phenomenon.physics.auth.gr

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

Φαινόμενον

Περίοδος Δ΄ | Τεύχος 32 | Ιούλιος 2020
ISSN: 2529-1874/2529-1882(online)

Πολυμηνυματική αστρονομία **Σελ. 8**

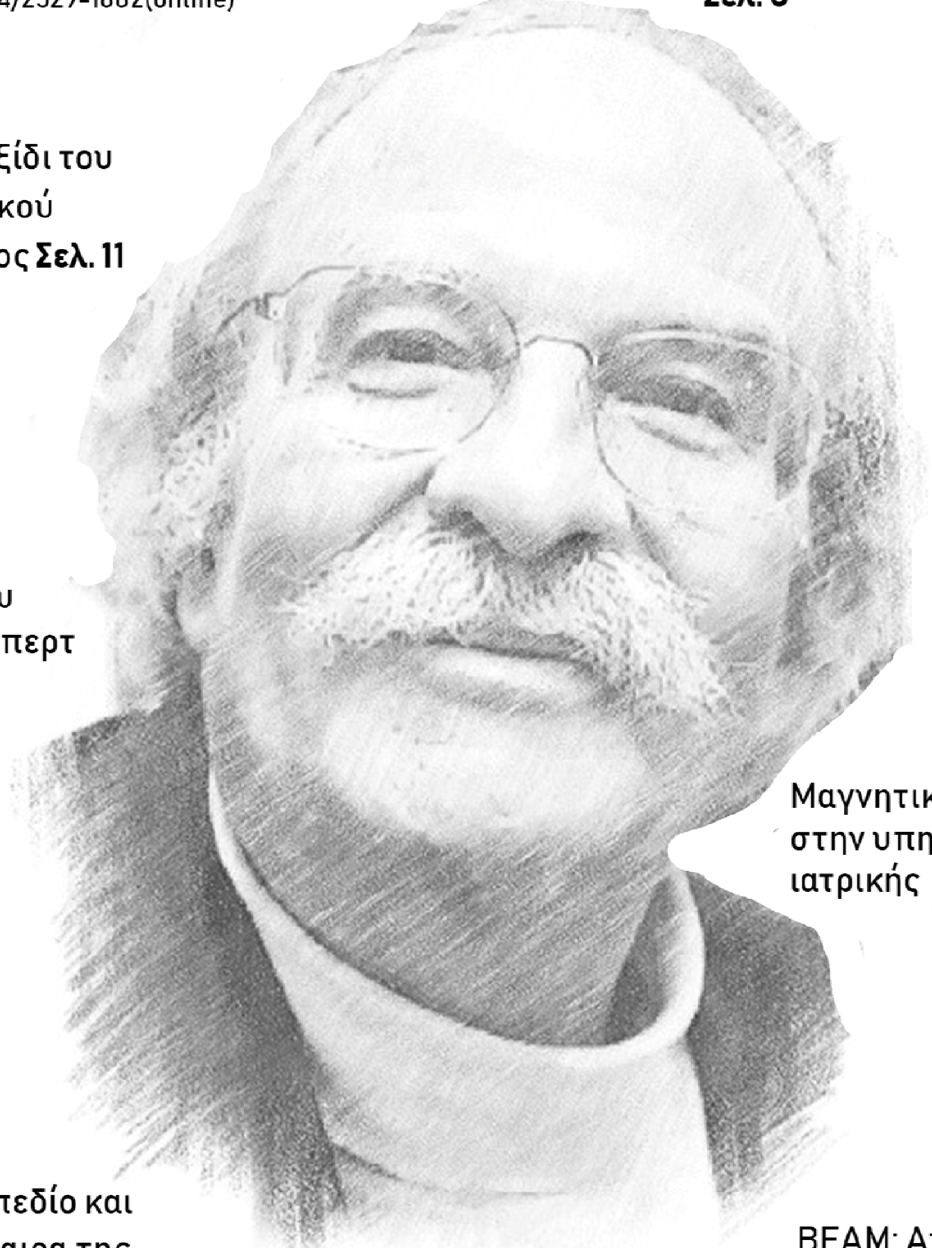
Το μακρύ ταξίδι του πληθωριστικού υποδείγματος **Σελ. 11**

Η σταγόνα του πρίγκιπα Ρούπερτ **Σελ. 25**

Μαγνητικά νανοσωματίδια στην υπηρεσία της ιατρικής **Σελ. 21**

Μαγνητικό πεδίο και μαγνητόσφαιρα της Γης **Σελ. 17**

BEAM: Από το Α.Π.Θ. στη στρατόσφαιρα **Σελ. 27**



ΙΩΑΝΝΗΣ-ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ

Φαινόμενον

Περίοδος Δ΄ ·Τεύχος 32
Ιούλιος 2020
Περιοδική έκδοση του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ. (προεδρία Α. Μπάη)

στο τεύχος αυτό συνεργάστηκαν

Βενετία Βουτσά
(φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
Μιλτιάδης Γκιουλίδης
(φοιτητής Τμ. Φυσικής)
Μαρία Κατσικίνη
(αναπλ. καθηγήτρια Τμ. Φυσικής)
Τάνια Λιάρτση
(φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
Καλλιόπη Μαυρίδου
(μεταπτυχιακή φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
Μαρία Μήτρου
(απόφοιτος Τμ. Φυσικής)
Φιλοθέη Μπουφίδου
(φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
Παναγιώτης Γ. Σταύρος
(φοιτητής Τμ. Φυσικής)
Νικόλαος Στεργιούλας
(καθηγητής Τμ. Φυσικής)
Εμμανουέλα Τσιριγώτη
(φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
Μίλαν Τσομπάνογλου
(φοιτητής Τμ. Φυσικής)
Νικόλαος Χατζαράκης
(απόφοιτος Τμ. Φυσικής)

εκτύπωση

COPYCITY Ε.Π.Ε.

ψηφιακή έκδοση

http://phenomenon.physics.auth.gr

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

facebook: *Περιοδικό "Φαινόμενον"*

ISSN: 2529-1874 · 2529-1882 (online)

σημείωμα της σύνταξης

Το παρόν τεύχος του «ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΝ» περιλαμβάνει άρθρο-αφιέρωμα στον πρόσφατα εκλιπόντα Ι. Χ. Σειραδάκη και άρθρα σχετικά με τις δραστηριότητες φοιτητών του τμήματος. Η ύλη πλαισιώνεται από άρθρα για το μαγνητικό πεδίο της Γης, τους αστεροειδείς και τους μετεωρίτες, την πολυμηνυματική αστρονομία και το πληθωριστικό μοντέλο του σύμπαντος. Παρουσιάζονται επίσης θέματα υλικών και φυσικής στερεάς κατάστασης όπως τα μαγνητικά νανοσωματίδια, υλικά τριβής σε φρένα οχημάτων και γυαλιά διαμορφωμένα σε σχήματα με περίεργες ιδιότητες, ενώ από το τεύχος δεν λείπουν και τα νέα του τμήματος.

περιεχόμενα

- Πρόσωπα της επιστήμης: Ιωάννης-Χιου Σειραδάκης **1**
- Αστεροειδείς και μετεωρίτες **3**
- Πολυμηνυματική αστρονομία: το γεγονός GW170817 **8**
- Το μακρύ ταξίδι του πληθωριστικού υποδείγματος **11**
- Μαγνητικό πεδίο και μαγνητόσφαιρα της Γης **17**
- Όχι, δεν είμαστε όλοι καταδικασμένοι από μια αντιστροφή των πόλων **20**
- Τα μαγνητικά νανοσωματίδια στην υπηρεσία της ιατρικής **21**
- Υλικά τριβής στο σύστημα πέδησης του αυτοκινήτου **23**
- Η σταγόνα του πρίγκιπα Ρούπερτ **25**
- Δραστηριότητες των φοιτητών του τμήματος **27**
- Συνέβησαν στο Τμήμα **32**

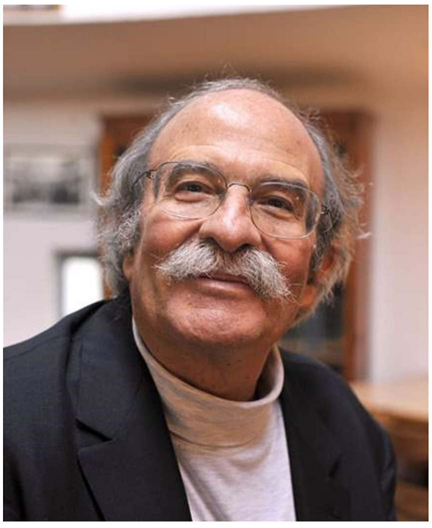
Εξώφυλλο: Αλέξανδρος Μυλωνάς (φοιτητής Τμ. Φυσικής). **Φωτογραφίες**: Deborah Wright-Lynch [pinterest] (σελ. 20), Κωνσταντίνος Εμμανουηλίδης (οπισθόφυλλο).

Ιωάννης-Χιου Σειραδάκης

Νικόλαος Στεργιούλας
Καθηγητής
Τμήματος Φυσικής

Ο Γιάννης Σειραδάκης γεννήθηκε στις 5 Μαρτίου 1948 στα Χανιά. Φοίτησε στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών και συνέχισε για μεταπτυχιακές σπουδές στο Πανεπιστήμιο του Manchester. Έλαβε το διδακτορικό του το 1975 υπό την επίβλεψη του John G. Davies έχοντας ανακαλύψει 18 νέους αστέρες νετρονίων, που ήταν ορατοί ως pulsar, με το ραδιοτηλεσκόπιο του Jodrell Bank Observatory. Συνέχισε την ερευνητική του πορεία σε ιδρύματα όπως το Max Planck Institute for Radio Astronomy (MPIfR) στη Βόννη, το Πανεπιστήμιο του Αμβούργου και το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο San Diego, ενώ έλαβε και την υψηλού κύρους υποτροφία Alexander von Humboldt για να εργαστεί στο MPIfR, όπου χρησιμοποίησε το ραδιοτηλεσκόπιο των 100 μέτρων του Effelsberg για την παρατήρηση ουδέτερου υδρογόνου σε μακρινούς γαλαξίες. Το 1985, το περιοδικό Nature φιλοξένησε στο εξώφυλλό του τη σημαντική ανακάλυψη που έκανε ο Γιάννης Σειραδάκης, ενός πίδακα ύλης στο κέντρο του δικού μας Γαλαξία.

Στο Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ εντάχθηκε το 1986 υπηρετώντας το για τρεις δεκαετίες. Υπήρξε ιδρυτικό μέλος και από τους κυριότερους συντελεστές του Ευρωπαϊκού ερευνητικού δικτύου PuLSE, για την επιτυχία του οποίου μοιράστηκε το σημαντικό βραβείο Descartes το 2005. Εκείνη την εποχή, ξεκίνησε και η ενασχόλησή του με τη μελέτη του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, ως ένας από τους επικεφαλής της διεθνούς συνεργασίας Antikythera Mechanism Research Project. Η νέα κατανόηση της λειτουργίας του μηχανισμού, που προέκυψε έτσι, έλαβε εκτενέστατη δημοσιότητα, ενώ ο Γιάννης Σειραδάκης δημοσίευσε άρθρο επισκόπησης για το θέμα αυτό στο περιοδικό *Nature Astronomy*. Μετέφερε αυτήν τη γνώση στο ευρύ κοινό δίνοντας περισσότερες από 200 ομιλίες, με αποκορύφωμα την ομιλία του σε μια κατάμεστη αίθουσα στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο.



Στο Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ δίδαξε για δεκαετίες μαθήματα όπως η Εισαγωγή στην Αστρονομία, η Παρατηρησιακή Αστρονομία και η Ραδιοαστρονομία, τα οποία διαμόρφωσε ή συνδιαμόρφωσε, ενώ διδακτικά του βιβλία αποτελούν ακόμη το βασικό σύγγραμμα στα μαθήματα αυτά. Επέβλεψε μεγάλο πλήθος πτυχιακών εργασιών. Η ετήσια εκδρομή των φοιτητών του μαθήματος της Παρατηρησιακής Αστρονομίας στις εγκαταστάσεις του ΑΠΘ στο Περτούλι Τρικάλων δημιουργούσε την ευκαιρία για αμεσότερες και εκτενέστερες συζητήσεις με τους φοιτητές του, οι μετέπειτα επιτυχίες των οποίων τον γέμιζαν με υπερηφάνεια. Προσιτός δάσκαλος, ενέπνεε την αγάπη για την Αστρονομία αλλά και την πεποίθηση ότι η σκληρή δουλειά αποδίδει καρπούς.

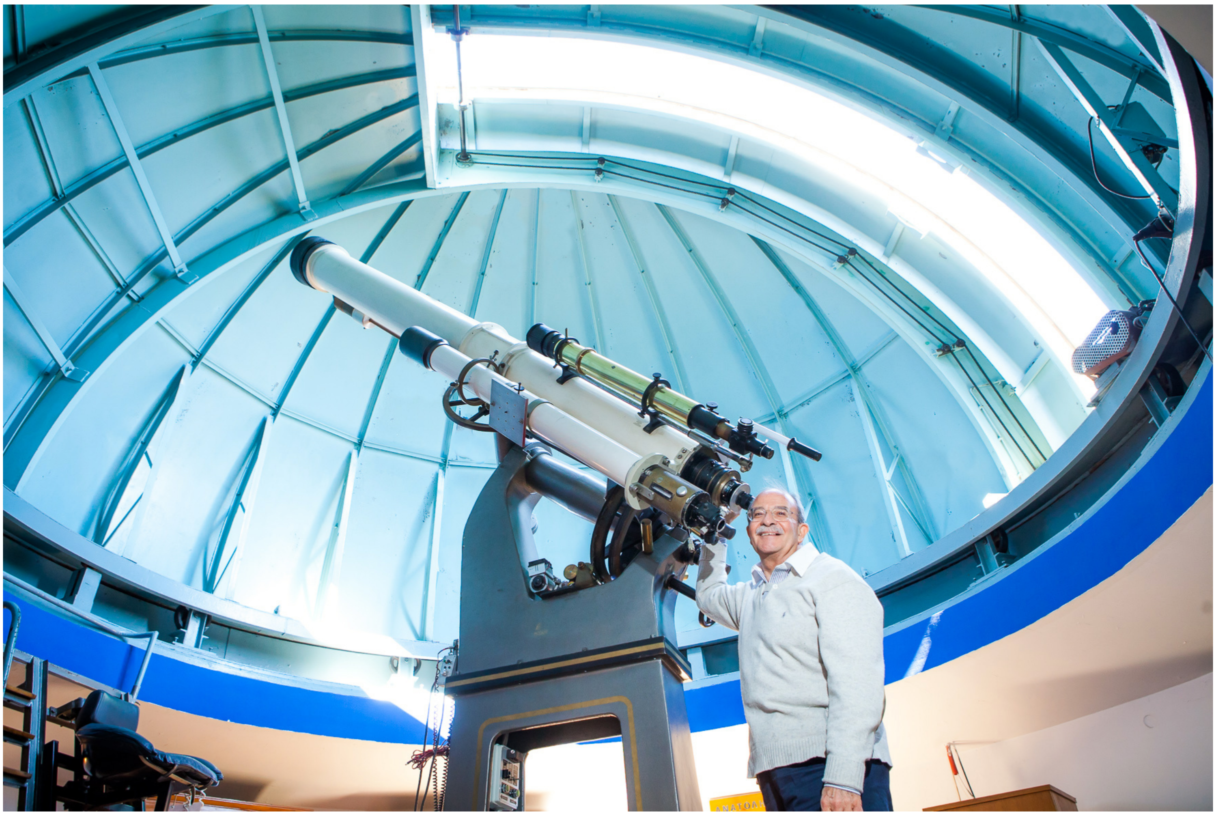
Διετέλεσε Διευθυντής του Εργαστηρίου Αστρονομίας στο Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ (2011-2015) και ήταν μέλος της Βασιλικής Αστρονομικής Εταιρείας, της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης, καθώς και ιδρυτικό μέλος της Ευρωπαϊκής Αστρονομικής Εταιρείας. Έπαιξε καταλυτικό ρόλο στη δημιουργία της Ελληνικής Αστρονομικής Εταιρείας της οποίας διετέλεσε Γραμματέας (1994-1998) και Πρόεδρος (1998-2002), ενώ διετέλεσε μέλος (1986-1990) και Πρόεδρος και της Εθνικής Αστρονομικής Επιτροπής (2001-2005). Υπήρξε, επίσης, ιδρυτικό μέλος του Διεπιστημονικού Κέντρου Αριστοτελικών Μελετών του ΑΠΘ και αντιπρόεδρός του από το 2011. Μετά τη συνταξιοδότησή του, το 2015, εκλέχθηκε Ομότιμος Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ.

Ως μεταπτυχιακός φοιτητής στη Βρετανία εργάστηκε ως χειριστής πλανηταρίου. Αγάπησε τόσο πολύ τα πλανητάρια, που το 1993 κατέθεσε μια ολοκληρωμένη πρόταση για την κατασκευή ενός πλανηταρίου στη Θεσσαλονίκη. Όταν, αργότερα, δημιουργήθηκε το Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και Μουσείο Τεχνολογίας «ΝΟΗΣΙΣ» στη Θεσσαλονίκη, συνέβαλε τα μέγιστα στην ανάπτυξή του, συμμετέχοντας πάντα εθελοντικά και δημιουργώντας ένα σταθερό δεσμό με το ΑΠΘ. Σε ψήφισμά του, το διοικητικό συμβούλιο του «ΝΟΗΣΙΣ» τονίζει ότι ο Γιάννης Σειραδάκης «διαμόρφωσε κανόνες ηθικής, κοινωνικής, επιστημονικής και ανθρώπινης συμπεριφοράς, καθορίζοντας σε μεγάλο βαθμό τις αξίες σύμφωνα με τις οποίες το ΝΟΗΣΙΣ λειτουργεί και οραματίζεται το μέλλον του».

Ο Γιάννης Σειραδάκης έδειξε πολύ μεγάλο ζήλο στην υποστήριξη Ελλήνων μαθητών για τη συμμετοχή τους στις Διεθνείς Ολυμπιάδες Αστρονομίας και Αστροφυσικής αφιερώνοντας προσωπικά, μαζί με μέλη της Εταιρείας Αστρονομίας και Διαστήματος Βόλου, αμέτρητες ώρες στην προετοιμασία των διαγωνιζόμενων και συνοδεύοντάς τους σε κάθε χώρα όπου διεξαγόταν η Ολυμπιάδα. Κατά κανόνα, η αποστολή επέστρεφε έχοντας αποσπάσει σημαντικά βραβεία και διακρίσεις. Οργάνωσε, επίσης, αποστολές για την παρατήρηση Ηλιακών Εκλείψεων σε πολλές χώρες. Υπήρξε ιδρυτικό μέλος του Ομίλου Φίλων Αστρονομίας στη Θεσσαλονίκη και υποστήριξε την ανάπτυξη της ερασιτεχνικής αστρονομίας στην Ελλάδα, μέσα από τη συμμετοχή του σε πλήθος εκδηλώσεων και δράσεων, ενώ επένδυσε σημαντικό χρόνο στην πρόταση δημιουργίας ενός Αστρονομικού Πάρκου στο όρος Όρλιακας Γρεβενών.

Στο τέλος του 2019, ο Γιάννης Σειραδάκης θεσμοθέτησε την υποτροφία «Βραβείο Αστρονομίας Ιωάννη Σειραδάκη» που θα απονέμεται κάθε έτος (για τα επόμενα τέσσερα έτη) στο φοιτητή ή στη φοιτήτρια με την υψηλότερη επίδοση σε μια σειρά μαθημάτων σχετικών με την Αστρονομία που προσφέρει το Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ. Η πρώτη απονομή θα γίνει με τη λήξη του ακαδημαϊκού έτους 2019-20. Ως ελάχιστο φόρο τιμής στη σημαντική συνεισφορά του στην ανάπτυξη του Τομέα Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής και στη διάδοση της Αστρονομίας στη χώρα μας, ο τομέας αποφάσισε ομόφωνα το Μάρτιο του 2020 (σε χρονική στιγμή που ο Γιάννης Σειραδάκης ήταν ακόμη εν ζωή), να μετονομάσει το θόλο του τηλεσκοπίου στο κτίριο του Αστεροσκοπείου σε «Θόλο Ιωάννη-Χιου Σειραδάκη». Η τελετή ονοματοδοσίας του θόλου θα πραγματοποιηθεί όταν το Πανεπιστήμιο επιστρέψει στους κανονικούς ρυθμούς λειτουργίας του.

Ο αγαπητός σε όλους μας καθηγητής, συνάδελφος και φίλος Γιάννης Σειραδάκης, δυστυχώς απεβίωσε στις 3 Μαΐου 2020 στην ηλικία των 72 ετών. Άφησε ως παρακαταθήκη το σημαντικό ερευνητικό και εκπαιδευτικό του έργο, αλλά και τη ζωντανή μνήμη ενός ανθρώπου που τον διέκρινε σπάνια ευγένεια, ήθος, καλοσύνη, και σεμνότητα.



αστεροειδείς και μετεωρίτες

Βενετία Βουτσά,
Τάνια Λιάρτση,
Φιλοθέη Μπουφίδου,
Εμμανουέλα Τσιριγώτη
Μεταπτυχιακές Φοιτήτριες
Μαρία Μήτρου
Απόφοιτος
Τμήματος Φυσικής

Αστεροειδείς

Οι αστεροειδείς είναι μικρά, στερεά αντικείμενα, με διάμετρο 50 m-1000 km και σχήμα είτε ακανόνιστο (για αστεροειδείς μικρότερου μεγέθους) είτε σφαιρικό/ελλειπτικό. Τα ονόματα των αστεροειδών έχουν δοθεί από την ελληνική μυθολογία (π.χ. Φαέθων) ή από διάσημες προσωπικότητες (π.χ. Beatles), ενώ όλοι χαρακτηρίζονται από έναν αύξοντα αριθμό ανάλογα με τον χρόνο ανακάλυψης. Η συνολική μάζα όλων των αστεροειδών (~104-106) στο Ηλιακό μας σύστημα υπολογίζεται στις 0.005 $M_Γ$.

Οι αστεροειδείς με ηλικία περίπου 4.6 Gyrs θεωρούνται κατάλοιπα αρχικών πλανητοειδών του πρωτοπλανητικού δίσκου, που δεν κατέληξαν σε πλανήτες λόγω της ισχυρής βαρύτητας του Δία. Αποτελούνται από αρχέγονο υλικό και γι΄ αυτό συνιστούν πηγή πληροφοριών για τις αρχικές συνθήκες και διαδικασίες κατά τη διάρκεια του σχηματισμού και της πρώιμης ιστορίας του Ηλιακού μας Συστήματος, την ηλικία και τη σύνθεση των στερεών, τη φύση της οργανικής ύλης, τις θερμοκρασίες στην επιφάνεια και στο εσωτερικό των αστεροειδών και το βαθμό στον οποίο τα υλικά ταράχτηκαν από τις επιπτώσεις.

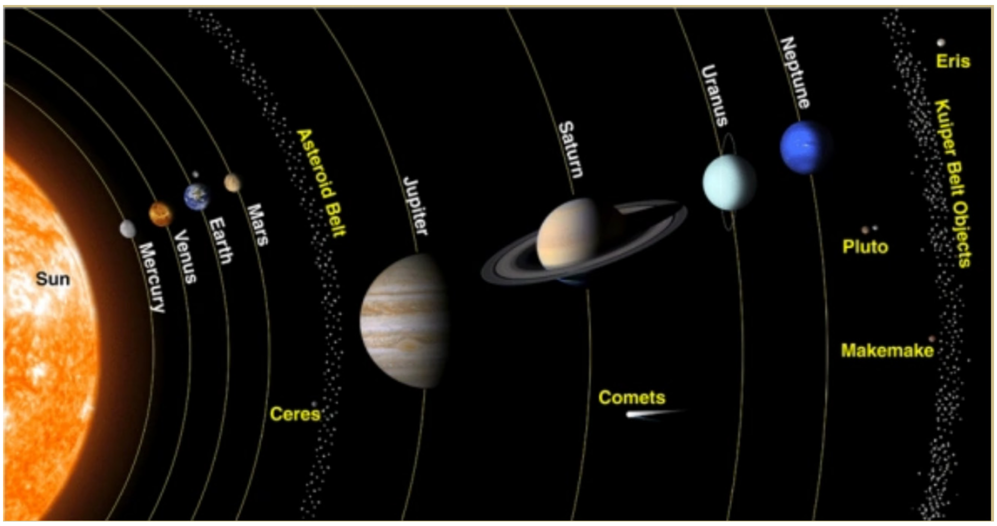
Οι περισσότεροι αστεροειδείς βρίσκονται στην κύρια ζώνη των αστεροειδών (main asteroid belt), μία δακτυλιοειδή περιοχή μεταξύ του Άρη και του Δία, κινούμενοι σε τροχιές με ημιάξονες 2.2-3.3 AU. Έχουν κυρίως ελλειπτικές τροχιές εκκεντρότητας $\leq$0.4 και κλίση $\geq$30° ως προς το επίπεδο της εκλειπτικής.

Εκτός από την κύρια ζώνη των αστεροειδών, υπάρχουν αστεροειδείς και στη ζώνη (belt) Edgeworth-Kuiper, η οποία είναι ένας δισκοειδούς δομής δακτύλιος με εσωτερική ακτίνα 36 AU και εξωτερική 50 AU, βρίσκεται πέρα από την τροχιά του Ποσειδώνα και έχει παγωμένο υλικό και περισσότερα από 1000 αντικείμενα (Σχ. 1).

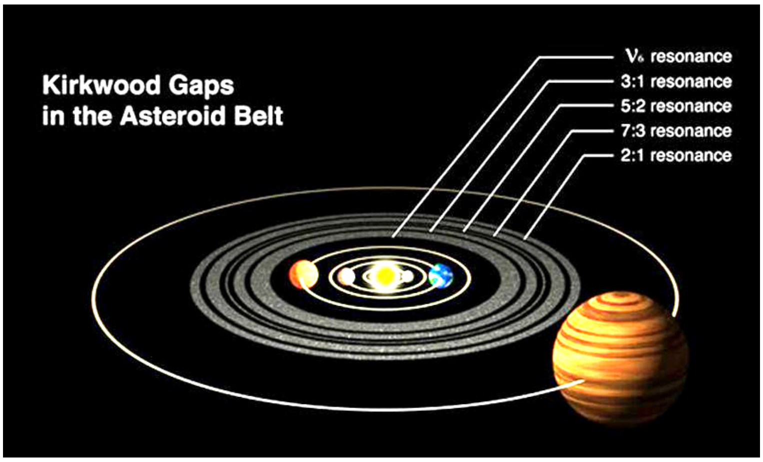
Παρόλο που οι αστεροειδείς είναι συγκεντρωμένοι σε μια μικρή περιοχή, οι μεταξύ τους αποστάσεις είναι αρκετά μεγάλες, ενώ υπάρχουν και περιοχές μηδενικής αριθμητικής πυκνότητας αστεροειδών, τα διάκενα (gaps) Kirkwood, λόγω συντονισμών με το Δία (Σχ. 2).

