Περίοδος Δ΄ • Τεύχος 27 • Οκτώβριος 2017

φαινόμενον:::

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

ISSN: 2529-1874 • 2529-1882 (online)

βραβείο Νόμπελ φυσικής

μέτρηση της βαρύτητας

νανοσωματίδια

cassini

ενέργεια

υγρό άζωτο

XFEL

Αριστοτέλης

κβαντομηχανική & σταθερότητα

http://phenomenon.physics.auth.gr

φαινόμενον::::

Περίοδος Δ' · Τεύχος 27
Οκτώβριος 2017
Περιοδική έκδοση του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ. (προεδρία Κ. Χρυσάφη)

συντακτική ομάδα

Επιτροπή εκδόσεων του Τμήματος Φυσικής

Αναστάσιος Λιόλιος • Μαρία Κατσικίνη • Ιωάννης Στούμπουλος • Χαρίκλεια Μελέτη • Στυλιανός Στούλος • Αργύρης Λασκαράκης • Ιωάννης Τσιαούσης • Κωνσταντίνος Λιακάκης

—

Μαρία Κρικέλη • Δημήτριος Ευαγγελινός

στο τεύχος αυτό συνεργάστηκαν

Βενετία Βουτσά
(φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
Παναγιώτης Γραμματικόπουλος
(ερευνητής στο Okinawa Institute of Science and Technology)
Δημήτριος Ευαγγελινός
(συνεργάτης Τμ. Φυσικής)
Μαρία Κατσικίνη
(αναπλ. καθηγήτρια Τμ. Φυσικής)
Αναστάσιος Λιόλιος
(καθηγητής Τμ. Φυσικής)
Δάφνη Παρλιάρη
(μεταπτυχιακή φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
Νικόλαος Στεργιούλας
(καθηγητής Τμ. Φυσικής)
Ιωάννης Στούμπουλος
(αναπλ. καθηγητής Τμ. Φυσικής)
Ηλίας Τσακλίδης
(φοιτητής Τμ. Φυσικής)
Νικόλαος Χατζαράκης
(απόφοιτος Τμ. Φυσικής)
Δημήτριος Χατζηπαναγιωτίδης
(μεταπτυχιακός φοιτητής Τμ. Φυσικής)

εκτύπωση
COPYCITY Ε.Π.Ε.

ψηφιακή έκδοση
http://phenomenon.physics.auth.gr

E-mail επικοινωνίας:
phenomenon@physics.auth.gr

facebook: *Περιοδικό "Φαινόμενον"*

ISSN: 2529-1874 • 2529-1882 (online)

σημείωμα της σύνταξης

Το παρόν τεύχος του «ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΝ» περιέχει άρθρα για τις ιδιότητες των νανοσωματιδίων, τη μέτρηση της βαρύτητας και αναφορικά με το πώς εξηγείται η σταθερότητα του κόσμου μέσα από την κβαντομηχανική. Περιλαμβάνει επίσης άρθρα για το έργο του Αριστοτέλη καθώς και για την ενέργεια, τη φιλοσοφική, επιστημονική και θεολογική θεώρησή της. Από το τεύχος δεν λείπουν τα επιστημονικά νέα σχετικά με το προσφάτως απονεμηθέν βραβείο Νόμπελ Φυσικής, το διαστημικό σκάφος Cassini και την έναρξη λειτουργίας του ευρωπαϊκού laser ελευθέρων ηλεκτρονίων καθώς και τα νέα του τμήματος. Τέλος, περιέχεται ένα άρθρο για τις μηχανές παραγωγής υγρού αζώτου που βρίσκονται στο Τμήμα Φυσικής.

Η ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

περιεχόμενα

♦ Επιστημονικά νέα **1**

♦ Τα νανοσωματίδια και οι ιδιότητές τους **6**

♦ Νέες εξελίξεις στη μέτρηση της βαρύτητας **11**

• Μια ματιά στο έργο του Αριστοτέλη **16**

• Η σταθερότητα του κόσμου και η κβαντομηχανική **19**

• Ενέργεια: μια επιστημονική, φιλοσοφική και θεο-λογική προσέγγιση **24**

• Υγρό άζωτο: από το Τμήμα Φυσικής σε όλο το ΑΠΘ **27**

• Συνέβησαν στο Τμήμα **30**

φωτογραφίες

Εκδηλώσεις: Ι. Στούμπουλος, Μ. Κατσικίνη.

πνευματικά δικαιώματα

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

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

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

Βαρυτικά κύματα

Νόμπελ Φυσικής 2017

Νικόλαος Στεργιούλας
Καθηγητής
Τμ. Φυσικής

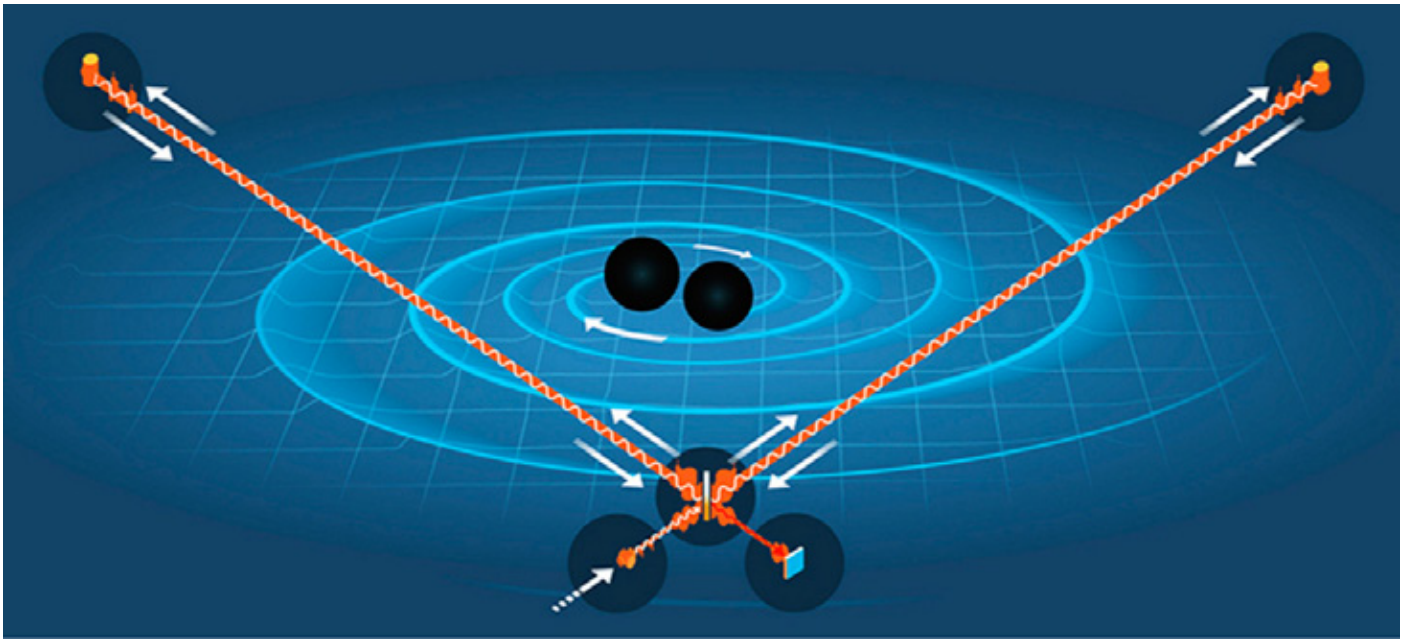
Στις 3 Οκτωβρίου 2017, ανακοινώθηκε η απονομή του φετινού βραβείου Νόμπελ Φυσικής. Εδώ και ένα χρόνο το επίτευγμα της πρώτης ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων έδειχνε να είναι το αδιαφιλονίκητο φαβορί και οι προβλέψεις επαληθεύτηκαν πλήρως. Η Βασιλική Σουηδική Ακαδημία Επιστημών [1] αποφάσισε να απονείμει το βραβείο Νόμπελ Φυσικής του έτους 2017 κατά το ήμισυ στον Rainer Weiss (LIGO/VIRGO collaboration) και κατά το άλλο ήμισυ από κοινού στους Barry C. Barish (LIGO/VIRGO collaboration) και Kip S. Thorne (LIGO/VIRGO collaboration) «για την αποφασιστική συμβολή τους στον ανιχνευτή LIGO και την παρατήρηση των βαρυτικών κυμάτων» (Εικ. 1).

Ήταν 14 Σεπτεμβρίου του 2015, όταν βαρυτικά κύματα που προήλθαν από τη συγχώνευση δύο μελανών οπών διατάραξαν τις κάθετες ακτίνες λέιζερ (μήκους τεσσάρων χιλιομέτρων η καθεμία) στους δύο ανιχνευτές LIGO [2] στις ΗΠΑ. Με τη δοκιμασμένη τεχνική της συμβολομετρίας (Εικ. 2) και αφού πρώτα είχε ελατωθεί το επίπεδο θορύβου στους ανιχνευτές σε ασύλληπτα μικρές τιμές, η ανεπαίσθητη αυτή διαταραχή προκάλεσε μια νέα επανάσταση στην Αστρονομία. Επαληθεύτηκαν οι βασικές ιδιότητες των βαρυτικών κυμάτων καθώς και η τελική έκβαση της συγχώνευσης ενός διπλού συστήματος μελανών οπών - μια έκβαση που δε θα ήταν δυνατόν να παρατηρηθεί με τηλεσκόπια στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Η κατασκευή και λειτουργία των ανιχνευτών LIGO στις ΗΠΑ και η ανάλυση των δεδομένων που έγινε από κοινού με τους ερευνητές του αντίστοιχου Ευρωπαϊκού ανιχνευτή VIRGO [3] στην Ιταλία, απαίτησε τη στενή συνεργασία ενός πολύ μεγάλου πλήθους ερευνητών (αρκετά άνω των χιλίων από περισσότερες από είκοσι χώρες) επί τέσσερις δεκαετίες, μέχρι να επιτευχθεί ο στόχος της πρώτης ανίχνευσης. Αποτέλεσε δηλαδή ένα από τα μεγαλύτερης κλίμακας και πολυπλοκότητας επιστημονικά πειράματα που έχουν διεξαχθεί ποτέ. Οι δύο από τους βραβευθέντες με Νόμπελ Φυσικής για το έτος 2017, Weiss και Thorne, ήταν οι πρωτοπόροι του εγχειρήματος και ο Barish συνέβαλε στην επιτυχή ολοκλήρωσή του.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1970, ο Rainer Weiss είχε ήδη αναλύσει τις πιθανές πηγές θορύβου που μπορούσαν να διαταράξουν τις μετρήσεις και είχε καταλήξει στις προδιαγραφές ενός συμβολομετρικού ανιχνευτή που θα μπορούσε να ξεπεράσει τον πειραματικό θόρυβο. Από νωρίς, οι Kip Thorne και Rainer Weiss ήταν απόλυτα πεπεισμένοι για την επιτυχή έκβαση του εγχειρήματος καθώς και ότι η ανί-

Εικόνα 1: R. Weiss, K. Thorne και C. Barish.



Εικόνα 2: Σχηματική αναπαράσταση της βασικής αρχής λειτουργίας του συμβολομετρικού ανιχνευτή LIGO (Σχήμα του Johan Jarnestad).

χνευση των βαρυτικών κυμάτων θα επέφερε μια επανάσταση στις γνώσεις μας για το σύμπαν.

Ο Rainer Weiss [4] γεννήθηκε το 1932 στη Γερμανία και εκπόνησε τη διδακτορική του διατριβή στο MIT, όπου σήμερα είναι ομότιμος καθηγητής φυσικής. Ο Barry C. Barish [5] γεννήθηκε το 1936 στις ΗΠΑ, εκπόνησε τη διδακτορική του διατριβή στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας, Berkeley, και είναι σήμερα ομότιμος καθηγητής φυσικής στο Caltech. Ο Kip S. Thorne [6] γεννήθηκε το 1940 στις ΗΠΑ, εκπόνησε τη διδακτορική του διατριβή στο Πανεπιστήμιο του Princeton και είναι σήμερα επίσης ομότιμος καθηγητής φυσικής στο Caltech.

Αφανείς ήρωες στη συλλογική προσπάθεια διεξαγωγής του πειράματος, οι εκατοντάδες ερευνητές και το τεχνικό προσωπικό που σχεδίασαν, υλοποίησαν και έλεγξαν τα επιμέρους κρίσιμα μηχανικά, οπτικά και ηλεκτρονικά μέρη καθώς και οι δεκάδες ερευνητές της υπολογιστικής σχετικότητας που υπολόγισαν με ακρίβεια την αναμενόμενη κυματομορφή, ώστε να συγκριθεί με τα πειραματικά δεδομένα και να εξαχθούν τα χαρακτηριστικά της πρώτης πηγής βαρυτικών κυμάτων GW150914 [7]. Σημαντική συνεισφορά στην επιτυχία του πειράματος είχε και η καθηγήτρια του Northwestern University Βίκυ Καλογερά, η οποία είναι απόφοιτος του Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ.

Μετά την πρώτη ιστορική ανίχνευση της πηγής GW150914, παρατηρήθηκαν άλλες τρεις συγχωνεύσεις διπλών συστημάτων μελανών οπών, ενώ με την πρόσφατη προσθήκη του τρίτου ανιχνευτή VIRGO στην Πίζα της Ιταλίας, έγινε εφικτός ο ακριβέστερος προσδιορισμός της θέσης των πηγών. Η ταυτόχρονη ανίχνευση ενός διπλού συστήματος αστέρων νετρονίων με πολλαπλούς τρόπους (βαρυτικά κύματα, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, στοιχειώδη σωματίδια) είναι σίγουρο πως θα σηματοδοτήσει την έναρξη μιας νέας εποχής στην αστρονομία και αστροφυσική, ενώ οι γνώσεις που θα μας προσφέρει η Αστρονομία Βαρυτικών Κυμάτων για το σύμπαν είναι βέβαιο πως θα ξεπεράσουν κάθε προσδοκία.

Πηγές

[1] https://www.nobelprize.org

[2] http://www.ligo.org

[3] http://www.virgo-gw.eu/

[4] http://web.mit.edu/physics/people/faculty/weiss_rainer.html

[5] https://labcit.ligo.caltech.edu/~BCBAct/

[6] https://www.its.caltech.edu/~kip/index.html/

[7] https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.116.061102

Cassini: Το κύκνειο άσμα ενός παλαίμαχου

Δάφνη Παρλιάρη
Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια
Τμ. Φυσικής

Αν το διαστημικό σκάφος Cassini μπορούσε να επισκεφτεί την ιστοσελίδα της NASA saturn.jpl.nasa.gov, θα αντίκριζε ένα άκρως καταθλιπτικό και απαισιόδοξο θέαμα: την αντίστροφη μέτρηση ως την καταστροφή του.

Ευτυχώς εμείς δεν είμαστε το Cassini, οπότε μπορούμε να αντιμετωπίσουμε την κατάσταση πιο ψύχραιμα. Γιατί όμως είναι απαραίτητο ένα διαστημικό σκάφος να αυτοκαταστραφεί; Με ποιο τρόπο επιτυγχάνεται κάτι τέτοιο και ποιες συνθήκες το επιτάσσουν; Και τελικά, τι είναι αυτό το Cassini που λένε όλοι;

Η αποστολή Cassini - Huygens, η οποία ξεκίνησε από το ακρωτήριο Canaveral της Φλόριντα το 1997, ήταν η πρώτη που εκτόξευσε και έθεσε ένα σκάφος σε τροχιά στο σύστημα του Κρόνου και παράλληλα έστειλε μια αυτόνομη διαστημοσυσκευή (Huygens) στον Τιτάνα το 2005. Ήταν κοινό εγχείρημα της NASA, της ESA και της Ιταλικής Υπηρεσίας Διαστήματος.

Το Cassini πήρε το όνομά του από τον Ιταλό μαθηματικό, αστρονόμο και μηχανικό Τζιοβάνι Ντομένικο Κασίνι (1625-1712), ο οποίος ανακάλυψε τέσσερις δορυφόρους και τους δακτυλίους του Κρόνου, του έκτου κατά σειρά από τον Ήλιο πλανήτη, με μέγεθος λίγο μικρότερο του Δία.

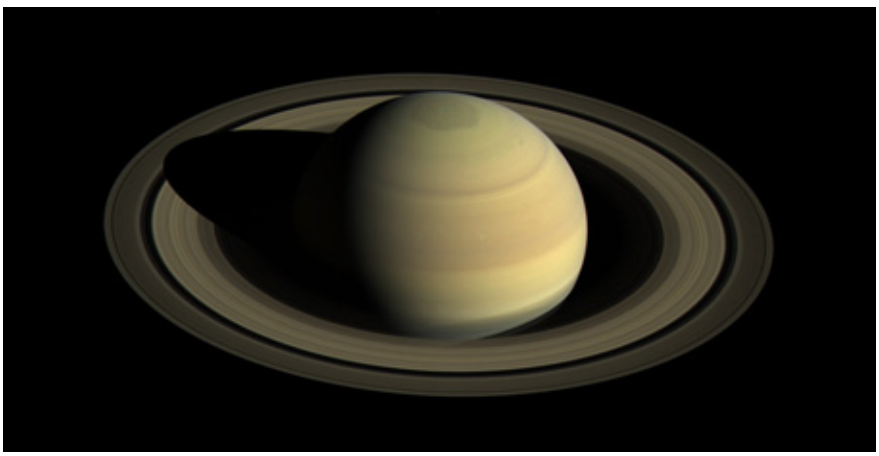
Στα 20 χρόνια της ακούραστης εξερεύνησής του, το σκάφος συνέβαλε τα μέγιστα τόσο στις γνώσεις των επιστημόνων για τον Κρόνο και τη «γειτονιά» του αλλά και στην παραγωγή δεδομένων που οδήγησαν στη δημοσίευση σχεδόν 4.000 επιστημονικών εργασιών, ενώ πολλές ακόμη θα ακολουθήσουν τα επόμενα χρόνια.

Το Cassini είναι το πιο μακρινό σκάφος που τέθηκε ποτέ σε τροχιά γύρω από έναν πλανήτη και τους δορυφόρους του, και μάλιστα επί 13 χρόνια. Μεταξύ άλλων, ανακάλυψε τους θεαματικούς πίδακες που ξεπηδούν από τον δορυφόρο Εγκέλαδο και αποκάλυψε ότι στον παγωμένο δορυφόρο Τιτάνα βρέχει υδρογονάνθρακες, οι οποίοι σχηματίζουν θάλασσες που πιθανώς μοιάζουν με τις αρχέγονες θάλασσες της Γης. Μελέτησε από κοντά τους δακτυλίους του Κρόνου που περιέχουν δισεκατομμύρια σωματίδια πάγου, δείχνοντας ότι έχουν μικρότερη μάζα και πάχος (μόλις 100 μέτρων) από ό,τι προβλεπόταν, ενώ διαπίστωσε γιγάντιες καταιγίδες με ανέμους ταχύτητας 1.700 km/h, που κυκλώνουν όλο τον πλανήτη σχεδόν καθ' όλο το έτος. Ακόμη, μάθαμε ότι ο δορυφόρος Υπερίων μοιάζει με σπόγγο και ο Πάνας με διαστημικό «ραβιόλι», ενώ η Πανδώρα διαθέτει έναν τεράστιο κρατήρα και ο Μίμας έναν πιθανό υπόγειο ωκεανό.

Παρόλη την εντυπωσιακή και άκρως παραγωγική ζωή του, το Cassini ξέμεινε από καύσιμα και έπρεπε πλέον να βαδίσει αγέρωχα προς το θάνατό του: να εκτελέσει μια τελευταία, αρχοντική βουτιά μέσα στην πυκνή και ταραχώδη ατμόσφαιρα του πλανήτη Κρόνου.

Το πρωί της Παρασκευής 15 Σεπτεμβρίου (περίπου στις 08:40 ώρα Ελλάδας) άρχισε η «βουτιά θανάτου», με το σκάφος να συνεχίζει να μεταδίδει σχεδόν σε πραγματικό χρόνο ό,τι συνέβαινε. Το σήματά του αναμεταδόθηκαν από το σταθμό του Δικτύου Βαθέος Διαστήματος της Αυστραλίας.

Λίγες ώρες μετά το Cassini εισήλθε στην κρόνεια ατμόσφαιρα με τις πυραυλικές μη-



Εικόνα του Κρόνου από το σκάφος Cassini

χανές προώθησής του στο 10% της δυναμικότητάς τους.

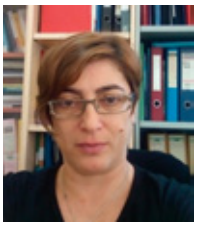
Περίπου στις 12 το μεσημέρι UTC, οι τεράστιες ατμοσφαιρικές δυνάμεις του Κρόνου έθεσαν εκτός ελέγχου την κίνηση του Cassini, ενώ ένα λεπτό μετά (11:55 UTC) η αντένα του έχασε την επαφή με τη Γη. Εκείνη τη στιγμή, σε ύψος περίπου 1.500 km πάνω από τα νέφη του Κρόνου σύμφωνα με τη NASA, έπαψε κάθε επικοινωνία με το σκάφος το οποίο και διαλύθηκε, όπως ένας μετεωρίτης που διαπερνά τη γήινη ατμόσφαιρα.

Ήταν η πρώτη φορά μετά την εκτόξευσή του που το Cassini σίγησε και έπαψε να μεταδίδει πληροφορίες προς τη Γη.

Είναι κάπως λυπηρό να παρακολουθείς το θάνατο ενός σκάφους που αποτελούσε πολύτιμο κομμάτι του επιστημονικού δυναμικού της NASA για 20 ολόκληρα χρόνια…

R.I.P. Cassini : 1997-2017

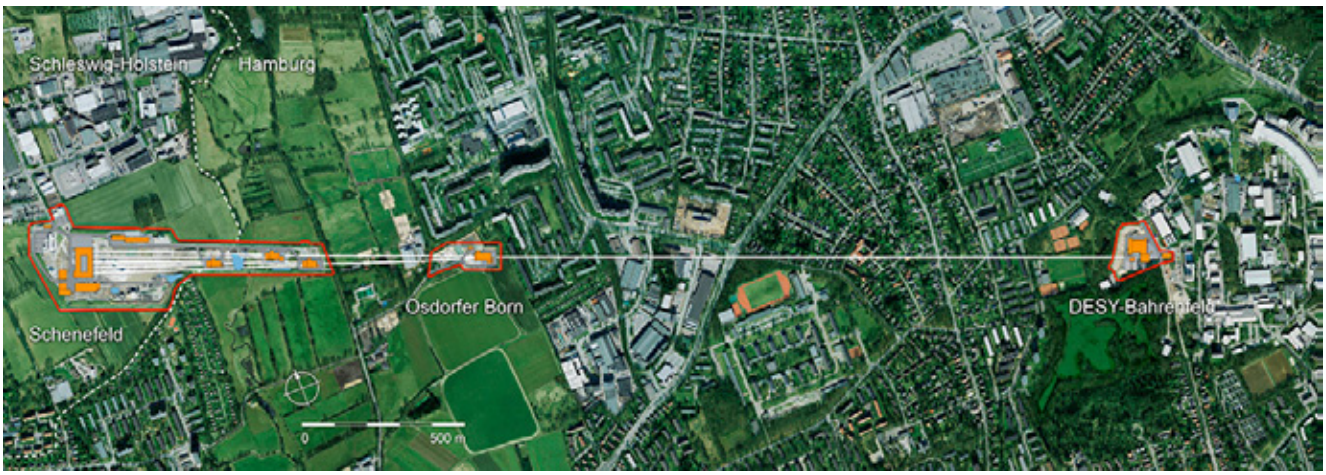
XFEL: πρώτα πειράματα στο ευρωπαϊκό laser ελευθέρων ηλεκτρονίων ακτίνων Χ



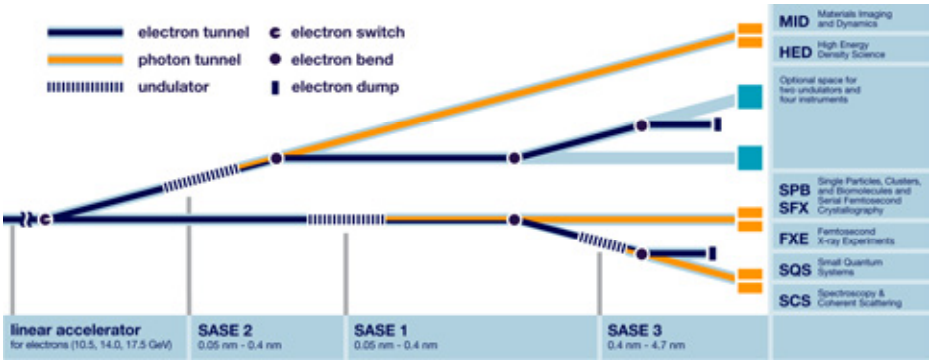
Μαρία Κατσικίνη
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
Τμ. Φυσικής

Στις 20 Σεπτεμβρίου 2017, η ευρωπαϊκή εγκατάσταση laser ελευθέρων ηλεκτρονίων ακτίνων Χ (XFEL) γιόρτασε την επιτυχή πραγματοποίηση των πρώτων πειραμάτων από επιστήμονες – χρήστες. Η XFEL (Σχ. 1) είναι μια ισχυρότατη πηγή που παρέχει 27000 παλμούς ακτίνων Χ το δευτερόλεπτο, που διαμορφώνονται σε μικρότερους παλμούς διάρκειας μικρότερης των 100 femtoseconds ο καθένας. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας κυμαίνεται από 0.5 έως 47 Å και η λαμπρότητα της δέσμης είναι ένα δισεκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από τις καλύτερες συμβατικές πηγές ακτίνων Χ. Αποτελεί το μεγαλύτερο laser ακτίνων Χ από τις 22 εγκαταστάσεις FEL που λειτουργούν σε όλο τον κόσμο.

