



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Οδηγός Παράστασης
ΛΕΪΖΕΡ
ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Αφεντάκης Νικόλαος
Μουσταϊζής Σταύρος
Σεργάκη Ελευθερία



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Οδηγός Παράστασης

ΛΕΪΖΕΡ

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΑΘΗΝΑ 2008

Επιστημονική ομάδα:

Αφεντάκης Νικόλαος

Διπλ. Μηχανικός Παραγωγής & Διοίκησης
Πολυτεχνείου Κρήτης

Μουσταϊζής Σταύρος

Αναπλ. Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης,
Φυσικός PhD

Σεργάκη Ελευθερία

Ειδικό Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό
(Ε.Ε.ΔΙ.Π.) Πολυτεχνείου Κρήτης,
Φυσικός Μ.Δ.Ε.

ISBN: 978-960-337-075-8

Copyright © Ίδρυμα Ευγενίδου

Απαγορεύεται η ολική ή μερική ανατύπωση του βιβλίου και των εικόνων με κάθε μέσο καθώς και η διασκευή, η προσαρμογή, η μετατροπή και η κυκλοφορία του. (Άρθρο 3 του ν. 2121/1993).



Προσοχή!

Τόσο η εργασία σε ένα χώρο που διεξάγονται πειράματα Φυσικής, όσο και γενικότερα η χρήση των Λέιζερ απαιτούν προφυλάξεις και κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας. Εάν προγραμματίζετε να πειραματιστείτε με Λέιζερ σας θυμίζουμε ότι πάντα πρέπει να διαβάσετε τις σχετικές πληροφορίες ασφάλειας ή να βάλετε κάποιον μεγαλύτερο να σας τις εξηγήσει. Να θυμάστε ότι η χρήση των Λέιζερ απαιτεί πάντα προφυλάξεις για τα μάτια και ότι πάντα πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά γυαλιά προστασίας. Παρακαλούμε να διαβάσετε προσεκτικά τις συνοπτικές οδηγίες ασφάλειας, στη σελίδα 57.

Μονάδες μέτρησης που εμφανίζονται στο βιβλίο

Παραθέτουμε τις μονάδες μέτρησης και τα σύμβολά τους, όπως παρουσιάζονται στο κείμενο:

Σύμβολο	Μονάδα	
m	meter	(μέτρο)
rad	radian	(ακτίνιο)
W	Watt	(βατ)
s	second	(δευτερόλεπτο)
b	bit	(μπιτ)
A	Ampere	(αμπέρ)
V	Volt	(βολτ)
J	Joule	(τζάουλ)
Hz	Hertz	(χερτζ)

Πολλές φορές, μπροστά από τις μονάδες μέτρησης εμφανίζονται τα ακόλουθα σύμβολα, που δηλώνουν πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσιά τους:

Πολλαπλάσια

Σύμβολο	Παράδειγμα			
k-	μονάδα $\times 10^3$	kilo-	(κιλο-)	1 kW = 10^3 W
M-	μονάδα $\times 10^6$	Mega-	(μεγα-)	1 MW = 10^6 W
G-	μονάδα $\times 10^9$	Giga-	(γιγα-)	1 GW = 10^9 W
T-	μονάδα $\times 10^{12}$	Tera-	(τερα-)	1 TW = 10^{12} W

Υποπολλαπλάσια

Σύμβολο	Παράδειγμα			
m-	μονάδα $\times 10^{-3}$	milli-	(μλι-)	1 ms = 10^{-3} s
μ-	μονάδα $\times 10^{-6}$	micro-	(μικρο-)	1 μs = 10^{-6} s
n-	μονάδα $\times 10^{-9}$	nano-	(νανο-)	1 ns = 10^{-9} s
p-	μονάδα $\times 10^{-12}$	pico-	(πικο-)	1 ps = 10^{-12} s



Μια αβλαβής δέσμη Λείζερ μπορεί να μετατρέψει την απουσία φωτός σε φαντασμαγορική επίδειξη χρωμάτων, υφής και προοπτικής.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	7
---------------	---

Ξεκινώντας	8
------------------	---

Ποια είναι η καταγωγή της λέξης «Λέιζερ»;.....	9
--	---

Με τι μοιάζει μία συσκευή Λέιζερ;.....	9
--	---

1. Το Φως

1.1. Άνθρωποι και φως.....	11
----------------------------	----

1.2. Τι είναι το φως.....	12
---------------------------	----

1.2.1. Το φως ως μορφή ενέργειας	12
--	----

1.2.2. Μήκος κύματος και συχνότητα	14
--	----

1.2.3. Το φως, εκτός από ιδιότητες κύματος παρουσιάζει και ιδιότητες σωματιδίου	14
--	----

1.3. Πώς παράγεται το φως και το χρώμα;.....	16
--	----

1.3.1. Πηγές φωτός	16
--------------------------	----

1.3.2. Το χρώμα των αντικειμένων.....	18
---------------------------------------	----

1.3.3. Η Κβαντική Φυσική.....	18
-------------------------------	----

2. Το Λέιζερ

Όλα για το Λέιζερ, με λίγα λόγια.	21
--	----

2.1. Φως Λέιζερ.	
------------------	--

2.2. Βασικές έννοιες της Φυσικής για την ερμηνεία των φαινομένων της εκπομπής φωτός από μια συσκευή Λέιζερ.	26
--	----

2.2.1. Φωτόνια.....	26
---------------------	----

2.2.2. Οι ατομικές ενεργειακές στάθμες.	26
--	----

2.2.3. Πώς εξηγείται η απορρόφηση φωτός από ένα υλικό;	27
---	----

2.2.4. Εξαναγκασμένη εκπομπή φωτός.....	27
---	----

2.3. Η λειτουργία της συσκευής Λέιζερ.....	28
--	----

2.4. Είδη συσκευών Λέιζερ ως προς τη λειτουργία τους στο χρόνο.....	31
--	----

2.5. Είδη συσκευών Λέιζερ ως προς το υλικό που διεγείρουμε.....	32
--	----

2.5.1. Λέιζερ αερίου.....	32
---------------------------	----

2.5.2. Διοδικά Λέιζερ.....	32
----------------------------	----

2.5.3. Λέιζερ στερεάς κατάστασης.....	33
---------------------------------------	----

2.5.4. Λέιζερ χρωστικών (DYE LASER).	33
---	----

2.5.5. Excimer Λέιζερ.....	34
----------------------------	----

2.6. Τύποι συσκευών Λέιζερ και μήκη κύματος.	34
---	----

2.7. Εφαρμογές των Λέιζερ.	35
---------------------------------	----

2.7.1. Τα Λέιζερ στο διάστημα και στις διαστημικές τηλεπικοινωνίες.	35
---	----

2.7.2. Τα Λέιζερ στις επίγειες τηλεπικοινωνίες.....	37
---	----

2.7.3. Τα Λέιζερ στη Βιολογία και στην Ιατρική.....	38
---	----

2.7.4. Τα Λέιζερ στη Φυσική και τη Χημεία.	40
---	----

2.7.5. Τα Λέιζερ στις στρατιωτικές εφαρμογές.....	41
---	----

2.7.6. Τα Λέιζερ στη μέτρηση του χρόνου.....	41
--	----

2.7.7. Τα Λέιζερ στην επεξεργασία υλικών.	42
--	----

2.7.8. Τα Λέιζερ στις μετρήσεις.	43
---------------------------------------	----

2.7.9. Τα Λέιζερ στην τρισδιάστατη απεικόνιση και η Ολογραφία.	45
--	----

2.7.10. Τα Λέιζερ στη διασκέδαση (σόου): Οπτικά εφέ.....	47
---	----

2.7.11. Μια νέα τεχνολογία προβολής εικόνας: Προβολέας βίντεο με Λέιζερ.	48
--	----

2.7.12. Ενδεικτικές καθημερινές συσκευές.	50
--	----

3. Παραρτήματα

Α. Ασφάλεια και Λέιζερ.	57
------------------------------	----

Α.1. Κλάσεις.....	57
-------------------	----

Α.2. Σύμβολα ασφαλείας.	58
------------------------------	----

Β. Ενδεικτικοί σταθμοί στη μελέτη του φωτός.	59
---	----

Γ. Ενδεικτικοί σταθμοί στην εξέλιξη των Λέιζερ....	63
--	----

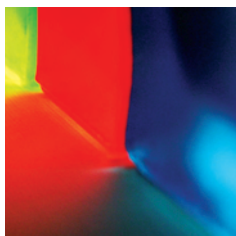
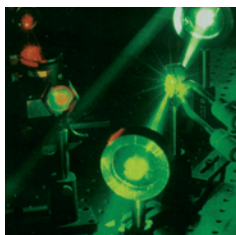
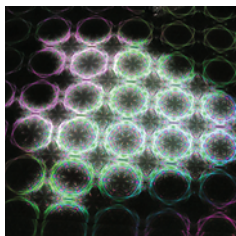
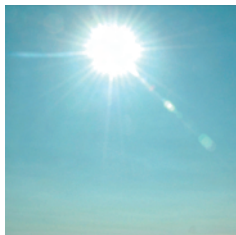
Δ. Ευρετήριο ονομάτων.....	68
----------------------------	----

Ε. Ενδεικτική βιβλιογραφία.	74
----------------------------------	----



Ο εντυπωσιακός θόλος του Πλανηταρίου του Ιδρύματος
Ευγενίδου, λίγο πριν την έναρξη της παράστασης.
Οι παραστάσεις του Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενί-
δου προσφέρουν οπτικοακουστικές συγκινήσεις πέρα από
κάθε φαντασία, σε κοινό όλων των ηλικιών.

Πρόλογος



Το βιβλίο αυτό παρουσιάζεται στο ελληνικό κοινό και ιδιαίτερα στους επισκέπτες του Πλανηταρίου με την προσδοκία να καταστήσει προσιτό και κατανητό ένα περίπλοκο θέμα: την τεχνολογία των Λέιζερ και τις ποικίλες σύγχρονες εφαρμογές τους. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως βοήθημα από μαθητές και μαθήτριες που έχουν αποκτήσει μια πρώτη γνώση των νόμων και των φαινομένων της βασικής Φυσικής, ώστε εύκολα να μπορούν να επεκτείνουν αυτές τις γνώσεις τους σε θέματα σύγχρονης Φυσικής, τεχνολογίας και εφαρμογών των Λέιζερ.

Παρόλο που πολλά εξειδικευμένα βιβλία, ελληνικά και ξένα, πραγματεύονται διεξοδικά διάφορα θέματα σχετικά με τα Λέιζερ, το βιβλίο αυτό φιλοδοξεί να καλύψει την απαραίτητη γνώση που θα πληροφορήσει με σαφήνεια, ακόμη και τον πλέον αδαή περί του θέματος αναγνώστη, χωρίς να είναι ανάγκη ο τελευταίος να ανατρέξει σε πληθώρα άλλων πηγών.

Ιδιαίτερη προσπάθεια καταβλήθηκε ώστε να απαντηθούν βασικά ερωτήματα που αφορούν στα Λέιζερ, όπως: Πώς παράγεται το φως Λέιζερ και ποιες είναι οι βασικές φυσικές και τεχνικές έννοιες που πρέπει να γνωρίζουμε, προκειμένου να καταλάβουμε τη λειτουργία των συσκευών Λέιζερ; Τι ιδιαιτερότητες έχει το φως Λέιζερ σε σχέση με άλλες πηγές φωτός; Ποια είδη συστημάτων Λέιζερ υπάρχουν; Ποιες είναι οι εφαρμογές τους; Πώς εξελικτικά οι συσκευές Λέιζερ θα αντικαταστήσουν τους σημερινούς προβολείς ταινιών και πώς περιμένουμε να είναι στο προσεχές μέλλον μία αίθουσα προβολής, όπως αυτές που έκαναν ήδη την εμφάνισή τους με το όνομα *Laserium*; Ξεκινώντας από τις βασικές αρχές, οι οποίες περιγράφουν το φως, παρουσιάζουμε όλα τα φυσικά φαινόμενα, τα απαραίτητα για την παραγωγή φωτός Λέιζερ, ενώ όλες οι έννοιες και οι τεχνικοί όροι επεξηγούνται. Στο τέλος περιέχονται παραρτήματα με χρήσιμες πληροφορίες που συμπληρώνουν όσα έχετε ήδη μάθει.

Από το σημερινό DVD, όπου φως Λέιζερ εγγράφει μια ολόκληρη εγκυκλοπαίδεια σε ένα μικρό δίσκο συνθετικού υλικού, μέχρι το δίσκο της Φαιστού, μεσολαβεί χρονική απόσταση πολλών εκατοντάδων ετών. Όμως αυτό που φαίνεται να παραμένει πάντα αδήριτη και μάλιστα πνευματική ανάγκη του ανθρώπου είναι η μεταλαμπάδευση της γνώσης, της ιστορίας και του πολιτισμού του. Κι αυτό σίγουρα θα δίνει παντοτινή αξία στην επιστήμη και στην ιστορία του.

Οι Συγγραφείς

Ξεκινώντας



*Δέσμη Λέιζερ διαχωρίζεται
πολλαπλά με σύστημα φακών και
κατόπτρων σε τράπεζα διεξαγωγής
πειραμάτων οπτικής.*

Ποια είναι η καταγωγή της λέξης «Λείζερ»;

Ο διεθνής όρος «Λείζερ» χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει το φως (ή αλλιώς την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) «Λείζερ» και τις συσκευές που το παράγουν. Η βραχυγραφία της λέξης γίνεται κατανοητή αν προσπαθήσουμε να περιγράψουμε με συντομία τον τρόπο λειτουργίας του. Έτσι, από τα αρχικά των λέξεων: «**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation» (που σημαίνουν «Ενίσχυση Φωτός με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας» ή ΕΦΕΕΑ στα ελληνικά) προέρχεται ο όρος LASER.

Η μοναδικότητα του φωτός Λείζερ.

Το φως Λείζερ δεν το συναντάμε στη φύση. Είναι μια τεχνητή πηγή φωτός, η οποία κατασκευάστηκε για εφαρμογές που δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν με άλλες πηγές φωτός.

Το φως που εκπέμπεται από μία συσκευή Λείζερ μπορεί να έχει πολλή ή λίγη ενέργεια (π.χ. να χρησιμοποιηθεί για να κόψει μέταλλα ή για μια λεπτή εγχείρηση στο ανθρώπινο μάτι), μπορεί να κατευθυνθεί με μεγάλη ακρίβεια (π.χ. για να στοχεύσει μια καρφίτσα σε απόσταση ενός χιλιομέτρου), καθώς και να φτάσει εξαιρετικά μακριά χωρίς μεγάλες απώλειες (για παράδειγμα να μεταφέρει με την ταχύτητα του **φωτός**¹ αναλλοίωτο ένα μήνυμα σε έναν εξερευνητή που ταξιδεύει στα όρια του Ηλιακού μας Συστήματος).

Όλες οι καταπληκτικές ιδιότητες του φωτός Λείζερ οφείλονται στο ότι αποτελείται από εντελώς ίδια (ταυτόσημα) **φωτόνια**² –σε αντιδιαστολή με τις άλλες πηγές φωτός που παράγουν φως με ανόμοια (μη ταυτόσημα) φωτόνια. Στη γλώσσα της επιστήμης, το φως που αποτελείται από εντελώς όμοια μεταξύ τους φωτόνια ονομάζεται **μονοχρωματικό–σύμφωνο φως** (monochromatic coherent light), ενώ το αντίθετο **μη σύμφωνο φως** (incoherent light).

Με τι μοιάζει μία συσκευή Λείζερ;

Μια εκπαιδευτική συσκευή Λείζερ, με εμφανή τα τμήματα που την αποτελούν, παρουσιάζεται στην **εικόνα 1**. Μετά την ανάγνωση των ενοτήτων που ακολουθούν θα μπορείτε να κατανοήσετε και να εξηγήσετε τη λειτουργία του κάθε τμήματος, αλλά και –αξιοποιώντας τις πληροφορίες αυτές– να εξερευνήσετε ακόμη περισσότερο το θαυμαστό κόσμο των Λείζερ.

1: Το φως ταξιδεύει ταχύτερα από οποιοδήποτε άλλο σώμα στο Σύμπαν. Στο κενό η ταχύτητά του είναι περίπου 300 εκατομμύρια m/s. Η ταχύτητα του φωτός θεωρείται ένα βασικό σταθερό μέγεθος της Φυσικής και συμβολίζεται με το γράμμα c.

2: Φωτόνια: Οι μικρές δεσμίδες ενέργειας (ή πακέτα ενέργειας όπως αλλιώς λέγονται) από τα οποία αποτελείται το φως. Τα φωτόνια που ονομάζονται και κβάντα (στα Λατινικά η λέξη «quantum» σημαίνει «ποσό»), είναι η μικρότερη ποσότητα ενέργειας η οποία μπορεί να μεταφερθεί ή να διαδοθεί στη φύση.

Έξοδος δέσμης
Λείζερ.

Ηλεκτρόδιο
τοποθετημένο
στη «μπροστινή»
μεριά του
κυλίνδρου.

Κάτοπτρο (καθρέπτης) στο
ένα άκρο του κυλίνδρου
(άλλο ένα βρίσκεται στο
αντίθετο άκρο). Αυτό,
στη «μπροστινή»
μεριά που βρίσκεται
η έξοδος της δέσμης
αντανακλά ένα
μέρος της,
επειδή δεν είναι
τέλειος καθρέ-
πτης (π.χ. με
επαργύρωση
99%).

Βάσεις στήριξης
για τοποθέτηση
πάνω σε επιφά-
νεια, με βίδες
ευθυγράμμισης.

Καλώδιο
τροφοδοσίας
από πηγή
ρεύματος.

Γυάλινος
κύλινδρος.
Εξωτερικό
κυλινδρικό
κέλυφος προ-
στασίας και
χειρισμού της
συσκευής.

Αεροστεγώς σφραγισμέ-
νος κύλινδρος με ειδικά
επεξεργασμένα εσωτερι-
κά λεία τοιχώματα που
περιέχει ένα αέριο.

Προστατευτι-
κό πλαστικό
για αποφυγή
καψίματος κατά
το χειρισμό,
όταν το Λείζερ
λειτουργεί ή
πριν κρυώσει.

Κάτοπτρο (καθρέπτης)
στη βάση του κυλίν-
δρου (άλλο ένα βρί-
σκεται στο αντίθετο
άκρο). Αυτό, στην
«πίσω» μεριά,
αντανακλά όλη
τη δέσμη επει-
δή είναι τέλειος
καθρέπτης (με 100%
επαργύρωση).

Ηλεκτρόδιο
τοποθετημένο
στην «πίσω»
μεριά του
κυλίνδρου.

Καλώδιο
τροφοδοσίας
από πηγή
ρεύματος.

Εικόνα 1

1. Το Φως

*Από το ασθενές λυκόφως ως την
έξαψη του μεσημεριού, οι ακτίνες
του Ήλιου με το φως τους παραμέ-
νουν η κύρια ζωογόνος δύναμη του
πολιτισμού μας.*

Περισσότερα

Στα Παραρτήματα, στο τέλος του βιβλίου, εμφανίζονται οι σημαντικότεροι ιστορικοί σταθμοί που αφορούν στην ιστορία του φωτός. Επίσης θα βρείτε ευρετήριο ονομάτων με συνοπτικά βιογραφικά για όλους τους ερευνητές και επιστήμονες που αναφέρονται στο κείμενο, καθώς και αναφορά σε μερικούς σημαντικούς ιστορικούς σταθμούς που αφορούν στη μελέτη, κατασκευή και εξέλιξη των Λείζερ.



1.1. Άνθρωποι και φως.

Το φως, από τα μυθικά χρόνια μέχρι σήμερα, έχει χαρακτηρίσει πάμπολλες φορές τον ανθρώπινο πολιτισμό με διάφορες μορφές και συμβολισμούς, τόσο ώστε να αποτελεί σημείο αφετηρίας για εξέλιξη και έμπνευση σε πολυάριθμες δραστηριότητες. Επιπλέον, πάντα φανταζόμαστε έναν κόσμο χωρίς φως ως «ανύπαρκτο», κενό, αφιλόξενο και ίσως ανίκανο να συντηρήσει τη ζωή όπως την έχουμε γνωρίσει.

Όλοι έχουμε κάποτε γοητευθεί από τη φωτιά μιας καλοκαιρινής κατασκήνωσης και κάποιες φορές μπορεί να διερωτηθήκαμε το γιατί. Ίσως κάποιο αρχέγονο ένστικτο μας έλκει προς το φως, ουσιαστικά και μεταφορικά, θυμίζοντας το σημαντικό ρόλο που αυτό διαδραμάτισε κατά την εξελικτική πορεία του είδους μας από την εποχή των σπηλαίων. Το φως εξακολουθεί να αποτελεί πηγή δημιουργίας, η οποία φωτίζει το δρόμο της ανθρωπότητας προς νέους, ανεξερεύνητους ορίζοντες γνώσης και πολιτισμού.

Στη μυθολογία ο Προμηθέας έφερε το φως (αλλιώς: τη γνώση) στους ανθρώπους. Βλέπουμε την έννοια του φωτός συνυφασμένη με την αυγή της ανθρώπινης ιστορίας, με

Εικόνα 1.1

Το φως λατρευόταν με τη μορφή θεών, όπως για παράδειγμα ο θεός Απόλλωνας στην Αρχαία Ελλάδα και στη Ρώμη, ο θεός Άχουρα Μάζντα στην Περσία, οι θεοί Άμμωνας και Ρα στην Αίγυπτο. Στην εικόνα, ο Φαραώ της Αιγύπτου Ακενατόν (Akhenaten) με προσφορές προς τον Ήλιο, τον οποίο προσπάθησε να καθιερώσει ως το μοναδικό θεό της χώρας του. Προσέξτε τις ακτίνες του Ηλίου που φτάνουν στη γη σαν χέρια.

Εικόνα 1.2

Το 1665 στο Λονδίνο ο εικοσάχρονος Robert Hooke γράφει το βιβλίο «Micrographia» και αποκαλύπτει την εξαιρετική σημασία του μικροσκοπίου στις επιστημονικές παρατηρήσεις. Ακόμη έγραψε για την καταγωγή των απολιθωμάτων, τους κρατήρες του φεγγαριού (που παρατηρούσε με τηλεσκόπιο), την παραγωγή του μεταξιού, τη ζωή του κουνουπιού και τη μορφή του ζωντανού κυττάρου.

χρήση της φωτιάς για την προστασία από τις καιρικές συνθήκες, για τη διατροφή ή για την επεξεργασία των όπλων και των εργαλείων που βοήθησαν στην εξάπλωση του ανθρώπινου είδους.

Οι αρχαίοι Έλληνες ήταν οι πρώτοι που διερωτήθηκαν για τη φύση του φωτός. Ο Πυθαγόρας, τον 5ο–6ο π.Χ. αιώνα, διατύπωσε την άποψη ότι τα μάτια έστελναν θερμές ακτίνες, οι οποίες αναγκάζονταν να επιστρέψουν σε αυτά όταν συναντούσαν ψυχρότερα αντικείμενα.

Φιλόσοφοι, όπως ο Εμπεδοκλής τον 4ο π.Χ. αιώνα, θεωρούσαν ότι τα πάντα στο Σύμπαν προέρχονται από τέσσερα διαφορετικά στοιχεία, τον αέρα, το νερό, τη γη και τη φωτιά. Σημειώστε ότι με τη σύγχρονη αντίληψη της επιστήμης θεωρούμε ότι υπάρχουν τέσσερις καταστάσεις της ύλης: Τα αέρια, τα υγρά, τα στερεά και το πλάσμα (με τον όρο πλάσμα θεωρούμε την πλήρως ιονισμένη κατάσταση της ύλης που είναι πρακτικά το 99% της κατάστασης της ύλης στο Σύμπαν. Τα άστρα, όπως και ο δικός μας Ήλιος βρίσκονται στην τέταρτη κατάσταση της ύλης, το πλάσμα).

