



Φαινόμενο

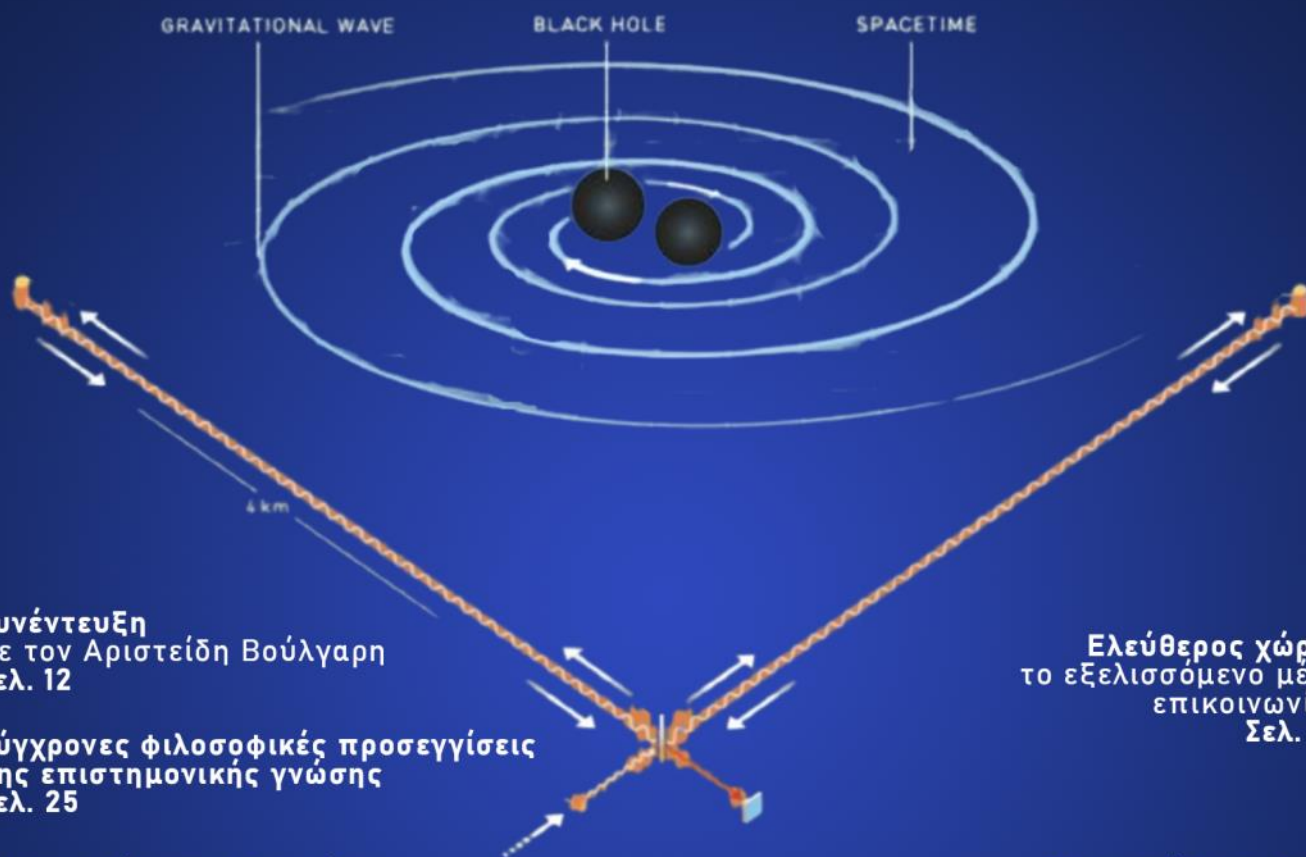
Περίοδος Δ' | Τεύχος 35 | Δεκέμβριος 2021

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

Νόμπελ Φυσικής 2021
για τα πολύπλοκα συστήματα
Σελ. 1

Φαινόμενο Λα Νίνια
και η επίδρασή του στον καιρό
όλου του πλανήτη
Σελ. 3

Συστήματα προσδιορισμού θέσης
σε εσωτερικούς χώρους
Σελ. 6



Συνέντευξη
με τον Αριστείδη Βούλγαρη
Σελ. 12

Σύγχρονες φιλοσοφικές προσεγγίσεις
της επιστημονικής γνώσης
Σελ. 25

Λιθογραφία ναοσφαιρών
μια χαμηλού κόστους μέθοδος παρασκευής
περιοδικών νανοδομών
Σελ. 15

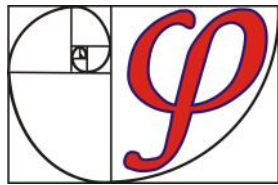
Ελεύθερος χώρος
το εξελισσόμενο μέσο
επικοινωνίας
Σελ. 22

Κβαντική διεμπλοκή
και κβαντικές εντροπίες
Σελ. 20

Extreme mass-ratio inspirals

Βαρυτική ακτινοβολία

Σελ. 8



Φαινόμενο

Περίοδος Δ' · Τεύχος 35
Δεκέμβριος 2021

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

συντακτική ομάδα

Επιτροπή εκδόσεων, σεμιναρίων
και προβολής του Τμήματος
Φυσικής

Μ. Κασικίνη · Ε. Βίγκα · Σ. Κασσαβέτης
· Χ. Σαραφίδης · Ν. Χαστάς
· Π. Πατσαλάς · Α. Λασκαράκης
· Ι. Τσιαούσης

—
Δ. Ευαγγελινός

στο τεύχος αυτό συνεργάστηκαν

Ραφαέλα Κούμπουλα

(Μεταπτυχιακή φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)

Ελένη Ντεβετούδη, Λάζαρος Πελέκας

Μιχαήλ Στεφανής

(Μεταπτυχιακοί/ές φοιτητές/τριες
Τμ. Φυσικής)

Σταύρος Πάνος

(Υποψήφιος Διδάκτορας Τμ. Φυσικής)

Δάφνη Παρλιάρη

(Υποψήφια διδάκτορας Τμ. Φυσικής)

Αναστάσιος Πέτκου

(Καθηγητής Τμ. Φυσικής)

Φανή Πινακίδου

(Μεταδιδακτορική ερευνήτρια Τμ. Φυσικής)

Βασίλειος Σερασιδής

(Διπλωματούχος ΠΜΣ Τμ. Φυσικής)

Λάζαρος Σουβαϊτζής

(Διπλωματούχος ΠΜΣ Τμ. Φυσικής)

Καλλιόπη Σπανίδου

(Υποψήφια Διδάκτορας του

Πανεπιστημίου Carlos III της Μαδρίτης)

Δημήτριος Στεφανόπουλος

(Διπλωματούχος ΠΜΣ Τμ. Φυσικής)

Εκτύπωση

COPYCITY Ε.Π.Ε.

ψηφιακή έκδοση

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

E-mail επικοινωνίας:

phenomenon@physics.auth.gr

facebook: τμήμα φυσικής απθ &
περιοδικό "φαινόμενο"

ISSN: 2529-1874 · 2529-1882 (online)

σημείωμα της σύνταξης

Το παρόν τεύχος του «ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΝ» περιλαμβάνει ένα άρθρο για το Νόμπελ Φυσικής 2021 και άρθρα αποφοίτων Προγραμμάτων Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Φυσικής σχετικά με συστήματα προσδιορισμού θέσης, την βαρυτική ακτινοβολία, τις νανοσφαίρες, την κβαντική διεμπλοκή και τον ελεύθερο χώρο. Μεταπτυχιακοί/κες φοιτητές/τριες συνεισέφεραν με άρθρα σχετικά με καιρικά φαινόμενα που επηρεάζουν όλο τον πλανήτη, καθώς και με φιλοσοφικές απόψεις περί της επιστήμης. Το τεύχος συμπληρώνουν μια συνέντευξη από τον Αριστείδη Βούλγαρη, εξωτερικό συνεργάτη της NASA, και τα νέα του Τμήματος.

Η ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

περιεχόμενα

Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2021	1
Το φαινόμενο Λα Νίνια και η επίδρασή του στον καιρό όλου του πλανήτη	3
Συστήματα προσδιορισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους	6
Extreme mass-ratio inspirals και βαρυτική ακτινοβολία	8
Συνέντευξη: Αριστείδης Βούλγαρης	12
Λιθογραφία νανοσφαιρών	15
Κβαντική διεμπλοκή και κβαντικές εντροπίες	20
Ελεύθερος χώρος: το εξελισσόμενο μέσο επικοινωνίας	22
Σύγχρονες φιλοσοφικές προσεγγίσεις της επιστημονικής γνώσης	25
Συνέβησαν στο Τμήμα: 4 ^ο ΘεSSTP και ορκωμοσίες	29



Εξώφυλλο: Αλέξανδρος Μυλωνάς (φοιτητής Τμ. Φυσικής)



πνευματικά δικαιώματα

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

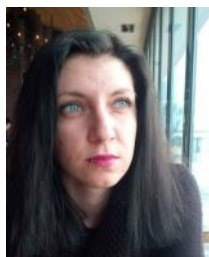
Δείτε αναλυτικά τους όρους:

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

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

Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2021

...για τα πολύπλοκα συστήματα



Δάφνη Παρλιάρη

Υποψήφια
Διδάκτωρ
Τμήματος Φυσικής

Η απονομή των βραβείων Νόμπελ είναι ένα γεγονός που αναμένεται με ιδιαίτερη ανυπομονησία από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα κάθε χρόνο. Το κύρος του βραβείου είναι τέτοιο που οι επιστήμονες/ισσες στους οποίους απονέμεται, επισφραγίζουν τη συμβολή τους και απολαμβάνουν την αναγνώριση και την καταξίωση στο πεδίο εξειδίκευσής τους.

Φέτος το βραβείο για τη Φυσική μοιράστηκε σε τρεις επιστήμονες: στον Syukuro Manabe, τον Klaus Hasselmann (μισό από κοινού) και τον Giorgio Parisi (μισό), για την πρωτοποριακή συμβολή τους στην κατανόηση περίπλοκων φυσικών συστημάτων.

Ο Giorgio Parisi, 73 ετών σήμερα, είναι καθηγητής Θεωρητικής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Sapienza της Ιταλίας. Τη δεκαετία του 1980 μελετούσε τα χαρακτηριστικά των spin glasses, κραμάτων μετάλλου με ιδιόμορφες μαγνητικές ιδιότητες, και ανέπτυξε ένα φυσικομαθηματικό μοντέλο εξηγώντας τον τρόπο με τον οποίο «διαταραγμένες περιστροφές» μπορούν να συνυπάρξουν εντός αυτών των υαλίων. Η εργασία του ακούγεται ίσως υπερβολικά εξειδικευμένη για Νόμπελ, η ανακάλυψή του όμως ήταν τόσο θεμελιώδης που επέτρεψε την κατανόηση και περιγραφή πολλών διαφορετικών και φαινομενικά τυχαίων υλικών και φαινομένων στη φυσική, στα μαθηματικά, τη βιολογία, τη νευροεπιστήμη και την μηχανική μάθηση. Τα ευρήματά του αποτελούν μία από τις σημαντικότερες συνεισφορές στη θεωρία περίπλοκων συστημάτων μελετώντας

παραμέτρους όπως η τυχαιότητα των κινήσεων των σωματιδίων από ατομικό επίπεδο μέχρι αυτό των πλανητικών συστημάτων και βρίσκουν εφαρμογή από την περιοδικότητα των εποχών των παγετώνων μέχρι τα πρότυπα της πτήσης των πτηνών και την ανάλυση δεδομένων της πανδημίας COVID-19. Σύμφωνα με την Επιτροπή του Βραβείου Νόμπελ, ο Parisi βραβεύτηκε «για την ανακάλυψη της αλληλεπίδρασης διαταραχών και διακυμάνσεων σε φυσικά συστήματα από ατομικές μέχρι πλανητικές κλίμακες».

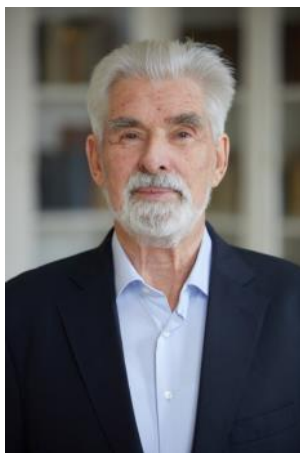
Το υπόλοιπο μισό του βραβείου απονεμήθηκε στον Syukuro Manabe και τον Klaus Hasselmann για τη φυσική μοντελοποίηση του κλίματος της Γης, την ποσοτικοποίηση της μεταβλητότητας και την αξιόπιστη πρόβλεψη της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Σήμερα ο 90χρονος κλιματολόγος Manabe είναι καθηγητής του Πανεπιστημίου Πρίνστον ενώ ο Hasselmann, ωκεανογράφος ετών 89, έχει διατελέσει διευθυντής στο Ινστιτούτο Μετεωρολογίας Μαξ Πλανκ.

Στη δεκαετία του 1960 ο Manabe συνέβαλε αποφασιστικά στη δημιουργία κλιματικών μοντέλων που έθεσαν τα θεμέλια των μοντέλων που χρησιμοποιούμε σήμερα. Επιπλέον ανέδειξε τη σχέση ανάμεσα στα αυξημένα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και στις υψηλές πλανητικές θερμοκρασίες, συνδέοντας την ενέργεια που απορροφάται από την ατμόσφαιρα με την κατακόρυφη κίνηση του αέρα πάνω από τη Γη. 20 χρόνια περίπου αργότερα, ο Hasselmann συνέδεσε βραχυπρόθεσμα καιρικά φαινόμενα με μακροπρόθεσμες αλλαγές στο κλίμα. Είχε ήδη προηγηθεί η δουλειά του στην ανάπτυξη μοντέλου που συνέδεε το κλίμα με τον καιρό και μπορούσε να προβλέψει τις κλιματικές διακυμάνσεις, αποδεικνύοντας πως οι κλιματικές αλλαγές, σε αντίθεση με τις καιρικές, μπορούν να προβλεφθούν αξιόπιστα. Το δεύτερο σκέλος της δουλειάς του, εξίσου πρωτοποριακό με το πρώτο, ήταν η μεθοδολογία αναγνώρισης και διαχωρισμού των ανθρωπογενών «δακτυλικών αποτυπωμάτων» από τα φυσικά φαινόμενα στην κλιματική αλλαγή, που είχε ως αποτέλεσμα να γίνει εφικτή η απόδειξη πως οι ανθρωπογενείς, σε αντίθεση με τους φυσικούς, παράγοντες ευθύνονται για την κλιματική αλλαγή.

Ο Thors Hans Hansson, πρόεδρος της Επιτροπής των Νόμπελ Φυσικής, ανέφερε στη δήλωσή του ότι «Οι ανακαλύψεις που αναγνωρίζονται φέτος αποδεικνύουν ότι οι γνώσεις μας για το κλίμα στηρίζονται σε μια σταθερή επιστημονική βάση, βασισμένη σε μια αυστηρή ανάλυση των παρατη-



Syukuro Manabe
(1/4)
Princeton
University, USA



Klaus Hasselmann
(1/4)
Max Planck Institute for
Meteorology, Germany



Giorgio Parisi
(1/2)
Sapienza University of
Rome, Italy

Οι βραβευθέντες με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2021

ρήσεων. Οι φετινοί βραβευμένοι συνέβαλαν στο να αποκτήσουμε βαθύτερη γνώση για τις ιδιότητες και την εξέλιξη των πολύπλοκων φυσικών συστημάτων».

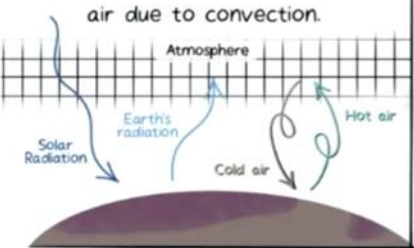
Το Νόμπελ του 2021 αναγνωρίζει τις νέες μεθόδους για την περιγραφή και την πρόβλεψη των πολυσύνθετων συστημάτων που χαρακτηρίζονται από τυχαιότητα και αταξία και έτσι, παρόλο που τα δύο «μισά» φαντάζουν ίσως ασύνδετα μεταξύ τους, συγκλίνουν στο φλέγον ζήτημα της κλιματικής κρίσης. Ενδεχομένως το φετινό βραβείο να λειτουργεί ως «κώδικας κινδύνου» για την αναγκαιότητα λήψης συλλογικών μέτρων μετριασμού και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και σίγουρα επιστεγάζει το ρόλο της επιστημονικής κοινότητας στην παροχή απαραίτητης γνώσης για τις λύσεις που ο πλανήτης και η παγκόσμια κοινότητα έχουν ανάγκη.

Πηγή:

<https://www.nobelprize.org/>

2021 Nobel Prize Physics

Syukuro Manabe improved climate models of the greenhouse effect by including the vertical movement of air due to convection.



Klaus Hasselmann developed a climate model that incorporates chaotic weather and aspects of human behavior.



Giorgio Parisi is largely responsible for understanding how to model random phenomena as hidden patterns in complex systems.

This simple diagram describes "frustration". If each corner of the triangle wants to be opposite their neighbor how do you know what the 3rd corner is (up or down)? Parisi's work has demonstrated how to describe this mathematically.



Press Release: The Nobel Prize in Physics 2021. @sciencewithanni

το Νόμπελ Φυσικής...

πριν 20 χρόνια



E. A. Cornell • W. Ketterle • C. E. Wieman

για την επίτευξη του συμπυκνώματος Bose-Einstein σε ατμούς αλκαλίων και για τις πρώιμες θεμελιώδεις ιδιότητες των συμπυκνωμάτων

πριν 40 χρόνια



N. Bloembergen • A. L. Schawlow & K. M. Siegbahn

για την συνεισφορά τους (του) στην ανάπτυξη της φασματοσκοπίας laser & της φασματοσκοπίας ηλεκτρονίων υψηλής διακριτικής ικανότητας

πριν 60 χρόνια



R. Hofstadter & R. L. Mössbauer

για τις πρωτοποριακές μελέτες στην σκέδαση ηλεκτρονίων από πυρήνες ατόμων και τις ανακαλύψεις του που αφορούν στη δομή του πυρήνα & για την έρευνά που αφορά την απορρόφηση συντονισμού ακτινοβολίας γ και την ανακάλυψη του φαινομένου που φέρει το όνομά του

πριν 80 χρόνια



δεν απονεμήθηκε λόγω του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου

πριν 100 χρόνια



A. Einstein

για τις υπηρεσίες του στη Θεωρητική Φυσική και ειδικότερα για την ανακάλυψη του νόμου του φωτοηλεκτρικού φαινομένου



πριν 120 χρόνια



W. C. Röntgen

σε αναγνώριση των εξαιρετικών υπηρεσιών του που οδήγησαν στην ανακάλυψη των αξιολογών ακτίνων που πήραν το όνομά του

Φαινόμενο Λα Νίνια

...και η επίδρασή του στον καιρό όλου του πλανήτη



Ραφαέλα Κούμπουλα
Φοιτήτρια ΠΜΣ
Υπολογιστικής Φυσικής

Γενικά

Τελευταία ακούμε αρκετά συχνά στο δελτίο καιρού αλλά και διαβάζουμε σε διάφορες ιστοσελίδες για το φαινόμενο Λα Νίνια. Αρκετές είναι οι φορές που έχουμε διαβάσει πηχυαίους τίτλους σε άρθρα των media περί ενός ακραίου κλιματικού φαινομένου που μπορεί να συνταράξει το κλίμα ολόκληρου του πλανήτη καθώς προκαλεί μια σειρά από

έντονα καιρικά φαινόμενα. Τι είναι, όμως, αυτό το φαινόμενο; Πόσο βάσιμοι είναι αυτοί οι ισχυρισμοί; Τι αναμένεται να συμβεί;

Το φαινόμενο Λα Νίνια είναι το αντίστροφο του φαινομένου Ελ Νίνιο. Έχει Ισπανική προέλευση (La Niña) και σημαίνει κοριτσάκι κατ' αναλογία με το Ελ Νίνιο (El Niño) που σημαίνει αγοράκι. Σαν φαινόμενο χαρακτηρίζεται από την άνοδο της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας στις κεντρικές και ανατολικές περιοχές του Ειρηνικού Ωκεανού. Προκαλεί συνήθως ισχυρές βροχοπτώσεις στην περιοχή της Ινδονησίας, τη Μαλαισία και την Αυστραλία καθώς και περιόδους μεγάλης ξηρασίας στην Νότια Αμερική. Επιπλέον, παρατηρούνται ισχυρές θύελλες στην τροπική περιοχή του Ατλαντικού, κύματα ψύχους στην Βόρεια Αμερική και ασυνήθιστα βροχερός καιρός στην Νοτιοανατολική Αφρική.

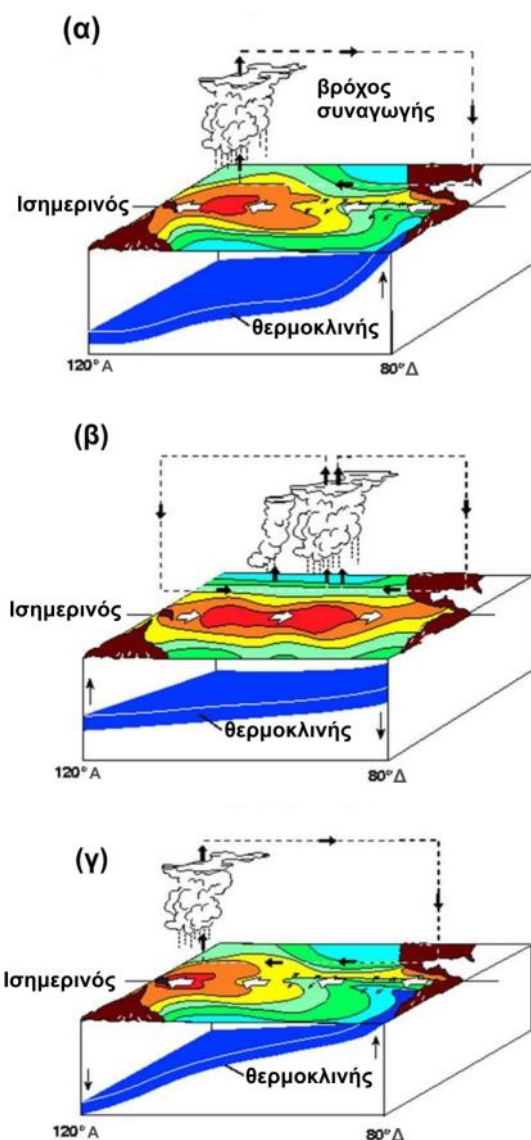
Το Λα Νίνια δεν έχει σταθερή περίοδο εμφάνισης, αλλά έπεται σαν φαινόμενο του Ελ Νίνιο και κατά την διάρκειά του οι αληγείς ανατολικοί άνεμοι ισχυροποιούνται πολύ με αποτέλεσμα να ωθούν τα θερμά επιφανειακά νερά προς την Ασία. Οι καταιγίδες μεταφέρονται έτσι προς τα δυτικά του ωκεανού. Συγχρόνως, οι καταρρακτώδεις βροχές και θύελλες είναι μειωμένες πάνω από το κεντρικό ισημερινό Ειρηνικό και συγκρατούνται εντός της Ινδονησίας και του δυτικού Ειρηνικού. Τότε, τα ψυχρά ρεύματα στις δυτικές ακτές της Αμερικής αναδύονται, οι θρεπτικές ουσίες αυξάνονται, αυξάνεται ο πληθυσμός των ψαριών αλλά οι υδρατμοί μειώνονται και έτσι μειώνονται και οι βροχές στην περιοχή. Το φαινόμενο αυτό είναι αρκετά περίπλοκο. Η κίνηση τόσο μεγάλης ποσότητας θερμότητας στο ένα τέταρτο του πλανήτη μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καιρό ολόκληρου του πλανήτη.

Παγκόσμιο Κλίμα και Φαινόμενο Λα Νίνια

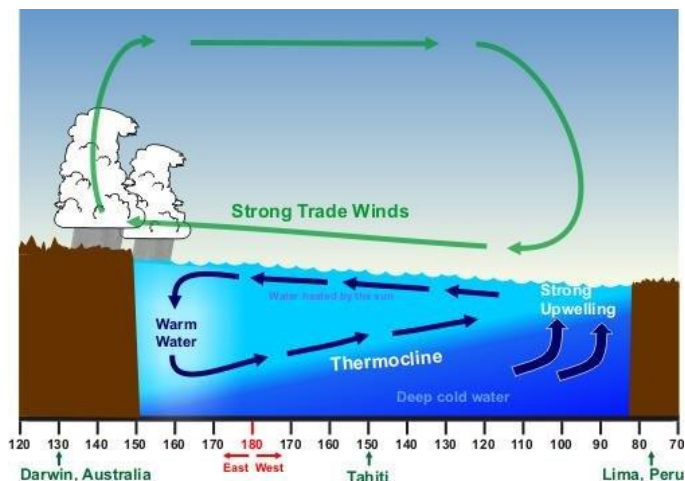
Το Λα Νίνια επηρεάζει το παγκόσμιο κλίμα και διαταράσσει τα κανονικά καιρικά φαινόμενα. Η επίδρασή του

στην κάθε χώρα εξαρτάται από την θέση της στον χάρτη. Αναλυτικά για κάθε ήπειρο ισχύει:

- **Αφρική:** Εμφανίζονται περισσότερες καταιγίδες στην Νότια Αφρική κυρίως το χρονικό διάστημα Δεκεμβρίου – Φεβρουαρίου. Την ίδια περίοδο στην Ανατολική Αφρική το κλίμα γίνεται ξηρότερο από το κανονικό. Το 2011 που το Λα Νίνια βρισκόταν σε έξαρση, υπολο-



Σχήμα 1: Παρουσίαση της συμπεριφοράς του Ειρηνικού Ωκεανού: (α) σε κανονικές θερμοκρασίες, (β) όταν λαμβάνει χώρα το φαινόμενο Ελ Νίνιο και (γ) όταν λαμβάνει χώρα το φαινόμενο Λα Νίνια.



Σχήμα 2: Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου Λα Νίνια.

γίζεται ότι περισσότεροι από 100.000 άνθρωποι πέθαναν από την πείνα και την ξηρασία. Η ξηρασία αυτή ήταν η μεγαλύτερη ξηρασία των τελευταίων 100 χρόνων που έπληξε την Αφρική.

• **Ασία:** Σχηματίζονται περισσότεροι τροπικοί κυκλώνες κατά μήκος του δυτικού Ειρηνικού Ωκεανού, με συνέπεια να εμφανίζονται πλημμυρικά φαινόμενα στην Νοτιοανατολική Ασία, όπως Κίνα, Ινδονησία, Φιλιππίνες και Μαλαισία. Τον Μάρτιο του 2008, όταν το φαινόμενο βρισκόταν και πάλι σε έξαρση, προκάλεσε πτώση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας στη Νοτιοανατολική Ασία κατά 2 °C. Χαρακτηριστικό πρόσφατο παράδειγμα είναι οι πλημμύρες τον Ιούλιο του 2010 στο Πακιστάν κατά την διάρκεια των μουσώνων. Σύμφωνα με τις τρέχουσες εκτιμήσεις, πάνω από 2000 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους και πάνω από ένα εκατομμύριο οικίες καταστράφηκαν από την αρχή του φαινομένου. Τα Ηνωμένα Έθνη εκτιμούν ότι περισσότεροι από 21 εκατομμύρια άνθρωποι τραυματίστηκαν ή έμειναν άστεγοι.

• **Αυστραλία:** Τα φαινόμενα Λα Νίνια και Ελ Νίνιο επηρεάζουν σημαντικά την Αυστραλία. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, τόσο περισσότερες βροχές και χιόνια πλήττουν την Αυστραλία ενώ παρατηρείται νεφελώδης κάλυψη στην ανατολική και βόρεια Αυστραλία. Έχουν παρατηρηθεί χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της νύχτας στις τροπικές πε-

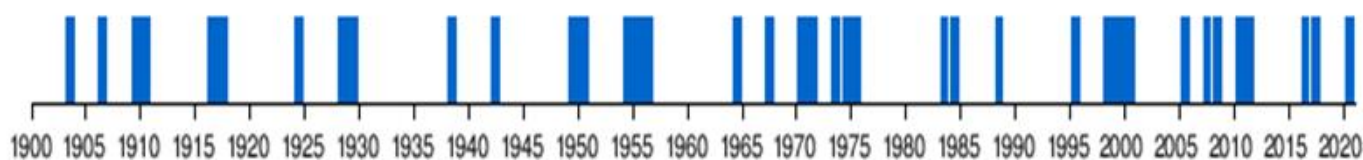
ριοχές. Υπάρχει αυξημένος κίνδυνος εκτεταμένων πλημμυρών και τροπικών κυκλώνων. Τέλος, η εποχή των μουσώνων ξεκινάει νωρίτερα. Το 2009 ισχυρά πλημμυρικά φαινόμενα έπληξαν την Αυστραλία. Περισσότεροι από εκατό χιλιάδες άνθρωποι αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους, ενώ οι απώλειες έφτασαν τις 10.

• **Αμερική:** Παρατηρείται διαφορετική καιρική συμπεριφορά μεταξύ Βόρειας και Νότιας Αμερικής. Στην Βόρεια Αμερική, παρατηρούνται υψηλότερες βροχοπτώσεις στις βόρειες μεσοδυτικές πολιτείες των ΗΠΑ και του Καναδά. Ταυτόχρονα οι βροχοπτώσεις στις νοτιοδυτικές και νοτιοανατολικές πολιτείες είναι κάτω από τον μέσο όρο. Αυτό επιτρέπει την ανάπτυξη πολλών και ισχυρών τυφώνων στον Ατλαντικό και λιγότερους έως ελάχιστους στον Ειρηνικό Ωκεανό. Στον Καναδά προκαλεί περισσότερο ψυχρούς και αρκετά χιονισμένους χειμώνες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, το ρεκόρ χιονιού που καταγράφηκε στον Καναδά τον χειμώνα του 2007-2008. Στην Νότια Αμερική, έχουν παρατηρηθεί πιο έντονα φαινόμενα ξηρασίας στις παράκτιες περιοχές του Περού και της Χιλής ενώ το κλίμα της Βραζιλίας είναι περισσότερο υγρό από το κανονικό. Στην περιοχή της Βολιβίας έχουν παρατηρηθεί καταστροφικές πλημμύρες με κυριότερες αυτών του 1853, 1865, 1872, 1873, 1886, 1896, 1907, 1921, 1928, 1929 και 1931.

• **Ευρώπη:** Δεν παρατηρούνται έντονες αλλαγές στην μέση κλιματική συμπεριφορά. Το κρύο είναι αρκετά τσουχτερό τον χειμώνα στην κεντρική Ευρώπη και έχει παρατηρηθεί περισσότερο χιόνι. Βέβαια οι μέσες θερμοκρασίες την εποχή που δρα το Αλ Νίνια δεν είναι και πολύ διαφορετικές από τις μέσες κλιματικές θερμοκρασίες του έτους.

