

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Λάμπουρα Στεφανία

Βραβείο NOBEL Φυσικής 2018 εξέλιξη των λέιζερ

**ΤΗΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑΣ: Καραμάνη Βαρβάρα
Α.Γ.Μ: 4250**

**Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας: 17/05/20
Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:**

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ : Τσούλης Νικόλαος

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	4
1.1 Γενική Επισκόπηση.....	4
1.2 Βραβεία Νόμπελ	4
1.2.1 Alfred Nobel	4
1.2.2 Ιστορία των βραβείων.....	5
1.2.3 Νόμπελ Φυσικής.....	7
1.3 Φυσική των λέιζερ.....	8
1.3.1 Οπτική και φωτονική.....	8
1.3.2 Τι είναι το λέιζερ	8
1.3.3 Ιστορία της εφεύρεσης του λέιζερ.....	9
1.3.4 Αρχές λειτουργίας της ακτινοβολίας λέιζερ	10
1.3.5 Χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας λέιζερ	11
1.3.6 Είδη λέιζερ.....	12
1.3.7 Εφαρμογές των λέιζερ	12
1.4 Διάρθρωση Κειμένου	13
Κεφάλαιο 2: Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2018.....	14
2.1 Γενική Επισκόπηση.....	14
2.2 Optical Tweezers	14
2.2.1 Ιστορία.....	14
2.2.2 Θεωρία	15
2.3 Chirped Pulse Amplification	18
2.3.1 Ιστορία.....	18
2.3.2 Θεωρία	19
Κεφάλαιο 3: Πρακτικές εφαρμογές του λέιζερ.....	21
3.1 Γενική Επισκόπηση.....	21
3.2 Εφαρμογές των Optical Tweezers.....	21
3.3 Εφαρμογές του Chirped Pulse Amplification	22
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα	25
4.1 Μελλοντική Μελέτη	25
4.1.1 Άλλα Νόμπελ σχετικά με το λέιζερ	25
4.1.2 Νόμπελ Φυσικής 2019 & 2020.....	28
4.2 Συμπεράσματα.....	30
Ακρωνύμια και συντομογραφίες	32
Βιβλιογραφία	33

Περίληψη

Βραβείο NOBEL Φυσικής 2018 εξέλιξη των λέιζερ

Το βραβείο Νόμπελ Φυσικής (αγγλ. Nobel Prize in Physics) αποτελεί ένα ετήσιο διεθνές βραβείο που απονέμεται από τη Σουηδική Βασιλική Ακαδημία των Επιστημών. Πρόκειται για έναν θεσμό με μεγάλη ιστορία, καθώς το πρώτο Νόμπελ φυσικής δόθηκε στο μακρινό 1901 (είχε απονεμηθεί στον φυσικό Wilhelm Röntgen για την ανακάλυψη των ακτίνων X). Αυτό το βραβείο είναι ευρέως αποδεκτό ως τη σπουδαιότερη διάκριση που μπορεί να λάβει ένας επιστήμονας στον τομέα της φυσικής.

Το Nobel Φυσικής που απονεμήθηκε το 2018 σχετίζονταν με το λέιζερ (αγγλ. *laser*). Το λέιζερ πρόκειται για μία συσκευή που εκπέμπει στενές δέσμες υψηλής έντασης από συμφασικό, μονοχρωματικό φως (δηλαδή με συγκεκριμένο μήκος κύματος). Η λέξη laser είναι ακρωνύμιο του *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Στα ελληνικά, μπορεί να αποδοθεί και ως *ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας*. Οι βάσεις για την κατασκευή του είχαν τεθεί αρκετά χρόνια νωρίτερα από την εφεύρεσή του, η οποία κατοχυρώνεται στον Αμερικανό Theodore H. Maiman, το 1960. Τα λέιζερ έχουν ποικίλες εφαρμογές όπως σε οπτικούς δίσκους, οπτικές ίνες, εκτυπωτές κ.ά.

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, η Σουηδική Βασιλική Ακαδημία των Επιστημών αποφάσισε να απονεμίσει το Nobel Φυσικής του 2018, για δύο καινοτόμες εφευρέσεις στον τομέα της φυσικής των λέιζερ. Το πρώτο μισό του βραβείου το παρέλαβε ο Αμερικανός Arthur Ashkin για τις οπτικές λαβίδες (αγγλ. optical tweezers) και τις εφαρμογές τους στα βιολογικά συστήματα. Το δεύτερο μισό του βραβείου δόθηκε από κοινού στον Γάλλο Gérard Albert Mourou και στην Καναδή Donna Thea Strickland, για τη μέθοδό τους για παραγωγή πολύ κοντών, αλλά με μεγάλη ένταση οπτικών παλμών.

Ο στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση και η ερμηνεία του πρωτοποριακού αυτού έργου πάνω στη φυσική των λέιζερ που οδήγησε στην απονομή του Νόμπελ Φυσικής το 2018. Θα διερευνήσουμε το επιστημονικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίχθηκαν, καθώς και τις εφαρμογές των σπουδαίων αυτών εφευρέσεων σχετικών με το λέιζερ.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενική Επισκόπηση

Για την κατανόηση της σημασίας και της σπουδαιότητας των ανακαλύψεων που οδήγησαν στο Νόμπελ Φυσικής του 2018 κρίνεται απαραίτητη μία εισαγωγή στις βασικές έννοιες και στο θεωρητικό υπόβαθρο που είναι αναγκαίο για τον αναγνώστη. Στο Κεφάλαιο αυτό, λοιπόν, θα παρουσιάσουμε ορισμένα ιστορικά στοιχεία για το θεσμό των βραβείων Νόμπελ, καθώς και μερικές βασικές πληροφορίες για τη φυσική των λέιζερ.

1.2 Βραβεία Νόμπελ

1.2.1 Alfred Nobel

Στις 21 Οκτωβρίου του 1833 γεννήθηκε στη Στοκχόλμη της Σουηδίας ο Alfred Bernhard Nobel, ο οποίος αργότερα θα γίνονταν ένας διάσημος επιστήμονας, εφευρέτης, επιχειρηματίας και ιδρυτής των ομώνυμων βραβείων. Ο Alfred Nobel ήταν ο τρίτος υιός του επίσης μηχανικού και εφευρέτη Immanuel Nobel και της Karolina Andriette.



Σχήμα 1: Ο Σουηδός Alfred Bernhard Nobel (1833-1896)

Ο νεαρός Alfred είχε ως κύρια ενδιαφέροντα τη λογοτεχνία, τη χημεία και τη φυσική. Ο πατέρας του, παρόλα αυτά, βλέποντας την αγάπη του γιου του για την ποίηση, αποφάσισε να τον στείλει να σπουδάσει ως χημικός μηχανικός, θέλοντας ουσιαστικά το παιδί του να ακολουθήσει στα δικά του χνάρια.

Ο Alfred Nobel δούλεψε στο Παρίσι πλάι σε έναν Ιταλό χημικό, τον Ascanio Sobrero, ο οποίος εφηύρε τη *νιτρογλυκερίνη*. Η νιτρογλυκερίνη πρόκειται για ένα άκρως εκρηκτικό υγρό, το οποίο μέχρι τότε δεν μπορούσε να γίνει εκμεταλλεύσιμο σε πρακτικές εφαρμογές. Ο Alfred άρχισε από

τότε να προσπαθεί να εκμεταλλευτεί τη νιτρογλυκερίνη, ώστε να μπορεί αυτή να χρησιμοποιηθεί σε οικοδομικές και κατασκευαστικές εργασίες, δηλαδή ως ένα εμπορικά και τεχνικά εκμεταλλεύσιμο εκρηκτικό.

Το 1866, έπειτα από πολλές δοκιμές ο Alfred Nobel εφηύρε τον *δυναμίτη*, ένα μείγμα νιτρογλυκερίνης και ενός τύπου άμμου με όνομα *kieselguhr*, που σχημάτιζε ένα είδος πάστας το οποίο μπορούσε να πάρει τη μορφή ράβδων. Την επόμενη χρονιά ο Nobel εξασφάλισε την πατέντα και τα δικαιώματα του δυναμίτη. Το εκρηκτικό αυτό είχε πολλές εμπορικές χρήσεις και πρακτικές εφαρμογές όπως στην κατασκευή τούνελ, στην ανατίναξη βράχων, στην κατασκευή γεφυρών, κ.ά. [1].

Ο Robert και ο Ludvig, αδέρφια του Alfred Nobel, ίδρυσαν την εταιρεία πετρελαίου Branobel και κατάφεραν να γίνουν από τη δική τους μεριά αρκετά εύποροι. Ο Nobel επένδυσε σε αυτή την επιχειρηματική δραστηριότητα και αποκόμισε και ο ίδιος αρκετά κέρδη. Κατά τη διάρκεια της ζωής του κατάφερε να εξασφαλίσει 335 διεθνής πατέντες και μέχρι το θάνατό του είχε κατασκευάσει πάνω από 90 εργοστάσια κατασκευής όπλων. Τα κέρδη από τα εκρηκτικά, μαζί με τις επενδύσεις στις εταιρείες των αδελφών του, όπως γίνεται κατανοητό, του απέφεραν μία μεγάλη περιουσία. [2]

Το 1888, ο θάνατος του αδελφού του, Ludvig, οδήγησε αρκετές εφημερίδες στο να εκδώσουν, από λάθος, διάφορες αγγελίες θανάτου για τον ίδιο τον Alfred καθώς είχαν μπερδέψει τα δύο αδέρφια. Συγκεκριμένα, μία γαλλική εφημερίδα δημοσίευσε μία αγγελία θανάτου με τίτλο «Ο έμπορος του θανάτου είναι νεκρός» (αγγλ. "The merchant of death is dead"). Ο Nobel διάβασε τη νεκρολογία και τρόμαξε στην ιδέα ότι μπορεί να τον θυμούνται με τέτοιο τρόπο στο μέλλον. [3]

Ο Alfred Nobel δεν ήταν παντρεμένος και δεν είχε οικογένεια. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη θέληση του να αφήσει μια καλύτερη υστεροφημία (να μην μνημονεύεται δηλαδή σαν τον «έμπορο του θανάτου»), θεωρείται ότι τον οδήγησαν, εν μέρη τουλάχιστον, στην απόφαση να δωρίσει το μεγαλύτερο μέρος της περιουσίας του για να ιδρύσει τα βραβεία Nobel.

1.2.2 Ιστορία των βραβείων

Στις 27 Νοεμβρίου του 1895, ο Alfred Nobel υπέγραψε την τελευταία του διαθήκη, δίνοντας το μεγαλύτερο μερίδιο της περιουσίας του σε μια σειρά βραβείων στη Φυσική, τη Χημεία, τη Φυσιολογία ή την Ιατρική, τη Λογοτεχνία και την Ειρήνη, τα γνωστά σε εμάς πλέον ως βραβεία Νόμπελ. Το 1968, η Sveriges Riksbank (η κεντρική τράπεζα της Σουηδίας) ίδρυσε το βραβείο Sveriges Riksbank στις Οικονομικές Επιστήμες στη μνήμη του Alfred Nobel. Παρόλα αυτά, το τελευταίο δεν θεωρείται "Nobel Prize", αλλά "Nobel Memorial Prize".

Μεταξύ του 1901 και του 2020, τα βραβεία Νόμπελ και το Βραβείο Οικονομικών Επιστημών έχουν απονεμηθεί 603 φορές. Συγκεκριμένα, 934 άτομα και 28 οργανισμοί έχουν απονεμηθεί το βραβείο Νόμπελ σε αυτήν την περίοδο.

Άλλο ένα γεγονός που μπορεί να ενδιαφέρει τον αναγνώστη, μιας και μεταξύ των νικητών του Νόμπελ Φυσικής του 2018 ήταν και μία γυναίκα, είναι ότι μέχρι σήμερα το βραβείο Νόμπελ και το Βραβείο Οικονομικών Επιστημών έχουν απονεμηθεί 57 φορές σε γυναίκες.

Στο καταστατικό του Ιδρύματος Νόμπελ αναφέρεται: «Ένα ποσό βραβείου μπορεί να διαιρεθεί εξίσου σε δύο έργα, καθένα από τα οποία θεωρείται ότι αξίζει ένα βραβείο. Εάν ένα έργο που ανταμείβεται έχει παραχθεί από δύο ή τρία άτομα, το βραβείο θα τους απονεμηθεί από κοινού.

Σε καμία περίπτωση το ποσό του βραβείου δεν μπορεί να διαιρεθεί σε περισσότερα από τρία άτομα.» Αυτή η περίπτωση διαίρεσης του βραβείου σε τρία άτομα και σε δύο διαφορετικά έργα είναι και αυτή που προέκυψε στο βραβείο Νόμπελ Φυσικής του 2018, το οποίο πραγματεύεται και αυτή η πτυχιακή εργασία.

Nobel Prize	Number of Prizes	Number of Laureates	Awarded to one Laureate	Shared by two Laureates	Shared by three Laureates
Physics	114	216	47	32	35
Chemistry	112	186	63	24	25
Medicine	111	222	39	33	39
Literature	113	117	109	4	–
Peace	101	107+28	69	30	2
Economic Sciences	52	86	25	20	7
<i>Total:</i>	603	962	352	143	108

Σχήμα 2: Βραβεία Νόμπελ την περίοδο 1901-2020

Στις τελετές απονομής βραβείων Νόμπελ στις 10 Δεκεμβρίου, οι βραβευμένοι με Νόμπελ λαμβάνουν τρία πράγματα: ένα δίπλωμα Νόμπελ, ένα μετάλλιο Νόμπελ και ένα έγγραφο που επιβεβαιώνει το ποσό του βραβείου Νόμπελ. Κάθε δίπλωμα Νόμπελ είναι ένα μοναδικό έργο τέχνης, που δημιουργείται από τους σημαντικότερους Σουηδούς και Νορβηγούς καλλιτέχνες και καλλιγράφους. Τα μετάλλια Νόμπελ είναι χειροποίητα με προσεκτική ακρίβεια και από ανακυκλωμένο χρυσό 18 καρατίων.