Προς το παρόν έχουν τεθεί στη διαθεσιμότητα των επιστημόνων δύο πειραματικές διατάξεις εκ των έξι που τελικά θα εγκατασταθούν στο XFEL: η FXE (femto-second X-ray experiments) και η SPB/SXF (single particles, clusters, and biomolecules and serial femtosecond crystallography). Η διάταξη FXE θα χρησιμοποιείται για τη μελέτη εξαιρετικά ταχέων διεργασιών και θα παρέχει τη δυνατότητα να «κινηματογραφηθεί» η εξέλιξη μιας χημικής αντίδρασης. Θα βοηθήσει στην κατανόηση διεργασιών όπως για παράδειγμα ο μηχανισμός λειτουργίας ενός καταλύτη ή ο τρόπος με τον οποίο τα φυτά μετατρέπουν το φως σε χρήσιμη χημική ενέργεια. Τα πρώτα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο FXE, περιελάμβαναν την παρακολούθηση ταχέων χημικών αντιδράσεων και κινήσεων των ηλεκτρονίων σε μόρια, τη μελέτη οργανικών διόδων εκπομπής καθώς και την επανασύνδεση αζώτου και οξυγόνου σε



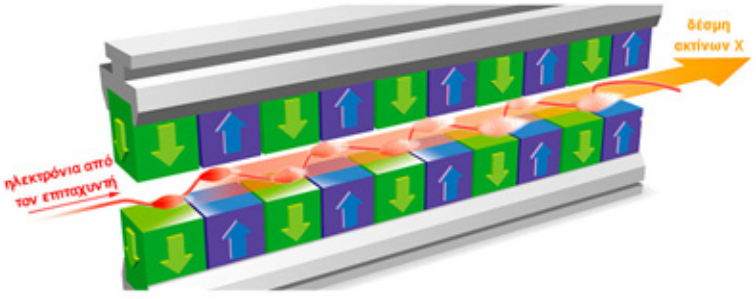
Σχήμα 1: Η Ευρωπαϊκή εγκατάσταση XFEL βρίσκεται σε μία υπόγεια σήραγγα μήκους 3.4 χιλιομέτρων. Κατά μήκος της σήραγγας επιταχύνονται τα ηλεκτρόνια μέχρι να αποκτήσουν ταχύτητες που πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός. Στην περιοχή του Schenefeld, η παραγόμενη από τα ηλεκτρόνια ακτινοβολία ακτίνων Χ, χρησιμοποιείται για να πραγματοποιηθούν εξαιρετικά προηγμένα πειράματα μελέτης της ύλης.



Σχήμα 2: Σχηματικό διάγραμμα του επιταχυντή ηλεκτρονίων και των beamlines που καθοδηγούν την παραγόμενη ακτινοβολία X στο χρήστη για τη διεξαγωγή πειραμάτων.

πρωτεΐνη των μυϊκών ιστών. Η διάταξη SPB/SFX θα χρησιμοποιείται κυρίως για τη μελέτη βιομορίων, όπως οι πρωτεΐνες, και βιολογικών δομών. Άμεσα πρόκειται να εκπονηθούν πειράματα μελέτης βιολογικών δομών και διεργασιών όπως και διαφόρων ιών καθώς και οι διεργασίες διάσπασης του νερού στη φωτοσύνθεση. Εν καιρώ θα παραδοθούν στους επιστήμονες - χρήστες και οι διατάξεις HED, MID, SCS, SQS, οι οποίες θα χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της ύλης σε ακραίες συνθήκες (π.χ. πλάσμα), για τη δομική μελέτη νανοδιατάξεων και τη δυναμική συστημάτων στη νανοκλίμακα, για τη μελέτη της ηλεκτρονικής και ατομικής δομής και της δυναμικής νανοσυστημάτων και βιομορίων με μαλακές ακτίνες X και για τη μελέτη ατόμων, ιόντων μορίων και συσσωματωμάτων κάτω από ισχυρά πεδία (μη-γραμμικά φαινόμενα).

Για τη δημιουργία των παλμών ακτίνων X, τα ηλεκτρόνια της δέσμης επιταχύνονται στο γραμμικό επιταχυντή LINAC με τη βοήθεια κοιλοτήτων ραδιοσυχνοτήτων μέχρι την ενέργεια των 17.5 GeV, διαμορφώνονται σε δεσμίδες (Σχ. 2) και έπειτα διέρχονται μέσα από ειδικές μαγνητικές διατάξεις που καλούνται undulators (Σχ. 3). Η συνεχής κάμψη της δέσμης ηλεκτρονίων, λόγω του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου του undulator, οδηγεί στην εκπομπή ακτινοβολίας, εφαπτομενικά της καμπύλης τροχιάς, με εξαιρετικό βαθμό συμφωνίας. Τα χαρακτηριστικά του undulator (ένταση και περίοδος μαγνητικού πεδίου) καθορίζουν και τις ιδιότητες του παραγόμενου φωτός, όπως για παράδειγμα το μήκος κύματος, ώστε να είναι οι απαιτούμενες για συγκεκριμένο είδος πειράματος που θα εκτελεστεί. Οι undulators που χρησιμοποιούνται στα FEL's έχουν μια βασική διαφορά συγκριτικά με αυτούς που χρησιμοποιούνται στα σύγχροτρα: στηρίζονται στην αρχή SASE (self amplified stimulated emission) δηλαδή στην ενίσχυση της δέσμης λόγω της σύμφωνης εκπομπής ακτινοβολίας όχι μόνο από κάθε ηλεκτρόνιο, αλλά και από άλλα ηλεκτρόνια μέσα στην ίδια δεσμίδα. Κάτι τέτοιο καθίσταται δυνατό λόγω της αλληλεπίδρασης του ηλεκτρικού πεδίου του φωτός που εκπέμπεται με τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην ίδια δεσμίδα και έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία παλμών πολύ μικρής διάρκειας, υψηλής έντασης που διαμορφώνονται σε μια δέσμη εξαιρετικά μικρής διατομής.



Σχήμα 3: Εκπομπή ακτινοβολίας από undulator.

Τα πειράματα, τα οποία στηρίζονται κυρίως σε μηχανισμούς αλληλεπίδρασης των ακτίνων X με την ύλη όπως η σκέδαση, η περίθλαση, ο φθορισμός, πραγματοποιούνται με τη βοήθεια κατάλληλων διατάξεων οι οποίες περιλαμβάνουν: κάτοπτρα για την εστίαση της δέσμης ακτίνων X, διαγνωστικά εργαλεία για τον έλεγχο των ιδιοτήτων της δέσμης, κατάλληλο περιβάλλον τοποθέτησης του δείγματος και κατάλληλους ανιχνευτές για τη μέτρηση και καταγραφή της σκεδαζόμενης, περιθλώμενης, εκπεμπόμενης ή διερχόμενης από το δείγμα ακτινοβολίας.

Τα FEL χαρακτηρίζονται ως τέταρτης γενιάς πηγές και αναπτύχθηκαν με στόχο να ξεπεράσουν τα τρίτης γενιά σύγχροτρα, καλύπτοντας τις ανάγκες για μελέτη μικρότερης ποσότητας δείγματος, ταχύτατων διεργασιών, χρησιμοποιώντας πολύ ισχυρό φως.

Πηγές:

- *www.xfel.eu*
- *sbfel3.ucsb.edu/www/vl_fel.html*
- *B. D. Patterson, Crystallography Reviews, 20, 242 (2014).*
- *J. Als-Nielsen, D. McMorrow, Elements of modern X-ray physics Willey, (2001).*

Τα νανοσωματίδια και οι ιδιότητές τους

Παναγιώτης Γραμματικόπουλος
Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University

Η νανοϋλη μπορεί να είναι δραματικά διαφορετική από ό,τι η ύλη στη μακροσκοπική κλίμακα! Αυτό που κυρίως διαφοροποιεί την ύλη στη νανοκλίμακα από αυτήν της καθημερινής μας εμπειρίας είναι η τεράστια τιμή του λόγου επιφάνειας προς όγκο (αγγλιστί: surface-to-volume ratio).

Το ζητούμενο από τεχνολογικής άποψης είναι να εκμεταλλευτούμε αυτή τη διαφορά για να σχεδιάσουμε νανοδομές με μοναδικές ιδιότητες για στοχευμένες εφαρμογές.

Ας δούμε πώς και γιατί, ξεκινώντας από ένα υποθετικό σενάριο...

Γιατί το νανομπιλιάρδο είναι μια βλακεία και μισή...

Σάββατο απόγευμα στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον… Στο διαχρονικό ερώτημα πώς μπορείτε να περάσετε το βράδυ σας, ο κολλητός σου ρίχνει την ιδέα: «τι θα 'λεγες για μια παρτίδα νανομπιλιάρδο;» Νανομπιλιάρδο; Δεν το έχεις ξανακούσει, αλλά με το ρυθμό που προχωράει η τεχνολογία στις μέρες σου, δεν το αποκλείεις κιόλας. «Μόλις άνοιξε, είναι σε πειραματικό στάδιο ακόμη» φροντίζει να σε διαφωτίσει ο φίλος σου. «Πάμε να το τεστάρουμε;»

Γιατί όχι; ανέκαθεν ήσουν άνθρωπος που σου άρεσαν οι προκλήσεις, ειδικά αυτές που εμπεριέχουν επιστημονικό ή τεχνολογικό άρωμα, γι' αυτό επέλεξες να σπουδάσεις φυσική, άλλωστε.

Όχι πολύ αργότερα και βρίσκεστε πάνω από το νανοτραπέζι. Ο κολλητός σου «στήνει» τις νανόμπαλες – σφαίρες διαμέτρου αρκετών δεκάδων χιλιάδων φορών μικρότερης από μια ανθρώπινη τρίχα – ενώ εσύ με τη νανοστέκα στο χέρι ετοιμάζεσαι να «σπάσεις». Βάζεις όλη σου τη μαεστρία για ένα τεχνικό χτύπημα, υπολογίζεις τα φάλτσα και χτυπάς. Η λευκή νανόμπαλα φεύγει με ορμή και πέφτει πάνω στην μπλε μπάλα που βρίσκεται μπροστά και...

Και τίποτα!

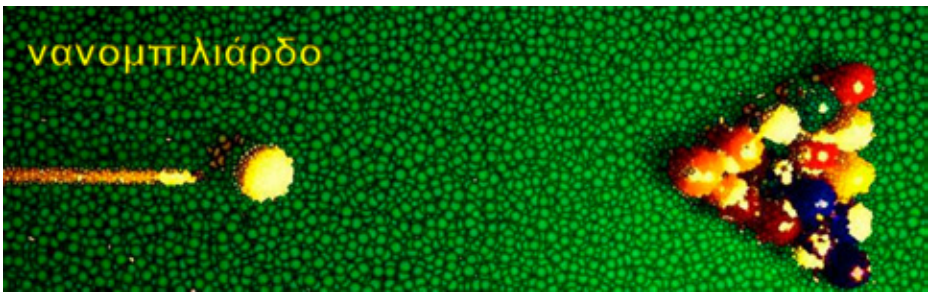
Αντί να «σπάσει» τις νανόμπαλες, η άσπρη κολλάει με τη μπλε, αφήνοντας προκλητικά ακίνητες τις υπόλοιπες. Την τραβάς προσπαθώντας να την ξεκολλήσεις· μόνο τότε διαπιστώνεις ότι και οι άλλες μπάλες είναι κολλημένες μεταξύ τους σε ένα ενιαίο συσσωμάτωμα. Διάολε... Βάζεις περισσότερη δύναμη, καταφέρνεις να αποσπάσεις την άσπρη. Αποφασίζεις να ξαναπροσπαθήσεις να σπάσεις, αυτή τη φορά χτυπώντας τη στέκα με μανία και αφήνοντας κατά μέρος τις τεχνικές. Η άσπρη μπάλα χτυπά με κρότο την μπλε. Αυτό που επακολουθεί, όμως, δεν έχει καμία σχέση με αυτό που ελπίζεις...

Η λευκή μπάλα ρυτιδώνεται έντονα· ένα κύμα διαπερνά τη μάζα της, παραμορφώνοντάς τη. Θερμαίνεται, μαλακώνει, λιώνει σχεδόν. Τι σχεδόν; λιώνει κανονικά. Και η μπλε; Μα πού πήγε η μπλε; Και τι έγινε η άσπρη, που έλιωσε; Εξαφανίστηκαν και οι δύο! Στη θέση τους τώρα υπάρχει μια άλλη, μεγαλύτερη, μπάλα.

Μα αυτή είναι κόκκινη!

Το μέγεθος μετράει...

Επιτρέψτε μου να ζητήσω συγγνώμη για την υπεραπλουστευμένη και κάπως αφελή εισαγωγή που επιχείρησα στην προηγούμενη ενότητα. Σκοπός αυτού του υποθετικού σεναρίου ήταν να αναδείξω, με κάπως γλαφυρό τρόπο, το πόσο διαφορετική μπορεί να είναι η συμπεριφορά της νανοϋλης σε σύγκριση με τη μακροσκοπική ύλη της καθημερινότητάς μας, χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα για το οποίο όλοι έχουμε μια εμπειρική εικόνα, αυτή του μπιλιάρδου. Εδώ θα εμβαθύνουμε κάπως στη δομή των νανοσωματιδίων, προκειμένου να ερμηνεύσουμε τα παράδοξα



αυτού του πειράματος σκέψης, ανακαλύπτοντας ταυτόχρονα τη γενεσιουργό αιτία τους. Παρακάτω, θα δούμε πώς η δομή των νανοσωματιδίων συνδέεται με τις φυσικές ιδιότητές τους. Ως παράδειγμα θα χρησιμοποιήσουμε το χρώμα τους.

Η στερεή ύλη, ως γνωστόν, αποτελείται από άτομα τα οποία σχηματίζουν σταθερούς δεσμούς μεταξύ τους· στην περίπτωση των κρυσταλλικών στερεών (μέταλλα, ημιαγωγοί κλπ.) οι δεσμοί αυτοί έχουν συγκεκριμένο αριθμό, μήκη και διευθύνσεις για κάθε άτομο. Ο σίδηρος, π.χ. σχηματίζει ενδοκεντρωμένο κυβικό κρυσταλλικό πλέγμα (body-centered cubic, bcc), που σημαίνει ότι κάθε άτομο σιδήρου περιβάλλεται από οκτώ άλλα άτομα σε βαθμό πρώτης γειτονίας, σχηματίζοντας οκτώ δεσμούς. Η ενέργεια που απαιτείται να καταναλώσουμε προκειμένου να σπάσουμε αυτούς τους δεσμούς και να αποσυνθέσουμε τον κρύσταλλο στα εξ ων συνετέθη ονομάζεται ενέργεια συνοχής του κρυστάλλου, ενώ κατά σύμβαση ορίζουμε τη δυναμική ενέργεια των ατόμων ως αρνητική, έτσι ώστε να υποδεικνύεται η δομική σταθερότητα του κρυστάλλου.

Έχει, όμως, κάθε άτομο οκτώ γείτονες; Προφανώς αυτό ισχύει για τα άτομα μάζας, δηλαδή όλα όσα βρίσκονται στο εσωτερικό του κρυστάλλου. Τι συμβαίνει όμως με τα επιφανειακά άτομα; Αυτά έχουν γείτονες μόνο προς την κατεύθυνση που βρίσκεται ο υπόλοιπος κρύσταλλος, σχηματίζοντας τους μισούς από τους δεσμούς που δυνητικά μπορούν να δημιουργήσουν, με αποτέλεσμα η δυναμική τους ενέργεια να αυξάνεται (ή, ακριβέστερα, το μέτρο της αρνητικής δυναμικής ενέργειάς τους να μειώνεται).

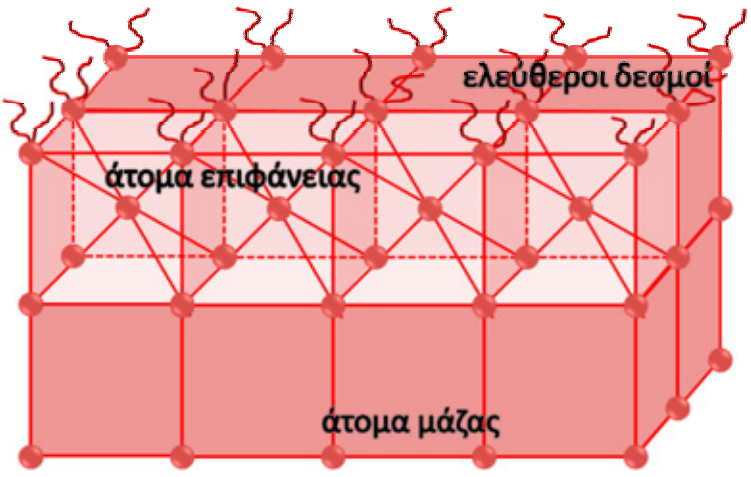
Τι ποσοστό ατόμων βρίσκεται όμως στην επιφάνεια ενός κρυσταλλικού στερεού, που έχει για παράδειγμα τη μορφή μιας σφαίρας ακτίνας r; Ένα ατομικό επίπεδο έχει πάχος περίπου t=0.2 nm, οπότε τα επιφανειακά άτομα σχηματίζουν ένα σφαιρικό κέλυφος όγκου

$$V_{surface}=4\pi r^2 t,$$

ενώ ο συνολικός όγκος της σφαίρας είναι $V_{sphere}=4\pi r^3/3$. Ο λόγος των δύο όγκων, 3t/r, δίνει το ζητούμενο ποσοστό. Αν θέσουμε για μία μακροσκοπική σφαίρα ακτίνα r=1 m, προκύπτει ότι το ποσοστό είναι 6×10^{-10}, πρακτικά αμελητέο. Αντίθετα, αν θέσουμε για ένα νανοσωματίδιο ότι r=1 nm, προκύπτει ότι το ποσοστό είναι 60%! **Με άλλα λόγια, τα περισσότερα άτομα βρίσκονται στην επιφάνεια!**

Αυτό σημαίνει ότι και ο αριθμός των ελεύθερων δυνητικών δεσμών (dangling bonds) παύει πλέον να είναι αμελητέος. Τα επιφανειακά άτομα (και κατ' επέκταση τα νανοσωματίδια) είναι σε θέση να δημιουργήσουν δεσμούς με άλλα άτομα που πιθανόν να βρεθούν σε κοντινή απόσταση. Αυτό ακριβώς συνέβη όταν ο φίλος σου «έστησε» τις μπάλες του νανομπιλιάρδου: φέρνοντας τις μπάλες σε επαφή, ο σημαντικός αριθμός ελεύθερων δεσμών τις οδήγησε σε συσσωμάτωση ακόμη και σε θερμοκρασία δωματίου. Στη μακροκλίμακα, αυτή η διαδικασία θα απαιτούσε παροχή θερμότητας, όπως θα μπορούσε να μας πληροφορήσει οποιοσδήποτε σιδηροσυγκολητής· μια διαδικασία που ονομάζεται πυροσυσσωμάτωση (sintering).

Άλλο φυσικό επακόλουθο της αύξησης του ποσοστού των επιφανειακών ατόμων είναι και η ελάττωση της συνολικής ενέργειας συνοχής ενός νανοσωματιδίου. Μπορεί εύκολα να



υπολογιστεί ότι η ενέργεια συνοχής των επιφανειακών ατόμων είναι περίπου 30% χαμηλότερη από ότι των ατόμων μάζας. Σε συνδυασμό με το ότι περίπου 60% των ατόμων ενός νανοσωματιδίου ακτίνας 1 nm είναι επιφανειακά, προκύπτει ότι η ενέργεια συνοχής του σωματιδίου είναι περίπου 20% χαμηλότερη από ότι της μακροσκοπικής σφαίρας.

Αυτό έχει σοβαρότατες συνέπειες στις δομικές ιδιότητες του νανοσωματιδίου. Πρώτη και σημαντικότερη, η ταπείνωση του σημείου τήξης του, ακόμη και κατά εκατοντάδες βαθμούς Κελσίου. Μάλιστα, οι επιφάνειες αυτές καθαυτές λιώνουν σε ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες! Ελπίζω πως σε αυτό το σημείο είναι ήδη προφανές ότι το χαμηλό σημείο τήξης της άσπρης μπάλας του νανομπιλιάρδου, σε συνδυασμό με την πρόσθετη ενέργεια που της δόθηκε από το δυνατό χτύπημα της στέκας, ήταν η αιτία που έλιωσε κατά το δεύτερο «σπάσιμο».

Ταυτόχρονα, οι δεσμοί που τα επιφανειακά άτομα σχηματίζουν, διαφέρουν με αυτούς των εσωτερικών ατόμων, τόσο στην ενέργεια, όσο και στη διεύθυνση και το μήκος· συχνά, μάλιστα, διαφέρουν και από αυτούς άλλων επιφανειακών ατόμων. Αυτό καθιστά τα κλασικά διαγράμματα φάσης υλικών μάζας αναξιόπιστα στη νανοκλίμακα. Η ταυτοποίηση καταστάσεων ισορροπίας είναι εξαιρετικά δύσκολη λόγω της ταχύτητας των αλληλεπιδράσεων, των πολλαπλών δομών που μπορούν να δημιουργηθούν και της ευαίσθητης εξάρτησης των ιδιοτήτων των νανοσωματιδίων από το μέγεθός τους. Αυτό αποτελεί μόνιμη πηγή πονοκεφάλου για όσους ασχολούνται με το πεδίο· παράλληλα, ωστόσο, δημιουργεί προϋποθέσεις για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη διαφόρων εξωτικών διατάξεων, καθώς επιτρέπει την παγίδευση των συστημάτων σε μεταστάθεις καταστάσεις. Υπ' αυτήν την έννοια, η πλήρης συσσωμάτωση της άσπρης και της μπλε μπάλας δεν ήταν εύκολα προβλέψιμη πριν το χτύπημα της στέκας· εάν όμως ενδιαφερόμασταν να δημιουργήσουμε κόκκινες μπάλες για κάποια εφαρμογή, θα βρισκόμασταν προ ευχάριστης έκπληξης.