Ο Πλάτωνας, τον 3ο π.Χ. αιώνα, προσπάθησε να διερευνήσει και να κατανοήσει τις ιδιότητες του φωτός και της όρασης. Τα βασικά ερωτήματα που έθετε ήταν: «πώς βλέπουμε;», «πώς διαδίδεται το φως;» και «τι είναι τα χρώματα;». Ο Αριστοτέλης, τον ίδιο αιώνα, συμπλήρωσε τα τέσσερα στοιχεία του Εμπεδοκλή θεωρώντας ότι υπάρχει και πέμπτο που το ονόμασε πεμπτούσια, στοιχείο απαραίτητο για την ένωση όλων των σωμάτων (όντων) μεταξύ τους. Για τον Αριστοτέλη η πεμπτούσια ταυτίζεται με την



ύλη των αστεριών. Με τη σημερινή αντίληψη η πεμπτουσία του Αριστοτέλη αναφέρεται στον επιστημονικό όρο «αλληλεπίδραση» και αφορά στις δυνάμεις μεταξύ σωμάτων (στοιχειωδών σωματιδίων, ατόμων, ατομικών πυρήνων, μορίων, πλανητών, γαλαξιών κ.λπ.). Στη Φυσική είναι γνωστές σήμερα τέσσερις αλληλεπιδράσεις και μία εξ αυτών είναι η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση ή αλλιώς –σε απλή γλώσσα– το φως.

Ο Ίππαρχος, τον 2ο π.Χ. αιώνα, παρομοίαζε τις ορατές ακτίνες των ματιών με «χέρια» που αισθάνονται τα αντικείμενα και έτσι τα κάνουν ορατά.

Ο Έλληνας μαθηματικός Ήρωνας ο Αλεξανδρινός, τον 1ο αιώνα μ.Χ., τεκμηρίωσε στο βιβλίο του «Κατοπτρικά» την ευθύγραμμη πορεία της ακτίνας του φωτός και το νόμο της **ανάκλασης**¹ ενώ ο Κλαύδιος Πτολεμαίος από την Αλεξάνδρεια, κατά τον 1ο–2ο αιώνα μ.Χ., υποστήριζε ότι δύο ειδών ακτίνες, οι ορατές και οι φωτεινές, συνεργάζονται για να βλέπουμε γύρω μας. Συνέγραψε ένα έργο για την οπτική, στο οποίο περιέγραψε την εξέλιξη της πορείας της ακτίνας του φωτός μετά την είσοδό της στο νερό. Αυτό το φαινόμενο είναι το φαινόμενο της **διάθλασης**², ενώ ο νόμος που το εξηγεί θα ανακαλυπτόταν 1300 χρόνια αργότερα από τον Ολλανδό Snel van Roijen Willebrord.

Ο Άραβας Ibn el Heitham, 800 χρόνια μετά τον Πτολεμαίο, δημοσίευσε το έργο του «Θησαυρός της οπτικής», έχοντας πιθανώς γνωρίσει και χρησιμοποιήσει το έργο του Πτολεμαίου. Στο βιβλίο του περιέχεται μία σημαντική παρατήρηση, ότι «ένα κομμάτι από μία γυάλινη σφαίρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ώστε να φανεί ένα αντικείμενο μεγαλύτερο». Το σημαντικό αυτό έργο μεταφράστηκε το 1240 στα λατινικά και διαδόθηκε γρήγορα στα μοναστήρια της Ευρώπης, όπου αντιγράφηκε και διασώθηκε.

Ο 16χρονος Albert Einstein θέτει σημαντικούς επιστημονικούς προβληματισμούς για το φως στα 1895 και τελί-

1: Ανάκλαση: Το φαινόμενο κατά το οποίο το φως εκτρέπεται όταν συναντήσει μια αδιαφανή γυαλιστερή επιφάνεια.

2: Διάθλαση: Το φαινόμενο κατά το οποίο το φως εκτρέπεται όταν συναντήσει ένα διαφορετικό διαφανές υλικό ως προς αυτό στο οποίο ήδη ταξιδεύει.

κά το φως Λέιζερ γίνεται πραγματικότητα το 1965.

Δεν πρέπει να μας διαφύγει το γεγονός ότι η μελέτη και απεικόνιση του φωτός έχει μεγάλη σημασία και στις τέχνες. Στη ζωγραφική οι αντιθέσεις μεταξύ φωτός και σκιάς βοηθούν στην αναπαράσταση φωτιζόμενων τρισδιάστατων αντικειμένων, στην αποτύπωση της προοπτικής, καθώς και στην ορθή παρουσίαση των σωμάτων και της κίνησής τους στο χώρο. Στη φωτογραφία, με την εφεύρεση του φλας (παλμικό φως), κατέστη δυνατό το «πάγωμα» της κίνησης και δόθηκε νέα κατεύθυνση στην τέχνη της περιγραφής της κίνησης, φτάνοντας ως τον κινηματογράφο. Πρόσφατες προσπάθειες συνδυάζουν το χορό και τη μουσική με φωτεινές πηγές που πάλλονται και παράγουν κινούμενες δέσμες Λέιζερ, καθώς και τρισδιάστατες ψηφιακές εικόνες που προβάλλονται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους, οι οποίοι απαιτούν εξειδικευμένες εγκαταστάσεις, που ονομάζονται **Laserium**. Οι χώροι αυτοί και οι εγκαταστάσεις συνήθως φιλοξενούνται σε σύγχρονα ψηφιακά Πλανητάρια, όπως αυτό του Ιδρύματος Ευγενίδου.

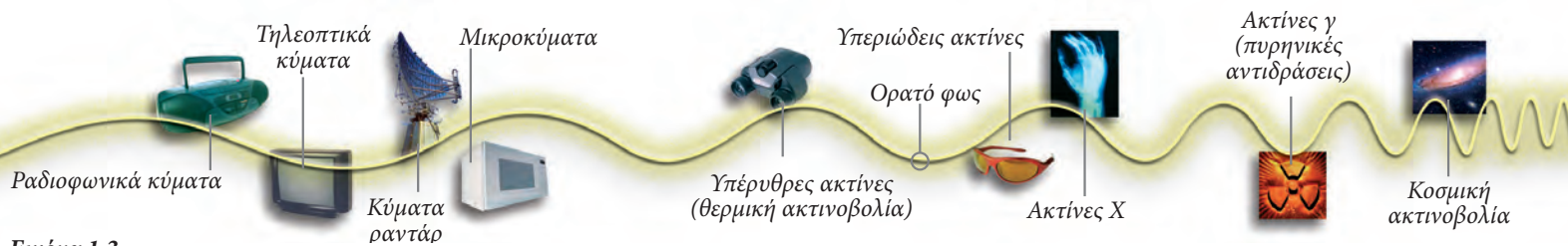
1.2. Τι είναι το φως.

1.2.1. Το φως ως μορφή ενέργειας.

Το φως και η αίσθηση της όρασης επέτρεψαν στον άνθρωπο να αντιλαμβάνεται, να κατανοεί και να περιγράφει το φυσικό του περιβάλλον. Η απορία που είχε σε μικρή ηλικία ο Einstein «*τι θα συνέβαινε αν ταξιδεύαμε πάνω σε μια ακτίνα φωτός*» τον οδήγησε στη διατύπωση της Θεωρίας της Σχετικότητας. Με την πρόοδο της τεχνολογίας τα οπτικά όργανα (το τηλεσκόπιο και το μικροσκόπιο) μας επέτρεψαν μέσω των ιδιοτήτων του φωτός να ανακαλύψουμε το **μακρόκοσμο**³ και το **μικρόκοσμο**⁴. Επιπλέον, σημαντι-

3: Μακρόκοσμος είναι ο φυσικός κόσμος που μας περιβάλλει και έχει διαστάσεις μεγαλύτερες από 10^{-4} m. Για παράδειγμα όταν μελετάμε ένα στραγάλι το αντιμετωπίζουμε ως ένα στερεό σώμα με διάμετρο περίπου 10^{-4} m και όχι ως ένα σύνολο ατόμων διαστάσεων 10^{-10} m το καθένα.

4: Μικρόκοσμος είναι ο κόσμος των ατόμων, αλλά και των σωματιδίων που είναι μικρότερα αυτών και έχει διαστάσεις μικρότερες από 10^{-10} m.



Εικόνα 1.3

Στην εικόνα αυτή βλέπουμε το φάσμα ακτινοβολιών ή το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα: Αν πάρουμε έναν οριζόντιο άξονα και τον βαθμολογήσουμε σε τιμές μήκους κύματος (ή συχνότητας) μπορούμε να τοποθετήσουμε διάφορα είδη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω του. Το διάγραμμα αυτό το ονομάζουμε ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Κάθε σημείο στο φάσμα αυτό μπορεί να οριστεί είτε με τη συχνότητά του, είτε με το μήκος κύματός του ανάλογα με την εφαρμογή που αναφερόμαστε. Παράδειγμα τέτοιο είναι οι ραδιοφωνικοί σταθμοί που ορίζονται με τη συχνότητά τους, ενώ το φως Λέιζερ περιγράφεται με το μήκος κύματός του. Το ορατό φως είναι μόνο μια μικρή περιοχή του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Άλλα παραδείγματα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι τα τηλεοπτικά κύματα, τα κύματα ραντάρ, οι ακτίνες X, η κοσμική ακτινοβολία κ.λπ. Το ορατό φως έχει συχνότητες 10^9 φορές μεγαλύτερες από τα ραδιοκύματα και 10^5 φορές μεγαλύτερες από τα μικροκύματα. Οι συσκευές Λέιζερ που έχουμε κατασκευάσει ως σήμερα παράγουν φως Λέιζερ από το υπέρυθρο μέχρι το υψηλό υπεριώδες, καθώς και στην περιοχή του μακρινού υπεριώδους και των ακτίνων X (κάτι που έχει επιτευχθεί μόνο σε ερευνητικά εργαστήρια).

κές ανακαλύψεις του διαστήματος επιτεύχθηκαν μελετώντας το φως που εκπέμπεται από μακρινούς **γαλαξίες**¹ και **άστρα**² επιτρέποντας να διατυπώσουμε βασικούς νόμους της φύσης που ισχύουν σε όλο το γνωστό **Σύμπαν**³.

Το φως (ορατό και μη) διαθέτει τη μοναδικότητα να είναι η μόνη φυσική οντότητα που ταξιδεύει με τη μέγιστη ταχύτητα στο Σύμπαν και μπορεί να διεισδύσει σε οποιοδήποτε σώμα. Στο κενό κινείται με ταχύτητα περίπου 300.000 km/s (ταχύτητα που θεωρείται ως ένα βασικό φυσικό μέγεθος και συμβολίζεται με το γράμμα c).

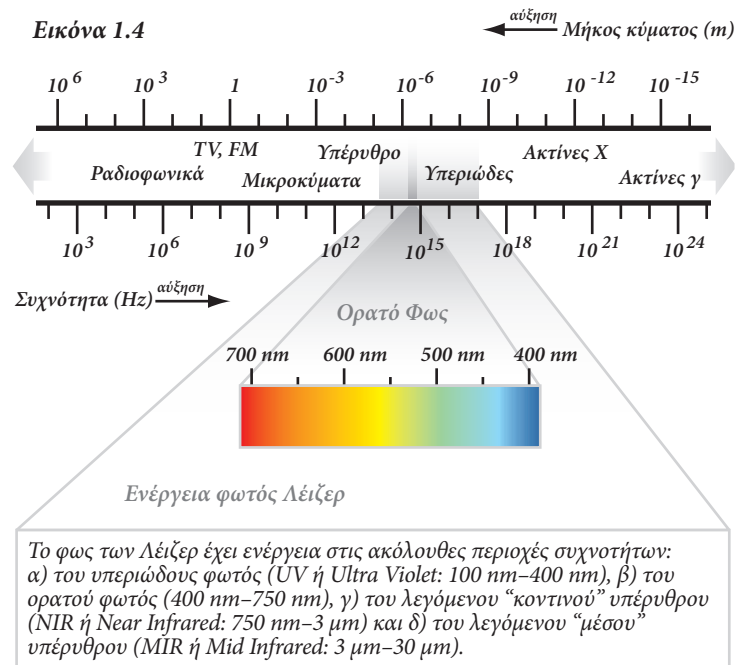
Το φως έχει ενέργεια που διαδίδεται (ταξιδεύει) στο χώρο με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Το φως μπορεί να διαδίδεται στο χώρο σε ευθεία γραμμή. Όταν συναντήσει ένα σώμα η διεύθυνση και η έντασή του μπορούν να αλλάξουν. Αυτές οι αλλαγές είναι συνδυασμός τεσσάρων διαδικασιών αλληλεπίδρασης του φωτός με το σώμα που συναντά. Το φως μπορεί να **απορροφηθεί** από το σώμα, να **διασκορπισθεί** στο εσωτερικό του σώματος (διάχυση), να **διαδοθεί** μέσα από το σώμα ή να **ανακλαστεί** από αυτό.

1: Γαλαξίας είναι το σύνολο άστρων και άλλων ουράνιων σωμάτων διάφορων σχημάτων και μεγεθών, που έλκονται μεταξύ τους.

2: Άστρο είναι η 4η κατάσταση της ύλης, όπου επικρατούν συνθήκες μεγάλης θερμοκρασίας, πίεσης και βαρύτητας. Κάθε άστρο έχει συγκεκριμένο χρόνο ζωής.

3: Σύμπαν είναι οτιδήποτε μπορεί να κατανοηθεί με τις αισθήσεις μας και να μετρηθεί με τα όργανα μετρήσεων που διαθέτουμε. Από θεολογικής άποψης το Σύμπαν αποτελεί τον κτιστό κόσμο.

Εικόνα 1.4

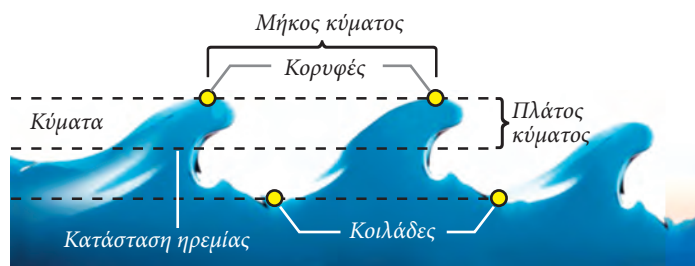


Καθώς μετακινούμαστε σε περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (**εικ. 1.3** και **1.4**) με μεγαλύτερη ενέργεια (συχνότητα) το ορατό φως λαμβάνει τη μορφή ακτίνων X και γ, φως που δεν γίνεται αισθητό από το ανθρώπινο μάτι. Έχει δε σημαντικές εφαρμογές, διότι μπορεί να διεισδύσει σε πολύ πυκνά και αδιαφανή σώματα και να μας δώσει πληροφορίες για τη δομή των υλικών.

Παράδειγμα είναι η γνωστή ακτινογραφία του ανθρώπινου σώματος με τη λεπτομερειακή απεικόνιση των οστών και των οργάνων του.

1.2.2. Μήκος κύματος και συχνότητα.

Το μήκος κύματος και η συχνότητα είναι δύο χρήσιμες έννοιες για την περιγραφή του περιοδικού κύματος (εικ. 1.5 και 1.6). Όλα τα κύματα μεταφέρουν ενέργεια. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά κύματα, όπως τα φωτεινά, τα ηχητικά, τα ηλεκτρικά, κ.ά.



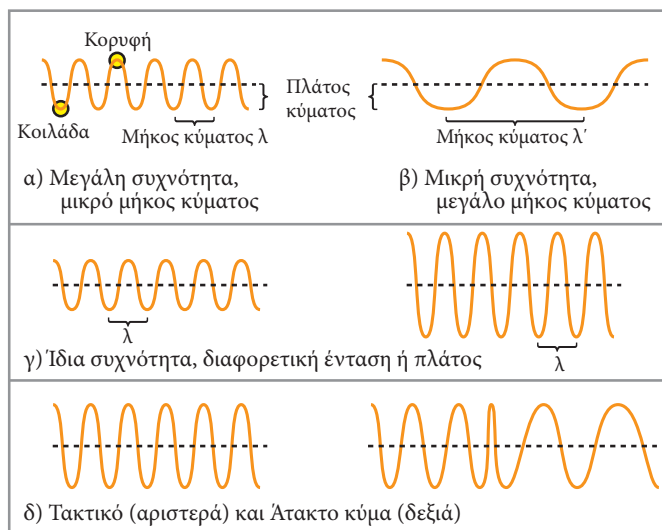
Εικόνα 1.5

Όπως στα κύματα της θάλασσας, έτσι και σε όλα τα κύματα παρουσιάζονται κορυφές και κοιλάδες που επαναλαμβάνονται σε τακτικά χρονικά διαστήματα (με κάποιο ρυθμό που ονομάζουμε περίοδο).

Μήκος κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών (ή κοιλάδων), συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα λ και μετρείται σε μονάδες μήκους (m, nm κ.λπ.). Για παράδειγμα, τα ορατά φωτεινά κύματα του μπλε χρώματος έχουν μήκος κύματος 400 nm, ενώ του κόκκινου 700 nm. **Συχνότητα** είναι ο αριθμός που μας δείχνει πόσες κορυφές (ή κοιλάδες) πέρασαν, καθώς το κύμα ταξιδεύει μπροστά μας μέσα σε ένα δευτερόλεπτο (s). Συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα ν και μετρείται σε Hertz ή Hz ($1\text{Hz}=1/\text{s}$) ή σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο.

Η συχνότητα ταλάντωσης του ορατού φωτός είναι περίπου 10^{15} Hz (δηλ. ένα εκατομμύριο δισεκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο). Για να καταλάβουμε πόσο μεγάλο μέγεθος είναι αυτό αρκεί να αναφέρουμε ότι –για παράδειγμα– ένα δισεκατομμύριο δευτερόλεπτα ισοδυναμούν με περίπου 30 χρόνια και 10^{15} δευτερόλεπτα με περίπου 1 εκατομμύριο φορές τα 30 χρόνια.

Όταν σε ένα κύμα η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών (ή κοιλάδων) αλλάζει συνεχώς και με τυχαίο τρόπο τότε τα κύματα ονομάζονται **άτακτα**. Ακόμη μια σημαντική έννοια είναι και η **ένταση** ενός κύματος που σχετίζεται με το πλάτος του. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ένταση.

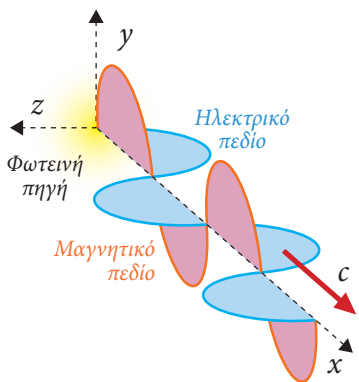


Εικόνα 1.6

α) Κύματα σε παράταξη. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών είναι το μήκος κύματος λ . Το πλάτος του κύματος ισούται με το μισό της απόστασης μεταξύ κορυφής και κοιλάδας. β) Όταν ένα κύμα έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος από ένα άλλο, έχει μικρότερη συχνότητα. Παρατηρήστε ότι τα δύο κύματα του σχήματος έχουν το ίδιο πλάτος. γ) Κύματα της ίδιας συχνότητας (ίδιου μήκους κύματος) αλλά διαφορετικού πλάτους (έντασης). δ) Τακτικό και Άτακτο κύμα.

1.2.3. Το φως, εκτός από ιδιότητες κύματος παρουσιάζει και ιδιότητες σωματιδίου.

Ενώ αρχικά οι επιστήμονες απέδειξαν ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα, τα πειράματα της Φυσικής επέβαλαν αργότερα να δεχθούμε ότι το φως συμπεριφέρεται και ως «σωματίδιο». Η κυματική φύση του φωτός αποδείχτηκε πειραματικά από τον Thomas Young το 1802 και περιγράφηκε μαθηματικά από τον James Maxwell το 1864. Η σωματιδιακή φύση του φωτός προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Max Planck το 1900.



Εικόνα 1.7

Το φως αποτελείται από ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο κάθετα μεταξύ τους και ίδιας συχνότητας, που μεταβάλλονται στο χώρο και στο χρόνο περιοδικά και ταυτόχρονα (δηλ. παρουσιάζουν κορυφές και κοιλιάδες την ίδια στιγμή). Με το γράμμα c συμβολίζουμε την ταχύτητα του φωτός.

την εικόνα του ορατού ηλεκτρομαγνητικού **φάσματος**³, καταλαβαίνουμε γιατί το μπλε χρώμα έχει περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο.

Σύμφωνα με τη **σωματιδιακή** φύση του φωτός δεχόμαστε ότι το φως έχει **ορμή**⁴, μηδενική μάζα και ότι εκπέμπεται από τις φωτεινές πηγές κατά αδιαίρετες μικρές ποσότητες ενέργειας που ονομάζονται **κβάντα**. Για να καταλάβουμε την παραδοχή ότι το φως έχει ορμή, ενώ υποχρεωτικά έχει

Σύμφωνα με την **κυματική** συμπεριφορά του φωτός θεωρούμε ότι το φως αποτελείται από ένα **ηλεκτρικό** και ένα **μαγνητικό πεδίο**¹ (εικ. 1.7).

Η ενέργεια του φωτός εξαρτάται από τη συχνότητα αυτών των πεδίων και υπολογίζεται από τη σχέση $E=h\nu$, όπου h είναι μια **παγκόσμια σταθερά**² (σταθερά του Planck) και ν η συχνότητα των πεδίων. Δηλαδή, το φως έχει τόσο μεγαλύτερη ενέργεια, όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητά του. Για παράδειγμα, παρατηρώντας

μηδενική μάζα (ώστε βάσει της Θεωρίας της Σχετικότητας να ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός) ας παρακολουθήσουμε τον ακόλουθο συλλογισμό. Από τη Φυσική γνωρίζουμε ότι κάθε υλικό σώμα χαρακτηρίζεται με τα φυσικά μεγέθη μάζας, **ορμής** και ενέργειας, ώστε να είναι δυνατή η περιγραφή της ανταλλαγής ενέργειας και αλληλεπίδρασης μεταξύ των υλικών σωμάτων. Επειδή όμως το φως, ενώ δεν έχει μάζα μπορεί πάραυτα να δίνει την ενέργειά του σε άλλα υλικά σώματα, είναι απαραίτητο να δεχτούμε ότι έχει ορμή ώστε να ισχύουν οι Νόμοι Διατήρησης της Ενέργειας και της Ορμής. Έτσι λοιπόν η γνωστή σχέση ισοδυναμίας μάζας και ενέργειας (ο διάσημος τύπος $E=mc^2$ που διατυπώθηκε από τον Einstein, όπου: m η μάζα του σώματος και c η ταχύτητα του φωτός) στην περίπτωση του φωτός γίνεται σχέση ισοδυναμίας ορμής και ενέργειας με την παραδοχή ότι το φως έχει μηδενική μάζα. Άλλο σωματίδιο με μηδενική μάζα, εκτός του φωτονίου, είναι το **νετρίνο**⁵.

Η θεωρία που δέχεται και αποδεικνύει μαθηματικά το σωματιδιακό και κυματικό χαρακτήρα του φωτός ονομάστηκε (ιστορικά) **Κβαντική Θεωρία** και ο κλάδος της Φυσικής που ασχολείται με αυτήν **Κβαντική Φυσική**. Την ιδέα του κβάντου φωτός την υποστήριξε πρώτος ο Max Planck το 1900 και λίγο αργότερα ο Albert Einstein. Η ερμηνεία του Einstein βασίστηκε στην παραδοχή ότι το φως αποτελείται από αδιαίρετες, όπως αναφέραμε, μικρές ποσότητες ενέργειας που τις ονόμασε κβάντα φωτός και που είναι γνωστά σήμερα ως **φωτόνια**.

Φαινόμενα που μας επιβάλουν να δεχτούμε τη σωματιδιακή φύση του φωτός είναι για παράδειγμα το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο**⁶ και ο τρόπος που ακτινοβολεί ένα θερμό σώμα.

1: Πεδίο: Ονομάζεται ο χώρος, στον οποίο όταν βρεθεί ένα ηλεκτρικό φορτίο ή ένας μαγνήτης δέχεται δύναμη. Ένα ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο, ενώ ένας μαγνήτης μαγνητικό.

