

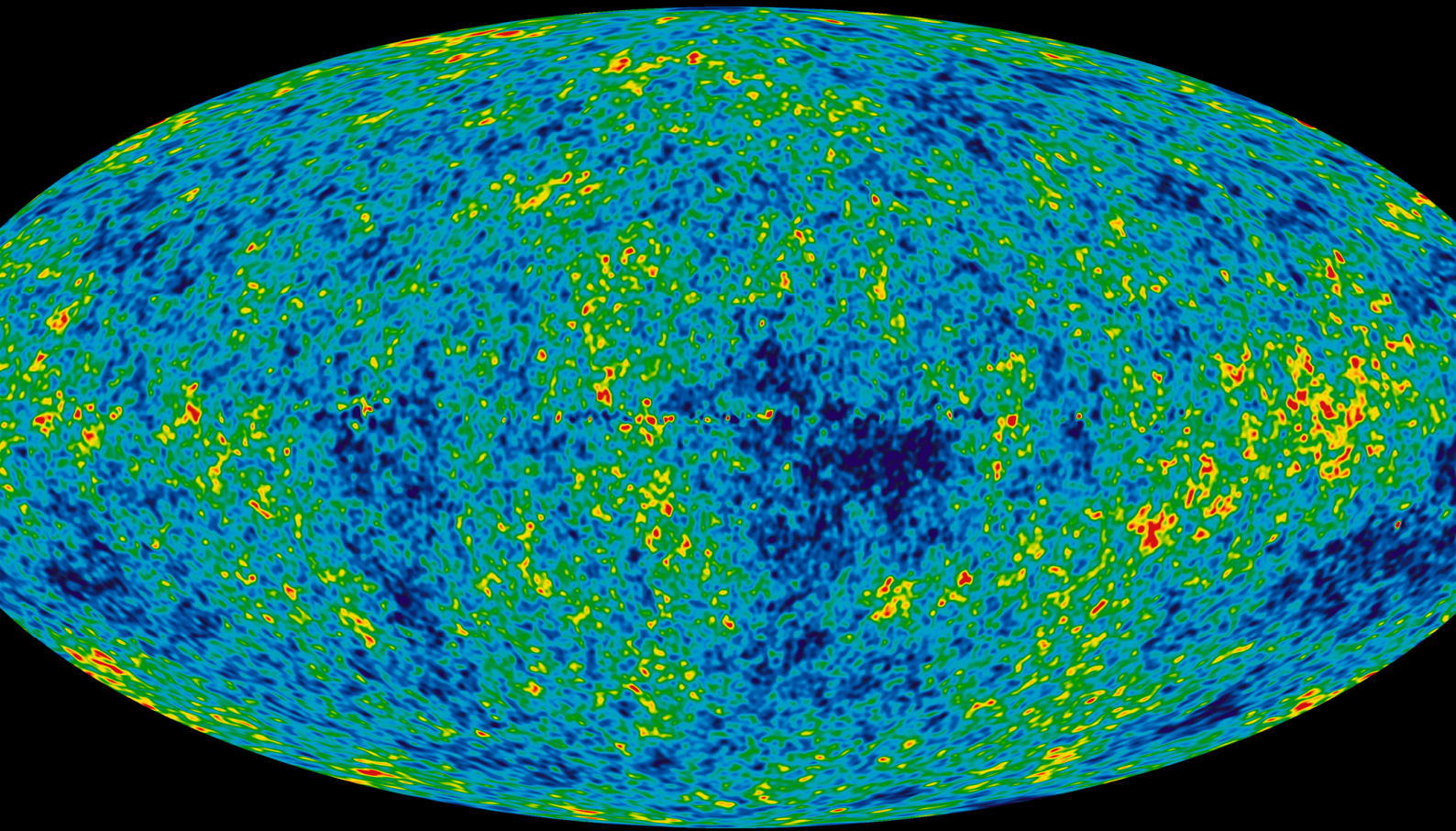
## Φαινόμενο

Περίοδος Δ' | Τεύχος 31 | Δεκέμβριος 2019

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

Επιστημονική ορολογία και  
ελληνική γλώσσα  
Σελίδα 8

Μοιάζουν οι χρηματαγορές  
με τον πυρήνα ενός ατόμου  
ή με το... Σύμπαν;  
Σελίδα 14

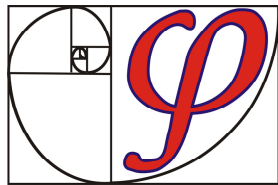


Από τα κοινωνικά δίκτυα  
στην ψευδοεπιστήμη  
Σελίδα 20

# Νόμπελ Φυσικής 2019

Κβαντική φυσική: τελικά  
η φύση παίζει ζάρια;  
Σελίδα 26

για την εξέλιξη του Σύμπαντος  
και για τη θέση της Γης σε αυτό  
Σελίδα 1



## Φαινόμενον

Περίοδος Δ' · Τεύχος 31  
Δεκέμβριος 2019

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

### συντακτική ομάδα

Επιτροπή εκδόσεων, σεμιναρίων  
και προβολής του Τμήματος  
Φυσικής

Μαρία Κασικίνη · Παναγιώτης  
Πατσάλας · Ελένη Βίγκα · Αργύρης  
Λασκαράκης · Χαράλαμπος  
Σαραφίδης · Σπυρίδων Κασσαβέτης  
· Νικόλαος Χαστάς · Ιωάννης  
Τσιαούσης

—  
Αναστάσιος Λιόλιος  
Δημήτριος Ευαγγελινός

### στο τεύχος αυτό συνεργάστηκαν

Χρήστος Ελευθεριάδης  
(καθηγητής Τμ. Φυσικής)

Κωνσταντίνος Κακούρης  
(απόφοιτος Τμ. Φυσικής)

Αναστάσιος Λιόλιος  
(καθηγητής Τμ. Φυσικής)

Μαρία Μήτρου  
(απόφοιτος Τμ. Φυσικής)

Δάφνη Παρλιάρη  
(υποψήφια διδάκτορας Τμ. Φυσικής)

Θεόδωρος Παυλούδης  
(υποψήφιος διδάκτορας Τμ. Φυσικής)

Σωτήρης Πιτέλης  
(μεταπτυχιακός φοιτητής Τμ. Φυσικής)

Μάριος Σαμάνης  
(φοιτητής Τμ. Φυσικής)

Νικόλαος Χατζαράκης  
(απόφοιτος Τμ. Φυσικής)

εκτύπωση  
COPYCITY Ε.Π.Ε.

### ψηφιακή έκδοση

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

E-mail επικοινωνίας:  
[phenomenon@physics.auth.gr](mailto:phenomenon@physics.auth.gr)

facebook: Περιοδικό "Φαινόμενον"

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

## σημείωμα της σύνταξης

Το παρόν τεύχος του «ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΝ» περιλαμβάνει άρθρο σχετικά με το Νόμπελ Φυσικής 2019 αλλά και ένα άρθρο για ένα βραβείο Νόμπελ που ...δεν απονεμήθηκε. Η ύλη πλαισιώνεται από άρθρα σχετικά με το ηλιακό πλάσμα και την κβαντική φυσική αλλά και την επιστημονική ορολογία στην ελληνική γλώσσα και την επικοινωνία φιλοσοφία. Παρουσιάζονται επίσης νέες εφαρμογές της Φυσικής όπως η οικονομοφυσική και σύγχρονες τάσεις στην κοινωνία για την διάδοση και κατανόηση της επιστήμης στα κοινωνικά δίκτυα. Άρθρα για ελαφρά υλικά και για θερμοηλεκτρικά φαινόμενα παρέχουν πληροφορίες για εφαρμογές των υλικών. Τέλος, από το τεύχος δεν λείπουν τα νέα του τμήματος.

Η ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

## περιεχόμενα

- |   |    |
|---|----|
| • Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2019   | 1  |
| • Το ηλιακό πλάσμα  | 4  |
| • Επιστημονική ορολογία και ελληνική γλώσσα   | 8  |
| • Ελαφρά υλικά  | 10 |
| • Μοιάζουν οι χρηματαγορές με τον πυρήνα ενός ατόμου ή με το ...Σύμπαν;                   | 14 |
| • Πως οι πρωτοπόροι κοσμολόγοι Alpher, Herman, Gamow και Hoyle δεν πήραν το βραβείο Nobel | 17 |
| • Επιστήμη και σύγχρονη κοινωνία: από τα κοινωνικά δίκτυα στην ψευδοεπιστήμη              | 20 |
| • Θερμοηλεκτρικά φαινόμενα: μετατρέποντας τη θερμότητα σε ηλεκτρισμό                      | 23 |
| • Κβαντική φυσική: τελικά παίζει η φύση ζάρια;  | 26 |
| • Επίκουρος: ένας σημαντικός ατομικός φιλόσοφος   | 30 |
| • Συνέβησαν στο Τμήμα   | 32 |



**Εξώφυλλο:** Αλέξανδρος Μυλωνάς (φοιτητής Τμ. Φυσικής)  
**Φωτογραφίες:** Α. Λιόλιος (πίσω εσώφυλλο, οπισθόφυλλο)



### πνευματικά δικαιώματα

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

Δείτε αναλυτικά τους όρους:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

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

### Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2019 για την εξέλιξη του Σύμπαντος ...και για τη θέση της Γης σε αυτό



**Νικόλαος Χατζαράκης**  
Απόφοιτος  
Τμήματος Φυσικής

**Σ**τις 8 Οκτωβρίου ανακοινώθηκαν οι φετινοί τιμώμενοι με το βραβείο Nobel Φυσικής, με αφορμή τη συνεισφορά τους στη βαθύτερη κατανόηση του Σύμπαντος που ζούμε. Το μισό βραβείο δόθηκε στον James Peebles, Καναδό-Αμερικάνο αστροφυσικό και κοσμολόγο για την εμβάθυνσή του στην εξέλιξη του Σύμπαντος. Όταν ο ίδιος ρωτήθηκε για ποια από τις ανακαλύψεις του πιστεύει πως τον βραβεύουν, απάντησε «μάλλον για το σύνολο...»

Η απάντηση αυτή δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα, καθώς ο Peebles έχει προτείνει πλήθος πρωτοποριακών ιδεών κατά τη διάρκεια μίας πενήνταπεντάχρονης καριέρας και μέσα από 102 δημοσιεύσεις. Όταν ξεκίνησε το διδακτορικό του (υπό την επίβλεψη του μεγάλου R. Dicke), οι συνθήκες ήταν μάλλον αντίξοες για όποιον ήθελε να ασχοληθεί με τη θεωρητική κοσμολογία. Η μελέτη της εξέλιξης του Σύμπαντος θεωρούνταν αδιέξοδη και μικρής σημασίας. Παρά την περιτράνη απόδειξη από τον Hubble (παρατηρησιακά) και τους Friedman και Lemaître (θεωρητικά) τη δεκαετία του 1980, ότι το Σύμπαν διαστέλλεται, μόνον ο Gamow και οι οπαδοί του ασχολούνταν σοβαρά με το ζήτημα. Ο Peebles ωστόσο δεν πτοήθηκε και από το 1962, οπότε και ολοκληρώνει τη διατριβή του, στρέφεται εκεί.

Οι ιδέες που επεξεργάζεται, με την ομάδα του Dicke κατά τα πρώτα χρόνια, έρχονται στην πρώτη γραμμή της έρευνας μέσα στην επόμενη δεκαετία και συνδέονται άρρηκτα με το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης -του οποίου το όνομα ο ίδιος θεωρεί λανθασμένο- την πρώιμη κατάσταση του Σύμπαντος, την κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου, την ύπαρξη σκοτεινής ύλης και σκοτεινής ενέργειας, κοκ. Η ομάδα αυτή είναι η δεύτερη μετά τους Gamow, Alpher και Her-

17) που εξελίσσουν το σημερινό Καθορισμένο Πρότυπο της Κοσμολογίας.

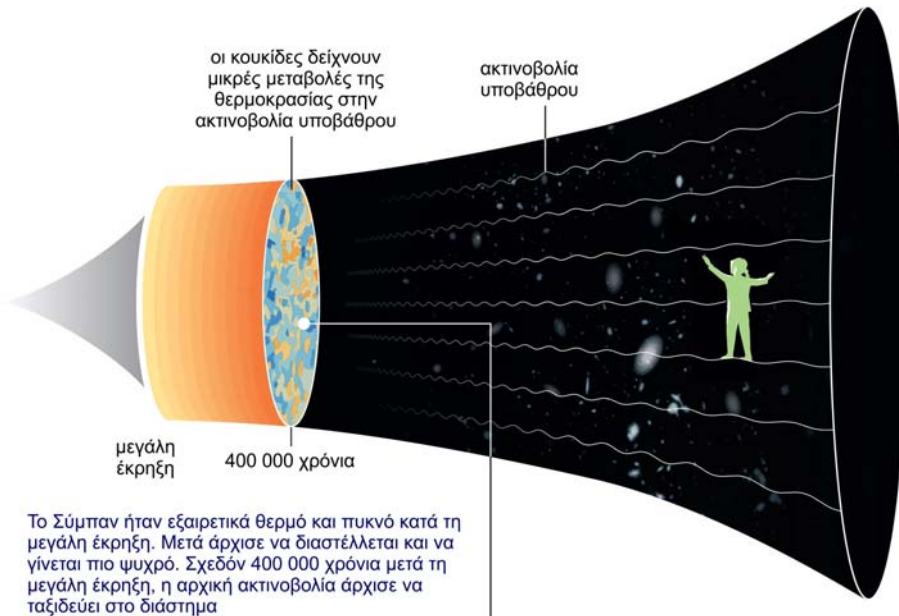
Η πρώτη ίσως σημαντική συνεισφορά είναι αυτή της πρόβλεψης της Κοσμικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου (CBR) λίγο πριν την ανακάλυψή της από τους Penzias και Wilson το 1964 (βραβείο Nobel το 1978). Η ιδέα είναι στη σύλληψή της πολύ απλή. Αν το Σύμπαν διαστέλλεται, όπως προβλέπει ο νόμος του Hubble και η λύση των Friedman-Lemaître (από τη Γενική Θεωρία Σχετικότητας), τότε πολλά χρόνια πριν θα πρέπει να ήταν πολύ μικρότερο. Ένα σύμπαν πολύ μικρότερο, πρέπει να είναι επίσης πυκνότερο και θερμότερο. Πόσο θερμότερο; Μα, προφανώς, όσο πυκνότερο! Και πόσο πυκνότερο; Μα, προφανώς, όσο μικρότερο! Είναι λοιπόν δυνατό το Σύμπαν να ήταν κάποτε τόσο μικρό που η ύλη να ήταν υπέρπυκνη και η φυσική της τελείως διαφορετική. Σε μια τέτοια κατάσταση, τα φωτόνια θα υπόκειντο σε συνεχείς σκεδάσεις Compton, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να διαδοθούν ελεύθερα στο Σύμπαν. Τι θα συνέβαινε, λοιπόν, αν το Σύμπαν διαστελλόταν, άρα αραιώνει και συνεπώς ψυχόταν; Μα, πολύ απλά, κάποια στιγμή τα φωτόνια θα ήταν ελεύθερα να διασχίσουν την αραιή και ψυχρή ύλη χωρίς να σκεδάζονται από αυτήν. Τη στιγμή κατά την οποία θα συνέβαινε αυτό, όλα τα φωτόνια του Σύμπαντος θα έφευγαν με μιας από όλη την ύλη σε όλο το Σύμπαν. Η ακτινοβολία αυτή, καθώς προέρχε-



*James Peebles*

*Michel Mayor*

*Didier Queloz*



Το Σύμπαν ήταν εξαιρετικά θερμό και πυκνό κατά τη μεγάλη έκρηξη. Μετά άρχισε να διαστέλλεται και να γίνεται πιο ψυχρό. Σχεδόν 400 000 χρόνια μετά τη μεγάλη έκρηξη, η αρχική ακτινοβολία άρχισε να ταξιδεύει στο διάστημα



- ① Η πρώτη κορυφή δείχνει ότι το Σύμπαν είναι επίπεδο.
- ② Η δεύτερη κορυφή δείχνει ότι η συνήθης ύλη αποτελεί το 5% της ύλης και ενέργειας στο Σύμπαν
- ③ Η τρίτη κορυφή δείχνει ότι το 26% του Σύμπαντος αποτελείται από σκοτεινή ύλη



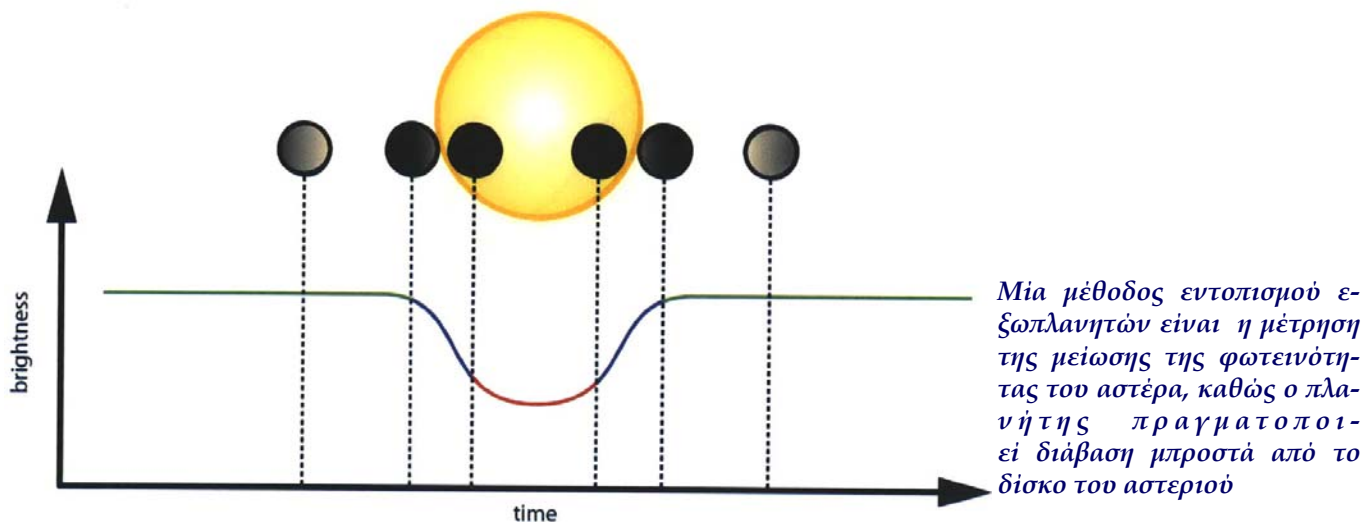
ται από ολόκληρο το Σύμπαν –ακόμη και τα τμήματά του που δεν έχουμε δει ακόμη, αλλά μπαίνουν σταδιακά στον κοσμολογικό μας οριζόντα–συνεχίζει να υπάρχει μέχρι σήμερα. Θεωρώντας μία τυπική ηλικία για το Σύμπαν, περίπου 14 δισεκατομμύρια χρόνια, και γνωρίζοντας τη φυσική πίσω από τη σκέδαση Compton, μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που θα έχουν αυτά τα φωτόνια μετά από τόσους αιώνες ταξιδιού. Οι υπολογισμοί των Peebles και Dicke έδωσαν μία ενέργεια τόσο χαμηλή που αντιστοιχεί σε μικροκύματα, θερμοκρασίας περίπου 2.4 K. Δηλαδή, ακριβώς αυτό που βρήκαν λίγο αργότερα οι Penzias και Wilson!

Η δεύτερη σπουδαία πρόταση του Peebles ήρθε σε λιγότερο από μία δεκαετία. Το 1970, η αστρονόμος Vera Rubin παρατήρησε κάτι το πολύ ιδιόρρυθμο: οι αστέρες στο κέντρο των σπειροειδών γαλαξιών περιφέρονταν πολύ γρηγορότερα από όσο θα έπρεπε με βάση τη φωτομετρικά παρατηρούμενη μάζα του κέντρου του Γαλαξία. Ακόμη, τα αέ-

ρια και η σκόνη στην ίδια περιοχή είχαν την ίδια ταχύτητα περιφοράς με αντιστοιχία νέφη αερίων ή σκόνης στα όρια των γαλαξιών. Η παρατήρηση αυτή ήταν η τέταρτη, μετά τον Jacobus Kapteyn (το 1922), τον Jan Oort (το 1932) και τον Fritz Zwicky (το 1933) –για να μην προσθέσουμε και την αναφορά του Λόρδου Kelvin από το 1884– που επιβεβαίωνε την ύπαρξη πολύ περισσότερης μάζας στους γαλαξίες από αυτή που μπορούμε να παρατηρήσουμε. Το φαινόμενο αυτό δεν μπορούσε να εξηγηθεί, έως ότου ο Peebles και ο Ostriker πρότειναν την ύπαρξη μίας τεράστιας άλω από ύλη που περιέβαλλε το γαλαξία και λειτουργούσε ως σταθεροποιητής, από τη μια αυξάνοντας έως και δέκα φορές τη μάζα του γαλαξία και εξηγώντας τις ταχύτερες κινήσεις στο κέντρο, και από την άλλη αυξάνοντας την έκταση του γαλαξία και διατηρώντας τις ταχύτητες περιστροφής σταθερές σε μεγάλες αποστάσεις από το κέντρο του. Η ύλη αυτή είναι αόρατη, άρα δεν πρέπει να αλληλεπιδρά ηλεκτρομαγνητικά, παρά μόνο βαρυτικά

με την υπόλοιπη ύλη. Έμελλε, λοιπόν, να μείνει στη βιβλιογραφία ως «σκοτεινή ύλη». Σήμερα είμαστε σίγουροι ότι αγγίζει το 27% του περιεχομένου του Σύμπαντος, δηλαδή πάνω από το πεντάπλασιο της τυπικής ορατής ύλης (μόλις 5%).

Μέσα στην επόμενη δεκαετία, η εικόνα συμπληρώνεται. Η σκοτεινή ύλη γίνεται όχι μόνο η αιτία για την κίνηση των αστέρων και των νεφών μέσα στους γαλαξίες, αλλά και η βασική υπαίτια για τη δημιουργία των δομών μεγάλης κλίμακας όπως τις ξέρουμε. Μέσα στη δεκαετία του '80, ο Peebles και οι συνεργάτες του μελετούν τη δυνατότητα να παραχθούν οι δομές που παρατηρούμε στο Σύμπαν από πολύ μικρές διαταραχές στην αρχική ομογενή και ισότροπη κατανομή της ύλης σε αυτό. Μικρές διαταραχές στη θερμοκρασία της CBR (της τάξης του 1 προς 100000) τους οδηγούν στο συμπέρασμα ότι αυτές οι μικρές περιοχές έχουν ελάχιστα μεγαλύτερη πυκνότητα από τις διπλανές, οπότε και ασκούν εντονότερη βαρυτική έλξη στις υπόλοιπες και, συν τω χρόνω, μεγαλώ-



νον. Έτσι, οι μικρές αυτές διαταραχές γίνονται γαλαξίες, που με τη σειρά τους κατατάσσονται σε σμήνη και σχηματίζουν τον «κοσμικό ιστό» που βλέπουμε μακροσκοπικά. Αντίθετα, οι περιοχές ανάμεσά τους, αδειάζουν καθώς η ύλη έλκεται από τα σημεία με τη μεγαλύτερη πυκνότητα και μετατρέπονται στα μεγάλα κενά ανάμεσα στο ιστό. Πώς, όμως, η ύλη που κατά τα πρώτα στάδια του Σύμπαντος είναι συζευγμένη με την ακτινοβολία – όπως ο ίδιος ο Peebles είχε προτείνει – προλαβαίνει να καταρρεύσει βαρυτικά και να δημιουργήσει αυτές τις δομές; Απάντηση του Peebles: η σκοτεινή ύλη, που δεν αλληλεπιδρά ηλεκτρομαγνητικά, άρα δεν είναι συζευγμένη με την ακτινοβολία, είναι αυτή που οδηγεί την κατάρρευση, δημιουργώντας από πριν το υπόστρωμα πάνω στο οποίο θα εξελιχθεί εν συνεχεία η τυπική ύλη. Μάλιστα, ο Peebles πάει ένα βήμα παραπέρα: όπως η (αόρατη) σκοτεινή ύλη είναι υπεύθυνη για την ευστάθεια της κατάρρευσης και τη δημιουργία των δομών μεγάλης κλίμακας, κάποιο αόρατο συστατικό πρέπει να είναι υπεύθυνο για την ευστάθεια της συνολικής εξέλιξης του Σύμπαντος. Κι ο υποψήφιος δεν είναι κανείς άλλος από αυτό που σήμερα ονομάζουμε «σκοτεινή ενέργεια».

Ανάμεσα στις πολλές άλλες συνεισφορές του Jim Peebles μπορούμε σίγουρα να συμπεριλάβουμε την υπόθεση της Ψυχρής Σκοτεινής Ύλης (για την ευστάθεια της δημιουργίας των δομών μεγάλης κλίμακας), την κατηγοριοποίηση μακρινών γαλαξιών που εκπέμπουν ακτινοβολία Lyman-α ουδέτερου υδρογόνου, το μοντέλο Primordial isocurvature baryon (ως εναλλακτικό μοντέλο στην ψυχρή σκοτεινή ύλη), την υπόθεση της Πεμπουσίας (ως εναλλακτική στη σκοτεινή ενέργεια), την κοσμολογική εποχή της Επανάσυνδεσης και το κριτήριο Ostriker-Peebles για τη δημιουργία ραβδωτών γαλαξιών. Ενώ μεταξύ των βραβείων που του έχουν ήδη απονεμηθεί για το έργο του,

μπορούμε να διακρίνουμε το βραβείο Eddington (1981), Heineman (1982), Bruce (1995), Gruber (2000), Harvey (2001), Shaw (2004), Crawford (2005), Dirac (2013), καθώς και το Χρυσό Μετάλλιο της Βασιλικής Αστρονομικής Εταιρείας (1998).

Μαζί με τον Jim Peebles, τιμήθηκαν ο Michael Mayor και ο Didier Queloz για τη συμβολή τους στην αναζήτηση και μελέτη εξωπλανητών και ιδιαίτερα για την ανακάλυψη, το 1995, του πρώτου εξωπλανήτη, του 51 Pegasi b, γνωστού και ως Βελλεροφόντη ή Διδύμιου. Η ανακάλυψη αυτή συνέβαλλε σημαντικά στην κατανόηση τόσο της δημιουργίας και εξέλιξης των αστέρων, όσο και στην κινηματική μικρότερων σωμάτων (πλανητών, δορυφόρων, κοκ.) γύρω από αυτούς. Έτσι, είμαστε πλέον σίγουροι ότι το Ηλιακό Σύστημα, η δημιουργία του Ήλιου και των μικρότερων σωμάτων, όπως η Γη, καθώς και η κίνηση τους γύρω από τον Ήλιο, δεν αποτελούν μία εξαίρεση, αλλά μάλλον μία κανονικότητα.

