρλσρούης (KIT). Αποτελεί μέρος του Διεθνούς Δικτύου Παρατήρησης της Στήλης του Διοξειδίου του Άνθρακα (COCCON) από το 2018. Το COCCON αποτελεί ένα παγκόσμιο δίκτυο σταθμών παρέχοντας αυξημένη πυκνότητα παρατηρήσεων της αναλογίας μίγματος στον αέρα των αερίων του θερμοκηπίου.

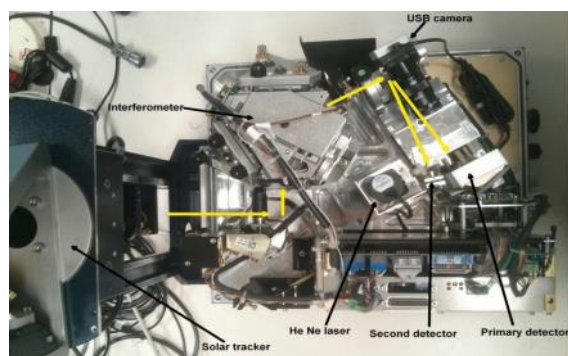


Εικόνα 1: Το όργανο EM27/SUN FTIR.

Το πρόγραμμα μετρήσεων του Bruker EM27/SUN FTIR είναι καρπός της συνεργασίας του Ε.Φ.Α. Α.Π.Θ. με το KIT, και πρόκειται για το μοναδικό όργανο στην Ελλάδα και την ΝΑ Ευρώπη, καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης ανελλιπώς για περισσότερο από πέντε χρόνια. Το φασματοφωτόμετρο έχει τη δυνατότητα να ανακτήσει τη μέση αναλογία μίγματος της στήλης των αερίων του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) του μεθανίου (CH_4), των υδρατμών (H_2O) και του οξυγόνου (O_2) από τα καταγεγραμμένα σήματα της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας.

Διάταξη-λειτουργία οργάνου

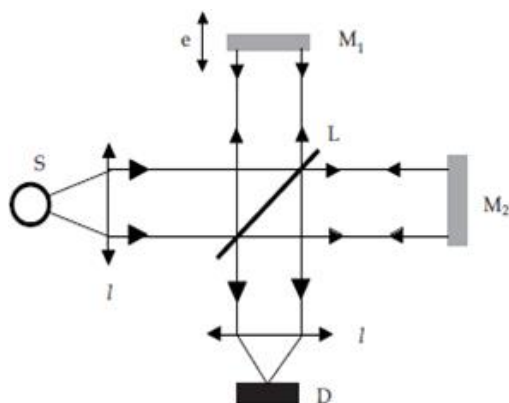
Το φασματοφωτόμετρο έχει σχεδιαστεί ειδικά για να καταγράφει την IR ηλιακή ακτινοβολία. Κατά μήκος της οπτικής διαδρομής το όργανο διαθέτει έναν ηλιακό ανιχνευτή (solar tracker) ο οποίος μπορεί να υποδεχθεί διάμετρο δέσμης έως 50 mm. Η οπτική ανάδραση λαμβάνεται μέσω μιας ενσωματωμένης στο όργανο USB-κάμερας που καταγράφει την εξεταζόμενη περιοχή διασφαλίζοντας έναν εξαιρετικά συνεπή έλεγχο της οπτικής γωνίας παρατήρησης του φασματοφωτομέτρου. Καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας η κάμερα παρακολουθεί και εντοπίζει συνεχώς τον ηλιακό δίσκο σε όλη την τροχιά του (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Εσωτερική κάτοψη της διάταξης του οργάνου.

Το Bruker EM27/SUN πρόκειται ουσιαστικά για ένα φορητό φασματοφωτόμετρο με κεντρικό στοιχείο του οργάνου να αποτελεί το συμβολόμετρο

Michelson που χωρίζει την εισερχόμενη ακτινοβολία σε δυο δέσμες. (Εικόνα 3). Μετά την εισαγωγή μιας διαφοράς οπτικού δρόμου στις δέσμες, ουσιαστικά συμβάλλουν και δημιουργείται το διαμορφωμένο σήμα το οποίο ονομάζεται συμβολόγραμμα. Το σήμα εντοπίζεται από δυο ανιχνευτές InGaAs που καλύπτουν τις φασματικές περιοχές από 5500-11000 cm^{-1} και από 1900-5250 cm^{-1} , αντίστοιχα. Απαραίτητη προϋπόθεση για να αναλύσει το όργανο την ηλιακή ακτινοβολία αποτελούν οι συνθήκες ηλιόλουστης μέρας. Στο συμβολόγραμμα εφαρμόζεται ένας μετασχηματισμός Fourier δημιουργώντας το φάσμα στο οποίο λαμβάνουν επιπρόσθετα χώρα διάφορες διορθώσεις έτσι ώστε να αφαιρεθεί το σήμα υποβάθρου. Στη συνέχεια εφαρμόζεται μια διαδικασία fitting με βάση τον αλγόριθμο που έχει αναπτυχθεί για το όργανο με τον οποίο πραγματοποιείται η ανάκτηση της στήλης των συγκεντρώσεων των παρατηρούμενων αερίων από το καταγεγραμμένο φάσμα. Το τελικό προϊόν υπολογίζεται με βάση τη στήλη του O_2 που θεωρείται γνωστή και σταθερή, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο τις μέσες συγκεντρώσεις των λεγόμενων **X-gases** (XCO_2 , XCH_4 , XCO) σε μονάδες $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ξηρού αέρα με χρονική ανάλυση 1 λεπτού. Για παράδειγμα το XCO_2 αντιπροσωπεύει το μέσο μοριακό κλάσμα ξηρού αέρα του CO_2 , εκφρασμένο ως $\text{XCO}_2 = \text{column}[\text{CO}_2]/\text{column}[\text{dry air}]$.

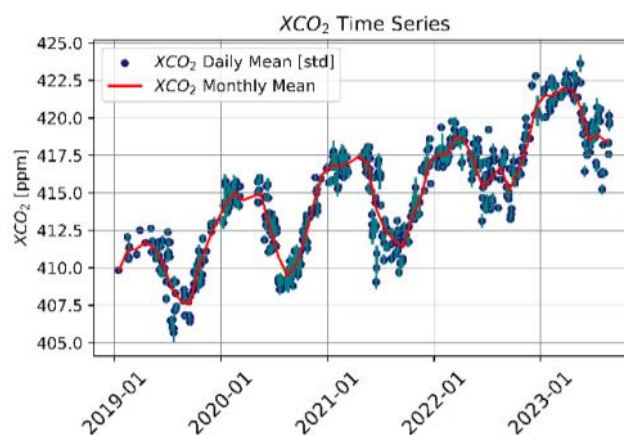


Εικόνα 3: Τυπική διάταξη συμβολόμετρου Michelson.

Σταθμός FTIR Θεσσαλονίκης

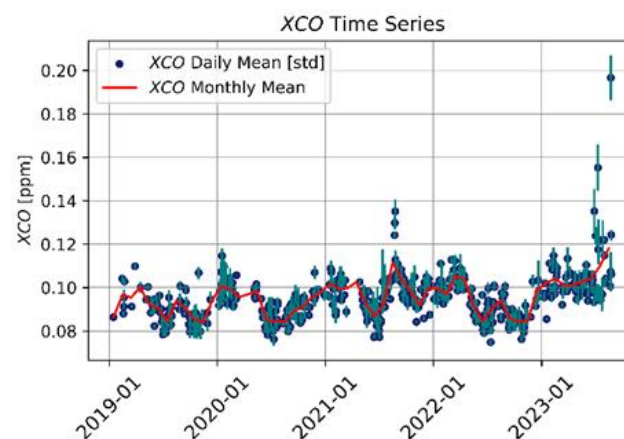
Η σημασία ύπαρξης του σταθμού FTIR της Θεσσαλονίκης είναι καθοριστική καθώς παρακολουθεί κατά κύριο λόγο αέρια του θερμοκηπίου, πράγμα το οποίο καθίσταται αναγκαίο με βάση τις αυξανόμενες προκλήσεις που συναντά ο πλανήτης λόγω της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του, τα οποία και βρίσκονται σε εξέλιξη. Τα προϊόντα των αερίων που λαμβάνονται από τις μετρήσεις του οργάνου έχουν στρατηγική σημασία. Το διοξείδιο του

άνθρακα (CO_2) αποτελεί το πιο σημαντικό «long-live» καλά αναμεμιγμένο αέριο του θερμοκηπίου καθώς είναι υπεύθυνο για το 65% του Radiative Forcing (RF) και συνεχίζει να αυξάνει τις συγκεντρώσεις του με ραγδαίους ρυθμούς παρά τις προσπάθειες που λαμβάνουν χώρα ώστε να μειωθεί. Οι μετρήσεις του CO_2 επιβεβαιώνουν την αυξανόμενη τάση και τα επίπεδα που παρατηρούνται σε περιοχές μέσων πλατών όπως είναι η περιοχή της Θεσσαλονίκης (Εικόνα 4).