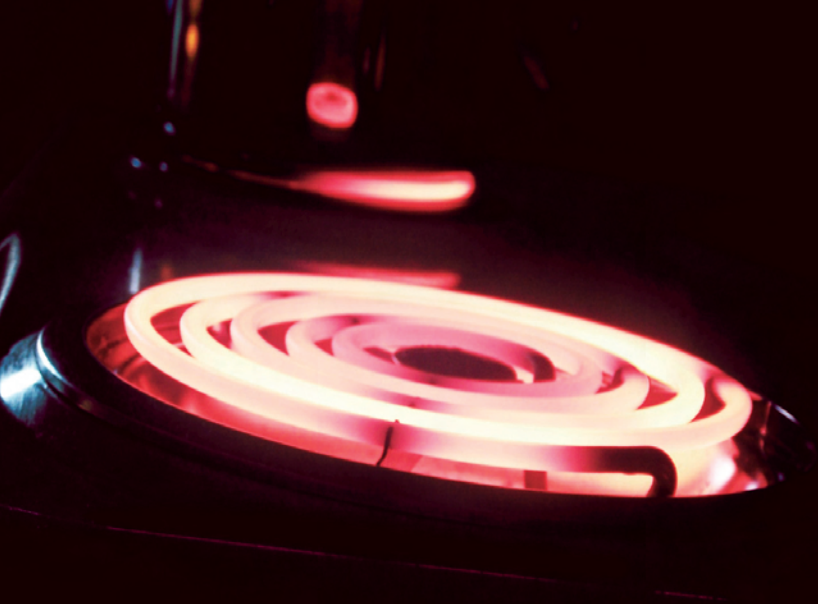
2: Παγκόσμια σταθερά: Όρος που αντιπροσωπεύει μία ποσότητα που δεν αλλάζει (δεν είναι μεταβλητή) και είναι παγκόσμια ομόφωνα αποδεκτή η τιμή της. Αυτές οι σταθερές χρησιμοποιούνται σε μαθηματικούς τύπους για να δείξουν τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται τα υπόλοιπα μεγέθη μεταξύ τους.

3: Στην εικόνα 1.4 φαίνεται ότι το φάσμα είναι το σύνολο των φωτεινών ακτινοβολιών που αποτελούν μια πολυχρωματική ακτινοβολία (ακτινοβολία που αποτελείται από πολλά χρώματα).

4: Ορμή: Είναι το γινόμενο της μάζας και της ταχύτητας. Στην περίπτωση σωματιδίου μηδενικής μάζας η ορμή είναι ίση με την ενέργεια διαιρεμένη με την ταχύτητα του φωτός.

5: Τα νετρίνα είναι σωματίδια χωρίς ηλεκτρικό φορτίο και ίσως χωρίς μάζα. Προέρχονται από τον Ήλιο και τα άλλα αστέρια. Μπορούν να διαπερνούν τη Γη ταξιδεύοντας στο Σύμπαν.

6: Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: Το φαινόμενο κατά το οποίο όταν φωτίσουμε ένα σώμα, μερικά από τα ηλεκτρόνια του αποσπώνται. Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται μόνο από το αν η συχνότητα του φωτός ξεπεράσει κάποια τιμή. Σημειώστε ότι ένα ηλεκτρόνιο είναι αρνητικά φορτισμένο σωματίδιο που κινείται σε τροχιακό γύρω από τον πυρήνα των ατόμων. Το ηλεκτρόνιο έχει πάντα την ίδια ποσότητα αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου (για όλα τα υλικά της φύσης).



Από την άλλη, φαινόμενα όπως η **συμβολή**¹ και η **περίθλαση**², μας υποχρεώνουν να δεχτούμε ότι το φως έχει και κυματικό χαρακτήρα.

Περισσότερα

Το 1921 ο Albert Einstein κέρδισε το βραβείο Νόμπελ για την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Ο Einstein ήταν ένας επιστήμονας με πίστη στη λογική που κρύβει το Σύμπαν. Συχνά προσωποποιούσε την πίστη αυτή στο όνομα του Θεού, αλλά δεν δεχόταν να ακολουθήσει κάποια θρησκεία.

Το φαινόμενο της προσέγγισης του «Θείου» από πολλούς μεγάλους επιστήμονες είναι γενικότερο.

Πιστεύετε ότι υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος λόγος που εκδηλώνεται αυτή η έντονα φιλοσοφική και θρησκευτική αναζήτηση μέσα από την επιστήμη;

1: Συμβολή: Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο όταν διαφορετικές φωτεινές δέσμες (κύματα) συναντούνται καθώς ταξιδεύουν τότε δημιουργούν μια νέα φωτεινή κατανομή ως αποτέλεσμα της υπέρθεσής τους. Αν τοποθετήσουμε ένα χαρτί στη θέση συνάντησης των δύο αυτών φωτεινών δεσμών παρατηρούμε μια αλληλουχία από φωτεινές και σκοτεινές περιοχές.

2: Περίθλαση: Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο όταν ένα σώμα φωτιστεί από τη μια πλευρά του με φως τότε παρατηρούμε ότι το φως διαδίδεται και στην πίσω από το σώμα σκοτεινή πλευρά του.

Εικόνα 1.8

Μια θερμαινόμενη μεταλλική εστία αλλάζει χρώμα αποδεικνύοντας το σωματιδιακό χαρακτήρα του φωτός. Στην εστία παρατηρούμε βαθμιαία αλλαγή χρώματος από το τμήμα της που είναι πολύ θερμό προς εκείνο που έχει μικρότερη θερμοκρασία.

Όταν ένα σώμα θερμαίνεται μέχρι να πυρακτωθεί, στην αρχή το φως που εκπέμπεται είναι κόκκινο, ενώ στη συνέχεια γίνεται κίτρινο. Αποκτά δηλαδή χρώματα με συνεχώς μεγαλύτερη συχνότητα. Παράλληλα η ένταση του φωτός ενώ αυξάνεται μέχρι κάποια θερμοκρασία στη συνέχεια ελαττώνεται παρόλο που η θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται. Αυτό ερμηνεύεται γιατί καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος, σύμφωνα με τον ορισμό της ενέργειας του φωτονίου $E=hf$, τα φωτόνια (κβάντα) της φωτεινής ακτινοβολίας που εκπέμπει το σώμα θα έχουν μεγαλύτερη συχνότητα και επομένως θα αλλάζει το χρώμα του.

1.3. Πώς παράγεται το φως και το χρώμα;

1.3.1. Πηγές φωτός.

Τις πηγές φωτός χωρίζουμε σε **φυσικές** πηγές και είναι αυτές που συναντάμε στη φύση και η εκπομπή του φωτός τους οφείλεται σε διάφορα φυσικά φαινόμενα και στις **τεχνητές** όπως ο λαμπτήρας ή το Λέιζερ που κατασκεύασε ο άνθρωπος για πολύ συγκεκριμένες ανάγκες και εφαρμογές.

Ο Ήλιος είναι η γνωστότερη και μεγαλύτερη φυσική πηγή φωτός στη γειτονιά της Γης και η βασική αιτία ζωής πάνω σε αυτή. Άλλοι ήλιοι όπως το Α Κενταύρου είναι διάσπαρτοι στο Σύμπαν και αποτελούν φυσικές πηγές φωτός, που γίνονται αντιληπτές το βράδυ λόγω της μεγάλης απόστασης που βρίσκονται σε σχέση με το δικό μας Ήλιο.

Σε μικρότερες αποστάσεις, όπως στην ξηρά και στη θάλασσα του πλανήτη μας υπάρχουν οργανισμοί, που εκπέμπουν φως σε μορφή έντονων φωτεινών χρωμάτων ή απαλής φωτεινής λάμψης.

Κάποιο βράδυ αν βρεθούμε σε μία ήρεμη ακρογιαλιά, και αναταράξουμε ελαφρά την επιφάνεια της θάλασσας, θα παρατηρήσουμε λαμπιρίσματα, που θυμίζουν μικρές φωτεινές πηγές που αναβοσβήνουν στο ρυθμό του κυματισμού που δημιουργήσε το χέρι μας. Αυτό οφείλεται στην

παρουσία πλαγκτόν, που η μηχανική αυτή κίνηση το ερεθίζει με αποτέλεσμα να παράγει φως. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **βιοφωταύγεια**¹. Άλλοι οργανισμοί που εκπέμπουν φως εκμεταλλευόμενοι το φαινόμενο της βιοφωταύγειας είναι οι γνωστές μας πυγολαμπίδες, που εξασφαλίζουν με επιτυχία την αναζήτηση συντρόφου, εκπέμποντας έντονο ρυθμικό φως. Υπάρχουν είδη μανιταριών που «βιοφωσφορίζουν» το βράδυ ενώ στη θάλασσα υπάρχουν πολλά είδη ψαριών, καλαμάρια, γαρίδες και μύδια που χρησιμοποιούν το ίδιο φαινόμενο για την επιβίωσή τους.

Ένα άλλο πολύ γνωστό φαινόμενο εκπομπής φωτός στη φύση είναι οι αστραπές κατά την διάρκεια έντονων μετεωρολογικών φαινομένων. Οι έντονες φωτεινές λάμψεις (αστραπές) που βλέπουμε οφείλονται σε **ηλεκτρικές εκκενώσεις**² που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Επίσης, όλοι έχουμε παρατηρήσει το βράδυ, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τις φωτεινές τροχιές **διαττόντων αστέρων**³. Η έντονη φωτεινότητα αυτών των πηγών φωτός μας πληροφορεί για το μέγεθος του διάττοντα. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός, τόσο εντονότερο το φως που παρατηρούμε.

Η πιο συνηθισμένη τεχνητή πηγή φωτός είναι ο ηλεκτρικός λαμπτήρας πυράκτωσης, που όπως το όνομά του δηλώνει, οφείλει τη φωτεινότητά του στην πυράκτωση του νήματος που βρίσκεται μέσα σε αδρανές αέριο στο εσωτερικό του. Η πυράκτωση αυτή προκαλείται από το ηλεκτρικό ρεύμα που κυκλοφορεί στο ειδικό λεπτό μεταλλικό νήμα, μια εφεύρεση του 1879. Πριν από αυτή τη χρονολογία οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τη φωτιά για να φωτίζονται (κεριά, λυχνάρια κ.λπ.).

Άλλες καθημερινής χρήσης τεχνητές πηγές όπως οι λάμπες φθορισμού, τα φωτογραφικά φλας, οι φωτεινές επιγραφές, εκπέμπουν φως, που οφείλεται στο **φθορισμό**⁴ του αερίου μείγματος που περιέχουν.

Σημειώστε ότι όλες οι φυσικές και τεχνητές πηγές που αναφέρθηκαν στα παραπάνω παραδείγματα εκπέμπουν φως το οποίο αποτελείται από πολλά χρώματα. Το λευκό φως του Ήλιου, όταν αναλυθεί, μας δίνει τη γνωστή ακουλουθία χρωμάτων του ουράνιου τόξου.

Η πιο επαναστατική τεχνητή πηγή φωτός με μοναδικές ιδιότητες είναι το Λέιζερ, το οποίο και εξετάζεται στο δεύτερο Κεφάλαιο.

4: Φθορισμός είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ηλεκτρόνια που βρίσκονται στις θεμελιώδεις ενεργειακές στάθμες των ατόμων των χημικών στοιχείων απορροφούν ενέργεια και πηγαίνουν σε υψηλότερες στάθμες, απ' όπου στη συνέχεια επανέρχονται στη βασική τους στάθμη. Περισσότερα για τις ενεργειακές στάθμες των ατόμων δείτε στη **σελίδα 26**.

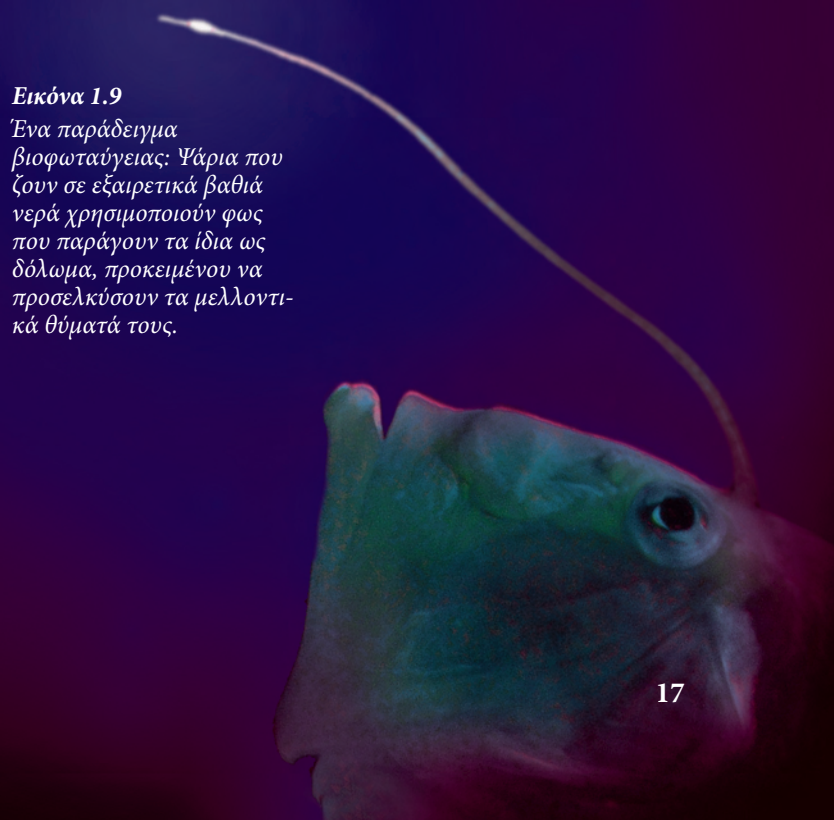
Εικόνα 1.9

Ένα παράδειγμα βιοφωταύγειας: Ψάρια που ζουν σε εξαιρετικά βαθιά νερά χρησιμοποιούν φως που παράγουν τα ίδια ως δόλωμα, προκειμένου να προσελκύσουν τα μελλοντικά θύματά τους.

1: Βιοφωταύγεια ονομάζεται το φαινόμενο όπου ένα οργανικό σώμα εκπέμπει φως όταν απορροφά ενέργεια λόγω τριβής ή λόγω μιας βιοχημικής αντίδρασης.

2: Ηλεκτρική εκκένωση εμφανίζεται όταν ξεσπάει ένας δυνατός παλμός ηλεκτρικού ρεύματος ανάμεσα σε αντίθετα ηλεκτρικά φορτία.

3: Διάττοντας αστέρας είναι στερεό αντικείμενο, κατάλοιπο της δημιουργίας των πλανητών του Ηλιακού μας Συστήματος, που ταξιδεύει στο πλανητικό σύστημά μας γύρω από τον Ήλιο και η τροχιά του συνάντησε την ατμόσφαιρα της Γης.



1.3.2. Το χρώμα των αντικειμένων.

Τα αντικείμενα μπορούμε να τα διαχωρίσουμε σε ετερόφωτα και αυτόφωτα. Αυτόφωτα ονομάζουμε εκείνα που παράγουν και εκπέμπουν φως, δηλαδή είναι φωτεινές πηγές, ενώ ετερόφωτα εκείνα που ανακλούν το φως που τα φωτίζει.

Όλα τα σώματα που μας περιβάλλουν, όταν φωτίζονται από φωτεινές πηγές απορροφούν ένα μέρος της φωτεινής ακτινοβολίας, ενώ την υπόλοιπη την επανεκπέμπουν με τη σειρά τους στο περιβάλλον (εικ. 1.10). Το μέρος του ανακλώμενου φωτός που εκπέμπεται ερεθίζει το οπτικό μας αισθητήριο και το αποτέλεσμα του ερεθισμού το αντιλαμβανόμαστε ως «χρώμα» του αντικείμενου. Το χρώμα οφείλεται στη φωτεινή ακτινοβολία που επανεκπέμπουν τα σώματα αλλά και στα χρώματα που περιέχει το φως που τα φωτίζει. Μόνο όταν η πηγή εκπέμπει λευκό φως, όπως αυτό του Ήλιου που περιέχει όλα τα χρώματα (ή μήκη κύματος) είναι δυνατόν να έχουμε σωστή χρωματική αίσθηση των αντικειμένων.

Στην αντίθετη περίπτωση, όταν η πηγή δεν περιέχει όλα τα χρώματα, τότε η έλλειψή τους θα προσδώσει άλλη χρωματική εικόνα στα αντικείμενα που φωτίζονται.

1.3.3. Η Κβαντική Φυσική.

Η Θεωρία της Κβαντικής Φυσικής (ή Κβαντομηχανικής) υποστηρίζει ότι η φύση στη μικροσκοπική της μορφή (ατομική κλίμακα) είναι ασυνεχής και απρόβλεπτη. Έτσι, είναι πρακτικά και αντικειμενικά αδύνατο να γνωρίζουμε με ακρίβεια το «πού» και το «πόσο».

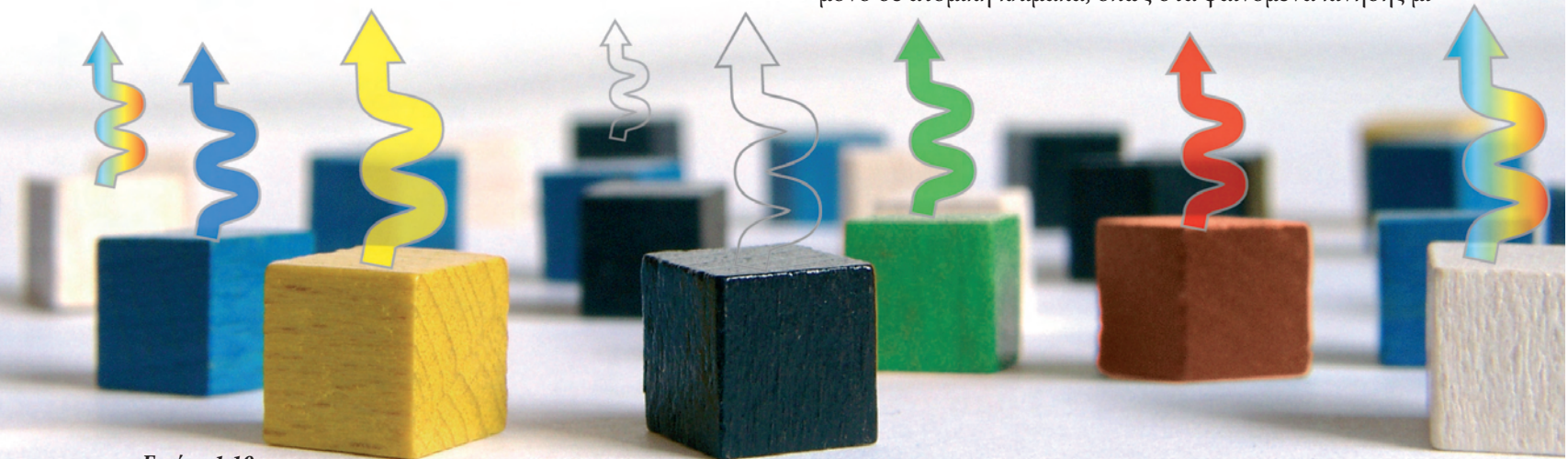
Η Κβαντική Φυσική ενδιαφέρεται για την πιθανότητα ένα φυσικό μέγεθος να έχει κάποια συγκεκριμένη τιμή εισάγοντας την αβεβαιότητα στις μετρήσεις. Επίσης την ενδιαφέρει το πόσο συχνά αυτό το φυσικό μέγεθος παίρνει αυτήν την τιμή. Στην Κβαντομηχανική εισάγεται η έννοια της ασυνέχειας, δηλαδή ότι ένα φυσικό μέγεθος δεν μπορεί να παίρνει κατ' ανάγκη μια σειρά από συνεχείς τιμές αλλά μόνο συγκεκριμένες, οι οποίες πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο μιας σταθεράς, όπως οι ενέργειες και οι τροχιές των ηλεκτρονίων γύρω από το άτομο.

Οι αβέβαιες αλλά συγκεκριμένες τιμές έχουν σημασία μόνο σε ατομική κλίμακα, όπως στα φαινόμενα κίνησης μι-



Εικόνα 1.11

Οι Einstein και Planck αρνήθηκαν την αλήθεια της Αρχής της Απροσδιοριστίας των Bohr και Heisenberg. Η άποψη του Einstein συνοψίζεται στην ιστορική του παρατήρηση: «Ο Θεός δεν παίζει ζάρια» όπου ο Bohr απάντησε με το εξίσου ιστορικό: «Σταμάτα να λες στο Θεό τι μπορεί και τι δεν μπορεί να κάνει».



Εικόνα 1.10

Κάθε σώμα απορροφά κάποια από τα χρώματα του λευκού φωτός που το φωτίζει και επανεκπέμπει τα υπόλοιπα, τα οποία φτάνουν στα μάτια μας και μας πληροφορούν για το χρώμα του. Ο πράσινος κύβος επανεκπέμπει μόνο πράσινο χρώμα, ενώ ο άσπρος επανεκπέμπει όλα τα χρώματα σε ίδια αναλογία. Ο μαύρος κύβος δεν επανεκπέμπει κάποιο χρώμα (απορροφά όλη την ακτινοβολία που τον φωτίζει).

κροσκοπικών σωματιδίων (υποατομικών), σε μικροσκοπικές περιοχές χώρου (10^{-8} cm). Επίσης η Κβαντομηχανική δέχεται ότι η φωτεινή ακτινοβολία εκπέμπεται με ασυνεχή τρόπο, με τη μορφή μικρών ενεργειακών ποσοτήτων, των φωτονίων (κβάντων) και ότι η ενέργεια κάθε φωτονίου (κβάντου) καθορίζεται από τη συχνότητα της φωτεινής ακτινοβολίας.

Μια σημαντική αρχή της Κβαντικής Φυσικής είναι η «Αρχή της Απροσδιοριστίας» η οποία εκφράζεται με μια μαθηματική σχέση που δηλώνει ότι δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη ακριβής γνώση της θέσης και της ταχύτητας ενός σωματιδίου, στη μικροσκοπική κλίμακα (π.χ. ηλεκτρόνια, φωτόνια).

Περισσότερα

Ποια είναι η φυσική σημασία της παγκόσμιας σταθεράς h του Planck και της Αρχής της Απροσδιοριστίας; Η σταθερά του Planck είναι το όριο στη δυνατότητα να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου ή ισοδύναμα το όριο στην ακρίβεια της πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης (τροχιάς του). Η Απροσδιοριστία είναι αντίστροφα ανάλογη της μάζας. Έτσι, ο βαθμός, στον οποίο η Αρχή της Απροσδιοριστίας περιορίζει τη δυνατότητα της πρόβλεψης μιας μελλοντικής θέσης ενός αντικειμένου, εξαρτάται από το μέγεθος της μάζας του, γιατί η πρόβλεψη βασίζεται στη γνώση της ταχύτητας. Πρώτος ο Max Bohr το 1926 υποστήριξε την πιθανότητα και όχι τη βεβαιότητα ένα σωματίδιο να βρεθεί σε κάποια θέση. Ο Verner Heisenberg εξέφρασε αυτό το γεγονός ποσοτικά μέσω μίας μαθηματικής σχέσης. Η Αρχή της Απροσδιοριστίας έχει και φιλοσοφικές προεκτάσεις δεδομένου ότι προκάλεσε ένα μεγάλο πλήγμα στο κίνημα της αιτιοκρατικής αντίληψης του κόσμου (ντετερμινισμός).

Ο Πίνακας 1.1, μας πληροφορεί για το πόσο μακριά στο μέλλον μπορούμε να κάνουμε χρήσιμες προβλέψεις για τη θέση ενός αντικειμένου ανάλογα με τη μάζα του. Η 1η στήλη του πίνακα αναφέρει διάφορα αντιπροσωπευτικά αντικείμενα με διαφορετικές κλίμακες μεγέθους, ενώ η αντίστοιχη μάζα τους φαίνεται στη 2η στήλη. Στην 3η στήλη γράφεται η ακρίβεια μέτρησης που μπορεί να επιτευχθεί για τη δεδομένη κλίμακα. Στην 4η στήλη γράφεται η απροσδιοριστία (αβεβαιότητα) στην ταχύτητα του αντικειμένου που υπολογίζεται από την Αρχή της Απροσδιοριστίας. Στην 5η στήλη έχει υπολογισθεί ο χρόνος που χρειάζεται, ώστε η απροσδιοριστία της ταχύτητας να οδηγήσει σε σφάλμα για τη θέση του αντικειμένου, μεγαλύτερο από εκείνο που ορίζεται από την ακρίβεια μέτρησης της 3ης στήλης.