Από το 1995 και την ανακάλυψη του 51 Pegasi b, η αναζήτηση εξωπλανητών έχει λάβει τεράστια έκταση με πάνω από 4135 επιβεβαιωμένες ανακαλύψεις και άλλες τόσες υποψηφιότητες (μέχρι και την 1 Δεκεμβρίου 2019) και ένα παγκόσμιο δίκτυο ερευνητών –και ερασιτεχνών– να συντονίζεται για τη βελτίωση των τεχνικών φασματοσκοπίας και την ανάλυση των δεδομένων. Παλαιότερες κατευθύνσεις έρευνας, όπως η μελέτη της δυναμικής ενός πλανητικού συστήματος, έχουν ανανεωθεί και νέες κατευθύνσεις ανοίγονται συνεχώς, όπως η μελέτη της σύστασης των εξωπλανητών ή των ατμοσφαιρών των, η αναζήτηση εξωδορυφόρων, κοκ.

Για τα συναρπαστικά αποτελέσματα αυτής της έρευνας, παραπέμπουμε στο τεύχος 25 (σ. 3-6) του «Φαινόμενον» ενώ για την αναζήτηση εξωδορυφόρων στο τεύχος 30 (σ. 3-6).

## το ηλιακό πλάσμα



**Μαρία Μήτρου**  
Απόφοιτος  
Τμήματος Φυσικής

### Ανίχνευση πλάσματος

Το 1959, τα πρώτα διαστημόπλοια έξω από το άμεσο περιβάλλον της Γης, τα σοβιετικά Lunik III και Venera I, έδειξαν ότι στο μεσοπλανητικό χώρο υπάρχει πλάσμα μη στάσιμο, με ροή πρωτονίων  $10^8$ - $10^9$   $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Το 1961, λεπτομερέστερες μετρήσεις από το αμερικανικό διαστημόπλοιο Explorer 10 έδωσαν ροή πρωτονίων  $1$ - $2 \times 10^8$   $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , ταχύτητα  $V \sim 280$   $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ , πυκνότητα  $n_p \sim 3$ - $8$   $\text{cm}^{-3}$  και θερμοκρασία πρωτονίων  $T_p \sim 10^5$ - $10^6$  K. Η τελική επιβεβαίωση της ύπαρξης **υπερηχητικού ηλιακού ανέμου** έγινε ύστερα από μετρήσεις του μεσοπλανητικού πλάσματος από το αμερικανικό διαστημόπλοιο Mariner 2, κατά τη διαδρομή του προς την Αφροδίτη το 1962, σύμφωνα με τις οποίες ο ηλιακός άνεμος υπάρχει πάντοτε, με μέση ταχύτητα  $\sim 500$   $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  και μέση πυκνότητα  $\sim 5$   $\text{cm}^{-3}$ .

Στα 55 περίπου χρόνια που πέρασαν από τότε, ο μεσοπλανητικός χώρος ερευνάται συστηματικά, με διαστημόπλοια που έχουν πάει από 0.3 AU (διαστημόπλοιο Helios) μέχρι και τα όρια του ηλιακού συστήματος (διαστημόπλοια Voyager και Pioneer). Οι μετρήσεις τους έδειξαν ότι τα χαρακτηριστικά του πλάσματος και του μαγνητικού πεδίου είναι σε πολύ καλή συμφωνία με τις προβλέψεις των δυναμικών μοντέλων, δίνοντας τη δυνατότητα λεπτομερούς μελέτης της σύνδεσης των μεσοπλανητικών φαινομένων με τα ηλιακά φαινόμενα.

Το πλάσμα του ηλιακού ανέμου αποτελείται κυρίως από πρωτόνια και ηλεκτρόνια (σε ποσοστό 95%) και από πυρήνες He (σωμάτια  $\alpha$ ). Η συνολική πυκνότητα του πλάσματος είναι 3-20 σωμάτια/ $\text{cm}^3$  με μέση τιμή  $\sim 10$   $\text{cm}^{-3}$ .

Η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου είναι 300-700  $\text{km/s}$ , με μέση τιμή  $\sim 470$   $\text{km/s}$ . Η μέση ταχύτητα μεταβάλλεται πολύ λίγο σε απόσταση ανάμεσα σε 1 και 20 AU. Η διεύθυνση της ροής είναι ακτινική, με μια πολύ μικρή απόκλιση, μικρότερη από  $1^\circ$ , πολύ σημαντική για την απώλεια στροφορμής από τον Ήλιο.

### Ηλιακός άνεμος

Το εξωτερικό στέμμα του Ήλιου βρίσκεται σε κατάσταση συνεχούς διαστολής με υπερηχητική ταχύ-

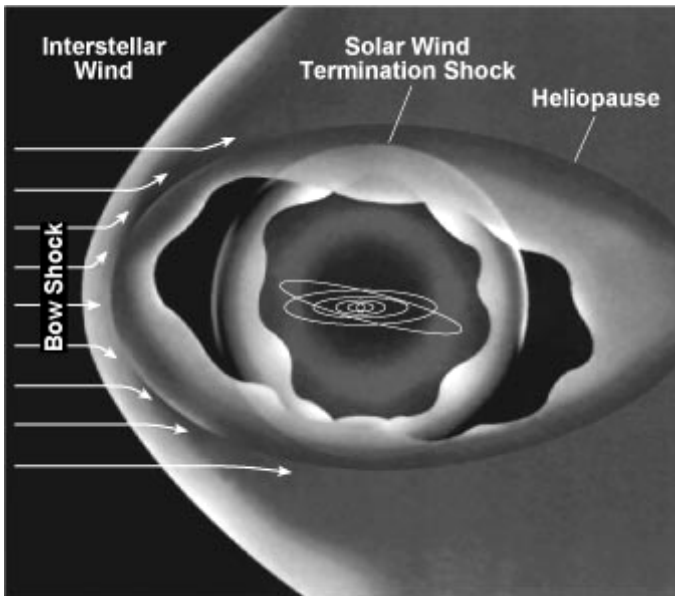
τητα δίνοντας τον ηλιακό άνεμος (solar wind), που φτάνει μέχρι τα όρια του ηλιακού συστήματος, όπου έχει εξασθενήσει αρκετά ώστε να τον σταματήσει το μεσοαστρικό υλικό. Το στέμμα είναι διάχυτο, χωρίς σαφή όρια. Το σύστημα ηλιακής ατμόσφαιρας-ηλιακού ανέμου είναι γνωστό με το όνομα **ηλιόσφαιρα** (heliosphere).

Ο ηλιακός άνεμος έχει τριδιάστατη δομή, που συνδέεται με τη γεωμετρία του μαγνητικού πεδίου στα κατώτερα στρώματα. Οι δυναμικές γραμμές του πεδίου εξακολουθούν να είναι παγωμένες στο πλάσμα, αλλά, λόγω της υπερηχητικής ταχύτητας του ηλιακού ανέμου, η κίνησή του διαμορφώνει το μαγνητικό πεδίο, συμπαρασύροντας τις δυναμικές γραμμές.

### Αλληλεπίδραση ηλιακού ανέμου – μεσοαστρικού υλικού

Σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από τον Ήλιο, πρέπει ο ηλιακός άνεμος να συγχωνεύεται με το μεσοαστρικό υλικό που έχει πίεση της τάξης των  $10^{-12}$   $\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Για να γίνει αυτό, θα έπρεπε σε μεγάλες αποστάσεις,  $r$ , από τον Ήλιο, η πυκνότητα ροής της ορμής του ηλιακού ανέμου να ελαττώνεται και να έχει τιμές μικρότερες από την τιμή της πίεσης του μεσοαστρικού υλικού, ώστε να επιβραδυνθεί ως αντίδραση στην εξωτερική πίεση. Στα πλαίσια του υδροδυναμικού μοντέλου, σε μεγάλες αποστάσεις από τον Ήλιο, η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου αυξάνει, με αποτέλεσμα ο ηλιακός άνεμος να γίνεται όλο και πιο υπερηχητικός καθώς ταξιδεύει στις εσχατιές του ηλιακού συστήματος. Άλλα μοντέλα που επιτρέπουν τη μείωση της θερμοκρασίας με την ακτινική απόσταση προβλέπουν ότι η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου  $V(r)$  αποκτά μια πεπερασμένη τιμή για  $r \rightarrow \infty$ . Όμως, επειδή η θερμοκρασία  $T(r)$  μειώνεται, ο λόγος της ταχύτητας ροής προς την ταχύτητα του ήχου θα αυξάνει πάλι. Στο πλαίσιο των μοντέλων, φαίνεται να μην υπάρχει κάποια εσωτερική πίεση ή μαγνητική δύναμη που να επιβραδύνει τον ηλιακό άνεμο, ώστε αυτός να συγχωνευτεί ομαλά με το μεσοαστρικό υλικό.

Σε κάποια περιοχή πολύ μακριά από τον Ήλιο σχηματίζεται κρουστικό κύμα, που επιβραδύνει απότομα τον ηλιακό άνεμο σε υποηχητικές ταχύτη-



**Σχήμα 1: Σκαρίφημα της αλληλεπίδρασης του ηλιακού ανέμου με το μεσοαστρικό υλικό (NASA).**

τες. Πέρα από το κρουστικό κύμα, το ηλιακό πλάσμα μπορεί σταδιακά να προσαρμοστεί σε δυναμική ισορροπία πιέσεων με το μεσοαστρικό υλικό. Για ομογενή πίεση μεσοαστρικού υλικού, το κρουστικό κύμα θα σχηματίζεται στην περιοχή όπου η πυκνότητα ροής της ορμής του ηλιακού ανέμου θα γίνεται ίση με την πίεση του μεσοαστρικού υλικού.

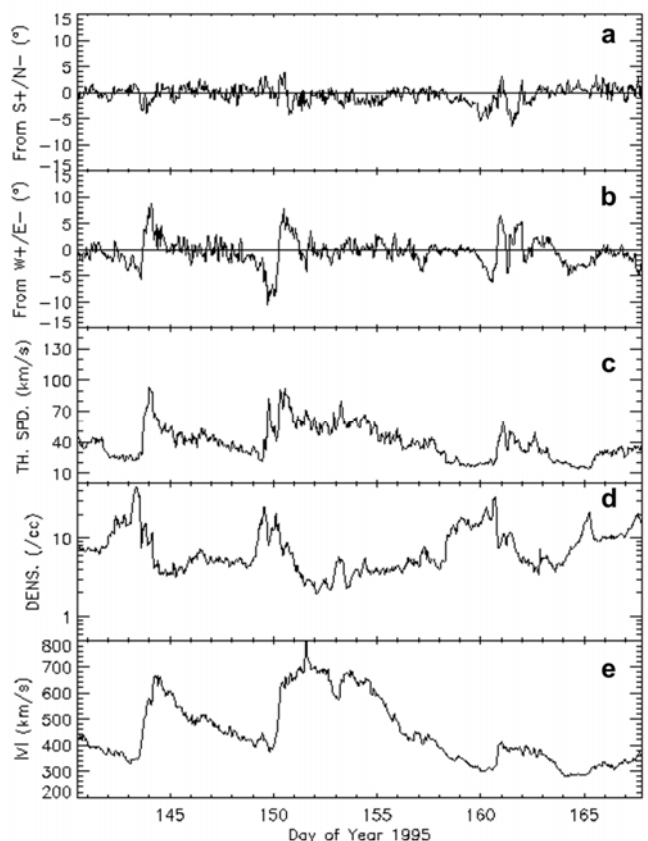
Το κρουστικό κύμα πρέπει να βρίσκεται πολύ πιο πέρα από την τροχιά του Πλούτωνα, σε απόσταση  $\sim 160$  AU. Αυτό το κρουστικό κύμα ονομάζεται κρουστικό κύμα της ηλιόσφαιρας (heliospheric termination shock) και διασχίστηκε από το διαστημόπλοιο Voyager-1 το 2004 και από το διαστημόπλοιο Voyager-2 το 2007. Η περιοχή συγχώνευσης του ηλιακού ανέμου με το μεσοαστρικό υλικό, το όριο της ηλιόσφαιρας που περιλαμβάνει όλο το σύστημα Ήλιος-ηλιακός άνεμος, ονομάζεται **ηλιό-παυση** (Σχ. 1).

### Γρήγορος και αργός ηλιακός άνεμος

Στον ηλιακό άνεμο παρατηρούνται δύο διαφορετικοί τύποι ροής πλάσματος: ο γρήγορος και ο αργός ηλιακός άνεμος. Ο γρήγορος ηλιακός άνεμος προέρχεται από τις τρύπες του στέμματος, όπου οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου είναι ανοιχτές. Τα ρεύματα του γρήγορου ανέμου συνήθως δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές για μεγάλο χρονικό διάστημα, που φτάνει τις μερικές ηλιακές περιστροφές. Η ταχύτητα του γρήγορου ηλιακού ανέμου είναι 400-800 km/s και η μέση πυκνότητά του είναι χαμηλή,  $\sim 3$  ιόντα/cm<sup>3</sup> σε απόσταση 1 AU. Περίπου το 4% των ιόντων του είναι ιόντα He, ποσοστό σταθερό για πολλά ρεύματα γρήγορου ανέμου. Η μέση ροή σωματιδίων είναι  $2 \times 10^{12} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , από όπου προκύπτει ότι η ολική

απώλεια σωματιδίων από τον Ήλιο λόγω του γρήγορου ηλιακού ανέμου είναι  $\sim 1.3 \times 10^{31} \text{ s}^{-1}$ . Για τον γρήγορο άνεμο, η θερμοκρασία των πρωτονίων είναι  $\sim 2 \times 10^5 \text{ K}$  και των ηλεκτρονίων  $\sim 10^5 \text{ K}$ .

Ο αργός ηλιακός άνεμος έχει χαμηλότερες ταχύτητες (250-400 km/s). Η πυκνότητά του είναι  $\sim 8$  ιόντα/cm<sup>3</sup> σε απόσταση 1 AU και η πυκνότητα ροής του περίπου δύο φορές μεγαλύτερη από αυτήν του γρήγορου. Κατά το ηλιακό ελάχιστο, ο αργός ηλιακός άνεμος προέρχεται από περιοχές κοντά στον ηλιομαγνητικό ισημερινό. Το σχετικό ποσοστό του He μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά, η μέση τιμή του, όμως, είναι  $\sim 2\%$ . Κατά το ηλιακό μέγιστο, ο αργός ηλιακός άνεμος προέρχεται πάνω από κέντρα δράσης στη ζώνη των streamers και τότε το σχετικό ποσοστό He μπορεί να φτάσει μέχρι και 4%. Σε σύγκριση με το γρήγορο ηλιακό άνεμο, ο αργός παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα και τύρβη και συχνά περιέχει μεγάλης κλίμακας δομές, όπως μαγνητικά σύννεφα και κρουστικά κύματα. Η θερμοκρασία των πρωτονίων είναι  $\sim 3 \times 10^4 \text{ K}$ , όμως η θερμοκρασία των ιόντων είναι περίπου ίδια με αυτή του γρήγορου ηλιακού ανέμου. Και στον αργό και στο γρήγορο ηλιακό άνεμο, η θερμοκρασία είναι πάντα μεγαλύτερη παράλληλα παρά κάθετα



**Σχήμα 2: Ωριαίες μέσες τιμές παραμέτρων του ηλιακού ανέμου σε συνθήκες ηλιακού ελαχίστου από παρατηρήσεις του διαστημοπλοίου WIND. Ο οριζόντιος άξονας μετρά τον χρόνο σε ημέρες του έτους 1995, ενώ ο κατακόρυφος (α) τη γωνία ρεύματος του ηλιακού ανέμου και ευθείας σύνδεσης του Ήλιου με τη Γη στη διεύθυνση Βορρά-Νότου και (β) στη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης, (γ) τη θερμική ταχύτητα, (δ) την πυκνότητα και (ε) την ταχύτητα ροής του ηλιακού ανέμου. (NASA)**

στο μαγνητικό πεδίο. Κατά μέσο όρο ισχύει  $T_{\parallel} > T_{\perp}$ .

Παρά τις διαφορές τους, ο γρήγορος και ο αργός ηλιακός άνεμος έχουν και ομοιότητες. Η ροή ορμής είναι κατά μέσο όρο ίδια, όπως και η ροή της ολικής ενέργειας, αν και οι συνιστώσες της (κινητική, δυναμική, θερμική ενέργεια, ροή θερμότητας από πρωτόνια και ηλεκτρόνια) έχουν διαφορετικές τιμές. Στα διαγράμματα του Σχ. 2, δύο ρεύματα γρήγορου ηλιακού ανέμου ξεκινούν τις ημέρες 143 και 150. Ένα τρίτο αργότερο ρεύμα ξεκινά την ημέρα 160. Και τα τρία εμφανίζονται ως σχετικά απότομες αυξήσεις στην ταχύτητα ροής και τη θερμική ταχύτητα. Η πυκνότητα είναι μεγαλύτερη πριν την άφιξη ενός γρήγορου ρεύματος και ελαττώνεται απότομα, καθώς το διαστημόπλοιο εισέρχεται στην περιοχή του γρήγορου ανέμου.

Όταν διαδίδονται εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού (coronal mass ejections, CMEs) στο μεσοπλανητικό χώρο, οι μεταβολές του ηλιακού ανέμου μπορεί να είναι σημαντικές. Οι CMEs διαδίδονται με ταχύτητες 200-2000 km/s και η σύσταση του υλικού τους είναι σημαντικά διαφορετική: μέχρι 30% των ιόντων μπορεί να είναι σωμάτια α, ενώ ιόντα, όπως  $Fe^{16+}$  και  $He^{+}$ , μπορεί επίσης να ανιχνευτούν.

### Το μεσοπλανητικό μαγνητικό πεδίο

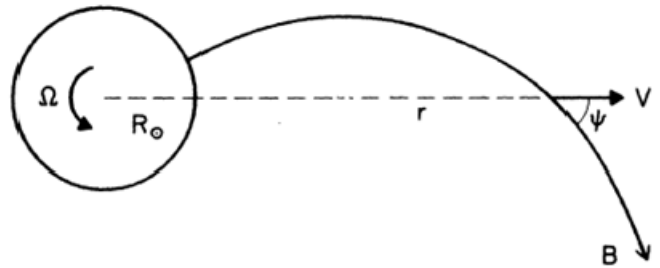
Λόγω της μεγάλης ταχύτητας, η πυκνότητα ενέργειας του πλάσματος του ηλιακού ανέμου είναι μεγαλύτερη της πυκνότητας ενέργειας του μαγνητικού πεδίου. Άρα, το μεσοπλανητικό μαγνητικό πεδίο θα διαμορφώνεται από τη ροή του ηλιακού ανέμου. Ο συνδυασμός της ακτινικής προς τα έξω ροής του ηλιακού ανέμου με την ηλιακή περιστροφή δίνει στο μεσοπλανητικό μαγνητικό πεδίο μορφολογία σπείρας του Αρχιμήδη.

Η προκύπτουσα μορφολογία μπορεί να κατανοηθεί αν παρομοιαστεί ο Ήλιος με μια περιστρεφόμενη συσκευή τεχνητής βροχής και ο ηλιακός άνεμος με το εκτοξευόμενο νερό. Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές σχηματίζουν γωνία  $\sim 45^\circ$ , αν η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου είναι 400 km/s. Η τιμή του μεσοπλανητικού μαγνητικού πεδίου είναι 2-10  $\gamma$  (1  $\gamma = 10^{-5}$  G) κοντά στην τροχιά της Γης. Η μέση του διεύθυνση σχηματίζει γωνία  $\sim 45-50^\circ$ , σε συμφωνία με την πρόβλεψη των υπολογισμών.

### Μαγνητόσφαιρα

Η αλληλεπίδραση ανάμεσα στο πλάσμα του ηλιακού ανέμου και το μαγνητικό πεδίο της Γης σχηματίζει ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο σύστημα, με πολλά δυναμικά φαινόμενα συνδεδεμένα με αστάθειες του πλάσματος, που ονομάζεται μαγνητόσφαιρα.

Η μαγνητόπαυση είναι η ασυνέχεια που διαχωρίζει το μαγνητικό πεδίο της Γης από τον ηλιακό



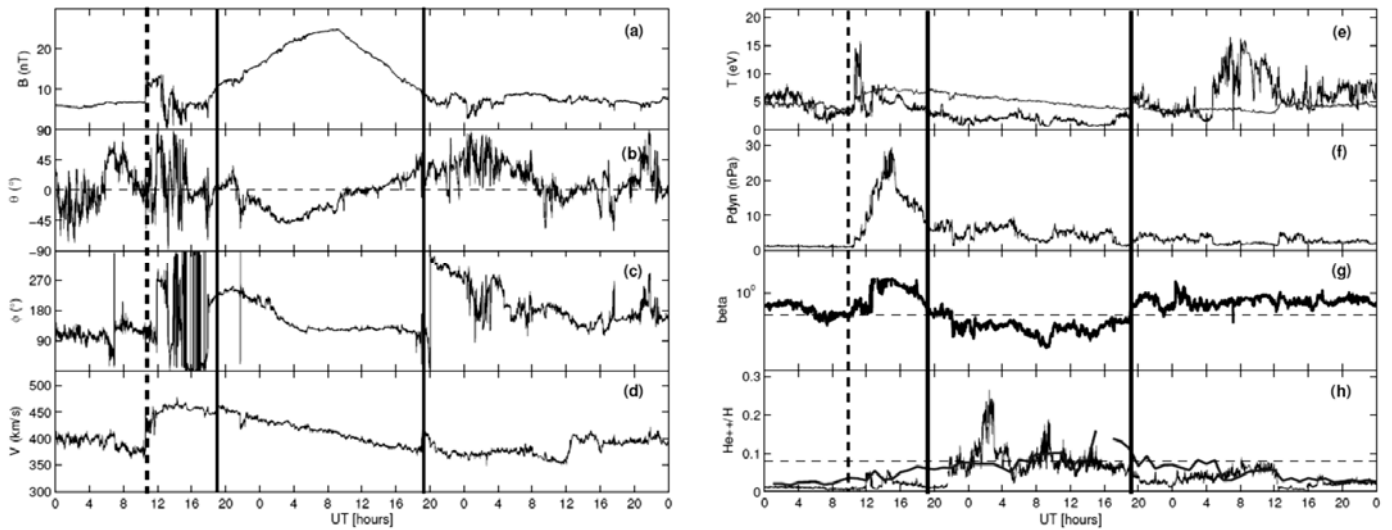
**Σχήμα 3: Η σπειροειδής μορφή του μεσοπλανητικού μαγνητικού πεδίου, ως αποτέλεσμα του ηλιακού ανέμου και της ηλιακής περιστροφής (Κ. Ε. Αλυσσανδράκης, Α. Νίντος και Σ. Πατσουράκος, Φυσική του Ήλιου και του Διαστήματος).**

άνεμο και το μεσοπλανητικό μαγνητικό πεδίο, σχηματίζοντας μια κοιλότητα στη ροή του ηλιακού ανέμου. Λόγω της υπεραλφβενικής ροής του ηλιακού ανέμου, μπροστά από τη μαγνητόσφαιρα αναπτύσσεται ένα στάσιμο κρουστικό κύμα. Στην αντίθετη προς τον Ήλιο κατεύθυνση, οι δυναμικές γραμμές του γήινου μαγνητικού πεδίου επιμηκύνονται, σχηματίζοντας τη μαγνητοουρά. Μέσα στη μαγνητόσφαιρα υπάρχει πλάσμα από διαφορετικές προελεύσεις: ιονοσφαιρικό πλάσμα στην πλασμόσφαιρα, μίγμα ιονοσφαιρικού και ηλιοσφαιρικού πλάσματος στη γεώσφαιρα και ηλιακός άνεμος στις εξωτερικές περιοχές της μαγνητόσφαιρας. Υπάρχει σύζευξη αυτών των διαφορετικών ειδών πλάσματος, που επιτυγχάνεται από μαγνητικά πεδία και συστήματα ηλεκτρικών ρευμάτων. Μέσα στην πλασμόσφαιρα, εκεί που το γήινο μαγνητικό πεδίο είναι διπολικό, ενεργητικά σωμάτια παγιδεύονται στις ζώνες vanAllen. Τα ιονοσφαιρικά ηλεκτρικά ρεύματα και το δακτυλιοειδές ρεύμα που σχετίζεται με τις ζώνες vanAllen τροποποιούν το διπολικό μαγνητικό πεδίο.

Η μαγνητόσφαιρα τροφοδοτείται με σωμάτια και ενέργεια από: (α) εισχώρηση ηλιακού ανέμου στη μαγνητόσφαιρα λόγω μαγνητικής επανασύνδεσης στην προσήλια πλευρά της, μεταφορά του πάνω από τις πολικές χοάνες και διάχυσή του μέσα στη μαγνητοουρά, (β) διείσδυση ηλιακά ενεργειακών σωματίων (SEPs) στη μαγνητόσφαιρα από τις πολικές χοάνες, (γ) γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες μέχρι το έδαφος, (δ) αλληλεπίδραση και ανταλλαγή πλάσματος μεταξύ ιονόσφαιρας και μαγνητόσφαιρας.

Η μαγνητόσφαιρα αναγνωρίστηκε ως εξαιρετικά δυναμικό σύστημα από την πρώτη στιγμή που έγιναν συστηματικές μετρήσεις του γήινου μαγνητικού πεδίου. Εκτός από τις ημερήσιες μεταβολές, παρατηρούνται και έντονες παροδικές διαταραχές, που μπορεί να συνοδεύονται από θεαματικές εκδηλώσεις του σέλαος. Οι πιο ισχυρές είναι δυνατό να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις σε μια σειρά από δραστηριότητες του τεχνολογικού περιβάλλοντος.