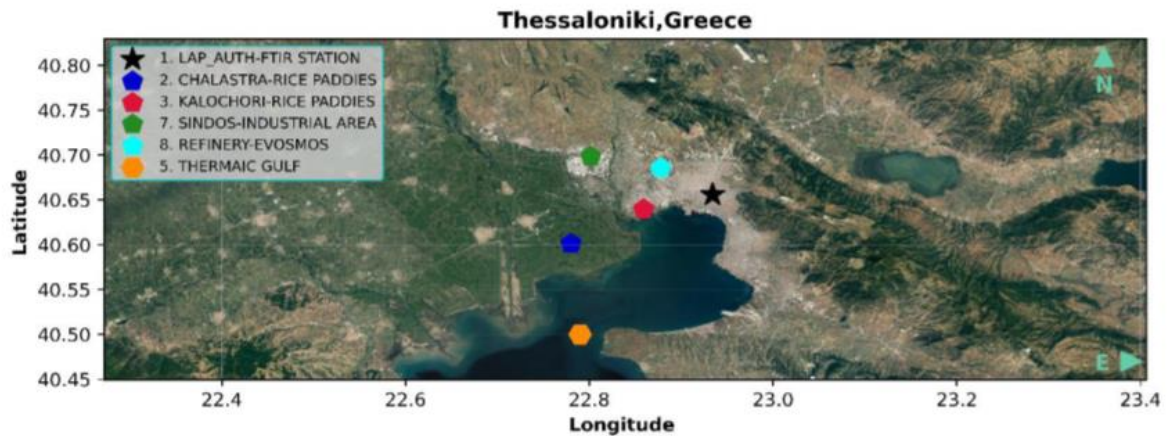


Εικόνα 4: Χρονοσειρά του XCO_2 για την περιοχή της Θεσσαλονίκης τα έτη 2019-2023.

Επιπλέον το μεθάνιο (CH_4) αποτελεί το δεύτερο πιο σημαντικό θερμοκηπιακό αέριο με χρόνο ζωής 11-13 έτη και συμμετοχή στο RF με ποσοστό περίπου στο 16%. Όσον αφορά το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) παράγεται από την οξείδωση του μεθανίου, από τις ατελείς καύσεις ορυκτών καυσίμων και από την καύση βιομάζας αποτελώντας επίσης έναν καλό δείκτη εντοπισμού των δασικών πυρκα-



Εικόνα 5: Χρονοσειρά XCO για την περιοχή της Θεσσαλονίκης για τα έτη 2019-2023. Οι μεγάλες αποκλίσεις από την γενικότερη τάση οφείλονται σε δασικές πυρκαγιές με τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα τα καλοκαίρια του 2021 (Εύβοια - Σειχ Σου) και 2023 (Αλεξανδρούπολη).



Εικόνα 6: Πιθανές τοποθεσίες όπου αποτελούν πηγές θερμοκηπιακών αερίων.

γίων που ξεσπούν κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, με χαρακτηριστικό παράδειγμα να αποτελούν οι πυρκαγιές τον Αύγουστο του 2023 στην Αλεξανδρούπολη όπου το όργανο κατέγραψε συγκεντρώσεις ρεκόρ μετρώντας καθ' όλη τη διάρκεια του «event» (Εικόνα 5).

Από τις χρονοσειρές αλλά και τις ημερήσιες πορείες των συγκεντρώσεων των μετρούμενων αερίων (Εικόνες 4 και 5) προκύπτει μια πλήρης εικόνα για την ποιότητα του αέρα για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, γεγονός σημαντικό καθώς η συγκεκριμένη περιοχή συγκαταλέγεται στις πιο ρυπασμένες της Ευρώπης. Η τοποθεσία καθιστά την περιοχή ένα «hotspot» όσον αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς γίνεται αποδέκτης θερμοκηπιακών αερίων από διάφορες τοποθεσίες τόσο του πολεοδομικού συγκροτήματος αλλά και της ευρύτερης περιοχής (Εικόνα 6).

Σύνδεση με δορυφορικές παρατηρήσεις

Η σύνδεση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από το όργανο σε σχέση με τις πιθανές πηγές αποτελεί μια πρόκληση η οποία μπορεί να γεφυρωθεί με την παρουσία της δορυφορικής τηλεπισκόπησης για την διακρίβωση και τον εντοπισμό των πηγών.

Το Ε.Φ.Α. του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. δραστηριοποιείται στον τομέα των δορυφορικών δεδομένων από το 2008 παρέχοντας αξιόπιστες υπηρεσίες σε πληθώρα προγραμμάτων που συνδέονται με την Ατμοσφαιρική Φυσική και το Περιβάλλον. Ένα σημαντικό κομμάτι στο οποίο συμμετέχει το όργανο EM27/SUN FTIR αποτελούν οι επικυρώσεις δορυφορικών δεδομένων. Πρόκειται για μια εξαιρετικής σημασίας δραστηριότητα καθώς οι δορυφόροι έχουν παγκόσμια κάλυψη, κρίνοντας επιτακτική την ανάγκη ύπαρξης αξιόπιστων δεδομένων καθώς και μεγάλου πλήθους μετρήσεων, όρους τους οποίους

τηρεί πιστά το όργανο. Το EM27/SUN έχει συμμετάσχει στην επικύρωση αποτελεσμάτων του οργάνου TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) της αποστολής του παθητικού δορυφόρου Sentinel 5P της Ε.Σ.Α. (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Δορυφόρος Sentinel 5P.

Πηγές

- Mermigkas M. et al. "FTIR Measurements of Greenhouse Gases over Thessaloniki, Greece in the Framework of COCCON and Comparison with S5P/TROPOMI Observations", *Remote Sensing*, 2021, 13, 3395.
- Gisi M. et al. "XCO₂-Measurements with a Tabletop FTS Using Solar Absorption Spectroscopy", *Atmospheric Measurement Techniques*, 2012, 5, 2969
- Hase, F. et al. "Application of Portable FTIR Spectrometers for Detecting Greenhouse Gas Emissions of the Major City Berlin", *Atmospheric Measurement Techniques*, 2015, 8, 3059.
- "KIT-IMK-ASF - About IMK-ASF - Research Groups - Ground-Based Remote Sensing - COCCON - Data Repository." n.d. Accessed September 14, 2023. <https://www.imk-asf.kit.edu/english/3884.php>.
- Panou, T. et al. "Analyzing Four Years of Ground-Based Measurements of XCO₂ and XCO over Thessaloniki, Greece Using FTIR Spectroscopy", *Environmental Sciences Proceedings*, 2023, 26, 52.

τα άτομα της επικούρειας φιλοσοφίας

συσχετίσεις με τη σύγχρονη φυσική



Αναστάσιος Λιόλιος
Ομότιμος Καθ.
Τμήματος Φυσικής,
Α.Π.Θ.

Εισαγωγή

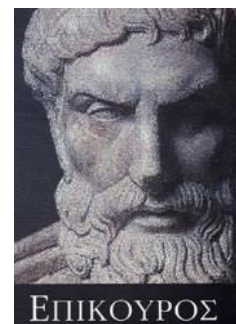
Η ανάπτυξη της φυσικής φιλοσοφίας για τη γνώση του κόσμου πέρασε από πολλά ιστορικά στάδια μέχρι να φτάσει στον σύγχρονο τρόπο επιστημονικής έρευνας. Στην προσπάθεια για την ορθολογική κατανόηση της φύσης, πρώτοι οι «φυσικοί» φιλόσοφοι της μικρασιατικής Ιωνίας και αργότερα της Μεγάλης Ελλάδας και της Θράκης, τον 6^ο και τον 5^ο αιώνα π.Χ., έθεσαν ως κεντρικό θέμα την αναζήτηση μιας ενιαίας αρχής του κόσμου,

την αναζήτηση της πρωταρχικής ουσίας από την οποία προέρχονται τα πάντα και στην οποία επιστρέφουν τα πάντα. Μέσα από τους σχετικούς προβληματισμούς, η πορεία της σκέψης των «φυσικών» φιλοσόφων έφθασε στην ατομική θεωρία. Οι ατομικοί φιλόσοφοι Λεύκιππος και Δημόκριτος και μετά από αυτούς ο Επίκουρος, με την παραδοχή των ατόμων απάντησαν σε πλήθος λογικών παραδόξων και αδιεξόδων όπως αυτά που είχαν τεθεί με το ζήτημα της επ' άπειρον διαιρετότητας και του μαθηματικού συνεχούς.

Την φιλοσοφία των φυσικών φιλοσόφων διαδέχθηκε η φιλοσοφία της «κλασικής εποχής» που είχε ως κεντρικές μορφές της, τον Σωκράτη (470-399 π.Χ.), τον Πλάτωνα (427-347 π.Χ.) και τον Αριστοτέλη (384-322 π.Χ.). Ο Κικέρων αναφερόμενος στην εποχή αυτή είπε ότι «ο Σωκράτης κατέβασε τη φιλοσοφία από τον ουρανό στη Γη», επισημαίνοντας έτσι ότι το ενδιαφέρον των φιλοσοφικών στοχασμών μετατοπίστηκε από τον φυσικό κόσμο στον άνθρωπο. Ακολούθησε η ελληνιστική περίοδος, διάρκειας τριών αιώνων, η οποία αρχίζει με το θάνατο του Μεγάλου Αλεξάνδρου (323 π.Χ.). Στον καινούργιο κόσμο που αναδύθηκε από τις ελληνικές κατακτήσεις και με την δημιουργία της ελληνιστικής οικουμένης, η φιλοσοφία στρέφεται προς νέα φιλοσοφικά ρεύματα, προσαρμοσμένα στις αναζητήσεις του οικουμένου ανθρώπου. Αυτά είναι κυρίως ο Στωικισμός, ο Σκεπτικισμός και η φιλοσοφία του Επικούρου. Κοινό στοιχείο τους είναι ότι βλέπουν ως κεντρικό ρόλο της φιλοσοφίας την καθοδήγηση του ανθρώπινου βίου, δηλαδή την «ηθική».