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι λεγόμενοι παραγήινοι αστεροειδείς (Near Earth Asteroids, NEAs). Οι NEAs είναι αστεροειδείς κινούμενοι εκτός της κύριας ζώνης με ασταθείς, χαοτικές και βραχύβιες τροχιές, τέμνουσες των πλανητικών τροχιών (Σχ. 3) (σύγκρουση με πλανήτη ή διαφυγή από Ηλιακό Σύστημα σε ~ 10 Myrs). Η κυριότερη «πηγή» των NEAs είναι ο συντονισμός 3:1 με τον Δία. Η ύπαρξη αστεροειδούς σε μία τέτοια περιοχή έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται έντονα η εκκεντρότητα της τροχιάς του, να αυξάνεται συνεχώς και τελικά η τροχιά να γίνεται ιδιαίτερα ελλειπτική. Μία «κοντινή προσέγγιση» του αστεροειδούς στον Άρη ή τη Γη θα προκαλέσει εκτροπή της τροχιάς του, «μετατρέποντάς» τον σε NEA, αφού πλέον θα κινείται εκτός της κύριας ζώνης.

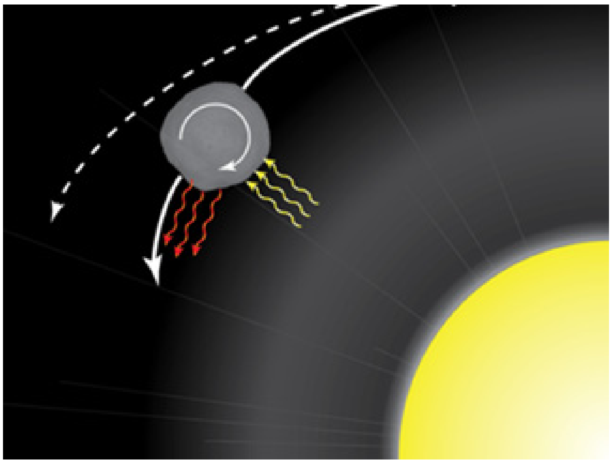
Ο κύριος μηχανισμός, λό-



Σχήμα 1: Κύρια ζώνη αστεροειδών και ζώνη Edgeworth-Kuiper στο Ηλιακό Σύστημα (Universe Today).



Σχήμα 2: Διάκενα Kirkwood στην κύρια ζώνη αστεροειδών και οι συντονισμοί με τον Δία (Lunar and Planetary Institute).



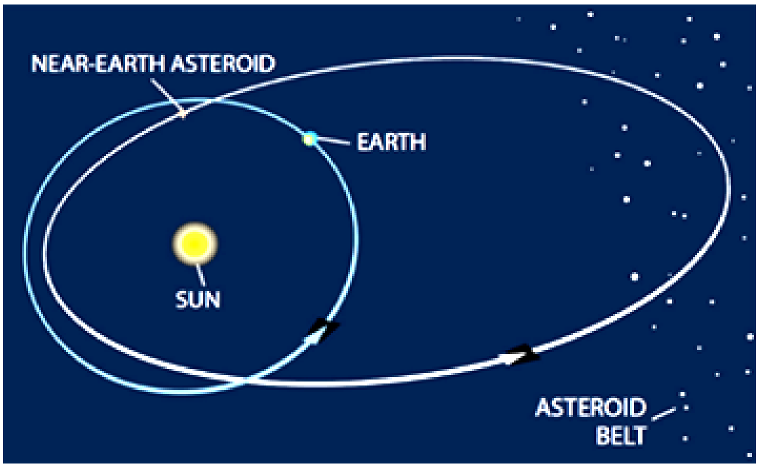
Σχήμα 4: Φαινόμενο Yarkovsky για παραγήινους αστεροειδείς (www.dslauretta.com)

γω του οποίου υπάρχει διαρκής ανανέωση του αριθμού των NEAs, φαίνεται να είναι το φαινόμενο Yarkovsky (Σχ 4). Η δύναμη που οφείλεται στο φαινόμενο Yarkovsky είναι η κύρια μη συντηρητική διαταραχή που ασκείται στους αστεροειδείς και ουσιαστικά εμφανίζεται λόγω της διαφοράς κατεύθυνσης της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας, λόγω της (αργής) ιδιοπεριστροφής του αστεροειδούς και της πεπερασμένης θερμικής αγωγιμότητας των σωμάτων. Η εφαπτομενική συνιστώσα της μεταβολής της ορμής προκαλεί μεταβολές στον μεγάλο ημιάξονα της τροχιάς του αστεροειδούς. Κατά μέσο όρο, ο ρυθμός μεταβολής του μεγάλου ημιάξονα είναι:

$$\dot{\alpha} = \frac{2.7 \times 10^{-4}}{D(km)} (AU / Myrs)$$

Ενδεικτικά, ένας αστεροειδής με D = 1 km θα μπορούσε να διανύσει απόσταση ~1.2 AU κατά τη διάρκεια ζωής του Ηλιακού μας Συστήματος (4.6 Gyrs).

Για τον εντοπισμό των αστεροειδών λαμβάνονται φωτογραφίες κάποιου τμήματος του ουρανού για δύο διαδοχικές νύχτες ή με λίγα λεπτά διαφορά (λόγω κίνησης ο αστεροειδής δεν βρίσκεται στην ίδια θέση).

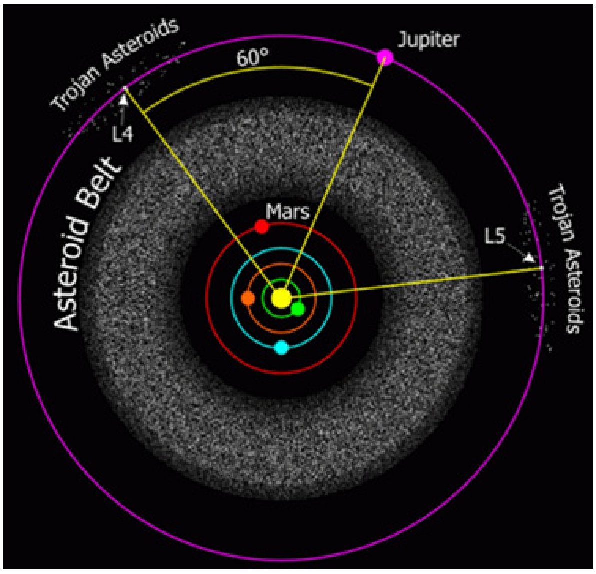


Σχήμα 3: Τροχιές παραγήινων αστεροειδών στο Ηλιακό Σύστημα (Scientific American) .

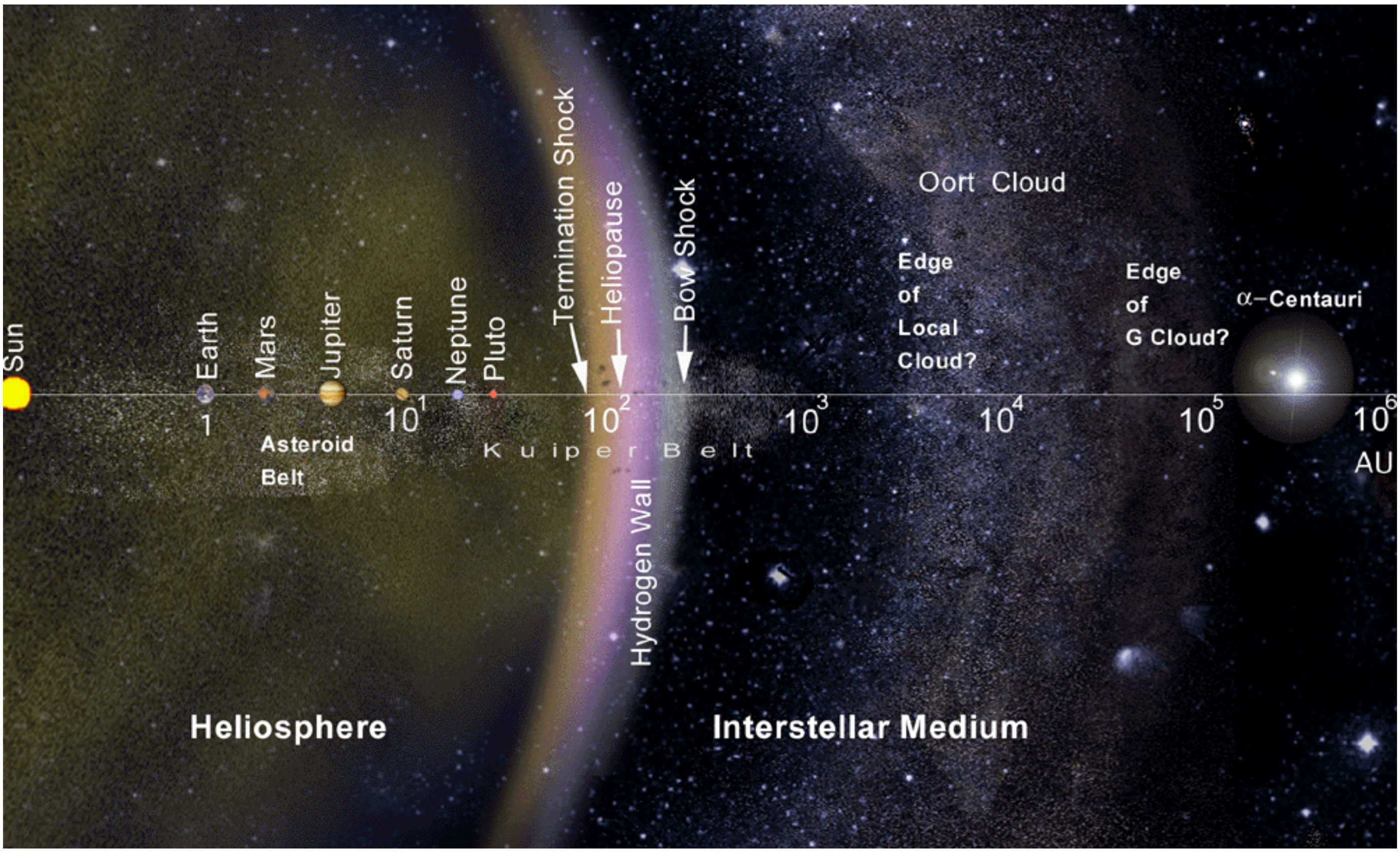
Οι Τρωικοί αστεροειδείς είναι ομάδες αστεροειδών που βρίσκονται στα σημεία ισορροπίας Lagrange L4 και L5 (Σχ. 5). Οι Τρωικοί αστεροειδείς, μαζί με τον Ήλιο και τον Δία, σχηματίζουν ισόπλευρα τρίγωνα. Οι Τρωικοί αστεροειδείς σχηματίζουν ισόπλευρα τρίγωνα, με τους «Έλληνες» εμπρός και τους «Τρώες» πίσω από τον κινούμενο αριστερόστροφα ως προς τον Ήλιο Δία, αντίστοιχα.

Μετεωροειδή, μετέωρα και μετεωρίτες

Τα μετεωροειδή (Σχ. 6) προέρχονται από θραύσματα αστεροειδών και κομητών (ζώνη αστεροειδών, ζώνη Kuiper και νέφος Oort) κατά 99.8%, τη Σελήνη και τον Άρη με ποσοστό 0.2% και από μικροσκοπικά σωματίδια



Σχήμα 5: Τρωικοί αστεροειδείς και σημεία Lagrange (www.profharwood.x10host.com).



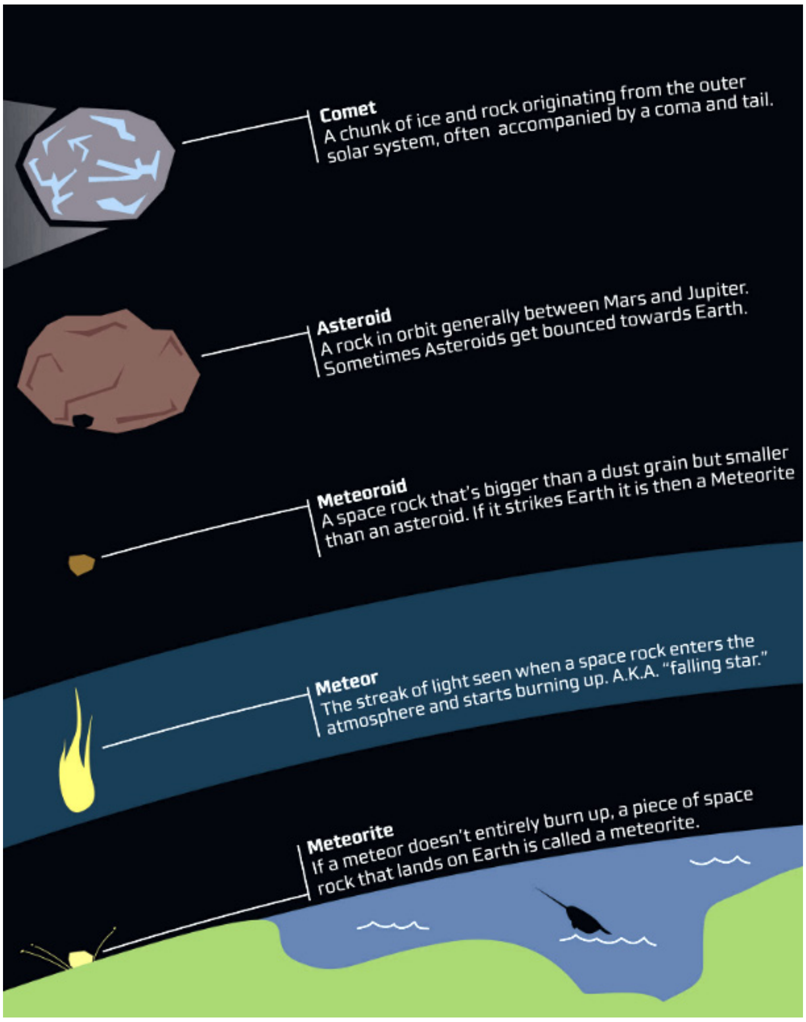
Σχήμα 6: Το Ηλιακό Σύστημα (en.wikipedia.org/wiki/Solar_System)

που γεμίζουν τον διαπλανητικό χώρο.

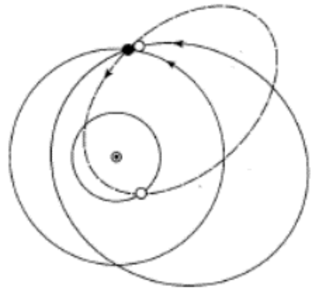
Ανάλογα με το μέρος που εντοπίζονται αυτά τα θραύσματα - διάστημα, ατμόσφαιρα Γης, επιφάνεια Γης - χαρακτηρίζονται αντίστοιχα σαν μετεωροειδή, μετέωρα και μετεωρίτες (Σχ. 7).

• **Μετεωροειδές** (meteoroid) είναι ένα μικρό βραχώδες ή σιδερένιο κομμάτι ύλης που ταξιδεύει στο διάστημα. Μέσα στην ατμόσφαιρα, το μετεωροειδές ταξιδεύει με ταχύτητα υ>11 km/sec (ταχύτητα διαφυγής), θερμαίνεται από την τριβή και η επιφάνειά του τήκεται και εξατμίζεται.

• **Μετέωρο** (meteor) είναι ένα μετεωροειδές που λόγω της υψηλής του θερμοκρασίας φωτοβολεί στο πέρασμά του από την ατμόσφαιρα της Γης. Ο περιβάλλων αέρας θερμαίνεται και δημιουργείται μια φωτεινή περιοχή (μετέωρο), που ξεπερνά κατά πολύ τις διαστάσεις του μετεωροειδούς. Το μετέωρο εμφανίζεται σε ύψη από 100 km ή υψηλότερα έως 80 km, ή σπανίως έως και 50 km, και διαρκεί από ένα κλάσμα του δευτερολέπτου ως μερικά δευτερόλεπτα, ακόμα και μετά την πυράκτωση του μετεωροειδούς. Δημοφιλή συνώνυμα τους είναι τα πεφταστέρια ή shooting stars ή falling stars.



Σχήμα 7: Κομήτες, αστεροειδείς, μετεωροειδή, μετέωρα και μετεωρίτες (narwhalcreative.com/name-that-space-rock)



Σχήμα 8: Οι μετεωρίτες είναι θραύσματα αστεροειδών που εισέρχονται σε τροχιές τέμνουσες της γήινης τροχιάς λόγω αλληλεπίδρασης συντονισμού με τον Δία σε διάστημα 10^4 έως 10^5 ετών. (Shu F. H., Αστροφυσική Τόμος ΙΙ: Γαλαξίες – Ηλιακό Σύστημα)

Σχήμα 9: Ο λιθομετεωρίτης EETA79001 από τον Άρη που έπεσε στην Ανταρκτική την περίοδο 1979-80 (NASA)

• **Μετεωρίτης** (meteorite) είναι το κομμάτι της ύλης που έχει πέσει στην επιφάνεια της Γης από το διάστημα (Σχ. 8). Η ύλη του είναι αρκετή ώστε ένα τμήμα του να επιβιώσει της καύσης. Αν επιβραδυνθεί αρκετά, δε φτάνει στην επιφάνεια της Γης (μικρομετεωρίτης). Οι μετεωρίτες έχουν διάμετρο από μερικά cm μέχρι μερικές δεκάδες m και μάζα > 103 g (Σχ. 9). Οι μικρομετεωρίτες ή σωματίδια διαπλανητικής σκόνης έχουν διάμετρο από μερικές εκατοντάδες μm μέχρι 10 μm και μάζα < 10 έως 10 g.

Οι κατηγορίες των μετεωριτών, με βάση τις αναλογίες των μετάλλων που σχηματίζουν πετρώματα και του μεταλλικού κράματος νικελίου-σιδήρου που περιέχουν, είναι:
• Λιθομετεωρίτες ή μετεωρόλιθοι (stony meteorites) ~94%,
• Σιδηρομετεωρίτες (iron meteorites) ~5%
• Λιθοσιδηρομετεωρίτες ή λιθοσιδηρίτες (stony iron meteorites) ~1%.

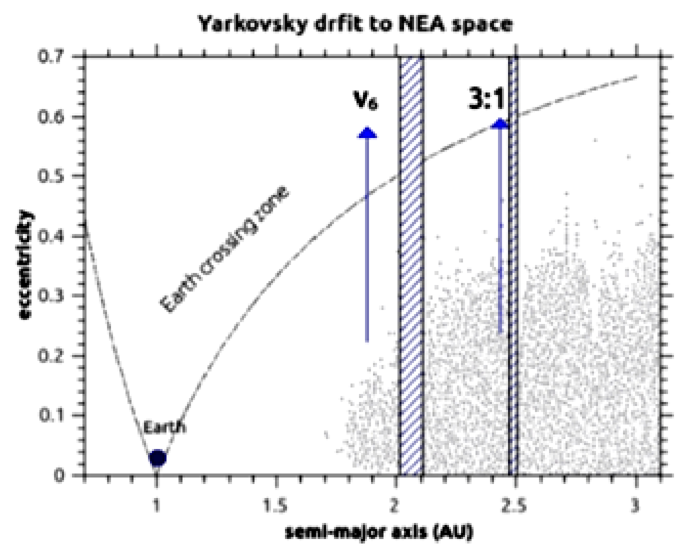
Ποια είναι η σχέση μεταξύ αστεροειδών και μετεωριτών;

Οι μετεωρίτες της κύριας ζώνης αστεροειδών χαρακτηρίζονται από σύσταση όμοια με των αστεροειδών (Σχ. 10). Υπάρχουν δύο γενικές ομάδες αστεροειδών, η τάξη S και η τάξη C. Οι αστεροειδείς τάξης S και οι συνηθισμένοι χονδρίτες (κατηγορία λιθομετεωριτών) αποτελούνται από τα ίδια ορυκτά, ενώ οι ανθρακούχοι χονδρίτες (κατηγορίες μετεωριτών) πιθανόν προέρχονται από αστεροειδείς τάξης C.

Κατά τη βροχή μετεώρων, ο αριθμός των μετεώρων αυξάνεται δραματικά στον νυχτερινό ουρανό, καθώς η Γη περνά μέσα από το ίχνος σκονισμένων θραυσμάτων που ελευθερώνονται από έναν κομήτη. Οι βροχές μετεώρων συμβαίνουν ετησίως ή σε τακτά χρονικά διαστήματα και συνήθως ονοματίζονται από ένα αστέρι ή έναν αστερισμό που βρίσκεται κοντά στον τόπο όπου εμφανίζονται στον ουρανό (Σχ. 11).

Πού εντοπίζονται συνήθως οι μετεωρίτες;

Σε περιοχές που οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ιδιαίτερα έντονες, επομένως δεν προκαλούνται φθορές στους μετεωρίτες με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή ερημικά περιβάλλοντα με χαμηλή βροχόπτωση, όπως η Σαχάρα στη Βόρεια Αφρική και η πεδιάδα Nullarbor στην Αυστραλία, ή στην



Σχήμα 10: Διάγραμμα μεταβολής εκκεντρότητας συναρτήσει του μεγάλου ημιάξονα μετεωριτών για φαινόμενο Yarkovsky. (Βάρβογλης Χ. και Τσιγάνης Κ., Πλανητικά Συστήματα)

Σχήμα 11: Περσείδες πάνω από τη νήσο Καουάι της Χαβάης το 2010 (αστροφωτογραφία Jeff Berkes)

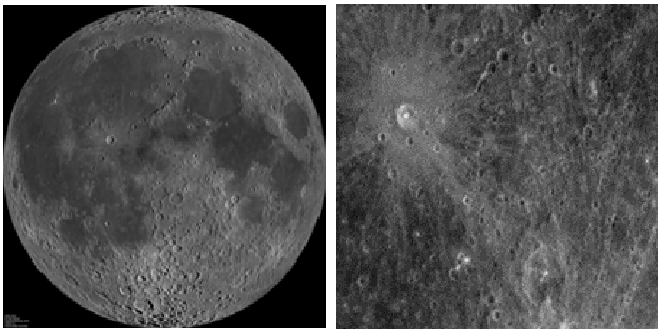
Σχήμα 12: Μετεωρίτες στην Έρημο της Σαουδικής Α-ραβίας (αριστερά) και στην Ανταρκτική (δεξιά) (Wikipedia, Antarctic Search for Meteorites Program/ Katherin).

Ανταρκτική (Σχ. 12), όπου θάβονται και αποθηκεύονται για 20000-30000 yrs, μερικοί μπορεί για 10^6 yrs ή και περισσότερο. Δεν μπορεί να προβλεφθεί πότε θα πέσουν και πού θα βρεθούν.

Αν και ο βομβαρδισμός των γήινων πλανητών από μετεωρίτες ήταν σφοδρός αρχικά, μειώθηκε δραστικά πριν από ~4.6 Gyrs από βαρυτικές διαταραχές μεγαλύτερων πλανητών, γεγονός που μαρτυρούν οι κρατήρες του Ερμή και της Σελήνης (Σχ. 13) πολύ πιο αδρά από της Αφροδίτης, της Γης και του Άρη, καθώς δεν υπέστησαν γεωλογικές μεταβολές και διαβρώσεις από τον άνεμο.

Πάνω στη Γη υπάρχουν 190 κρατήρες. Ένας από τους πιο ακέραιους κρατήρες κρούσεων είναι ο κρατήρας Barringer Meteor Crater (Σχ. 14) στην Αριζόνα (~1 km), που σχηματίστηκε από την πρόσκρουση ενός τεμαχίου μεταλλικού σιδήρου-νικελίου διαμέτρου ~50 m. Είναι μόλις 50000 yrs και τόσο καλά διατηρημένος, ώστε έχει χρησιμοποιηθεί στη μελέτη των διαδικασιών πρόσκρουσης.

Κάθε χρόνο περίπου 10 μεγάλες εκρήξεις συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και περισσότεροι από 50000 μετεωρίτες έχουν βρεθεί στη Γη. Ο μεγαλύτερος μετεωρίτης βρέθηκε το 1920 στη Ναμίμπια και



Σχήμα 13: Μετεωρικοί κρατήρες στη Σελήνη (αριστερά) (Arizona State University) και τον Ερμή (δεξιά) (NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington)

ονομάστηκε μετεωρίτης του Hoba (2.7 m, 60 τόνοι, κράμα σιδήρου και νικελίου).

Πηγές

[1] Βάρβογλης Χ. και Σειραδάκης Ι., Εισαγωγή στη Σύγχρονη Αστρονομία (Εκδόσεις Γαρταγάνης, Θεσσαλονίκη, 2010)
[2] Βάρβογλης Χ. και Τσιγάνης Κ., Πλανητικά Συστήματα (Εκδόσεις Κάλλιπος, Θεσσαλονίκη, 2015)
[3] Shu F.H., Αστροφυσική Τόμος ΙΙ : Γαλαξίες - Ηλιακό Σύστημα (ΙΤΕ - Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 2009)
[4] www.britannica.com
[5] el.wikipedia.org/wiki/Αστεροειδής
[6] en.wikipedia.org/wiki/Asteroid
[7] www.space.com/17440-meteoroids-mars-venus-atmospheres.html
[8] astroedu.iau.org/en/activities/1638/meteoroids-meteors-and-meteorites/
[9] solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/meteors-and-meteorites/in-depth/
[10] www.nationalgeographic.org/encyclopedia/meteoroid

Σχήμα 14: Ο κρατήρας Barringer Meteorite στην Αριζόνα (ESA).

πολυμηνυματική αστρονομία:
το γεγονός GW170817

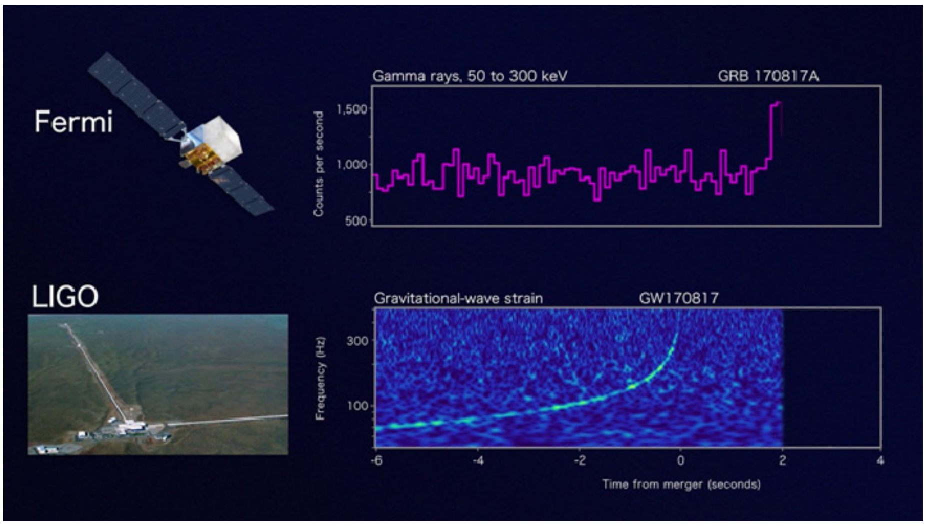
Παναγιώτης Γ. Σταύρος
Φοιτητής
Τμήματος Φυσικής

Στις 17 Αυγούστου 2017 οι ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων LIGO στις Η.Π.Α. και VIRGO στην Ευρώπη έλαβαν ένα σήμα, το οποίο έμελλε να είναι και το πέμπτο επιβεβαιωμένο γεγονός βαρυτικών κυμάτων. Όμως αυτό το γεγονός είχε κάτι διαφορετικό σε σχέση με τα προηγούμενα. Αλλά ας τα πάρουμε όλα με χρονική σειρά.

