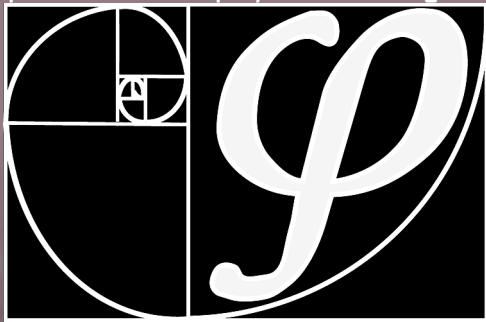




αστική θερμική νησίδα

βλέποντας τη μαύρη τρύπα

κυνηγώντας
εξωδορυφόρους

φυσική και comics

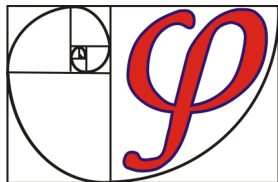
το πείραμα VIRGO

ποιος προάγει την επιστήμη;



Ο Kip Thorne
επίτιμος
διδάκτορας





φαινόμενον::::

Περίοδος Δ' · Τεύχος 30
Ιούνιος 2019

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

συντακτική ομάδα

Επιτροπή εκδόσεων, σεμιναρίων
και προβολής του Τμήματος
Φυσικής

Αναστάσιος Λιόλιος · Μαρία Κατσικίνη
· Ελένη Βίγκα · Στυλιανός Στούλος
· Χαράλαμπος Σαραφίδης · Αργύρης
Λασκαράκης · Ιωάννης Τσιαούσης
· Κωνσταντίνος Λιακάκης

—
Μαρία Κρικέλη
Δημήτριος Ευαγγελινός

στο τεύχος αυτό συνεργάστηκαν

Κωνσταντίνα Αθανασακοπούλου
(φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)

Μαρία Κρικέλη
(Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)

Αναστάσιος Λιόλιος
(καθηγητής Τμ. Φυσικής)

Ευγενία Μανωλίδου-Χατζή
(φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)

Βασίλειος Μαρουφίδης
(φοιτητής Τμ. Φυσικής)

Νικόλαος Παπαμανώλης
(Καθηγητής στη Σχολή
Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του
Πολυτεχνείου Κρήτης, απόφοιτος του
Τμ. Φυσικής)

Δάφνη Παρλιάρη
(υποψήφια διδάκτορας 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» περιέχει ύλη επηρεασμένη κυρίως από το τιμητικό γεγονός που έλαβε χώρα στο τμήμα Φυσικής ΑΠΘ, που είναι η αναγόρευση του νομπελίστα φυσικού, Kip Thorne, σε επίτιμο διδάκτορά του. Έτσι, το τεύχος περιλαμβάνει άρθρο για τα βαρυτικά κύματα και την ανίχνευσή τους, άρθρο για το Event Horizon Telescope και την οπτική απεικόνιση για πρώτη φορά μιας μαύρης τρύπας, καθώς και μια συνέντευξη που έλαβε από τον τιμηθέντα η φοιτήτρια του τμήματος Μαρία Κρικέλη. Περιλαμβάνονται επίσης άρθρα για τον εντοπισμό εξωδορυφόρων, την Αστική Θερμική Νησίδα, την κβαντομηχανική και το παράδοξο EPR και για την απαιτούμενη ποικιλία χρωμάτων σε γραφικές απεικονίσεις. Τέλος, υπάρχουν άρθρα ή αναφορές για την ανάδειξη της συνεισφοράς στην προαγωγή της επιστήμης ανθρώπων και τρόπων που ξεπερνούν την συμβατική εικόνα που έχουμε για την παραγωγή της επιστημονικής γνώσης και την πρόσληψή της από το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο (Φυσική και Κόμικς, Milton Humason, Interstellar).

Η ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

περιεχόμενα

♦ Event Horizon Telescope: βλέποντας ό,τι δεν μπορεί να ιδωθεί	1
♦ Κυνήγι εξωδορυφόρων	3
♦ Το παράδοξο EPR	7
• Το θεώρημα των τεσσάρων χρωμάτων	8
• Το πείραμα VIRGO: ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων	12
• Συνέντευξη: Kip Thorne	16
• Το πρόγραμμα LIFE ASTI	20
• Η επιρροή της φυσικής στα comics	23
• Ποιος προάγει την επιστήμη;	28
• Συνέβησαν στο Τμήμα	31



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Πίσω εσώφυλλο & σελ. 18: Photopress@Yannis Tsouflidis



πνευματικά δικαιώματα

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

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

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

Event Horizon Telescope

βλέποντας ό,τι δεν μπορεί να ιδωθεί



Νικόλαος Χατζαράκης
Απόφοιτος
Τμήματος Φυσικής

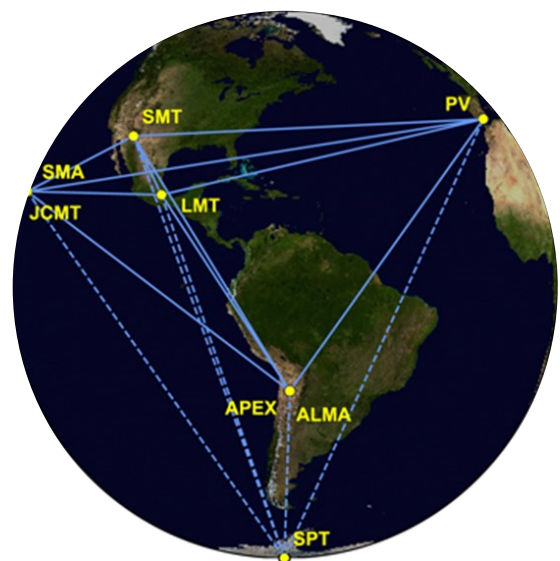
Το 1915, ο Albert Einstein παρουσίασε μία νέα θεωρία που περιγράφει τη βαρύτητα υπό το πρίσμα της καμπύλωσης του χωροχρονικού συνεχούς, και όχι ως μία δύναμη που ασκείται απευθείας πάνω στα σώματα. Συνέπεια της θεωρίας είναι ότι κάθε σώμα προκαλεί καμπύλωση στο χωρόχρονο ανάλογη της πυκνότητάς του και τα υπόλοιπα σώματα που υφίστανται την επίδρασή του κινούνται σε καμπύλες τροχιές μηδενικής επιτάχυνσης λόγω αυτής της ιδιαίτερης γεωμετρίας. Λίγους μήνες αργότερα, ο Karl Schwarzschild παρουσίασε μία πολύ απλή, στάσιμη και σφαιρικά συμμετρική λύση που προκύπτει από τη θεωρία αυτή, στην οποία η καμπύλωση του χωροχρόνου γύρω από ένα κεντρικό σημείο (π.χ. έναν αστέρα) είναι τόσο μεγάλη που ένα σφαιρικό μέρος του χωροχρόνου διαχωρίζεται από τον υπόλοιπο. Αυτή ήταν η δεύτερη αναφορά σε μία μαύρη τρύπα.

Η πρώτη, όσο παράξενο κι αν ακουστεί, προκύπτει από την αλληλογραφία του John Michell με τον Henry Cavendish το 1783. Σε αυτήν, ο Michell υπολόγισε την ελάχιστη μάζα, M , που απαιτείται να έχει ένας αστέρας έτσι ώστε η ταχύτητα διαφυγής από το βαρυτικό του πεδίο, $v_{\text{esc}} = \sqrt{2GM/r}$, να ξεπερνά την ταχύτητα του φωτός, έτσι που ακόμη και το φως που εκπέμπει αυτός ο αστέρας να μην μπορεί να διαφύγει. Στην πραγματικότητα, η λύση του Schwarzschild, καθώς και οι λύσεις των Reissner-Nördstrom, Kerr και Kerr-Newman που ακολούθησαν, δεν ανταποκρίνονται ακριβώς στους «σκοτεινούς αστέρες» του Michell, έχουν όμως πολλά κοινά στοιχεία με αυτές.

Ας θεωρήσουμε δύο παρατηρητές, έναν ακίνητο μακριά από μία μαύρη τρύπα και έναν κινούμενο που την πλησιάζει ακτινικά· οι δυο τους επικοινωνούν με την εκπομπή φωτεινών σημάτων. Καθώς ο δεύτερος πλησιάζει τη μαύρη τρύπα, τα σήματα που στέλνει στον πρώτο καθυστερούν και μετατοπίζονται προς το ερυθρό λόγω της έντονης καμπύλωσης του χωροχρόνου. Τη στιγμή που ο δεύτερος φτάνει σε απόσταση $r=2GM/c^2$ από το κέντρο (τη σημειακή μαύρη τρύπα), ο πρώτος παύει πλέον να λαμβάνει σήματα από αυτόν. Το τελευταίο σήμα που εκπέμπεται τη στιγμή εκείνη, μετατοπίζεται προς το ερυθρό τόσο που το μήκος κύμα-

τος τείνει στο άπειρο και ο πρώτος παρατηρητής δεν μπορεί να το λάβει. Όλα τα υπόλοιπα σήματα που στέλνει ο δεύτερος (όντας πλέον σε μικρότερη απόσταση) δεν φεύγουν ποτέ πέρα από το όριο $r=2GM/c^2$. Το όριο αυτό σηματοδοτεί την αποκοπή του χωροχρόνου γύρω από τη μαύρη τρύπα από το χωρόχρονο μακριά από αυτήν. Για τον πρώτο παρατηρητή, ο δεύτερος έχει χαθεί φτάνοντας στο όριο αυτό, ενώ ο δεύτερος συνεχίζει κανονικά την πορεία του έχοντας περάσει το όριο. Κάθε συμβάν στο εσωτερικό της σφαίρας με ακτίνα $r=2GM/c^2$, γίνεται αντιληπτό από το δεύτερο παρατηρητή, δεν υφίσταται όμως για τον πρώτο, καθώς αυτός ποτέ δεν θα λάβει πληροφορία για το αν έχει συμβεί ή όχι.

Η σφαίρα αυτή, που εσωκλείει τη μαύρη τρύπα, δηλαδή το σύνολο όλων των γεγονότων που έχουν συμβεί για τους εσωτερικούς παρατηρητές αλλά είναι άγνωστα στους εξωτερικούς, ονομάζεται **ορίζοντας γεγονότων**. Πάνω σε αυτόν λαμβάνουν χώρα τα τελευταία γεγονότα που γίνονται αντιληπτά και από τους δύο. Η ακτίνα αυτής της σφαίρας ονομάζεται **ακτίνα Schwarzschild**, και είναι ανά-



Οι θέσεις των συμμετεχόντων τηλεσκοπίων του Τηλεσκοπίου Event Horizon (ΕΗΤ), στόχος του οποίου είναι η απεικόνιση, για πρώτη φορά, της σκιάς της υπερμεγέθους μαύρης τρύπας στο κέντρο του Γαλαξία, καθώς και η μελέτη των ιδιοτήτων της προσαύξησης και της εκροής γύρω από το Γαλαξιακό Κέντρο.

λογη της μάζας του σώματος (αστέρα) που θα προκαλούσε την αντίστοιχη καμπύλωση του χωροχρόνου και άρα τις αντίστοιχες κινήσεις άλλων σωμάτων γύρω από αυτό.

Λόγω των παραπάνω, οποιαδήποτε προσπάθεια να δούμε μία μαύρη τρύπα είναι καταδικασμένη να αποτύχει, καθώς δεν υπάρχει τίποτα να «δούμε», κανένα φωτόνιο δεν διαφεύγει από αυτήν για να φτάσει στους ανιχνευτές μας. Οι μέχρι τώρα παρατηρήσεις μελανών οπών ήταν έμμεσες και αφορούσαν τις κινήσεις άλλων ορατών σωμάτων (π.χ. αστερών ή νεφών αερίου) κοντά σε μία «καθ' υποψία» μαύρη τρύπα. Το 2016, η πρώτη παρατήρηση βαρυτικών κυμάτων από συγκρουόμενες μαύρες τρύπες –και οι υπόλοιπες δέκα που ακολούθησαν έως το Δεκέμβριο 2018– αποτέλεσε την πρώτη άμεση παρατήρηση, που προκύπτει όμως όχι από τη «θέαση» της ίδιας της μαύρης τρύπας αλλά από τις έντονες δονήσεις του χωροχρόνου γύρω από αυτήν. Ωστόσο, μία δεύτερη άμεση παρατήρηση ανοίγει περιθώρια και για «θέαση».

Ας υποθέσουμε ότι πλήθος φωτονίων πλησιάζουν μία μαύρη τρύπα. Ορισμένα από αυτά θα περάσουν τον ορίζοντα γεγονότων και θα συλληφθούν από τη μαύρη τρύπα· κάποια άλλα θα παγιδευτούν σε ασταθείς κυκλικές τροχιές πολύ κοντά ή πάνω στον ορίζοντα γεγονότων. Τα υπόλοιπα θα σκεδαστούν και θα συνεχίσουν την πορεία τους. Ανιχνεύοντας την τελευταία αυτή κατηγορία φωτονίων, μπορούμε να «δούμε» όλο το φως που πλησίασε αλλά δεν συνελήφθη από τη μαύρη τρύπα. Στο κέντρο αυτού πρέπει να μη «δούμε» όλο το φως που η μαύρη τρύπα «απορρόφησε» – κατά συνέπεια, πρέπει να δούμε τη σκιά της μαύρης τρύπας. Η σκιά αυτή πρέπει να αντιστοιχεί επακριβώς στο τελευταίο όριο που μπορούν να διαφύγουν τα φωτόνια, και άρα στον ορίζοντα γεγονότων.

Η ανίχνευση αυτών των φωτονίων και η ανακατασκευή του ορίζοντα γεγονότων μίας υπερμεγέθους μαύρης τρύπας –όπως αυτές που εικάζεται ότι υπάρχουν στα κέντρα των γαλαξιών– ήταν (και είναι) ο στόχος του Event Horizon Telescope, ενός παγκόσμιου δικτύου ραδιοτηλεσκοπίων και μιας διεθνούς συνεργασίας επιστημόνων-αναλυτών. Η ιδέα τους ήταν να συνδέσουν οκτώ ραδιοτηλεσκόπια κατανεμημένα σε ολόκληρο τον πλανήτη, τα οποία θα παρακολουθούσαν και θα συνέλλεγαν δεδομένα από τις μαύρες τρύπες στο κέντρο του γαλαξία μας και στο κέντρο του ελλειπτικού γαλαξία M87. Αυτές οι δύο μαύρες τρύπες επιλέχθηκαν



Η εικόνα που προέκυψε μετά από κατάλληλη επεξεργασία της πληροφορίας για την υπερμεγέθη μαύρη τρύπα με ορατό τον ορίζοντα γεγονότων.

γιατί ο λόγος του (εικαζόμενου) μεγέθους τους προς την απόστασή τους από εμάς αντιστοιχεί ακριβώς στην ευκρίνεια ενός ραδιοτηλεσκοπίου με ακτίνα ίση με την ακτίνα της Γης. Από το 2006 και έως το Δεκέμβριο του 2017, τα οκτώ ραδιοτηλεσκόπια συνέλλεξαν περί τα 5 petabytes δεδομένων, που αποθηκεύτηκαν σε μισό τόνο (!) σκληρούς δίσκους και μεταφέρθηκαν στο αστεροσκοπείο Haystack του Πανεπιστημίου του MIT και στο Ινστιτούτο Max Planck για Ραδιοαστρονομία, όπου φορτώθηκαν για ανάλυση σε ένα δίκτυο υπολογιστών με επεξεργαστική ισχύ 800 CPU και ταχύτητα σύνδεσης 80 Gbit/sec.

Τον Απρίλιο του 2017, και τα 8 τηλεσκόπια – διατάξεις τηλεσκοπιών που συναποτελούν το Event Horizon Telescope στράφηκαν προς τον γαλαξία Messier 87, έναν υπερμεγέθη ελλειπτικό γαλαξία σε απόσταση 53.5 ετών φωτός. Η εικόνα που προέκυψε για το κέντρο του, μετά από κατάλληλη επεξεργασία της πληροφορίας, έδειξε κάτι που αντιστοιχεί σε μια υπερμεγέθη μαύρη τρύπα με ορατό τον ορίζοντα γεγονότων της.

Για την ανάλυσή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι πλέον σύγχρονες τεχνικές ανάλυσης και απεικόνισης, ακόμη και αυτές της εικονικής πραγματικότητας. Το αποτέλεσμα ήταν όντως εκπληκτικό, με τη σκιά της μαύρης τρύπας στο κέντρο του M87 να δημοσιεύεται στις 10 Απριλίου 2019, επιβεβαιώνοντας για ακόμη μία φορά τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και βάζοντας έναν ακόμη υψηλότερο πήχη στις τεχνολογικές απαιτήσεις των παρατηρήσεων και της ανάλυσης δεδομένων στην Ραδιοαστρονομία.

Αξιζει να σημειώσουμε ότι από την εικόνα που είδαμε, μπορεί κανείς να μετρήσει (κυριολεκτικά με το χάρακα) την ακτίνα Schwarzschild της μαύρης τρύπας και να εξάγει ενδογενώς τη μάζα της (περίπου 6.5 εκατομμύρια φορές η μάζα του Ήλιου), επιβεβαιώνοντας και τις μέχρι τώρα εκτιμήσεις. Μπορούμε ακόμη να επιβεβαιώσουμε τον άξονα περιστροφής της (περίπου 17° από το επίπεδο παρατήρησης) και τη φορά περιστροφής της (δεξιόστροφη) από την ασυμμετρία στο φως πάνω και κάτω από αυτήν.

Πηγή:

“First M87 Event Horizon Telescope Results. The Shadow of the Supermassive Black Hole”, The Event Horizon Telescope Collaboration.

κυνήγι εξωδορυφόρων



**Κωνσταντίνα
Αθανασακοπούλου**
Φοιτήτρια
Τμήματος Φυσικής

Ενας πλανήτης εκτός του Ηλιακού Συστήματος ονομάζεται εξωπλανήτης. Λίγο περισσότερο από έναν αιώνα πριν (1992), πραγματοποιήθηκε η σπουδαία ανακάλυψη του πρώτου εξωπλανήτη, ο οποίος βρίσκεται σε τροχιά γύρω από το διπλό σύστημα αστέρων νετρονίων PSR1257+12. Από τότε, ο κλάδος της Αστρονομίας που ασχολείται με τους εξωπλανήτες έχει σημειώσει ραγδαία εξέλιξη. Αρκεί μόνο να αναφερθεί ότι μέχρι σήμερα έχει επιβεβαιωθεί η ύπαρξη 3925 τέτοιων πλανητών!

Είναι γνωστό ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, οι πλανήτες «συνοδεύονται» από έναν ή και περισσότερους δορυφόρους. Οι αντίστοιχοι δορυφόροι των εξωπλανητών ονομάζονται εξωδορυφόροι. Η ανίχνευση αυτών μπορεί να αποτελέσει σπουδαία πηγή πληροφοριών κυρίως για το σχηματισμό εξωπλανητικών συστημάτων. Ένα ακόμα κίνητρο που τροφοδοτεί το κυνήγι εξωδορυφόρων, πέρα από την καθαρή περιέργεια που διακατέχει έναν επιστήμονα, είναι η υποψία ότι στην επιφάνειά τους ενδέχεται να επικρατούν ευνοϊκότερες συνθήκες για ύπαρξη και ανάπτυξη ζωής απ' ό,τι στους γίγαντες εξωπλανήτες που έχουν ήδη ανακαλυφθεί.

Η διαδικασία ανίχνευσης εξωπλανητών είναι εξαιρετικά δύσκολη λόγω κυρίως των μεγάλων αποστάσεων. Η πλειονότητα των μέχρι σήμερα ανακαλυφθέντων και επιβεβαιωμένων εξωπλανητών έχουν μέγεθος συγκρίσιμο με του Δία και του Ποσειδώνα, καθώς η τεχνολογία δεν επιτρέπει (ακόμα) την ανίχνευση πλανητών μεγέθους συγκρίσιμου ή μικρότερου της Γης. Με βάση αυτά τα δεδομένα, γίνεται άμεσα αντιληπτό, ότι η εύρεση εξωδορυφόρων,

που είναι μικρότεροι άρα και πιο αμυδροί, είναι ακόμη πιο επίπονη. Το μικρό μέγεθος των δορυφόρων αλλά και η σχετική τους θέση ως προς τον πλανήτη, καθιστούν την ανίχνευσή τους με φωτομετρικές μεθόδους αρκετά απαιτητική.

Ορισμένες από τις μεθόδους ανίχνευσης εξωδορυφόρων βασίζονται σε αντίστοιχες μεθόδους που εφαρμόζονται για την ανίχνευση εξωπλανητών.

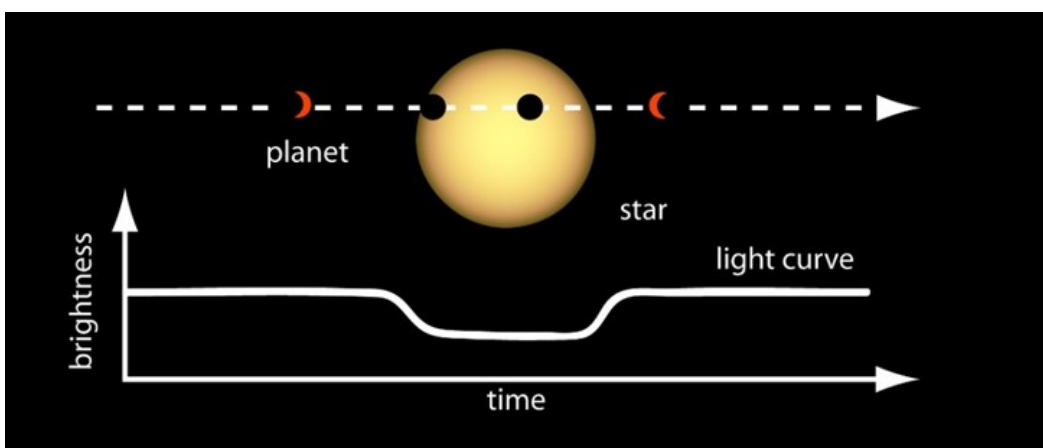
Απευθείας Απεικόνιση

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι από τις πιο δύσκολες, καθώς η μεγάλη απόσταση του αστέρα από το δικό μας σύστημα και η μικρή φωτεινότητα του δορυφόρου, που αντανakλά ένα μικρό ποσοστό του φωτός που προέρχεται από τον αστέρα, απαιτούν χρήση οργάνων με μεγάλη ευαισθησία. Επίσης, η ακτίνα της τροχιάς του δορυφόρου πρέπει να είναι τέτοια ώστε ένας αισθητήρας να μπορεί να διακρίνει τον πλανήτη και το δορυφόρο ως δύο διαφορετικά σημεία – πηγές. Η διακριτική ικανότητα του φακού του αισθητήρα πρέπει να ικανοποιεί την εξίσωση:

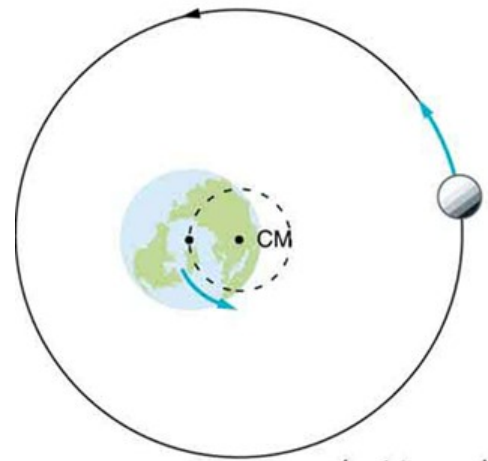
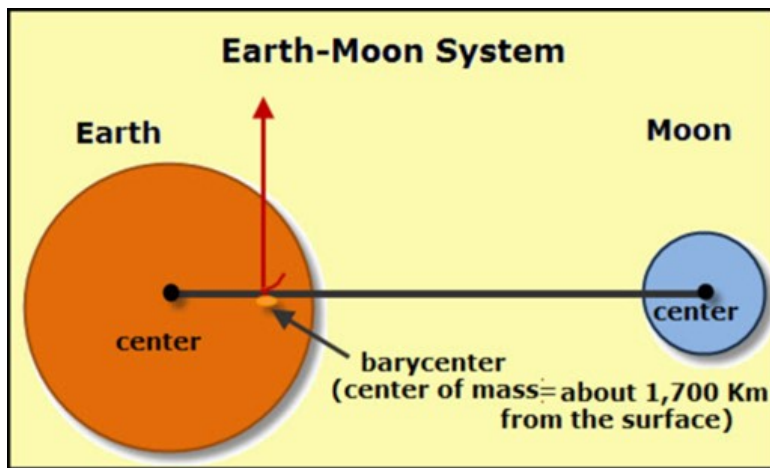
$$\omega'' = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

όπου ω'' η γωνιώδης απόσταση (διακριτική ικανότητα) των δύο ειδώλων μετρούμενη σε δεύτερα λεπτά της μοίρας, λ το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και D η διάμετρος του αντικειμενικού φακού (ή του κατόπτρου) του τηλεσκοπίου.

Η απευθείας απεικόνιση είναι ιδιαίτερα απαιτητική αφού συνήθως η λαμπρότητα, L , του εξωδορυφό-



Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση διάβασης



Σχήμα 2: Απεικόνιση του βαρύκεντρου στο σύστημα Γης – Σελήνης

ρου είναι μικρότερη από του εξωπλανήτη γιατί $R_{\text{exo-moon}} < R_{\text{exo-planet}}$, δεδομένου ότι $L=4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$ και θεωρώντας ότι τα δύο σώματα βρίσκονται στην ίδια απόσταση σε σχέση με το σημείο παρατήρησης.