Ας δούμε γιατί...

Ό,τι είναι χρυσός, λάμπει;

Ό,τι λάμπει δεν είναι χρυσός· μια πασίγνωστη φράση. Στην αγγλική της εκδοχή ιδιαίτερα διαδεδομένη και λόγω της χρήσης της από το Σαίξπηρ στον «Έμπορο της Βενετίας». Ισχύει, όμως, το αντίστροφο; *Ό,τι είναι χρυσός λάμπει;*

Ή αλλιώς: **Τι χρώμα έχει ο χρυσός;**

Ανόητη ερώτηση, θα μου πει βιαστικά κάποιος· χρυσό, εξ ορισμού… Ή κάποιος άλλος, ίσως μέσα στο κλίμα της εποχής, να κάνει κάποιο πικρόχολο αστείο: και πού να θυμόμαστε, στην σημερινή οικονομική κατάσταση; Εσύ, ωστόσο, υποψιασμένος από τα παραπάνω και γνωρίζοντας τα καπρίτσια όσων ασχολούνται με την έρευνα και επιστήμη σε βαθμό που να βρίσκουν διασκεδαστικά τέτοια ερωτήματα, καταλαβαίνεις την – προφανή, ούτως ή άλλως – παγίδα... Δεν μπορούμε να απαντήσουμε, η ερώτηση δεν είναι επαρκώς σαφής!

Και θα έχεις δίκιο, βέβαια. Πού βρίσκεται όμως η ασάφεια στη διατύπωση του ερωτήματος;

Είμαστε τόσο συνηθισμένοι στην καθημερινότητά μας να αναφερόμαστε σε αντικείμενα και φαινόμενα της εμπειρίας μας που μπορούμε να αντιληφθούμε με τις αισθήσεις (συνήθως με την όραση), που καταλήγουμε να γενικεύουμε· έτσι είναι. Η καθημερινή μας εμπειρία με το χρυσό μάς οδηγεί στο ασφαλές αναπόφευκτο συμπέρασμα: είναι κίτρινος, με μεταλλική λάμψη. Ίσως κοκκινίζει λίγο αν μας ξεγέλασε ο κοσμηματοπώλης, αλλά είναι αναντίρρητα κίτρινος. Χρυσαφής. Μαλαματένιος.

Ξεχνούμε, έτσι, το ποιος είναι ο φυσικός μηχανισμός που δίνει στο χρυσό το χρώμα αυτό. Και φυσικά, ποιες είναι οι παράμετροι που επηρεάζουν το μηχανισμό αυτόν.

Χωρίς να μπούμε σε πολλές λεπτομέρειες, το χρώμα των μετάλλων προκύπτει από την απορρόφηση λευκού φωτός από

το ηλεκτρονικό νέφος της επιφάνειάς τους που τα οδηγεί σε κάποια διεγερμένη κατάσταση και τη σχεδόν άμεση αποδιέγερσή τους με εκπομπή φωτονίων ή/και τη διέγερση ταλαντώσεων του πλέγματος. Ωστόσο, σημαντικό ρόλο παίζει και η ανακλαστικότητα. Όταν η απόδοση απορρόφησης και η ανακλαστικότητα είναι περίπου οι ίδιες για όλο το οπτικό φάσμα, τότε όλα τα χρώματα ανακλώνται εξίσου, δημιουργώντας το λευκό-ασημί χρώμα των στιλπνών επιφανειών του αργύρου ή του σιδήρου. Η ηλεκτρονική δομή του χρυσού, ωστόσο, τον κάνει να έχει υψηλή απορροφητικότητα σε φως με ενέργεια μεγαλύτερη των 2.45 eV (μπλε ιώδες) και συνεπώς μεγάλη ανακλαστικότητα σε φως μικρότερης ενέργειας (κυρίως κίτρινο). Έτσι, εμφανίζεται σε εμάς κίτρινος.

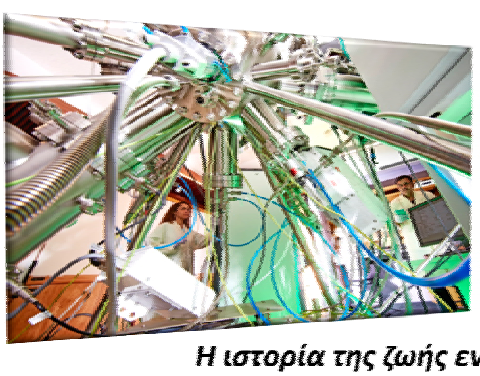
Αυτό, βέβαια, προϋποθέτει ότι έχουμε υλικό όγκου. Εάν, όμως, λευκό φως προσπέσει πάνω σε νανοσωματίδια χρυσού, τα πράγματα αλλάζουν δραματικά. Το φως διεγείρει το ηλεκτρονικό νέφος γύρω από το σωματίδιο, δημιουργώντας πόλωση στο φορτίο του σωματιδίου και εξαναγκάζοντάς το σε ταλάντωση, γνωστή και ως **πλασμόνιο**. Το μήκος κύματος στο οποίο επιτυγχάνεται ο συντονισμός εξαρτάται από το μέγεθος του σωματιδίου· έτσι, μπορούμε κάλλιστα να έχουμε κόκκινα, μπλε, ή μωβ νανοσωματίδια χρυσού – ακόμη και διαφανή! Και κάπως έτσι, βέβαια, μπορούμε να καταλήξουμε με μπάλες νανομπιλιάρδου το χρώμα των οποίων αλλάζει με την ακτίνα τους...

Και αν όλα αυτά ακούγονται κάπως εξωτικά, στην πραγματικότητα δεν πρόκειται καν για κάτι καινούριο, ούτε από τεχνολογική ούτε από επιστημονική άποψη. Η χρήση νανοσωματιδίων (χρυσού αλλά και άλλων μετάλλων) στην υαλουργία για τη δημιουργία χρωματιστών γυαλιών διαφόρων χρωμάτων, ήταν διαδεδομένη ήδη από την αρχαιότητα. Η δε σκέδαση του φωτός σε νανοσωματίδια μπορεί να περιγραφεί από τη **θεωρία του Mie**, που δημοσιεύτηκε πριν από έναν αιώνα, περίπου. Αυτό που είναι καινούργιο, ωστόσο, είναι οι δυνατότητες που στο μεταξύ αναπτύξαμε να ελέγχουμε τη σύνθεση των νανοσωματιδίων και, κυρίως, να βλέπουμε στη νανοκλίμακα και να αναλύουμε τα φαινόμενα που παρουσιάζονται εκεί. Και είναι πολλά και συναρπαστικά· όπως παρατήρησε ο Richard Feynman σε διάλεξή του στην American Physical Society το 1959, **«υπάρχει πολύς χώρος στον πάτο...»**.

Η ιστορία της ζωής ενός νανοσωματιδίου

Η τεχνολογία ανάπτυξης λεπτών υμενίων (thin films) αποτελούμενων από νανοσωματίδια άνοιξε νέους δρόμους στη νανοτεχνολογία που δεν ήταν εφικτοί μέσω συμβατικών μεθόδων εναπόθεσης του παρελθόντος. Με επιπλέον βαθμούς ελευθερίας το μέγεθός τους, αλλά και μια εσωτερική ατομική δομή με τυχαίο προσανατολισμό σε σχέση με αυτούς των άλλων σωματιδίων, αυτά τα «τεχνητά άτομα» μπορούν να οδηγήσουν σε νέα υλικά με βελτιστοποιημένη δομή, ιδιότητες και εφαρμογές.

Ο πλήρης έλεγχος του πορώδους ενός υμενίου είναι θεμελιώδους σημασίας για όλες τις εφαρμογές που απαιτούν υψηλό επιφανειακό εμβαδό. Στους αισθητήρες, για παράδειγμα, ηλεκτρονιακή ροή, με τη συνεπακόλουθη αύξηση του ηλεκτρικού σήματος, επιτυγχάνεται δια μέσου λαιμώσεων που σχηματίζονται ανάμεσα σε νανοσωματίδια, ελαχιστοποιώντας έτσι την αντίσταση της επαφής. Προκειμένου να παραχθούν υμένια με επιθυμητές ιδιότητες, μια ελεγχόμενη διαδικασία παραγωγής είναι απαραίτητη. Αυτή περιλαμβάνει (i) την ανάπτυξη νανοσωματιδίων συγκεκριμένου μεγέθους, (ii) την εναπόθεσή τους πάνω σε ένα υπόστρωμα με κατάλληλο τρόπο ώστε να μη διαταραχθεί η αρχική τους ομοιομορφία, και (iii) επακόλουθη θερμική διεργασία, αν κριθεί απαραίτητη.



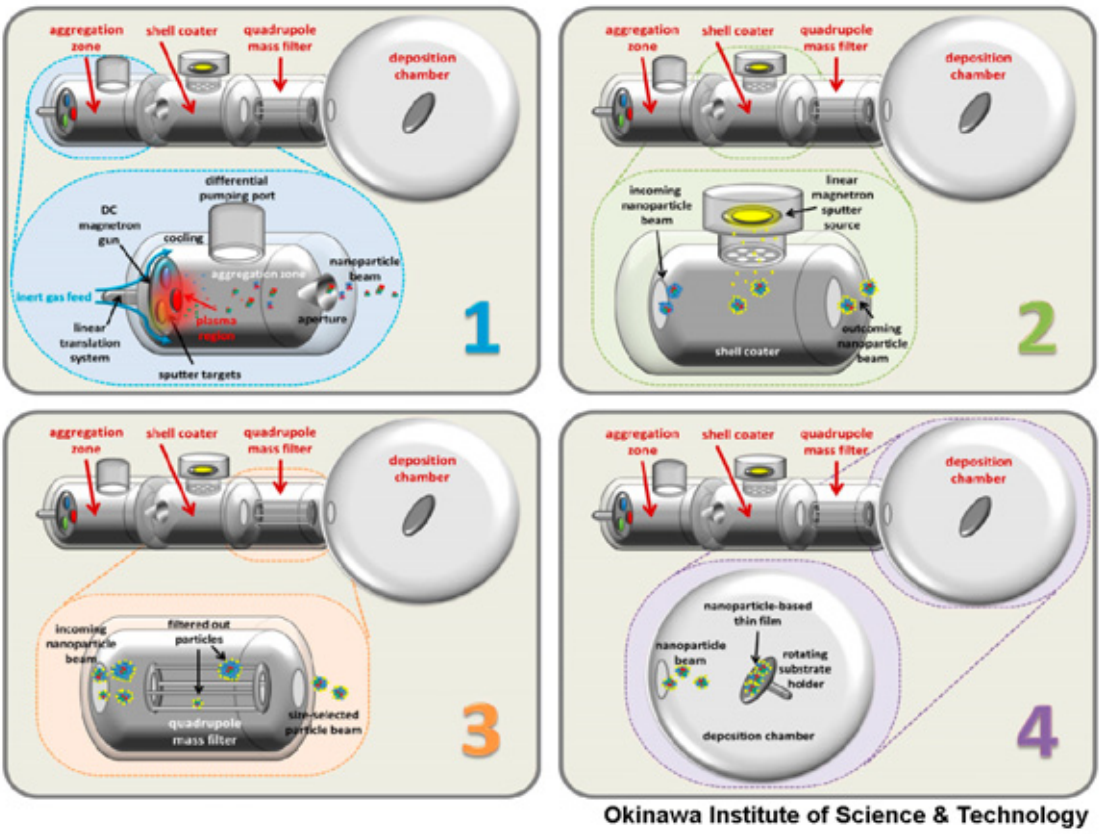
Η ιστορία της ζωής ενός νανοσωματιδίου

Στο **Nanoparticles by Design Unit** του νεοσύστατου **Ινστιτούτου Επιστήμης και Τεχνολογίας της Οκινάουα (OIST), στην Ιαπωνία**, εξειδικευόμαστε ακριβώς σε αυτό: στη σύνθεση, την εναπόθεση και το χαρακτηρισμό νανοσωματιδίων για διάφορες τεχνολογικές, χημικές και ιατρικές εφαρμογές. Παράλληλα, εκτελούμε υπολογιστικές προσομοιώσεις για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών που οδηγούν στο σχηματισμό διαφόρων δομών.

Η μέθοδος που χρησιμοποιούμε για την ανάπτυξη των σωματιδίων είναι η PVD (Physical Vapour Deposition), με ιοντοβολή σε πλάσμα μαγνήτρου (magnetron-sputtering) σε περιβάλλον αδρανούς αερίου, χρησιμοποιώντας έναν αντιδραστήρα της εταιρείας MANTIS. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα τέσσερα στάδια της διαδικασίας ανάπτυξης και εναπόθεσης νανοσωματιδίων: (1) μέχρι τρεις ξεχωριστοί στόχοι διαφόρων υλικών τοποθετούνται στο θάλαμο ανάπτυξης. Ο θάλαμος τροφοδοτείται με αδρανές αέριο, το οποίο θερμαίνεται με παράλληλη εφαρμογή μαγνητικού πεδίου μέχρις ότου περιέλθει σε κατάσταση πλάσματος. Τα νεοδημιουργηθέντα ιόντα του αερίου, κατευθυνόμενα από το μαγνητικό πεδίο βομβαρδίζουν τους στόχους, οι οποίοι «φτύνουν» άτομα (όσο άκομψο και αν ακούγεται αυτό, είναι η κυριολεξία του sputtering). Αυτά τα άτομα συγκρουόμενα τόσο μεταξύ τους όσο και με τα άτομα του αδρανούς αερίου ψύχονται και συμπυκνώνονται σε πυρήνες νανοσωματιδίων, τους οποίους βαθμίδα πίεσης αναγκάζει να κατευθυνθούν προς την έξοδο του θαλάμου. (2) Εάν είναι απαραίτητο, περνούν μέσα από έναν επιπλέον θάλαμο, όπου επικαλύπτονται από άτομα προερχόμενα από τέταρτο στόχο. Δημιουργείται έτσι δομή πυρήνα-κελύφους (core-shell structure). (3) Για καλύτερο έλεγχο του μεγέθους τους, τα σωματίδια φιλτράρονται από φίλτρο μάζας που, δημιουργώντας κατάλληλο ηλεκτρικό πεδίο, εκτρέπει όλα όσων οι διαστάσεις δε βρίσκονται μέσα σε επιτρεπτά όρια. (4) Τέλος, τα νανοσωματίδια προσγειώνονται πάνω σε κατάλληλο υπόστρωμα, δημιουργώντας το υμένιο με την επιθυμητή δομή και ιδιότητες.

Με μια ευρεία γκάμα πιθανών εφαρμογών – από ημιαγωγικές διατάξεις και υλικά για ηλεκτρικές αντιστάσεις μέχρι ηλεκτρόδια και διηλεκτρικά πυκνωτών, από οπτικές και αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις μέχρι φωτοκαταλύτες και φωτοβολταϊκά πάνελς, και από βιοσυμβατά προσθετικά μέλη και επικαλύψεις χειρουργικών εργαλείων μέχρι χημικά αντιδραστήρια και καταλύτες, είναι μάλλον ασφαλής η πρόβλεψη ότι το βιομηχανικό ενδιαφέρον για τεχνολογίες νανοσωματιδίων πρόκειται μόνο να αυξηθεί στα ερχόμενα χρόνια.

Και ακόμα κι αν το νανομπιλιάρδο αργήσει πολύ να γίνει δημοφιλής απασχόληση για τα βράδια μας, ένα πράγμα είναι σίγουρο: η νανοεποχή είναι προ των πυλών. Και πρόκειται να είναι μια συναρπαστική εποχή!



Νέες εξελίξεις στη μέτρηση της βαρύτητας

Νικόλαος Χατζαράκης
Απόφοιτος
Τμ. Φυσικής

Η βαρύτητα είναι μία από τις τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις στη φύση, αυτή που εντοπίστηκε πρώτη από τον άνθρωπο, αυτή που εμφανίζει τη μεγαλύτερη ακτίνα δράσης, αλλά και αυτή με την ασθενέστερη επίδραση (της τάξης του 10^{-41} μετρούμενη στην κλίμακα των quarks, της τάξης του 10^{-36} μετρούμενη στην κλίμακα των νουκλεονίων). Είναι ταυτόχρονα η αλληλεπίδραση που ευθύνεται για τη συγκρότηση και τη διάρθρωση του σύμπαντος σε μεγάλη κλίμακα, αλλά και η μοναδική αλληλεπίδραση της οποίας η κβαντομηχανική περιγραφή δεν έχει επιτευχθεί ακόμη – άρα και η αλληλεπίδραση που εμποδίζει την πολυπόθητη «ενοποίηση των δυνάμεων». Πώς όμως μετριέται αυτή η αλληλεπίδραση;

Η μέχρι τώρα γνώση μας γι' αυτήν, προερχόμενη κυρίως από το πεδίο της κλασσικής φυσικής, μας έχει επιτρέψει να δημιουργήσουμε βαρυτόμετρα (gravimeters), τα οποία εκτιμούν την επιτάχυνση που προκαλεί η βαρύτητα σε ένα σώμα. Τα όργανα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία τόσο σε πειραματικούς ελέγχους ασθενών πεδίων βαρύτητας – όπως αυτό της Γης, ή του ηλιακού συστήματος γενικότερα – και στην επιβεβαίωση της επικρατούσας σήμερα θεωρίας για τη βαρύτητα, αλλά και για ποικίλες εφαρμογές σε καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου. Όμως, δύο νέες έρευνες έρχονται να αλλάξουν τον τρόπο που γίνονται σήμερα οι μετρήσεις της βαρύτητας και να επαναστατικοποιήσουν τη χρήση τους.

Τι ξέρουμε για τη βαρύτητα;

Η βαρύτητα είναι η πρώτη αλληλεπίδραση που διαπιστώθηκε από τον άνθρωπο, από τη στιγμή ακόμη που είδε ένα αντικείμενο (μια πέτρα, ένα μήλο, τον ίδιο του τον εαυτό) να πέφτει στο έδαφος, σαν τραβηγμένο από μια άγνωστη δύναμη. Έτσι, πολλές από τις πρώτες απόπειρες στη φυσική φιλοσοφία είχαν στόχο την απάντηση σε αυτό το ερώτημα: για ποιο λόγο πέφτουν τα αντικείμενα προς τα κάτω; Και το ερώτημα που ακολουθεί είναι: με ποιο μηχανισμό της φύσης πέφτουν τα αντικείμενα προς τα κάτω;

Ο Isaac Newton (1642-1726) θεωρείται ο πατέρας της κλασσικής θεωρίας της βαρύτητας, ο πρώτος που δίνει επιστημονικά θεμέλια στη δύναμη αυτή της φύσης. Αυτό που έκανε, ούτε λίγο ούτε πολύ, είναι να ποσοτικοποιήσει την κοινή άποψη ότι η βαρύτητα είναι μία «δύναμη» ανάλογη της μάζας των αντικειμένων και ταυτόχρονα να επιβεβαιώσει την πιο σπάνια για την εποχή εκείνη άποψη ότι η «δύναμη» αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης αυτών των σωμάτων μεταξύ τους. Κατέληξε έτσι στο γνωστό του νόμο της Παγκόσμιας Έλξης:

$$\vec{F} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\vec{e}_r$$

όπου $G = 6.67\cdot10^{-11}\ N\cdot m^2/kg^2$ η παγκόσμια βαρυτική σταθερά, m_1 και m_2 οι μάζες των δύο σωμάτων που έλκονται, r η απόστασή μεταξύ τους και $\vec{e}_r$ το μοναδιαίο διάνυσμα πάνω σε αυτή την απόσταση, το οποίο υποδεικνύει την κατεύθυνση αυτής της δύναμης.

Η ουσιαστική όμως συνεισφορά του Newton δεν έγκειται στη διατύπωση του νόμου, αλλά στις παρακάτω δύο αντιλήψεις που εγκαθιδρύει:

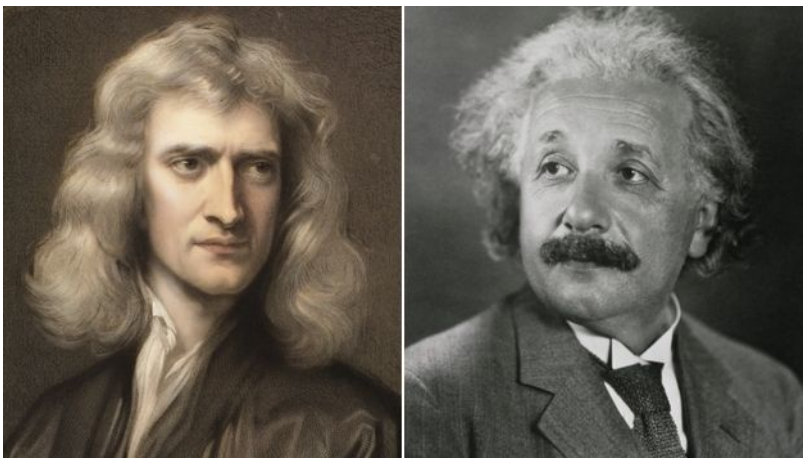
- Η βαρύτητα είναι μία δύναμη, δηλαδή μία δράση από απόσταση που κατευθύνεται από οποιοδήποτε σώμα έχει μάζα σε οποιοδήποτε άλλο σώμα έχει μάζα μέσα σε μηδενικό χρόνο. Αυτό όχι μόνο δίνει μία σχεδόν υπερφυσική και απόλυτη ταυτότητα στη βαρύτητα, αλλά επιτρέπει και τη ντετερμινιστική μελέτη των φαινομένων της δια μέσου των τριών νόμων-αξιωμάτων του Newton,

και ιδιαίτερα του δεύτερου, που μας επιτρέπει να μελετήσουμε την κίνηση των σωμάτων που αλληλεπιδρούν βαρυτικά.

• Η βαρύτητα είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο, άσχετα αν εμφανίζεται στην πτώση ενός μήλου ή στην κίνηση των πλανητών γύρω από τον ήλιο. Για πρώτη φορά, ο Newton μας δίνει τα μέσα να μελετήσουμε τα φαινόμενα τόσο του "δικού" μας κόσμου, του επίγειου, όσο και τα φαινόμενα του σύμπαντος, του επουράνιου κόσμου. Οι δύο αυτές εκφάνσεις της βαρύτητας γίνονται πλέον δύο ταυτόσημα φαινόμενα και αντιμετωπίζονται ως μία και μόνη "αλήθεια" που κυριαρχεί στο σύμπαν από άκρου εις άκρον.

Και αυτές οι δύο απόψεις προκαλούν ένα τεράστιο ρήγμα στη σκέψη της εποχής και διαμορφώνουν τη μετέπειτα πορεία της επιστήμης, τουλάχιστο μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα.

Οι αντιφάσεις της θεωρίας του Newton έγιναν αντιληπτές από πολύ νωρίς και διατυπώνονταν άφοβα λίγο καιρό μετά το θάνατό του. Ο ίδιος φάνηκε να αμφισβητεί, λίγα χρόνια μετά τη δημοσίευση της θεωρίας του, την έννοια της δύναμης όπως την είχε ορίσει. Οι Leonhard Euler (1707-1783), Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), Pierre-Simone Laplace (1749-1827), William Rowan Hamilton (1805-1865) και άλλοι, στόχευσαν την κριτική τους στην έννοια του απόλυτου χρόνου, στη δυνατότητα ύπαρξης ενός άπειρου σύμπαντος –που δεν συνάδει με τη νευτώνεια βαρύτητα– και στην αναμόρφωση της κλασσικής μηχανικής χωρίς την προϋπόθεση της έννοιας «δύναμη». Ωστόσο ήταν ο Albert Einstein (1879-1955) αυτός που έδωσε το οριστικό χτύπημα στη θεωρία του Newton.