Το φαινόμενο Λα Νίνια στην Ελλάδα

Για τη χώρα μας, δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις επιρροής. Ο χειμώνας του 2020-2021, όταν κυριάρχησε το Λα Νίνια, κύλησε σε γενικές γραμμές ήπιος, με εξαίρεση δύο οργανωμένες ψυχρές εισβολές, του «Λέανδρου» και της «Μήδειας», που προκάλεσαν εκτεταμένη χιονοκάλυψη τον Δεκέμβριο. Ήταν από τις μεγαλύτερες των τελευταίων 17 ετών. Ωστόσο, ο Γενάρης του 2021 ήταν αρκετά θερμός, με σημαντική απόκλιση της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας από την μέση τιμή των τελευταίων δύο δεκαετιών. Το

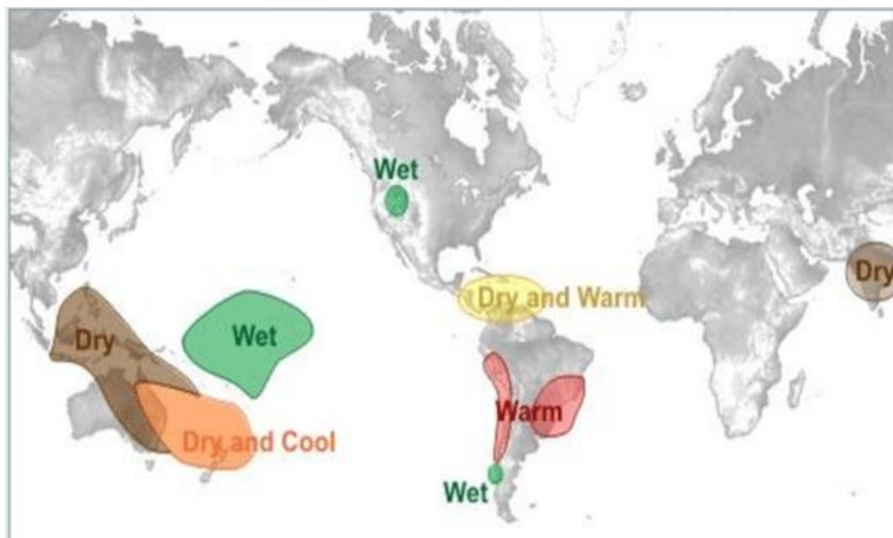


Σχήμα 3: Συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου Λα Νίνια από το 1900.

κύριο χαρακτηριστικό αυτού του χειμώνα ήταν η διάρκεια των χιονοπτώσεων. Με εξαίρεση τα νησιά του Ιονίου, χιόνισε ακόμα και σε παραθαλάσσιες περιοχές της χώρας με σημαντική χιονόστρωση σε Κρήτη, Μύκονο, Ρόδο και Κω.

Το 2010 υπήρξε ξανά το φαινόμενο Λα Νίνια. Ωστόσο, στην χώρα μας τους χειμερινούς μήνες δεν εκδηλώθηκε καμία οργανωμένη διαταραχή. Αντίθετα, ξεκίνησε πολύ νωρίτερα η ανθοφορία και οι αρκούδες δεν έπεσαν σχεδόν καθόλου σε χειμερινή νάρκη. Ο χειμώνας του 2010 έχει καταγραφεί στην μετεο – ιστορία της Ελλάδας ως ο υψηλότερος θερμοκρασιακά, σύμφωνα με τις μετρήσεις του Εθνικού Αστεροσκοπείου. Η ζέστη και η ανομβρία διήρκεσε όλο τον Ιανουάριο, ενώ τον Φεβρουάριο υπήρξαν κάποιες βροχές στο πρώτο δεκαήμερο και προς τα τέλη του Φλεβάρη υπήρξε έντονη μεταφορά σκόνης από την Αφρική.

Τα περιορισμένα επεισόδια του φαινομένου, δεν μπορούν να δώσουν σοβαρή στατιστική συμπεριφορά ούτε να διαμορφώσουν μια σταθερή καιρική συμπεριφορά. Οι επιστημονικές αναλύσεις για το φαινόμενο δεν δείχνουν κάποια σαφή συσχέτιση για τον καιρό που θα επικρατήσει



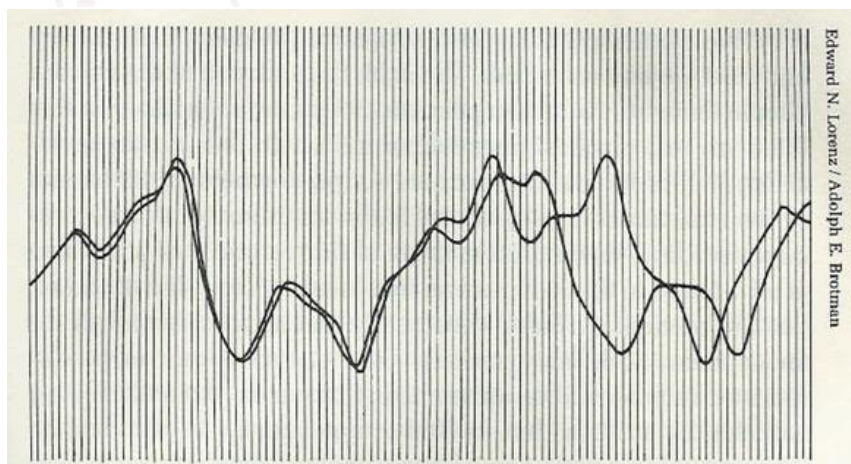
Σχήμα 4: Οι επιπτώσεις του Λα Νίνια στον Παγκόσμιο καιρό.

στην χώρα μας. Οι καιρικές προβλέψεις που κυκλοφορούν στο διαδίκτυο είναι απλά εικασίες με στόχο την αύξηση της επισκεψιμότητας.

Πηγές

- Cheng, M. K., and B. D. Tapley (2004), Variations in the Earth's oblateness during the past 28 years, *J. Geophys. Res.*, 109, B09402, doi: 10.1029/2004JB003028.
- Evans, J. P., and I. Boyer-Souchet (2012), Local sea surface temperatures add to extreme precipitation in northeast Australia during La Niña, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L10803, doi: 10.1029/2012GL052014.
- Hoerling, M. P., and A. Kumar (2000), Understanding and predicting extratropical teleconnections related to ENSO, in *El Niño and the Southern Oscillation: Multi-scale Variations and Global and Regional Impacts*, edited by H. F. Diaz and V. Markgraf, pp. 57–88, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.
- <https://www.cnn.gr/ellada/story/285692/arnaoytogloy-erxetai-nea-allagi-toy-kairoy-poso-kindyneyoume-apo-ena-fainomeno-la-ninia> (άρθρο του Σάκη Αρναούτογλου)
- <https://gr.k24.net/articles.aspx?a=9>
- <http://physics4u.gr/blog/2010/07/09/%CE%AF-%CE%AF-k/>

ήξερες ότι...



Απόκλιση δυο καιρικών μοντέλων:

Ξεκινώντας από σχεδόν την ίδια αρχική τιμή, ο E. Lorenz παρατήρησε ότι ο υπολογιστής του παρήγαγε καιρικά μοντέλα τα οποία απέκλιναν συνεχώς έως ότου να μην εμφανίζουν καμία ομοιότητα. Οι προσομοιώσεις που φαίνονται στο διπλανό Σχήμα αντιστοιχούν σε χρονικό διάστημα 2 μηνών. Ο καιρός είναι ένα χαοτικό σύστημα και γι αυτόν τον λόγο δεν μπορεί να προβλεφθεί μακροπρόθεσμα.

<https://projectnile.in/2021/06/06/quantifying-the-patterns-of-chaos/>

συστήματα προσδιορισμού θέσης

...σε εσωτερικούς χώρους



Σεραφίδης Βασίλειος
Διπλωματούχος ΠΜΣ
Ραδιοηλεκτρολογίας

Τα Συστήματα Προσδιορισμού Θέσης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό - εντοπισμό θέσης ενός αντικειμένου ή ανθρώπου στον χώρο, στους άξονες X,Y,Z με μεγάλη ακρίβεια. Το πιο γνωστό και ευρέως διαδεδομένο σύστημα προσδιορισμού θέσης είναι το Global Navigation Satellite System (GNSS) βασισμένο σε δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη και μέσο ύψος 20200 χιλιομέτρων πάνω

από την θάλασσα. Ορισμένα από αυτά τα συστήματα είναι το GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou κ.α. Ομως η μεγάλη απόσταση, σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες και την γεωμορφία του εδάφους, προκαλούν μεγάλη εξασθένηση του σήματος. Αυτό έχει αντίκτυπο στη λήψη του σήματος από τους επίγειους δέκτες με αποτέλεσμα την απόκλιση κατά τον υπολογισμό προσδιορισμού θέσης. Τα Συστήματα Προσδιορισμού Θέσης Εσωτερικών Χώρων (Indoor Positioning System – IPS) έρχονται να καλύψουν αυτές τις αδυναμίες.

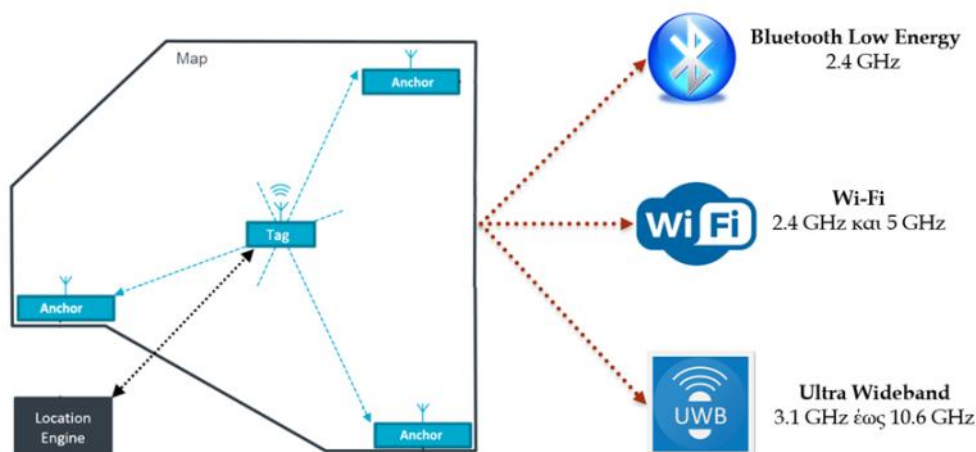
Τα συστήματα IPS αποτελούνται από συσκευές που βρίσκονται τοποθετημένες στον χώρο που γίνεται ο προσδιορισμός θέσης όπως υπόγεια, αποθήκες, σήραγγες, κτίρια κ.α. Συνήθως, οι σταθερές συσκευές (Anchors) είναι τοποθετημένες σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους, 10 - 20 μέτρα, καλύπτοντας έτσι οποιαδήποτε ιδιομορφία του χώρου όπως κολόνες, έπιπλα και κινητά αντικείμενα. Οι κινητές συσκευές (Tags) είναι τοποθετημένες σε αντικείμενα που θέλουμε να προσδιορίσουμε την θέση τους και τροφοδοτούνται από μπαταρίες. Οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα IPS βασίζονται στο Bluetooth Low Energy (BLE), Wireless Fidelity (Wi-Fi) και Ultra-Wideband (UWB). Σε ένα τυπικό σύστημα IPS, υπάρχει ένας υπολογιστής για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγει από τις συσκευές (Location Engine). Τα δεδομένα αφορούν την μετρούμενη απόσταση μεταξύ του Tag και του κάθε Anchor, κατάσταση μπαταρίας, διαχείριση των συσκευών του συστήματος κτλ. Στα δεδομένα που συλλέγονται, εφαρμόζονται αλγόριθμοι προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες όπως οι

συντεταγμένες X,Y,Z που έχει το κάθε Tag στον χώρο. Παράδειγμα της τοπολογίας ενός τέτοιου συστήματος βλέπουμε στο Σχήμα 1.

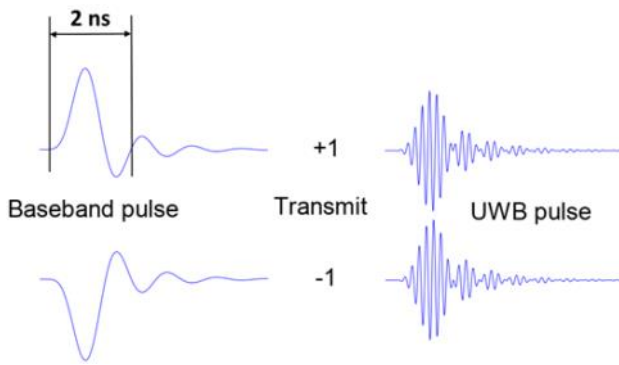
Κάθε μια από τις τρεις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας γίνεται με βάση τις προδιαγραφές του έργου. Για παράδειγμα, αν η επιθυμητή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης είναι από 1 έως 3 μέτρα τότε χρησιμοποιείται η τεχνολογία Wi-Fi ή BLE. Αν το ζητούμενο είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, τότε θα επιλεγεί η BLE. Στην περίπτωση που υπάρχει ήδη εγκατεστημένη υποδομή Wi-Fi Access Points στον χώρο, τότε επιλέγεται η τεχνολογία Wi-Fi. Εάν όμως απαιτείται υψηλότερη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης τότε επιλέγεται η τεχνολογία UWB όπου πρακτικά η ακρίβεια της φτάνει τα ± 10 cm.

Η τεχνολογία UWB χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων από 3.1 έως 10.6 GHz για να εκπέμψει πολύ σύντομους παλμούς διάρκειας 2 ns, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως μπορούν να γίνουν αντιληπτές και να απορριφθούν, οι ανακλάσεις του σήματος σε αντικείμενα του χώρου (multipath). Επίσης, λόγω του πολύ σύντομου σε διάρκεια παλμού, μπορεί να γίνει μέτρηση του «χρόνου πτήσης» - Time of Flight (ToF)- μεταξύ δύο συσκευών με χρονικά στιγμιότυπα (timestamps) των 15 ps. Αυτό δίνει ακρίβεια στην μέτρηση απόστασης κατά ± 10 cm.

Για τον προσδιορισμό θέσης με τη χρήση UWB υπάρχουν αρκετές τεχνικές όπως Time of Arrival (ToA), Time Difference of Arrival (TDoA) και Two Way Ranging (TWR). Και στις τρεις τεχνικές πραγματοποιείται μέτρηση απόστασης του Tag από το κάθε Anchor και αλγοριθμικά, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα την μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων, υπολογίζεται η θέση του Tag στον χώρο.

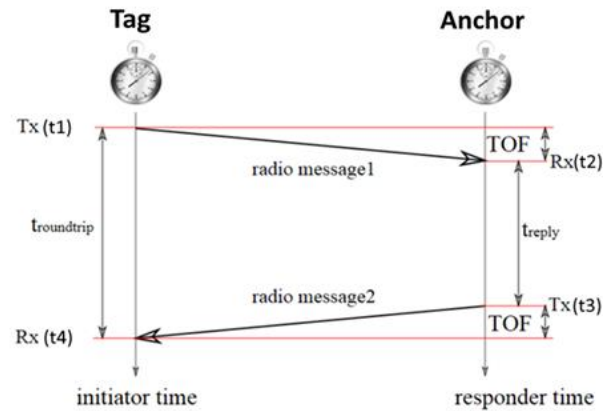


Σχήμα 1: Τοπολογία συστήματος Indoor Positioning System (IPS).



Σχήμα 2: Κυματομορφή παλμού UWB.

Στην τεχνική TWR που φαίνεται στο Σχήμα 3, το Tag αποστέλλει ένα μήνυμα προς το Anchor και περιμένει να λάβει απάντηση. Κατά την στιγμή της αποστολής καταγράφεται το χρονικό στιγμιότυπο t_1 του μετρητή (counter). Να υπενθυμίσουμε πως ο μετρητής αυξάνει την τιμή του κατά ένα κάθε 15 ps. Την χρονική στιγμή που θα ληφθεί το μήνυμα από το Anchor, γράφεται στο μήνυμα το στιγμιότυπο t_2 με βάση τον μετρητή του Anchor. Κατά την αποστολή του μηνύματος προς το Tag, το Anchor γράφει στο πακέτο του μηνύματος και το δεύτερο χρονικό στιγμιότυπο t_3 . Το Tag λαμβάνει το πακέτο και γράφει το τελευταίο χρονικό στιγμιότυπο t_4 . Από την διαφορά των χρονικών στιγμιότυπων υπολογίζεται ο χρόνος διάδοσης του σήματος από το Tag προς το Anchor όπως φαίνεται στην εξίσωση (1). Αν πολλαπλασιαστεί αυτός ο χρόνος με την ταχύτητα διάδοσης της ηλεκτρο-



Σχήμα 3: Η τεχνική Two Way Ranging (TWR).

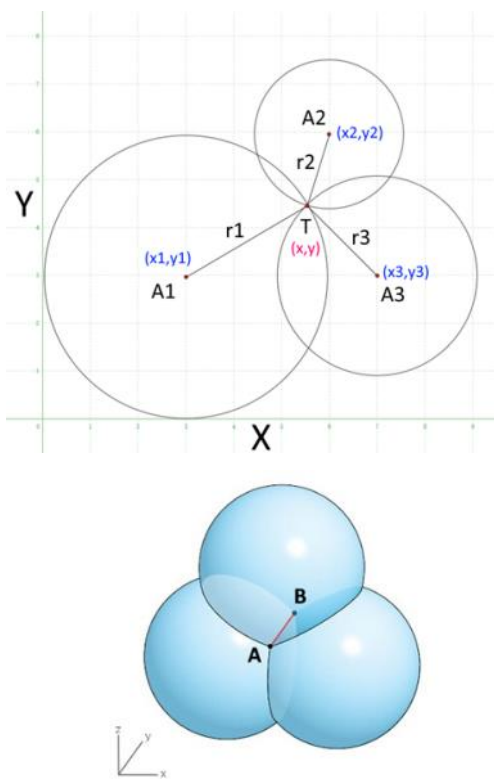
μαγνητικής ακτινοβολίας στον αέρα (~ 300000 km/s) προκύπτει η απόσταση μεταξύ των δύο συσκευών. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι πως δεν χρειάζεται να είναι συγχρονισμένοι οι μετρητές των συσκευών για να υπολογιστεί η χρονική διαφορά και κατά συνέπεια η απόσταση μεταξύ του Tag και του συγκεκριμένου Anchor που εκτελείται η μέτρηση είναι:

$$\text{ToF} = \frac{(t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)}{2} \quad (1)$$

Για χάρη της απλότητας του άρθρου, στα παραδείγματα έχει εξαιρεθεί ο παράγοντας θορύβου που προκαλείται από τις ανακλάσεις του σήματος, τις παρεμβολές από άλλες συσκευές που λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες, μεταλλικά εμπόδια, το διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας κτλ. Γενικά, ο θόρυβος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην τελική υλοποίηση του συστήματος και πρέπει να ληφθεί υπόψιν.

Αν είναι γνωστή η απόσταση που έχει το Tag από τρία τουλάχιστον Anchors, μπορεί με τον αλγόριθμο Τριπλευρισμού να υπολογιστεί το σημείο τομής των τριών κύκλων όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Οπου r_1 , r_2 και r_3 είναι η απόσταση του Tag από τα Anchors A_1 , A_2 και A_3 αντίστοιχα. Από το σημείο τομής των τριών κύκλων προκύπτουν οι συντεταγμένες X, Y του Tag.

Οι τρεις κύκλοι που φαίνονται στο Σχήμα 4 έχουν ένα σημείο τομής και έτσι μπορεί να υπολογιστούν οι καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y του Tag. Για να υπολογιστεί η θέση του Tag κατά τον άξονα Z , θα χρειαστούν τουλάχιστον τέσσερα Anchors. Αν προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε τις συντεταγμένες του Tag στους άξονες X, Y, Z χρησιμοποιώντας μόνο τρία Anchors θα δούμε πως οι τρεις σφαίρες που φαίνονται στο Σχήμα 5 έχουν δύο σημεία τομής (A και B). Συνεπώς, προσθέτοντας και τέταρτο Anchor μπορεί να διαπιστωθεί αν το σημείο τομής είναι το A ή το B. Τα συστήματα IPS βασισμένα σε UWB έχουν υψηλή ακρίβεια μετρήσεων και χαμηλό κόστος. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για χρήση σε μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως είναι τα αυτοκινούμενα οχήματα μεταφοράς σε αποθήκες, εκκένωση κτιρίων σε περίπτωση μειωμένης ορατότητας λόγω πυκνών καπνών, καθοδήγηση των επισκεπτών σε εκθέματα μουσείων, δημιουργία βέλτιστης διαδρομής για λίστα αγοράς σε super market και πολλές άλλες.



Σχήμα 4: (επάνω) Αλγόριθμος Τριπλευρισμού, (κάτω) Τα πιθανά σημεία τομής τριών σφαιρών είναι τα σημεία A και B.

extreme mass-ratio inspirals

...και βαρυτική ακτινοβολία



Λάζαρος Σουβαϊτζής
Διπλωματούχος ΠΜΣ
Υπολογιστικής Φυσικής

Εισαγωγή- Ιστορικά στοιχεία

Τον Σεπτέμβριο του 2015, οι συμβολομετρικές διατάξεις βαρυτικών κυμάτων του LIGO, παρατήρησαν για πρώτη φορά την εκπεμπόμενη βαρυτική ακτινοβολία από την συγχώνευση δύο μελανών οπών, γνωστή και ως GW150914 (Σχήμα 1). Η 11^η Φεβρουαρίου του 2016 αποτελεί ιστορική μέρα, καθώς η επιστημονική συνεργασία LIGO-Virgo ανακοινώνει την εν λόγω παρατήρηση, η οποία αποτελεί άλλη μια «νίκη» της Γενικής Θεωρίας Σχετικότητας του Albert Einstein, που πριν από 100 χρόνια πρόέβλεψε την ύπαρξη βαρυτικών κυμάτων ως φυσική απόρροια της θεωρίας.

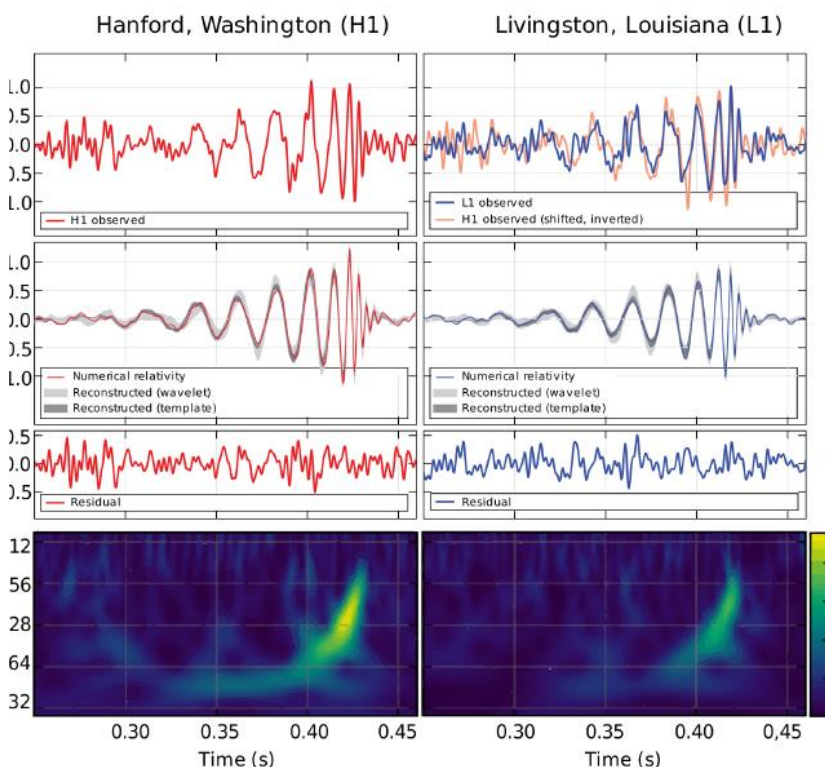
Η βαρύτητα στην ΓΘΣ έχει γεωμετρικό χαρακτήρα. Ειδικότερα, η παρουσία ύλης προκαλεί την καμπύλωση του χωροχρόνου και η γεωμετρία του χωροχρόνου ορίζει την κίνηση της ύλης. Έτσι, δυο μαζικά σώματα, εκ των οποίων το ένα διαγράφει τροχιά γύρω από το άλλο, παραμορφώνουν τον χωροχρόνο δημιουργώντας κυματισμούς, βαρυτικά κύματα, όπως αντίστοιχα δύο κινούμενα φορτία δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Ακόμα και οι πιο ισχυρές πηγές βαρυτικών κυμάτων (όπως ένα ζεύγος μελανών οπών πριν τη συγχώνευση τους) προκαλούν πολύ μικρές διαταραχές της τάξης 10^{-18} m, δηλαδή 1000 φορές μικρότερες περίπου από τη διάμετρο ενός πρωτονίου. Καταλαβαίνει κανείς, λοιπόν, πως η ανίχνευση

ση τους αποτελεί πολύ σημαντικό επίτευγμα της επιστημονικής κοινότητας και της ραγδαία αναπτυσσόμενης τεχνολογίας των αντίστοιχων ανιχνευτών. Στις 17 Αυγούστου του 2017, μια επίσης κομβική παρατήρηση, η GW170817, λαμβάνει χώρα, που αφορά την σύγκρουση δύο αστέρων νετρονίων. Πέραν της βαρυτικής ακτινοβολίας, ακολουθεί η παρατήρηση και επιβεβαίωση του φαινομένου, γνωστό πλέον και ως kilonova, σε ακτίνες-γ και σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το γεγονός αυτό σηματοδοτεί την έναρξη μιας νέας εποχής για την παρατηρησιακή Αστροφυσική (Multi-messenger Astronomy). Καθώς η επιστήμη των βαρυτικών κυμάτων ωριμάζει και παράλληλα με την άνθιση της μηχανικής μάθησης ως εργαλείο για την ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων, χτίζεται πλέον ένας κατάλογος παρατηρήσεων που θα αυξάνει εκθετικά σε πλήθος με την πάροδο των ετών, ανοίγοντας ένα ακόμα παράθυρο στην παρατήρηση του σύμπαντος.

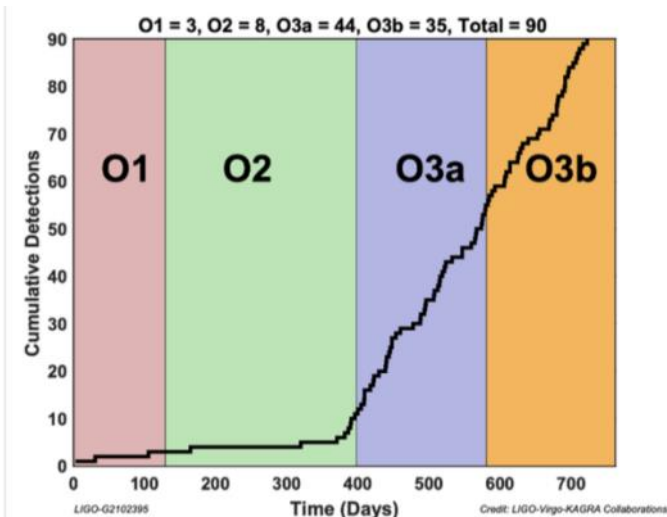
Κλείνοντας αυτήν τη μικρή ιστορική αναδρομή, αναφέρω για πληρότητα πως τον περασμένο Ιούνιο ανακοινώθηκε η ανακάλυψη (τον Ιανουάριο του 2020) δύο σημάτων βαρυτικής ακτινοβολίας, GW200105 και GW200115, από τη σύγκρουση και συγχώνευση διπλών συστημάτων αποτελούμενων από μια μελανή οπή και ένα αστέρι νετρονίων, σφραγίζοντας έτσι την παρατήρηση όλων των πιθανών πηγών εκπομπής ΒΚ.

Ανιχνευτές και Συμβολομετρία βαρυτικών κυμάτων

Αναλόγως της πηγής βαρυτικών κυμάτων, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία ποικίλει σε συχνότητες. Ως αποτέλεσμα, διαφορετικοί ανιχνευτές στοχεύουν στον εντοπισμό πηγών διαφορετικής συχνότητας. Τα 3 χαρακτηριστικά παραδείγματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αποτελούν παρατηρήσεις επίγειων ανιχνευτών, οι οποίοι ως τώρα έχουν πραγματοποιήσει τρεις κύκλους παρατηρήσεων, με τις ανιχνεύσεις να αυξάνουν



Σχήμα 1: Η πρώτη ανίχνευση σήματος βαρυτικής ακτινοβολίας, GW150914.



Σχήμα 2: Ανιχνεύσεις ανά περίοδο παρατηρήσεων.

εκθετικά στην πιο πρόσφατη εξ αυτών (Σχήμα 2).