Διαβάσεις

Η μέθοδος των διαβάσεων βασίζεται στην περιοδική μείωση της λαμπρότητας καθώς ο δορυφόρος διέρχεται μπροστά από τον φωτεινό δίσκο του αστέρα. Η μείωση αυτή είναι ανάλογη του τετραγώνου της ακτίνας του δορυφόρου και η μορφή της είναι ίδια με αυτή της μείωσης που παρατηρείται κατά τη διάβαση του πλανήτη όταν ο δορυφόρος βρίσκεται σε απόσταση περίπου ίση με 93% της ακτίνας Hill* του πλανήτη από αυτόν. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η μείωση ενδέχεται να οφείλεται σε φωτομετρικό θόρυβο ή αστρικές κηλίδες.

Τόροι πλάσματος

Οι τόροι πλάσματος παράγονται από ηφαιστειακή δραστηριότητα μικρών εξωδορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από γίγαντες πλανήτες, λόγω των παλιρροϊκών δυνάμεων. Εξαιτίας του φαινομένου αυτού, στο παρατηρούμενο διάγραμμα λαμπρότητας – χρόνου του αστέρα εμφανίζονται επιπλέον αυξομειώσεις καθώς οι τόροι απορροφούν στο υπεριώδες (UV).

Χρονικές Διακυμάνσεις της Διάβασης του Εξωπλανήτη

- **TTV (Transit Timing Variation):** Η βαρυτική αλληλεπίδραση ενός δορυφόρου που περιφέρεται γύρω από έναν πλανήτη μπορεί να προκαλέσει χρονικές διακυμάνσεις στην κίνηση του πλανήτη. Για ένα σύστημα πλανήτη – δορυφόρου, η κίνηση πραγματοποιείται γύρω από ένα κοινό κέντρο (βαρύκεντρο), το οποίο διαγράφει μια Κεπτεριανή τροχιά γύρω από το μητρικό αστέρι. Συνεπώς, η διάβαση του

πλανήτη μπροστά από τον αστέρα είτε προπορεύεται είτε έπεται της αντίστοιχης θεωρητικά προβλεπόμενης διάβασης για την περίπτωση άνευ δορυφόρου. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες πιθανές εξηγήσεις για την εμφάνιση TTV, όπως η βαρυτική αλληλεπίδραση του πλανήτη με άλλους πλανήτες του συστήματος.

Το πλάτος του TTV σήματος είναι ανάλογο του γινομένου $M_s a_s$, όπου M_s είναι η μάζα του εξωδορυφόρου και a_s είναι ο μεγάλος ημιάξονας της τροχιάς του.

- **TDV (Transit Duration Variation):** Η παρουσία δορυφόρου προκαλεί μεταβολές στην ταχύτητα του πλανήτη γύρω από τον οποίο περιφέρεται. Η TDV είναι η περιοδική μεταβολή της διάρκειας της διάβασης όπως προκύπτει από πλήθος μετρήσεων και οφείλεται στις αυξομειώσεις της ταχύτητας του πλανήτη λόγω της αλληλεπίδρασής του με τον δορυφόρο.

Το πλάτος του TDV σήματος είναι ανάλογο του $(M_s a_s)^{1/2}$. Συνεπώς, μέσω του λόγου του πλάτους των δύο σημάτων (TDV/TTV) είναι δυνατός ο υπολογισμός των μεγεθών M_s και a_s . Επιπροσθέτως, το σήμα TDV έχει διαφορά φάσης $\pi/2$ από το σήμα TTV, καθιστώντας την εξαιρετική συμπληρωματική τεχνική για την ανίχνευση εξωδορυφόρων.

Pulsar Timing

Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί για ανίχνευση δορυφόρων που βρίσκονται σε συστήματα όπου ο μητρικός αστέρας είναι ένας πάλσαρ. Κατά την περιστροφή του πάλσαρ εκπέμπεται ισχυρή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία ανιχνεύεται με τη μορφή χρονικών παλμών, η περίοδος των οποίων είναι πιο ακριβής και από ένα ατομικό ρολόι. Διαταραχές αυτής της περιόδου υποδηλώνουν την πιθανή ύπαρξη πλανητών ή ακόμα και δορυφόρων, αφού, λόγω της βαρυτικής αλληλεπίδρα-

* Η σφαίρα Hill ενός ουράνιου σώματος ορίζεται ως η περιοχή γύρω από αυτό στην οποία κυριαρχεί η βαρυτική δύναμη του σώματος έναντι άλλων δυνάμεων. Για να δημιουργηθεί ένα σύστημα πλανήτη – δορυφόρου, η τροχιά του δορυφόρου πρέπει να βρίσκεται εντός της σφαίρας Hill.

σης, ο αστέρας κινείται και γύρω από το κέντρο μάζας του συστήματος. Οι Lewis *et al.* εφάρμοσαν τη συγκεκριμένη μέθοδο για την περίπτωση του PSR B1620-26b και βρήκαν ότι εξωδορυφόροι με μάζα μεγαλύτερη του 5% της μάζας του εξωπλανήτη και απόσταση μεταξύ τους 2% της απόστασης αστέρα – πλανήτη μπορούν να ανιχνευθούν με αυτόν τον τρόπο.

Βαρυτικοί Μικροφακοί

Η μέθοδος των μικροφακών βασίζεται στο σχετικό φαινόμενο της εκτροπής των φωτεινών ακτίνων που περνούν δίπλα από μια ισχυρή βαρυτική πηγή. Έτσι, μια ισχυρή βαρυτική πηγή που παρεμβάλλεται ανάμεσα σε μια σημειακή πηγή φωτός και τον παρατηρητή, μπορεί να λειτουργήσει ως φακός, εστιάζοντας το φως της πηγής προς την κατεύθυνση του παρατηρητή προκαλώντας την εμφάνιση ενός φωτεινού δακτυλιοειδούς ειδώλου (δακτύλιος Einstein). Οι δορυφόροι, έχοντας πολύ μικρή μάζα σε σχέση με τους αστέρες, λειτουργούν ως μικροφακοί, παραμορφώνοντας ελαφρά το είδωλο του αστέρα και μετατοπίζοντάς το στην ουράνια σφαίρα. Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για εύρεση εξωδορυφόρων με διαστάσεις παρόμοιες ή και μικρότερες από αυτές της Γης.

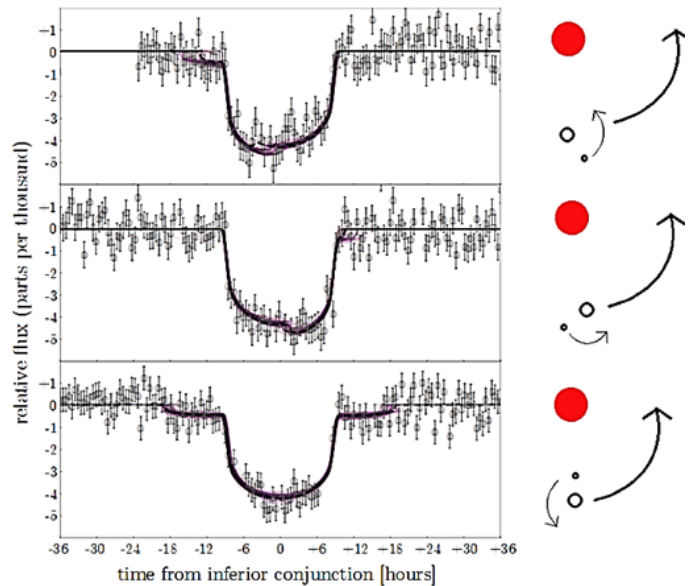
Ακτινοβολία Σύγχροτρον

Στο σύστημα Δίας – Ιώ, η κίνηση του δορυφόρου επάγει ρεύματα κατά μήκος των γραμμών πεδίου που καταλήγουν στους πόλους του πλανήτη και τα οποία με τη σειρά τους παράγουν ακτινοβολία στα ραδιοκύματα. Με βάση αυτό το φαινόμενο, οι Nogola *et al.* υποστηρίζουν ότι η ακτινοβολία σύγχροτρον μπορεί να αποτελέσει μέθοδο εντοπισμού εξωδορυφόρων γύρω από εξωπλανήτες όπως οι Epsilon Eridani b και Gliese 876b.

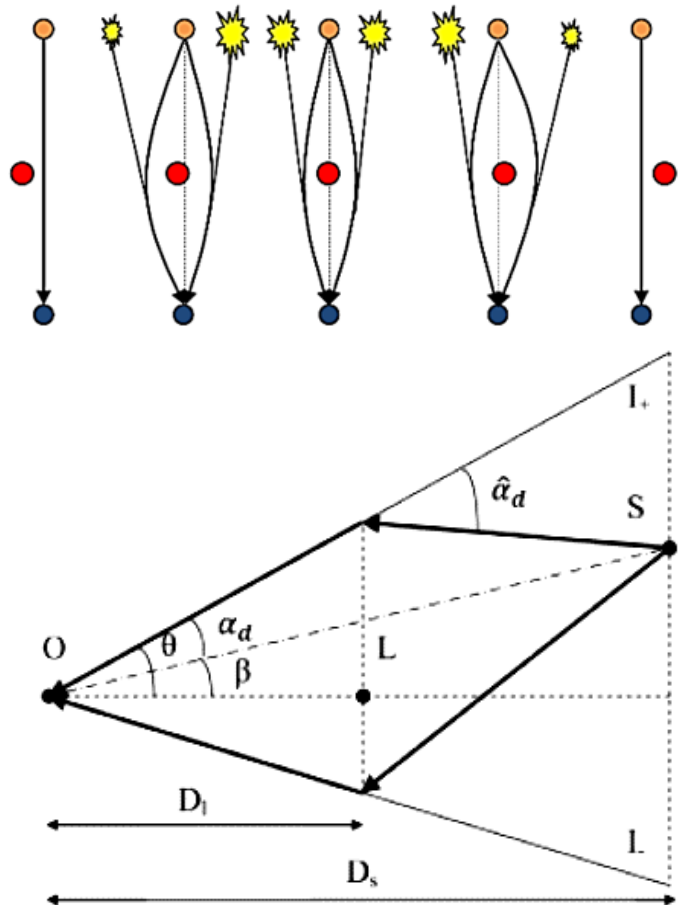
Ο ΠΡΩΤΟΣ ΕΞΩΔΟΥΡΥΦΟΡΟΣ (:) – KEPLER 1625b-i

Στις 3 Οκτωβρίου 2018, οι επιστήμονες Teachey και Kipping του Πανεπιστημίου Columbia προέβησαν σε μια σημαντική ανακοίνωση. Αναλύοντας δεδομένα από τα διαστημικά τηλεσκόπια Kepler και Hubble, ανακάλυψαν τον πρώτο πιθανό εξωδορυφόρο ο οποίος έχει μέγεθος παρόμοιο με αυτό του Ποσειδώνα και περιφέρεται σε απόσταση 3 εκατομμυρίων χιλιομέτρων γύρω από τον εξωπλανήτη Kepler-1625b που βρίσκεται 8000 έτη φωτός μακριά από τη Γη.

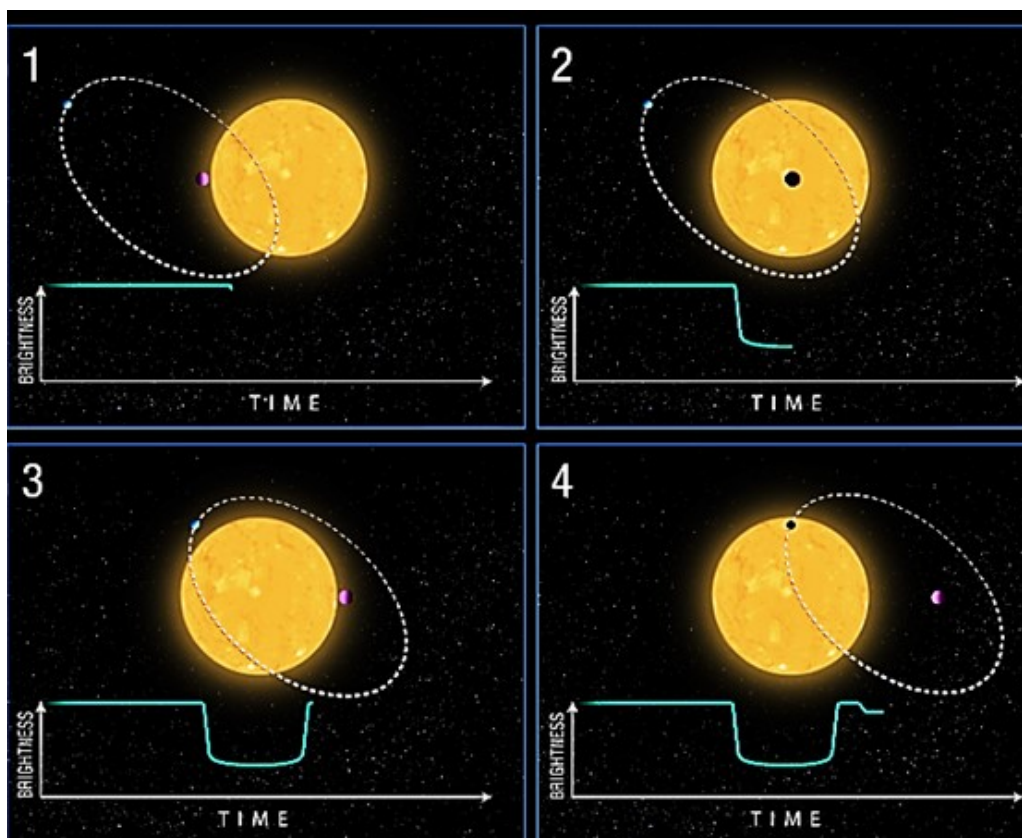
Η ομάδα των επιστημόνων, αφού απέκλεισε οποιαδήποτε άλλο ενδεχόμενο όπως ανωμαλίες των διαστημικών οργάνων παρατήρησης, αστρική δραστηριότητα ή ακόμα και πλανήτες, κατέληξε ότι το πιθανότερο σενάριο που εξηγεί όσο το δυνατόν καλύτερα τα πειραματικά δεδομένα είναι η ύπαρξη ε-



Σχήμα 3: Σχηματική αναπαράσταση της σχετικής θέσης των τριών σωμάτων στο σύστημα αστέρας-πλανήτης-δορυφόρος και η επίπτωσή της στη λαμπρότητα του αστέρα λόγω της διάβασης των δύο άλλων σωμάτων.



Σχήμα 4: Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου των βαρυτικών μικροφακών (επάνω) και γεωμετρική ερμηνεία – Το φως που προέρχεται από την πηγή S διέρχεται από τον φακό L και φτάνει στον παρατηρητή O, δημιουργώντας δύο είδωλα, τα I+ και I- (κάτω).



Σχήμα 5: Απλουστευμένη αναπαράσταση της πιθανής τροχιάς των *Kepler 1625b* και *Kepler 1625b-i* γύρω από τον μητρικό αστέρα.

νός εξωδορυφόρου. Αν το σήμα αυτό δεν οφείλεται σε έναν εξωδορυφόρο, τότε υπάρχει 0.00625% πιθανότητα να παρατηρηθεί ακριβώς το ίδιο σήμα. Συγκεκριμένα, μελέτησαν δεδομένα από 248 πλανήτες με περίοδο περιφοράς ίση με τουλάχιστον 30 μέρες και παρατήρησαν ορισμένες «ανωμαλίες» στη 19ωρη διάβαση του εξωπλανήτη *Kepler-1625b*. Ειδικότερα, δύο στοιχεία προβλημάτισαν τους ερευνητές: πρώτον, ο πλανήτης ξεκινούσε τη διάβασή του μπροστά από τον αστέρα 1.25 ώρες πιο νωρίς από την αντίστοιχη θεωρητική (ένδειξη ότι αλληλεπιδρά βαρυτικά με κάτι) και δεύτερον, παρατήρησαν μία επιπρόσθετη μείωση στη λαμπρότητα του αστέρα 3.5 ώρες μετά το πέρας της διάβασης.

Εύλογα γεννάται το ερώτημα, γιατί ένα ουράνιο σώμα με τόσο μεγάλες διαστάσεις να ονομάζεται δορυφόρος. Οι *Teachey* και *Kipping* χαρακτήρισαν αυτό το σώμα δορυφόρο –και όχι πλανήτη– καθώς η μάζα του είναι μόλις 1.5% της μάζας του πλανήτη (η αντίστοιχη αναλογία Σελήνης – Γης είναι 1.2%). Επίσης, υποστηρίζουν ότι το σώμα αυτό δημιουργήθηκε από υλικό που ήταν κατανομημένο σε έναν δίσκο γύρω από τον πλανήτη και αποτελούσε τα απομεινάρια της πλανητικής αυτής γένεσης (μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο δημιουργήθηκαν και οι γαλιλαϊκοί δορυφόροι του Δία).

Όσον αφορά την κατοικησιμότητα, παρόλο που ο *Kepler 1625b* βρίσκεται στη ζώνη κατοικησιμότητας του αστέρα, το μέγεθος του εξωδορυφόρου υποδηλώνει ότι πιθανότατα είναι ένα αέριο σώμα με

ασταθή επιφάνεια, καθιστώντας τον έναν όχι και τόσο δυνατό υποψήφιο για «φιλοξενία» ζωής. Ακόμα, το γεγονός ότι ο αστέρας έχει περίπου διπλάσια ηλικία από αυτή του Ήλιου αυξάνει την πιθανότητα η σύσταση του εξωδορυφόρου να είναι σχετικά αραιή λόγω της αυξημένης ροής αστρικής ακτινοβολίας. Μάλιστα, ορισμένα μοντέλα των δύο αστρονόμων επιτρέπουν τιμή για τη μάζα του εξωδορυφόρου ίση με αυτή της Γης.

Η σημασία των παραπάνω ευρημάτων είναι αδιαμφισβήτητη ανεκτίμητη. Ωστόσο, απαιτούνται και άλλες παρατηρήσεις για να επιβεβαιωθεί ή να καταρριφθεί το σενάριο του πρώτου εξωδορυφόρου που έχει ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα.

Πηγές:

- *S. Awiphan, Exomoons to Galactic Structure: High Precision Studies with the Microlensing and Transit Methods, Dissertation Thesis, University of Manchester (2016).*
- *D. M. Kipping, Transit Timing Effects due to an Exomoon, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 392, 1, 181 (2009).*
- *J. P. Noyola, S. Satyal, Z. E. Musielak, Detection of Exomoons Through Observation of Radio Emissions, The American Astronomical Society, 791, 1 (2014).*
- *Κ. Τσιγάνης, Χ. Βάρβογλης, Πλανητικά Συστήματα, Ηλεκτρονικές Εκδόσεις Κάλιπος, Θεσσαλονίκη, 2015.*
- <https://www.space.com/42008-first-exomoon-discovery-kepler-1625b.html>
- <https://exoplanets.nasa.gov/>



Αναστάσιος Λιόλιος

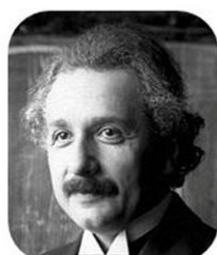
Καθηγητής
Τμήματος Φυσικής

Σύμφωνα με την κβαντομηχανική, ένα σύστημα περιγράφεται από μια κυματοσυνάρτηση η οποία περιλαμβάνει όλη την πληροφορία σχετικά με το σύστημα. Υπάρχουν συνολικές ιδιότητες του συστήματος π.χ. η ολική του ενέργεια, οι οποίες μπορούν να βρεθούν από την κυματοσυνάρτηση και οι οποίες δεν μεταβάλλονται αν το σύστημα δεν δεχθεί εξωτερικές επιδράσεις. Μέχρι εδώ συμφωνούν όλοι οι κβαντομηχανικοί, εκτός από μερικούς π.χ. ο Αϊνστάιν. Η διαφωνία του ήταν ότι η κυματοσυνάρτηση δεν περιγράφει πλήρως το σύστημα κι αυτό επειδή η κβαντομηχανική δεν είναι μία θεμελιώδης πλήρης θεωρία, αλλά μια θεωρία περιγραφική που θα μπορούσε να αναχθεί σε μια πιο βασική θεωρία στην οποία θα υπάρχει ΟΛΗ η πληροφορία για το σύστημα. Με άλλα λόγια ο Αϊνστάιν πίστευε ότι εκτός από τις παραμέτρους που περιγράφει η κυματοσυνάρτηση, υπάρχουν και άλλες «κρυμμένες παράμετροι» του συστήματος που δεν τις εμπεριέχει η κυματοσυνάρτηση.

Για να δείξει ότι η κβαντομηχανική πράγματι δεν είναι πλήρης θεωρία, πρότεινε, μαζί με τους B. Podolsky και N. Rosen, ένα «νοητικό» πείραμα που έχει κάπως έτσι. Εστω ότι το σύστημα είναι ένα σωματίδιο που έχει σπιν ίσο με μηδέν και το σωματίδιο αυτό είναι ασταθές π.χ. ένα ουδέτερο πιόνιο, το οποίο διασπάται σε δύο φωτόνια. Επειδή το σπιν του κάθε φωτονίου είναι ίσο με τη μονάδα ($1\hbar$), τα δύο φωτόνια εκπέμπονται με αντιπαράλληλα σπιν (+1 το ένα και -1 το άλλο) ώστε να διατηρείται το σπιν του συστήματος ίσο με μηδέν. Αν τώρα

αφήσω να ταξιδέψουν τα δύο φωτόνια όσο μακριά θέλουν και μετρήσω το σπιν του ενός, η πιθανότητα να πάρω +1 είναι 50% και -1 πάλι 50%. Αν όμως μετρήσω το ένα και βρω π.χ. +1, τότε η μέτρηση του άλλου θα μου δώσει υποχρεωτικά -1 δηλαδή τιμή με βεβαιότητα και όχι με πιθανότητα 50% όπως λέει η κβαντομηχανική. Αυτό είναι παράδοξο λέει ο Αϊνστάιν, διότι είναι σαν να «επικοινωνούν» τα δύο φωτόνια ακαριαία, ώστε η μέτρηση του ενός να καθορίσει το αποτέλεσμα της μέτρησης του άλλου. Η εργασία αυτή για την «κατάρριψη» της κβαντομηχανικής ως πλήρους θεωρίας έγινε το 1935 και το παράδοξο έμεινε στην ιστορία ως «παράδοξο EPR» από τα τρία ονόματα των συγγραφέων: Einstein, Podolsky, Rosen.

Εδώ τώρα έρχεται το σήμερα με μια σειρά πειραμάτων σαν αυτό που πρότεινε ο Αϊνστάιν, αλλά πραγματικών και όχι νοητικών. Το αποτέλεσμα αυτών των πειραμάτων είναι ότι επαληθεύεται η πρόβλεψη της κβαντομηχανικής κι ας είναι τόσο παράδοξο το αποτέλεσμα! Πώς γίνεται αυτό; Όταν θα το καταλάβουμε, θα έχουμε κάνει πολλά βήματα μπροστά!



A. Einstein



B. Podolsky



N. Rosen

MAY 15, 1935

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 47

Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?

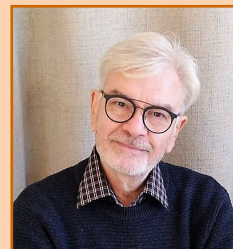
A. EINSTEIN, B. PODOLSKY AND N. ROSEN, *Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey*
(Received March 25, 1935)

In a complete theory there is an element corresponding to each element of reality. A sufficient condition for the reality of a physical quantity is the possibility of predicting it with certainty, without disturbing the system. In quantum mechanics in the case of two physical quantities described by non-commuting operators, the knowledge of one precludes the knowledge of the other. Then either (1) the description of reality given by the wave function in

quantum mechanics is not complete or (2) these two quantities cannot have simultaneous reality. Consideration of the problem of making predictions concerning a system on the basis of measurements made on another system that had previously interacted with it leads to the result that if (1) is false then (2) is also false. One is thus led to conclude that the description of reality as given by a wave function is not complete.

Η αρχή του ιστορικού paper των Einstein, Podolsky και Rosen, που δημοσιεύθηκε στο επιστημονικό περιοδικό *Physical Review* το 1935, με το οποίο έγινε προσπάθεια να αμφισβητηθεί η πληρότητα της κβαντομηχανικής. Ως επιχείρημα γι' αυτό, εισήχθη το γνωστό έκτοτε ως «Παράδοξο EPR».

το θεώρημα των τεσσάρων χρωμάτων



Νικόλαος Παπαμανώλης
Καθηγητής στη Σχολή
Αρχιτεκτόνων Μηχανικών
του Πολυτεχνείου Κρήτης
Απόφοιτος του Τμήματος
Φυσικής

Στα μαθηματικά, το θεώρημα του χάρτη των τεσσάρων χρωμάτων ή απλά θεώρημα των τεσσάρων χρωμάτων, ορίζει ότι για κάθε συνδυασμό συνεχών περιοχών σε μία επιφάνεια, απαιτούνται τέσσερα το πολύ διαφορετικά χρώματα για να χρωματίσουμε τις περιοχές ώστε αυτές που συνορεύουν να μην έχουν ίδια χρώματα.

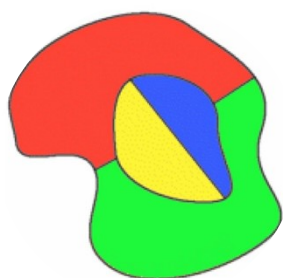
Το θεώρημα παραπέμπει ευθέως σε χάρτες και υποδεικνύει ότι σε κάθε αποτύπωση διακριτών περιοχών (κράτη, πολιτείες, περιφέρειες, νομοί κλπ.) αρκούν το πολύ 4 χρώματα για να τις χρωματίσουμε με τρόπο που να μη συγχέονται τα σύνορά τους. Για το λόγο αυτό εξάλλου, στη μαθηματική διατύπωσή του, η επιφάνεια η οποία μοιράζεται σε περιοχές ονομάζεται χάρτης (Σχήμα 1).