Σχήμα 3: Πρόσθια όψη ενός μεταλλίου Nobel

Ο Alfred Nobel άφησε το μεγαλύτερο μέρος της περιουσίας του, περισσότερα από 31 εκατομμύρια SEK (σήμερα περίπου 1702 εκατομμύρια SEK) για να μετατραπεί σε αμοιβαίο κεφάλαιο και να επενδυθεί σε «ασφαλή χρεόγραφα». Τα έσοδα από τις επενδύσεις επρόκειτο να «διανεμηθούν ετησίως με τη μορφή βραβείων σε εκείνους που κατά τη διάρκεια του προηγούμενου έτους έχουν αποδώσει το μεγαλύτερο όφελος στην ανθρωπότητα»

Το ποσό του βραβείου Νόμπελ για το 2020 ορίζεται σε σουηδικές κορώνες (SEK) 10 εκατομμύρια ανά πλήρες βραβείο Νόμπελ, δηλαδή περίπου 981.906 Euro. [4]

1.2.3 Νόμπελ Φυσικής

Το Νόμπελ Φυσικής κατέχει μία ιδιαίτερη θέση μεταξύ των βραβείων Nobel. Το συγκεκριμένο βραβείο δίνεται ετησίως από τη Βασιλική Ακαδημία Επιστημών της Σουηδίας για όσους έχουν κάνει τις πιο σημαντικές συνεισφορές για την ανθρωπότητα στον τομέα της φυσικής.

Το πρώτο βραβείο Νόμπελ στη Φυσική απονεμήθηκε στον φυσικό Wilhelm Röntgen προς αναγνώριση των εξαιρετικών υπηρεσιών που προσέφερε με την ανακάλυψη των ακτίνων X. Αυτό το βραβείο εκδίδεται από το Ίδρυμα Νόμπελ και θεωρείται ευρέως ως το πιο σημαντικό βραβείο που ένας επιστήμονας μπορεί να λάβει στον κλάδο της φυσικής. Παρουσιάζεται στη Στοκχόλμη ετησίως στις 10 Δεκεμβρίου, στην επέτειο θανάτου του Nobel Alfred.

Το βραβείο Νόμπελ στη Φυσική έχει απονεμηθεί 114 φορές σε 216 Νομπελίστες μεταξύ του 1901 και του 2020. Ο John Bardeen είναι ο μοναδικός βραβευμένος με Νόμπελ Φυσικής δύο φορές, το 1956 και το 1972. Αυτό σημαίνει ότι συνολικά 215 άτομα έχουν λάβει το βραβείο Νόμπελ Φυσικής.

Για το βραβείο Νόμπελ Φυσικής δύναται να επιλεγούν το πολύ τρεις νικητές και δύο διαφορετικά έργα. Σε σύγκριση με άλλα βραβεία Νόμπελ, η διαδικασία υποψηφιότητας και επιλογής για το βραβείο στη Φυσική είναι μεγάλη σε διάρκεια και αυστηρή. Αυτός είναι και ένας από τους βασικούς λόγους για τον οποίο έχει αποκτήσει μεγάλη φήμη στον τομέα της φυσικής.

Οι βραβευμένοι με Νόμπελ επιλέγονται από την Επιτροπή Νόμπελ Φυσικής, μια επιτροπή Νόμπελ που αποτελείται από πέντε μέλη που εκλέγονται από τη Βασιλική Ακαδημία Επιστημών της Σουηδίας. Κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου, που ξεκινά τον Σεπτέμβριο, μια ομάδα περίπου 3000 επιλεγμένων καθηγητών πανεπιστημίου, βραβευμένων με Νόμπελ Φυσικής και Χημείας, και άλλοι αποστέλλονται εμπιστευτικά έντυπα υποψηφιότητας. Τα συμπληρωμένα έντυπα πρέπει να φτάσουν στην Επιτροπή Νόμπελ έως τις 31 Ιανουαρίου του επόμενου έτους. Οι υποψήφιοι εξετάζονται, συζητούνται από ειδικούς και περιορίζονται σε περίπου δεκαπέντε ονόματα. Η επιτροπή υποβάλλει μία έκθεση με συστάσεις για τους τελικούς υποψηφίους στην Ακαδημία, όπου και συζητείται περαιτέρω. Στη συνέχεια, η Ακαδημία πραγματοποιεί την τελική επιλογή των υποψηφίων Νομπελιστών στη Φυσική με πλειοψηφική ψήφο.

Τα ονόματα των υποψηφίων δεν ανακοινώνονται ποτέ δημοσίως και ούτε τους ενημερώνουν ότι έχουν ληφθεί υπόψη για το Βραβείο. Τα αρχεία υποψηφιότητας σφραγίζονται για πενήντα χρόνια. Αν και δεν επιτρέπονται οι μεταθανάτιες βραβεύσεις, τα βραβεία μπορούν να απονεμηθούν εάν το άτομο πέθανε τους μήνες μεταξύ της απόφασης της επιτροπής (συνήθως τον Οκτώβριο) και της τελετής τον Δεκέμβριο. Πριν από το 1974, τα μεταθανάτια βραβεία επιτρεπόταν εάν ο υποψήφιος είχε πεθάνει μετά την υποψηφιότητά του.

Οι κανόνες για το βραβείο Νόμπελ Φυσικής απαιτούν η σημασία των αναγνωρισμένων επιτευγμάτων να έχει "δοκιμαστεί από το χρόνο". Αυτό είναι κάτι που παρατηρούμε και στο Νόμπελ Φυσικής που μελετάμε σε αυτό το έγγραφο, καθώς οι ανακαλύψεις στον τομέα των λέιζερ που οδήγησαν στο Νόμπελ Φυσικής του 2018, έγιναν πολύ πριν το 2018.

Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι η καθυστέρηση μεταξύ της ανακάλυψης και του βραβείου είναι συνήθως της τάξης των 20 ετών, αλλά μπορεί να είναι και πολύ μεγαλύτερη. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το ήμισυ του βραβείου Νόμπελ του 1983 στη Φυσική, που απονεμήθηκε στον Subrahmanyan Chandrasekhar για το έργο του στην αστρική δομή και την εξέλιξη, το οποίο είχε πραγματοποιηθεί κατά τη δεκαετία του 1930.

Ένα βασικό μειονέκτημα του κανόνα δοκιμασίας στο χρόνο είναι ότι δεν ζουν όλοι οι επιστήμονες αρκετά για να αναγνωριστεί το έργο τους. Ορισμένες σημαντικές επιστημονικές ανακαλύψεις δεν λήφθηκαν ποτέ υπόψη για ένα βραβείο, καθώς οι ερευνητές τους είχαν πεθάνει τη στιγμή που ο αντίκτυπος της δουλειάς τους είχε εκτιμηθεί. [5]

1.3 Φυσική των λέιζερ

Σε αυτήν την ενότητα θα δούμε μία σύντομη εισαγωγή στο laser. Η ανάλυση αυτή θα μας δώσει μία βασική ιδέα για τις αρχές λειτουργίας, τη χρήση, τη λειτουργικότητά και τις σημαντικές ιδιότητές του.

1.3.1 Οπτική και φωτονική

Ο τομέας μελέτης στον οποίον ανήκουν τα λέιζερ ονομάζεται *οπτική*, αλλά πλέον ορισμένες φορές αναφέρεται ότι ανήκουν και στον τομέα της *φωτονικής*. Η διαφορά στη σημασία των δύο λέξεων αντανακλά και το πως άλλαξε το πεδίο μελέτης αυτό από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα και μετά.

Η οπτική, η ύπαρξη της οποίας εντοπίζεται από τα αρχαία χρόνια, είναι η επιστήμη που μελετά τηλεσκόπια, μικροσκόπια, κιάλια και άλλα οπτικά όργανα που εκμεταλλεύονται το φως με τη χρήση φακών, καθρεφτών, πρισμάτων και άλλων διάφανων και ανακλαστικών αντικειμένων.

Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, οι φυσικοί ανακάλυψαν ότι το φως είναι ένα είδος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως είναι οι ραδιοσυχνότητες, το υπεριώδες ή υπέρυθρο φως, οι ακτίνες X, κτλ. Η διαφορά των ακτινοβολιών αυτών βρίσκεται στο μήκος κύματος και στη συχνότητά τους. Έχει αποδειχθεί ότι το φως έχει διττή φύση. Μπορεί δηλαδή να συμπεριφερθεί ως σύνολο σωματιδίων, γνωστά ως *φωτόνια*, ή ως κύμα αναλόγως με την περίπτωση που μελετάμε. Η επιστήμη, λοιπόν, που μελετά την εκμετάλλευση των φωτονίων ονομάζεται *φωτονική*.

1.3.2 Τι είναι το λέιζερ

Η λέξη λέιζερ προέρχεται από το αγγλικό ακρωνύμιο *laser*, τα αρχικά του οποίου σημαίνουν “**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation”. Ας κοιτάξουμε κάθε όρο από τον ορισμό ξεχωριστά:

- *Radiation – Ακτινοβολία:*

Με τον όρο ακτινοβολία αναφερόμαστε στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ένα είδος ενέργειας που ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός. Η ακτινοβολία αυτή έχει πολλές μορφές, π.χ. ορατό φως, υπέρυθρες, μικροκύματα, ακτίνες X, κτλ. Όπως είδαμε και προηγουμένως, το φως και οι άλλες μορφές ακτινοβολίας συμπεριφέρονται και ως κύματα και ως σωματίδια (φωτόνια).

- *Stimulated emission – Διεγερμένη εκπομπή:*

Με το διεγερμένη εκπομπή αναφερόμαστε σε έναν συγκεκριμένο τρόπο παραγωγής του φωτός. Ο ήλιος και οι λάμπες παραδείγματος χάριν, εκπέμπουν από μόνα τους φως προκειμένου να απελευθερώσουν την επιπλέον ενέργεια που έχουν. Τα λέιζερ περιέχουν

άτομα ή μόρια που εκπέμπουν την επιπλέον ενέργειά τους όταν άλλες πηγές φωτός τα διεγείρουν.

- *Amplification – Ενίσχυση:*
Ενίσχυση σημαίνει αύξηση της ποσότητας του φωτός. Σε μία διεγερμένη εκπομπή, ένα κύμα φωτός που εισέρχεται ως είσοδος διεγείρει ένα άτομο ή μόριο απελευθερώνοντας έτσι την ενέργειά του ως ένα δεύτερο κύμα, το οποίο ταιριάζει απόλυτα με το κύμα εισόδου. Το διεγερμένο κύμα, με τη σειρά του, μπορεί να διεγείρει άλλα άτομα ή μόρια που εκπέμπουν αντίστοιχα κύματα, ενισχύοντας το σήμα φωτός περισσότερο. Μπορεί να είναι ευκολότερο να θεωρηθεί η διεγερμένη εκπομπή ως ένα φωτόνιο που διεγείρει ένα άτομο ή μόριο έτσι ώστε να απελευθερώσει ένα πανομοιότυπο φωτόνιο, το οποίο με τη σειρά του μπορεί να διεγείρει την εκπομπή ενός άλλου πανομοιότυπου φωτονίου, παράγοντας έτσι ένα «φαινόμενο χιονοστιβάδας» φωτονίων που ενισχύει το φως.
- *Light – Φως:*
Η λέξη φως περιγράφει τον τύπο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο φως ορατό στο ανθρώπινο μάτι, αλλά επίσης γειτονικά μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που τα μάτια μας δεν μπορούν να δουν επειδή είναι είτε μεγαλύτερο σε μήκος κύματος (υπέρυθρες) είτε μικρότερο σε μήκος κύματος (υπεριώδες).

1.3.3 Ιστορία της εφεύρεσης του λέιζερ

Τα θεμέλια για τη δημιουργία του λέιζερ τέθηκαν πολλά χρόνια πριν την εφεύρεση του, το 1960 από τον Theodore H. Maiman. Χρειάστηκαν δεκαετίες για να συνενωθούν τα κομμάτια. Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν πρότεινε τη δυνατότητα διεγερμένης εκπομπής σε ένα έγγραφο που δημοσιεύθηκε το 1917.

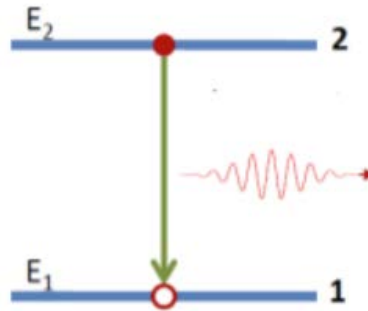
Παρόλα αυτά, διεγερμένη εκπομπή παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1920, ενώ οι φυσικοί περίμεναν από καιρό ότι θα ήταν πολύ πιο αδύναμη από μία αυθόρμητη εκπομπή. Οι πρώτες ενδείξεις ότι οι διεγερμένες εκπομπές θα μπορούσαν να είναι ισχυρότερες ήρθαν από πειράματα ραδιοσυχνοτήτων λίγο μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Το 1951, ο Charles H. Townes, στο Πανεπιστήμιο Κολούμπια, σκέφτηκε έναν τρόπο για τη διέγερση της εκπομπής μικροκυμάτων. Η ιδέα του ήταν να κατευθύνει μόρια αμμωνίας που μετέφεραν επιπλέον ενέργεια σε μια κοιλότητα που θα αντανάκλωνε τα μικροκύματα μπρος-πίσω μέσα σε αέριο. Ονόμασε τη συσκευή του *maser*, ένα αρκτικόλεξο του *microwave amplification by the stimulated emission of radiation* ή «ενίσχυση μικροκυμάτων από η διεγερμένη εκπομπή ακτινοβολίας». Τελικά, χρειάστηκε μέχρι το 1954 ο Townes και ο μεταπτυχιακός φοιτητής του James Gordon να καταφέρουν να λειτουργήσει το maser.

Οι επιστήμονες συνειδητοποίησαν ότι, θεωρητικά τουλάχιστον, η διαδικασία του maser μπορεί να επεκταθεί και σε άλλου τύπου ηλεκτρομαγνητικά κύματα, πέρα από τα μικροκύματα, ξεκινώντας μία κούρσα για τη δημιουργία του laser.