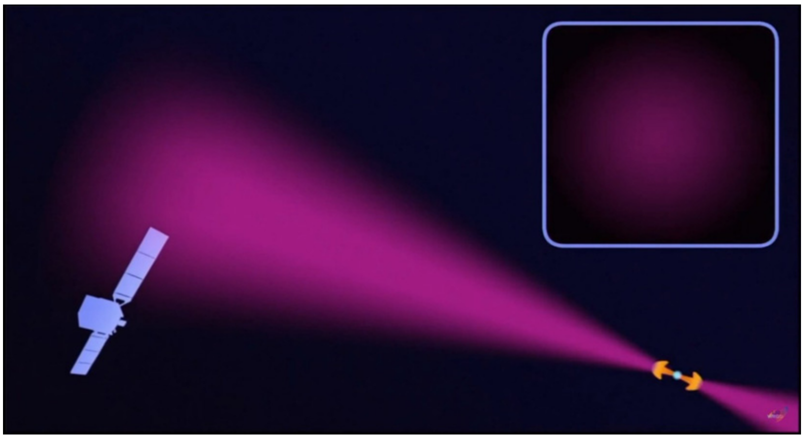
Τη χρονική περίοδο 1973-74 οι ραδιοαστρονόμοι Joseph Hooton Taylor Jr. και Russel Alan Hulse ανακάλυψαν τον πρώτο pulsar σε ένα διπλό σύστημα αστέρων νετρονίων (δυο αστέρες νετρονίων, εκ των οποίων ο ένας είναι pulsar, που κινούνται ο ένας γύρω από τον άλλον). Να σημειωθεί εδώ ότι είχαν περάσει ήδη επτά χρόνια από την εργασία της Jocelyn Bell για την παρατήρηση των pulsars (ταχέως περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων με ισχυρό μαγνητικό πεδίο). Οι δυο φυσικοί, λοιπόν, παρατηρώντας την τροχιά των δυο σωμάτων παρατήρησαν την αναγκαστική εκπομπή ενέργειας με την μορφή βαρυτικών κυμάτων, όπως αναφέρει η Θεωρία Γενικής Σχετικότητας του Einstein. Αν και δεν έγινε κάποια ανίχνευση πέραν της παρατήρησης στο ορατό, είναι από τις πιο σημαντικές στιγμές για την Πολυμηνυματική Αστρονομία (θα αναφέρεται από εδώ και πέρα ως Π.Α.) διότι είναι η στιγμή που παρατηρούμε έμμεσα την ύπαρξη βαρυτικών κυμάτων με την επιτακτική ανάγκη για την άμεση παρατήρηση να χτυπάει την πόρτα της κοινότητας. Οι Taylor και Hulse μοιράστηκαν το βραβείο Nobel το 1993 «για την ανακάλυψη ενός καινούργιου τύπου pulsar, μια ανακάλυψη που έχει ανοίξει καινούργιες πιθανότητες για την μελέτη της βαρύτητας», ενώ η μεγαλύτερη επίπτωση της εργασίας ήταν πως από εκείνη τη στιγμή και μετά οι ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων αρχίζουν να είναι βασικός στόχος των επιστημόνων.

Το ταξίδι συνεχίζει στο 1987, όταν τους πρώτους μήνες του χρόνου οι κάτοικοι του Νοτίου Ημισφαιρίου είχαν την τύχη να δουν με γυμνό μάτι στον ουρανό μια ασυνήθιστη λάμψη. Η λάμψη αυτή δεν ήταν κάτι άλλο παρά ο γνωστός σε εμάς Υπερκαινοφανής SN1987A. Πλην της αλλαγής στο φαινόμενο μέγεθος, δηλαδή το βλέπουμε πιο φωτεινό στον νυχτερινό ουρανό, οι ανιχνευτές παρατήρησαν ότι το συγκεκριμένο γεγονός αποτελούσε και ραδιενεργό πηγή ακτινοβολίας γ. Πριν όμως από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, οι ανιχνευτές νετρίνο παρατήρησαν πλήθος γεγονότων χωρίς αυτό να έχει συμβεί ξανά. Όλα τα γεγονότα δεν ήταν τυχαία αλλά προήλθαν από το μοναδικό γεγονός μιας έκρηξης Supernova, περίπου 168.000 έτη φωτός μακριά από τον πλανήτη μας, ενώ η παρατήρηση του γεγονότος έγινε σε διάφορα φάσματα χωρίς να εννοούμε αναγκαστικά το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Η εποχή της Π.Α. έχει ξεκινήσει.

Ας προχωρήσουμε στο χρόνο και ας έρθουμε στο καλοκαίρι του 2017. Η δουλειά των Taylor και Hulse έχει ήδη αποδώσει καρπούς. Ο Υπερκαινοφανής SN1987A μας έχει δείξει ότι η ταυτόχρονη παρατήρηση είναι δυνατή και οι ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων έχουν δώσει ήδη 4 επιβεβαιωμένα γεγονότα που παραπέμπουν μονάχα σε μελανές οπές. Ένα νέο σήμα που αντιστοιχεί όμως σε μικρότερες μάζες, δηλαδή σε συγχώνευση αστέρων νετρονίων, παρατηρείται από τα LIGO και VIRGO (αρχικά στο VIRGO και 22 χιλιοστά του δευτερολέπτου αργότερα στο LIGO). Οι αστέρες νετρονίων είναι τα πιο πυκνά αντικείμενα στο σύμπαν, ενώ αποτελούν την κρίσιμη κατάσταση μεταξύ ύπαρξης και κατάρρευσης, λόγω βαρύτητας. Η ανάλυση έδειξε ότι πρόκειται για δυο αστέρες νετρονίων μάζας περίπου στις 1,6 και 1,1 Ηλιακές μάζες, αντίστοιχα, σε απόσταση περί των 130 εκατομμυρίων ετών φωτός.

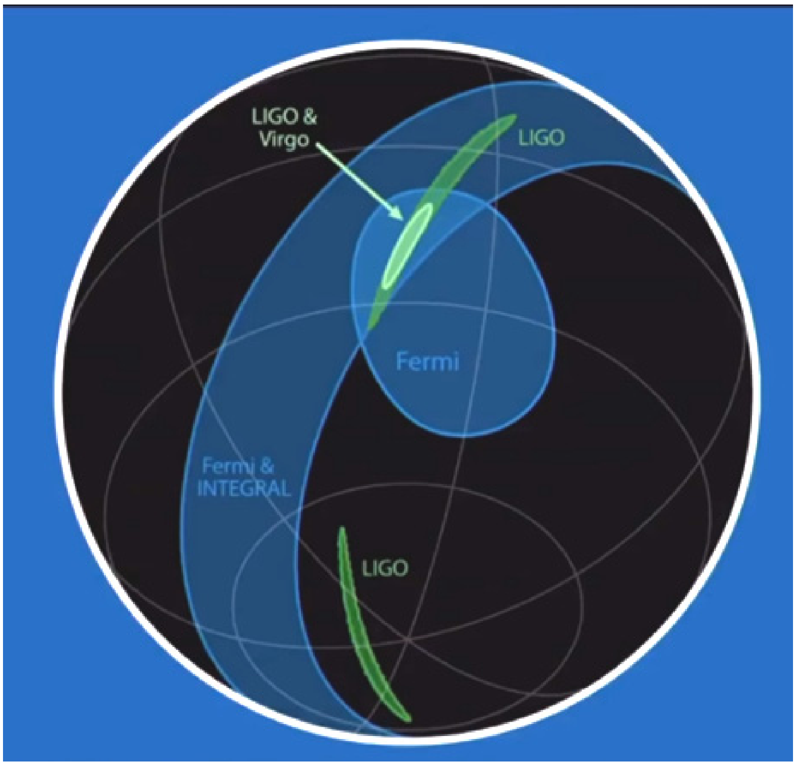


Σχήμα 1: Καταγραφή των Fermi και LIGO σε κοινό διάγραμμα στο χρόνο. Παρατηρούμε ότι οι ακτίνες-γ έφτασαν αργότερα [1].



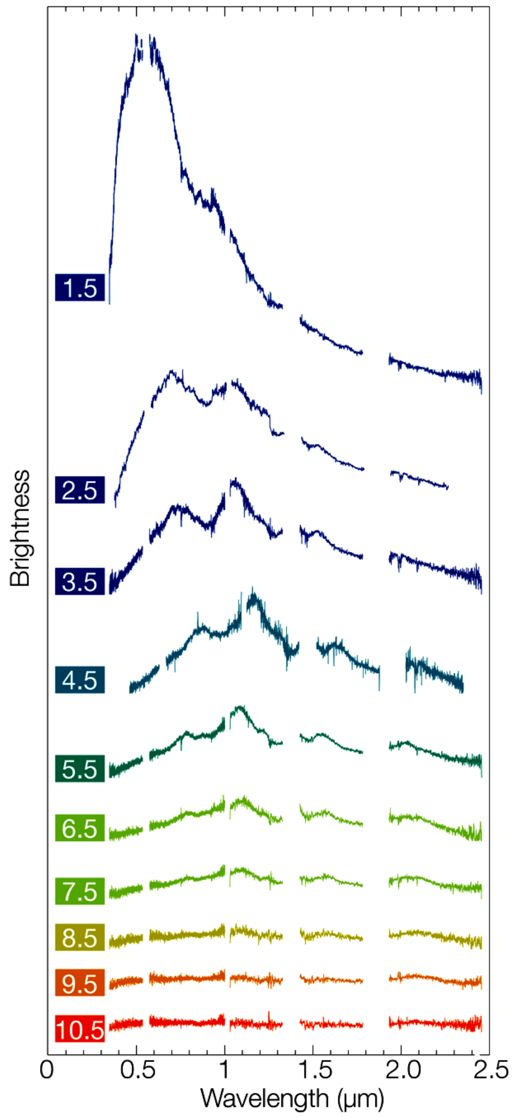
Σχήμα 2: Το σήμα ακτίνων γ ήταν ισχνό λόγω της θέσης μας συγκριτικά με τα jets.

Ταυτόχρονα, (συγκεκριμένα 1,7 δευτερόλεπτα μετά) η ανίχνευση σύντομης αναλαμπής (GRB 170817A) σε ακτινοβολία γ από το Τηλεσκόπιο Fermi (Σχ.1) αλλά και από το INTEGRAL, προερχόμενη από την ίδια περιοχή του ουρανού σηματοδοτεί την ύπαρξη ενός ενδιαφέροντος γεγονότος και για αυτό τον λόγο αστρονόμοι από όλον τον κόσμο κατευθύνουν τις διατάξεις παρατήρησης στο συγκεκριμένο χώρο της ουράνιας σφαίρας. Όπως θα δείξει η μετέπειτα ανάλυση η καταγραφή στις ακτίνες-γ ήταν σχετικά ασθενής και αυτό οφείλεται στο ότι οι πίδακες με τους οποίους αποβάλλεται η ακτινοβολία δεν ήταν στην ορθή διεύθυνση για ανίχνευση στην Γη αλλά υπό-γωνία (Σχ. 2). Να κάνουμε εδώ μια παρένθεση για να αναφέρουμε την σημασία ύπαρξης πλέον του ενός ανιχνευτή βαρυτικών κυμάτων, αφού οι ήδη υπάρχοντες είναι τρείς και με αυτό τον τρόπο μπορούμε να περιορίσουμε την περιοχή ενδιαφέροντος, ενώ η δυνατότητα παρατήρησης της ακτινοβολίας γ μείωσε ακόμα περισσότερο το εύρος περιοχής για την παρατήρηση στο ορατό (Σχ. 3). Λίγο λιγότερο από 11 ώρες μετά το βαρυτικό συμβάν και με την προσπάθεια των ερευνητικών ομάδων να είναι αυξημένη, μια πραγματικά πρωτοφανής ομαδική προσπάθεια για παρατήρηση, το παρατηρητήριο του Las Campanas στην Ατακάμα της Χιλής παρατηρεί και ανακοινώνει την εύρεση του γεγονότος (SSS17a) στο ορατό και το κοντινό υπέρθυρο, όπου το χρώμα με την πάροδο του χρόνου πηγαίνει από το μπλε στο κόκκινο δείχνοντας την πτώση της θερμοκρασίας.

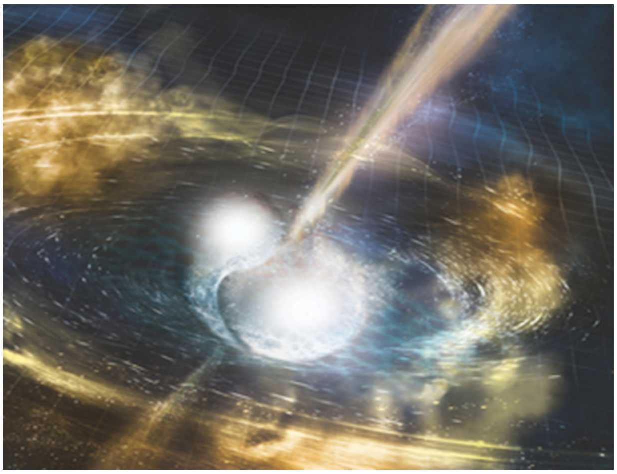


Σχήμα 3: Περιορισμός στην ουράνια σφαίρα από τον κάθε ανιχνευτή για να υποδείξει στους αστρονόμους την περιοχή που θα πρέπει να παρατηρήσουν το γεγονός [1,2].

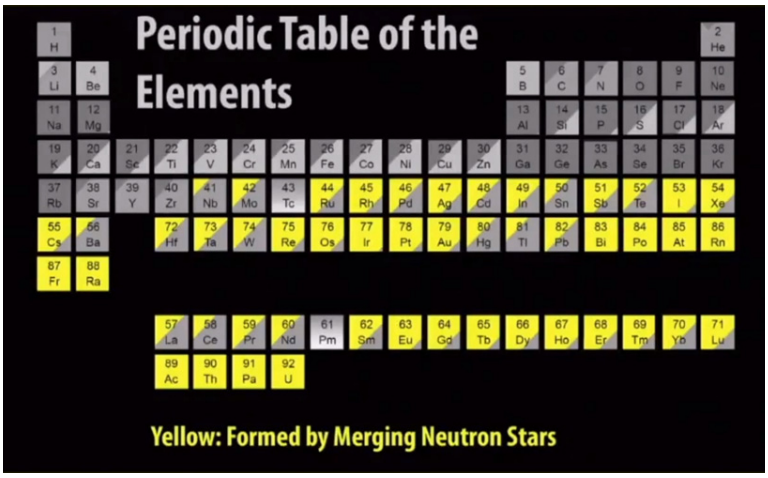
Ύστερα από 4 ώρες, το σήμα από το ορατό έφτασε στο υπεριώδες με ανακοινωθέν από το Παρατηρητήριο Neil Gehrels, ενώ για μεγάλο χρονικό διάστημα το γεγονός υπολείπονταν εκπομπής στις ακτίνες Χ και τα ραδιοκύματα. Αρκετές μέρες μετά αποδείχθηκε πως υπήρχαν εκπομπές. Καλύπτοντας μεγαλύτερη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το Παρατηρητήριο Chandra ανακοινώνει εννιά μέρες αργότερα την ύπαρξη ακτίνων Χ και το Karl G. Jansky Very Large Array (VLA) στο Νέο Μεξικό την καταγρα-



Σχήμα 4: Πτώση της λαμπρότητας με το χρόνο (σε ημέρες). Από την τρίτη ημέρα και μετά έχουμε φάσμα των βαρέων στοιχείων [4].



Σχήμα 5: Καλλιτεχνική απεικόνιση της συγχώνευσης δυο αστέρων νετρονίων [1,2].



Σχήμα 6: Σχηματισμός βαρέων στοιχείων στην διάρκεια μιας Kilonova.

φή ραδιοκυμάτων (6 μέρες μετά το Chandra). Η φασματική ανάλυση του γεγονότος (Σχ. 4) δήλωσε την παρουσία λευκόχρυσου και χρυσού, ενώ νετρίνο δεν ανιχνεύτηκαν με βασική αιτία την ίδια για την οποία το σήμα σε ακτινοβολία γ ήταν ασθενές δηλαδή την βασική παρουσία τους στους πίδακες, ενώ γενικά γνωρίζουμε ότι η παρατήρηση νετρίνο είναι μια διαδικασία που απαιτεί πολύ υπομονή, αφού παρατηρούνται σε πολύ μικρές κλίμακες.

Μερικά συμπεράσματα μετά την ανάλυση που έγινε είναι τα εξής: Αρχικά να αναφέρουμε ότι το συγκεκριμένο γεγονός είναι πολύ σημαντικό λόγω της μοναδικότητας του, οπότε τα βασικά συμπεράσματα είναι απολύτως ορθά χωρίς να είμαστε σίγουροι για ορισμένες λεπτομέρειες. Πρώτο και βασικό είναι ότι παρέχει ποσοτικά με μικρότερο σφάλμα από τα υπάρχοντα δεδομένα, τη μικρή διαφορά μεταξύ της ταχύτητας διάδοσης του φωτός και της ταχύτητας διάδοσης των βαρυτικών κυμάτων που είναι, όπως είχε προβλεφθεί πολύ σωστά από τον Einstein, η ταχύτητα του φωτός. Επίσης ενισχύει την υπάρχουσα θεωρία πως οι σύντομες αναλαμπές ακτινών-γ που παρατηρούνται προέρχονται από Kilonova, δηλαδή την συγχώνευση ενός αστέρα νετρονίων με έναν αστέρα νετρονίων (Σχ. 5) ή με μια μελανή οπή. Τέλος, αποτελεί βασικό στοιχείο ότι η θεωρία κατά την οποία στοιχεία βαρύτερα από το σίδηρο (Σχ. 6) προέρχονται σε μεγάλα ποσοστά από μια Kilonova μέσω πυρηνικής διαδικασίας, διαδικασία γνωστή και ως r-process, είναι ορθή. Βλέπουμε πως μόνο από ένα γεγονός επιβεβαιώθηκαν αρκετές θεωρήσεις που μέχρι εκείνη τη στιγμή παρέμεναν θεωρίες. Είναι θεμελιώδες να αντιληφθούμε τη σημασία της Π.Α. για το μέλλον της επιστήμης μας σε γεγονότα πέραν της συγχώνευσης αστέρων, αφού αποτελούν έναν μοναδικό τρόπο διασύνδεσης διαφορετικών κλάδων και ερευνητικών δραστηριοτήτων, παρατηρώντας σε διαφορετικά μήκη κύματος. Για ένα και μοναδικό γεγονός είχαμε την συνεργασία 70 παρατηρητηρίων (Σχ.7) όπου τα 7 είναι διαστημικά όπως τα Fermi και Chandra που έπαιξαν πρωταγωνιστικό ρόλο, ενώ είχαμε μια πολύ μεγάλη ομάδα επιστημόνων και στις πέντε ηπείρους να συνεργάζονται για το τελικό αποτέλεσμα. Το πιο σημαντικό είναι βέβαια να αντιληφθούμε την ομορφιά και την απλότητα της Φύσης που ξεπερνάει κάθε ανθρώπινο επίτευγμα. Η Φύση είναι το καλύτερο εργαστήριο που διαθέτουμε. Κλείνοντας, ας παραθέσουμε τα λόγια ενός από τους επιστημονικούς εκπροσώπους του LIGO ύστερα από την επιβεβαίωση του GW170817, ενός ανθρώπου που πέρασε από τα ίδια έδρανα με εμάς, της Δρ. Βίκυ Καλογερά: "The future is bright and I might say golden bright".

Σχήμα 7: Οι τοποθεσίες των συνεργαζόμενων ανιχνευτών [1].

Πηγές:
[1] www.ligo.caltech.edu/page/press-release-gw170817
[2] www.ligo.org/science/Publication-GW170817MMA/index.php
[3] jupiter.chem.uoa.gr/thanost/papers/papers4/kilonova.html
[4] www.wikiwand.com/en/GW170817

Νικόλαος Χατζαράκης
Απόφοιτος
Τμήματος Φυσικής

το μακρύ ταξίδι του πληθωριστικού υποδείγματος...

...και μια πιθανή κατάληξή του

Η Δομή και η Εξέλιξη του Σύμπαντος

Η επίσημη εκδοχή μας για την περιγραφή του σύμπαντος σε μεγάλη κλίμακα είναι το καλούμενο «πρότυπο κοσμολογικό υπόδειγμα» (standard cosmological model), πιο γνωστό ως Υπόδειγμα FLRW Λ-CDM, δηλαδή υπόδειγμα Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker με κοσμολογική σταθερά Λ και ψυχρή σκοτεινή ύλη. Το υπόδειγμα αυτό συμπυκνώνεται σε τέσσερις απλές εξισώσεις, τις εξισώσεις Friedman:

$$H^2=\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)=\frac{1}{3}\kappa\rho(t)-\frac{K}{a^2}+\frac{1}{3}\Lambda \qquad (1.\alpha)$$

και

$$\dot{H}=\frac{\ddot{a}}{a}-\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2=-\frac{1}{2}\kappa\left[\rho(t)-P(t)\right]+\frac{K}{a^2} \qquad (1.\beta)$$

που σχετίζουν την παράμετρο Hubble $H=\dot{a}/a$ ή το συντελεστή κλίμακας $a=a(t)$, με την πυκνότητα $\rho=\rho(t)$ και την πίεση $P=P(t)$ της ύλης και της ακτινοβολίας του σύμπαντος, την καμπυλότητα K του τρισδιάστατου χώρου[1] και την κοσμολογική σταθερά Λ· την εξίσωση συνέχειας:

$$\dot{\rho}=-3\frac{\dot{a}}{a}(\rho+P) \qquad (2)$$

που αναπαριστά το Νόμο Διατήρησης της Ενέργειας και την καταστατική εξίσωση:

$$P=P(\rho)$$

που καθορίζει τη σχέση μεταξύ πίεσης και πυκνότητας για κάθε διαφορετικό τύπο κοσμικού ρευστού (σκόνη, ακτινοβολία, δύσκαμπτη ύλη, πληθωριστική ύλη, κ.ο.κ.). Στην περίπτωση των συνήθων κοσμικών ρευστών, η καταστατική εξίσωση γράφεται ως γραμμική:

$$P=w\rho \qquad (3)$$

[1] Η παράμετρος K παίρνει τιμές 0, 1 ή -1 για επίπεδο τρισδιάστατο χώρο (επίπεδο σύμπαν), για ένα σφαιρικά καμπυλωμένο τρισδιάστατο χώρο (κλειστό σύμπαν) ή για ένα υπερβολικό τρισδιάστατο χώρο (ανοικτό σύμπαν), αντίστοιχα.

όπου w ο βαροτροπικός δείκτης.[2]

Αν ξαναγράψουμε την εξίσωση (1.α) στη μορφή:

$$\Omega_{mass}+\Omega_K+\Omega_\Lambda=1 \qquad (4)$$

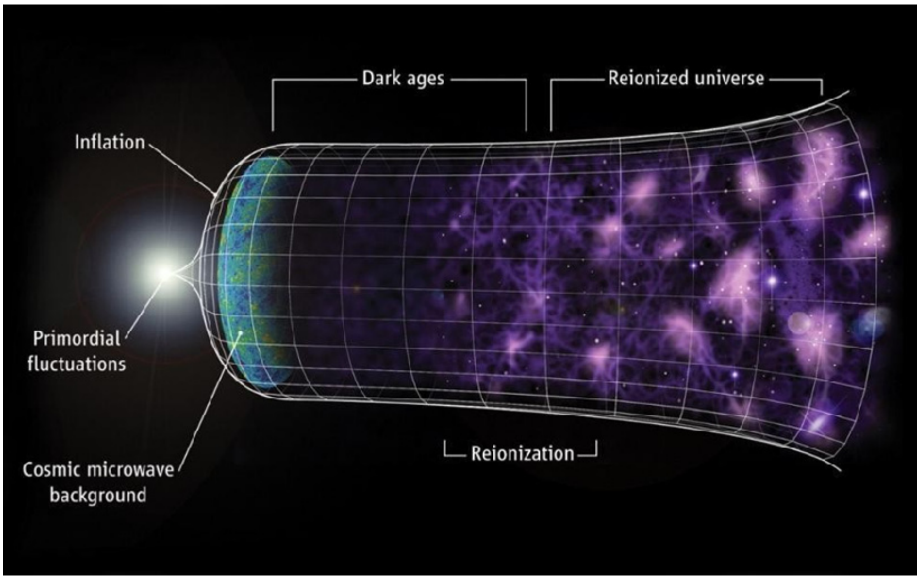
όπου $\Omega_{mass}=\kappa\rho/3H^2$, $\Omega_K=-K/a^2H^2$ και $\Omega_\Lambda=\Lambda/3H^2$ οι παράμετροι πυκνότητας, μπορούμε να δούμε από τα δεδομένα ότι $\Omega_{mass}=0{,}315\pm0{,}018$, $\Omega_K=9{,}24\ 10^{-5}\approx0$ και $\Omega_\Lambda=0{,}6817\pm0{,}0018$. Έτσι, η περίπτωση που επιβάλλεται είναι αυτή ενός χωρικά επίπεδου σύμπαντος με περίπου 4,9% τυπική βαρυονική ύλη (σχετικιστική και μη-σχετικιστική), 26,8% σκοτεινή ύλη και 69,2% σκοτεινή ενέργεια.[3] Στο υπόδειγμα που έχουμε μέχρι τώρα, οι περιπτώσεις αυτές έχουν ήδη συμπεριληφθεί ή μπορούν να συμπεριληφθούν. Η σκοτεινή ύλη - ιδιαίτερα η τυπική βαρυονική σκοτεινή ύλη - είναι ψυχρή και η πυκνότητα ενέργειας και η πίεσή της μπορούν να «αθροιστούν» με αυτές της φωτεινής ύλης. Η δε σκοτεινή ενέργεια μπορεί να περιγραφεί - με τις κατάλληλες ρυθμίσεις - από την κοσμολογική σταθερά. Τέλος, το γεγονός ότι το σύμπαν είναι επίπεδο επιβάλλει μηδενική καμπυλότητα ($K=0$).

Το υπόδειγμα Λ-CDM έχει να πει μία ενδιαφέρουσα ιστορία για την «προέλευση» και την εξέλιξη του σύμπαντος. Σύμφωνα με αυτήν, το σύμπαν «δημιουργήθηκε» από τη λεγόμενη Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang), μία κολοσσιαίων διαστάσεων αδιαβατική εκτόνωση του αρχικού πολύ μικρών διαστάσεων σύμπαντος, κατά την οποία δημιουργούνται ο χώρος και ο χρόνος των φυσικών θεωριών (Γενικής Σχετικότητας και Κβαντικής Μηχανικής). Στη συνέχεια, σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη, διαχωρίστηκαν οι τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις, με τη βαρυτική αλληλεπίδραση να απομο-

[2] Στην περίπτωση ισοτροπικής ακτινοβολίας, σκόνης και δύσκαμπτης ύλης η w λαμβάνει τιμές 1/3, 0 και 1, αντίστοιχα. Με την εισαγωγή των παραμέτρων αυτών επιλύουμε την εξίσωση συνέχειας και εν συνεχεία τις εξισώσεις Friedmann, συνάγοντας κάθε φορά τη συγκεκριμένη συμπεριφορά της χωρικής διαστολής του σύμπαντος.

[3] Η σκοτεινή ύλη είναι τυπική ή εξωτική ύλη που δεν αλληλεπιδρά ηλεκτρομαγνητικά, οπότε δεν εκπέμπει ακτινοβολία· η παρατήρησή της γίνεται έμμεσα από τις κινήσεις των γαλαξιών στα σμήνη και των αστέρων στους γαλαξίες. Η σκοτεινή ενέργεια είναι ένα άγνωστο συστατικό του σύμπαντος που έχει καταστατική εξίσωση αντίθετη της τυπικής ύλης (με βαροτροπικό δείκτη $w=-1$, άρα με αρνητική πίεση). Η υπόθεση για την ύπαρξή της στηρίζεται στην πρόσφατη ανακάλυψη για επιτάχυνση της διαστολής τους σύμπαντος.