Η πρώτη εμφάνιση του θεωρήματος, ως υπόθεση, σημειώνεται το 1852, σε ένα γράμμα του μαθηματικού Augustus De Morgan (1806-1871) στον, επίσης μαθηματικό, συνάδελφό του, William Rowan Hamilton (1805-1865). Η συγκεκριμένη υπόθεση είχε τεθεί, ως πρόβλημα, στον De Morgan από ένα φοιτητή του, τον Frederik Guthrie, εκ μέρους του μεγαλύτερου αδελφού του Francis (γι' αυτό και στην ιστορία των μαθηματικών αναφέρεται ως πρόβλημα Guthrie).

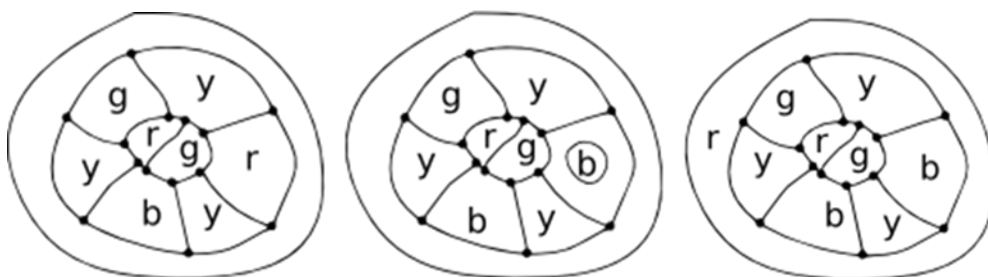
Το θεώρημα μοιάζει εκ πρώτης όψεως απλοϊκό και εύκολα επαληθεύσιμο. Ωστόσο, απασχόλησε πολλούς μαθηματικούς στην προσπάθεια απόδειξής του η οποία, τελικά, φάνηκε να είναι πολύ δύσκολη. Ο De Morgan αρχικά, στην προσπάθεια να λύσει το πρόβλημα, διαπίστωσε ότι σε κάθε χάρτη με 4 περιοχές από τις οποίες η κάθε μια είναι σε επαφή με τις υπόλοιπες τρεις, μια τουλάχιστον από αυτές περικλείεται από τις υπόλοιπες. Ωστόσο δεν μπό-

ρεσε να αποδείξει αυτήν την πρόταση και έτσι τη δέχτηκε ως αξίωμα στο οποίο στήριξε μια απόδειξή του για το πρόβλημα. Ο ίδιος, στα τέλη του 1860 σε επίσκεψή του στην Αμερική πρότεινε το πρόβλημα και την απόδειξή του σε Αμερικάνους συναδέλφους του από τους οποίους, μεταξύ άλλων, έδειξε ενδιαφέρον και ο γνωστός μαθηματικός και αστρονόμος της εποχής Benjamin Peirce (1809-1880).

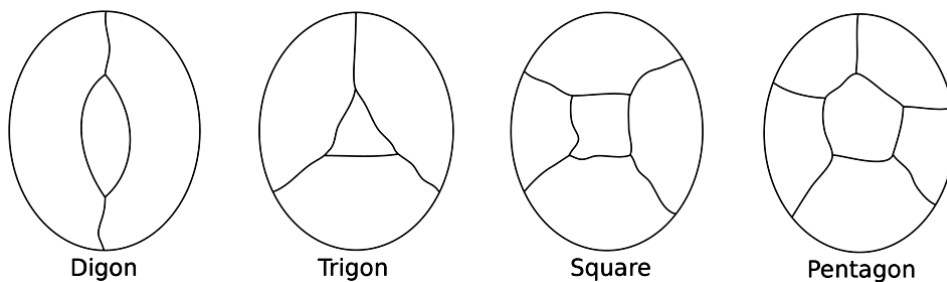
Το 1878, ο Arthur Cayley (1821-1895), σε Συνέδριο Μαθηματικών στο Λονδίνο, ρώτησε τους συναδέλφους του αν έχουν βρει λύση στο πρόβλημα. Παρόλο που από τις απαντήσεις φάνηκε ότι είχαν ασχοληθεί αρκετοί, κανένας δεν είχε να προτείνει κάτι συγκεκριμένο. Ο ίδιος, τον επόμενο χρόνο (1879), δημοσίευσε μια εργασία όπου εξηγούσε αρκετές δυσκολίες της απόδειξης και, παράλληλα, εξέταζε διαφορετικές προσεγγίσεις του προβλήματος. Διαπίστωσε για παράδειγμα ότι δεν είναι πάντοτε εφικτό σε ένα ήδη χρωματισμένο με 4 χρώματα χάρτη να προσθέσουμε μια νέα περιοχή και να τη χρωματίσουμε με ένα από αυτά, διατηρώντας τη διαφορετικότητα χρωμάτων περιοχών που συνορεύουν (Σχήμα 2). Εισήγαγε τους βασικούς τύπους οργάνωσης περιοχών και των μεταξύ τους συνόρων. Πρότεινε τους λεγόμενους κυβικούς χάρτες (δηλαδή αυτούς που οι περιοχές ανά τρεις συναντώνται σε κοινή κορυφή) ως εργαλείο που θα βοηθήσει τη λύση (Σχήμα 3). Σε μια απλούστερη εκδοχή του συνολικού προβλήματος, έδειξε ότι σε ένα χάρτη με τέσσερα χρώματα θα μπορούσαν να απαντώνται στην περίμετρό του μόνο τα τρία. Ακόμη, τρία χρώ-



Σχήμα 1: Ένας απλός χάρτης τεσσάρων χρωμάτων



Σχήμα 2: Σκαρίφημα χάρτη «σωστά» χρωματισμένου με 4 χρώματα. Ο «συνεπής» χρωματισμός και μιας συμπληρωματικής περιμετρικής περιοχής επιβάλλει την αλλαγή του χρώματος μιας περιοχής.



Σχήμα 3: Εκδοχές κυβικών χαρτών. Σε όλες τις περιπτώσεις, στις κορυφές συναντώνται τρεις συνοριακές γραμμές και τρεις περιοχές.

ματα αρκούν για να χρωματίσουν περιοχές με κοινή κορυφή ενώ, για τον χρωματισμό μιας περιοχής που θα αντικαταστήσει την κορυφή θα χρειαστεί ένα τέταρτο χρώμα (Σχήμα 4).

Οι εργασίες του Cayley προέτρεψαν ένα μεγαλύτερο αριθμό μαθηματικών να μελετήσουν και να προσπαθήσουν να λύσουν το πρόβλημα. Ευόδωση αυτών των προσπαθειών φαίνεται ότι είχαμε το 1879, όταν ο Alfred Kempe (1849-1922) δημοσίευσε εργασία με την απόδειξη λύσης του προβλήματος. Μάλιστα, την επόμενη χρονιά επανήλθε με τη δημοσίευση δύο απλούστερων αποδείξεων, στην ίδια πάντως φιλοσοφία. Παράλληλα, το 1880, και ο Peter Guthrie Tait (1831-1901), ανεξάρτητα από τον Kempe, δημοσίευσε δύο αποδείξεις του θεωρήματος προσεγγίζοντάς το από την πλευρά των κορυφών στις οποίες συναντώνται οι συνοριακές γραμμές.

Και ενώ όλοι θεωρούσαν ότι αυτό το κεφάλαιο των μαθηματικών έχει κλείσει, το 1890, ένδεκα δηλαδή χρόνια μετά, ο Percy Heawood (1861-1955) διαπίστωσε σοβαρό λάθος στη μέθοδο που ακολούθησε ο Kempe στην απόδειξη του. Και σαν να μην έφτανε αυτό, το 1891, και η απόδειξη του Tait αποδείχθηκε ανεπαρκής από τον Julius Petersen (1839-1910). Έτσι, βρεθήκαμε πάλι στην αρχή...

Είναι ωστόσο ενδιαφέρον ότι ο Kempe, στην προσπάθειά του να αποδείξει, εσφαλμένα όπως τελικά αποδείχθηκε, το θεώρημα των τεσσάρων χρωμάτων, προχώρησε αρκετά την απόδειξη του θεωρήματος των πέντε χρωμάτων. Σύμφωνα με αυτό, σε κάθε συνδυασμό συνεχών περιοχών σε ένα επίπεδο, απαιτούνται πέντε το πολύ διαφορετικά χρώματα για να τις χρωματίσουμε ώστε οι συνορεύουσες να μην έχουν ίδια χρώματα (αντίστοιχο δηλαδή αλλά υποδεέστερο από το θεώρημα των τεσσάρων χρωμάτων).

Ο Heawood, παρόλο που εντόπισε το λάθος στην απόδειξη του Kempe, δεν μπόρεσε να υποδείξει μια σωστή απόδειξη για τα τέσσερα χρώματα. Ωστόσο, επικύρωσε την απόδειξη του θεωρήματος

των πέντε χρωμάτων και, ακόμη, έκανε ένα σημαντικό βήμα στη λύση του προβλήματος μετατοπίζοντας την έρευνα από τις περιοχές στα σύνορά τους. Το 1898 απέδειξε ότι αν ο αριθμός των συνοριακών γραμμών γύρω από κάθε περιοχή (συμπεριλαμβανομένων και αυτών που καταλήγουν σε κορυφές στην περίμετρο της περιοχής) διαιρείται με το 3, τότε οι περιοχές μπορούν να χρωματιστούν με τέσσερα χρώματα.

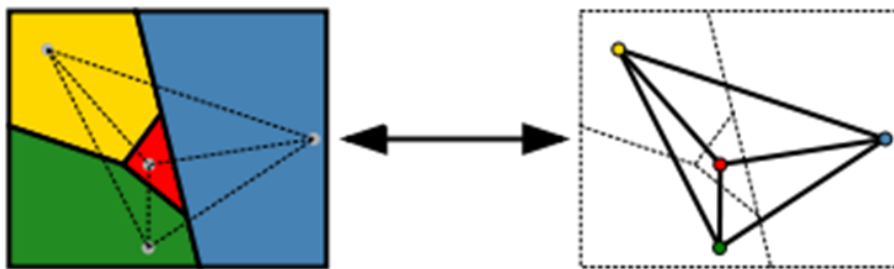
Οι προσπάθειες των μαθηματικών μέχρι το τέλος του 19^{ου} αιώνα, παρά τις πολλές αποτυχίες, ξεκαθάρισαν το τοπίο και έδειξαν το δρόμο της συνέχισης των προσπαθειών. Οι εργασίες του Tait στην περιοχή των κορυφών, το θεώρημα των πέντε χρωμάτων και οι εργασίες του Heawood στις συνοριακές γραμμές διαφάνηκε ότι θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη λύση.

Πράγματι, κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του 20^{ου} αιώνα, οι προσπάθειες των μαθηματικών για την επίλυση του προβλήματος στράφηκαν στην κατεύθυνση των συνοριακών γραμμών και των κορυφών που αυτές δημιουργούν στη συγκρότηση του χάρτη. Οι χάρτες προσομοιώνονται με γραφήματα των οποίων οι κόμβοι αντιστοιχούν σε περιοχές και οι γραμμές σε συνοριακές γραμμές. Οι χρωματισμοί, από τις επιφάνειες μεταφέρονται στους κόμβους (Σχήμα 5).

Με τέτοιου είδους εργαλεία, η μελέτη επικεντρώθηκε στην αναζήτηση βασικών συνθέσεων (ας πούμε βασικών γραφημάτων) που η εξέτασή τους θα έκρινε την εγκυρότητα του θεωρήματος. Ένας πρώτος υπολογισμός του πλήθους αυτών των συνθέσεων έδωσε ένα αποτέλεσμα μεγαλύτερο των 9.000, αριθμός εξαιρετικά μεγάλος για την εργασία που απαιτούσε. Την περίοδο περί τα τέλη της δεκαετίας του '60 και τις αρχές της δεκαετίας του '70, ο Henrich Heesch (1906-1995), ειδικός στη θεωρία των γραφημάτων, επιχείρησε να αναπτύξει μέθοδο επίλυσης του προβλήματος με τη βοήθεια υπολογιστών. Όμως, δεν ολοκλήρωσε την προσπάθειά του γιατί δεν μπόρεσε να εξασφαλίσει τον απαραίτητο



Σχήμα 4: Τρία χρώματα μπορούν να χρωματίσουν περιοχές με κοινή κορυφή. Η προσθήκη «μπαλώματος» στη θέση της κοινής κορυφής επιβάλλει χρήση και τέταρτου χρώματος.



Σχήμα 5: Παράδειγμα προσομοίωσης απλού χάρτη τεσσάρων χρωμάτων με γράφημα.

χρόνο χρήσης κάποιου από τους σπάνιους υπερυπολογιστές της εποχής. Το 1976, οι μαθηματικοί Kenneth Appel (1932 – 2013) και Wolfgang Haken (1928 -) από το πανεπιστήμιο του Ιλινόις, εφαρμόζοντας αλγόριθμους βασισμένους στις μεθόδους που ανέπτυξε ο Heesch, περιόρισαν τον αριθμό των συνθέσεων που θα έπρεπε να εξεταστούν για να κρίνουν την εγκυρότητα του θεωρήματος σε 1936 (αργότερα, σε 1476). Τις συνθέσεις αυτές τις εξέτασαν μία προς μία με τη βοήθεια υπολογιστών και διαπίστωσαν ότι σε καμία περίπτωση δεν χρειάζονται περισσότερα από τέσσερα χρώματα για να χρωματιστούν οι χάρτες που αντιπροσώπευαν. Το θεώρημα είχε αποδειχθεί.

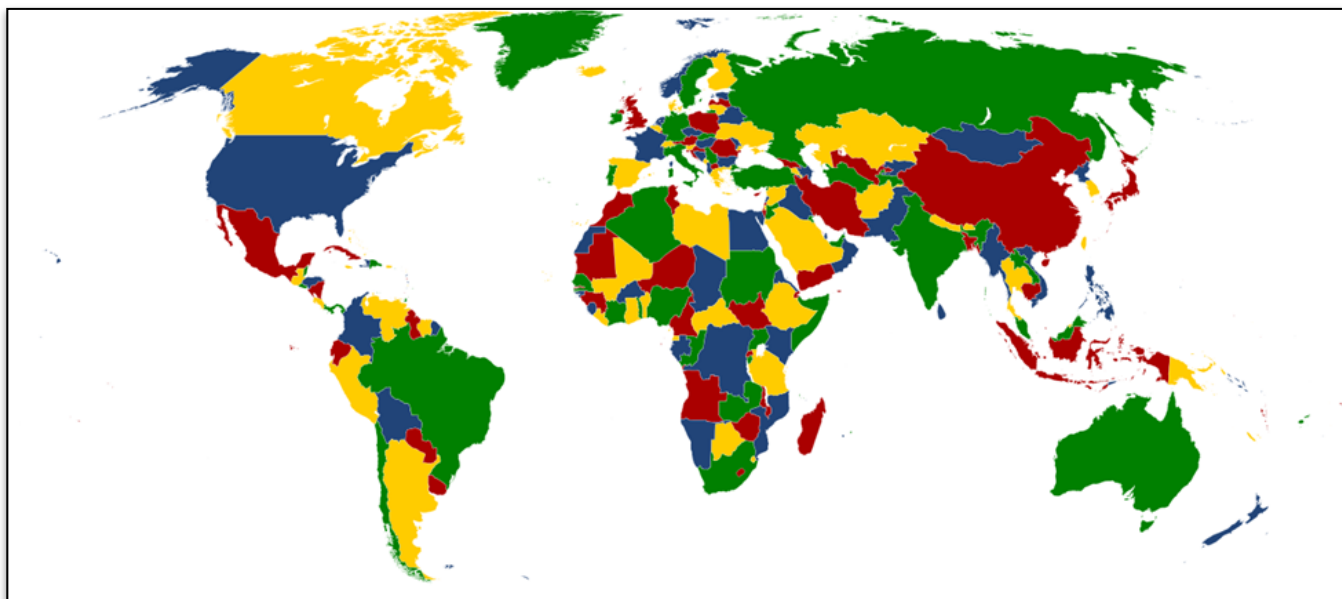
Η απόδειξη των Appel και Haken, αρχικά, δεν έγινε αποδεκτή από μερίδα μαθηματικών γιατί υποστηριζόνταν από υπολογιστές των οποίων η αξιοπιστία υποτίθεται ότι δεν μπορεί να ελεγχθεί. Μάλιστα, κάποιο λάθος που εντοπίστηκε στην απόδειξη στις αρχές της δεκαετίας του '80 δημιούργησε μια αναστάτωση στη μαθηματική κοινότητα, προσωρινά όμως γιατί σύντομα διορθώθηκε. Ωστόσο, μεταγενέστερες πιο απλές και πιο αξιόπιστες αποδείξεις, και πάλι με τη βοήθεια υπολογιστών, διέλυσαν τις αμφιβολίες.

Έτσι, από το 1976 –124 χρόνια μετά από την πρώτη του διατύπωση, ως υπόθεση– το θεώρημα των τεσσάρων χρωμάτων επιβεβαιώθηκε και αυτή

τη φορά φαίνεται ότι είναι τελείως σίδηρο. Η απόδειξη του αποτελεί ξεχωριστό παράδειγμα συγκερασμού παλαιότερων ιδεών με νεότερες ανακαλύψεις και τεχνικές σε διαφορετικούς κλάδους των μαθηματικών. Κυρίως, αποτελεί το πρώτο ιστορικά παράδειγμα σημαντικής μαθηματικής απόδειξης με τη βοήθεια υπολογιστών.

Σε αντίθεση με την αδιαμφισβήτητη επιστημονική του αξία, το θεώρημα των τεσσάρων χρωμάτων δεν φαίνεται (προς το παρόν τουλάχιστον) να βρίσκει σημαντικές πρακτικές εφαρμογές, ούτε ακόμη και στο χώρο της χαρτογράφησης που υποτίθεται ότι αφορά άμεσα. Για να το κατανοήσουμε αυτό καλύτερα, στον χάρτη του Σχήματος 6, οι χώρες είναι χρωματισμένες με τέσσερα χρώματα, σύμφωνα με το ομώνυμο θεώρημα. Πράγματι, δεν θα βρούμε σε αυτόν γειτονικές χώρες να είναι χρωματισμένες με το ίδιο χρώμα. Ωστόσο, ο χάρτης στην πραγματικότητα είναι πεντάχρωμος, με τις θάλασσες και τις λίμνες να χρησιμοποιούν το πέμπτο χρώμα (αντί για λευκό, θα μπορούσε να είναι γαλάζιο). Η παρατήρηση αυτή δεν θα έπρεπε να εκπλήσσει γιατί, απλά, το γεγονός ότι το «υγρό στοιχείο» είναι ασυνεχές στην επιφάνεια της Γης κάνει τους περισσότερους γεωγραφικούς χάρτες ακατάλληλους για εφαρμογή των τεσσάρων χρωμάτων –η χρησιμοποίηση ενός κοινού χρώματος για τις θάλασσες και τις λίμνες, θα περιόριζε στα τρία τα διαθέσιμα χρώματα για τις χώρες.

Αν θα θέλαμε αν επιμείνουμε στην εφαρμογή τεσσάρων χρωμάτων σε ένα πραγματικό χάρτη τότε θα έπρεπε είτε να χρωματίσουμε τις λίμνες με διαφορετικά χρώματα από τη θάλασσα είτε να χρησιμοποιήσουμε το κοινό χρώμα τους και σε χρωματισμούς χωρών. Και στις δύο περιπτώσεις το αποτέλεσμα θα είναι συγκεχυμένο και περίεργο (Σχήμα 7).



Σχήμα 6: Παγκόσμιος χάρτης με όλες τις χώρες χρωματισμένες με 4 χρώματα.

Και δεν είναι μόνο οι υδάτινες επιφάνειες που λόγω της φυσικής ασυνέχειάς τους εμποδίζουν την εφαρμογή του θεωρήματος. Υπάρχουν και πολλές χώρες που οι επιφανείές τους είναι ασυνεχείς. Κατ' αρχήν είναι όλες οι χώρες που έχουν στην επικράτειά τους νησιά (π.χ. Ελλάδα) αλλά και ένας αρκετά μακρύς κατάλογος χωρών που η επικράτειά τους μοιράζεται σε τμήματα που χωρίζονται μεταξύ τους από εδάφη άλλων χωρών. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε την Αλάσκα των ΗΠΑ, το Καλίνινγκραντ της Ρωσίας, το Ναχitseβάν του Αζερμπαϊτζάν, το Ντουμπρόβνικ της Κροατίας καθώς και πολλές ακόμη χώρες που, συνήθως, μικρά τμήματα της επικράτειάς τους αντιστοιχούν σε αποσπασμένα εδάφη (περίκλειστα ή όχι).

Ακόμη, συναντάμε και πιο σοβαρά προβλήματα. Πώς θα χρωματιστούν οι χώρες που δεν είναι αποδεκτές από το σύνολο της παγκόσμιας κοινότητας; Και οι χώρες αυτές δεν είναι λίγες. Ενδεικτικά: Η Σομαλιλάνδη (βρίσκεται στο Κέρας της Αφρικής) ανακηρύχτηκε το 1991 από τους κατοίκους της ως ανεξάρτητο κράτος αλλά δεν έχει αναγνωριστεί από καμία άλλη χώρα. Το ψευδοκράτος των τουρκοκύπριων αναγνωρίζεται μόνο από την Τουρκία. Η Υπερδνειστερία (βρίσκεται μεταξύ Μολδαβίας και Ουκρανίας) αναγνωρίζεται μόνο από 3 χώρες μη μέλη του ΟΗΕ. Η Βόρεια Κορέα δεν αναγνωρίζεται από 5 χώρες του ΟΗΕ. Ακόμη και το Ισραήλ. Υπάρχουν 31 χώρες του ΟΗΕ που δεν το αναγνωρίζουν. Ίδιο είναι και το πρόβλημα με τις αμφισβητούμενες, διεκδικούμενες ή και κατακτημένες περιοχές άλλων χωρών. Πώς θα χρωματίσουμε την Κριμαία (που διεκδικούν Ουκρανία και Ρωσία); τα υψώματα Γκολάν (που

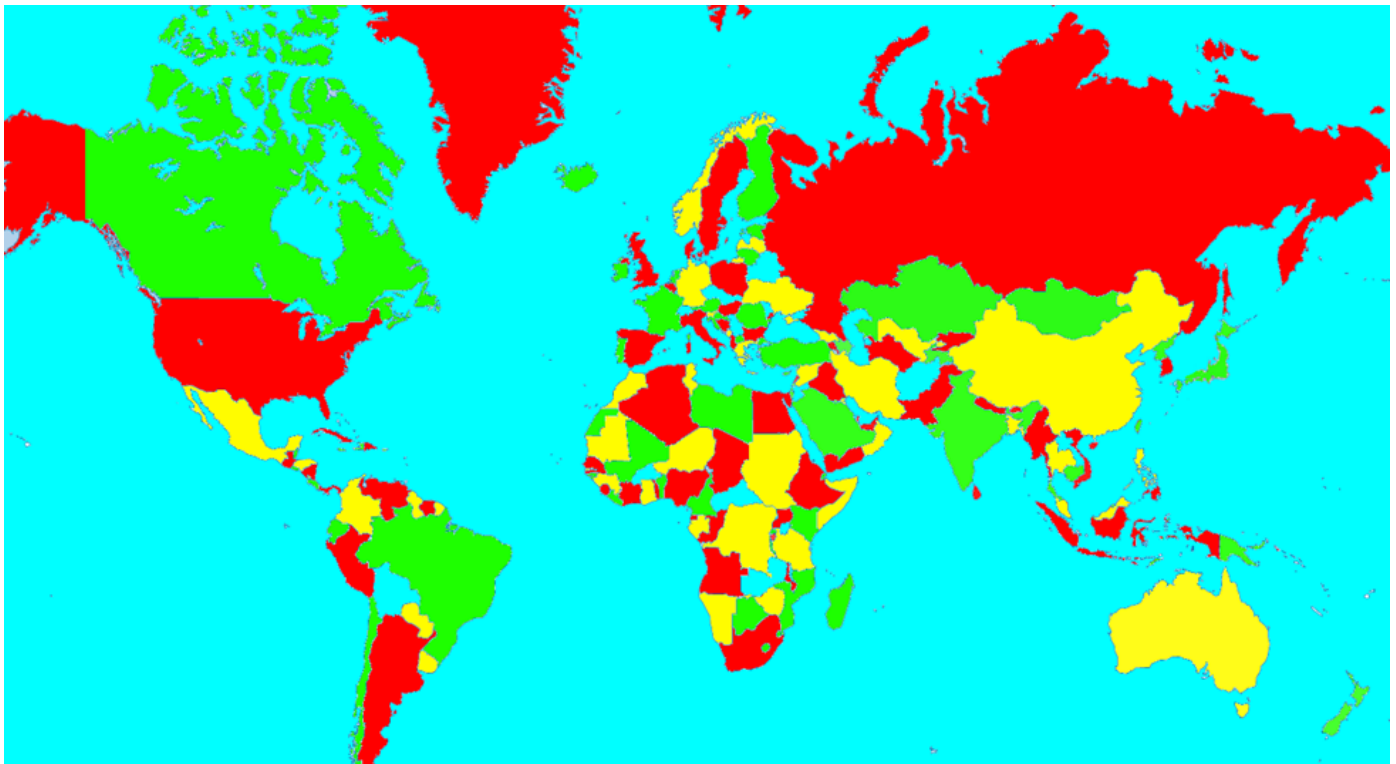
διεκδικεί η Συρία), το Κόσοβο (που διεκδικεί η Σερβία), τη Δυτική Σαχάρα (που διεκδικεί το Μαρόκο), το Ναγκόρνο-Καραμπάχ (που διεκδικεί το Αζερμπαϊτζάν) κ.ο.κ. (ο κατάλογος είναι και εδώ μακρύς). Για όλες αυτές τις περιοχές θα χρειαστούμε επί πλέον χρώματα –χρώματα αμνηχανίας θα μπορούσαμε να τα χαρακτηρίσουμε.