Ο Επίκουρος (341-270 π.Χ.) επέλεξε την Αθήνα ως έδρα της φιλοσοφικής σχολής του, τον «Κήπο», μια ι-

διόκτητη κατάφυτη έκταση εκτός των τειχών, με εγκαταστάσεις κατάλληλες για την παραμονή εκεί των φίλων και μαθητών της φιλοσοφίας του. Κύρια επιδίωξη της επικούρειας φιλοσοφίας είναι η γαλήνη της ψυχής και ο ευδαίμων βίος, που είναι εύκολο να επιτευχθούν με την αποφυγή του σωματικού και ψυχικού πόνου και την αναζήτηση της ευχαρίστησης, κυρίως με τη μορφή των πνευματικών ηδονών και της αταραξίας. Ως σημαντική αιτία ψυχικού πόνου θεωρήθηκαν οι μεταφυσικοί φόβοι που προκαλούνται από τα μυθεύματα και τις δεισιδαιμονίες που οφείλονται με τη σειρά τους στην άγνοια της φυσικής πραγματικότητας και των φυσικών νόμων. Ο Επίκουρος θεώρησε ότι η ηθική του πρέπει να εδράζεται στην γνώση της φύσης, στην «φυσιολογία» όπως την είπε, ενώ το πιο συνεκτικό μοντέλο περιγραφής της φυσικής πραγματικότητας βρήκε ότι δίνεται από την ατομική φυσική του Δημόκριτου, την οποία αφού εμπλούτισε με κάποια νέα στοιχεία, την ενσωμάτωσε στην διδασκαλία του.



ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ

Γράφει γι αυτά ο Χ. Θεοδωρίδης, καθηγητής φιλοσοφίας στο Α.Π.Θ. στο βιβλίο του «Επίκουρος, η αληθινή όψη του αρχαίου κόσμου»:

«Η επιστήμη, όπως κάθε ανθρώπινη προσπάθεια, σκοπό έχει τη γαλήνη της ψυχής και συνέπειά της την ευτυχία. Μα η γαλήνη δεν μπορεί να ασφαλιστεί όσο δεν ξέρουμε την πραγματική φύση του κόσμου και τις αιτίες των φαινομένων... Η προσπάθεια της ιωνικής φυσικής να βγάλει την ποικιλία των όντων από ένα ορισμένο στοιχείο, από το νερό ή τη φωτιά, αντίκρισε μεγάλες δυσκολίες κι έδωσε αφορμή σε πολύμορφη κριτική... Από την κρίση που απείλησε 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 διάνοηση 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».

Τις απόψεις του Επικούρου για τη φυσική πραγματικότητα τις γνωρίζουμε κυρίως από την επιστολή του

προς τον Ηρόδοτο, έναν από τους μαθητές του. Θα δούμε στη συνέχεια κάποιες από τις επικουρείες θέσεις που υπάρχουν στην επιστολή.

Η σημασία της Φυσικής

Η γνώση της φύσης μας δίνει γαλήνη γιατί μας απαλλάσσει από φόβους και δεισιδαιμονίες. Λέει ο Επίκουρος στην Επιστολή του προς τον μαθητή του τον Ηρόδοτο [στο 37]:

«...συνιστών τη συνεχή απασχόληση με την έρευνα της φύσης, χάρις στην οποία απολαμβάνω στη ζωή τέλεια γαλήνη, σου έκανα και αυτή την περίληψη όπου δίνω τα βασικά στοιχεία όλων μου των θεωριών».

«...παρεγγυών τὸ συνεχές ἐνέργημα ἐν φυσιολογία καὶ τοιοῦτῳ μάλιστα ἐγγαληνίζων τῷ βίῳ, ἐποίησά σοι καὶ τοιαύτην τινὰ ἐπιτομήν καὶ στοιχείωσιν τῶν ὅλων δοξῶν».

«Φυσιολογία» λοιπόν, δηλαδή έρευνα και γνώση της φύσης συνιστά ο Επίκουρος.

Η Επικούρεια «Φυσιολογία» και η καινοτομία της

Είναι η ατομική θεωρία που δημιούργησαν οι φυσικοί φιλόσοφοι Λεύκιππος και Δημόκριτος. Ο Επίκουρος δέχτηκε την ατομική θεωρία ως την αναγνωρισμένη φυσική του 4^{ου} π.Χ. αιώνα, την βελτίωσε και την έβαλε βάση στους στοχασμούς για την Ηθική του, για την επίτευξη ευδαιμόνου βίου. Ο λατίνος Λουκρήτιος με το εκπληκτικό του ποίημα «De Rerum Natura» (1^{ος} αιών π.Χ.) την διέσωσε ολόκληρη μέχρι στις μέρες μας.

«...Η καινοτομία αυτής της φιλοσοφίας έγκειται στο ότι προσπάθησε να εξηγήσει ορθολογικά όλη την πολυπλοκότητα των φαινομένων της φύσης με βάση κάποιες πολύ απλές αρχές. Η πολυπλοκότητα των φαινομένων δεν είναι εγγενής αλλά προέρχεται από τις συγκρούσεις, τους συνδυασμούς και τις κινήσεις κάποιων βασικών συστατικών που τα ονόμασαν ΑΤΟΜΑ». [Ιων Σιώτης, Πρώην Διευθυντής του «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΥ»].

Η βασική θέση της ατομικής φιλοσοφίας και της επικούρειας φυσικής είναι: ΟΛΑ ΕΙΝΑΙ ΦΤΙΑΓΜΕΝΑ ΑΠΟ «ΑΤΟΜΑ» ΚΑΙ ΚΕΝΟ.

Επικούρεια επιχειρηματολογία για την ασυνέχεια της ύλης

Η ύλη είναι ασυνεχής. Υπάρχει κάποιο ελάχιστο όριο στην συνεχή υποδιαίρεση της ύλης. Ένα άτμητο όριο. Γιατί όμως η ύλη είναι ασυνεχής; Γιατί υπάρχει ελάχιστο όριο στην συνεχή υποδιαίρεση της ύλης; Γιατί πρέπει να υπάρχει το «άτμητο» όριο και η ύλη πρέπει να αποτελείται από «άτομα»; Έτυχε; Ή είναι φυσική - λογική αναγκαιότητα;

Η επικούρεια επιχειρηματολογία υπέρ του άτμητου ορίου υποστηρίζει ότι η ύπαρξη των ελάχιστων υλικών οντοτήτων είναι απαραίτητη για να μένει η ύλη σε «απόσταση ασφαλείας» από το μηδέν. Δηλαδή, η μη διαιρετότητα των ελάχιστων μερών της είναι η λογικά

αναγκαία συνθήκη η οποία δεν επιτρέπει στην ύλη να περάσει βαθμιαία από την ύπαρξη στην ανυπαρξία.

Στην Επιστολή στον ΗΡΟΔΟΤΟ, βλέπουμε τη θέση του Επίκουρου στο «γιατί υπάρχει κάποιο ελάχιστο όριο στην υποδιαίρεση της ύλης» π.χ. στο [39]

«Και αν η φθορά ενός πράγματος που αποσυντίθεται έφτανε μέχρι το μη όν, θα είχαν χαθεί όλα τα πράγματα, επειδή η διάλυσή τους θα κατάληγε σε όντα που δεν υπάρχουν»

και στο [56]

«... όχι μόνο είναι αναγκαίο να απορρίψουμε την διαίρεση σε όλο και μικρότερα μέρη επ' άπειρον..., αλλά ούτε πρέπει ακόμη να νομίζουμε ότι στα πεπερασμένα σώματα υπάρχει η δυνατότητα να συνεχίζεται επ' άπειρον η μετάβαση και σε μικρότερα και ακόμη μικρότερα μέρη».

Άρα, η ύπαρξη των ατόμων βάζει έναν φραγμό μεταξύ ύπαρξης και ανυπαρξίας.

Ο ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΓΙΑ ΤΑ «ΑΤΟΜΑ»

Τα δομικά στοιχεία της ύλης

- Κάθε υλικό σώμα αποτελείται από αδιαίρετα δομικά στοιχεία («ΑΤΟΜΑ») και ΚΕΝΟ.
- Οι Επικούρειοι «φθόγγοι», η επικούρεια ορολογία, για τα ελάχιστα δομικά στοιχεία της ύλης είναι: σπέρματα [38], σώματα άδηλα [39], σώματα άτομα και αμετάβλητα [41], πλήρη τήν φύσιν όντα [41], άτομοι φύσεις [41], άτομα και μεστά [42].



Εσωτερική δομή των «ατόμων»

Τα «άτομα» είναι απαθή, αναλλοίωτα, δεν υφίστανται διάλυση και φθορά, είναι σταθερά και αιώνια. Τα «άτομα» όμως δεν είναι αμερή, έχουν μέρη, έχουν εσωτερική δομή.

Τα «άτομα» έχουν ελάχιστα αμερή πέρατα. Έχοντας έκταση («μέγεθος έχει ή άτομος») και εσωτερική δομή, θα έχουν κάποια «άκρα», ελάχιστα μέρη, που τα ίδια είναι αμερή («τὰ ελάχιστα καὶ ἀμιγῆ πέρατα» [59]) και «τό ελάχιστον ...διάληψιν δέ μερῶν οὐκ ἔχον»[58].

Αυτά τα ελάχιστα μέρη, ανήκουν οριστικά στο σώμα, δεν μπορούν να υπάρξουν από μόνα τους, αποτελούν παντοτινά μέρη του: «Ἄκρον...μὴ καὶ καθ' ἑαυτὸ θεωρητόν...» [57]. Τα «άτομα» λοιπόν ενώ είναι άτμητα και «απαθή», περιέχουν και μέρη, αιωνίως κλεισμένα μέσα τους.