Πίνακας 1.1

Συγκριτικός πίνακας του μεγέθους σφάλματος της θέσης ενδεικτικών αντικειμένων ανάλογα με το μέγεθος της μάζας τους.

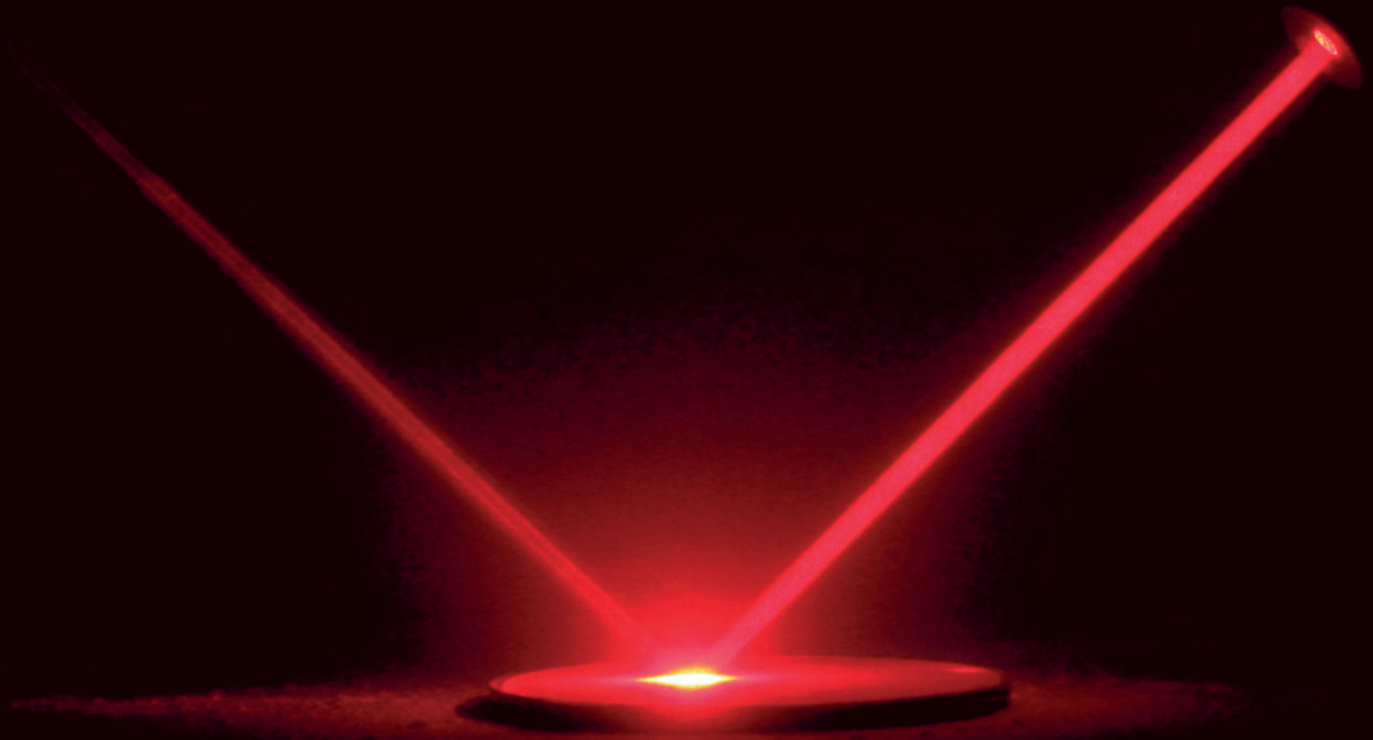
Αντικείμενο	Μάζα (kg)	Κλίμακα (m)	Απροσδιοριστία ως προς την ταχύτητα (m/s)	Χρονικό όριο για να προκύψει σφάλμα θέσης (s)
α) ηλεκτρόνιο	10^{-30}	(υποατομική) 10^{-11}	10^7	10^{-18}
β) άτομο	10^{-25}	(ατομική) 10^{-10}	10	10^{-11}
γ) μεγάλο μόριο	10^{-21}	(βιοχημική) 10^{-8}	10^{-5}	10^{-3}
δ) γύρη	10^{-15}	(μικροσκοπική) 10^{-6}	10^{-13}	10^7
ε) στραγάλι	10^{-4}	(μακροσκοπική) 10^{-5}	10^{-25}	10^{20}

Περισσότερα

Αποδεικνύεται εύκολα ότι η απροσδιοριστία είναι αντίστροφα ανάλογη της μάζας, δηλαδή όσο μεγαλύτερη μάζα έχει ένα αντικείμενο, τόσο λιγότερο σημαντική είναι η Αρχή της Απροσδιοριστίας. Στον κόσμο της καθημερινής μας εμπειρίας (μακρόκοσμο), επειδή οι μάζες των αντικειμένων είναι πολύ μεγάλες σε σχέση με εκείνες της ατομικής κλίμακας (μικρόκοσμος) που δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι, το σφάλμα στη θέση ενός αντικειμένου, υπολογιζόμενο από την Αρχή της Απροσδιοριστίας, είναι της τάξης μεγέθους του μήκους κύματος του φωτός, δηλαδή αμελητέα. Αντίθετα, σε ατομική κλίμακα, το σφάλμα είναι πολύ μεγάλο, ώστε να είναι αδύνατη η πρόβλεψη της θέσης του σωματιδίου. Μπορείτε να σκεφθείτε ότι όλα οφείλονται στο γεγονός ότι προσπαθούμε να παρατηρήσουμε και να μετρήσουμε το μικρόκοσμο με μακροσκοπικές μεθόδους, συνεπώς διαταράσσουμε το μικροσκοπικό σύστημα εισάγοντας επιπλέον νέα σφάλματα στον προσδιορισμό των παραμέτρων του.

2. Το Λείζερ

*Χαρακτηριστική φωτεινή δέσμη ενός δι-
δικού Λείζερ, φωτογραφημένη από κοντά,
καθώς ανακλάται σε κάτοπτρο.*



Όλα για το Λέιζερ, με λίγα λόγια.

Γιατί Λέιζερ;

Από την κατασκευή της μια συσκευή Λέιζερ αποσκοπεί πάντα σε μια πολύ συγκεκριμένη και εξειδικευμένη εφαρμογή. Για παράδειγμα στο ερευνητικό εργαστήριο η συσκευή Λέιζερ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη των ιδιοτήτων της ύλης και της αλληλεπίδρασής της με το φως. Στην ιατρική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αναίμακτες χειρουργικές επεμβάσεις, στα ηχητικά συστήματα για να παράγει ψηφιακή μουσική, στα καταστήματα για να διαβάσει κωδικούς αναγνώρισης προϊόντων, στις μηχανολογικές εφαρμογές για να κόψει με ακρίβεια μέταλλα, στις στρατιωτικές εφαρμογές για να σκοπεύσει με ακρίβεια ένα στόχο, στις τηλεπικοινωνίες για να μεταφέρει τεράστιο όγκο πληροφορίας ταχύτητα κ.ά. Σε όλες τις παραπάνω εξειδικευμένες εφαρμογές εκμεταλλευόμαστε τις ξεχωριστές ιδιότητες που έχει το φως Λέιζερ και οι οποίες είναι οι εξής:

- Οι δέσμες των Λέιζερ διαθέτουν μοναδικά χαρακτηριστικά: είναι μονοχρωματικές, δεν παρεκκλίνουν ούτε «ανοίγουν» μετά από πολλά μέτρα (δεν αυξάνεται η χωρική διάσταση της δέσμης τους όπως το φως άλλων πηγών), μπορούν να **εστιάσουν**¹ μεγάλο ποσό ενέργειας με μεγάλη ακρίβεια σε συγκεκριμένα σημεία, μπορούν να παράγουν μεγάλη ποικιλία μηκών κύματος (χρωμάτων) και μπορούν να συνδυαστούν ευέλικτα και έξυπνα για κάθε ειδική εφαρμογή.
- Είναι εφικτό να κατασκευάζουμε πολύ μικρά Λέιζερ για χρήση στις επικοινωνίες και την ιατρική.
- Τα Λέιζερ είναι πολύ οικονομικά από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας.

Βασική Φυσική των Λέιζερ.

Οποιαδήποτε μορφή φωτός εξετάσουμε είναι το αποτέλεσμα των μεταπηδήσεων (μεταπτώσεων) ηλεκτρονίων σε χαμηλότερες ενεργειακές στάθμες –ή αλλιώς, τροχιακά– στο εσωτερικό των ατόμων. Όταν συμβαίνουν τέτοιες με-

1: Εστίαση: Η ιδιότητα που έχει ένας φακός να συγκεντρώνει μια δέση φωτός που περνά από μέσα του σε ένα σημείο.

ταπτώσεις η πλεονάζουσα ενέργεια εκπέμπεται με τη μορφή φωτονίων. Η εκπομπή αυτή ονομάζεται **αυθόρμητη**. Στην περίπτωση του φωτός Λέιζερ ισχύουν τα εξής:

- Για να παράξουμε φως Λέιζερ, αρκεί ένα φωτόνιο που εκπέμπεται να αλληλεπιδρά αυθόρμητα με άλλα άτομα, ιόντα, μόρια κ.λπ. ενός υλικού, που βρίσκεται στη συσκευή Λέιζερ. Το πρώτο αυθόρμητα εκπεμπόμενο φωτόνιο μπορεί να προκαλέσει την εκπομπή ενός πανομοιότυπου φωτονίου (ίδιας συχνότητας ή μήκους κύματος και ίδιας **φάσης**)² όταν συγκρουστεί με άλλο διεγερμένο άτομο του υλικού. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **εξαναγκασμένη εκπομπή**. Από ένα αρχικό φωτόνιο έχουμε δύο όμοια φωτόνια που κι αυτά, εφόσον χτυπήσουν νέα άτομα, ιόντα ή μόρια γίνονται τέσσερα όμοια φωτόνια κ.ο.κ. (φαινόμενο ανάλογο της χιονοστιβάδας). Με την εξαναγκασμένη εκπομπή δεν χάνονται φωτόνια, αντίθετα τα φωτόνια πολλαπλασιάζονται ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό την αρχική αυθόρμητη εκπομπή και κατά συνέπεια την εκπομπή φωτός του Λέιζερ. Είναι φανερό ότι έτσι επιτυγχάνουμε μεγάλες τιμές ενίσχυσης του φωτός, με απόλυτα όμοια φωτόνια.
- Η διαδικασία παραγωγής φωτός Λέιζερ μέσα στη συσκευή Λέιζερ ξεκινάει με ένα σχετικά μεγάλο αριθμό διεγερμένων ατόμων που τα έχουμε διεγείρει με φωτόνια ή με ηλεκτρόνια κάποιας εξωτερικής πηγής. Η εξωτερική αυτή πηγή ονομάζεται **πηγή άντλησης του Λέιζερ** γιατί προκαλεί τη διέγερση των ατόμων ή των μορίων του υλικού, που ονομάζεται **ενεργό μέσον** και τοποθετείται μέσα στον κύλινδρο (ή κοιλότητα) του Λέιζερ. Στη συνέχεια ένα φωτόνιο περνάει μέσα από την περιοχή των διεγερμένων ατόμων και ξεκινάει τη διαδικασία της χιονοστιβάδας (ή αλλιώς: εξαναγκασμένη εκπομπή). Εφόσον τα άτομα στη συνηθισμένη τους κατάσταση βρίσκονται στη θεμελιώδη ενεργειακή στάθμη χρειαζόμαστε ακόμα έναν τρόπο για να πετύχουμε την αρχική μαζική διέγερσή τους.
- Η μαζική διέγερση των ατόμων, μορίων, ιόντων κ.λπ. ενός ενεργού μέσου γίνεται με έναν κατάλληλο μηχανισμό.

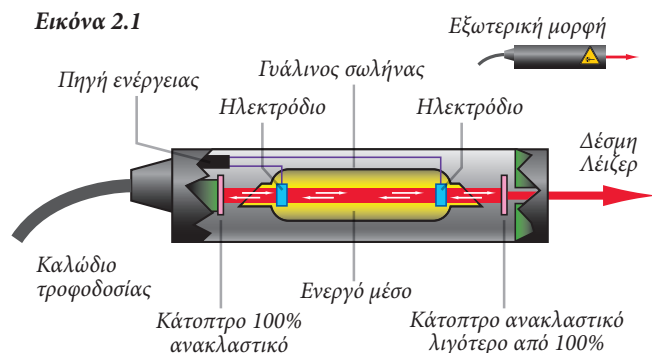
2: Φάση: Φυσικό μέγεθος που εκφράζει την απομάκρυνση ενός σημείου το οποίο ταλαντώνεται από τη θέση ισορροπίας του σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

νισμό άντλησης που μπορεί να είναι ενέργεια από φως διαφορετικών μηκών κύματος ή ηλεκτρόνια ηλεκτρικού ρεύματος πηγής. Και στις δύο περιπτώσεις διεγείρουμε τα άτομα σε αρκετά υψηλότερες ενεργειακές στάθμες. Αυτά με τη σειρά τους και κάτω από ειδικές συνθήκες μεταπηδούν και συσσωρεύονται σε κάποια ενδιάμεση διεγερμένη στάθμη, αντί να επιστρέψουν στη θεμελιώδη. Αυτό ονομάζεται **αντιστροφή πληθυσμών**.

Τα μέρη και η λειτουργία μιας τυπικής συσκευής Λείζερ.

Ένα τυπικό Λείζερ (εικ. 2.1) αποτελείται από:

1. Ένα ειδικό τροφοδοτικό.
2. Μια πηγή άντλησης ενέργειας (Pump source) που μπορεί να είναι ηλεκτρική (ρεύμα από τη ΔΕΗ ή ρεύμα μπαταρίας), φωτεινή (από λυχνία ή ακτινοβολία από άλλο Λείζερ), άλλη πηγή χημικής ή πυρηνικής ενέργειας.
3. Ένα ενεργό μέσο (Active material ή Lasing material) που αντλείται από την πηγή ενέργειας (φωτονίων ή ηλεκτρονίων) και το οποίο βρίσκεται στον κύλινδρο της συσκευής Λείζερ μπορεί να είναι είτε ειδικός κρύσταλλος, ημιαγωγός, υγρό ειδικής σύνθεσης είτε αέριο μείγμα.
4. Οπτική κοιλότητα (Optical ή Laser cavity) που συμπεριλαμβάνει δύο κάτοπτρα που ανακλούν φωτόνια εμπρός-πίσω σε μια ευθεία μέσα από την περιοχή του ενεργού μέσου, μέχρι η δέσμη τους να αποκτήσει την επιθυμητή ένταση. Συνήθως η οπτική κοιλότητα τοποθετείται σε προστατευτικό κυλινδρικό περίβλημα για ευκολότερη χρήση.



Παρόλο που πολλά φωτόνια κινούνται κατευθυνόμενα προς κάθε κατεύθυνση μέσα στο ενεργό μέσο, προοδευτικά δημιουργείται μια αρκετά ισχυρή δέσμη φωτονίων μεταξύ των κατόπτρων. Το συνηθισμένο σχήμα του ενεργού μέσου είναι κυλινδρικό με μικρή διάμετρο σε σχέση με τον άξονα. Αυτό επιτρέπει στα φωτόνια, που κινούνται μεταξύ των δύο κατόπτρων να συναντούν σε μεγαλύτερη διαδρομή άτομα του ενεργού μέσου και να έχουμε μεγάλη ενίσχυση με την εξαναγκασμένη εκπομπή. Αυτά που κινούνται ακτινικά συναντούν ελάχιστα άτομα του ενεργού μέσου και δεν επιστρέφουν πίσω διότι η διαδρομή τους είναι εκτός των κατόπτρων, με αποτέλεσμα η απώλεια φωτονίων σ' αυτήν τη διεύθυνση να είναι αμελητέα. Το κάτοπτρο από τη μεριά του οποίου θα βγει η δέσμη είναι ημιπερατό (αφήνει μια ποσότητα φωτονίων να διαφεύγει) σε αντίθεση με το άλλο που είναι σχεδόν 100% ανακλαστικό. Θα μας ήταν άχρηστη μια δέσμη ενισχυμένων φωτονίων αν βρισκόταν μόνιμα μέσα στην κοιλότητα, μεταξύ των δύο κατόπτρων. Τα φωτόνια που «διαφεύγουν» αποτελούν τη χρήσιμη δέσμη Λείζερ που παράγει η συσκευή.

Βασικά χαρακτηριστικά του φωτός Λείζερ.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του φωτός Λείζερ είναι τα ακόλουθα:

- Είναι «σύμφωνο» τακτικό κύμα φωτός [εικ. 1.6.(δ)], γεγονός που του επιτρέπει να εστιάζεται με μεγάλη ακρίβεια και να ταξιδεύει πολύ μεγάλες αποστάσεις χωρίς να αλλάζει η δέσμη του.
- Είναι **μονοχρωματικό φως**¹ (ένα μόνο χρώμα).
- Είναι συνήθως **πολωμένο φως**² (αυτό επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του, π.χ. κατά την ανάκλαση ή τη διάδοση διά μέσου διαφόρων υλικών) και
- μπορεί να παραχθεί είτε με συνεχή τρόπο (συνεχόμενη δέσμη) είτε με παλμούς.

1: Μονοχρωματικό φως: Ονομάζουμε το φως που περιέχει μόνο μια πολύ στενή περιοχή μηκών κύματος φωτός από τις διαθέσιμες του φάσματος.

2: Πολωμένο φως: Ονομάζουμε το φως που καθώς ταξιδεύει στο χώρο το ηλεκτρικό πεδίο του ταλαντώνεται πάντα στο ίδιο επίπεδο.

Διάφοροι τύποι συσκευών Λείζερ.

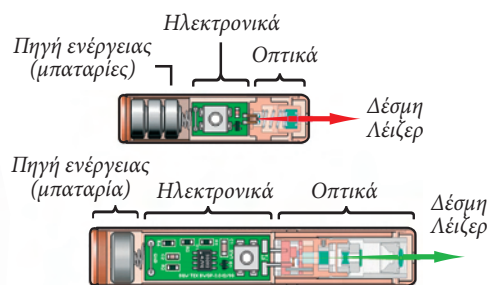
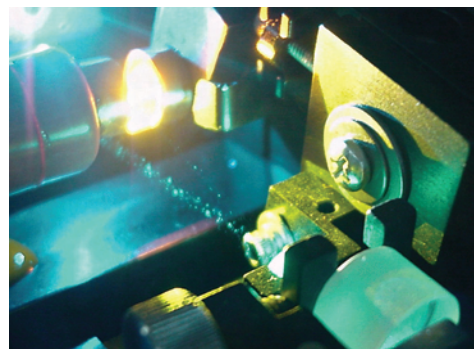
Διάφοροι τύποι Λείζερ ως προς το υλικό που διεγείρεται (ενεργό μέσο) είναι:

1. Λείζερ αερίων (Gas lasers: Argon ion, Helium Neon κ.λπ.).
2. Λείζερ στερεάς κατάστασης (Solid state lasers: Ruby, Neodymium, YAG, Titanium Sapphire, Erbium YAG κ.λπ.).
3. Λείζερ χρωστικών (Dye laser) ή Λείζερ μεταβλητού μήκους κύματος (χρώματος) εκπομπής.
4. Διοδικά Λείζερ (Semiconductor lasers).
5. Excimer Λείζερ.
6. Άλλα είδη: Λείζερ μέσω πυρηνικών αντιδράσεων, Λείζερ ελεύθερων ηλεκτρονίων, Λείζερ στην περιοχή του ακραίου υπεριώδους και των «μαλακών» (soft) ακτίνων X, αστροφυσικά Λείζερ (Maser).

Πώς γίνεται η επιλογή του κατάλληλου Λείζερ;

Οι παράμετροι που λαμβάνουμε υπόψη όταν επιλέγουμε ένα Λείζερ για μια συγκεκριμένη εργασία είναι συνήθως:

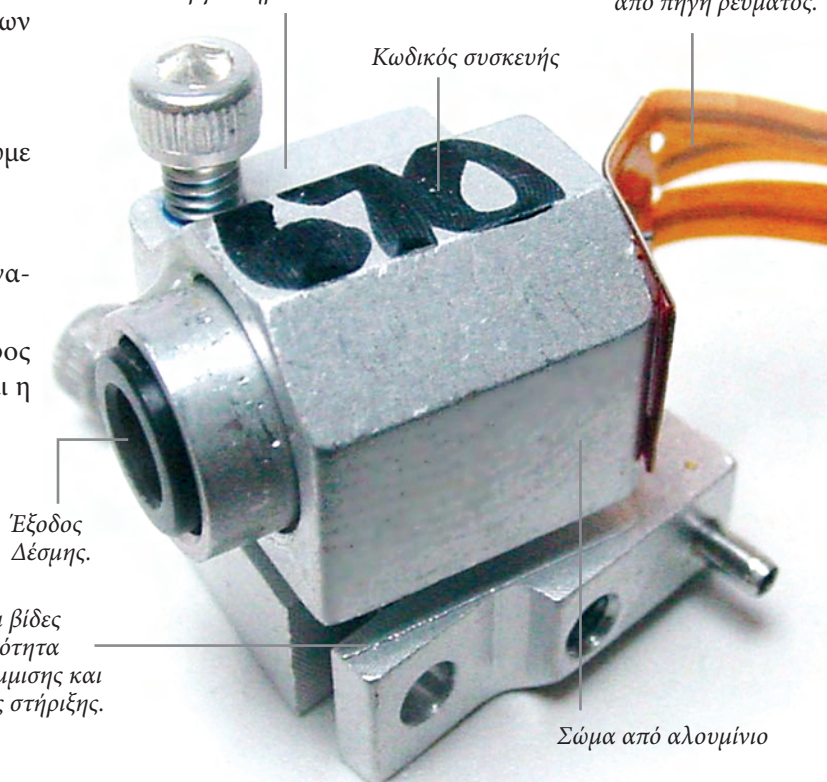
- Η ισχύς και η ενέργεια της δέσμης του.
- Το μήκος κύματος (χρώμα) και, αν χρειάζεται, η δυνατότητα ρύθμισής του.
- Το είδος της δέσμης φωτός που χρειαζόμαστε ως προς το αν είναι σταθερή στο χρόνο ή παλμική, καθώς και η χρονική διάρκεια του παλμού.
- Η ποιότητα της δέσμης του.
- Η αντοχή και η αξιοπιστία όλου του μηχανισμού.
- Οικονομικά μεγέθη όπως η τιμή αγοράς του.



Φορητό Λείζερ τύπου Argon-Ion.

Διοδικό Λείζερ που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο.

Καλώδιο τροφοδοσίας από πηγή ρεύματος.



Βάση και βίδες με δυνατότητα ευθυγράμμισης και σταθερής στήριξης.

Σώμα από αλουμίνιο

Εικόνα 2.2

Αριστερά: Κοντινό πλάνο ενός Λείζερ Argon-Ion χρωστικών (Rhodamine 6G). Δεξιά: Σχεδιάγραμμα του εσωτερικού διοδικών Λείζερ που χρησιμοποιούνται ως δείκτες παρουσιάσεων (Laser pointers), δέσμης κόκκινου και πράσινου χρώματος και ενδεικτικές συσκευές διοδικών Λείζερ.

2.1. Φως Λείζερ.

Το φως Λείζερ, όπως κάθε μορφή φωτός, είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που μεταφέρει ενέργεια (είναι μια μορφή ενέργειας). Το φως Λείζερ είναι ορατό ή όχι ανάλογα με τη συχνότητα –ή όπως αλλιώς μπορούμε να πούμε, ανάλογα με το μήκος κύματος– που έχει.