νώνεται πρώτη, την ισχυρή πυρηνική να την ακολουθεί και τέλος την ασθενή πυρηνική και την ηλεκτρομαγνητική να διαχωρίζονται. Ακολουθεί μία κατάσταση έντονης διαστολής του σύμπαντος κατά την οποία αποκτά περίπου τις σημερινές του διαστάσεις, ενώ εικάζεται ότι οι κβαντικές διαταραχές του κενού μεγεθύνθηκαν στην περίοδο αυτή και έγιναν οι κοσμολογικές διαταραχές που ευθύνονται για την δημιουργία δομής στη συνέχεια. Τη φάση αυτήν την αποκαλούμε πληθωρισμό.[4] Με την πυκνότητα και τη θερμοκρασία του σύμπαντος να πέφτουν, ακολούθησε η σύνθεση των ελαφρών πυρήνων, η αποσύνδεση της ακτινοβολίας από την ύλη και η σύνδεση των «γυμνών» πυρήνων με τα ιονισμένα ηλεκτρόνια. Οι τρεις μεγάλες φάσεις της ζωής του σύμπαντος μετά τον πληθωρισμό φαίνεται, με βάση τις παρατηρήσεις, να είναι η εποχή της ακτινοβολίας (10^{-34} s, οπότε τελειώνει ο πληθωρισμός, έως 10^4 yrs, οπότε ισοδυναμούν η ύλη και η ακτινοβολία), στην οποία κυριαρχεί η σχετικιστική ύλη και έχουμε $\rho \sim \alpha^{-4}$ και $\alpha \sim t^{1/2}$, η εποχή της σκόνης (10^4 yrs έως σήμερα), στην οποία κυριαρχεί η μη σχετικιστική και βαρυονική ύλη και έχουμε $\rho \sim \alpha^{-3}$ και $\alpha \sim t^{2/3}$, και τέλος η εποχή της επιταχυνόμενης διαστολής, που ξεκίνησε πρόσφατα και στην οποία φαίνεται να κυριαρχεί η σκοτεινή ενέργεια ή κάποιο άγνωστο πεδίο που παρίσταται από την κοσμολογική σταθερά.



Ο περίφημος "κώδωνας" που αναπαριστά την εξέλιξη του σύμπαντος στο χρόνο, από τη Μεγάλη Έκρηξη έως σήμερα. Ο χρόνος βρίσκεται στον οριζόντιο άξονα και αυξάνεται προς τα δεξιά. Κάθε περίοδος της ζωής του σύμπαντος αναγράφεται στο αντίστοιχο σημείο.

Το υπόδειγμα αυτό εξηγεί αρκετά καλά το παρατηρούμενο σύμπαν - στο βαθμό που όντως μπορούμε να παρατηρήσουμε με τα μέχρι τώρα διαθέσιμα μέσα. Ταυτόχρονα, είναι πηγή και ορισμένων προβλημάτων. Ακόμη και μετά την καλύτερη δυνατή προσαρμογή των παραμέτρων από τις παρατηρήσεις στη θεωρία, πολλά ζητήματα παραμένουν ανοιχτά στο υπόδειγμα:

(1) Το πρόβλημα της επιπεδότητας (flatness problem), που προκύπτει από την αποδοχή και την παρατηρησιακή επιβεβαίωση ενός οριακά επίπεδου σύμπαντος παρά το γεγονός ότι η σχετικιστική θεωρία που το περιγράφει αναφέρεται σε καμπυλωμένους χωροχρόνους.

(2) Το πρόβλημα του ορίζοντα, που προκύπτει από την αποδοχή ενός σύμπαντος σε θερμοδυναμική ισορροπία πριν την επανασύνδεση, ενώ ήταν αδύνατο ένα μέρος αυτού να αλληλεπιδράσει με ένα άλλο χωρίς εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που όμως την περίοδο εκείνη ήταν δεσμευμένη στην ύλη με μία σειρά αλλεπάλληλων φαινομένων Compton.

(3) Το πρόβλημα των μαγνητικών μονοπόλων, που έχουν προβλεφθεί από τη θεωρία αλλά δεν έχουν παρατηρηθεί.

(4) Το πρόβλημα των κοσμολογικών διαταραχών, που ευθύνονται για τη δημιουργία δομών μεγάλης κλίμακας (σμηνών και υπερσμηνών γαλαξιών) και φαίνεται να εμφανίζονται στην Κοσμική Ακτινοβολία Υποβάθρου, αλλά δεν μπορεί να εξηγηθεί η προέλευσή τους.

Ο πληθωρισμός στο προσκήνιο

Το μοντέλο του πληθωρισμού προτάθηκε κυρίως για να απαντήσει στα ζητήματα αυτά. Η πατρότητά του αποδίδεται στον Alan Guth και στα άρθρα του “Phase Transitions and Magnetic Monopole Production in the Very Early Universe” το 1980 και “Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems” το 1981. Ωστόσο, η πρώτη πρόταση προέρχεται από τον Δημοσθένη Καζάνα, επίσης το 1980, με το άρθρο “Dynamics of the universe and spontaneous symmetry breaking”.[5] Ακολουθεί το άρθρο των Einhorn και Sato το 1981, “Monopole production in the very early universe in a first-order phase transition”. Η σημερινή δε μορφή του μοντέλου προκύπτει από τη δουλειά των Guth και Linde, οι οποίοι και το προσάρμοσαν κατά τρόπο τέτοιο που να μπορεί να απαντήσει και στα τέσσερα παραπάνω ερωτήματα.

Η πληθωριστική εποχή αρχίζει μετά το χρόνο Planck και εφόσον έχουν διαχωριστεί οι δυνάμεις,

[4] Έχει ενδιαφέρον ότι, σε αντίθεση με τις συνήθεις περιπτώσεις στο θετικιστικό κίνημα, οπότε οι κοινωνικές επιστήμες δανείζονται όρους από τις θετικές, ο όρος πληθωρισμός μάλλον κληροδοτήθηκε από τα Οικονομικά και την Κοινωνιολογία.

[5] Ο Γ. Κοντόπουλος (2004) αναφέρει χαρακτηριστικά για την πατρότητα του υποδείγματος: “... Kazanas (1980) called this phase of the early Universe "de Sitter's phase." The name "inflation" was given by Guth (1981). Guth himself did not refer to work of Kazanas until he published a book on the subject under the title "The inflationary universe: the quest for a new theory of cosmic origin" (1997), where he apologizes for not having referenced the work of Kazanas and of others, related to inflation.»

όταν το σύμπαν έχει ηλικία περίπου 10^{-36} sec και θερμοκρασία της τάξης των 10^{28} K. Η ύλη στην κατάσταση αυτή κυριαρχείται από τα λεγόμενα βαθμωτά πεδία, που προβλέπονται από την Κβαντική Θεωρία Πεδίου. Σε κοσμολογικό επίπεδο μπορούν να αναλυθούν σαν ρευστά με πυκνότητα και πίεση:

$$\rho_\varphi = \frac{1}{2}\dot{\varphi}^2 + V(\varphi) \quad \text{και} \quad P_\varphi = \frac{1}{2}\dot{\varphi}^2 - V(\varphi) \qquad (5)$$

όπου φ το βαθμωτό πεδίο και V = V(φ) το δυναμικό του. Η εξίσωση συνέχειας ενός τέτοιου «ρευστού» δεν είναι παρά η εξίσωση Klein-Gordon:

$$\ddot{\varphi} + 3\frac{\dot{a}}{a}\dot{\varphi} + \frac{dV}{d\varphi} = 0 \qquad (6)$$

Υποθέτοντας επίπεδο τρισδιάστατο χώρο, οι εξισώσεις Friedmann λαμβάνουν τη μορφή:

$$H^2 = \kappa\left[\frac{1}{2}\dot{\varphi} + V(\varphi)\right] + \frac{1}{3}\Lambda \qquad (7.\alpha)$$

και

$$\dot{H} = -\kappa\dot{\varphi}^2 + \frac{1}{3}\Lambda \qquad (7.\beta)$$

Ένα τέτοιο υπόδειγμα έχει παράγοντα επιβράδυνσης:

$$q_{dec} = -\left[1 + \left(\frac{\dot{H}}{H}\right)\right] = -\frac{2V(\varphi) - \dot{\varphi}^2}{2V(\varphi) + \dot{\varphi}^2} \qquad (8)$$

οπότε στην περίπτωση ενός «αργά κυλιόμενου» βαθμωτού πεδίου (slow-roll inflation), όπως αυτό που πρότειναν οι Linde (1982) και Albrecht and Steinhardt (1982), για το οποίο ισχύει $\dot{\varphi}^2/2 \ll V(\varphi)$ και $3H\dot{\varphi} \approx -dV/d\varphi$ (δηλαδή η κινητική ενέργεια του βαθμωτού πεδίου παραμένει αμετάβλητη και ουσιαστικά πολύ μικρότερη από το δυναμικό) και ότι είναι στην κατάσταση κενού σε κάθε άλλη κοσμολογική εποχή (Linde and Lyth 1993), η επιτάχυνση της διαστολής είναι η μέγιστη δυνατή ($q_{dec} \approx -1$).

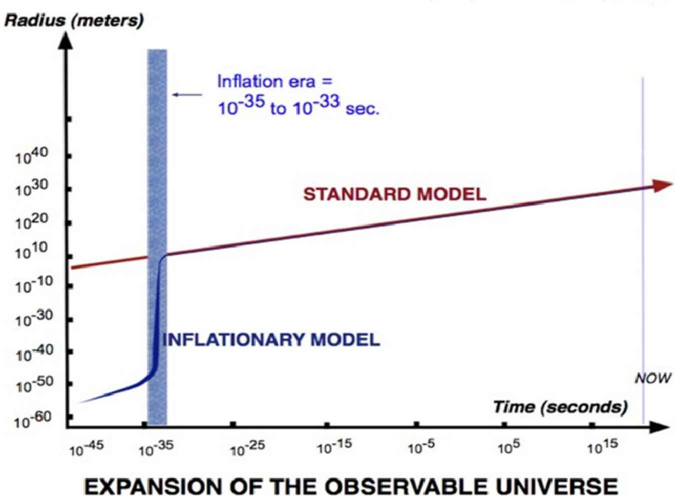
Υποστηρίζεται ότι ο συντελεστής κλίμακας ενός τέτοιου $a \sim e^{H_0(t-t_0)}$ υποδείγματος (με ένα βαθμωτό πεδίο) αυξάνεται εκθετικά, όπου:

$$H_0 = \sqrt{\kappa\left[\frac{\dot{\varphi}^2}{2} + V(\varphi)\right]}$$

και είναι περίπου σταθερό. Η τελευταία αυτή πρόταση υποδεικνύει ένα σύμπαν τύπου de Sitter, δηλαδή ένα άδειο σύμπαν που αυξάνεται εκθετικά και πολύ απότομα. Έτσι, μπορούμε να καταλήξουμε στην εξίσωση:

$$\frac{a_f}{a_i} = e^{H_0(t_f - t_i)} \qquad (9)$$

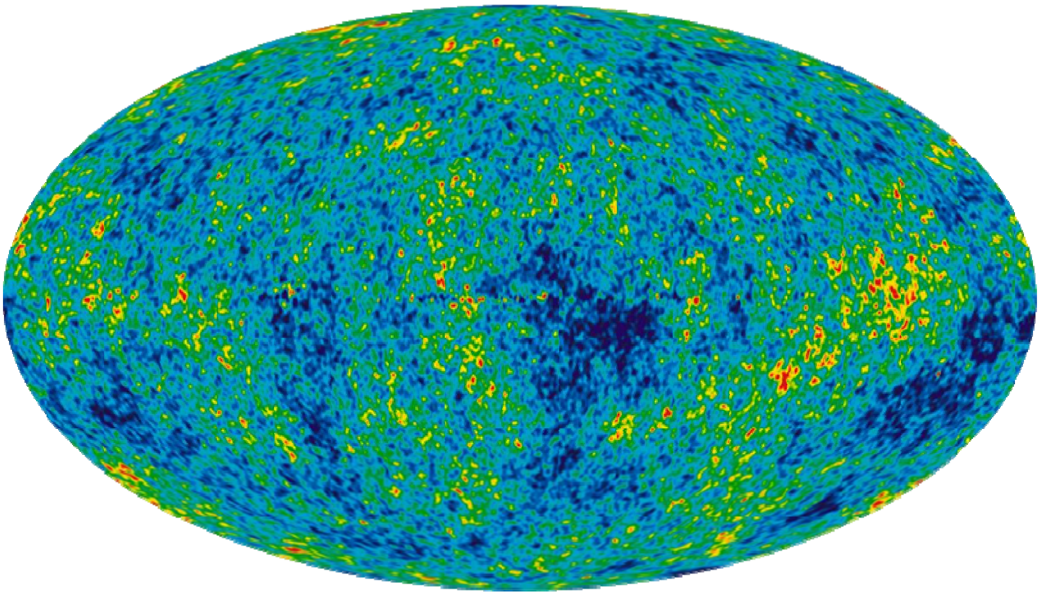
όπου a_i και a_f είναι η αρχική και η τελική τιμή του συντελεστή κλίμακας κατά τη διάρκεια του πληθωρισμού και αντίστοιχα t_i και t_f οι χρονικές στιγμές που αρχίζει και τελειώνει ο πληθωρισμός. Γνωρίζοντας ότι $t_i = 10^{-36}$ sec και $t_f = 10^{-34}$ sec, μπορούμε να υπολογίσουμε το λόγο της τελικής προς την αρχική τιμή



Γραφική αναπαράσταση της εξέλιξης της ακτίνας του παρατηρούμενου σύμπαντος συναρτήσει του χρόνου. Η περίοδος του πληθωρισμού (από 10^{-35} έως 10^{-33} δευτερόλεπτα στην προσέγγιση αυτή) σημειώνεται με μπλε, και κατά τη διάρκειά της παρατηρούμε το πέρασμα από το μικροσκοπικό κβαντικό σύμπαν στο μακροσκοπικό σύμπαν του υποδείγματος FLRW Λ-CDM.

του συντελεστή κλίμακας, μία ποσότητα που είναι γνωστή σαν «ποσότητα πληθωρισμού», $a_f/a_i \approx 10^{43}$.

Το υπόδειγμα του πληθωρισμού με ένα τέτοιο πεδίο - όπως και με οποιοδήποτε που έχει προταθεί στη βιβλιογραφία - έχει μάλλον τη χροιά ενός θεωρητικού παραδείγματος, μιας μαθηματικής άσκησης ή ενός toy model επί χάρτου, παρά αυτή ενός αυτοσυνεπούς μοντέλου που μπορεί να εξηγήσει τα πρώιμα στάδια του σύμπαντος. Βασικοί λόγοι είναι, όπως θα δούμε και παρακάτω, (1) η πλήρης - μέχρι τώρα - ανυπαρξία παρατηρησιακών δεδομένων για να συγκριθεί το υπόδειγμα με την πραγματικότητα, και (2) η αυθαίρετη επιλογή των παραμέτρων και του πεδίου, ακόμη και της εισόδου ή της εξόδου από τον πληθωρισμό, με κριτήριο της εξαγωγή των επιθυμητών συμπερασμάτων. Συχνά, η ρύθμιση των παραμέτρων αυτών καταλήγει εξαιρετικά αυθαίρετη και αποβαίνει ταυτολογική: η επιλογή όλων των, οσοδήποτε πολλών, παραμέτρων γίνεται με το χέρι για να πάρω, ως να μην ήξερα, ένα αποτέλεσμα που ήδη ξέρω. Η δε προσπάθεια να επιλεχθούν με ορθότητα τόσο τα πεδία και τα δυναμικά τους, όσο και οι τιμές των παραμέτρων οδηγεί στις εναλλακτικές θεωρίες για τη βαρύτητα και στις προτεινόμενες ενοποιήσεις των δυνάμεων, οι περισσότερες από τις οποίες στερούνται επίσης παρατηρησιακής ή πειραματικής επιβεβαίωσης και καταλήγουν ομοίως ασκήσεις επί χάρτου (βλ. Lyth and Ritto 1999, Mukhanov 2005, Lyth and Liddle 2009). Η μόνη περίπτωση πληθωριστικών μοντέλων που φαίνεται να ευσταθεί είναι αυτή του «χαοτικού πληθωρισμού», η οποία προβλέπει διαφορετικές μορφές και διαφορετικές διάρκειες πληθωρισμού σε κάθε περιοχή, με την πεποίθηση ότι σε μία τουλάχιστον από αυτές θα έχει την επιθυμητή μορφή και θα φέρει τα κατάλληλα αποτελέσματα – έτσι, όμως, το ζήτημα της αυθαιρεσίας απλά μετατίθεται από την επιλογή



Η Κοσμική Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου, κατάλοιπο της πρώτης «απόδρασης» του φωτός από τις σκεδάσεις στην πυκνή ύλη, άρα και η πρώτη εικόνα του σύμπαντος. Οι χρωματικές διαφοροποιήσεις αναπαριστούν τις μικρές αποκλίσεις στην ισότροπη και ομογενή ακτινοβολία, οι οποίες θεωρείται ότι προέρχονται από τη μεγέθυνση μικρών κβαντικών διαταραχών κατά τη διάρκεια του πληθωρισμού και ότι ευθύνονται για τις κοσμολογικές διαταραχές που δημιουργούν τις κοσμικές δομές.

των παραμέτρων στην επιλογή του προφίλ του πληθωρισμού.

Το Planck, το σχίσμα και η κριτική

Τα παραπάνω ζητήματα αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία τέθηκε και η κριτική του πληθωριστικού υποδείγματος. Βασικός υποκινητής αυτής της κριτικής ο Paul Steinhardt, καθηγητής στην έδρα Einstein του πανεπιστημίου του Princeton και ένας από τους πρώτους (μαζί με τον Albrecht και τον Linde) που ασχολήθηκαν τον πληθωρισμό και κατασκεύασαν ευσταθή και επιτυχημένα σενάρια για τον πληθωρισμό και τη μετάβαση στο μετέπειτα παρατηρούμενο σύμπαν ήδη από τη δεκαετία του '80, όπως και για τη δημιουργία των κοσμολογικών διαταραχών μεγάλης κλίμακας από κβαντικές διαταραχές που μεγεθύνθηκαν κατά τη διάρκεια του πληθωρισμού. Ωστόσο, η κατασκευή – και πάλι από τον ίδιο – ενός υποδείγματος αιώνιου πληθωρισμού βασισμένου στο δυναμικό που εξετάσαμε, που σαν συνέπεια έχει την εμφάνιση πολλαπλών mini συμπάντων τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές των παραμέτρων και των οποίων ο αριθμός αυξάνεται συνεχώς με την πάροδο του χρόνου, ήταν η αρχή για την αμφισβήτησή του στην ισχύ του πληθωρισμού. Αρχής γενομένης από το 2002, έδειξε με συνέπεια τα τρωτά σημεία των σεναρίων του πληθωρισμού και χαρακτήρισε τον αιώνιο πληθωρισμό «Αχίλλειο πτέρνα» του όλου μοντέλου. Η σκέψη του ήταν απλή: εάν κάθε πιθανό ενδεχόμενο (ανάμεσα σε άπειρα!) μπορεί να γίνει (και γίνεται) δεκτό με την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων, ο πληθωρισμός δεν μπορεί να κάνει προβλέψεις για την πραγματικότητα – κάθε πρόβλεψη είναι δυνατή και κάθε πρόβλεψη θα πέσει μέσα![6] Έτσι, το υπόδειγμα του πληθωρισμού είναι μη διαψεύσιμο, άρα δεν είναι υπόδειγμα αλλά μάλλον ένας ουροβόρος όφις που θα επιστρέφει πάντα το αποτέλεσμα αυτό που θέλουμε σαν να είχε προϋποτεθεί από τα δεδομένα.[7]

Αυτό είναι και το συντριπτικότερο πλήγμα κατά του πληθωριστικού μοντέλου. Η μέχρι τώρα πρόοδος σε αυτό στηριζόταν εν πολλοίς στην ανυπαρξία παρατηρήσεων που να το επιβεβαιώνουν ή να το απορρίπτουν. Τι γίνεται όμως όταν οι παρατηρήσεις, θα χρησιμεύουν μόνο στην επιλογή μεταξύ των άπειρων δυνατών συμπάντων που γεννά ο πληθωρισμός; Μα, φυσικά, η θεωρία έχει ξεφύγει από την επαφή από το πείραμα, έχει σπάσει τον κύκλο που συντρέχει την επιστημονική πρόοδο απλά και μόνον αρνούμενη να δεχτεί ως ορισμό της τον ίδιο τον ορισμό της επιστημονικής θεωρίας. Με δυο λόγια, ο πληθωρισμός «πρέπει» να υφίσταται όχι γιατί οι παρατηρήσεις συμφωνούν με αυτόν – άρα επιβάλλουν τη θεωρητική του αποδοχή – αλλά γιατί λύνει προβλήματα που δε θα υπήρχαν αν δεν υπήρχε το υπάρχον – και περιλαμβάνον τον πληθωρισμό – κοσμολογικό μοντέλο.

Από τα τέλη της δεκαετίας του '80 που ξεκίνησε η παρατήρηση του διαστήματος σε μεγάλες αποστάσεις μέσω της Μικροκυματικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου (CMB), αρχικά με το COBE (1989-1993), έπειτα με το WMAP (2001-2010), και πιο πρόσφατα με το Planck (2009-2013), ένας από τους βασικούς στόχους ήταν η επιβεβαίωση (ή η απόρριψη) του καθιερωμένου κοσμολογικού μοντέλου και ιδιαίτερα

[6] Ο S. Weinberg (2007) δήλωνε ως προς αυτό: "the hope of finding a rational explanation for the precise values of quark masses and other constants of the standard model that we observe in our big bang is doomed, for their values would be an accident of the particular part of the multiverse in which we live."

[7] Από τους πιο γνωστούς ελέγχους της «επιστημονικότητας» μίας θεωρίας είναι το *Ξυράφι του Occam*, δηλαδή η δυνατότητα της θεωρίας να εξηγεί τα περισσότερα δυνατά φαινόμενα με τις απλούστερες υποθέσεις και η *Διαψευσιμότητα*, δηλαδή η δυνατότητα της θεωρίας να ελέγχεται ως ψευδής από την παρατήρηση και το πείραμα. Ο πληθωρισμός ως θεωρία δεν είναι επιστημονική καθότι αποτυγχάνει ή, σωστότερα, δε δέχεται καν να περάσει αυτούς τους ελέγχους.

της Μεγάλης Έκρηξης και του πληθωρισμού. Οι μετρήσεις του COBE επιβεβαίωσαν την Κοσμολογική Αρχή, απέδειξαν δηλαδή ότι η CMB έχει φάσμα μελανού σώματος, ίδιο από και προς όλες τις κατευθύνσεις - άρα το σύμπαν είναι ομογενές και ισότροπο. Εντόπισαν όμως μικρής τάξης ανισοτροπίες που ευθύνονται για τις κοσμολογικές διαταραχές και για τη δημιουργία δομών μεγάλης κλίμακας. Οι μετρήσεις του WMAP εν πολλοίς επιβεβαίωσαν αυτές του COBE και έδειξαν με μεγαλύτερη ακρίβεια τη μορφή της CMB και ιδιαίτερα των ανισοτροπιών της, που βρέθηκαν να είναι αποκλίσεις μόλις στο $5\cdot10^{-5}$ από τη μέση θερμοκρασία, 2,7 K. Στα ίδια κατέληξαν και οι μετρήσεις του Planck, παρέχοντας όμως ακόμη μεγαλύτερης ακρίβειας εκτιμήσεις για τις ανισοτροπίες αυτές, που θεωρούμε ότι προέρχονται από το 10^{-30} δευτερόλεπτο μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Όμως, τα αποτελέσματα του Planck είχαν σοβαρές συνέπειες για τα σενάρια του πληθωρισμού για τρεις λόγους: (α) αποδεικνύουν πέρα από κάθε αμφιβολία ότι η εξέλιξη του σύμπαντος σε οποιοδήποτε στάδιο είναι ανεξάρτητη της κλίμακάς του (scale-free), (β) παρέχουν σαφή όρια για τα βαθμωτά πεδία που προκαλούν τον πληθωρισμό και (γ) εντοπίζουν πολύ μικρή, σχεδόν μηδενική απόκλιση των κοσμολογικών διαταραχών από μία τυπική κατανομή Gauss.[8]

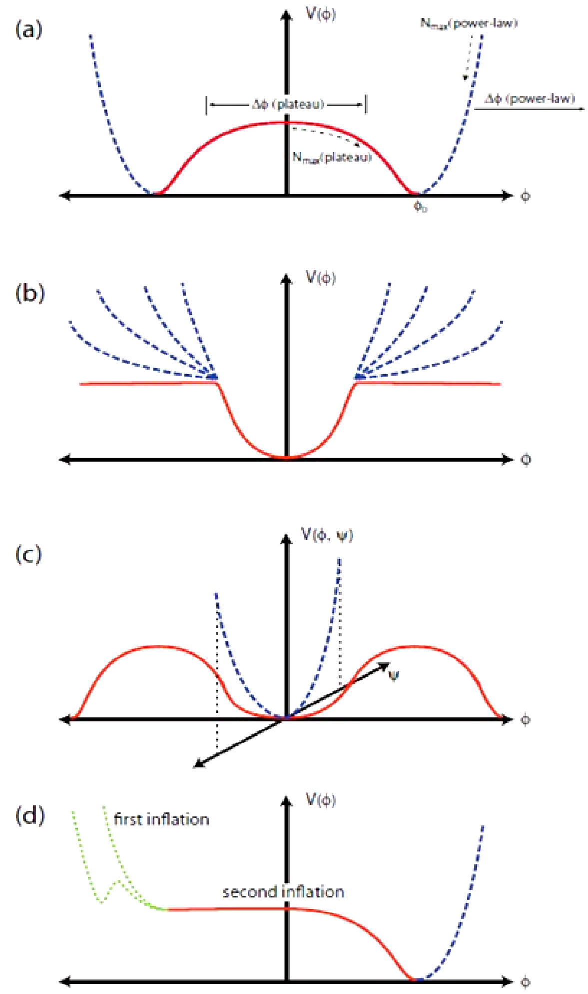
Από την ανεξαρτησία της εξέλιξης του σύμπαντος από την κλίμακα του, όλα τα βαθμωτά πεδία που περιλαμβάνουν τέτοια εξάρτηση ή που οδηγούν σε τέτοια εξάρτηση δεν μπορούν να θεωρούνται πλέον βάσιμα. Η περιγραφή των Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker, στην οποία ο τρισδιάστατος χώρος είναι ομογενής, ισότροπος και ανεξάρτητος του συντελεστή κλίμακας αλλά αυξάνεται ομαλά με την αύξηση αυτού, μπορεί να θεωρηθεί ως η καταλληλότερη για να εξηγήσει το σύμπαν έως και το χρόνο Planck ($t_{Planck} = 5{,}39\cdot10^{-44}$ sec). Από τη δεύτερη συνέπεια, τα όρια που τίθενται δηλαδή, μπορούμε επίσης να εκτοπίσουμε όλα τα σενάρια πληθωρισμού που απαιτούν δύο ή περισσότερα βαθμωτά πεδία. Τέλος, από την τρίτη συνέπεια, αυτήν της κανονικής κατανομής των κοσμολογικών διαταραχών, μπορούμε να περιοριστούμε αποκλειστικά σε βαθμωτά πεδία και να χρησιμοποιήσουμε μία απλή σχέση μεταξύ του λόγου τανυστικών προς βαθμωτών διαταραχών:

$$r = \frac{8}{\kappa}\left(\frac{V'(\varphi)}{V(\varphi)}\right)^2$$

και του βαθμωτού δείκτη:

$$n_s = 1 - \frac{1}{\kappa}\left(\frac{V'(\varphi)}{V(\varphi)}\right)^2 + \frac{2}{\kappa}\frac{V''(\varphi)}{V(\varphi)}$$

[8] Για μια συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του Planck από την ανακοίνωση 2013, βλ. Ijjas, Steinhardt and Loeb (2013) και Clesse (2015). Για την ανακοίνωση 2015, βλ. Ijjas, Steinhardt and Loeb (2015).