**Σχήμα 4:** Το πλάσμα του ηλιακού ανέμου και το αντίστοιχο μεσοπλανητικό μαγνητικό πεδίο, όπως καταγράφηκαν στις 16-18 Απριλίου 1999 από το δορυφόρο ACE. Συναρτήσεσι του χρόνου τα διαγράμματα δείχνουν: (a) την ένταση του μαγνητικού πεδίου, (b) τη γωνία ύψους του ανύσματος του μαγνητικού πεδίου ( $\theta = 90^\circ$  αντιστοιχεί στη διεύθυνση προς το Βορρά), (c) το αζιμούθιο του ανύσματος του μαγνητικού πεδίου ( $\varphi = 0^\circ$  αντιστοιχεί στη διεύθυνση προς τον Ήλιο και  $\varphi = 90^\circ$  στη διεύθυνση προς τη Δύση), (d) την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου, (e) τη θερμοκρασία πρωτονίων, ενώ η αχνή γραμμή δείχνει την αναμενόμενη θερμοκρασία για συνθήκες αδιατάρακτου ηλιακού ανέμου, (f) την πίεση, (g)  $\beta$  του πλάσματος σε λογαριθμική κλίμακα, (h) το λόγο της αριθμητικής πυκνότητας σωμάτων  $\alpha$  προς αυτή των πρωτονίων. Η αχνή γραμμή δείχνει το λόγο  $O^{+7}/O^{+6}$  διαιρεμένο με το 10. (Emilia Huttunen, *Interplanetary Shocks, Magnetic Clouds and Magnetospheric Storms*).

### Πλασμόσφαιρα

Το πλάσμα στο εσωτερικό της μαγνητόσφαιρας συμπεριστρέφεται με τη Γη. Σε μεσαία πλάτη, ιονοσφαιρικό πλάσμα κινείται κατά μήκος κλειστών διπολικών μαγνητικών βρόχων και τους γεμίζει μέχρι να δημιουργηθεί ομοιογενής κατανομή πίεσης του πλάσματος κατά μήκος των βρόχων. Το πλάσμα σε αυτές τις κλειστές μαγνητικές δομές ακριβώς πάνω από την ιονόσφαιρα ονομάζεται πλασμόσφαιρα.

Στην προέκταση του μαγνητικού πόλου της Γης στην προσήλια πλευρά σχηματίζεται η πολική χοάνη, μέσω της οποίας πλάσμα του ηλιακού ανέμου και σωματίδια που επιταχύνονται κατά τη διάρκεια βίαιων εκρηκτικών φαινομένων (εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού και εκλάμψεις) δεισιδύουν στη γήινη ατμόσφαιρα.

Η πλασμόσφαιρα κυριαρχείται από πυκνό και ψυχρό πλάσμα ιονοσφαιρικής προέλευσης (μεγάλος λόγος  $O^+/H^+$  και ιόντα μη ανιχνεύσιμα στον ηλιακό άνεμο, όπως  $He^+$ ,  $O^{+2}$ ,  $N^+$  και  $N^{+2}$ ). Χωρικά συνυπάρχει με τις ζώνες VanAllen και εκτείνεται σε ύψη 3-5  $R_\oplus$ . Τα σωμάτια έχουν ενέργειες περίπου 1 eV και πυκνότητα από  $10^4 \text{ cm}^{-3}$  στο εσωτερικό μέχρι  $10\text{-}100 \text{ cm}^{-3}$  στο εξωτερικό της πλασμόσφαιρας.

Το καλά καθορισμένο όριο της πλασμόσφαιρας ονομάζεται πλασμόπαυση. Ανιχνεύτηκε από τις ιδιότητες των **συρικτικών** κυμάτων στη μαγνητόσφαιρα.

### Γαίωσφαιρα

Η πλασμόσφαιρα βρίσκεται εντός της γεώσφαιρας, μιας πιο εκτεταμένης περιοχής σημαντικής μεταβλητότητας με θερμό πλάσμα χαμηλής πυκνότητας (πολύ χαμηλότερης από της πλασμόσφαιρας) από την ιονόσφαιρα και τον ηλιακό άνεμο.

Κατά την έντονη γεωμαγνητική δραστηριότητα, η γεώσφαιρα τροφοδοτείται με σωμάτια ηλιακού ανέμου μεγαλύτερης ενέργειας και αυξάνει η πυκνότητα της ιονοσφαιρικής συνιστώσας. Η εκροή ιονοσφαιρικού υλικού τείνει προς μεγαλύτερη συνεισφορά για κάθετη ως προς το ισημερινό επίπεδο συνιστώσα μεσοπλανητικού μαγνητικού πεδίου με φορά προς το Βορρά (κλειστή μαγνητόσφαιρα).

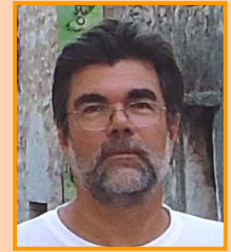
**Μέρη του άρθρου έχουν ληφθεί από τα παρακάτω ηλεκτρονικά βιβλία:**

- Κ. Ε. Αλυσσανδράκης, Α. Νίντος και Σ. Πατσουράκος, *Φυσική του Ήλιου και του Διαστήματος*, Εκδόσεις Κάλλιπος, Ιωάννινα, 2015.
- Ν. Βλαχάκης και Α. Μαστιχιάδης, *Αστροφυσική Υψηλών Ενεργειών*, Εκδόσεις Κάλλιπος, Αθήνα, 2015.

**Πηγές:**

- E. Huttunen, *Interplanetary Shocks, Magnetic Clouds and Magnetospheric Storms*, Academic Dissertation, University of Helsinki, Helsinki, 2005.
- G. Morfill and W. G. Pilipp, *The Formation of the Plasma Sheet Resulting from Plasma Mantle Dynamics*, *J. Geophys. Res. : Space Physics* **83**, 5670 (1978).

## επιστημονική ορολογία και ελληνική γλώσσα



**Αναστάσιος Λιόλιος**  
Καθηγητής  
Τμήματος Φυσικής

**Η** σημασία του λόγου στην ανθρώπινη σκέψη είναι καθοριστική. Η άρρηκτη σχέση μεταξύ λόγου και νοητικής διεργασίας είναι φανερή από τη σημασία της λέξης «λόγος», που στην ελληνική γλώσσα, εκτός από ομιλία σημαίνει και την ίδια τη σκέψη. Το ίδιο φανερώνουν και τα παράγωγα της λέξης «λόγος», όπως: λογική, λογισμός, λόγιος, διάλογος κλπ.

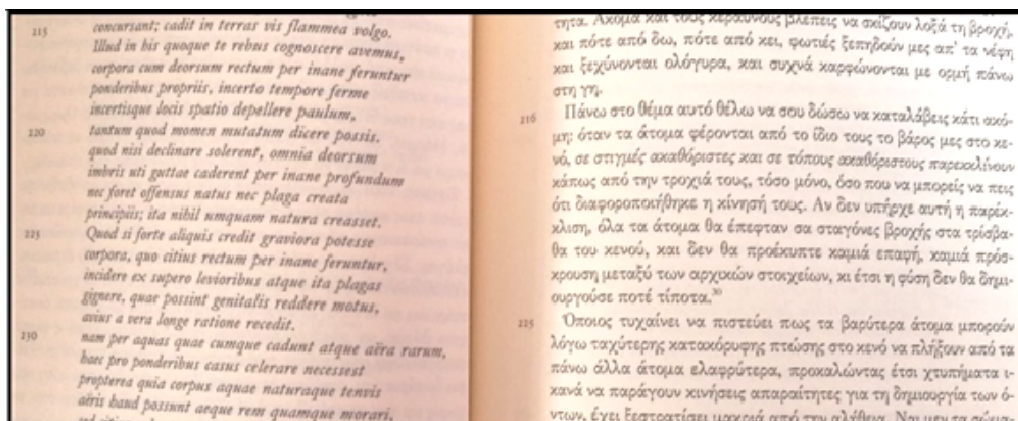
Στην περίπτωση της επιστημονικής σκέψης, όπου η σαφής διατύπωση των νοημάτων και η ακριβολογία είναι συστατικά της ίδιας της επιστημονικής μεθοδολογίας, είναι φανερή η ανάγκη μιας μονοσήμαντης ορολογίας η οποία θα πρέπει να καταγράφει και να κωδικοποιεί την επιστημονική γνώση. Οι επιστημονικοί όροι, με τη σαφήνεια και την οικονομία τους, αποτελούν προϋπόθεση για να κινηθεί η σκέψη προς συνθετότερες έννοιες και να δημιουργήσει συλλογισμούς σε ανώτερο επίπεδο.

Σήμερα, που η παραγωγή νέων επιστημονικών ή τεχνικών όρων είναι εκρηκτική, ο Έλληνας επιστήμονας βρίσκεται καθημερινά αντιμέτωπος στη διεθνή βιβλιογραφία, με νέες έννοιες για τις οποίες δεν έχει ακόμη καθιερωθεί η απόδοσή τους στα ελληνικά. Τις έννοιες αυτές θα πρέπει να τις μεταφράσει. Μερικές φορές, όταν η μετάφραση δεν είναι προφανής, χρησιμοποιείται «προσωρινά» ο αγγλικός συνήθως όρος. Και επειδή «ουδέν μονιμότερον του προσωρινού», το αποτέλεσμα είναι να χρησιμοποιείται ο αγγλικός όρος κανονικά πια στη γλώσσα μας, χωρίς ούτε καν την «ελληνικοποίησή» του με κάποια κατάληξη όπως συ-

νέβαινε παλιότερα. Παράδειγμα, οι όροι «τρανζίστορ», «κομπιούτερ», «ραντάρ», «κουάρκ», «κβάζαρ» κλπ.

Το κύριο όμως πρόβλημα της σύγχρονης ελληνικής επιστημονικής ορολογίας δεν είναι οι αυτούσιες ξενικές λέξεις, αλλά το γεγονός ότι για την κάθε έννοια υπάρχουν περισσότεροι του ενός όροι. Λείπει δηλαδή η μονοσήμαντη επιστημονική ορολογία. Αν ανατρέξει κανείς στα ανά την επικράτεια πανεπιστημιακά συγγράμματα, στα πρακτικά επιστημονικών συνεδρίων ή σε διδακτορικές διατριβές, θα δει ότι οι διάφοροι επιστήμονες-συγγραφείς, χρησιμοποιούν για την ίδια έννοια διαφορετικούς όρους. Ένας τέτοιος πλουραλισμός, ενώ στην καθομιλουμένη θα σήμαινε γλωσσικό πλούτο και εκφραστική ευελιξία, στην επιστημονική ορολογία συνεπάγεται έλλειψη σαφήνειας και «σύνδρομο της Βαβέλ». Συχνά μάλιστα οι ομιλητές ή συγγραφείς αναγκάζονται να αναφέρουν στις επιστημονικές εργασίες τους και τον αντίστοιχο αγγλικό όρο (σε παρένθεση), ώστε να αποφευχθεί η παρανόηση των λεγομένων ή γραφομένων τους από τους συναδέλφους τους.

Η αναζήτηση και καθιέρωση ως μοναδικών, επιστημονικών όρων κατάλληλων για τις νέες επιστημονικές έννοιες είναι λοιπόν ζητούμενο. Το ότι η ελληνική γλώσσα αποτέλεσε και αποτελεί πηγή άντλησης όρων και νεολογισμών για τη διεθνή επιστημονική κοινότητα, λύνει αυτομάτως το πρόβλημα για ένα μεγάλο αριθμό λέξεων. Σαν παράδειγμα από το χώρο της φυσικής, μπορεί κανείς να αναφέρει τις αυτούσι-



ες ελληνικές λέξεις: «physics», «energy», «atom», «planet», «galaxy», «chaos», κλπ. Πολλοί επίσης όροι, που έχουν δημιουργηθεί «τεχνητά» από τους ξένους διανοούμενους (με επιστράτευση της κλασικής παιδείας τους και κάποιου λεξικού της αρχαίας ελληνικής), αποδίδονται επίσης εύκολα στην ελληνική. Για παράδειγμα, «hydrogen», «barium», «telescope», «photograph», «electron», «proton», «photon», «lepton», «meson», «cyclotron», «isotope», «chromodynamics» κλπ. Όλους τους όρους αυτούς, λόγω της ελληνικής τους προέλευσης, οι Έλληνες επιστήμονες τους «μεταφράζουν» κατά τον προφανή, και επομένως μοναδικό, τρόπο.\*

Όμως, η μετάφραση-απόδοση των νέων όρων δεν είναι απλή υπόθεση όταν οι επιστημονικοί όροι δεν προέρχονται από τα ελληνικά. Στην περίπτωση αυτή, υπάρχουν συνήθως περισσότερες από μία εκδοχές στην απόδοσή τους. Έτσι, π.χ. στη φυσική στοιχειωδών σωματιδίων, ο όρος «virtual» έχει αποδοθεί κατά καιρούς σαν «εν δυνάμει», «υπερβατικό», «υποθετικό» ή «ψευδο»(σωμάτιο) και ο όρος «strangeness» έχει αποδοθεί σαν «παραδοξότητα», «παραξενιά» ή «ιδιοτυπία».

Η επιτυχημένη μετάφραση-απόδοση των νέων επιστημονικών όρων εξαρτάται τόσο από την κατανόηση του εννοιολογικού περιεχομένου τους, που θεωρείται αυτονόητη για τον ειδικό επιστήμονα, όσο και από το φιλολογικό και πολιτιστικό του υπόβαθρο του τελευταίου. Συχνά, η δυσκολία στην απόδοση ενός όρου μπορεί να οφείλεται καθαρά σε λόγους αισθητικής. Για παράδειγμα, ο όρος της αστροφυσικής «black holes» δύσκολα μεταφραζόταν από πολλούς, μέχρι πρόσφατα, ως «μαύρες τρύπες» (χρησιμοποιούσαν ως πιο «κόσμιο» υποτίθεται όρο το «μελανές οπές»). Χρειάστηκε μάλλον η γενίκευση στη χρήση του όρου και σε άλλους τομείς εκτός της αστροφυσικής, για να τον «συνηθίσει το αυτί μας» και να μην διστάζουμε πιά να τον χρησιμοποιούμε.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι οι Έλληνες επιστήμονες και διανοούμενοι των αμέσως προηγούμενων γενεών, είχαν καταφέρει ακόμη και στις «δύσκολες» περιπτώσεις, να καθιερώσουν μονοσήμαντους όρους για την κάθε νέα έννοια, οι οποίοι και έτυχαν της γενικής αποδοχής. Αυτοί οι όροι είναι καθαρά ελληνικοί, με προφανή σημασία και ετυμολογικό περιεχόμενο. Τέτοιους όρους συναντάμε τόσο στην καθημερινή γλώσσα, π.χ. «αερόστατο», «υποβρύχιο», «αλεξίπτωτο», «ποδήλατο», «αυτοκίνητο» κλπ., όσο και στην επιστημονική ορολογία, π.χ. «πεδίο», «διάνυσμα», «στροφορμή», «δυναμικό», «σθένος»,

\* Το «προφανές» ίσως να μην ισχύει πάντα. Παράδειγμα, η περίπτωση του ιατρικού όρου «neuron» που στα ελληνικά, ατυχώς μεταφράστηκε «νευρώνας» (αντί «νευρόνιο»). Φανταστείτε ότι, κατ' αναλογία, θα έπρεπε το «electron» να μεταφραστεί ως «ηλεκτρώνας» και το «photon» ως «φωτώνας»!

«βαρύτητα», «ενθαλπία», «ρεύμα», «ραδιενέργεια», κλπ.

Ο εμπλουτισμός της ελληνικής επιστημονικής ορολογίας δεν πρέπει να συνεχίσει να γίνεται στις μέρες μας με τον εφαρμοζόμενο, δυστυχώς «ερασιτεχνικό» τρόπο. Φαντάζομαι ότι είναι αναγκαίος ο ορισμός ενός φορέα υπεύθυνου για θέματα ειδικής ορολογίας. Για παράδειγμα, ο φορέας θα μπορούσε να είναι μια μεικτή επιτροπή πανεπιστημιακών (υπό την αιγίδα του Υπουργείου Παιδείας), στην οποία θα συμμετέχουν ειδικοί επιστήμονες και φιλόλογοι. Καθήκον της επιτροπής θα είναι η κατάρτιση ενός «επίσημου» λεξικού της υπάρχουσας επιστημονικής ορολογίας, όπου για την κάθε έννοια θα υπάρχει ένας και μοναδικός όρος. Θα πρέπει επίσης να αναγράφεται και ο αντίστοιχος όρος της ξένης βιβλιογραφίας. Επιπλέον, θα πρέπει να υπάρχει η πρόβλεψη συνεχούς ενημέρωσης του λεξικού αυτού με νέους όρους που η ίδια η εξέλιξη της επιστήμης συνεχώς γεννά και οι οποίοι θα προτείνονται στην επιτροπή από τους Έλληνες επιστήμονες του εσωτερικού και του εξωτερικού.

Τα τελευταία χρόνια έχει κάνει την εμφάνισή της μια εταιρεία σχετική με το θέμα, η Ελληνική Εταιρεία Ορολογίας (ΕΛ.ΕΤ.Ο.) που εκδίδει και το περιοδικό «Ορόγραμμα». Οι αντίστοιχοι ιστότοποι της είναι:

[www.eleto.gr](http://www.eleto.gr) και [www.eleto.gr/gr/orogramma.htm](http://www.eleto.gr/gr/orogramma.htm)

Ένας επίσημος φορέας προς αυτή την κατεύθυνση, που έχει ιδρυθεί σχετικά πρόσφατα (Απρίλιος 2015), είναι το Ελληνικό Δίκτυο Ορολογίας. Αυτό αποτελεί πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και αποσκοπεί στον συντονισμό της ελληνικής ορολογίας που χρησιμοποιείται στα κείμενα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχοι του Δικτύου είναι η καθιέρωση και χρήση κοινώς αποδεκτής ελληνικής ορολογίας και η βελτίωση της ποιότητας επικοινωνίας στην ελληνική γλώσσα. Υπάρχει η πρόθεση να λειτουργεί, στο πλαίσιο του Δικτύου, και υπηρεσία επείγουσας απόδοσης όρων που θα απαρτίζεται από ομάδες εργασίας του Δικτύου για συγκεκριμένα γνωστικά αντικείμενα προτεραιότητας.

Στο Δίκτυο μπορούν να συμμετάσχουν δημόσιοι φορείς, επαγγελματικές και επιστημονικές οργανώσεις, ιδιωτικά ιδρύματα και οργανισμοί που δραστηριοποιούνται σε θέματα ελληνικής γλώσσας, μετάφρασης και ορολογίας. Μπορούν επίσης να συμμετάσχουν τα μέλη των παραπάνω φορέων, οργανώσεων, ιδρυμάτων ή οργανισμών αλλά και μεμονωμένοι επαγγελματίες που εργάζονται από κοινού ή σε ατομική βάση.

Στην ιστοσελίδα του δικτύου:

[https://ec.europa.eu/greece/el-diktyo\\_el](https://ec.europa.eu/greece/el-diktyo_el)

διατίθενται όλα τα κείμενα που διέπουν τη λειτουργία του δικτύου, το υλικό των ημερίδων και χρήσιμοι σύνδεσμοι.

## ελαφρά υλικά



**Θεόδωρος Παυλούδης**  
Υποψήφιος Διδάκτορας  
Τμήματος Φυσικής

Γενικά ως ελαφρά υλικά ορίζουμε τα υλικά με πυκνότητα της τάξης των μερικών  $\text{mg}/\text{cm}^3$ , δηλαδή πυκνότητα συγκρίσιμη με αυτή του αέρα, η οποία είναι ίση με  $1.275 \text{ mg}/\text{cm}^3$ . Σήμερα, υπάρχει μια μονίμως αυξανόμενη ζήτηση από τη βιομηχανία για ελαφρά και υπερ-ελαφρά υλικά. Στην έρευνα για τα ελαφρά υλικά ακολουθούνται δύο διακριτές κατευθύνσεις: α) η ανάπτυξη ελαφρών υλικών και κραμάτων και η αποτελεσματικότερη εφαρμογή αυτών και β) η κατασκευή ελαφρών δομών από βεβαρυμένα υλικά.

### Τα ελαφρά υλικά

Τα κυριότερα ελαφρά υλικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία σήμερα είναι το αλουμίνιο και το μαγνήσιο (Σχ. 1). Το αλουμίνιο ανήκει στα μέταλλα και είναι στοιχείο της 13<sup>ης</sup> ομάδας και της 3<sup>ης</sup> περιόδου. Είναι το 3<sup>ο</sup> σε αφθονία στοιχείο στο φλοιό της Γης. Το μαγνήσιο ανήκει στις αλκαλικές γαίες και είναι στοιχείο της 2<sup>ης</sup> ομάδας και της 3<sup>ης</sup> περιόδου του

**Πίνακας 1: Οι πυκνότητες του σιδήρου, του αλουμινίου και του μαγνησίου σε θερμοκρασία δωματίου.**

στοιχείο	Z	πυκνότητα ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
Fe	26	7.874
Al	13	2.700
Mg	12	1.738



**Σχήμα 1: (αριστερά) αλουμίνιο και (δεξιά) μαγνήσιο**

περιοδικού πίνακα. Είναι το 6<sup>ο</sup> σε αφθονία στοιχείο στον φλοιό της Γης. Το αλουμίνιο είναι 66% ελαφρύτερο από το σίδηρο. Το μαγνήσιο είναι 36% ελαφρύτερο από το αλουμίνιο και 78% ελαφρύτερο από τον σίδηρο (πίνακας 1).

Το αλουμίνιο και το μαγνήσιο χρησιμοποιήθηκαν από τη γένεση της αεροναυπηγικής και στη συνέχεια από τη βιομηχανία αυτοκινήτου. Είναι χαρακτηριστικό πως ο σκαραβαίος της VW είχε πάνω από 17 kg κραμάτων αλουμινίου-μαγνησίου. Αν στη θέση τους είχε χρησιμοποιηθεί σίδηρος ο σκαραβαίος θα ήταν 50 kg βαρύτερος.

Στα μέσα της δεκαετίας του '80 κατασκευάστηκαν τα πρώτα ανθεκτικά στην οξείδωση κράματα μαγνησίου. Μέσα σε μια δεκαετία είχε δεκαπλασιαστεί η χρήση του σε εξαρτήματα αεροσκαφών και αυτοκινήτων. Τα κράματα του μαγνησίου βρίσκουν σήμερα πλήθος εφαρμογών, από την τεχνολογία του διαστήματος μέχρι τις καθημερινές φορητές ηλεκτρονικές συσκευές. Είναι χαρακτηριστικό πως ο 19<sup>ος</sup> αιώνας ονομάστηκε ο αιώνας του σιδήρου, ο 20<sup>ος</sup> αιώνας ο αιώνας του αλουμινίου, ενώ ο 21<sup>ος</sup> αιώνας προβλέπεται πως θα είναι ο αιώνας του μαγνησίου.

Το μαγνήσιο σαν υλικό είναι εύκολο στην επεξεργασία και στη χύτευση. Είναι συνεπώς ιδιαίτερα ελκυστικό στη βιομηχανία. Παρ' όλα αυτά, έχει σημαντικά μειονεκτήματα που περιορίζουν την χρήση του σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Το σημαντικότερο μειονέκτημα του μαγνησίου είναι η μικρή αντοχή του στη θέρμανση και την οξείδωση (Σχ. 2). Για το λόγο αυτό δε χρησιμοποιείται σε εξαρτήματα που βρίσκονται κοντά σε κινητήρες. Στην υγρή του μορφή και σε μορφή σκόνης είναι εκρηκτικό. Είναι χαρακτηριστικό πως σε αυτή την μορφή βρήκε ιστορικά εφαρμογή στα φλας, ενώ ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται στα πυροτεχνήματα. Τέλος, αντιδρά έντονα με το νερό και απελευθερώνει υδρογόνο. Ως συνέπεια το νερό δε μπορεί να σβήσει φωτιές μαγνησίου, αντιθέτως τις ενισχύει.

Λόγω των μειονεκτημάτων του, το μαγνήσιο σπάνιας χρησιμοποιείται σε καθαρή μορφή. Στις περισσότερες εφαρμογές του ως ελαφρύ υλικό βρίσκεται σε κράματα με το αλουμίνιο, τα λεγόμενα magnalium

ή magnelium. Το magnalium είναι ένας καλός συμβιβασμός μεταξύ της αντιδραστικότητας του μαγνησίου και της σταθερότητας του αλουμινίου. Τα κράματα με περιεκτικότητα σε μαγνήσιο μικρότερη ή ίση με 5%, είναι σχετικά πιο ακριβά από το αλουμίνιο, αλλά είναι πιο ανθεκτικά, πιο ελαφρά και ευκολότερα στην επεξεργασία από αυτό.

### Οι ελαφρές δομές

Οι ελαφρές δομές ή ελαφρές κατασκευές είναι ένα παράδειγμα της βιομιμητικής. Η τεχνολογία προσπαθεί να αναπαράγει τη δομή των οστών των πουλιών. Η δομή των οστών των πουλιών είναι αποτέλεσμα εκατομμυρίων ετών εξέλιξης από τους αρχόσαυρους έως τα σημερινά πουλιά.

Τα οστά των πουλιών είναι εξαιρετικά ελαφρά, αλλά ταυτόχρονα ανθεκτικά και έτσι αντέχουν τις τάσεις που αναπτύσσονται κατά την πτήση. Τα χαρακτηριστικά αυτά οφείλονται στην κατασκευή τους. Είναι σχεδόν κενά στο εσωτερικό τους με αρκετές δοκίδες οι οποίες διασταυρώνονται και προσφέρουν εξαιρετικές μηχανικές αντοχές στο οστό.

Έτσι, κοινό χαρακτηριστικό όλων των ελαφρών δομών είναι η δημιουργία «κενών» χώρων στο εσωτερικό του υλικού. Παραδείγματα υλικών με ελαφρές δομές είναι τα aerogel (αεροπηκτώματα), οι μεταλλικοί αφροί και οι αφροί πολυμερών και το μεταλλικό μικροπλέγμα. Η πιο πρόσφατη προσθήκη είναι ο αερογραφίτης.

#### • Τα aerogel

Τα aerogel είναι συνθετικά πορώδη υλικά, τα οποία κατασκευάζονται με τη διαδικασία της υπερκρίσιμης ξήρανσης. Το υγρό μέρος μιας γέλης αφαιρείται με έναν ακριβή και ελεγχόμενο τρόπο. Το αποτέλεσμα είναι ένα στερεό υλικό με εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα και θερμική αγωγιμότητα (Σχ. 3,4).

Τα πρώτα aerogel κατασκευάστηκαν από τον Samuel Stephens Kistler το 1931 από διοξείδιο του πυριτίου και ήταν το αποτέλεσμα ενός στοιχήματος. Ο Kistler στη συνέχεια χρησιμοποίησε αλουμίνιο, χρώμιο και κασσίτερο, ενώ στα τέλη της δεκαετίας του '80 κατασκευάστηκαν aerogels από άνθρακα.