Η λειτουργία των ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων βασίζεται στην πειραματική διάταξη του συμβολομέτρου του Michelson. Ειδικότερα, δέσμη φωτός από μια πηγή λέιζερ διαχωρίζεται, με τη βοήθεια ενός διαχωριστή, σε δύο δέσμες που διαδίδονται κατά μήκος των κάθετων μεταξύ τους βραχιόνων του συμβολομέτρου (Σχήμα 3). Στα άκρα των δύο βραχιόνων είναι αναρτημένα κάτοπτρα τα οποία είναι ελεύθερα να ταλαντωθούν. Οι δύο επιμέρους δέσμες ανακλώνται στα κάτοπτρα και επανασυνδέονται πριν τον ανιχνευτή. Αν το μήκος του κάθε βραχίονα παραμείνει αμετάβλητο, αυτό σημαί-

νει πως η μία δέσμη αναιρεί την άλλη ή έχουμε καταστρεπτική συμβολή. Αντιθέτως αν ένα οδεύον βαρυτικό κύμα παρεμβληθεί κατά την προηγούμενη διαδικασία, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του μήκους ενός από τους βραχίονες και οι δέσμες οδηγούν σε ενισχυτική συμβολή. Οι εξισώσεις ενισχυτικής και καταστρεπτικής συμβολής είναι οι παρακάτω:

$$\Delta L = L_x - L_y = n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

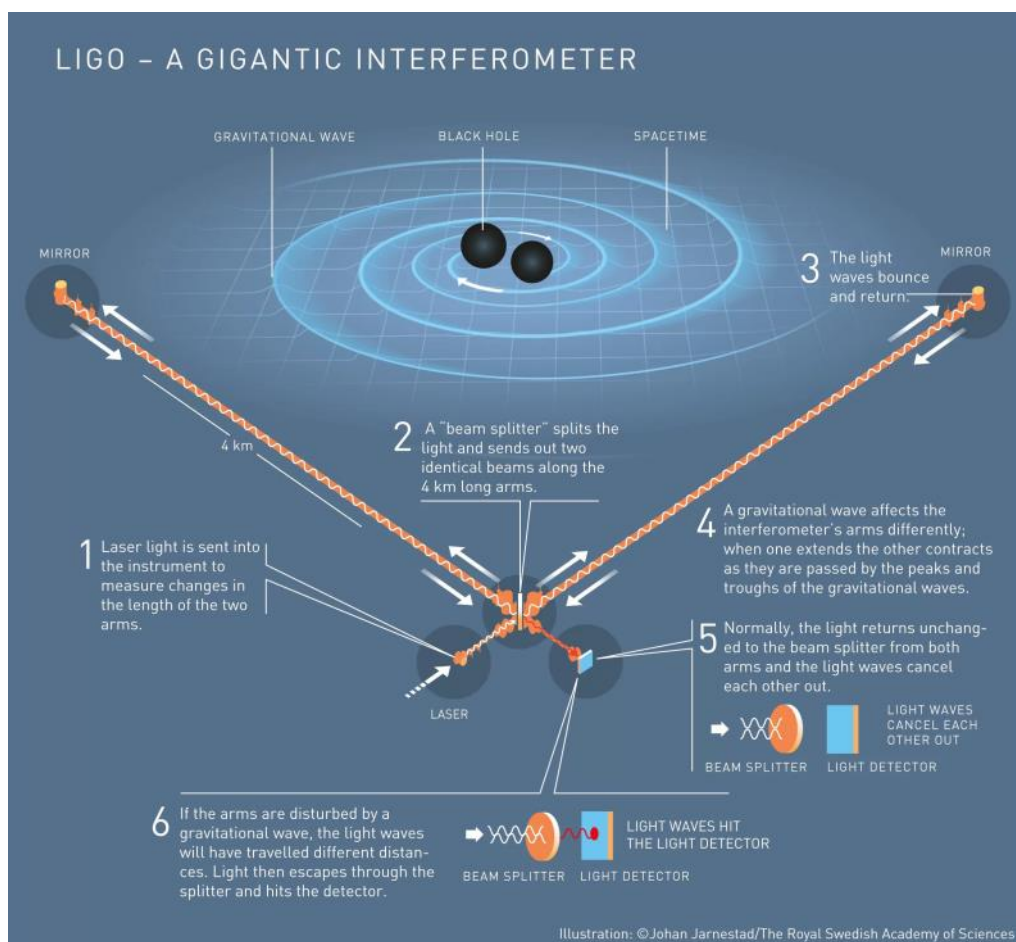
$$\Delta L = L_x - L_y = (n + 1/2)\lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

όπου λ είναι το μήκος κύματος της χρησιμοποιούμενης ακτινοβολίας.

Γίνεται αντιληπτό λοιπόν, πως όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του κάθε βραχίονα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενίσχυση που θα παρατηρηθεί στην τελική δέσμη, γεγονός που εξηγεί την επιλογή τοποθεσίας των μέχρι τώρα επίγειων ανιχνευτών και του μεγάλου μήκους (4 km στην περίπτωση του LIGO) των βραχιόνων τους. Οι πηγές που παρατηρούν ως επί το πλείστον οι επίγειοι ανιχνευτές είναι είτε ζεύγη αστέρων νετρονίων, είτε μελανές οπές με μάζες $\sim 80 M_{\odot}$, οι οποίες προέρχονται από την βαρυτική κατάρρευση άστρων στο τέλος της ζωής τους, καθώς και από τον συνδυασμό των προηγούμενων.

Extreme mass-ratio inspirals

Στο κέντρο του Γαλαξία μας (και όχι μόνο του δικού μας) βρίσκεται μια υπερμεγέθους μελανή οπή με μάζα $M_{\text{Sgr}^*} \sim 4.1 \cdot 10^6 M_{\odot}$. Το κέντρο του Γαλαξία είναι ένα δυναμικό περιβάλλον και φιλοξενεί μεγάλο αριθμό συμπαγών αντικειμένων, δηλαδή αστρικών



Σχήμα 3: Το συμβολόμετρο βαρυτικών κυμάτων LIGO, διάταξη που στηρίζεται στο συμβολόμετρο Michelson.

1. Μια δέσμη laser χρησιμοποιείται για την ανίχνευση μεταβολών του μήκους των δύο βραχιόνων.

2. Ένας διαχωριστής δέσμης διαχωρίζει τη δέσμη σε δυο που διαδίδονται κατά μήκος δύο βραχιόνων μήκους 4 km.

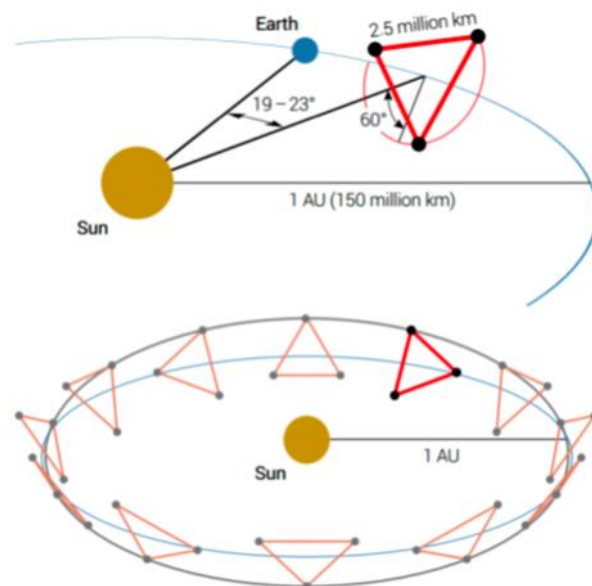
3. Οι δέσμες ανακλώνται στα κάτοπτρα.

4. Ένα βαρυτικό κύμα επηρεάζει τους βραχίονες με διαφορετικό τρόπο: Όταν ο ένας επιμηκώνεται, ο άλλος συρρικνώνεται από τις διερχόμενες κοιλάδες και τα όρη του βαρυτικού κύματος.

5. Απουσία βαρυτικού κύματος, οι δύο δέσμες συμβάλλουν καταστρεπτικά στον ανιχνευτή με αποτέλεσμα να καταγράφεται μηδενικό σήμα.

6. Όταν οι βραχίονες διαταράσσονται από ένα βαρυτικό κύμα, συμβαίνει ενισχυτική συμβολή με αποτέλεσμα την καταγραφή σήματος από τον ανιχνευτή.

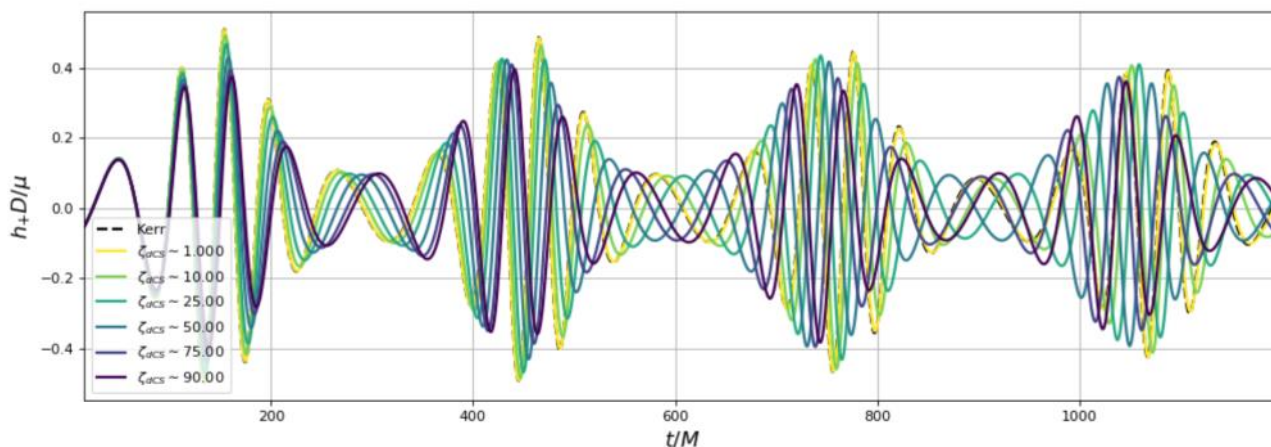
μελανών οπών, αστερών νετρονίων και λευκών νάνων. Όλα αυτά είναι σε διαρκή βαρυτική αλληλεπίδραση με την κεντρική μελανή οπή και υποψήφιες πηγές βαρυτικών κυμάτων. Από όλα τα πιθανά ζεύγη με την κεντρική μελανή οπή, αυτά με πολύ μικρή αναλογία μάζας, θα πλησιάζουν όλο και περισσότερο προς την κεντρική μελανή οπή χάνοντας ενέργεια και στροφορμή με την μορφή βαρυτικής ακτινοβολίας, μέχρι τελικά τη συγχώνευση τους. Οι τροχιές αυτές ονομάζονται Extreme mass ratio inspirals (EMRIs) και είναι δυνατό να παρατηρηθούν με ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων στο διάστημα, όπως το Laser Interferometer Space Antenna (LISA) που θα τοποθετηθεί σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο μέσα στη δεκαετία του 2030. Η LISA θα μπορέσει να ανιχνεύσει σήματα από EMRIs με ερυθρή μετατόπιση z ως και 0.5–0.7, μετρώντας τη μάζα και το σπιν των μελανών οπών σε κάθε τύπο γαλαξία, χαρτογραφώντας έτσι τον πληθυσμό μελανών οπών στο κοντινό σύμπαν. Επίσης, μέσω των EMRIs, θα γίνει εφικτή η φασματογραφία αστρικών μελανών οπών, ειδικά αυτών που ανήκουν στο άνω όριο μάζας, το οποίο δεν έχουμε καταφέρει ως τώρα να προσδιορίσουμε παρατηρησιακά. Τα σήματα από EMRIs φέρουν επίσης (αν και έμμεσα) πληροφορία για τη δυναμική εξέλιξη αστρικών πληθυσμών και σημνών στο κέντρο του γαλαξία, καθώς και της αναζήτησης μελανών οπών ενδιάμεσης μάζας $M_{\text{IMBH}} = 10^2\text{--}10^3 M_\odot$ στο λεγόμενο mass gap, στο κέντρο συμπαγών (και συνήθως σφαιρικών) αστρικών σημνών, που μέχρι σήμερα δεν έχουν επιβεβαιωθεί και αποτελούν μυστήριο. Ένας από τους σημαντικότερους λόγους παρατήρησης EMRIs είναι η δυνατότητα να ελέγξουμε την ορθότητα της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και συγκεκριμένα της γεωμετρίας του χωροχρόνου γύρω από την κεντρική μελανή οπή, δηλαδή το αν αυτή περιγράφεται από την λύση περιστρεφόμενης μελανής οπής του Kerr. Η LISA θα μπορεί να παρατηρήσει ως και 100000 κύκλους τον χρόνο (από τα συνολικά 4 χρόνια που είναι ο προτεινόμενος χρόνος της αποστολής), της τροχιάς πριν τη συγχώνευ-



Σχήμα 4: Η ηλιοκεντρική τροχιά του ανιχνευτή βαρυτικών κυμάτων LISA.

ση. Αναμένουμε οι τροχιές αυτές να είναι αρχικά πολύ έκκεντρες, με την εκκεντρότητα να φθίνει στο $e \sim 0.1\text{--}0.3$ πριν τη συγχώνευση. Έτσι, τα EMRIs θα υπόκεινται σε διαρκή μετάπτωση του περιάστρου (η κίνηση του πλησιέστερου στο κεντρικό σώμα σημείου της ελλειπτικής τροχιάς) και έντονη παρουσία του φαινομένου Lense-Thirring (που αφορά την μετάπτωση του επιπέδου της ελλειπτικής τροχιάς). Συγκρίνοντας τη φάση των παρατηρούμενων βαρυτικών κυμάτων με αυτά που προβλέπει Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, μπορούμε να εξακριβώσουμε αν πράγματι το κεντρικό συμπαγές αντικείμενο είναι μια μελανή οπή Kerr. Το no-hair theorem (που για ευνόητους λόγους δεν θα μεταφράσω στα ελληνικά), ορίζει πως μια απομονωμένη μελανή οπή Kerr μπορεί να περιγραφεί πλήρως από μόνο δύο παραμέτρους: τη μάζα και το σπιν (που σχετίζεται με την στροφορμή) της, ενώ υπάρχουν θεωρίες που προβλέπουν την ύπαρξη κι άλλων παραμέ-

[Kerr vs dCS] Eccentric-Inclined orbits for: $(a, p, e, i) = (0.10, 6.0, 0.40, 30.0^\circ)$



Σχήμα 5: Στιγμιότυπο της σύγκρισης κυματομορφών για μια τροχιά γύρω από μια αργά περιστρεφόμενη μελανή οπή με στοιχεία (σπιν μελανής οπής, ποσότητα σχετική με τον ημιάξονα της τροχιάς, εκκεντρότητα, κλίση) $(a, p, e, i) = (0.1M, 6M, 0.3, 30^\circ)$ και αναλογίας μαζών $\mu/M = 10^{-6}$.

τρων, όπως για παράδειγμα το ηλεκτρικό φορτίο. Μια μεθοδολογία που ακολουθείται συχνά στη βιβλιογραφία, είναι η σύγκριση κυματομορφών από μελανές οπές που περιγράφονται από την μετρική του Kerr με άλλες που προκύπτουν από μια παραμετροποιημένη μετρική (για παράδειγμα αυτή του Carson και Yagi ή του Johannsen) η οποία μπορεί να αντιστοιχηθεί σε μετρικές από άλλες θεωρίες βαρύτητας. Στο Σχήμα 5 φαίνεται ένα στιγμιότυπο της σύγκρισης κυματομορφών για μια τροχιά γύρω από μια αργά περιστρεφόμενη μελανή οπή με στοιχεία (σπιν της μελανής οπής, ποσότητα σχετική με τον ημιάξονα της τροχιάς, εκκεντρότητα, κλίση) $(a, p, e, i) = (0.1M, 6M, 0.3, 30^\circ)$ και αναλογίας μαζών $\mu/M = 10^{-6}$. Η μαύρη διακεκομμένη γραμμή αναπαριστά την κυματομορφή που εξάγεται από την μετρική Kerr της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας, ενώ οι υπόλοιπες προκύπτουν από τη δυναμική (εναλλακτική θεωρία) Chern-Simons βαρύτητα, για αυξανόμενες τιμές της παραμέτρου που σχετίζεται με τις σταθερές σύζευξης που εισέρχονται στην δράση της θεωρίας. Η διαφορά φάσης (και πλάτους) γίνεται εύκολα αντιληπτή και εν δυνάμει παρατηρήσιμη από ένα διαστημικό βαρυτικό συμβολόμετρο όπως η LISA. Η πιθανές αποκλίσεις από την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας οδηγούν σε δυο πιθανά συμπεράσματα:

1. Το κεντρικό συμπαγές αντικείμενο περιγράφεται από την λύση του Kerr, αλλά δεν μπορεί να είναι μια μελανή οπή, άρα κάποιο άγνωστο αντικείμενο.
2. Το αντικείμενο κατέχει έναν ορίζοντα γεγονότων που εξαρτάται από περισσότερες από μία παραμέτρους, άρα η 4-διάστατη γενική σχετικότητα αποτελεί προσεγγιστική μόνο λύση σε πολύ ισχυρά βαρυτικά πεδία.

Η βαρυτική ακτινοβολία από EMRIs λοιπόν, αποτελεί ένα καθοριστικής σημασίας εργαλείο στην αναζήτησή των ορίων ισχύος της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας και την συνεισφορά στην αναζήτηση και τον έλεγχο μιας (εναλλακτικής) εν δυνάμει πιο ολοκληρωμένης θεωρίας βαρύτητας.

Πηγές

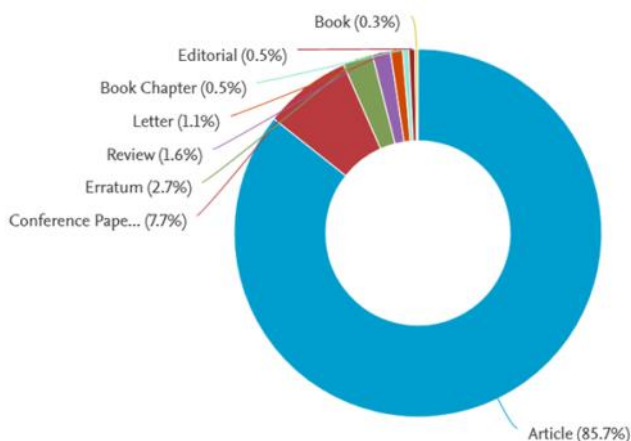
- B .P. Abbott, R. Abbott, R. Adhikari, P .Ajith, B. Allen, G. Allen, R. S. Amin, S. B. Anderson, W. G. Anderson, M. A. Arain et al., *LIGO: the laser interferometer gravitational-wave observatory. Reports on Progress in Physics*, 72, 076901 (2009).
- B.P. Abbott, R. Abbott, T. D. Abbott, M. R. Abernathy, F. Acernese, K. Ackley, C. Adams, T. Adams, P. Addesso, R. X. Adhikari et al., *Gw150914: First results from the search for binary black hole coalescence with advanced ligo. Physical Review D*, 93, (2016). <https://arxiv.org/abs/1602.03839>
- B. P. Abbott, R. Abbott, T. D. Abbott, F. Acernese, K. Ackley, C. Adams, T. Adams, P. Addesso, R. X. Adhikari, V. B. Adya et al. *Gw170817: Observation of gravitational waves from a binary neutron star inspiral. Physical Review Letters*, 119, 161101 (2017).
- P. Amaro-Seoane, H. Audley, S. Babak, J. Baker, E. Barausse, P. Bender, Emanuele Berti et al. *Laser interferometer space antenna* (2017). <https://arxiv.org/abs/1702.00786>
- <https://www.ligo.caltech.edu/news>
- <https://www.ligo.org/science/GW-GW2.php>
- <https://www.elisascience.org/articles/gravitational-wave-astronomy>
- <https://www.virgo-gw.eu/status.html>
- Z. Carson and K. Yagi. *Asymptotically flat, parametrized black hole metric preserving kerr symmetries. Physical Review D*, 101, 084030 (2020).
- N. Yunes and F. Pretorius. *Dynamical chern-simons modified gravity: Spinning black holes in the slow-rotation approximation. Physical Review D*, 79 084043 (2009).



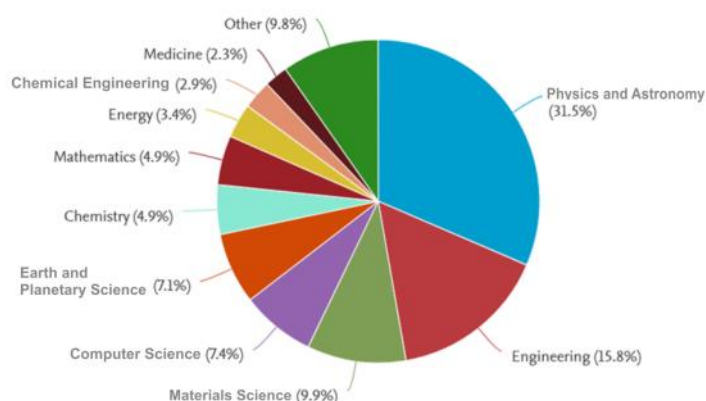
οι δημοσιεύσεις του Τμήματος Φυσικής για το έτος 2021

377

είδος δημοσίευσης



Θεματική κατηγορία



Πηγή: www.scopus.com

συνέντευξη

Αριστείδης Βούλγαρης

Τι σας ενέπνευσε να ασχοληθείτε με την Αστρονομία, τον Ήλιο και την Οπτική;

Από μικρός είχα μία λατρεία με την Αστρονομία, αλλά εκείνη την εποχή το να βρω πληροφορίες και ακόμα περισσότερο ένα τηλεσκόπιο, ήταν εξαιρετικά δύσκολο, εν συγκρίσει με σήμερα. Κάποια στιγμή η μητέρα μου, μου αγόρασε ένα τηλεσκόπιο ρωσικής κατασκευής, αρκετά βαρύ και ογκώδες. Όταν το έστησα, έβλεπα τα είδωλα ανεστραμμένα (όπως έπρεπε, αλλά εγώ δεν το γνώριζα). Κατόπιν παρότρυνσης της μητέρας μου, τηλεφώνησα στο Αστεροσκοπείο του ΑΠΘ περιγράφοντας το «πρόβλημά μου» και με συνδέσανε στο τηλέφωνο με έναν καθηγητή: «Ιωάννης Σειραδάκης, παρακαλώ», ακούστηκε στο ακουστικό του τηλεφώνου... ο αείμνηστος Ι. Σειραδάκης ήρθε στο σπίτι μου και μου έδωσε τις πρώτες οδηγίες για τη χρήση του τηλεσκοπίου μου. Με τον Ι. Σειραδάκη έχουμε συνεργαστεί σε αποστολές εκλείψεων, έχουμε μαζί τρεις δημοσιεύσεις και επίσης συνεργαστήκαμε για την αναβάθμιση του τηλεσκοπίου του Αστεροσκοπείου του ΑΠΘ το 2004/2008. Κάποια στιγμή ήρθα σε επαφή με τον αείμνηστο Γιώργο Κολοβό ο οποίος εργαζόταν στο Αστε-

ροσκοπείο. Με το που έφτασα σπίτι του, είχε ξεκινήσει μία πολύ ισχυρή ηλιακή έκλαμψη στον Ήλιο και είδα για πρώτη φορά το πώς συμπεριφέρεται ο Ήλιος σαν ουράνιο σώμα. Ε! δεν ήθελε και πολύ να αρχίσω να ασχολούμαι «ζεστά» με τον Ήλιο... Τέλος, η γνωριμία μου το 1996 με τον, συνταξιούχο σήμερα, καθηγητή Ε. Βανίδη ήταν καθοριστική για την μετέπειτα εξέλιξή μου: ο κύριος Βανίδης έκανε το «μοιραίο» λάθος να μου δείξει από κοντά πως δουλεύει ένα εργαστήριο οπτικής... Ε! δεν ήθελε και πολύ να νιώσω συνεπαρμένος! Κάποια χρόνια αργότερα ξεκίνησα να συμμετέχω ενεργά στην τεχνική υποστήριξη της λειτουργίας των εργαστηρίων οπτικής των φοιτητών, καθώς και την ανάπτυξη νέων διατάξεων και οργάνων του ερευνητικού τμήματος του Εργαστηρίου Οπτικής και Φασματοσκοπίας του Τομέα Φυσικής Στερεάς Κατάστασης.

Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της παρατήρησης του Ήλιου σε συνθήκες ολικής έκλειψης;

Κατά τη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης Ηλίου, δεν μπορούμε να κάνουμε παρατήρηση της φωτόσφαιρας του Ηλίου, καθώς είναι καλυμμένη από τον σεληνιακό δί-

Ο Αριστείδης Βούλγαρης γεννήθηκε στη Θεσσαλονίκη και είναι απόφοιτος του Κρατικού Ωδείου Θεσσαλονίκης. Έλαβε το δίπλωμά του στο βιολί με "άριστα παμψηφεί" το 1996. Είναι μέλος της Συμφωνικής Ορχήστρας του Δήμου Θεσσαλονίκης τα τελευταία 30 έτη. Έχει εκπροσωπήσει την Ελλάδα στην Ορχήστρα της Μεσογείου και σε ευρωπαϊκές συναντήσεις μουσικών συνόλων. Η ενασχόληση του με τη Φυσική, ξεκίνησε από τα μαθητικά του χρόνια. Μόλις το 1988, κατασκεύασε μια πειραματική διάταξη με τίτλο "Η πειραματική επιβεβαίωση του Νόμου του Joule" η οποία τιμήθηκε με έπαινο σε διαγωνισμό που προκήρυξε Ένωση Ελλήνων Φυσικών Βορείου Ελλάδος. Παράλληλα με τη Μουσική, δραστηριοποιείται στην Αστρονομία, τη Γεωμετρική και Εφαρμοσμένη Οπτική. Είναι έμπειρος χειριστής τόνου και άλλων μηχανουργικών μηχανημάτων σε δικό του μηχανουργείο και έχει κατασκευάσει διάφορα αστρονομικά και οπτικά όργανα (φασματογράφους, ηλιοστάτες, κορωνογράφους, φίλτρα Lyot, οπτικές- ηλιακές τράπεζες, ερευνητικές διατάξεις και ραδιοτηλεσκοπία οδηγούμενα από ηλεκτρονικό υπολογιστή). Είναι μέλος διεθνούς διεπιστημονικής ομάδας ηλιακών αστρονόμων με επικεφαλής τον Αμερικανό καθηγητή J. Pasachoff, στην οποία συμμετέχει ο καθηγητής Α. Οικονόμου του πανεπιστημίου του Σικάγο. Η ομάδα χρησιμοποιεί όργανα, σχεδιασμένα και κατασκευασμένα από τον κ. Βούλγαρη, με σκοπό την ανίχνευση ιονισμένων στοιχείων και τη μελέτη του μηχανισμού θέρμανσης του ηλιακού στέμματος. Εργασίες ύστερα από την ανάλυση των δεδομένων που ελήφθησαν από αυτά τα όργανα, έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά του εξωτερικού με κριτές, καθώς και σε διεθνή συνέδρια. Έως τώρα έχει συμμετάσχει σε 10 αποστολές παρατήρησης ολικών εκλείψεων Ηλίου (Ελλάδα 2006, Ρωσία 2008, Κίνα 2009, Νησί του Πάσχα-Χιλή 2010, Αυστραλία 2012, Γκαμπόν-Αφρική 2013, Svalbard-B. Πόλος 2015, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής 2017, Χιλή 2019 και Airborne Flight 2021-Antarctica). Ο Αριστείδης Βούλγαρης έχει συμβάλει επίσης σημαντικά στην αναβάθμιση του Εργαστηρίου Οπτικής και Φασματοσκοπίας του Τμήματος Φυσικής, όπου σε συνεργασία με τους καθηγητές Ι. Αρβανιτίδη και Κ. Παπαγγελή ανέλαβε την σχεδίαση και την κατασκευή ενός μεγάλου αριθμού οπτομηχανικών διατάξεων.



σκο. Αλλά εκείνη την στιγμή μπορούμε να παρατηρήσουμε με γυμνό οφθαλμό το ηλιακό στέμμα, το οποίο φαίνεται μόνο κατά την ολική έκλειψη. Από την κατάσταση του στέμματος και την ανάλυση του φωτός του μέσω φασματογράφου μπορούμε να γνωρίζουμε την σύστασή του σε ιονισμένα στοιχεία, την κατανομή τους και τη θερμοκρασία τους. Από αυτά εξάγουμε χρήσιμες πληροφορίες για την ενεργειακή κατάσταση του Ηλίου.

Τι πληροφορίες λαμβάνονται κατά την φασματοσκοπική ανάλυση του φωτός από τον Ήλιο;

Από την φασματοσκοπική ανάλυση της φωτόσφαιρας του Ήλιου (δηλ. του ηλιακού δίσκου) γνωρίζουμε την σύσταση της χαμηλής ατμόσφαιρας του Ήλιου, δηλ. της χρωμόσφαιρας. Το ηλιακό φάσμα είναι συνεχές, αλλά διάστικτο από γραμμές απορρόφησης Fraunhofer, οι οποίες δημιουργούνται από τα διεγερμένα στοιχεία της χρωμόσφαιρας H, He, Fe, Na, Mg κτλ. Από την φασματοσκοπική ανάλυση του ηλιακού στέμματος, ο φασματογράφος μπορεί να εντοπίσει FeXIV, FeX, NiXIII, CaXV, δηλ. πολλαπλώς ιονισμένα στοιχεία λόγω των υπερβολικά υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στο στέμμα εύρους 1-4 MK.

Ποια πρέπει είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ενός φασματογράφου που προορίζεται για την παρατήρηση του ηλιακού φωτός;

Για φασματοσκοπικές παρατηρήσεις του Ήλιου χρειαζόμαστε αρκετά μεγάλες εστιακές αποστάσεις οπτικών, κάτι που συνεπάγεται την έδρασή τους σε βάσεις μεγάλων διαστάσεων, που πρέπει να είναι σχετικά άκαμπτες και ταυτόχρονα ελαφριές. Επίσης, χρειάζεται προστασία από την ισχυρή υπέρυθρη ακτινοβολία του Ήλιου και ειδικός σχεδιασμός των οπτικών στοιχείων ώστε να αποτραπούν οι εσωτερικές ανακλάσεις και η διάχυτη ακτινοβολία, η οποία μειώνει τον λόγο σήμα/θόρυβος, μειώνοντας την απόδοση του οργάνου.

Πείτε μας λίγα λόγια για την συνεργασία σας με την NASA και το δίκτυο των ξένων ερευνητών. Πως σας εντόπισαν;

Η συνεργασία με τη NASA έγινε σχετικά πρόσφατα. Το 2017 έφτιαξα μια ιστοσελίδα στο διαδίκτυο την Icarus-Optomechanics (<https://icarus-optomechanics.com>) όπου ανάρτησα φωτογραφίες του φασματογράφου μου και κάποιες δημοσιεύσεις που έχω με αυτό το όργανο στο επιστημονικό περιοδικό "Solar Physics". Μία εβδομάδα μετά έλαβα ένα e-mail από το τμήμα δημοσίων σχέσεων της NASA, όπου μου ανέφεραν πως η ιστοσελίδα μου έχει μπει στον κατάλογο σημαντικών ιστοσελίδων της NASA που αφορούν την επικείμενη έκλειψη της Αμερικής το 2017. Μια εβδομάδα μετά έλαβα ακόμη ένα e-mail από τη NASA. Ήταν μια πρόσκληση για μία επικοινωνία μέσω τηλεδιάσκεψης με την υποδιευθύντρια ενός τμήματος της NASA, προκειμένου να μιλήσουμε σχετικά με τον φασματογράφο. Πέρασα από μια ακρόαση περίπου 45 λεπτών, ώστε να απαντήσω σε κάποιες ερωτήσεις, μάλιστα με ρώτησαν αρκετές φο-

ρές εάν είμαι ο κατασκευαστής του φασματογράφου. Έδειξα αρκετές φωτογραφίες που χειρίζομαι μηχανουργικά όργανα και η συνάντηση έκλεισε λέγοντας μου πως θα επικοινωνήσουν μαζί μου στην περίπτωση που θα ήθελαν να τους κατασκευάσω αυτό το όργανο. Τελικά ανέλαβα την κατασκευή, ο φασματογράφος τοποθετήθηκε στο αεροπλάνο G-III της NASA και πέταξε κατά τη διάρκεια της ολικής έκλειψης Ηλίου στις 21 Αυγούστου 2017 καταγράφοντας το φάσμα του ηλιακού στέμματος.