Τα τέσσερα είδη δυναμικών που επιτρέπονται με βάση τα στοιχεία του Planck. Πηγή: Ijjas et al., 2013.

Ένα απλό διάγραμμα των δύο παραπάνω μαζί με τα στοιχεία του Planck (συνδυασμένα πιθανόν με τα στοιχεία του ACT ή του BICEP2) μας δίνουν ακριβώς τα όρια μέσα στα οποία μπορούμε να έχουμε πιθανά πληθωριστικά μοντέλα. Έτσι, από τα παραπάνω τρία μπορούμε να συνάγουμε ότι τα περιπλοκότερα σενάρια πληθωρισμού εξαφανίζονται αυτομάτως από το τραπέζι, αφήνοντας τις απλούστερες περιπτώσεις – κυριολεκτικά αυτές που συζητιούνται στα διδακτικά βιβλία. Το αποτέλεσμα αυτό χαροποίησε ορισμένους από τους παραδοσιακούς υπέρμαχους του πληθωρισμού, ιδιαίτερα τον Linde (2014), που στράφηκαν στη μελέτη του χαοτικού και του αιώνιου πληθωρισμού.

Ωστόσο, οι μετρήσεις του Planck ιδωμένες κατά τον τρόπο αυτό και μόνον, είναι μάλλον παραπλανητικές, όπως εξηγούν οι Ijjas, Steinhardt and Loeb σε δύο άρθρα τους (το 2013 και το 2015, για τις δύο αντίστοιχες ανακοινώσεις του Planck). Τα βαθμωτά πεδία που επιτρέπει ένα διάγραμμα $r - n_s$ έχουν επίπεδο δυναμικό, τουλάχιστον για αρκετά μικρές τιμές του πεδίου φ. Αυτό σημαίνει ότι τα απλά και συνήθη δυναμικά, όπως τα δυναμικά που ακολουθούν κάποιο νόμο δύναμης [$V(\varphi)\sim\varphi^{\beta}$] και οδηγούν σε σενάρια χαοτικού πληθωρισμού και τα εκθετικά δυναμικά [$V(\varphi)\sim e^{\varphi}$] που οδηγούν σε πληθωρισμό με νόμο δύναμης ή σε πληθωρισμό με αντίστροφο νόμο δύναμης, απορρίπτονται. Οι Ijjas, Steinhardt και Loeb ονόμασαν το πρόβλημα αυτό «πρόβλημα της απιθανότητας» (unlikeliness problem). Τα δυναμικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανήκουν εν γένει σε τέσσερις κατηγορίες: (1) τα δυναμικά της μορφής $V(\varphi) = \lambda(\varphi^2 + \varphi_0^2)$ που μπορούν να προκύψουν από ένα πεδίο Higgs και δίνουν επίπεδο δυναμικό για $\varphi << \varphi_0$ και συμπεριφορά νόμου δύναμης για $\varphi >> \varphi_0$, (2) τα δυναμικά που ακολουθούν κάποιο νόμο δύναμης για μικρά φ αλλά γίνονται επίπεδα για μεγάλα φ,[9] (3) τα περιοδικά δυναμικά, που εμφανίζουν επίπεδη συμπεριφορά για μικρές τιμές του φ και τα οποία προέρχονται από αξιόνια (τα οποία όμως στερούνται πειραματικής επιβεβαίωσης) και (4) τα περιπλοκότερα δυναμικά που προκύπτουν από τη σύνθεση διαφορετικών δυναμικών ανά τιμή του φ, απαιτούν οπότε τη ρύθμιση περισσότερων από τις συνήθεις παραμέτρων.

Για να γίνουμε ακόμη πιο συγκεκριμένοι, το κλασσικό πληθωριστικό μοντέλο στηρίζεται στην υπόθεση βαθμωτών πεδίων με απλά δυναμικά, δεν ενέχει καμία ευαισθησία ως προς τις αρχικές συνθήκες και τέλος αφορά το σύνολο του τρισδιάστατου χώρου, άρα η μέτρησή τους δεν είναι παρά ο όγκος του τρισδιάστατου χώρου ο οποίος αναμένεται να αυξάνεται εκθετικά. Γνωρίζαμε, βέβαια, και πριν από το Planck ότι καμία από αυτές τις προϋποθέσεις δεν ισχύει στην πραγματικότητα· και για την ακρίβεια, και οι τρεις φαίνονταν να αντιστρέφονται.[10] Οι παρατηρήσεις του Planck όχι μόνο δεν συνάδουν σε καμία περίπτωση με αυτό το υπόδειγμα, αλλά φέρνουν στο προσκήνιο περισσότερες επιπλοκές[11] και ωθούν στη δημιουργία ενός νέου (μεταμοντέρνου) πληθωριστικού μοντέλου. Έχουμε ένα σχίσμα στις θεωρίες του πληθωρισμού (Ijjas, Steinhardt and Loeb 2014).

Τι συμβαίνει όμως με το νέο αυτό υπόδειγμα; Η επίλυση των προβλημάτων από αυτό δεν είναι παρά μία αναπροσαρμογή: Από τη μια, το περίπλοκο προφίλ του δυναμικού κάνει αδύνατη την *a priori* γνώση του σε μία ακριβή συναρτησιακή σχέση, έτσι που δεν μπορούμε να γνωρίζουμε τίποτα για το βαθμωτό πεδίο. Από την άλλη, η γνώση των αρχικών συνθηκών με μεγάλη ακρίβεια είναι απαραίτητη για την επιλογή του βαθμωτού πεδίου και την ικανότητα του μοντέλου να κάνει προβλέψεις. Το όλο υπόδειγμα εξαρτάται από τα δεδομένα και χωρίς αυτά όλο το κατασκεύασμα είναι απλά ο μηχανισμός για να εξαχθεί εν καιρώ ένα υπόδειγμα. Μέχρι τώρα όμως δεν υπάρχουν δεδομένα για να αντλήσουμε πληροφορίες για το βαθμωτό πεδίο ή τις αρχικές συνθήκες, άρα δεν έχουμε στα χέρια μας κάποιο μοντέλο και συνεπώς δεν μπορούμε να κάνουμε προβλέψεις. Ταυτόχρονα, τα σενάρια αυτού του τύπου δεν έχουν την ικανότητα να επιλύσουν το πρόβλημα του ορίζοντα και το πρόβλημα της επιπεδότητας, δύο από τα προβλήματα που η ανάγκη επίλυσής τους προκάλεσε τη γέννηση αυτών των υποδειγμάτων.[12]

Έτσι, το ερώτημα δε θα έπρεπε να είναι αν και κατά πόσον τα ανανεωμένα σενάρια του πληθωριστικού μοντέλου περνάνε τον έλεγχο της πραγματικότητας μετά τα δεδομένα του Planck, αλλά τι ακριβώς απομένει από αυτά. Ένα μοντέλο που απαιτεί πολύ καλή προσαρμογή των παραμέτρων του μόνο και μόνο για να θεωρηθεί μοντέλο, έχει μηδενική προβλεπτική ικανότητα και δεν μπορεί να επιλύσει *per se* τα προβλήματα που καλείται να λύσει, δεν έχει καμία θέση στα πλαίσια της επιστήμης. Άρα, η απάντηση μάλλον είναι «μέχρι νεωτέρας, τίποτα!» Τα μέχρι τώρα δεδομένα μας υποδεικνύουν μία φύση που είναι ανεξάρτητη της κλίμακάς της, παρουσιάζει μικρές ανισοτροπίες στο σύνολό της και μπορεί να περιγραφεί από απλά μοντέλα στα πλαίσια της ημικλασσικής φυσικής. Το ερώτημα, οπότε, μπορεί να ανασκευαστεί ως εξής: αφού ο πληθωρισμός δε σώζεται και η φύση απαιτεί να είναι απλή, τι μας απομένει να κάνουμε;

[9] Τέτοιο είναι το δυναμικό $V(\varphi)=\begin{cases}\lambda\varphi^2, \varphi \ll m_{Planck}\\ \varphi_0, \varphi \gg m_{Planck}\end{cases}$

[10] Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι (1) οι παράμετροι ακόμη και των απλούστερων δυναμικών χρειάζονται πολύ προσεκτική προσαρμογή για να δώσουν τα κατάλληλα μεγέθη, (2) η ευαισθησία των περισσότερων μοντέλων στις αρχικές συνθήκες είναι υπερβολικά μεγάλη και οι λύσεις που προκύπτουν οδηγούν συνήθως σε ανισότροπους και ανομοιογενείς χώρους, και (3) το σύμπαν δε μεγεθύνεται ομοιόμορφα με εκθετικό ρυθμό, αλλά μετατρέπεται με εκθετικό ρυθμό σε ένα άθροισμα mini συμπάντων, τα περισσότερα εκ των οποίων είναι αιώνια πληθωριστικά (Ijjas et al. 2014).

[11] Πέρα από την απόρριψη και των απλούστερων δυναμικών, αξίζει να αναφέρουμε ότι όλα τα σενάρια που ευνοούνται από τα δεδομένα του Planck οδηγούν σε ένα πολυσύμπαν (multiverse) αιώνιου πληθωρισμού, ενώ τα ίδια τα δεδομένα προσαρμόζουν καλύτερα στις προβλέψεις των απλών μοντέλων (χωρίς την εμφάνιση multiverse).

[12] Οι Ijjas, Steinhardt and Loeb (2015) παρατηρούν ότι: "Postmodern inflation rests entirely on the measure. It is the measure alone that is supposed to justify the choice of a particular highly complex potential among exceedingly many. At the same time, the measure is supposed to solve the initial conditions problem, and the very same measure is supposed to regulate infinities in the multiverse and restore predictiveness. Such a measure does not currently exist."

Πηγές

[1] S. Clesse (2015). "An introduction to inflation after Planck: From theory to observations". preprint [arXiv:1501.00460v1]

[2] E. Elizalde, S. Nojiri, S.D. Odintsov, D. Sáez-Gómez and V. Faraoni (2008). "Reconstructing the universe history, from inflation to acceleration, with phantom and canonical scalar fields". preprint [arXiv:0803.1311v2]

[3] A. Ijjas, P. J. Steinhardt and A. Loeb (2013). "Inflationary paradigm in trouble after Planck2013". Phys. Lett. B 723: 4-5.

[4] A. Ijjas, P.J. Steinhardt and A.Loeb (2014). "Inflationary schism". Phys. Lett. B 736: 7.

[5] A. Ijjas, P.J. Steinhardt and A.Loeb (2016). "Implications of Planck2015 for inflationary, ekpyrotic and anamorphic bouncing cosmologies". Class. Quant. Gr 33: 4.

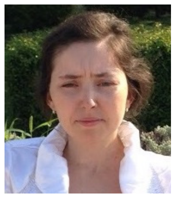
[6] A.R. Liddle (1999). "An Introduction to Cosmological Inflation". preprint [arXiv:astro-ph/9901124v1]

[7] A. Linde (2014). "Inflationary Cosmology after Planck 2013". preprint [arXiv:1402.0526v2]

[8] V. Mukhanov (2005). Physical Foundations of Cosmology. Cam- bridge: Cambridge University Press.

[9] C.G. Tsagas, A.Challinor and R. Maartens (2008). "Relativistic Cosmology and Large Scale Structure". Phys. Rep. 465.

μαγνητικό πεδίο και μαγνητόσφαιρα της Γης



Μαρία Μήτρου
Απόφοιτος
Τμήματος Φυσικής

Προέλευση

Ποια είναι η προέλευση του μαγνητικού πεδίου της Γης; Απάντηση δεν υπάρχει, όπως και για το ερώτημα της κοσμικής μαγνητογένεσης εν γένει. Το μόνο γνωστό είναι πως δε συνιστά απλά το κατάλοιπο κάποιου προϋπάρχοντος του ηλιακού συστήματος μαγνητικού πεδίου. Επίσης, δε συνδέεται με τις μαγνητικές ιδιότητες του σιδήρου στο εσωτερικό της Γης και αυτό γιατί:

- Η θερμοκρασία στο εσωτερικό της Γης είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία Curie του Fe γεγονός που συνεπάγεται απώλεια των μαγνητικών του ιδιοτήτων
- Ο χρόνος ύπαρξης του μαγνητικού πεδίου της Γης (> 3×10^9 έτη) είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον χρόνο διάχυσης του μαγνητικού πεδίου (~2×10^5 έτη) μέσα σε αγώγιμο μέσο, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι ένας μηχανισμός (αυτός του μαγνητικού δυναμό) διατηρεί το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της Γης.

Μορφολογία

Το μαγνητικό πεδίο της Γης μπορεί να θεωρηθεί διπολικό, με άξονα κλίσης 11.3° ως προς τον άξονα περιστροφής της, που περνά από το κέντρο της Γης, τέμνοντάς την περίπου 800 km από τους γεωγραφικούς πόλους 78° N 111° A (στην Ανταρκτική) και 78° B 69°A (στη Θούλη Γροιλανδίας). Η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου έχει αναστραφεί μη περιοδικά κατά το παρελθόν ($t_{αναστροφών} = 10^5$-10^6 έτη).

Το γεωμαγνητικό σύστημα συντεταγμένων είναι προσανατολισμένο με τον άξονα του μαγνητικού διπόλου, με το γεωμαγνητικό ισημερινό επίπεδο να ορίζεται ως το επίπεδο που είναι κάθετο στον άξονα του διπόλου και περνά από το κέντρο της Γης.

Μορφολογία της μαγνητόσφαιρας

Δεδομένης της μη ενιαίας μορφολογίας της, η γήινη μαγνητόσφαιρα χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα, όπως η μαγνητόπαυση, ο μανδύας πλάσματος, η περιοχή του ηλιακού ανέμου, η μαγνητοθήκη, η μαγνητοουρά, η περιοχή σχηματισμού του κρουστικού κύματος, το φύλλο πλάσματος, οι λοβοί, η ιονόσφαιρα, η πλασμόσφαιρα, η πολική χοάνη και οι ζώνες Van Allen, οι οποίες θα περιγραφούν παρακάτω.

Η μαγνητόσφαιρα ορίζεται σε ένα σύστημα αναφοράς, με τη Γη να περιστρέφεται εντός αυτής και έναν εκ των αξόνων να είναι η ευθεία σύνδεσης Γης-Ήλιου (Σχ. 1). Το σύστημα αυτό χωρίζει τη μαγνητόσφαιρα σε δύο μέρη, την προσήλια και την σκοτεινή. Η προσήλια πλευρά της μαγνητόσφαιρας αντικρίζει τον Ήλιο (μεσημέρι στο ισημερινό επίπεδο και σούρουπο κάθετα προς αυτό), ενώ η σκοτεινή πλευρά αντικρίζει τη μαγνητοουρά (μεσάνυχτα στο ισημερινό επίπεδο και αυγή κάθετα προς αυτό), οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές είναι επιμηκυμένες λόγω της ροής του ηλιακού ανέμου.

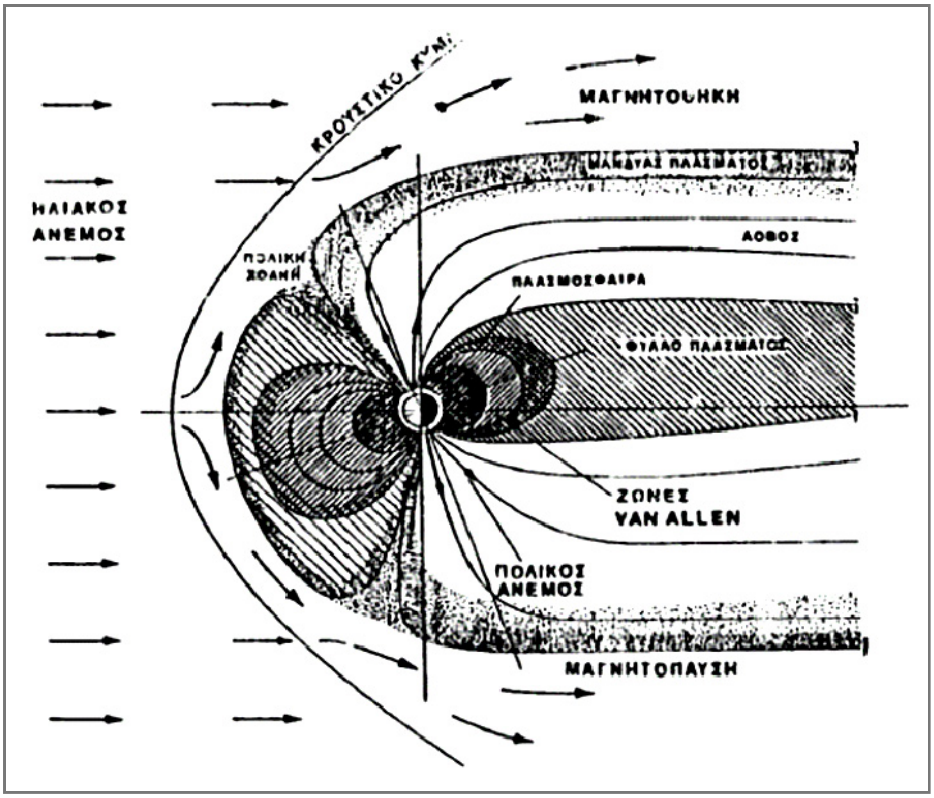
Μαγνητόπαυση

Η μαγνητόπαυση, μια σημαντική επιφάνεια της γήινης μαγνητόσφαιρας, ορίζεται ως το εξωτερικό όριο της μαγνητόσφαιρας (η επιφάνεια όπου η πίεση από τη ροή του ηλιακού ανέμου ισούται με την πίεση εντός της μαγνητόσφαιρας). Η απόσταση r_p της μαγνητόπαυσης από τη γήινη επιφάνεια στην προσήλια πλευρά και κατά την ευθεία σύνδεσης Γης-Ήλιου είναι ~ 10 $R_{Å}$. Το πάχος της μαγνητόσφαιρας(10^2—10^3 km) ονομάζεται και μανδύας πλάσματος.

Ο ηλιακός άνεμος εκτρέπεται μόνο εξαιτίας της δύναμης Lorentz σε φορτισμένα σωματίδια. Αυτό συμβαίνει κατά μήκος της μεγάλης διάστασης της μαγνητόπαυσης, όπου δημιουργείται ρεύμα εκτρεπόμενων προς αντίθετες κατευθύνσεις ηλεκτρονίων και ιόντων (ρεύμα Chapman-Ferraro).

Μαγνητικά δίπολα της Γης

Στην προσήλια πλευρά της μαγνητόσφαιρας, περίπου 2 έως 3 $R_\oplus$ μπροστά από τη μαγνητόπαυση, δημιουργείται κρουστικό κύμα (bowshock), ενώ στη Γη το μαγνητικό πεδίο αποτρέπει τον υπεραλφβενικής ταχύτητας ηλιακό άνεμο (στάσιμο κρουστικό κύμα). Στην προέκταση του μαγνητικού πόλου προς την προσήλια πλευρά απαντάται η πολική χοάνη, που τροφοδοτεί την ατμόσφαιρα με ηλιακό πλάσμα



Σχήμα 1: Η γήινη μαγνητόσφαιρα (Αλυσσανδράκης Κ.Ε., Νίντος Α. και Πατσουράκος Σ., Φυσική του Ήλιου και του Διαστήματος).

και σωματίδια από εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού και εκλάμψεις.

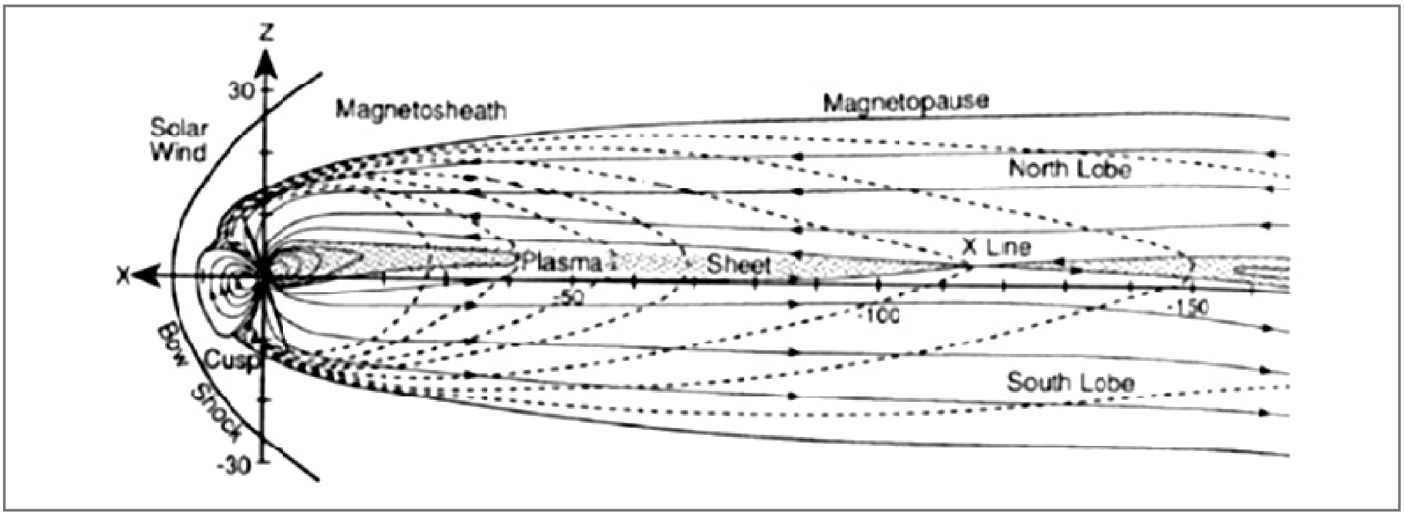
Το κρουστικό κύμα της μαγνητόσφαιρας επιβραδύνει τον ηλιακό άνεμο προς τη Γη και τον εκτρέπει, με μετατροπή μέρους κινητικής ενέργειας του ηλιακού ανέμου σε θερμική ενέργεια του κρουστικού κύματος. Κατά συνέπεια, ο αδιατάρακτος ηλιακός άνεμος είναι πιο ψυχρός.

Θερμό πλάσμα ηλιακού ανέμου από το μανδύα εισρέει στο ισημερινό επίπεδο της μαγνητόσφαιρας, όπου σχηματίζεται μαγνητοσφαιρικό φύλλο πλάσματος ή στρώμα πλάσματος (Σχ. 2, διακεκομμένες γραμμές), με αραιό (0.1—1 cm^{-3}) και θερμό (10^7—10^8 K) πλάσμα, με μαγνητικές δυναμικές γραμμές αντίθετης φοράς εκατέρωθέν του (Σχ. 2, συνεχείς γραμμές). Μεταξύ μανδύα και φύλλου πλάσματος, η πυκνότητα του πλάσματος είναι 10^{-2} cm^{-3}, ενώ οι βόρειοι λοβοί διαχωρίζονται από τους νότιους με φύλλο ρεύματος, όπου παρατηρείται μαγνητική επανασύνδεση (σημείο Χ). Πλάσμα εκτοξεύεται και προς τη Γη.

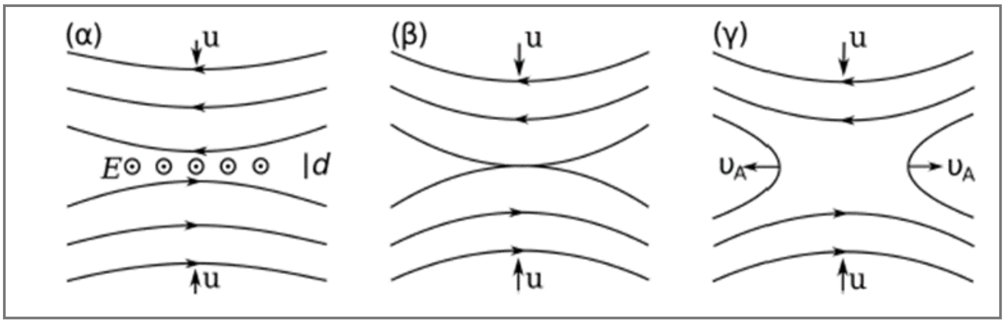
Μαγνητική επανασύνδεση στη μαγνητόσφαιρα

Η μαγνητική επανασύνδεση είναι ο μηχανισμός αναπλήρωσης του ηλιακού πλάσματος με έκλυση ενέργειας λόγω τοπολογικών μεταβολών σε μαγνητικές δυναμικές γραμμές στις απομακρυσμένες μαγνητοσφαιρικές από τη Γη περιοχές. Κατά τη μαγνητική επανασύνδεση απαιτείται μη μηδενική αντίσταση πλάσματος για μη αμελητέα φαινόμενα διάχυσης του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή το πλάσμα δεν είναι παγωμένο. Ειδικότερα, μια δυναμική γραμμή ενδέχεται να διαχωριστεί σε δύο τμήματα. Κάθε τμήμα, που φέρει άκρο κινούμενο με το πλάσμα εκτός της περιοχής διάχυσης, αποσυζεύγνυται και επανασυνδέεται με άλλο τμήμα δυναμικής γραμμής (Σχ. 3).