Τα aerogel έχουν εφαρμογές κυρίως σε μονωτικές διατάξεις και ως φίλτρα. Είναι ιδιαίτερα ελκυστικά για διαστημικές εφαρμογές λόγω της μικρής μάζας τους.

#### • Οι μεταλλικοί αφροί

Οι μεταλλικοί αφροί είναι δομές που χαρακτηρίζονται από μεγάλο πορώδες (Σχ. 5). Ένα μέρος της τά-



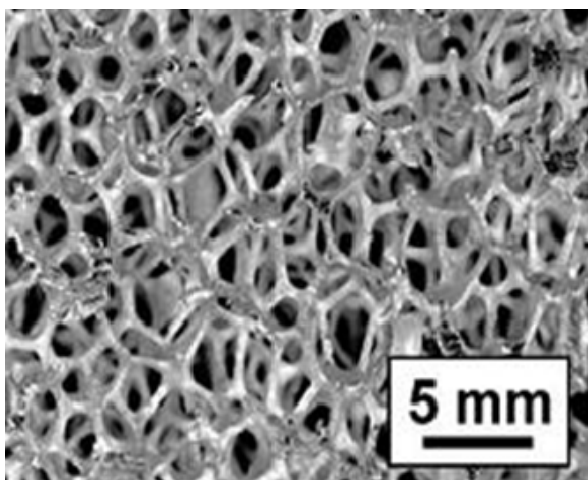
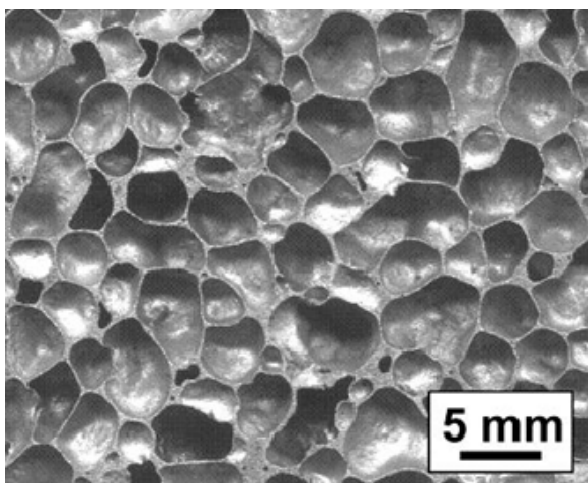
*Σχήμα 2: Το μονοθέσιο RA302 της Honda με πλαίσιο από μαγνήσιο που κατασκευάστηκε για την σεζόν του 1968 της Formula 1 (πάνω). Στον παρθενικό του αγώνα, το μονοθέσιο, μετά την έξοδο από την πίστα, ανατινάχθηκε σκοτώνοντας τον οδηγό του Jo Schlesser (κάτω). Η Honda πήρε ξανά μέρος ως κατασκευαστής στην Formula 1 το 2006.*



*Σχήμα 3: Ένα aerogel με μάζα 2 gr στηρίζει ένα τούβλο με μάζα 2.5 kg.*



**Σχήμα 4:** Ένα λουλούδι στηρίζεται πάνω σε aerogel πάνω από ένα λύχνο Bunsen. Το aerogel έχει εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες και έτσι το λουλούδι προστατεύεται από τη φλόγα.



**Σχήμα 5:** Οι πόροι ενός αφρού μπορεί να είναι απομονωμένοι (closed-cell foam, πάνω) ή να σχηματίζουν ένα αλληλοσυνδεδεμένο δίκτυο (open-cell foam, κάτω).

ξης του 75%-90% του όγκου τους αποτελείται από κενό χώρο. Γενικά διατηρούν τις ιδιότητες των μετάλλων-βάσεων τους. Για παράδειγμα, ένα εύφλεκτο υλικό θα δώσει έναν εύφλεκτο αφρό. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής παραμένει περίπου ο ίδιος ενώ η θερμική αγωγιμότητα μειώνεται σημαντικά. Οι μεταλλικοί αφροί βρίσκουν άριστη εφαρμογή στην ορθοπεδική ως προσθετικά μέλη. Εισέρχονται μέσω οπής στο οστό και του επιτρέπουν να «γεμίσει» τους κενούς χώρους, προσφέροντας έτσι μια μόνιμη σύνδεση. Συχνά χρησιμοποιούνται οι αφροί τιτανίου και τανταλίου καθώς επιδεικνύουν μεγάλες μηχανικές αντοχές, αντίσταση στην οξειδωση και εξαιρετική βιοσυμβατότητα, ενώ λόγω του ελάχιστου βάρους δεν επιβαρύνουν κινητικά τον οργανισμό.

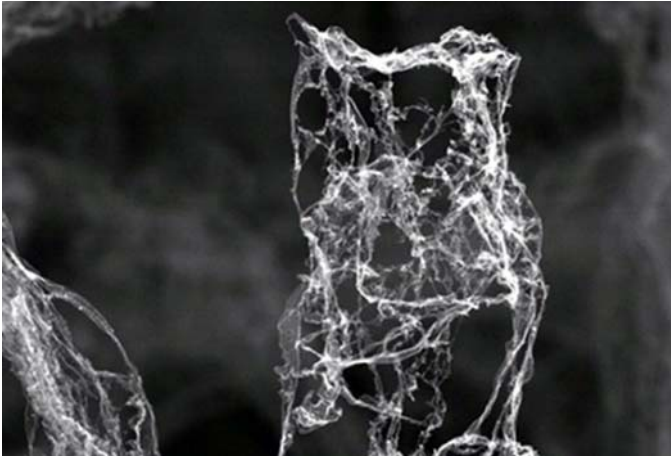
#### • Το μεταλλικό μικροπλέγμα

Το μεταλλικό μικροπλέγμα είναι ένα συνθετικό πορώδες μεταλλικό υλικό, το οποίο αποτελεί μια υπερ-ελαφρή δομή ενός μεταλλικού αφρού. Ανακοινώθηκε το Νοέμβριο του 2011 και κατασκευάστηκε από τα εργαστήρια HRL της Hughes Airlines, σε συνεργασία με τα University of California, Irvine και Caltech.

Τα πρωτότυπα δείγματα κατασκευάστηκαν από κράμα Ni-P. Για την παραγωγή του χρησιμοποιήθηκε μια βάση από πολυμερές. Υπεριώδης ακτινοβολία πέρασε διαμέσου μιας διάτρητης μάσκας σε ένα δοχείο με ευαίσθητη στην υπεριώδη ρητίνη. Σε κάθε οπή της μάσκας σχηματίστηκε μια λεπτή ίνα από πολυμερές, όπου συνέβη «παγίδευση» του φωτός ανάλογη με την παγίδευση του στις οπτικές ίνες. Με τη χρήση πολλαπλών φωτεινών δεσμών, πολλές ίνες αλληλοσυνδέθηκαν και σχημάτισαν ένα πλέγμα. Οι βάσεις σχηματίστηκαν σε 10-100 s. Η βάση στη συνέχεια επικαλύφθηκε με ένα λεπτό στρώμα μετάλλου και απομακρύνθηκε με χάραξη (etching). Το αποτέλεσμα ήταν μια σταθερή περιοδική πορώδης μεταλλική δομή.

Το μικροπλέγμα αποτελείται από ένα δίκτυο κενών νανοσωλήνων. Στο ελαφρύτερο δείγμα οι «δοκοί» είχαν διάμετρο ίση με 100 μm και τοιχώματα πάχους 100 nm. Η ολοκληρωμένη κατασκευή είναι κατά 99.99% του όγκου της αέρας.

Οι κατασκευαστές του ισχυρίζονται πως είναι το ελαφρύτερο υλικό που έχει κατασκευαστεί ποτέ. Η πυκνότητα του είναι ίση με  $2.1 \text{ mg/cm}^3$ , ενώ εάν εξαιρεθεί η μάζα του αέρα από τον υπολογισμό η πυκνότητα του είναι ίση με  $0.9 \text{ mg/cm}^3$ . Το προηγούμενο ρεκόρ κατείχε ένα aerogel πυριτίας με πυκνότητα  $1.0 \text{ mg/cm}^3$ . Το μικροπλέγμα κράτησε αυτή τη θέση για λίγους μόνο μήνες μέχρι την ανακοίνωση του αερογραφίτη.



**Σχήμα 6:** Εικόνα SEM του αερογραφίτη. Η δομή είναι στην ουσία κενός χώρος.

Από μηχανικής άποψης το μικροπλέγμα συμπεριφέρεται σαν τα ελαστομερή. Επιστρέφει σχεδόν πλήρως στο αρχικό σχήμα του μετά από σημαντική συμπίεση. Η ιδιότητα αυτή του δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα aerogel τα οποία είναι εύθραυστα σαν τα γυαλιά. Το μέτρο ελαστικότητας Young στο μικροπλέγμα είναι ανάλογο του  $\rho^2$ , ενώ στα aerogel και τους αφρούς από νανοσωλήνες είναι ανάλογο του  $\rho^3$ .

Αναμένεται να βρει εφαρμογές ως θερμομονωτής ή ως shock absorber. Επίσης, ίσως λόγω της ελαστικότητας του συμπεριφορές χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση μηχανικής ενέργειας.

## • Ο αερογραφίτης

Η πιο πρόσφατη προσθήκη στη λίστα των υπερελαφρών υλικών είναι ο αερογραφίτης. Ο αερογραφίτης ανακοινώθηκε από τα Hamburg University of Technology και University of Kiel τον Ιούλιο του 2012. Η δομή του υλικού αποτελείται από ένα δίκτυο κενών νανοσωλήνων άνθρακα και παίρνει εύκολα τον τίτλο του ελαφρύτερου υλικού που κατασκευάστηκε ποτέ με πυκνότητα μικρότερη από  $0.18 \text{ mg/cm}^3$ . Ο αερογραφίτης είναι εξαιρετικά πορώδης, ουσιαστικά είναι κενός χώρος (Σχ. 6). Σε μεγάλη κλίμακα μοιάζει με ένα μαύρο σφουγγάρι. Ο αερογραφίτης μπορεί να συμπιεστεί κατά 1000 φορές και να επανέλθει στο αρχικό μέγεθος του, αντέχει 35 φορές μεγαλύτερο βάρος από το aerogel, ενώ είναι ηλεκτρικά αγωγίμος και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε εξαιρετικά λεπτές και ελαφριές μπαταρίες.

### Πηγές:

- [wikipedia](#)
- T. A. Schaedler, et al. *Ultralight Metallic Microlattices. Science* **334**, 962-965 (2011).
- M. Mecklenburg, et al. *Aerographite: Ultra Lightweight, Flexible Nanowall, Carbon Microtube Material with Outstanding Mechanical Performance. Advanced Materials* **24**, 3486-3490 (2012).

## σχεδιάζοντας νέα υλικά με τη βοήθεια της τεχνητής νοημοσύνης

Ερευνητές του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου του Delft ανέπτυξαν ένα μεταϋλικό (υλικό του οποίου οι ιδιότητες καθορίζονται από τη γεωμετρική του δομή) με τη βοήθεια της τεχνητής νοημοσύνης. Έτσι μετέτρεψαν ένα ψαθυρό υλικό σε ένα υλικό με σπογγώδη μορφή. Ωστόσο, σε αντίθεση με το σπόγγο, αυτό το μεταϋλικό είναι δύσκαμπτο έως ότου η δύναμη που ασκείται σε αυτό να λάβει μια κρίσιμη τιμή πάνω από την οποία γίνεται εξαιρετικά συμπιεστό. Η σχεδίαση αυτού του υπερσυμπιεστού, αλλά ανθεκτικού, υλικού έγινε χωρίς να πραγματοποιηθεί κανένα πείραμα αλλά με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης. Πιο συγκεκριμένα, υιοθέτησαν μια υπολογιστική προσέγγιση κατά την οποία το μεταϋλικό θα έπρεπε να αποκτήσει κάποια ιδιότητα-στόχο τροποποιώντας τόσο το βασικό υλικό όσο και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δομής αλλά και τις μεθόδους καταργασίας/κατασκευής. Η «παραδοσιακή» πειραματική προσέγγιση με διαδικασίες δοκιμής-σφάλματος (trial and error), δεν εκμεταλλεύεται όλες τις περιοχές του χώρου των δυνατών λύσεων. Με τη βοήθεια μεθόδων μηχανικής μάθησης (machine learning), αναπτύχθηκαν δυο δομές σε διαφορετικές κλίμακες μεγέθους, οι οποίες μετατρέπουν ψαθυρά πολυμερή σε ελαφρά υπερσυμπιεστά μεταϋλικά που μπορούν να ανακτούν το σχήμα τους. Η δομή μεγάλης κλίμακας σχεδιάστηκε για μέγιστη συμπίεστικότητα ενώ η δομή μικρο-κλίμακας σχεδιάστηκε για μέγιστη αντοχή και ακαμψία. Το σημαντικότερο σε όλη αυτήν τη διαδικασία δεν ήταν αυτές καθ' αυτές οι ιδιότητες των υλικών, αλλά το γεγονός ότι η μηχανική μάθηση παρείχε τη δυνατότητα για τη σχεδίαση ενός υλικού όχι μέσω πειραματικά καθοδηγούμενων διερευνήσεων αλλά μέσω υπολογιστικών δεδομένων ακόμη και σε περιπτώσεις όπου από τα υπολογιστικά μοντέλα έλειπαν κάποιες πληροφορίες. Οι ουσιώδεις προϋποθέσεις ήταν να υπάρχουν «ικανά» δεδομένα αναφορικά με το πρόβλημα και αυτά τα δεδομένα να είναι «ικανοποιητικά» ακριβή.

### Πηγές:

- M. A. Bessa et al. *Advanced Materials*, **31**, 935 (2019).
- <https://phys.org/news/2019-10-material-artificial-intelligence.html>

## μοιάζουν οι χρηματαγορές με τον πυρήνα ενός ατόμου ή με το ...Σύμπαν;



**Κωνσταντίνος Κακούρης**  
Απόφοιτος  
Τμήματος Φυσικής

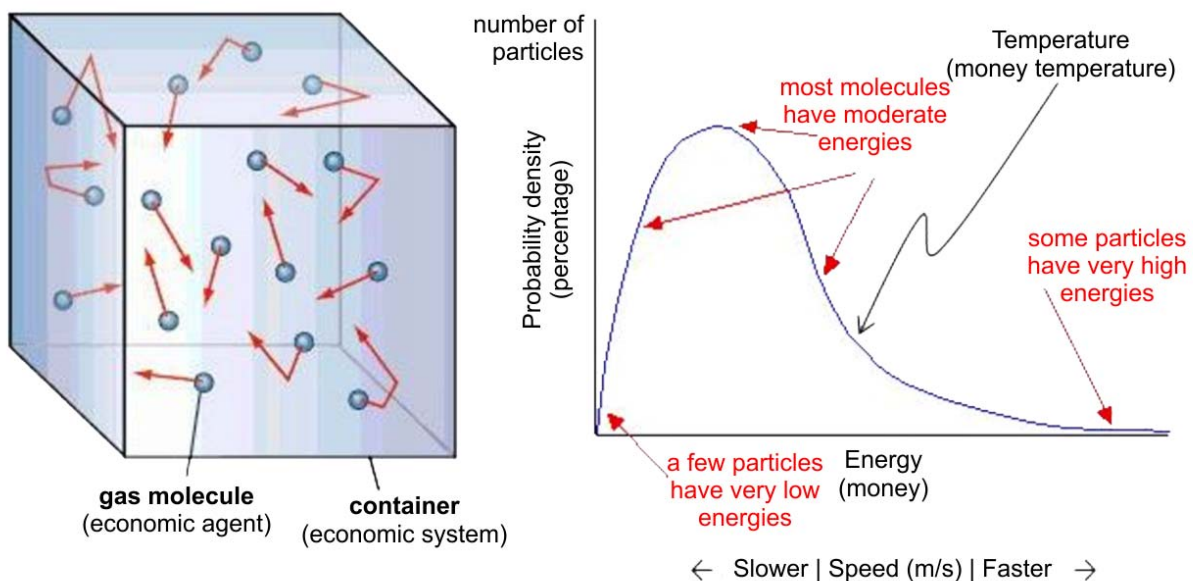
### Εισαγωγή – τι είναι Οικονοφυσική;

Όπως γράφουν στην εργασία τους με τίτλο: «Econophysics: A Brief Review of Historical Development, Present Status and Future Trends» οι B. G. Sharma, S. Agrawal, M. Sharma, D. P. Bisen, και R. Sharma, μπορεί να φαίνεται γελοία σε κάποιον συντηρητικό φυσικό ή κάποιον οικονομολόγο η ερώτηση «με ποιόν τρόπο οι χρηματαγορές μπορεί να μοιάζουν με τον πυρήνα ενός ατόμου ή με το Σύμπαν», αυτό όμως δεν είναι καθόλου αστέιο για τους «οικονοφυσικούς», δηλαδή αυτούς που προσπαθούν να δανειστούν ιδέες από την κβαντομηχανική, τη θεωρία των χορδών και από άλλες αναγνωρισμένες θεωρίες της Φυσικής ώστε να λύσουν προβλήματα οικονομικών.

Η Οικονοφυσική, από τις αρχές της, έχει σαν αντικείμενο την εφαρμογή των νόμων της Φυσικής στη μελέτη των χρηματοοικονομικών αγορών, κάνοντας την υπόθεση ότι ο οικονομικός κόσμος συμπεριφέρεται σαν ένα νέφος ηλεκτρονίων ή σαν μία ομάδα μορίων νερού που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αυτοί οι νόμοι εφαρμόζονται σε «οικονομικά σωματίδια» (economic particles) όπως είναι οι επενδυτές, οι καταναλωτές και οι

traders. Έτσι οι αγορές συμπεριφέρονται σαν μακροσκοπικά συστήματα (πολύπλοκα συστήματα) με εσωτερική μικροσκοπική δομή, αποτελούμενη από αυτά τα σωματίδια που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και παράγουν τις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν το σύστημα (Σχ. 1). Με την επανάσταση αυτή και τη χρησιμοποίηση μοντέλων του πεδίου της στατιστικής φυσικής οι οικονομολογοί έκαναν μία αμφιλεγόμενη αρχή για την απλούστευση κάποιων χασοτικών οικονομικών προβλημάτων μετατρέποντάς τα σε απλούστερα. Με δεδομένο, ότι το ετήσιο παγκόσμιο ΑΕΠ είναι 15 περίπου φορές μικρότερο από την συνολική κεφαλαιοποίηση όλων των χρηματοοικονομικών προϊόντων (μετοχές, αμοιβαία κεφάλαια, παράγωγα, συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης), η μελέτη των χρηματιστηριακών αγορών με αυτά τα νέα εργαλεία αποκτά τεράστια σημασία, αφού η πρόβλεψη κατάρρευσης δεικτών μπορεί να αποσοβήσει παγκόσμιες οικονομικές κρίσεις.

Η Οικονομική Φυσική γεννήθηκε από τους Καθηγητές H. E. Stanley και R. N. Mantegna, οι οποίοι έγραψαν το πρώτο βιβλίο στο νέο αυτό επιστημονικό πεδίο το 1999. Ο όρος «EconoPhysics» έκανε την εμφάνισή του πρώτη φορά δημοσίως σε συνέδριο



**Σχήμα 1: Κατανομή Maxwell-Boltzmann / Money Model, Adrian Dragulescu & Victor Yakovenko**



Στατιστικής Φυσικής στην Καλκούτα της Ινδίας το 1995 από τον θεωρητικό φυσικό H. Eugene Stanley, καθηγητή του Πανεπιστημίου της Βοστώνης. Θεωρείται ένας διεπιστημονικός τομέας έρευνας που σχετίζεται και με τη Φυσική της κοινωνίας.

Αν και η ωρίμανση της Οικονομικής ήρθε μετά τις αρχές του 2000 και χρησιμοποιήθηκε από εκεί και μετά σε μεγαλύτερο εύρος, η αλληλεπίδραση μεταξύ Φυσικής και Οικονομίας είναι πολύ παλιά από ό,τι νομίζουμε. Το βιβλίο του Adam Smith «Inquiry into the Nature and Causes of Wealth of the Nations» (1776), που θεωρείται η αρχή των κλασικών οικονομικών, ο συγγραφέας του το εμπνεύστηκε από το βιβλίο του Isaac Newton «Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica» (1687). Συγκεκριμένα, η εμπνευστή του είχε αφετηρία την ιδέα του Newton για τις αιτιακές δυνάμεις. Στα επόμενα χρόνια, οι νόμοι του Newton αναπτύχθηκαν σε μια πιο «μοντέρνα» μορφή από τον Lagrange και τον Hamilton και οι μέθοδοί τους χαρακτηρίστηκαν ως ιδανικές για να ξεκινήσει η μαθηματικοποίηση των οικονομικών. Αργότερα, στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα (1910), οι οικονομολόγοι Marshall και Edgeworth, επηρεασμένοι από τους στατιστικούς φυσικούς Maxwell και Boltzmann, προσπαθώντας να εξηγήσουν τα οικονομικά φαινόμενα, ανέπτυξαν ένα μοντέλο σχετικά με το οικονομικό σύστημα, το οποίο μπορεί να επιτύχει ισορροπία όπως αυτό συμβαίνει στα φυσικά συστήματα. Το 1949, ο Bill Phillips του London School of Economics, κατασκεύασε μία μηχανή, δίνοντάς της το όνομα «MONIAC: the economy machine» (Σχ. 2), που είναι μία υδραυλική μηχανή στην οποία η ροή χρωματιστού νερού προσομοιώνει τη ροή του χρήματος. Η μηχανή χρησιμοποιείται ακόμη στο Πανεπιστήμιο του Cambridge δείχνοντας στους πρωτοετείς φοιτητές των οικονομικών επιστημών την δυναμική συμπεριφορά της εθνικής οικονομίας.

Αυτές οι ιστορικές αλληλεπιδράσεις της Φυσικής και των οικονομικών (old econophysics), έχουν αρκετές διαφορές με τις νέες αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των δύο επιστημών (new econophysics). Στην πρώτη περίπτωση οι οικονομολόγοι προσπάθησαν να εισάγουν φυσικά μοντέλα στα οικονομικά (δηλαδή, οι οικονομολόγοι ήταν αυτοί που σύστησαν πρώτοι την ανάμιξη των δύο επιστημών), ενώ στη δεύτερη περίπτωση, οι φυσικοί είναι αυτοί που προσπαθούν να εξηγήσουν οικονομικά φαινόμενα χωρίς την εμπλοκή οικονομολόγων.

### Εφαρμογές – Τα μοντέλα καύσης στην οικονομία

Οι Charbel Tannous και Alain Fessant, φυσικοί του Πανεπιστημίου της Βρετανίας χρησιμοποίησαν την Θεωρία Καύσης (combustion) για να προβλέψουν τις μελλοντικές τιμές ορισμένων μετοχών με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Η φιλοσοφία του μοντέλου έχει ως εξής: η καύση συμβαίνει αυθόρμητα μετά από μια μεγάλη περίοδο σταθερότητας. Διαπίστωσαν ότι το γεγονός αυτό είναι παρόμοιο

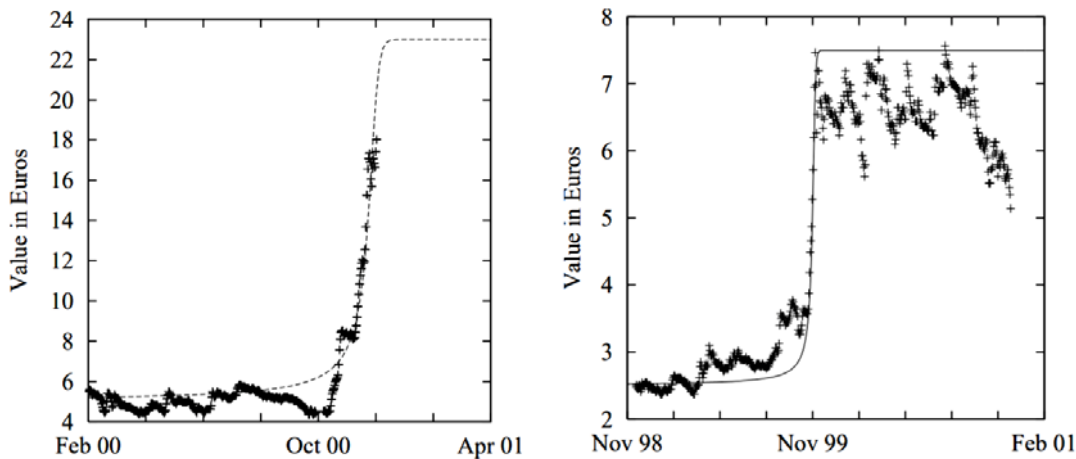


**Σχήμα 2: Ανακατασκευή της μηχανής Moniac στο πανεπιστήμιο της Μελβούρνης. (Πηγή: «Towards a Physics of Economics», S. Sinha & B. K. Chakrabarti)**

με τη συμπεριφορά μερικών μετοχών που τείνουν να ανεβάσουν την αξία τους ξαφνικά, μετά από μακροχρόνιες περιόδους σταθερότητας των τιμών –έννοια γνωστή ως “burstiness”. Τα απλά πρότυπα καύσης είναι βασισμένα στις αλλαγές συγκέντρωσης καυσίμων κατά τη διάρκεια του χρόνου και η ανάφλεξη πραγματοποιείται όταν αυτή η συγκέντρωση φθάσει σε ένα ορισμένο επίπεδο. Τροποποιώντας τις εξισώσεις, αντικατέστησαν τη συγκέντρωση καυσίμων με τις τιμές των μετοχών πραγματικών επιχειρήσεων (μικρών και μεγάλων), από διαφορετικούς βιομηχανικούς και οικονομικούς κλάδους, συλλέγοντας δεδομένα από ένα μέχρι πέντε έτη. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, στις επιχειρήσεις που μελέτησαν, οι προβλέψεις του μοντέλου της καύσης για τις τιμές των μετοχών έρχονταν σε συμφωνία με τις πραγματικές μεταβολές τους. Ως παράδειγμα, για τα αποτελέσματα της έρευνάς τους, δίνονται οι καμπύλες του Σχ. 3.