Στις 16 Μαΐου του 1960, ο Theodore Maiman χρησιμοποίησε μια φωτογραφική λάμπα φλας για να διεγείρει έναν κρύσταλλο (σε μέγεθος δακτύλου) από συνθετικό ρουμπίνι έτσι ώστε αυτό να εκπέμπει παλμούς κόκκινου φωτός από το πρώτο λέιζερ στον κόσμο, στην Hughes Research Laboratories στο Μαλιμπού της Καλιφόρνια. [6]

1.3.4 Αρχές λειτουργίας της ακτινοβολίας λέιζερ

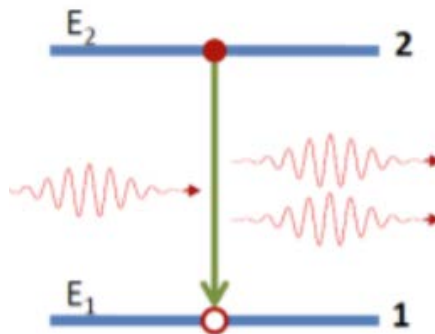
Έστω ότι έχουμε το απλουστευμένο μοντέλο δύο ενεργειακών σταθμών E_1 , E_2 ενός ατόμου ενός δεδομένου υλικού που φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.



Σχήμα 4: Αυθόρμητη εκπομπή

Έστω επίσης ότι ένα άτομο του υλικού είναι αρχικά στο επίπεδο 2. Αφού $E_2 > E_1$ το άτομο έχει την τάση να αποδιεγερθεί προς το επίπεδο 1. Τα ενεργειακά άλματα (αποδιεγέρσεις) των ατόμων γίνονται με τυχαίο τρόπο και σε τυχαίες χρονικές στιγμές. Όταν η ενέργεια αποδίδεται με την μορφή ηλεκτρομαγνητικού (ΗΜ) κύματος η διεργασία αυτή θα ονομαστεί αυθόρμητη εκπομπή.

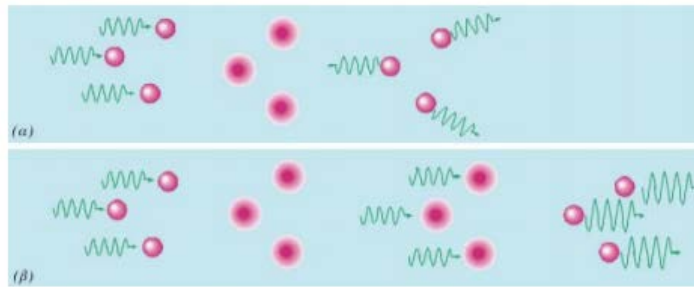
Έστω τώρα ότι το άτομο βρίσκεται και πάλι αρχικά στο επίπεδο 2 και ένα ΗΜ κύμα (π.χ φωτόνιο) συχνότητας ίσης με εκείνη του αυθόρμητα εκπεμπόμενου κύματος, προσπίπτει στο δεδομένο υλικό. Αφού το κύμα έχει την ίδια συχνότητα με την ατομική συχνότητα υπάρχει πεπερασμένη πιθανότητα το κύμα αυτό να εξαναγκάσει το άτομο να υποστεί την μετάπτωση από την ενεργειακή στάθμη 2 στην 1. Σε αυτή την περίπτωση η ενεργειακή διαφορά $E_2 - E_1$ αποδίδεται με τη μορφή ΗΜ που προστίθεται στο προσπίπτον κύμα. Αυτό είναι το φαινόμενο της εξαναγκασμένης εκπομπής.



Σχήμα 5: Εξαναγκασμένη εκπομπή

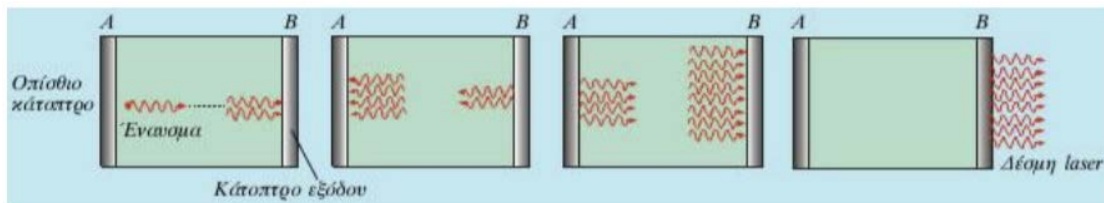
Υπάρχουν δύο βασικές διαφορές μεταξύ αυθόρμητης και εξαναγκασμένης εκπομπής:

- Στην αυθόρμητη εκπομπή το άτομο εκπέμπει ένα ΗΜ κύμα που δεν έχει σταθερή σχέση φάσης με εκείνο που εκπέμπεται από ένα άλλο άτομο και επιπλέον το κύμα μπορεί να εκπεμφεί σε οποιαδήποτε διεύθυνση (τα κύματα εκπέμπονται σε όλες τις κατευθύνσεις). Βλέπε παρακάτω σχήμα, το (α).
- Στην εξαναγκασμένη εκπομπή, η εκπομπή κάθε ατόμου είναι σε φάση με το προσπίπτον κύμα, το οποίο καθορίζει και την διεύθυνση του εκπεμπόμενου κύματος (τα κύματα εκπέμπονται σε μία κατεύθυνση). Βλέπε παρακάτω σχήμα, το (β).



Σχήμα 6: Αλληλεπίδραση ατόμου - ΗΜ ακτινοβολίας

Με κατάλληλο στήσιμο του συστήματος, με τη χρήση ειδικών κατόπτρων (οπτικών αντηχείων) και του «φαινομένου χιονοστιβάδας», που όπως αναφέραμε και προηγουμένως δημιουργείται από τα φωτόνια που προσκρούουν το ένα στο άλλο δημιουργώντας νέα πανομοιότυπα φωτόνια που συγκρούονται και αυτά με τη σειρά τους και ούτω καθεξής, δημιουργείται μια ισχυρή δέσμη φωτός, το φως laser.



Σχήμα 7: Αναπαράσταση της διαδικασίας παραγωγής φωτός λέιζερ

1.3.5 Χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας λέιζερ

Το φως laser που εκπέμπεται έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά, που το διαφοροποιούν από το φως άλλων φωτεινών πηγών:

- **Κατευθυντικότητα:** Η δέσμη φωτός είναι πολύ λεπτή και μένει παράλληλη, ακόμα και αν ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις, όπως από τη Γη στη Σελήνη. Έχει δηλαδή μικρές απώλειες ισχύος και με τη χρήση κατάλληλων κατόπτρων μπορεί να εστιασθεί σε ένα σχετικά μικρό σημείο.
- **Μονοχρωματικότητα:** Το φως που εκπέμπεται από μία πηγή laser έχει μια συγκεκριμένη συχνότητα (χρώμα). Η ιδιότητα αυτή αξιοποιείται στη θεραπευτική για την εκλεκτική απορρόφηση του φωτός laser από το κατάλληλο χρωμοφόρο (μελανίνη, αιμοσφαιρίνη κ.λπ.).
- **Λαμπρότητα:** Η δέσμη laser συγκεντρώνει μεγάλη οπτική ισχύ και επειδή είναι πολύ λεπτή, είναι χιλιάδες φορές λαμπρότερη από τον Ήλιο. Για το συγκεκριμένο λόγο δεν πρέπει να κατευθύνεται η δέσμη στα μάτια.
- **Συμφωνία φάσης:** Το φωτόνιο που προκαλεί την αποδιέγερση αναδύεται μαζί με το φωτόνιο που εκπέμπεται. Αυτό συμβαίνει σε όλες τις διαδοχικές αποδιεγέρσεις.
- **Εστίαση:** Καθώς το λέιζερ έχει μεγάλη κατευθυντικότητα και είναι μονοχρωματική ακτινοβολία, μπορεί να εστιαστεί με τη χρήση κατάλληλων φακών. [7]

1.3.6 Είδη λέιζερ

Μπορούμε να πούμε ότι οι συσκευές που παράγουν ακτινοβολία λέιζερ αποτελούνται από τρία στοιχεία:

1. την πηγή εκπομπής της διεγερμένης ακτινοβολίας
2. το ενεργό υλικό που ενισχύει την ακτινοβολία
3. τον οπτικό ανακλαστήρα που πολλαπλασιάζει την ισχύ της ακτινοβολίας

Τα laser μπορούν, λοιπόν, να ταξινομηθούν με βάση το είδος του *ενεργού υλικού* κυρίως σε:

1. Laser αερίων:

- α) ουδέτερων αερίων, όπως είναι το Helium- Neon laser (He-Ne)
- β) μοριακών αερίων, όπως είναι το CO₂ laser
- γ) ιονισμένων αερίων, όπως είναι το Argon ή Krypton laser.

2. Laser στερεάς κατάστασης (Ruby laser, Alexandrite laser, Neodymium- YAG (Nd:YAG) laser)

3. Laser υγρών

4. Laser ημιαγωγών ή διοδικά laser

Τα laser με βάση την *ισχύ εξόδου της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας* χωρίζονται σε:

1. Μικρής ισχύος (0.5-50 mW)
2. Μέσης ισχύος (5-20 W)
3. Μεγάλης ισχύος

Ανάλογα με την *επίδραση* που έχουν *στους ακτινοβολούμενους ιστούς* χωρίζονται σε:

1. **Αιμοστατικά laser** (απορροφώνται από την αιμοσφαιρίνη προκαλώντας τοπική αιματική στάση και πήξη)
2. **Υψηλής έντασης** ή «ζεστά» laser (προκαλούν έντονη αύξηση της θερμοκρασίας και καταστρέφουν επιλεκτικά ιστούς ανάλογα με την απορροφητικότητα που έχουν στην ακτινοβολία)
3. «**Κρύα**» laser

Αυτές είναι ενδεικτικά μόνο κάποιες από τις πιθανές ταξινομήσεις που μπορούμε να κάνουμε στα λέιζερ.

1.3.7 Εφαρμογές των λέιζερ

Οι επιστήμονες και οι μηχανικοί άρχισαν να πειραματίζονται με το λέιζερ σχεδόν μόλις από την εφεύρεση του και υπάρχει πλέον μία τεράστια γκάμα διαφορετικών εφαρμογών του στην έρευνα, τη βιομηχανία και την καθημερινή ζωή.

Ενδεικτικά, στη συνέχεια, θα αναφέρουμε κάποιους από τους τομείς και τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται αυτή η εφεύρεση:

Διαχείριση πληροφοριών

- Οπτικές ίνες
- Αναπαραγωγή CD
- Ανάγνωση barcodes
- Εκτυπωτές

Μετρήσεις

Μέτρηση απόστασης
Μέτρηση ταχύτητας
Μελέτη υποατομικών σωματιδίων

Ιατρική και Αισθητική

Αφαίρεση τατουάζ
Εγχειρήσεις καταρράκτη
Οδοντιατρική
Αποτριχώσεις

Κατασκευές

Κόψιμο μετάλλων
Χάραξη ξύλου
Λιθογραφία ημιαγωγών

Στρατιωτικές Χρήσεις

Συνεισφορά στην αεράμυνα έναντι drones
Αντι-δορυφορικά όπλα

1.4 Διάρθρωση Κειμένου

Στο **Κεφάλαιο 1**, παρουσιάζεται μία εισαγωγή στο θέμα της πτυχιακής εργασίας, ενώ παράλληλα δίνεται το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο, ώστε ο αναγνώστης να μπορεί να κατανοήσει τις έννοιες που παρουσιάζονται στη συνέχεια και τη σημασία των ευρημάτων προς τιμήν των οποίων απονεμήθηκε το Νόμπελ Φυσικής 2018.

Στο **Κεφάλαιο 2**, εξετάζουμε τις ανακαλύψεις και το επιστημονικό έργο που οδήγησε στην απονομή του Νόμπελ Φυσικής του 2018. Το βραβείο αυτό μοιράστηκε σε τρία διαφορετικά άτομα για δύο διαφορετικά έργα πάνω στον τομέα της φυσικής των λέιζερ.

Στο **Κεφάλαιο 3**, παρουσιάζουμε τις πρακτικές εφαρμογές που αναδύθηκαν από το σχετικό έργο των Νομπελίστων Φυσικής του 2018. Στόχος μας είναι να αντιληφθούμε και να αναδείξουμε την καινοτομία της έρευνας που είχε πραγματοποιηθεί και πως αυτή χρησιμοποιήθηκε για να λύσει διάφορα προβλήματα σε όλες τις εκφάνσεις της ανθρώπινης ενασχόλησης, όπως στην έρευνα, τη βιομηχανία, αλλά και την καθημερινή ζωή.

Στο **Κεφάλαιο 4**, καταγράφουμε τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε με την ολοκλήρωση της έρευνάς μας πάνω στο Νόμπελ Φυσικής 2018 για την εξέλιξη του λέιζερ. Επιπλέον, σημειώνουμε και ορισμένα ανοιχτά ζητήματα ή επεκτάσεις που θα μπορούσαν να γίνουν στη μελέτη της εξέλιξης των λέιζερ όσον αφορά το Νόμπελ Φυσικής του 2018. Για να έχουμε μία ολοκληρωμένη άποψη του αντίκτυπου της έρευνας στη φυσική των λέιζερ, κάνουμε μία σύντομη αναφορά και στα υπόλοιπα βραβεία Νόμπελ που έχουν απονεμηθεί και έχουν σχέση με το συγκεκριμένο τομέα, καθώς και στα βραβεία Φυσικής που απονεμήθηκαν τις επόμενες χρονιές μετά το 2018 μέχρι την ημερομηνία συγγραφής αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2018

2.1 Γενική Επισκόπηση

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, ένα Νόμπελ Φυσικής μπορεί να απονεμηθεί σε ως και τρία διαφορετικά άτομα και για δύο διαφορετικά έργα. Σε αυτήν την περίπτωση εμπίπτει και το Νόμπελ Φυσικής του 2018.