Newton και Einstein

Η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας που πρότεινε ο Einstein δεν ήταν απλά μια γεωμετρική επέκταση της Ειδικής Σχετικότητας, αλλά μία προσπάθεια συνολικής κατανόησης του κόσμου μέσα από τη γεωμετρία και την ισοδυναμία της με τη φυσική. Η βαρύτητα πλέον παύει να είναι μία δύναμη, έστω και μασκαρεμένη πίσω από το δυναμικό του Gauss ή την ενέργεια του D' Alembert, και μετατρέπεται σε μία απλή ιδιότητα του καμπυλωμένου χώρου και χρόνου. Ο χρόνος συνεπακόλουθα παύει να είναι απόλυτος και γίνεται, όπως και ο χώρος, μία μορφή ύπαρξης της ύλης. Η δε ύλη, όπως και η ενέργεια, γίνονται οι αιτίες ύπαρξης της βαρύτητας διαμέσου της καμπύλωσης του χώρου και του χρόνου.

Η πρωτόγνωρη αυτή άποψη είχε σαν αποτέλεσμα πολλά νέα δεδομένα να εισβάλουν στο πεδίο μελέτης μας. Η βαρύτητα δεν γίνεται πλέον αντιληπτή ως μία δράση από απόσταση που συμβαίνει αυτοστιγμεί. Έπρεπε να βρεθεί ο τρόπος μετάδοσής της – κάτι που γέννησε τα βαρυτικά κύματα. Παραπέρα, αστρικά αντικείμενα όπως οι μελανές οπές, που μέχρι τότε θεωρούνταν ανύπαρκτα, εμφανίζονται σαν κεντρικά θέματα της αστροφυσικής – και ξέρουμε πως η βαρύτητα γύρω τους είναι ουσιωδώς διαφορετική στις δύο διαφορετικές θεωρίες. Επομένως, η μέτρηση της βαρύτητας γίνεται ένα μείζονος σημασίας ζήτημα. Αν οι δύο περιγραφές της βαρύτητας καταλήγουν σε διαφορετικά συμπεράσματα, πρέπει να μπορούμε να τις διαχωρίσουμε και να αποφανθούμε ποια από τις δύο περιγράφει καλύτερα και με μεγαλύτερη πιστότητα την πραγματικότητα.

Μετρώντας τη Βαρύτητα

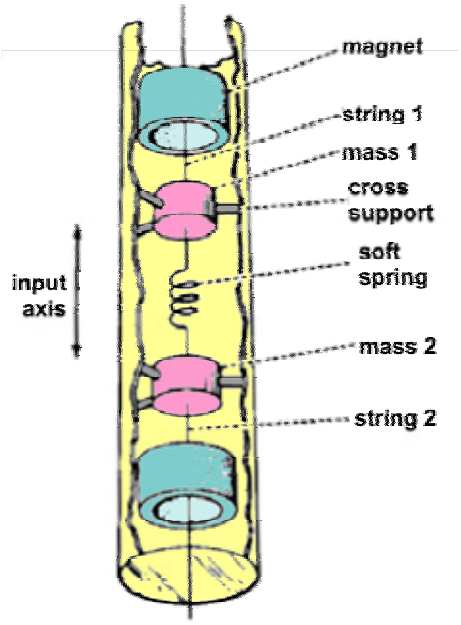
Ο τρόπος με τον οποίο έχουμε συνηθίσει να μετρούμε τη βαρύτητα είναι μέσω της επιτάχυνσης που προκαλεί. Αυτή η μέθοδος προκύπτει φυσικά από μία καθαρά νευτώνεια αντίληψη της βαρύτητας ως δύ-

ναμης, αλλά μπορεί να μας δώσει αρκετά καλές πληροφορίες όταν το βαρυτικό πεδίο είναι ασθενές, όταν δηλαδή η συγκέντρωση ύλης και ενέργειας δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να προκαλεί σημαντική καμπύλωση του χωροχρόνου. Το βαρυτικό πεδίο της Γης, αλλά και ολόκληρου του ηλιακού συστήματος, θεωρούνται ασθενή βαρυτικά πεδία. Ταυτόχρονα, οι πληροφορίες που λαμβάνουμε, εφόσον οι μετρήσεις μας είναι αντικειμενικές και ευκρινείς, μας επιτρέπουν να διακρίνουμε τις μικρές διαφορές των δύο θεωριών ακόμη και σε αυτά τα ασθενή πεδία.

Η επιτάχυνση της βαρύτητας μετριέται με όργανα που ονομάζονται βαρυτόμετρα (gravimeters). Τα όργανα αυτά χρησιμοποιούν ένα σώμα γνωστής μάζας που βρίσκεται τοποθετημένα πάνω σε ένα ελατήριο γνωστής σταθεράς. Η εξισορρόπηση του συστήματος αυτού εξαρτάται μόνον από τα δύο αυτά δεδομένα και σταθερά μεγέθη και από την επιτάχυνση της βαρύτητας, διαμέσου της σχέσης:

$$k(l_0-x)=mg$$

όπου k η σταθερά του ελατηρίου, l_0 το φυσικό μήκος του ελατηρίου (σταθερό μέγεθος), x η συμπίεσή του λόγω του σώματος, m η μάζα του σώματος και g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Αν η σταθερά του ελατηρίου, το φυσικό του μήκος και η μάζα του σώματος είναι δεδομένα, τότε οποιαδήποτε μεταβολή του σημείου ισορροπίας – οποιαδήποτε αυξομείωση της συμπίεσης του ελατηρίου – οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στη μεταβολή της επιτάχυνσης της βαρύτητας, άρα σε διαφοροποίηση του βαρυτικού πεδίου. Αν λοιπόν, έχει προηγηθεί κάποια μέτρηση σε ένα σημείο αναφοράς, τότε οποιαδήποτε νέα μέτρηση –σε άλλο σημείο– μπορεί να συγκριθεί με αυτή και υπολογίζονται άμεσα οι διαφοροποιήσεις του βαρυτικού πεδίου.



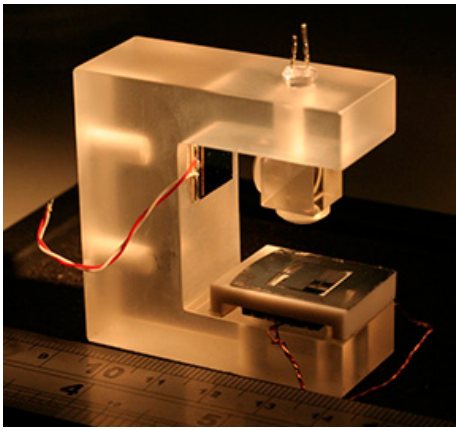
Σχήμα 1: Ο μηχανισμός λειτουργίας ενός παραδοσιακού βαρυτόμετρου.

Με τη χρήση τέτοιων βαρυτομέτρων έχει μετρηθεί το βαρυτικό πεδίο του ήλιου και έχουν διαπιστωθεί μικρές αποκλίσεις από τις προβλέψεις της θεωρίας του Newton – αποκλίσεις που μας αναγκάζουν να θεωρήσουμε ως επικρατούσα θεωρία αυτή του Einstein, αν και μας επιτρέπουν να χρησιμοποιούμε αυτή του Newton ως μία καλή προσέγγισή της σε τέτοιο επίπεδο.

Πολλές είναι οι πρακτικές εφαρμογές που έχουν βρει τα όργανα αυτά σε καθημερινές δραστηριότητες πάνω στη Γη. Η εξερεύνηση ορυχείων ή η έρευνα για τη διάνοιξη νέων ορυχείων είναι μία τέτοια δραστηριότητα. Εκεί τα βαρυτόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό κοιτασμάτων, καθότι η διαφοροποίηση των πετρωμάτων ή τα κενά που εμφανίζονται μεταξύ των πετρωμάτων, δημιουργούν μικρές, αντιληπτές όμως, τοπικές μεταβολές της βαρύτητας, μεταβολές που τα βαρυτόμετρα μπορούν να ανιχνεύσουν. Αντίστοιχα κενά μπορούν να εντοπίσουν σε δρόμους ή σιδηροδρομικές γραμμές, οπότε να προλάβουν ατυχήματα κατά τις μεταφορές. Μια ακόμη περίπτωση είναι η εφαρμογή τους στη σεισμολογία και την ηφαιστειολογία, όπου μπορούν να ανιχνεύσουν κινήσεις υπόγειων ρευμάτων μάγματος, οι οποίες χαρακτηρίζουν έναν επερχόμενο σεισμό, ή μία επερχόμενη ηφαιστειακή έκρηξη.

Τα σημερινά βαρυτόμετρα έχουν ακρίβεια που μπορεί να φτάνει μέχρι την τάξη του 10^{-8}. Έχουν όμως δύο βασικά προβλήματα. Το πρώτο είναι το βάρος τους: ενώ μπορεί να έχουν

Σχήμα 2: Ένα σύγχρονο βαρυτόμετρο.



Σχήμα 3: Το πρότυπο βαρυτόμετρο από σιλικόνη.

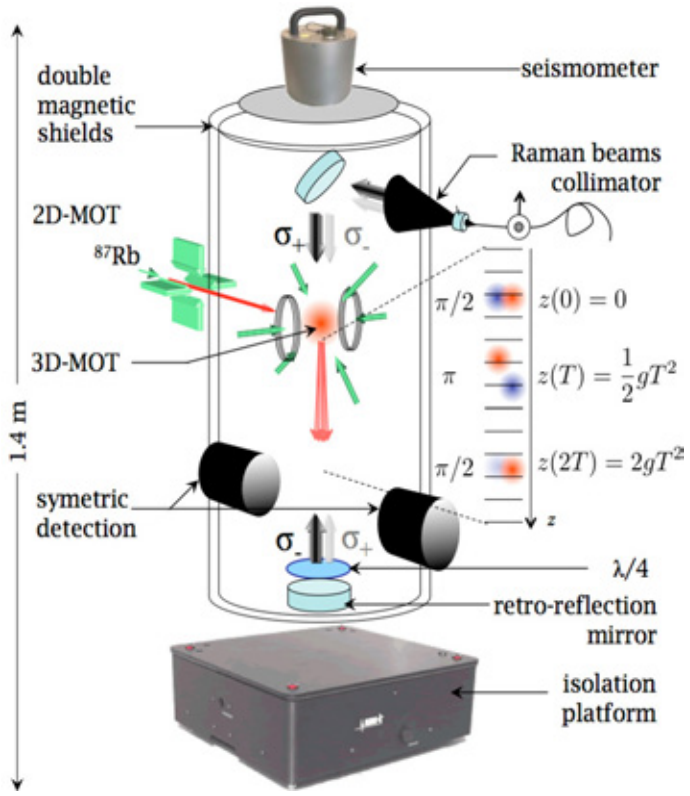
διάμετρο λίγων εκατοστών, έχουν βάρος αρκετών κιλών, ενώ η αύξηση του βάρους τους συνοδεύεται συνήθως από αύξηση της ακρίβειας. Το δεύτερο πρόβλημα είναι το κόστος: ένα τυπικό βαρυτόμετρο μπορεί κοστίζει πάνω από $200 και έως $8000. Όμως, οι δυο πρόσφατες εξελίξεις στον κλάδο της βαρυτομετρίας, έρχονται να αλλάξουν τα δύο αυτά δεδομένα.

Έμπνευση από τα smartphones

Η πρώτη εξέλιξη προέρχεται από το Πανεπιστήμιο της Glasgow και συγκεκριμένα από την ομάδα του Giles Hammond. Η ιδέα τους ήταν να χρησιμοποιήσουν ένα chip με ένα Μικρο-Ηλεκτρο-Μηχανικό Σύστημα (MEMS), όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στα επιταχυνσιόμετρα (accelerometers) που βρίσκονται στα smartphones – φυσικά, το δικό τους chip ήταν χίλιες φορές πιο ευαίσθητο από αυτά των smartphones!

Κατά τα άλλα, η λειτουργία του θυμίζει τα κλασσικά βαρυτόμετρα: Ένα κομμάτι σιλικόνης μεγέθους περίπου 10 mm βρίσκεται πάνω σε δύο υποστυλώματα, που λειτουργούν σαν ελατήρια. Τα παραπάνω, καθώς και το πλαίσιο στο οποίο βρίσκονται, είναι όλα κατασκευασμένα από ένα κομμάτι σιλικόνης πάχους 200 μm· η κατασκευή τους απαιτεί τις πιο στοιχειώδεις γνώσεις κατασκευής ημιαγωγών. Το σύστημα συμπληρώνεται από ένα θερμαντικό σώμα, ένα θερμοστάτη, ένα LED και έναν ανιχνευτή. Τα πρώτα δύο χρησιμοποιούνται για να περιορίζουν τις μεταβολές της θερμοκρασίας στο 1 mK, οπότε αποφεύγονται οι συστολές και οι διαστολές της σιλικόνης, η οποία είναι ιδιαίτερα επιρρεπής στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Το LED φωτίζει το κομμάτι σιλικόνης που στέκεται πάνω στα υποστυλώματα, οπότε η σκιά του διαγράφεται πάνω στον ανιχνευτή, ο οποίος με τη σειρά του μετράει τη θέση του κομματιού. Από τη θέση του κομματιού και τη χρήση της παραπάνω μεθοδολογίας υπολογίζεται η επιτάχυνση της βαρύτητας.

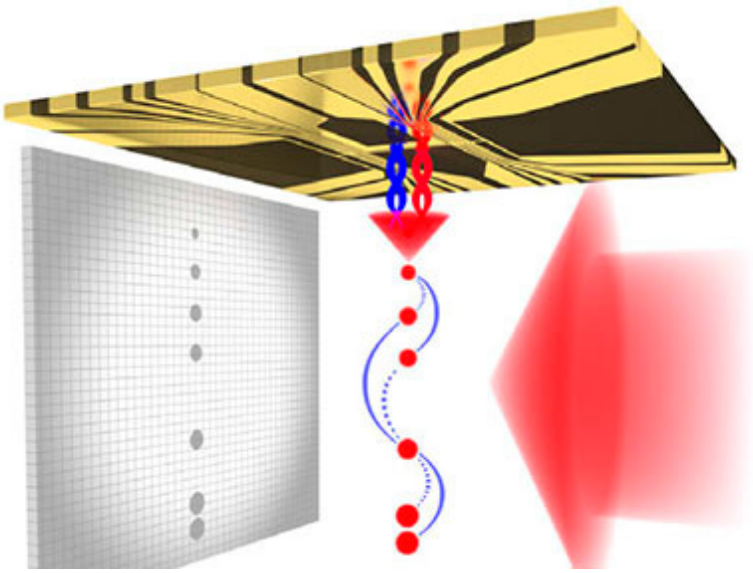
Το βαρυτόμετρο αυτό έχει ευαισθησία δέκα φορές μικρότερη αυτής των καλύτερων συσκευών της αγοράς, ωστόσο έχει πολύ μικρότερη μάζα και μπορεί να ρίξει αρκετά το κόστος παραγωγής. Οι μέχρι τώρα δοκιμές στο βαρυτικό πεδίο της Γης έδειξαν μια πλήρη παλινδρόμηση περιόδου 12 ωρών, η οποία αντιστοιχεί επακριβώς στις μικρές βαρυτικές μεταβολές που προκαλούνται από την έλξη της Σελήνης –γνωστές και ως παλιρροιακές δυνάμεις. Το βασικό μειονέκτημα, όμως, σύμφωνα με την ομάδα είναι ότι το βαρυτόμετρο αυτό λειτουργεί μόνον ως προς τη μία διάσταση. Στόχος τους λοιπόν είναι να το επεκτείνουν και να κατασκευάσουν μια συσκευή που να ανιχνεύει βαρυτικές μεταβολές και στις τρεις διαστάσεις.



Σχήμα 4: Ο μηχανισμός λειτουργίας ενός ατομικού βαρυτόμετρου

Συμπυκνώματα Bose-Einstein ως δείκτες

Λίγους μήνες αργότερα, μία έρευνα που προήλθε από τη συνεργασία ομάδων στα Πανεπιστήμια του Hannover, του Bremen και του Ulm στη Γερμανία, αλλά και της Ottawa στον Καναδά και του Texas στις ΗΠΑ, έδειξε ότι μπορούμε να ξεφύγουμε τελείως από τις κλασσικές μεθόδους μέτρησης. Η δική τους ιδέα είναι να χρησιμοποιήσουμε ως σύστημα μέτρησης ένα συμπύκνωμα Bose-Einstein.



Σχήμα 5: Σχέδιο του ατομικού βαρυτόμετρο με συσσωμάτωμα Bose-Einstein.

Ρίχνοντας ένα αέριο ατόμων προς δύο διαφορετικές κατευθύνσεις, που τελικά συγκλίνουν σε έναν ανιχνευτή, μπορεί κανείς να μετρήσει τη βαρύτητα από τις κβαντικές παρεμβολές μεταξύ των ατόμων όταν αυτά θα συναντηθούν. Χρησιμοποιώντας όμως ένα τυπικό αέριο ατόμων, η διάχυση έχει μέγεθος περίπου 1 mm, οπότε οι παλμοί laser που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των ατόμων δεν κατανέμονται ομοιογενώς στο χώρο, με αποτέλεσμα να έχουμε υψηλή αβεβαιότητα στη μέτρηση. Η ψύξη αυτού του αερίου πολύ κοντά στο απόλυτο μηδέν, οδηγεί στη δημιουργία ενός συμπυκνώματος Bose-Einstein, που συμπιέζει τα άτομα σε μία περιοχή εκατό φορές μικρότερη, ελαττώνοντας έτσι κατά πολύ την αβεβαιότητα της μέτρησης.

Το βαρυτόμετρο αυτό αποτελείται και πάλι από ένα chip μεγέθους λίγων εκατοστών, το οποίο περιέχει ένα μικρό θάλαμο κενού. Μέσα σε αυτό το θάλαμο βρίσκεται το αέριο ατόμων που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και γύρω από αυτόν μια σειρά από πομπούς laser οι οποίοι διασκορπίζουν, με τους παλμούς που στέλνουν, τα άτομα σε διαφορετικές τροχιές και δημιουργούν έτσι ένα φυσικό συμβολόμετρο. Η ελεύθερη πτώση των ατόμων, στο τέλος της οποίας συμβάλλουν, έχει διάρκεια 10 ms, ωστόσο αυτός ο μικρός χρόνος αυξάνει την αβεβαιότητα των μετρήσεων –διότι αυξάνει την αβεβαιότητα στην ενέργεια. Η λύση είναι η αύξηση του χρόνου της ελεύθερης πτώσης, η οποία μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης νέων παλμών laser που θα διαχέουν εκ νέου τα άτομα –σαν αυτά να αναπηδούν– και θα επαναλαμβάνουν όσες φορές χρειάζεται τη διαδικασία της ελεύθερης πτώσης. Ο χρόνος της μέτρησης μπορεί να αυξηθεί ως και κατά πέντε τάξεις μεγέθους.

Ο ανιχνευτής του φυσικού αυτού συμβολόμετρου μετράει την επιτάχυνση των ατόμων με ακρίβεια 10^{-7}, μόλις μία τάξη κάτω από τα καλύτερα βαρυτόμετρα της αγοράς. Στόχος των ερευνητών είναι να αυξήσουν την ευαισθησία του έως και στο 10^{-9}, κάτι που θεωρείται εφικτό. Η άποψή τους είναι ότι το «δύσκολο περιβάλλον» όπου έγινε το πείραμα και η έλλειψη θωράκισης από κραδασμούς, προκάλεσαν τη μέχρι τώρα μειωμένη του ακρίβεια.

Πηγές

- *Ιωάννης Δ. Χατζηδημητρίου.* **Θεωρητική Μηχανική,** *τόμοι Α' και Β'. Θεσσαλονίκη: εκδόσεις Γιαχούδη (2000).*
- *Hamisch Johnsoton,* **New Gravitometer-on-a-chip is tiny yet extremely sensitive,** *physicsworld.com, 20 March 2016.*
- *R.P. Middlemiss, A. Smaelli, D.J. Paul, J. Hough, S. Rowan & G.D. Hammond,* **Measurement of the Earth's tides with a MEMS gravimeter,** *Nature, 531:614-617. (2016).*
- *Hamisch Johnston.* **Gravity measured using a Bose-Einstein Condensate,** *physicsworld.com, 22 November 2016.*
- *S. Abend, M. Gebbe, M. Gersemann, H. Ahlers, H. Müntiga, E. Giese, N. Gaaloul, C. Schumbert, C. Lämmerzahl, W. Ertmer, W.P. Schleich & E.M. Rasel,* **Atom-Chip Fountain Gravimeter,** *Phys. Rev. Let., 117, 203003 (2016).*

Μια ματιά στο έργο του Αριστοτέλη

Βενετία Βουτσά
Φοιτήτρια
Τμ. Φυσικής

Χαρακτηρίζεται ως ο «πάνσοφος του αρχαίου κόσμου», όχι άδικα, αφού ασχολήθηκε ενδελεχώς με κάθε μορφή επιστήμης, επηρεάζοντας βαθύτατα το δυτικό τρόπο σκέψης. Υπήρξε ο μεθοδικότερος και συστηματικότερος νους της αρχαιότητας, διαμορφώνοντας έτσι ένα συγκεκριμένο τρόπο σκέψης και διδασκαλίας, γνωστό ως Αριστοτελισμό.

Η Φυσική υπήρξε μία από τις βασικές επιστήμες που απασχόλησε ιδιαίτερα τον αρχαίο ελληνικό νου και η ενασχόληση του Αριστοτέλη με αυτή ήταν αναπόφευκτη. Αποτέλεσμα αυτής του της ενασχόλησης είναι η πραγματεία του «Φυσικά» ή «Φυσικής Ακροάσεως», οκτώ βιβλία που παρουσιάζουν τις θεωρίες του Αριστοτέλη για τις γενικές αρχές των φυσικών νόμων. Βασικό αξίωμα της αριστοτελικής θεωρήσεως είναι η φράση «φύσις ουδέν μάτην ποιεί». Στη συγκεκριμένη πραγματεία θίγονται διάφορα θέματα που αφορούν την κίνηση, την ύλη και το χώρο.

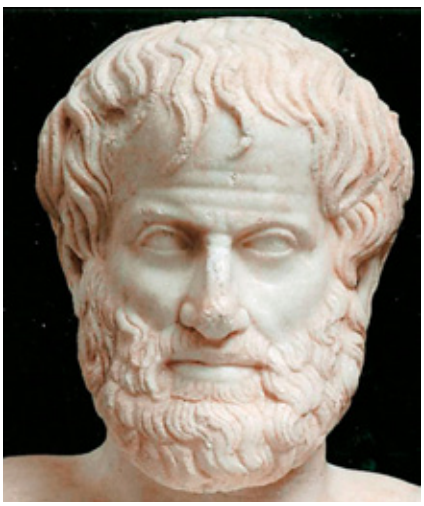
Η «κίνησις» είναι ένας όρος που χρησιμοποιήθηκε πολύ από τον Αριστοτέλη. Υποδήλωνε είτε την αλλαγή της ουσίας (γένεσις και φθορά) είτε την αλλαγή του μεγέθους (αύξησις και φθίσις), είτε την αλλαγή της ποιότητας (αλλοίωσις) είτε τη μετατόπιση ενός σώματος. Στηριζόμενος στην τέταρτη σημασία της κίνησης, ο Αριστοτέλης θεωρούσε ότι τα σώματα κινούνται προς το «φυσικό τους τόπο», με κριτήριο τη φύση τους (σύστασή τους). Η κίνηση ενός σώματος μπορεί να είναι ευθύγραμμη ή ομαλή κυκλική, ανάλογα σε ποια περιοχή του σύμπαντος αυτό βρίσκεται. Για τον Αριστοτέλη το σύμπαν χωρίζονταν σε δύο περιοχές: τη γήινη – υποσελήνια περιοχή και την υπερσελήνια περιοχή. Οι δύο αυτές περιοχές θεωρούσε ότι ήταν τελείως διαφορετικές μεταξύ τους. Ειδικότερα:

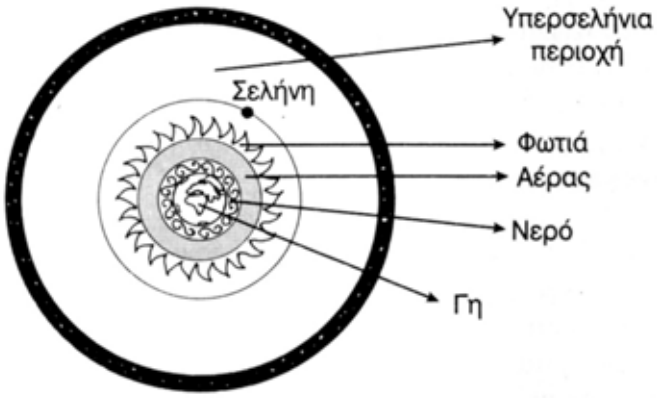
- Η υπερσελήνια περιοχή, δηλαδή ο χώρος έξω από τη Σελήνη, θεωρούνταν άφθαρτος και αμετάβλητος, γι' αυτό και οι κινήσεις των σωμάτων θεωρούνταν τέλειες ομαλές κυκλικές.
- Η υποσελήνια περιοχή, δηλαδή ο χώρος μεταξύ της Σελήνης και της Γης, θεωρούνταν ότι κυριαρχείται από φθορά και αλλαγές, με αποτέλεσμα οι κινήσεις των σωμάτων να είναι ευθύγραμμες και όχι ομαλές κυκλικές. Συγκροτούνταν, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, από τέσσερα στοιχεία: τη γη, το ύδωρ, τον αέρα και το πυρ.