### Η φυσική του προσωπικού εισοδήματος

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει μέχρι σήμερα για να μοντελοποιηθεί η κατανομή των εισοδημάτων σε μια κοινωνία, αλλά μέχρι τώρα κανένα μοντέλο δεν έχει περιγράψει επιτυχώς όλα τα επίπεδα των μισθών κατά την διάρκεια των ετών. Ο οικονο-

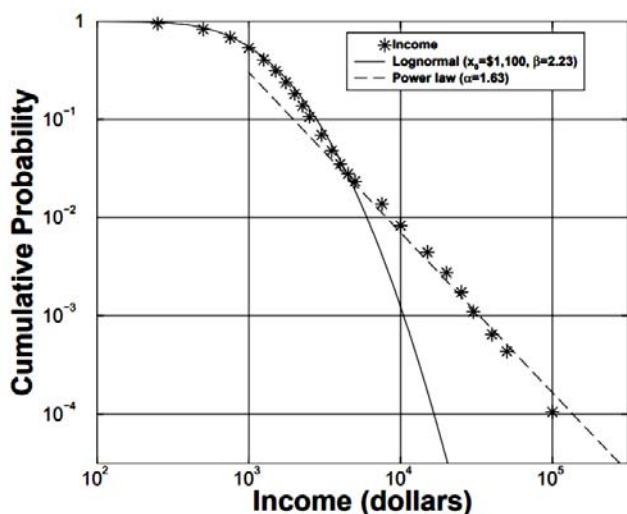


**Σχήμα 3:** Διαγράμματα για τις τιμές των μετοχών δύο επιχειρήσεων με την συνεχή γραμμή περιγράφεται το θεωρητικό μοντέλο καύσης και με μικρούς σταυρούς οι πραγματικές διακυμάνσεις των τιμών. [Πηγή: "Combustion Models in Finance", C. Tannous and A. Fessant].

μολόγος Pareto πρότεινε, το 1897, ότι η εισοδηματική κατανομή ακολουθεί έναν νόμο σύμφωνα με τον οποίο ο αριθμός των ατόμων που κερδίζουν μια ορισμένη αμοιβή πέφτει καθώς η αμοιβή αυτή αυξάνεται. Αυτός ο νόμος χαρακτηρίζεται ως «δείκτης του Pareto». Η μελέτη όμως έδειξε ότι αυτό αφορά μόνο το 1% των εργαζομένων (υψηλοί μισθοί). Εδώ έρχεται ο οικονομολόγος Gibrat, που διαπίστωσε ότι τα μεσαία εισοδήματα των εργαζομένων ακολουθούν μία λογαριθμική κατανομή. Αυτή η σχέση χαρακτηρίζεται ως «δείκτης του Gibrat». Ο Wataru Souma ήταν αυτός που συνδύασε αυτούς τους δύο δείκτες και ανέλυσε τα στοιχεία των μισθών για πάνω από 51 εκατομμύρια εργαζομένων της Ιαπωνίας. Υιοθέτησε τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται συνήθως στη μοντελοποίηση της φυσικής συμπυκνωμένης ύλης (π.χ. Stochastic Process) και επινόησε έναν τύπο που περιγράφει επιτυχώς την εισοδηματική κατανομή ολόκληρου του πληθυσμού. Ο Souma δεν προσπαθεί να εξηγήσει γιατί το εισόδημα ακολουθεί την κατανομή αυτή, αλλά θεωρεί ότι το μοντέλο είναι ένας θεμελιώδης νόμος των οικονομικών που θα μπορούσε να περιγράψει την κατανομή εισοδήματος σε όλες τις κοινωνίες σε οποιαδήποτε στιγμή της Ιστορίας.

Το διάγραμμα του Σχ. 4 επιβεβαιώνει ότι το εισόδημα ακολουθεί τον νόμο Pareto στα μεγάλα εισοδήματα και την λογαριθμική καμπύλη στα μεσαία εισοδήματα. Υπάρχουν πολλές προσπάθειες σχετικά με την μελέτη κατανομής του εισοδήματος. Σχετικά άρθρα για διάφορα κράτη (Ηνωμένο Βασίλειο, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, Αυστραλία κτλ) έχουν γίνει από τους V. M. Yakovenko και A. Dragulescu.

Σήμερα, το αντικείμενο διευρύνεται συνεχώς με τη δημιουργία και των πρώτων μεταπτυχιακών προγραμμάτων παγκοσμίως. Παρόλο που υπάρχουν αρκετές επιτυχίες των οικονομοφυσικών, υπάρχει και η πλευρά που παρουσιάζει μειονεκτήματα. Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, κάτι το οποίο είναι πολύ πιο δύσκολο από το να καταλάβει κανείς την συμπεριφορά της ύλης, του φωτός, των σωματιδίων ή των κυμάτων. Ο Newton, το 1720, μετά από ζημία μερικών δεκάδων χιλιάδων λιρών που είχε υποστεί από μία οικονομική φούσκα, είπε ότι «Μπορώ να υπολογίσω τις κινήσεις των βαρέων σωμάτων, αλλά όχι την τρέλα των ανθρώπων».



**Σχήμα 4:** Ο εκθετικός και ο λογαριθμικός νόμος για τα δεδομένα εισοδήματος των ετών 1935-36 στις ΗΠΑ [Πηγή: «Physics of Personal Income», Wataru Souma]

### Πηγές

- Econophysics: Chapter 1. History and Role of Econophysics in Scientific Research, (Gheorghe Săvoiu and Ion Iorga Simăn).
- Econophysics: A Brief Review of Historical Development, Present Status and Future Trends. (Sharma et al., 2011).
- Physics of Personal Income (Wataru Suma, 2002).
- Combustion Models in Finance (C. Tannous and A. Fessant, 2018).
- Econophysics as a New School of Economic Thought: Twenty Years Research (A. Jakimowicz, 2016).
- Econophysics Research in India in the last two Decades (A. Ghosh, 2013).
- When Financial Economics influences Physics: The Role of Econophysics (F. Jovanovic, R. N. Mantegna, C. Schinckus, 2017)
- Econophysics from Theory to Application: a Case Study of Iran (Saeed Rasekhi, Mahdi Shahrizi)
- Worrying trends in econophysics, M. Gallegati, S. Keen, T. Lux, P. Ormerod, Physica A: **370**, 1 (2006).
- Towards A Physics of economics (S. Sinha and B. K. Chakrabarti, Physics News, 2009).

## Πώς οι πρωτοπόροι κοσμολόγοι Alpher, Herman, Gamow και Hoyle δεν πήραν το βραβείο Nobel



Χρήστος Ελευθεριάδης  
Καθηγητής  
Τμήματος Φυσικής

Το 1948 δημοσιεύθηκε το λεγόμενο « $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  paper», στο οποίο οι Alpher και Gamow υπολόγισαν το ποσοστό του ηλίου (He) στο Σύμπαν, με την υπόθεση ότι δημιουργήθηκε στο στενό χρονικό παράθυρο περίπου μεταξύ του πρώτου και του εκατοστού δευτερόλεπτο της ηλικίας του Σύμπαντος. Πριν το πρώτο δευτερόλεπτο, η θερμοκρασία του Σύμπαντος ήταν τόσο μεγάλη, που ο πυρηνικός δεσμός μεταξύ πρωτονίου και νετρονίου

στον πρώτο σύνθετο πυρήνα, το δευτέριο, δεν μπορούσε να επιβιώσει. Μετά το εκατοστό δευτερόλεπτο, η θερμοκρασία είχε πέσει τόσο χαμηλά που δεν ήταν δυνατή η υπέρβαση του φράγματος Coulomb ώστε να γίνει οιαδήποτε αντίδραση σύντηξης. Οι υπολογισμοί, κυρίως του Alpher, ο οποίος είχε ιδιαίτερη ικανότητα στα μαθηματικά, έδωσαν ως αποτέλεσμα ότι το ποσοστό του He που δημιουργήθηκε στο πρώιμο Σύμπαν είναι περίπου 25%. Αποτέλεσμα συμβατό με τα πειραματικά δεδομένα. Οι προσπάθειές τους όμως να εξηγήσουν μέσα στα ίδια πλαίσια τη δημιουργία και των βαρύτερων στοιχείων στο αρχέγονο Σύμπαν, είτε μέσω συντήξεων είτε μέσω αρπαγής νετρονίων, δεν οδήγησαν πουθενά, δεδομένου και του λεγομένου mass gap που αναφέρεται στο έλλειμμα σταθερών στοιχείων με 5 και 8 νουκλεόνια.

Ο Alpher πάντως είχε την ατυχία να μην έχει την αναγνώριση που του άξιζε εξ αιτίας της ακατανίκητης ροπής του Gamow να κάνει πλάκες. Τα ονόματα Alpher και Gamow, που θυμίζουν τα ελληνικά γράμματα άλφα και γάμμα, του έβαλαν στο μυαλό την ιδέα να παρεμβάλλει και ένα όνομα για το γράμμα βήτα. Πράγματι, προσέθεσε το όνομα του διακεκριμένου φυσικού Hans Bethe (ο οποίος δεν είχε καμιά συνεισφορά στην εργασία και δεν είμαι καν σίγουρος αν ο Gamow μπήκε στον κόπο να τον ρωτήσει αν συμφωνεί να μπει το όνομά του) και έτσι προέκυψε μια δημοσίευση με τα ονόματα Alpher, Bethe, Gamow, που έμεινε στην ιστορία σαν « $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  paper». Το κακό για τον Alpher, που ήταν ο νεαρός φυσικός της παρέας, ο οποίος και τράβηξε το κουπί, ήταν ότι το όνομά του επισκιάζονταν από τα ονόματα των δύο διάσημων και ώριμων φυσικών Bethe (Nobel 1967) και Gamow. Πικράθηκε πολύ, αν και ο Gamow, που βέβαια δεν είχε καμία κακή πρόθεση, έκανε ό,τι μπορούσε για να του απαλύνει την πίκρα. Ήταν αυτή η τάση του να κάνει πλάκες, που μερικές φορές ξεπερνούσε τα όρια!

Ο Alpher δεν σταμάτησε να εργάζεται πάνω στο μοντέλο του εκρηκτικού Σύμπαντος και βέβαια αντιμέτωπισε ανυπέρβλητες δυσκολίες στο να βρει

PHYSICAL REVIEW VOLUME 73.

### Letters to the Editor

#### The Origin of Chemical Elements

R. A. ALPHER\*

Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University,  
Silver Spring, Maryland

AND

H. BETHE

Cornell University, Ithaca, New York

AND

G. GAMOW

The George Washington University, Washington, D. C.

February 18, 1948

AS pointed out by one of us,<sup>1</sup> various nuclear species must have originated not as the result of an equilibrium corresponding to a certain temperature and density, but rather as a consequence of a continuous building-up process arrested by a rapid expansion and cooling of the primordial matter. According to this picture, we must imagine the early stage of matter as a highly compressed neutron gas (overheated neutral nuclear fluid) which started decaying into protons and electrons when the gas pressure fell down as the result of universal expansion. The radiative capture of the still remaining neutrons by the newly formed protons must have led first to the formation of deuterium nuclei, and the subsequent neutron captures resulted in the building up of heavier and heavier nuclei. It must be remembered that, due to the comparatively short time allowed for this process,<sup>1</sup> the building up of heavier nuclei must have proceeded just above the upper fringe of the stable elements (short-lived Fermi elements), and the present frequency distribution of various atomic species was attained only somewhat later as the result of adjustment of their electric charges by  $\beta$ -decay.

To « $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  paper»



**Ralph Alpher (1921-2007)**



**George Gamow (1904-1968)**



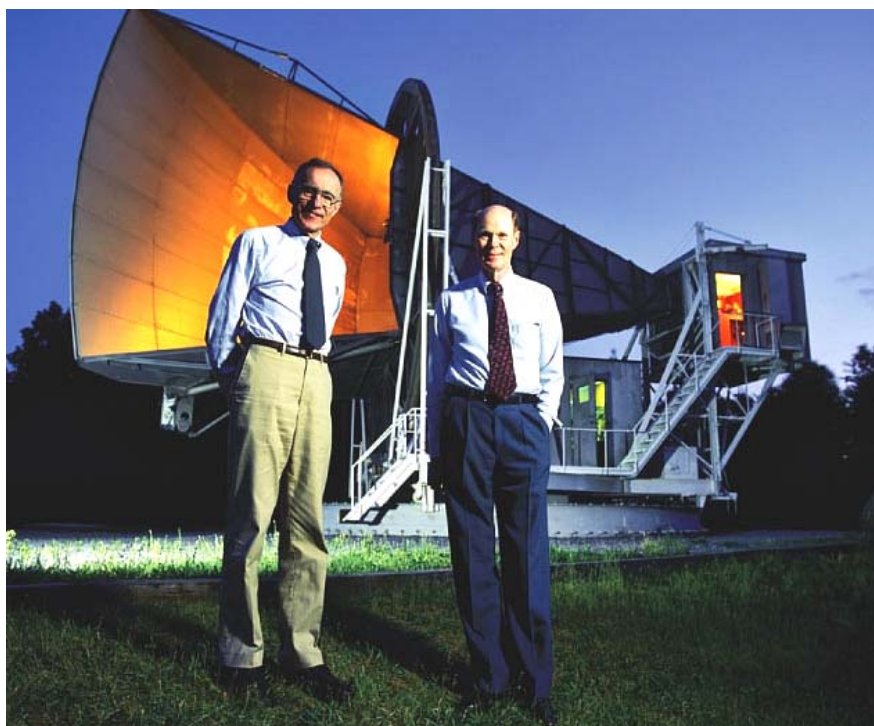
**Fred Hoyle (1915-2001)**

τρόπο δημιουργίας των ακόμη βαρύτερων στοιχείων στα πρώτα δευτερόλεπτα της δημιουργίας. Συντήξεις σε ένα περιβάλλον στο οποίο η θερμοκρασία έπεφτε, δεν ήταν δυνατόν να συνεχιστούν, πολλώ δε μάλλον επειδή τα ακόμη βαρύτερα στοιχεία αντιμετώπιζαν ακόμη μεγαλύτερο απωστικό φράγμα Coulomb. Το πρόβλημα της δημιουργίας των βαρύτερων στοιχείων θα λυνόταν αργότερα με την υπόθεση της αστρικής πυρηνοσύνθεσης, παραδόξως χάρη στη συμβολή του Fred Hoyle που υπήρξε ο κυριότερος ίσως αντίπαλος της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης (το τραγελαφικό είναι ότι χωρίς να το θέλει έγινε και «νονός» της, αφού αυτός την ονόμασε περιφρονητικά «Big Bang», ονομασία όμως που επικράτησε τελικά).

Ο Alpher έστρεψε την προσοχή του τότε στα επόμενα στάδια εξέλιξης αυτού του εκρηκτικού Σύμπαντος και σε συνεργασία με έναν ακόμη νέο φυσικό, τον Herman, οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η σούπα πρωτονίων, πυρήνων He και ηλεκτρονίων (κατάσταση που ονομάζεται πλάσμα), θα έπρεπε κάποια στιγμή που η θερμοκρασία θα έπεφτε αρκετά χαμηλά, να επιτρέψει τη δημιουργία ατόμων ηλίου και υδρογόνου. Στην κατάσταση πλάσματος, τα φωτόνια σκεδάζονται συνεχώς πάνω στα φορτισμένα σωματίδια και αλλάζουν συνεχώς διεύθυνση και ενέργεια. Μόλις όμως η κατάσταση του πλάσματος δώσει τη θέση της σε ατομικές καταστάσεις, οι σκεδάσεις δεν έχουν πλέον σημαντική πιθανότητα να λάβουν χώρα και το φως μπορεί να διαδίδεται σχεδόν ελεύθερα. Οι ατομικές καταστάσεις χαρακτηρίζονται από κβαντικές στάθμες ενέργειας, οπότε αν ένα φωτόνιο έχει π.χ. ενέργεια λίγα eV, απλώς δεν μπορεί να απορροφηθεί από τα άτομα του υδρογόνου. Θα πρέπει να έχει ενέργεια τουλάχιστον 13,6 eV για να αλληλεπιδράσει και ιονίσει το άτομο. Το αποτέλεσμα είναι ότι κατά τη φάση αυτή της σύνδεσης ηλεκτρονίων στους πυρήνες (που μυστηριωδώς ονόμασαν «επανασύνδεση» (recombination) λες και ήταν και πριν συνδεδεμένα), το Σύμπαν γίνεται για πρώτη φορά διαφανές στο φως.

Οι Alpher, Herman και Gamow υπολόγισαν ότι η μετάβαση στη φάση αυτή γίνεται όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 3000 βαθμούς Κέλβιν. Στη συνέχεια εκτίμησαν ότι η ακτινοβολία από την εποχή εκείνη, διαδιδόμενη ελεύθερα πλέον στο διαστελλόμενο Σύμπαν, θα αύξανε αντίστοιχα το μήκος κύματός της (υπολόγισαν έναν παράγοντα 1000 περίπου) και θα έφτανε στην εποχή μας να έχει μια θερμοκρασία κοντά στους 5 βαθμούς Κέλβιν. Η σημασία αυτής της ερευνητικής εργασίας ήταν σίγουρα πολύ μεγάλη, έχοντας και ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα εν σχέσει με το α-β-γ paper, το οποίο απλώς υπολόγιζε θεωρητικά το ποσοστό ηλίου στο Σύμπαν, που ήταν ήδη γνωστό πειραματικά. Η υπόθεση όμως μιας μικροκυματικής ακτινοβολίας που διαπερνά όλο το Σύμπαν, με θερμοκρασία κάτω από 5 K, ήταν μια καθαρή θεωρητική πρόβλεψη, για την οποία δεν υπήρχε καμία πειραματική γνώση. Τυχόν πειραματική επιβεβαίωση της πρόβλεψης αυτής θα ενίσχυε πανηγυρικά το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης, που εκείνη την εποχή δεν συγκέντρωνε και πολλές προτιμήσεις από την επιστημονική κοινότητα. Δυστυχώς, στάθηκε αδύνατον για την ομάδα του Gamow να πείσει την επιστημονική κοινότητα για την αξία αυτού του επιστημονικού επιτεύγματος, που ολοκληρώθηκε ελάχιστα μετά το α-β-γ paper. Προσπάθησαν επί πέντε σχεδόν χρόνια να προκαλέσουν το ενδιαφέρον άλλων επιστημόνων και το 1953 έκαναν την τελευταία τους δημοσίευση. Δεν βρήκαν καμία ανταπόκριση. Ο Alpher τα παράτησε και πήγε στη βιομηχανία, όπως και ο Herman. Ο Gamow άλλαξε επιστημονικά ενδιαφέροντα.

Πολλά χρόνια αργότερα, όταν αυτή η εργασία είχε ξεχαστεί επιστημονικά, η ομάδα του Dicke και του Peebles έκανε τις ίδιες θεωρητικές προβλέψεις και έψαχνε τρόπο πειραματικών μετρήσεων. Το ίδιο διάστημα όμως τις μετρήσεις αυτές είχαν κάνει με εντελώς άσχετους τεχνικούς στόχους οι Penzias και Wilson και είχαν ανακαλύψει μια μικροκυματική ακτινοβολία στα 2,7 K που φαινόταν να έρχεται



**Οι Wilson (δεξιά) και Penzias (αριστερά), με την ιστορική αντένα τους ανίχνευσης μικροκυμάτων.**

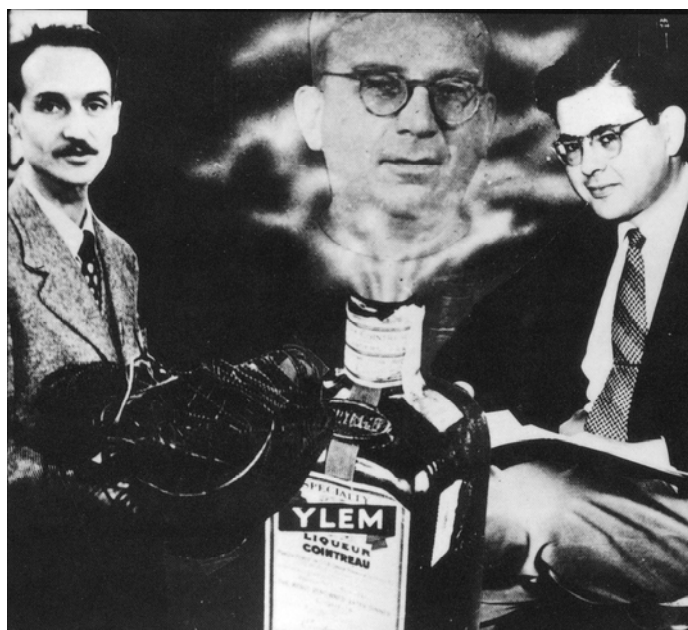
από παντού. Τους ήταν αδύνατον να την εξηγήσουν, μέχρι που πληροφορήθηκαν για την εργασία των Dicke και Peebles και κατάλαβαν πως αυτό που βρήκαν δεν ήταν κάποιος άσχετος θόρυβος, αλλά η Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων Υποβάθρου (KAMY). Το τραγικό είναι που ουδείς απέδωσε τιμή σε αυτούς που είχαν προβλέψει πρώτοι και πολύ νωρίτερα μάλιστα την KAMY. Όλοι συνέδεαν την ανακάλυψη με τις προβλέψεις των Dicke και Peebles και κανείς δεν ανέφερε ότι η πρώτη πρόβλεψη έγινε από τους Alpher, Herman και Gamow. Οι Penzias και Wilson πήραν βραβείο Nobel το 1978, από μισό με τον σπουδαίο ρώσο φυσικό Pyotr Kapitza, ενώ μάλλον θα έπρεπε να το μοιραστούν με την ομάδα του Gamow. Ο Kapitza θα μπορούσε να το πάρει ίσως την επόμενη χρονιά.

Κάποια στιγμή βέβαια η επιστημονική κοινότητα αντιλήφθηκε ότι αυτή η σπουδαιότατη για την Κοσμολογία επιστημονική πρόβλεψη της KAMY είχε γίνει από τους Alpher, Gamow και Herman, σχεδόν 15 χρόνια πριν την προβλέψουν οι Dicke και Peebles και 17 χρόνια πριν επιβεβαιωθεί πειραματικά από τους Penzias και Wilson. Ο Arno Penzias αναφέρθηκε σε αυτό, αναγνωρίζοντας την τόσο πρώιμη πρόβλεψη της KAMY από την ομάδα του Gamow, κατά την τελετή απονομής του Nobel.

Λίγοι είναι αυτοί που θα άξιζαν περισσότερο από τον Ralph Alpher το βραβείο Nobel για τη θεμελίωση της σύγχρονης κοσμολογίας και μαζί με αυτόν οι Gamow και Herman και επίσης για τη δική του συμβολή ο Hoyle. Δεν το πήρε όμως κανείς τους. Ο Gamow ήταν πολύ πλακατζής, και παρότι σπουδαίος φυσικός δεν ήταν καθόλου σοβαροφανής, με συνέπεια να μην τον παίρνουν πάντοτε στα σοβαρά, γεγονός που είχε αντίκτυπο και στους συνεργά-

τες του και βέβαια και στον Alpher. Ο Hoyle πάλι είχε ψέξει έντονα την επιτροπή του βραβείου Nobel επειδή δεν έδωσε το βραβείο και στην Jocelyn Bell η οποία ουσιαστικά ήταν αυτή που ανακάλυψε τον πρώτο pulsar, αλλά μόνο στον καθηγητή της Antony Hewish (μαζί με τον Martin Ryle). Ίσως όλα αυτά να έπαιξαν το ρόλο τους στην μη επιλογή τους για το βραβείο.

Το βέβαιο είναι πως και οι τρεις τους, Alpher, Gamow και Hoyle (και θα έλεγα και ο Herman), άξιζαν με το παραπάνω το βραβείο Nobel...



**Herman, Gamow και Alpher, σε μια φωτογραφική σύνθεση του Gamow, όπου το πρόσωπό του φαίνεται να βγαίνει από τη φιάλη με το YLEM (έτσι ονόμαζαν μεταξύ τους χιουμοριστικά την πρωτογενή ύλη του Σύμπαντος).**

### Επιστήμη και σύγχρονη κοινωνία:

### από τα κοινωνικά δίκτυα στην ψευδοεπιστήμη



**Δάφνη Παρλιάρη**  
Υποψ. Διδάκτορας  
Τμήματος Φυσικής

**Έ**χω έναν αδερφό που, για χάρη του άρθρου, θα τον ονομάσουμε Δημήτρη (εξάλλου έτσι τον λένε). Ο Δημήτρης ασχολείται με τα social media πολύ περισσότερο απ' ό,τι εγώ, καθόσον είναι marketer, και πολλές φορές μου εξηγεί διάφορα, μου δίνει συμβουλές ή με μαλώνει που δε συμβαδίζω περισσότερο με τη σύγχρονη τεχνολογία. Τώρα τελευταία είχα παρατηρήσει ότι κυκλοφορούσε με το κινητό στο χέρι πιο πολλή ώρα από το συνηθισμένο και παρακολουθούσε προσηλωμένος διάφορα βίντεο. Αποφάσισα να δώσω προσοχή σε αυτό που άκουγε όταν ένα βράδυ αποκοιμήθηκε ακούγοντας μία τέτοια μετάδοση. Αυτό που έβλεπε ήταν ένα βίντεο στο Youtube με τίτλο «Ψυχασθένεια και Μεγαλοφυΐα» ενός τύπου ονόματι «The Skeptic Theory». Αποφάσισα να δω ιδίως όμματα περί τίνος πρόκειται και το ξημέρωμα με βρήκε έχοντας παρακολουθήσει και τα 20 βίντεο του συγκεκριμένου καναλιού.

Αποδεικνύεται έντονη η τάση στο ελληνικό Youtube να δημιουργούνται κανάλια με αντικείμενο την εκλαϊκευμένη επιστήμη και την ενασχόληση με επιστημονικά θέματα, με τρόπο προσιτό και φιλικό στο μέσο πολίτη ο οποίος δεν έχει απαραίτητα εξειδικευμένες γνώσεις. Από τον Ισαάκ Ασίμοφ μέχρι τον Καρλ Σάγκαν και τον Στίβεν Χώκινγκ, η εκλαϊκευση της επιστήμης στοχεύει στη γεφύρωση της ερευνητικής βιβλιογραφίας και της επιθυμίας ενός κομματιού του ευρέος κοινού να ασχοληθεί και να κατανοήσει δυσνόητα επιστημονικά ζητήματα, σε γλώσσα απλή και ευχάριστη. Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας, γίνεται πλέον συστηματική χρήση σύγχρονων εργαλείων με τα οποία ο μέσος πολίτης έχει μεγάλη εξοικείωση, όπως τα social media.