Γιατί επιλεγήκατε εσείς για την τελευταία αποστολή στην Ανταρκτική και όχι κάποιος αριστούχος αμερικανικού πανεπιστημίου;

Όταν η Επιστήμη δεν έχει παρωπίδες, τότε μία επιστημονική θεωρία ή ένα ερευνητικό όργανο, κρίνονται εκ του αποτελέσματος. Ο φασματογράφος που σχεδίασα και κατασκεύασα έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε 9 αποστολές ολικών εκλείψεων (διανύοντας περίπου 170.000 km), σε μία πτήση με το αεροσκάφος G-III της NASA, τρεις δοκιμαστικές πτήσεις χορηγούμενες από την Aegean και έχει δώσει τρεις δημοσιευμένες, και μία που έγινε δεκτή για δημοσίευση, εργασίες. Από την πτήση με το αεροσκάφος πάνω από την Ανταρκτική ήδη έχουμε τα πρώτα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη χρήση του φασματογράφου Icarus: εντοπίσαμε περιοχές CaXV με θερμοκρασία 3.5-4.2 MK. Γνωρίζουμε επίσης πως η γενική θερμοκρασία του Στέμματος έχει αυξηθεί συγκριτικά με το 2019. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως πλησιάζουμε προς το επόμενο ηλιακό μέγιστο, που αναμένεται προς το 2024/2025.

Πως αντιμετώπισε η επιστημονική κοινότητα την «εισβολή» ενός επαγγελματία μουσικού, αλλά ερασιτέχνη αστρονόμου;

Η ελληνική επιστημονική κοινότητα θα έλεγα ούτε κρύο, ούτε ζέστη... Με την αμερικανική επιστημονική κοινότητα των ηλιακών αστρονόμων έχω πολύ καλές συνεργασίες εδώ και αρκετά χρόνια. Είναι αυτονόητο πως για όλες αυτές τις συνεργασίες, έχω περάσει από ακροάσεις, απάντησα σε ερωτήσεις αντικειμένου και προφανώς ελέγχθηκα και εγώ για το γνωστικό μου επίπεδο, αλλά και ο φασματογράφος μου. Βέβαια πριν από κάθε αποστολή οι συνεργάτες μου με «πιέζουν» να φέρω και το βιολί μαζί μου!

Πως σχετίζεται το παίξιμο ενός απαιτητικού οργάνου όπως το βιολί, με τον σχεδιασμό και την κατασκευή των οπτομηχανικών οργάνων και των φασματογράφων;

Το βιολί και η μουσική μάλλον βοήθησε σε μεγάλο ποσοστό για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των οπτομηχανικών συστημάτων που ασχολούμαι και χρησιμοποιώ: και ο ήχος και το φως είναι κύματα και συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο. Το παίξιμο του βιολιού με βοήθησε να έχω μία υψηλή κατευθυντικότητα στα δάχτυλά μου και έλεγχο στις κινήσεις. Έτσι όπως κουρδίζω το βιολί μου να μην είναι φάλτσο, έτσι «κουρδίζω» έναν φασματογράφο ή μία διάταξη για να

μην «φαλτσάρει»... Από κει και πέρα υπάρχει η λεγόμενη «ερμηνεία» είτε χρησιμοποιείς το βιολί, είτε τον φασματογράφο. Το κάθε όργανο έχει τα μυστικά του στην χρήση του και για να βγάλεις το καλύτερο αποτέλεσμα χρειάζονται ειδικοί χειρισμοί. Το μυστικό πάντως είναι να είσαι σε συνεχή επαφή με αυτό που ασχολείσαι και μελετάς.

Είναι αντιληπτό πως ασχολείστε ταυτόχρονα με την Αστρονομία, την Οπτική και την Φασματοσκοπία. Πως αντιλαμβάνεστε εσείς την σχέση μεταξύ τους;

Και οι τρεις αυτοί τομείς της σύγχρονης Επιστήμης είναι εξαιρετικά αλληλοσυνδεδεμένοι και εξαρτώμενοι. Χωρίς την Οπτική δεν θα μπορούσε να υπάρχει το Hubble Space Telescope (HST), και χωρίς την φασματοσκοπία το HST θα είχε περιορισμένες δυνατότητες. Η ενασχόληση του ανθρώπου με τον ουρανό είναι εσωτερική ανάγκη, προκειμένου να «θρώσκει Άνωθεν»...

Αν γυρνούσατε τον χρόνο πίσω, θα διαλέγατε να σπουδάσετε πάλι μουσική ή φυσική;

Εάν αλλάξουμε τις παραμέτρους, η έκβαση του «πειράματος» θα είναι διαφορετική. Εάν κάτι δουλεύει αποδοτικά και σωστά, καλύτερα μην το πειράζεις: λόγω της Εντροπίας έχεις περισσότερες πιθανότητες να το χειροτερέψεις...

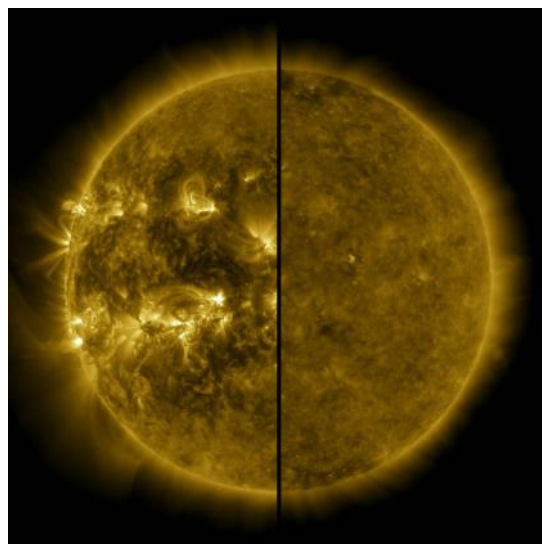
Δρ. Φανή Πινακίδου
Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια
του Τμήματος Φυσικής



Ηλιακός κύκλος 25

Ο «Ηλιακός Κύκλος 25» ξεκίνησε, σύμφωνα με τη NASA, τον Δεκέμβριο του 2019, όταν παρατηρήθηκε ένα ελάχιστο στην ηλιακή δραστηριότητα. Για τη μελέτη της δραστηριότητας του Ήλιου και την εκτίμηση του σταδίου στο οποίο βρίσκεται η Ηλιακός Κύκλος, οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τις ηλιακές κηλίδες. Οι ηλιακές κηλίδες σχετίζονται με την ηλιακή δραστηριότητα καθώς συχνά είναι πηγές γιγαντιαίων εκρήξεων, όπως οι ηλιακές εκλάμψεις ή οι στεμματικές εκπομπές μάζας, που εκτοξεύουν φως, ενέργεια και ηλιακή μάζα στο διάστημα. Για τον προσδιορισμό της έναρξης ενός Ηλιακού Κύκλου, λαμβάνονται σε μηνιαία βάση δεδομένα για τις ηλιακές κηλίδες από το "World Data Center for the Sunspot Index and Long-term Solar Observations" που εδρεύει στο Βασιλικό Παρατηρητήριο του Βελγίου. Στηριζόμενοι στα δεδομένα, οι επιστήμονες αναμένουν ένα μέγιστο στην ηλιακή δραστηριότητα τον Ιούλιο του 2025 με ισχύ αντίστοιχη με το προηγούμενο μέγιστο, του οποίου η ένταση ήταν μικρότερη του μέσου όρου. Κάτι τέτοιο όμως δεν σημαίνει ότι δεν θα υπάρχουν επιπτώσεις στον διαστημικό καιρό. Η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει τομείς της καθημερινής μας ζωής αλλά και τη συμπεριφορά κάποιων ζώων. Ως μερικά παραδείγματα αναφέρονται: έντονα φαινόμενα Σέλαος (στα μέγιστα του κύκλου), επίδραση στη μετανάστευση αποδημητικών πουλιών, επίδραση των γαιωμαγνητικών διαταραχών στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ανάπτυξης επαγωγικών ρευμάτων και ελαττωμένη ανακλαστικότητα των ραδιοκυμάτων χαμηλής συχνότητας από την ιονόσφαιρα (στο ελάχιστο του κύκλου).

Πηγή: NASA



Διαφορά στη δραστηριότητα του Ήλιου: (αριστερά) Ηλιακό μέγιστο τον Απρίλιο του 2014, (δεξιά) Ηλιακό ελάχιστο τον Δεκέμβριο του 2019. Ο Δεκέμβριος του 2019 σηματοδοτεί την έναρξη του «Ηλιακού Κύκλου 25» με το επόμενο μέγιστο να αναμένεται το 2025 (NASA).

Λιθογραφία νανοσφαιρών

...μια χαμηλού κόστους μέθοδος παρασκευής περιοδικών νανοδομών



Σταύρος Πάνος
Υποψ. Διδάκτορας,
Τμήματος Φυσικής

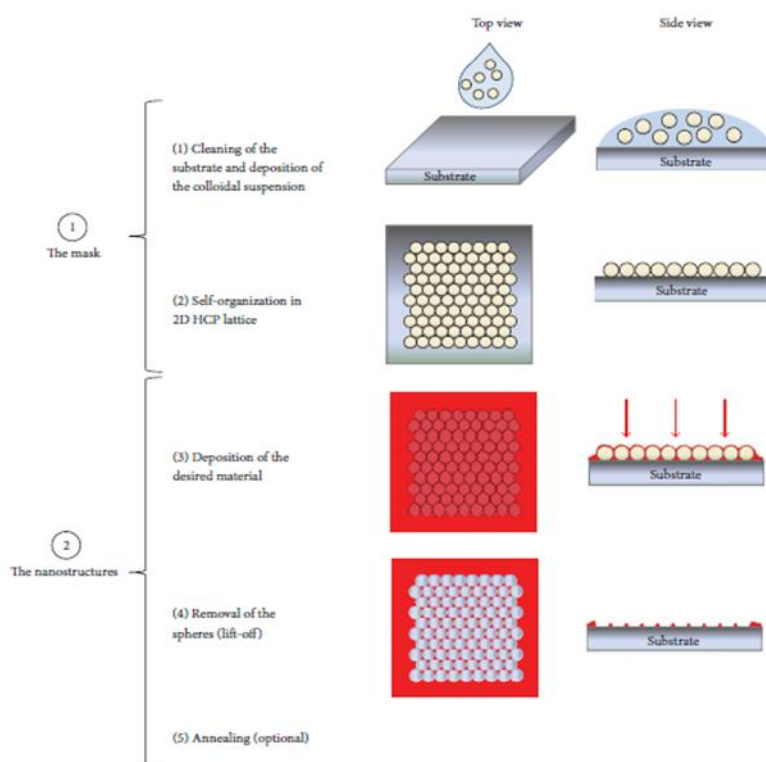
Η δημιουργία δομών στην νανοκλίμακα επιτυγχάνεται μέσω δύο προσεγγίσεων. Πρώτη είναι η top-down προσέγγιση, που περιλαμβάνει συμβατικές τεχνικές λιθογραφίας όπως η Φωτολιθογραφία, η Soft Lithography και η Scanning Probe Lithography,

εμπεριέχει μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας και μαζί με το υψηλό αρχικό κόστος του εξοπλισμού καθίσταται μη επιθυμητή από τις περισσότερες ερευνητικές ομάδες. Από την άλλη, οι μη συμβατικές τεχνικές λιθογραφίας απαιτούν τη χρήση των συμβατικών λιθογραφικών τεχνικών όπως η φωτολιθογραφία για τον σχεδιασμό και την κατασκευή масκών. Με τις bottom-up τεχνικές αν και επιτυγχάνονται σχετικά εύκολα νανοδομές της τάξης των 10 nm, εν τούτοις παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα. Για παράδειγμα η μέθοδος της αυτό-οργάνωσης (self-assembly) εμφανίζει το πρόβλημα της κανονικότητας και της επαναληψιμότητας των δομών. Η δυνατότητα ελέγχου των επιθυμητών διαστάσεων έχει οδηγήσει σε νέες υβριδικές μεθόδους που συνδυάζουν αυτές τις δυο προσεγγίσεις, όπως η λιθογραφία νανοσφαιρών (NSL), λόγω της αυτό-οργάνωσης των κολλοειδών σφαιρών σε εξαγωνική επιστοιβάση (bottom-up) και της δημιουργίας δομών όπως στις συμβατικές λιθογραφικές τεχνικές (top-down).^{1,2}

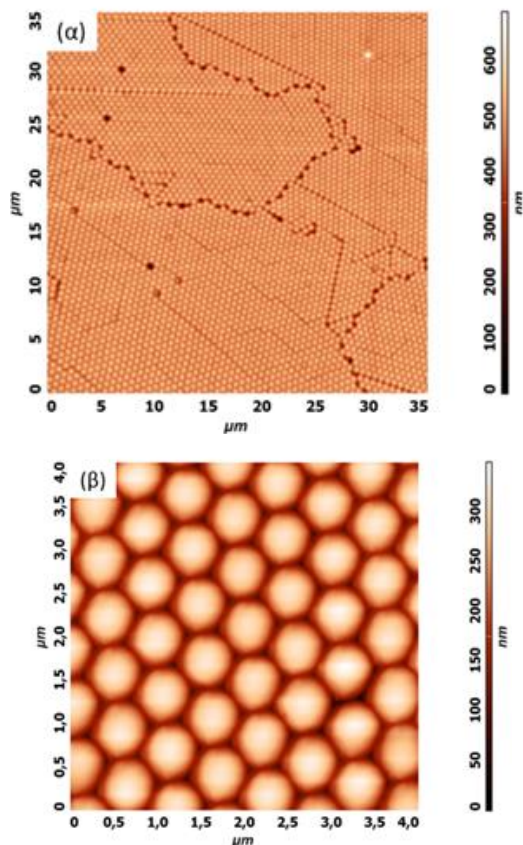
Η NSL είναι μία από τις λίγες τεχνικές κατασκευής νανοδομών που μπορεί να προσφέρει υψηλή απόδοση και υλοποιείται με σχετικά φθηνό εξοπλισμό.³ Καταρχάς, χρειάζεται ένα καθαρό υπόστρωμα, συνήθως πυριτίου ή γυαλιού, που θα αποτελέσει την βάση της μάσκας και πάνω σε αυτό αποτίθεται μια ποσότητα διαλύματος νανοσφαιρών πολυμερούς (πολυστυρενίου) ή πυριτίου [Σχήμα 1 (1)]. Στη συνέχεια ο διαλύτης του κολλοειδούς διαλύματος εξατμίζεται με ταυτόχρονη αυτό-οργάνωση των νανοσφαιρών, διαδικασία που πραγματοποιείται μέσω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων και δυνάμεων van der Waals μέχρι οι νανοσφαίρες να βρουν την θέση ελάχιστης ενέργειας τους και εν

τέλει να ακινητοποιηθούν [Σχήμα 1 (2)]. Έπειτα, με μια μέθοδο εναπόθεσης υλικού από την αέρια φάση, ολόκληρο το δείγμα, το υπόστρωμα μαζί με τις νανοσφαίρες, καλύπτεται από το υλικό της επιλογής [Σχήμα 1 (3)]. Επόμενο βήμα είναι η εμβάπτιση του δείγματος σε διαλύτη για την αφαίρεση των νανοσφαιρών με αποτέλεσμα την εμφάνιση νανοδομών τριγωνικού σχήματος [Σχήμα 1 (4)]. Στο τέλος, αν το υλικό που έχει εναποτεθεί είναι μέταλλο ακολουθείται μια διεργασία ανόπτησης (annealing) προκειμένου να βελτιωθεί η κρυσταλλικότητα και να περιορισθούν οι ανεπιθύμητες προσμίξεις [Σχήμα 1 (5)].

Ο μόνος περιορισμός αυτής της μεθόδου είναι ότι μόνο μερικές γεωμετρίες μπορούν να παραχθούν λόγω του συγκεκριμένου σχήματος των νανοσφαιρών αλλά και της διάταξής τους. Η περιοδική διάταξη των νανοσφαιρών πάνω στο υπόστρωμα, σχηματίζει ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο το οποίο στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ως κολλοειδής μάσκα.⁴ Ο ρυθμός εξατμίσεως του διαλύτη, δηλαδή η θερμοκρασία και η υγρασία, είναι παράμετροι που επηρεάζουν τον τρόπο που αυτή δημιουργείται. Ο χαμηλός έλεγχος κατά την διαδικασία συχνά επιφέρει πολυστρωματικές δομές και σφάλματα (σημειακές ατέλειες, κατοπτρικές διδυμίες, όρια κρυσταλλινών κ.τ.λ.) στην κολλοειδή κρυσταλλική μάσκα (βλ. Σχήμα 2).¹

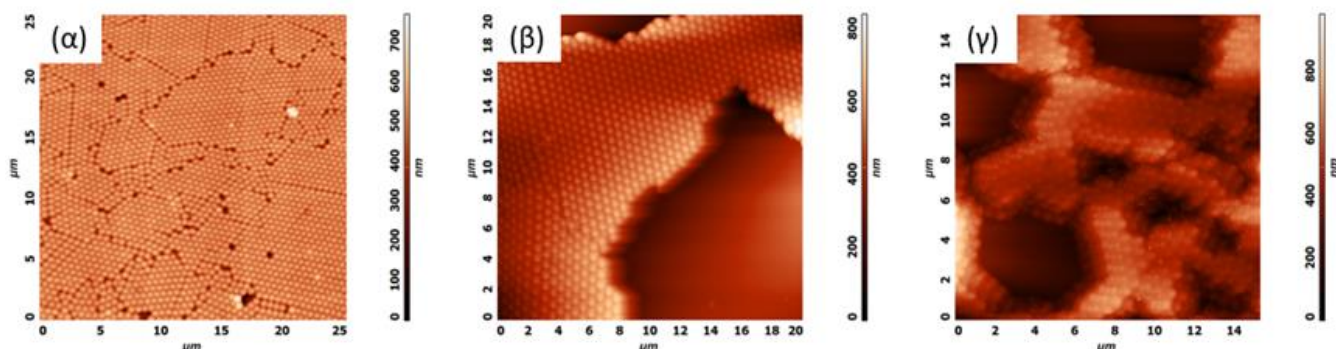


Σχήμα 1: Διαδικασία λιθογραφίας σφαιρών.⁵



Σχήμα 2: (α) Εικόνα Μικροσκοπίας Ατομικών Δυνάμεων (AFM) μονοστοιβάδας PS (διαμέτρου 552 nm) που περιέχει ατέλειες διδυμίων και κενών, (β) Εικόνα Μικροσκοπίας Ατομικών Δυνάμεων μονοστοιβάδας PS χωρίς ατέλειες.

Η πιο διαδεδομένη τεχνική δημιουργίας της κολοειδούς μάσκας είναι η περιστροφική εναπόθεση (spin coating) κατά την οποία τοποθετούμε το κολοειδές διάλυμα στο υπόστρωμα, αυτό υπόκειται σε περιστροφή καλύπτοντας ολόκληρη την επιφάνεια του με νανοσφαίρες. Αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος οδηγεί στον σχηματισμό κολοειδούς μάσκας με δυο στρώματα νανοσφαιρών με το πάνω στρώμα να έχει ίδια διάταξη με το στρώμα που βρίσκεται από κάτω, αφήνοντας μικρότερα κενά προς το υπόστρωμα. Επακόλουθη εναπόθεση υλικού έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν μικρά εξαγωνικά σωματίδια αντί τριγωνικών.⁶



Σχήμα 3: Δι- ή τρισδιάστατη οργάνωση των νανοσφαιρών PS. Τυπικές εικόνες AFM οργανωμένων νανοσφαιρών PS (εξαρτώμενες από τις συνθήκες spin-coating) που εμφανίζονται σε (α) μεγάλη HCP περιοχή, (β) μικρή HCP περιοχή με μεγάλα κενά όπου φαίνεται το υπόστρωμα, και (γ) πολυστρωματικές δομές. Αναδεικνύονται επίσης σημεία ατελειών και όρια “κρυσταλλινών”.

Συνήθεις μέθοδοι που επιτρέπουν τον σχηματισμό δισδιάστατων κολοειδών κρυστάλλων (μάσκες λιθογραφίας) εκτός από την spin-coating είναι μεταξύ άλλων η interface coating, η Langmuir-Blodgett και η shadow coating. Από αυτές η spin-coating επιτρέπει μέσω του καθορισμού των παραμέτρων της (ταχύτητα, επιτάχυνση, χρόνος) η προκύπτουσα δομή να κατασκευάζεται με ελεγχόμενο τρόπο (βλ. Σχήμα 3).⁷

Μετά την κατασκευή της λιθογραφικής μάσκας ακολουθεί η εναπόθεση του υλικού πάνω στην μάσκα και διαμέσου των κενών αυτής. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι φυσικής εναπόθεσης από αέρια φάση (Physical Vapor Deposition – PVD) με τις οποίες μπορούμε να εναποθέσουμε τα υλικά εκ των οποίων οι κύριες είναι: θερμική εξάτμιση (thermal evaporation), η εναπόθεση μέσω πολυβόλου ηλεκτρονίων (e-gun deposition) και η μαγνητικά υποβοηθούμενη αντιδρώσα ιοντοβολή (RF magnetron reactive sputtering).

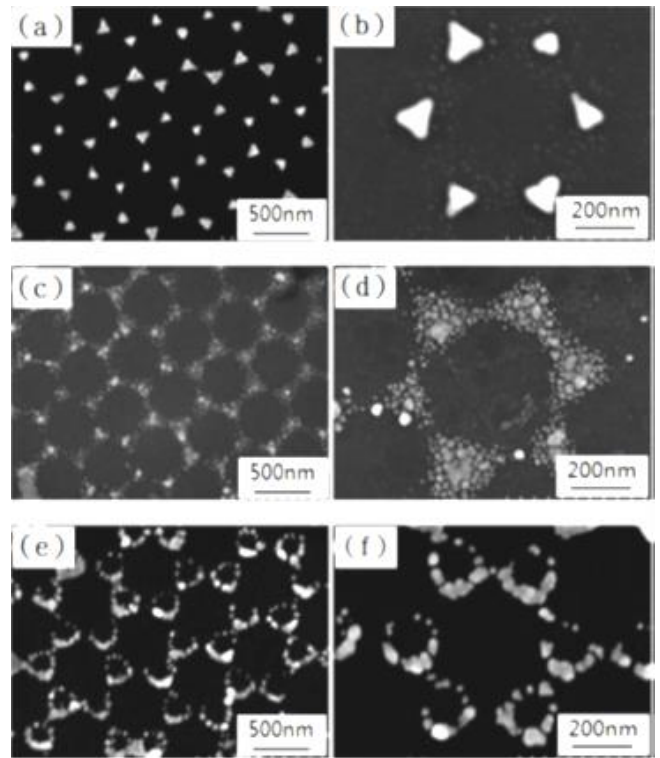
Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται μια συνοπτική σύγκριση των τεχνικών αυτών κατά την χρήση τους στην NSL. Μπορούμε να δούμε ότι όλες οι συστοιχίες υβριδικών νανοσωματιδίων Au-Ag που κατασκευάστηκαν με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους εναπόθεσης εμφάνισαν μια διατεταγμένη εξαγωνική κατανομή, αλλά οι δομές των παραγόμενων νανοσωματιδίων είναι μεταξύ τους διαφορετικές.

Οι συστοιχίες νανοσωματιδίων που κατασκευάζονται με θερμική εξάτμιση παρουσιάζουν μια εξαγωνική διάταξη η οποία αποτελείται από αιχμηρά τριγωνικά νανοσωματίδια, και οι επιφάνειες των νανοσωματιδίων είναι πολύ λείες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 (a,b). Ωστόσο, οι συστοιχίες νανοσωματιδίων που κατασκευάζονται με RF magnetron reactive sputtering παρουσιάζουν μια τριγωνική δομή νανοπλέγματος που μοιάζει με κηρήθρα και οι επιφάνειες των νανοσωματιδίων είναι άνισα διασκορπισμένες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 (c,d). Επομένως, τα νανοτρίγωνα δεν συνδέονται, όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο Σχήμα 4 (c,d), και αποτελούνται από πολλά μικρότερα νανοσωματίδια, κάτι που ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι το εναποτιθέμενο

υλικό Au-Ag είναι ποσοτικά μικρό και δεν φτάνει για τον ενιαίο σχηματισμό νανοτριγώνου. Οι συστοιχίες νανοσωματιδίων που κατασκευάζονται με εναπόθεση electron gun εμφανίζουν μια δομή νανοδικτυωτού τριγωνικού δακτυλίου και τα περισσότερα από τα μεταλλικά νανοσωματίδια υπάρχουν στο τριγωνικό άκρο της επιφάνειας των σωματιδίων, όπως δείχνει το Σχήμα 4 (e,f).⁷ Τα μέταλλα που παράγονται με τις τρεις μεθόδους μπορούν να περάσουν μέσα από τα κενά των νανοσφαιρών στα υποστρώματα και να συνδεθούν με αυτά. Φυσικά οι νανοδομές που προκύπτουν δεν είναι χαρακτηριστικές κάθε μεθόδου αλλά εξαρτώνται ισχυρά από τις συνθήκες που πραγματοποιούνται καθώς και το πάχος του υλικού που θα εναποτεθεί. Για παράδειγμα οι παραπάνω δομές προκύπτουν για συνθήκες που δίνουν χαρακτηριστικές παραμέτρους (Πίνακας 1).⁸ Από αυτές το Sputtering είναι γνωστό εδώ και δεκαετίες ως μια ευέλικτη, αξιόπιστη και αποτελεσματική μέθοδος εναπόθεσης με την οποία μπορούμε να έχουμε μεγάλο βαθμό ελεγχιμότητας της διαδικασίας μέσω των διάφορων παραμέτρων της (π.χ. απόσταση στόχου – υποστρώματος, χρόνος εναπόθεσης, πίεση λειτουργίας, ισχύς υποστρώματος, τάση πόλωσης).¹⁰

Λιθογραφία Νανοσφαιρών και φωτοκατάλυση

Εκτός από τα πλασμονικά νανοσωματίδια η NSL μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή φωτοκαταλυτικών επιφανειών. Μια τέτοια προσπάθεια έγινε από τους Wanchuan Xie et al.¹⁰ οι οποίοι πριν τοποθετήσουν το κολλοειδές διάλυμα νανοσφαιρών πολυστυρενίου ανέπτυξαν μια στρώση διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2) το οποίο έχει αναγνωριστεί ως φιλικό προς το περιβάλλον, φωτοκαταλυτικό υλικό και έχει χρησιμοποιηθεί ως βιοσυμβατή επικάλυψη για συσκευές αγγειακών εμφυτευμάτων. Στη συνέχεια εναπόθεσαν χαλκό (Cu) ο οποίος βελτιώνει την βιοσυμβατότητα του TiO_2 αλλά και την φωτοκαταλυτική του δράση. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε καθώς και τα παραγόμενα υποστρώματα για δυο διαφορετικές συνθήκες ανάπτυξης του χαλκού μέσω της τεχνικής sputtering. Α) για απόσταση στόχου – υποστρώματος στα 18,5 cm και χρόνο εναπόθεσης 15 λεπτά, Β) για απόσταση στόχου – υποστρώματος 10 cm και χρόνο εναπόθεσης 5 λεπτά. Από το Σχήμα 5 (c,d) διαπιστώνεται ότι ακόμα και για την ίδια τεχνική



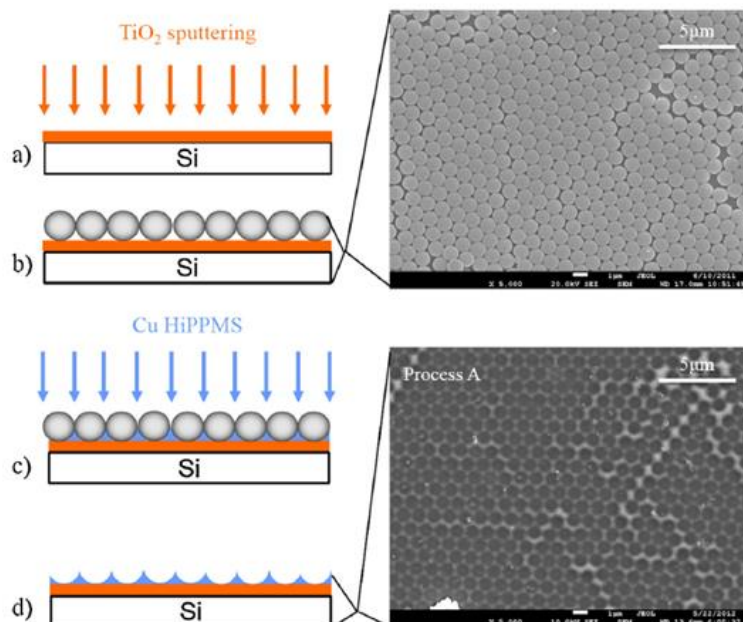
Σχήμα 4: Εικόνες SEM διαδιάστατων διατεταγμένων συστοιχιών νανοσωματιδίων Au-Ag που κατασκευάζονται με διαφορετικές μεθόδους φυσικής εναπόθεσης ατμών, (a, b) thermal evaporation, (c, d) RF magnetron reactive sputtering, (e, f) e-gun deposition.⁷

εναπόθεσης, οι διάφορες παράμετροι παίζουν σημαντικό ρόλο στο τελική παραγόμενη νανοδομή.