Η θεωρία του Αριστοτέλη για την κίνηση των σωμάτων στην υποσελήνια περιοχή στηρίχτηκε σε δύο βασικές αρχές:

- 1η αρχή: Η κίνηση δεν είναι ποτέ αυθόρμητη. Πίσω από κάθε κίνηση ο Αριστοτέλης έβλεπε την επενέργεια μιας ενεργούσας δύναμης (το κινούν), η οποία βρίσκονταν σε συνεχή επαφή με το κινούμενο σώμα.
- 2η αρχή: Υπάρχουν δύο είδη κίνησης: η φυσική και η βίαιη (εξαναγκασμένη). Η φυσική κίνηση αφορά στην ελεύθερη κίνηση των σωμάτων προς τους φυσικούς της τόπους, είναι ευθύγραμμη και έχει κατακόρυφη διεύθυνση. Η βίαιη ή εξαναγκασμένη κίνηση αφορά στην κίνηση ενός σώματος υπό την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης που προκαλεί απόκλιση από τη διεύθυνση της κίνησης που θα είχε το σώμα, αν εκτελούσε τη φυσική του κίνηση. Είναι και αυτή ευθύγραμμη, αλλά όχι απαραίτητα κατακόρυφη. Κάθε κίνηση στη γήινη περιοχή είναι φυσική ή βίαιη.

Ένα βασικό πρόβλημα της πρώτης αρχής αποτελεί το γεγονός ότι σε κάποιες περιπτώσεις η κίνηση συνεχίζεται και αφού χαθεί η επαφή με το κι-





Οι περιοχές του Σύμπαντος κατά τον Αριστοτέλη

τιά έχουν την ιδιότητα του ελαφρού. Επειδή η γη και το νερό είναι βαριά, η φύση τους είναι να κατευθύνονται προς το κέντρο του κόσμου, ενώ αντίστοιχα επειδή ο αέρας και η φωτιά είναι ελαφρά, κατευθύνονται προς την περιφέρεια της γήινης περιοχής, δηλαδή προς το εσωτερικό τμήμα της περιφέρειας, στην οποία βρίσκεται η Σελήνη. Στην ιδανική περίπτωση, στην υποσελήνια περιοχή του κόσμου θα διαμορφώνονταν τέσσερις ομόκεντρες σφαίρες, καθεμία από τις οποίες θα αποτελούνταν μόνο από ένα γήινο στοιχείο. Η σειρά των σφαιρών θα ήταν η εξής (από μέσα προς τα έξω): η σφαίρα της γης, η σφαίρα του νερού, η σφαίρα του αέρα και η σφαίρα της φωτιάς (από το πιο βαρύ στο πιο ελαφρύ). Αυτές οι τέσσερις σφαίρες αποτελούν ουσιαστικά τους φυσικούς τόπους, προς τους οποίους κινούνται όλα τα σώματα από τη φύση τους. Στην περίπτωση της φυσικής κίνησης ο Αριστοτέλης δεχόταν δυο κανόνες:

- Όταν δύο σώματα διαφορετικού βάρους πέφτουν ελεύθερα, τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για να καλυφθεί μια δεδομένη απόσταση είναι αντιστρόφως ανάλογα των βαρών τους (ένα σώμα με το διπλάσιο βάρος σε σχέση με ένα άλλο χρειάζεται για την κάλυψη ίσης απόστασης το μισό χρόνο σε σύγκριση με εκείνο).
- Αν σώματα του ίδιου βάρους κινούνται με φυσική κίνηση μέσα σε διαφορετικές πυκνότητες, τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για να διανυθεί μια δεδομένη απόσταση είναι ανάλογα προς τις πυκνότητες των αντίστοιχων μέσων (όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα, τόσο πιο αργά κινείται το σώμα).

νούν, όπως παραδείγματος χάριν στην περίπτωση ενός βέλους που εκτοξεύθηκε από τη χορδή ενός τόξου. Προκειμένου να αντιμετωπισθεί αυτή η ασάφεια, ο Αριστοτέλης εισήγαγε τη θεωρία της «αντιπερίσπασης», σύμφωνα με την οποία «το μέσο εντός του οποίου διενεργείται η κίνηση αναλαμβάνει το ρόλο του κινούντος». Στο παράδειγμα με το βέλος, κατά την εκτόξευσή του, διεγείρεται ταυτόχρονα και το περιβάλλον στο οποίο και μεταδίδεται η δύναμη που δρα πάνω στο βέλος, προκαλώντας τη συνέχιση της κίνησής του (η οποία βέβαια φθίνει όσο απομακρύνεται από την πηγή παραγωγής της).

Φυσική κίνηση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η φυσική κίνηση αφορά στην ελεύθερη κίνηση των σωμάτων προς τους φυσικούς τους τόπους. Οι φυσικοί τόποι, σύμφωνα πάντα με τον Αριστοτέλη, ορίζονται με βάση τις παρακάτω θεωρήσεις: η υποσελήνια περιοχή καλύπτεται από τα τέσσερα γήινα στοιχεία – γη, νερό, αέρας, φωτιά – καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται ως βαρύ ή ελαφρύ. Η γη και το νερό έχουν την ιδιότητα του βαρέως, ενώ ο αέρας και η φω-

Βίαιη (εξαναγκασμένη) κίνηση

Στη βίαιη κίνηση, το σώμα κινείται παρά φύσιν, αποκλίνει δηλαδή από την κατεύθυνση που θα είχε κινούμενο προς τον φυσικό του τόπο, λόγω δράσης μιας εξωτερικής δύναμης. Μόλις η δράση της εξωτερικής αυτής δύναμης σταματήσει, τότε παύει και η εξαναγκασμένη κίνηση του σώματος.

Οι κανόνες που όρισε ο Αριστοτέλης για κάθε σώμα που εκτελεί βίαιη κίνηση είναι οι εξής:

- Αν μια δεδομένη δύναμη F κινεί ενάντια στη φύση του ένα σώμα βάρους Β κατά μια απόσταση Γ εντός χρόνου Δ, τότε:

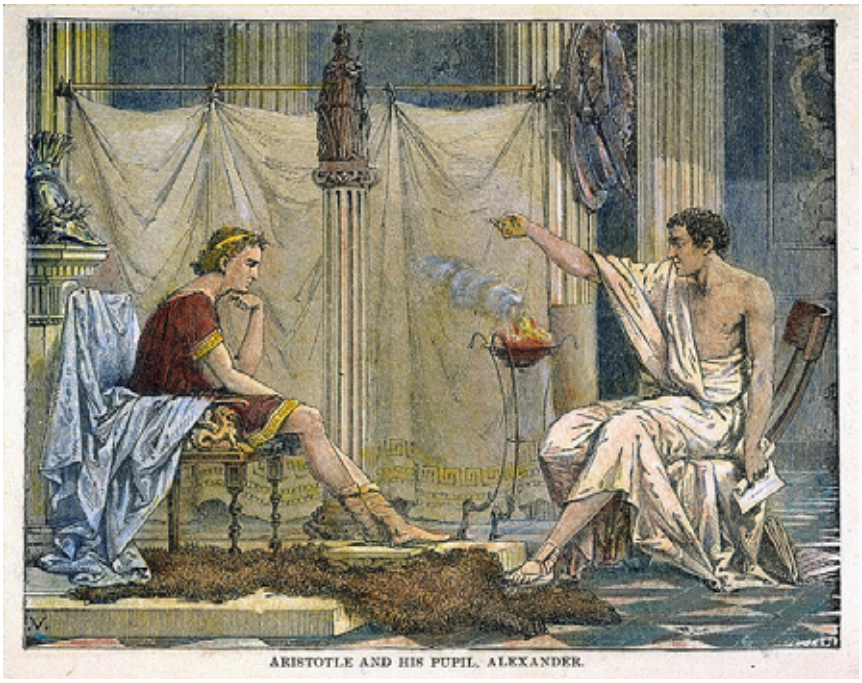
  1. Η ίδια δύναμη F θα μετακινήσει ένα σώμα βάρους Β/2 στον ίδιο χρόνο Δ σε απόσταση 2Γ.
  2. Η μισή δύναμη F/2 θα μετακινήσει ένα σώμα βάρους Β στο χρόνο Δ κατά απόσταση Γ/2 .
  3. Η μισή δύναμη F/2 θα μετακινήσει ένα σώμα βάρους Β/2 στο χρόνο Δ κατά απόσταση Γ.

Ο Αριστοτέλης υποστήριζε, ότι η ύπαρξη κίνησης προϋπέθετε την παρουσία ενός μέσου. Η θεώρηση αυτή, σε συνδυασμό με την πεποίθηση ότι η ταχύτητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητας του

μέσου, όχι μόνο οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η κίνηση στο κενό είναι αδύνατη (αφού για το κενό ισχύει ρ=0 και άρα υ = ∞), αλλά αμφισβήτησε ακόμα και την ίδια την ύπαρξη του κενού!

Αν και γνωρίζουμε σήμερα ότι οι ιδέες αυτές είναι λανθασμένες, οφείλουμε να παραδεχτούμε ότι ο Αριστοτέλης είχε εν μέρει δίκαιο –ότι η ταχύτητα είναι ανάλογη του βάρους– αν λάβουμε υπ' όψιν ότι τα δεδομένα παρατήρησής του αφορούσαν σε κινήσεις σε μέσο (αέρας), στο οποίο τα σώματα με μεγαλύτερο βάρος αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες κατά τη διάρκεια της ελεύθερης πτώσης τους απ' ότι αυτά με μικρότερο βάρος. Σωστή είναι επίσης η διαπίστωση του Αριστοτέλη ότι η κίνηση μέσα σε πυκνό μέσο είναι πιο αργή από την κίνηση μέσα σε πιο αραιό μέσο, χωρίς ωστόσο να υπάρχει ακριβής προσδιορισμός της σχέσης ταχύτητας - πυκνότητας ως αντιστρόφως ανάλογα ποσά.

Βασικό στοιχείο της θεωρίας του Αριστοτέλη για την κίνηση των σωμάτων στην υπερσελήνια περιοχή, δηλαδή την κίνηση των ουράνιων σωμάτων, είναι η παρουσία ενός πέμπτου στοιχείου (τα τέσσερα είναι η γη, ο αέρας, το νερό και η φωτιά, όπως ήδη αναφέρθηκε) – ο αιθέρας. Την έννοια του αιθέρα αναγκάστηκε να την εισαγάγει ο Αριστοτέλης, προκειμένου να ερμηνεύσει τη φυσική ομαλή κυκλική κίνηση των ουράνιων σωμάτων. Όπως είχε ήδη διατυπώσει, η φυσική κίνηση των γήινων στοιχείων έχει κατεύθυνση από ή προς το κέντρο της Γης· επομένως, ένα σώμα



Ο Αριστοτέλης διδάσκει το Μ. Αλέξανδρο (χαρακτικό του C. Laplante)

που έχει ως φυσική κίνηση την κυκλική κίνηση, δε θα μπορούσε να ταυτίζεται με ένα ή περισσότερα γήινα στοιχεία. Από τη θεωρία αυτή του Αριστοτέλη προέκυψαν ορισμένες δυσκολίες, αφού δεν μπορούσε να εξηγήσει τι συμβαίνει στα όρια των δύο περιοχών (υποσελήνιας και υπερσελήνιας). Ένα άλλο αδύναμο στοιχείο της θεωρίας αυτής ήταν ότι δεν μπορούσε να περιγράψει επαρκώς τη μετάδοση θερμότητας από τον Ήλιο, ο οποίος ως ουράνιο σώμα αποτελούνταν από αιθέρα, ένα στοιχείο που δεν είχε τη ιδιότητα του «θερμού». Η ύπαρξη του αιθέρα, βέβαια, απορρίφθηκε ως γνωστόν το 19ο αιώνα από τους Michelson και Morley, οι οποίοι στο ομώνυμο πείραμά τους έδειξαν ότι η ταχύτητα του φωτός ήταν πάντα ίδια προς κάθε κατεύθυνση, αποδεικνύοντας την απουσία του αιθέρα.

Η απόρριψη των θεωριών του Αριστοτέλη από τη σύγχρονη επιστήμη δεν συνεπάγεται τη μείωση της σημασίας του έργου του. Αρκεί να σκεφτεί κανείς ότι οι θεωρίες του για την κίνηση ήταν αυτές που επικρατούσαν και διδάσκονταν έως τον 17ο αιώνα. Τις Αριστοτελικές θεωρίες διδάχτηκε ο Γαλιλαίος και πάνω σε αυτές «πάτησε», για να τις απορρίψει τελικά. Άλλωστε, για να υπάρξει πρόοδος και εξέλιξη, χρειάζεται να κάνει την αρχή κάποιος «τολμηρός»· και ο Αριστοτέλης ήταν ο πρώτος που τόλμησε να διατυπώσει επιστημονικά τις θεωρίες του και να θέσει την αρχή για το υπέροχο ταξίδι του ανθρώπου στον κόσμο της γνώσης και της επιστήμης.

Πηγές

- ***Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας, Θ. Αραμπατζής κ.α., ΟΕΔΒ, 1999.***
- ***makolas.blogspot, Η Αριστοτελική Θεωρία της Κίνησης η Διδασκαλία της Φυσικής και οι Παρανοήσεις των Μαθητών.***
- ***www.newsbeast, Ο πάνσοφος του αρχαίου κόσμου Αριστοτέλης.***
- ***el.wikipedia.org, Αριστοτέλης.***

Η σταθερότητα του κόσμου και η κβαντομηχανική

Δημήτριος Χατζηπαναγιωτίδης
Μεταπτυχιακός Φοιτητής
Τμ. Φυσικής

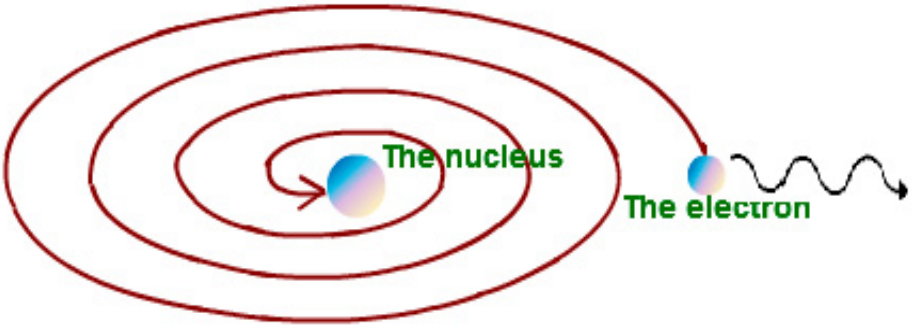
Ένα από τα πιο απλά ερωτήματα που μπορούν να δημιουργηθούν σε έναν άνθρωπο είναι το πως ο κόσμος μας είναι σταθερός, δηλαδή το πως είναι δυνατόν η ύλη να μην καταρρέει, αφού, όπως έχει αποδειχθεί, το άτομο κατά 99.999999% είναι κενό. Τι είναι αυτό που διατηρεί τις τροχιές των ηλεκτρονίων και δεν καταρρέουν πάνω στον πυρήνα; Γιατί η ακτινοβολία που είναι διάχυτη στο χώρο και απορροφάται από την ύλη δεν την ιονίζει και τα άτομα διατηρούν τα χαρακτηριστικά τους; Σε αυτά τα απλά ερωτήματα απάντηση μπορεί να δώσει μόνο η θεωρία της Κβαντικής Μηχανικής καθώς όπως θα δούμε η Κλασσική Φυσική αδυνατεί να απαντήσει.

Όλα ξεκίνησαν με την παρουσίαση της εργασίας του Max Planck στην Ακαδημία του Βερολίνου για το μέλαν σώμα, η οποία ήταν το έναυσμα για μια σειρά ερευνών, που θα οδηγήσουν το 1927 σε πλήρη ανατροπή της κλασσικής φυσικής. Με την ανακάλυψη ότι τα πάντα στη φύση έχουν διπλή υφή, σωματιδιακή και κυματική, εμφανίστηκε μια νέα επαναστατική θεωρία, η Κβαντομηχανική. Η ανάγκη της γένεσής της ήταν η αναποτελεσματικότητα της κλασσικής φυσικής να ερμηνεύσει πειραματικά αποτελέσματα που αφορούσαν το μικρόκοσμο. Η κβαντική θεωρία είναι η φυσική του ατομικού και υποατομικού κόσμου. Είναι τόσο επιδέξια οικοδομημένη ώστε να έχει ισχύ όχι μόνο σε ατομικές διαστάσεις αλλά και σε μεγαλύτερες, όπου οι προβλέψεις είναι ίδιες με αυτές της κλασσικής φυσικής. Είναι θεωρία που μπορεί να εξηγήσει ένα βασικό ερώτημα… γιατί ο κόσμος μας είναι σταθερός. Αρχικά ας δούμε την αδυναμία της κλασσικής φυσικής να ερμηνεύσει τη σταθερότητα του κόσμου.

Λίγο-πολύ όλοι μας από μικροί στο σχολείο είχαμε στο μυαλό μας ότι το άτομο μοιάζει κατά κάποιον τρόπο με το ηλιακό μας σύστημα. Όμως το πλανητικό μοντέλο που εισήγαγε ο E. Rutherford, όπου το θετικό φορτίο είναι συγκεντρωμένο όλο σε μια μικρή περιοχή στο κέντρο του ατόμου και γύρω από αυτό κινούνται σε τροχιές τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, έχει σοβαρό πρόβλημα ευστάθειας. Σύμφωνα με την κλασσική ηλεκτρομαγνητική θεωρία, ένα φορτισμένο σωματίδιο που εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση ακτινοβολεί. Τα ηλεκτρόνια που είναι σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα θα έπρεπε να ακτινοβολούν διαρκώς με αποτέλεσμα να χάνουν συνεχώς ενέργεια και εν τέλει να πέφτουν πάνω στον πυρήνα σε χρόνο 10^{-10} sec.

Άρα πως είναι ευσταθές ένα τέτοιο σύστημα, και μάλιστα όταν τα άτομα συγκρούονται δισεκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο; Η άλλη, πιο απλή και παράλογη εικόνα, το πως είναι δυνατόν η ύλη να είναι συμπαγής και ασυμπίεστη ενώ κατά 99.999999% είναι κενή; Τι υποχρεώνει τα ηλεκτρόνια που έχουν τόσο μικρή ακτίνα (10^{-17} cm) να είναι σε τροχιές γύρω από τον πυρήνα σε ακτίνα 10^{5} φορές μεγαλύτερη από το μέγεθός τους;

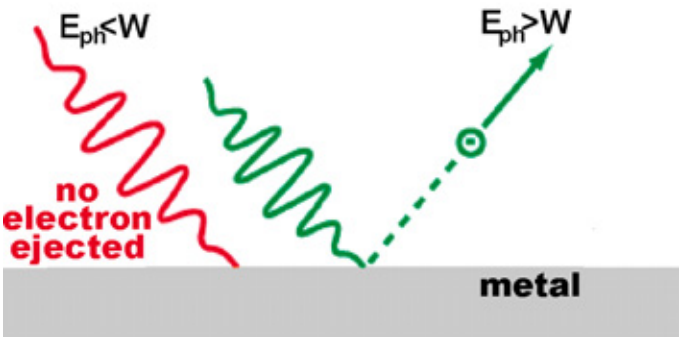
Ένα άλλο επιχείρημα πως το πλανητικό μοντέλο του ατόμου «πάσχει» είναι το πως τα άτομα ενός στοιχείου είναι ίδια



Το ηλεκτρόνιο χάνει διαρκώς ενέργεια πέφτοντας τελικά πάνω στον πυρήνα

σε όλο το σύμπαν, έχουν ακριβώς την ίδια δομή. Αν πάρουμε ένα άτομο και το ιονίσουμε αφήνοντας τον πυρήνα του γυμνό, δίνοντάς του πάλι ηλεκτρόνια σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, αυτό θα αποκτήσει πάλι τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά που είχε πριν. Αντιθέτως, αν διαλυθεί το Ηλιακό μας Σύστημα, η πιθανότητα να δημιουργηθεί πάλι το ίδιο ακριβώς είναι μηδενική. Το Ηλιακό μας Σύστημα είναι μοναδικό και προήλθε από τις συγκεκριμένες και μοναδικές αρχικές συνθήκες της γένεσής του. Όχι ότι δεν υπάρχουν άλλα ηλιακά συστήματα σαν το δικό μας, υπάρχουν και μάλιστα πολλά, όμως κανένα από αυτά δεν είναι ταυτόσημο με το δικό μας. Τα πλανητικά συστήματα και η δημιουργία τους ανήκουν στο μακρόκοσμο, όπου υπάρχει παρελθόν και μέλλον, κάτι που δεν υπάρχει στο μικρόκοσμο, όπου οι συνθήκες δημιουργίας των δομών είναι ίδιες κατά τη δημιουργία τους και κατά τη διάλυση-επαναδημιουργία τους. Είναι αμετάβλητες και προκαθορισμένες.

Ένα φαινόμενο που θα μας βοηθήσει να δούμε για άλλη μια φορά την αποτυχία της κλασσικής φυσικής να ερμηνεύσει τη σταθερότητα του κόσμου, είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Φωτοηλεκτρικό είναι το φαινόμενο κατά το οποίο από ένα μέταλλο στο οποίο προσπίπτει ακτινοβολία, εκπέμπονται ηλεκτρόνια (ονομάζονται και φωτοηλεκτρόνια). Τα μεγέθη που μπορούν να μεταβληθούν σε ένα πείραμα που μελετάει αυτό το φαινόμενο είναι η συχνότητα και η ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο μέταλλο. Με την αύξηση της έντασης παρατηρείται αύξηση του αριθμού των εκπεμπόμενων φωτοηλεκτρονίων. Μια άλλη παρατήρηση είναι ότι για να έχουμε φωτοηλεκτρόνια (τα οποία είναι δέσμια ηλεκτρόνια των ατόμων του μετάλλου και αποσπώνται με ακτινοβολία) πρέπει η ακτινοβολία να έχει συχνότητα μεγαλύτερη από μια οριακή τιμή $f_0=f_{min}$, η οποία και αναλογεί σε μια συγκεκριμένη ενέργεια $E_{min}=h\cdot f_{min}$, που είναι η ενέργεια σύνδεσης του ηλεκτρονίου στο άτομο. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται έργο εξαγωγής, έργο ιονισμού ή W.