Και τέλος, το αδιανόητο. Υπάρχουν δύο περιοχές του πλανήτη που δεν ανήκουν πουθενά (διπλωματικός όρος, *terra nullius*). Η πρώτη είναι η Ανταρκτική, στην οποία, με βάση διεθνείς συμφωνίες από το 1959, δεν ασκεί κυριαρχία και ούτε μπορεί να διεκδικηθεί από καμία χώρα. Η δεύτερη περιοχή που δεν ανήκει πουθενά είναι το Μπιρ Ταουίλ (Bir Tawil) στα σύνορα μεταξύ Αιγύπτου και Σουδάν.

Για να επανέλθουμε λοιπόν στο θέμα μας, φαίνεται ότι η γεωγραφία του πλανήτη μας είναι υπερβολικά σύνθετη για να περιγραφεί με τέσσερα μόνο χρώματα.

Πηγές

- mathworld.wolfram.com/Four-ColorTheorem.html
- nrich.maths.org/6291
- en.wikipedia.org/wiki/Four_color_theorem
- delab.csd.auth.gr/~katsaros/FourColorsTheorem.pdf
- www.math.uoa.gr/me/dipl/dipl_souri.pdf
- zyxyvy.wordpress.com/2016/07/25/is-the-world-map-four-colorable/
- people.math.gatech.edu/~thomas/FC/fourcolor.html
- upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/World_map_colored_using_the_four_color_theorem_including_oceans.png



Σχήμα 7: Καταχρηστική εφαρμογή του θεωρήματος των τεσσάρων χρωμάτων σε παγκόσμιο χάρτη. Το γαλάζιο χρώμα της θάλασσας και των λιμνών το μοιράζονται και πολλές χώρες, όπως η Πολωνία, το Αφγανιστάν, η Βολιβία (σαν να είναι λίμνες) (Πηγή: Wikimedia).

το πείραμα VIRGO

ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων



Ευγενία Μανωλίδου-Χατζή
Φοιτήτρια
Τμήματος Φυσικής

Ο κόσμος της επιστήμης δεν παραμένει στάσιμος. Κάποιες φορές μάλιστα, η επιστημονική ανακάλυψη είναι απρόσμενη, αν και θεωρητικά αναμενόμενη. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η ανακάλυψη των βαρυτικών κυμάτων με τον εντοπισμό των οποίων ασχολείται και το πείραμα VIRGO, στο οποίο αναφέρεται το συγκεκριμένο άρθρο.

Στις 14 Σεπτεμβρίου 2015 οι ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων (LIGO-Louisiana & LIGO Washington) δέχθηκαν ένα σήμα. Χρειάστηκε ένας μήνας για την επιβεβαίωση αυτής της παρατήρησης. Τελικά η ανακάλυψη αυτή ανακοινώθηκε (11-2-2016 στην Washington) και ταυτοποιήθηκε η αιτία δημιουργίας του σήματος: η σύγκρουση δύο μελανών οπών. (Καλογερά, 2018)

Τι είναι τα βαρυτικά κύματα;

Τα βαρυτικά κύματα είναι διακυμάνσεις του χωροχρόνου που ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός. Ο γνωστός φυσικός Albert Einstein διατύπωσε για πρώτη φορά την ιδέα γύρω από την ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων ως επακόλουθο της θεωρίας του της Γενικής Σχετικότητας (1916). Για να εξετάσουμε περαιτέρω τα βαρυτικά κύματα πρέπει πρώτα να ορίσουμε την έννοια του χωροχρόνου: «ο χώρος και ο χρόνος δεν μπορούν να θεωρηθούν ξεχωριστές οντότητες. Είναι έννοιες ενδογενώς δεμένες μεταξύ τους, έτσι που μόνο ένας συνδυασμός τους μπορεί να φανεί αμετάβλητος σε παρατηρητές που βρίσκονται σε κίνηση μεταξύ τους» όπως μας δηλώνει ο Einstein (Shu, 1991). Ο χωρόχρονος είναι ακριβώς «η ενοποίηση του χώρου και του χρόνου». Επι-

προσθέτως, οι νέες σχέσεις που προέκυψαν υπέδειξαν πως η ταχύτητα του φωτός αντιπροσωπεύει ένα ανώτατο όριο ταχύτητας με την οποία μπορεί να κινηθεί κάθε υλικό σωματίδιο ή να μεταδοθεί κάθε φυσική πληροφορία οποιασδήποτε μορφής (Narlikar, 1982).

Τα βαρυτικά κύματα είναι αποτέλεσμα της βαρυτικής έλξης. Είναι διακυμάνσεις (ripples) του χωροχρόνου και δημιουργούνται μετά από μερικές από τις πιο βίαιες και δυναμικές διαδικασίες του Σύμπαντος όπως παραδείγματος χάριν η σύγκρουση δύο μελανών οπών ή δύο αστέρων νετρονίων (Caltech, 2016). Τα μαθηματικά αποδεικνύουν ότι πολύ μεγάλα αντικείμενα που βρίσκονται σε τροχιά μεταξύ τους διαταράσσουν τον χωρόχρονο χάνοντας ενέργεια από την τροχιά τους με αποτέλεσμα τη δημιουργία βαρυτικών κυμάτων (Καλογερά, 2018).

Με άλλα λόγια, βαρυτικά κύματα δεν παράγονται μόνο κατά τη σύγκρουση δύο μελανών οπών ή αστέρων νετρονίων αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας από την περιφορά της μίας γύρω από την άλλη μέχρι και το τελικό αποτέλεσμα (σύγκρουση). Ας σημειωθεί ότι τα βαρυτικά κύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός και μεταφέρουν πληροφορίες για το κατακλυσμικό γεγονός που τα δημιουργήσε.

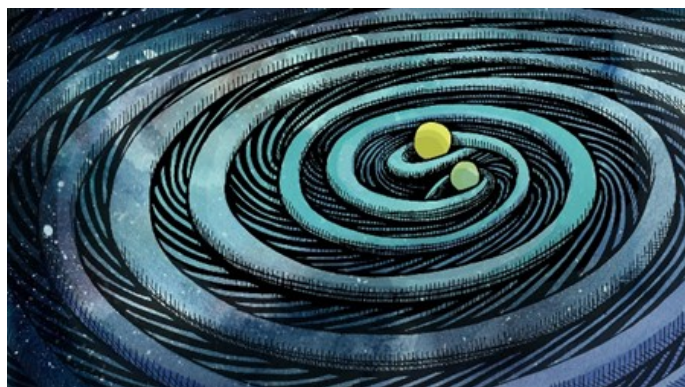
Θεωρητικά, βαρυτικά κύματα δημιουργούνται από κάθε διαταραχή στο σύμπαν. Όμως αν αυτή η διαταραχή δεν είναι αρκετά ισχυρή, τότε οι διακυμάνσεις που δημιουργούνται από αυτή είναι αμυδρές και μη ή δύσκολα ανιχνεύσιμες. Ισχυρά βαρυτικά κύματα (απ' όσο γνωρίζουμε) μπορούν να δημιουργηθούν από:

- Τη σύγκρουση μελανών οπών
- Την κατάρρευση των αστρικών πυρήνων (supernovae)
- Τη συγχώνευση αστέρων νετρονίων ή λευκών νάνων
- Τη μερικώς ασταθή περιστροφή αστέρων νετρονίων που δεν είναι τέλειες σφαίρες

Επιπλέον είναι πιθανή η δημιουργία βαρυτικών κυμάτων από τα απομεινάρια της βαρυτικής ακτινοβολίας που είχε δημιουργηθεί κατά τη γέννηση του σύμπαντος.

Το πείραμα VIRGO

Το πείραμα VIRGO αποτελεί έναν ανιχνευτή βαρυτικών κυμάτων. Στην ουσία είναι ένα πολύ μεγάλο



Σχήμα 1: Καλλιτεχνική αναπαράσταση βαρυτικών κυμάτων.

συμβολόμετρο Michelson. Πήρε το όνομά του από το σμήνος 1500 περίπου γαλαξιών στον αστερισμό της Παρθένου (Virgo cluster). Από το 2007 συνεργάζεται με τις βάσεις LIGO στην Αμερική, ανταλλάσσοντας δεδομένα και παρατηρήσεις. Αυτή η συνεργασία είναι απαραίτητη για τον ακριβέστερο εντοπισμό της πηγής των βαρυτικών κυμάτων (VIRGO, 2018).

Από τι αποτελείται το VIRGO;

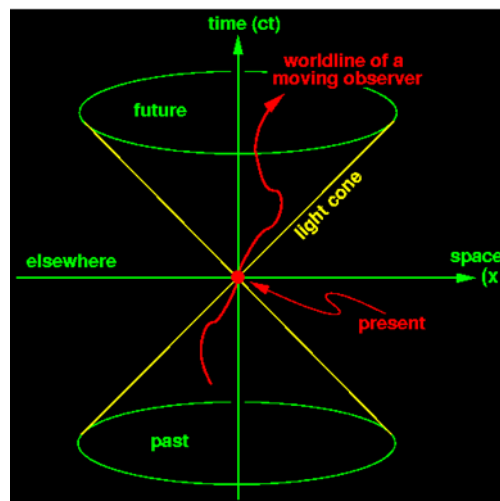
Γενικά, ένα συμβολόμετρο έχει μία δομή όπως αυτή που απεικονίζεται στο Σχήμα 3. Αποτελείται από δύο μεγάλους (μήκους 3 km και διαμέτρου 1.2 m) σωλήνες κενού, οι οποίοι στεγάζουν σειρές κατόπτρων, έναν διαχωριστή δέσμης (beam splitter), έναν φωτοανιχνευτή (photodetector), ο οποίος συλλέγει τα δεδομένα και ένα λέιζερ. Όλες αυτές οι διατάξεις δίνουν στη βάση το χαρακτηριστικό της σχήμα L.

Ειδικότερα, το λέιζερ πρέπει να είναι ισχυρό και εξαιρετικά σταθερό όσον αφορά την συχνότητά και το πλάτος του (F. Bondu, 1996). Για να το πετύχουμε αυτό, το αρχικό λέιζερ δεν έχει ιδιαίτερα μεγάλη ισχύ, αλλά εξαιρετική σταθερότητα (F. Bondu, 2002). Έπειτα η δέσμη φωτός περνά από διάφορους ενισχυτές που αυξάνουν την ισχύ του κατά 100 φορές (The VIRGO Collaboration, 2012). Χάρη στα κάτοπτρα, ο χρόνος αλληλεπίδρασης μεταξύ της δέσμης φωτός και του σήματος βαρυτικών κυμάτων αυξάνεται. Έχουν κυλινδρικό σχήμα με διάμετρο 35 cm και πάχος 20 cm (The VIRGO Collaboration, 2012). Τα κάτοπτρα στο τέλος των δύο σωλήνων ανακλούν σχεδόν όλο το φως που προέρχεται από το λέιζερ.

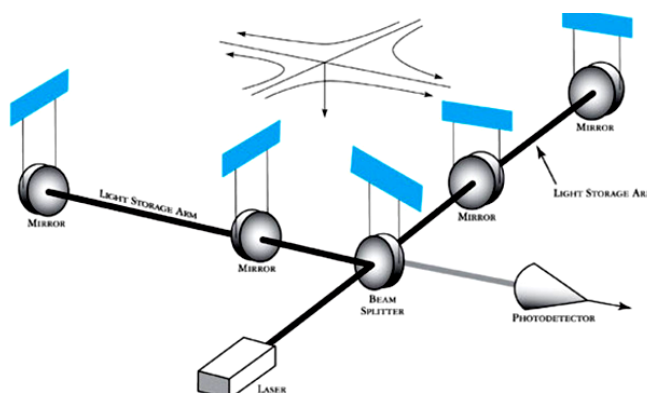
Πώς λειτουργεί;

Τα βαρυτικά κύματα ταξιδεύουν στο χωρόχρονο, παραμορφώνοντάς τον και παράγοντας μικροσκοπικούς «σεισμούς στο χωρόχρονο». Έτσι, σε αυτόν τον ελαφρώς διαστρεβλωμένο χωρόχρονο οι αποστάσεις διαστéλλονται και συστέλλονται, αν και ελάχιστα. Όταν ένα βαρυτικό κύμα διέρχεται από το VIRGO οι μήκους 3 km «βραχίονες» του ανιχνευτή αλλάζουν σε μήκος ελαφρώς (κατά ένα δισεκατομμυριοστό του δισεκατομμυριοστού του μέτρου) (VIRGO, 2016). Ας χωρίσουμε την όλη διαδικασία σε φάσεις:

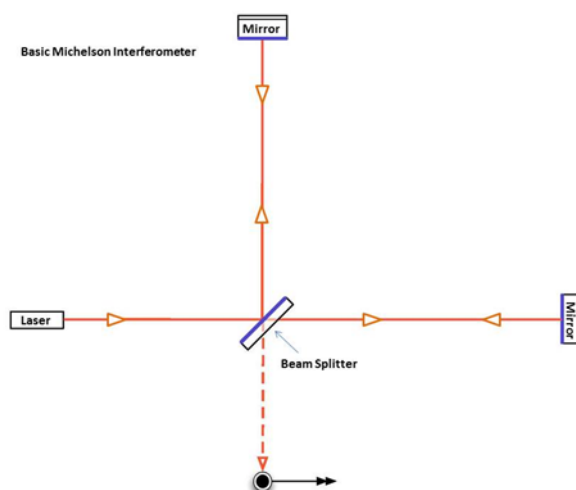
1. Μία δέσμη φωτός από το λέιζερ διέρχεται από τον διαχωριστή δέσμης ο οποίος, όπως λέει και το ίδιο του το όνομα, τη χωρίζει στα δύο και στέλνει το κάθε κομμάτι σε έναν από τους δύο σωλήνες μήκους 3 km.
2. Τώρα έχουμε δύο δέσμες φωτός που ταξιδεύουν κατά μήκος των δύο σωλήνων στο τέλος των οποίων θα συναντήσουν από ένα κάτοπτρο.
3. Το κάθε κάτοπτρο ανακλά τη δέσμη που προσπίπτει πάνω του και τη στέλνει πίσω στο διαχωριστή.
4. Όταν οι δύο δέσμες συναντηθούν, συγχωνεύονται και δημιουργούν ένα πρότυπο συμβολής.
5. Τέλος, η τελική δέσμη φτάνει στο φωτοανιχνευτή



Σχήμα 2: Διάγραμμα που δείχνει την τροχιά ενός κινούμενου παρατηρητή στις τέσσερις διαστάσεις.



Σχήμα 3: Δομικά σχέδια των συμβολόμετρων LIGO με μία αναπαράσταση ενός εισερχόμενου βαρυτικού κύματος ακριβώς πάνω από τον ανιχνευτή.



Σχήμα 4: Σχεδιάγραμμα ενός τυπικού συμβολόμετρου Michelson. Το συμβολόμετρο Michelson σχεδιάστηκε από τον Albert Abraham Michelson. Σε αυτό, μια δέσμη φωτός διαχωρίζεται σε δύο με τη βοήθεια ενός διαχωριστή δέσμης. Καθεμία από αυτές τις επιμέρους δέσμες ανακλάται σε ένα κάτοπτρο και ξαναγυρνά στη θέση εκκίνησης.

ο οποίος μετρά τη φωτεινότητά της.

Τα συμβολόμετρα του LIGO είναι φτιαγμένα έτσι ώστε αν το μήκος των «βραχιόνων» δεν μεταβληθεί, όταν οι δύο δέσμες συγχωνευτούν τα μήκη κύματός τους θα είναι τέτοια ώστε να αλληλοακυρωθούν, με αποτέλεσμα να μην φτάσει τελική και ενιαία δέσμη στο φωτοανιχνευτή. Αυτό σημαίνει ότι όταν ένα βαρυτικό κύμα διέλθει από τον ανιχνευτή και τα μήκη των δύο βραχιόνων μεταβληθούν, έστω και ελαφρά, θα φτάσει δέσμη φωτός στον φωτοανιχνευτή.

Για την ανίχνευση των βαρυτικών κυμάτων απαιτείται το συμβολόμετρο να είναι αρκετά ευαίσθητο. Για αυτόν το λόγο το συμβολόμετρο είναι χτισμένο σε απομονωμένη περιοχή, είναι προστατευμένο από τους σεισμούς και περιλαμβάνει μηχανήματα ειδικά κατασκευασμένα ώστε να παράγουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα (υπερσταθερά λείζερ, κάτοπτρα υψηλής ανακλαστικότητας).

Για να αποφευχθούν ψευδή αποτελέσματα λόγω σεισμικών δονήσεων στη γύρω περιοχή, κάθε οπτικό στοιχείο της βάσης είναι απομονωμένο από ένα πολύ περίπλοκο σύστημα σύνθετων εκκρεμών ύψους 10 m (Σχήμα 5).

Η ύπαρξη υπολειπόμενων αερίων θα προξενούσε και αυτή σφάλματα στις παρατηρήσεις. Για τον λόγο αυτό η δέσμη λείζερ διαδίδεται μέσα σε σωλήνες κενού.

Ανιχνεύσεις βαρυτικών κυμάτων

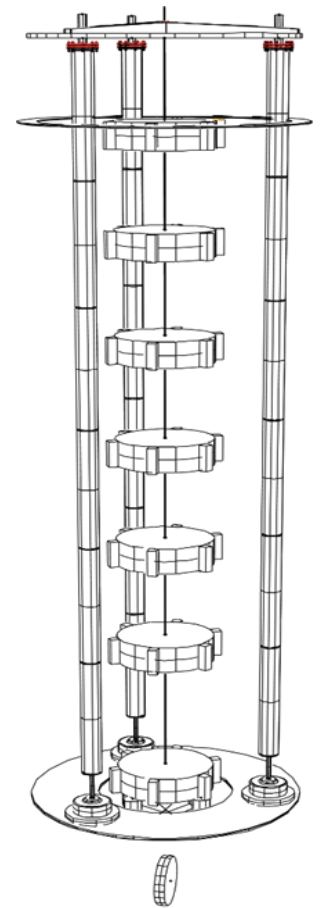
Το πρώτο βαρυτικό κύμα, με την κωδική ονομασία GW150914, ανιχνεύθηκε στις 14 Σεπτεμβρίου 2015 και είχε διάρκεια 0.2 s περίπου. Προήλθε από δύο μελανές οπές που συγχωνεύτηκαν σε απόσταση μεγαλύτερη από ένα δισεκατομμύριο έτη φωτός μακριά από τη Γη. Το μέγιστο πλάτος των κυμάτων που παρατηρήθηκαν έφτανε τα 10^{-21} m. Αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη μεταβολή που προκάλεσε το βαρυτικό κύμα στο μήκος των βραχιόνων των ανιχνευτών ήταν μικρότερη από τη διάμετρο του πυρήνα ενός ατόμου (VIRGO, 2016).

Το δεύτερο γεγονός (GW151226): Στις 26 Δεκεμβρίου 2015 οι επιστήμονες στους ανιχνευτές VIRGO και

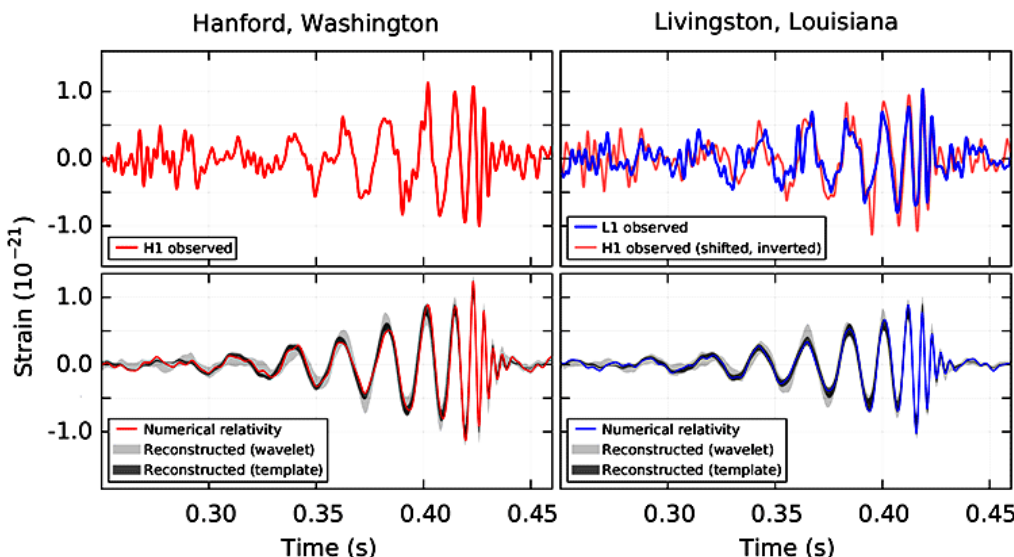
LIGO έλαβαν για δεύτερη φορά σήμα βαρυτικών κυμάτων. Προήλθε και αυτό από τη συγχώνευση δύο (μικρότερου μεγέθους απ' ότι την πρώτη φορά) μελανών οπών. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη συγχώνευση (η οποία πραγματοποιήθηκε σε απόσταση 1.4 δισεκατομμυρίων ετών μακριά από τη Γη) μία μάζα περίπου όση αυτή του Ήλιου μετατράπηκε σε βαρυτικά κύματα (VIRGO, 2016).

Και άλλη μία μέτρηση λόγω συγχώνευσης μελανών οπών (GW170608): η ανακάλυψη αυτή πραγματοποιήθηκε στις 8 Ιουνίου 2017 και είχε ως πηγή τη συγχώνευση δύο (σχετικά μικρών) μελανών οπών, 7 και 12 ηλιακών μαζών, σε απόσταση περίπου χιλίων εκατομμυρίων ετών φωτός μακριά από τη Γη.

Εντοπισμός βαρυτικών κυμάτων που προήλθαν από τη συγχώνευση αστέρων νετρονίων (GW170817): Την 17^η Αυγούστου 2017 οι επιστήμονες ανίχνευσαν βαρυτικά κύματα από τη συγχώνευση δύο αστέρων νετρονίων. Το σήμα διήρκεσε 140 δευτερόλεπτα. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιήθηκε η πρώτη ανίχνευση ενός κοσμικού γεγονότος τόσο με την ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων, όσο και παρατηρησιακά. Παρατηρούμε ότι σε αυτήν την προσπάθεια συνέβαλαν τόσο οι ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων LIGO και VIRGO, όσο και οι δορυφόροι Fermi και INTEGRAL



Σχήμα 5: Διάταξη κατόπτρων στο VIRGO.



Σχήμα 6: Τα δύο σήματα που ανιχνεύτηκαν από τους LIGO. Επάνω αριστερά αναπαρίσταται το σήμα όπως το έλαβε ο ανιχνευτής στο Hanford ενώ επάνω δεξιά φαίνεται όπως το έλαβαν στο Livingston. Κάτω βλέπουμε το σήμα όπως προκύπτει από ένα μοντέλο δυαδικής συγχώνευσης μελανών οπών.

(μέσω της ανίχνευσης ακτινών γ) και τα οπτικά σήματα (the Swope discovery image) που παρατηρήθηκαν από το παροδικό γεγονός που τα δημιούργησε. Συμπεραίνουμε ότι η συγχώνευση των αστέρων έγινε στον γαλαξία «NGC4993». Μάλιστα, λόγω του συνδυασμού βαρυτικών κυμάτων και ακτινών γ, ταυτοποιήθηκε μία μορφολογική κατηγορία δεδομένων που προέκυψαν μέσω της ανίχνευσης ακτινών γ, ως σήματα που εκπέμπονται από τη συγχώνευση αστέρων νετρονίων.

Οι ανιχνευτές VIRGO και LIGO σταμάτησαν να συλλέγουν δεδομένα την 25^η Αυγούστου 2017. Η τρίτη περίοδος συλλογής δεδομένων (O3) ξεκίνησε στις αρχές του 2019.

Μελλοντικές προοπτικές

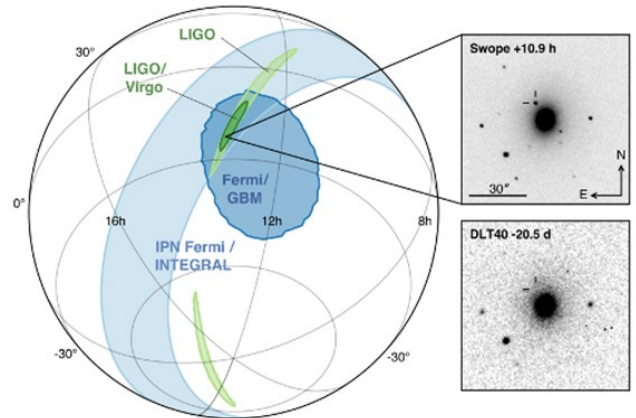
Όταν χαρτογραφούμε τις προοπτικές μίας ανακάλυψης, είναι εύλογο να χωρίσουμε τις σκέψεις μας σε άμεσα συμπεράσματα και σχέδια (που προκύπτουν κατευθείαν από την ανακάλυψη) και έμμεσες εφαρμογές (με βάση την τεχνολογία που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες του πειράματος).

Άμεσα:

- **Εμπλουτισμός της γνώσης:** Μέχρι τώρα η παρατηρησιακή αστρονομία βασιζόταν στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (οπτικό, ακτίνες γ, ακτίνες χ, ραδιοκύματα, μικροκύματα, υπέρυθρο). Τα βαρυτικά κύματα, εκτός από τη φυσική τους σημασία, είναι ένας εντελώς καινούργιος τρόπος μελέτης του σύμπαντος.
- **Μελέτη του χωροχρόνου:** Ο χωρόχρονος είναι ένας όρος που δεν είναι εύκολα κατανοητός. Αφού τα βαρυτικά κύματα τον επηρεάζουν άμεσα, ίσως μπορούμε να μελετήσουμε καλύτερα την φύση του και ίσως ανακαλύψουμε κάποιες ιδιότητές του.
- **Ενέργεια:** Κατά την εκπομπή βαρυτικών κυμάτων εκπέμπεται ένα μεγάλο ποσό ενέργειας το οποίο ταξιδεύει μαζί τους με την ταχύτητα του φωτός. Δεν είναι όμως ούτε διαρκές, ούτε τακτικό και δεν μπορώ να φανταστώ αν και πώς θα μπορούσε να αξιοποιηθεί
- Γενικά, δεν μπορούμε να ξέρουμε από τώρα πώς θα μπορούσαμε να αξιοποιήσουμε τη νέα γνώση που αποκτήσαμε.