Το βραβείο αυτό είναι αφιερωμένο σε δύο καινοτόμες εφευρέσεις στον τομέα της φυσικής των λέιζερ. Το πρώτο μισό του βραβείου το παρέλαβε ο Αμερικανός Arthur Ashkin για τις *οπτικές λαβίδες* (αγγλ. *optical tweezers*) και τις εφαρμογές τους στα βιολογικά συστήματα. Το δεύτερο μισό του βραβείου δόθηκε από κοινού στον Γάλλο Gérard Albert Mourou και στην Καναδή Donna Theo Strickland, για τη μέθοδό τους για παραγωγή πολύ κοντών, αλλά με μεγάλη ένταση οπτικών παλμών (μέθοδος γνωστή και ως *Chirped Pulse Amplification*).

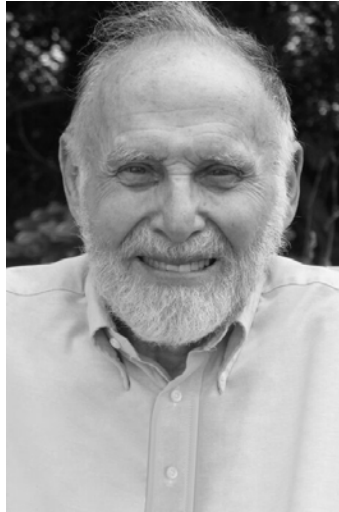
Στο πρώτο μισό του Κεφαλαίου αυτού θα μελετήσουμε την ιστορία πίσω από τα Optical Tweezers καθώς και τη θεωρία που σχετίζεται με την ανακάλυψη αυτή, ενώ στο δεύτερο μισό θα προχωρήσουμε σε αντίστοιχη ανάλυση για τη μέθοδο Chirped Pulse Amplification.

2.2 Optical Tweezers

2.2.1 Ιστορία

Ο Arthur Ashkin εφηύρε τα optical tweezers ή οπτικές λαβίδες (τσιμπιδάκια), που αρπάζουν σωματίδια, άτομα και μόρια με τα ακτίνες-λέιζερ «δάχτυλά» τους. Μπορούν επίσης να κρατήσουν ιούς, βακτήρια και άλλα ζωντανά κύτταρα, να τα εξετάσουν και να τα χειριστούν χωρίς να υποστούν βλάβη. Τα οπτικά τσιμπιδάκια του Ashkin δημιούργησαν εντελώς νέες δυνατότητες για παρατήρηση και έλεγχο των θεμελιωδών μηχανισμών της ζωής.

Ο Ashkin γεννήθηκε στο Brooklyn της Νέας Υόρκης, σε μια οικογένεια ουκρανικής και εβραϊκής καταγωγής. Σπούδασε φυσική στο Πανεπιστήμιο Κολούμπια της Νέας Υόρκης και συνέχισε την εκπαίδευσή του στο Πανεπιστήμιο Cornell στην Ithaca της Νέας Υόρκης, αποκτώντας το διδακτορικό του το 1952. Στη συνέχεια, άρχισε να εργάζεται στο Bell Labs στο Holmdel του New Jersey, όπου παρέμεινε το υπόλοιπο της καριέρας του και πραγματοποίησε το έργο που του χάρισε το βραβείο Νόμπελ. Συγκεκριμένα, το 1987, ο Ashkin κατάφερε να συλλάβει ζωντανά βακτήρια χωρίς να τα βλάψει. Απεβίωσε στις 21 Σεπτεμβρίου, 2020 σε ηλικία 98 ετών.



Σχήμα 8: Ο Αμερικανός Arthur Ashkin (1922-2020)

Οι «αιχμηρές» ακτίνες φωτός λέιζερ μας έδωσαν τη δυνατότητα να εμβαθύνουμε τις γνώσεις μας για τον κόσμο και να τον διαμορφώσουμε. Οι οπτικές λαβίδες που εφευρέθηκαν αρπάζουν σωματίδια, άτομα, μόρια και ζωντανά κύτταρα με τη βοήθεια ακτινών λέιζερ. Τα τσιμπιδάκια χρησιμοποιούν φως λέιζερ για να ωθήσουν μικρά σωματίδια προς το κέντρο της δέσμης και να τα κρατήσουν εκεί. Τα optical tweezers χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως για τη διερεύνηση βιολογικών συστημάτων. [8]

2.2.2 Θεωρία

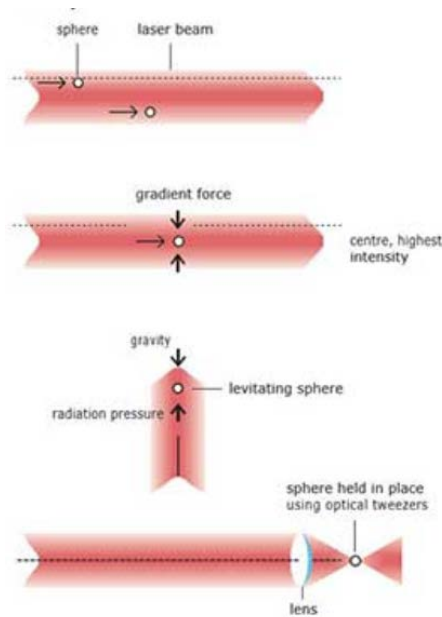
Ο Arthur Ashkin είχε την εξής απορία. Μπορεί μία ακτίδα φωτός να χρησιμοποιηθεί για να μετακινήσει αντικείμενα; Για παράδειγμα, μπορούμε να αισθανθούμε ότι οι ηλιαχτίδες μεταφέρουν ενέργεια (π.χ. ζεσταινόμαστε όταν καθόμαστε στον ήλιο) αν και η πίεση από τη δέσμη του φωτός είναι πολύ μικρή για να αισθανθούμε ακόμη και μία μικρή δύναμη. Θα μπορούσε όμως ενδεχομένως η δύναμή του να είναι αρκετή για να σπρώξει πάρα πολύ μικροσκοπικά σωματίδια και άτομα;

Αμέσως μετά την εφεύρεση του πρώτου λέιζερ το 1960, ο Ashkin άρχισε να πειραματίζεται με το νέο αυτό εργαλείο στα Bell Laboratories έξω από τη Νέα Υόρκη όπου εργαζόταν. Σε ένα λέιζερ, τα φωτεινά κύματα κινούνται συνεκτικά, σε αντίθεση με το συνηθισμένο λευκό φως στο οποίο οι ακτίνες είναι ένα μείγμα από όλα τα χρώματα του ουράνιου τόξου και διασκορπίζονται σε κάθε κατεύθυνση.

Ο Ashkin συνειδητοποίησε ότι το λέιζερ θα ήταν το τέλειο εργαλείο για να μετακινήσει μικρά σωματίδια με τη χρήση ακτινών φωτός. Στη συνέχεια έριξε ακτίνες laser σε διαφανείς σφαίρες μεγέθους της τάξης του μικρομέτρου και κατάφερε να κάνει τις σφαίρες να κινηθούν. Ταυτόχρονα, ο Ashkin εντυπωσιάστηκε από το γεγονός ότι οι σφαίρες κατευθύνονταν προς τη μέση της δέσμης λέιζερ, όπου ήταν και πιο έντονη. Η εξήγηση στο φαινόμενο αυτό είναι ότι όσο μεγάλη και αν είναι μια ακτίνα λέιζερ, η έντασή της μειώνεται από το κέντρο προς τις πλευρές

της. Επομένως, η πίεση ακτινοβολίας που ασκεί το φως λέιζερ στα σωματίδια ποικίλλει στα διάφορα σημεία της δέσμης, πιέζοντάς τα εν τέλη προς το κέντρο της δέσμης, διατηρώντας τα σωματίδια στο κέντρο της.

Για να κρατήσει τα σωματίδια προς την κατεύθυνση της δέσμης, ο Ashkin πρόσθεσε επίσης έναν ισχυρό φακό για να εστιάσει το φως λέιζερ. Τα σωματίδια στη συνέχεια τραβήχτηκαν προς το σημείο που είχε τη μεγαλύτερη ένταση φωτός. Μια παγίδα φωτός είχε δημιουργηθεί, μια εφεύρεση που ονομάστηκε optical tweezers. [9]



Σχήμα 9: Παγίδα φωτός, τα optical tweezers

Το έργο αυτό φανερώνει μια καινοτόμα σύλληψη ιδέας, αλλά και τρομερή εκτέλεση από πλευράς μηχανικής και πειραμάτων.

Το γεγονός ότι οι σφαίρες που χρησιμοποίησε ο Ashkin ήταν διαφανείς δεν ήταν τυχαίο, αλλά αντιθέτως είναι βασικό στην αρχή λειτουργίας των optical tweezers. Η δύναμη παγίδευσης που κρατά ένα αντικείμενο στη θέση του με τις οπτικές λαβίδες μπορεί να γίνει κατανοητή λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο με τον οποίο το σφαιρικό αντικείμενο διαθλά το φως. Επειδή είναι στενά εστιασμένο, το φως του λέιζερ είναι πιο έντονο στο κέντρο της παγίδας, πράγμα που σημαίνει ότι εάν το αντικείμενο μετακινηθεί ελαφρώς μακριά από το κέντρο σε εγκάρσια κατεύθυνση, ένα μέρος του αντικειμένου θα διαθλάσει λιγότερο φως από το άλλο. Ως αποτέλεσμα, το αντικείμενο διαθλάει περισσότερο φως μακριά από το κέντρο της παγίδας παρά προς αυτό. Το φως φέρει ορμή και το καθαρό αποτέλεσμα αυτής της διάθλασης είναι μια συνισταμένη δύναμη που εκτρέπει κάποια από αυτή την ορμή μακριά από το κέντρο της παγίδας. Σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα, μια ίση και αντίθετη δύναμη πρέπει να ενεργεί πάνω στο αντικείμενο, ωθώντας το προς το κέντρο της παγίδας. Με αυτόν τον τρόπο η διαφανής σφαίρα τείνει πάντα να επανέρχεται στο κέντρο της δέσμης λέιζερ, δηλαδή το λέιζερ δρα σαν ένα οπτικό τσιμπιδάκι που κρατάει τη σφαίρα στη θέση της.

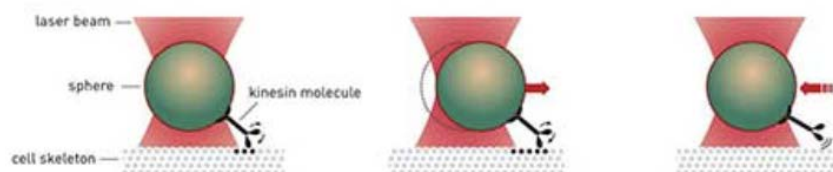
Μετά από αρκετά χρόνια και πολλά εμπόδια, μεμονωμένα άτομα μπορούσαν επίσης να παγιδευτούν στην παγίδα. Υπήρχαν γενικά πολλές δυσκολίες, η μία ήταν ότι χρειαζόνταν ισχυρότερες δυνάμεις για να μπορούν τα οπτικά τσιμπιδάκια να αρπάξουν τα άτομα και μια άλλη

ήταν οι θερμικές δονήσεις των ατόμων. Ήταν απαραίτητο να βρεθεί ένας τρόπο επιβράδυνσης των ατόμων και περιορισμού τους σε μια περιοχή πάρα πολύ μικρή. Όλα τέθηκαν σε εφαρμογή τελικά το 1986, όταν τα οπτικά τσιμπιδάκια μπορούσαν να συνδυαστούν με άλλες μεθόδους για την ακινητοποίηση των ατόμων και την παγίδευσή τους.

Στις προσπάθειές του να εγκλωβίσει όλο και μικρότερα σωματίδια με τις οπτικές λαβίδες του, ο Ashkin χρησιμοποίησε δείγματα μικρών ιών. Όπως πολλές σπουδαίες ανακαλύψεις που έγιναν και με τη βοήθεια της τύχης, έτσι και τότε ο Νομπελίστας άφησε κατά λάθος τους ιούς όλη τη νύχτα στο λέιζερ, παρατηρώντας την επόμενη ημέρα ότι τα δείγματά του ήταν γεμάτα από μεγάλα σωματίδια που κινούνταν. Χρησιμοποιώντας ένα μικροσκόπιο, ανακάλυψε ότι αυτά τα σωματίδια ήταν βακτήρια που δεν κινούνταν απλά ελεύθερα, αλλά όταν ήρθαν κοντά στη δέσμη λέιζερ, πιάστηκαν στην παγίδα φωτός. Ωστόσο, η πράσινη ακτίνα λέιζερ του σκότωσε τα βακτήρια, οπότε μια πιο αδύναμη δέσμη ήταν απαραίτητη για να επιβιώσουν. Σε αόρατο υπέρυθρο φως τα βακτηρίδια παρέμειναν άθικτα και ήταν σε θέση να αναπαραχθούν στην παγίδα. Με αυτόν τον τρόπο, δηλαδή τον εγκλωβισμό έμβιας ύλης, άνοιξε ο δρόμος στη χρήση της εφευρέσής του για τη μελέτη βιολογικών συστημάτων.

Κατά συνέπεια, οι μελέτες του Ashkin επικεντρώθηκαν στη συνέχεια σε πολλά διαφορετικά βακτήρια, ιούς και ζωντανά κύτταρα. Κατάφερε να αποδείξει ακόμη ότι ήταν δυνατόν να φτάσουμε στα κύτταρα χωρίς να καταστρέψουμε την κυτταρική μεμβράνη τους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η χαρτογράφηση, χρησιμοποιώντας optical tweezers, της πρωτεΐνης κινεσίνης (αγγλ. *kinesin*), και της βηματικής κίνησής της κατά μήκος μικροσωλήνων που αποτελούν μέρος του σκελετού του κυττάρου. Όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα, από αριστερά προς τα δεξιά, η κινεσίνη πρώτα προσδένεται σε μία μικρή σφαίρα (αγγλ. *sphere*) που συγκρατείται από τις οπτικές λαβίδες (*laser beam*). Στη συνέχεια, καθώς τα «ποδαράκια» της κινεσίνης (*kinesin molecule*) κινούνται κατά μήκος του κυτταρικού σκελετού (*cell skeleton*), παρασύρουν μαζί και την σφαίρα, κάνοντας έτσι δυνατή τη μέτρηση της κίνησης αυτής. Τέλος, σε ένα σημείο η πρωτεΐνη δεν μπορεί πλέον να αντισταθεί στη δύναμη που την τραβάει προς το κέντρο της δέσμης (σαν ένα ελατήριο) και επανέρχεται σε αυτό.