Σχηματική αναπαράσταση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου (E_{ph}: ενέργεια προσπίπτουσας ακτινοβολίας, W: έργο εξαγωγής).

Γιατί όμως πρέπει να συμβαίνει κάτι τέτοιο; Σύμφωνα με την κλασσική φυσική η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα του οποίου το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί μια δύναμη F=-eE στα ηλεκτρόνια των ατόμων του μετάλλου. Τα ηλεκτρόνια έτσι αποκτούν μια επιτάχυνση α=F/m με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κινητική τους ενέργεια. Έτσι είναι απλά θέμα χρόνου ώστε τα ηλεκτρόνια να αποκτήσουν την κατάλληλη ενέργεια E>W, έστω και αν η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αντιστοιχεί σε ενέργεια $E_{photon}<W$, αφού η μετάδοση της ενέργειας σύμφωνα με την κλασσική φυσική γίνεται με συνεχή τρόπο. Αυτό όμως αντιτίθεται με τα πειραματικά αποτελέσματα, σύμφωνα με τα οποία υπάρχει ενεργειακό κατώφλι για την εμφάνιση φωτοηλεκτρονίων. Ευτυχώς δηλαδή, γιατί σε ένα περιβάλλον όπως το δικό μας, όπου υπάρχει διάχυτη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από διάφορες πηγές (με κυριότερη τον Ήλιο) θα ήταν θέμα χρόνου, και μάλιστα όχι πολύ μεγάλου, ώστε οι δομές των ατόμων να καταστραφούν και κατά επέκταση να μην υπάρχουμε.

Ο Niels Bohr, παρόλο που κατάφερε να βγάλει τα δυο συμπεράσματα για τα ατομικά φάσματα, είχε μείνει προβληματισμένος με το θέμα της ατομικής σταθερότητας. Όπως υποστήριζε ο ίδιος, έμοιαζε με ένα θαύμα από κλασσικής σκοπιάς. Οπότε χρειαζόταν μια εναλλακτική θεωρία πέραν της κλασσικής φυσικής, πράγμα που την εποχή εκείνη, όπου η κλασσική φυσική ήταν ακλόνητη, ήταν κάτι το παράτολμο για την καριέρα ενός φυσικού να το υποστηρίξει. Παρ' όλα αυτά ο Bohr αγνόησε τον κίνδυνο και προσπάθησε να εισάγει τη στα-

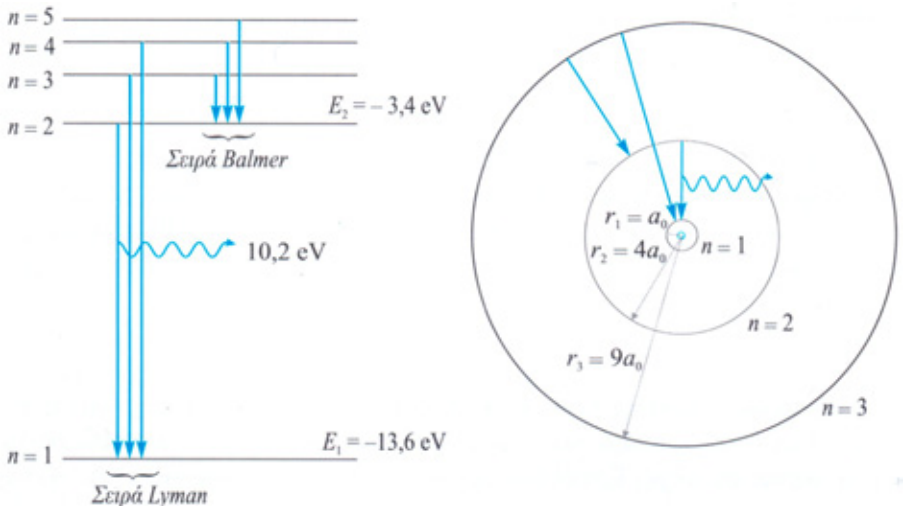
θερά του Planck (πράγμα που ο ίδιος ο Planck προσπαθούσε να αποφύγει) στα ατομικά φαινόμενα. Αυτή η προσπάθεια ξεκίνησε από την παρατήρησή του ότι τα άτομα έχουν καθορισμένο μέγεθος. Από κλασικής σκοπιάς στο άτομο του υδρογόνου (ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο) το ηλεκτρόνιο θα μπορούσε να περιφέρεται σε μια οποιαδήποτε τροχιά γύρω από τον πυρήνα και έτσι το μέγεθός του δεν θα είχε κάποιον περιορισμό και δεν θα έπρεπε να είναι καν σταθερό, αφού η τροχιά του θα άλλαζε διαρκώς υπό την επίδραση των κρούσεων με άλλα άτομα στη γειτονική περιοχή. Αλλά κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Η ακτίνα του ηλεκτρονίου είναι περίπου 0.5 Å και άρα το άτομο έχει καθορισμένο μέγεθος. Η ακτίνα τώρα του ηλεκτρονίου μπορεί να εξαρτάται μόνο από φυσικές ποσότητες που σχετίζονται με το άτομο, όπως η μάζα και το φορτίο του ηλεκτρονίου και από την ταχύτητα του φωτός, η οποία είναι η μόνη θεμελιώδης σταθερά που έχουμε στην κλασική θεωρία.

$$r \sim \frac{e^2}{m \cdot c^2}$$

[*διαστατικά: e^2/r (ενέργεια) → mc^2 (ενέργεια)*]

Αντικαθιστώντας τις σταθερές, προκύπτει αποτέλεσμα που είναι 5 τάξεις μεγέθους μικρότερο από την παρατηρούμενη τιμή. Έτσι ο Bohr υπέθεσε ότι η σταθερά του Planck έχει κάποια συσχέτιση με τα ατομικά φαινόμενα. Ένας άλλος συνδυασμός με διαστάσεις μήκους που περιέχει τη σταθερά του Planck είναι:

$$a \sim \frac{\hbar^2}{m \cdot e^2}$$



Οι επιτρεπτές καταστάσεις ενέργειας και ακτίνας κατά τον Bohr

της οποίας η αριθμητική λύση είναι 0.5 Å, τιμή που είναι ίδιας τάξης μεγέθους με την πειραματική. Αυτό ήταν το έναυσμα για να ξεκινήσει μια έρευνα ο Bohr που τον οδήγησε στη διατύπωση δυο συνθηκών:

1η Συνθήκη: Οι ενεργειακές καταστάσεις των ατόμων είναι κβαντισμένες. Κάθε επιτρεπόμενη ενέργεια ορίζει μια στάσιμη κατάσταση στην οποία το άτομο δεν ακτινοβολεί. Ακτινοβολία εκπέμπεται μόνο κατά τη μετάβαση του ατόμου από μια ανώτερη σε μια κατώτερη ενεργειακή στάθμη.

2η Συνθήκη: Επιτρέπονται μόνο εκείνες οι κυκλικές τροχιές, για τις οποίες η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της σύγχρονης σταθεράς του Planck.

Η μαθηματική ανάλυση και οι σκέψεις του Bohr που τον οδήγησαν σε αυτές τις δυο συνθήκες δεν θα παρουσιαστούν στο άρθρο αυτό (βλέπε Κβαντομηχανική Ι, Σ. Τραχανας σελ 69-72).

Πως τώρα από την κβάντωση του μικρόκοσμου προκύπτει η σταθερότητα; Η πρώτη συνθήκη μας λέει ξεκάθαρα ότι το ηλεκτρόνιο δεν ακτινοβολεί διαρκώς αλλά μόνο κατά τις μεταβάσεις του από μια ενεργειακή κατάσταση σε άλλη. Αν ένα ατομικό ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί μόνο σε συγκεκριμένες ενεργειακές καταστάσεις οι οποίες είναι διακριτές, τότε η μετάβασή του από την κατάσταση ελάχιστης ενέργειας σε κάποια άλλη είναι δυνατή μόνο με την απορρόφηση ενέργειας τουλάχιστον ίσης με την ενεργειακή διαφορά των δυο διακριτών ενεργειακών καταστάσεων. Για το άτομο του υδρογόνου η διαφορά της πρώτης με τη δεύτερη ενεργειακή κατάσταση (1η διεγερμένη) είναι E_{21}=10.2 eV ή για να απομακρυνθεί το ηλεκτρόνιο από το άτομο του υδρογόνου χρειάζεται να απορροφήσει ενέργεια ίση με E_1=13.6 eV. Να σημειώσουμε ότι η ενέργεια αυτή μπορεί να απορροφηθεί μόνο με διακριτό τρόπο, δηλαδή σαν ένα «πακέτο ενέργειας» (κβάντο) και όχι με συνεχή τρόπο όπως είδαμε ότι αποδείχτηκε πειραματικά στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο πιο πριν. Η τάξη ενέργειας που μεταφέρεται στα άτομα από τις αμοιβαίες κρούσεις λόγω της θερμικής κίνησης που έχουν σε θερμοκρασία

δωματίου (T=300 K) είναι μόλις KT=1/40 eV, πολύ μικρότερη από το ενεργειακό χάσμα των 10.2 eV. Άρα ακόμη και σε υψηλότερες θερμοκρασίες, τα άτομα μένουν στη βασική τους κατάσταση. Αντιθέτως, στην κλασσική φυσική, όπου δεν υπάρχουν ενεργειακά χάσματα και η ενέργεια μεταφέρεται με συνεχή τρόπο, θα ήταν θέμα χρόνου οι διατομικές αλληλεπιδράσεις να προκαλέσουν αλλαγές παρά το γεγονός ότι είναι ασθενικές.

Είδαμε ότι το ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να πάει σε μεγαλύτερη τροχιά λόγω των κρούσεων. Μπορεί όμως να πάει σε κατώτερη από τη βασική, δηλαδή να μικραίνει η ακτίνα του ατόμου; Η απάντηση είναι όχι, γιατί δεν υπάρχει πιο χαμηλή τροχιά από τη βασική που μπορεί να πάει το ηλεκτρόνιο. Ο πυρήνας του ατόμου έχοντας θετικό φορτίο δημιουργεί γύρω του ένα δυναμικό. Το ηλεκτρόνιο που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα περιγράφεται σαν μια κατάσταση ενός εγκλωβισμένου σωματιδίου σε ένα πηγάδι δυναμικού. Σύμφωνα με την κλασσική φυσική, η ενέργεια ενός τέτοιου σωματιδίου στον «πυθμένα» του πηγαδιού, δηλαδή η ελάχιστή του ενέργεια, θα είναι μηδέν $E_{min,κλασ}=0$. Αντίθετα, στην κβαντική θεωρία, η ελάχιστη επιτρεπόμενη ενέργεια του σωματιδίου δεν είναι μηδέν, αλλά:

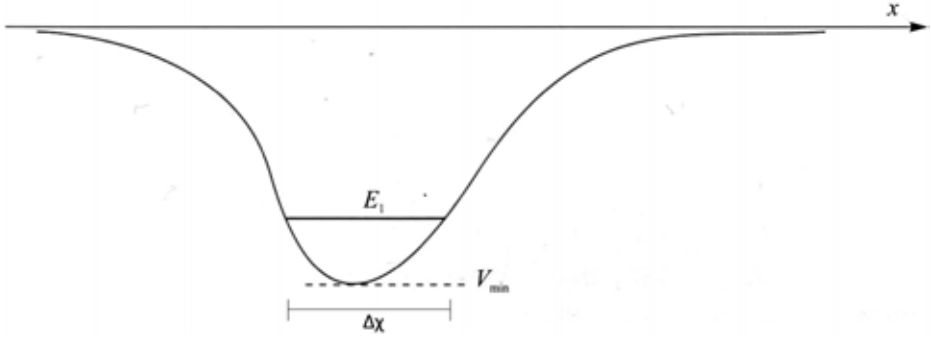
$$E_{min,κβαν.}=\frac{\hbar^2\cdot\pi^2}{2\cdot m\cdot L^2}$$

όπου m είναι η μάζα του σωματιδίου και L το μήκος του πηγαδιού. Όπως παρατηρούμε από την τελευταία σχέση στην κβαντική θεωρία, ένα σωματίδιο που είναι παγιδευμένο μέσα σε μια πεπερασμένη περιοχή είναι αδύνατον να ηρεμήσει. Μάλιστα όσο πιο μικρή είναι αυτή η περιοχή τόσο πιο μεγάλη είναι η ενέργειά του ($E\sim 1/L^2$). Αυτό είναι το αποτέλεσμα μιας θεμελιώδους αρχής που διέπει τον κόσμο μας, της Αρχής της Αβεβαιότητας του Heisenberg $\Delta x\cdot\Delta p\geq\hbar/2$, που για χαμηλότερες ενεργειακές καταστάσεις γίνεται προσεγγιστικά $\Delta x\cdot\Delta p\approx\hbar$. Άρα, για ένα κβαντικό σωματίδιο ισχύει $\Delta p\approx\hbar/\Delta x$, και συνεπώς, όσο πιο πολύ προσπαθούμε να το περιορίσουμε ($\Delta x\to 0$) τότε η ορμή του γίνεται όλο και πιο μεγάλη ($\Delta p\to\infty$). Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η πτώση ενός ηλεκτρονίου στον πυρήνα από κβαντομηχανικής άποψης είναι αδύνατη. Έτσι είναι εμφανές ότι οι κρούσεις των ατόμων μεταξύ τους δεν μπορούν να περιορίσουν το μέγεθος των ατόμων, καθώς είναι ασυμπίεστα περισσότερο από ότι επιτρέπει η ακτίνα της θεμελιώδους κατάστασης.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το άτομο στη βασική του κατάσταση είναι σταθερό, ούτε πιο πάνω μπορεί να πάει λόγω του ενεργειακού χάσματος που υπάρχει, ούτε πιο κάτω αφού δεν υπάρχει διαθέσιμη ενεργειακή κατάσταση. Χωρίς την κβάντωση ο κλασσικός κόσμος θα ήταν μια ακανόνιστη, άναρχη κίνηση σωματιδίων χωρίς καμιά προοπτική δημιουργίας ευσταθών μικροσκοπικών συστημάτων που θα ήταν αμετάβλητα και ανεπηρέαστα με το χρόνο, που θα αποτελούσαν τους δομικούς σταθερούς λίθους της δημιουργίας και κατ' επέκταση του μακρόκοσμου. Χωρίς την κβάντωση δεν θα υπήρχαμε…

Η κβαντομηχανική όμως δεν δίνει λύση μόνο στο πρόβλημα ευστάθειας μικροσκοπικών συστημάτων όπως είναι το άτομο. Οι τελικές καταστάσεις κάποιων αστέρων, που είναι μακροσκοπικά συστήματα, από κλασσικής άποψης έχουν μεγάλο πρόβλημα ευστάθειας. Η τελική κατάσταση ενός αστέρα, ανάλογα με την αρχική μάζα του, μπορεί να είναι ένας λευκός νάνος, ένας αστέρας νετρονίων ή μια μελανή οπή. Όσο βρίσκεται σε «ζωή» ο αστέρας, η βαρυτική κατάρρευση που προκαλείται από την μεγάλη μάζα αντισταθμίζεται από τις πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης που λαμβάνουν χώρα οι οποίες απελευθερώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας (θερμική) στο εσωτερικό του, με αποτέλεσμα να βρίσκεται σε ισορροπία.

Ένας λευκός νάνος έχει μια τυπική μάζα 0.7 φορές την μάζα του Ήλιου και ακτίνα 10^9cm

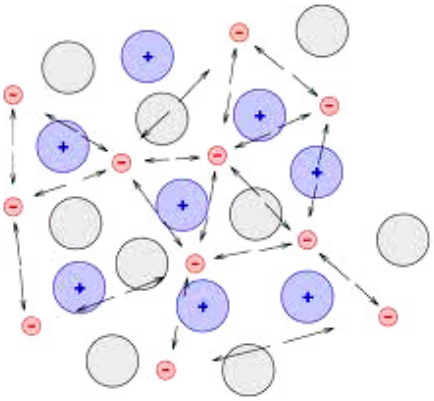


Η κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας δεν μπορεί να είναι στον πυθμένα του πηγαδιού

με πυκνότητα 10^6 gr/cm^3. Μια κουταλιά από ένα λευκό νάνο, θα ζύγιζε στη Γη παραπάνω από ένα αυτοκίνητο. Καταλαβαίνει λοιπόν κανείς, ότι ο λευκός νάνος είναι ένα σύστημα πολύ συμπαγές και πυκνό. Άρα τι είναι αυτό που αντισταθμίζει τις τόσο μεγάλες δυνάμεις βαρύτητας που αναπτύσσονται αφού πλέον δεν συμβαίνουν αντιδράσεις σύντηξης στο εσωτερικό του «νεκρού» άστρου; Τη λύση για την ευστάθεια ενός τέτοιου μακροσκοπικού συστήματος, που με την κλασσική ματιά είναι εξαιρετικά ασταθές, δίνει η κβαντομηχανική και πιο συγκεκριμένα η Αρχή της Απροσδιοριστίας του Heisenberg και η Απαγορευτική Αρχή του Pauli σύμφωνα με την οποία δυο φερμιόνια δεν μπορούν να βρίσκονται στην ίδια κβαντική κατάσταση.

Στο εσωτερικό του λευκού νάνου υπάρχει αέριο ελεύθερων ηλεκτρονίων. Εξαιτίας των τυχαίων κινήσεων των σωματιδίων εμφανίζεται μια πίεση που ονομάζεται πίεση εκφυλισμένων ηλεκτρονίων. Σε ένα κλασσικό αέριο αυτή η πίεση οφείλεται απλά στην κίνηση που έχουν τα ηλεκτρόνια λόγω θερμοκρασίας και άρα υπάρχει μόνο για θερμοκρασία διάφορη του μηδενός. Αν δούμε όμως αυτό το αέριο ηλεκτρονίων με βάση την κβαντική θεωρία μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι αυτά θα έχουν κίνηση ακόμα και σε μηδενική θερμοκρασία. Τα ηλεκτρόνια «γεμίζουν» όλες τις διαθέσιμες ενεργειακές στάθμες, ξεκινώντας από την χαμηλότερη, και σαν φερμιόνια υπακούν στην Αρχή του Pauli γεγονός που αναγκάζει τα υπόλοιπα ηλεκτρόνια να καταλάβουν υψηλότερες ενεργειακές καταστάσεις και έτσι δεν μπορούν να συμπιεστούν από την βαρυτική κατάρρευση. Αυτή η κίνηση μάλιστα είναι ακόμα μεγαλύτερη σε υψηλότερες πυκνότητες. Αυτό συμβαίνει, διότι σε μεγάλες πυκνότητες η απόσταση Δx μεταξύ δυο ηλεκτρονίων είναι πολύ μικρή και σύμφωνα με την εξίσωση $\Delta p \approx \hbar/\Delta x$ του Heisenberg η τιμή Δp είναι πολύ μεγάλη. Από τη σχέση $\upsilon = p/m_e$, δεδομένου ότι η μάζα του ηλεκτρονίου είναι πολύ μικρή και όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, η ταχύτητα των ηλεκτρονίων αποκτά πολύ μεγάλη τιμή. Έτσι η μεγάλη βαρυτική κατάρρευση εξισορροπείται με την πίεση που δημιουργούν τα ηλεκτρόνια η οποία είναι μεγαλύτερη από την θερμική.

Ένας αστέρας νετρονίων έχει μάζα περίπου 1.4 φορές αυτή του Ήλιου και ακτίνα $1.5 \cdot 10^6$ cm με πυκνότητα $2 \cdot 10^{14}$ gr/cm^3. Μια κουταλιά από έναν αστέρα νετρονίων θα ζύγιζε στη Γη όσο όλοι οι άνθρωποι του πλανήτη μας. Άρα, καταλαβαίνουμε πάλι ότι έχουμε να κάνουμε με ένα ασταθές σύστημα. Η μεγάλη αυτή βαρυτική κατάρρευση αντισταθμίζεται από την πίεση εκφυλισμένων νετρονίων που εξηγείται από την Απαγορευτική Αρχή του Pauli. Τα νετρόνια υπακούοντας ως φερμιόνια στην αρχή του Pauli και καταλαμβάνουν όλες τις διαθέσιμες ενεργειακές στάθμες από την χαμηλότερη στην ψηλότερη. Όσο αυξάνει η πυκνότητα του αστέρα, τόσο τα νετρόνια ωθούνται σε ακόμα ψηλότερες ενεργειακά στάθμες, αυξάνοντας παράλληλα και την πίεση τους. Η πίεση αυτή των νετρονίων είναι που εξισορροπεί την βαρύτητα και αποτρέπει τη βαρυτική κατάρρευση του αστέρα.



Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του νεκρού άστρου τόσο πιο «παγιδευμένα» είναι τα ηλεκτρόνια και έτσι αποκτούν μεγάλη ορμή.

Βλέπουμε λοιπόν ότι η Κβαντική Μηχανική επιτυγχάνει και στο μακρόκοσμο. Είναι η εξήγηση για την ύπαρξη και δόμηση του μικρόκοσμου και κατ' επέκταση την ίδια την ύπαρξή μας αλλά και την ύπαρξη μεγάλων, όπως είδαμε, αστροφυσικών συστημάτων.

Πηγές:

- *Κβαντομηχανική, Τόμος Ι, Σ. Τραχανά, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης*
- *The Stability of matter in Quantum Mechanics, E. Lieb, R. Seiringer , Cambridge*
- *Αστροφυσική, Τόμος Ι, Frank H. Shu, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης*
- *Εισαγωγή στη σύγχρονη Αστρονομία, Ι. Σειραδάκη, Χ. Βάρβογλη*
- *Περί Αστέρων και Συμπάντων, Βασίλης Ξανθόπουλος, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης (2011).*
- *Neutron Stars 1, P. Haensel, A. Y. Potekhin, D. G. Yakovlev, Springer (2007).*
- *Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects, S.L. Shapiro, S.A. Teukolsky, Wiley (2004).*

Ενέργεια: μια επιστημονική, φιλοσοφική και θεολογική προσέγγιση

Ηλίας Τσακλίδης
Φοιτητής
Τμ. Φυσικής

Ο όρος ενέργεια χρησιμοποιείται πρώτη φορά στα χρονικά από τον Αριστοτέλη. Το αξιοπερίεργο είναι πως ο ίδιος ο δημιουργός της έννοιας, αδυνατεί να εξηγήσει επακριβώς τι δηλώνει αυτή. Ο Αριστοτέλης αναφέρει ότι, η έννοια δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή με κάποιο ορισμό, παρά μόνο μέσα από παραδείγματα. Για τον Αριστοτέλη, η ενέργεια προέρχεται από τα συνθετικά εν + έργω και δηλώνει είτε την ευχαρίστηση και την ευδαιμονία, είτε την κίνηση των σωμάτων. Διάφοροι σύγχρονοι ορισμοί, ανάλογα με την προέλευσή τους, μπορούν να αναφερθούν στην ενέργεια, ωστόσο το πρόβλημα είναι ότι όλοι οι ορισμοί μας πληροφορούν για το τι κάνει η ενέργεια αλλά όχι για το τι είναι!

Ίσως η βασικότερη και απαραβίαστη αρχή της Φυσικής, είναι η Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας. Αυτή μας πληροφορεί ότι η συνολική ενέργεια ενός κλειστού συστήματος είναι σταθερή, πριν και μετά από κάποια διεργασία. Αν θεωρήσουμε όλο το σύμπαν σαν ένα κλειστό σύστημα, τότε απευθείας αντιλαμβανόμαστε, πως υπάρχει μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας, με την οποία το σύμπαν πορεύεται. Αβίαστα προκύπτει το ερώτημα «από που προήλθε η ενέργεια;»

Επικρατέστερη σήμερα θεωρία για την προέλευση της ενέργειας, αλλά και του σύμπαντος είναι η θεωρία του Big Bang. Η στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης είναι «η ΑΠΟΛΥΤΗ αρχή του χώρου, του χρόνου, της ενέργειας, της ύλης και των φυσικών νόμων». Σε μια και μοναδική στιγμή δημιουργήθηκε ό,τι υπήρξε, ό,τι υπάρχει και ό,τι θα υπάρξει. Στην αρχή όλα ήσαν ένα. Ασύλληπτη ποσότητα άυλης ενέργειας (φωτός), υφιστάμενη ακατάπαυστους μετασχηματισμούς, δίνει εν τέλει τη σημερινή ενεργειακή σύνθεση του σύμπαντος.