Έμμεσα:

- Για την κατασκευή των ανιχνευτών, αναπτύχθηκαν νέες τεχνολογίες υλικών ενώ παράλληλα, εμπλουτίστηκε ο κλάδος της ηλεκτρονικής με νέα στοιχεία. Όλα αυτά μπορούν με μερικές διαμορφώσεις να αναχθούν στην καθημερινότητα, όπως έγινε για παράδειγμα με το CERN.
- Η ανάπτυξη του λέιζερ που χρησιμοποιείται στο συμβολόμετρο, είναι ευνόητο ότι θα βοηθήσει στην πρόοδο των κλάδων στους οποίους εντοπίζεται αυτό το εργαλείο (ιατρική, αστρονομία...)
- Οι καινοτομίες που έγιναν κατά την κατασκευή των ανιχνευτών θα μπορούσαν να φέρουν ως αποτέλεσμα καλύτερα τηλεσκόπια και ευκρινέστερη εικόνα στις φωτογραφικές μηχανές (DSLR)



Σχήμα 7: Συγκεκριμενοποίηση της περιοχής προέλευσης του σήματος βαρυτικών κυμάτων.

- Η τεχνολογία που εφευρέθηκε για τη δημιουργία των σωλήνων κενού μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη απομόνωση εύφλεκτων μηχανημάτων, εργαστηρίων και οποιουδήποτε άλλου μέρους που επηρεάζεται από ή μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το περιβάλλον.

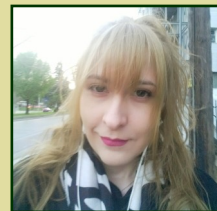
Μία απόδειξη της καθημερινής εφαρμογής μίας ανακάλυψης, όταν κανείς δε θα φανταζόταν ότι θα μπορούσε να εφαρμοστεί την καθημερινότητα, αποτελεί η δημιουργία του GPS με βάση τη Γενική Θεωρία της σχετικότητας του Einstein. Για την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων έγιναν καινοτομίες στον κλάδο που ονομάζεται «data science».

Πηγές

- LIGO Caltech, www.ligo.caltech.edu/page/what-are-gw
www.ligo.caltech.edu/page/what-is-interferometer
- VIRGO, www.virgo-gw.eu/
public.virgo-gw.eu/the-ego-consortium/
public.virgo-gw.eu/virgo-in-a-nutshell/
public.virgo-gw.eu/gw150914_en/
public.virgo-gw.eu/the-gw151226-event/
public.virgo-gw.eu/gw170608-ligo-and-virgo-announce-the-detection-of-a-black-hole-binary-merger-from-june-8-2017/
public.virgo-gw.eu/what-are-gravitational-waves/
- European Gravitational Observatory, <http://www.ego-gw.it/public/virgo/virgo.aspx>
- F. Bondu et al., The VIRGO injection system. *Class. Quantum Grav.* 19, 1829 (2002).
- F. Bondu et al., *Opt. Lett.* 21, 582 (1996).
- J. V. Narlikar, *The lighter side of gravity*, W. H. Freeman and Co, New York, (1982).
- F. Shu, *Αστροφυσική: Δομή και εξέλιξη του Σύμπαντος*, τόμος 1, Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (1991).
- The VIRGO Collaboration, *Advanced Technical Design Report* (2012). www.nikhef.nl/pub/departments/mt/projects/virgo/general/pub/TDR/AdV_TDR.pdf
- Καλογερά, Β. (23/9/2018). Τα Βαρυτικά κύματα του Αϊνστάιν.
- Symmetry Magazine, www.symmetrymagazine.org/
- Gravity Probe B - Testing Einstein's Universe, Stanford University, einstein.stanford.edu/

Kip Thorne

εντυώσεις από μια μοναδική
επιστημονική προσωπικότητα



Μαρία Κρικέλη
Φοιτήτρια
Τμήματος Φυσικής

Στο πλαίσιο της τελετής αναγόρευσής του σε επίτιμο διδάκτορα του Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ, έχουμε την ευκαιρία και τη μεγάλη τιμή να φιλοξενήσουμε στο περιοδικό μας τον ομότιμο καθηγητή στην Έδρα Feynman Θεωρητικής Φυσικής του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνιας (Caltech) κ. Kip Thorne.

Την Παρασκευή 24 Μαΐου είχαμε όλοι τη μοναδική ευκαιρία να παρακολουθήσουμε δύο εξέχουσες ομιλίες του θεωρητικού φυσικού Kip Thorne. Η πρώτη ομιλία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της αναγόρευσής του σε επίτιμο διδάκτορα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για τη συνολική προσφορά του στην έρευνα πάνω στα βαρυτικά κύματα. Παρευρέθησαν, όχι μόνο καθηγητές του τμήματος, αλλά και πολλοί φοιτητές οι οποίοι περίμεναν με ανυπομονησία την προσέλευση του κ. Kip Thorne. Ώρα 2 μ.μ. ξεκίνησε η τελετή, με τον τιμώμενο καθηγητή να προσέρχεται μαζί με τον πρόεδρο και τους διευθυντές των τομέων του τμήματος Φυσικής, συνοδευόμενος από τη σύζυγό του, την κ. Carolee Joyce Winstein, η οποία είναι καθηγήτρια στο τμήμα κινησιολογίας και φυσικοθεραπείας του Πανεπιστημίου της Νότιας Καλιφόρνιας (USC) με πλούσια ερευνητική δραστηριότητα. Παρατηρώντας κανείς τον Kip Thorne καθώς βάδιζε προς τις θέσεις των επισήμων, μπορούσε να διακρίνει ότι, παρά τα 79 χρόνια του, τα οποία είναι εμφανώς εντυπωμένα στο πρόσωπο του, είναι εντυπωσιακά ακμαίος και δραστήριος, εκπέμποντας τη δυναμικότητα ενός ανθρώπου νέου, με έντονη φυσική περιέργεια.



Μόλις τελείωσε η αναγόρευση, το λόγο πήρε ο κ. Kip Thorne ξεκινώντας την ομιλία του με θέμα **“A vision for Gravitational Wave Astronomy”**. Ήταν τέτοια η μεσότητα και η απλότη-

τα του λόγου του, που μετέφερε το κοινό στις αίθουσες του Caltech, όπου με τόση αγάπη και ενθουσιασμό δίδαξε ως καθηγητής για 42 συναπτά ακαδημαϊκά έτη (1967-2009). Η αναφορά στο πείραμα LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) ήταν εκτενής. Άλλωστε ο ίδιος, υπήρξε βασικός υποστηρικτής και ιδρυτής του όλου εγχειρήματος από το 1984, αναπτύσσοντας τα απαραίτητα μαθηματικά για την ανάλυση των σημάτων παραγωγής βαρυτικών κυμάτων από αστρικά αντικείμενα, βασισμένος στην θεωρητική έρευνα του η οποία προέβλεπε τα χαρακτηριστικά της έντασης τους αλλά και την «υπογραφή» που έχουν αφήσει στο πρώιμο Σύμπαν. Μάλιστα δεν παρέλειψε να αναφερθεί και στις μελλοντικές προσπάθειες ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων σε όλο το φάσμα τους, με περιόδους ταλάντωσης από msec (LIGO, VIRGO, KAGRA) μέχρι αιώνα (Cosmic Microwave Background Polarization). Όταν τελείωσε η τελετή, το απόγευμα, ακολούθησε μια δεύτερη ομιλία για το ευρύ κοινό, με τίτλο **“Probing the Universe with Gravitational Waves - From the Big Bang to Black Holes”** (Εξερευνώντας το Σύμπαν με τα Βαρυτικά Κύματα - Από τη Μεγάλη Έκρηξη στις Μαύρες Τρύπες), στην οποία έγινε μια λεπτομερής περιγραφή της πορείας που ακολουθήθηκε μέσα στις δεκαετίες ώστε να δημιουργηθεί μια κατάλληλη διάταξη για να επιβεβαιωθεί πειραματικά η ύπαρξη βαρυτικών κυμάτων. Τα βαρυτικά κύματα είχαν προβλεφθεί θεωρητικά από τον Albert Einstein μέσω των εξισώσεων του της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας. Η δεύτερη αυτή ομιλία προς το ευρύ κοινό ήταν συνδιοργάνωση του ΑΠΘ, των εκδόσεων Ροπή, της Ελληνικής Εταιρείας Σχετικότητας, Βαρύτητας και Κοσμολογίας και του Συλλόγου Αποφοίτων του ΑΠΘ, με την υποστήριξη της ΓΓΕΤ.

Αν και η αλληλεπίδραση με τον κ. Thorne ήταν σύντομη, υπήρξε άκρως εποικοδομητική μέσω των ερωτήσεων που του τέθηκαν για τις ανάγκες της συνέντευξης αυτής. Αν και θα περίμενε κανείς ότι μεγάλωσε σε ένα περιβάλλον συνεχούς ενασχόλησης με τη Φυσική και τα Μαθηματικά, η πραγματικότητα ήταν ελαφρώς διαφορετική. Ο Kip Thorne γεννήθηκε την 1^η Ιουνίου του 1940 και μεγάλωσε στην πόλη Logan της Utah

των Ηνωμένων Πολιτειών. Παρόλο που μεγάλωσε μέσα σε ακαδημαϊκό περιβάλλον, καθώς οι γονείς του Wynne Thorne και Alison Cornish-Thorne ήταν καθηγητές στο Πανεπιστήμιο της Utah, τα όνειρα του αρχικά, όπως μας αναφέρει, ήταν λίγο διαφορετικά:

«Μικρός ήθελα να γίνω χειριστής εκχιονιστικού μηχανήματος. Η πόλη όπου μεγάλωσα περιτριγυρίζεται από βουνά καθώς βρίσκεται σε μεγάλο υψόμετρο και έτσι κάθε χειμώνα υπήρχε πάρα πολύ χιόνι με αποτέλεσμα τα εκχιονιστικά μηχανήματα να αναλαμβάνουν δράση. Κάθε φορά τα παρατηρούσα και μ' εντυπωσίαζε ο τρόπος που τα χειρίζονταν οι οδηγοί και έτρεχαν στο χιόνι».

Όμως η απόφαση του αυτή δεν κράτησε πολύ. Συνεχίζοντας μας λέει:

«Το όνειρο όμως αυτό άλλαξε σύντομα. Όντας μαθητής του Δημοτικού, η μητέρα μου με πήγε σε μια διάλεξη του πανεπιστήμιου πάνω στην Αστροφυσική και σχετικά με τους πλανήτες. Εκεί ήταν που αποφάσισα ότι ήθελα να ακολουθήσω αυτό το μονοπάτι καθώς ανακάλυψα ότι μ' ενδιέφερε πάρα πολύ».

Εξάλλου το ενδιαφέρον του αυτό φάνηκε γρήγορα και στις επιδόσεις του στο σχολείο όπου άριστευσε πετυχαίνοντας αναγνώριση σε διαγωνισμό εύρεσης ταλέντων στις επιστήμες (το λεγόμενο “Westinghouse Science Talent Search”) και το οποίο αποκαλούν μερικοί “The ‘Super Bowl of Science”. Μας αναφέρει μάλιστα:

«Όταν ήμουν 16 με 17 χρονών ξεκίνησα να διαβάζω βιβλία επιστημονικής φαντασίας, τα οποία με επηρέασαν σε αρκετά μεγάλο βαθμό στη μετέπειτα πορεία μου. Ένα από τα αγαπημένα μου ήταν το ‘Contact’ του Carl Sagan με τον οποίο αργότερα συνεργάστηκα ως επιστημονικός σύμβουλος στο σενάριο της ομότιπλης ταινίας»

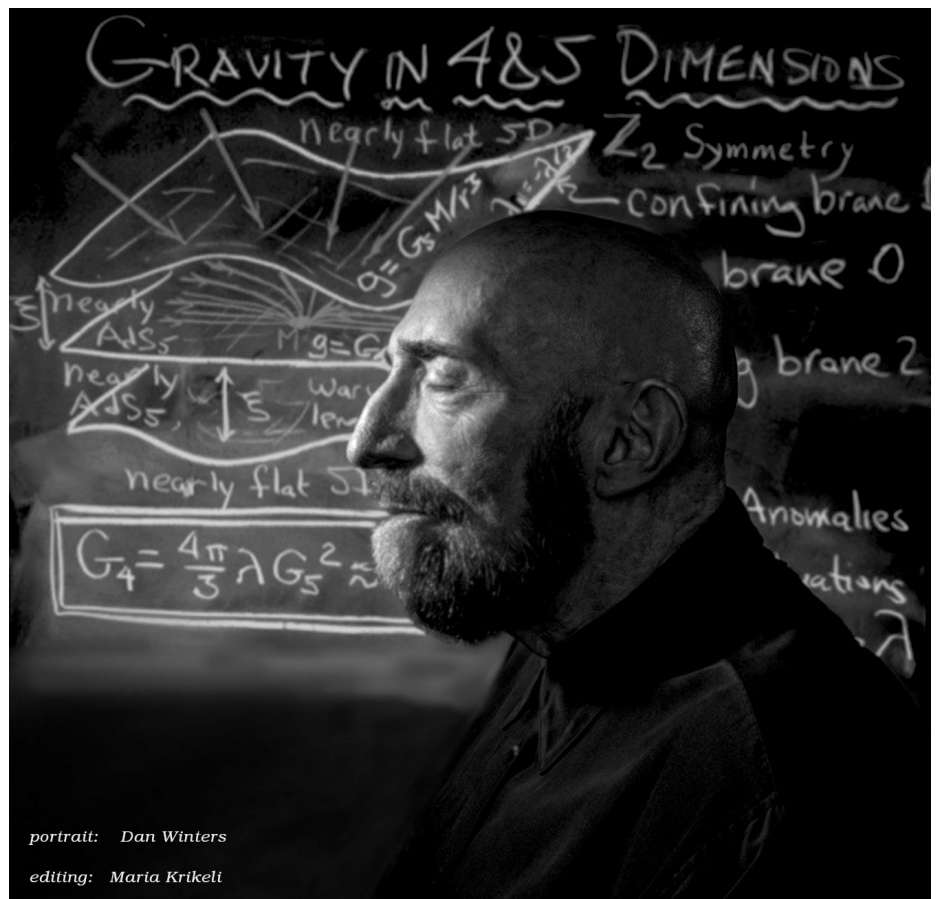
Αμέσως συνέχισε τις προπτυχιακές του σπουδές στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Καλιφόρνιας με υποτροφία. Κατάλαβε μάλιστα γρήγορα ποιον τομέα ήθελε ν' ακολουθήσει. Χαρακτηριστικά μας αναφέρει για εκείνη την περίοδο:

«Κατά τη διάρκεια των σπουδών μου κατάλαβα πως δεν ήμουν της παρατηρησιακής Αστρονομίας. Μου φαίνονταν πολύ πιο εύκολο και διασκεδαστικό για μένα να καταλάβω

αυτά που μου έλεγαν οι εξισώσεις. Εκτός αυτού, ήμουν ερωτευμένος με τους φυσικούς νόμους διότι μου έδιναν την δύναμη να καταλάβω το Σύμπαν».

Έπειτα ακολούθησε μεταπτυχιακές σπουδές στο Princeton University κάνοντας το διδακτορικό του υπό την επίβλεψη του σπουδαίου θεωρητικού φυσικού John Archibald Wheeler. Το θέμα της διδακτορικής διατριβής του ήταν: «Γεωμετροδυναμική των κυλινδρικών συστημάτων» (Geometrodynamics of cylindrical systems) δηλ. συστημάτων αμετάβλητων κατά την περιστροφή τους γύρω από έναν άξονα συμμετρίας. Σ' αυτή μάλιστα μελετά την υδροστατική και την ευστάθεια ιδανικών κυλινδρικών ρευστών, την ύπαρξη βαρυτικής ακτινοβολίας σε αυτά, κοσμολογικά μοντέλα, τη βαρυτική κατάρρευση ενός νέφους σκόνης κυλινδρικής συμμετρίας καθώς και κυλινδρικά ηλεκτρομαγνητικά συστήματα.

Για τον Kip Thorne η αλληλεπίδραση του με τον J. Wheeler ήταν καθοριστική όχι μόνο στη διδακτορική του διατριβή αλλά και στην μετέπειτα ερευνητική του καριέρα. Στην βιογραφία που έγραψε ο ίδιος ο Kip Thorne για τον επιβλέποντα καθηγητή του: “John Archibald Wheeler: A Biographical Memoir”, θαύμαζε την οξυδέρκεια και την αλληλεπίδραση που είχε μαζί τους και ήθελε να την ακολουθήσει και ο ίδιος. Όπως μπορεί να κρίνει κανείς από την δουλειά και την πορεία των φοιτητών του, τα κατάφερε εξαιρετικά.



portrait: Dan Winters

editing: Maria Krikeli

Η ερευνητική του καριέρα εστιάστηκε στην Σχετικιστική Αστροφυσική και στην Βαρυτική Φυσική, δίνοντας μεγάλη έμφαση στη μελέτη των βαρυτικών κυμάτων, των Σχετικιστικών Άστρων (Relativistic stars) και των μελανών οπών. Πιο συγκεκριμένα, μαζί την Anna Zytkow, ο Kip Thorne προέβλεψε την ύπαρξη ερυθρών υπεργιγάντων άστρων που έχουν ως πυρήνα ένα άστρο νετρονίων (Thorne - Zytkow objects). Επίσης, ανέπτυξε την θεωρία περί των ταλαντώσεων και της βαρυτικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα σχετικιστικά άστρα. Όμως, ευρέως γνωστός έγινε όταν διατύπωσε την άποψη σχετικά με την ύπαρξη και την χρήση σκουληκοτρήτων (ή διαφορετικά γέφυρας Einstein-Rosen) για ταξίδια στο χρόνο.

Βέβαια η πιο σημαντική του ενασχόληση ήταν, όπως αναφέραμε και παραπάνω, η δημιουργία ενός πειράματος που θα ήταν ικανό ν' ανιχνεύσει βαρυτικά κύματα. Εμπνευσμένος από συζητήσεις με το Ρώσο επιστήμονα Vladimir Braginsky, ο Kip Thorne ήταν ένας από τους πρωτεργάτες του πειράματος LIGO, μαζί με τους Barry Barish και Rainer Weiss (ο τελευταίος ανέπτυξε τη μέθοδο της συμβολομετρίας με laser για την ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων). Πλέον το πείραμα αριθμεί πάνω 1200 επιστήμονες ανά τον κόσμο. Μάλιστα ο κ. Thorne μας αναφέρει για την περίοδο όπου τελικά ολοκληρώθηκε η κατασκευή του LIGO: «Το LIGO ήταν ένα μεγάλο κομμάτι της καθημερινότητας μου που δουλέψαμε εγώ, οι συνάδελφοι και οι φοι-

τητές μου πολλά χρόνια. Μόλις ολοκληρώθηκε και είδα πόσοι πολλοί έρχονταν να δουλέψουν σ' αυτό, συνειδητοποίησα πως η δική μου συνεισφορά είχε ολοκληρωθεί και το άφησα για τις επόμενες γενιές φυσικών».

Μετά από 13 χρόνια λειτουργίας και αρκετές αναβαθμίσεις, στις 14 Σεπτεμβρίου του 2015 και ώρα 09:51 UTC, οι διατάξεις στο Hanford και στο Livingston ανίχνευσαν το πρώτο βαρυτικό κύμα το οποίο προήλθε από την σύγκρουση δύο μελανών οπών μάζας περίπου 30 ηλιακών μαζών και σε απόσταση 1.3 δισεκατομμυρίων ετών φωτός από τη Γη. Μας περιγράφει χαρακτηριστικά για εκείνη την στιγμή:

«Όταν ειδοποιήθηκα για την ανίχνευση του σήματος έμεινα έκπληκτος αλλά κυρίως καχύποπτος. Σκέφτηκα πως ήταν πολύ καλό για να είναι αληθινό. Δεν μπορούσα να φανταστώ ότι θα είχα την τύχη να το δω. Βέβαια μόλις ήρθε η επιβεβαίωση, αισθάνθηκα μια βαθιά ικανοποίηση γιατί απεδείχθη ότι οι αποφάσεις που έλαβα ήταν οι σωστές και οι πιο σοφές για την κατεύθυνση που έπρεπε να ακολουθήσουμε εγώ και οι φοιτητές μου, πάνω στο θέμα αυτό. Ήταν μια δουλειά 50 ετών».

Το 2017 ο Kip Thorne, μαζί με τους Barry Barish και τον Rainer Weiss, έλαβε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για την δουλειά του στα βαρυτικά κύματα αλλά και για την συμμετοχή του στην υλοποίηση του πειρά-



Ο κ. Kip Thorne κατά την διάρκεια της δεύτερης ομιλίας του για το ευρύ κοινό, Θεσσαλονίκη, 24 Μαΐου 2019.

ματος LIGO (περιοδικό Φαινόμενο, περίοδος Δ', τεύχος 27) ενώ το 2009, συνταξιοδοτήθηκε από το Caltech, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι σταμάτησε να δουλεύει, να δίνει ομιλίες και ν' ασχολείται με πολλές δραστηριότητες μέχρι σήμερα. Θα ήταν παράλειψη, να μην αναφέρουμε τη μεγάλη κινηματογραφική επιτυχία της ταινίας "Interstellar" στην οποία ήταν ο επιστημονικός σύμβουλος. Μιας ταινίας που είναι παρακαταθήκη για τις επόμενες γενιές όσον αναφορά στην κατηγορία ταινιών επιστημονικής φαντασίας, που μεταξύ άλλων βρίσκονται και οι: Contact, 2001-A Space Odyssey, Star Wars και Star Trek. Μάλιστα, το τελευταίο του βιβλίο, για το οποίο παραβρέθηκε στην Ελλάδα, έχει τίτλο: «Η επιστήμη του Interstellar» και κυκλοφορεί από τις εκδόσεις Ροπή. Κλείνοντας αυτό το μικρό αφιέρωμα - συνέντευξη, ζήτησα από τον κ. Thorne μια μικρή συμβουλή για όλους τους φοιτητές αλλά και τους πιο νέους που θέλουν ν' ακολουθήσουν σπουδές στη Φυσική. Αυτή ήταν:

«Για ν' ακολουθήσεις επαγγελματικά τον τομέα της Φυσικής θα πρέπει πάνω από όλα να την αγαπάς βαθιά. Εάν παρόλα αυτά δεν την αγαπάς βαθιά, μπορεί να λειτουργήσει ως ένα καλό θεμέλιο για μια αξιόλογη καριέρα σε πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις. Γι' αυτό μείνετε ενημερωμένοι για τις εξελίξεις και για τις ευκαιρίες που βρίσκονται μπροστά σας και θέλετε να δοκιμάσετε. Επίσης, θα πρέπει να ξέρετε ότι πρέπει να

δουλέψετε σκληρά και να κινητοποιείτε συνεχώς μένοντας ενημερωμένοι με τις τελευταίες ανακαλύψεις, όχι μόνο στη Φυσική, αλλά και σε άλλες επιστήμες, για να κρατάτε την επιστημονική περιέργειά σας σε υψηλά επίπεδα».

Ευχαριστίες:

Αυτό το μικρό αφιέρωμα δεν θα ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί χωρίς την συμβολή του κ. Πάνου Χαρίτου, ενός από τους διοργανωτές των εκδηλώσεων, φυσικού και υπεύθυνου επικοινωνίας στο CERN.

Σημειώσεις:

- [1] Η φωτογραφία υπόκειται σε πνευματικά δικαιώματα. Portrait: Dan Wanters για το Wired.com, Editing: Krikeli Maria για το περιοδικό «Φαινόμενο»
- [2] Όλες οι πληροφορίες πάρθηκαν από την ιστοσελίδα του Kip Thorne στο Caltech, και την Wikipedia.
- [3] Το βιογραφικό αφιέρωμα του Kip Thorne στον John A. Wheeler: John Archibald Wheeler: A Biographical Memoir by Kip Thorne (<https://arxiv.org/pdf/1901.06623.pdf>)
- [4] Η διδακτορική διατριβή του Kip Thorne με θέμα «Γεωμετροδυναμική σε κυλινδρικά συστήματα» (Geometrodynamics of cylindrical systems, Kip Stephen Thorne, Princeton University, ProQuest Dissertations Publishing, 1965. 6513174, βρίσκεται στην ιστοσελίδα: <https://search.proquest.com/docview/302136891/>

συνέβησαν στο τμήμα

100 χρόνια από το πείραμα του Eddington

Διάλεξη του Γιώργου Παππά, Επικ. Καθηγητή του τμ. Φυσικής, για τον πρώτο πειραματικό έλεγχο της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας με την έκλειψη Ηλίου του 1919 (Αστεροσκοπείο ΑΠΘ, 29 Μαΐου 2019).

Πριν από 100 χρόνια, στις 29 Μαΐου 1919, δύο αποστολές από την Αγγλία ταξίδεψαν για να παρατηρήσουν μία ηλιακή έκλειψη, με στόχο να ελέγξουν αν η σωστή θεωρία για τη βαρύτητα είναι ο νευτώνειος νόμος της παγκόσμιας έλξης ή η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν.