Σχήμα 10: Χαρτογράφηση της κίνησης μιας πρωτεΐνης κατά μήκος του κυτταρικού σκελετού

2.3 Chirped Pulse Amplification

2.3.1 Ιστορία

Το δεύτερο μισό του Νόμπελ Φυσικής 2018 δόθηκε από κοινού στον Gérard Albert Mourou και στην Donna Theo Strickland, για τη μέθοδό τους για παραγωγή πολύ κοντών, αλλά με μεγάλη ένταση οπτικών παλμών, μία μέθοδο γνωστή και ως *Chirped Pulse Amplification* (CPA).

Ο Gérard Mourou γεννήθηκε στο Albertville της Γαλλίας, στις 22 Ιουνίου του 1944. Σπούδασε φυσική στο Πανεπιστήμιο του Grenoble και στη συνέχεια στο Πανεπιστήμιο Pierre-et-Marie-Curie στο Παρίσι, όπου απέκτησε το διδακτορικό του το 1973. Αργότερα μετακόμισε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και έγινε καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Rochester, όπου πραγματοποίησε την έρευνα που το χάρισε το βραβείο Νόμπελ μαζί με την Donna Strickland. Στη συνέχεια εργάστηκε στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν και στο École Polytechnique στο Παρίσι.

Πέρα από το Νόμπελ Φυσικής, έχει υπάρξει αποδέκτης του Βραβείου Wood Prize από την Οπτική Εταιρεία της Αμερικής, το Βραβείο Edgerton από το SPIE, το Βραβείο Sarnoff από την IEEE και το Βραβείο Quantum Electronics IEEE / LEOS 2004. Είναι συνεργάτης (αγγλ. fellow) της Οπτικής Εταιρείας της Αμερικής και συνεργάτης του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers ή IEEE). [10]



Σχήμα 11: Ο Gérard Mourou

Η Donna Strickland γεννήθηκε στο Guelph, Ontario, του Καναδά, στις 27 Μαΐου του 1959. Ενδιαφέρθηκε νωρίς για τα λέιζερ και την ηλεκτροπτική και σπούδασε στο Πανεπιστήμιο McMaster στο Hamilton του Οντάριο. Συνέχισε τις διδακτορικές της σπουδές στις ΗΠΑ στο Πανεπιστήμιο του Rochester, όπου πραγματοποίησε την έρευνα που της χάρισε το βραβείο Νόμπελ. Πήρε το διδακτορικό της το 1989. Στη συνέχεια εργάστηκε στο Princeton University και από το 1997 στο University of Waterloo του Καναδά.

Πέρα από το Νόμπελ Φυσικής, είναι συνεργάτης της Οπτικής Εταιρείας της Αμερικής και έχει υπάρξει επίσης αντιπρόεδρος και πρόεδρος της. Το 2018 ήταν μέσα στη λίστα του BBC για τις 100 γυναίκες που αποτέλεσαν τη μεγαλύτερη έμπνευση και επιρροή τη χρονιά εκείνη. [11] Τη χρονιά που βραβεύτηκε, η Donna ήταν μόλις η τρίτη γυναίκα που κέρδιζε το Νόμπελ Φυσικής (πρώτη φορά μετά από 55 χρόνια) μετά από τη Marie Curie (το 1903) και τη Maria Goeppert-Mayer (το 1963). Η Donna Strickland είναι επίσης αποδέκτης του Sloan Research Fellowship, ενός βραβείου ερευνητικής αριστείας του Premier, ενός βραβείου Cottrell Scholar, του Golden Plate Award από την Academy of Achievement και κατέχει πολλά τιμητικά διδακτορικά. [12]



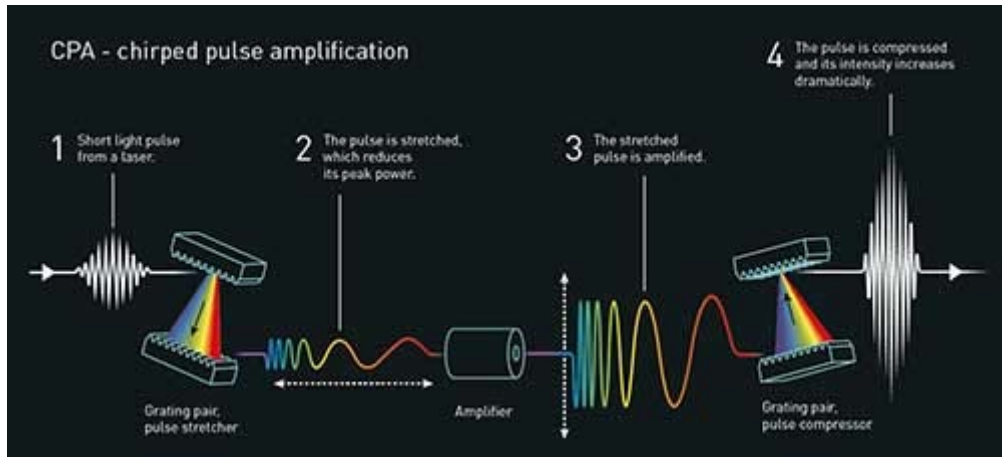
Σχήμα 12: Η Donna Strickland

Η έμπνευση για την προαναφερθείσα μέθοδο (CPA) προήλθε από ένα δημοφιλές επιστημονικό άρθρο που περιέγραφε το ραντάρ και τα μεγάλα ραδιοκύματά του. Ωστόσο, η προσαρμογή αυτής της ιδέας στα μικρότερα οπτικά κύματα φωτός ήταν μία δύσκολη διαδικασία. Η σπουδαία αυτή ανακάλυψη περιγράφηκε στο άρθρο που δημοσιεύθηκε το Δεκέμβριο του 1985 και ήταν η πρώτη επιστημονική δημοσίευση της Donna Strickland. Είχε μετακομίσει από τον Καναδά στο Πανεπιστήμιο του Rochester στις ΗΠΑ, όπου ασχολήθηκε με τη φυσική των λέιζερ μαζί με τον επικεφαλής της, τον Gérard Mourou.

2.3.2 Θεωρία

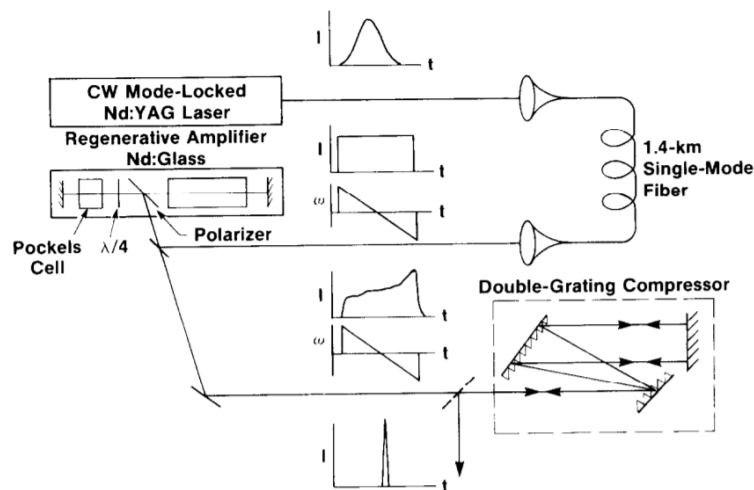
Όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο Κεφάλαιο, στην ενότητα για τη φυσική των λέιζερ, το φως του λέιζερ δημιουργείται μέσω μιας αλυσιδωτής αντίδρασης στην οποία τα σωματίδια του φωτός, τα φωτόνια, παράγουν ακόμη περισσότερα φωτόνια (φαινόμενο χιονοστιβάδας). Αυτά τα σωματίδια μπορούν να εκπέμπονται και σε παλμούς. Από τότε που εφευρέθηκαν τα λέιζερ, το 1960, οι ερευνητές προσπαθούσαν να δημιουργήσουν πιο έντονους παλμούς. Ωστόσο, στα μέσα της δεκαετίας του 1980, το όριο αύξησης της έντασης των παλμών είχε φτάσει σε ένα τέλμα. Για μικρούς παλμούς δεν ήταν πλέον δυνατό να αυξηθεί η ένταση του φωτός χωρίς να καταστρέψει το ενισχυτικό υλικό.

Η νέα τεχνική CPA, θεωρείται γενικά τόσο απλή όσο και κομψή. Το σκεπτικό είναι ότι παίρνουμε έναν σύντομο παλμό λέιζερ, τον τεντώνουμε/ανοίγουμε στο χρόνο, τον ενισχύουμε και τέλος τον συμπιέζουμε ξανά. Όταν ένας παλμός τεντώνεται στο πεδίο του χρόνου, η μέγιστη ισχύς του είναι πολύ χαμηλότερη, και επομένως μπορεί να ενισχυθεί αρκετά χωρίς να καταστρέψει τον ενισχυτή. Ο παλμός στη συνέχεια συμπιέζεται στο χρόνο, γεγονός που σημαίνει ότι περισσότερο φως συσσωρεύεται σε μια μικρή περιοχή του χώρου, ενισχύοντας τελικά την ένταση του παλμού δραματικά.



Σχήμα 13: Σχηματική αναπαράσταση της τεχνικής CPA

Χρειάστηκαν μερικά χρόνια για τους δύο επιστήμονες να συνδυάσουν τα πάντα επιτυχώς, μιας και μία πληθώρα πρακτικών και θεωρητικών λεπτομερειών προκαλούσε δυσκολίες. Για παράδειγμα, ο παλμός έπρεπε να τεντωθεί στο χρόνο χρησιμοποιώντας ένα καινούργιο καλώδιο οπτικών ινών μήκους 2.5 χλμ. Παρόλα αυτά, όταν έβαζαν φως στη μία άκρη του καλωδίου, δεν έβγαινε καθόλου φως στην άλλη άκρη όπως και θα έπρεπε, επειδή τελικά το καλώδιο είχε σπάσει κάπου στη μέση. Μετά από πολλά εμπόδια, έπρεπε να αρκεστούν σε καλώδιο μήκους 1.4 χλμ. Μία άλλη σημαντική πρόκληση ήταν ο συγχρονισμός των διαφόρων σταδίων του εξοπλισμού, της προσαρμογής δηλαδή του τεντώματος το οποίο έπρεπε να συγχρονίζεται με τον συμπιεστή. Αυτό επίσης επιλύθηκε και τελικά το 1985, οι Strickland και Mourou κατάφεραν να αποδείξουν για πρώτη φορά ότι η πρωτοποριακή τους τεχνική λειτουργούσε και στην πράξη. Το τελικό σύστημα που παρουσίασαν στην εργασία τους φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. [13]



Σχήμα 14: Διάταξη συστήματος ενίσχυσης και συμπίεσης των οπτικών παλμών

Η τεχνική CPA που εφευρέθηκε από τους Strickland και Mourou έφερε επανάσταση στη φυσική των λέιζερ. Κατέστη πρότυπο για όλα τα λέιζερ υψηλής έντασης που κατασκευάστηκαν αργότερα και άνοιξε το δρόμο για εντελώς νέους τομείς και εφαρμογές στη φυσική, τη χημεία και την ιατρική. Οι πιο μικροί και έντονοι παλμοί λέιζερ μπορούσαν πλέον να δημιουργηθούν στο εργαστήριο.

Κεφάλαιο 3: Πρακτικές εφαρμογές του λέιζερ

3.1 Γενική Επισκόπηση

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα καταγράψουμε ορισμένες από τις εφαρμογές που έχουν οι ανακαλύψεις για τις οποίες απονεμήθηκε το Νόμπελ Φυσικής του 2018. Θα αναφερθούμε επομένως στη χρησιμότητα των optical tweezers ή οπτικών λαβίδων και στη μέθοδο Chirped Pulse Amplification. Θα δούμε συνεπώς τις συγκεκριμένες εφαρμογές του λέιζερ, αν και τα λέιζερ βρίσκουν επίσης εφαρμογή σε μία πληθώρα άλλων τομέων και πεδίων.

3.2 Εφαρμογές των Optical Tweezers

Όπως αναφέραμε και στην ενότητα 2.2.2 οι οπτικές λαβίδες χρησιμοποιήθηκαν από τον ίδιο τον εφευρέτη τους για τη μελέτη βιολογικών συστημάτων. Οι μελέτες του Ashkin επικεντρώθηκαν, μεταξύ άλλων, σε πολλά διαφορετικά βακτήρια, ιούς και ζωντανά κύτταρα. Κατάφερε να αποδείξει ότι ήταν δυνατόν να φτάσουμε στα κύτταρα χωρίς να καταστρέψουμε την κυτταρική μεμβράνη τους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η *χαρτογράφηση*, χρησιμοποιώντας optical tweezers, της πρωτεΐνης κινεσίνης (αγγλ. kinesin), και της βηματικής κίνησής της κατά μήκος μικροσωλήνων που αποτελούν μέρος του σκελετού του κυττάρου, μία διαδικασία που εξηγείται πιο αναλυτικά σε προηγούμενη ενότητα της εργασίας αυτής.