Για τον υπολογισμό της φωτοκαταλυτικής απόδοσης χρησιμοποιήθηκε διάλυμα Methylene blue (MB) συγκέντρωσης 2.5 mg/L το οποίο αφέθηκε 30 λεπτά στο σκοτάδι ώστε να έρθει σε ισορροπία. Στη συνέχεια ακτινοβολήθηκε από UV λάμπα και μετρήθηκε η απορρόφηση του διαλύματος σε χρόνο μιας, δυο και τριών ωρών. Στο πείραμα φωτοκαταλυτικής αποδόμησης, καθώς το MB αποικοδομείται ακόμα και μόνο με ακτινοβολία UV, χωρίς την παρουσία καταλύτη, η πραγματική ικανότητα φωτοκαταλυτικής απόδοσης των δειγμάτων θα πρέπει να αποκτηθεί αφαιρώντας την επίδραση της ακτινοβολίας. Από τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι μετά από 1 ώρα UV ακτινοβολήσης, η φωτοκαταλυτική απόδοση των δειγμάτων TiO_2 και Cu/ TiO_2 ήταν μεγαλύτερη από το υπόβαθρο, αλλά μειώθηκε σε διαφορετικούς βαθμούς λόγω της υπερβολικά μικρής περιοχής των δειγμάτων που καλύπτεται σταδιακά από το ενδιά-

Πίνακας 1: Σύγκριση χαρακτηριστικών παραμέτρων των εναποτιθέμενων νανοσωματιδίων Au-Ag με τις μεθόδους thermal evaporation, RF magnetron reactive sputtering και e-gun deposition.⁸

Coating Technology	Thermal Evaporation	RF magnetron Sputtering	E-gun
Aggregation size of metal atoms	10 nm	5–10 nm	20–25 nm
Evaporation heat	3.35 eV	15 eV	4.46 eV
Particle density	large	Relatively large	small
Deposition rate	2.5 nm/s	0.11 nm/s	0.27 nm/s



Σχήμα 5: Κατασκευή νανοπλέγματος Cu: a) Εναπόθεση φιλμ TiO₂ (πορτοκαλί) σε υπόστρωμα Si (100) (λευκό), b) Κατασκευή μάσκας σφαιρών πολυστυρενίου στο φιλμ TiO₂, c) Εναπόθεση Cu (μπλε) με High Power Impulse Magnetron Sputtering, d) Μικρογραφία SEM της διαδικασίας A και B μετά την αφαίρεση της μάσκας PS.

μεσο προϊόν της φωτοκαταλυτικής αποδόμησης, καταναλώνοντας τις αντιδραστικές ομάδες οξειδω-
σης στην επιφάνεια του δείγματος, κατά τη διάρ-
κεια της ακτινοβολήσης. Μετά από 2 ώρες ακτινο-
βολήσης με UV, η φωτοκαταλυτική απόδοση του
καθαρού TiO₂ ήταν πολύ κοντά στο υπόβαθρο
έχοντας εξασθενήσει, αλλά τα δείγματα Cu/TiO₂ δια-
τήρησαν την ικανότητά τους μέχρι τις 3 ώρες απο-
δίδοντας με αυτόν τον τρόπο αυξημένη απόδοση
για μεγαλύτερο χρόνο.

Η φωτοκαταλυτική απόδοση υπολογίζεται με τη
βοήθεια της εξίσωσης $G = [(A_0 - A_t) / A_0] \times 100\%$, όπου
A₀ είναι η αρχική απορρόφηση του MB, A_t είναι η
απορρόφηση του MB.¹⁰

Λιθογραφία Νανοσφαιρών και φωτοεκπέμπουσες διόδοι

Για τις φωτοεκπέμπουσες διόδους (LED) που βα-
σίζονται στο νιτρίδιο του γαλλίου (GaN), η κρίσιμη
γωνία για να διαφύγει το παραγόμενο φως από την
ενεργό περιοχή στον αέρα είναι περίπου 23° και
μόνο ένα μικρό κλάσμα φωτός μπορεί να βγει από
τη διάταξη. Για να ξεπεραστεί το εμπόδιο αυτό, αρ-
κετές ομάδες έχουν προτείνει διάφορες τεχνικές
επιφανειακής διαμόρφωσης για την ενίσχυση της
εξαγωγής εξωτερικού φωτός. Μια ιδέα επιφανεια-
κής τροποποίησης είναι μέσω της λιθογραφίας να-
νοσφαιρών στο τελευταίο (επάνω) στρώμα μιας διά-

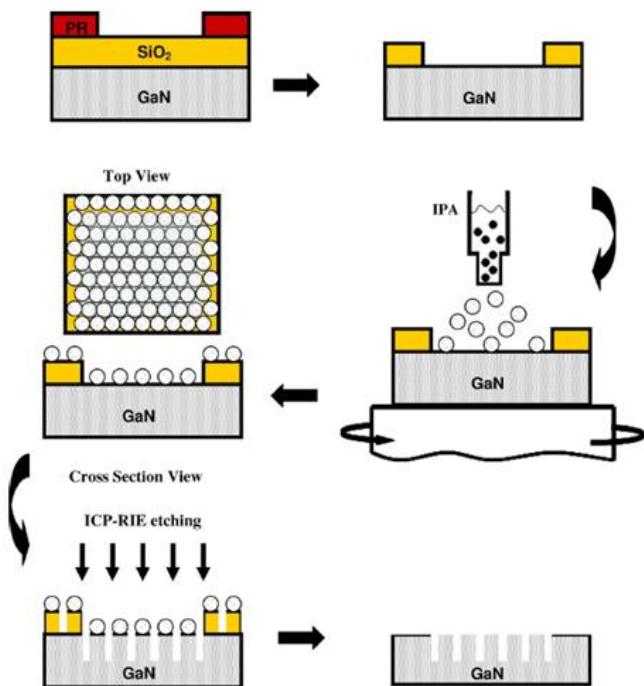
ταξης LED και παρουσιάζεται στο Σχήμα 6. Σε ένα
δείγμα επιταξιακά ανεπτυγμένου GaN εναποτέθηκε
ένα υμένιο SiO₂ πάχους 200 nm με χημική εναπό-
θεση ατμών ενισχυμένη με πλάσμα (PECVD) ώστε
να προστατέψει το GaN στα δύο του άκρα (Σχήμα
8β). Στη συνέχεια, το διάλυμα νανοσφαιρών SiO₂
επικαλύφθηκε με περιστροφική εναπόθεση (spin-
coating) σε ολόκληρη την επιφάνεια του δείγματος.
Οι διάμετροι των νανοσωματιδίων είναι 20, 50 και
100 nm. Στη συνέχεια, το δείγμα εγχάραχθηκε χρη-
σιμοποιώντας inductively coupled plasma reactive
ion etching (ICP-RIE) παρουσία της μάσκας νανο-
σωματιδίων SiO₂ για να διαμορφωθούν τα νανοσχέ-
δια. Η διαδικασία ξηρής εγχάραξης πραγματοποιή-
θηκε με την παρουσία SiCl₄/Cl₂/Ar αντιδραστηρίων
ως αέρια εγχάραξης. Τέλος, τα νανοσωματίδια πυ-
ριτίου και το υμένιο SiO₂ αφαιρέθηκαν με εμβάπτι-
ση του δείγματος σε κατάλληλο οξειδίο χάραξης.

Το Σχήμα 7 δείχνει την χαρακτηριστική καμπύλη
φωταύγειας – ρεύματος (L-I) ενός συμβατικού LED
και LEDs με νανοδομές όπως αυτές δημιουργού-
νται από τη λιθογραφία νανοσφαιρών χρησιμοποιώ-
ντας διαμέτρους σφαιρών (100, 50 και 20 nm). Ως
συμβατικό LED ορίζουμε τη διάταξη χωρίς νανοδο-
μές στην επιφάνεια του p-GaN και χρησιμοποιείται
για τη συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης των
διατάξεων με διαμορφωμένη επιφάνεια. Οι διατά-
ξεις που κατασκευάστηκαν με μέγεθος σφαιρών
100 nm (50 ή 20 nm) ονομάζονται 100-nm-(50- ή
20 nm)-LED.

Από το Σχήμα 7α, προκύπτει
ότι για ρεύμα έγχυσης 20 mA, οι
διαμορφωμένες επιφάνειες p-
GaN οδηγούν σε αύξηση της ο-
πτικής ισχύος εξόδου κατά
37,5%, 12% και 5% για σφαίρες
100 nm, 50 nm και 20 nm, αντί-
στοιχα. Η βελτίωση της απόδο-

Πίνακας 2: Φωτοκαταλυτική απόδοση (G) καθαρού TiO₂ και νανοπλέγματος Cu που εναποτίθενται πάνω σε υπόστρωμα TiO₂.

Sample	UV 1 h	UV 2 h	UV 3 h
background (No catalyst)	15.4%	51.8%	90.6%
TiO ₂	17.7%	52.2%	90.7%
TiO ₂ without background	2.3%	0.4%	0.1%
Cu/TiO ₂	19.5%	55.5%	94.2%
Cu/TiO ₂ without background	4.1%	3.7%	3.6%



Σχήμα 6: Απεικόνιση του σχηματισμού νανοδομών με χρήση λιθογραφίας νανοσφαιρών.

σης εξαγωγής του φωτός μπορεί να αποδοθεί στις νανοδομές της επιφάνειας στην διεπιφάνεια του αέρα/GaN, καθώς υπάρχουν περισσότερες ευκαιρίες για τα φωτόνια που δημιουργούνται να φτάσουν στη διεπαφή αέρα-ημιαγωγού εντός της γωνίας του κώνου διαφυγής. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τα φάσματα ηλεκτροφωταύγειας (EL) σε ρεύμα πολώσεως 20 mA σε θερμοκρασία δωματίου συγκρίνοντας στο Σχ. 7β. Όπως θα ήταν αναμενόμενο, η ένταση κορυφής EL των διαμορφωμένων LEDs είναι υψηλότερη από το συμβατικό LED δείχνοντας την θετική επίδραση της λιθογραφίας νανοσφαιρών στην απόδοση των διατάξεων.¹¹

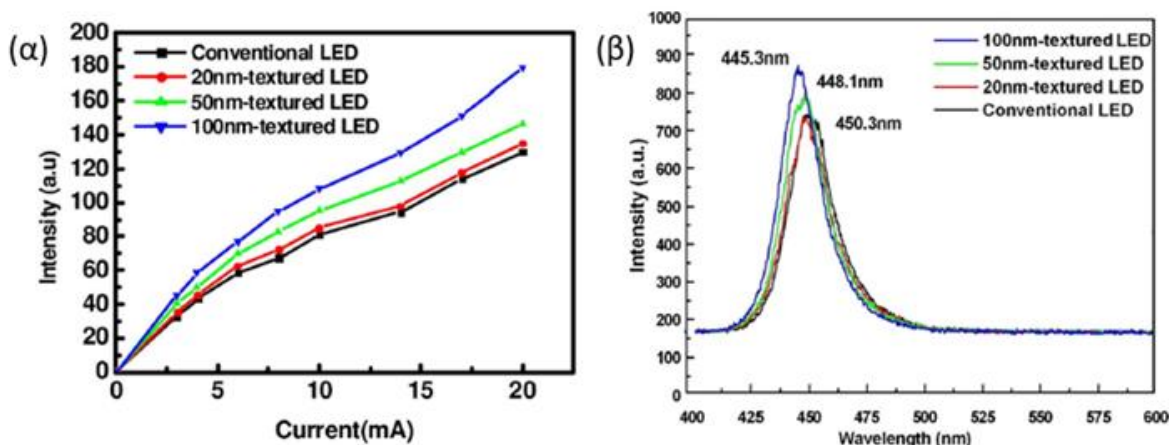
Οι δυνατότητες της λιθογραφίας νανοσφαιρών δεν σταματούν στις παραπάνω εφαρμογές αλλά επεκτείνονται σε ένα ευρύ πλαίσιο διατάξεων που παράγονται είτε εξ ολοκλήρου από την NSL είτε με

συμπαραγωγή με άλλες μεθόδους όπως η φωτολιθογραφία. Η υλοποίηση της αν και απλή, προϋποθέτει τον προσδιορισμό των επιμέρους πρωτοκόλλων τόσο για της λιθογραφική μάσκα όσο και για την εναπόθεση των μετάλλων, για κάθε συγκεκριμένη νανοδομή που επιθυμούμε να παράξουμε και ανάλογα με τις τεχνικές που θα επιλέξουμε. Ο πιο δύσκολος παράγοντας και αυτός που μένει σαν περαιτέρω μελέτη για τις ερευνητικές ομάδες που ασχολούνται με ζήτημα αυτό, είναι η επαναληψιμότητα σε μεγάλη κλίμακα ώστε να μπορέσει να περάσει από το εργαστήριο στην βιομηχανία.

* Όλες οι εικόνες Μικροσκοπίας Ατομικών Δυνάμεων έχουν ληφθεί από την διπλωματική εργασία μου στο πλαίσιο του Δ.Π.Μ.Σ Νανοεπιστήμης & Νανοτεχνολογίας κατά την tapping mode λειτουργία.

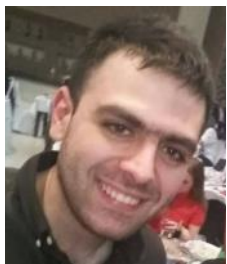
Πηγές

- ¹ P. A. K. U and N. D. Denkov, *Curr Opin Colloid Interface Sci* 6, 383 (2001).
- ² G. Zhang and D. Wang, *Chem. - An Asian J.*, 4, p. 236 (2009).
- ³ W. C. L. Hopman et al., *Nanotechnology*, 18, 195305 (2007).
- ⁴ P. Colson, C. Henrist, and R. Cloots, *J. Nanomater.*, 2013, 948510 (2013).
- ⁵ C. Zhang, *"Nanosphere Lithography and Its Application in Rapid and Economic Fabrication of Plasmonic Hydrogenated Amorphous Silicon," Ph.D. Thesis, Michigan Technological University* (2016).
- ⁶ J. Chen et al., *Appl. Surf. Sci.*, 270, 6 (2013).
- ⁷ J. Liu, C. Chen, G. Yang, Y. Chen, and C. F. Yang, *Materials*, 10, 381 (2017).
- ⁸ K. Chen, C. Durak, J. R. Heflin, H. D. Robinson, and V. Tech, *Nano Lett.*, 7, 254 (2007).
- ⁹ P. J. Kelly and R. D. Arnell, *Vacuum*, 56, 159 (2000).
- ¹⁰ P. Patsalas and S. Logothetidis, *J. Appl. Phys.*, 90, 4725 (2001).
- ¹⁰ W. Xie, J. Chen, L. Jiang, P. Yang, H. Sun, and N. Huang, *Appl. Surf. Sci.*, 283, 100 (2013).
- ¹¹ M.Y.Ke et al. *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, 15, 1242 (2009).



Σχήμα 7: α) Καμπύλες L-I (Luminescence-Current) συμβατικού και διαμορφωμένων LEDs, β) Φάσματα ηλεκτροφωταύγειας (EL) συμβατικού και διαμορφωμένων LEDs. Οι συσκευές πολώνονται σε ρεύμα έγχυσης προς τα εμπρός 20 mA.

κβαντική διεμπλοκή και κβαντικές εντροπίες



**Δημήτριος
Στεφανόπουλος**
Διπλωματούχος
ΠΜΣ Υποατομικής
Φυσικής

Για οποιονδήποτε έχει ασχοληθεί με την Κβαντική Θεωρία, είναι αντιληπτό ότι πρόκειται για μία μαθηματική θεωρία την οποία πολλά φυσικά συστήματα ή μοντέλα πρέπει με κάποιο τρόπο να υπακούουν. Η φαινομενολογία της δεν μοιάζει να είναι εγγενής ανάγκη της θεωρίας, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση του Ηλεκτρομαγνητισμού ή της Σχετικότητας.

Αντ' αυτού, πρόκειται για μία θεωρία που για να καταφέρει να κάνει προβλέψεις, απαιτεί επιπλέον υποθέσεις από την υπόλοιπη φυσική. Για παράδειγμα, στην Κβαντική Θεωρία πεδίου χρειάζεται κανείς να περιγράψει ένα σύστημα μέσω της Λαγκραντζιανής (κινητικούς όρους, τρόπους αλληλεπίδρασης σωματιδίων κλπ.) και στην συνέχεια να επιβάλει τους «κβαντικούς κανόνες» προκειμένου να προβλέψει πειραματικά αποτελέσματα. Αυτή η φαινόμενη απουσία συγκεκριμένης οντολογίας της Κβαντικής Θεωρίας, είναι που την κάνει αρκετά αφηρημένη και μας κάνει να πιστεύουμε σε πιθανή εφαρμογή της σε οποιοδήποτε φυσικό σύστημα προκύψει. Η υποκατηγορία των φυσικών συστημάτων που θα συζητήσουμε είναι τα διακριτά συστήματα λίγων διαστάσεων (έως 4) λόγω της απλότητας τους και των πολλών εφαρμογών τους σε πειράματα. Γνωστά παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι το σπιν του ηλεκτρονίου και η πόλωση του φωτονίου. Οι καταστάσεις τους είναι συνδυασμός (η σωστότερα υπέρθεση) δύο διακριτών καταστάσεων spin up-spin down για το ηλεκτρόνιο και αριστερόστροφης-δεξιόστροφης πόλωσης (left-right polarization) για το φωτόνιο.

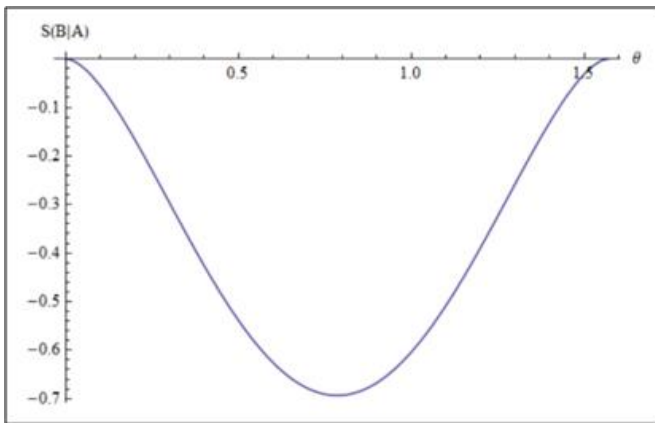
Η Κβαντική Θεωρία Πληροφορίας είναι ένας τομέας που προσπαθεί να εφαρμόσει τους «κβαντικούς κανόνες» στην επιστήμη της πληροφορίας, η αλλιώς, προσπαθεί να περιγράψει κβαντικά συστήματα ως ανάλυση, μετάδοση και επεξεργασία πληροφορίας. Ένα από τα μεγέθη της θεωρίας της πληροφορίας το οποίο βρίσκουμε πολύ χρήσιμο και στην κβαντική του μορφή είναι η εντροπία. Γενικά, η εντροπία είναι μια ποσότητα που έχει στατιστική προέλευση. Κάθε περίπτωση εντροπίας, είτε πρόκειται για θερμοδυναμική, κλασική ή κβαντική, αυτό για το οποίο προσπαθεί να μας δια φωτίσει είναι η τυχαιότητα. Για τον λόγο αυτό, κάθε εντροπία είναι μία συνάρτηση, ή απλούστερα ένα μαύρο κουτί το οποίο παίρνει ως είσοδο πληροφορίες για μία στατιστική κατανομή και δίνει πίσω έναν πραγματικό αριθμό. Αν η εντροπία είναι θερμοδυναμική (Gibbs) στην είσοδο μπορεί να έχει μία κατανομή πιθανότητας της πυκνότητας, αν είναι πληροφοριακή (Shannon) θα έχει μία διακριτή κατανομή πιθανότη-

τας ενώ αν είναι κβαντική, θα έχει ως είσοδο μία κβαντική κατάσταση. Η ερμηνεία της εντροπίας, δηλαδή του πραγματικού αριθμού που θα πάρουμε ως αποτέλεσμα, είναι αυτό που αποτελεί αντικείμενο έρευνας στις κβαντικές εντροπίες.

Το φαινόμενο της Κβαντικής Θεωρίας που ενδιαφέρει την επιστημονική κοινότητα περισσότερο από κάθε άλλο, είναι η κβαντική διεμπλοκή (quantum entanglement). Η περιγραφή και ποσοτικοποίηση αυτού του φαινομένου αποτελεί αντικείμενο έρευνας στην Κβαντική Θεωρία Πληροφορίας, ειδικότερα από την εποχή του Bell και την ανακάλυψη των ομώνυμων ανισοτήτων. Μία διεμπλεγμένη κβαντική κατάσταση είναι ένα σύστημα που δεν μπορεί να περιγραφεί ως σύνθεση των υποσυστημάτων του. Μπορεί μόνο να περιγραφεί σαν ολότητα, με αποτέλεσμα να «αναδύονται» φαινόμενα (σαν την διεμπλοκή) που ίσως να μην γίνεται να υπάρξουν μεμονωμένα στα υποσυστήματά της. Αν μία κβαντική κατάσταση δεν είναι διεμπλεγμένη τότε την αποκαλούμε διαχωρίσιμη. Το πρόβλημα λοιπόν που προκύπτει είναι: Πως μπορώ να συμπεράνω γνωρίζοντας μια κβαντική κατάσταση εάν είναι διεμπλεγμένη ή διαχωρίσιμη; Για παράδειγμα, η παραβίαση των ανισοτήτων Bell είναι ικανή συνθήκη ώστε μία κβαντική κατάσταση να θεωρηθεί διεμπλεγμένη, όχι όμως αναγκαία συνθήκη. Το ιδανικό σενάριο θα ήταν να έχουμε στα χέρια μας ένα κριτήριο το οποίο θα μπορεί να υπολογιστεί και να ελεγχθεί εύκολα για οποιαδήποτε κβαντική κατάσταση, και θα μας επέτρεπε να αποφανθούμε με σιγουριά αν η κατάσταση είναι διαχωρίσιμη ή όχι. Μέχρι στιγμής τέτοια ικανά και αναγκαία κριτήρια έχουν βρεθεί μόνο για συγκεκριμένες κλάσεις κβαντικών καταστάσεων (π.χ. Werner states) και όχι για οποιοδήποτε αυθαίρετο κβαντικό σύστημα.

Ένας από τους λόγους που οι Κβαντικές Εντροπίες κεντρίζουν το επιστημονικό ενδιαφέρον είναι ότι ενδέχεται να αποτελούν μέτρο της κβαντικής διεμπλοκής, το οποίο ποσοτικοποιεί το πόσο διεμπλεγμένο είναι ένα κβαντικό σύστημα και κατ' επέκταση το αν είναι διαχωρίσιμο. Έτσι όλες οι κβαντικές εντροπίες, με πιο διαδεδομένη την εντροπία von Neumann, έχουν κάποιες ιδιότητες που μας ενδιαφέρουν. Προσπαθούμε δηλαδή, τον πραγματικό αριθμό που θα πάρουμε ως αποτέλεσμα, να τον ερμηνεύσουμε και να μπορέσουμε να πληροφορηθούμε για τις ιδιότητες του συστήματος. Με χρήση της εντροπίας von Neumann, ορίζουμε την δεσμευμένη (conditional) εντροπία von Neumann. Αυτή είναι μία εντροπία που «συγκρίνει» δύο υποσυστήματα της κβαντικής κατάστασης. Έχει την ιδιότητα, όταν η κβαντική κατάσταση είναι καθαρή (δηλαδή χωρίς «κλασική» αβεβαιότητα), να είναι αρνητική αν και μόνο αν το σύστημα είναι διεμπλεγμένο.

Ας πάρουμε ως παράδειγμα λοιπόν μία κατάσταση που έχει υλοποιηθεί σε εργαστήριο μεταξύ ενός φωτονίου και μίας «κβαντικής τελείας» εντός

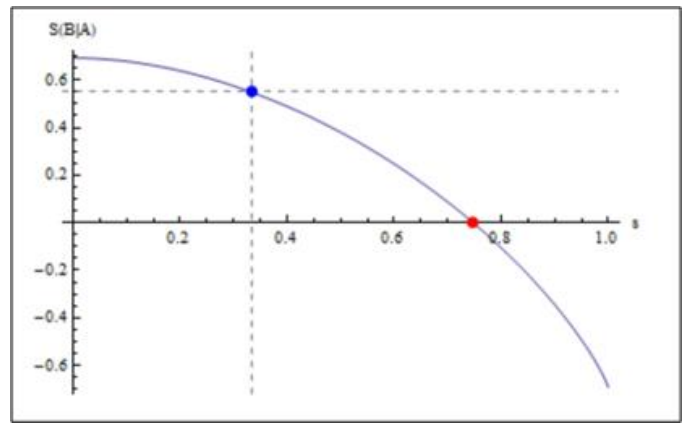


Σχήμα 1: Δεσμευμένη εντροπία Von Neuman.

της οποία είναι παγιδευμένο ένα ηλεκτρόνιο. Οι δύο πιθανές καταστάσεις του συστήματος είναι: οριζόντια πόλωση φωτός-«κβαντική τελεία» σε διεγερμένη κατάσταση και κατακόρυφη πόλωση φωτός-«κβαντική τελεία» στη θεμελιώδη κατάσταση. Βλέπουμε ότι υπάρχει μία συσχέτιση μεταξύ της κατάστασης που βρίσκεται το φωτόνιο και της κατάστασης που βρίσκεται η «κβαντική τελεία». Απλούστερα, αν γνωρίζουμε (μετά από μέτρηση) την κατάσταση πόλωσης του φωτονίου τότε γνωρίζουμε την κατάσταση της «κβαντικής τελείας» και αντιστρόφως. Αυτή η αυστηρή συσχέτιση είναι που κάνει το σύστημά μας να θεωρείται διεμπλεγμένη κατάσταση. Στο Σχήμα 1 βλέπουμε την τιμή της δεσμευμένης εντροπίας von Neumann για μία ελεύθερη παράμετρο θ που περιγράφει τις πιθανότητες να μετρήσουμε τις δύο καταστάσεις του συστήματος. Όταν το θ λαμβάνει την τιμή $\pi/4$, η πιθανότητα να βρούμε το σύστημα σε μία από τις δύο καταστάσεις είναι $1/2$. Για οποιοδήποτε άλλη τιμή της θ έχουμε διαφορετικές πιθανότητες για την κάθε κατάσταση. Την περίπτωση όπου οι καταστάσεις είναι ισοπίθανες την ονομάζουμε μέγιστα διεμπλεγμένη και έχει την ελάχιστη τιμή της δεσμευμένης εντροπίας.

Δυστυχώς όμως τα πράγματα περιπλέκονται όταν πηγαίνουμε σε γενικότερα κβαντικά συστήματα, δηλαδή μεικτές κβαντικές καταστάσεις (εν αντιθέσει με τις καθарές). Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει περιορισμένη γνώση για τα κριτήρια του πότε είναι μία κατάσταση διαχωρίσιμη ή όχι. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκύπτει από τις λεγόμενες καταστάσεις Werner, οι οποίες μπορεί να είναι διεμπλεγμένες χωρίς να παραβιάζουν τις ανισότητες Bell και με θετική δεσμευμένη εντροπία von Neumann. Στο Σχήμα 2 φαίνεται η δεσμευμένη εντροπία μίας κατάστασης Werner. Από το μπλε σημείο και προς τα δεξιά η κατάσταση είναι διεμπλεγμένη. Παρ' όλα αυτά την εντροπία την βρίσκουμε θετική σε κάποιες τιμές τις παραμέτρου. Αυτό το παράδειγμα τονίζει και την δυσκολία του προβλήματος της διαχωρισιμότητας μίας αυθαίρετης κβαντικής κατάστασης καθώς εδώ το κριτήριο της αρνητικότητας που είχαμε στις καθарές καταστάσεις καταρρέει.

Υπάρχουν πολλές κβαντικές εντροπίες. Η κάθε μία μπορεί να είναι χρήσιμη για ένα διαφορετικό τομέα της Φυσικής και των Μαθηματικών. Υπάρχει όμως περίπτωση κάποιες εντροπίες να δίνουν για



Σχήμα 2: Δεσμευμένη εντροπία μίας κατάστασης Werner.

το ίδιο σύστημα διαφορετικές πληροφορίες ανάλογα με τις ιδιότητές τους. Δύο από αυτές που συνήθως αναφέρονται μαζί με την εντροπία von Neumann, είναι η εντροπία Renyi (με πολλές εφαρμογές στην κλασική θεωρία πληροφορίας) και η εντροπία Tsallis (πολύ χρήσιμη στην στατιστική μηχανική). Κάθε εντροπία υπάρχει και στην δεσμευμένη της μορφή, δηλαδή προσαρμόζεται ώστε να αφορά τα υποσυστήματα της συνολικής κατάστασης, και έτσι μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την διαχωρισιμότητα ή την διεμπλοκή της.

Αξίζει και μία αναφορά, σε μία ειδική περίπτωση εντροπίας που λέγεται Σχετική Εντροπία (Relative Entropy) και ειδικότερα στην κβαντική της μορφή. Αυτή η εντροπία, δεν ορίζεται με γνώμονα ένα σύστημα ή τα υποσυστήματά του (όπως οι προηγούμενες), αλλά συγκρίνει δύο εντελώς διαφορετικά κβαντικά συστήματα μεταξύ τους. Η πιθανή χρησιμότητα αυτής της εντροπίας βασίζεται στην ιδέα ότι μπορεί να γνωρίζουμε ακριβώς την συμπεριφορά ενός εκ των δύο συστημάτων. Συγκρίνοντας την γνωστή σε εμάς κατάσταση, με αυτή που δεν γνωρίζουμε, μπορούμε να βγάλουμε πάλι συμπεράσματα για την διεμπλοκή του συστήματος και όχι μόνο.

Από όλα τα παραπάνω προκύπτουν δύο πολύ εύλογα ερωτήματα:

(α) Γιατί αξίζει να γνωρίζουμε εύκολα και γρήγορα αν μία κατάσταση είναι διεμπλεγμένη ή όχι; Η απάντηση είναι απλή και προφανής. Λόγω της πληθώρας εφαρμογών της διεμπλοκής στις νέες τεχνολογίες επικοινωνίας, κρυπτογραφίας, επεξεργασίας κλπ.

(β) Το δεύτερο ερώτημα είναι πιο πολύπλοκο και με λιγότερο σαφή απάντηση. Έστω ότι στο μέλλον γνωρίζουμε όλες τις ιδιότητες των κβαντικών εντροπιών και γενικότερα των μέτρων διεμπλοκής. Για ποιο λόγο να προσδιορίσουμε με έναν μόλις αριθμό μία συνολικά γνωστή κβαντική κατάσταση; Θα μπορούσαμε απλά να μελετήσουμε απευθείας το σύστημα χωρίς να ασχοληθούμε με εντροπίες; Είναι μόνο θέμα απλοποίησης του προβλήματος; Η απάντηση είναι μάλλον όχι. Έχουν προταθεί πειράματα όπου μετράνε απ' ευθείας την τιμή της εντροπίας μίας αυθαίρετης κβαντικής κατάστασης. Αυτό σημαίνει ότι είναι πιθανό να μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την διαχωρισιμότητα μίας κατάστασης χωρίς να γνωρίζουμε ποια είναι αυτή!