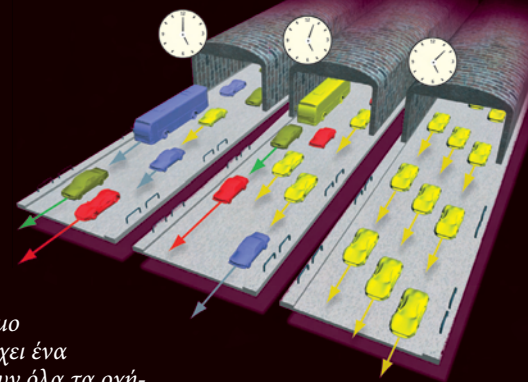
Το Λείζερ ταξιδεύει, όπως κάθε δέσμη φωτός, στο χώρο και στο χρόνο. Αυτό που ξεχωρίζει το φως Λείζερ από κάθε άλλο φως είναι ότι, παραγόμενο από μια ειδική συσκευή, είναι σχεδόν μονοχρωματικό, σύμφωνο (εικ. 2.3 και 2.4) και δεν αποκλίνει από την κατεύθυνση προς την οποία ταξιδεύει, έχοντας μικρή διάμετρο και μεγάλη ισχύ. Αυτές τις ιδιότητες τις οφείλει στον τρόπο παραγωγής του και συγκεκριμένα στη γεωμετρία της οπτικής κοιλότητας με τα δύο παράλληλα κάτοπτρα που το παράγουν. Επιπλέον όλα τα φωτόνια του φωτός Λείζερ έχουν την ίδια φάση και γι' αυτό ονομάζεται **σύμφωνο φως** (coherent light).

Τα χαρακτηριστικά της μονοχρωματικότητας και της μη απόκλισης δίνουν στο φως Λείζερ τη δυνατότητα να έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση ενέργειας από οποιαδήποτε άλλη πηγή φωτός.

Η ένταση των Λείζερ μετρείται σε W/cm^2 (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας) ή σε $\text{φωτόνια}/\text{s}/\text{cm}^2$ (αριθμός φωτονίων ανά μονάδα χρόνου και μονάδα επιφάνειας). Σήμερα έχουν κατασκευαστεί συσκευές κλίμακας από nW μέχρι 1 MW . Για να «κάψει» ένα CD ή ένα DVD ο υπολογιστής μας ενεργοποιεί ένα Λείζερ με ισχύ της τάξης μW (10^{-6} W). Για να γίνει μια εγχείρηση ματιού χρησιμοποιείται

Εικόνα 2.4

Για να καταλάβουμε τον όρο της μονοχρωματικότητας και της συμφωνίας θα αναφέρουμε ένα ανάλογο φανταστικό φαινόμενο. Ας υποθέσουμε ότι πετάμε πάνω από ένα μεγάλο αυτοκινητόδρομο σε ώρα αιχμής και ότι υπάρχει ένα μακρύ τούνελ που διασχίζουν όλα τα οχήματα. Καθώς περνάει ο χρόνος, από τη μια άκρη του τούνελ βλέπουμε να βγαίνουν διάφορα οχήματα με διαφορετικές ταχύτητες (π.χ. ένα λεωφορείο με 80 km/h , ένα κόκκινο αυτοκίνητο με 100 km/h , ένα μπλε αυτοκίνητο με 30 km/h , ένα κίτρινο αυτοκίνητο με 50 km/h κ.λπ.) και με διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους. Χωρίς να γνωρίζουμε τι συμβαίνει μέσα στο τούνελ, παρατηρούμε ότι όλο και περισσότερα κίτρινα αυτοκίνητα, ίδιας μάρκας, με ίδια ταχύτητα και με τον ίδιο ρυθμό αρχίζουν να βγαίνουν από αυτό, μέχρις ότου βλέπουμε μόνο τέτοια. Στο ανάλογο του Λείζερ, το τούνελ θα είναι η οπτική κοιλότητα της συσκευής Λείζερ και τα κίτρινα αυτοκίνητα τα φωτόνια της δέσμης Λείζερ.



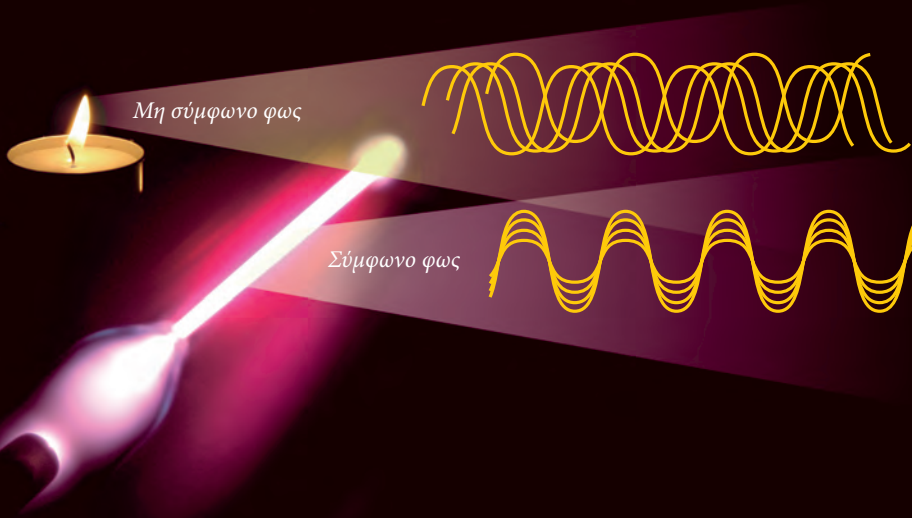
είναι δέσμη Λείζερ ισχύος της τάξης mW (10^{-3} W). Για να κόψουμε ένα χοντρό κομμάτι λαμαρίνα από την ίδια απόσταση θα χρειαστούμε ένα Λείζερ με ισχύ περίπου 150 W . Ένα κοινό ηλεκτρικό τρυπάνι που ανοίγει την ίδια τρύπα στη λαμαρίνα (και μόνο από κοντά) έχει συνήθως ισχύ 1.500 W . Λείζερ έχουν χρησιμοποιηθεί για την επιτάχυνση ηλεκτρονίων και πρωτονίων. Φαντασθείτε ότι για να πετύχουμε μεγάλες ταχύτητες σωματιδίων (για ηλεκτρόνια στην τάξη των 150 MeV και για πρωτόνια στην τάξη των 50 MeV) έχουν χρησιμοποιηθεί παλμικές δέσμες Λείζερ έντασης της τάξης των $10^{19} \text{ W}/\text{cm}^2$.

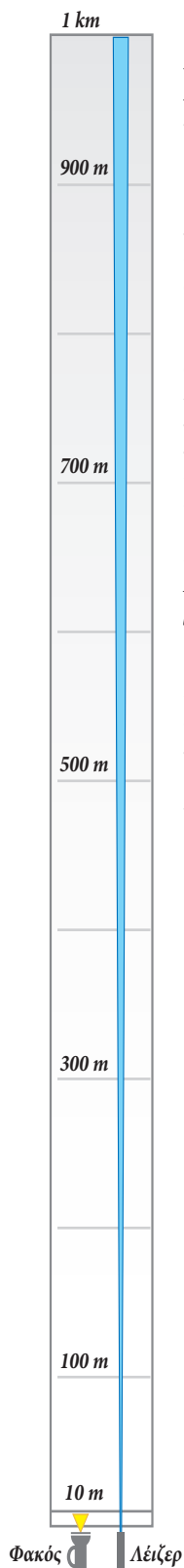
Εικόνα 2.3

Τακτική και άτακτη ταλάντωση που παρουσιάζεται στο σύμφωνο και στο μη σύμφωνο φως αντίστοιχα. Μπορούμε να φανταστούμε το παράδειγμα δύο διαφορετικών ομάδων μαθητών, όπου η πρώτη κινείται τυχαία με κάθε μαθητή να έχει το δικό του βηματισμό και κατεύθυνση, ενώ η δεύτερη αποτελείται από μαθητές που είναι στοιχισμένοι, έχουν τέλειο όμοιο βηματισμό και κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, όπως σε παρέλαση. Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από «σύμφωνους» μαθητές (ή φωτόνια για το Λείζερ), ενώ η πρώτη από μαθητές με τυχαίες κινήσεις (ή φωτόνια μιας φυσικής πηγής όπως του Ήλιου ή ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως).

Μη σύμφωνο φως

Σύμφωνο φως





Εικόνα 2.5

Στο σχήμα αυτό δίνεται ένα παράδειγμα για την κατευθυντικότητα των Λείζερ. Ένα Λείζερ τύπου He-Ne (που έχει έξοδο δέσμη φωτός με διάμετρο 0,5 cm) μετά από 1 km έχει «ανοίξει» τη διάμετρο της δέσμης του –λόγω γωνιακής απόκλισης– σε περίπου 30 cm, ενώ αντίστοιχα ένα ηλεκτρικό φανάρι έχει «ανοίξει» τόσο τη δέσμη του σε απόσταση μόλις 10 m. Με παρόμοιο σκεπτικό, αν στείλουμε μια δέσμη Λείζερ στη γειτονική μας Σελήνη, όταν χτυπήσει στην επιφάνειά της, θα έχει διάμετρο δέσμης 2 km. (Οι διαστάσεις στο σχήμα δεν είναι υπό κλίμακα: Στην πραγματικότητα τα 30 cm αντιστοιχούν σε περίπου 0,06 mm).

4. Συμφωνία φάσης ή χρονική συμφωνία (εικ. 2.6):

Είδαμε ότι το φως Λείζερ είναι ακτινοβολία που αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που το ένα ακολουθεί το άλλο. Στο φως Λείζερ η σειρά, που το ένα κύμα ακολουθεί το άλλο είναι τακτική. Αυτή η συμφωνία καλείται χρονική συμφωνία.

5. Χωρική συμφωνία (εικ. 2.6):

Εκτός της χρονικής συμφωνίας υπάρχει και η χωρική συμφωνία. Στη χωρική συμφωνία όλα τα σημεία που βρίσκονται σε ίδια απόσταση από τη φωτεινή πηγή (ίδιο μέτωπο κύματος) έχουν την ίδια φάση, δηλαδή σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή όλα τα κύματα έχουν το ίδιο πλάτος. Στο Λείζερ η χωρική συμφωνία μπορεί να διατηρείται για σχετικά μεγάλες αποστάσεις

Συνοψίζοντας τα κύρια χαρακτηριστικά του φωτός Λείζερ καταρτίζουμε τον ακόλουθο κατάλογο με πέντε βασικά θέματα:

1. **Κατευθυντικότητα:** Οι συσκευές Λείζερ δίνουν παράλληλη δέσμη φωτός, που μπορεί να διανύσει μεγάλες αποστάσεις με μικρή απόκλιση (εικ. 2.5). Η κατευθυντικότητα μετρείται σε mrad.

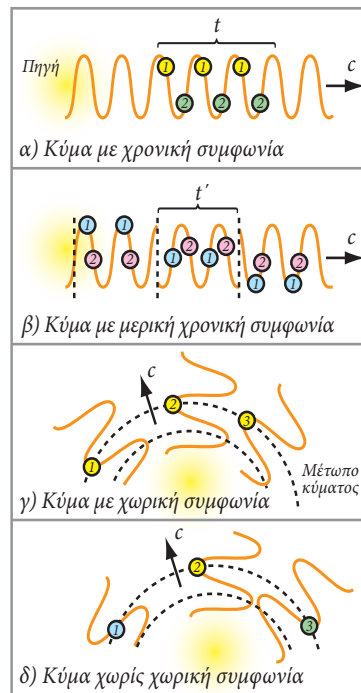
2. **Λαμπρότητα:** Το φως Λείζερ έχει μεγάλη λαμπρότητα. Η λαμπρότητα έχει σχέση με την ισχύ στο χώρο. Ακόμη και τα Λείζερ μικρής ισχύος έχουν λαμπρότητα μεγαλύτερη από τη λαμπρότητα των συνηθισμένων πηγών φωτός (θερμικές) και αυτό οφείλεται στην κατευθυντικότητα των Λείζερ.

3. **Μονοχρωματικότητα:** Το

φως Λείζερ περιέχει μόνο μια πολύ στενή περιοχή μηκών κύματος φωτός από τις διαθέσιμες του φάσματος.

Εικόνα 2.6

Η χωρική και η χρονική συμφωνία του φωτός Λείζερ. Με c συμβολίζεται η ταχύτητα του φωτός. Σημειώστε ότι οι έννοιες χωρικής και χρονικής συμφωνίας είναι εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους. α) Κύμα που έχει χρονική συμφωνία: δύο σημεία του φωτεινού κύματος που βρίσκονται σε διαφορετική θέση έχουν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή t του ταξιδιού τους την ίδια διαφορά φάσης. β) Κύμα που έχει μερική χρονική συμφωνία: η σχετική θέση των σημείων παραμένει ίδια αλλά μόνο για μικρό χρονικό διάστημα t' . γ) Κύμα που έχει χωρική συμφωνία: Π.χ. τα 1, 2 και 3 γειτονικά σημεία που ισαπέχουν από την πηγή έχουν την ίδια φάση. δ) Κύμα που δεν έχει χωρική συμφωνία.



(πολλά μέτρα), ενώ το φως ενός λαμπτήρα πυράκτωσης διατηρεί τη χωρική συμφωνία του μόλις για λίγα εκατοστά του μέτρου από την πηγή του.

Υπάρχουν Λείζερ στη φύση; Αστρονομικές παρατηρήσεις στη Γη ανίχνευσαν ακτινοβολίες με τις ιδιότητες του φωτός Λείζερ που ονομάστηκαν Μείζερ (Maser). Αυτές έχουν συχνότητα στην περιοχή των μικροκυμάτων –δηλώνεται με το γράμμα «Μ» που αντικατέστησε το «Λ» στη λέξη Λείζερ. Οι εκπομπές Μείζερ δεν εμφανίζονται στην περιοχή του ορατού φάσματος, συνεπώς για την παρατήρησή τους χρειάζονται ειδικές αντένες ή μεγάλα παραβολικά κάτοπτρα.

Περισσότερα

Οι ακτινοβολίες Μείζερ εκπέμπονται από τη μεσοαστρική ύλη του Σύμπαντος και διακρίνονται δύο τουλάχιστον είδη πηγών γι' αυτές. Το πρώτο είδος προέρχεται από παλαιούς αστέρες που βρίσκονται σε τελικά στάδια της αστρικής τους εξέλιξης και το δεύτερο είδος προέρχεται από τη γέννηση των νέων αστέρων. Αναζητήστε περισσότερες πληροφορίες στο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου, σχετικά με τέτοια είδη αστέρων.

2.2. Βασικές έννοιες της Φυσικής για την ερμηνεία των φαινομένων της εκπομπής φωτός από μια συσκευή Λείζερ.

Για να κατανοηθεί η εκπομπή φωτός που παράγεται σε μια συσκευή Λείζερ, καθώς και τα αντίστοιχα φυσικά φαινόμενα που υπεισέρχονται, πρέπει να γνωρίζουμε τις ακόλουθες σημαντικές έννοιες:

1. Του φωτός και των φωτονίων που το αποτελούν.
2. Της δομής της ύλης, του ατόμου, των επιτρεπτών ενεργειών που μπορεί να έχει το άτομο ενός υλικού και του πώς αλλάζει η ενέργειά του όταν απορροφά φωτόνια (ενεργειακές στάθμες, πληθυσμιακή αναστροφή).
3. Της απορρόφησης του φωτός από το άτομο ενός υλικού και της αυθόρμητης εκπομπής φωτός από αυτό το υλικό και
4. της εξαναγκασμένης εκπομπής φωτός από το άτομο ενός υλικού.

2.2.1. Φωτόνια.

Όπως είπαμε, πρώτος ο Planck το 1900 και δεύτερος ο Einstein το 1905 διατύπωσαν ότι το φωτεινό κύμα δεν είναι μια συνεχής ροή ενέργειας, αλλά μια διαδοχή από μικρά κύματα ή μικρές δεσμίδες ενέργειας (πακέτα ενέργειας) τα οποία ονομάζουμε κβάντα ή φωτόνια. Η ενέργεια E κάθε φωτονίου είναι ανάλογη της συχνότητας ν του φωτός και μιας παγκόσμιας σταθεράς h (σταθερά του Planck) και δίνεται από τη σχέση $E=h\nu$.

Κάθε φωτόνιο είναι ένα κύμα και αντιστοιχεί σε κάποια συχνότητα ή μήκος κύματος (δηλ. χρώμα, αν το φως είναι ορατό). Επίσης συμπεριφέρεται, όπως αναφέραμε, και ως σωματίδιο γιατί βάσει της Θεωρίας της Σχετικότητας έχει και ορμή. Συνεπώς το φως μπορεί να περιγραφεί και ως ροή σωματιδίων.

2.2.2. Οι ατομικές ενεργειακές στάθμες.

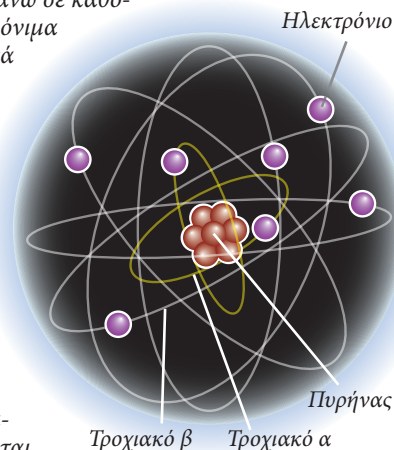
Στο γνωστό μας Σύμπαν υπάρχουν περίπου 100 διαφορετικά είδη ατόμων. Κάθε υλικό που βλέπουμε γύρω μας είναι φτιαγμένο από ποικίλους συνδυασμούς τέτοιων ατό-

μων (εικ. 2.7). Αν το αντικείμενο που παρατηρούμε είναι γυαλί, αέρας ή καπνός έχει σχέση με το πώς συγκεκριμένα άτομα διατάσσονται ώστε να δημιουργήσουν μόρια που συνδέονται μεταξύ τους. Τα άτομα επιπλέον βρίσκονται συνεχώς σε κίνηση. Δονούνται, μετακινούνται, περιστρέφονται και η μέση κινητική ενέργειά τους είναι ανάλογη της θερμοκρασίας τους.

Τα ηλεκτρόνια των ατόμων ενός υλικού μπορεί να έχουν διαφορετικές ενέργειες διέγερσης, δηλαδή μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές ενεργειακές καταστάσεις ή στάθμες (εικ. 2.8). Όταν δώσουμε αρκετή ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο ενός ατόμου αυτό μπορεί να εγκαταλείψει την ονομαζόμενη **θεμελιώδη ενεργειακή του κατάσταση** και να μεταπηδήσει σε μια κατάσταση μεγαλύτερης ενέργειας. Δηλαδή το άτομο να έχει το ηλεκτρόνιο σε τροχιακό που βρίσκεται πλέον σε ακόμα μεγαλύτερη απόσταση από τον πυρήνα. Αυτήν την παραπάνω ενέργεια μπορούμε να την παρέχουμε είτε με **κρούση** από άλλο σωματίδιο (ión, πρωτόνιο ή ηλεκτρόνιο), είτε με **θέρμανση** (τα μόρια του υλικού αποκτούν κινητική ενέργεια αρκετή, ώστε να διεγείρουν το ηλεκτρόνιο σε στάθμη μεγαλύτερης ενέργειας),

Εικόνα 2.7

Μια κλασική αναπαράσταση (σύμφωνα με το ατομικό μοντέλο του Bohr) ενός τυπικού ατόμου, όπου μόνιμα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια περιστρέφονται συνεχώς πάνω σε καθορισμένα τροχιακά και γύρω από έναν μόνιμα θετικά φορτισμένο πυρήνα. Τα τροχιακά τους είναι διαταγμένα σε διαφορετικές αποστάσεις από αυτόν τον πυρήνα. Σε κανένα άτομο της φύσης δεν έχει βρεθεί τροχιακό με περισσότερα από οκτώ ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια του πιο εξωτερικού τροχιακού είναι τα μόνα που μπορούν να αλλάξουν τροχιακό όταν προσφερθεί ενέργεια στο άτομο, χωρίς να αλλάξουν οι χημικές ιδιότητες του συγκεκριμένου ατόμου. Παρόλο που οι σύγχρονες απόψεις για τη μορφή του ατόμου δεν δέχονται ότι υπάρχουν διακριτά τροχιακά για τα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα, είναι χρήσιμο να τις φανταζόμαστε, προκειμένου να κατανοήσουμε τις διαφορετικές ενεργειακές καταστάσεις του ατόμου.



είτε με **φωτόνια κατάλληλης ενέργειας** είτε με **ηλεκτρισμό** (τα ηλεκτρόνια του ρεύματος που διαπερνά το υλικό συγκρούονται με τα άτομα του υλικού και διεγείρουν τα ηλεκτρόνια).

Επιπλέον το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία του υλικού και να έχουμε πολλαπλή διέγερση των ατόμων. Επειδή το άτομο από τη φύση του επιθυμεί να έχει τη λιγότερη δυνατή ενέργεια, όταν είναι διεγερμένο τείνει να χάσει εύκολα την παραπάνω ενέργειά του και να επιστρέψει στη θεμελιώδη ενεργειακή του κατάσταση.

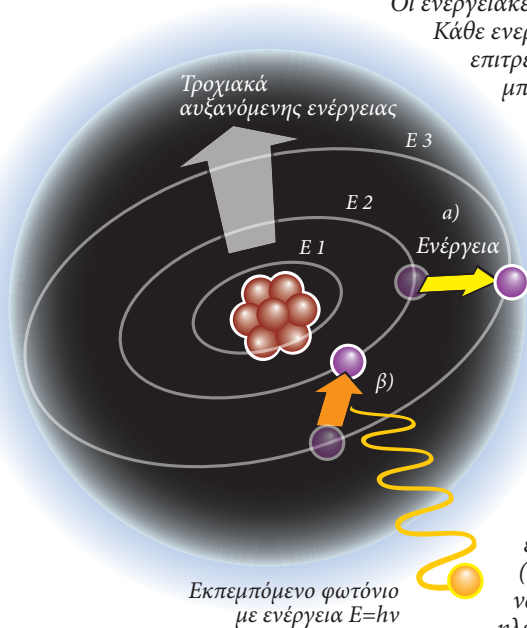
Εικόνα 2.8

Οι ενεργειακές στάθμες ενός ατόμου:
Κάθε ενεργειακή στάθμη είναι ένα επιτρεπτό τροχιακό, στο οποίο μπορεί να βρίσκονται κάποια ηλεκτρόνια.

Η χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη με ενέργεια E_1 συμβολίζει τη θεμελιώδη κατάσταση. Όλες οι άλλες συμβολίζουν διεγερμένες καταστάσεις. Τα τροχιακά που βρίσκονται κοντά στον πυρήνα του ατόμου έχουν πάντα μικρότερη ενέργεια ($E_1 < E_2 < E_3$). α).

Αν δώσουμε κάποιο ποσό ενέργειας σε ένα άτομο (π.χ. θερμότητα) πρέπει να περιμένουμε ότι κάποιο ηλεκτρόνιο του θα διεγερθεί και θα μεταπηδήσει σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη.

β). Όταν επανέλθει σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη θα εκπέμψει ένα φωτόνιο προς τυχαία κατεύθυνση.



Προσοχή!

Η όλη διαδικασία παρουσιάζεται απλοποιημένη –σύμφωνα με το ατομικό μοντέλο του Bohr, αποδίδει όμως πολύ καλά την κεντρική ιδέα, σύμφωνα με την οποία συμπεριφέρονται τα άτομα κατά την παραγωγή της δέσμης Λέιζερ.

Όταν συμβεί αυτό τα ηλεκτρόνια του μεταπηδούν από τροχιακά μεγαλύτερης ενέργειας σε τροχιακά μικρότερης ενέργειας και η ενέργεια απελευθερώνεται και εκπέμπεται με τη μορφή φωτός (φωτόνια).

Οι ενεργειακές στάθμες είναι διαφορετικές για κάθε υλικό της φύσης και απόλυτα χαρακτηριστικές. Σε συνηθισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης τα στοιχεία της φύσης λέμε ότι βρίσκονται στη θεμελιώδη τους κατάσταση.