Ιδιότητες των «ατόμων»

(1) Τα «άτομα» έχουν ως ιδιότητες: σχήμα, βάρος, μέγεθος. (2) Οι όποιες ιδιότητες των «ατόμων» είναι διαφορετικές από αυτές των σωμάτων στα οποία ανήκουν (π.χ. χρώμα) (3) Το μέγεθος τους δεν είναι απεριόριστο, έχει άνω όριο (π.χ. είναι τέτοιο που να μην τα κάνει ο-

ρατά). (4) Τα «άτομα» έχουν μεγάλη ποικιλία σχημάτων, είναι όμως μια ποικιλία σχημάτων πεπερασμένη. (5) Τα «άτομα» κάθε σχήματος, τα όμοια δηλαδή, είναι άπειρα σε αριθμό.

Αλληλεπίδραση των «ατόμων»

Τα «άτομα» αλληλεπιδρούν. Οι τρόποι είναι: έλξη (περιπλοκή), άπωση (αποπαλμός), δόνηση (παλμός).

Τα «άτομα» συνενώνονται, δημιουργούν «συγκρίσεις». Ο Δημόκριτος λέει ότι αιτία που τα άτομα μένουν μαζί, κάνουν διαπλοκές και αλληλοσυνδέσεις, είναι ότι μερικά από αυτά είναι σκαληνά, άλλα μοιάζουν με άγκιστρα, άλλα κοίλα, άλλα κυρτά και γενικά έχουν αναρίθμητες διαφορές.

ΔΟΝΗΣΕΙΣ: Τα άτομα μπορεί να συμβαίνει να είναι δέσμια, δηλαδή να είναι περιορισμένα ή παγιδευμένα από άλλα άτομα, «πλεκτικά». Αυτά τα δέσμια άτομα που δεν είναι ελεύθερα να κινηθούν, παρουσιάζουν μια ιδιαίτερη κίνηση: δονούνται, πάλλονται (συμβαίνει στα σωματίδια σε κάθε επίπεδο δομής).

Κίνηση των «ατόμων»

(1) Τα «άτομα» κινούνται συνεχώς. Αιτίες το ΒΑΡΟΣ και οι ΚΡΟΥΣΕΙΣ. (2) Τα «άτομα» κινούνται ισοταχώς στο κενό, ασχέτως του βάρους τους, τα σύνθετα σώματα όμως όχι. (3) Τα δέσμια «άτομα» δονούνται, πάλλονται. (4) Τα «άτομα» κατά την κίνησή τους μπορεί να παρουσιάσουν κάποια απρόβλεπτη και αναίτια «παρέγκλιση» από την ευθύγραμμη πορεία τους.

[ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η «παρέγκλιση» δεν αναφέρεται στην Επιστολή προς Ηρόδοτον, επειδή όπως γράφει ο Λεωνίδας Αλεξανδρίδης: «κάτι πρέπει να έχει χαθεί στο οποίο ο Επίκουρος ασχολείτο με τις δύο αρχικές αιτίες της κίνησης των ατόμων, το βάρος τους, ..., και την παρέγκλιση (παρέγκλισις, *clinamen*) η οποία προκαλεί τις συγκρούσεις τους και την σταθερή κίνηση σε όλες τις κατευθύνσεις». Υπάρχουν όμως αλλού αναφορές για την παρέγκλιση:

ΑΝΑΦΟΡΑ 1: «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...»

[Λουκρήτιος, «Για την Φύση των Πραγμάτων»]

ΑΝΑΦΟΡΑ 2: «τίς ποτέ εί, και ελευθέραν τινά εν ταις ατόμοις κίνησιν ήν Δημόκριτος μεν ούχ εύρεν, Επίκουρος δε εις φως ήγαγεν, παρενκλιτικήν υπάρχουσαν, ως εκ των φαινομένων δείκνυσιν;»

Το «και ελευθέραν τινά εν ταις ατόμοις κίνησιν... παρενκλιτικήν ...», σημαίνει: «τα άτομα έχουν και μια ελεύθερη κίνηση.. παρεκκλίνουσα...», [ΔΙΟΓΕΝΗΣ ΟΙΝΟΑΝΔΕΑΣ, οι πολύτιμες πέτρες της φιλοσοφίας].

Ο ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΓΙΑ ΤΟ «ΚΕΝΟ»

Η φύση του κενού

Είναι απαραίτητη η ύπαρξη του κενού α) για την κίνηση

β) ως συστατικό των ατόμων.

Το κενό δεν είναι το απόλυτο τίποτα, το ΜΗ-ΟΝ του Παρμενίδη. Οι Ατομικοί θεώρησαν ότι το κενό είναι υπαρκτό όπως και τα υλικά σώματα, αναγκαίο για την κίνηση των ατόμων. Ο Επίκουρος στην επιστολή του στον Ηρόδοτο αναφέρει το κενό και με τον όρο «αναφής φύσις» [40], δηλαδή «αψηλάφητη φύση».

«...ὁ κενὸν καὶ χώραν καὶ ἀναφῇ φύσιν ὀνομάζομεν...»

Το ίδιο αναφέρει και ο Σέξτος Εμπειρικός: «...φύσις ἀναφῆς εἴρηται παρὰ τῷ Ἐπικούρῳ...»

Το κενό λοιπόν ο Επίκουρος το θεωρεί «φύση», ως κάτι υπαρκτό και σχετιζόμενο προφανώς, με την άλλη φύση, αυτή των απτών πραγμάτων.

Τι λέει ο Επίκουρος - Μια σύνοψη για τα «άτομα»

- ➔ Είναι απαθή, σταθερά και αιώνια.
- ➔ Δεν είναι αμερή, έχουν μέρη, άρα εσωτερική δομή.
- ➔ Έχουν έκταση, δηλαδή δεν είναι σημειακά.
- ➔ Έχουν τις ιδιότητες: σχήμα, βάρος, μέγεθος.
- ➔ Το μέγεθός τους ποικίλει, αλλά δεν περνά κάποιο όριο.
- ➔ Η ποικιλία σχημάτων τους είναι ασύλληπτα μεγάλη.
- ➔ Ο αριθμός των ατόμων κάθε σχήματος είναι άπειρος.
- ➔ Αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, δημιουργούν συνενώσεις, απωθούνται, συγκρούονται.
- ➔ Κινούνται συνεχώς και ισοταχώς όταν είναι ελεύθερα.
- ➔ Δονούνται, πάλλονται, όταν είναι δέσμια.
- ➔ Καθώς κινούνται, μπορεί να παρουσιάσουν κάποια απρόβλεπτη και αναίτια «παρέγκλιση» στην πορεία τους.
- ➔ Είναι απαραίτητη η ύπαρξη του κενού α) για την κίνηση β) ως συστατικό των ατόμων.

ΕΠΙΚΟΥΡΕΙΑ ΑΤΟΜΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ

Η σύγχρονη φυσική συμφωνεί κατ' αρχήν με πολλά από τα χαρακτηριστικά των Επικούρειων ατόμων, έστω μερικώς και σίγουρα μέσα από σχετικές διευκρινήσεις για τις έννοιες και την ορολογία. Η βασική ιδέα είναι ότι η ύλη είναι ασυνεχής στη δομή της και η έμφαση που πρέπει να δοθεί είναι στον σωματιδιακό χαρακτήρα, στην ασυνέχεια, στην ύπαρξη «ελαχίστου» με τις συγκεκριμένες ιδιότητες. Όχι στο «άτημητο».

Είναι πάντως εντυπωσιακό ότι η σύλληψη, ως αρχική ιδέα, και πολλών από τα χαρακτηριστικά των «ατόμων» υπάρχει από τότε.

Σύγχρονη επιστημονική γνώση

Θα πρέπει αρχικά να ξεκαθαρίσουμε ότι είναι άλλο πράγμα η φιλοσοφική προσέγγιση της γνώσης (ο ορθός λόγος) και άλλο η επιστημονική της προσέγγιση όπως την εννοούμε σήμερα. Άλλο πράγμα η φιλοσοφία και άλλο η επιστήμη. Η επιστημονική επανάσταση του 16^{ου} - 17^{ου} αιώνα, ανέδειξε τον εμπειρικό έλεγχο, μέσα από

την επιστημονική παρατήρηση και το πείραμα, ως το ακλόνητο κριτήριο για την ορθότητα της επιστημονικής γνώσης.

Η κεντρική ιδέα των αρχαίων ατομικών φιλοσόφων ότι η ύλη είναι ασυνεχής στη δομή της, εξακολουθεί και σήμερα να ισχύει. Και όπως ο Δημόκριτος και ο Επίκουρος θεώρησαν απαραίτητο και προσπάθησαν να διασαφηνίσουν τις ιδιότητες, τις κινήσεις, τις αλληλεπιδράσεις, τις φυσικές διεργασίες των «ατόμων» με την άμεση παρατήρηση, τον ορθό λόγο – τον Επικούρειο «Κανόνα» – έτσι και σήμερα είναι απαραίτητο για την κατανόηση της φύσης, να δούμε την αντίστοιχη εικόνα των διεργασιών και φαινομένων που έχει ο άνθρωπος από τη σύγχρονη επιστήμη, με τον πλούτο των επιστημονικών οργάνων, των παρατηρήσεων και μεθόδων, με την εισαγωγή γενικευμένων εννοιών και τη δημιουργία μοντέλων και θεωρητικών υποθέσεων οι οποίες επιδέχονται επαλήθευσης ή διάψευσης.