ελεύθερος χώρος

...το εξελισσόμενο μέσο επικοινωνίας

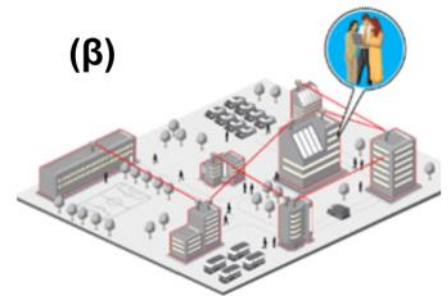


Καλλιόπη Σπανίδου
Υποψήφια Διδάκτορας
του Πανεπιστημίου
Carlos III της Μαδρίτης

Δεν θα ήταν υπέροχο να μπορούσαμε να συνδεόμαστε στο διαδίκτυο μέσω μιας λυχνίας LED (Light Emitting Diode), χωρίς να σκάβουμε όλη την πόλη; Να στέλνουμε δεδομένα στον Άρη ή στη Σελήνη σε 1 ώρα ή από κτίριο σε κτίριο ή ακόμα, να μπορούσαμε να αντλήσουμε δεδομένα από το περιβάλλον μας απλά με ένα σκανάρισμα; Ποιος να είναι ο κοινός παρονομαστής όλων αυτών των ερωτημάτων; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό, είναι οι πηγές φωτός. Εδώ και αρκετές δεκαετίες, οι επιστήμονες έχουν αναπτύξει διατάξεις που λειτουργούν ως πηγές φωτός, όπως ένα λέιζερ. Φως κάθε χρώματος, από διατάξεις κάθε σχήματος και κλίμακας. Οι εφαρμογές είναι αναρίθμητες, με αποτέλεσμα να υπάρχει σε κάθε επιστημονικό κλάδο ένα λέιζερ να λειτουργεί έτσι όπως επιθυμεί ο κάθε επιστήμονας. Διάφορες εταιρείες έχουν ήδη αποδείξει πως τα παραπάνω ερωτήματα, δεν αποτελούν πλέον ερωτήματα εν έτει 2021. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε (Σχήμα 1) την ενσωμάτωση του LiDAR (Light Detection And Ranging) (σκάνερ ελεύθερου χώρου) στο Iphone 12 από την Apple ή και στα αυτοκίνητα της τελευταίας πενταετίας από κάποιες εταιρείες, την Space-X που κοινοποίησε την πρώτη φωτογραφία υψηλής ανάλυσης από τον Άρη, η οποία στάλθηκε σε 30 λεπτά καθώς επίσης και εταιρείες που επενδύουν στην τεχνολογία LiFi (Light Fidelity), δηλαδή στη μεταφορά δεδομένων σε συσκευές μέσω μιας λυχνίας LED.

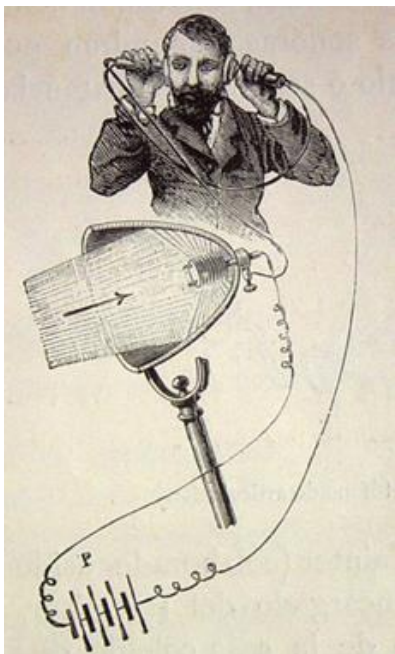
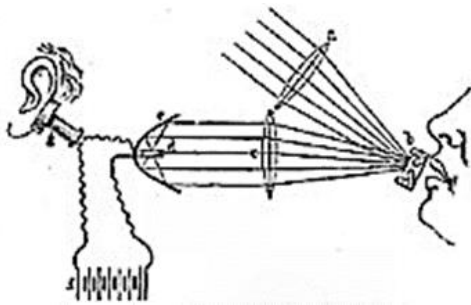
Οι εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούν τον ελεύθερο χώρο ως μέσο διάδοσης. Στον ελεύθερο χώρο συμπεριλαμβάνονται το κενό, ο αέρας, το διάστημα ή κάτι αντίστοιχο. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του ελεύθερου χώρου είναι ότι η διάδοση πληροφορίας κινείται με την ταχύτητα του φωτός, σε αντίθεση με τη διάδοση μέσω υλικών όπου η ταχύτητα είναι ανάλογη του δείκτη διάθλασης. Ωστόσο, υπάρχουν και εδώ περιορισμοί. Η ατμόσφαιρα μπορεί να φαντάζει ένας ελεύθερος χώρος χωρίς εμπόδια, αλλά στην πραγματικότητα είναι ένα αόρατο πεδίο μάχης μεταξύ του φωτός και των σωματιδίων που υπάρχουν σ' αυτήν. Γι' αυτόν το λόγο, ένα σύστημα οπτικής επικοινωνίας πομπού-δέκτη θεωρείται επιτυχημένο όταν η δέσμη λέιζερ διαθέτει επαρκή εκπεμπόμενη ισχύ ώστε να διαδοθεί επιτυχώς στο επιθυμητό σημείο, ανάλογα με τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Χάρη στην τεχνολογία του ελεύθερου χώρου είναι δυνατή η διάδοση δεδομένων υψηλού ρυθμού από κτίριο σε κτίριο χωρίς την απαίτηση καλωδίωσης μεταξύ τους. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν φως με μήκη κύματος ίσα με 850 ή 1550 nm. Ο λόγος είναι ότι αυτές οι τιμές μηκών κύματος λέιζερ δεν αποτελούν κίνδυνο για τον άνθρωπο.

Για της ιστορίας το αληθές και πριν ξεκινήσουμε να αναλύουμε πως μπορεί να λειτουργεί μία τέτοια διάταξη, δεν θα μπορούσαμε να μην αναφερθούμε στο πρώτο πείραμα μετάδοσης σήματος στην ατμόσφαιρα που πραγματοποιήθηκε από τον Alexander Graham Bell το 1880. Εκείνη τη χρονιά εφηύρε το φωτόφωνο (photophone), μία σπουδαία διάταξη διάδοσης ηχητικών σημάτων χρησιμοποιώντας το ηλιακό φως ως μέσο διάδοσης. Το φωτόφωνο μπόρεσε να μεταδώσει ηχητικά



Σχήμα 1: (α) 3D απεικόνιση του χώρου με το LiDAR scanner ενσωματωμένο στο Iphone 12.¹ (β) Ασύρματη επικοινωνία μεταξύ κτιρίων.² (γ) Τεχνολογία LiFi με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο μέσω μιας λυχνίας LED.³ (δ) LiDAR αισθητήρες στα αυτοκίνητα.⁴

σήματα από πομπό σε δέκτη, μέχρι και σε απόσταση 213 μέτρων μεταξύ τους (Σχήμα 2). Η ιδέα του φωτόφωνου ήταν σχετικά απλή, αποτελούσε ένα τρόπο διαμόρφωσης μιας δέσμης φωτός και της πρόσπτωσης της στο σελήνιο, υλικό που χρησιμοποιήθηκε αργότερα στην τεχνολογία τηλεφώνιας. Έτσι, η διαμόρφωση της εκπεμπόμενης δέσμης φωτός γινόταν από ένα κάτοπτρο φτιαγμένο να δονείται από τη φωνή ενός ατόμου. Το λεπτό κάτοπτρο εναλλασσόταν μεταξύ κοίλων και κυρτών μορφών, εστιάζοντας ή διασκορπίζοντας έτσι το φως κατευθυνόμενο προς το δέκτη. Κάθε φορά που το ηλιακό φως προσέπιπτε στο σελήνιο (υλικό τοποθετημένο στο επίκεντρο του δέκτη), η ηλεκτρική αντίσταση αυτού του υλικού μεταβαλλόταν αντίστροφα με την ένταση του φωτός που έπεφτε πάνω του. Δηλαδή, η αντίστασή του ήταν μεγαλύτερη στο σκοτάδι



Σχήμα 2: (Επάνω) Σκίτσο του Α.Γ. Bell με τη διαδρομή ακτίνων διερχόμενων από τα στοιχεία του φωτοφώνου.⁵ (Κάτω) Απεικόνιση του δέκτη του φωτοφώνου.⁶

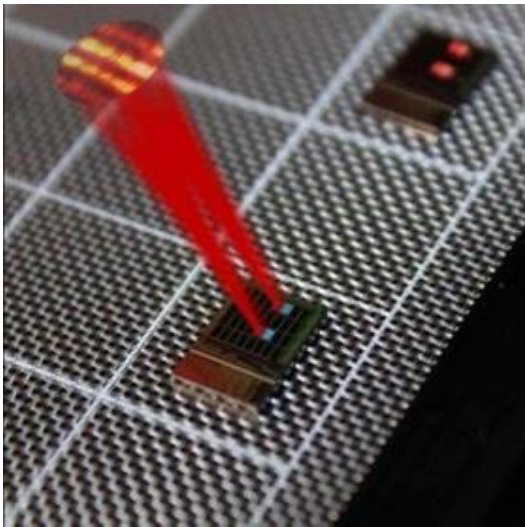
και χαμηλότερη όταν εκτίθεντο στο φως.⁵ Ωστόσο, το μελανό σημείο αυτής της ανακάλυψης είναι ότι δεν μετατράπηκε ποτέ σε εμπορικό προϊόν λόγω της έλλειψης καλών πηγών φωτός.

Πλέον όμως, διαθέτουμε μία πληθώρα από πηγές φωτός. Ειδικότερα, μετά την ανακάλυψη του λέιζερ το 1960, ο κλάδος της τηλεπικοινωνίας έχει αλλάξει ριζικά. Σκεπτόμενοι τη συσκευή του Graham Bell, κρίσιμα στοιχεία ήταν η διαμόρφωση της δέσμης μέσω του λεπτού κατόπτρου και η μεταβολή της αντίστασης του σεληνίου λόγω του ηλιακού φωτός. Παρακάτω, θα αναφερθούμε σε μία πιο σύγχρονη διάταξη ικανή να διαμορφώνει το φως αλλά και να το κατευθύνει.

Οι κύριες διατάξεις σε εμπορικού τύπου συσκευές βασίζονται στη φυσική ημιαγωγών. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες οπτικές πηγές της περιοχής του υπέρυθρου για τις οπτικές επικοινωνίες είναι οι δίοδοι εκπομπής φωτός (Light Emitted Diode) και οι δίοδοι λέιζερ (Laser Diode).⁷ Εμφανίζουν διαφορετικές ιδιότητες, γι' αυτό και ανάλογα με την τελική εφαρμογή χρησιμοποιείται διαφορετική διάταξη. Η πιο συχνή μορφή αντίστοιχων διατάξεων, κατασκευασμένων σε φωτονικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (Photonic Integrated Circuits), είναι σε γεωμετρία επιπέδων (planar) κυματοδηγών. Η ενεργή περιοχή τους έχει υψηλότερο δείκτη διάθλασης από το υλικό επένδυσης που βρίσκεται εξωτερικά του κυματοδηγού. Καλείται ενεργή περιοχή διότι είναι η περιοχή όπου κατευθύνεται το φως λόγω του φαινομένου ολικής ανάκλασης. Στην πράξη, οι ημιαγωγοί III-V χρησιμοποιούνται σε αυτές τις ολοκληρωμένες διατάξεις, καθώς και υλικά, όπως το πυρίτιο (Si) και το νιτρίδιο του πυριτίου (Si_3N_4 , SiN), με το πλεονέκτημα του μεγαλύτερου ελέγχου καθοδήγησης του φωτός και των λιγότερων απωλειών κατά την έξοδό του.

Μία διάταξη ικανή να χρησιμοποιηθεί στις παραπάνω εφαρμογές απεικόνισης είναι οι λεγόμενες οπτικές συστοιχίες σε φάση (optical phased arrays) όπως αυτές του Σχήματος 3. Λειτουργούν ως οπτικές κεραίες, ικανές να δημιουργήσουν ένα μοτίβο στο μακρινό πεδίο που περιγράφεται από τη θεωρία περίθλασης Fraunhofer, που στην πραγματικότητα είναι ο μετασχηματισμός Fourier του κοντινού πεδίου.⁸ Για να το φανταστούμε καλύτερα, μπορούμε να σκεφτούμε το πείραμα του Young (Σχήμα 4), μέσα από το οποίο απέδειξε τη δυϊκή φύση του φωτός και παρατήρησε το φαινόμενο συμβολής του φωτός διερχόμενο από δύο παράλληλες σχισμές.⁹

Αυτή η διάταξη, υπο-οδηγούμενη από μονοχρωματικό φως, συμπεριφέρεται σαν φράγμα περίθλασης, αποτελείται δηλαδή από πολλαπλά σημεία (αντίστοιχα, πολλές σχισμές) που εκπέμπουν φως προς τον περιβάλλοντα ελεύθερο χώρο. Παρατηρείται ότι το προκύπτον προφίλ δέσμης συμβάλλει εποικοδομητικά στον ελεύθερο χώρο. Οι οπτικές συστοιχίες σε φάση (OPA) επιτρέπουν τον χειρισμό του φωτός (Σχήμα 5). Το μεγάλο πλεονέκτημα μιας τέτοιας συσκευής είναι ότι ελέγχοντας με δυναμικό τρόπο τις οπτικές ιδιότητες του υλικού του κυματοδηγού, είναι δυνατή η αλλαγή της κατεύθυνσης της δέσμης φωτός. Ειδικότερα, η κατεύθυνση της δέσμης ρυθμίζεται εφαρμόζοντας καθυστέρηση στη μετάδοση του φωτός στα οπτικά κυκλώματα, έτσι ώστε οι συνεισφορές στον ελεύθερο χώρο να συνδυάζονται εποικοδομητικά και να αλλάζουν σημείο εστίασης (beam-steering). Έτσι, αυτό μπορεί να επιτευχθεί προσθέτοντας έναν επιπλέον παράγοντα φάσης στην εξίσωση του διαδιδόμενου ηλεκτρικού πεδίου. Ένας από τους πιο κοινούς τρόπους αλλαγής των οπτικών ιδιοτήτων είναι η αλλαγή του δείκτη διάθλασης του κυματο-



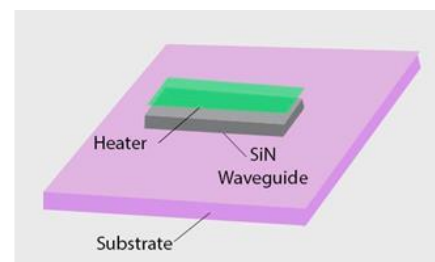
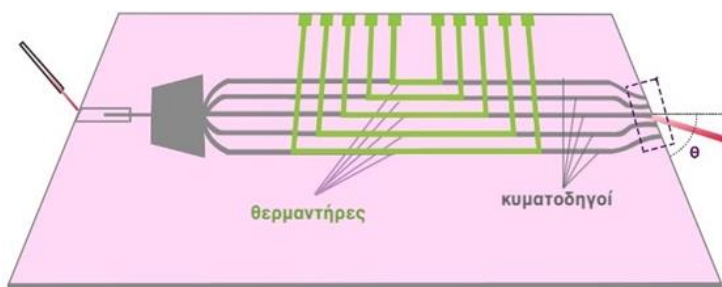
Σχήμα 3: Οπτική συστοιχία σε φάση ενσωματωμένη σε chip, δίνοντας ένα μοτίβο συμβολής στον ελεύθερο χώρο.⁹

δηγού, στην προκειμένη περίπτωση του νιτριδίου του πυριτίου (SiN). Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος στους θερμαντήρες αλουμινίου (με πράσινο χρώμα) που απέχουν ελάχιστα από τους κυματοδηγούς. Αποτέλεσμα είναι η θερμοκρασιακή εξάρτηση του SiN λόγω της μεταβολής της διηλεκτρικής σταθεράς. Ο μιγαδικός δείκτης διάθλασης και η διηλεκτρική σταθερά συνδέονται με την παρακάτω μαθηματική εξίσωση:¹⁰

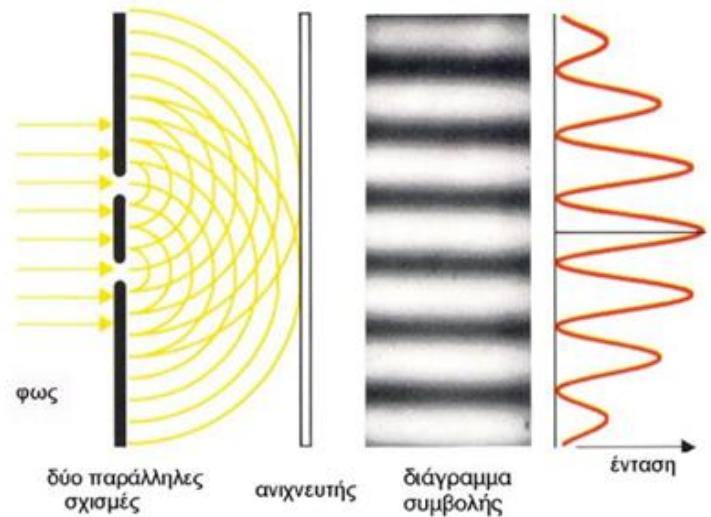
$$\epsilon(r) = \tilde{n}^2$$

Κατανοώντας αυτές τις θεμελιώδεις έννοιες, συμπεραίνεται ότι ο δείκτης διάθλασης των κυματοδηγών Si_3N_4 εξαρτάται από τη θερμοκρασία, $n(T)$. Η δυνατότητα αυτή αποτελεί κλειδί για τον έλεγχο λειτουργίας κάθε στοιχείου της οπτικής συστοιχίας και είναι απαραίτητη για τη δημιουργία αυθαίρετων μοτίβων ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό καλείται θερμο-οπτικό φαινόμενο και μπορεί να αυξήσει την απόδοση της συσκευής, καθώς παράλληλα αντισταθμίζει τυχόν λάθη λόγω κατασκευής.

Έτσι, είναι δυνατή η κατασκευή μιας οπτικής κεραίας ικανής να μεταδώσει οπτικά σήματα σε ένα επιθυμητό σημείο ή σε πολλά σημεία και να καλύψει μία περιοχή κάλυψης αρκετών δεκάδων μοιρών.



Σχήμα 5: (Αριστερά) Παράδειγμα οπτικής συστοιχίας σε φάση (OPA), αποτελούμενη από κυματοδηγούς (γκρι χρώμα) και τους θερμαντήρες (πράσινο χρώμα). (Δεξιά) Απεικόνιση του θερμαντήρα επάνω από τον κυματοδηγό SiN.¹²



Σχήμα 4: Πείραμα Young ή πείραμα δύο σχισμών.¹⁰

Πηγές

- ¹ R. Fernández (2020). How the LiDAR sensor of the iPhone 12 Pro works. <https://hipertextual.com/2020/10/asi-funciona-sensor-lidar-iphone-12-pro>
- ² M. A. Khalighi et. al, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16, 2231 (2014)
- ³ berdola.com, *Lifi Technology*. <https://www.iberdrola.com/innovation/lifi-technology>
- ⁴ Shott.com, *Autonomous Driving*. <https://microsites.schott.com/lidar/english/index.html>
- ⁵ Wikipedia.org, *Photophone*,
- ⁶ Historyofinformation.com, *Alexander Graham Bell Invents the Photophone, the First Wireless Communication System: History of Information*.
- ⁷ C. V. Poulton, "Integrated LIDAR with Optical Phased Arrays in Silicon Photonics", PhD Thesis (2016).
- ⁸ M. R. Kossey, C. Rizk, and A. C. Foster, "End-Fire Silicon Waveguide Array as a Platform for High Power Beam Shaping and Steering," no. Mmi, pp. 20–21 (2015).
- ⁹ Blog.lidarnews.com, *Optical Phased Array May Be the Future of Lidar*, <https://blog.lidarnews.com/optical-phased-array-may-be-future-of-lidar/>
- ¹⁰ Science Wiki. 2022. Πείραμα Young., https://science.fandom.com/el/wiki/Πείραμα_Young
- ¹¹ G. Ghosh, *Handbook of thermo-optic coefficients of optical materials with applications*. San Diego: Academic Press, (1998).
- ¹² K. Spanidou, (2021). *Characterization of optical phased array based on silicon nitride platform*, <http://ikee.lib.auth.gr/record/333025>

σύγχρονες φιλοσοφικές προσεγγίσεις της επιστημονικής γνώσης

Ελένη Ντεβετούδη, Λάζαρος Πελέκας, Μιχαήλ Στεφανής
Μεταπτυχιακοί/ές φοιτητές/τριες του Τμήματος Φυσικής

Για την φιλοσοφία της επιστήμης

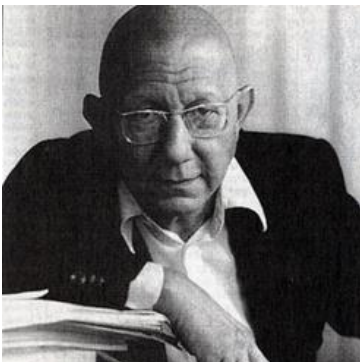
Πολλοί και ποικίλοι οι καρποί της επιστήμης. Όταν στις συζητήσεις γίνεται λόγος περί επιστήμης, οι περισσότεροι φέρνουν αμέσως στο νου τους την υψηλή τεχνολογία, δηλαδή επιτεύγματα όπως οι υπολογιστές, η πυρηνική ενέργεια, η γενετική μηχανική ή οι υπεραγωγοί υψηλών θερμοκρασιών. Αυτοί είναι καρποί της εφαρμοσμένης επιστήμης και η αποτίμηση των ωφελειών, των κινδύνων και του κόστους αυτών και άλλων παρόμοιων τεχνολογικών εξελίξεων οδηγεί συχνά σε ζωηρές αντιπαραθέσεις. Αλλά εκτός από τα πολλά επιτεύγματα εφαρμογών και πρακτικής χρησιμότητας, οι «καθαρές επιστήμες» και ιδιαίτερα η βασική φυσική, εντυπωσιάζουν με την εμβάθυνση της ανθρώπινης γνώσης που επιφέρουν. Η επιστημονική γνώση θεωρείται στις μέρες μας ως το ανώτατο πνευματικό επίτευγμα της κοινωνίας.

Ο φιλόσοφος Κορνήλιος Καστοριάδης (1922-1997) έχει πει σε συνέντευξη του:

«Υπάρχει ένας τεράστιος απελευθερωτικός ρόλος της επιστήμης, τόσο στο κοινότοπο πεδίο των σχέσεών μας με τις θρησκείες, τις προλήψεις, όσο και στο κεντρικό, αν μπορώ να πω, υπαρξιακό σημείο. Είναι αυτό που έλεγε ο Αριστοτέλης για το «θαυμάζειν». Δηλαδή η επιστήμη μας βγάζει από την ζωική μας διάσταση, ακριβώς διότι μας κάνει να θαυμάζουμε και να θέλουμε ταυτόχρονα να εξηγήσουμε, λόγου χάριν τον έναστρο ουρανό κτλ.

Έπειτα, όλες αυτές οι καταπληκτικές αλληλουχίες που υπάρχουν στο όν, δηλαδή το ότι έχει την όψη του κόσμου, με την αρχαία ελληνική έννοια, μιας σχετικής τάξης και διάταξης την ο-

ποία ανεξάντλητα προσπαθούμε να κατανοήσουμε με την επιστήμη. Πέρα από αυτόν τον κόσμο, υπάρχει το χάος. Από αυτήν την άποψη, μας δείχνει την θνητότητά μας και παράλληλα μας ξεχωρίζει. Έτσι, η επιστήμη είναι κάτι το αμέτρητα πολύτιμο.



Κορνήλιος Καστοριάδης

Τώρα, σε μια ελεύθερη και προικισμένη με φρόνηση κοινωνία, αυτή η διάσταση της επιστήμης δεν μπορεί παρά να αξιοποιηθεί ακόμη περισσότερο με τη διάδοση των γνώσεων και την κατανόηση του τι είναι επιστήμη, ότι δεν είναι ο σκοπός της να μπορεί να κατασκευάσει καλύτερα αυτοκίνητα...

Η επιστήμη μπορεί να μας βοηθήσει να προσεγγίσουμε εκ νέου την πραγματική και ποιητική διάσταση της ανθρώπινης ύπαρξης».

Σύμφωνα με τον Ευτύχη Μπιτσάκη, η Φιλοσοφία –τουλάχιστον στις καλύτερες στιγμές της– είναι θεωρία της γνώσης και θεωρία του Είναι, δηλαδή είναι κοσμοθεωρία ή κοσμοαντίληψη. Αντικείμενο της φιλοσοφίας, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, είναι ο κόσμος σαν σύνολο, και σε οργανική συνάρτηση μ' αυτό, η γνωστική δυνατότητα της ανθρώπινης νόησης. Το οντολογικό και το γνωσιολογικό ερώτημα είναι ατελείωτα. Αυτό το μαρτυρεί ολόκληρη η ιστορία της φιλοσοφίας, έστω και αν, μετά τον Καντ, το γνωσιολογικό ερώτημα έγινε κυρίαρχο, φτάνοντας να γίνει το μοναδικά νόμιμο αντικείμενο της φιλοσοφίας κατά το νεότερο θετικισμό.

Στην ιστορία της Φιλοσοφίας της Επιστήμης περιλαμβάνονται οι προσπάθειες πολλών επιστημόνων, φιλοσόφων και ιστορικών, για να συγκροτηθεί μια συνεκτική φιλοσοφική περιγραφή του επιστημονικού φαινομένου στο σύνολό του. Τα μεγάλα προγράμματα που εκπονήθηκαν, φιλοδόξησαν να δουν τι είναι επιστήμη, πώς συντελείται η επιστημονική πρόοδος και ποια η σχέση των επιστημονικών θεωριών με την πραγματικότητα.

«Φιλοσοφία της επιστήμης» ονομάστηκε ο κλάδος της φιλοσοφίας που έχει ως σκοπό την κριτική ανάλυση της επιστήμης και το στοχασμό πάνω σ' αυτή. Είναι ο κλάδος που επιχειρεί να κατανοήσει τους σκοπούς και τις μεθόδους της επιστήμης, παράλληλα με τις αρχές, τις πρακτικές και τα επιτεύγματα της. Η Φιλοσοφία της Επιστήμης εμφανίζεται στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, κυρίως στον αγγλοσαξονικό χώρο, όπου έχουμε εντυπωσιακή ανάπτυξη των Φυσικών Επιστημών και της νέας τεχνολογίας. Κύριο εκκολαπτήριο ιδεών, προβληματισμού και εξέλιξης του, ήταν ο λεγόμενος «Κύκλος της Βιέννης», η ζωή του οποίου έληξε περί το τέλος της δεκαετίας του 1950. Παράλληλα, αναπτύχθηκε η «Αναλυτική Φιλοσοφία» η οποία ανάγει τα φιλοσοφικά προβλή-

ματα σε προβλήματα κατανόησης της γλώσσας. Κατά τον 20^ο αιώνα αμφισβητήθηκαν έντονα οι ισχυρισμοί των Φυσικών Επιστημών ότι κάνουν προσέγγιση της αντικειμενικής αλήθειας.

Το νέο επιστημολογικό ρεύμα

Η εικοσαετία 1940-1960 είναι η περίοδος κυριαρχίας του Λογικού Θετικισμού. Η κατάσταση άλλαξε ριζικά στα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του '60 με τη δημιουργία ενός νέου επιστημολογικού ρεύματος, εντός του οποίου αναπτύχθηκαν επαναστατικά νέες απόψεις που αφορούν την εξέλιξη και λειτουργία της επιστήμης. Ως σημείο καμπής λαμβάνεται το 1962, έτος έκδοσης του βιβλίου «Δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων» του Thomas Kuhn (1922-1996), το οποίο θεωρήθηκε το μανιφέστο του νέου ρεύματος. Η στροφή αυτή ήταν πρώτα απ' όλα αντίδραση στο ασφυκτικό πλαίσιο της Μαθηματικής Λογικής και του ακραίου Εμπειρισμού. Οι εξελίξεις ήταν τόσο ραγδαίες που στα τέλη της ίδιας δεκαετίας ο Λογικός Θετικισμός θεωρούνταν καθολικά ξεπερασμένος. Κεντρικό σημείο της νέας προσέγγισης έγινε η φύση και η εξέλιξη των επιστημονικών θεωριών.



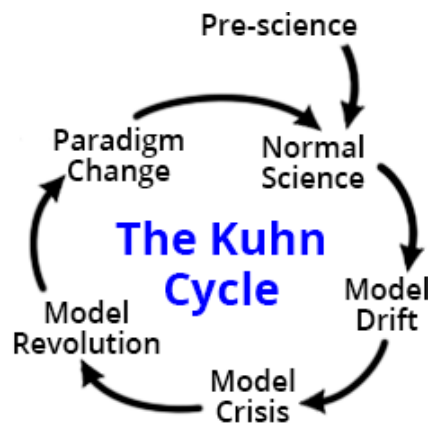
Thomas Kuhn

Οι εκπρόσωποι του νέου ρεύματος θεωρούν ότι η θετικιστική εικόνα της επιστήμης είναι διαστρεβλωτική, επειδή αγνοεί την αληθινή πρακτική των επιστημόνων και τα πορίσματα της ιστορικής έρευνας και θυσιάζει στο βωμό ενός απλοϊκού εμπειρισμού τον κυριότερο παράγοντα επιστημονικής προόδου: την δημιουργικότητα και την φαντασία του ερευνητή. Οι επιστημονικές

θεωρίες, όπως κάθε άλλο ανθρώπινο κατασκεύασμα, είναι ιστορικές οντότητες, με γέννηση, ακμή και τέλος. Η εξέλιξη της επιστήμης δεν είναι μια ομαλή, γραμμική συσσωρευτική διαδικασία, αλλά ένα πολύ πιο σύνθετο φαινόμενο, με περιόδους συνέχειας και ασυνέχειας, με ριζικές αναθεωρήσεις και βαθιά ρήγματα. Η ιστορική έρευνα φανερώνει ότι η επιστήμη ούτε τόσο εμπειρική και επαγωγική υπήρξε, ούτε αναπτύχθηκε τόσο ευθύγραμμα.

Η βασική ιδέα του Κουν είναι ότι οι επιστημονικές γνώσεις κάθε εποχής αρθρώνονται σε ένα αυτόνομο σύστημα, με τη δική του αξία και λειτουργικότητα, που δεν μπορεί να κριθεί με τα δικά μας, σημερινά κριτήρια επιστημονικότητας. Το ισχύον πρότυπο της επιστήμης, το «Παράδειγμα» (paradigm), υποστηρίζεται και καλλιεργείται περαιτέρω από μια αφοσιωμένη σε αυτό επιστημονική κοινότητα.

Η ανάπτυξη της επιστήμης είναι μια ριζικά ασυνεχής διαδικασία, μια ακολουθία βίαιων ανατροπών. Η Δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων εισάγει



Σχήμα 1

ένα μοντέλο ανάπτυξης της επιστήμης, που μπορεί να περιγραφεί με την χρονική ακολουθία του Σχήματος 1.