Οι δυναμικές γραμμές με αντίθετη πολικότητα πρέπει να τέμνονται, κάτι που παρατηρείται στην προσήλια πλευρά. Για συνιστώσα μεσοπλανητικού μαγνητικού πεδίου κάθετη στον γεωμαγνητικό ισημερινό, η μαγνητόπαυση συνιστά ασυνέχεια περιστροφική, διαχωρίζουσα του μεσοπλανητικού πλάσματος από τη μαγνητόσφαιρα (μεταβολή πλάσματος και πεδίου εκατέρωθεν της μαγνητόπαυσης με ισορροπία πίεσης) για φορά προς νότο (ανοιχτή μαγνητόσφαιρα) ή ασυνέχεια εφαπτομενική



Σχήμα 2: Προσήλια και σκοτεινή πλευρά γήινης μαγνητόσφαιρας (Pilippetal, 1978)

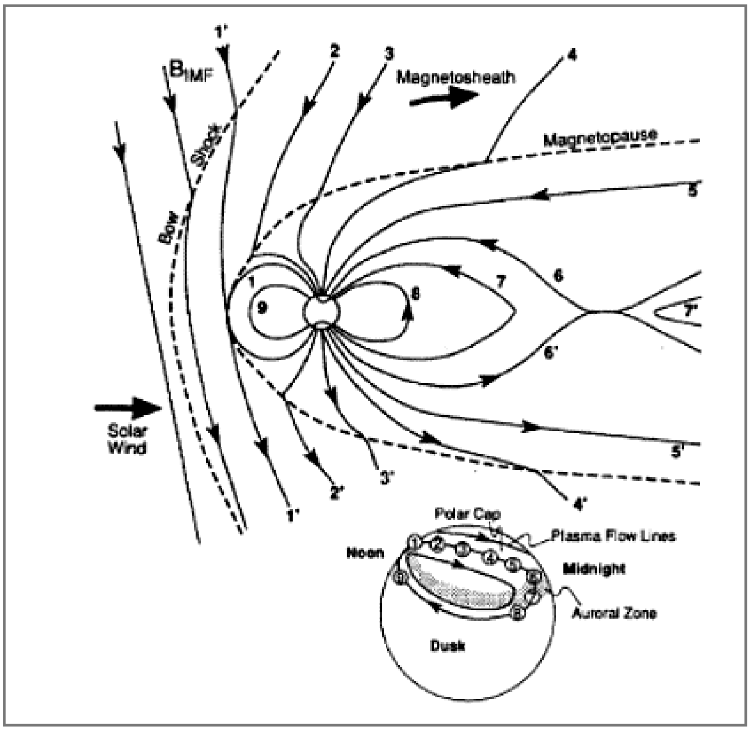


Σχήμα 3: Μαγνητική επανασύνδεση (Αλυσσανδράκης Κ. Ε., Νίντος Α. και Πατσουράκος Σ., Φυσική του Ήλιου και του Διαστήματος).

(περιστροφή μαγνητικού πεδίου εγκάρσια ως προς τη μαγνητόπαυση) για φορά προς βορρά (κλειστή μαγνητόσφαιρα).

Οι δυναμικές γραμμές του μεσοπλανητικού πεδίου μεταφέρονται προς τη μαγνητόπαυση από τον ηλιακό άνεμο (Σχ. 3). Για κάθετη συνιστώσα μεσοπλανητικού μαγνητικού πεδίου με φορά προς το Νότο, η δυναμική γραμμή του μεσοπλανητικού μαγνητικού πεδίου 1′ επανασυνδέεται μαγνητικά με τη δυναμική γραμμή 1 του γήινου μαγνητικού πεδίου στην προσήλια πλευρά, με απόρροια τις δυναμικές γραμμές 2 και 2′. Αυτές συμπαρασύρονται από τον ηλιακό άνεμο, συγχωνεύονται με τη μαγνητοουρά ως γραμμές 5 και 5′. Στην ιονόσφαιρα, το εσωτερικό όριο μαγνητόσφαιρας-ατμόσφαιρας (~70 km πάνω από τη γήινη επιφάνεια), ατμοσφαιρικά σωματίδια ιονίζονται από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Ακριβώς πάνω από την ιονόσφαιρα υπάρχει η πλασμόσφαιρα. Μαγνητικά συνδεδεμένες με ιονοσφαιρικό πλάσμα, κινούμενο από μεσαία πλάτη κατά μήκος κλειστών διπολικών μαγνητικών βρόχων με ομοιογενή κατανομή πίεσης πλάσματος, οι γραμμές 5 και 5′ ρέουν σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη προς τη σκοτεινή πλευρά. Πλάσμα από τη μαγνητοθήκη κινείται προς τη μαγνητοουρά, γεμίζοντας τον μανδύα, και σε χαμηλότερα γεωμαγνητικά πλάτη.

Αν αυτό το δυναμικό φαινόμενο συνεχιζόταν ες αεί, θα παρατηρούνταν συσσώρευση μαγνητικής ροής στη μαγνητοουρά, λόγω σύνδεσης γήινου μαγνητικού πεδίου και μεσοπλανητικού πεδίου. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει η μαγνητική ροή να επανέλθει σε μορφολογία κλειστών γραμμών. Στη σκοτεινή πλευρά, κατά τη μεταφορά των δυναμικών γραμμών προς το ισημερινό επίπεδο, σχηματίζεται τοπολογία σχήματος X στο φύλλο πλάσματος της μαγνητοουράς, όπου τέμνονται οι γραμμές 6 και 6′ με μαγνητική επανασύνδεση. Προκύπτουν η γεωμαγνητική κλειστή γραμμή 7 και η μεσοπλανητική γραμμή 7′, που μεταφέρεται προς τη μαγνητοουρά. Οι γεωμαγνητικές γραμμές θα επιστρέψουν, λόγω μαγνητικής τάσης, στην προσήλια πλευρά σε χαμηλότερα ύψη, με ροή υλικού και μαγνητικού πεδίου προς τον Ήλιο.



Σχήμα 4: Μαγνητική επανασύνδεση στη μαγνητόσφαιρα (επάνω) και ροή ιονοσφαιρικού πλάσματος σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη του βόρειου ημισφαιρίου (κάτω, μικρό σχήμα). (Αλυσσανδράκης Κ. Ε., Νίντος Α. και Πατσουράκος Σ., Φυσική του Ήλιου και του Διαστήματος)

Ένας παρατηρητής στη γήινη επιφάνεια, που περιστρέφεται και αυτός κατά την περιστροφική κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο, αντιλαμβάνεται τις ροές πλάσματος ως ημερήσιες μεταβολές μαγνητικού πεδίου. Οι μαγνητοσφαιρικές δυναμικές γραμμές, παγωμένες στο πλάσμα, ρέουν πάνω από τους πόλους από το μεσημέρι προς τα μεσάνυχτα και προς την προσήλια πλευρά σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη.

Ζώνες Van Allen

Παροδικοί πληθυσμοί ενεργητικών σωματίων στη μαγνητόσφαιρα είναι οι γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες, που αλληλεπιδρούν με την ανώτερη ατμόσφαιρα ή οπισθοανακλώνται και τα ηλιακά ενεργειακά σωμάτια (SEPs), που ιονίζουν την ατμόσφαιρα και προκαλούν πολική απορρόφηση ραδιοκυμάτων.

Μη παροδικό πληθυσμό συνιστούν τα σωματίδια ενέργειας 1 keV - 102 MeV που εγκλωβίζονται από το γήινο μαγνητικό πεδίο σε απόσταση 1-5 $R_\oplus$ (ζώνες ακτινοβολίας ή ζώνες Van Allen). Η πρόσληψη σωματίων από την κοσμική ακτινοβολία, την εξωτερική μαγνητόσφαιρα ή τη γεωμαγνητική δραστηριότητα και η απώλειά μέρους αυτών αντικατοπτρίζουν τη δυναμική συμπεριφορά των ζωνών Van Allen.

Πηγές:

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

Όχι, δεν είμαστε όλοι καταδικασμένοι από μια αντιστροφή των πόλων

Από το άρθρο της N. Drake, 31/1/2018, National Geographic

Πολλές φορές κατά τη διάρκεια της ιστορίας του πλανήτη μας, οι μαγνητικοί του πόλοι έχουν αντιστραφεί. Στο διαδίκτυο κυκλοφορούν καταστροφολογίες αναφορικά με ένα τέτοιο γεγονός: οι όγκοι θα αυξάνονται ανεξέλεγκτα, δορυφόροι θα πέφτουν από τον ουρανό και η ζωή στη Γη θα εξαλειφθεί.

Η αλήθεια είναι ότι η ζωή στη Γη θα είναι διαφορετική από ότι είναι σήμερα σε πολλές χιλιάδες χρόνια από τώρα. Θα οφείλεται όμως αυτό στην αντιστροφή των πόλων της Γης; Όλοι πρόκειται να πεθάνουμε. Αλλά όχι απαραίτητα όταν θα συμβεί ή θα αρχίσει να συμβαίνει η αντιστροφή των πόλων της Γης.

Τι είναι όμως η αντιστροφή των πόλων; Εάν η ιστορία της Γης επαναλαμβάνεται, οι μαγνητικοί πόλοι της Γης αναμένεται να αλλάξουν θέση. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο δεν μπορούμε να το αποκλείσουμε. Στηριζόμενοι στα μαγνητικά «αποτυπώματα» στα αρχαία πετρώματα, ξέρουμε ότι τα τελευταία 20 εκατ. χρόνια, ο μαγνητικός Βορράς και Νότος αντιστρέφονταν κάθε 200.000 με 300.000 χρόνια, με το ρυθμό αυτό να μην είναι σταθερός. Η τελευταία από αυτές τις αντιστροφές έγινε πριν από περίπου 780.000 χρόνια, παρόλο που οι πόλοι μετατοπίζονταν ελαφρώς μεταξύ των αντιστροφών.

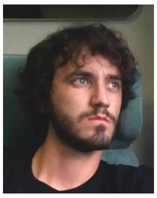
Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι οι προηγούμενες αντιστροφές πόλων έλαβαν χώρα σχετικά αργά, σε διαστήματα της τάξης των χιλιάδων χρόνων. Η βραδεία αλλαγή των πόλων είναι καλή και κακή συνάμα. Μας δίνει χρόνο να προετοιμαστούμε και να κάνουμε το καλύτερο δυνατό προκειμένου να αντιμετωπίσουμε τις επιπτώσεις. Δεν θα ξυπνήσουμε, λοιπόν, κάποιο πρωί και ξαφνικά θα διαπιστώσουμε ότι το smartphone μας νομίζει ότι το χωριό του Αι Βασίλη βρίσκεται στο νότιο ημισφαίριο. Από την άλλη, είναι κάτι κακό γιατί το μαγνητικό πεδίο του πλανήτη μας, μας προασπίζει από την καταστρεπτική ηλιακή και κοσμική ακτινοβολία. Έτσι μία παρατεταμένη αντιστροφή που θα συνεπάγεται την ελάττωση της έντασης του μαγνητικού πεδίου της Γης, θα την αφήνει ελαφρώς λιγότερο προστατευμένη από όσο θα επιθυμούσαμε. Αυτό σημαίνει ότι τα πάντα στον πλανήτη θα είναι εκτεθειμένα σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας κάτι που θα προκαλούσε αύξηση των καρκίνων, θα επηρέαζε ευαίσθητα διαστημικά οχήματα και ηλεκτρικά δίκτυα στη Γη.

Το μόνο σημαντικό φαινόμενο που θα παρατηρηθεί σίγουρα με την οριστικοποίηση της αντιστροφής των πόλων είναι ότι η πυξίδα θα δείχνει ότι ο Βορράς βρίσκεται στην Ανταρκτική. Μια άλλη σημαντική συνέπεια είναι ότι τα ζώα τα οποία προσανατολίζονται με τη βοήθεια του μαγνητικού πεδίου της Γης, όπως τα πουλιά, οι σολομοί και οι θαλάσσιες χελώνες, θα χάνονται κατά τη διάρκεια των ταξιδιών που έχουν ήδη συνηθίσει. Αλλά θα συνηθίσουν και αυτά, η ζωή θα συνεχιστεί και η καταστροφή του κόσμου δεν θα επέλθει.

Αυτό που μπορούμε να πούμε είναι ότι το μόνο κέρδος που θα έχουμε από ένα πιο ασθενές μαγνητικό πεδίο της Γης είναι ότι το Βόρειο Σέλας θα φαίνεται και από περιοχές μικρότερου γεωγραφικού πλάτους και έτσι τα βράδια μας θα είναι πιο όμορφα.

Μαρία Κατσικίνη
Αναπλ. Καθ. Τμήματος Φυσικής

μαγνητικά νανοσωματίδια στην υπηρεσία της ιατρικής



Μίλαν Τσομπάνογλου
Φοιτητής
Τμήματος Φυσικής

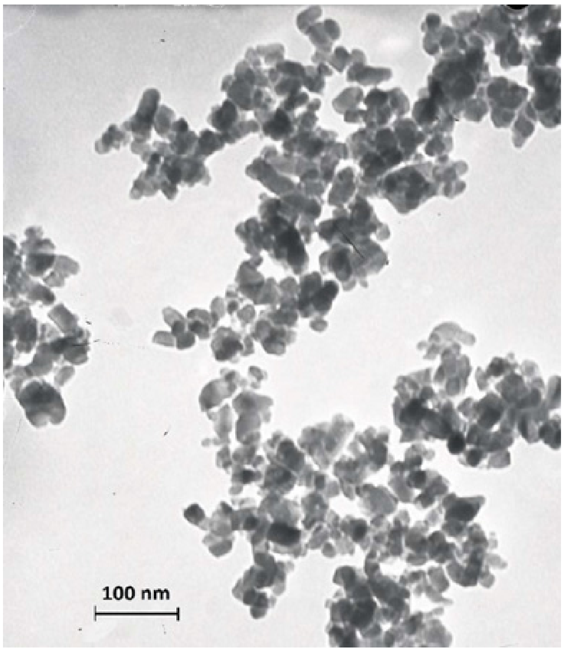
Τα νανοσωματίδια αξιοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές και αποτελούν αντικείμενο έρευνας περίπου από τα μέσα του εικοστού αιώνα μέχρι και σήμερα. Πρόκειται για σωματίδια με διαστάσεις της τάξεως των νανομέτρων (10^{-9} m). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι βιοϊατρικές εφαρμογές των νανοσωματιδίων με μαγνητικές ιδιότητες, καθώς προσφέρουν ακριβείς διαγνώσεις, αλλά και εναλλακτικές θεραπείες σε ασθένειες αυξημένου επιπολασμού και συχνά παρατηρούνται επιπλέον οφέλη συγκριτικά με τις συμβατικές θεραπείες.

Τα μαγνητικά νανοσωματίδια παρασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετούν την εκάστοτε εφαρμογή τους. Αρχικά, η επιλογή της μεθόδου σύνθεσης είναι κρίσιμης σημασίας για την καταλληλότητα των σωματιδίων. Ο διαθέσιμος εξοπλισμός, τα αποθέματα σε αντιδραστήρια, το επιθυμητό μέγεθος, η στατιστική διασπορά του, η αποδοτικότητα σε πλήθος των νανοσωματιδίων που συντίθενται, ακόμα και το κόστος, είναι παράμετροι που διαφέρουν στις μεθόδους σύνθεσης μεταξύ τους και λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή τους. Εν τέλει, τα αντιδραστήρια και οι πρόδρομες ουσίες καθώς και η ποσόστωσή τους φαίνεται να είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος των σωματιδίων κατά τη σύνθεση. Συχνά, μετά την επιτυχή σύνθεση των σωματιδίων απαιτείται φυγοκέντριση του διαλύματος ή και αποξήρανση των σωματιδίων για την ολοκληρωτική απομάκρυνση του διαλύτη ώστε να βρίσκονται σε μορφή σκόνης. Προκειμένου να αποφανθεί ο ερευνητής πως τα νανοσωματίδια που συντέθηκαν είναι τα επιθυμητά ακολουθείται μια διαδικασία για το χαρακτηρισμό τους.

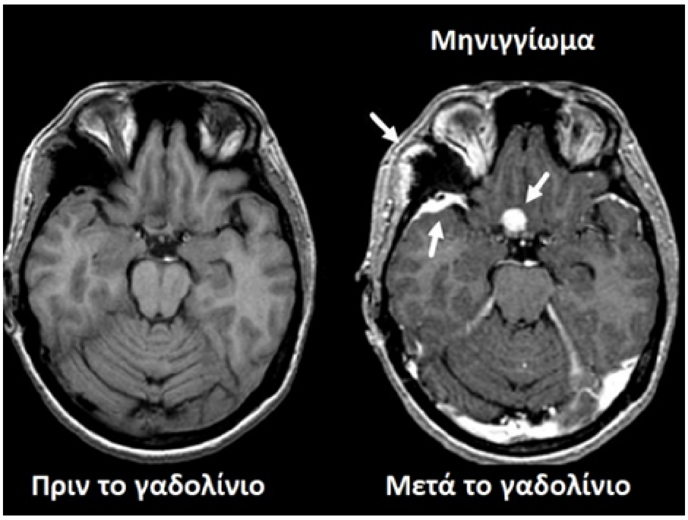
Ο μορφολογικός και δομικός τους χαρακτηρισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί με τις μεθόδους της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας (π.χ. διερχόμενης δέσμης TEM ή σάρωσης SEM) και της περίθλασης ακτίνων-Χ XRD. Η ηλεκτρονική μικροσκοπία (Σχ. 1), προσφέρει μια πρώτη εικόνα της όψης των σωματιδίων, δηλαδή του σχήματος και του μεγέθους τους. Επιπροσθέτως, δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης της διασποράς στις διαμέτρους των νανοσωματιδίων με τη στατιστική καταγραφή τους από τις εικόνες TEM/SEM. Συνεχίζοντας, με την περίθλαση ακτίνων-Χ λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την κρυσταλλικότητα αλλά και τη χημική σύσταση των σωματιδίων ώστε να γίνει έλεγχος για το κατά πόσο η σύνθεση αφορούσε τα επιθυμητά σωματίδια δηλαδή, το αν συντέθηκαν αυτά που είχαν προγραμματιστεί και όχι κάποια παρεμφερή με διαφορετικές ιδιότητες.

Δεδομένου πως αναφερόμαστε σε μαγνητικά νανοσωματίδια κρίνεται απαραίτητος και ο μαγνητικός τους χαρακτηρισμός. Με την εισαγωγή των δειγμάτων σε μαγνητόμετρα σχηματίζεται ο βρόχος υστέρησης των σωματιδίων, ένα γράφημα της μαγνήτισης που παρουσιάζει το υλικό συναρτήσει του μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζεται για τη λήψη της εκάστοτε μέτρησης στην καμπύλη του διαγράμματος. Με γνώμονα το γράφημα, μελετώνται τα μαγνητικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων και προκύπτουν πληροφορίες για μεγέθη όπως η παραμένουσα μαγνήτιση, το συνεκτικό πεδίο και η μαγνήτιση κόρου.

Μια ιατρική τεχνική που λίγο ή πολύ είναι γνώριμη σε όλους είναι η μαγνητική τομογραφία, ένα σημαντικό εργαλείο για την έγκυρη διάγνωση ασθενειών. Η αρχή λειτουργίας της αφορά την έκθεση του ασθενή σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο, προκαλώντας με αυτό τον τρόπο τον προσανατολισμό των πυρήνων υδρογόνου στο σώμα του, παράλληλα με το μαγνητικό πεδίο. Στην συνέχεια (σε συνδυασμό με εφαρμογή ραδιοσυχνοτήτων) προκύπτει σήμα που μετατρέπεται με τη βοήθεια αλγορίθμου υπολογιστή, σε μια εικόνα με διαφορετικές διαβαθμίσεις άσπρου και



Σχήμα 1: Απεικόνιση νανοσωματιδίων με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (TEM).



Σχ. 2: Απεικόνιση με μαγνητική τομογραφία (MRI) πριν και μετά την προσθήκη σκιαγραφικής ουσίας.

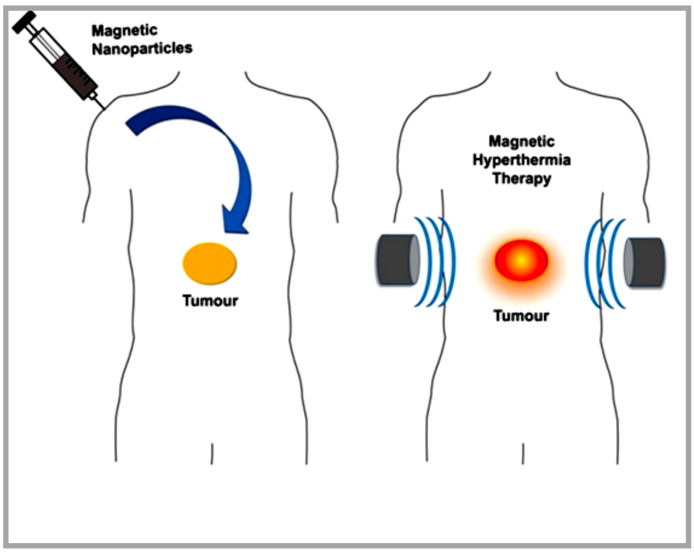
μαύρου. Έτσι συντίθεται η εικόνα της περιοχής του σώματος που εικάζεται πως παρουσιάζει πρόβλημα, βάσει της οποίας πραγματοποιείται η διάγνωση.

Μαγνητικά νανοσωματίδια είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ως σκιαγραφικές ουσίες κάνοντας πιο ευκρινείς τους προβληματικούς ιστούς. Η εισαγωγή των ουσιών στο σώμα γίνεται είτε με την ενδοφλέβια έκχυσή τους ή με στοματική χορήγηση (Σχ. 2). Είθισται να χρησιμοποιούνται σκιαγραφικές ουσίες με βάση το σιδηρομαγνητικό γαδολίνιο.

Οι μαγνητικές ιδιότητες των σωματιδίων τα καθιστούν πολύ χρήσιμα σε εφαρμογές που αφορούν τον διαχωρισμό συστατικών και αποτελούν σπουδαίο εργαλείο στην έρευνα και στην παρασκευή φαρμακευτικών σκευασμάτων. Στην περίπτωση που επιχειρείται η αφαίρεση μαγνητικών συστατικών από ένα διάλυμα, η εφαρμογή ενός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου είναι εφικτό να τα απομακρύνει εύκολα. Όσον αφορά τα μη μαγνητικά, ενδεχομένως βιολογικά υλικά, τότε μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική της μαγνητικής σήμανσης όπου μαγνητικά νανοσωματίδια επικαλύπτονται με μεμβράνες που προσκολλώνται επιλεκτικά στα μη μαγνητικά υλικά. Κατόπιν, η εφαρμογή μαγνητικού πεδίου επιτρέπει τον χειρισμό τους.

Η νανοτεχνολογία και η επιστήμη υλικών φαίνεται να δίνει αξιόλογες προτάσεις και για την καταπολέμηση του καρκίνου. Η μαγνητική υπερθερμία αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη, εναλλακτική τεχνική καταπολέμησής του, με την αξιοποίηση των μαγνητικών ιδιοτήτων των σωματιδίων. Η εισαγωγή τους στο ανθρώπινο σώμα πραγματοποιείται ενέσιμα (Σχ. 3) θέτοντας στο επίκεντρο τον καρκινικό όγκο ή σημεία με εύκολη πρόσβαση σε αυτόν. Η εφαρμογή ενός εναλλασσόμενου, εξωτερικού μαγνητικού πεδίου προκαλεί τη σταδιακή θέρμανση των σωματιδίων και η επαγόμενη άνοδος της θερμοκρασίας αποδυναμώνει τα καρκινικά κύτταρα ή οδηγεί ακόμα και σε κυτταρική απόπτωση (νέκρωση των κυττάρων). Τα καρκινικά κύτταρα είναι πιο ευπαθή στη θερμική καταπόνηση από ότι τα υγιή κάτι που καθιστά τα αντικαρκινικά φάρμακα περισσότερο αποτελεσματικά σε μικρότερες δόσεις, με ελάχιστες παράπλευρες ζημιές στους υγιείς ιστούς από την υψηλή θερμοκρασία. Συνεπώς, η μαγνητική υπερθερμία εφαρμόζεται συνδυαστικά με τις ήδη υπάρχουσες τεχνικές αντιμετώπισης (χημειοθεραπεία, ραδιοθεραπεία, χειρουργική επέμβαση), αμβλύνοντας παράλληλα τις πιθανές παρενέργειες και ελαχιστοποιώντας την ταλαιπωρία του ασθενή. Στο πλαίσιο αυτό, τα νανοσωματίδια επικαλύπτονται με οργανικές ή και μη οργανικές μεμβράνες, αφενός για την επικόλληση σε αυτές αντικαρκινικών φαρμάκων, ώστε να υπάρχει ταυτόχρονη συνεργατική δράση υπερθερμίας-φαρμάκου και αφετέρου για την μετρίαση της τοξικότητάς τους και προστασία από πιθανή οξείδωση. Η διανομή φαρμάκου κατ' αυτόν τον τρόπο εφαρμόζεται και γενικότερα σε περιπτώσεις πέραν των περιστατικών εκδήλωσης καρκίνου, όπου τα σωματίδια κατευθύνονται με τη βοήθεια μαγνητικών πεδίων στο σώμα έως ότου έρθουν σε εγγύτητα με τους ιστούς που νοσούν και απελευθερώσουν το φάρμακο.

Στο τμήμα μας πραγματοποιείται έρευνα πάνω στα μαγνητικά νανοσωματίδια και τη μαγνητική υπερθερμία με ελπιδοφόρα αποτελέσματα για την καταπολέμηση του καρκίνου.



Σχήμα 3: Μαγνητική υπερθερμία

Πηγές:

- *Wu W., et. al. 2015, "Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications", Science and Technology of Advanced Materials, 16(2), 023501.*
- *Pankhurst Q., A., et. al., 2009, "Progress in applications of magnetic nanoparticles in biomedicine", Journal of Physics D: Applied Physics, 42(22), 224001.*
- *M. Iranmanesh, J. Hulliger, 2017, "Magnetic separation: its application in mining, waste purification, medicine biochemistry and chemistry", The Royal Society Of Chemistry, 46, 5925-5934*
- *Magnetic Particle hyperthermia, M. Angelakeris, 2019, Book Chapter in 21st Century Nanoscience, A handbook, (10 volumes), Taylor & Francis, in press*
- *K. Simeonidis et al., 2016, "A versatile large-scale and green process for synthesizing magnetic nanoparticles with tunable magnetic hyperthermia features", RSC Adv., 6, 53107-53117.*

υλικά τριβής στο σύστημα πέδησης του αυτοκινήτου

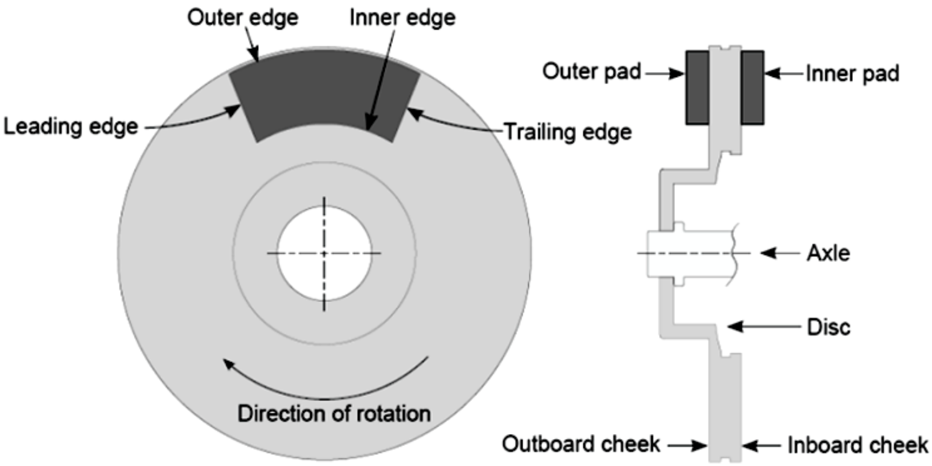
Μαυρίδου Καλλιόπη
Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια
Τμήματος Φυσικής

Ένα όχημα χρειάζεται ένα σύστημα φρένων ώστε να προσαρμόζει την ταχύτητά του στις συνθήκες οδικής κυκλοφορίας [1]. Το σύστημα πέδησης ενός αυτοκινήτου επιτρέπει στον οδηγό να μειώνει την ταχύτητα του οχήματος, να το ακινητοποιεί σε κατάλληλη απόσταση και χρόνο και να το κρατά σταματημένο ανεξάρτητα από την κλίση του δρόμου.