Τα τελευταία χρόνια, πολλοί άλλοι ερευνητές έχουν εμπνευστεί να υιοθετήσουν τις μεθόδους του Ashkin και να τις βελτιώσουν περαιτέρω. Η ανάπτυξη αναρίθμητων εφαρμογών καθοδηγείται τώρα από οπτικά τσιμπιδάκια που καθιστούν δυνατή την παρατήρηση, τη στροφή, την κοπή, την ώθηση και το τράβηγμα χωρίς να αγγίζονται τα αντικείμενα που διερευνώνται. Σε πολλά εργαστήρια, οι οπτικές λαβίδες είναι συνεπώς βασικός εξοπλισμός για τη μελέτη βιολογικών διεργασιών, όπως μεμονωμένες πρωτεΐνες, μοριακοί κινητήρες, DNA ή γενικότερα για την εσωτερική ζωή των κυττάρων. Η *οπτική ολογραφία* (αγγλ. optical holography) είναι από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις, στις οποίες χιλιάδες λαβίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα, για παράδειγμα, για τον διαχωρισμό υγιών κυττάρων αίματος από μολυσμένα, κάτι που θα μπορούσε να εφαρμοστεί ευρέως στην *καταπολέμηση της ελονοσίας*.

Στον τομέα της βιολογίας εντοπίζουμε άλλη μία εφαρμογή της εφεύρεσης αυτής, την υψηλής ανάλυσης και μεγάλης περιόδου *ταξινόμηση της βακτηριακής κινητικότητας*. Πρόκειται για μία μέθοδο η οποία επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό της βακτηριακής κολύμβησης σε ένα καλά ελεγχόμενο περιβάλλον, για διάρκεια έως και μία ώρα και με χρονική ανάλυση μεγαλύτερη από τους ρυθμούς περιστροφής της τάξης των περίπου 100 Hz. Ο προσδιορισμός βασίζεται σε ένα όργανο που συνδυάζει τις οπτικές λαβίδες, μικροσκόπηση φωτός και φθορισμού, και ένα μικρορευστό θάλαμο. Χρησιμοποιώντας αυτήν τη συσκευή, δύναται να χαρακτηριστούν μακροπρόθεσμες στατιστικές σε μεμονωμένα κύτταρα *Escherichia coli*. Επίσης, ποσοτικοποιούνται χαρακτηριστικά υψηλότερης τάξης της βακτηριακής κολύμβησης, όπως αλλαγές στην ταχύτητα και αντιστροφή της κατεύθυνσης κολύμβησης. [14]

Μία ακόμη σπουδαία εφαρμογή των optical tweezers είναι στη μελέτη των **κβαντικών υπολογιστών**. Οι κβαντικοί υπολογιστές έχουν τη δυνατότητα να ξεπερνούν κατά πολύ την απόδοση των κλασικών υπολογιστών που γνωρίζουμε μέχρι σήμερα. Κβαντικός υπολογιστής ονομάζεται μία υπολογιστική συσκευή που εκμεταλλεύεται χαρακτηριστικές ιδιότητες της κβαντομηχανικής, όπως την αρχή της υπέρθεσης και της διεμπλοκής καταστάσεων, για να φέρει εις πέρας επεξεργασία δεδομένων και εκτέλεση υπολογισμών. Σε έναν συμβατικό ψηφιακό ηλεκτρονικό, στοιχειώδη μονάδα πληροφορίας είναι το bit, ενώ σε έναν κβαντικό υπολογιστή το qubit. [15]

Έχουν προταθεί αρκετές κβαντικές υπολογιστικές αρχιτεκτονικές. Μια ενδιαφέρουσα αρχιτεκτονική είναι ένα μεγάλο σύνολο φυσικώς ανεξάρτητων qubits διατεταγμένων σε τρεις χωρικές περιοχές όπου:

- (1) τα αρχικοποιημένα qubits αποθηκεύονται σε έναν καταχωρητή (αγγλ. register),
- (2) δύο qubits ενώνονται για να πραγματοποιήσουν μια πύλη και
- (3) πραγματοποιείται η ανάγνωση των qubits.

Για μια αρχιτεκτονική που βασίζεται σε ουδέτερα άτομα, ένας τρόπος σύνδεσης αυτών των περιοχών είναι η χρήση οπτικών λαβίδων για τη μετακίνηση των qubits μέσα στο σύστημα. Σε αυτήν την εφαρμογή γίνεται μία συνεκτική μεταφορά ενός qubit, κωδικοποιημένου σε ένα άτομο παγιδευμένο σε ένα optical tweezer της τάξης υπο-μικρόμετρου, σε μια τυπική απόσταση του διαχωρισμού μεταξύ ατόμων. Επιπλέον, μεταφέρεται ένα qubit μεταξύ δύο λαβίδων και δείχνεται ότι αυτός ο χειρισμός διατηρεί επίσης τη συνοχή του qubit [16].

Ο Arthur Ashkin ποτέ δεν σταμάτησε να εντυπωσιάζεται από την εξέλιξη των οπτικών λαβίδων του, μιας ιδέας «επιστημονικής φαντασίας» που είναι τώρα πραγματικότητα. Το δεύτερο μέρος του βραβείου Νόμπελ του 2018, η εφεύρεση των εξαιρετικά σύντομων και ισχυρών παλμών λέιζερ, ανήκε επίσης κάποτε στη σφαίρα της επιστημονικής φαντασίας των ερευνητών.

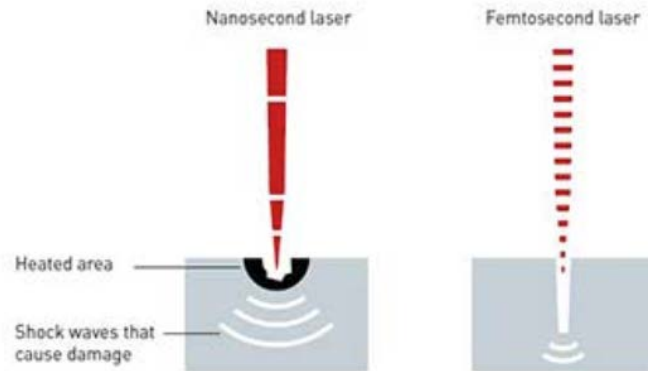
3.3 Εφαρμογές του Chirped Pulse Amplification

Στη συνέχεια θα ερευνήσουμε ορισμένα παραδείγματα του πως χρησιμοποιούνται οι πολύ σύντομοι και μεγάλης έντασης παλμοί που παράγονται μέσω της τεχνικής Chirped Pulse Amplification. Μια πρώιμη περιοχή χρήσης ήταν ότι έριξε φως στο τι συμβαίνει μεταξύ μορίων και ατόμων στον συνεχώς μεταβαλλόμενο μικρόκοσμο. Σε **μικροσκοπική κλίμακα** πολλά γεγονότα που θέλουμε να μελετήσουμε συμβαίνουν πολύ γρήγορα, τόσο γρήγορα που για μεγάλο χρονικό διάστημα ήταν δυνατό μόνο να περιγράψουμε το πριν και το μετά από ένα τέτοιο γεγονός. Αλλά με παλμούς τόσο σύντομους όσο ένα femtosecond (10^{-15} seconds), είναι δυνατόν να δούμε γεγονότα που προηγουμένως φαινόταν να είναι στιγμιαία.

Επιπλέον, η εξαιρετικά υψηλή ένταση του λέιζερ, καθιστά το φως του ένα ιδανικό εργαλείο για την **αλλαγή των ιδιοτήτων της ύλης**: οι ηλεκτρικοί μονωτές μπορούν να μετατραπούν σε αγωγούς και οι εξαιρετικά αιχμηρές ακτίνες λέιζερ καθιστούν δυνατή την **κοπή ή τη διάτρηση οπών** σε διάφορα υλικά με ακρίβεια, ακόμη και σε έμβια υλικά.

Για παράδειγμα, τα λέιζερ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία **πιο αποτελεσματικής αποθήκευσης δεδομένων**, καθώς η αποθήκευση δεν είναι μόνο χτισμένη στην επιφάνεια του υλικού, αλλά και σε μικροσκοπικές τρύπες που έχουν τρυπηθεί βαθιά μέσα στο μέσο αποθήκευσης. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται επίσης για την **κατασκευή χειρουργικών stents**, κυλίνδρων τεντωμένου μετάλλου σε διαστάσεις μικρομέτρου, που διευρύνουν και ενισχύουν τα αιμοφόρα αγγεία, το ουροποιητικό σύστημα και άλλες διόδους μέσα στο σώμα.

Όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα, οι σύντομοι παλμοί από ένα λέιζερ femtosecond (δεξιά) προκαλούν λιγότερη ζημιά στο υλικό από τους ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερους παλμούς ενός λέιζερ nanosecond (αριστερά). Οι εξαιρετικά σύντομοι αυτοί παλμοί, πέρα από τα χειρουργικά stents και την αποθήκευση δεδομένων χρησιμοποιούνται και στη **χειρουργική επέμβαση ματιών**.



Σχήμα 15: Διαφορά παλμών της τάξης των nanosecond και femtosecond

Υπάρχουν αμέτρητοι τομείς χρήσης, οι οποίοι δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί πλήρως. Κάθε βήμα προς τα εμπρός επιτρέπει στους ερευνητές να αποκτήσουν γνώσεις για νέους κόσμους, αλλάζοντας τόσο τη βασική έρευνα όσο και τις πρακτικές εφαρμογές.

Ένας νέος τομέας που έχει αναδειχθεί είναι και η **φυσική των attoseconds** (10^{-18} seconds). Οι παλμοί λέιζερ μικρότεροι από εκατό attoseconds μας δίνουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε, και όχι μόνο, την ύλη σε επίπεδο ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια είναι υπεύθυνα για τις οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες όλων των υλικών και για τους χημικούς δεσμούς. Τώρα δεν είναι μόνο παρατηρήσιμα, αλλά μπορούν επίσης να ελεγχθούν. Γενικά, όσο γρηγορότεροι είναι οι παλμοί φωτός, τόσο πιο γρήγορες είναι οι κινήσεις που μπορούν να παρατηρηθούν. Οι σχεδόν μη αντιληπτοί σύντομοι παλμοί λέιζερ είναι τόσο γρήγοροι, της τάξης των femtoseconds και μπορεί και να είναι χίλιες φορές πιο γρήγοροι, attoseconds. Αυτό επιτρέπει τη μαγνητοσκόπηση αλληλουχιών γεγονότων, που κάποτε μπορούσαμε μόνο να υποθέτουμε πως πραγματοποιούνταν. **Η κίνηση των ηλεκτρονίων γύρω από έναν ατομικό πυρήνα μπορεί πλέον να παρατηρηθεί με μια κάμερα attosecond.**

Πολλές εφαρμογές για αυτές τις νέες τεχνικές λέιζερ ερευνώνται διαρκώς όπως **ταχύτερα ηλεκτρονικά, πιο αποτελεσματικά ηλιακά κύτταρα** (αγγλ. solar cells), **καλύτεροι καταλύτες, πιο ισχυροί επιταχυντές, νέες πηγές ενέργειας ή σχεδιασμός φαρμακευτικών προϊόντων**.

Η Donna Strickland συνέχισε την ερευνητική της καριέρα στον Καναδά, ενώ ο Gérard Mourou, ο οποίος επέστρεψε στη Γαλλία, συμμετείχε σε μια πανευρωπαϊκή πρωτοβουλία στην τεχνολογία λέιζερ, μεταξύ άλλων έργων. Ξεκίνησε και ηγήθηκε την ανάπτυξη του **Extreme Light Infrastructure (ELI)**. [17] Τρεις τοποθεσίες, η μία στην Τσεχική Δημοκρατία, μία στην Ουγγαρία και μία στη Ρουμανία θα ολοκληρωθούν σε λίγα χρόνια ως κομμάτι αυτού του πρότζεκτ. Η αναμενόμενη μέγιστη ισχύς του έργου θα είναι 10 petawatts (10^{15} Watts), η οποία ισοδυναμεί με ένα απίστευτα σύντομο φλας από εκατό χιλιάδες δισεκατομμύρια λαμπτήρες.

Αυτές οι τοποθεσίες θα ειδικευτούν σε διαφορετικούς τομείς όπως σε έρευνα πάνω στα λέιζερ των attosecond στην Ουγγαρία, πυρηνική φυσική στη Ρουμανία και ακτίνες σωματιδίων υψηλής ενέργειας στην Τσεχική Δημοκρατία. Νέες και ακόμη πιο ισχυρές εγκαταστάσεις σχεδιάζονται στην Κίνα, την Ιαπωνία, τις ΗΠΑ και τη Ρωσία.

Μία άλλη εφαρμογή της μεθόδου CPA είναι ακτίνες σωματιδίων επιταχυμένες από λέιζερ για **δοκιμές και τεστ αντοχής υλικών**. Η επιτάχυνση σωματιδίων που καθοδηγείται από λέιζερ, που λαμβάνεται με ακτινοβολία ενός στερεού στόχου χρησιμοποιώντας ένα εξαιρετικά έντονο ($I > 10^{18} \text{ W/cm}^2$) λέιζερ βραχέων παλμών (διάρκειας $< 1 \text{ ps}$), είναι ένα αναπτυσσόμενο πεδίο ενδιαφέροντος, ιδίως για τη δυνατότητα για εφαρμογές σε διαφορετικούς τομείς. Υπάρχουν πειραματικές ενδείξεις ότι σωματίδια που παράγονται με λέιζερ, ιδίως πρωτόνια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δοκιμή της αντοχής υλικών και ιδιαίτερα για την αναγνώριση υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ακραίες συνθήκες. Τα πρωτόνια που παράγονται με λέιζερ μπορούν να προκαλέσουν, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, μια ισχυρή μηχανική και θερμική βλάβη, η οποία, δεδομένου του μικρού χρόνου ακτινοβολίας, δεν επιτρέπει την αποκατάσταση του υλικού. [18]

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα

4.1 Μελλοντική Μελέτη

Σε αυτήν την ενότητα θα μελετήσουμε και ορισμένα ανοιχτά ζητήματα ή επεκτάσεις που θα μπορούσαν να γίνουν στη μελέτη της εξέλιξης των λέιζερ όσον αφορά το Νόμπελ Φυσικής του 2018. Για να έχουμε μία ολοκληρωμένη άποψη του αντίκτυπου της έρευνας στη φυσική των λέιζερ, κάνουμε μία σύντομη αναφορά και στα υπόλοιπα βραβεία Νόμπελ που έχουν απονεμηθεί και έχουν σχέση με το συγκεκριμένο τομέα, καθώς και στα βραβεία Φυσικής που απονεμήθηκαν τις επόμενες χρονιές μετά το 2018 μέχρι την ημερομηνία συγγραφής αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Γενικά, οι δύο αυτές πρωτοποριακές ανακαλύψεις, τα optical tweezers και η μέθοδος Chirped Pulse Amplification, στηρίζονται σε σημαντικά και ίσως περίπλοκα θεμέλια της επιστήμης των μαθηματικών και της φυσικής. Μία πιο εκτενής μελέτη στη θεωρία και στα ερευνητικά έγγραφα των Νομπελίστων θα ήταν απαραίτητη ενδεχομένως για τον αναγνώστη που επιθυμεί να εισέλθει στο αμιγώς θεωρητικό, αλλά και πρακτικό σύνολο γνώσεων που οδήγησαν στην τεκμηριωμένη υλοποίηση του ερευνητικού αυτού έργου.