ΤΙ ΛΕΕΙ Η ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ

Ποια είναι τα δομικά στοιχεία της ύλης

Κάθε υλικό σώμα αποτελείται (σε κάποιο επίπεδο) από διαιρετά ή αδιαίρετα δομικά στοιχεία, κενό και ενέργεια.

Οι επιστημονικοί όροι για τα δομικά στοιχεία της ύλης είναι: *μόρια, άτομα, ηλεκτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια, πυρήνες, κουάρκ, λεπτόνια, φορείς δυνάμεων, ενέργεια*.

Δομή και διάρκεια των δομικών στοιχείων

- Από τα δομικά στοιχεία, κάποια είναι αμερή και κάποια δεν είναι αμερή, έχουν εσωτερική δομή.
- Από τα δομικά στοιχεία, τα περισσότερα δεν είναι απλή, υφίστανται διάλυση και φθορά, δίνοντας άλλες μορφές. Κάποια όμως είναι απλή, σταθερά και αιώνια σχεδόν όσο το σύμπαν.

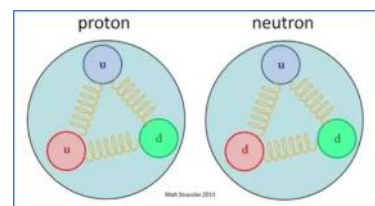
Τί μας θυμίζουν σήμερα τα «Επικούρεια Άτομα»

Πολλές ομοιότητες με τα «Επικούρεια Άτομα» βρίσκουμε στα πρωτόνια και στην ηλεκτρικά ουδέτερη εκδοχή τους, στα νετρόνια. Αυτά, μαζί με τα ηλεκτρόνια, συνθέτουν όλες τις σταθερές δομές της ύλης. Όλος ο

κόσμος δομείται μόνο με τα τρία αυτά συστατικά στοιχεία.

Τα πρωτόνια ξέρουμε, πειραματικά και θεωρητικά, ότι είναι αιώνια και αναλλοίωτα. Το ίδιο ισχύει και για τα νετρόνια όταν αποτελούν μέρος του πυρήνα. Ξέρουμε επίσης ότι έχουν και μια εσωτερική δομή. Τα πρωτόνια/νετρόνια είναι τα θεμελιώδη σωματίδια της σύγχρονης φυσικής που απαρτίζουν τους ατομικούς πυρήνες (atomic nuclei) και έχουν από κοινού το όνομα: «νουκλεόνια». Συνοδά τους σώματα στα άτομα είναι τα ηλεκτρόνια.

Ενώ ως πρωταρχικά στοιχεία ύλης της επικούρειας φυσικής, ως τα «*Primordia*» του Λουκρήτιου, ως τα ακρότατα όρια του επικούρειου ατόμου, μπορούμε να θεωρήσουμε τα κουάρκ τα οποία είναι αναπόσπαστα από τα νουκλεόνια στα οποία ανήκουν.

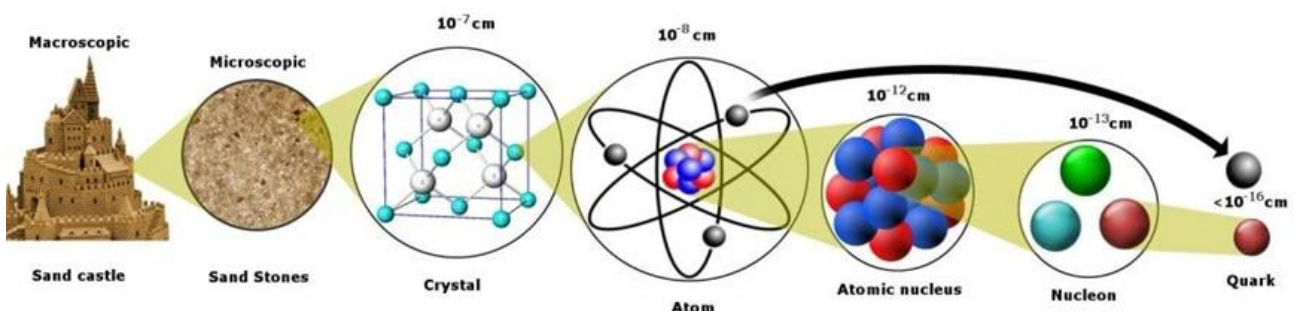


Ιδιότητες των δομικών στοιχείων

(1) Τα δομικά στοιχεία έχουν ιδιότητες: σχήμα, βάρος, μέγεθος, μάζα, ηλεκτρικό φορτίο, σπιν, κβαντικούς αριθμούς. (2) Το μέγεθός τους δεν είναι απεριόριστο, είναι τέτοιο που να μην είναι ορατά. (3) Οι όποιες ιδιότητες των δομικών στοιχείων είναι διαφορετικές από των σωμάτων στα οποία ανήκουν. (4) Τα δομικά στοιχεία έχουν μεγάλη ποικιλία σχημάτων, είναι όμως πεπερασμένη. (5) Τα άτομα κάθε σχήματος, τα όμοια δηλαδή, είναι άπειρα σε αριθμό (συνολικά της τάξης περίπου του 10^{80}) και η μέση πυκνότητα διασποράς τους στο σύμπαν είναι 1-10 σωματίδιο ανά m^3 .

Αλληλεπίδραση των δομικών στοιχείων

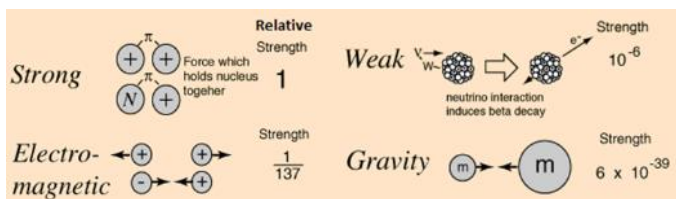
(1) Τα δομικά στοιχεία συνενώνονται και δημιουργούν σύνθετες δομές. Π.χ. τα κουάρκ δίνουν νουκλεόνια, τα νουκλεόνια πυρήνες. Πυρήνες και ηλεκτρόνια κάνουν άτομα, τα άτομα σχηματίζουν μόρια, χημικά στοιχεία και αυτά ουσίες και αντικείμενα.



«Τα χιλιοστόμετρα, είναι σκαλοπάτια μιᾶς ὀριζόντιας κλίμακας πού ὁδηγεῖ τίς λέξεις...» Β. Καλλιμάχης

(2) Τα δομικά στοιχεία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι τρόποι είναι: έλξη (περιπλοκή), άπωση (αποπαλμός), δόνηση (παλμός), αλλά και άλλοι. Π.χ. ο ομοιοπολικός χημικός δεσμός αναπτύσσεται μεταξύ ατόμων τα οποία «μοιράζονται» κάποια ηλεκτρόνια, συνήθως κατά ζεύγη. Το πώς γίνεται αυτό, περιγράφεται μόνο από την κβαντομηχανική.

(3) Οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις, δηλαδή οι δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων της ύλης, ασκούνται μέσω «φορέων», οι οποίοι λειτουργούν ως σωματίδια ανταλλαγής. Οι φορείς είναι μποζόνια (ακέραιο spin). Παράδειγμα φορέα είναι τα φωτόνια, τα «σωματίδια» του φωτός, που φέρουν την ηλεκτρομαγνητική δύναμη. (4) Οι αλληλεπιδράσεις είναι οι εξής τέσσερις (κατά σειρά ισχύος): *Ισχυρή Πυρηνική, Ηλεκτρομαγνητική, Ασθενής Πυρηνική, Βαρυτική*



Κίνηση των δομικών στοιχείων

(1) Τα δομικά στοιχεία σε κάθε υλικό κινούνται συνεχώς. Αυτό το νιώθουμε και άμεσα με τις αισθήσεις μας, ως θερμοκρασία. (2) Τα δομικά στοιχεία ΔΕΝ κινούνται ισοταχώς στο κενό. Έχουν όμως την ίδια επιτάχυνση στο κενό. Υπάρχει μέγιστη ταχύτητα, η ταχύτητα του φωτός c στο κενό. (3) Τα δέσμια δομικά στοιχεία δονούνται, πάλλονται. Η δόνηση αφορά όλα τα δομικά στοιχεία, σε κάθε επίπεδο δομής: υλικού, μοριακού, ατομικό, πυρηνικό, ... (4) Τα σωματίδια, άτομα κλπ κατά την κίνησή τους μπορεί να παρουσιάσουν κάποιαν απρόβλεπτη και αναίτια «παρέγκλιση» από την ευθύγραμμη πορεία τους. Σήμερα αυτό θα μπορούσαμε να το συνδέσουμε με την κβαντική απροσδιοριστία, την πιθανοκρατική εξέλιξη των καταστάσεων, ακόμη και με το χάος.

Η φύση του κενού

(1) Το κενό δεν είναι το απόλυτο τίποτα, δεν είναι το ΜΗ-ΟΝ του Παρμενίδη. Όπως και οι Ατομικοί, έτσι και τώρα οι φυσικοί, θεωρούν το κενό υπαρκτό όπως και τα υλικά σώματα. Είναι όμως κάτι διαφορετικό, όχι απλώς χώρος. (2) Το κενό στη σύγχρονη φυσική αντιμετωπίζεται με δύο μορφές: ως κβαντικό κενό και ως χωροχρονικό συνεχές. (3) Το κενό της σύγχρονης φυσικής αναγνωρίζεται ως μια δυναμική κατάσταση με συγκεκριμένες ιδιότητες που το διαφοροποιούν από το απόλυτο τίποτα. (4) Περιέχει «τα σπέρματα» όλων των σωματιδίων και των αλληλεπιδράσεών τους (virtual particles). Οι ιδιότητές του (πεδία, καμπύλωση, στρέβλωση) καθορίζουν την κίνηση των σωμάτων και την δυναμική τους. Καθορίζουν την εξέλιξη του σύμπαντος.