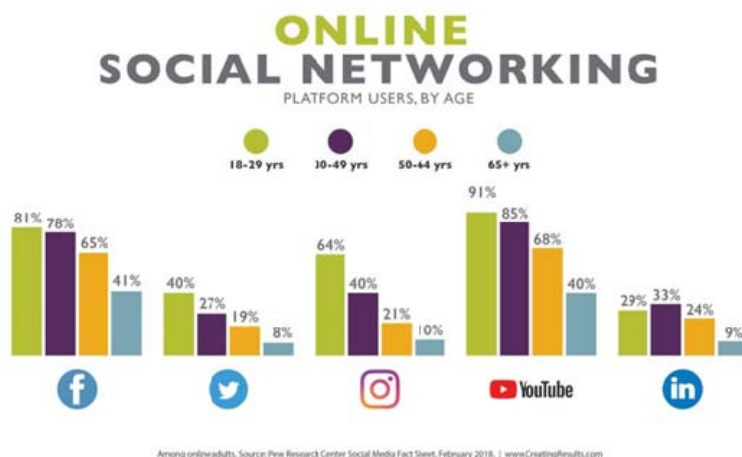
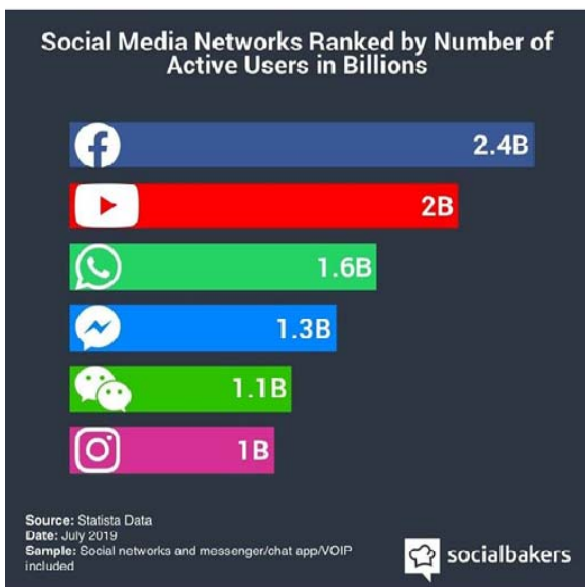
Σε μια εποχή λοιπόν που παρατηρείται έντονος σκεπτικισμός για την επιστήμη (βλέπε κοινωνία της επίπεδης Γης ή αντι-εμβολιαστικό κίνημα), αποκτά περισσότερη βαρύτητα η τροποποίηση της αυστηρής και τεχνικής γλώσσας της επιστήμης με στόχο το μήνυμα να φτάσει σε ακροατήριο με μικρό ή κανένα υπόβαθρο. Ο τρόπος που θα επιτευχθεί αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία καθώς θα πρέπει να διατηρηθούν λεπτές ισορροπίες: αφενός να μην αλλοιωθεί η ουσία της έννοιας η οποία επιχειρείται να απλουστευθεί και αφετέρου ο αιχμαλωτισμός της

προσοχής του απλού ακροατή, ο οποίος ενδιαφέρεται να διευρύνει τις γνώσεις του, αλλά δίνει και μεγάλη σημασία στο μοντέρνο χιουμοριστικό λόγο, στις αναφορές στην επικαιρότητα και στη χρήση παραδειγμάτων από την κοινή εμπειρία.

Ψάχνοντας στο Ίντερνετ ανακάλυψα ότι στις 19 και 20 Σεπτεμβρίου 2019 είχε διοργανωθεί το **1<sup>ο</sup> Sci-Talks Convention** στην Αθήνα, με τη συμμετοχή δέκα γνωστών Ελλήνων YouTubers (Astronio, Απλά η Φυσική, Καθημερινή Φυσική, The Mad Scientist, The Skeptic Theory, Science Behind Music, Smart Chemistry, Biotech Guy, Mikeius, Tech to me about it). Το ότι το συνέδριο πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα ενός φορέα με ιδιαίτερη βαρύτητα, όπως είναι το Ίδρυμα Ευγενίδου, καταδεικνύει τη σημασία που αποδίδεται πλέον στην επικοινωνία της επιστήμης μέσω σύγχρονων μεθόδων προσέγγισης του κοινού. Στόχος της διοργάνωσης ήταν να φέρει κοντά τους ανθρώπους που ενδιαφέρονται για την επιστήμη και να δώσει το έναυσμα σε έναν ευχάριστο και ζωντανό διάλογο, επιβεβαιώνοντας ότι η επιστήμη μπορεί να εκλαϊκευτεί και να φτάσει κοντά σε όλους με τρόπο ευχάριστο και διασκεδαστικό.

Το εγχείρημα δεν είναι καθόλου εύκολο και χρειάζεται ιδιαίτερη μαεστρία στο χειρισμό του, επομένως μου γεννήθηκε η απορία: για ποιο λόγο ένα άτομο που προέρχεται τις περισσότερες φορές από τον ακαδημαϊκό χώρο, να αφιερώσει τόσο χρόνο και κόπο ώστε να καταστήσει την επιστήμη προσιτή και προσβάσιμη στον απλό κόσμο;





Σύμφωνα με το χαιρετισμό που απηύθυνε ο ... Astronio (κατά κόσμον Παύλος Καστανάς) στην έναρξη του συνεδρίου, «...πρόκειται για μια παρέα που αγαπάμε πολύ την επιστήμη αλλά έχουμε και την εξής ιδιοτροπία: θέλουμε να κάνουμε και τους άλλους ανθρώπους να την αγαπήσουν όπως κι εμείς».

Μου φάνηκε πολύ φιλόδοξη προσπάθεια με άκρως ρομαντικά κίνητρα και αποφάσισα να το ψάξω λίγο παραπάνω. Εντόπισα αρχικά τον ένα από τους δέκα συμμετέχοντες που είναι γεωγραφικά πιο κοντά σε εμένα: τον Άκη Αποστολίδη —τον περιβόητο The Skeptic Theory— που είχε την ευγένεια να με διαφωτίσει επί του θέματος (αφού ξεκαθαρίσαμε πρώτα ότι: «όχι, δεν θέλω αυτόγραφο!»).

«Ζούμε στο 2019. Έχουμε ταξιδέψει στο φεγγάρι, μελετούμε τον υποατομικό κόσμο και γενικώς τα επιτεύγματα της επιστήμης αυξάνονται με εκθετικούς ρυθμούς. Θεωρώ αδιανόητο το ίδιο το εκπαιδευτικό σύστημα να βάζει τρικλοποδιές στη νοητική εξέλιξη των νέων ανθρώπων. Δεν υπάρχει κανένα μάθημα που να επικεντρώνεται στην όξυνση της κριτικής σκέψης, ούτε κάποιο που να ασχολείται με τη συναισθηματική μας νοημοσύνη. Η προσπάθειά μας στο YouTube είναι απλώς μια πινελιά για να καλύψουμε αυτά τα τεράστια κενά του εκπαιδευτικού συστήματος.»

Σε ένα κόσμο που κυριαρχεί το GNTM, το Power of Love και οι Trappers με το περιορισμένο λεξιλόγιο, πώς είναι δυνατόν αυτό το νέο επιστημονικό / ορθολογικό ρεύμα στο YouTube να έχει την οποιαδήποτε επιτυχία; Ο Άκης ήταν αρκετά αισιόδοξος:

«Το μεγαλύτερο μέρος του κοινού μας είναι νέα παιδιά, τα περισσότερα στο ηλικιακό εύρος 15 - 25 ετών. Το δικό μου κανάλι προσελκύει και λίγο μεγαλύτερες ηλικίες καθώς καταπιάνομαι με πιο δύσκολα θέματα. Αυτό που έχω καταλάβει είναι ότι τα παιδιά θέλουν να μάθουν, απλά δεν βρίσκουν το ερέθισμα και τον τρόπο. Είναι λάθος να υποτιμούμε αυτές τις ηλικίες λέγοντας ότι «ασχολούνται όλη μέρα με το Instagram και έχουν αποχαυνωθεί». Θεωρώ τις νέες γενιές πολύ πιο

έξυπνες από τις δικές μας. Η τεχνολογία έχει παίξει μεγάλο ρόλο σε αυτό και πιο συγκεκριμένα η πρόσβαση στην πληροφορία, μέσω του internet και του smart-phone. Ως δημιουργός περιεχομένου προσπαθώ να δώσω τα κατάλληλα εργαλεία στους ανθρώπους για να σκέφτονται σωστά. Με άλλα λόγια, να βοηθήσω στη δομημένη σκέψη των ανθρώπων.»

Είναι γεγονός ότι τα social media κυριαρχούν στην επαγγελματική, κοινωνική και προσωπική μας ζωή. Άλλωστε οι αριθμοί μιλούν από μόνοι τους:

1. Καταγράφονται 3.2 δισεκατομμύρια χρήστες κοινωνικών δικτύων παγκοσμίως.
2. Το Facebook είναι η πιο διάσημη κοινωνική πλατφόρμα.
3. 500 εκατομμύρια Instagram stories ανεβαίνουν καθημερινά σε παγκόσμια βάση.
4. 90.4% των Millennials, 77.5% της Generation X and 48.2% των Baby Boomers είναι ενεργοί χρήστες κοινωνικών δικτύων.
5. Οι χρήστες περνούν κατά μέσο όρο 2 ώρες και 22 λεπτά τη μέρα στα κοινωνικά δίκτυα και την αποστολή μηνυμάτων.

Ωστόσο ο Astronio δίνει μια διαφορετική προσέγγιση στο ζήτημα:

«Όσο κι αν χαιρόμαι βλέποντας τα νούμερα των συνδρομητών και των σχολιαστών να αυξάνονται, το δίκτυο εξακολουθεί να είναι κάπως απρόσωπο και πάντα κάτι μου λείπει σε αυτή τη διαδικασία. Για αυτό οι εκδηλώσεις όπου τους γνωρίζουμε από κοντά και μιλάμε μαζί τους πιο ανθρώπινα, έχουν ιδιαίτερη αξία για εμένα. Αυτομάτως η επικοινωνία γίνεται πιο αληθινή, τα ψευδώνυμα μετατρέπονται σε πρόσωπα, χαμόγελα, συγκινητικά λόγια και αγκαλιές. Είναι ένας από τους λόγους που επιθυμώ να κάνουμε συχνά εκδηλώσεις όπως το 1<sup>ο</sup> SciTalks Convention.»

Στο ίδιο κλίμα κινείται και η άποψη του Mikeius (του γνωστού Mikeius του ΜΠΡΑΦ):

«Το πιο βασικό μέρος της πνευματικής καλλιέργειας του ανθρώπου, είναι να συναντιέσαι με άλλους ανθρώ-

πους οι οποίοι να σου λένε πόσο άδικο έχεις. Γι' αυτό πας πανεπιστήμιο, γι' αυτό οι εργασίες δημοσιεύονται σε περιοδικά, γι' αυτό γίνονται επιστημονικά συνέδρια. Και σε τελική ανάλυση; Γι' αυτό τα αεροπλάνα πετάνε και τα σκουπόξυλα δεν πετάνε.»

Πρωτοβουλίες όπως το SciTalks Convention γίνονται ακόμα πιο σημαντικές σε μια εποχή που ο κόσμος στρέφεται σε εναλλακτικούς/new age τρόπους αντιμετώπισης ασθενειών και παράλληλα αμφισβητεί οτιδήποτε παραδοσιακά επιστημονικό και καθιερωμένο. Και μπορεί να μην είναι απαραίτητα επιβλαβής η αναζήτηση διαφορετικών μεθόδων ανακούφισης και θεραπείας (άλλωστε η αμφισβήτηση και η έρευνα είναι βασικοί πυλώνες σε κάθε επιστήμη), ωστόσο προκαλεί προβληματισμό όταν συνοδεύεται από πεποιθήσεις που είναι επιζήμιες για το σύνολο της κοινωνίας.

Ο ίδιος ο Πρόεδρος των ΗΠΑ, Donald Trump, στις αρχές Νοεμβρίου 2019, ανακοίνωσε την επίσημη έναρξη εργασιών αποχώρησης της χώρας του από το Σύμφωνο του Παρισιού για την Κλιματική Αλλαγή. Είναι ενδεικτικό της σύγχυσης που επικρατεί σε παγκόσμιο επίπεδο, το γεγονός ότι ο αρχηγός του ισχυρότερου κράτους στον κόσμο θεωρεί την κλιματική αλλαγή κατασκευάσμα των Κινέζων ώστε να υπονομευθεί η αμερικάνικη οικονομία (Tweet 6 Νοεμβρίου 2012). Υπό αυτό το πρίσμα φαντάζει σχεδόν ως λογικό επακόλουθο η δημιουργία ομάδων που κυριαρχούνται από ψευδο-επιστημονικές και ημιμαθείς αντιλήψεις με ελάχιστη ή και καθόλου επιστημονική βάση. Και μπορεί κάποιος να αντιλέγει ότι είναι προσωπικό δικαίωμα του καθενός να αγοράζει χυμούς που αποτοξινώνουν το σώμα ή να πιστεύει στην αέναη κίνηση με την ηλεκτρόλυση του νερού, ωστόσο τι συμβαίνει όταν τέτοιες αβάσιμες δοξασίες επηρεάζουν και τους γύρω μας; Για παράδειγμα, αποτελεί δικαίωμα ενός γονιού να μην εμβολιάσει το παιδί του ή δικαίωμα του παιδιού να απολαμβάνει τα οφέλη της σύγχρονης ιατρικής; Πέρα από την ηθική παράμετρο του ζητήματος, μπορούν οι ψευδοεπιστήμες να προκαλέσουν πραγματική βλάβη;

Ο Mad Scientist (AKA Στάμος Αρχοντής) είναι προβληματισμένος:

«Ακόμα και αν μια δεδομένη ψευδοεπιστημονική ιδέα, όπως για παράδειγμα η πεποίθηση ότι η Γη είναι επίπεδη, δεν μπορεί να προκαλέσει άμεσα ζημιά σε κάποιον, η καλλιέργεια του επιστημονικού αναλφαθητισμού που συνοδεύει αυτή τη θέση δημιουργεί πρόσφορο έδαφος για την υιοθέτηση περισσότερων ψευδοεπιστημονικών απόψεων, όπως για παράδειγμα ο αντιεμβολιασμός. Εν ολίγοις, όσο λιγότερο πιέζουμε τον εαυτό μας να ελέγχει την ακρίβεια των πεποιθήσεών μας, τόσο δημιουργούμε τις συνθήκες για να πέσουμε θύμα κάποιας, δυνητικά επικίνδυνης, ψευδοεπιστημονικής ιδέας.»

Άλλωστε είναι συχνή η παγίδα να επιλέγουμε να κρατήσουμε τα επιχειρήματα που υποστηρίζουν την ήδη διαμορφωμένη μας άποψη και να αγνοούμε τις ενδείξεις για το αντίθετο. Όπως μου εξήγησε ο καινούριος μου φίλος Άκης αυτό ονομάζεται προκατάληψη της επιβεβαίωσης (confirmation bias) και είναι η άμυνα του εγκεφάλου μας σε οποιαδήποτε μεταβολή των πεποιθήσεών του. Ίσως λοιπόν ο προσωπικός μας αγώνας να είναι η αντίστασή μας σε αυτή την αδράνεια του ανθρώπινου εγκεφάλου, ώστε να βελτιωθούμε τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο.

Και με αυτή τη φιλοσοφική χροιά τέλειωσε η κουβέντα με τον Άκη. Αυτός έπρεπε να ετοιμάσει το καινούριο του επεισόδιο κι εγώ να στρωθώ στο δικό μου γράψιμο. Για να μην τον στεναχωρήσω, πήρα κι ένα αυτόγραφο...

**\* Ευχαριστώ τον Άκη Αποστολίδη για την προσωπική επαφή και τον Mikeius, τον Astronio και τον Mad Scientist για το σχολιασμό.**

#### Πηγές:

- [www.socialmediatoday.com/](http://www.socialmediatoday.com/)
- [www.oberlo.com/blog/social-media-marketing-statistics](http://www.oberlo.com/blog/social-media-marketing-statistics)
- [www.eef.edu.gr/](http://www.eef.edu.gr/)



#### YouTube creators:

- Astronio
- Απλά η Φυσική
- Καθημερινή Φυσική
- The Mad Scientist
- The Skeptic Theory
- Science Behind Music
- Smart Chemistry
- Biotech Guy
- Mikeius
- Tech to me about it



## Θερμοηλεκτρικά φαινόμενα: μετατρέποντας τη θερμότητα σε ηλεκτρισμό



**Μάριος Σαμάνης**  
Φοιτητής  
Τμήματος Φυσικής

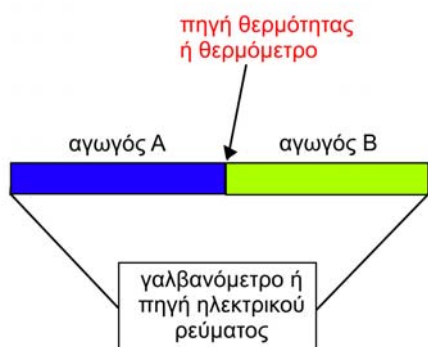
Ο όρος **θερμοηλεκτρισμός** αναφέρεται στη σχέση μεταξύ ηλεκτρισμού και θερμότητας. Βασίζεται σε τρία φαινόμενα, το **φαινόμενο Seebeck**, το **φαινόμενο Peltier** και το **φαινόμενο Thomson**. Το πρώτο από τα θερμοηλεκτρικά φαινόμενα ανακαλύφθηκε το 1821 από τον T. J. Seebeck. Ο Seebeck έδειξε ότι διαφορά δυναμικού μπορεί να παραχθεί θερμαίνοντας την ένωση δύο διαφορετικών ηλεκτρικών αγωγών. Το φαινόμενο Seebeck μπορεί να εμφανιστεί με τη σύνδεση διαφορετικών μετάλλων (π.χ. χαλκού και σιδήρου) συνδέοντας ταυτόχρονα τη μία άκρη της ένωσης με ένα γαλβανόμετρο ή ένα βολτόμετρο. Με την εφαρμογή θερμότητας, παρατηρήθηκε παραγωγή μικρής τάσης στους δείκτες των οργάνων. Ένα τέτοιο θερμοζεύγος φαίνεται στο Σχ. 1. Διαπιστώνεται επίσης ότι το μέγεθος της θερμοηλεκτρικής τάσης που παράγεται είναι ανάλογο της διαφοράς θερμοκρασίας στην ένωση του θερμοστοιχείου και εκείνης στην σύνδεση του μετρητή.

Δεκατρία χρόνια μετά την ανακάλυψη του Seebeck, ο J. Peltier, ένας Γάλλος ωρολογοποιός, παρατήρησε το δεύτερο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Διαπίστωσε ότι η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ενός θερμοστοιχείου παράγει μικρή θερμότητα ή ψύξη ανάλογα με την κατεύθυνσή του. Με τη χρήση της διάταξης του Σχ. 1, μπορεί να αποδειχτεί το φαινόμενο Peltier αν αντικατασταθεί το γαλβανόμετρο με σταθερή πηγή ρεύματος και με την τοποθέτηση ενός θερμομέτρου στην ένωση του θερμοστοιχείου.

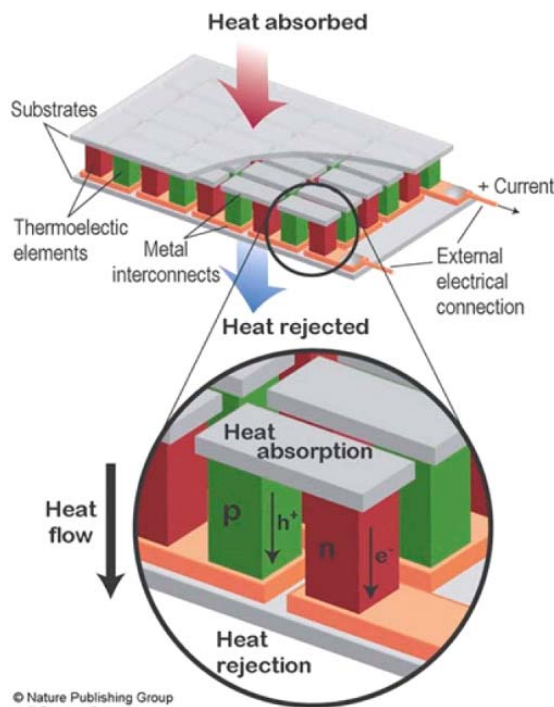
Δεν ήταν εξαρχής κατανοητό ότι τα δύο φαινό-

μενα εξαρτώνται το ένα από το άλλο. Ωστόσο αυτή η αλληλεξάρτηση εντοπίστηκε από τον W. Thomson, μετέπειτα λόρδο Kelvin, το 1855. Εφαρμόζοντας τη θεωρία της θερμοδυναμικής στο πρόβλημα, στάθηκε ικανός να δημιουργήσει μια σχέση μεταξύ των συντελεστών που περιγράφουν τα φαινόμενα Seebeck και Peltier. Η θεωρία του έδειξε ακόμη την ύπαρξη ενός τρίτου θερμοηλεκτρικού φαινομένου, που υπάρχει σε έναν ομοιογενή αγωγό. Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως φαινόμενο Thomson, συνίσταται από αναστρέψιμη θέρμανση ή ψύξη όταν υπάρχει τόσο ροή ηλεκτρικού ρεύματος όσο και διαφορά θερμοκρασίας.

Σήμερα γνωρίζουμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται μέσα σε έναν αγωγό με την βοήθεια των ηλεκτρονίων τα οποία καταλαμβάνουν διαφορετικές ενεργειακές στάθμες σε διαφορετικά υλικά. Όταν το ρεύμα περνάει από ένα υλικό σε ένα άλλο, η ενέργεια που μεταφέρεται από τα ηλεκτρόνια μεταβάλλεται και η διαφορά αυτή εμφανίζεται ως



**Σχήμα 1:** Πειραματική διάταξη ανίχνευσης των φαινομένων Seebeck και Peltier.



**Σχήμα 2:** Διάταξη θερμοηλεκτρικού στοιχείου. Φαίνονται τα θερμοζεύγη, οι μεταλλικές συνδέσεις και οι κεραμικές πλάκες.

θερμότητα ή ψύξη στην ένωση των δύο υλικών· αυτό είναι το φαινόμενο Peltier. Παρομοίως όταν η ένωση θερμαίνεται, τα ηλεκτρόνια του υλικού με τη μικρότερη ενέργεια περνάνε σε αυτό του οποίου τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση προκαλώντας έτσι την εμφάνιση ηλεκτρικής διαφοράς δυναμικού.

Ο Thomson έδειξε ότι ένα θερμοζεύγος είναι ένα είδος θερμικής μηχανής και ότι θεωρητικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μηχανή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από θερμότητα ή εναλλακτικά, σαν αντλία θερμότητας ή μηχανή ψύξης. Παρ' όλα αυτά, επειδή τα αναστρέψιμα θερμοηλεκτρικά αποτελέσματα συνοδεύονται πάντοτε από τα μη αναστρέψιμα φαινόμενα Joule και θερμικής αγωγιμότητας, η απόδοση των θερμοστοιχείων δεν ήταν ικανοποιητική.

Η απόδοση του θερμοζεύγους μελετήθηκε το 1911 από τον Altenkirch, ο οποίος κατάφερε να την αυξήσει με διάφορες τροποποιήσεις. Μόνο όμως την δεκαετία του 1950 με την εμφάνιση των ημιαγωγών ως θερμοηλεκτρικών υλικών μπόρεσαν να κατασκευαστούν ψυκτικές μηχανές με την χρήση του στοιχείου Peltier. Επίσης έγινε εφικτή η κατασκευή θερμοηλεκτρικής γεννήτριας με αρκετά μεγάλη απόδοση για ειδικές εφαρμογές. Τα τελευταία χρόνια, με την εξέλιξη της τεχνολογίας των υλικών παρατηρείται σε ερευνητικό επίπεδο ευρεία εφαρμογή των θερμοηλεκτρικών φαινομένων.

### Συντελεστές Seebeck και Peltier

Η ύπαρξη της διαφοράς θερμοκρασίας στην



Σχήμα 3: Εσωτερική διάταξη (πάνω) και πλάγια όψη (κάτω) θερμοηλεκτρικού στοιχείου.

ένωση των δύο υλικών οδηγεί στην ύπαρξη τάσης. Ειδικότερα, ισχύει η εξίσωση:

$$\alpha_{AB}=U/\Delta T$$

όπου  $\alpha_{AB}$  είναι η διαφορά του συντελεστή Seebeck των υλικών A και B, U είναι η τάση Seebeck και  $\Delta T$  η διαφορά θερμοκρασίας.

Το φαινόμενο Peltier συνήθως αποκαλείται αντίστροφο φαινόμενο Seebeck, αλλά στην πράξη είναι δύο διαφορετικά φαινόμενα. Ο συντελεστής Peltier του συνδυασμού των υλικών A/B ( $\Pi_{AB}$ ) δίνεται από την εξίσωση:

$$\Pi_{AB}=\Phi_{th}/I$$

όπου  $\Phi_{th}$  είναι ο ρυθμός ροής θερμότητας και I το εφαρμοζόμενο ρεύμα.

Στην περίπτωση των θερμοηλεκτρικών ψυκτών που χρησιμοποιούνται ως αντλίες θερμότητας ή ψυκτικές συσκευές, ο κρίσιμος παράγοντας είναι ο συντελεστής απόδοσης. Ο μέγιστος συντελεστής απόδοσης δίνεται από την εξίσωση:

$$\phi_{max} = \frac{T_{high} (\sqrt{1+ZT} - T_{low} / T_{high})}{(T_{low} - T_{high}) (\sqrt{1+ZT} + 1)}$$

όπου ZT είναι το θερμοηλεκτρικό «figure of merit» και δίνεται από την εξίσωση:

$$ZT=(\sigma a^2 T)/\lambda$$

όπου  $\sigma$  η ηλεκτρική αντίσταση και  $\lambda$  η θερμική αγωγιμότητα. Είναι προφανές από την εξίσωση ότι η απόδοση εξαρτάται από τα επίπεδα θερμοκρασίας και το ZT. Από την άλλη, το ZT εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού  $\alpha$ ,  $\sigma$  και  $\lambda$ . Συνεπώς οι ιδιότητες του θερμοηλεκτρικού υλικού είναι κρίσιμης σημασίας για την απόδοση του θερμοηλεκτρικού στοιχείου.

### Χαρακτηριστικά των θερμικών στοιχείων

Ένα θερμικό στοιχείο αποτελείται από 2 κεραμικές πλάκες και δύο καλώδια. Το βασικό υλικό για τη δημιουργία ενός τέτοιου στοιχείου είναι το τελλουριούχο βισμούθιο,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Το συγκεκριμένο υλικό για χρήση σε θερμοκρασίες 0-250 °C παρουσιάζει τιμή για το ZT περίπου 0.7. Πρόσφατες έρευνες με χρήση τελλουριούχου μολύβδου κατάφεραν να πετύχουν τιμή για το ZT περίπου ίση με 2.2 η οποία είναι και η υψηλότερη που έχει καταγραφεί.