4.1.1 Άλλα Νόμπελ σχετικά με το λέιζερ

Η χρονιά του 2020 σηματοδοτεί 60 χρόνια από την πρώτη επιτυχημένη λειτουργία του λέιζερ. Αυτή η επέτειος σε συνδυασμό με τη θεματολογία της πτυχιακής εργασίας, μας προσφέρει μια ιδανική ευκαιρία να προβληματιστούμε σχετικά με τους ποικίλους τρόπους με τους οποίους τα λέιζερ έχουν φέρει επανάσταση στην κοινωνία και να εξετάσουμε τους πολλούς νέους τομείς έρευνας που συνεχίζουν να οδηγούν τη φωτονική σε απροσδόκητες κατευθύνσεις. Απόδειξη των παραπάνω είναι η ανάπτυξη του λέιζερ παράλληλα με την αναγνώριση πολλών από τους πρωτοπόρους της οπτικής μέσω των Βραβείων Νόμπελ.

Ένα καλό σημείο έναρξης της μελέτης για την ιστορική συζήτηση για το λέιζερ είναι το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα και η μελέτη των ιδιοτήτων εκπομπής καυτών αντικειμένων και των μετρήσεων του χαρακτηριστικού φάσματος της ακτινοβολίας μελανών σωμάτων. Στην πραγματικότητα, θεωρείται ευρέως ότι αυτές οι μελέτες δεν είχαν αρχικά κίνητρα σε ζητήματα θεμελιώδους επιστημονικής περιέργειας, αλλά μάλλον διεγέρθηκαν από ένα πολύ πρακτικό και οικονομικό πρόβλημα.

Συγκεκριμένα, η πόλη του Βερολίνου εκείνη την εποχή έπρεπε να επιλέξει μεταξύ αερίου και ηλεκτρισμού για τον φωτισμό, ουσιαστικά το ίδιο πρόβλημα που είχαμε τα τελευταία χρόνια κατά τη μετάβαση από λαμπτήρες πυρακτώσεως και φθορισμού σε LED. Φυσικά, κατά τη λήψη μιας τέτοιας απόφασης, η τυποποίηση του φασματικού περιεχομένου των διαφόρων πηγών φωτός ήταν ένα κρίσιμο πρώτο βήμα και αυτό οδήγησε τα πειράματα για τη μέτρηση καμπυλών ακτινοβολίας πηγών σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Η θεωρητική εργασία του Wilhelm Wien [19] κατάφερε να συνδέσει το μέγιστο μήκος κύματος εκπομπών και τη θερμοκρασία πηγής, αλλά η εξήγηση του σχήματος της καμπύλης εκπομπών ήταν δυνατή μόνο με την εισαγωγή της κβαντοποίησης της ενέργειας από τον Max Planck το 1900.

Αν και οι αρχικές μετρήσεις της ακτινοβολίας μελανού σώματος μπορεί να είχαν ισχυρό βιομηχανικό δεσμό, το επιστημονικό προσωπικό της εποχής επικεντρώθηκε σαφώς στην κατανόηση των βαθιών και θεμελιωδών ερωτημάτων σχετικά με τη φύση των αλληλεπιδράσεων φωτός-ύλης. Το βραβείο Νόμπελ απονεμήθηκε για πρώτη φορά το 1901 και η σημασία της μελέτης της φύσης του φωτός αναγνωρίστηκε γρήγορα με βραβεία στους Lorentz και Zeeman (1902), Wien (1911) και τον ίδιο τον Planck (1918).

Το 1905 ο Άλμπερτ Αϊνστάιν έφερε επανάσταση στη φυσική με τις τέσσερις διάσημες εργασίες του *Annus Mirabilis*. Η πρώτη από αυτές αφορούσε την ίδια τη φύση του φωτός, όπου εφάρμοσε την έννοια της κβαντοποίησης του φωτός για να εξηγήσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Για την ακρίβεια, όταν ο Αϊνστάιν απονεμήθηκε το βραβείο Νόμπελ (το 1921), ήταν μόνο αυτή η ιδιαίτερη συμβολή που τονίστηκε στην αναφορά του - «για υπηρεσίες στη Θεωρητική Φυσική, και ειδικά για την ανακάλυψη του νόμου του φωτοηλεκτρικού φαινομένου».

Το 1917 ο Αϊνστάιν συνέβαλε καθοριστικά στην μετέπειτα δημιουργία του λέιζερ μέσω της πρόβλεψής του για τη διαδικασία της διεγερμένης εκπομπής. Εκτός από την ανάπτυξη της πλέον γνωστής θεωρίας εξισώσεων ρυθμού εκπομπής και απορρόφησης, η διορατικότητα του Αϊνστάιν τον οδήγησε να συνειδητοποιήσει ότι η διέγερση εκπομπών θα συνδεόταν με το εκπεμπόμενο και το περιστατικό φωτόνιο που έχει την ίδια κατεύθυνση. Είναι αυτό το χαρακτηριστικό κατευθυντικότητας που παρέχει τη βάση της ενίσχυσης και ενώ ο Αϊνστάιν δεν προέβλεπε καμία μορφή πρακτικής συσκευής λέιζερ, η εργασία του 1917 αποτελεί το θεμέλιο όλων όσων ακολούθησαν έκτοτε.

Με βάση αυτές τις ιδέες, οι ερευνητές επέκτειναν τόσο τη θεωρία όσο και τα πειράματα των αλληλεπιδράσεων φωτός-ύλης κατά τις επόμενες δεκαετίες, οδηγώντας στην ανάπτυξη των εννοιών όπως η άντληση (αγγλ. *pumping*) και οι συντονιστές (αγγλ. *resonators*), και τελικά η πρώτη επίδειξη του maser το 1953 από τον Charles Townes και το διδακτορικό του μαθητή Jim Gordon. Με τον Arthur Schawlow, το 1958 ο Townes έγραψε ένα θεωρητικό έγγραφο που επεκτείνει την ιδέα του maser στο ορατό φάσμα, παρόλο που δεν είχαν ακόμη κατασκευάσει ένα πειραματικό πρωτότυπο. Αυτά τα αποτελέσματα καθιέρωσαν ένα εντελώς νέο πεδίο «κβαντικών ηλεκτρονικών» και το 1959 ο Townes οργάνωσε το πρώτο διεθνές συνέδριο με έναν από τους πιο σημαντικούς στόχους να είναι να εργαστούν για την επέκταση του maser σε οπτικά μήκη κύματος. Ο Ted Maiman παρακολούθησε αυτό το συνέδριο, αλλά καθώς γράφει στα απομνημονεύματά του, αποφάσισε να αποφύγει τις πολύπλοκες αλλά κομψές μεθοδολογίες που συζητούνταν ευρέως και να εστιάσει στην πρακτική απλότητα. Φυσικά, δεν υπήρξε ποτέ καμία εγγύηση ότι η προσέγγιση του Maiman θα λειτουργούσε, αλλά στις 16 Μαΐου 1960, ενώ εργαζόταν στα ερευνητικά εργαστήρια Hughes, παρατήρησε παλμική ταλάντωση λέιζερ στα 694.3 nm, στηριζόμενη στην ιδέα του ότι το *pumping* ρουμπινιού με φλας θα επέτρεπε μια δυναμική αναστροφή πληθυσμού επαρκή για να φτάσει το κατώφλι και να δημιουργηθεί ένα maser σε οπτικά μήκη κύματος.

Το πρωτοποριακό έργο τόσο για τα masers όσο και για τα λέιζερ αναγνωρίστηκε το 1964 με την απονομή του βραβείου Νόμπελ στους Charles Townes, Nicolay Basov και Aleksandr Prokhorov «για θεμελιώδη εργασία στον τομέα της κβαντικής ηλεκτρονικής, η οποία οδήγησε στην κατασκευή ταλαντωτών και ενισχυτών με βάση την αρχή του maser-laser.» Στην πραγματικότητα, παρόλο που πολλές ιστορίες λέιζερ τείνουν να επικεντρώνονται κυρίως στο έργο που εκτελείται στις ΗΠΑ, ο Basov και ο Prokhorov στο Ινστιτούτο Lebedev στη Μόσχα κάλυπταν ταυτόχρονα και ανεξάρτητα το ίδιο έδαφος με τη δική τους θεωρία και πειράματα. Δύο χρόνια αργότερα το 1966, ο Albert Kastler έλαβε το βραβείο Νόμπελ για το έργο του στις τεχνικές οπτικής άντλησης και αργότερα ο Bloembergen και ο Schawlow μοιράστηκαν το βραβείο Νόμπελ του 1981 για εφαρμογές λέιζερ στη φασματοσκοπία.

Ο Maiman, παρόλο που ήταν ο πρώτος που είδε εκπομπές λέιζερ, δεν κέρδισε ποτέ το βραβείο Νόμπελ, καθώς ούτε και ο Jim Gordon. Ενώ είναι φυσικό να θεωρούμε αυτές τις παραλείψεις ως σημαντικές παραβλέψεις από την Επιτροπή Νόμπελ, τα διαθέσιμα αρχεία βραβείων Νόμπελ αποκαλύπτουν ότι η έλλειψη οποιασδήποτε αναγνώρισης Νόμπελ για τους Maiman και Gordon μπορεί απλώς να συνδεθεί με το γεγονός ότι δεν υποστηρίχθηκαν έντονα από την ευρύτερη φυσική κοινότητα εκείνη την εποχή.

Συγκεκριμένα, ξεκινώντας από το 1958, ο Charles Townes είχε προταθεί 75 φορές για το βραβείο Νόμπελ, συμπεριλαμβανομένων 29 υποψηφιοτήτων για το έτος κατά το οποίο κέρδισε. Αντίθετα, με βάση όσα γνωρίζουμε για τα αρχεία υποψηφιοτήτων (τα οποία είναι προσβάσιμα έως το 1966), ο Gordon προτάθηκε μόνο μία φορά το 1963 και ο Maiman μόνο μία φορά το 1964. Πάντως, όσον αφορά τον Jim Gordon, ο Charles Townes αναγνώρισε σίγουρα το ρόλος που είχε παίξει, και το 2014 δήλωσε ότι «ο Jim δεν έλαβε το βραβείο Νόμπελ μαζί μου, πιθανώς επειδή ήταν μαθητής όταν το maser δούλεψε για πρώτη φορά, αλλά νομίζω ότι του άξιζε».

Υπήρχαν φυσικά πολλοί άλλοι επιφανείς επιστήμονες που συμμετείχαν στα πρώτα χρόνια της φυσικής των λέιζερ. Τα λέιζερ έχουν επίσης αναγνωριστεί είτε άμεσα είτε έμμεσα σε πολλά άλλα βραβεία Νόμπελ και όχι μόνο φυσικής.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια λίστα από Βραβεία Νόμπελ που σχετίζονται με το φως, τα masers, τα λέιζερ και εφαρμογές τους. Οι περιγραφές συνοψίζονται σε μεγάλο βαθμό από την επίσημη παραπομπή, και πρόκειται φυσικά για μόνο μία μερική λίστα. Πολλά άλλα βραβεία Νόμπελ έχουν εμπλακεί σε βασικούς τομείς της επιστήμης του φωτός. Συγκεκριμένα, ορισμένα βραβεία Νόμπελ φυσικής στην αστρονομία και την κοσμολογία περιλαμβάνουν τα όργανα λέιζερ ως κεντρικά στοιχεία π.χ. ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων και συμβολομετρία λέιζερ (Nobel 2017) και η παρατήρηση των μαύρων οπών που βασίστηκε και σε οπτική λέιζερ (Nobel 2020).
[20]



Σχήμα 16: Βραβεία Νόμπελ που σχετίζονται με το φως, τα masers και τα lasers

Το λέιζερ είναι ένα ιδανικό θέμα για να εξηγήσει κάποιος τα τεράστια οικονομικά και κοινωνικά οφέλη που μπορούν να προκύψουν από τη βασική έρευνα που βασίζεται στην επιστημονική περιέργεια. Με όλες τις εξελίξεις που συνεχίζουν να γίνονται στη φωτονική και σε πολλούς άλλους διαφορετικούς τομείς, είναι πιθανό ότι η επιστήμη που σχετίζεται με το λέιζερ θα συνεχίσει να αναγνωρίζεται από τα βραβεία Νόμπελ στο μέλλον και θα συνεχίσει να δημιουργεί επαναστάσεις στη ζωή μας.

4.1.2 Νόμπελ Φυσικής 2019 & 2020

Το βραβείο Νόμπελ στη Φυσική του 2019 απονεμήθηκε "για συνεισφορά στην κατανόηση της εξέλιξης του σύμπαντος και της θέσης της Γης στον Κόσμο" με το μισό να πηγαίνει στον James Peebles "για θεωρητικές ανακαλύψεις στη φυσική κοσμολογία", και το άλλο μισό από κοινού στον Michel Mayor και στον Didier Queloz "για την ανακάλυψη ενός εξωπλανήτη σε τροχιά γύρω από ένα αστέρι ηλιακού τύπου."