ΕΝ ΚΑΤΑΚΛΕΙΔΙ...

Αποκτώντας γνώση και εικόνα για το μέγεθος, το σχήμα, την συμπεριφορά των ατόμων στον χώρο, την κίνηση, τις αλληλεπιδράσεις με άλλα, ίδια ή διαφορετικά άτομα, μπορούμε να εξηγήσουμε το πώς συνενώνονται και πώς δημιουργούν τα διάφορα υλικά σώματα, πώς δημιουργούν τελικά τον κόσμο στον οποίο ζούμε.

Έχοντας γνώση για όλα αυτά, έχουμε μια οικεία εικόνα για τον κόσμο, ο κόσμος γίνεται κατανοητός και επομένως πιο φιλικός, πιο ευχάριστος. *“Την ευχάριστη ζωή δημιουργεί η νηφάλια σκέψη”* λέει ο Επίκουρος στην επιστολή προς Μενοικέα: «ΤΟΝ ΗΔΥΝ ΒΙΟΝ ΓΕΝΝΑ Ο ΝΗΦΩΝ ΛΟΓΙΣΜΟΣ». Κατανοώντας την δομή της ύλης και τις αρχές φυσικής που την διέπουν, πατάμε ήδη στο πρώτο σκαλί της επικούρειας φιλοσοφίας, στην φυσική της, αποκτούμε επαρκή γνώση για τα φαινόμενα του κόσμου. Με την γνώση της φύσης ως εφόδιο μπορούμε να κερδίσουμε την αφοβία και την αταραξία, και να προχωρήσουμε σε μια ηθική για ευδαίμονα και ηδονικό βίο.

Παρόμοια άποψη εκφράζεται και από τους σύγχρονους φυσικούς, όπως π.χ. από τον Στέφανο Τραχανά ο οποίος έχει πει σε διάλεξή του: *«Η επιστήμη μπορεί να δράσει στην κοινωνία ως απελευθερωτική δύναμη από τις δεισιδαιμονίες και τον ανορθολογισμό που όλο και πιο πολύ διεισδύουν, όχι μόνο στα μυαλά των ανθρώπων, αλλά διαβρώνουν και τους θεσμούς της κοινωνίας»*.

Ένα άλλο ενδιαφέρον συμπέρασμα είναι ότι υπάρχουν «έννοιες» και «λογικά σχήματα» για την φυσική πραγματικότητα, που τα βλέπουμε να επαναλαμβάνονται μέσα στους αιώνες από φιλοσόφους, διανοητές και επιστήμονες. Τα βλέπουμε να έχουν επιβιώσει παρά την αλλαγή του εννοιολογικού πλαισίου περιγραφής της φύσης, την αλλαγή «παραδείγματος», πολλές φορές μέχρι τώρα.

Αυτό δείχνει ότι αυτές οι έννοιες είναι ανθεκτικές και αντιπροσωπεύουν στοιχεία της πραγματικότητας. Επίσης, σημαίνει και ότι είναι δυνατόν αυτά τα στοιχεία της πραγματικότητας να γίνονται αντιληπτά και κατανοητά από τους νόες των ανθρώπων, αυτών τουλάχιστον που κατέκτησαν έναν τρόπο νηφάλιας σκέψης και «αμυθολόγητης κοσμοερμηνείας».

Πηγές

- Χ. Θεοδωρίδης «Επίκουρος, η αληθινή όψη του αρχαίου κόσμου», 1^η έκδοση, βιβλιοπωλείο της Εστίας, Αθήνα, 1954
- Long A. A. «Η ελληνιστική φιλοσοφία», Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης, Αθήνα, 1987
- Α. Κοέν «Η φιλοσοφία του Επίκουρου», ΘΥΡΑΘΕΝ, Θεσσαλονίκη, 2005
- «Διογένης Οινονδέας —Οι πολύτιμες πέτρες της φιλοσοφίας», ΘΥΡΑΘΕΝ, Θεσσαλονίκη
- Λουκρήτιος, «Για την φύση των πραγμάτων - De Rerum Natura», ΘΥΡΑΘΕΝ, Θεσσαλονίκη
- Λουκρητίου, «Περί φύσεως – Η κληρονομιά ενός επίμονου κηπουρού», Gutenberg, 2021

Το άρθρο παρουσιάστηκε στην 5^η ημερίδα Επικούρειας Φιλοσοφίας (Θεσσαλονίκη 2023) και στο 14^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Επικούρειας Φιλοσοφίας (Αθήνα 2024).

Εις μνήμην Ιωάννη Στοϊμένου

Στις 10 Ιουλίου 2023 έφυγε από τη ζωή ο ομότιμος Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. **Ιωάννης Στοϊμένος**. Γεννήθηκε το 1934 στη Θεσσαλονίκη. Αποφοίτησε από το Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ το 1960. Έλαβε το διδακτορικό του δίπλωμα, επίσης από το Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ, το 1969. Εργάσθηκε ερευνητικά στο Cavendish Laboratory, Cambridge University, United Kingdom, καθώς και στο Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique, Grenoble, France. Υπηρέτησε το Τμήμα Φυσικής και συγκεκριμένα τον Τομέα Φυσικής Στερεάς Κατάστασης για περίπου 40 χρόνια. Δίδαξε πολλά προπτυχιακά και μεταπτυχιακά μαθήματα. Ήταν ο πρώτος που δίδαξε μαθήματα Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (Διδακτική της Φυσικής) στο Τμήμα Φυσικής.



Στον ερευνητικό τομέα ήταν από του πρωτοπόρους της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Διέλευσης στην Ελλάδα. Ακούραστος και ενθουσιώδης ερευνητής, συμμετείχε σε πολλά ερευνητικά προγράμματα, αναπτύσσοντας συνεργασίες με πολλά εργαστήρια ανά τον κόσμο. Μέσω αυτών των προγραμμάτων προσέφερε μεγάλη οικονομική στήριξη στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας, επί πολλά έτη.

Η συνεισφορά του στη Φυσική και Τεχνολογία των Υλικών αποτυπώνεται στο δημοσιευμένο έργο του (από SCOPUS: 230 papers, 3849 citations, h-index=33). Ιδιαίτερα αναγνωρίζεται η συνεισφορά του στην τεχνολογία Si και SiC. Συνεισέφερε στην ανάπτυξη της τεχνικής SIMOX, που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Διακρίνονταν για το ακαδημαϊκό του ήθος και τον προσηνή χαρακτήρα του. Πάντα πρόθυμος να βοηθά και να καθοδηγεί τους νεότερους του. Συνέχισε να εργάζεται και να παράγει ερευνητικό έργο και μετά την συνταξιοδότηση του (πάνω από 60 δημοσιεύσεις), περνώντας, τα πρώτα χρόνια τουλάχιστον, πολλές ώρες στο πανεπιστήμιο. Χαριτολογώντας έλεγε: «Ξεκίνησα να κάνω δεύτερο διδακτορικό». Φυσικά όταν τελείωσε το δεύτερο διδακτορικό, ξεκίνησε και δεύτερη μεταδιδακτορική έρευνα.

Οι υπογράφωντες είχαμε την τιμή να είμαστε τα τελευταία χρόνια συν-συγγραφείς με τον εκλιπόντα σε ερευνητικές εργασίες (μέχρι το 2021), μαζί με τον Dr. Bela Pecz (Institute for Technical Physics and Materials Science της Βουδαπέστης), τον Καθ. Δ. Σκαρλάτο (Πανεπιστήμιο Πατρών) και τους συνεργάτες τους. Θαυμάσαμε όλοι μας, τη διαύγεια του πνεύματος του, τις γνώσεις του, την εξαιρετική του μνήμη και προπαντός τον αμείωτο ενθουσιασμό του για την έρευνα.

Αναπαύσου εν ειρήνη αγαπητέ μας καθηγητά!

N. Φράγκης, Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ

N. Βουρουτζής, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ

Βραβείο Ακαδημίας Αθηνών στον Καθ. κ. Αυγολούπη

Τον Καθηγητή Αστρονομίας **Σταύρο Αυγολούπη** Ομότιμο Καθηγητή Αστρονομίας του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. τίμησε η Ακαδημία Αθηνών με τον ΕΠΑΙΝΟ του Ιδρύματος Κώστα και Ελένης Ουράνη, για το συγγραφικό-λογοτεχνικό του έργο για την αστρονομία για παιδιά.



Η ανακοίνωση της Ακαδημίας Αθηνών

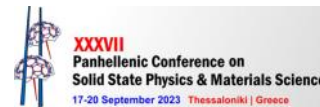
Στην Πανηγυρική Συνεδρίαση της ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ στις 21 Δεκεμβρίου 2023 στην Αίθουσα Τελετών του Μεγάρου της Ακαδημίας, ο Πρόεδρός της κ. Μιχαήλ Σταθόπουλος, με την παρουσία ακαδημαϊκών καθηγητών της Ακαδημίας Αθηνών, του Υπουργού Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού κ. Κυριάκου Πιερρακάκη και του π. Προέδρου της Ελληνικής Δημοκρατίας κ. Προκόπη Παυλόπουλου, απένειμε στον Σταύρο Αυγολούπη, Ομότιμο Καθηγητή Αστρονομίας του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. τον ΕΠΑΙΝΟ του Ιδρύματος Κώστα και Ελένης Ουράνη.