Το σύμπαν του Einstein, όπου όλα είναι σχετικά, ξεκινάει με μια «απόλυτη» γέννηση! Φαίνεται να υπάρχει μια απότομη, μια στιγμιαία μετάβαση από το απόλυτο στο σχετικό, αναφορικά με τον χαρακτήρα του φυσικού νόμου. Αυτό βέβαια δεν είναι ολότελα σωστό, καθώς στον ορισμό που δόθηκε παραπάνω, διευκρινίζεται ότι, ακόμα και οι νόμοι της φύσης, δημιουργήθηκαν τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης. Πριν τη Μεγάλη Έκρηξη δεν υπάρχει κανένας νόμος με τον οποίο μπορεί να περιγραφεί η γένεση, όχι μόνο ύλης -και κατά συνέπεια ενέργειας- αλλά και του ίδιου του χώρου και του χρόνου. Αντικείμενο της Φυσικής είναι η μελέτη του κόσμου, με βάση τους φυσικούς νόμους που τον διέπουν. Δεν προκαλεί απορία λοιπόν, πως οποιοδήποτε κοσμολογικό μοντέλο Φυσικής αποτυγχάνει να εξηγήσει από που προήλθε, όλη αυτή η πρωταρχική ενέργεια του σύμπαντος. Αν θέλουμε να δώσουμε μια ελπίδα στη Φυσική να εξηγήσει το πριν από τη Μεγάλη Έκρηξη, θα πρέπει να μετασχηματίσουμε ελάχιστα τον ορισμό αυτής, ως το γεγονός εκείνο, όπου το σύμπαν, με ότι αυτό συνεπάγεται, εισέρχεται σε ένα καθεστώς, όπου ο χωρόχρονος και οι νόμοι της Φυσικής, είναι αυτοί που εμείς μπορούμε να αντιληφθούμε.

Το βέλος του χρόνου είναι μονοσήμαντο και η ενέργεια αλλάζει συνεχώς μορφές οδηγώντας το σύμπαν στιγμή με τη στιγμή σε διαφορετικές καταστάσεις. Οι ενεργειακές καταστάσεις του, διαδέχονται η μία την άλλη και χαρακτηρίζονται συνεχώς από αύξηση της εντροπίας. Η εντροπία αυξάνει αδυσώπητα και τίποτα δεν μπορεί να την σταματήσει. Το Big Bang είναι η αρχή των πάντων, η αρχή της αλλαγής. Το κύριο χαρακτηριστικό της ενέργειας, είναι ότι συνεχώς αλλάζει. Δεν θα ήταν υπερβολικό να πούμε πως, η ενέργεια είναι η αλλαγή.

Παρόλο που η ενέργεια είναι όρος που επινοήθηκε από τον Αριστοτέλη, αν θέλουμε να πάρουμε τα πράγματα από την αρχή θα πρέπει να ανατρέξουμε στους Ίωνες. Κύριο χαρακτηριστικό της Ιωνικής σκέψης είναι η αναζήτηση του πρωταρχικού στοιχείου. Ο κόσμος είναι ένα τακτοποιημένο σύνολο όπου όλα συνδέονται με όλα. Σύμφωνα με τους Ίωνες, όλη η ύλη αποτελείται, από το ίδιο πρωταρχικό στοιχείο και μάλιστα, η πολυπλοκότητα του κόσμου, οφείλεται στις μεταβολές αυτής της πρώτης αρχής! Είναι περιττό να αναφερθεί, πως όλη η παραπάνω επιστημο-

νική (έστω και χωρίς τον απαραίτητο μαθηματικό φορμαλισμό) ανάλυση της ενέργειας, μοιάζει με πιστή αντιγραφή των βασικών αρχών που διέπουν την Ιωνική σκέψη.

Κατά γενική ομολογία, ίσως η πιο μυστήρια προσωπικότητα της φιλοσοφίας στην αρχαία Ελλάδα είναι ο Ηράκλειτος. Ο Ηράκλειτος κατονομάζει τη φωτιά ως το πρωταρχικό στοιχείο του κόσμου. Το «πυρ» είναι ανάγκη και κορεσμός, αιτία και αποτέλεσμα. Όλα αρχίζουν και τελειώνουν με φωτιά. Αν αναλογιστούμε πως ακόμα δεν υπάρχει ο όρος ενέργεια, τότε μπορούμε να δώσουμε τα εύσημα στον Ηράκλειτο, για το γεγονός ότι θεώρησε ως πρωταρχικό στοιχείο, κάτι το οποίο είναι ίσως ότι πιο κοντινό υπάρχει, στην έννοια της ενέργειας, πριν ακόμα αυτή επινοηθεί. Ωστόσο ο Ηράκλειτος δεν σταματάει εκεί. Από τις ελάχιστες πηγές που διασώζονται από το έργο του, φαίνεται πως έχει επινοήσει ένα είδος νόμου ισορροπίας, μια πρωτόγονη Αρχή Διατήρησης. Ο Ηράκλειτος προβλέπει μια σειρά μετασχηματισμών πυρ→ύδωρ →γη, η οποία είναι μάλιστα αντιστρεπτή, με τρόπο τέτοιο ώστε η συνολική ποσότητα ύλης να διατηρείται.

Κοιτώντας τον κόσμο από τη σκοπιά του Ηράκλειτου και των αμοιβαίων μετασχηματισμών, η αλλαγή δεν είναι ένα απλό χαρακτηριστικό του κόσμου, αλλά αποτελεί την ίδια την ουσία της Φύσης. Χωρίς την αλλαγή δεν υπάρχει ο κόσμος, όπως χωρίς την ενέργεια δεν υπάρχει το σύμπαν. Αυτή η διαρκής αλλαγή, η διαρκής κίνηση, μας οδηγεί και στη γνωστή φράση του Ηράκλειτου «Τα πάντα ρει». Και αφού τα πάντα είναι σε διαρκή κίνηση τότε προφανώς, κανείς δεν μπορεί να μπει στο ίδιο ποτάμι δυο φορές, αφού το νερό τώρα πια είναι διαφορετικό. Το κάθε μόριο του νερού, το κάθε μικρό βοτσαλάκι βρίσκεται σε διαφορετική θέση από αυτή που ήταν μια στιγμή πιο πριν. Αν θα μπω στο ποτάμι ξανά, θα ζήσω μια διαφορετική κατάσταση, άρα θα μπω σε ένα εντελώς διαφορετικό ποτάμι.

Αφού τα πάντα κινούνται, τότε δεν υπάρχει τίποτα το σταθερό σε αυτό το κόσμο; «Το σταθερό στον κόσμο είναι ο λόγος, η αναλογία» λέει ο Ηράκλειτος και έτσι θα μπορούσε κάποιος να πει, πως μέσω όλης της φιλοσοφίας του, ο Ηράκλειτος, έχει διαισθανθεί εκείνους τους νόμους της Θερμοδυναμικής, οι οποίοι μιλούν για ενεργειακά ισοζύγια μεταβολών, αλλά και την κατεύθυνση αυτών αντίστοιχα. Όλες οι κινήσεις ή μεταβολές είναι επιτρεπτές αρκεί να τηρείται μια αναλογία. Τα πάντα κινούνται και αλλάζουν, αλλά όπως το ποτάμι του Ηρακλείτου δεν μπορεί να είναι ξανά το ίδιο, έτσι και το σύμπαν δεν μπορεί να περάσει ξανά από την ίδια ενεργειακή κατάσταση, μα να οδεύσει αυθόρμητα προς μια κατάσταση μεγαλύτερης εντροπίας.

Ερχόμενοι στον Αριστοτέλη βλέπουμε πως αυτός θεωρούσε την ύλη αιώνια. Από την ύλη γεννιούνται όλα, η ίδια ωστόσο είναι αγέννητη. Η ύλη δεν φθείρεται, είναι μέσα σε κάθε πράγμα και είναι αυτό που υφίσταται όλες τις μεταβολές. Ο Αριστοτέλης ιδιαίτερα αναφέρεται στην πρώτη ύλη, την οποία και θεωρεί την πηγή όλων των πραγμάτων. Αυτή η πρώτη ύλη εμπεριέχει μέσα της τη μορφή εν δυνάμει. Η πρώτη ύλη είναι το χωρίς είδος και γνωρίσματα κάτι, που δεν μπορούμε να το γνωρίσουμε μόνο του, καθώς είναι απερίγραπτη και ακαθόριστη. Αυτή η μετάβαση από το άμορφο στη μορφή, από το εν δυνάμει στο εν ενεργεία ον, είναι φυσική συνέπεια της μεταξύ τους αέναης κίνησης. Όλη η πραγματικότητα υπάρχει κρυμμένη εν δυνάμει και παίρνει μορφή με την πάροδο του χρόνου, ως συνέπεια της συνεχούς και αυθόρμητης κίνησης.

Αν σταθούμε λίγο παραπάνω σε αυτή την έννοια της κίνησης ως φυσική ιδιότητα του κόσμου, βλέπουμε ότι ο Αριστοτέλης, θεωρεί την κίνηση αιώνια. Η κίνηση για να υπάρξει, προϋποθέτει μια αιτία και προκαλεί αλλαγή. Ωστόσο για να υπάρξει η αλλαγή, πρέπει να υπάρχει ήδη το εν δυνάμει αποτέλεσμα της αλλαγής. Δηλαδή με απλά λόγια, για να αλλάξει κάτι πρέπει ήδη να υπάρχει. Βρισκόμαστε σε ένα αδιέξοδο όπου έχουμε μια άπειρη διαδοχή εν δυνάμει όντων και ακατάπαυστων κινήσεων. Τι προηγείται και ποια είναι η αιτία αυτών; Η απάντηση που δίνεται εν τέλει από τον Αριστοτέλη, είναι πως στο τέλος αυτών των άπειρων διαδοχών, υπάρχει το Ακίνητο Πρώτο Κινούν, από το οποίο προέρχεται κάθε κίνηση και κάθε αλλαγή στον κόσμο. Το Ακίνητο Πρώτο Κινούν είναι αιώνιο, άφθαρτο και αμετάβλητο, μα δεν είναι η πρώτη ύλη που προέρχεται από αυτό, αλλά η κίνηση και η αλλαγή, η οποία εμπεριέχει δυνητικά κάθε μορφή και κάθε δυνατή πραγματικότητα. Ως εκ τούτου, το Ακίνητο Πρώτο Κινούν, μπορεί να ερμηνευτεί σαν η αρχή, ή το σύστημα των νόμων που διέπουν την παγκόσμια αλλαγή. Αυτές οι σκέψεις, υπαγορεύουν ένα αιτιοκρατικό Αριστοτελικό μοντέλο, όπου κάθε πράγμα έχει σκοπό και μεταβάλλεται προς αυτό που καθορίζει η φύση του και που η φύση αυτή, καθορίστηκε, από την αρχική αλλαγή του κόσμου εκπορευόμενη από το Ακίνητο Πρώτο Κινούν.

Σύμφωνα με το Χριστιανισμό ο κόσμος ξεκίνησε να υπάρχει,

άρα έχει αιτιακή ύπαρξη. Το σύμπαν ξεκίνησε γιατί κάποιος το αποφάσισε. Όχι μόνο η ενέργεια, αλλά και οι ίδιοι οι νόμοι της Φύσης, που επικράτησαν στο σύμπαν, υπήρχαν στο Αιώνιο Ον και προβάλλονται στον πεπερασμένο κόσμο. Αν λοιπόν ο κόσμος είναι έργο ενός Αιώνιου Δημιουργού, η δημιουργία του σύμπαντος, είναι η πρώτη επαφή του αιωνίου με το πεπερασμένο. Ο Δημιουργός του Χριστιανισμού έχει την ικανότητα να δημιουργήσει το σύμπαν από το μηδέν «ex nihilo». Το δημιουργεί κατά βούληση και το φτιάχνει ατελές εν γνώση του. Ο Θεός δίνει την ενέργεια του στο σύμπαν και έκτοτε η ενέργεια βρίσκεται παντού και πάντα. Προς αποφυγήν παρεξηγήσεων, ο Θεός δεν είναι ενέργεια και η ενέργεια δεν είναι Θεός. Ο Θεός είναι αναλλοίωτος και αιώνιος, ενώ η ενέργεια έχει αρχή και έκτοτε συνεχώς αλλάζει. Αντιθέτως υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ των διαφόρων ενεργειών του Θεού, όπως αναφέρει και ο Γρηγόριος ο Παλαμάς. Η ουσία του Θεού διαχωρίζεται από την άκτιστη ενέργεια του. Η άκτιστη ενέργεια είναι και αυτή αιώνια όπως το θείο και είναι επιπλέον διαφορετική από τις κτιστές ενέργειες του Θεού στη Φύση οι οποίες έχουν κάποια χρονική αρχή. Γράφει λοιπόν ο Vladimir Lossky, «Ο Θεός είναι ακατάληπτος στην ουσία του, μα αποκαλύπτεται πλήρως στην ενέργειά του. Έτσι ο αόρατος εκ φύσεως γίνεται ορατός με την ενέργειά του».

Ας πάρουμε το χρονικό αντίστροφα λοιπόν. Η πραγματικότητα που υπάρχει αυτήν ακριβώς τη στιγμή που διαβάζετε το άρθρο, προέκυψε από μια άλλη προηγούμενη πραγματικότητα. Η προηγούμενη πραγματικότητα περιείχε δυνητικά όλα εκείνα τα στοιχεία του τώρα. Το πριν μετασχηματίστηκε στο τώρα λόγω της φύσης του κόσμου, λόγω της αναγκαίας αλλαγής που διέπει το σύμπαν. Συνεχίζοντας με την ίδια λογική, παρόν με το παρόν προς τα πίσω, φτάνουμε τελικά στη γέννηση του κόσμου, χωρίς να μας ενδιαφέρει σε αυτό το σημείο αν όλες οι μετέπειτα πραγματικότητες δημιουργήθηκαν αιτιοκρατικά ή τυχαία, μα εμμένουμε στο ότι εξαιτίας της αλλαγής της ήδη υπάρχουσας ενέργειας, το σύμπαν παίρνει μια διαφορετική μορφή στιγμή με τη στιγμή. Έως εδώ και οι τρεις μεγάλοι πυλώνες της ανθρώπινης σκέψης που συζητήσαμε συμφωνούν, συνηγορώντας στο ότι η αλλαγή είναι το κρίσιμο σημείο του κόσμου.

Οι πρώτες θεμελιώδεις αποκλίσεις, παρουσιάζονται στη γέννηση της αλλαγής. Η επιστήμη αδυνατεί ακόμα να ερμηνεύσει τη γέννηση της ενέργειας και του φυσικού νόμου που υπαγορεύει την αλλαγή, ωστόσο περιγράφει με τρομακτική ακρίβεια το πως αυτή λειτουργεί. Η φιλοσοφία από την άλλη εξερευνώντας τα όρια της ανθρώπινης σκέψης, πιο πολύ υπαγορεύει την κατάλληλη συλλογιστική που πρέπει κάποιος να ακολουθήσει για να βρει τις απαντήσεις, παρά ερμηνεύει τα γεγονότα, ενώ από την άλλη για τον Χριστιανισμό, η απάντηση σε όλα είναι ο Θεός, καθώς όλα προέρχονται από αυτόν και όλα εξηγούνται μέσω της παντοδυναμίας του.

Το συμπέρασμά μου, η προσωπική μου αλήθεια, είναι πως καθένας μπορεί να επιλέξει την ερμηνεία που ταιριάζει στην αισθητική του καλύτερα. Μπορεί να βασιστεί στα αδιάσειστα στοιχεία της Φυσικής, αφήνοντας ωστόσο αναπάντητα ερωτήματα, απαραίτητα για την πρόοδο της επιστήμης, να αφεθεί στη μέθη της πολύπλοκης σκέψης της φιλοσοφίας ή να βρει καταφύγιο στην πίστη, την οποία μου αρέσει να χαρακτηρίζω, ως ένα θείο δώρο, όπως ακριβώς ο έρωτας. Ο άνθρωπος ο οποίος ενστερνίζεται τις απόψεις της θρησκείας του, πιστεύει. Η λέξη πίστη, προερχόμενη από το ρήμα πείθω, έχει μέσα της την έννοια της παραδοχής, της αφοσίωσης και της άνευ όρων εμπιστοσύνης. Ο πιστός δεν χρειάζεται αποδείξεις παρόμοιες με αυτές της επιστήμης, όπως ακριβώς ο άνθρωπος δεν χρειάζεται τεκμήρια για να αγαπήσει.

Όποια ερμηνεία και αν διαλέξει ο αναγνώστης, είναι υποχρεωμένος να παραδεχθεί, πως δεν υπάρχει ενέργεια χωρίς αλλαγή και αλλαγή χωρίς ενέργεια. Η αλλαγή είναι το κυρίαρχο και κρίσιμο στοιχείο του κόσμου που ζούμε. Δεν αποτελεί απλά μια ιδιότητα του κόσμου αλλά την ίδια τη φύση του!

Πηγές:

- ***Energy: Scientific, Philosophical and Theological Dimension, Loukas G. Christophorou, Ακαδημία Αθηνών.***
- ***Internet Encyclopedia of Philosophy***
- ***Philosophy, God and Motion, Simon Oliver , Taylor & Francis (2005)***
- ***Cosmology and Theology, Stanford Encyclopedia of Philosophy, (2011).***
- ***http://www.wikipedia.com***
- ***http://www.physics4u.gr***
- ***C. J. Adkins-Equilibrium Thermodynamics-Cambridge University Press (1984)***
- ***Fundamentals of Physics Extended, 10th Edition, D. Halliday, R. Resnick, J. Walker***
- ***https://sciencearchives.wordpress.com***
- ***http://www.ekivolos.gr***
- ***http://eranistis.net***

Υγρό άζωτο: από το Τμήμα Φυσικής σε όλο το ΑΠΘ

Αναστάσιος Λιόλιος
Καθηγητής
Τμ. Φυσικής

Δημήτριος Ευαγγελινός
Φυσικός,
Συνεργάτης του Τμ. Φυσικής

Ο Ernest Rutherford (1871-1937) είναι ένας από τους πιο γνωστούς φυσικούς των αρχών του 20ου αιώνα, με μεγαλύτερο ίσως επιστημονικό του επίτευγμα την ανακάλυψη του πυρήνα των ατόμων. Υπάρχει όμως και ένας άλλος Rutherford, πολύ προγενέστερος, ο **Daniel Rutherford** (1749-1819), φυσικός, χημικός και βοτανολόγος, ο οποίος έγινε γνωστός στην εποχή του για την ανακάλυψη του αζώτου, του κύριου συστατικού του ατμοσφαιρικού αέρα.

Ο Daniel Rutherford ανακάλυψε το αέριο στοιχείο άζωτο το 1772, όταν ήταν φοιτητής στο Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου (Σκωτία). Η έρευνά του είχε στόχο να διαπιστωθεί τι συμβαίνει με τον αέρα του χώρου μετά την καύση σε αυτόν κάποιου υλικού. Ας σημειωθεί ότι υπήρχε τότε η θεωρία του «φλογιστού», σύμφωνα με την οποία σε όλα τα εύφλεκτα σώματα και γενικά σε όλα τα σώματα που μπορεί να οξειδωθούν, περιέχεται μια αβαρής ουσία, το **φλογιστόν**. Αν ένα σώμα θερμανθεί, το ρευστό αυτό αποβάλλεται στον αέρα υπό μορφή φλόγας και από το σώμα απομένει η στάχτη, αν είναι οργανική ουσία, ή οξείδιο αν πρόκειται για μέταλλο. Ο D. Rutherford, αφού τοποθέτησε στον περιορισμένο χώρο ενός δοχείου ένα …ποντίκι και το άφησε εκεί μέχρι να πεθάνει από ασφυξία, έβαλε μετά ένα αναμμένο κερί μέχρι που αυτό έσβησε. Αφού απομάκρυνε το διοξείδιο του άνθρακα με κάποια χημική ουσία, διαπίστωσε τελικά ότι παρέμενε στον περιορισμένο χώρο ένα αέριο το οποίο δεν μπορούσε να συντηρήσει τη ζωή ή την φλόγα ενός κεριού. Το αέριο αυτό ονομάστηκε «φλογιστικοποιημένος» αέρας, καμένος αέρας ή **άζωτο** (azote), όρος από τα ελληνικά που χρησιμοποίησε ο Antoine Lavoisier. Το όνομα **nitrogen** που χρησιμοποιείται σήμερα διεθνώς, οφείλει την ετυμολογία του επίσης στα ελληνικά. Πολλά χρόνια αργότερα, το 1883, οι καθηγητές Zygmunt Wróblewski και Karol Olszewski του Jagiellonian University της Κρακοβίας (Πολωνία), ανακάλυψαν μια μέθοδο υγροποίησης του αζώτου.

Το **υγρό άζωτο** είναι, όπως και το αέριο άζωτο, άχρουν, άοσμο, διαυγές, εν πολλοίς αδρανές και δεν αναφλέγεται. Έχει πυκνότητα 0.8 g/cm^3, μοιάζει πολύ με το νερό, εκτός από την θερμοκρασία του που είναι πολύ-πολύ χαμηλή: μόλις −196 °C (77.1 K) υπό συνήθη ατμοσφαιρική πίεση. Για τον λόγο αυτό και λόγω της αφθονίας του και του σχετικά μικρού κό-

Δοχείο Dewar με υγρό άζωτο. Το λευκό νέφος είναι υδρατμοί της ατμόσφαιρας που συμπυκνώνονται εξ αιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας.

στους του, αποτελεί το πιο συνηθισμένο **κρυογενικό ρευστό**.

Το υγρό άζωτο παράγεται με υγροποίηση του ατμοσφαιρικού αέρα σε μια κρυογενική μηχανή που λειτουργεί με βάση τον αντίστροφο θερμοδυναμικό κύκλο Stirling. Ο κύκλος Stirling, στον οποίο βασίζεται και ο επώνυμος κινητήρας, επινοήθηκε από τον Σκωτσέζο **Robert Stirling** το 1816, ο οποίος ήταν κληρικός στο επάγγελμα (!) αλλά καταγόταν από οικογένεια μηχανικών και είχε έναν αδελφό μηχανικό ο οποίος τον βοήθησε να κατασκευάσει και να πατεντάρει τη μηχανή. Ο κινητήρας Stirling είχε μεγαλύτερη απόδοση από τους ατμοκινητήρες της εποχής (50%), αλλά δεν μπορούσε να αναπτύξει μεγάλες ισχείς, και γι' αυτό είχε περιορισμένη χρήση.

Η αρχή λειτουργίας της κρυογενικής μηχανής βασίζεται στο γεγονός ότι ο κύκλος Stirling είναι αναστρέψιμος: προσφέρουμε μηχανικό έργο μέσω ενός ηλεκτροκινητήρα, το οποίο χρησιμοποιείται για να αποβάλλει θερμότητα από μια ποσότητα αδρανούς αερίου ηλίου η οποία συμπιέζεται και εκτονώνεται διαδοχικά μέσα σε έναν κύλινδρο με έμβολο. Η μηχανή δηλαδή λειτουργεί ως αντλία θερμότητας. Ο ατμοσφαιρικός αέρας καταψύχεται σε έναν θάλαμο, τον λεγόμενο συμπυκνωτή, του οποίου η θερμοκρασία κατεβαίνει αρκετά κάτω από το σημείο βρασμού του αζώτου, και υγροποιείται. Ο υγροποιημένος αέρας αποτελεί μίγμα οξυγόνου (που υγροποιείται πρώτο στους −183 °C) και αζώτου, το οποίο στη συνέχεια οδηγείται σε μια στήλη κλασματικής απόσταξης, η οποία αποβάλλει το οξυγόνο και απομένει το υγρό άζωτο με τυπική καθαρότητα 99.7%. Η τυπική παραγωγικότητα των μηχανών του ΑΠΘ είναι 5-6 λίτρα υγρού αζώτου την ώρα.