Οι γνώσεις του James Peebles στη φυσική κοσμολογία έχουν εμπλουτίσει ολόκληρο το πεδίο της έρευνας και έθεσαν τα θεμέλια για το μετασχηματισμό της κοσμολογίας τα τελευταία πενήντα

χρόνια. Το θεωρητικό του έργο, που αναπτύχθηκε από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, είναι η βάση των σύγχρονων ιδεών μας για το σύμπαν.

Το μοντέλο της θεωρίας του Big Bang περιγράφει το σύμπαν από τις πρώτες του στιγμές, περίπου 14 δισεκατομμύρια χρόνια πριν, όταν ήταν εξαιρετικά ζεστό και πυκνό. Από τότε, το σύμπαν επεκτείνεται, γίνεται μεγαλύτερο και πιο κρύο. Μόλις 400.000 χρόνια μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, το σύμπαν έγινε διαφανές και οι ακτίνες του φωτός μπόρεσαν να ταξιδέψουν στο διάστημα. Ακόμα και σήμερα, αυτή η αρχαία ακτινοβολία είναι γύρω μας και κωδικοποιημένη σε αυτήν κρύβονται πολλά από τα μυστικά του σύμπαντος. Χρησιμοποιώντας τα θεωρητικά εργαλεία και τους υπολογισμούς του, ο James Peebles μπόρεσε να ερμηνεύσει αυτά τα ίχνη από την παιδική ηλικία του σύμπαντος και να ανακαλύψει νέες φυσικές διαδικασίες.

Τα αποτελέσματα μας έδειξαν ένα σύμπαν στο οποίο μόνο το 5% του περιεχομένου του είναι γνωστό, η ύλη που αποτελεί αστέρια, πλανήτες, δέντρα και εμάς τους ανθρώπους. Το υπόλοιπο, 95%, είναι άγνωστη σκοτεινή ύλη και σκοτεινή ενέργεια. Αυτό είναι ένα μυστήριο και μια πρόκληση για τη σύγχρονη φυσική.

Τον Οκτώβριο του 1995, ο Michel Mayor και ο Didier Queloz ανακοίνωσαν την πρώτη ανακάλυψη ενός πλανήτη έξω από το ηλιακό μας σύστημα, ενός εξωπλανήτη, σε τροχιά γύρω από ένα αστέρι ηλιακού τύπου στον γαλαξία μας, τον Milky Way. Στο Παρατηρητήριο Haute-Provence στη νότια Γαλλία, χρησιμοποιώντας ειδικά κατασκευασμένα όργανα, μπόρεσαν να δουν τον πλανήτη 51 Pegasi b, μια αέρια μπάλα συγκρίσιμη με τον μεγαλύτερο γίγαντα αερίου του ηλιακού συστήματος, τον Δία.

Αυτή η ανακάλυψη ξεκίνησε μια επανάσταση στην αστρονομία και από τότε έχουν βρεθεί πάνω από 4.000 εξωπλανήτες στο γαλαξία μας. Παράξενοι νέοι κόσμοι εξακολουθούν να ανακαλύπτονται, με έναν απίστευτο πλούτο μεγεθών, μορφών και τροχιών. Με πολλά ερευνητικά έργα να έχουν προγραμματιστεί να ξεκινήσουν για την αναζήτηση εξωπλανητών, ενδέχεται τελικά να βρούμε μια απάντηση στο αιώνιο ερώτημα εάν υπάρχει άλλη ζωή εκεί έξω.

Οι νικητές του Νόμπελ Φυσικής του 2019 έχουν μεταμορφώσει τις ιδέες μας για τον κόσμο. Ενώ οι θεωρητικές ανακαλύψεις του James Peebles συνέβαλαν στην κατανόησή μας για το πώς εξελίχθηκε το σύμπαν μετά το Big Bang, ο Michel Mayor και ο Didier Queloz εξερεύνησαν τις κοσμικές γειτονιές μας στο κυνήγι της αναζήτησης για άγνωστους πλανήτες. [21]

Το **βραβείο Νόμπελ Φυσικής του 2020** μοιράστηκε σε τρία άτομα, το μισό απονεμήθηκε στον Roger Penrose "για την ανακάλυψη ότι ο σχηματισμός μαύρων οπών είναι μια πρόβλεψη της γενικής θεωρίας της σχετικότητας", ενώ το άλλο μισό από κοινού στον Reinhard Genzel και την Andrea Ghez "για την ανακάλυψη ενός υπερμεγέθους συμπαγές αντικειμένου στο κέντρο του γαλαξία μας.", μία ανακάλυψη που βασίστηκε και σε οπτική λείζερ όπως αναφέρουμε και παραπάνω.

Ο Roger Penrose χρησιμοποίησε έξυπνες μαθηματικές μεθόδους στην απόδειξή του ότι οι μαύρες τρύπες είναι άμεση συνέπεια της γενικής θεωρίας της σχετικότητας του Albert Einstein. Ο ίδιος ο Αϊνστάιν δεν πίστευε ότι υπάρχουν πραγματικά μαύρες τρύπες, αυτά τα «τέρατα» που συλλαμβάνουν ό,τι περνάει από κοντά τους και τίποτα δεν μπορεί να τους ξεφύγει, ούτε καν το φως.

Τον Ιανουάριο του 1965, δέκα χρόνια μετά το θάνατο του Αϊνστάιν, ο Roger Penrose απέδειξε ότι οι μαύρες τρύπες μπορούν πραγματικά να σχηματιστούν και να τις περιγράψουμε λεπτομερώς. Στην καρδιά τους, οι μαύρες τρύπες κρύβουν μια μοναδικότητα στην οποία παύουν

όλοι οι γνωστοί νόμοι της φυσικής. Το πρωτοποριακό άρθρο του εξακολουθεί να θεωρείται ως η πιο σημαντική συμβολή στη γενική θεωρία της σχετικότητας μετά τον Αϊνστάιν.

Ο Reinhard Genzel και η Andrea Ghez καθοδηγούσαν ο καθένας μια ομάδα αστρονόμων που από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, επικεντρώθηκε σε μια περιοχή που ονομάζεται Τοξότης A* στο κέντρο του γαλαξία μας. Οι τροχιές των πιο φωτεινών αστεριών που βρίσκονται πλησιέστερα στη μέση του γαλαξία μας έχουν χαρτογραφηθεί με αυξημένη ακρίβεια. Οι μετρήσεις αυτών των δύο ομάδων συμφωνούσαν, και με τις δύο να βρίσκουν τελικά ένα εξαιρετικά βαρύ, αόρατο αντικείμενο που τραβάει τα αστέρια, αναγκάζοντάς τα να περιστρέφονται με τρομερές ταχύτητες. Περίπου τέσσερα εκατομμύρια ηλιακές μάζες συγκεντρώνονται σε μια περιοχή όχι μεγαλύτερη από το ηλιακό μας σύστημα.

Χρησιμοποιώντας τα μεγαλύτερα τηλεσκόπια στον κόσμο, ο Genzel και η Ghez ανέπτυξαν μεθόδους για να δουν μέσα από τα τεράστια σύννεφα διαστρικού αερίου και σκόνης στο κέντρο του γαλαξία μας. Επινόησαν νέες τεχνικές για να αντισταθμίσουν τις στρεβλώσεις που προκαλούνται από την ατμόσφαιρα της Γης, δημιουργώντας μοναδικά όργανα μετά από μακροχρόνια έρευνα. Το πρωτοποριακό έργο τους μας έδωσε τις πιο πειστικές αποδείξεις για μια υπερμεγέθη μαύρη τρύπα στο κέντρο του γαλαξία μας. [22]

4.2 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, στην παρούσα εργασία ασχοληθήκαμε με το θέμα του Νόμπελ Φυσικής του 2018. Η Σουηδική Βασιλική Ακαδημία των Επιστημών αποφάσισε να απονείμει το βραβείο αυτό, για δύο καινοτόμες εφευρέσεις στον τομέα της φυσικής των λέιζερ. Το πρώτο μισό του βραβείου το παρέλαβε ο Αμερικανός Arthur Ashkin για τις οπτικές λαβίδες (αγγλ. optical tweezers) και τις εφαρμογές τους στα βιολογικά συστήματα. Το δεύτερο μισό του βραβείου δόθηκε από κοινού στον Γάλλο Gérard Albert Mourou και στην Καναδή Donna Theo Strickland, για τη μέθοδό τους για παραγωγή πολύ σύντομων, αλλά με μεγάλη ένταση οπτικών παλμών.

Αρχικά, βλέποντας τη σημασία των βραβείων αυτών και την εξέλιξη τους στην πορεία του χρόνου είχαμε τη δυνατότητα να καταλάβουμε και τον αντίκτυπο που είχε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής του 2018 στην επιστημονική κοινότητα, αλλά και τον υπόλοιπο κόσμο.

Στη συνέχεια θέσαμε το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο στη φυσική των λέιζερ ώστε να είναι δυνατή η κατανόηση των εννοιών και των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν για την εφεύρεση των οπτικών λαβίδων και της μεθόδου CPA.

Έχοντας πλέον στη φαρέτρα μας τις βασικές αυτές γνώσεις, εισήλθαμε σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια πάνω στο πως λειτουργούν οι δύο αυτές εφευρέσεις που κέρδισαν το βραβείο Νόμπελ Φυσικής. Έπειτα, αναφέραμε φυσικά τις ποικίλες εφαρμογές που έχουν τα optical tweezers κυρίως στην μελέτη των μικροσκοπικών μηχανισμών της ζωής, αλλά και σε άλλους τομείς όπως στην κβαντική φυσική, καθώς και τις εφαρμογές της μεθόδου CPA για τη δημιουργία ισχυρών λέιζερ που χρησιμοποιούνται στην ιατρική και στις κατασκευές, μεταξύ άλλων.

Τέλος, ανατρέξαμε και σε άλλα βραβεία Νόμπελ τα οποία βασίστηκαν έμμεσα ή άμεσα στη φυσική των λέιζερ, αναγνωρίζοντας την επιρροή που έχει αυτή η τεχνολογία πάνω στην ερευνητική κοινότητα και την καθημερινή μας ζωή, αλλά και το περιθώριο για πρόοδο και περαιτέρω βελτίωση.

Οι αναρίθμητοι τομείς εφαρμογής δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί πλήρως. Ωστόσο, ακόμα και σήμερα αυτές οι περίφημες εφευρέσεις μας επιτρέπουν να εξερευνούμε τον μικρόκοσμο με το

πνεύμα πάντα του Alfred Nobel για τα βραβεία αυτά, δηλαδή για το όσο το δυνατόν μεγαλύτερο όφελος για την ανθρωπότητα.

Ακρωνύμια και συντομογραφίες

ΗΜ Ηλεκτρομαγνητικό ή Ηλεκτρομαγνητισμός

Λείζερ (αγγλ. Laser) Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Μείζερ (αγγλ. Maser) Microwave Amplification by the Stimulated Emission of Radiation

CPA Chirped Pulse Amplification

ELI Extreme Light Infrastructure

SEK Σουηδικές κορώνες (1 SEK ισούται περίπου με 0.098 Euro)

Βιβλιογραφία

- [1] «<https://www.nobelprize.org>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nobelprize.org/alfred-nobel/alfred-nobels-life-and-work>.
- [2] «[britannica.com](https://www.britannica.com),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.britannica.com/biography/Alfred-Nobel>.
- [3] «[smithsonianmag.com](https://www.smithsonianmag.com),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/blame-sloppy-journalism-for-the-nobel-prizes-1172688/>.
- [4] «<https://www.nobelprize.org>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nobelprize.org/prizes/facts/nobel-prize-facts/>.
- [5] «<https://www.nobelprize.org>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-physics/>.
- [6] J. Hecht, *Understanding Lasers, An Entry-Level Guide*, IEEE Press, 2019.
- [7] «[IEK APTΑΣ](http://iek-artas.art.sch.gr/),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://iek-artas.art.sch.gr/>.
- [8] «[NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2018/ashkin/facts/>.
- [9] A. Arthur, «Optical trapping and manipulation of neutral particles using lasers,» σε *Proc. Natl. Acad. Sci.*, USA, 1997.
- [10] «[Michigan Engineering](https://cutt.ly/shXtc4o),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://cutt.ly/shXtc4o>.
- [11] «<https://www.bbc.com>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bbc.com/news/world-46225037>.
- [12] «[University of Waterloo](https://uwaterloo.ca),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://uwaterloo.ca/physics-astronomy/people-profiles/donna-strickland>.
- [13] D. Strickland και G. Mourou, «Compression of Amplified Chirped Optical Pulses,» *Optics Communications*, τόμ. 56, αρ. 3, 1985.
- [14] P. J. M. Taejin L Min, L. M. Chubiz, C. V. Rao και I. G. & Y. R. Chemla, «High-resolution, long-term characterization of bacterial motility using optical tweezers,» *Nature Methods*, 2009.
- [15] «Quantum computing - Wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_computing.
- [16] J. Beugnon, C. Tuchendler, H. Marion, A. Gaëtan, Y. Miroshnychenko, Y. R. P. Sortais, A. M. Lance, M. P. A. Jones, G. Messin και A. B. & P. Grangier, «Two-dimensional transport and transfer of a single atomic qubit in optical tweezers,» *Nature Physics*, 2007.
- [17] «[ELI](https://eli-laser.eu/),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eli-laser.eu/>.

- [18] M. Barberio, M. Scisciò, S. Vallières, F. Cardelli, S. N. Chen, G. Famulari, T. Gangolf, G. Revet, A. Schiavi και M. S. & P. Antici, «Laser-accelerated particle beams for stress testing of materials,» *Nature Communications*, 2018.
- [19] «Wien's displacement law - Wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Wien%27s_displacement_law.
- [20] J. M. Dudley, «Light, Lasers, and the Nobel Prize,» *Advanced Photonics*, 2020.
- [21] «The Nobel Prize in Physics 2019 - nobelprize.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2019/summary/>.
- [22] «The Nobel Prize in Physics 2020 - nobelprize.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/summary/>.