Πηγή: Εφημερίδα Μακεδονία



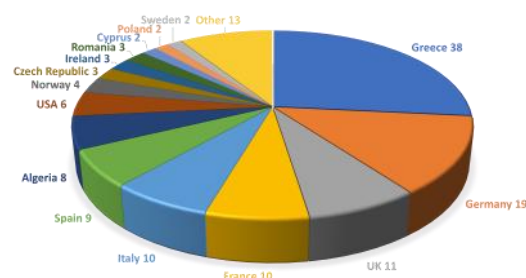
Το 37^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικής Στερεάς Κατάστασης & Επιστήμης Υλικών

διοργανώθηκε την περίοδο 17-20 Σεπτεμβρίου 2023 στο Κέντρο Διάδοσης Ερευνητικών Αποτελεσμάτων (ΚΕ.Δ.Ε.Α) του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Συμμετείχαν 235 εγγεγραμμένοι επιστήμονες από την Ελλάδα και το εξωτερικό. Το συνέδριο διοργανώθηκε υπό τις αιγίδες (α) του Τομέα Φυσικής Συμπυκνωμένης Ύλης & Υλικών του Τμήματος Φυσικής ΑΠΘ, (β) του Τμήματος Φυσικής ΑΠΘ, (γ) της Κοσμητείας της Σχολής Θετικών Επιστημών ΑΠΘ, (δ) της Ελληνικής Εταιρείας Επιστήμης και Τεχνολογίας της Συμπυκνωμένης Ύλης (ΕΕΤΣΥ), και (ε) της Ελληνικής Εταιρείας Μικροσκοπίας. Την έναρξη του συνεδρίου κήρυξε ο Πρύτανης του ΑΠΘ, καθηγητής κος Δ. Κωβαίος. Χαιρετισμούς κατά την εναρκτήρια τελετή απηύθυναν η Κοσμήτορας της Σχολής Θετικών Επιστημών ΑΠΘ, καθηγήτρια κα Χ. Χαραλάμπους, ο Αντιπρόεδρος του Τμήματος Φυσικής ΑΠΘ, καθηγητής κ. Ι. Κιοσέογλου εκ μέρους της Προέδρου κας Α. Ιωαννίδου, και η Πρόεδρος της ΕΕΤΣΥ, καθηγήτρια κα Μ. Κατσικίνη.



Το συνέδριο περιλάμβανε εναρκτήρια τελετή, δύο (2) κοινές συνεδρίες και δεκαέξι (16) παράλληλες συνεδρίες που έλαβαν χώρα στα Αμφιθέατρα II και III του ΚΕΔΕΑ. Επίσης διεξήχθησαν και δύο (2) συνεδρίες αναρτημένων εργασιών στο Φουαγιέ του ΚΕΔΕΑ. Συνολικά, παρουσιάστηκαν 254 εργασίες (101 παρουσιάστηκαν προφορικά και 136 αναρτημένες εργασίες) από 222 ερευνητές και ερευνήτριες, από 142 Ακαδημαϊκούς, Ερευνητικούς και Βιομηχανικούς οργανισμούς από 28 διαφορετικές χώρες, επιβεβαιώνοντας τον έντονα διεθνή χαρακτήρα του συνεδρίου. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται δεκαεπτά (17) προσκεκλημένες ομιλίες εκ των οποίων οι τρεις ήταν κεντρικές ομιλίες (plenary, keynote).

Επίσης, διεξήχθησαν και δύο παράλληλες ημερίδες. Η πρώτη ήταν εκπαιδευτική ημερίδα που διοργάνωσε το Ελληνικό Δίκτυο Νανοσκοπίας Nanoscopy-GR την Κυριακή 17/09/2023 με τίτλο: "Modern advances and capacities of electron nanoscopy for materials characterization". Η δεύτερη συνεδρία διοργανώθηκε την Τετάρτη 20/09/2023 με τίτλο: "Special Session on Open Innovation and Interconnection" με στόχο την παρουσίαση του έργου επιστημονικών ενώσεων, δικτύων εργαστηρίων και υποδομών για τη βελτιστοποίηση των μεταξύ τους ερευνητικών συνεργειών. Το πρόγραμμα και οι δράσεις του συνεδρίου αναδείχθηκαν μέσω της ιστοσελίδας του <https://fsk37.physics.auth.gr> και της σελίδας του στο LinkedIn, καθώς επίσης και με ανακοινώσεις στην ιστοσελίδα του ΑΠΘ (μέσω του Γραφείου Δημοσιότητας ΑΠΘ) και στην ιστοσελίδα του Τμήματος Φυσικής ΑΠΘ. Το συνέδριο προσέλκυσε το ενδιαφέρον σημαντικού αριθμού ΜΜΕ λόγω των σύγχρονων θεμάτων που παρουσιάστηκαν και αφορούσαν τις τελευταίες εξελίξεις στην Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών και τη Νανοτεχνολογία.



Ο αριθμός των οργανισμών από κάθε χώρα που συμμετείχαν στο 37^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικής Στερεάς Κατάστασης & Επιστήμης Υλικών.

ορκωμοσίες

Οι νέοι πτυχιούχοι του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ.

Ορκωμοσία Τρίτη 25/7/2023

ΑΔΑΜΑΝΤΙΔΗ ΑΝΔΡΙΑΝΗ ΔΑΦΝΗ • ΑΝΔΡΕΟΥ ΑΝΤΩΝΗΣ • ΑΝΤΩΝΙΑΔΗ ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΜΑΡΙΑ • ΑΝΤΩΝΙΑΔΟΥ ΕΛΕΝΗ • ΑΣΚΕΠΙΔΟΥ ΟΛΓΑ • ΒΑΡΥΤΙΜΙΔΗΣ ΜΑΡΙΟΣ • ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ • ΒΕΛΙΣΣΑΡΙΟΥ ΕΛΕΝΗ • ΒΕΤΣΟΥ ΜΑΡΙΑΝΘΗ • ΓΑΛΑΝΗΣ ΝΙΚΗΦΟΡΟΣ • ΓΕΝΙΤΣΕΦΤΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΓΡΙΒΑΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ • ΔΙΑΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΖΑΜΠΡΑΪΛΑΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ • ΖΕΑΚΗ ΡΕΒΕΚΑ • ΖΗΣΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΖΟΥΟΥ ΜΙΚΕ • ΘΕΟΔΩΡΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΘΕΟΔΩΡΙΔΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ • ΘΕΟΔΩΡΙΔΟΥ ΕΛΠΙΔΑ • ΚΑΝΑΚΑΡΗ ΑΘΑΝΑΣΙΑ • ΚΑΝΤΑΡΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΚΑΡΥΟΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ • ΚΑΣΣΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΚΕΔΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΚΟΡΚΟΤΖΙΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΚΟΥΚΟΠΩΡΓΟΣ ΑΓΓΕΛΟΣ • ΛΑΖΟΥ ΦΑΙΔΡΑ • ΛΙΟΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΜΑΝΩΛΙΔΟΥ-ΧΑΤΖΗ ΕΥΓΕΝΙΑ • ΜΕΝΕΣΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΜΕΤΑΛΛΙΝΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ • ΜΠΟΜΠΟΤΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΜΠΡΟΥΣΑΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ • ΝΕΡΑΚΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ • ΝΕΣΤΟΡΙΔΟΥ ΕΛΕΝΗ • ΝΤΩΝΕΣ ΡΙΧΑΡΔΟΣ • ΝΥΔΡΑΣ ΥΔΡΑΙΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ • ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ • ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΠΑΥΛΟΣ • ΠΑΛΛΗΚΑΡΙΔΟΥ ΑΣΠΑΣΙΑ • ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΠΑΝΤΕΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ • ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΤΑΥΡΟΣ • ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΛΕΝΗ • ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΗΛΙΑΣ • ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΘΑ • ΠΑΠΑΖΩΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΠΑΠΑΤΑΣΟΣ ΘΩΜΑΣ • ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΠΑΤΕΛΙΑ ΜΑΡΙΝΑ • (συνέχεια στην επόμενη σελίδα)

ορκωμοσίες

(συνέχεια) • ΠΑΥΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΑ • ΠΟΥΚΕΤ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ • ΠΡΟΒΑΤΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΡΟΥΚΑ ΕΥΑΝΘΙΑ • ΣΙΦΝΑΙΟΣ ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ • ΤΗΛΚΕΡΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΤΟΠΑΛΙΔΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ • ΤΟΤΤΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΤΡΟΧΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ • ΤΣΟΥΚΑΝΕΡΗ ΓΕΩΡΓΙΑ-ΠΑΥΛΙΝΑ • ΦΥΣΕΚΗ ΣΟΦΙΑ • ΦΩΤΙΑΔΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ • ΧΑΒΙΑΝΙΔΗΣ ΘΩΜΑΣ • ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΧΑΤΖΗΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΤΥΛΙΑΝΗ • ΧΑΤΖΗΔΕΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΧΑΤΖΗΤΟΛΙΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ-ΚΛΕΑΡΧΟΣ • ΧΗΤΑ ΕΙΡΗΝΗ • ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΙΔΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ • ΧΡΥΣΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ • ΧΡΥΣΟΒΕΡΓΗ ΕΙΡΗΝΗ