Τα συγκεκριμένα θερμοηλεκτρικά στοιχεία του Σχ. 3 αποτελούνται από 127 θερμοζεύγη τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους όπως φαίνεται στο σχήμα.

Γενικώς τα θερμοηλεκτρικά στοιχεία διακρίνονται από τα 5 παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Κεραμικές πλάκες: Είναι ιδιαίτερα σημαντική η αντοχή της κεραμικής πλάκας στις υψηλές θερμοκρασίες λόγω της τάσης που εμφανίζεται στην επιφάνεια.
- Συγκόλληση: Επειδή το στοιχείο χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές σε θερμοκρασία δωματίου, η τυπική συγκόλληση που χρησιμοποιείται έχει σημείο τήξης στους 138 °C.
- Καλώδια: Τα καλώδια συνδέονται στη ψυχρή πλευρά του στοιχείου για να προστατεύονται από την αύξηση της θερμοκρασίας.
- Διαστάσεις θερμοηλεκτρικών ποδιών: Μεγαλύτερη διάσταση σημαίνει μεγαλύτερη ροή θερμότητας και συνεπώς μεγαλύτερη ισχύ στην έξοδο.
- Πάχος: Η ακρίβεια στο πάχος του θερμοηλεκτρικού στοιχείου είναι ένα ακόμα χαρακτηριστικό κι αυτό επειδή σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται πολλά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά και έτσι πρέπει να παρουσιάζουν ομοιο-

μορφία για να μην υπάρχει διαφορά στο αποτέλεσμα της εξόδου του ολοκληρωμένου συστήματος.

#### Πηγές

- H. J. Goldsmid, *Introduction to Thermoelectricity*. Springer Series in Materials Science (2010).
- E. Altenkirch, *Phys. Z.* 12, 920 (1911)
- M. Nesarajah & G. Frey, *Thermoelectric power generation: Peltier element versus thermoelectric generator*. IECON 2016 - 42<sup>nd</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (2016).
- V. A. Drebuschak, *The Peltier effect*. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 91, 311 (2007).
- D. Quick (September 20, 2012). "World's most efficient thermoelectric material developed". *Gizmag*.
- Αριάννη Γ. Κωνσταντοπούλου (2019). *Υπολογιστική μελέτη μικρο- και νανο- φωνονικών υλικών*.

## συνέβησαν στο τμήμα

## σεμινάριο του τμήματος

**Prof. Chen-Bin (Robin) Huang**



**Plasmonics: from ultrafast nonlinear optics to surface plasmon vortices and to the revelation of optical skyrmions**

Την εβδομάδα 14-20 Οκτωβρίου 2019 επισκέφτηκε το Τμήμα Φυσικής αντιπροσωπεία του Πανεπιστημίου Tsing Hua της Ταϊβάν προκειμένου να αναπτυχθούν συνεργασίες με μέλη του τμήματός μας. Το συγκεκριμένο πανεπιστήμιο βρίσκεται στον κατάλογο των πρώτων 200 του κόσμου, ενώ κατατάσσεται στα πρώτα 10 πανεπιστήμια του κόσμου με λιγότερους από 1000 καθηγητές. Την Τετάρτη 16 Οκτωβρίου ο Καθηγητής Chen-Bin (Robin) Huang του Ινστιτούτου Φωτονικών Τεχνολογιών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του συγκεκριμένου πανεπιστημίου, μίλησε στο σεμινάριο του τμήματος για υπερταχεία μη-γραμμικά οπτικά συστήματα, επιφανειακά πλασμόνια και οπτικά σκυρμιόνια. Ο ομιλητής παρουσίασε μια νέα μέθοδο παραγωγής δευτέρων αρμονικών συνδυάζοντας συμμετρικούς και αντισυμμετρικούς οπτικούς τρόπους, και όχι γεωμετρίες, που επιτρέπουν τη διάδοση φωτός δευτέρων αρμονικών από ένα πλήρως συμμετρικό νανο-κύκλωμα που έχει κατασκευαστεί από ένα κεντροσυμμετρικό υλικό. Οι οπτικές δίνες είναι κύματα που φέρουν τροχιακή στροφορμή και εμφανίζουν ελικοειδή μέτωπα φάσης. Η δημιουργία δεσμών φωτός που φέρουν τροχιακή στροφορμή έχει προκαλέσει έντονο ενδιαφέρον τόσο στο εγγύς όσο και στο μα-

κρινό πεδίο. Ο ομιλητής ανέπτυξε την πρόοδο της ερευνητικής του ομάδας αναφορικά με τη χρήση επιφανειακών πλασμονικών δινών για την επιλεκτική παγίδευση και περιστροφή σωματιδίων. Έπειτα εστιάστηκε στη δημιουργία επιφανειακών πλασμονικών δινών που διεγείρονται χωρίς στροφορμή. Τα σκυρμιόνια είναι σταθερά ημισωματίδια σε μαγνητικά υλικά με διακριτές τοπολογικές διαμορφώσεις του σπιν που ερευνώνται εδώ και μερικά χρόνια με τεχνικές μικροσκοπίας. Ο ομιλητής παρουσίασε την πρώτη πειραματική επίδειξη ενός σκυρμιονίου με σπιν ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια πλασμονικού αργύρου. Τα πεδία των πλασμονίων μελετώνται με συμβολομετρική μικροσκοπία φωτοηλεκτρονίων, με χρονική διακριτική ικανότητα, η οποία επιτρέπει την καταγραφή βίντεο των πλασμονικών πεδίων με χωρική διακριτική ικανότητα μικρότερη των 10 nm και χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών λήψεων μικρότερο των 10<sup>-16</sup> sec.

## κβαντική φυσική: τελικά παίζει η φύση ζάρια;



**Σωτήριος Πτέλης**  
Μεταπτυχιακός Φοιτητής  
Τμήματος Φυσικής

**Σ**την επικράτεια της κβαντικής κλίμακας εδράζεται ένα από τα μεγαλύτερα μυστήρια της επιστήμης μας. Σαν φοιτητές μαθαίνουμε να χειριζόμαστε τα εργαλεία της κβαντομηχανικής – κυματοσυναρτήσεις, τελεστές, πιθανότητες – και να λύνουμε προβλήματα στην κλίμακα του Planck. Αυτό στο οποίο δίνεται λιγότερο βάρος είναι η κατανόηση του *τι σημαίνει* αυτό που κάνουμε. Η αβεβαιότητα στην ερμηνεία της κβαντομηχανικής είναι ένα πολυσυζητημένο θέμα, με μυαλά όπως ο Einstein και ο Bohr στους προμαχώνες της διαφωνίας.

Ας αρχίσουμε όμως από την αρχή. Τι περιμένουμε να ερμηνεύσει μια εν λόγω ερμηνεία της κβαντομηχανικής και γιατί δε μπορεί η επιστημονική κοινότητα να καταλήξει σε κάποιο σίγουρο αποτέλεσμα; Αυτό είναι κάτι σπάνιο στη Φυσική. Ξέρουμε ότι ένα σώμα πέφτει προς τη Γη επειδή τα σώματα με μάζα έλκονται μεταξύ τους ή επειδή η μάζα παραμορφώνει το χωροχρόνο γύρω της. Μπορούμε να μελετήσουμε και πιο σύνθετες – και αμφιλεγόμενες – θεωρίες κβαντικής βαρύτητας, η καθεμιά με την ερμηνεία της. Οι θεωρίες είναι πολλές, αλλά η ερμηνεία της καθεμιάς, η απάντηση στο *γιατί* πέφτει το σώμα, είναι μία. Είναι αναπάντεχο λοιπόν για μια θεωρία τόσο καλά εδραιωμένη, επαληθευμένη και κομψή, να έχουμε αντικρουόμενες γνώμες και μεγάλα ερωτηματικά.

### Η πόλωση των φωτονίων

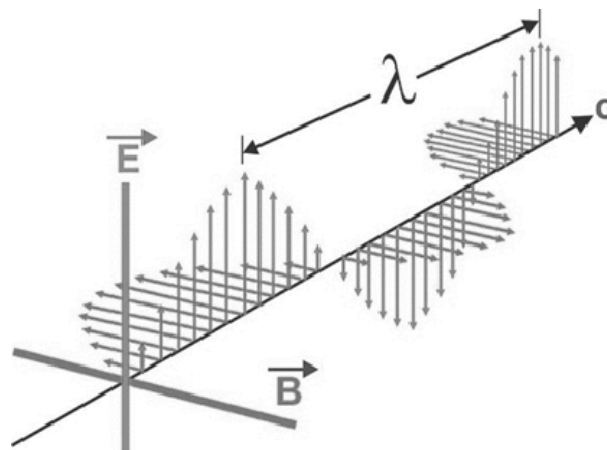
Μια παρουσίαση μερικών βασικών προβλημάτων της κβαντικής φυσικής μπορεί να γίνει μέσω πολωμένων φωτονίων. Θα συζητήσουμε λοιπόν, βραχέως, τι σημαίνει πόλωση ενός πεδίου και πως αυτή εκφράζεται στα φωτόνια. Ένας αναγνώστης που κατέχει τον ορισμό και τη σημασία της έννοιας της πόλωσης μπορεί να περάσει κατευθείαν στην επόμενη ενότητα, όπου θα αρχίσουμε και την επίμαχη συζήτηση.

Το φως, όπως ίσως ξέρει ένας επιστημονικά καταρτισμένος αναγνώστης, είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα ή αλλιώς μια διαδιδόμενη ταλάντωση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Χωρίς να μπορούμε σε λεπτομέρειες, θα αναφέρουμε ότι η ταλάντωση του ενός πεδίου γίνεται κάθετα στην ταλάντωση του άλλου και οι διευθύνσεις των δύο ταλαντώσε-

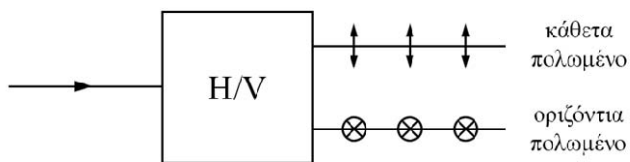
ων είναι κάθετες στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Σχ. 1). Σε πολλές περιπτώσεις αυτές οι ταλαντώσεις αλλάζουν διευθύνσεις εντελώς τυχαία και ταχύτητα, αλλά μπορεί να δημιουργηθεί φως, τα πεδία του οποίου ταλαντώνονται σε συγκεκριμένους άξονες. Αυτό το φως ονομάζεται πολωμένο και ο άξονας στον οποίο ταλαντώνεται το ηλεκτρικό του πεδίο ονομάζεται *διεύθυνση πόλωσης*.

Υπάρχουν συγκεκριμένα υλικά που χρησιμεύουν στην πόλωση μιας δέσμης φωτός. Ονομάζονται *πολωτές* και η εσωτερική τους δομή αναγκάζει το φως να πολωθεί σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση όταν περνά από μέσα τους. Έτσι θα δούμε το φως που διέρχεται από έναν πολωτή να είναι πολωμένο στην διεύθυνση που ορίζει ο πολωτής. Η ένταση της εξερχόμενης δέσμης εξαρτάται από την προηγούμενη κατάσταση πόλωσης της. Αν το φως ήταν ήδη πολωμένο στον ίδιο άξονα, θα περάσει χωρίς απώλειες. Αν ήταν πολωμένο κάθετα σε αυτόν τον άξονα, δε θα μπορούσε να περάσει, και αν ήταν πολωμένο σε κάποια άλλη γωνία ή δεν ήταν πολωμένο, θα περάσει από τον πολωτή ένα ποσοστό της αρχικής έντασης.

Τέλος, υπάρχουν υλικά όπως ο ασβεστίτης, που με παρόμοιες διεργασίες καταφέρνουν να αναλύσουν το φως σε δύο δέσμες κάθετα πολωμένες μεταξύ τους (Σχ. 2). Στο εξής θα εννοούμε τέτοια υλικά όποτε αναφερόμαστε σε πολωτές και θα τα αναπαριστούμε σαν κουτιά που αναγράφουν τις διευθύνσεις στις οποίες



**Σχήμα 1:** Η ταλάντωση του ηλεκτρικού (E) και του μαγνητικού (B) πεδίου κατά τη διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος.



**Σχήμα 2:** Ένας κρύσταλλος ασβεστίτη αποδομεί το φως σε δύο συνιστώσες κάθετα πολωμένες μεταξύ τους.

πολώνουν το εξερχόμενο φως. Για παράδειγμα, ένας πολωτής H/V πολώνει το φως στον οριζόντιο και τον κάθετο με το επίπεδο άξονα (Horizontal και Vertical αντίστοιχα) ενώ ένας πολωτής  $\pm 45^\circ$  πολώνει το φως σε γωνίες  $45^\circ$  και  $-45^\circ$  με τον ορίζοντα.

Αφού μιλήσαμε για το φως, ας περιοριστούμε στα φωτόνια. Έχει αποδειχθεί πως υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις το φως συμπεριφέρεται σαν μια ροή από μεμονωμένα σωματίδια αντί για ένα συνεχές κύμα. Αυτά τα σωματίδια τα ονομάζουμε φωτόνια και προσδίδουμε και σε αυτά την ιδιότητα της πόλωσης. Ένα φωτόνιο, λοιπόν, μπορεί να είναι πολωμένο σε κάποιον άξονα κάθετο στην πορεία του.

Στο Σχ. 3 βλέπουμε τη συμπεριφορά μιας δέσμης φωτός, ή αντίστοιχα μιας ροής φωτονίων, όταν περνάει από διαδοχικούς πολωτές. Ο πρώτος H/V πολωτής χωρίζει το φως σε δύο συνιστώσες πολωμένες οριζόντια και κάθετα. Αν μετά τοποθετηθούν περαιτέρω H/V πολωτές, θα εξακριβώσουν αυτή την πόλωση, ενώ αν τοποθετηθούν δύο πολωτές  $\pm 45^\circ$  θα αναλύσουν την κάθε δέσμη εκ νέου.

### Αβέβαιες προβλέψεις

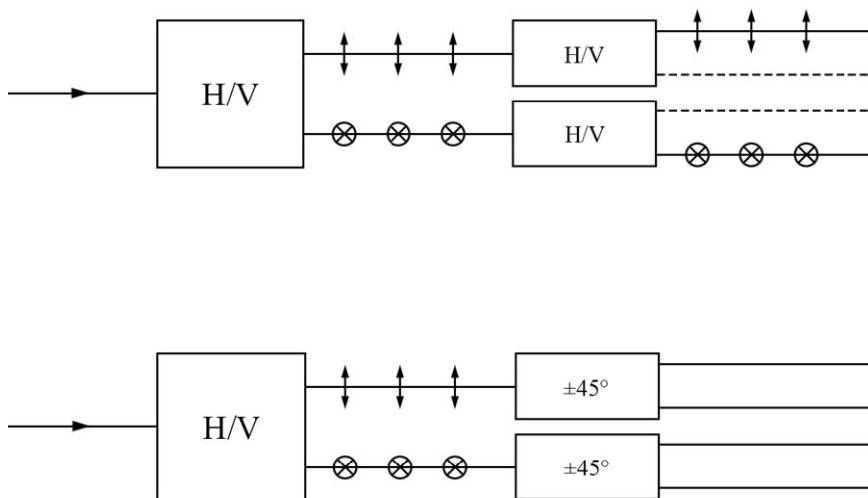
Εξοπλισμένοι με διατάξεις φωτονίων και πολωτών, ας μελετήσουμε το πρώτο νοηματικό πρόβλημα της Κβαντικής Φυσικής. Δε θα χρειαστούμε τίποτα παραπάνω από μια δέσμη πολωμένου φωτός και έναν πολωτή. Ας πούμε ότι η πόλωση του φωτός είναι στις  $45^\circ$  ενώ ο πολωτής είναι H/V. Ξέρουμε ότι αν ρίξουμε το φως στον πολωτή, αυτός θα αναλύσει σε δύο δέσμες και η ένταση της καθεμιάς (και άρα το πλήθος των φωτονίων της) θα εξαρτάται από την αρχική πόλωση του φωτός. Η ακριβής εξάρτηση δίνεται από το νόμο του Malus, αλλά δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Για φως πολωμένο στις  $45^\circ$ , περιμένουμε ο H/V πολωτής μας να το διαχωρίσει σε δύο δέσμες ίδιας έντασης, άρα να στείλει τα μισά φωτόνια σε κάθε δέσμη φωτός.

Ας ρίξουμε τώρα φως με αρκετά χαμηλή ένταση ώστε να μιλάμε για μεμο-

νωμένα φωτόνια σε κάθε αλληλεπίδραση. Αυτό είναι πειραματικά εφικτό και μάλιστα όχι ιδιαίτερα δύσκολο. Περιμένουμε λοιπόν τα μισά φωτόνια να ακολουθήσουν τη μία δέσμη και τα άλλα μισά την άλλη ή αλλιώς να πολωθούν τα μισά φωτόνια οριζόντια και τα άλλα μισά κάθετα. Τα φωτόνια όμως είναι πανομοιότυπα. Έτσι εισάγεται το πρώτο νοερό άλμα της κβαντομηχανικής και ίσως αυτό που μίσησε περισσότερο ο Einstein. Για ένα δεδομένο φωτόνιο, η τελική πόλωση του είναι εντελώς τυχαία και απρόβλεπτη! Συνολικά περιμένουμε το 50% των φωτονίων να πολωθούν σε κάθε άξονα, αλλά δεν υπάρχει κανένας τρόπος να προβλέψουμε προς τα πού θα πολωθεί το φωτόνιο που παρατηρούμε εκείνη τη στιγμή.

Ένα ακόμα πιο παράξενο πόρισμα θα εξαχθεί αν εισάγουμε έναν δεύτερο πολωτή στη διάταξη μας (Σχ. 4). Αυτός ο πολωτής είναι ίδιος με τον πρώτο, αλλά τον τοποθετούμε ανάποδα. Αυτό που συμβαίνει στη δέσμη φωτός μας είναι ότι η κάθετη και η οριζόντια συνιστώσα της επανενώνονται στον δεύτερο πολωτή και ξαναφτιάχνουν μια δέσμη πολωμένη στις  $45^\circ$ . Αν ρίξουμε πάλι την ένταση αρκετά και μιλήσουμε για μεμονωμένα φωτόνια, περιμένουμε διαφορετική συμπεριφορά. Αφού το φωτόνιο έχει περάσει είτε από το κανάλι H είτε από το V του πρώτου πολωτή, δεν υπάρχει κάποια δεύτερη «συνιστώσα» του για να επανενωθούν και θα περιμέναμε τελικά η πόλωση του να παραμείνει H ή V. Παρατηρούμε όμως ότι ακόμα και μεμονωμένα φωτόνια βγαίνουν πάντα πολωμένα στις  $45^\circ$  από το δεύτερο πολωτή!

Ακόμα κι αν διαλέξουμε να μην πιστέψουμε τον πολωτή και να εικάσουμε ότι ίσως για κάποιο λόγο απλά βγάζει φωτόνια πολωμένα στις  $45^\circ$ , μπορούμε να διακόψουμε μία από τις δύο ροές φωτός μεταξύ των δύο πολωτών με κάποιο εμπόδιο. Τότε θα δούμε



**Σχήμα 3:** Η συμπεριφορά μιας δέσμης φωτός όταν περνάει από διαδοχικούς πολωτές.

ότι η τελική πόλωση του φωτονίου μας θα είναι πλέον τυχαία! Έτσι, δε μπορούμε παρά να συμπεράνουμε ότι το φωτόνιο περνάει με κάποιον τρόπο και από τα δύο κανάλια ή τουλάχιστον «ξέρει» τι θα έκανε αν περνούσε από το άλλο κανάλι.

### Κοπεγγάγη ή κρυφές μεταβλητές;

Η αδυναμία να προβλέψουμε το μέλλον ενός συστήματος ξέροντας πλήρως την παρούσα του κατάσταση ήταν αυτό που οδήγησε επιστήμονες όπως ο Einstein και ο Bohm να αναπτύξουν ντετερμινιστικές θεωρίες –κι αυτές με τα δικά τους προβλήματα φυσικά. Η υπόθεση όλων αυτών των θεωριών ήταν ότι το φωτόνιο «ξέρει» από ποιο κανάλι του πολωτή θα περάσει, αλλά εμείς δε μπορούμε να μελετήσουμε αυτή την ιδιότητά του και άρα η αλληλεπίδραση μας φαίνεται εντελώς τυχαία. Τέτοιες θεωρίες είναι γνωστές ως θεωρίες κρυφής μεταβλητής (hidden variable theories).

Αν το φωτόνιο έχει όντως κάποιον τρόπο να διαλέξει την πορεία του και να θυμάται την προηγούμενή του κατάσταση, τότε ακόμα και το πείραμα της επανένωσης των δεσμών έχει νόημα. Το φωτόνιο περνάει από το κανάλι H ή V, ανάλογα με αυτήν την ιδιότητα που δε μπορούμε να μετρήσουμε και όταν φτάνει στο δεύτερο πολωτή θυμάται την αρχική του κατάσταση και επιστρέφει στην πόλωση που είχε πριν.

Μια πιο εκλεπτυσμένη ίσως θεωρία κρυφής μεταβλητής, που προτάθηκε από τον De Broglie και αργότερα αναπτύχθηκε από τον Bohm, είναι αυτή του πιλοτικού κύματος (pilot wave). Σύμφωνα με αυτήν, η κυματική και η σωματιδιακή φύση του φωτός δεν είναι εναλλακτικές αλλά συνυπάρχουν σε μια κβαντική κατάσταση. Όταν το φως συμπεριφέρεται σαν φωτόνια, το κύμα δε μπορεί να εντοπιστεί ως έχει, αλλά οδηγεί το φωτόνιο και αλλάζει την πόλωσή του. Έτσι, στο παράδειγμα της επανένωσης των δεσμών, το φωτόνιο βλέπει το πιλοτικό κύμα να χωρίζεται στα δύο στον πρώτο πολωτή, παρασύρεται σε ένα από τα δύο κανάλια και στον δεύτερο το κύμα επανενώνεται, αποκτά όπως περιμένουμε πόλωση  $45^\circ$ , και επι-

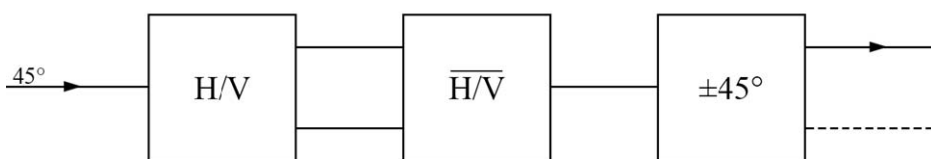
βάλλει αυτή την πόλωση και στο φωτόνιο. Εδώ η κρυφή μεταβλητή είναι το κύμα με το οποίο δε μπορούμε να αλληλεπιδράσουμε.

Οι θεωρίες κρυφών μεταβλητών ίσως φαίνονται αρκετά θελκτικές μέχρι τώρα σε κάποιους αναγνώστες, αλλά έχουν δικά τους προβλήματα. Καταρχάς οι μαθηματικές περιγραφές τους είναι ιδιαίτερα στρυφνές, σε αντίθεση με τα κομψά μαθηματικά της κλασικής κβαντικής φυσικής. Επίσης, το πιλοτικό κύμα είναι κάτι εντελώς πρωτότυπο στη Φυσική, αφού δεν έχει ενέργεια αλλά καταφέρνει να επηρεάσει το περιβάλλον του. Τέλος, και σημαντικότερο, αποδεικνύεται πως καμία τοπική (local) θεωρία κρυφής μεταβλητής δεν μπορεί να περιγράψει επαρκώς όλα τα πειράματα. Αν μια θεωρία δεν είναι τοπική, αυτό σημαίνει ότι δέχεται πως πληροφορία μπορεί να μεταφερθεί με ταχύτητες μεγαλύτερες από την ταχύτητα του φωτός κάτι κατά γενική παραδοχή είναι αδύνατον.

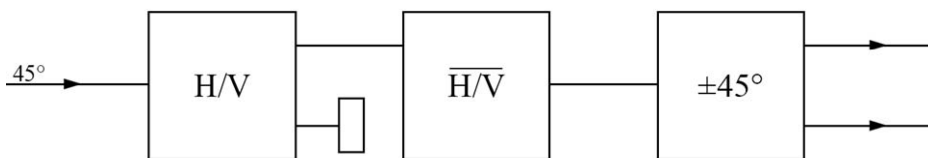
Έτσι, η επιλογή φαίνεται να είναι ντετερμινισμός και ατοπικότητα στη μία πλευρά ή τοπικότητα και πιθανοκρατικότητα στην άλλη. Τη δεύτερη στάση υιοθετεί η ερμηνεία της Κοπεγγάγης, ο κύριος αντίζηλος των θεωριών κρυφών μεταβλητών, με υπέρμαχο τον Niels Bohr. Η εν λόγω ερμηνεία πήρε το όνομά της από την πόλη στην οποία ο Bohr έκανε μεγάλο μέρος της δουλειάς του πάνω στην κβαντική θεωρία αλλά και την ερμηνεία την ίδια. Το χαρακτηριστικό της είναι ότι διαχωρίζει ξεκάθαρα το μικροσκοπικό κόσμο των σωματιδίων και της κβαντικής φυσικής και το μακροσκοπικό κόσμο των μετρήσεων. Για τον Bohr, η πιθανοκρατικότητα είναι εγγενές χαρακτηριστικό της φύσης και το πρόβλημα της επανένωσης των δεσμών φωτός είναι εννοιολογικά δυσνόητο, αλλά όχι πραγματικά παράδοξο.