2.2.3. Πώς εξηγείται η απορρόφηση φωτός από ένα υλικό;

Όταν το άτομο ενός υλικού βρεθεί μέσα σε μια φωτεινή δέσμη αλληλεπιδρά με τα φωτόνια της. Αν κάποια φωτόνια έχουν ενέργεια, η οποία συμπίπτει με την ενεργειακή διαφορά κάποιων επιτρεπτών ενεργειακών καταστάσεων του υλικού, τότε το υλικό απορροφά αυτά τα φωτόνια και τα ηλεκτρόνια του υλικού που βρίσκονται σε μια χαμηλή ενεργειακή στάθμη μεταπηδούν σε μια άλλη επιτρεπτή στάθμη μεγαλύτερης ενέργειας. Η ενεργειακή διαφορά των δύο σταθμών ισούται με την ενέργεια του φωτονίου που απορροφήθηκε.

Έχει μετρηθεί ότι πάντα, μετά από το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα των 10^{-7} s, το διεγερμένο άτομο επανέρχεται στην αρχική του ενεργειακή κατάσταση εκπέμποντας την επιπλέον ενέργειά του με τη μορφή ενός φωτονίου. Η εκπομπή αυτή ονομάζεται **αυθόρμητη εκπομπή φωτός**. Το φωτόνιο που εκπέμπεται ταξιδεύει προς τυχαία κατεύθυνση και έχει την ίδια ενέργεια με εκείνη του φωτονίου που αρχικά απορροφήθηκε.

2.2.4. Εξαναγκασμένη εκπομπή φωτός.

Κατά την αυθόρμητη εκπομπή φωτός ένα διεγερμένο υλικό αποδιεγείρεται όταν παρέλθει χρόνος 10^{-7} s από τη στιγμή της διέγερσής του, μόνο του, χωρίς να μεσολαβήσει κάποιο εξωτερικό αίτιο.

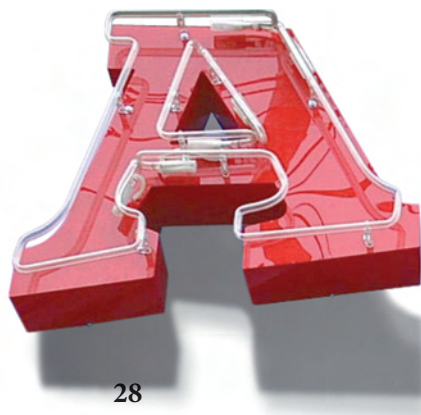
Ένα ενδιαφέρον φαινόμενο παρουσιάζεται όταν στείλουμε φωτόνια να αλληλεπιδράσουν με το διεγερμένο άτομο πριν προλάβει να αποδιεγερθεί αυθόρμητα. Όταν

τα φωτόνια αυτά έχουν ενέργεια ίση με τη διαφορά κάποιων επιτρεπτών ενεργειακών καταστάσεων του υλικού τότε μπορούν να «παρακινήσουν» τα ηλεκτρόνια του υλικού που βρίσκονται στις υψηλές ενεργειακές αυτές στάθμες, να μεταπηδήσουν σε χαμηλότερες επιτρεπτές ενεργειακές στάθμες. Η περίσσεια ενέργεια των ηλεκτρονίων που αποδιεγείρονται και μεταπηδούν εκπέμπεται με τη μορφή φωτονίων, πανομοιότυπων με εκείνα που προκάλεσαν το φαινόμενο (ίδια ενέργεια, συχνότητα, φάση, ίδια διεύθυνση διάδοσης). Αυτό ονομάζεται **εξαναγκασμένη εκπομπή φωτός**.

Επιπλέον, επειδή τα φωτόνια που προκάλεσαν την εξαναγκασμένη εκπομπή δεν απορροφώνται, η συνολική ακτινοβολία που δημιουργείται έχει το διπλάσιο αριθμό φωτονίων (ενέργεια). Έτσι, για μικρό σχετικά αριθμό αρχικών φωτονίων, έχουμε μια τελική παραγωγή που αυξάνεται με γεωμετρική πρόοδο (φαινόμενο «χιονοστιβάδας») με αποτέλεσμα τη σημαντική ενίσχυση της αρχικής εξωτερικής φωτεινής δέσμης Λέιζερ. Θα πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα φωτόνια που προέρχονται από την εξαναγκασμένη εκπομπή έχουν την ίδια ακριβώς διεύθυνση διάδοσης, γεγονός που αποτελεί μία από τις βασικές ιδιότητες της συσκευής Λέιζερ.

2.3. Η λειτουργία της συσκευής Λέιζερ.

Τα πιο γνωστά εξωτερικά χαρακτηριστικά είναι η υψηλή κατευθυντικότητα και συμφωνία φωτονίων της δέσμης, καθώς η μικρή απόκλιση και η μεγάλη ισχύς της. Δηλαδή σημαίνει παραγωγή φωτός που να αποτελείται από ηλε-



Εικόνα 2.9

Παράδειγμα εφαρμογής αυθόρμητης εκπομπής φωτός. Οι γνωστοί σε όλους σωλήνες «νέον» παράγουν φως λόγω του φαινομένου της αυθόρμητης αποδιέγερσης. Τα φωτόνια στο εσωτερικό του σωλήνα ταξιδεύουν άτακτα προς όλες τις κατευθύνσεις και είναι ορατά καθ' όλο το μήκος του. Προφανώς οι αυθόρμητες εκπομπές φωτονίων από μόνες τους δεν είναι ικανές για να προκαλέσουν φαινόμενο εκπομπής Λέιζερ.

κτρομαγνητική ακτινοβολία ή αλλιώς φωτόνια που να είναι όλα πανομοιότυπα μεταξύ τους. Η διαδικασία που μπορεί να δημιουργήσει τέτοιου είδους αντίγραφα ενός αρχικού φωτονίου είναι η **εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων** που αποτελεί ένα μοναδικό τρόπο κλωνοποίησης φωτονίων.

Επειδή στις συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης τα διάφορα υλικά έχουν χαμηλή εσωτερική ενέργεια, δηλαδή τα περισσότερα ηλεκτρόνιά τους βρίσκονται σε χαμηλή ενεργειακή στάθμη, θα πρέπει κατ' αρχήν να οδηγήσουμε μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων του υλικού σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη. Αυτό επιτυγχάνεται παρέχοντας στο υλικό ενέργεια με κατάλληλο τρόπο, όπως ηλεκτρική, χημική ή ενέργεια μέσω απορρόφησης φωτονίων. Με τον τρόπο αυτό μπορεί κάτω από ορισμένες συνθήκες το υλικό να βρεθεί σε κατάσταση **αναστροφής πληθυσμού**. Η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται αυτή η αναστροφή στις ενεργειακές στάθμες του ατόμου (ή του μορίου) ονομάζεται **οπτική άντληση**.

Προσοχή!

Στην πραγματικότητα κάθε τύπος Λέιζερ χρησιμοποιεί διαφορετικούς τρόπους για να πετύχει αναστροφή πληθυσμού. Οι συνθήκες που περιγράφονται εδώ αναφέρονται στα Λέιζερ αερίων (π.χ. τύπου He-Ne).

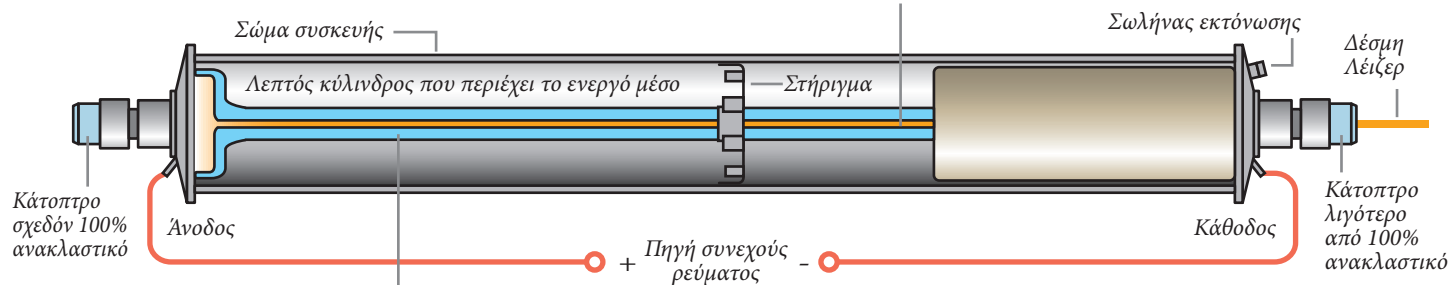
Για να έχουμε λοιπόν δημιουργία δέσμης Λέιζερ πρέπει να λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες Συνθήκες:

1. Να υπάρχει ένα υλικό, τα περισσότερα ηλεκτρόνια του οποίου βρίσκονται σε διεγερμένη κατάσταση παρά σε θεμελιώδη, δηλαδή σε κατάσταση αναστροφής πληθυσμού.
2. Η διεγερμένη κατάσταση πρέπει να έχει χρόνο ζωής μεγαλύτερο από εκείνον της αυθόρμητης εκπομπής (π.χ. 10^{-7} s)¹.
3. Πρέπει να έχουμε εξαναγκασμένη εκπομπή.
4. Πρέπει τα εκπεμπόμενα φωτόνια να περιορισθούν σε σχετικά μικρό χώρο, ώστε να παρακινήσουν εύκολα και άλλα σε παρόμοια εκπομπή (σε μια οπτική κοιλότητα).

1: Η Συνθήκη αυτή δεν αναπτύσσεται στο παρόν κείμενο.

Εικόνα 2.10

Ενεργό μέσο ή ενεργό υλικό προς οπτική άντληση, δηλαδή άτομα, ιόντα, μόρια κ.λπ. ενός υλικού

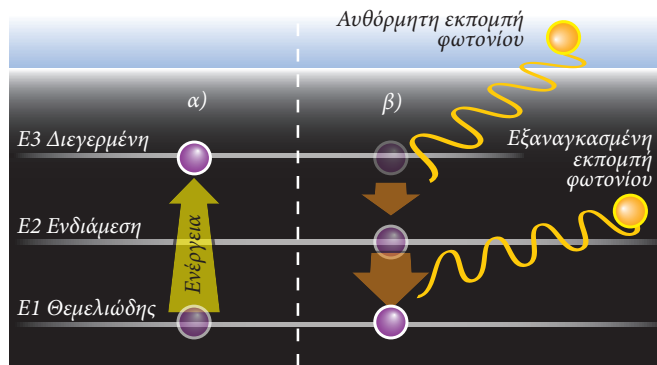


Οπτική κοιλότητα συντονισμού (Laser cavity) που επιβάλλει την εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων και την ενίσχυσή τους προς μία κατεύθυνση λόγω των αλληπάλληλων ανακλάσεων στα εξωτερικά παράλληλα κάτοπτρα και των συνεχών διελεύσεων των φωτονίων εντός του ενεργού μέσου.

Πηγή άντλησης, δηλαδή εξωτερική πηγή που παρέχει στα άτομα του ενεργού μέσου την απαιτούμενη ενέργεια για αντιστροφή πληθυσμού. Αυτή είναι η διαδικασία διέγερσης σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη που προκαλεί την έναρξη εκπομπής της δέσμης. Ο τρόπος άντλησης μπορεί να γίνει με οποιονδήποτε μηχανισμό διέγερσης, π.χ. με συγκρούσεις.

Για να πετύχουμε την 3η και 4η Συνθήκη χρησιμοποιούμε ένα γυάλινο σωλήνα (Laser cavity) (εικ. 2.10) ο οποίος στα άκρα του έχει δύο κάτοπτρα και περιέχει τα άτομα (το υλικό) που θα διεγείρουμε. Τα δύο παράλληλα κάτοπτρα είναι τοποθετημένα κάθετα στον κεντρικό άξονα της κοιλότητας και το ένα από τα δύο πρέπει να είναι λιγότερο επαργυρωμένο (ανακλαστικότητα λίγο μικρότερη από 100%), ώστε να επιτρέπει την έξοδο της δέσμης Λέιζερ που δημιουργείται. Η απόσταση των κατόπτρων μπορεί να ποικίλλει από μερικά εκατοστά μέχρι λίγα μέτρα (π.χ. 2–3 m). Για να πετύχουμε την 1η Συνθήκη (της διέγερσης) [εικ. 2.11.(α)] προκαλούμε ηλεκτρική εκκένωση στο σωλήνα. Όταν συνδέσουμε το σωλήνα αυτόν σε ηλεκτρική πηγή τότε θα δώσουμε ενέργεια στο ενεργό μέσο. Το ηλεκτρικό ρεύμα (ηλεκτρόνια) που θα κυκλοφορήσει μέσα στο ενεργό μέσο θα διεγείρει τα ηλεκτρόνια των ατόμων του ενεργού μέσου.

Τα ηλεκτρόνια μεταπηδούν σε μεταβατική ενεργειακή στάθμη εκπέμποντας αυθόρμητα φωτόνια σε τυχαίες κατευθύνσεις [εικ. 2.11.(β)]. Στη συνέχεια τα διεγερμένα με τον τρόπο αυτό ηλεκτρόνια μεταπηδούν στη θεμελιώδη ενεργειακή τους στάθμη με νέα (εξαναγκασμένη) εκπομπή φωτονίων, πανομοιότυπων με εκείνα που προκάλεσαν τη νέα αποδιέγερση. Φωτόνια θα διαφύγουν ή θα απορροφηθούν από τα τοιχώματα του γυάλινου σωλήνα. Τα φωτόνια που κατά τύχη κατευθύνονται πάνω στα παράλληλα κά-



Εικόνα 2.11

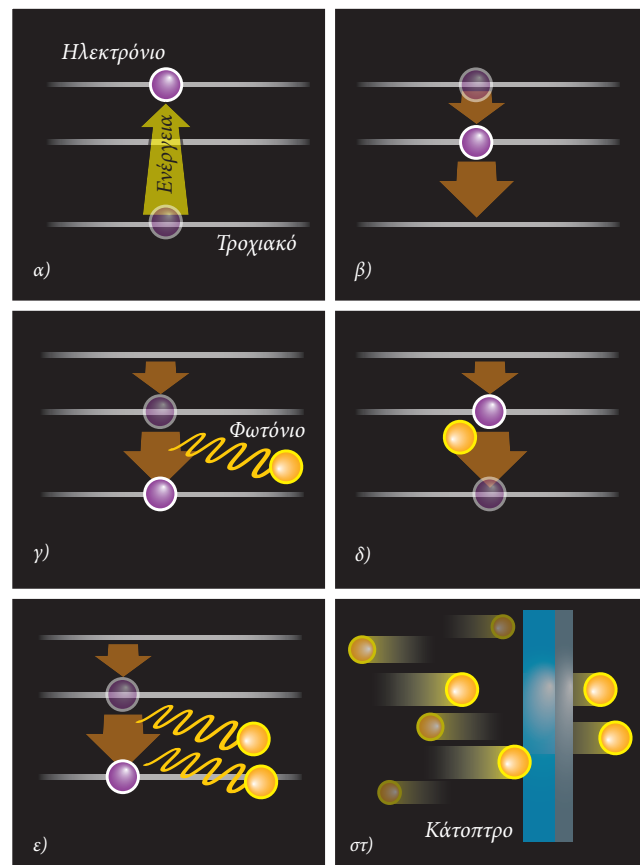
α) Μια συσκευή Λέιζερ πρέπει να διαθέτει ένα μηχανισμό, με τον οποίο να μπορεί να παγιδεύσει ηλεκτρόνια σε ένα τουλάχιστον ενεργειακό επίπεδο, για αρκετό χρόνο (της τάξης μs ως ms), ώστε να συμβεί αναστροφή πληθυσμού. Αυτό σημαίνει ότι περισσότερα ηλεκτρόνια βρίσκονται στη διεγερμένη στάθμη από αυτά της θεμελιώδους στάθμης. Πρακτικά, οι περισσότερες συσκευές Λέιζερ λειτουργούν με «μηχανισμούς παγίδευσης» ηλεκτρονίων σε τέσσερα ή περισσότερα ενεργειακά επίπεδα. β) Ενώ η διαδικασία για να δημιουργηθεί η δέσμη Λέιζερ ξεκινάει με την αυθόρμητη εκπομπή φωτονίων, για να ολοκληρωθεί –και να έχουμε τελικά δέσμη Λέιζερ από την έξοδο της συσκευής– θα πρέπει να ακολουθήσουν εξαναγκασμένες εκπομπές φωτονίων.

τοπtra των δύο άκρων του σωλήνα, θα ανακλαστούν από τα κάτοπτρα και θα εξακολουθήσουν να πηγαиноέρχονται μεταξύ των κατόπτρων προκαλώντας εξαναγκασμένες εκπομπές φωτονίων, αυξάνοντας σε κάθε πέρασμά τους τον

αριθμό των φωτονίων. Αν συνεχιστεί η ηλεκτρική εκκένωση στο σωλήνα, τότε νέα ηλεκτρόνια του ενεργού μέσου θα μεταβούν σε υψηλή ενεργειακή στάθμη και τα φωτόνια που πηγαινοέρχονται στο σωλήνα θα τους προκαλέσουν εξαναγκασμένη εκπομπή. Δηλαδή θα τα αναγκάσουν: α) να χάσουν ενέργεια εκπέμποντας φωτόνια πανομοιότυπα με αυτά που πηγαινοέρχονται και β) να επιστρέψουν στην αρχική τους ενεργειακή στάθμη. Με αυτόν τον τρόπο ο πληθυσμός των κλωνοποιημένων φωτονίων που πηγαινοέρχονται (τα οποία προέρχονται από την εξαναγκασμένη αποδιέγερση) αυξάνεται με γεωμετρική πρόοδο ενισχύοντας τη δέσμη εξόδου του Λέιζερ και κατά συνέπεια την ενέργειά της.

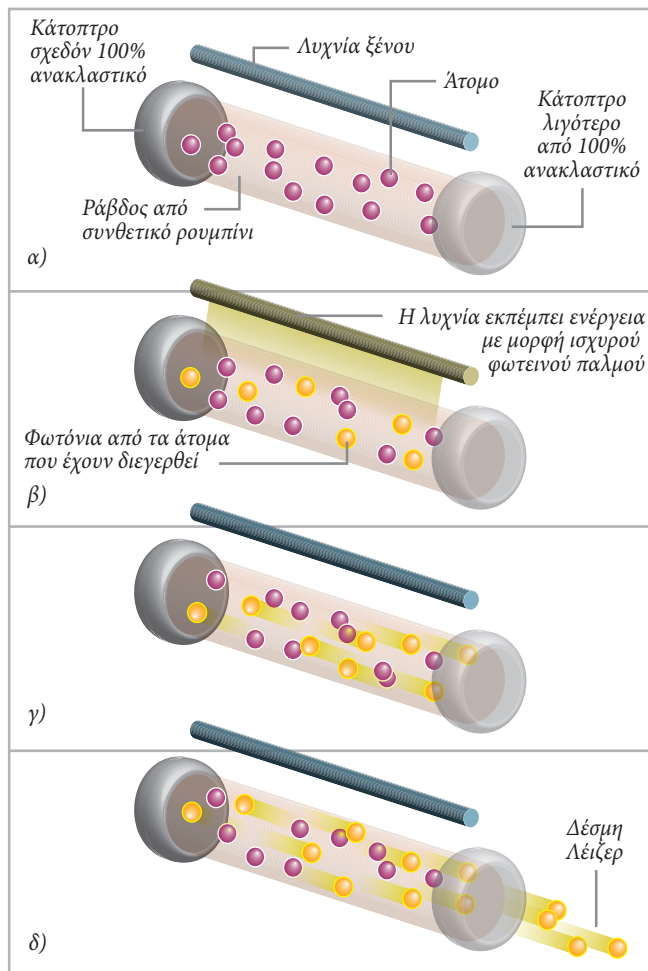
Ένα φωτόνιο που πηγαινοέρχεται δημιουργεί δύο όμοια φωτόνια, τα δύο τέσσερα, τα τέσσερα οκτώ κ.ο.κ.. Τελικά δημιουργείται μια πολύ μεγάλη ροή φωτονίων –σε αυτή την ενίσχυση του φωτός οφείλει και η συσκευή Λέιζερ το όνομά της (εικ. 2.12). Η δέσμη φωτονίων που δημιουργείται (ακτινοβολία Λέιζερ) έχει πλήρη κατευθυντικότητα γιατί τα φωτόνια κινούνται παράλληλα προς τον άξονα του σωλήνα και μεγάλη μονοχρωματικότητα, αφού τα φωτόνια προέρχονται από τη μεταπήδηση ηλεκτρονίων ίδιων πάντα ενεργειακών σταθμών. Έτσι έχουν όλα τα φωτόνια ίδια ενέργεια και συνεπώς ίδια συχνότητα, δηλαδή ίδιο μήκος κύματος (ή χρώμα). Επίσης, επειδή όλα τα φωτόνια της δέσμης Λέιζερ είναι όμοια (κλωνοποιημένα), έχουν συμφωνία φάσης (coherence). Επειδή η πιθανότητα απορρόφησης ενός φωτονίου από μία χαμηλή στάθμη είναι ίση με την πιθανότητα εξαναγκασμένης εκπομπής από μία υψηλότερη ενεργειακή στάθμη πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι τα φωτόνια, που πηγαινοέρχονται μεταξύ των κατόπτρων, δεν θα απορροφηθούν από τα άτομα που βρίσκονται σε χαμηλή ενεργειακή κατάσταση, αλλά θα χρησιμοποιηθούν για την αποδιέγερση των ατόμων που βρίσκονται σε υψηλή ενεργειακή κατάσταση. Αυτό επιτυγχάνεται αν ο πληθυσμός των ατόμων του υλικού, που βρίσκονται σε χαμηλή ενεργειακή κατάσταση είναι μικρότερος απ' αυτά που βρίσκονται σε υψηλή ενεργειακή κατάσταση.

Θυμηθείτε ότι η τεχνική που αναπτύσσεται γι' αυτό το σκοπό ονομάζεται οπτική άντληση και το απαραίτητο φαινόμενο για να συμβεί εκπομπή Λέιζερ είναι η λεγόμενη αντιστροφή του πληθυσμού.



Εικόνα 2.12

Σχηματική αναπαράσταση των φυσικών διεργασιών (διέγερσης και αποδιέγερσης) των ηλεκτρονίων των ατόμων του ενεργού μέσου, στην οπτική κοιλότητα ενός Λέιζερ: α) Το ηλεκτρόνιο διεγείρεται –στη γλώσσα των Λέιζερ: «αντλείται»– σε υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο. β) Επειδή αυτή η θέση είναι ασταθής, γρήγορα αυτό μεταπηδά σε τροχιακό ελαφρώς χαμηλότερης ενεργειακής στάθμης και από εκεί σε τροχιακό ακόμη χαμηλότερης ενεργειακής στάθμης. γ) Έτσι, ελευθερώνει την ενέργεια που του περισσεύει με τη μορφή ενός φωτονίου. δ) Το φωτόνιο που ελευθερώθηκε, αν συναντήσει ένα άλλο ηλεκτρόνιο, το αναγκάζει με τη σειρά του να μεταπηδήσει σε τροχιακό χαμηλότερης ενεργειακής στάθμης από αυτή στην οποία βρίσκεται. ε) Παράγονται έτσι δύο πανομοιότυπα φωτόνια. Τα φωτόνια ταξιδεύουν μέσα στο ενεργό μέσο, προκαλώντας παρόμοιες εξαναγκασμένες αποδιεγέρσεις και τελικά ανακλώνται στα κάτοπτρα των άκρων του σωλήνα. στ) Στο κάτοπτρο που είναι σχεδόν απόλυτα (100%) ανακλαστικό ανακλώνται όλα, ενώ από εκείνο που είναι εν μέρει ανακλαστικό (λιγότερο από 100%) κάποια διαφεύγουν σχηματίζοντας τη δέσμη Λέιζερ.