Με αφορμή αυτή την επέτειο, δόθηκε διάλεξη από τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής ΑΠΘ κ. Γιώργο Παππά, στην οποία αναπτύχθηκε τι είναι η θεωρία της Γενικής Σχετικότητας και πως διαφέρει αυτή από την νευτώνεια θεωρία της βαρύτητας. Συζητήθηκαν οι πρώτες πειραματικές ενδείξεις υπέρ της Σχετικότητας, τα λεγόμενα 3 κλασσικά τεστ, με περισσότερη έμφαση στην εκτροπή του φωτός, που ήταν και το αντικείμενο της μέτρησης κατά την έκλειψη του 1919 από την αποστολή του Eddington και του Dyson. Επίσης, συζητήθηκαν και κάποιες εναλλακτικές και πιο μοντέρνες εκδοχές αυτού του πειράματος οι οποίες επαληθεύουν με μεγάλη ακρίβεια τη Γενική Σχετικότητα.

Η ομιλία έγινε στα πλαίσια του εορτασμού των 100 ετών από την ίδρυση της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης (IAU100).



το πρόγραμμα LIFE ASTI

μελετώντας τις επιπτώσεις του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας



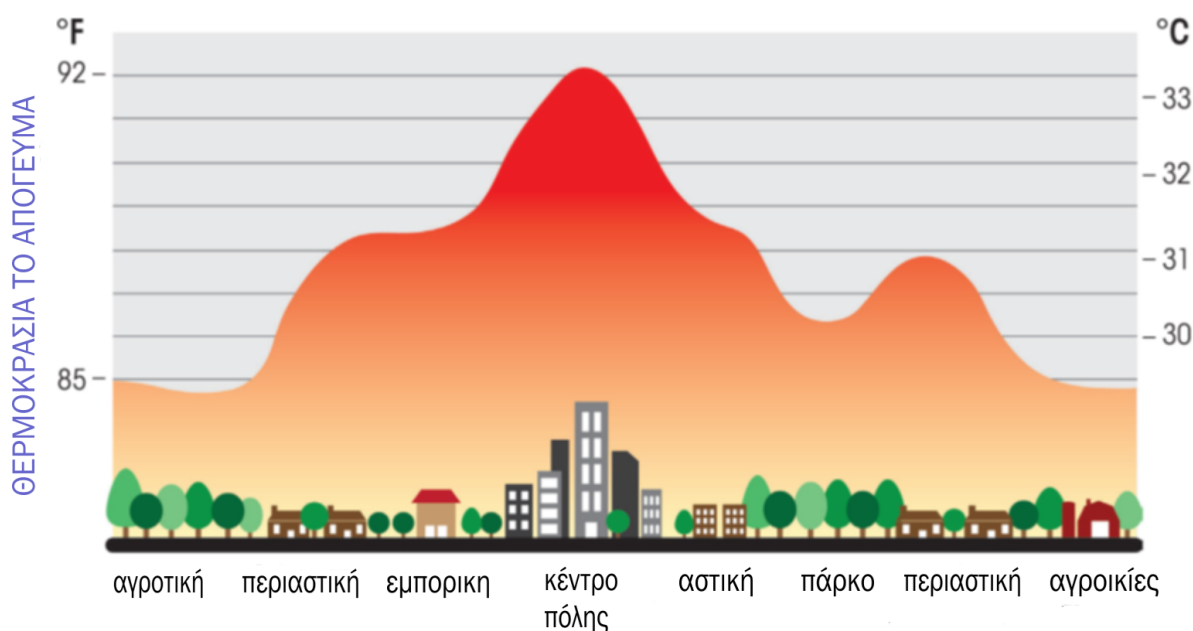
Δάφνη Παρλιάρη
Υποψ. Διδάκτορας
Τμήματος Φυσικής

Η έντονη αστικοποίηση της σύγχρονης κοινωνίας έχει επιφέρει πλήθος αρνητικών επιπτώσεων στην ποιότητα ζωής και την υγεία των κατοίκων των μεγάλων πόλεων. Η αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση και η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, η αύξηση του κινδύνου νοσηρότητας και θνησιμότητας που καταγράφεται στα αστικά κέντρα, η θερμική καταπόνηση ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, είναι μερικές μόνο πτυχές του πολυσύνθετου προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει ο αστικός πληθυσμός. Αν προσθέσουμε σε αυτά την αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση λόγω ψύξης και θέρμανσης και το επακόλουθο κόστος, έχουμε στα χέρια μας ένα ζήτημα με δύσκολη και απαιτητική λύση.

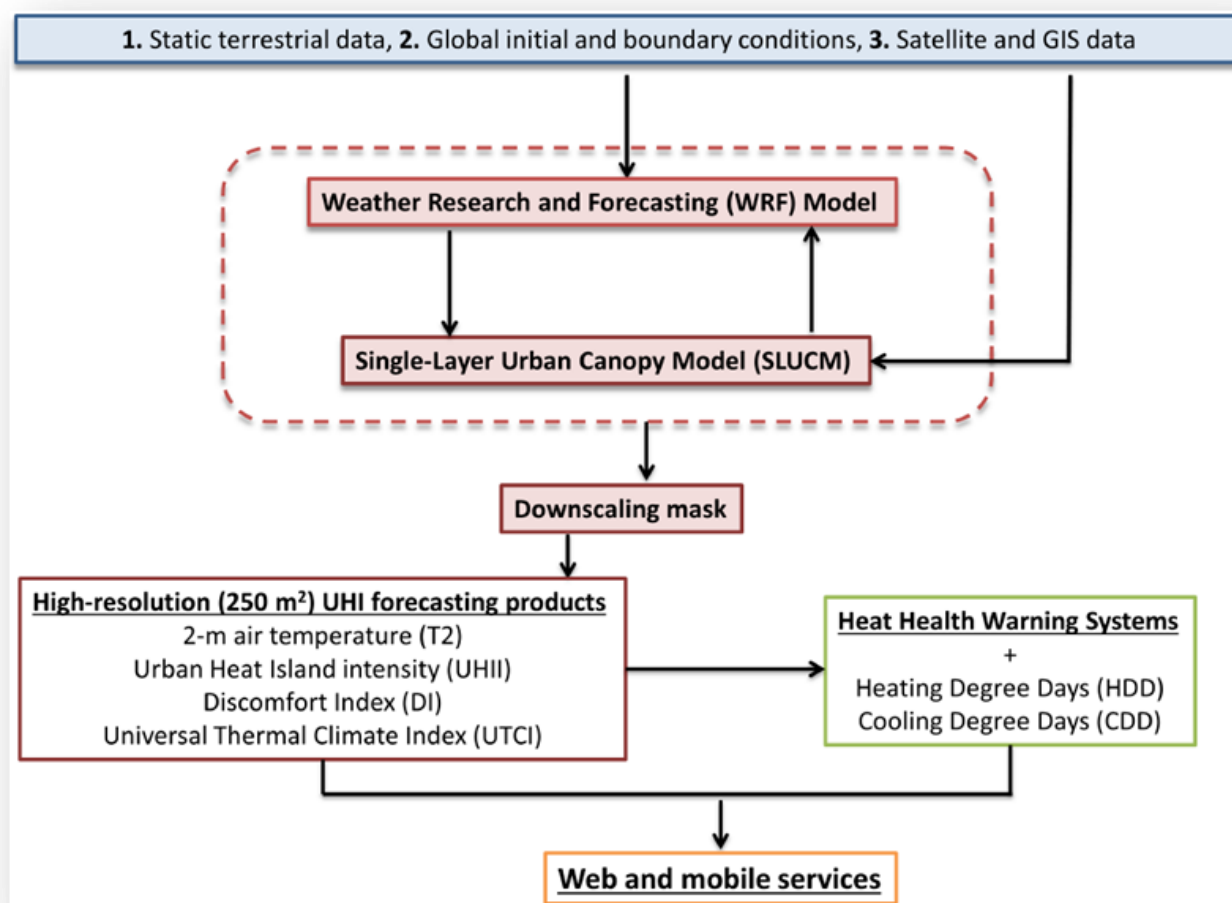
Πάνω από το 50% του πληθυσμού της Γης μένει πλέον σε αστικά κέντρα. Για το 2018 ο αστικός πληθυσμός εκτιμήθηκε σε 4.2 δισεκατομμύρια ενώ το 1950, το νούμερο αυτό μόλις ξεπερνούσε τα 750 εκατομμύρια. Σύμφωνα με την αναφορά της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) το 2013, η θερμοκρασιακή ανωμαλία την περίοδο 1850-2012 προκάλεσε θέρμανση του πλανήτη της τάξης των 0.85 °C και οι μελλοντικές τάσεις προβλέπουν άνοδο της παγκόσμιας θερμοκρασίας 1-4 °C ως το 2100.

Την εκτεταμένη αστικοποίηση έρχεται να επιδεινώσει το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ), το οποίο περιγράφει την αύξηση της θερμοκρασίας στις αστικές περιοχές σε σχέση με τις γειτονικές αγροτικές. Η παρουσία και η συνεχής δραστηριότητα των ανθρώπων που συγκεντρώνονται σε περιορισμένη χωρική επιφάνεια οδηγεί σε παραγωγή θερμότητας και ακολούθως σε αύξηση της θερμοκρασίας.

Για το μέσο άνθρωπο που ζει σε μια μεγάλη μεσογειακή πόλη, όλοι αυτοί οι επιστημονικοί όροι μεταφράζονται σε «κακά μαντάτα». Η θερμοκρασία μέσα στην πόλη ανεβαίνει, κάτι που δε μας ενοχλεί το χειμώνα, δυσχεραίνει όμως σημαντικά την καθημερινότητα μας το καλοκαίρι. Η εκτεταμένη χρήση κλιματιστικών οδηγεί σε άνοδο της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας που με τη σειρά της οδηγεί πάλι στη χρήση κλιματισμού. Προς αποφυγή του θερμού ατμοσφαιρικού αέρα, οι πολίτες χρησιμοποιούν περισσότερο τα Ι.Χ. αυτοκίνητα και τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς με αποτέλεσμα να αυξάνεται η εκπομπή ρύπων και ακολούθως (μαντέψτε!) η θερμοκρασία. Τα σύγχρονα οικοδομικά υλικά (τσιμέντο, μπετόν, άσφαλτος) και η απουσία πρασίνου στις μεγαλουπόλεις δεν προσφέρουν ευκαιρίες δροσισμού και ανάπαυλας και σε συν-



Θερμοκρασιακή διακύμανση σε διάφορες περιοχές



δυνατότητα με την πολύ μικρή πτώση της θερμοκρασίας τις νυχτερινές ώρες που δε βοηθάει τον ανθρώπινο οργανισμό να αποσυμφορηθεί από τη θερμική καταπόνηση, έχουν ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση κόπωσης, την επιδείνωση χρόνιων προβλημάτων υγείας και την κακή ψυχολογία. Το τελευταίο συστατικό αυτής της (πολύ κακής) συνταγής θα μπορούσαν να είναι τα συχνά επεισόδια μεταφοράς αφρικάνικης σκόνης που επιδεινώνουν σημαντικά την ποιότητα αέρα των μεσογειακών περιοχών.

Ερχόμενοι αντιμέτωποι με αυτό το επιτακτικό πρόβλημα (και ελπίζουμε να σας έχουμε πείσει ως εδώ για τη σοβαρότητά του), οι αρμόδιοι φορείς και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικών αντιλήφθηκαν την καίρια σημασία που έχει ο στρατηγικός σχεδιασμός μέτρων και η άμεση λήψη των σχετικών αποφάσεων. Σε αυτό το πλαίσιο, ερευνητικές ομάδες αναπτύσσουν βραχυπρόθεσμα εργαλεία προσαρμογής (adaptation) και μακροπρόθεσμα εργαλεία μετριασμού (mitigation) τα οποία υιοθετούνται και εφαρμόζονται από τους κατάλληλους φορείς (Ευρωπαϊκή Ένωση, Υπουργεία, Περιφέρειες, Δήμοι).

Ενα πρόγραμμα που στοχεύει στη συστηματική καταγραφή του φαινομένου της ΑΘΝ και στη δημιουργία πολιτικών προσαρμογής είναι το «Εφαρμογή συστήματος πρόγνωσης της ΑΘΝ με σκοπό την ανάπτυξη στρατηγικών αστικής προσαρ-

μογής» (LIFE ASTI), που ξεκίνησε το 2018 και ολοκληρώνεται το 2021.

Στο LIFE ASTI συμμετέχουν 6 εταίροι από τη Θεσσαλονίκη και τη Ρώμη (Δήμος Θεσσαλονίκης, Azienda Sanitaria Locale Roma 1, Geospatial Enabling Technologies Ltd., Institute of Atmospheric Sciences and Climate of the National Research Council of Italy, Sympraxis Team P.C.), με συντονιστή εταίρο το Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του ΑΠΘ (καθηγητής Δημήτρης Μελάς).

Ο τρόπος με τον οποίο έχουν σχεδιαστεί οι δράσεις του ASTI φαίνεται συνοπτικά στο παραπάνω διάγραμμα ροής:

Το σύστημα αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης WRF-SLUCM τροφοδοτείται με δεδομένα εδάφους και αρχικές και οριακές συνθήκες με αποτέλεσμα να παράγει προϊόντα πρόγνωσης της ΑΘΝ σε υψηλή ανάλυση (ως 250 m²). Ανάμεσα σε αυτά τα προϊόντα είναι ο Δείκτης Δυσφορίας (DI), η ένταση της ΑΘΝ και ο Παγκόσμιος Δείκτης Θερμικού Κλίματος (UTCI). Επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι να τροφοδοτηθούν με κατάλληλα δεδομένα και να τρέξουν τα Συστήματα Προειδοποίησης Θερμικής Υγείας και να παραχθεί η πρόγνωση Δεικτών για την Κατανάλωση Ενέργειας των κτιρίων. Τελικό, και ίσως ένα από τα σημαντικότερα, στάδιο είναι όλη η παραγόμενη πληροφορία θα παρουσιαστεί με σχετικά απλό αλλά απο-

δοτικό τρόπο και να φτάσει στους αρμόδιους φορείς και το ευρύ κοινό με εφαρμογές δικτύου και κινητής τηλεφωνίας.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ η Ιταλία έχει ένα οργανωμένο δίκτυο Συστημάτων Προειδοποίησης Θερμικής Υγείας από το 2005 που καλύπτει όλες τις μεγάλες πόλεις, η Ελλάδα δεν διαθέτει τίποτα παρόμοιο και είναι η πρώτη φορά που θα εφαρμοστεί κάτι τέτοιο και μάλιστα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο επόμενο επίπεδο, που αφορά τα μακροπρόθεσμα εργαλεία μετριασμού (long-term mitigation tools) θα πραγματοποιηθεί αξιολόγηση των μεταβολών της ΑΘΝ λόγω της κλιματικής αλλαγής για διάφορα μελλοντικά κλιματικά σενάρια, όπως και μελέτες ευαισθησίας για την αξιολόγηση των πιλοτικών δράσεων του LIFE ASTI, που θα οδηγήσουν στη δημιουργία Σχεδίων Δράσεων Μετριασμού για την ΑΘΝ σε Θεσσαλονίκη και Ρώμη. Όλη αυτή η σύνθετη προσπάθεια αποσκοπεί στην εξεύρεση πιθανών λύσεων, δράσεων και βέλτιστων παραδειγμάτων που μπορούν να υιοθετηθούν και να εφαρμοστούν στις πόλεις της Ευρώπης (με έμφαση στη Μεσόγειο) για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ΑΘΝ.

Τέλος το LIFE ASTI θα συνεισφέρει στην ανθεκτικότητα των πόλεων (city resilience) ως προς:

- την κλιματική αλλαγή (προστασία του περιβάλλοντος και αύξηση της ανθεκτικότητας στις υψηλές

θερμοκρασίες, αποτροπή προβλημάτων υγείας που σχετίζονται με την αυξημένη θερμοκρασία, βιώσιμος αστικός σχεδιασμός και βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα)

- την οικονομία χαμηλής κατανάλωσης άνθρακα (επιτήρηση των ενεργειακών απαιτήσεων των κτηρίων, ορθολογική διαχείριση των ενεργειακών πόρων στη Θεσσαλονίκη και την Ρώμη).

Το LIFE ASTI είναι ένα πρόγραμμα που δεν στοχεύει μόνο στην ανάπτυξη επιστημονικών μεθόδων, εργαλείων και στην παραγωγή γνώσης. Σκοπός του είναι αφενός να χρησιμοποιηθεί αυτή η γνώση στην πράξη ώστε να συμβάλει ενεργά στη βελτίωση της καθημερινής ζωής των πολιτών και αφετέρου να φτάσει η πληροφορία σε κάθε ενδιαφερόμενο με τρόπο κατανοητό και προσβάσιμο.

Αν θέλετε να μάθετε περισσότερα, να ενημερωθείτε, να ρωτήσετε ή να εμπλακείτε, ακολουθήστε μας στους συνδέσμους του προγράμματος στα κοινωνικά δίκτυα:

www: <https://lifeasti.eu/>

fb: /Life-Asti-366183620887655

twitter: @asti_life

youtube: LIFE ASTI

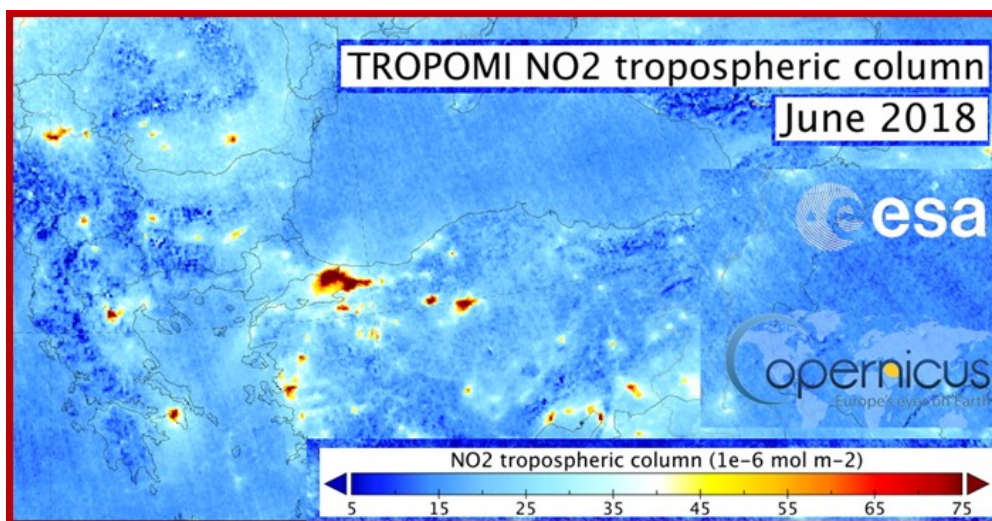
συνέβησαν στο τμήμα

σεμινάριο του τμήματος

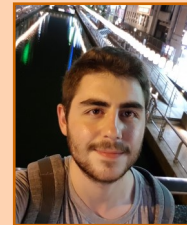
Την Τετάρτη 22 Μαΐου 2019 πραγματοποιήθηκε από τον **Dr. -Ing. Diego Loyola** του γερμανικού κέντρου αεροναυπηγικής, σεμινάριο με θέμα «Μηχανική μάθηση για την ανάλυση μεγάλων βάσεων δεδομένων από δορυφορικές παρατηρήσεις».

Η νέα γενιά αισθητήρων δορυφορικής τηλεπισκόπησης, η οποία παρουσιάζει βελτιωμένη χωρική, χρονική και φασματική ανάλυση, εισήγαγε μεγάλες προκλήσεις για την επεξεργασία, σε σχεδόν πραγματικό νο, των μεγάλων βάσεων δεδομένων που παράγονται από τους νέους δορυφόρους.

Στην διάλεξη ο ομιλητής παρουσίασε το πώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές μηχανικής μάθησης για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων τηλεπισκόπησης: (α) για την παραμετροποίηση προσομοιώσεων μοντέλων μεταφοράς ακτινοβολίας, (β) για την επίλυση αντίστροφων προβλημάτων και (γ) για την συγχώνευση συνόλων δεδομένων από διαφορετικούς δορυφόρους.



η επιρροή της φυσικής στα comics



Βασίλειος Μαρουφίδης
Φοιτητής
Τμήματος Φυσικής

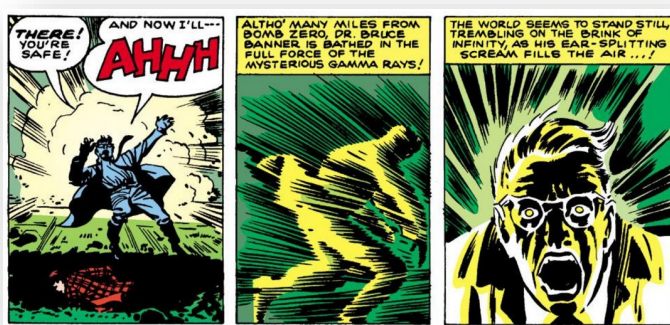
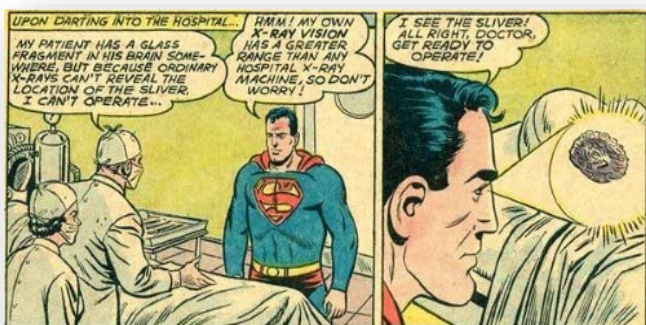
Η τελευταία δεκαετία θα μπορούσε ίσως να χαρακτηριστεί, όσον αφορά τον τομέα της ψυχαγωγίας, ως η δεκαετία των super heroes. Ταινίες με υπερήρωες έχουν κατακλύσει το Hollywood, καθώς μεγάλες εταιρείες όπως η Marvel και η DC επενδύουν εκατομμύρια στις νέες τους ταινίες. Από την προβολή της πρώτης ταινίας Iron Man, το 2007, μέχρι και σήμερα στο Infinity War: Endgame, πάρα πολλοί νέοι χαρακτήρες έχουν γίνει γνωστοί στο ευρύ κοινό. Αρκετές φορές οι ταινίες αυτές χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη φαντασία που διαθέτουν και την ποικιλομορφία των χαρακτήρων που παρουσιάζουν. Από πού αντλούνται όμως όλες αυτές οι πρωτοποριακές ιδέες; Τι αποτελεί πηγή έμπνευσης για τόσους δημιουργούς comics και ταινιών; Μπορεί να εκπλαγεί κανείς αν σκεφτεί την απάντηση σε αυτήν την ερώτηση: μα φυσικά η επιστήμη! Η επιστήμη και οι ανακαλύψεις που τη συνοδεύουν έχουν αποτελέσει τη μεγαλύτερη πηγή έμπνευσης των περισσότερων ιστοριών που χρησιμοποιούνται στα comics, αλλά και γενικά στην pop culture του τελευταίου αιώνα.

Αρχικά, πολλές δυνάμεις και ιδέες αφορούσαν καθημερινά πράγματα, όπως όλες μας τις βασικές δυνατότητες αναβαθμισμένες, όπως σούπερ δύναμη, σούπερ ακοή, σούπερ όραση, σούπερ ταχύτητα, σούπερ ευφυΐα κτλ., ενώ άλλες αφορούσαν στοιχεία της φύσης όπως νερό, φωτιά, γη, αέρας, ηλεκτρισμός κτλ. ή δυνάμεις εμπνευσμένες από ζώα. Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να τονίσω ότι το παρόν άρθρο δεν έχει σκοπό να εξετάσει την πραγματική φυσική των χαρακτήρων (για το αν δηλαδή αυτά που θα παρουσιαστούν είναι εφικτά ή όχι), παρά μόνο να δείξει το πώς συγγραφείς πήραν κάποιες βασικές ιδέες της φυσικής και τις μετέτρεψαν σε επισημονική φαντασία.

Ξεκινάμε λοιπόν την λίστα μας με τον Νο1 χαρακτήρα σε πωλήσεις σχετικών comic, τον **Superman**. Μία από τις δυνάμεις που διαθέτει ο Superman είναι οι γνωστές **ακτίνες X**, οι οποίες του επιτρέπουν να βλέπει μέσα από οτιδήποτε αυτός θελήσει. Ωστόσο αν αναρωτηθούμε, θα μπορούσε άραγε ο Superman να έχει αυτήν την ικανότητα, εάν οι επιστήμονες (και συγκεκριμένα ο Röntgen) δεν είχαν ανακαλύψει τις ακτίνες X στα τέλη του 19ου αιώνα και τις ιδιότητες που αυτές έχουν; Η απάντηση είναι μάλλον αρνητική. Παραδείγματα όπως το παραπάνω υπάρχουν αναρίθμητα και θα φροντίσω να αναφέρω και να αναλύσω μερικά από αυτά στη συνέχεια του άρθρου.

Ας πάμε τώρα σε έναν άλλο πολύ γνώριμο χαρακτήρα, τον αμφιλεγόμενο «πιο δυνατό Avengers» σύμφωνα με την ταινία Thor: Ragnarok, τον **Hulk**. Η ιστορία του Hulk αφορά τον διακεκριμένο επιστήμονα φυσικής Bruce Banner, ο οποίος στην προσπάθεια του να αναπαράγει το πείραμα του “super soldier” (Captain America) του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου, εκτέθηκε σε μεγάλες ποσότητες **ακτίνων γάμμα**. Φυσικά, όπως γνωρίζουμε, το πείραμα αυτό απέτυχε και τον αναγκάζει πλέον να μετατρέπεται σε αυτό που σήμερα γνωρίζουμε ως Hulk, όταν οι χτύποι της καρδιάς του ξεπεράσουν τους 200 ανά λεπτό ή όταν βρεθεί σε θανάσιμο κίνδυνο. Ακόμα μια φορά, όπως και στην περίπτωση του Superman δεν θα μπορούσε να γίνει αναφορά στις ακτίνες γάμμα αν αυτές δεν είχαν πρώτα ανακαλυφθεί.