Η στάση του Bohr είναι αρκετά απλή στη βάση της: δεν υπάρχει λόγος να μιλάμε για την πόλωση του φωτονίου στον άξονα των  $\pm 45^\circ$  εφόσον έχουμε μετρήσει την πόλωσή του στον άξονα H/V. Εφόσον διαμορφώσαμε την πόλωση του φωτονίου μετρώντας την, έχουμε καταστρέψει κάθε πληροφορία για τις προηγούμενες καταστάσεις του και δεν έχει νόημα να μιλάμε για αυτές. Στην περίπτωση της επανένωσης των δεσμών δεν γίνεται καμία μέτρηση μεταξύ των δύο πολωτών. Έτσι, δεν αλλοιώνεται η αρχική κατάσταση

της πόλωσης στις  $45^\circ$  και περιμένουμε να δούμε την ίδια κατάσταση να εξέρχεται από τη διάταξή μας. Ίσως το μεγαλύτερο νοερό άλμα που χρειάζεται να κάνει ο αναγνώστης όταν αναλύσει την ερμηνεία της Κοπεγγάγης είναι το πρόβλημα της μέτρησης. Ο Bohr και οι ομοϊδεάτες του δίνουν τεράστιο βάρος στην έννοια της παρατήρησης ενός κβαντικού συστήματος και ισχυρίζονται ότι το σύστημα επηρεάζεται άμεσα από την παρατήρηση. Θα



Σχήμα 4: Η αναδόμηση μιας ακτίνας φωτός που είχε αποδομηθεί. Όπως φαίνεται, το ίδιο συμβαίνει και με μεμονωμένα φωτόνια.



**Σχήμα 5:** Μπλοκάροντας το ένα κανάλι του πρώτου πολωτή, καταστρέφουμε την «ανάμνηση» της προηγούμενης κατάστασης του φωτονίου.

μπορούσε να πει κανείς ότι δεν έχει νόημα να μιλήσει κανείς για την ύπαρξη ενός κβαντικού συστήματος πριν μετρήσει κάποια ιδιότητά του. Ακόμα χειρότερα, θα μπορούσε να αναρωτηθεί πως ορίζεται μια μέτρηση. Αυτή η ερώτηση, που είναι συναρπαστικά πιο περίπλοκη απ' ό,τι θα περίμενε κανείς, θα είναι το κύριο θέμα που θα συζητήσουμε στο επόμενο τεύχος του «Φαινομένον», αλλά ας κάνουμε μια σύντομη εισαγωγή για να διατηρηθεί το ενδιαφέρον!

### Το πρόβλημα της μέτρησης

Μετρά ο πολωτής μας την πόλωση του φωτονίου; Η προφανής απάντηση είναι ναι, αφού περνώντας από μέσα του διέρχεται από διαφορετικό κανάλι και βγαίνει σε διαφορετικό σημείο ανάλογα με το πως είναι πολωμένο. Αν θυμηθούμε όμως το πρόβλημα της επανένωσης των δεσμών, θα δούμε ότι, όπως προαναφέρθηκε, η τελική κατάσταση του φωτονίου

δεν έχει αλλάξει. Το λογικό συμπέρασμα λοιπόν (τουλάχιστον αν ενστερνίζεται κανείς την ερμηνεία της Κοπεγχάγης) είναι ότι δε συνέβη καμία παρατήρηση της πόλωσης του φωτονίου.

Αν από την άλλη μπλοκάρει κανείς ένα από τα δύο κανάλια του πρώτου πολωτή (Σχ. 5), είμαστε σίγουροι ότι το φωτόνιο θα εξέλθει από το άλλο, άρα ξέρουμε την H/V πόλωσή του. Κατευθείαν, το φωτόνιο αποφασίζει ότι είναι πολωμένο όπως μετράμε και άρα εξέρχεται με τυχαία πόλωση από τον αντιστροφο πολωτή. Τι καθιστά αυτό το πείραμα μέτρηση ενώ το προηγούμενο δεν ήταν; Το μόνο που κάναμε ήταν να μπλοκάρουμε ένα κανάλι.

Το πρόβλημα της μέτρησης ρωτάει ακριβώς αυτό, τι ορίζει μια μέτρηση σε ένα κβαντικό σύστημα; Αυτό ακριβώς θα συζητήσουμε στο επόμενο τεύχος και θα αναλύσουμε αλλόκοσμες και αναπάντεχες θεωρίες. Μήπως το ανθρώπινο μυαλό έχει κάτι που διαφέρει από τον υπόλοιπο κόσμο; Μήπως υπάρχουν συγκλονιστικά πολλά σύμπαντα, όλα στην ίδια θέση, αλλά ανίκανα να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους; Η συνέχεια στο επόμενο τεύχος.

Η συνέχεια στο επόμενο τεύχος.

Η συνέχεια στο επόμενο τεύχος.

Η συνέχεια στο επόμενο τεύχος.

#### Πηγή:

Το παραπάνω άρθρο βασίστηκε σχεδόν εξ ολοκλήρου στο εξαιρετικό βιβλίο του κυρίου Alistair Rae με τίτλο *Quantum Physics: Illusion or Reality?* Cambridge University Press (2004).

## συνέβησαν στο τμήμα

## σεμινάριο του τμήματος

### Γεώργιος Βουγιατζής



**Εξωπλανήτες: Μια προαναγγελθείσα ανακάλυψη**

Την Τετάρτη 11 Δεκεμβρίου 2019 ο Αναπλ. Καθηγητής του τμήματος Γ. Βουγιατζής, μίλησε στο σεμινάριο του τμήματος για το φετινό βραβείο Nobel το οποίο δόθηκε (κατά το ήμισυ) στους αστρονόμους Mayor και Queloz. Αυτοί ήταν οι πρώτοι που ανακοίνωσαν το 1995 την ανακάλυψη ενός πλανήτη που περιφέρεται γύρω από το άστρο 51-Pegasi, που είναι παρόμοιο με το δικό μας Ήλιο. Παρόλο που υπήρξαν αρκετές αποτυχημένες προσπάθειες, η επιστημονική κοινότητα ήταν βέβαιη ότι υπάρχουν πλανήτες και γύρω από άλλα αστέρια, είχε υιοθετήσει τον όρο «εξωπλανήτες» και ανέμενε την ανακάλυψή τους. Μετά την πρώτη ανακοίνωση των Mayor και Queloz, ακολούθησε ραγδαία αύξηση ανακαλύψεων νέων εξωπλανητών, ο αριθμός των οποίων σήμερα φτάνει τους 4139, μοιρασμένους σε 3074 εξωηλιακά συστήματα, πολύ διαφορετικά από το δικό μας ηλιακό σύστημα. Αν και αρχικά οι ανακαλύψεις αφορούσαν αέριους γίγαντες, όπως ο Δίας, σήμερα τα διαστημικά τηλεσκόπια μας επιτρέπουν την ανακάλυψη πλανητών στο μέγεθος της Γης και μάλιστα σε τροχιές που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν συνθήκες ανάπτυξης ζωής. Όπως πλέον αναφέρεται, η ανακάλυψη των Mayor και Queloz άλλαξε τον τρόπο με τον οποίο βλέπουμε το Σύμπαν και τη δική μας θέση σε αυτό.

### Επίκουρος: ένας σημαντικός ατομικός φιλόσοφος



**Αναστάσιος Λιόλιος**  
Καθηγητής  
Τμήματος Φυσικής

**Κ**ατά την ελληνιστική περίοδο, δηλαδή κατά την ιστορική περίοδο από το θάνατο του Μεγάλου Αλεξάνδρου (323 π.Χ.) ως το τέλος της Ρωμαϊκής Δημοκρατίας (ναυμαχία στο Άκτιο 31 π.Χ.), ο ελληνικός πολιτισμός γνώρισε τεράστια εξάπλωση προς την ανατολή, ύστερα από τις κατακτήσεις του Μ. Αλεξάνδρου και αργότερα προς τον δυτικό μεσογειακό κόσμο, με τη βοήθεια των κατακτητών της Ελλάδας, των Ρωμαίων.

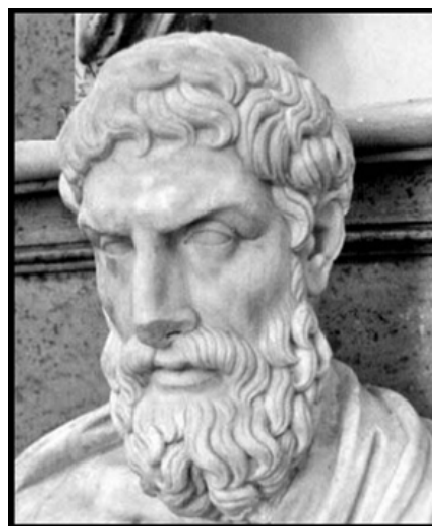
Σε όλο αυτό το διάστημα, η φιλοσοφία παρέμεινε κυρίως ελληνική δραστηριότητα. Οι στοχαστές που άσκησαν τη μεγαλύτερη επίδραση στον ελληνιστικό κόσμο ήταν οι Επικουρείοι, οι Στωικοί και οι Σκεπτικοί, ενώ οι πλατωνικές ιδέες επιβίωσαν στον ελληνορωμαϊκό κόσμο και στους μετέπειτα χριστιανικούς αιώνες, μέσα από πολλαπλές φιλοσοφικές παραλλαγές που πήραν το όνομα «Νεοπλατωνισμός». Θα ασχοληθούμε στα παρακάτω με την επικουρεία φιλοσοφία.

Ο Επίκουρος έζησε στην αρχή της Ελληνιστικής εποχής (341-270 π.Χ.). Γεννήθηκε στη Σάμο, από Αθηναίους γονείς και ίδρυσε στην Αθήνα την φιλοσοφική σχολή των Επικουρείων, τον «Κήπο». Υπήρξε ο πρώτος φιλόσοφος που απηύθυνε την φιλοσοφία του σε όλους τους ανθρώπους και στον Κήπο του δίδαξε πλούσιους και φτωχούς, άνδρες και γυναίκες, εταίρες και δούλους.

Η φιλοσοφία του Επίκουρου έχει έναν ηθικό-πρακτικό χαρακτήρα. Ο Επίκουρος θεωρούσε ότι ο σκοπός ενός έμφρονος ανθρώπου είναι η ευδαιμονία (η ευτυχία, η γαλήνη), δηλαδή η έλλειψη σωματικού πόνου και η

έλλειψη ψυχικής ταραχής. Θεωρούσε ότι η ευδαιμονική κατάσταση της απονίας και της αταραξίας μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την φρόνηση για την εκπλήρωση των φυσικών και αναγκαίων επιθυμιών (όπως η επιθυμία για φαγητό όταν πεινάμε) και την αποφυγή των μη φυσικών και μη αναγκαίων επιθυμιών (όπως είναι η ματαιοδοξία). Χωρίς να απορρίπτει τις σωματικές ηδονές, ο Επίκουρος θεωρούσε ότι οι πνευματικές ηδονές είναι ανώτερες και ότι ο ηδονικός και ατάραχος βίος προκύπτει από την ενασχόληση με την μελέτη της φύσης και την διδασκαλία της φιλοσοφίας που προάγει την ευτυχία των ανθρώπων. Το ζην ηδέως επιτυγχάνεται, λοιπόν, με την απουσία του πόνου και φόβου και με τη βίωση μιας ζωής αυτάρκους, περιβαλλόμενης από φίλους.

Σύμφωνα με τον Επίκουρο, η φρόνηση είναι η σημαντικότερη προσωπική αρετή και η φιλία το σημαντικότερο κοινωνικό αγαθό. Η απόκτηση φίλων είναι το σπουδαιότερο μέσο για την ευδαιμονική ζωή.





Για το φόβο του θανάτου και της τιμωρίας ή εύνοιας των θεών, δίδαξε ότι ο θάνατος δεν βιώνεται από τους τεθνεώτες, ενώ οι θεοί ως τέλεια και γαλήνια όντα δεν επιβραβεύουν ούτε τιμωρούν τους ανθρώπους.

Η «τετραφάρμακος» είναι μια διατύπωση των επικουρείων που συμπυκνώνει τις απαραίτητες αρχές για την επιδίωξη της ευδαιμονίας.

«ΑΦΟΒΟΝ Ο ΘΕΟΣ,  
ΑΝΥΠΟΠΤΟΝ Ο ΘΑΝΑΤΟΣ,  
Τ ΑΓΑΘΟΝ ΜΕΝ ΕΥΚΤΗΤΟΝ,  
ΤΟ ΔΕ ΔΕΙΝΟΝ ΕΥΕΚΚΑΡΤΕΡΗΤΟΝ»

Δηλαδή: «Ο θεός δεν είναι επίφοβος, ο θάνατος δεν γίνεται αντιληπτός, το μεν καλό εύκολα αποκτιέται, το κακό δε εύκολα αντέχεται».

Ο Επίκουρος υποστήριξε πως με την παρατήρηση της φύσης και την επιστημονική γνώση μπορούν οι άνθρωποι να γλυτώσουν από την δεισιδαιμονία και τους παράλογους μεταφυσικούς φόβους.

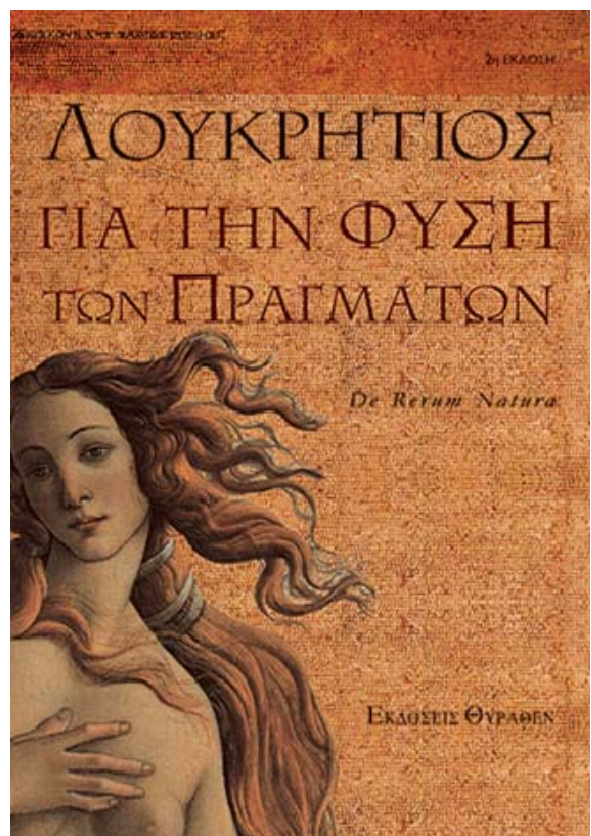
Η επικούρεια φυσική φιλοσοφία χαρακτηρίζεται από τα κάτωθι:

- Άτομα και κενό: Η ύπαρξη των ατόμων, το θεμέλιο της δημοκρίτειας φιλοσοφίας, ήταν και η βάση της επικούρειας φυσικής. Ο Επίκουρος θεωρούσε όμως ότι τα άτομα έχουν βάρος. Η ύλη είναι σύζευξη ατόμων και κενού, ενώ θεωρεί υλική ακόμη και την ψυχή. Για το κενό μάλιστα λέει ότι είναι «αναφής φύσις» δηλαδή φύση που δεν ψηλαφείται.
- Τυχειότητα: Η επικούρεια φιλοσοφία αποδεχόταν την τυχειότητα, σε αντίθεση με τις απόλυτα αιτιοκρατικές και τελεολογικές θέσεις των Πλατωνιστών και Αριστοτελικών, και σε αντίθεση με την απόλυτη «αναγκαιότητα» του Δημόκριτου.
- Παρέγκλιση: Είναι η αναίτια και τυχαία κίνηση των ατόμων που τους δίνει τη δυνατότητα αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Παράγεται έτσι η ποικιλότητα των μορφών στη φύση, αλλά και αιτιολογείται η ελευθερία των έμψυχων όντων.

Βλέπουμε ότι ο Επίκουρος συνδύασε την ατομική φυσική του Δημόκριτου και την βιολογική

ηθική του Αριστοτέλη, ελέγχοντας και βελτιώνοντάς τες. Με τη δική του συνεισφορά στην ατομική φιλοσοφία με την εισαγωγή της «παρέγκλισης» στην κίνηση των ατόμων, έσπασε τους «νόμους του πεπρωμένου» και άφησε περιθώρια για «την ελευθερία των εμφύχων όντων». Υπήρξε λοιπόν ο πρώτος φιλόσοφος που μίλησε για την ύπαρξη του τυχαίου στην φύση, επιτρέποντας την ελεύθερη βούληση και την δυνατότητα ελευθερίας των ανθρώπων ως προς τις επιλογές τους.

Η Επικούρεια φιλοσοφία εξαπλώθηκε επί επτά σχεδόν αιώνες στην Ελληνιστική και την Ρωμαϊκή εποχή βοηθώντας πολλές χιλιάδες ανθρώπους να ζήσουν ευδαιμονικά. Με την έλευση του Μεσαίωνα ο ανθρώπινος πολιτισμός οπισθοδρόμησε και η φιλοσοφία του Επικούρου συκοφαντήθηκε και λησμονήθηκε. Όσοι στην Αναγέννηση ανακαλύφθηκε το εντυπωσιακό ποίημα του Ρωμαίου επικούρειου Λουκρήτιου “De Rerum Natura” (Για την φύση των πραγμάτων), που περιλαμβάνει λεπτομερώς όλη την φυσική φιλοσοφία του Επικούρου και που επηρέασε έκτοτε πολλούς, συνέβαλε στον Διαφωτισμό και εξακολουθεί στις μέρες μας να διαβάζεται με μεγάλο ενδιαφέρον.



## συνέβησαν στο τμήμα

### ορκωμοσίες πτυχιούχων

#### οι νέοι πτυχιούχοι του Τμήματος Φυσικής

τη Δευτέρα 22/7/2019 πραγματοποιήθηκε στην Αίθουσα Τελετών του Α.Π.Θ. ορκωμοσία νέων πτυχιούχων του τμήματος.

ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ ΙΩΑΝΝΑ • ΑΔΑΜΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΑΘΑΝΑΣΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ • ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ ΛΥΔΙΑ • ΓΚΙΝΗ ΑΝΑΜΑΡΙΑ • ΓΟΥΝΑΡΗ ΜΑΡΙΑ ΜΥΡΣΙΝΗ • ΔΟΪΝΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ • ΙΩΣΗΦΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΚΑΚΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΚΑΡΑΙΟΡΔΑΝΙΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ • ΚΑΡΑΦΥΛΛΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ • ΚΕΤΣΕΡΙΔΟΥ ΣΜΑΡΑΝΤΑ ΝΑΥΣΙΚΑ • ΚΕΧΑΓΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΚΙΟΥΡΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ • ΚΟΥΡΟΥΜΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΚΟΥΡΤΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ • ΚΩΒΑΙΟΥ ΓΛΥΚΕΡΙΑ • ΛΑΥΡΕΝΤΙΑΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΜΑΝΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΜΑΡΙΝΟΥ ΠΑΣΧΑΛΙΝΑ • ΜΗΤΡΟΥ ΜΑΡΙΑ • ΜΟΥΤΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΜΠΟΓΔΑΜΠΕΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΝΙΚΟΛΑΙΔΟΥ ΣΥΜΕΛΑ • ΠΑΠΑΣΑΒΒΑΣ ΗΡΑΚΛΗΣ • ΠΑΤΑΣ ΣΤΑΥΡΟΣ • ΠΑΥΛΟΥ ΑΝΤΡΕΑ • ΣΑΠΑΡΔΑΝΗ ΜΑΡΙΑ • ΣΜΙΤ ΑΝΥΤΑ • ΣΤΕΡΓΙΑΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ • ΤΣΑΚΛΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ • ΤΣΕΜΕΚΙΔΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ • ΤΣΙΑΚΙΡΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ • ΥΦΑΝΤΗΣ ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΗΛΙΑΣ • ΧΑΤΖΗΚΑΝΤΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ • ΧΑΤΖΗΣΩΤΗΡΙΟΥ ΜΑΡΙΝΑ • ΧΑΤΖΗΧΡΥΣΑΦΗΣ ΔΗΜΟΣ • ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

την Πέμπτη 14/11/2019 πραγματοποιήθηκε στην Αίθουσα Τελετών του Α.Π.Θ. ορκωμοσία νέων πτυχιούχων του τμήματος.

ΑΓΑΚΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ • ΑΡΝΑΟΥΤΟΓΛΟΥ ΦΙΛΙΠΠΟΣ • ΒΑΜΒΑΚΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ • ΒΑΧΤΣΕΒΑΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ • ΓΟΥΔΟΥΣΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ • ΖΟΥΛΟΥΜΗ ΕΥΑΝΘΙΑ • ΘΕΟΔΩΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΚΑΪΣΕΡΟΓΛΟΥ ΜΑΡΚΟΣ • ΚΑΡΑΠΟΥΛΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΚΑΡΚΑΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΚΟΥΜΤΖΗΣ ΑΡΓΥΡΙΟΣ • ΚΡΥΩΝΑ ΖΩΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ • ΚΥΡΜΕΛΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ • ΚΥΡΤΣΟΥΔΗΣ ΠΑΣΧΑΛΗΣ • ΛΕΚΟΥ ΜΑΡΙΑ • ΛΕΟΝΤΑΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΜΑΚΡΟΛΕΙΒΑΔΙΤΗ ΕΥΔΟΚΙΑ • ΜΑΛΑΝΔΡΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ • ΜΟΝΕ ΧΡΙΣΤΙΝΑ • ΜΟΣΧΑΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ • ΜΠΑΛΟΥΣΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ • ΜΠΟΡΟΒΗΛΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ • ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ • ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΠΙΤΕΛΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ • ΠΟΥΛΟΣ ΜΑΡΚΟΣ • ΡΟΥΝΤΟΥ ΡΑΦΑΗΛΙΑ • ΡΟΥΣΣΕΤΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ • ΣΑΡΑΦΙΔΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ • ΣΠΑΝΙΔΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ • ΣΠΑΝΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΣΟΥΛΤΑΝΑ • ΣΤΑΥΡΑΚΗ ΧΡΥΣΗ • ΤΑΞΗΣ ΘΩΜΑΣ • ΤΟΥΡΛΗ ΜΑΡΙΑ • ΦΑΚΟΥΔΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ • ΦΑΝΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΦΟΥΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΦΡΟΝΙΜΟΣ ΠΟΥΛΙΑΣΗΣ ΦΩΤΙΟΣ • ΧΑΛΟΥΛΑΚΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ • ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ ΓΕΩΡΓΙΑ • ΧΡΥΣΑΦΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ



\* παρατίθενται μόνο τα ονόματα αυτών που συναίεσαν

# ορκωμοσίες διδασκόντων

## οι νέοι διδάκτορες του Τμήματος Φυσικής

Την Τρίτη 9/7/2019 και τη Δευτέρα 9/12/2019 ορκίστηκαν οι νέοι διδάκτορες του τμήματος

Διδάκτορας	Επιβλέπων	Θέμα
ΙΩΣΗΦΙΔΗΣ ΔΑΜΙΑΝΟΣ	Α. Πέτκου	Μελέτες στην Αφινική Βαρύτητα με Στρέψη και Μη-Μετρικότητα
ΜΟΥΡΤΖΙΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ	Α. Σιακαβάρα	Προηγμένα υβριδικά συστήματα εκπομπής-λήψης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για δίκτυα ασύρματων κινητών επικοινωνιών
ΦΙΛΟΘΟΔΩΡΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ	Ν. Βλάχος	Η απεικόνιση φερμιονίου-μποζωνίου για μιγαδικό χημικό δυναμικό σε περιπτές διαστάσεις
ΤΟΛΙΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΑ	Κ. Τσιγάνης	Δυναμική εξέλιξη της ζώνης των αστεροειδών στο πρώιμο ηλιακό σύστημα
ΜΑΚΡΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ	Μ. Αγγελακέρης	Μαγνητικές νανοδομές και νανομαγνητισμός για σύγχρονες βιοϊατρικές εφαρμογές
ΣΟΦΙΑΝΙΔΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	Μ. Καλλέρη	Ανάπτυξη και εφαρμογή συστήματος αξιολόγησης για διδάσκοντες φυσικών επιστημών βασισμένο στην παιδαγωγική γνώση περιεχομένου
ΦΕΚΑΣ ΗΛΙΑΣ	Π. Πατσαλάς	Ανάπτυξη και φυσικές ιδιότητες νανοδομημένων υλικών με βάση τον άνθρακα για φωτοθερμικές και φωτονικές εφαρμογές
ΓΙΑΚΟΥΜΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ	Ι. Στούμπουλος	Έλεγχος της δυναμικής συμπεριφοράς μη-γραμμικών κυκλωμάτων με μικροϋπολογιστές και εκπαιδευτικές εφαρμογές του
ΜΕΣΣΑΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	Σ. Νικολαΐδης	Ανάπτυξη μοντέλων για προσομοίωση κυκλωμάτων σε νανομετρικές τεχνολογίες
ΑΤΡΕΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	Α. Λιόλιος	Μελέτη των κατανομών δευτερογενών σωματιδίων σε εκτεταμένους ατμοσφαιρικούς καταγισμούς που προκαλούνται από κοσμικά σωματίδια υψηλών ενεργειών
ΣΚΟΥΛΙΔΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ	Κ. Τσιγάνης	Δυναμική εξέλιξη τεχνητών δορυφόρων και διαστημικών καταλοίπων στην περιοχή της Γης
ΤΑΧΑ ΟΥΡΑΝΙΑ	Ι. Στούμπουλος	Μελέτη οικονομικών μοντέλων με τη χρήση μη-γραμμικών δυναμικών συστημάτων
ΒΟΥΔΟΥΡΗ ΚΑΛΛΙΟΠΗ-ΑΡΤΕΜΙΣ	Δ. Μπαλής	Μελέτη των γεωμετρικών και οπτικών ιδιοτήτων των νεφών και των αιωρούμενων σωματιδίων μέσα από επίγειες και δορυφορικές μεθόδους τηλεπισκόπησης



Οι πέντε νέοι διδάκτορες της ορκωμοσίας 9 Δεκ. 2019. Μαζί τους ο Αντιπρύτανης Οικονομικών, Προγραμματισμού και Ανάπτυξης του ΑΠΘ, κ. Χ. Φείδας, ο Πρόεδρος του Τμήματος Φυσικής κ. Αλ. Μπάης και ο αναπληρωτής Πρόεδρος του τμήματος Φυσικής κ. Γ. Βουγιατζής.

## **Δέκα χρόνια ΟΡ.Ο.ΦΥ.**

Οι φυσικοί είμαστε λάτρεις της φύσης! Από τα εργαστήρια, ως τα βουνά και τον ουρανό, μαγεύονται οι αισθήσεις μας και απολαμβάνει ο νους μας την κάθε λεπτομέρεια του κόσμου που ζούμε και μας περιβάλλει! Είναι ένας κόσμος που αξίζει να τον γνωρίσουμε, να τον χαρούμε, να τον αγαπήσουμε!

Ελάτε κι εσείς!

Ορειβατική Ομάδα Φυσικού