Εικόνα 2.13

α) Σε ένα Ruby Laser που εικονίζεται εδώ σχηματικά, λευκό φως από μια λυχνία ξένου αναβοσβήνει συνέχεια και γρήγορα, όπως ένα φλας φωτογραφικής κάμερας και φωτίζει το συνθετικό ρουμπίνι που παίζει το ρόλο του ενεργού μέσου (οξείδιο του αργιλίου με διάσπαρτα άτομα χρωμίου) που βρίσκεται δίπλα της. β) Έτσι δημιουργείται η λεγόμενη οπτική άντληση, διεγείροντας το ενεργό μέσο, ώστε να γίνει αντιστροφή πληθυσμού και τελικά να εκπέμψει ένα βαθύ κόκκινο παλμό. γ) Μερικά από τα άτομα του ενεργού μέσου εκπέμπουν φωτόνια και μερικά από αυτά κινούνται σε διεύθυνση παράλληλη με τον άξονα της ράβδου, μεταξύ των κατόπτρων στα άκρα της ράβδου, όπου το ένα είναι ημιεπαργυρωμένο. δ) Καθώς τα φωτόνια περνούν μέσα από το ενεργό μέσο προκαλούν εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων σε μεγάλο αριθμό ατόμων του ενεργού μέσου (ράβδος από ρουμπίνι). Το φως που ξεφεύγει από το ημιεπαργυρωμένο κάτοπτρο αποτελεί τη δέσμη φωτός Λέιζερ.

2.4. Είδη συσκευών Λέιζερ ως προς τη λειτουργία τους στο χρόνο.

Οι συσκευές Λέιζερ διακρίνονται ως προς τη χρονική διάρκεια της φωτεινής δέσμης τους σε συνεχείς και παλμικές. Οι συνεχείς εκπέμπουν φως Λέιζερ με συνεχή τρόπο, ενώ οι παλμικές εκπέμπουν το φως τους με παλμούς που επαναλαμβάνονται με ένα ρυθμό (συχνότητα). Τα παλμικά Λέιζερ μπορούν να εκπέμψουν πολύ μεγαλύτερο αριθμό φωτονίων ανά επιφάνεια και μονάδα χρόνου (άρα έχουν μεγαλύτερη ένταση). Επιπλέον χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση ταχύτατων φαινομένων στο μικρόκοσμο (όπως ένα flash, π.χ. για να παρατηρηθεί μια αντίδραση στην αλυσίδα του DNA που συμβαίνει σε απειροελάχιστο χρόνο). Η διάρκεια ενός παλμού μπορεί να είναι τόσο μικρή, όσο χρειάζεται ένα φωτόνιο για να διατρέξει μέσα σε ένα κύτταρο το 1/10 της απόστασης από το ένα τοίχωμα του κυττάρου ως το απέναντί του. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται διαφορετικοί τύποι συσκευών Λέιζερ, ως προς τη λειτουργία τους στο χρόνο.

Πίνακας 2.1

Διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας συσκευών Λέιζερ ως προς το χρόνο.

Τρόπος λειτουργίας	Συνήθης περιοχή ισχύος	Συνήθης διάρκεια λειτουργίας
Συνεχής (Continuous Wave ή CW): Η συσκευή Λέιζερ δίνει χαμηλή μέση ισχύ.	0,5 mW–100 W	0,05 s–συνεχής
Μακρού Παλμού (Gated Wave ή GW): Η ροή φωτονίων δημιουργείται με έναν προκαθορισμένο τρόπο, ώστε η κοιλότητα να παράγει παλμική δέσμη Λέιζερ.	0,5 mW–100 W	0,1s–2 s
Παλμικός (Pulsed ή P): Η παραγόμενη δέσμη Λέιζερ έχει υψηλότερη ισχύ από ό,τι του Μακρού Παλμού και διαρκεί λιγότερο χρόνο (ms).	100W–1.000 W	0,05 ms–10 ms
Βραχέος Παλμού (Q–switched): Παράγουν παλμούς υψηλότερης ισχύος και μικρότερης χρονικής διάρκειας.	0,1 MW–5 MW	0,1 ns–100 ns

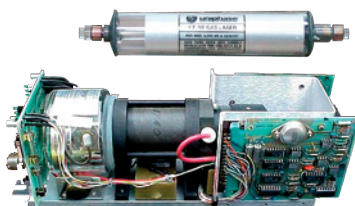
2.5. Είδη συσκευών Λείζερ ως προς το υλικό που διεγείρουμε.

Διακρίνουμε τις συσκευές Λείζερ ως προς το υλικό που διεγείρουμε σε: **αερίου, διοδικά, στερεάς κατάστασης και excimer.**

2.5.1. Λείζερ αερίου.

Τα Λείζερ αυτού του είδους περιέχουν σε μια λυχνία το ενεργό ή ενεργά αέρια και τα ηλεκτρόδια της ανόδου και καθόδου. Το πρώτο Λείζερ αερίου που κατασκευάστηκε και ταυτόχρονα το πρώτο συνεχούς εκπομπής είναι το Λείζερ Ηλίου-Νέου (He-Ne) (εικ. 2.14). Εκπέμπει σε μήκη κύματος 543,5 nm (πράσινο), 594 nm (κίτρινο), 612 nm (πορτοκαλί), 653 nm (κόκκινο ή ερυθρό), 1.150 nm, 1.523 και 3.390 nm (μετά το κόκκινο ή αλλιώς υπέρυθρο). Το Λείζερ αυτό χρησιμοποιείται σε όργανα μέτρησης, στην ολογραφία, σε οπτικά εφέ, καθώς και σε εργαστήρια οπτικής για ευθυγράμμιση πολύπλοκων οπτικών διατάξεων. Η ισχύς εξόδου του είναι σχετικά μικρή (0,5 έως 100 mW).

Το Λείζερ διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) είναι καθαρά μοριακό Λείζερ (εικ. 2.15). Χρησιμοποιείται στη βιομηχανία και στην ιατρική διότι παρέχει σχετικά εύκολα και οικονομικά μεγάλη ισχύ (10 W–10 kW) ικανή για κοπή μετάλλων και ιστών αντίστοιχα. Το μήκος κύματος εκπομπής είναι 10,6 μm (περιοχή υπέρυθρης ακτινοβολίας). Τα Λείζερ αυτά μπορεί να είναι παλμικά ή συνεχή. Στα συνεχή το φως Λείζερ μπορεί να



Εικόνα 2.14

Τύποι μικρού και μεγάλου Λείζερ He-Ne.



Εικόνα 2.15

Το άκρο εξόδου της δέσμης Λείζερ από μια συσκευή Λείζερ CO_2 .

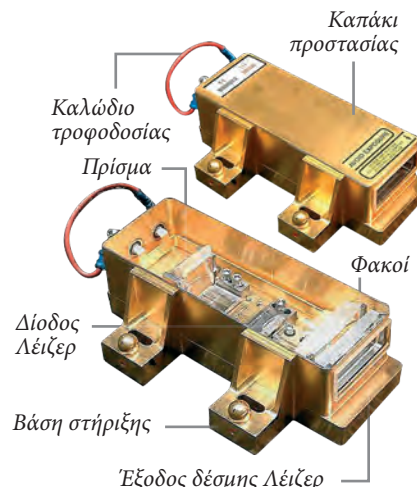
φθάσει σε μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ 400 kW. Αυτή η κατηγορία Λείζερ έχει **απόδοση**¹ της τάξης 10–15%.

Το Λείζερ Αργού (Ar) είναι πολύ διαδεδομένο στις επιδείξεις Λείζερ (laser show) αλλά και στην έρευνα, διότι χρησιμοποιείται ως πηγή άντλησης για άλλα πιο πολύπλοκα συστήματα Λείζερ και παρέχει αρκετή ισχύ στην ορατή περιοχή. (Στο μπλε 488 nm ή στο πράσινο 514 nm έχει 0,1 W–20 W αντίστοιχα). Σε συνδυασμό με το Λείζερ Κρυπτού (Kr) παράγει λευκή δέσμη που με κατάλληλο συνδυασμό επιτρέπει τη χρήση όλων των χρωμάτων (χρήση σε Λείζερ βιντεοπροβολείς).

2.5.2. Διοδικά Λείζερ.

Τα διοδικά Λείζερ (εικ. 2.16 και 2.17) είναι το απλούστερο σύστημα Λείζερ κι έχουν πολλά κοινά σημεία με τις γνωστές διόδους εκπομπής φωτός (LED). Οι διόδοι Λείζερ εκπέμπουν σύμφωνο φως μεγάλης έντασης και σχεδόν μονοχρωματικό (πολύ μικρό φασματικό εύρος), ενώ τα LEDs εκπέμπουν ασύμφωνο φως με μεγάλο φασματικό εύρος. Τα περισσότερα Λείζερ κατασκευάζονται από προσμείξεις ημιαγωγών όπως GaAlAs (Γάλλιο-Αργίλιο-Αρσενικό) ή InGaAsP (Ίνδιο-Γάλλιο-Αρσενικό-Φώσφορος).

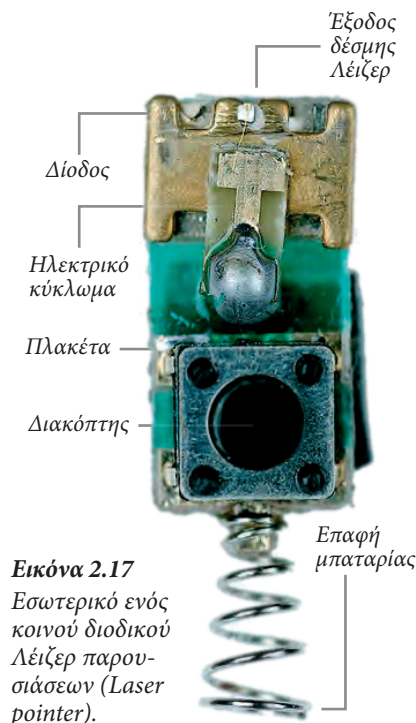
Το φαινόμενο της εκπομπής Λείζερ εμφανίζεται από μια στάθμη ρεύματος και πάνω (ρεύμα κατωφλίου) και ο ημιαγωγός καταστρέφεται όταν ξεπεράσει κάποια ανώτατη



Εικόνα 2.16

Τύπος διοδικού εργαστηριακού Λείζερ.

1: Απόδοση: Το πηλίκον της ωφέλιμης ενέργειας που παίρνουμε από μια διαδικασία προς την ενέργεια που καταναλώνουμε για να γίνει αυτή η διαδικασία.



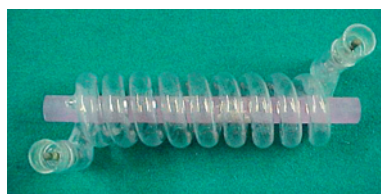
Εικόνα 2.17
Εσωτερικό ενός κοινού διοδικού Λείζερ παρουσιάσεων (Laser pointer).

τιμή, την οποία έχει ορίσει ο κατασκευαστής. Η τροφοδοσία τους χρειάζεται προσοχή και γίνεται με πηγή σταθερού ρεύματος. Τα διοδικά Λείζερ μπορούν να λειτουργούν σε συνεχή ή παλμική εκπομπή δέσμης φωτός. Τα διαθέσιμα μήκη κύματος καλύπτουν σχεδόν όλη την περιοχή φάσματος από 635 nm–1.550 nm. Η ισχύς εξόδου των διοδικών Λείζερ κυμαίνεται από μερικά μW έως μερικές δεκάδες

W, παλμικής ή συνεχόμενης λειτουργίας. Ήδη διοδικά Λείζερ σε συστοιχία παράγουν ισχύ μέχρι 8 W στα 670 nm. Το μικρό μέγεθος, το μικρό κόστος, η εύκολη εγκατάσταση, η μεγάλη διάρκεια ζωής (10.000–100.000 ώρες) και η μικρή σε απαιτήσεις ισχύς λειτουργίας τους τα καθιστά πολύ δημοφιλή. Βασικό τους μειονέκτημα αποτελεί η σχετικά χαμηλή ποιότητα δέσμης Λείζερ που εκπέμπουν, λόγω της απουσίας οπτικής κοιλότητας. Η χρήση τους καλύπτει το χώρο των τηλεπικοινωνιών, τις συσκευές γραφείου, τα ιατρικά όργανα, καθώς και τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως πηγές άντλησης σε μεγάλα συστήματα Λείζερ.

2.5.3. Λείζερ στερεάς κατάστασης.

Το πιο γνωστό πρώτο Λείζερ στερεάς κατάστασης είναι το ruby Λείζερ (εικ. 2.18) και το πιο δημοφιλές και σε μεγάλη χρήση το Nd:YAG (YAG=Y3A15012).



Εικόνα 2.18
Ράβδος YAG με το σύστημα σωλήνα ψύξης της από Λείζερ Nd:YAG.

Το τρισθενές ιόν του Νεοδυμίου, το οποίο υπάρχει στο YAG εκπέμπει στα 1.064 nm. Με παλμικά συστήματα Λείζερ αυτού του τύπου μπορούμε να πετύχουμε ισχύ της τάξης των PettaWatts. Οι εφαρμογές αυτού του Λείζερ καλύπτουν πολλούς τομείς όπως ιατρική, βιομηχανία, άντληση σε άλλα Λείζερ, καθώς και στην έρευνα. Οι νεότεροι τύποι τέτοιων Λείζερ είναι τα Diode Pumped Solid State (DPSS), όπου ο κρύσταλλος Nd:YAG, Nd:YFL ενεργοποιείται από συστοιχία (array) διοδικών Λείζερ μεγάλης ισχύος. Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να εκπέμπουν σε διακριτά μήκη κύματος, υποπολλαπλάσια του αρχικού με τη χρήση μη γραμμικών κρυστάλλων. Τα πιο σύγχρονα συστήματα στερεάς κατάστασης είναι αυτά που λειτουργούν με κρύσταλλο Ti:Sapphire και έχουν τη δυνατότητα να παράγουν βραχύχρονους παλμούς της τάξης των 20×10^{-15} δευτερολέπτων (20 femtoseconds). Η παλμική ισχύς σε αυτά τα συστήματα φτάνει επίσης στην τάξη των PettaWatts.

2.5.4. Λείζερ χρωστικών (DYE LASER).

Στα Λείζερ χρωστικών το ενεργό υλικό είναι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις (π.χ. Ροδαμίνη 6G) διαλυμένες σε κάποιο οργανικό διαλύτη (συνήθως μεθανόλη πολύ υψηλής καθαρότητας 99,999%) και βρίσκεται φυσικά σε υγρή κατάσταση. Το όνομά τους οφείλεται στο χρώμα που έχουν αυτά τα διαλύματα εξαιτίας της απορρόφησης κάποιου μήκους κύματος στην ορατή περιοχή. Βρίσκουν εφαρμογές στη φασματοσκοπία, επειδή παρέχουν τη δυνατότητα πολλών επιλογών μήκους κύματος. Τα Λείζερ χρωστικών, όπως αυτό της εικόνας 2.19, τείνουν να αντικατασταθούν από συστήματα στερεάς κατάστασης τα οποία μπορούν να εκπέμπουν σε πολλά μήκη κύματος που παράγονται με τη χρήση μη γραμμικών οπτικών φαινομένων από ειδικούς κρυστάλλους. Για την άντληση αυτών των συστημάτων Λείζερ είναι απαραίτητη μία δέσμη Λείζερ που παράγεται από κάποιο άλλο Λείζερ στερεού ή αερίου που αντικαθιστά τις συνήθεις «flash-lamps» των Λείζερ στερεού.



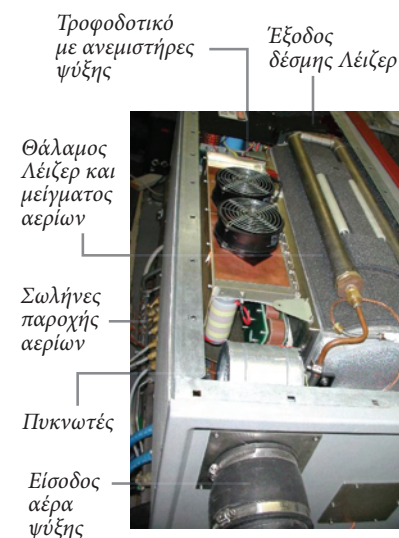
Εικόνα 2.19
Λείζερ χρωστικών

2.5.5. Excimer Λείζερ.

Οι πηγές αυτές είναι οι μόνες που δίνουν σύμφωνη ακτινοβολία με μήκος κύματος λ στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος, όπου $400 \text{ nm} > \lambda > 190 \text{ nm}$. Χρησιμοποιούν τα βαρέα ευγενή αέρια Ξένο, Κρυπτό και Αργό (Xe , Kr , Ar) σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα αλογόνα Χλώριο, Βρώμιο και Ιώδιο (Cl_2 , Br_2 , I_2). Για τη λειτουργία τους απαιτείται άντληση με μεγάλο ρεύμα (1 kA) και υψηλή τάση (20–30 kV). Η διάρκεια (παλμική λειτουργία) είναι της τάξης των 5 ns. Έχουν κατασκευαστεί μη βιομηχανικά Excimer Λείζερ που αντλούνται από μεγαλύτερα ρεύματα (10 kA) και τάσεις (1 MV). Στο εργαστήριο Lebedev της Μόσχας έχουν δοκιμαστεί φωτοαντλούμενα Excimer Λείζερ που έχουν δώσει δέσμες Λείζερ με ενέργεια εκατό φορές μεγαλύτερη από εκείνα που κυκλοφορούν στο εμπόριο.

Εικόνα 2.20

Τύπος Excimer Λείζερ



2.6. Τύποι συσκευών Λείζερ και μήκη κύματος.

Βασικοί τύποι συσκευών Λείζερ και τα αντίστοιχα μήκη κύματος που εκπέμπουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2. Το μήκος κύματος (χρώμα) του εκπεμπόμενου φωτός Λείζερ εξαρτάται από το είδος (χημική σύσταση) του ενεργού μέσου που χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση Λείζερ χρωστικών ή αερίων, όπου μπορούν να παραχθούν περισσότερα του ενός μήκη κύματος, η επιλογή του μήκους κύματος γίνεται με τη βοήθεια των κατάλληλων

οπτικών συσκευών. Για παράδειγμα, στο Λείζερ τύπου Argon, όταν εκπέμπεται μήκος κύματος 488 nm η δέσμη είναι μπλε, ενώ όταν εκπέμπεται μήκος κύματος 514,5 nm η δέσμη είναι πράσινη. Στο Λείζερ τύπου Helium Neon, όταν εκπέμπεται μήκος κύματος 632,8 nm η δέσμη είναι κόκκινη, ενώ όταν εκπέμπεται μήκος κύματος 543 nm η δέσμη είναι πράσινη. Μερικά Λείζερ είναι πολύ ισχυρά. Τα Λείζερ CO_2 μπορούν να γίνουν πολύ επικίνδυνα, δεδομένου ότι εκπέμπουν σε τέτοιο μήκος κύματος που πρακτικά λιώνουν κάθε αντικείμενο στο οποίο εστιάζουν. Άλλα Λείζερ είναι πολύ πιο αδύναμα –όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε παρουσιάσεις– έχουν τυπικά κόκκινη δέσμη με μήκος κύματος από 630 nm ως 680 nm και μπορεί κάποιος να τα αγοράσει με ελάχιστα χρήματα από ένα περίπτερο.

Πίνακας 2.2

Τύποι Λείζερ με το αντίστοιχο μήκος κύματος εκπομπής του φωτός τους.

Τύπος Λείζερ	Μήκος κύματος (nm)	Περιοχή φάσματος
Argon Fluoride	193	UV (υπεριώδεις)
Xenon Chloride	308 και 459	
Xenon Fluoride	353 και 459	
Helium Cadmium	325 ως 442	
Rhodamine 6G	450 ως 650	Ορατό
Copper Vapour	511 και 578	
Argon	457 ως 528 (514,5 και 488 πιο συχνά)	
Frequency doubled Nd:YAG	532	
Helium Neon	543, 594, 612, και 632,8	
Krypton	337,5 ως 799,3 (647,1 ως 676,4 πιο συχνά)	
Ruby	694,3	
Laser Diodes	630 ως 950	
Ti:Sapphire	690 ως 960	
Alexandrite	720 ως 780	
Nd:YAG	1.064	NIR (κοντινό υπέρυθρο)
Hydrogen Fluoride	2.600 ως 3.000	
Erbium:Glass	1.540	MIR (μέσο υπέρυθρο)
Carbon Monoxide	5.000 ως 6.000	
Carbon Dioxide	10.600	



2.7. Εφαρμογές των Λείζερ.

2.7.1. Τα Λείζερ στο διάστημα και στις διαστημικές τηλεπικοινωνίες.

Τα Λείζερ στις διαστημικές τηλεπικοινωνίες χρησιμοποιούνται χωρίς **κυματοδηγό**¹ για την επικοινωνία μεταξύ δορυφόρων ή μεταξύ δορυφόρων και σταθμών αναμετάδοσης και λήψης-εκπομπής.

Εκατοντάδες διαστημικών αποστολών έχουν πραγματοποιηθεί μετά την τελευταία σεληνιακή αποστολή, συμπεριλαμβανομένων διάφορων οχημάτων που έχουν σταλεί στα όρια του Ηλιακού μας Συστήματος. Οι δυνατότητες των μηχανών προώθησης των σύγχρονων πυραύλων και των οχημάτων αποστολών εξαρτάται άμεσα από την ποσότητα των καυσίμων, που το διαστημικό όχημα μπορεί να μεταφέρει. Σήμερα το 95% του βάρους ενός διαστημικού πυραύλου κατά την εκτόξευση είναι μόνο τα καύσιμα.

Οι διεθνείς ενώσεις διαστήματος, καθώς και μερικές ιδιωτικές εταιρείες έχουν προτείνει πολλές μεθόδους προώθησης για τη μεταφορά που θα μας επέτρεπαν να κινηθούμε μακρύτερα και γρηγορότερα μιας και οι αποστάσεις στο διάστημα είναι τεράστιες. Μια ρεαλιστική λύση σίγουρα απαιτεί την κατάργηση των πυραύλων και των καυσίμων τους γενικότερα. Η NASA μελετά εδώ και χρόνια μια τεχνολογία αποκαλούμενη «ηλιακά πανιά» που θα χρησιμοποιήσουν την ενέργεια του Ηλίου για να προωθήσουν ένα όχημα, αργά και σταθερά σε άλλους πλανήτες ή άστρα. Περίπου πριν από 400 χρόνια ο Johannes Kepler πρότεινε την ιδέα της εξερεύνησης του γαλαξία χρησιμοποιώντας πανιά. Μέσω της παρατήρησής του ότι τις ουρές των κομητών φαινόταν να «φυσάει» κάποιο «ηλιακό αεράκι», θεώρησε ότι κατάλληλα διαμορφωμένα πανιά θα μπορούσαν να συλ-

1: Κυματοδηγός: Γενικός όρος που αποδίδεται σε οποιοδήποτε μέσο μπορεί να διαδώσει με σχετικά πολύ μικρές απώλειες κάποιο περιοδικό σήμα (π.χ. μια οπτική ίνα, ένα καλώδιο χαλκού κ.λπ.).

Εικόνα 2.21

Στις τηλεπικοινωνίες με Λείζερ χωρίς κυματοδηγό παρουσιάζονται δύο σοβαρά μειονεκτήματα: χρειάζεται συνεχώς ακριβής έλεγχος για την ακριβή στόχευση της δέσμης μεταξύ πομπού και δέκτη (αριστερά) και δεν πρέπει να παρεμβάλλεται κανένα μη διαπερατό από φως αντικείμενο στη γραμμή που ενώνει τον πομπό και το δέκτη (δεξιά).



Εικόνα 2.22

Μια συσκευή Λείζερ της NASA που έχει προγραμματισθεί να τεθεί σε τροχιά γύρω από τον Άρη το 2009 θα επιτρέπει τη μετάδοση επιστημονικών δεδομένων με ταχύτητα δεκαπλάσια από εκείνη των ραδιοπομπών. Ένα τέτοιο Λείζερ θα μπορεί να έχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων 30 εκατομμύρια ψηφία ανά δευτερόλεπτο, ανάλογα με την απόσταση Γης-Άρη. Η δέσμη θα ανιχνεύεται στη Γη με ειδικούς οπτικούς δέκτες εγκατεστημένους σε επιλεγμένα σημεία. (Φωτογραφική-εικαστική αναπαράσταση).