Η επικράτηση ενός νέου παραδείγματος (Paradigm) σημειώνει την ολοκλήρωση μιας επιστημονικής επανάστασης. Για τον Κuhn λοιπόν οι επιστημονικές επαναστάσεις είναι εκείνα τα ασυνεχή αναπτυξιακά επεισόδια, στη διάρκεια των οποίων «οι πεποιθήσεις των ειδικών μεταβάλλονται ριζικά» και ένα «παλιότερο Παράδειγμα αντικαθίσταται εξ ολοκλήρου ή εν μέρει από ένα νέο και ασυμβίβαστο Παράδειγμα». Η επιστημονική επανάσταση οδηγεί σε μια αναδιάρθρωση των επιστημονικών κοινοτήτων, στην εγκαθίδρυση μιας νέας φυσιολογικής ερευνητικής παράδοσης, σε μια νέα περίοδο «ηρεμίας» και ούτω καθ' εξής.

Το νέο επιστημολογικό ρεύμα, εκτός από τον Thomas Kuhn, συνδέεται και με τους Feyerabend, Quine, Lakatos, Hanson, Toulmin και άλλους, οι οποίοι ανέπτυξαν επαναστατικά νέες ιδέες και απόψεις που αφορούν την επιστήμη. Για παράδειγμα φαίνεται να είναι ουσιαστικός στις απόψεις των φιλοσόφων του νέου ρεύματος ο ισχυρισμός ότι υπάρχουν θεμελιώδεις προκαταλήψεις κατά την επιστημονική έρευνα.

Quine (Κουάιν)

Ο Willard Van Orman Quine (1908-2000) ήταν Αμερικανός φιλόσοφος και λογικολόγος της αναλυτικής παράδοσης, ο οποίος θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους φιλοσόφους του 20ού αιώνα. Σε νεαρή ηλικία συμμετείχε σε κάποιες από τις συναντήσεις του Κύκλου της Βιέννης, αλλά στη συνέχεια αμφισβήτησε θεμελιώδεις αρχές της φιλοσοφίας τους. Τα γνωστότερα γραπτά του είναι τα: 1) Δύο δόγματα του εμπειρισμού (1951), στο οποίο αμφισβητεί την διάκριση ανάμεσα στις αναλυτικές και συνθετικές προτάσεις και προκρίνει μια μορφή σημασιολογικού ολισμού. 2) Λέξη και αντικείμενο (1960), όπου συνέχισε τις ιδέες που διατύπωσε στο δύο δόγματα του εμπειρισμού, και επιπλέον εισήγαγε την θεωρία του σχετικά με την απροσδιοριστία της μετάφρασης προωθώντας μια συμπεριφοριστική θεωρία της φιλοσοφικής έννοιας.

Ο Quine απαλλαγμένος από τα δόγματα του εμπειρισμού και συγκεκριμένα από το δόγμα της



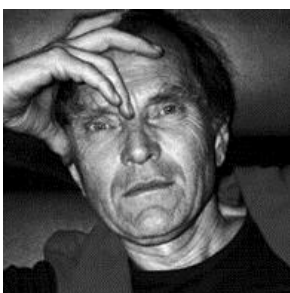
Willard Van Orman Quine

αναλυτικότητας και το δόγμα του αναγωγισμού, επικεντρώνεται κυρίως στο δόγμα του ολισμού, και μένοντας μέσα στα γενικά πλαίσια και τις καταστατικές αρχές του εμπειρισμού (αρχή επαλήθευσης), υποστηρίζει το δόγμα του μεθοδολογικού μονισμού.

Θεωρεί ότι η επιστήμη δεν έχει ανάγκη φιλοσοφικής νομιμοποίησης, πέραν αυτής που προκύπτει μέσα από την ίδια την πρακτική της, κατά την οποία τα υποκείμενα αναπτύσσουν τον προσανατολισμό τους στον κόσμο και την αντιμετώπιση του κόσμου με την αρωγή της παρατήρησης και της υποθετικο-απαγωγικής μεθόδου. Για τον Quine, η επιστήμη είναι εννοιολογική γέφυρα που κατασκευάζουμε εμείς οι ίδιοι για να συνδέσουμε μεταξύ τους τους αισθητηριακούς ερεθισμούς που δεχόμαστε από το περιβάλλον. Η γνωσιολογία, έτσι, υπάγεται στην πειραματική ψυχολογία. Η γνώση, υποστηρίζει ο Quine, είναι ανθρώπινη κατασκευή και ως τέτοια χαρακτηρίζεται από ιστορικότητα. Έχει πίσω της μία παράδοση, μία κληρονομιά πάνω στην οποία στηρίζεται και με την οποία βρίσκεται σε άμεση ή έμμεση επαφή και επικοινωνία. Το εννοιολογικό σχήμα της επιστήμης είναι απλώς εργαλείο που μπορεί να μας βοηθήσει στην πρόβλεψη μελλοντικών εμπειριών στο φως προηγούμενων εμπειριών (ινστρουμενταλισμός). Το καθεστώς της επιστήμης (η πρακτική, τα αντικείμενά της), είναι γνωσιοθεωρητικά ισοδύναμο με άλλα συστήματα και πρακτικές. Το καθεστώς των φυσικών αντικειμένων είναι καθεστώς πρόσφορων διαμεσολαβήσεων, μη αναγώγιμων υποθέσεων, συγκροτώντας έτσι μία οντολογία/μυθολογία η οποία, από γνωσιοθεωρητική άποψη, μπορεί να συγκριθεί με άλλες οντολογίες /μυθολογίες.

Feyerabend

Ο Paul Feyerabend (1924-1994) γεννήθηκε στη Βιέννη. Κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο υπηρέτησε στον γερμανικό στρατό, όπου τραυματίστηκε και γι' αυτό έπρεπε να περπατά με μπάστούνη για την υπόλοιπη ζωή του. Σπούδασε Ιστορία, Κοινωνιολογία

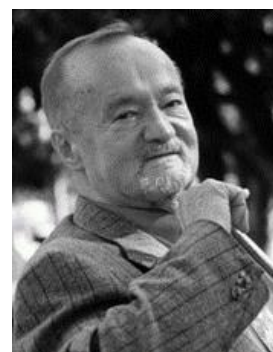


Paul Feyerabend

και μετά Φυσική, ενώ έκανε διδακτορικό στη Φιλοσοφία. Επισκέφθηκε πολλές χώρες και εργάστηκε για τρεις δεκαετίες στο Πανεπιστήμιο Μπέρκλεϊ της Καλιφόρνιας. Στην αρχή είχε επηρεαστεί από τις απόψεις του λογικού θετικισμού και από ιδέες του Popper, όπως ότι δεν υπάρχει μεθοδολογία

στην επιστήμη, μόνο κάποιοι βοηθητικοί κανόνες και ότι οι απλές ιδέες που προέρχονται από απλά κριτήρια έφεραν τάξη στον περίπλοκο κόσμο της έρευνας. Στη συνέχεια αναθεώρησε τις απόψεις αυτές και υποστήριξε μια νέα στάση εμπειρισμού. Εξέφρασε θέσεις όπως: "Ο ορθολογισμός είναι ήδη επικίνδυνος καθώς παραλύει την κρίση μας και είναι οπλισμένος με υπεράνθρωπη αυθεντία. Ο Popper όμως πρόσθεσε ακόμα ένα επικίνδυνο στοιχείο: της απλότητας".

Ο Feyerabend έγινε διάσημος λόγω της άποψης πως η επιστήμη είναι μια "αναρχική" διαδικασία και της απόρριψης ύπαρξης καθολικών μεθοδολογικών κανόνων. Το πιο γνωστό έργο του είναι το «Ενάντια στη Μέθοδο» (1975) όπου συνοψίζει τη θέση του για την επιστήμη με το «όλα επιτρέπονται».



Stephen Edelston Toulmin

Toulmin

Ο Stephen Edelston Toulmin (1922 – 2009) ήταν Βρετανός φιλόσοφος, συγγραφέας και εκπαιδευτικός. Επηρεασμένος από τον Ludwig Wittgenstein, ο Toulmin αφιέρωσε τα έργα του στην ανάλυση του ηθικού συλλογισμού. Σε όλα τα γραπτά του, προσπάθησε να αναπτύξει πρακτικά επιχειρήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στην αξιολόγηση της ηθικής πίσω από ηθικά ζητήματα. Τα έργα του αργότερα βρέθηκαν χρήσιμα στον τομέα της ρητορικής για την ανάλυση ρητορικών επιχειρημάτων.

Το μοντέλο επιχειρηματολογίας Toulmin, ένα διάγραμμα που περιέχει έξι αλληλένδετα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση επιχειρημάτων, δημοσιεύτηκε στο βιβλίο του *The Uses of Argument* το 1958. Θεωρήθηκε το έργο του με τη μεγαλύτερη επιρροή, ιδιαίτερα στον τομέα της ρητορικής και της επικοινωνίας και στην επιστήμη των υπολογιστών. Ο Toulmin πίστευε ότι ο συλλογισμός είναι λιγότερο μια δραστηριότητα εξαγωγής συμπερασμάτων που περιλαμβάνει την ανακάλυψη νέων ιδεών και περισσότερο μια διαδικασία δοκιμής και λεπτομερούς ελέγχου ήδη υπαρχουσών ιδεών —μια πράξη που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της διαδικασίας της αιτιολόγησης. Για να πετύχει ένα καλό επιχείρημα, πρέπει να παρέχει καλή αιτιολόγηση για τον ισχυρισμό του. Έτσι εξασφαλίζεται ότι θα αντέξει στην κριτική και θα κερδίσει μια ευνοϊκή ετυμηγορία. Το 1972 ο Toulmin δημοσίευσε το *Human Understanding*, στο οποίο έρχεται σε αντίθεση με τις απόψεις του Thomas Kuhn, ισχυριζόμενος ότι η αλλαγή εννοιών είναι μια εξελικτική διαδικασία που θυμίζει το μοντέλο βιολογικής εξέλιξης του Δαρβίνου.

Hanson



N. R. Hanson

Ο Αμερικανός φιλόσοφος Norwood Russell Hanson (1924 – 1967) ήταν πρωτοπόρος στην προώθηση του επιχειρήματος ότι η παρατήρηση είναι φορτωμένη στη θεωρία - ότι η γλώσσα παρατήρησης και η γλώσσα θεωρίας είναι βαθιά συνυφασμένες - και ότι η ιστορική και η σύγχρονη κατανόηση είναι εξίσου βαθιά συνυφασμένες. Ασχολήθηκε κυρίως με την κατα-

νόηση του πώς γίνονται οι επιστημονικές ανακαλύψεις.

Το πιο γνωστό έργο του Hanson είναι το *Patterns of Discovery* (1958), στο οποίο υποστηρίζει ότι αυτό που βλέπουμε και αντιλαμβανόμαστε δεν είναι αυτό που λαμβάνουν οι αισθήσεις μας, αλλά είναι φιλτραρισμένες αισθητηριακές πληροφορίες, όπου το φίλτρο είναι οι υπάρχουσες προκαταλήψεις μας - μια έννοια που αργότερα ονομάστηκε «θεματικό πλαίσιο». Ο Hanson έκανε μια διάκριση μεταξύ του «βλέποντας ως» και «βλέποντας αυτό» που έγινε βασική ιδέα στην εξέλιξη των θεωριών της αντίληψης και του νοήματος.

Ένα άλλο βιβλίο του, δημοσιευμένο το 1963, έχει τίτλο «*The Concept of the Positron*» και αποτελεί μια λεπτομερή ανάλυση της κβαντικής θεωρίας. Αν και δεν είναι τόσο γνωστό όσο το προηγούμενο βιβλίο

του, το *Patterns of Discovery* (1958), το κείμενο έχει πολλές ενδιαφέρουσες πτυχές. Από πολλές απόψεις προχωρά περισσότερο από την προηγούμενη εργασία του Hanson στην προσέγγιση των προβλημάτων του θεωρητικού ανταγωνισμού και του ορθολογισμού της επιστήμης, θέματα που έκτοτε έχουν γίνει κεντρικά στη φιλοσοφία της επιστήμης. Αποτελεί επίσης μια αυστηρή και ειλικρινή υπεράσπιση της Ερμηνείας της Κοπεγχάγης.

Πηγές

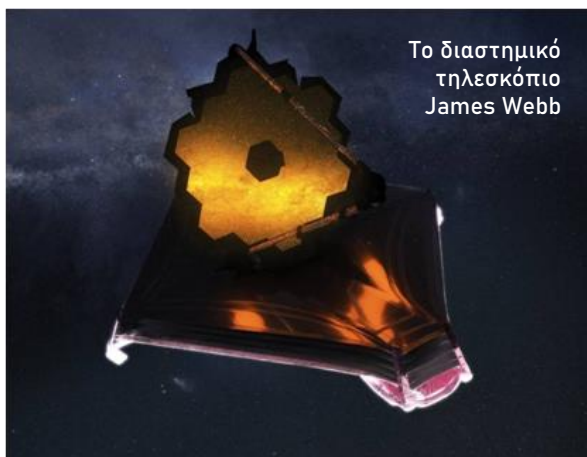
- *The Blackwell Guide to the Philosophy of Science*, Blackwell Publishers
- *Wikipedia*
- Ευτύχης Μπισσάκης, «Τι είναι η Φιλοσοφία», Εκδόσεις Σύγχρονη Εποχή
- Β. Κιντή, *Φιλοσοφία της Επιστήμης (Σημειώσεις)*
- T. S. Kuhn, *Η δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων*, Εκδ. Σύγχρονα Θέματα
- Εισαγωγή του επιμελητή Β. Κάλφα στο βιβλίο «Δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων», εκδ. Σύγχρονα Θέματα
- Εισαγωγή στη Φιλοσοφία της Επιστήμης, M. Salmon et al., Πανεπιστήμιο του Πίτσμπουργκ, ΗΠΑ, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- Α. Μπαλτάς, Κ. Στεργιόπουλος (επιμ.), *Φιλοσοφία και Επιστήμες στον εικοστό αιώνα*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- Κορνήλιος Καστοριάδης (1922-1997), συνέντευξη στο περιοδικό QUANTUM
- «Απόψεις δύο φιλοσοφικών σχολών της ελληνικής αρχαιότητας...», Δημ. Καλογιάννης, Πτυχιακή εργασία, ΑΠΘ, Φεβρ. 2022.

ΕΠΙ ΤΟΥ
ΠΙΕΣΤΗΡΙΟΥ

Το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb

Στις 25 Δεκεμβρίου 2021 εκτοξεύθηκε το Διαστημικό Τηλεσκόπιο James Webb (Συνεργασία NASA, ESA, CAS), το οποίο ένα μήνα μετά θα βρεθεί στον προορισμό του, σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο στο δεύτερο σημείο Lagrange, ή L2, σχεδόν 1 εκατομμύριο μίλια από τη Γη.

Πηγή: *James Webb Space Telescope*

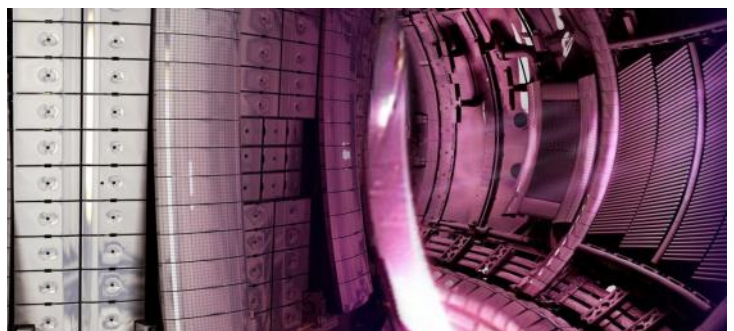


Το διαστημικό
τηλεσκόπιο
James Webb

Νέο παγκόσμιο ρεκόρ παραγωγής, ασφαλούς, πράσινης και βιώσιμης ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα μέσω πλάσματος σύντηξης

Στο Joint European Torus (JET), στο Culham Centre for Fusion Energy, στην Μ. Βρετανία, ερευνητές από την κοινοπραξία EUROfusion, η οποία συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, πέτυχαν την παραγωγή σταθερού πλάσματος Δευτερίου-Τριτίου που «απελευθέρωσε» ενέργεια 59 megajoules, το οποίο αποτελεί ρεκόρ παραγωγής ενέργειας από σύντηξη.

Πηγή: *EUROfusion*



Απεικόνιση του αντιδραστήρα σύντηξης Joint European Torus (JET).

4^ο Χριστουγεννιάτικο Φοιτητικό Συμπόσιο Θεωρητικής Φυσικής

Θεσσαλονίκη (4th ΘεSSTP)

22-23 Δεκεμβρίου 2021, Τμήμα Φυσικής ΑΠΘ



Αναστάσιος Πέτκου
Καθηγητής
Τμήματος Φυσικής

Ήταν το 2018 όταν μια μικρή ομάδα φοιτητών του Σπουδαστηρίου Θεωρητικής Φυσικής του ΑΠΘ, που είχαν πριν λίγα χρόνια ξεκινήσει τις μεταπτυχιακές τους σπουδές στο εξωτερικό, σκέφτηκαν ότι οι γιορτές των Χριστουγέννων δεν είναι μόνο μια ευκαιρία να ξαναβρεθούν στην αγαπημένη τους Θεσσαλονίκη για να θυμηθούν τα φοιτητικά τους χρόνια. Τα παιδιά αυτά θέλησαν να διατηρήσουν ζωντανή

την σχέση τους με το Σπουδαστήριο και με το Τμήμα Φυσικής και να μας μεταφέρουν τις νέες τους επιστημονικές και ακαδημαϊκές εμπειρίες από τα μεγάλα πανεπιστημιακά ιδρύματα του εξωτερικού στα οποία βρίσκονταν. Κάπως έτσι ξεκίνησε το 1^ο Χριστουγεννιάτικο Φοιτητικό Συμπόσιο Θεωρητικής Φυσικής.

Τον Δεκέμβριο του 2021, φτάσαμε αισίως στο 4^ο ΘεSSTP που οργανώθηκε σε εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες εν μέσω πανδημίας, αλλά με τεράστια όρεξη και ενθουσιασμό από την συνεχώς αυξανόμενη σε αριθμό «ομάδα του ΘεSSTP». Παρά τις δυσκολίες, το 4^ο ΘεSSTP άνοιξε νέους δρόμους στο Τμήμα Φυσικής: στο πλαίσιο του διοργανώθηκαν για πρώτη φορά σε χώρους του Τμήματος Φυσικής α) μια ανοιχτή στο κοινό Συζήτηση Στρογγυλής Τραπέζης (με το επίκαιρο θέμα «Επικοινωνώντας τα επιστημονικά δεδομένα στο ευρύ κοινό»), και β) μια υβριδική (δια ζώσης και online) επιστημονική ημερίδα!

Η Συζήτηση Στρογγυλής Τραπέζης έγινε στις 22 Δεκεμβρίου. Συντονιστής ήταν ο γνωστός δημοσιογράφος (και απόφοιτος του Τμ. Μαθηματικών του ΑΠΘ) Παντελής Σαββίδης. Συμμετείχαν οι: Α. Καλαϊτζή (δημοσιογράφος ET3), Π. Παναγιωτόπουλος (Επ. Καθ. Τμ. Θεολογίας ΑΠΘ), Α. Πέτκου (Καθ. Τμ. Φυσικής ΑΠΘ) και Δ. Σαρηγιάννης (Καθ. Τμ. Χημ. Μηχ. ΑΠΘ). Συζητήθηκε το θέμα της επικοινωνίας των επιστημονικών δεδομένων στο ευρύ κοινό, κάτι που όπως ανέδειξε με δραματικό τρόπο η πανδημία είναι πλέον εξαιρετικά κρίσιμο όχι μόνο για την πνευματική αναβάθμιση του ανθρώπου και της κοινωνίας, αλλά ακόμη και για την ίδια της επιβίωση! Από τους ομιλητές αλλά και από το κοινό τονίστηκε η άμεση ανάγκη βελτίωσης του τρόπου επικοινωνίας των επιστημόνων με την Ελ-

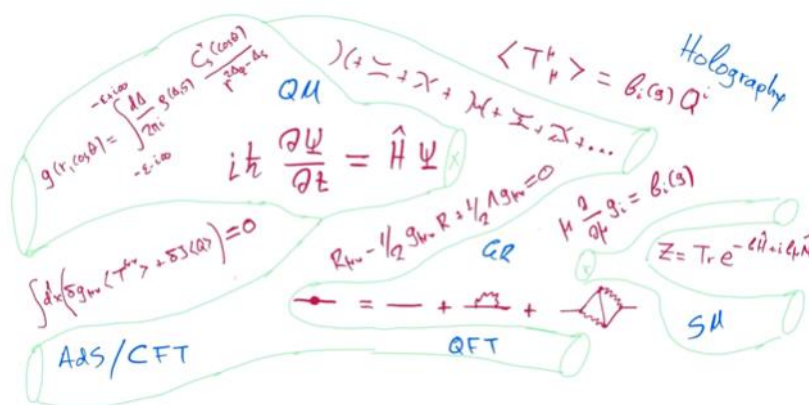
ληνική κοινωνία. Η τελευταία παρουσιάζει αρκετές ιδιαιτερότητες όπως για παράδειγμα μια έλλειψη εμπιστοσύνης σε αμιγώς επιστημονική γνώση ενώ δείχνει μια ιδιαίτερη ανοχή και συμπάθεια προς αμφιλεγόμενες αντιεπιστημονικές φαντασιώσεις. Η συζήτηση ανέδειξε την μεγάλη ευθύνη που έχουμε όλοι όσοι υπηρετούμε την επιστήμη από διάφορες θέσεις (φοιτητές, δάσκαλοι, ερευνητές). Κεντρικό ρόλο σε μια προσπάθεια επιστημονικής μόρφωσης της κοινωνίας μπορούν να παίζουν τα πανεπιστημιακά ιδρύματα, και ιδιαίτερα το ΑΠΘ με τον μεγάλο σε αριθμό και υψηλής ποιότητας ανθρώπινο δυναμικό του.

Στις 23 Δεκεμβρίου έγινε το επιστημονικό κομμάτι του Συμποσίου. Οι ομιλίες, δια ζώσης και online, είναι ήδη αναρτημένες στον σύνδεσμο (<http://petkou.webpages.auth.gr/Xmas21>) και είναι ένα χαρακτηριστικό δείγμα της σύγχρονης ερευνητικής δραστηριότητας στην Θεωρητική Φυσική. Τα θέματα των παρουσιάσεων μπορούν να καταταγούν στις παρακάτω μεγάλες κατηγορίες:

- 1) Θεωρία Χορδών/Ολογραφία (M. Petropoulos, L. Lambrou)
- 2) Κβαντική βαρύτητα (Ch. Markou)
- 3) Θεωρία Χορδών/Κοσμολογία (A. Makridou, D. Toulidakis)
- 4) Βαρύτητα και Κοσμολογία (D. Iosifidis)
- 5) Κβαντική Πληροφορία (E. Varvelis)
- 6) Κβαντική Θεωρία Πεδίου (G. Itsios)

Μια συνοπτική περιγραφή των παραπάνω κατευθύνσεων είναι:

1) **Η Ολογραφία (Holography)** είναι μια σχετικά καινούρια ιδέα της θεωρητικής φυσικής που εμφανίστηκε πρώτα σε θεωρίες μελανών οπών. Το όνομα της είναι εμπνευσμένο από τον Ελληνικό όρο ολόγραμμα, όπου ένας μικρότερης διαστατικότητας (d)



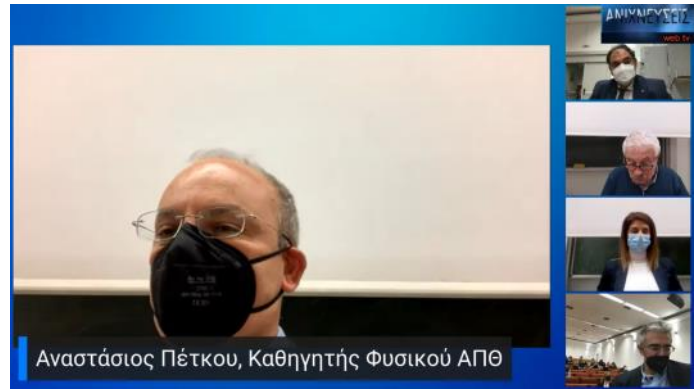
χώρος μπορεί να κατασκευάσει έναν μεγαλύτερης διαστατικότητας χώρο $(d+1)$. Για παράδειγμα, είναι σε όλους μας γνωστό το πώς ένα τρισδιάστατο ολόγραμμα προκύπτει από απεικόνιση δισδιάστατων επιφανειών.

Η ιδέα αυτή όπως προαναφέρθηκε, πρωτοεμφανίστηκε στις μαύρες τρύπες, καθώς η εντροπία S (η οποία σύμφωνα με τον Hawking ταυτίζεται με την έννοια της πληροφορίας) της μελανής οπής δίνεται από την επιφάνεια A που δημιουργεί ο ορίζοντας γεγονότων της μέσω της σχέσης $S=A/4$ σε κατάλληλες μονάδες. Αυτό το γεγονός προτείνει ότι δεν χρειάζεται να γνωρίζουμε τι γίνεται μέσα στην μαύρη τρύπα καθώς όλη η σχετική πληροφορία βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια της. Κατόπιν, υπήρξε μεγάλη προσπάθεια να βρεθεί ένα συγκεκριμένο παράδειγμα που να ισχύει, έστω θεωρητικά αυτή η ιδέα σε μια θεωρία βαρύτητας.

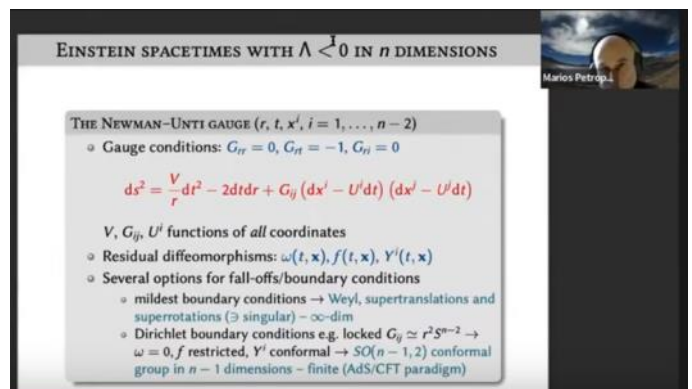
Γύρω στο 1997 η ιδέα αυτή έγινε πιο συγκεκριμένη στο πλαίσιο της θεωρίας Υπερχορδών. Ειδικότερα, προτάθηκε ότι μία θεωρία (κβαντικής) βαρύτητας σε $(d+1)$ -διαστάσεις μπορεί να περιγράφει ισοδύναμα από μία κβαντική θεωρία πεδίου χωρίς να περιέχει βαρύτητα σε (d) -διαστάσεις, γεγονός το οποίο επαληθεύτηκε από εκατέρωθεν υπολογισμούς και στις δύο «δυναμικές» θεωρίες. Αν και η αρχική πρόταση περιλάμβανε συγκεκριμένα μοντέλα θεωριών υπερβαρύτητας και σύμμορφων κβαντικών θεωριών πεδίων, έκτοτε η Ολογραφία έχει επεκταθεί σε όλο σχεδόν το φάσμα των γνωστών θεωριών βαρύτητας και κβαντικής θεωρίας πεδίου. Στο πλαίσιο αυτό ήταν η ομιλία του **Καθ. Marios Petropoulos**, ο οποίος έκανε μια γενική περιγραφή της λεγόμενης fluid/gravity αντιστοιχίας, σύμφωνα με την οποία ένα βαρυτικό σύστημα περιγράφεται ολογραφικά από ένα υδροδυναμικό σύστημα (σχετικιστικό ή μη) σε μια διάσταση λιγότερη. Για παράδειγμα, οι γνωστές εδώ και 200 χρόνια εξισώσεις Navier-Stokes αναδύονται ως οι εξισώσεις που περιγράφουν τις χωροχρονικές ταλαντώσεις κοντά στο ορίζοντα μια μελανής οπής.

Μία πολύ ενεργή ερευνητική κατεύθυνση της παραπάνω «Ολογραφικής Δυναμικότητας» είναι το λεγόμενο bulk reconstruction. Δηλαδή πως χαρακτηριστικά του κλασσικού χωροχρόνου, για παράδειγμα γεωδαισιακές γραμμές-ορίζοντες γεγονότων μαύρων τρυπών, περιγράφονται από την ολογραφική κβαντική θεωρία πεδίου χωρίς βαρύτητα. Το πρόβλημα με το οποίο ασχολήθηκε ο **Λάμπρος Λάμπρου** στην ομιλία του είναι η περιγραφή της «εμπειρίας» ενός κλασσικού σωματιδίου που πέφτει μέσα σε μια μαύρη τρύπα από τη σκοπιά της ολογραφικής κβαντομηχανικής θεωρίας. Χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο κβαντικό μοντέλο (SYK model) έδωσε ενδείξεις ότι η δικιά του πρόταση όντως περιγράφει το σωματίδιο ακόμα και αφού έχει περάσει τον ορίζοντα γεγονότων της μαύρης τρύπας.

(2) Η **κβαντική βαρύτητα** είναι μια πολύπτυχη θεωρία όπου απώτερος σκοπός είναι η ομαλή ενο-



ποίηση της βαρύτητας και της κβαντομηχανικής. Η θεωρία βαρύτητας είναι, όπως όλοι γνωρίζουμε, μια θεωρία που περιγράφει την φυσική του μακρόκοσμου (πλανητικό σύστημα, γαλαξίες, κλπ) και σε μεγάλες κλίμακες ή καμπυλότητες περιγράφεται ως επί το πλείστον από την γενική θεωρία της σχετικότητας. Από την άλλη μεριά, η κβαντομηχανική είναι μια θεωρία που περιγράφει τον μικρόκοσμο στην βάση μιας πιθανοκρατικής και στατιστικής αντίληψης. Ένας από τους λόγους που αυτές οι θεωρίες δεν συνδυάζονται εύκολα οφείλεται, κυρίως, στον ιδιαίτερο χαρακτήρα της βαρύτητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ενοποίηση των άλλων θεμελιωδών δυνάμεων της φύσης (ηλεκτρομαγνητισμός, ισχυρή και ασθενής δύναμη) των οποίων γνωρίζουμε τον κβαντικό χαρακτήρα. Ενώ υπάρχουν αρκετές προτεινόμενες θεωρίες κβαντικής βαρύτητας η επικρατέστερη είναι η θεωρία υπερχορδών. Μάλιστα η τελευταία, ενώ αρχικά είχε προταθεί σαν μια θεωρία των ισχυρών αλληλεπιδράσεων, σε έναν αναπάντεχο και μη σχετιζόμενο με την βαρύτητα υπολογισμό, μας δίνει τις εξισώσεις Einstein στο κενό. Έτσι έκτοτε, στην επιστημονική κοινότητα επικράτησε η αντίληψη ότι θεωρία υπερχορδών δεν είναι μόνο μια θεωρία ενοποίησης αλλά επίσης μια θεωρία κβαντικής βαρύτητας. Σε μια τέτοια προσπάθεια αναφέρεται η ομιλία της **Χρυσούλας Μάρκου**, όπου η θεωρία του Αϊνστάιν τροποποιείται με την χρήση δύο μετρικών (δι-μετρική βαρύτητα). Η Χρυσούλα μας παρουσίασε έναν ενδιαφέρον υπολογισμό όπου συνέκρινε τα αποτελέσματα της διμετρικής βαρύτητας με τα αντίστοιχα της θεωρίας των υπερχορδών, δίνοντας σημαντική ένδειξη ότι η τελευταία περιλαμβάνει όντως όλες της πιθανές επεκτάσεις της θεωρίας βαρύτητας του Einstein.