Συνεχίζουμε τώρα με μια άλλη ομάδα γνωστών υπερηρώων, τους **Fantastic 4**. Στην προκειμένη περίπτωση, τέσσερις αστροναύτες εκτίθενται σε **κοσμικές ακτίνες** κατά την διάρκεια μιας δοκιμαστικής πτήσης στο διάστημα μέσα σε έναν πειραματικό πύραυλο. Όταν επέστρεψαν στην Γη, παρατήρησαν ότι έχουν πλέον υπερδυνάμεις και αποφάσισαν να





τις χρησιμοποιήσουν για καλό σκοπό. Οι Fantastic 4 αποτελούνται από τους:

- Mister Fantastic (Reed Richards), μια επιστημονική ιδιοφυΐα, που μπορεί να τεντώσει, να στρίψει και να διαμορφώσει το σώμα του σε αδιανόητες διαστάσεις.
- Invisible Girl/Invisible Woman (Susan Storm), έχει την ικανότητα να κάμπτεται και να χειρίζεται το φως για να καταστήσει τον εαυτό της και τους άλλους αόρατους.
- The Human Torch (Johnny Storm), ο μικρότερος αδερφός της Sue Storm, διαθέτει την ικανότητα να ελέγχει τη φωτιά, επιτρέποντάς του να προβάλλει φωτιά από το σώμα του, καθώς και τη δύναμη να πετάξει.
- The Thing (Ben Grimm), ο συγκάτοικος του Reed Richards στο κολέγιο και καλύτερος του φίλος, έχει μετατραπεί σε ένα τερατώδες, πορτοκαλί, ανθρωποειδές που μοιάζει με πέτρα και έχει υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας.

Ένας ακόμα χαρακτήρας που έγινε πρόσφατα γνωστός και χρησιμοποιεί έννοιες της φυσικής δεν είναι άλλος από τον **Ant-Man**. Ο αρχικός Ant-Man ήταν ο εμπειρογνώμονας βιοφυσικός και υπεύθυνος του Κέντρου Επιχειρήσεων Ασφαλείας Dr. Henry 'Hank' Pym, ο οποίος αποφάσισε να γίνει υπερήρωας μετά το θάνατο της συζύγου του Maria Tirona. Αφού ανακάλυψε μια χημική ουσία, την οποία ονόμασε Pym Particles, που θα επέτρεπε στον χρήστη να αλλάξει το μέγεθός του, ο ίδιος οπλίστηκε με ένα κράνος που θα μπορούσε να ελέγχει τα μυρμήγκια. Στη συνέχεια, την στολή και ιδιότητα του Ant-Man απέκτησε ο Scott Lang και μετατράπηκε στο νέο Ant-Man, ο οποίος στο τέλος της ταινίας συρρικνώνεται



σε αδιανόητο μέγεθος, **υποατομικό** όπως αναφέρεται στην ταινία, και εισχωρεί σε αυτό που λέγεται Quantum Realm. Σύμφωνα με τον Hank Pym το Quantum Realm αποτελεί: «Μια πραγματικότητα όπου όλες οι έννοιες του χρόνου και του χώρου γίνονται αδιάφορες, καθώς συρρικνώνονται για όλη την αιωνιότητα». Προφανώς αν δεν είχε υπάρξει ποτέ η έννοια της κβαντομηχανικής και οι ιδιόζουσες συνέπειες της, το μεγαλύτερο μέρος της ιστορίας του Ant-Man δεν θα μπορούσε να είχε δημιουργηθεί. Μια άλλη ονομασία για το Quantum Realm είναι **Microverse** και υποτίθεται ότι αποτελεί ένα από τα άπειρα ανεξερεύνητα σύμπαντα που υπάρχουν, αλλά θα επανέρθουμε σε αυτό στο τέλος του άρθρου.

Συνεχίζουμε τώρα, με ορισμένους χαρακτήρες εμπνευσμένους από τον τομέα της πυρηνικής φυσικής. Ξεκινάμε με έναν χαρακτήρα που θα λέγαμε ότι το όνομα του προδίδει αρκετά εύκολα τις ικανότητες του, τον όχι και τόσο γνωστό **Radioactive Man**. Ο Chen Lu

(δημιούργημα του Stan Lee) ήταν κομμουνιστής πράκτορας στη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας και πυρηνικός φυσικός που πέρασε μεγάλο μέρος του ελεύθερου χρόνου του εκθέτοντας τον εαυτό του σε μικρές δόσεις ακτινοβολίας έως ότου το σώμα του να είναι σε θέση να αντέξει τεράστια ποσά ακτινοβολίας (μην το δοκιμάσετε στο σπίτι!). Αφού συνέχισε αυτό για κάποια χρονική περίοδο, ανέπτυξε υπερ-



δυνάμεις και η φυσιολογία του άλλαξε έτσι ώστε να γίνει **ραδιενεργός άνθρωπος!** Το δέρμα του Lu πήρε μια πράσινη απόχρωση λόγω της έκθεσής του, αλλά η πραγματική του δύναμη είναι η ικανότητα να χειρίζεται το **φάσμα των μικροκυμάτων**. Μπορεί να δημιουργήσει θερμότητα, να προκαλέσει δηλητηρίαση από ακτινοβολία στους στόχους του και μπορεί ακόμη και να δημιουργήσει ένα υπνωτικό φως για να συγχύσει τους εχθρούς του. Προφανώς, η όλη ύπαρξη του συγκεκριμένου χαρακτήρα είναι βασισμένη στην φυσική.

Πάμε τώρα σε έναν άλλο χαρακτήρα που επίσης το όνομα του, δεν αφήνει και πολλά στη φαντασία του αναγνώστη, τον γνωστό **The Atom** (υπάρχουν και άλλοι δύο χαρακτήρες με παραπλήσια ονόματα και δυνάμεις όπως ο Captain Atom και Atomic Man, αλλά δεν θα ασχοληθούμε με αυτούς στην προκειμένη περίπτωση παρά μόνο ως αναφορές). Ο Raymond "Ray" Palmer, είναι φυσικός και καθη-

γητής στο πανεπιστήμιο Ivy στην φανταστική πόλη Ivy Town, κάπου στη Νέα Αγγλία, που ειδικεύεται στη **συμπύεση ύλης** ως μέσο για την καταπολέμηση του υπερπληθυσμού, της πείνας και άλλων παγκόσμιων προβλημάτων. Χρησιμοποιώντας μια μικρή ποσότητα μάζας ενός **λευκού νάνου** που βρήκε μετά την προσγείωση του στη Γη, ο Palmer δημιουργεί ένα φακό που του επιτρέπει να συρρικνώνει οποιοδήποτε αντικείμενο σε οποιοδήποτε βαθμό επιθυμεί, με την παρενέργεια όμως ότι το αντικείμενο αυτό στο τέλος εκρήγνυται. Ύστερα από ορισμένα γεγονότα και μια σειρά πειραμάτων, ο Palmer καταλήγει ότι κάποια άγνωστη δύναμη στο δικό του σώμα του επιτρέπει να αλλάζει μέγεθος με ασφάλεια μέχρι και την **υποατομική** κλίμακα. Αποφασίζει τότε να χρησιμοποιήσει αυτή του την δύναμη για να γίνει υπερήρωας.

Συνεχίζουμε τώρα τη λίστα μας με έναν άλλο σχετικά γνωστό χαρακτήρα, τον **Firestorm** (γνωστό και ως Nuclear Man). Ο αρχικός Firestorm ξεχώριζε από την ενωμένη διπλή ταυτότητά του. Ο μαθητής λυκείου Ronnie Raymond και ο βραβευμένος με το βραβείο Νόμπελ φυσικής Martin Stein ενεπλάκησαν σε ένα ατύχημα που τους επέτρεψε να συγχωνευτούν στον Firestorm, τον **«πυρηνικό άνθρωπο»**. Ο Firestorm έχει τη δυνατότητα να αναδιατάξει τις μοριακές ή σωματιδιακές δομές οποιασδήποτε ουσίας σε σχεδόν οτιδήποτε άλλο, δημιουργώντας διαφορετικές **ατομικές δομές** ίσης μάζας. Μπορεί να μετασχηματίσει τη βασική σύνθεση ενός αντικειμένου (π.χ. μετατρέποντας το μόλυβδο σε χρυσό) και μπορεί επίσης να αλλάξει το σχήμα ή τη μορφή του κατά βούληση. Προφανώς η όλη ιδέα της ατομικής δομής οφείλεται στις ανακαλύψεις των επιστημόνων του 20^{ου} αιώνα.

Θα αναφερθούμε τώρα σε έναν ακόμα χαρακτήρα εμπνευσμένο από τις ανακαλύψεις στον τομέα της πυρηνικής και την ιδέα της ισοδυναμίας ενέργειας-μάζας και αυτός είναι ο **Dr Solar** (Man of the Atom). Ο Dr Phil Seleski ήταν φυσικός που συμμετείχε σε ένα ατύχημα με αντιδραστήρα **πυρηνικής σχάσης** (παρατηρείτε μέχρι στιγμής ένα μοτίβο μήπως;), στον οποίο αναγκάστηκε να πηδήξει μέσα για να σταματήσει την έκρηξη. Αντί να πεθάνει, μετατράπηκε σε μια ύπαρξη καθαρής ενέργειας ικανής να ελέγξει



τητα του φωτός. Βλέπουμε λοιπόν ότι ο συγκεκριμένος χαρακτήρας, αν η φυσική δεν είχε καταφέρει όλες αυτές τις ανακαλύψεις, δεν θα μπορούσε να υπάρξει.



υπεράνθρωπος θα ήταν ένας εσφαλμένος χαρακτηρισμός. Ο Dr Manhattan αποτελεί πλέον μια ύπαρξη η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως θεός. Ο Manhattan έχει τη δυνατότητα να αλλάξει την ύλη και την ενέργεια σε θεμελιώδες επίπεδο, ενώ μπορεί ακόμη και να δημιουργήσει ζωή αν το επιλέξει. Μπορεί να καταστρέψει έναν στόχο κατά βούληση, απλά αποφασίζοντας ότι πρέπει να σταματήσει να υφίσταται. Είναι αθάνατος και άτρωτος, οπότε το να προσπαθήσει κάποιος να τον σκοτώσει, δεν αποτελεί πρακτικά επιλογή. Επιπλέον, έχει τη δύναμη να χειρίζεται και να ταξιδεύει στο χρόνο. Μπορεί να δει όλα τα γεγονότα της ζωής του (το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον) να συμβαίνουν ταυτόχρονα, ενώ έχει αποσυνδεθεί όπως προαναφέραμε τόσο από την ανθρωπότητα, σε σημείο που



να μην μπορεί να θεωρηθεί άνθρωπος. Ακόμα ήταν υπεύθυνος για τα γεγονότα της DC που είναι γνωστά ως "Rebirth" από τις πραγματικότητες μετά το Flashpoint και "New 52".

Ο Dr Manhattan πήρε το όνομα του από το πρόγραμμα Manhattan κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, το οποίο ανέπτυξε την πρώτη ατομική βόμβα. Επίσης, το σύμβολο του, που δημιούργησε ο ίδιος στο μέτωπο του, είναι αυτό της ατομικής δομής του υδρογόνου.

Ένας τελευταίος χαρακτήρας στον οποίο θα ήθελα να αναφερθώ και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως φόρος τιμής των επιτευγμάτων του κλάδου της φυσικής στερεάς κατάστασης είναι ο **Living Laser**. Ένας χαρισματικός επιστήμονας με τεχνογνωσία στην τεχνολογία **λείζερ** και Ph.D. στη φυσική, ο Arthur Parks ξεκίνησε την εγκληματική του σταδιοδρομία χρησιμοποιώντας μονάδες εκπομπής λείζερ τοποθετημένες στα χέρια του, ενώ αργότερα εμφύτευσε μικροσκοπικές δίοδους λείζερ στο δέρμα του, οι οποίες απορροφούσαν ενέργεια. Με τα εμφυτεύματα δίδων, ο Parks είναι ικανός για προβολή ενέργειας, διάθλαση φωτός που τον καθιστά αόρατο και δημιουργία ψευδαισθήσεων. Το υλικό σώμα του Parks αντικαθίσταται τελικά από φωτόνια λόγω της υπερφόρτωσης των εμφυτευμάτων δίοδου. Με την αύξηση της πυκνότητας των φωτονίων που περιλαμβάνει η μορφή του, ο Parks μπορεί να επιτύχει «στερεότητα», να προβάλει φωτόνια ως ενεργειακές δέσμες και να δημιουργήσει τρισδιάστατες ολογραφικές εικόνες. Ο Living Laser, εμπνευσμένος από τον Stan Lee και τον Don Heck, αποτέλεσε μόνιμο αντίπαλο του Iron Man. Όπως είναι μάλλον ξεκάθαρο, ο συγκεκριμένος χαρακτήρας είναι και αυτός εμπνευσμένος εξ' ολοκλήρου από τα επιτεύγματα της φυσικής του 20^{ου} αιώνα.

Καθώς πλησιάζουμε προς το τελευταίο μέρος του άρθρου, θα αναφερθώ σε μια ιδέα που είναι επίσης εμπνευσμένη από την φυσική και διαθέτει το μέγιστο βαθμό επιστημονικής φαντασίας, το **Multiverse**. Το multiverse, γνωστό και ως omniverse, είναι μια υποθετική ομάδα πολλαπλών σύμπαντων που περιλαμβάνει το σύμπαν στο οποίο ζούμε. Μαζί, αυτά τα σύμπαντα περιλαμβάνουν όλα όσα υπάρχουν: το σύνολο του χώρου, του χρόνου, της ύλης, της ενέργειας και των φυσικών νόμων και σταθερών που τα περιγράφουν. Τα διαφορετικά σύμπαντα μέσα στο multiverse ονομάζονται «παράλληλα σύμπαντα», «άλλα σύμπαντα» ή «εναλλακτικά σύμπαντα». Η ιστορία της ιδέας ξεκινάει στο Δουβλίνο το 1952, όπου ο Erwin Schrödinger έδωσε μια διάλεξη στην οποία προειδοποίησε αστεειυόμενος το ακροατήριό του ότι αυτό που ήταν



έτοιμος να πει θα μπορούσε να «φανεί θεότρελο». Είπε ότι όταν οι εξισώσεις του φαινόταν να περιγράφουν διάφορες ιστορίες, αυτές δεν ήταν «εναλλακτικές, αλλά συνέβαιναν όλες ταυτόχρονα». Ο Αμερικανός φιλόσοφος και ψυχολόγος William James χρησιμοποίησε τον όρο "multiverse" το 1895, αλλά σε ένα διαφορετικό πλαίσιο. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στη μυθοπλασία από τον Michael Moorcock στην νουβέλα επιστημονικής φαντασίας του 1961 "The Sundered Worlds". Όπως γράφει

και στο εξώφυλλο: "The first book of the multiverse".

Η ερμηνεία των πολλών κόσμων είναι μια ερμηνεία της κβαντομηχανικής που αρνείται την πραγματικότητα της κατάρρευσης της κυματοσυνάρτησης. Η ύπαρξη των άλλων κόσμων καθιστά δυνατή την αφαίρεση της τυχαιότητας και της δράσης από απόσταση από την κβαντική θεωρία και έτσι από όλη την φυσική. Η ύπαρξη πολλών κόσμων υπονοεί ότι όλες οι πιθανές εναλλακτικές ιστορίες είναι εξίσου πραγματικές και κάθε μια αντιπροσωπεύει έναν πραγματικό «κόσμο» (ή «σύμπαν»). Σε απλοϊκούς όρους, η υπόθεση δηλώνει ότι υπάρχει ένα πολύ μεγάλο –ίσως άπειρο– πλήθος κόσμων και όλα όσα θα μπορούσαν ενδεχομένως να συμβούν στο παρελθόν, αλλά δεν συνέβησαν, έχουν συμβεί στο παρελθόν κάποιου άλλου σύμπαντος. Η θεωρία αναφέρεται επίσης ως MWI (many-worlds interpretation) ή ερμηνεία του Everett, διότι η αρχική σχετική τοποθέτηση οφείλεται στον Hugh Everett το 1957. Το MWI είναι μία από τις πολλές υποθέσεις multiverse στη φυσική και τη φιλοσοφία. Αυτήν τη στιγμή θεωρείται μια γενική ερμηνεία μαζί με τις υπόλοιπες θεωρίες, όπως τις θεωρίες κατάρρευσης (συμπεριλαμβανομένης της ιστορικής ερμηνείας της Κοπεγχάγης) και τις θεωρίες κρυφών μεταβλητών όπως η μηχανική Bohmian. Η πρώτη αναφορά του multiverse σε comics ήταν το 1953 στο τεύχος Wonder Woman #59. Το συγκεκριμένο τεύχος εισάγει την ιδέα ενός άλλου σύμπαντος παράλληλα με το «δικό μας», ενώ σε κάποιο σημείο του comic λέει: «Η Γη

πρέπει να έχει έναν δίδυμο κόσμο, που υπάρχει ταυτόχρονα μαζί της! Όλοι όσοι ζουν σε αυτό, αποτελούν έναν κλώνο όλων αυτών που υπάρχουν στη Γη!». Η σειρά comic The Flash #123 του 1961, παίρνει την ιδέα αυτή και την πηγαίνει ένα βήμα παραπέρα, σε κάτι πιο γνώριμο με το σημερινό DC multiverse, όταν ο **Flash** συναντά έναν διαφορετικό Flash από ένα άλλο σύμπαν (Earth-Two) όπου ο ίδιος είναι χαρακτήρας κόμικς που έχει εμπνεύσει άλλους. Το τεύχος Justice League of America #21 του 1963, "Crisis on Earth One!", καθιερώνει το DC multiverse. Μιας και αναφερθήκαμε στον Flash,





ας πούμε λίγα λόγια για αυτόν. Ο Barry Allen (aka Flash) είναι χημικός της αστυνομίας και μια νύχτα, καθώς εργαζόταν μέχρι αργά, μια αστραπή έσπασε ένα δοχείο γεμάτο χημικές ουσίες, οι οποίες τον περιέλουσαν. Ως αποτέλεσμα, ο Allen ανακαλύπτει ότι μπορεί να τρέξει εξαιρετικά γρήγορα (χρησιμοποιώντας το

όπως λέγεται speed force) και να έχει αντίστοιχα αντανakλαστικά και αισθήσεις. Επιπλέον, έχει την ικανότητα να δονείται με τέτοιο τρόπο ώστε να περνάει μέσα από τοίχους (και άλλα αντικείμενα), μια διαδικασία που ονομάζεται **κβαντική σήραγγα**, ενώ ακόμα εφηύρε τον κοσμικό διάδρομο, μια συσκευή που του επιτρέπει να **ταξιδεύει στον χρόνο** και χρησιμοποιήθηκε σε πολλές ιστορίες. Το 2011 επανήλθε στο προσκήνιο με το τρομερής επιτυχίας comic book: "The Flashpoint Paradox" (έχει γίνει και animated ταινία). Στην συγκεκριμένη ιστορία, ο Barry Allen τρέχει στο παρελθόν και σώζει την μητέρα του από το θάνατο με αποτέλεσμα να αλλάξει η δικιά του πραγματικότητα. Στην εναλλακτική πραγματικότητα, που ζει πλέον η μητέρα του, τα πράγματα είναι τελείως διαφορετικά, όπως για παράδειγμα δεν υπάρχει (;) ο Superman, ενώ ο Batman είναι εγκληματίας. Αντίστοιχα με την DC, παρόμοια γραμμή έχει ακολουθήσει και η Marvel με το concept των παράλληλων πραγματικοτήτων. Πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η animated ταινία "Spiderman: Into the Spider-verse" που βραβεύτηκε με Oscar. Η υπόθεση αφορά τον εγκληματία **Kingpin**, του οποίου η οικογένεια έχει πεθάνει και την συνεργασία του με την **Doctor Octavius** (Doctor Octopus), με την οποία φτιάχνουν έναν **επιταχυντή**, με σκοπό να φέρουν την οικογένεια του από μια **παράλληλη πραγματικότητα**. Την προσπάθεια του αυτή επιχειρεί να σταματήσει ο Spider-Man (διότι ειδάλλως θα δημιουργηθεί μια **μαύρη τρύπα** που θα καταστρέψει όλη την πόλη) και μετά από μια σειρά ορισμένων γεγονότων πέντε Spider-Man από διαφορετικές πραγματικότητες καταλήγουν στον δικό του κόσμο (στην εικόνα δεξιά βλέπουμε την αντί-

στοιχη Γη από την οποία προήλθε ο κάθε χαρακτήρας όπως απεικονίζεται στην ταινία, με την δικιά μας πραγματικότητα να την αποτελεί η Earth-616 πάνω αριστερά).

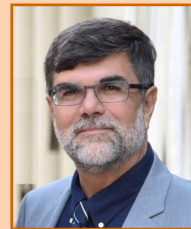
Μέσα από όλα αυτά τα παραδείγματα παρατηρούμε ότι πάρα πολλές ιστορίες είναι εμπνευσμένες σε μεγάλο βαθμό από τις εμμονές που επικρατούν γύρω από την επιστήμη, όπως η κλασική περίπτωση που κάποιος τρομερά ευφυής επιστήμονας δοκιμάζει ένα πείραμα που τελικά αποτυγχάνει, οδηγεί σε κάποιου είδους έκρηξη που έχει ως αποτέλεσμα να αλλάξει η φυσιολογία του χαρακτήρα του. Τα περισσότερα έχουν να κάνουν είτε με ακτινοβολία είτε με πυρηνικούς αντιδραστήρες, ενώ από το τελευταίο μας παράδειγμα δεν έλλειψε και η αναφορά στην δημιουργία μαύρης τρύπας μέσω ενός επιταχυντή. Σε άλλες περιπτώσεις, συγγραφείς παίρνουν βασικές ιδέες της φυσικής (όπως η δίοδος και το laser) και μέσω της επιστημονικής φαντασίας τις μετατρέπουν σε αστεία ακραία σενάρια (όπως ο Living Laser). Τέλος, παρατηρούμε ότι όπως κάθε μορφή τέχνης, π.χ. κινηματογράφος, λογοτεχνία κ.τ.λ. έτσι και τα comics εμπνέονται από την εκάστοτε περίοδο που διανύουμε (βλέπουμε ότι πολλοί χαρακτήρες δημιουργήθηκαν λόγω των πυρηνικών δοκιμών κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου ή ότι συνήθως οι «κακοί» είναι Ρώσοι ή Κινέζοι επιστήμονες). Επίσης, η όλη ιδέα των παράλληλων πραγματικοτήτων έχει αποτελέσει για τους συγγραφείς ανεξάντλητη πηγή φαντασίας, μιας και πάντα μπορούν να ξεκινούν από την αρχή χρησιμοποιώντας κάθε φορά τους ίδιους χαρακτήρες ελαφρώς τροποποιημένους. Βλέποντας λοιπόν τον τεράστιο βαθμό στον οποίο η επιστήμη έχει επηρεάσει την κουλτούρα του θεάματος, θα ήθελα να κλείσω με ένα γνωμικό του Sir Arthur Eddington που λέει: "Not only is the universe stranger than we imagine, it is stranger than we can imagine".



Πηγές

- https://en.wikipedia.org/wiki/Many-worlds_interpretation
- https://en.wikipedia.org/wiki/Flash_of_Two_Worlds
- <https://www.scientificamerican.com/article/multiverse-the-case-for-parallel-universe/>
- <https://www.universetoday.com/113900/parallel-universes-and-the-many-worlds-theory/>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Multiverse>
- <https://www.forbes.com/sites/startswithabang>

ποιος προάγει την επιστήμη;



Αναστάσιος Λιόλιος

Καθηγητής
Τμήματος Φυσικής

Εχει επισημανθεί ήδη από τον αρχαίο φιλόσοφο Επίκουρο, ότι η γνώση της φύσης και η επιστημονική μελέτη των φαινομένων είναι αναγκαίες για την αποφυγή του φόβου που προκαλεί το άγνωστο και οι δεισιδαιμονίες. Επιπλέον, η επιστημονική γνώση βλέπουμε σήμερα να δημιουργεί πραγματικό ενδιαφέρον στον σύγχρονο άνθρωπο, ακόμη χαρά και ευχαρίστηση, ανεξάρτητα από ηλικία, φύλο, κοινωνική στάθμη, μορφωτικό επίπεδο. Έτσι, στην ανθρώπινη ευτυχία συμβάλλουν οι «ηδονές» της νόησης και της κατανόησης του κόσμου, δηλαδή η νοητική σύλληψη των φυσικών φαινομένων, των φυσικών διεργασιών, της φυσικής πραγματικότητας, της ιστορίας του κόσμου, της δομής του κόσμου, ακόμη και της προέκτασης της σκέψης στα επιστημονικά επιτεύγματα του μέλλοντος μέσω της «επιστημονικής φαντασίας». Μπορεί εδώ να προστεθεί επίσης και η «ηδονή» της ευφυίας, αυτή που γεννιέται π.χ. από τη μελέτη μαθηματικών οντοτήτων και σχέσεων, την επίλυση γρίφων, τις επιστημονικές υποθέσεις, τα παίγνια, τον σχεδιασμό, την συζήτηση (συν-ζήτηση), την διδασκαλία κ.ά.

Αλλά, ως επανέλθουμε στον τίτλο: «Ποιος προάγει την Επιστήμη;» Η προφανής απάντηση είναι «Την επιστήμη προάγουν οι επιστήμονες». Αυτή η πρόταση όμως, θα αναρωτηθεί κανείς, θα μπορούσε να συμπληρωθεί από κάτι που να την διευρύνει, ώστε να μην θεωρείται απλώς «τετριμμένη λύση» και κοινότοπη απάντηση. Νομίζω πως ναι, υπάρχει.