Κώστας Φιλιππούσης †

Οι σύγχρονες μηχανές λειτουργούν μεν με βάση την ίδια αρχή, αλλά χρησιμοποιούν στην είσοδο ένα μοριακό φίλτρο (molecular sieve) το οποίο εμποδίζει την διέλευση των μορίων του οξυγόνου και επιτρέπει μόνο στο άζωτο να εισέλθει στην μηχανή και να υγροποιηθεί. Με την τεχνική αυτή δεν απαιτείται μεν η χρήση στήλης κλασματικής απόσταξης, αλλά το υγρό άζωτο που παράγεται έχει μειωμένη καθαρότητα, της τάξης του 95%.

Επί τη ευκαιρία, να επισημάνουμε ότι αξίζει να αναζητήσετε στο διαδίκτυο κατασκευές κινητήρων με απλά υλικά καθημερινής χρήσης οι οποίοι βασίζονται στον κύκλο Stirling, κατά τον οποίο η προσφορά θερμότητας από π.χ. ένα κερί μετατρέπεται σε μηχανικό έργο. Κατασκευές σαν και αυτές αποτελούν υποχρεωτική εργαστηριακή εργασία για τους πρωτοετείς φοιτητές ορισμένων πολυτεχνικών σχολών στις Η-ΠΑ.

Το υγρό άζωτο διατηρείται σε ειδικά μονωμένα δοχεία με διπλά τοιχώματα μεταξύ των οποίων υπάρχει κενό, τα οποία εφευρέθηκαν από τον Βρετανό James Dewar το 1898 και γι' αυτό αποκαλούνται δοχεία **Dewar**. Τα δοχεία Dewar για οικιακή χρήση, γνωστά σε όλους ως δοχεία «θερμός», είναι κατασκευασμένα από επάργυρο γυαλί, ενώ αυτά για βιομηχανική χρήση είναι από ανοξείδωτο ατσάλι.

Το Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ, το οποίο είναι το μόνο ΑΕΙ στην Ελλάδα που παράγει αυτοδύναμα υγρό άζωτο, διαθέτει **δύο μηχανές παραγωγής** που βρίσκονται στο υπόγειο της Σχολής Θετικών Επιστημών (ΣΘΕ). Η πρώτη εγκατάσταση ξεκίνησε με πρωτοβουλία του Εργαστηρίου Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής (ΕΑΠΦ) στα τέλη της δεκαετίας του 1970, για να καλυφθούν οι ανάγκες λειτουργίας σε μόνιμα χαμηλή θερμοκρασία των ανιχνευτών ακτινοβολίας γάμμα, και συγκεκριμένα των ανιχνευτών Ge και Ge(Li). Για την παραγωγή του φρόντιζαν τεχνικοί του Εργαστηρίου ΕΑΠΦ, όπως ο **Θανάσης Χατζημπούσιος** και ο **Κώστας Φιλιππούσης** †, αλλά και άλλοι επιστημονικοί συνεργάτες. Αργότερα, αυξήθηκαν οι ανάγκες σε υγρό άζωτο και άλλων Τμημάτων και έτσι η παραγωγή άρχισε να γίνεται υπόθεση όλου του ΑΠΘ, με το Τμήμα Φυσικής να έχει την ευθύνη της λειτουργίας των μηχανών και της διανομής στα ενδιαφερόμενα ερευνητικά εργαστήρια, υπό την εποπτεία της Πρυτανείας και της Επιτροπής Μεγάλων Οργάνων του ΑΠΘ. Από το 2013 υπεύθυνος για την εύρυθμη λειτουργία των μηχανών και

την παραγωγή και διανομή υγρού αζώτου είναι ο Δημήτρης Ευαγγελινός, φυσικός, μέλος του Εργαστηρίου Διδακτικής της Φυσικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας του Τμήματος Φυσικής και στέλεχος της Συντακτικής Ομάδας του περιοδικού μας από το 2008.

Σε τί όμως ακριβώς χρησιμεύει το υγρό άζωτο για την έρευνα; Οι βασικές χρήσεις του στο ΑΠΘ είναι η ψύξη ανιχνευτών ακτινοβολιών και η λειτουργία ηλεκτρονικών μικροσκοπίων σάρωσης (SEM) και διέλευσης (TEM), φασματοσκοπίας FTIR και Raman (Τμήματα Φυσικής, Χημείας και Χημικών Μηχανικών), η ψύξη υπεραγώγιμων μαγνητών σε διατάξεις πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού NMR (Τμήματα Χημείας και Ηλεκτρολόγων Μηχανολόγων / Μηχανικών Υπολογιστών), η συντήρηση και επεξεργασία βιολογικών δειγμάτων (Τμήματα Βιολογίας, Γεωπονίας, Δασολογίας, Ιατρική Σχολή, Κτηνιατρική Σχολή), η επεξεργασία βιολογικών ιστών και γενετικού υλικού (Τμήματα Βιολογίας και Γεωπονίας) καθώς και η βιοτεχνολογία, φαρμακευτική τεχνολογία και μοριακή φαρμακολογία (Τμήμα Φαρμακευτικής).

Σύμφωνα με τα τελευταία στατιστικά στοιχεία, η Μονάδα Παραγωγής Υγρού Αζώτου του ΑΠΘ παράγει κατά μέσο όρο 14.000 λίτρα το χρόνο και εξυπηρετεί περί τα 50 ερευνητικά εργαστήρια του ΑΠΘ που ανήκουν σε 10 Τμήματα Σχολών του ΑΠΘ. Με δεδομένο ότι η λιανική τιμή του υγρού αζώτου υπερβαίνει το 1 ευρώ το λίτρο, συμπεραίνεται ότι η τοπική παραγωγή υγρού αζώτου αποτελεί σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα που διευκολύνει την διεξαγωγή της έρευνας στο ΑΠΘ.

Εκτός βέβαια από την έρευνα, το υγρό άζωτο από μόνο του προσφέρει ένα φαντασμαγορικό θέαμα (οι «καπνοί» που συνήθως βλέπετε στις φωτογραφίες και τα βίντεο δεν είναι το άζωτο, αλλά το σύννεφο των υγροποιημένων υδρατμών του ατμοσφαιρικού αέρα!), ενώ επιτρέπει την διεξαγωγή πλήθους πειραμάτων επίδειξης που εντυπωσιάζουν το κοινό, όπως πιθανόν να έχετε ήδη διαπιστώσει από τις δραστηριότητες των ομάδων Physics Partizani και Φυσικών Μαγικών του Τμήματος Φυσικής.

Αν ανήκετε σε ερευνητική ομάδα του ΑΠΘ ή είστε μέλος ομάδας φοιτητών και θέλετε να πειραματιστείτε με το υγρό άζωτο, μπορείτε να επικοινωνήσετε με την Προεδρία του Τμήματος Φυσικής ώστε να σας δοθούν οδηγίες και πρόσβαση.

Η μηχανή παραγωγής υγρού αζώτου στο Τμήμα Φυσικής

Συνέβησαν στο Τμήμα

Ορκωμοσίες πτυχιούχων

Την Παρασκευή 21/7/2017 πραγματοποιήθηκε στην Αίθουσα Τελετών του Α.Π.Θ. ορκωμοσία νέων πτυχιούχων του Τμήματος Φυσικής.

ΟΙ ΝΕΟΙ ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΙ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΑΛΚΙΒΙΑΔΗΣ	ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ
ΒΑΛΩΜΕΝΟΣ	ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ
ΓΑΙΤΑΝΑΣ	ΜΙΧΑΗ.Λ ΑΓΓΕΛΟΣ
ΓΑΛΛΙΟΠΟΥΛΟΥ	ΕΙΡΗΝΗ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΟΥ
ΓΟΝΑΤΑΣ	ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ
ΚΑΜΠΟΥΡΑΚΗ	ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ
ΚΑΝΔΥΛΑ	ΑΝΝΑ ΜΑΡΙΑ
ΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗ	ΣΤΑΜΑΤΙΑ
ΚΑΡΑΜΑΝΗΣ	ΜΗΝΑΣ
ΚΑΡΡΑ	ΧΡΙΣΤΙΝΑ
ΚΑΣΣΕΡΟΠΟΥΛΟΣ	ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΚΟΤΣΟΚΕΧΑΓΙΑ	ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ
ΚΟΥΡΤΗΣ	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΚΟΥΤΛΑ	ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ
ΚΥΡΙΑΚΟΥ-ΤΖΙΑΜΤΖΗ	ΧΡΙΣΤΙΝΑ
ΛΑΜΠΡΟΥΔΗΣ	ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ
ΛΙΓΓΑΣ	ΡΑΦΑΗΛ
ΜΑΚΑΒΟΥ	ΚΑΣΣΑΝΔΡΑ
ΜΑΥΡΟΥΔΗΣ	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙ-ΝΟΣ
ΜΙΧΑΛΙΟΥ	ΜΑΡΙΑ
ΜΠΟΥΛΟΥΜΗΣ	ΘΕΟΔΩΡΟΣ
ΝΙΑΟΥΡΗΣ	ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΠΑΝΑΡΕΤΟΥ	ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ
ΠΑΡΝΑΒΕΛΛΗΣ	ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΠΕΤΙΚΟΠΟΥΛΟΣ	ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΣΑΒΒΙΔΗΣ	ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΣΑΡΑΦΟΓΛΟΥ	ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ
ΣΚΟΠΙΔΟΥ	ΘΕΟΔΩΡΑ
ΤΖΑΝΗΣ	ΜΙΧΑΗΛ
ΤΟΡΜΠΑΝΤΩΝΗΣ	ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ
ΤΟΥΣΚΑΣ	ΑΓΓΕΛΟΣ
ΤΣΕΝΕΚΛΙΔΟΥ	ΔΗΜΗΤΡΑ
ΤΣΙΓΚΙΡΔΑΚΗΣ	ΣΤΑΜΑΤΗΣ
ΦΡΑΓΚΟΠΟΥΛΟΥ	ΓΕΩΡΓΙΑ

** παρατίθενται μόνο τα ονόματα των φοιτητών οι οποίοι συναίνεσαν*

Ορκωμοσία διδακτόρων

Στις 3/7/2017 ορκίστηκε ο νέος διδάκτορας του Τμήματος Φυσικής

ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ	ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	ΘΕΜΑ
Θεοδώρου Γεώργιος	Κ. Παρασκευόπουλος	Βιοκεραμικά υλικά για την κατασκευή ικριωμάτων με στόχο την αναγέννηση οδοντικών ιστών.

Συνέβησαν στο Τμήμα

Ιωάννης Στούμπουλος
Αναπλ. Καθ.
Τμ. Φυσικής

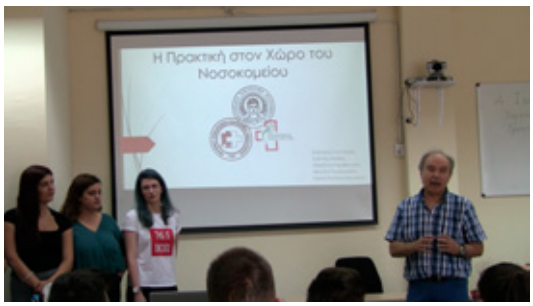
— Ημερίδα Ιατρικής Φυσικής —

Ενημερωτική εκδήλωση παρουσίασης πρακτικών στα νοσοκομεία

Την Τρίτη 4 Ιουλίου 2017, στις 11:30 στη αίθουσα Γενικών Συνελεύσεων του παρουσιάσθηκαν οι εργασίες που πραγματοποίησαν οι φοιτητές μας στα Νοσοκομεία της Θεσσαλονίκης στα πλαίσια του μαθήματος «Πρακτική Άσκηση». Το πρόγραμμα πραγματοποιείται στα πλαίσια των ΕΣΠΑ 2014-2020 με συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ελλάδας. Τα νοσοκομεία που συμμετείχαν σε αυτό το κύκλο πρακτικής ήταν το Αντικαρκινικό Νοσοκομείο Θεσ/νίκης «ΘΕΑΓΕΝΕΙΟ», το Ιπποκράτειο Γενικό Νοσοκομείο, το Γενικό Νοσοκομείο «ΑΧΕΠΑ» και το Γενικό Νοσοκομείο «ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ». Οι φοιτητές μας ασκήθηκαν για δύο ολόκληρους μήνες με συνεχές ωράριο στα τμήματα Ιατρικής Φυσικής των παραπάνω Νοσοκομείων παράλληλα και σε συνεργασία με τους μεταπτυχιακούς τους φοιτητές και υποψήφιους διδάκτορες. Φυσικά κάτω από τη καθοδήγηση και επίβλεψη των διευθυντών των αντίστοιχων τμημάτων αλλά και του υπολοίπου προσωπικού. Για το Αντικαρκινικό Νοσοκομείο Θες/νίκης «ΘΕΑΓΕΝΕΙΟ» το κύριο βάρος είχε η Ακτινοφυσικός **Άννα Μακρίδου**, για το «Ιπποκράτειο» Γενικό Νοσοκομείο ο Διευθυντής Τομέα Πυρηνικής Ιατρικής **Αθανάσιος Νοτόπουλος** με την Ακτινοφυσικό **Ευθυμία Ψαρούλη**, και για το το Γενικό Νοσοκομείο «ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ» ο Προϊστάμενος του Τμήματος Ιατρικής Φυσικής, Ακτινοφυσικός **Κώστας Χατζηιωάννου**. Το Γενικό Νοσοκομείο «ΑΧΕΠΑ» το οποίο θα συμμετέχει στα επόμενα στάδια εκπροσωπήθηκε από τον **Αναστάσιο Σιουντα**, Αναπλ. Καθ. Τμ. Ιατρικής Α.Π.Θ.

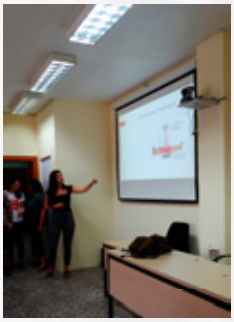
Οι εργασίες που παρουσιάσθηκαν ολοκληρώθηκαν σε δύο χρονικές περιόδους. Στη πρώτη, Φεβρουάριος – Μάρτιος 2017, συμμετείχαν οι φοιτητές/τριες **Γιαννούλης Ευάγγελος, Παπακωνσταντίνου Μαρία** και **Παναγιωτίδου Νικολέτα** («ΘΕΑΓΕΝΕΙΟ»), η **Καραβαγγέλη Μαριάνα** και ο **Ηλιάδης Γιάννης** («ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ»). Στην επόμενη περίοδο (Απρίλιος – Μάιος 2017) συμμετείχαν οι φοιτητές/τριες **Μαχαιράς Ηλίας** («ΘΕΑΓΕΝΕΙΟ»), και η **Χριστοδούλου Πηνελόπη** («Ιπποκράτειο»).

Στην έναρξη της ημερίδας, Ο κ. **Ιωάννης Στούμπουλος**, Αν. Καθηγητής Τμ. Φυσικής Α.Π.Θ., μίλησε ως επόπτης του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ. για την πρακτική άσκηση των φοιτητών στα Νοσοκομεία και ευχαρίστησε όλους τους εμπλεκόμενους για την αγάπη με την οποία προσφέρουν τις γνώσεις και την εμπειρία τους στους ασκούμενους. Αναφέρθηκε στη τεράστια ζήτηση που παρουσιάζεται στο τμήμα Φυσικής για Πρακτική Άσκηση στο αντικείμενο της Ιατρικής Φυσικής. Προέτρεψε τους φοιτητές να συνεχίσουν τις σπουδές τους και σε ανώτερο επίπεδο στον υπέροχο αυτό επιστημονικό χώρο και έκλεισε μεταφέροντας τη παράκληση των φοιτητών του Τμήματος για δημιουργία περισσότερων θέσεων άσκησης στα υπάρχοντα Νοσοκομεία αλλά και την είσοδο στο πρόγραμμα και των υπολοίπων Μονάδων του Νομού μας.



Η παρουσίαση των εργασιών ξεκίνησε με ένα τελείως διαφορετικό τρόπο από τις άλλες φορές. Παρουσιάσθηκαν ταυτόχρονα από την ομάδα του Θεαγενείου και την αντίστοιχη του Παπαγεωργίου. Σκοπός αυτής της νέας διαδικασίας ήταν να αποφευχθούν επικαλύψεις, κυρίως στην περιγραφή των οργάνων, αφού ήταν προφανής η παρόμοια κατασκευή και οι αρχές λειτουργίας τους σε όλα τα Νοσοκομεία. Αρχικά, η κα. **Μαρία Παπακωνσταντίνου** αναφέρθηκε στις βασικές αρχές της ακτινοπροστασίας, για την ακτινοθεραπεία, καθώς και για το σχεδιασμό του πλάνου θεραπείας στον γραμμικό επιταχυντή.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
ΕΣΠΑ 2014-2020



Η κα. **Νικολέτα Παναγιωτίδου** ανέλυσε το θέμα της ακτινοδιάγνωσης και των ακτινοδιαγνωστικών μηχανημάτων. Αναφέρθηκε στον γραμμικό επιταχυντή που χρησιμοποιούν στο «ΘΕΑΓΕΝΕΙΟ», στον τομέα της Πυρηνικής Ιατρικής και των Ραδιοφαρμάκων. Ο κ. **Ευάγγελος Γιαννούλης** ανέλυσε τη λειτουργία συγκεκριμένων μηχανημάτων όπως του μαστογράφου και του υπερηχογράφου, και έδωσε λεπτομέρειες για το σχεδιασμό θεραπείας και την ακτινοθεραπεία ως ιατρική πράξη αφού εκεί έμεινε το περισσότερο χρόνο της πρακτικής του. Έδωσε στοιχεία για τη θεραπεία κοβαλτίου και τη θεραπευτική ομάδα καθώς και για τα εργαστήρια RIA (Radio Immuno-Assay) προσδιορισμού ορμονών και άλλων ουσιών στο αίμα με τον πλέον αξιόπιστο τρόπο. Ο κ. **Γιάννης Ηλιάδης** μίλησε για τη λειτουργία του αξονικού τομογράφου CT-Scanner και του μαγνητικού τομογράφου I– Scanner . Αναφέρθηκε στις ακτινοθεραπείες που παρακολούθησε με ακτίνες β και γ, καθώς και για βραχυθεραπεία σε χειρουργημένο ασθενή μαζί με τη παρακολούθηση και το σχεδιασμό του πλάνου ακτινοθεραπείας.

Η κα. **Μαριάνα Καραβαγγέλη** μας ενημέρωσε για μεθόδους βραχυθεραπείας υψηλού ρυθμού δόσης που εφαρμόσθηκαν σε ασθενείς στο Γ. Ν. Παπαγεωργίου σε περιστατικά γυναικολογικού καρκίνου. Ενδιαφέρουσα ήταν και η αναφορά της στο τρόπο τοποθέτησης εφαρμογέων ραδιενεργών πηγών στη κοιλότητα του πάσχοντος οργάνου.

Η κα. **Πηνελόπη Χριστοδούλου**, μίλησε για την εμπειρία της στο τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής στο «Ιπποκράτειο», σε εξετάσεις με τη γ-κάμερα, στη γεννήτρια Mo99/Tc99, τα εργαστήρια RIA για *in vitro* εξετάσεις, και τον ποιοτικό έλεγχο με τους χρησιμοποιούμενους μετρητές. Αναφέρθηκε και στους τρόπους ελέγχου Dose calibrator και well-counter, στο μετρητή Uptake-θυρεοειδούς και συνολικά στους ελέγχους ακρίβειας και σταθερότητας, γραμμικότητας και εξάρτησης από τον όγκο.

Ο κ. **Ηλίας Μαχαιράς** αναφέρθηκε στο PET/CT, στα δοσίμετρα και τους τύπους τους (με έμφαση στα TLD θερμοφωταύγειας). Ανέλυσε το γραμμικό επιταχυντή (αρχές λειτουργίας, βασικές λειτουργίες), παρέθεσε εικόνες πριν και μετά τη θεραπεία για να φανεί η αποτελεσματικότητα των μεθόδων, σχολίασε τη 3D-conformal σε μαστό και τις αλληλεπιδράσεις της ακτινοβολίας και των κυττάρων καθώς και την ακτινοευαισθησία των όγκων.

Στην ημερίδα συμμετείχε μεγάλος αριθμός προπτυχιακών φοιτητών του τμήματος Φυσικής γεμίζοντας την αίθουσα συνεδριάσεων του τμήματος, γεγονός που δείχνει το τεράστιο ενδιαφέρον που παρουσιάζουν οι πρακτικές ασκήσεις σε αντικείμενα Ιατρικής Φυσικής. Και ιδιαίτερα στο τέλος της εκδήλωσης, άνοιξαν συζητήσεις με τους ομιλητές-συμφοιτητές τους προσπαθώντας να αποκομίσουν όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία για την εμπειρία που τους προσφέρθηκε και τις συνθήκες που συνάντησαν στα Νοσοκομεία που ασκήθηκαν.

Κλείνοντας την ημερίδα, ο κ. **Κ. Χατζηιωάννου** μίλησε για τα πλεονεκτήματα που αποκτούν όσοι μετέχουν στη πρακτική παρά τη δυσκολία των Νοσοκομείων να ανταποκριθούν στις αιτήσεις των φοιτητών λόγω του τεράστιου φόρτου εργασίας. Οι ίδιοι όμως προσφέρουν με χαρά. Η κα. **Άννα Μακρίδου**, με τεράστια πείρα δεκαετιών στην επίβλεψη πρακτικών και πτυχιακών στο Θεαγένειο, μίλησε για γόνιμη διαδικασία, αναζωογονητική και για τους ίδιους, που παίρνουν πολλές φορές νέες ιδέες από τους ασκούμενους. Έθεσε δε ως προϋπόθεση για πτυχιακή εργασία τη συμμετοχή στη πρακτική για να φανεί η δυνατότητα συνεργασίας και των δύο πλευρών. Ο κ. **Αναστάσιος Σιούντας**, με αγάπη για τη Φυσική και τη διδασκαλία, τόνισε το πόσο τυχεροί είναι οι φοιτητές μας που έχουν αυτή την ευκαιρία της πρακτικής ενώ η γενιά τους έπρεπε να φύγει στο εξωτερικό για να την αποκτήσει. ο κ. **Ιωάννης Στούμπουλος** ευχαρίστησε όλους τους ομιλητές για τις παρουσιάσεις τους και τους υπευθύνους των Νοσοκομείων για τη παρουσία και τη βοήθειά τους και ενημέρωσε για τις επόμενες παρουσιάσεις στις αρχές Οκτωβρίου.

Από τις 17 έως 22 Σεπτεμβρίου 2017, έλαβε χώρα στη Θεσσαλονίκη, στο Μέγαρο Μουσικής, το πανευρωπαϊκό συνέδριο υλικών—EUROMAT 2017.

Συμμετείχαν σε αυτό 2200 επιστήμονες από 65 χώρες και παρουσιάστηκαν 2725 εργασίες στις παρακάτω περιοχές:

- Λειτουργικά υλικά
- Δομικά υλικά
- Επεξεργασία υλικών
- Χαρακτηρισμός υλικών
- Ενέργεια & περιβάλλον
- Βιοϋλικά
- Εκπαίδευση & μεταφορά τεχνολογίας
- Πρώτες ύλες

Το συνέδριο διοργανώθηκε από την Ελληνική Μεταλλουργική Εταιρία και την Ελληνική Εταιρία Επιστήμης της Συμπυκνωμένης Ύλης. Ενεργό ρόλο στη διοργάνωση ειδικών συμποσίων είχαν μέλη ΔΕΠ του Τμήματος Φυσικής.

ISSN: 2529-1874 • 2529-1882 (online)