Το σύστημα πέδησης (Σχ. 1) ενός αυτοκινήτου αναπτύχθηκε τον 19ο αιώνα και εξελίσσεται μέχρι σήμερα. Τα πρώτα φρένα που χρησιμοποιήθηκαν έως το 1950 περίπου ήταν μηχανικά και για την ενεργοποίηση τους γινόταν η χρήση συρματόσχοινων [2]. Στις μέρες μας, το μόνο σύστημα που λειτουργεί μηχανικά είναι το χειρόφρενο στο οποίο χρησιμοποιούνται σιαγόνες που διαστέλλονται από το εσωτερικό ενός τυμπάνου (ταμπούρο). Το 1926 έγινε στην Ευρώπη η πρώτη απόπειρα χρήσης υδραυλικών φρένων, τα οποία έχουν πάρα πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα μηχανικά φρένα. Είναι αθόρυβα, έχουν ελαστικότητα, αυτό-λιπαίνονται και εξασφαλίζουν την ομοιόμορφη κατανομή της ενέργειας πεδήσεως και στις δύο πλευρές του αυτοκινήτου. Τα μέρη που καθιστούν την πέδηση εφαρμόσιμη, είναι τα μέσα τριβής. Οι σιαγόνες και τα τακάκια είναι τέτοιου είδους εξαρτήματα, τα οποία ασκούν πίεση προς το ταμπούρο ή το δίσκο φρένου, αντίστοιχα.

Λόγω του μεγαλύτερου κόστους κατασκευής και της μη αποδοτικότητας των δισκοφρένων σε σχέση με τα ταμπούρα, η χρήση τους έγινε πιο διαδεδομένη μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Τα δύο βασικά στοιχεία τους είναι: α) ένας επίπεδος ρότορας (δίσκος), ο οποίος είναι τοποθετημένος εντός και επί του τροχού του οχήματος και συνεπώς περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα με τον τροχό [3] και β) ο μηχανισμός σύσφιξης (δαγκάνα), ο οποίος είναι ακίνητος και επικαλύπτει μέρος της επιφάνειας του δίσκου. Στο εσωτερικό του βρίσκεται ένα ζευγάρι υλικών τριβής (πλακίδια ή τακάκια). Όταν ο οδηγός πατήσει το πεντάλ του φρένου, τα πλακίδια πιέζονται πάνω στο δίσκο και επιβραδύνουν τον τροχό.

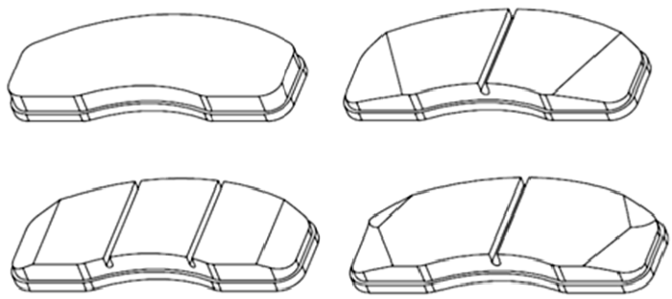
Η δύναμη της τριβής μεταξύ των μέσων τριβής (Σχ. 2) και των δίσκων επιβραδύνει το αυτοκίνητο, έτσι ώστε να μετατραπεί η κινητική ενέργεια σε θερμότητα, η οποία διαχέεται στον αέρα γύρω από τα φρένα [2]. Ο χρόνος που απαιτείται για να ακινητοποιήσει το αυτοκίνητο ένας οδηγός, εξαρτάται από τον χρόνο αντίδρασης του, που είναι συνήθως 0,4 - 0,7 s, καθώς και από τον χρόνο που χρειάζονται τα φρένα για να σταματήσουν το αυτοκίνητο. Κατά τον χρόνο αντίδρασης του οδηγού το αυτοκίνητο καλύπτει μία απόσταση που ονομάζεται απόσταση αντίδρασης ή νεκρός χρόνος.



Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος πέδησης ενός αυτοκινήτου [3].

Η αποτελεσματικότητα των μέσων τριβής εξαρτάται από την ποιότητα και τη σωστή σύνθεση των υλικών τους [4]. Τα υλικά των μέσων τριβής πρέπει να διατηρούν σταθερή την τιμή του συντελεστή τριβής σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Τα βασικά συστατικά τους κατηγοριοποιούνται σε πρόσθετα τριβής, συνδετικά υλικά, ενισχυτικά και πληρωτικά. Τα συνδετικά υλικά συγκρατούν όλα τα συστατικά μαζί δημιουργώντας μία θερμικά ευσταθή μήτρα [5]. Για αυτό το σκοπό επιλέγονται οι φαινολικές ρητίνες λόγω της αντοχής τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Για την βελτιωμένη επίδοση της τριβής και την ενίσχυσής της γίνεται χρήση μεταλλικών και γυάλινων ινών ή/και ανθρακονημάτων ως ινών ενίσχυσης. Συνήθη πληρωτικά υλικά αποτελούν ο βερμικουλίτης, η μίκα και το σουλφίδιο του βαρίου. Η χρήση τους είναι απαραίτητη για την επεξεργασιμότητα των υλικών και την μείωση του κόστους. Τέλος, τα πρόσθετα τριβής καθορίζουν τις ιδιότητες της τριβής και ελέγχουν την καθολική συμπεριφορά του υλικού [6]. Οι δύο γενικές κατηγορίες αυτών είναι τα αποξεστικά (μεταλλικά οξείδια, πυριτίδια), τα οποία αυξάνουν τον συντελεστή τριβής, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και ο βαθμός της φθοράς, και τα στερεά λιπαντικά (γραφίτης, μεταλλικά σουλφίδια) τα οποία σταθεροποιούν τον συντελεστή τριβής σε μία ευρεία περιοχή μηχανικής καταπόνησης και περιβαλλοντικών συνθηκών.

Η υπερθέρμανση των φρένων μπορεί να προκαλέσει την προσωρινή μείωση της αποτελεσματικότητας τους [2]. Η θερμότητα μπορεί να δημιουργήσει προσωρινές αλλαγές στην συμπεριφορά των υλικών τριβής με αποτέλεσμα τα φρένα να χάνουν την αποτελεσματικότητα τους όσο θερμαίνονται. Πιο συγκεκριμένα, σε υψηλές θερμοκρασίες παρατηρείται αποδόμηση των υλικών τριβής που οφείλεται στην αποσύνθεση των φαινολικών ρητινών [7]. Μία άλλη σημαντική πτυχή που επηρεάζει την τριβολογική συμπεριφορά της επαφής ολίσθησης μεταξύ του δίσκου και των υλικών τριβής είναι η παγίδευση θραυσμάτων στη διεπιφάνεια (Σχ. 3). Η πτώση της αποτελεσματικότητας του συστήματος πέδησης μπορεί να προέλθει ακόμη από τον σχηματισμό ατμών στα υγρά του υδραυλικού κυκλώματος, αν αυτά δεν αντικαθίστανται μετά το προτεινόμενο από τους κατασκευαστές χρονικό διάστημα.



Σχήμα 2: Σχηματική αναπαράσταση διαφόρων τύπων μέσων τριβής [3].

Πηγές

[1] Αλεξάνδρου Δ, Γιάννιος Γ, Καπετανάκης Γ. Σύστημα Πέδησης. Συστήματα Αυτοκινήτου II, vol. 4, n.d., p. 170–213.

[2] Νικόλαος Μπάρμπας, Χαράλαμπος Ριζόπουλος. Σύστημα Υδραυλικών φρένων αυτοκινήτου 2014.

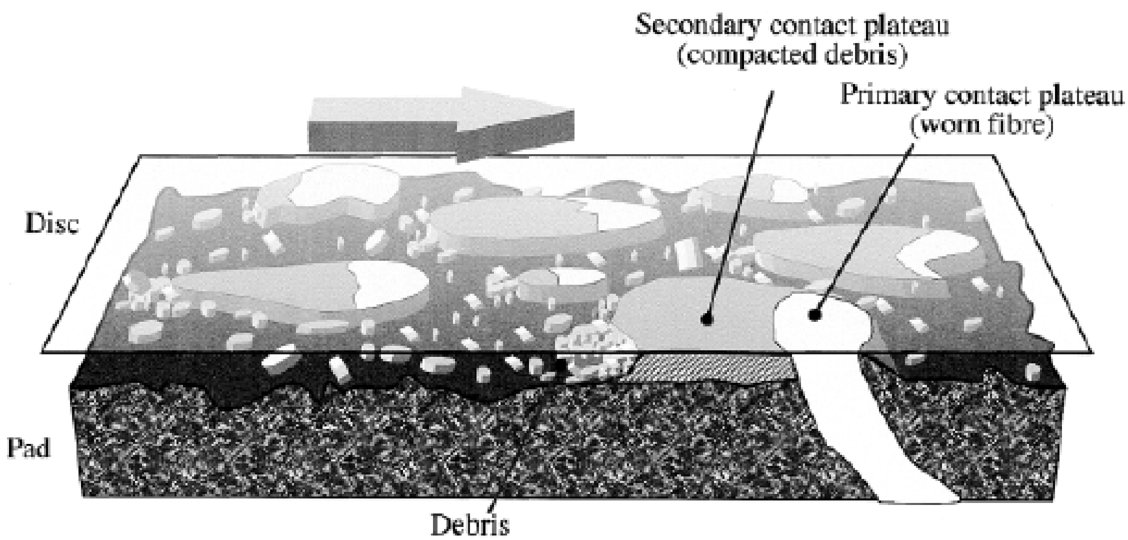
[3] Rashid A. Overview of disc brakes and related phenomena - a review. Int. J. Veh. Noise. Vib. 10, 257 (2014).

[4] Nagesh S. N., Siddaraju C., Prakash S. V., Ramesh M. R. Characterization of Brake Pads by Variation in Composition of Friction Materials. Procedia Mater. Sci. 5, 295 (2014).

[5] Xiao X., Yin Y., Bao J., Lu L., Feng X.. Review on the friction and wear of brake materials. Adv. Mech. Eng. doi: 10.1177/1687814016647300 (2016).

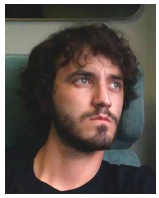
[6] Österle W., Dmitriev A. The Role of Solid Lubricants for Brake Friction Materials. Lubricants, 4, 5 (2016).

[7] Verma P. C., Ciudin R., Bonfanti A., Aswath P., Straffelini G., Gialanella S. Role of the friction layer in the high-temperature pin-on-disc study of a brake material. Wear, 346–347, 56 (2016).



Σχήμα 3: Σχηματική αναπαράσταση της επαφής μεταξύ του υλικού τριβής και του περιστρεφόμενου δίσκου. Ενδιάμεσα παρατηρούμε τα θραύσματα που δημιουργούνται και συνενώνονται [7].

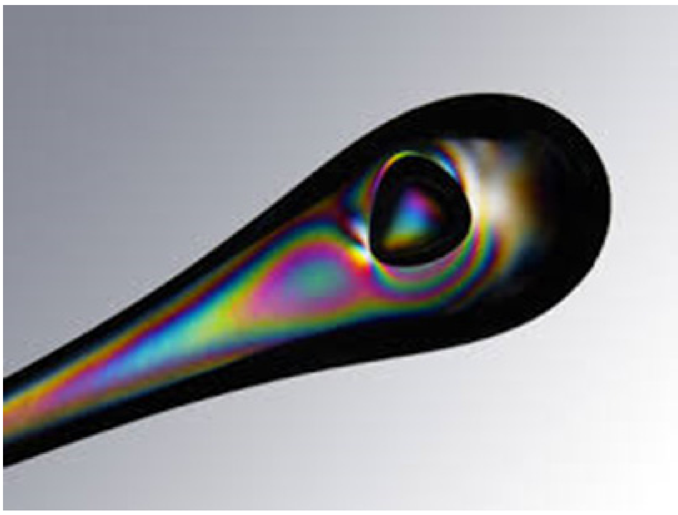
η σταγόνα του πρίγκιπα Ρούπερτ



Μίλαν Τσομπάνογλου
Φοιτητής
Τμήματος Φυσικής

Λίγο μετά τα μέσα του 17ου αιώνα, ο πρίγκιπας Ρούπερτ του Ρήνου (Prince Rupert of Rhine) έφερε στην Αγγλία γυάλινες κατασκευές με μοναδικές και παράδοξες μηχανικές ιδιότητες. Πρόκειται για γυάλινες σταγόνες, οι οποίες στη μία άκρη είχαν σφαιρική κεφαλή και στην άλλη μια λεπτεπίλεπτη ουρά (Σχ. 1). Η μελέτη των Ολλανδικών δακρύων, όπως αλλιώς ονομάζονται μαρτυρώντας την πιθανή προέλευσή τους, πραγματοποιήθηκε στην Βασιλική Εταιρεία του Λονδίνου, η οποία αποσαφήνισε ως ένα βαθμό τη φύση τους.

Οι Σταγόνες του πρίγκιπα Ρούπερτ προβλημάτισαν τους επιστήμονες της εποχής, καθώς παρουσίαζαν εκπληκτική αντοχή στη θραύση, αλλά ταυτόχρονα και μεγάλη ευθραστότητα! Το εμπρόσθιο σφαιρικό μέρος της σταγόνας είναι ικανό να αντέξει πρωτοφανείς για το υλικό του γυαλιού πιέσεις και κρούσεις. Αντίθετα, η ουρά της σταγόνας μπορεί να υποστεί θραύση ακόμα και από μέση πίεση από ανθρώπινο χέρι. Πιο παράδοξο, ακόμα και από αυτή την ετερογενή αντοχή της σταγόνας, είναι το γεγονός πως η θραύση της ουράς οδηγεί σε βίαιη εκτίναξη ολόκληρου του όγκου του γυάλινου σώματος. Κυριολεκτικά ολόκληρη η σταγόνα θρυμματίζεται σε κλάσματα δευτερολέπτου [1,2] !



Σχήμα 1: Απεικόνιση της σταγόνας Rupert από πολωτικό μικροσκόπιο.

Ο τρόπος παρασκευής των σταγόνων είναι αρκετά απλός και αυτό αποτελεί μια νύξη για τις αινιγματικές μηχανικές ιδιότητες τους. Τετηγμένο γυαλί αφήνεται να στάξει μέσα σε νερό χαμηλής θερμοκρασίας, η σταγόνα παγώνει απότομα με τη βύθισή της στο νερό και στερεοποιείται (Σχ. 2). Ήδη από το 1665, ο Ρόμπερτ Χουκ (Robert Hooke), γνωστός για το νόμο της ελαστικότητας, με το επαναστατικό του έργο Micrographia [4] κατάφερε να δώσει εξηγήσεις. Η στερεοποίηση του συνολικού όγκου ξεκινά με το πάγωμα της επιφάνειας της σταγόνας. Η πτώση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της σταγόνας του γυαλιού προκαλεί τη συστολή της και κατ' επέκταση οδηγεί στην εμφάνιση εφελκυστικών τάσεων στο εσωτερικό του γυάλινου όγκου. Ως αποτέλεσμα, τα επιφανειακά στρώματα δέχονται δυνάμεις που τα συμπιέζουν και έτσι δημιουργείται αυτή η πολύ συμπαγής και ανθεκτική κατασκευή, στην οποία οι δυνάμεις εφελκυσμού στο εσωτερικό της σταγόνας ισορροπούν με τις δυνάμεις συμπίεσης της επιφάνειας. Συχνά, ο όγκος που έχει συσταλεί αντικαθίσταται με ορατά κενά μέσα στο υλικό. Με Πολωτικό Μικροσκόπιο μπορεί να απεικονισθεί η ύπαρξη αυτών των τάσεων εντός του υλικού (Σχ. 1).

Πέρα από τη δομή της σταγόνας, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η καταστροφή της. Η θραύση της ουράς οδηγεί στην αλυσιδωτή απελευθέρωση της συσσωρευμένης δυναμικής ενέργειας κατά μήκος του σώματος της σταγόνας ξεκινώντας από το σημείο της θραύσης (Σχ. 3). Πειραματικές διατάξεις με κάμερες υψηλής ευκρίνειας και ρυθμού καρέ επιβεβαιώνουν και δίνουν επιπλέον μια καλή προσέγγιση στην ταχύτητα διάδοσης της θραύσης του γυάλινου όγκου. Η ταχύτητα αυτή προσεγγίζει την εντυπωσιακή τιμή των 1700 m/s. Η χρήση τέτοιων σύγχρονων καμερών έδωσε την ευκαιρία να διαπιστωθούν τα

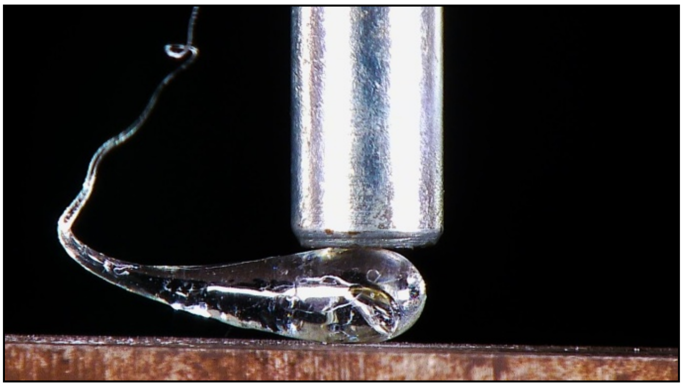
Σχήμα 2: Παρασκευή Σταγόνων Rupert από τετηγμένο γυαλί.

όρια της αντοχής της σταγόνας σε ακραίες συνθήκες. Διάφοροι χρήστες του διαδικτύου υπέβαλαν τις σταγόνες σε διάφορες δοκιμασίες σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Για παράδειγμα η πρόσκρουση σφαίρας από τυφέκιο πάνω στην επιφάνεια της σταγόνας εκ πρώτης όψεως δείχνει να την καταστρέφει, ωστόσο με μια προσεκτικότερη ματιά σε αργή κίνηση με τη βοήθεια των λήψεων φαίνεται πως η σταγόνα αντέχει την πρόσκρουση, αλλά θρυμματίζεται λόγω της καταστροφής της ουράς από τις επαγόμενες ταλαντώσεις της. Το ίδιο συμβαίνει και στα περισσότερα πειράματα κρούσεων, στα οποία η ευαισθησία της ουράς περιορίζει σημαντικά την συνολική αντοχή της σταγόνας σε ισχυρές κρούσεις. Πέραν αυτών, επιδεικνύεται εντυπωσιακή ανθεκτικότητα και σε πείραμα όπου εφαρμόστηκε πίεση στη σταγόνα με υδραυλική πρέσα (Σχ. 4). Θραύση προκλήθηκε μετά από άσκηση πίεσης βάρους 20 τόνων!

Δεν είναι απόλυτα ξεκάθαρη η προέλευση των σταγόνων του πρίγκιπα Rupert με μερικούς να υποστηρίζουν πως αρχικά κατασκευάστηκαν στην Ολλανδία, ενώ άλλοι ισχυρίζονται πως η ύπαρξή τους είναι γνωστή στους υαλουργούς ήδη από την ρωμαϊκή εποχή. Το μόνο σίγουρο είναι πως οι αναπάντεχες μηχανικές ιδιότητες αυτών των γυάλινων σταγόνων είναι απλώς ένα κομμάτι από τον εντυπωσιακό κόσμο της φυσικής των υλικών.

Πηγές

1. *Broasdley L., "Prince Rupert's Drops", Notes and Records of the Royal Society of London 41(1), 1–26 (1986).*
2. *Guillemin A., "The Forces of Nature: A Popular Introduction to the Study of Physical Phenomena", MacMillan & Co. σελ. 435 (1973).*
3. *Chaudhri M. M., "The role of residual stress in a Prince Rupert's drop of soda-lime glass undergoing a self-sustained and stable destruction/fracture wave", Physica Status Solidi A, 206(7), 1410-1413 (2009).*
4. *Robert Hooke. Micrographia: or, Some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses. London: J. Martyn and J. Allestry (1665).*
5. *SmarterEveryDay. "Mystery of Prince Rupert's Drop at 130,000 fps»", YouTube*
6. *SmarterEveryDay, "Bullet vs Prince Rupert's Drop at 150,000 fps - Smarter Every Day 165", YouTube.*
7. *Warped Perception, "Prince Rupert's Drop vs Hydraulic Press [4K - Slow Motion] (S1 E9)", YouTube.*



Σχήμα 3: (αριστερά) Μετάδοση της θραύση της Σταγόνας Rupert από την ουρά προς την κεφαλή. (επάνω) Η Σταγόνα Rupert σε υδραυλική πρέσα.

από το ΑΠΘ στη στρατόσφαιρα

Μιλτιάδης Γκιουλίδης
Φοιτητής
Τμήματος Φυσικής

Η **BEAM** [Beyond Earth Aristotle Missions] είναι φοιτητική ομάδα διαστημικής, η οποία αναλαμβάνει και υλοποιεί projects καινοτομίας και έρευνας, σχετικά με την τεχνολογία της διαστημικής και τις σύγχρονες εφαρμογές αυτής. Η ιδέα για την δημιουργία της ομάδας γεννήθηκε τον Απρίλιο του 2018 από φοιτητές του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Τμήματα όπως Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Μηχανολόγων Μηχανικών, Φυσικής, Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Εφαρμοσμένης Πληροφορικής του ΑΠΘ, και το τμήμα Digital Marketing και Διοίκησης Επιχειρήσεων του ΠΑΜΑΚ, είναι μερικά μόνο από τα τμήματα στα οποία φοιτούν τα μέλη της ομάδας. Μέλη της ομάδας, φυσικά, μπορούν να αποτελέσουν φοιτητές οποιουδήποτε επιπέδου (προπτυχιακοί, μεταπτυχιακοί, υποψήφιοι διδάκτορες) από οποιοδήποτε πανεπιστήμιο, αλλά και τελειόφοιτοι οι οποίοι έχουν όρεξη να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους σε νέες ιδέες και να τις επεκτείνουν τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο.

Οι στόχοι της ομάδας είναι:
- Η μελέτη και υλοποίηση καινοτόμων ιδεών στον τομέα της διαστημικής τεχνολογίας.
- Η απόκτηση γνώσης και εμπειρίας πάνω σε διαστημικές αποστολές, από την εκκίνηση μέχρι την τελική ολοκλήρωση τους.
- Η ενίσχυση του ενδιαφέροντος και η προώθηση του τομέα της διαστημικής στην Ελλάδα.
- Η προώθηση του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου στις σχετικές διαστημικές και όχι μόνο, υπηρεσίες.

Η ομάδα BEAM αριθμεί πλέον 30 μέλη και έχει στο ενεργητικό της ένα πετυχημένο πείραμα στην στρατόσφαιρα το 2019 με το πρόγραμμα REXUS|BEXUS και ονομάζεται SHADE [SDR Helix Antenna Deployment Experiment] και δύο ακόμη ενεργά πειράματα, το ECO WISE [Ecological COmputations With low-cost SEt-up] που επιλέχθηκε και αυτό να πετάξει στην στρατόσφαιρα με το REXUS|BEXUS το 2020, καθώς και το LIGHT [Lunar Navigation Helmet] που συμμετέχει επιτυχώς στο πρόγραμμα IGLUNA 2020.

Η ομάδα σε όλο το χρονικό διάστημα που είναι ενεργή, δέχεται τη στήριξη του Αναπληρωτή Καθηγητή Νικόλαου Κανταρτζή, του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του ΑΠΘ, ο οποίος είναι και ο υπεύθυνος καθηγητής της ομάδας, του καθηγητή Δημήτριου Μπαλή του Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ καθώς και του καθηγητή Νικόλαου Καρατζά του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΑΠΘ.

Σχήμα 1: Η ομάδα της BEAM για το πείραμα SHADE, 2019.

Το εκπαιδευτικό πρόγραμμα REXUS/BEXUS

Ο διαγωνισμός REXUS/BEXUS υποστηρίζεται από διεθνείς οργανισμούς διαστήματος όπως η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA), ο Γερμανικός Οργανισμός Διαστήματος (DLR), η Σουηδική Ομοσπονδία Διαστήματος (SSC), αλλά και εταιρείες του κλάδου όπως η ZARM και η SNSA.

Στόχος του διαγωνισμού είναι η διεκπεραίωση φοιτητικών πειραμάτων σε συνθήκες διαστήματος, τα οποία επιτυγχάνονται με την εκτόξευση, είτε ενός στρατοσφαιρικού μπαλονιού (BEXUS), είτε με την εκτόξευση πυραύλου παραβολικής τροχιάς, όπου επιτυγχάνονται συνθήκες μηδενικής βαρύτητας (REXUS). Ο διαγωνισμός εκτελείται ετησίως και μπορούν να λάβουν μέρος ομάδες από όλες τις υποστηριζόμενες από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος χώρες.

Κάθε χρόνο εκτελούνται δύο αποστολές από την κάθε πλατφόρμα εκτόξευσης, καλύπτοντας τις ανάγκες 20 ευρωπαϊκών ομάδων συνολικά, που τελικά μπορούν να διεκδικήσουν ένα εισιτήριο για τα όρια της ατμόσφαιρας. Οι πλατφόρμες διαθέτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- **BEXUS:** Τα ωφέλιμα φορτία (payloads) τοποθετούνται σε μια «γόνδολα» μεσαίου μεγέθους, η οποία εκτελεί προσεγγιστικά 5 ώρες διαστημικής πτήσης. Κάθε γόνδολα φιλοξενεί περίπου 4 πειράματα.
- **REXUS:** Ένας πύραυλος «μονού σταδίου» (single-stage rocket), προσφέρει προσεγγιστικά 3 λεπτά διαστημικής πτήσης και φιλοξενεί επίσης περίπου 4 πειράματα.

Το REXUS/BEXUS, με την μορφή την οποία έχει σήμερα, ξεκίνησε το 2007. Στις 17 Ιουνίου 2019 ξεκίνησε ο 13ος κύκλος του προγράμματος. Αξίζει να θυμηθούμε, ότι στον 3ο κύκλο του προγράμματος αυτού, το 2009, συμμετείχε μια ελληνική αποστολή η οποία έφτασε μέχρι τη δεύτερη φάση επιλογής, που δυστυχώς δεν κατάφερε να πετάξει το πείραμά της στη στρατόσφαιρα. Σχετικές πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στο 8ο Τεύχος του περιοδικού Φαινόμενο (περίοδος Δ').

Για περισσότερες πληροφορίες για το πρόγραμμα REXUS/BEXUS ακολουθήστε τους παρακάτω συνδέσμους:
http://rexusbexus.net/
https://www.facebook.com/rexusbexus/

SHADE – BEXUS CYCLE 12

Το πείραμα SHADE- SDR Helix Antenna Deployment Experiment, αποτέλεσε την πρώτη ερευνητική πρόταση που κατέθεσε η ομάδα στην επιτροπή του BEXUS. Η ιδέα κρίθηκε χρήσιμη και ενδιαφέρουσα από την επιτροπή των ειδικών, οδηγώντας στην ανακοίνωση της BEAM ως της πρώτη ομάδα στην Ελλάδα που κατάφερε να συμμετέχει και να εκπροσωπήσει το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο και τη χώρα μας στο πανευρωπαϊκό πρόγραμμα του BEXUS.