3) Η **θεωρία χορδών** είναι μια κβαντική θεωρία που επιχειρεί να ενοποιήσει τις αλληλεπιδράσεις της φύσης. Βασική της αρχή είναι ότι θεμελιώδη αντικείμενα δεν είναι σωματίδια, αλλά μικροσκοπικές ταλαντούμενες χορδές. Τα σωματίδια τότε προκύπτουν ως τρόποι ταλάντωσης των χορδών. Ένα από τα σωματίδια που προκύπτουν από αυτούς τους τρόπους ταλάντωσης είναι το βαρυτόνιο –το πιθανό στοιχειώδες κβάντο της βαρυτικής αλληλεπίδρασης– επομένως η θεωρία χορδών είναι μια υποψήφια θεωρία κβαντικής βαρύτητας! Επιπλέον στη θεωρία χορδών εμφανίζονται θεωρίες βαθμίδας, οι θεωρίες δηλαδή που περιγράφουν τις ηλεκτρομαγνητικές και τις πυρηνικές δυνάμεις. Είναι άρα ένα θεωρητικό πλαίσιο που ενοποιεί όλες τις γνωστές αλληλεπιδράσεις.

Η κλασική θεωρία χορδών χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο συμμετριών. Κατά την κβάντωση κάποιες από αυτές τις συμμετρίες «σπάνε» (κβαντικές ανωμαλίες), κάνοντας τη θεωρία μη συνεπή. Η μόνη περίπτωση στην οποία η θεωρία δεν έχει ανωμαλίες είναι αν οι χορδές ζουν σε χώρο 10 διαστάσεων, πολύ περισσότερες από τις 4 που γνωρίζουμε. Αν όμως θέλουμε η θεωρία να περιγράφει τη φύση, πρέπει οι «έξτρα» διαστάσεις να μην είναι παρατηρήσιμες τουλάχιστον στις κλίμακες στις οποίες έχουμε πειραματική πρόσβαση εμείς. Για να αποφευχθεί αυτό έχει προταθεί η λεγόμενη συμπαγοποίηση (compactification) των έξτρα διαστάσεων. Μπορεί να το σκεφτεί κανείς σαν ένα πολύ μακρύ και λεπτό καλώδιο: αν το κοιτάξουμε από απόσταση μοιάζει σαν μια γραμμή και μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε σαν μονοδιάστατο αντικείμενο, αλλά αν πλησιάσουμε αρκετά κοντά θα δούμε ότι είναι δισδιάστατο. Η μια διάσταση όμως εκτείνεται σε ένα πολύ μικρό κύκλο. Έτσι στη θεωρία χορδών οι 6 επιπλέον διαστάσεις θέλουμε να εκτείνονται σε αντίστοιχους χώρους 6 διαστάσεων που μοιάζουν με μικρούς «κύκλους». Παραδείγματα τέτοιων χώρων έχουν μελετηθεί εκτενώς από μαθηματικούς και λέγονται χώροι «Calabi-Yau».

Όμως το πλήθος τέτοιων χώρων είναι τεράστιο και κάθε διαφορετική επιλογή αυτών έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικούς φυσικούς νόμους. Επιπλέον, στη διαδικασία της συμπαγοποίησης εισάγονται πεδία ανώτερων διαφορικών μορφών (γενικεύσεις του

ηλεκτρομαγνητικού πεδίου), οι ροές των οποίων καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του σύμπαντος που προβλέπει η θεωρία. Αν επομένως θέλουμε η θεωρία χορδών να περιγράφει τη φύση, πρέπει να βρούμε τις κατάλληλες παραμέτρους που προβλέπουν τα χαρακτηριστικά του σύμπαντος που παρατηρούμε. Η έρευνα του **Δημήτρη Τουλικά** στοχεύει σε κατασκευές θεωρίας χορδών που προβλέπουν σύμπαν με θετική κοσμολογική σταθερά (de Sitter universe).

Από την άλλη η θεωρία χορδών, ως θεωρία κβαντικής βαρύτητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα «θεωρητικό εργαστήριο» για να μας δώσει πληροφορίες για θεωρίες βαρύτητας. Συγκεκριμένα μπορούμε να υπολογίσουμε τα όρια χαμηλών ενεργειών στη θεωρία χορδών και να συλλέξουμε πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των ενεργών θεωριών που προκύπτουν. Αυτά τα χαρακτηριστικά με τη σειρά τους μπορούν να θέσουν περιορισμούς στις θεωρίες που μπορούν να προκύψουν ως όρια χαμηλών ενεργειών μιας θεωρίας κβαντικής βαρύτητας. Αυτό είναι το «Swampland program» και αποτελεί ερευνητικό ενδιαφέρον της **Ανδριάνας Μακρίδου**.

4) Ο τομέας της **κοσμολογίας** προσφέρει μια πλούσια αρένα για την μελέτη και βαθύτερη κατανόηση της θεμελιώδους φύσης της **βαρύτητας**. Θέματα όπως αρχή και η διαστολή του σύμπαντος καθώς και η δημιουργία δομών (πλανητών, αστερών, γαλαξιών κλπ.) απαιτούν για τη πλήρη περιγραφή τους τη βαρύτητα. Η τεχνολογική πρόοδος και η συλλογική και συστηματική προσπάθεια ετών της επιστημονικής κοινότητας έχει καταστήσει δυνατή την διεκπεραίωση παρατηρήσεων ακριβείας, κοσμολογικής εμβέλειας (βαρυτικά κύματα, βαρυτική καμπύλωση φωτός), οι οποίες δύνανται να καθοδηγήσουν τη θεωρητική κατανόηση της βαρύτητας. Η Γενική Σχετικότητα είναι η επικρατέστερη θεωρία βαρύτητας και συμβαδίζει με πολλά πειραματικά δεδομένα, αλλά ταυτόχρονα υπάρχουν σημαντικά ανοιχτά ερωτήματα που αποτυγχάνει να εξηγήσει, όπως για παράδειγμα τη φύση της σκοτεινής ύλης και ενέργειας ή τον πληθωρισμό (cosmological inflation).

Η περιγραφή της βαρύτητας με όρους γεωμετρίας είναι ευρέως διαδεδομένη και έχει προσφέρει την εξήγηση δυσνόητων φαινομένων όπως η βαρυτική διαστολή και συστολή του χρόνου. Η Γενική Σχετικότητα χρησιμοποιεί τη γεωμετρία του Riemann για να μελετήσει τη βαρύτητα. Έχοντας ως κίνητρο να προσφέρουν απαντήσεις σε ανοιχτά θεμελιώδη ερωτήματα της βαρύτητας και της κοσμολογίας, όπως τα προαναφερθέντα, μεγάλο μέρος έρευνας κατευθύνεται στην κατασκευή και μελέτη θεωριών βαρύτητας πέρα από τη Γενική Σχετικότητα. Η ομιλία του **Δαμιανού Ιωσηφίδη** μας εισάγει σε μια πιθανή κατεύθυνση, η οποία έχει ως βασικό στοιχείο τη χρήση non-Riemannian geometry. Πιο συγκεκριμένα συζητήθηκαν οι λεγόμενες θεωρίες Metric-Affine Gravity, όπου βασικά χαρακτηριστικά που τις διαφοροποιούν από τη Γενική Σχετικότητα είναι η συστροφή (torsion) και η μη-μετρικότητα (non-metricity).

String theory in a nutshell II

- String Phenomenology: Interplay of ST & Particle physics.
- Issues of boson string: no fermions, tachyons in spectrum.
- Solution: Add fermions, go to supersymmetric theory.
- Now $D=10 \rightarrow 5$ consistent superstring theories.

Diagram illustrating the unification of string theories into M-theory:

- Hel $E_8 \times E_8$
- Hel $SO(32)$
- Hel - $SU(4)$
- Type I
- Type IIA
- Type IIB
- Type IIA

M-theory

zoom

5) Η **κβαντική πληροφορία** ξεκίνησε ως ο κλάδος που διαπραγματεύεται την υλοποίηση και διαχείριση των κβαντικών υπολογιστών, μια νέα γενιά υπολογιστών με βασικές αρχές που προέρχονται από κβαντομηχανικά φαινόμενα. Στην σύγχρονη εκδοχή της ωστόσο φιλοξενεί διάφορες θεωρίες που χρησιμοποιούν την έννοια της πληροφορίας ως κεντρική φυσική οντότητα της κβαντομηχανικής. Βασική μονάδα αυτής της πληροφορίας αποτελούν τα qubits, κβαντικά συστήματα με δύο μόνο πιθανές ενεργειακές καταστάσεις το λογικό 0 και 1.

Μια από τις κυρίαρχες πλατφόρμες φορέα κβαντικής πληροφορίας αποτελούν τα υπεραγώγιμα qubits. Ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων του συστήματος, τα υπεραγώγιμα αυτά κυκλώματα παρουσιάζουν διαφορετικές μακροσκοπικές συμπεριφορές με βάση τις οποίες και κατηγοριοποιούνται. Μια από αυτές τις κατηγορίες είναι τα transmon και αυτό το είδος των qubit είναι που συναντάμε στους πρωτότυπους κβαντικούς επεξεργαστές της IBM και της Google.

Οι συγκεκριμένες μηχανές ωστόσο δεν αποτελούν κβαντικούς υπολογιστές, υπό την έννοια της πληρότητας των κριτηρίων DiVincenzo, αλλά πρόκειται για τις λεγόμενες NISQ (Noisy Intermediate Scale Quantum) συσκευές και απαρτίζονται από έναν αριθμό qubits της τάξης του ~100. Για να πραγματοποιήσουμε κάποιον αξιόλογο υπολογισμό ωστόσο χρειαζόμαστε περίπου τέσσερις τάξεις μεγέθους περισσότερα qubits και επομένως οποιαδήποτε μελέτη ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη φαινόμενα φυσικής πολλών σωμάτων και μάλιστα κβαντικών συστημάτων.

Ένα φαινόμενο που υπάγεται σε αυτήν την κατηγορία αποτελεί το κβαντικό χάος. Τα κβαντικά χαοτικά συστήματα αποτελούν συστήματα των οποίων η Χαμιλτονιανή αντιστοιχεί σε κάποιο κλασικό μη γραμμικό δυναμικό σύστημα και χαρακτηρίζονται από εκθετική απόκριση ακόμη και σε μικρές διαταραχές του συστήματος. Είναι ξεκάθαρο λοιπόν ότι για να έχουμε ελεγχόμενες μηχανές ακριβείας θα πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι τα συστήματά μας δεν εμφανίζουν τέτοια συμπεριφορά. Αντίθετα με την αρχική μας διαίσθηση πιθανά, κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί εισάγοντας αταξία/τυχαιότητα στην ρύθμιση του συστήματος και συγκεκριμένα με το να αποφύγουμε να έχουμε δύο οποιαδήποτε qubits με

το ίδιο ενεργειακό εύρος/ίδια συχνότητα, δηλαδή με την αποφυγή συντονισμών. Διαισθητικά μπορούμε να επιλύσουμε αυτό το παράδοξο αν αναλογιστούμε ότι ένα πλήθος ανθρώπων που διασχίζουν μια γέφυρα με τυχαίο βηματισμό έκαστος, δεν διατρέχουν κανένα κίνδυνο, ωστόσο ένα πλήθος το οποίο παρελαύνει με τον ίδιο βηματισμό διατρέχει τον κίνδυνο να καταρρίψει την γέφυρα μέσω συντονισμού.

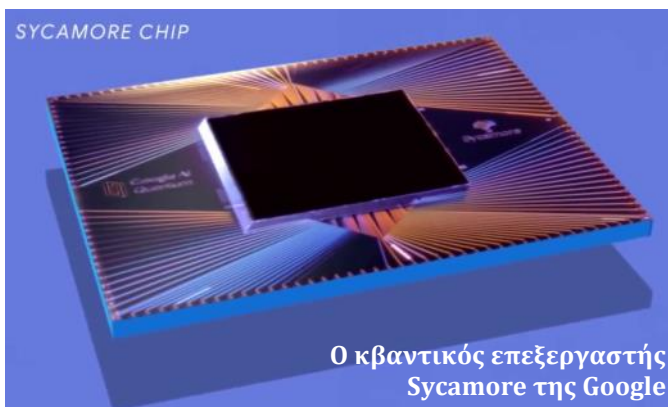
Αυτή είναι μόνο μία κατεύθυνση από τον πλούσιο τομέα της κβαντικής πληροφορίας και ήταν το περιεχόμενο της ομιλίας του **Ευάγγελου Βαρβέλη**.

6) Η **κβαντική θεωρία πεδίου** (quantum field theory - QFT) είναι ένα θεωρητικό πλαίσιο που ενοποιεί την ειδική θεωρία της σχετικότητας και την κβαντομηχανική. Η QFT χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ύλη και τις αλληλεπιδράσεις της. Όπως στην κβαντομηχανική, τα παρατηρούμενα μεγέθη είναι αναμενόμενες τιμές τελεστών. Όμως τα βασικά αντικείμενα που μελετάμε δεν είναι πλέον σωματίδια (με εντοπισμένη θέση και ορμή), αλλά πεδία που εκτείνονται σε όλο το χώρο και το χρόνο! Έτσι, σκεφτόμαστε την ύλη σαν ένα συνεχές μέσο το οποίο ταλαντώνεται και κάθε τρόπος ταλάντωσης (συντελεστής Fourier) περιγράφει ένα σωματίδιο.

Ο μικρόκοσμος, όπως τον γνωρίζουμε σήμερα, περιγράφεται από μοντέλα της QFT. Η κβαντική ηλεκτροδυναμική (quantum electrodynamics - QED) περιγράφει με τεράστια ακρίβεια το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και τις αλληλεπιδράσεις του με την ύλη. Η επέκταση της μάλιστα, το καθιερωμένο πρότυπο (standard model), είναι ένα μοντέλο που ενοποιεί τις τρεις από τις τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις στη φύση. Το ενδιαφέρον για τη μελέτη της QFT δε σταματάει στην περιγραφή των στοιχειωδών σωματιδίων, καθώς έχει ευρεία εφαρμογή στη φυσική στερεάς κατάστασης και στη φυσική συμπυκνωμένης ύλης. Η QFT είναι θεμέλιος λίθος της σύγχρονης φυσικής!

Εκτός από αρετές, η QFT συνοδεύεται και από πολλά δυσεπίλυτα προβλήματα: ο υπολογισμός των παρατηρήσιμων μεγεθών είναι εξαιρετικά δύσκολος. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι υπολογισμοί είναι δυνατοί στα πλαίσια θεωρίας διαταραχών, από την οποία προκύπτουν τα περίφημα διαγράμματα Feynman. Όμως ακόμα και για τις πιο απλές διαδικασίες χρειάζεται κανείς να επιλύσει δύσκολα ολοκληρώματα. Εξάιρεση αποτελούν θεωρίες υψηλής συμμετρίας, στις οποίες οι υπολογισμοί είναι απλούστεροι και πολλές φορές ακριβείς, δεν είναι δηλαδή προσεγγίσεις με θεωρία διαταραχών.

Αυτά τα μοντέλα μελετά ο **Γιώργος Ίτσιοις**. Τα non-linear sigma models (NLSM) είναι θεωρίες ορισμένες σε κατάλληλους χώρους, ώστε να έχουν άπειρες διατηρούμενες μεταβλητές σε εξέλιξη. Τέτοιες θεωρίες λέγονται ολοκληρώσιμες και αποτελούν γενίκευση των ολοκληρώσιμων συστημάτων της κλασικής μηχανικής στη θεωρία πεδίου. Τα NLSM έχουν εφαρμογές στη θεωρία χορδών και στη φυσική μελανών οπών.



Στις 27/7/2021 έγινε η αναγόρευση των νέων πτυχιούχων του Τμήματος. Η απονομή πτυχίων πραγματοποιήθηκε ηλεκτρονικά και ταχυδρομικώς λόγω της πανδημίας του κορωνοϊού.

ΑΘΑΝΑΣΛΕΡΗ ΘΕΟΔΩΡΑ • ΑΜΑΞΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ • ΑΝΔΡΕΑΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ ΠΕΤΡΟΣ • ΑΡΑΜΠΑΤΖΗ ΜΙΧΑΕΛΑ • ΑΥΓΟΥΣΤΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ • ΒΑΡΒΟΥΤΗ ΔΗΜΗΤΡΑ • ΒΕΡΓΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΒΕΡΥΚΙΟΥ ΕΙΡΗΝΗ • ΒΛΑΧΟΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ ΝΕΙΛΟΣ • ΒΛΟΝΤΖΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ • ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ-ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΒΟΥΤΑΣ-ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ • ΒΡΕΤΙΝΑΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΒΥΖΙΗΝΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ • ΓΕΩΡΓΟΥΣΗ ΜΑΡΙΑ • ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ • ΓΙΑΤΙΣΑΚΗ ΕΛΕΝΗ • ΓΚΕΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΓΚΙΑΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΓΚΟΡΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΡΑΦΑΗΛ • ΔΕΛΗΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΣΠΥΡΙΔΩΝ • ΔΕΡΜΕΝΤΖΟΓΛΟΥ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ • ΔΗΜΗΤΡΟΥΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ ΑΓΓΕΛΟΣ • ΖΑΧΑΡΑΚΗ ΖΩΗ • ΖΙΑΚΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ • ΙΤΣΑΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ • ΚΑΚΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ • ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ ΙΟΡΔΑΝΗΣ • ΚΑΡΑΚΙΤΣΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΚΑΡΑΚΟΥΛΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΚΑΡΑΜΠΑΛΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ • ΚΑΡΑΝΤΙΝΟΥ ΕΙΡΗΝΗ • ΚΑΡΑΤΣΙΟΜΠΑΝΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ ΑΡΣΕΝΙΟΣ • ΚΕΣΑΠΙΔΟΥ ΑΝΝΑ ΜΑΡΙΑ • ΚΕΣΑΠΙΔΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ • ΚΕΣΚΙΝΗ ΖΩΗ • ΚΕΦΑΛΑ ΓΕΩΡΓΙΑ-ΜΑΡΙΑ • ΚΛΕΙΣΑΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΚΟΥΡΝΟΥΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΚΥΡΙΑΖΗΣ ΜΙΧΑΗΛ • ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΛΕΜΟΝΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ • ΛΟΚΟΒΙΤΟΥ ΕΛΕΝΗ • ΜΑΓΚΛΑΡΑ ΜΥΡΤΩ • ΜΑΝΔΑΝΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ • ΜΑΝΤΟΥΒΑΛΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ • ΜΑΤΤΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ • ΜΑΥΡΟΥΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ • ΜΟΥΣΤΑΚΑ ΕΛΕΝΗ • ΜΠΑΔΙΑΝΟΥΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΕΦΡΑΙΜ • ΜΠΑΜΠΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΜΠΑΧΑΡΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ • ΜΠΟΥΝΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΜΠΟΥΡΓΑΝΟΣ ΡΑΦΑΗΛ • ΜΠΥΡΟΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ • ΜΥΓΔΑΛΑΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ • ΝΙΚΟΛΟΥΔΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ • ΝΤΕΒΕΤΟΥΔΗ ΕΛΕΝΗ • ΞΥΝΑΔΑ ΒΑΣΙΛΕΙΑ • ΠΑΛΟΥΡΤΗ ΜΑΡΙΑ • ΠΑΝΤΕΛΙΔΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ • ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΠΑΠΑΚΩΣΤΑ ΦΩΤΕΙΝΗ • ΠΑΠΠΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ • ΠΑΠΠΑ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ • ΠΟΥΡΝΑΡΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΕΛΕΝΗ • ΠΡΕΒΕΖΑΝΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ • ΡΑΦΑΗΛΙΔΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ • ΡΕΒΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΑΦΑΗΛ • ΣΑΡΙΚΕΪΣΟΓΛΟΥ ΙΟΡΔΑΝΗΣ • ΣΙΔΗΡΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΣΤΑΓΓΙΔΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ • ΣΤΑΜΟΥΛΗ ΙΩΑΝΝΑ • ΣΤΟΥΠΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΣΤΡΑΒΟΓΙΑΝΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΣΤΡΑΝΤΖΑΛΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ • ΤΟΠΚΑΣ ΣΤΑΥΡΟΣ • ΤΡΕΜΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ • ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΑΡΧΟΝΤΙΑ • ΤΣΑΝΤΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΤΣΙΑΡΑ ΧΡΥΣΑΝΘΗ • ΤΣΙΜΠΙΤΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ • ΦΑΣΟΥΛΑΚΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΦΟΡΤΑΤΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΦΡΑΝΤΖΕΛΑ ΜΑΡΙΑΝΑ • ΧΑΛΚΙΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Στις 19/11/2021 ορκίστηκαν οι νέοι πτυχιούχοι του Τμήματος σε μία υβριδική (δια ζώσης και εξ αποστάσεως) εκδήλωση.

ΑΓΓΕΛΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ • ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΟΥ ΑΛΙΚΗ-ΔΕΣΠΟΙΝΑ • ΑΚΡΙΤΑΣ ΞΕΝΟΦΩΝ • ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ • ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΟΥ ΕΛΙΣΑΒΕΤ • ΑΡΑΜΠΑΤΖΗ ΕΛΕΝΗ • ΑΡΓΥΡΙΑΔΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ • ΑΡΧΟΝΤΗ ΣΤΕΦΑΝΙΑ • ΑΣΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΟΔΥΣΣΕΑΣ • ΒΑΙΤΣΟΠΟΥΛΟΣ ΦΩΤΙΟΣ • ΒΑΚΟΥΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΡΑΦΑΗΛ • ΠΑΜΟΥΚΗ ΘΕΟΔΟΣΙΑ • ΠΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΑΝΘΙΑ • ΠΙΟΒΑΝΟΥΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΔΑΔΗΛΑΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ • ΔΑΡΑΒΙΓΚΑ ΖΩΓΡΑΦΙΑ • ΔΕΣΙΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ • ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ • ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΛΛΗ • ΔΙΑΜΑΝΤΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ • ΕΜΙΝΟΓΛΟΥ ΑΛΠΑΪ • ΖΑΦΕΙΡΙΟΥ ΛΑΪΟΣ • ΘΕΜΕΛΗ ΡΑΦΑΗΛΑ • ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ • ΚΑΛΑΝΤΖΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΚΑΠΛΑΝΗ ΑΘΗΝΑ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ • ΚΑΠΛΑΝΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ • ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ • ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΑΚΙΔΟΥ ΣΑΜΣΑΡΕΛΟΥ ΜΥΡΤΩ • ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΚΑΣΤΑΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΚΑΤΣΑΡΑ ΑΝΔΡΟΜΑΧΗ • ΚΑΤΣΑΡΟΥ ΕΙΡΗΝΗ • ΚΑΤΣΟΥΛΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ-ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΚΕΚΚΟΥ ΦΡΑΓΚΕΣΚΟΣ • ΚΕΣΑΝΛΗ ΔΗΜΗΤΡΑ • ΚΕΦΑΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΚΟΥΓΚΑ ΕΥΓΕΝΙΑ ΦΑΝΗ • ΚΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΚΡΟΚΙΔΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΚΩΣΤΑΡΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΚΩΣΤΙΚΗ ΧΡΥΣΗ • ΛΑΖΑΡΙΔΟΥ ΜΥΡΟΦΟΡΑ • ΛΑΜΠΡΙΝΑΚΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΛΕΩΝΙΔΟΥ ΤΙΝΑ • ΛΙΑΛΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ • ΛΙΑΜΗ ΖΩΗ • ΛΙΑΠΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ • ΛΥΜΠΕΡΙΑΔΟΥ ΕΙΡΗΝΗ • ΜΑΛΛΟΥΣΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΜΑΥΡΙΔΟΥ ΗΛΙΑΝΑ • ΜΕΛΛΙΟΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ • ΜΗΤΣΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΜΙΧΑΛΑΚΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΦΟΙΒΟΣ • ΜΟΥΤΖΟΥΡΗΣ ΗΛΙΑΣ • ΜΠΑΜΙΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ • ΜΠΑΝΤΗΣ ΠΕΤΡΟΣ • ΜΠΑΣΔΕΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΝΑΤΣΙΚΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ • ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΖΑΧΑΡΙΑΣ • ΝΙΝΙΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΠΑΛΑΤΙΑΝΟΥ ΕΛΕΝΗ • ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΡΑΦΑΗΛ • ΠΑΡΛΑΠΑΝΗ ΖΩΗ • ΠΑΡΜΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ • ΠΕΛΕΚΑΣ ΛΑΖΑΡΟΣ • ΠΕΤΣΑΛΗ ΕΛΕΝΗ • ΠΕΦΑΝΗΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ • ΠΙΤΣΙΛΗ ΑΡΤΕΜΙΣ • ΠΛΟΥΜΙΣΤΟΥ ΣΟΦΙΑ • ΠΟΝΤΙΚΑΣ ΖΗΣΗΣ • ΠΟΥΤΛΗ ΜΑΡΙΑ • ΠΡΑΒΙΤΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ • ΠΡΙΝΤΖΙΟΣ ΡΑΦΑΗΛ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΠΡΟΥΝΤΖΟΥ ΕΛΕΝΗ • ΣΑΕΣ ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΥ ΕΛΕΝΑ ΙΝΕΣ • ΣΑΜΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΣΟΥΛΤΑΝΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ • ΣΟΥΡΛΑΝΤΖΗ ΜΑΡΙΑ • ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΣΤΕΦΑΝΗΣ ΜΙΧΑΗΛ • ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΤΑΓΚΙΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΤΕΚΙΡΔΑΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ • ΤΖΑΝΝΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ • ΤΖΙΜΠΑ ΧΡΙΣΤΙΝΑ • ΤΗΚΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ • ΤΡΥΓΩΝΙΑΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ • ΤΣΑΛΑΠΑΤΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ • ΤΣΑΦΑΡΙΔΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ • ΤΣΕΒΡΕΝΤΖΗ ΕΛΕΝΗ • ΤΣΙΤΛΑΚΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ • ΦΩΤΙΑΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ • ΦΩΤΙΔΟΥ ΦΩΤΕΙΝΗ • ΧΑΛΔΟΓΕΡΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ • ΧΑΡΙΤΟΠΟΥΛΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ • ΧΑΤΖΗ ΜΑΡΙΝΑ • ΧΑΤΖΗΙΩΑΝΝΟΥ ΙΩΑΝΝΑ ΕΛΙΣΑΒΕΤ • ΨΑΡΡΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

* παρτίθενται μόνο τα ονόματα αυτών που συναινέσαν

Την Πέμπτη 9/9/2021 ορκίστηκαν οι νέοι διδάκτορες του τμήματος

- ▶ **Θεόδωρος Ασλανίδης** (επιβλ. Κ. Χρυσάφης): "Οι στάσεις και οι πεποιθήσεις των μαθητών της Α' Λυκείου των δημόσιων σχολείων της Κύπρου απέναντι στο μάθημα και την επιστήμη της Φυσικής".
- ▶ **Παναγιώτης Ιωσήφ** (επιβλ. Ν. Στεργιούλας): "Μοντέλα Σχετικιστικών Αστέρων ως Υπολείμματα της Συγχώνευσης Αστέρων Νετρονίων".
- ▶ **Ιωάννης Καρδαράς** (επιβλ. Μ. Καλλέρη) "Διερευνητική μάθηση: Ανάπτυξη, Εφαρμογή και Αξιολόγηση μιας διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας στο Η/Μ φάσμα αστρικών πηγών".
- ▶ **Σεραφείμ Κόντος** (επιβλ.: Δ. Μελάς) "Ανάπτυξη και αξιολόγηση μοντέλου φυσικών εκπομπών ερμηικής σκόνης".
- ▶ **Αθανάσιος Μανούσος** (επιβλ. Χ. Ελευθεριάδης): "Μελέτη πεδίων ακτινοβολίας υποστρώματος προκαλούμενου από τη δέσμη στο ATLAS και στις μελλοντικές αναβαθμίσεις".
- ▶ **Γεωργία Πουρουτζίδου** (επιβλ. Κ. Παρασκευόπουλος): "Σύνθετα νανο-βιοκεραμικά / πολυμερικά ικρίωματα για οστική αναγέννηση: Σύνθεση και μελέτη δομικών και μηχανικών ιδιοτήτων".
- ▶ **Γεωργία Τόλη** (επιβλ. Μ. Καλλέρη): "Ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση μεθοδολογίας για τη δημιουργία κινήτρων μάθησης της φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση: Η περίπτωση της ενέργειας".

The PATH to PLANCKS



Hellenic Preliminary

Φέτος,
ο προκριματικός
διαγωνισμός
Θεωρητικής Φυσικής
PLANCKS της Ελλάδας
θα διεξαχθεί στην
Θεσσαλονίκη τις
26 και 27
Μαρτίου 2022

Ο διαγωνισμός θα πραγματοποιηθεί
διά ζώσης και θα είναι δύο μέρες
γεμάτες με διαλέξεις τόσο φοιτητών
όσο και καθηγητών, workshops και
πολλές άλλες εκπλήξεις! Η ομάδα μας
είναι ενθουσιασμένη για αυτό που
προετοιμάζει και ανυπομονεί να το
μοιραστεί μαζί σας!

Οι δράσεις θα ξεκινάνε
πρωινές ώρες και θα
λαμβάνουν τέλος αργά το
απόγευμα, ενώ στο
ενδιάμεσο θα υπάρχουν
διάφορα διαλείμματα.

Ο διαγωνισμός
θα πραγματοποιηθεί το
Σάββατο 26 Μαρτίου, όπου
οι διαγωνιζόμενες ομάδες
θα έχουν στη διάθεσή τους
3 ώρες για να επιλύσουν τα
θέματα που θα μπουν από
διακεκριμένους καθηγητές
του Τμήματος Φυσικής ΑΠΘ.