Η επιστήμη είναι κοινωνικό προϊόν, είναι γέννημα της κοινωνίας και της ιστορικής περιόδου στην οποία αναπτύσσεται, κάτι που είχε επισημάνει από την δεκαετία του 1960 ο εξαιρετικός Thomas Kuhn στο βιβλίο του «Η δομή των επιστημονικών επαναστάσεων» το οποίο αποτέλεσε σταθμό για την επιστημολογία. Η επιστήμη λοιπόν, συμπεριλαμβανομένης σε αυτήν και της κοινωνικής της διάστασης, δεν μπορεί να προάγεται μόνο από τους επιστήμονες. Μάλλον, δεν αρκεί να υπάρχουν μόνον επιτυχημένοι επιστήμονες, πρέπει να υπάρχουν και επιτυχημένοι συγγραφείς που συμβάλλουν ή που δείχνουν τον δρόμο για την εξέλιξη της επιστήμης, όπως και επιτυχημένοι δημοσιογράφοι που παρουσιάζουν τα επιστημονικά θέματα στον κόσμο ή και τα ανήσυχα φιλοσοφικά μυαλά που θα αναζητήσουν τις πνευματικές προεκτάσεις και συνέπειες των νέων επιστημονικών ανακαλύψεων. Δεν μπορεί να μην βλέπει κανείς και αυτήν τη δραστηριότητα ως μια σημαντική και ενδιαφέρουσα πλευρά της επιστήμης, αφού αυτή η δράση επιδιώκει μια επιτυχημένη και ουσιαστική επαφή της επιστημονικής γνώσης με τον καθημερινό άνθρωπο, με το ευρύ κοινό, με την κοινωνία της οποίας τελικά είναι κτήμα. Εξ' άλλου, αφού η κοινωνία χρηματοδοτεί τη ζωή και το έργο των επιστημόνων καθώς και την επιστημονική έρευνα, έχει γίνει σαφές στις μέρες μας

ότι αυτό δεν μπορεί να το κάνει στα τυφλά, χωρίς δηλαδή να γίνεται παράλληλα κοινωνός των επιστημονικών επιτευγμάτων, ακόμη και των μελλοντικών προσδοκιών από την επιστημονική δραστηριότητα.

Η συμβολή στα παραπάνω τόσων εξω-ακαδημαϊκών δημιουργικών ανθρώπων του πνεύματος, της φιλοσοφίας και της επικοινωνίας, είναι αναμφισβήτητη. Ένα «κλασσικό» παράδειγμα τέτοιου οραματιστή είναι ο Ιούλιος Βερν κι ένας άλλος, πιο πρόσφατος, είναι ο Άρθουρ Κλάρκ. Πραγματικά, αξίζει να αναζητήσει κανείς το έργο τους και να ξαναδεί την κοινωνική του αξία. Επίσης, άλλο παράδειγμα αποτελούν οι πολλοί εξαιρετικοί δημιουργοί της κινηματογραφικής τέχνης που δίνοντας αληθινά αριστουργήματα, άφησαν εποχή και ενέπνευσαν γενεές ολόκληρες, τόσο απλών ανθρώπων όσο και επιστημόνων, όπως π.χ. ο Στάνλεϊ Κιούμπρικ με την ταινία του «2001, Οδύσσεια του διαστήματος».

Τέλος, αξίζει να λεχθεί κάτι για την ίδια την επιστημονική δραστηριότητα που ασκείται κάποτε, απρόσμενα, και από ανθρώπους που, ενώ δεν ευνοήθηκαν από την καθιερωμένη εκπαιδευτική προπαρασκευή για να γίνουν επιστήμονες, εντούτοις αγάπησαν την επιστήμη και συνέβαλλαν με αξιόλογο έργο στο επιστημονικό γίγνεσθαι. Το παράδειγμα αυτών των επιστημόνων δείχνει ότι η ίδια η παραγωγή της επιστημονικής γνώσης, όπως και η ποιότητα του επιστημονικού έργου, δεν περιορίζεται αποκλειστικά μόνο, ούτε και εξασφαλίζεται, από τους ακαδημαϊκούς τίτλους, δηλαδή από τα πτυχία, τα μεταπτυχιακά διπλώματα, τα διδακτορικά κλπ., των απασχολούμενων επιστημόνων. Ούτε βέβαια οι τυπικοί τίτλοι σπουδών καθιστούν κάποιον αυτομάτως δραστήριο, αξιόλογο ή και επιτυχημένο επιστήμονα. Υπάρχουν ονόματα στη ιστορία της επιστήμης που μας διδάσκουν να μην είμαστε απόλυτοι στο θέμα αυτό.

Θα αναφέρω τρία παραδείγματα ανθρώπων, που τα επιστημονικά τους «έργα και ημέρες» δεν προκύπτουν από τους τίτλους σπουδών τους, αφού αυτοί είχαν σημαντική συνεισφορά στην επιστήμη χωρίς να κατέχουν έναν τυπικό ακαδημαϊκό τίτλο, δηλαδή κάποιο πτυχίο πάνω σε αυτήν. Είναι οι Michael Faraday, Milton Humason και Bill Gates. Ψάχνοντας τα βιογραφικά των σπουδαιών και καινοτόμων αυτών επιστημόνων σίγουρα γινόμαστε σοφότεροι και μάλλον κάπως μετριοπαθέστεροι στις κρίσεις μας για το ποιος προάγει την επιστήμη και ποιος αξίζει να αναφέρεται στα επιστημονικά περιοδικά.

Ακολουθεί η παρουσίαση της περίπτωσης του Milton Humason, ενός ανθρώπου που με την δημιουργική περιέργεια και τη φιλομάθειά του, «εκτοξεύθηκε» από τα ορεινά μονοπάτια που βάδιζε δίπλα στα μουλάρια του, στους έναστρους ουραμούς και στην λεπτομερή καταγραφή της απομάκρυνσης των γαλαξιών, γινόμενος έτσι ο

πρώτος που είχε την ευκαιρία για μια σχεδόν απτή «ψηλάφηση» της διαστολής του σύμπαντος!

Milton Humason (1891-1972)

Ο Edwin Hubble είναι χωρίς αμφιβολία ένας από τους πιο διάσημους αστρονόμους στην ιστορία, αφού όχι μόνο ανακάλυψε ότι το σύμπαν διαστέλλεται, διαπίστωση που μας οδήγησε στη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, αλλά ποσοτικοποίησε τον ρυθμό διαστολής μέσω του νόμου που φέρει το όνομά του.

Το φάσμα του φωτός που εκπέμπουν οι γαλαξίες μπορεί να αναλυθεί λεπτομερώς και με ακρίβεια. Παρατηρήθηκε έτσι ότι οι φασματικές γραμμές των γαλαξιών παρουσιάζουν συστηματικά μετατόπιση προς το ερυθρό, πράγμα που σημαίνει (λόγω φαινομένου Doppler) ότι οι ταχύτητες των γαλαξιών είναι ταχύτητες απομάκρυνσης.



Edwin Hubble
1889-1953



Milton Humason
1891-1972

Ο Edwin Hubble ήταν αυτός που προσδιόρισε ποσοτικά αυτήν τη διαπίστωση και ήταν ο πρώτος που διατύπωσε το νόμο διαστολής του σύμπαντος. Ο νόμος αυτός λέει, με απλά λόγια, ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση r ενός γαλαξία από εμάς, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα u της απομάκρυνσής του. Η σταθερά αναλογίας μεταξύ της ταχύτητας u και της απόστασης r , ονομάστηκε **σταθερά του Hubble**. Η εύρεση της αριθμητικής τιμής της σταθεράς του Hubble απαιτεί την ακριβή μέτρηση των αποστάσεων και των ταχυτήτων πολλών γαλαξιών, δουλειά εξαιρετικά σημαντική, αλλά χρονοβόρα και κοπιαστική που απαιτεί υπομονή, επιμονή και παρατηρητικότητα.

Στο παρόν όμως άρθρο, δεν θα επικεντρώσουμε την προσοχή μας στον εξαιρετικό αστρονόμο Hubble, αλλά στον συνεργάτη του, τον Milton Humason.

Ο Milton Humason γεννήθηκε το 1891 σε μια μικρή πόλη της Μινεσότα. Όταν ήταν στην ηλικία των 14 ετών, η οικογένειά του μετακόμισε στην Καλιφόρνια και ο νεαρός Μίλτον ένωσε στον περίγυρό του τον μεγάλο ενθουσιασμό που υπήρχε καθώς ετοιμαζόταν το νέο Αστεροσκοπείο στο όρος Wilson και η άφιξη εκεί ενός νέου μεγάλου τηλεσκοπίου. Ο Humason, ενθουσιώδης, εγκατέλειψε το σχολείο και την εκπαίδευσή του στα 14 χρόνια του και πήγε να εργασθεί ως ημιονηγός (οδηγός μουλαριών, κοινώς «μουλαράς») μαζί με άλλους που προσλήφθηκαν για να μεταφέρουν στο βουνό τα υλικά κατασκευής και τον εξοπλισμό του αστεροσκοπείου. Έτσι, περπάτησε πολλές φορές στη διαδρομή μεταξύ της Sierra Madre και του όρους Wilson κατά τη διάρκεια των εργασιών κατασκευής. Όταν το αστεροσκοπείο ήταν πια έτοιμο, ο Μίλτον

έχοντας μεγάλη περιέργεια για το υλικό που είχε βοηθήσει να μεταφερθεί στο βουνό, προσφέρθηκε εθελοντικά και άρχισε να δουλεύει εκεί ως νυκτερινός βοηθός. Το 1917 προσλήφθηκε στο Αστεροσκοπείο ως φροντιστής-επιστάτης του κτηρίου. Το προσωπικό τον συμπάθησε, τον εμπιστεύθηκε και άρχισε να του δείχνει μερικές από τις τεχνικές της αστροφωτογραφίας και αργότερα της αστρικής φασματοσκοπίας. Η τεχνική επιδεξιότητά του και ο ήρεμος χαρακτήρας του τον κατέστησαν σύντομα τον καλύτερο βοηθό για κάθε είδους εργασία.

Διευθυντής του αστεροσκοπείου ήταν ο Τζωρτζ Χέηλ (George Hale), καθηγητής από το 1892 στο Πανεπιστήμιο του Σικάγο. Ήταν αυτός που είχε οργανώσει το αστεροσκοπείο, του οποίου ανέλαβε τη διεύθυνση μέχρι το 1923. Αναγνωρίζοντας τις αρετές που επέδειξε ο Humason στις όποιες εργασίες του ανέθεταν, τον διόρισε, το 1919, μέλος του επιστημονικού προσωπικού του αστεροσκοπείου. Αυτό ήταν κάτι πολύ ασυνήθιστο, καθώς ο Humason δεν είχε ούτε διδακτορικό, ούτε καν πτυχίο. Σύντομα ωστόσο απέδειξε πως η απόφαση του καθηγητή Χέηλ ήταν σωστή, καθώς απέκτησε τη φήμη ενός πολύ προσεκτικού παρατηρητή αστεροσκοπείου, ιδιαίτερα ικανού να παίρνει φωτογραφίες και δύσκολα φασματογραφήματα πολύ αμυδρών γαλαξιών. Περνούσε ατελείωτες ώρες εξετάζοντας τις φωτογραφικές πλάκες, αναζητώντας τις πιο μικρές λεπτομέρειες, με αποτέλεσμα να πραγματοποιήσει και αρκετές παρατηρησιακές ανακαλύψεις.

Το πιο σπουδαίο είναι ότι οι παρατηρήσεις του Humason έπαιξαν σημαντικότατο ρόλο στις εξελίξεις της παρατηρησιακής κοσμολογίας αφού σε αυτές στηρίχθηκε ο Edwin Hubble για να διατυπώσει το νόμο του για την διαστολή του σύμπαντος. Ο Humason συνεργάστηκε στενά με τον Hubble για πολλά χρόνια και ήταν σεβαστός από τους συναδέλφους του. Από το 1930 μέχρι την συνταξιοδότησή του το 1957, ο Humason μέτρησε τις μετατοπίσεις προς το ερυθρό 620 γαλαξιών. Τα ονόματα των Hubble και Humason εμφανίστηκαν μαζί σε έναν μακρύ κατάλογο σημαντικών επιστημονικών δημοσιεύσεων.

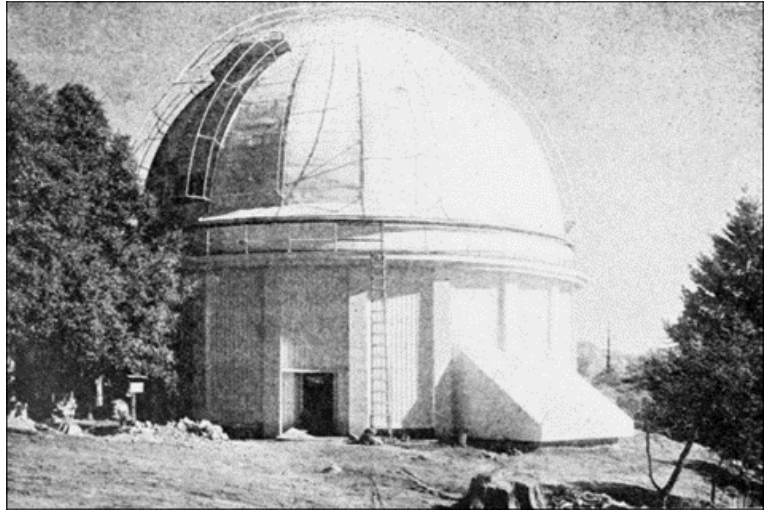
Ο Humason πήρε τελικά το πτυχίο του το 1950 και επτά χρόνια αργότερα συνταξιοδοτήθηκε, συνεχίζοντας ωστόσο τις αστρονομικές παρατηρήσεις. Αφιέρωνε μεγάλο μέρος του χρόνου του και για να απαντά σε επιστολές ανθρώπων από όλο τον κόσμο και όλων των κοινωνικών



Ο νεαρός Humason εργάστηκε ως οδηγός μουλαριών για τη μεταφορά των υλικών κατασκευής και του εξοπλισμού του αστεροσκοπείου στο όρος Wilson.

στρωμάτων. Πέθανε το 1972 σε ηλικία 80 ετών. Προς τιμή του το όνομά του δόθηκε σε έναν κρατήρα στην ορατή πλευρά της Σελήνης.

Μια πιο βαθιά ματιά στον άνθρωπο Humason έδωσε ένας σπουδαίος συνάδελφος και συνεργάτης του, ο αστρονόμος Φριτς Τσβίκυ (Fritz Zwicky), αυτός που πρώτος ανακάλυψε την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης, στη νεκρολογία του για τον Humason. Ο Humason, λέει, ήταν το ιδανικό ενός επιστήμονα που αναγνώριζε ότι η κοινωνία του έδωσε τα μέσα και του επέτρεψε να κάνει ανεμπόδιστα τις έρευνες που τον ενδιέφεραν και ότι γι' αυτό το προνόμιο που έλαβε, όφειλε να εξυπηρετεί όποιον του το ζητούσε, επιστρέφοντας έτσι το όφελος αυτό στην κοινωνία. Ήταν ένας άνθρωπος που τον οδηγούσε η δίψα για τη γνώση και την αλήθεια και ποτέ δεν νοιάστηκε για το όνομα που θα αφήσει στην ιστορία. Το όνομά του όμως θα παραμείνει στη μνήμη του επιστημονικού κόσμου, όσο τουλάχιστον θα υπάρχει στη σελήνη ο «κρατήρας Humason» και όσο θα στρέφουν οι αστρονόμοι τα τηλεσκόπια προς τους «αστέρες Humason-Zwicky».



Το αστεροσκοπείο του όρους Wilson

*“Equipped with his five senses,
man explores the universe around him
and calls the adventure Science”.*

*«Εξοπλισμένος με τις πέντε αισθήσεις του,
ο άνθρωπος διερευνά το σύμπαν γύρω του
και την περιπέτεια αυτή την καλεί Επιστήμη».*

Edwin Hubble

THE VELOCITY-DISTANCE RELATION AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE¹

By EDWIN HUBBLE AND MILTON L. HUMASON

ABSTRACT

Methods of determining distances of extra-galactic nebulae are discussed, and the mean absolute magnitude is revised on the basis of (1) Shapley's revision of the zero-point of the period-luminosity curve for Cepheids, and (2) more extensive observations of stars involved in nebulae. The revised value is $M(\text{vis}) = -14.9$.

The mean color-index of the nearer extra-galactic nebulae appears to be of the order of $+1.1$ mag., hence $M(\text{pg}) = -13.8$. A color-excess is suggested which is independent of distance but shows some relation to galactic latitude.

The velocity-distance relation is re-examined with the aid of 40 new velocities, 26 of which refer to nebulae in 8 clusters or groups. Distances of the clusters, ranging out to about 32 million parsecs, have been derived from the most frequent apparent magnitudes. The velocity displacements reduce the apparent magnitudes by amounts which become appreciable for the more distant clusters.

The new data extend out to about eighteen times the distance available in the first formulation of the velocity-distance relation, but the form of the relation remains unchanged except for the revision of the unit of distance. The relation is

$$\text{Vel.} = \frac{\text{Dist. (parsecs)}}{1790},$$

and the uncertainty is estimated to be of the order of 10 per cent.

PART I. DISTANCES OF NEBULAE

Distances of nebulae are derived from the application of absolute-magnitude criteria to stars involved in the nebulae. This is the only direct method available at present, and it plays the same rôle among the nebulae that micrometer measures play among the stars. All other methods are calibrated by means of the small sample collection of nebulae in which stars can be seen and studied. The assumption that this collection is a representative sample is a first approximation, supported in a general way by the consistency of the results to which it leads. The basic data will be materially increased only when larger telescopes and faster plates are available.

*Η πρώτη σελίδα της πολύ
σημαντικής εργασίας των
Hubble και Humason, που
δημοσιεύθηκε τον Μάρτιο του
1931 (ApJ., 74, 43)*

συνέβησαν στο τμήμα

ορκωμοσίες πτυχιούχων

οι νέοι πτυχιούχοι του Τμήματος Φυσικής

την Παρασκευή 9/4/2019 πραγματοποιήθηκε στην Αίθουσα Τελετών του Α.Π.Θ. ορκωμοσία νέων πτυχιούχων του τμήματος.

ΑΓΙΑΝΝΙΤΟΥ ΗΛΙΑΝΑ • ΒΛΑΧΟΣ ΜΙΧΑΗΛ • ΒΟΓΙΑΤΖΗ ΕΥΓΕΝΙΑ • ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ • ΓΙΤΣΗΣ ΑΧΙΛΛΕΑΣ • ΓΚΙΑΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΓΚΟΥΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ - ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ • ΓΟΥΓΑ ΑΦΡΟΔΙΤΗ • ΔΕΛΟΥΔΗΣ ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ • ΕΣΕΡΟΓΛΟΥ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ • ΕΥΘΥΜΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ • ΘΕΟΔΟΣΙΑΔΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ • ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΟΥ ΗΛΙΑ • ΚΑΛΛΙΤΣΟΠΟΥΛΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ • ΚΕΛΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ • ΚΟΥΤΣΟΥΝΑΝΟΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ • ΛΟΥΚΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ • ΜΑΥΡΙΔΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ • ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΗΛΙΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ • ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΑΘΗΝΑ • ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΛΕΝΗ • ΠΕΣΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΡΟΙΔΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ • ΣΜΥΡΝΙΩΤΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΣΟΦΟΚΛΕΟΥΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ • ΣΤΥΛΠΝΟΠΟΥΛΟΣ ΚΛΗΜΗΣ • ΣΤΡΑΝΤΣΑΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΤΑΤΣΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΤΡΑΣΙΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ • ΤΣΙΑΚΜΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ • ΤΣΙΑΝΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ • ΤΣΙΜΠΟΥΚΕΛΛΗ ΜΑΡΙΑ • ΦΡΑΓΚΟΥΛΗ ΣΤΥΛΙΑΝΗ-ΧΡΙΣΤΙΝΑ • ΦΩΛΙΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

* παρατίθενται μόνο τα ονόματα αυτών που συναίνεσαν

ορκωμοσίες διδασκόντων

οι νέοι διδάκτορες του Τμήματος Φυσικής

τη Δευτέρα 18/2/2019 ορκίστηκαν οι νέοι διδάκτορες του τμήματος

Διδάκτορας	Επιβλέπων	Θέμα
ΓΚΑΪΤΑΤΖΗΣ ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ	Κ. Κορδάς	Μελέτη παραγωγής δύο μποζονίων και του συστήματος αναβάθμισης Fast Tracker (FTK) στο πείραμα ATLAS στο CERN
ΣΩΤΗΡΟΥΔΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ	Α. Σιακαβάρα	Ανάπτυξη μεθοδολογίας με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα για την εκτίμηση της απώλειας διαδρομής ραδιοκυμάτων σε δομημένο περιβάλλον ανοιχτού χώρου
ΣΙΩΜΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	Δ. Μπαλής	Κλιματολογία και ταξινόμηση των οπτικών και μικροφυσικών ιδιοτήτων των αιωρούμενων σωματιδίων με μεθόδους επίγειας τηλεπισκόπησης
ΣΤΑΘΟΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	Γ. Βουρλιάς	Ανάπτυξη επικαλύψεων με την μέθοδο της χημικής εναπόθεσης ατμών στερεάς κλίνης για θερμοηλεκτρικές και αντιδιαβρωτικές εφαρμογές
ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΑ	Κ. Χρυσάφης	Πράσινα σύνθετα πολυμερικά προϊόντα από ανανεώσιμες πρώτες ύλες για την βιομηχανία ξύλου
ΠΡΟΥΣΑΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ- ΛΑΥΡΕΝΤΙΟΣ	Ι. Στούμπουλος	Μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς μη-γραμμικών κυκλωμάτων με στοιχεία μνήμης

Την Παρασκευή 24 Μαΐου, το Τμήμα Φυσικής τίμησε έναν από τους μεγαλύτερους εν ζωή θεωρητικούς φυσικούς, τον Kip Thorne, αναγορεύοντάς τον σε επίτιμο διδάκτορα. Ο Kip Thorne, γνωστός σε πολλούς για το Nobel Φυσικής του 2017 (που μοιράστηκε με τους R. Weiss και B.C. Barris) για τη συμβολή του στην πρώτη ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων με το πείραμα LIGO και ίσως σε ακόμη περισσότερους για τη συμβολή του ως επιστημονικός υπεύθυνος στα γυρίσματα της ταινίας *Interstellar* του C. Nolan το 2014, είναι ένας από τους θεμέλιους λίθους της σύγχρονης σχετικιστικής αστροφυσικής, με μία καριέρα που ξεπερνάει τα πενήντα χρόνια και τις 170 δημοσιεύσεις.

Ο Kip Thorne γεννήθηκε το 1940 στο Logan της Utah και σπούδασε Φυσική στο Πανεπιστήμιο Caltech, συνεχίζοντας με την ολοκλήρωση της διδακτορικής του διατριβής το 1965 στο Πανεπιστήμιο του Princeton υπό την επίβλεψη του J. A. Wheeler με θέμα τη Γεωμετροδυναμική των Κυλινδρικών Συστημάτων. Από το 1970 και έως το 2009 δίδασκε στο Caltech, κατέχοντας από το 1991 την έδρα Feynman της Θεωρητικής Φυσικής. Εκεί επέβλεψε περί τις 52 διδακτορικές διατριβές, με πολλούς από τους φοιτητές του να γίνονται στη συνέχεια καθηγητές και οι ίδιοι (μεταξύ των οποίων οι Burke, Lightman, Page, Press, Price, Schutz και Teukolsky).

Τα επιστημονικά ενδιαφέροντα του Kip Thorne σχετίζονται με όλα τα θέματα της Γενικής Σχετικότητας, από τη φύση των μελανών οπών έως και τη δυνατότητα ταξιδιού στο χρόνο. Υπήρξε μέλος σημαντικών διεθνών επιστημονικών επιτροπών, καθώς και επιστημονικός σύμβουλος στη NASA και στο Αμερικανικό Κογκρέσο, ενώ αναμφισβήτητα η σημαντικότερη συμβολή του ήταν στη δημιουργία και καθοδήγηση (επί σειρά ετών) του πειράματος LIGO. Μεταξύ των δεκάδων δημοσιεύσεών του αξίζουν ιδιαίτερης αναφοράς το βιβλίο *Gravitation* (σε συνεργασία με τους Misner και Wheeler), που διδάσκεται μέχρι και σήμερα, καθώς και τα εκλαϊκευμένα *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy* (στα ελληνικά από τις εκδόσεις Κάτοπτρο) και *The Science of Interstellar* (στα ελληνικά από τις εκδόσεις Ροπή). Η συνολική προσφορά του στην έρευνα, τη διδασκαλία και την εκλαΐκευση της Φυσικής έχει τιμηθεί με πλήθος βραβείων και τιμητικών τίτλων.

Νίκος Χατζαράκης



Ο πρόεδρος του Τμήματος Φυσικής καθ. Α. Μπάης παραδίδει τον τίτλο του επίτιμου διδάκτορα του τμήματος στον τιμώμενο καθηγητή Kip Thorne.



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ



ΤΕΛΕΤΗ ΑΝΑΓΟΡΕΥΣΗΣ

ΚΙΡ THORNE

Feynman Professor of Theoretical
Physics, CALTECH
Βραβείο Νόμπελ Φυσικής, 2017

σε Επίτιμο Διδάκτορα
του Α.Π.Θ.



Παρασκευή
24 ΜΑΪΟΥ 2019
14:00

Αίθουσα Τελετών
Παλαιάς Φιλοσοφικής Σχολής
Α.Π.Θ.

Στα πλαίσια της τελετής,
ο κ. Thorne θα δώσει διάλεξη
με τίτλο:

***A Vision for
Gravitational Wave
Science***



Ο Kip Thorne παραλαμβάνει την τιμητική πλακέτα από τον Πρύτανη του ΑΠΘ Περικλή Μήτκα κατά την τελετή αναγόρευσής του σε επίτιμο διδάκτορα του Τμήματος Φυσικής ΑΠΘ.



INTERSTELLAR