Το SHADE αφορά την τηλεπικοινωνιακή διάταξη αναδιπλούμενης ελικοειδούς κεραίας, ελεγχόμενης από αλγορίθμους Software Define Radio. Οι δυνατότητες της ελικοειδούς κεραίας και η αποδοτικότητα της είναι ιδανικές για δορυφορικές επικοινωνίες, καθώς παρέχουν ικανοποιητικό «εύρος vs κέρδος». Αυτές οι ιδιότητες σε συνδυασμό με έναν «έξυπνο» μηχανισμό αναδίπλωσης, καθιστούν τον συγκεκριμένο τηλεπικοινωνιακό σχεδιασμό ιδιαίτερα αποδοτικό από άποψη σχέσης τιμής-μεγέθους-αποδοτικότητας. Η χρήση της τεχνολογίας SDR (Software Define Radio), μειώνει την πολυπλοκότητα

Σχήμα 2: Οι ομάδες SHADE (αριστερά) και ECO WISE (δεξιά) στα selection workshops του REXUS |BEXUS το 2018 και το 2019, αντίστοιχα.

του συστήματος τόσο όσον αφορά τον υλικό σχεδιασμό (hardware), όσο και τα ρίσκα αστοχίας της λειτουργίας του, καθώς ο τηλεπικοινωνιακός σχεδιασμός πλέον τελείται μέσω λογισμικού και όχι μέσω αναλογικών μεθόδων.

Πρόσθετο, αλλά όχι λιγότερο σημαντικό χαρακτηριστικό του σχεδιασμού είναι η εκτέλεση αλγορίθμων Ground Station Tracking, που αποσκοπεί στην συνεχή παρακολούθηση της κεραίας του σταθμού βάσης, έτσι ώστε να μην χάνεται ποτέ η επικοινωνία μεταξύ «δορυφόρου» και σταθμού κατά το τροχιακό πέρασμα. Η κεραία είναι εξοπλισμένη με δύο κινητήρες, οι οποίοι δίνουν σε αυτήν δύο βαθμούς ελευθερίας. Μετρήσεις από GPS, αλτίμετρο και μαγνητόμετρο, αποτελούν εισόδους του αλγορίθμου, ο οποίος υπολογίζοντας τη σχετική θέση του σταθμού βάσης και της κεραίας, πυροδοτεί τον μηχανισμό περιστροφής της προς την υπολογιζόμενη κατεύθυνση της κεραίας βάσης.

Το πείραμα SHADE εκτοξεύθηκε τον Οκτώβρη του 2019, από το διαστημικό κέντρο Esrange της Σουηδικής Υπηρεσίας Διαστήματος, μέσω ενός στρατοσφαιρικού μπαλονιού σε ύψος 35 km, όπου και εκτέλεσε πτήση 5 ωρών. Η ομάδα κατάφερε να κλείσει το κανάλι επικοινωνίας και να λάβει επιτυχώς και να αποκωδικοποιήσει δεδομένα από την στρατόσφαιρα στον σταθμό βάσης της. Τέλος, η διάταξη που φέρει το πείραμα, αποκόπηκε και προσγειώθηκε με αλεξίπτωτο σε δάσος της Φινλανδίας, από όπου και ανακτήθηκε από προσωπικό της SSC (Σουηδική Διαστημική Υπηρεσία).

Εν κατακλείδι, η αποστολή του SHADE, ολοκληρώθηκε με επιτυχία επιτελώντας και τους τρεις στόχους της: γνώση, εμπειρία, επιστημονικό-τεχνολογικό συμπέρασμα.

ECOWISE – BEXUS CYCLE 13

Φέτος, για δεύτερη χρονιά η BEAM συμμετέχει στο πρόγραμμα REXUS|BEXUS, με το πείραμα ECOWISE (Ecological Computations With Low-cost Set-up), με σκοπό να πετάξει το πείραμά της στο στρατοσφαιρικό μπαλόνι του προγράμματος. Το πείραμα προτείνει μετρήσεις ατμοσφαιρικών αερίων όπως: διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και όζον (O_3), κάνοντας κατακόρυφη και γραμμική κατανομή αυτών κατά την πτήση του μπαλονιού.

Σκοπός είναι η δοκιμή της λειτουργίας αισθητήρων χαμηλού κόστους που χρησιμοποιούνται στο έδαφος, σε συνθήκες διαστήματος, οι οποίες θα επικρατούν κατά τη διάρκεια της πτήσης. Τέλος, πολύ σημαντική είναι η διατήρηση της λειτουργίας των αισθητήρων, κάτι που θα συμβεί με την προσαρμογή των κατάλληλων συνθηκών που απαιτούνται για τη λειτουργία τους, δηλαδή διατήρηση των κατάλληλων επιπέδων πίεσης και θερμοκρασίας μέσα στη διάταξη.

Είναι σημαντικό να διατηρηθεί χαμηλό το κόστος του πειράματος, ώστε η ιδέα αυτή να μπορεί να διαδοθεί εύκολα ανά τον κόσμο, ακόμη και με εναλλακτικές αισθητήρων για διαφορετικές μετρήσεις. Προτείνεται επίσης και η επαναχρησιμοποίηση τμημάτων του πειράματος, όποτε αυτό είναι εφικτό.

Τα δομικά μέρη του πειράματος είναι τα εξής:
- Μια αντλία που εισάγει τον αέρα στη διάταξη,
- Ένα φίλτρο υγρασίας για την αποφυγή μόλυνσης του δείγματος αέρα,
- Ένα κουτί που περιέχει τους αισθητήρες και ένα που περιέχει τα ηλεκτρονικά,
- Κάποιοι heaters ώστε να ρυθμίζουν την θερμοκρασία σε διάφορα στοιχεία ή μέρη του πειράματος,
- Αισθητήρες πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας για το συνεχή έλεγχο αυτών των παραμέτρων.

Αρχικά θα γίνει η επιλογή του ύψους που θα ξεκινήσουν οι μετρήσεις. Το πείραμα χωρίζεται σε κύκλους, όπου κάθε κύκλος αποτελείται από τρία στάδια. Χρησιμοποιούνται βαλβίδες, που με τον κα-

Σχήμα 3: Η ελικοειδής κεραία του SHADE στη στρατόσφαιρα.

Σχήμα 4: Η ομάδα του ECOWISE στο Esrange Space Center, Φεβρουάριος 2020

τάλληλο συνδυασμό, ανοίγουν και κλείνουν, διευκολύνοντας την ροή του αέρα μέσα στη διάταξη. Για την ταυτοποίηση των μετρήσεων, θα χρησιμοποιηθούν οι τιμές όζοντος κατά την πτήση, οι οποίες παρέχονται από ένα Ozonesonde της διοργάνωσης.

Φεβρουάριος 2020: Η ομάδα του ECOWISE έχει περάσει επιτυχώς την φάση επιλογής των πειραμάτων για τη συμμετοχή στο πρόγραμμα, τον Δεκέμβρη του 2019. Σήμερα, βρίσκεται στη φάση του αναλυτικού σχεδιασμού, της ανάπτυξης και της προτυποποίησης αυτού, καθώς πέρασε την φάση του Preliminary Design Review (PDR) όπου και παρουσίασε την πρόοδό της στο Esrange Space Center στην Κίρουνα, Σουηδία. Στην συνέχεια θα ακολουθήσουν οι έλεγχοι και η κατασκευή του πειράματος, με στόχο την εκτόξευσή του από το Esrange τον Οκτώβρη του 2020.

LIGHT – IGLUNA 2020

Στόχος του προγράμματος IGLUNA είναι να υποστηρίξει και να ενισχύσει την πρωτοβουλία του ESA_LAB. Η διοργανώτρια αρχή είναι η Ελβετική Διαστημική Υπηρεσία, η οποία καθοδηγεί τις φοιτητικές ομάδες, διοργανώνει τα διάφορα events και επικοινωνεί με το ευρύ κοινό για να αυξήσει την προβολή και την ευαισθητοποίηση του κοινού για το διάστημα.

Η φύση του έργου είναι να ενθαρρύνει την εκπαίδευση και ανταλλαγή μαθητών μέσω ενός διεθνούς, διεπιστημονικού και συνεργατικού project με αποστολή να επιδείξει τεχνολογίες για τη διατήρηση της ζωής σε ένα ακραίο περιβάλλον για ένα διαστημικό οικοσύστημα. Πιο συγκεκριμένα οι φοιτητικές ομάδες καλούνται να βρουν λύση σε προβλήματα και δυσκολίες που θα παρουσιαστούν στην πιθανή αποίκηση του ανθρώπου στην Σελήνη.

Ο διεπιστημονικός χαρακτήρας του έργου καλύπτει ένα πλήρες φάσμα θεμάτων, από τη σχεδίαση και την κατασκευή των κατοικιών έως τα συστήματα υποστήριξης της ζωής, την επικοινωνία και την πλοήγηση, τη διαχείριση ενέργειας, καθώς και την ανθρώπινη ευημερία και την επιστήμη.

Στο έργο, κάθε ομάδα φοιτητών αναπτύσσει καινοτόμες ιδέες κατά τη διάρκεια δύο ακαδημαϊκών εξαμήνων, οι οποίες θα προβληθούν στο Ελβετικό Μουσείο Μεταφορών VERKEHRSHAUS και στο κέντρο Pilatus από 10 έως 19 Ιουλίου 2020.

Η BEAM αποτελεί την δεύτερη ελληνική ομάδα που συμμετέχει στο πρόγραμμα IGLUNA με το project LIGHT (Lunar Navigation Helmet). Πιο αναλυτικά, η ομάδα του LIGHT καλείται να αναπτύξει μια εφαρμογή AR (Augmented Reality – Επαυξημένη Πραγματικότητα), η οποία προορίζεται για την εκπαίδευση αλλά και την επί τω έργω καθοδήγηση

του μελλοντικού αστροναύτη σε ότι αφορά την πλοήγηση του και την εξέλιξη της αποστολής του. Εφαρμόζοντας το λογισμικό στο κράνος του αστροναύτη, αυτός θα έχει πάντα την δυνατότητα να παρακολουθεί την πορεία που θα τον οδηγήσει στον σταθμό βάσης του. Η αποστολή που θα έχει αναλάβει, παραμετροποιείται και εγκαθίσταται στο λογισμικό δίνοντας τη δυνατότητα ακριβούς καθοδήγησης των κινήσεών του (ποιο εργαλείο πρέπει να χρησιμοποιήσει, πώς, πόση ώρα μπορεί να του πάρει κ.α.). Παράλληλα ένας «έξυπνος» agent παρέχει ηχητικές και οπτικές οδηγίες στον χρήστη.

Η πρακτική ολοκλήρωση του προτύπου θα γίνει με την χρήση της μάσκας επαυξημένης πραγματικότητας - Hollolens1, η οποία παρέχεται από την Microsoft. Η παρουσίαση της εφαρμογής θα λάβει χώρα τον Ιούλιο του 2020 στο Ελβετικό Μουσείο Μεταφορών (με πιθανότητα να μην συμβεί φέτος εξαιτίας των μέτρων για τον Covid-19). Κατά τη διάρκεια της παρουσίασης, οι χρήστες θα έχουν τη δυνατότητα να βιώσουν την εμπειρία εκπαίδευσης των αστροναυτών, ενώ μέσω ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος θα προβάλλονται στη μάσκα πραγματικού χρόνου δεδομένα από μετρήσεις αισθητήρων σε περιβάλλον ψύχους.

η ομάδα φοιτητών ASAT του ΑΠΘ εκτοξεύει δορυφόρο

Πριν από μερικές μέρες εγκρίθηκε η συμμετοχή του νανοδορυφόρου AcubeSAT της φοιτητικής ομάδας ASAT του ΑΠΘ στο πρόγραμμα «Fly Your Satellite!» του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA). Πρόκειται για μία από τις τρεις αποστολές που εγκρίθηκαν πανευρωπαϊκά, μέσα από μια απαιτητική διαδικασία επιλογής – ουσιαστικά, το σχεδιασμό από το μηδέν μιας κανονικής διαστημικής αποστολής.

Η ομάδα ASAT που σχεδίασε και θα υλοποιήσει το νανοδορυφόρο αποτελείται από 35 προπτυχιακούς φοιτητές του ΑΠΘ, 11 εκ των οποίων προέρχονται από το Τμήμα Φυσικής. Πρόκειται για τους:

• Ανθόπουλο Ασημάκη • Γεωργούση Μαίρη • Λίτσιου Ευδοξία • Μακρή Γρηγόριο • Μιμίκο Κυριάκο • Παρπλαπάνη Ζωή • Παυλίδη Βασίλειο • Ρετσέλη Αναστάσιο - Φαίδωνα • Στούπη Δημήτριο • Χαδόλια Μιχαήλ.

Η αποστολή του AcubeSAT είναι να μελετήσει την επίδραση του διαστημικού περιβάλλοντος σε ευκαρυωτικά κύτταρα. Εφόσον περάσει με επιτυχία όλες τις προβλεπόμενες δοκιμές, το AcubeSAT θα είναι ο πρώτος δορυφόρος που θα υλοποιηθεί εξ' ολοκλήρου στο ΑΠΘ και θα εκτοξευθεί στα τέλη του 2022 με αρχές 2023 από την πλατφόρμα του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού (ISS). Πέρα από τη συμμετοχή των φοιτητών μας στην ASAT, το τμήμα Φυσικής έπαιξε συμβουλευτικό ρόλο στην υλοποίηση αυτής της προσπάθειας. Την προσπάθεια των φοιτητών στήριξαν έμπρακτα οι συνάδελφοι του τομέα Αστροφυσικής Αστρονομίας και Μηχανικής Γιώργος Βουγιατζής και Μένιος Τσιγάνης και του τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων Χρήστος Ελευθεριάδης, Τάσος Λιόλιος και Στέλιος Στούλος.

Η δουλειά του AcubeSAT είναι οργανωμένη σε υποσυστήματα που πρέπει να συνεργαστούν όλα μαζί για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

• **Attitude Determination and Control System:** είναι υπεύθυνο για τον προσδιορισμό και τον έλεγχο του προσανατολισμού του δορυφόρου όταν βρίσκεται σε τροχιά
• **Communications:** είναι υπεύθυνο για την αποστολή και λήψη δεδομένων (επικοινωνία) με το έδαφος
• **Electrical Power:** έχει ως στόχο την παραγωγή ενέργειας και το διαμοιρασμό της στα υποσυστήματα
• **On-board computer:** είναι ο «εγκέφαλος», το κέντρο αποφάσεων του δορυφόρου
• **Science unit:** Το «επιστημονικό φορτίο» του δορυφόρου έχει ως βασικό στοιχείο ένα μικροσκόπιο και θα εξερευνήσει την επίδραση της μικροβαρύτητας και της ακτινοβολίας σε ευκαρυωτικούς οργανισμούς σε τροχιά.
• **Structural:** η ομάδα αυτή σχεδιάζει και κατασκευάζει ένα δοχείο το οποίο θα περιέχει ατμοσφαιρικό αέρα πίεσης 1 atm και θα περιέχει όλα τα εξαρτήματα του επιστημονικού φορτίου.
• **Systems engineering:** αντικείμενό του είναι η ενοποίηση όλων των υποσυστημάτων σε ένα τελικό σύστημα.
• **Thermal:** διασφαλίσει ότι η θερμοκρασία εντός του δορυφόρου θα παραμείνει σε αποδεκτά επίπεδα για την επιβίωση τόσο των ηλεκτρονικών αλλά και του επιστημονικού πειράματος
• **Trajectory:** στόχος της ομάδας είναι η επιλογή της κατάλληλης τροχιάς

asat.gr

συνέβησαν στο τμήμα

ορκωμοσίες πτυχιούχων

οι νέοι πτυχιούχοι του Τμήματος Φυσικής

την Παρασκευή 24/4/2020 απονεμήθηκαν τα πτυχία στους αποφοίτους του τμήματος. Δεν πραγματοποιήθηκε τελετή απονομής λόγω της πανδημίας του κορωνοϊού.

ADAMOU GEORGIA • ΑΛΕΞΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΑΜΠΕΡΙΑΔΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ • ΑΝΔΡΕΟΓΛΟΥ ΔΑΜΙΑΝΟΣ ΜΙΧΑΗΛ • ΓΕΝΝΕΤΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • Γ ΙΑΓΤΖΗ ΣΜΑΡΑΓΔΗ • ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ • ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΖΙΩΓΑ ΜΑΡΙΑ • ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ • ΚΑΡΑΘΥΜΙΟΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ • ΚΑΤΕΡΙΝΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ • ΚΙΚΙΡΙΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΚΙΟΥΡΤΖΙΔΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ • ΚΝΕΚΝΑ ΧΡΥΣΤΑΛΛΑ • ΚΟΥΣΙΑΝΤΑ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑ • ΚΟΥΤΡΟΥΛΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ • ΜΑΡΓΑΡΩΝΗΣ ΑΔΑΜΑΝΤΙΟΣ • ΜΑΡΟΥΦΙΔΗΣ ΑΝΔΡΕΑΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ • ΜΗΝΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ • ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ ΜΙΛΤΙΑΔΗΣ • ΜΠΟΥΓΙΟΥΚΟΓΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ • ΝΙΚΟΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ • ΠΑΝΤΕΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ • ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΙΟΣ • ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ ΑΓΗΣΙΛΑΟΣ • ΠΑΠΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΙΑ • ΠΟΥΓΑΡΙΔΟΥ ΣΟΝΙΑ • ΠΡΑΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΠΡΩΤΟΓΕΡΑΚΗ ΚΑΛΛΙΟΠΗ • ΣΙΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΣΠΗΛΙΟΠΟΥΛΟΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ • ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ • ΤΣΙΑΟΥΣΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ • ΦΑΚΗ ΕΛΕΝΗ • ΦΟΥΝΤΟΥΚΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ • ΧΑΪΔΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ • ΧΡΗΣΤΟΥ ΗΛΙΑΝΑ

** παρατίθενται μόνο τα ονόματα αυτών που συναίνεσαν*

σεμινάρια του τμήματος

Andreani Paola

European Southern Observatory, Garching Munich, Germany

Ο υπέροχος κόσμος της ALMA

Η Μεγάλη Χιλιοστομετρική/ Υποχιλιοστομετρική Διάταξη της Ατακάμα (ALMA) έχει προκαλέσει επαναστατικές αλλαγές στην άποψή μας για τον υπέροχο κόσμο μας, από τις διεργασίες σχηματισμού των αστέρων, την συμβολή τους στον σχηματισμό των πλανητών και την αστροχημεία, το ρόλο των ενεργών γαλαξιακών πυρήνων στη μορφολογία και τις φυσικές διεργασίες του διαστρικού χώρου πλησίον και υψηλότερα στους γαλαξίες που απομακρύνονται, ως τους φυσικούς μηχανισμούς οι οποίοι ενεργούν σε ευρύ φάσμα διαστρικών, περιγαλαξιακών και διαγαλαξιακών συνθηκών. Στην ομιλία αυτή παρουσιάστηκε ο τρόπος λειτουργίας του συμβολομέτρου ALMA, οι βασικές αρχές της υποχιλιοστομετρικής συμβολομετρίας και η καινοτομία της σε σχέση με τις προϋπάρχουσες διατάξεις. Στη συνέχεια συζητήθηκαν μερικά από τα πιο υπέροχα σχετικά επιστημονικά αποτελέσματα των τελευταίων ετών.

26 Φεβρουαρίου 2020

Konstantinos Fostiropoulos

Helmholtz-Zentrum Berlin fürMaterialien and Energie, Berlin, Germany

Διαστρική Σκόνη–Ποδόσφαιρο – Ηλιακή Ενέργεια»

Το σύγχρονο διήγημα του στοιχειακού Άνθρακα

Ο άνθρακας είναι το τέταρτο σε αφθονία στοιχείο στο διάστημα και το πρώτο που αναπτύσσει νανο-σωματίδια που συσσωματώνονται και έτσι σχηματίζουν την...«αστερόσκονη». Το 1985, ο κοσμοχημικός H. W. Kroto και οι συνεργάτες του, ανακάλυψαν σύμπλεγμα 60 ατόμων στο φάσμα μάζας ατμών άνθρακα και διατύπωσαν την τολμηρή υπόθεση ότι αυτό ευθύνεται για την χαρακτηριστική απορρόφηση σε μήκος κύματος 220 nm στη Μεσοαστρική Ύλη και ότιτο μόριο είναι σφαιρικό σε μορφή... «μπάλας ποδοσφαίρου». Πέντε χρόνια αργότερα, ερευνητική ομάδα της Χαϊδελβέργης πέτυχε τη σύνθεση του C_{60} σε μεγάλες ποσότητες και επιβεβαίωσε την τολμηρή «ποδοσφαιρική» θεώρηση, η οποία προκάλεσε τα επόμενα χρόνια εκπληκτική επιστημονική δραστηριότητα με περισσότερες από 1000 δημοσιεύσεις/έτος, αν και αποδείχθηκε ότι το C_{60} δυστυχώς δεν ευθυνόταν για την κορυφή στα 220 nm, όπως ήλπιζαν... Και λοιπόν! Πυρετός του ποδοσφαίρου είχε ξεσπάσει στην επιστημονική κοινότητα. Νεαροί καθώς και έμπειροι επιστήμονες, νέοι στην καρδιά, ξαφνικά μεταμορφώθηκαν σε παθιασμένους οπαδούς ποδοσφαίρου αφήνοντας το έργο τους και ακολουθώντας τα βασικά ένστικτα του παιχνιδιού. Κήρυξαν την έναρξη των C_{60} αγώνων. Δεν παρατήρησαν καν ότι το «αποτύπωμα» του καταπληκτικού C_{60} ανακαλύφθηκε στο φασματικό εύρος των λεγόμενων Διάχυτων Διαστρικών Ζωνών. Επίσης το 1985, ο Ching W. Tang και η ομάδα του στον τομέα της «ηλιακής ενέργειας» ανέπτυξαν λεπτά φωτοενεργά στρώματα από οργανικούς ημιαγωγούς για χαμηλού κόστους οργανικά φωτοβολταϊκά (ΟΦΒ), με το φωτοενεργό υλικό να είναι νανο-σύνθετο αποτελούμενο από μόρια δότη και δέκτη ηλεκτρονίων. Μετά βρέθηκε ότι το C_{60} ήταν ιδανικό για εφαρμογή ως δέκτης ηλεκτρονίων στα ΟΦΒ, εξαιτίας της εξαιρετικά υψηλής τιμής ηλεκτροσυγγένειας. Έτσι, στην αυγή της νέας χιλιετίας παρουσιάστηκαν τα πρώτα ΟΦΒ βασισμένα σε δέκτη ηλεκτρονίων C_{60} με σημαντική απόδοση η=2.5%. Αυτό προκάλεσε τα επόμενα χρόνια ιδιαίτερα γενναιόδωρη δημόσια και ιδιωτική χρηματοδότηση ύψους ενός δισεκατομμυρίου ευρώ, παγκοσμίως, για τα «Ηλιακά αθλήματα» των C_{60} Αγώνων, έτσι ώστε το 2018, το ρεκόρ απόδοσης να έχει επταπλασιασθεί στο η=17,3%.

12 Φεβρουαρίου 2020

ορκωμοσίες διδακτόρων

οι νέοι διδάκτορες του Τμήματος Φυσικής

Τη Δευτέρα 9/12/2019, τη Δευτέρα 13/1/2020 και την Πέμπτη 11/6/2020 ορκίστηκαν οι νέοι διδάκτορες του τμήματος

Διδάκτορας	Επιβλέπων	Θέμα
ΜΕΣΣΑΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	Σ. Νικολαΐδης	"Ανάπτυξη μοντέλων για προσομοίωση κυκλωμάτων σε νανομετρικές τεχνολογίες"
ΑΤΡΕΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	Α. Λιόλιος	"Μελέτη των κατανομών δευτερογενών σωματιδίων σε εκτεταμένους ατμοσφαιρικούς καταιγισμούς που προκαλούνται από κοσμικά σωματίδια υψηλών ενεργειών"
ΣΚΟΥΛΙΔΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ	Κ. Τσιγάνης	"Δυναμική εξέλιξη τεχνητών δορυφόρων και διαστημικών καταλοίπων στην περιοχή της Γης"
ΤΑΧΑ ΟΥΡΑΝΙΑ	Ι. Στούμπουλος	"Μελέτη οικονομικών μοντέλων με τη χρήση μη-γραμμικών δυναμικών συστημάτων"
ΒΟΥΔΟΥΡΗ ΚΑΛΛΙΟΠΗ-ΑΡΤΕΜΙΣ	Δ. Μπαλής	"Μελέτη των γεωμετρικών και οπτικών ιδιοτήτων των νεφών και των αιωρούμενων σωματιδίων μέσα από επίγειες και δορυφορικές μεθόδους τηλεπισκόπησης"
ΣΤΕΦΑΝΑΚΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ	Δ. Τάσσης	"Ανάπτυξη μικρομετρικών τρανζίστορ εγκαρσίου πεδίου από καρβίδιο του πυριτίου (SiC)"
ΚΩΤΟΥΛΑΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ	Ο. Καλογήρου	"Ανάπτυξη, χαρακτηρισμός και μελέτη μαγνητικών νανοσωματιδίων για τεχνολογικές και βιοϊατρικές εφαρμογές"
ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	Κ. Τουρπάλη	"Επιδράσεις δυναμικών φαινομένων μεγάλης κλίμακας στην θερινή ατμοσφαιρική κυκλοφορία του Αιγαίου"
ΣΑΜΨΩΝΙΔΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ	Χ. Πετρίδου	"Ο αναβαθμισμένος ανιχνευτής ATLAS για την αναζήτηση Νέας Φυσικής με δι-μποζονικές καταστάσεις"
ΜΑΝΙΩΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	Θ. Σαμαράς	"Αριθμητική προσομοίωση και χαρακτηρισμός διατάξεων μαγνητοθερμικής και μαγνητομηχανικής καταπόνησης της έμβιας ύλης"
ΜΥΡΟΒΑΛΗ ΕΙΡΗΝΗ	Μ. Αγγελακέρης	"Διατάξεις μαγνητικών σωματιδίων στη νανοκλίμακα: Ανάπτυξη, Ιδιότητες, Εφαρμογές"
ΑΡΤΕΜΗ ΣΤΑΜΑΤΙΑ	Χ. Πολάτογλου	"Μελέτη και ανάλυση διδακτικών προτύπων για εφαρμογή στην διδακτική πολύπλοκων συστημάτων"
ΜΠΕΤΣΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ	Α. Ιωαννίδου	"Προσδιορισμός με πυρηνικές μεθόδους της βιοσυσσώρευσης ραδιονουκλιδίων και ιχνοστοιχείων σε βρύα"

Στιγμιότυπο από την ορκωμοσία της 11ης Ιουνίου 2020 η οποία πραγματοποιήθηκε με τηλεδιάσκεψη λόγω της πανδημίας του κορωνοϊού COVID-19.

ΟΠΙΣΘΟΦΥΛΛΟ ►

Ο κομήτης C/2020 F3 εντοπίστηκε για πρώτη φορά το Μάρτιο του 2020 από το διαστημικό τηλεσκόπιο NEOWISE της NASA. Ο κομήτης έχει σχεδόν παραβολική τροχιά και έκανε την κοντινότερη προσέγγισή του στον Ήλιο στις 3 Ιουλίου. Υπολογίζεται ότι η εγγύτερη προσέγγισή του στη Γη είναι στις 23 Ιουλίου. Στη φωτογραφία φαίνεται ο κομήτης στην περιοχή των Μετεώρων. Ο κομήτης υπολογίζεται να ξαναεπισκεφτεί το ηλιακό μας σύστημα σε περίπου 7000 χρόνια.

Φωτογραφία:
Κωνσταντίνος Εμμανουηλίδης