Ορκωμοσία Πέμπτη 23/11/2023

ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ • ΒΡΟΧΙΔΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ • ΓΙΤΣΟΥΛΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ • ΓΟΥΡΓΙΩΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΔΟΥΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ • ΖΑΧΑΡΙΑΔΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ • ΖΟΥΖΙ ΛΟΡΕΝΤΣ • ΖΩΓΡΑΦΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ-ΜΑΡΙΟΣ • ΚΑΝΕΛΛΑΚΗ ΜΑΡΙΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ • ΚΑΣΚΙΤΣΗ ΘΕΟΔΩΡΑ • ΚΟΥΡΥΦΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΚΟΥΡΤΟΓΛΟΥ ΣΤΥΛΙΑΝΗ • ΚΟΥΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΔΗΣ ΚΟΚΚΙΝΑΚΗΣ ΦΟΙΒΟΣ • ΛΙΤΣΙΟΥ ΕΥΔΟΞΙΑ • ΜΑΥΡΙΤΣΙΟΣ ΠΕΡΙΚΛΗΣ • ΜΗΛΙΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ-ΠΗΓΗ • ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΜΟΑΒΙΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΜΟΥΡΤΟΓΙΑΝΝΗ ΠΕΡΣΕΦΟΝΗ • ΜΠΑΡΕΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΝΙΚΟΠΟΥΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΑ • ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ • ΠΑΡΘΕΝΙΩΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΡΑΧΑΝΤΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΡΗΓΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΣΑΛΤΙΕΛ ΜΑΡΙΑ • ΣΑΧΠΑΤΖΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΣΕΡΑΦΕΙΜΙΔΟΥ ΑΦΡΟΔΙΤΗ • ΣΙΑΠΑΚΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ • ΣΙΒΒΑΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ • ΣΤΑΥΡΙΔΗΣ ΘΑΛΗΣ • ΣΤΕΡΓΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΤΖΑΡΤΙΝΟΓΛΟΥ ΑΜΑΛΙΑ • ΤΟΥΛΙΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΙΣΤΟΦΑΝΗΣ • ΤΣΕΦΕΡΕΚΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΤΣΙΜΠΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ • ΤΣΙΡΙΓΩΤΗΣΑΓΓΕΛΟΣ • ΧΑΡΑΜΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΧΑΤΖΗΜΠΕΤΕΛΗ ΕΛΕΝΗ

* παρατίθενται μόνο τα ονόματα όσων συναίνεσαν

Οι νέοι διδάκτορες του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ. που ορκίστηκαν:

Τρίτη 25/7/2023

- ♦ **Γόγολου Βασιλική** (επιβλ. Σ. Σίσκος): «Σχεδίαση Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων για Συγκομιδή Ενέργειας από το περιβάλλον»
- ♦ **Διονύσιος Καρύδης** (επιβλ. Γ. Βουγιατζής): «Υπολογισμός περιοδικών τροχιών με τη χρήση κλασικών και ευριστικών μεθόδων και εφαρμογές σε βαρυτικά πεδία αστεροειδών» .
- ♦ **Κωνσταντίνος Ρίζος** (επιβλ. Χ. Μελέτη): «Μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης υποβάθρου με τη χρήση πειραματικών δεδομένων και μαθηματικών προτύπων» .
- ♦ **Δέσποινα Τσελεκίδου** (επιβλ. Μ. Γιώτη): «Ανάπτυξη και μελέτη ιδιοτήτων νανοδομημένων υλικών για φωτονικές εφαρμογές».

Πέμπτη 23/11/2023

- ♦ **Edoardo Legnaro** (επιβλ. Γ. Βουγιατζής): «Τροχιακή Δυναμική και Διάχυση στους Συντονισμούς στο Εγγύς Διαστημικό Περιβάλλον» .
- ♦ **Άννα Γιαλιτάκη** (επιβλ. Δ. Μπαλής): «Φυσικές, οπτικές και χημικές ιδιότητες των αερολυμάτων με χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης και in-situ μετρήσεων σε συνθήκες υποβάθρου».
- ♦ **Φανή Γκέρτση** (επιβλ. Α. Μπάης): «Τηλεπισκόπηση του όζοντος και άλλων ατμοσφαιρικών αερίων με επίγειο σύστημα φασματοσκοπίας διαφορικής οπτικής απορρόφησης».
- ♦ **Ελευθερία Ιωαννίδου** (επιβλ. Α. Ιωαννίδου): «Τα ραδιενεργά αεροζόλ ως ιχνηθέτες στη μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης».
- ♦ **Δημήτριος Καραγκιοζίδης** (επιβλ. Α. Μπάης): «Τηλεπισκόπηση της κατακόρυφης κατανομής αερίων ρύπων και αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα με φασματοσκοπία διαφορικής οπτικής απορρόφησης και σύγκριση με δορυφορικές παρατηρήσεις».
- ♦ **Ειρήνη Κασίμη** (επιβλ. Χ. Πετρίδου): «Ταυτόχρονη παραγωγή πολλών μπουζονίων στο πείραμα ATLAS στο LHC».
- ♦ **Κωνσταντίνος Μιχαηλίδης** (επιβλ. Δ. Μπαλής): «Μελέτη της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών και μικροφυσικών ιδιοτήτων των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας με μεθόδους επίγειας και δορυφορικής τηλεπισκόπησης».
- ♦ **Γεώργιος Παπαβίερος** (επιβλ. Ν. Βουρουτζής): «Υπολογιστική μετρολογία με εφαρμογές στη νανοηλεκτρονική και τη νανοτεχνολογία».
- ♦ **Κωνσταντίνος Παράσχου** (επιβλ. Σ. Τζαμαρίας): «Μελέτες Μη-Συνεκτικών Φαινομένων για την Αναβάθμιση του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (LHC) και Οργανολογικές Εφαρμογές».
- ♦ **Δάφνη Παρλιάρη** (επιβλ. Δ. Μελάς): «Συνδυαστικές επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του θερμικού στρες στο περιβάλλον».
- ♦ **Ευάγγελος-Δημήτριος Πασπαλιάρης** (επιβλ. Ε. Πλειώνης): «Αστρικοί πληθυσμοί και οι ιδιότητες του μεσοαστρικού υλικού σε μη-τυπικούς γαλαξίες στο τοπικό Σύμπαν»
- ♦ **Ελευθέριος Πετάβρατζης** (επιβλ. Χ. Βόλος): «Έλεγχος της Κίνησης Αυτόνομων Ρομποτικών Οχημάτων με τη Χρήση Γραμμικών και Μη-Γραμμικών Συστημάτων»
- ♦ **Μαρία Τζηρίνη** (επιβλ. Θ. Σαμαράς): «Εξατομικευση του σχεδιασμού θεραπείας στον διακρανιακό μαγνητικό ερεθισμό του εγκέφαλου με τη χρήση υπολογιστικών τεχνικών»
- ♦ **Γεώργιος Τσανίδης** (επιβλ. Θ. Σαμαράς): «Εκθεση ασθενών με εμφυτεύματα σε ραδιοσυχνотικά πεδία μαγνητικής τομογραφίας»

ΕΚΘΕΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ ΓΙΟΡΤΑΖΕΙ:

ΔΩΔΕΚΑΗΜΕΡΟ

8 - 22/ 12/2023, ΕΙΣΟΔΟΣ ΚΤΗΡΙΟΥ ΣΧΟΛΗΣ
ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΑΠΘ

ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΕΝΑΡΞΗΣ 8/12/2023

17.15-18.00 Πατινόδα με χάλκινα
Πολυτεχνική Σχολή-ΣΘΕ.

18.00-18.30 Χαιρετισμοί και
παρουσίαση έκθεσης (αμφιθέτρο
Εμπειρικός ΣΘΕ).

18.30-19.00 Χοροί με χάλκινα και
κεράσματα μπροστά στο κεντρικό
κτίριο ΣΘΕ.

19.00-21.00 Πατινόδα με
χάλκινα από την Κοινότητα
Εράτουρας, διαδρομή ΑΠΘ -
Αριστοτέλους.



8-22
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ

Η Σχολή Θετικών Επιστημών, το τμήμα Πληροφορικής και το εργαστήριό Τεχνητής Νοημοσύνης και Ανάλυσης Πληροφοριών στο πλαίσιο της έναρξης της εορταστικής περιόδου διοργάνωσε την Έκθεση Φωτογραφίας με θέμα «Η Μακεδονία γιορτάζει». Η έκθεση φωτογραφίας, υπό την αιγίδα της ΣΘΕ, είχε διάρκεια από 8 έως 22 Δεκεμβρίου 2023 και το θεματολόγιο της ήταν σχετικό με τους εορτασμούς του Δωδεκαήμερου (Χριστούγεννα - Φώτα), κατά το οποίο όλη η Μακεδονία (ιδιαίτερα η Δυτική) έχει πολλές εκδηλώσεις (κυρίως φωτιές και καρναβάλια). Στα εγκαίνια της έκθεσης συμμετείχε μπάντα χάλκινων και φορέων της Δ. Μακεδονίας.

Φέτος οι γιορτές ξεκίνησαν από την Θεσσαλονίκη και την Παρασκευή 8/12 έφτασαν στην Θεσσαλονίκη Μπουμπουσιάρια από την Εράτουρα, για να τιμήσουν την Έκθεση Φωτογραφίας που διοργάνωσε και επιμελήθηκε ο συντοπίτης Καθηγητής Γιάννης Πήτας.