Περισσότερα

Πρώτος ο Ρώσος P. N. Lebedev παρατήρησε και μέτρησε την πίεση που ασκεί το φως πάνω σε μια επιφάνεια, το 1892.



Εικόνα 2.23

Εικαστικές αναπα-
ραστάσεις φαντα-
στικών ηλιακών
σκαφών με ανοιχτά
τα ηλιακά τους
πανιά.

λάβουν αυτήν την «πνοή αέρα» προκειμένου να ωθήσουν ένα διαστημικό σκάφος με τον ίδιο τρόπο που οι άνεμοι κινούν τα σκάφη στους ωκεανούς της Γης.

Σήμερα οι επιστήμονες έχουν ανακαλύψει ότι πραγματικά το φως του Ήλιου ασκεί αρκετή πίεση για να κινήσει αντικείμενα. Για να εκμεταλλευθούν αυτήν την πίεση πειραματίζονται με γιγαντιαία ηλιακά πανιά.

ὡς ἕνα ἐξαιρετικὰ λεπτὸ κάτοπτρο. Φυσικὰ θα χρειαζόταν
κι ἕνα χωριστὸ ὄχημα γιὰ τὴν ἐκτόξευση ἀπὸ τὴν ἐπιφά-
νεια τῆς Γῆς (πέρα ἀπὸ τὸ βασικὸ ὄχημα γιὰ τὸ ταξίδι).

Ένα τέτοιο διαστημικό σκάφος θα χρειαζόταν μόνο το φως ενός ήλιου –ο ήλιος θα ήταν η κύρια μηχανή του. Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ασκεί πίεση στα αντικείμενα με τα οποία έρχεται σε επαφή. Ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι σε 1 αστρονομική μονάδα (ΑΥ), που είναι η απόσταση από τον Ήλιο στη Γη (περίπου 150 εκατομμύρια km), το φως του Ήλιου μπορεί να παραγάγει περίπου 1,4 κιλοβάτ (kW) ισχύος. Μια σημερινή μηχανή πυραύλων μπορεί να παραγάγει 167.000 kg δύναμης κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης και 210.000 kg δύναμης στο κενό του διαστήματος. Τελικά, η συνεχής πίεση του ηλιακού φωτός σε ένα ηλιακό πανί θα μπορούσε να ωθήσει ένα διαστημικό σκάφος με ταχύτητα πενταπλάσια από τους παραδοσιακούς πυραύλους.

Ποια όμως είναι τα υλικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευασθεί ένα ηλιακό πανί;

Ένα τέτοιο πανί θα έπρεπε να είναι γιγαντιαίο στο μέγεθος ώστε να συλλάβει επαρκές ποσό ενέργειας προκειμένου να κινηήσει το σκάφος. Τα πρώτα σχέδια εκπονήθηκαν για ένα ηλιακό πανί μήκους περίπου μισού χιλιομέτρου και το οποίο θα μεταφερόταν στο διάστημα από ένα βοηθητικό διαστημικό όχημα. Όταν ξετυλιγόταν το ηλιακό πανί θα ενεργούσε ως γιγαντιαίο κάτοπτρο αντανakλώ- ντας το φως του ήλιου. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του φωτός θα εξασκήσει πίεση σ' αυτό το αντανakλαστικό ηλιακό πανί και θα αρχίσει να το προωθεί.

Σήμερα τα περισσότερα συνθετικά υλικά (όπως το πλαστικό) είναι πάρα πολύ βαριά προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε ένα τέτοιο όχημα. Το πιο ελπιδοφόρο υλικό φαίνεται να είναι οι ελαφριές ίνες άνθρακα με πάχος μόνο λίγα χιλιοστά του χιλιοστού.

Στην πραγματικότητα, ένα ηλιακό πανί για το διαστημικό ταξίδι μας θα πρέπει να είναι σχεδόν τόσο λεπτό όσο η διαφανής ελαστική μεμβράνη που χρησιμοποιούμε στην κουζίνα. Το πανί ινών άνθρακα είναι επιπλέον αρκετά δύσκαμπτο και γερό, ώστε να μπορεί να αντισταθεί στην έντονη θερμότητα από τον ήλιο. Έτσι θα μπορούσε να πετάξει ακόμα πιο κοντά στον ήλιο για να συλλάβει ακόμη περισσότερο φως, άρα και ώθηση.

Ένας άλλος πιθανός τρόπος να προωθηθεί ένα ηλιακό πανί θα ήταν με τις δέσμες μικροκυμάτων ή Λέιζερ που πα-
ρέχονται από έναν δορυφόρο ή άλλο διαστημικό σκάφος.

Αυτές οι ενεργειακές δέσμες θα μπορούσαν να κατευθυνθούν στο πανί για να το προωθήσουν στο διάστημα και να παρέχουν μια δευτερεύουσα πηγή ενέργειας κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Σε ένα πρόσφατο πείραμα της NASA, τα πανιά οδηγήθηκαν στη θέση εκτόξευσης με δέσμη μικροκυμάτων, ενώ δέσμες Λέιजर χρησιμοποιήθηκαν για να τα ωθήσουν προς τα εμπρός.

Εικόνα 2.24

Εικαστική αναπαράσταση ενός ακόμη φανταστικού σεναρίου για ένα υπερ-ελαφρύ σκάφος που θα προωθείται με δέσμη Λέιζερ, όμως μόνο μέσα σε πλανητική ατμόσφαιρα.



Πού μπορούν να μας πάνε τα ηλιακά πανιά; Με τα ηλιακά πανιά μπορούμε να πετύχουμε νέα ρεκόρ ταχύτητας και να ταξιδέψουμε πέρα από το Ηλιακό μας Σύστημα. Ίσως μέχρι το τέλος αυτής της δεκαετίας κάτι τέτοιο να γίνει πραγματικότητα. Όμως πόσο μακριά αυτά τα ηλιακά πανιά θα είναι σε θέση να μας ταξιδέψουν και πόσο γρήγορα να μας φθάσουν στον προορισμό μας;

Ένα διαστημικό σκάφος που τροφοδοτείται μόνο από ένα ηλιακό πανί θα άρχιζε το ταξίδι του με έναν αργό, αλλά σταθερό ρυθμό, αναπτύσσοντας βαθμιαία ταχύτητα για όσο διάστημα το φως ενός ήλιου συνεχίζει να ασκεί την πίεσή του επάνω σε αυτό. Το σκάφος θα έχει έτσι ατελείωτο ανεφοδιασμό από τον ήλιο και επιπλέον θα μπορούσε ενδεχομένως να επιστρέψει στη Γη, ενώ ένας πύραυλος δεν θα είχε άλλα καύσιμα έσπε να το φέρει πίσω. Το όχημα με το πανί θα ταξίδευε τελικά με περίπου 90 km/s (περισσότερο από 324.000 km/h), δηλαδή περίπου 10 φορές ταχύτερα από την ταχύτητα ενός σύγχρονου διαστημικού λεωφορείου. Για να πάρουμε μια ιδέα για το πόσο γρήγορα θα μπορούσαμε να ταξιδέψουμε με ένα όχημα ηλιακών πανιών, αναφέρουμε ότι θα μπορούσαμε να φθάσουμε από την Αθήνα στη Θεσσαλονίκη (οδικώς) σε λιγότερο από πέντε δευτερόλεπτα. Έτσι, θα ακούσαν μόνο οκτώ χρόνια για να πιάσουμε τον Voyager 1 (το πιο απομακρυσμένο διαστημικό σκάφος από τη Γη), το οποίο ταξιδεύει ήδη για περισσότερο από είκοσι χρόνια. Με την προσθήκη ενός Λέιζερ πιστεύουμε ότι το σκάφος μας θα μπορούσε να κινηθεί με ταχύτητα 30.000 km/s που είναι το ένα δέκατο της ταχύτητας του φωτός. Με αυτές τις ταχύτητες το ταξίδι προς στα άστρα φαντάζει περισσότερο εφικτό.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

NASA Advanced Propulsion Concepts, solar sail, solar sail-powered spacecraft, laser beam transmitter receiver, satellite laser communication, laser interstellar travel.

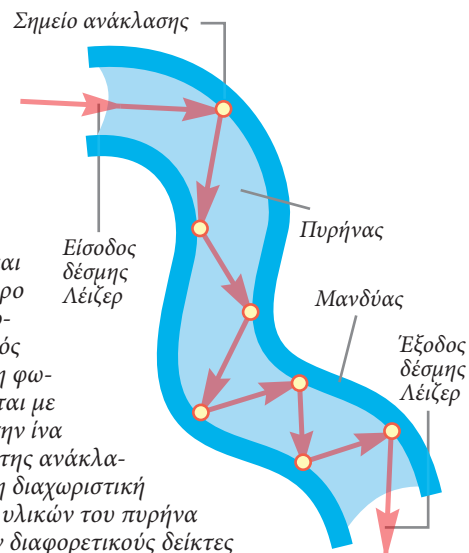
2.7.2. Τα Λέιζερ στις επίγειες τηλεπικοινωνίες.

Στις επίγειες τηλεπικοινωνίες χρησιμοποιείται κυματοδηγός και τη θέση του γνωστού από χρόνια καλωδίου χαλκού καταλαμβάνει η οπτική ίνα.

Κάπως απλοϊκά μπορούμε να φαντασθούμε ότι η οπτική ίνα είναι ένας λεπτός σωλήνας που τα εσωτερικά του τοιχώματα είναι ανακλαστικά (κάτοπτρα) (εικ. 2.25). Το φως που εισέρχεται από τη μια άκρη της οπτικής ίνας ανακλάται διαδοχικά στα τοιχώματα της ίνας και έτσι διαδίδεται σε όλο το μήκος της ακόμα και όταν αυτή κάμπτεται. Η οπτική ίνα έχει διάμετρο της τάξης μερικών χιλιοστών του μέτρου γι' αυτό και το φως που μπορεί να εισέλθει μέσα στην ίνα για να ταξιδέψει πρέπει να έχει κατευθυντικότητα και συμφωνία φάσης, δηλαδή το ιδανικό φως είναι το **φως Λέιζερ**.

Εικόνα 2.25

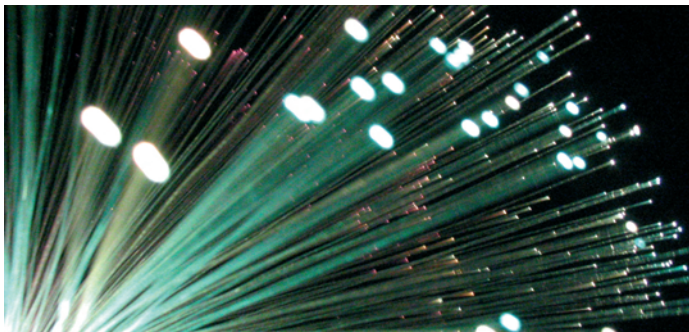
Το σχήμα αυτό αναπαριστά το εσωτερικό μιας οπτικής ίνας. Η οπτική ίνα αποτελείται από δύο ομοαξονικά διατεταγμένα, διαφανή, συνθετικά στοιχεία: έναν πυρήνα με υψηλό δείκτη διάθλασης και ένα περίβλημα, με μικρότερο δείκτη διάθλασης, που ονομάζεται μανδύας. Ο βασικός μηχανισμός, με τον οποίο η φωτεινή ακτινοβολία διαδίδεται με χαμηλές απώλειες μέσα στην ίνα στηρίζεται στο φαινόμενο της ανάκλασης, η οποία συμβαίνει στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ των δύο υλικών του πυρήνα και του μανδύα, που έχουν διαφορετικούς δείκτες διάθλασης. Η ανάκλαση συμβαίνει όταν η ακτινοβολία που διαδίδεται στο οπτικά πυκνότερο μέσο του πυρήνα προσπέσει στην επιφάνεια του μανδύα με γωνία μεγαλύτερη από κάποια καθορισμένη τιμή.



Μια οπτική ίνα αποτελείται από νήμα **διηλεκτρικού**¹ υλικού το οποίο χρησιμοποιείται ως αγωγός ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων της ορατής ή της υπέρυθρης περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

1: Διηλεκτρικό υλικό: Ονομάζεται οποιοδήποτε υλικό παρουσιάζει την ιδιότητα να εμποδίζει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτό.

Γενικά οι οπτικές ίνες δεν χρησιμοποιούνται μεμονωμένες, αλλά συγκεντρωμένες σε δέσμες (εικ. 2.26), που περιέχουν από μερικές ίνες έως πολλά εκατομμύρια, ανάλογα με την εφαρμογή. Οι δέσμες αυτές μπορεί να είναι εύκαμπτες ή άκαμπτες και χρησιμοποιούνται απλά ως αγωγοί φωτός ή ως αγωγοί ποικίλων ψηφιακών δεδομένων.

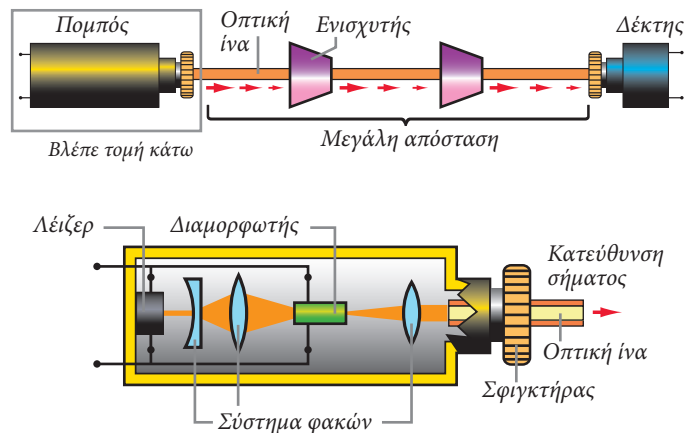
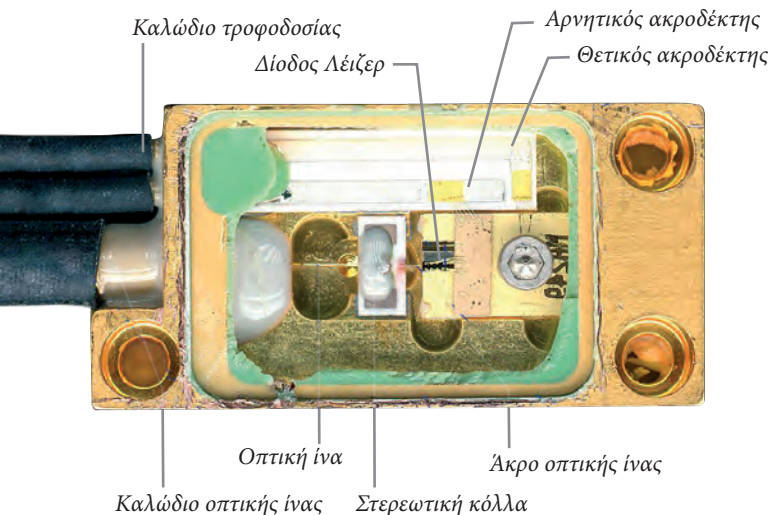


Εικόνα 2.26

Δέσμη οπτικών ινών: Φωτεινές ακτίνες που εισδύουν στον πυρήνα των ινών από το ένα άκρο διαδίδονται έως το άλλο, λόγω των εσωτερικών ολικών ανακλάσεων που υφίστανται στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ πυρήνα και μανδύα, μέσα σε κάθε ίνα.

Στις τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές (εικ. 2.28) το φως που μεταφέρει την πληροφορία μέσα στις οπτικές ίνες παράγεται από Λέιζερ. Ένα διοδικό Λέιζερ με ενσωματωμένη εκ κατασκευής οπτική ίνα φαίνεται στην **εικόνα 2.27**.

Εικόνα 2.27



Εικόνα 2.28

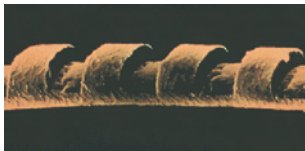
Η γενική ιδέα μιας οπτικής τηλεπικοινωνιακής σύνδεσης είναι εξαιρετικά απλή και παρουσιάζεται στο σχήμα αυτό. Υπάρχει ένας αρχικός πομπός που κωδικοποιεί σήματα ήχου – τώρα πλέον και βίντεο – σε παλμούς φωτός Λέιζερ και ένας δέκτης που τα αποκωδικοποιεί. Αυτούς τους παλμούς κατόπιν τους εκπέμπει μέσα σε μια οπτική ίνα. Όταν η οπτική ίνα καλύπτει μεγάλη απόσταση είναι απαραίτητο να τοποθετούνται κατά διαστήματα ενισχυτές του σήματος ώστε να προλάβουν την εξασθένησή του από τις απώλειες μέσα στην ίνα (μέγιστη απόσταση μεταξύ των ενισχυτών: από 45 km ως 160 km). Επίσης μπορεί να υπάρχει ανά διαστήματα και κάποιο ηλεκτρονικό σύστημα που επεξεργάζεται ξανά το σήμα, το καθαρίζει από συσσωρευμένο ηλεκτρονικό «θόρυβο» και το επανεκπέμπει προς το δέκτη. Μέσα στον πομπό, το φως Λέιζερ διερχόμενο από ένα σύστημα φακών (οπτικό ζεύκτη) φτάνει σε ένα διαμορφωτή, όπου μεταβάλλεται χρονικά η έντασή του ανάλογα με την ένταση της ομιλίας σε ένα μικρόφωνο. Το φωτεινό σήμα που δημιουργείται στη συνέχεια διέρχεται μέσω ενός ακόμη φακού προκειμένου να γίνει λεπτή δέσμη, ώστε να μπορεί να περάσει μέσα στην οπτική ίνα και να μεταφερθεί μέσω αυτής στην άλλη άκρη της. Στο δέκτη, αντίστροφα, ένας φακός θα οδηγήσει το φωτεινό σήμα προς μία φωτοδίοδο, η οποία το μετατρέπει σε ηλεκτρικό και στη συνέχεια σε ακουστικό σήμα.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Laser communication, fiber optics.

2.7.3. Τα Λέιζερ στη Βιολογία και στην Ιατρική.

Τα Λέιζερ μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως διαγνωστικά εργαλεία είτε ως εργαλεία για επεμβάσεις. Τα Λέιζερ στη Βιολογία ως διαγνωστικό εργαλείο μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μέτρηση του μεγέθους των κυττάρων, στην ανίχνευση συστατικών του κυττάρου, όπως



Εικόνα 2.29

Ανθρώπινη τρίχα σε μεγάλη μεγέθυνση. Μια δέσμη Λέιζερ από ένα *excimer* Λέιζερ έχει κόψει τις λουρίδες που βλέπουμε. Η δέσμη εξαερώνει ένα στρώμα της τρίχας, τη φορά, για να πετύχει με ακρίβεια το επιθυμητό βάθος κοπής. Ίδιας ακρίβειας δέσμες χρησιμοποιούνται κατά τις χειρουργικές επεμβάσεις στο ανθρώπινο μάτι.

τομές μεγάλης ακρίβειας με περιορισμένη καταστροφή των γειτονικών ιστών, χειρουργική σε μη προσπελάσιμες περιοχές μέσω της μεταφοράς του Λέιζερ με οπτικές ίνες, με φακούς και με κάτοπτρα (γαστροεντερικό σύστημα, τραχεία, φάρυγγας, μέσος ους κ.λπ.), περιορισμός στις αιμορραγίες λόγω του καυτηριασμού των αγγείων από το Λέιζερ (χειρουργική στόματος) και έλλειψη μετεγχειρητικού οιδήματος. Στα αρνητικά στοιχεία του συγκαταλέγονται το μεγαλύτερο κόστος, προβλήματα ασφάλειας και αξιοπιστίας του νυστεριού «Λέιζερ» και η μικρότερη ταχύτητα στην κοπή.

Το φως Λέιζερ, όπως κάθε φως, είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και είναι είτε ορατό, είτε αόρατο. Και στις δύο περιπτώσεις προκαλεί βιολογικές επιδράσεις, διαφορετικής επικινδυνότητας ή χρησιμότητας. Το είδος της επίδρασης του φωτός στους οργανισμούς εξαρτάται από την ενέργειά του, που σχετίζεται με την τιμή της συχνότητας που έχει και όχι άμεσα από την τιμή της ισχύος του. Για παράδειγμα το ίδιο ποσό ενέργειας μπορεί να είναι αποτέλεσμα φωτός μικρής συχνότητας και μεγάλης ισχύος ή φωτός μεγάλης συχνότητας και μικρής ισχύος (θυμηθείτε τον τύπο $E=hf$ του υπολογισμού της ενέργειας). Μερικά παραδείγματα βιολογικών επιπτώσεων του φωτός είναι:

του DNA και της δομής και συγκέντρωσης βιομορίων. Στην Ιατρική είναι σημαντικές οι εφαρμογές των Λέιζερ στη χειρουργική και στη διαγνωστική, όπως στη διάγνωση όγκων στους πνεύμονες (σε πολύ αρχικό στάδιο) ή στη μέτρηση της ταχύτητας του αίματος.

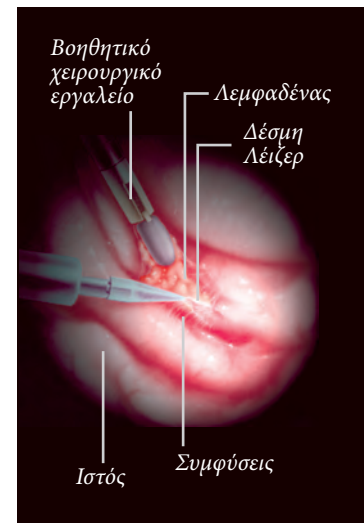
Στη χειρουργική τα Λέιζερ αντικαθιστούν το νυστέρι με εξαιρετικά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής χρήσης με νυστέρι, όπως

- Η ενέργεια των ηλεκτροφόρων αγωγών διανομής ρεύματος του δικτύου της ΔΕΗ, που είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στα 60 Hz –δηλαδή αόρατο φως, μπορεί να προκαλέσει κοιλιακή μαρμαρυγή (αρρυθμία στην καρδιά).
- Η ενέργεια από 20 έως 20.000 Hz ερεθίζει τα ακουστικά νεύρα του αφτιού μας και δημιουργεί την αίσθηση της ακοής.
- Η ενέργεια των ακτίνων X, συχνότητας περίπου 10^{19} Hz, διεισδύει στους ιστούς και χρησιμοποιείται για διαγνωστικούς σκοπούς.

Το φως Λέιζερ μπορεί να αλληλεπιδράσει με διάφορους οργανισμούς είτε μηχανικά, είτε χημικά, είτε θερμικά.

Μηχανικά, η ενέργεια του φωτός Λέιζερ μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια με τη μορφή κρουστικού ακουστικού κύματος. Κατάλληλα για τέτοιες εφαρμογές είναι τα παλμικά Λέιζερ μεγάλης ισχύος και μικρής διάρκειας παλμού, τα οποία μετατρέπουν μέρος της ενέργειάς τους σε θερμότητα και ακουστική ενέργεια, όταν το φως Λέιζερ συναντήσει έναν ιστό. Η ακουστική ενέργεια επιδρά στον ιστό δημιουργώντας δυνάμεις, που τον συνθλίβουν ή τον κόβουν. Αυτά τα μηχανικά φαινόμενα χρησιμοποιούνται για το σπάσιμο πετρών (λιθοτριψία) ή τη διάλυση ιστών.

Χημικά, το φως Λέιζερ αλληλεπιδρά μέσω χημικών αντιδράσεων με ουσίες συγκεκριμένης χημικής σύστασης, άρα όταν συναντά αυτές τις ουσίες σε κύτταρα επιδρά επι-



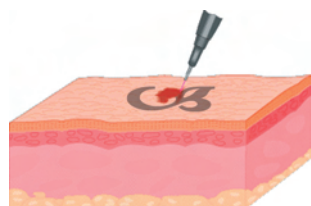
Εικόνα 2.30

Αποκοπή λεμφαδένων με χρήση Λέιζερ που καταστρέφει θερμικά και με μεγάλη ακρίβεια τη σύνδεσή τους με τον περιβάλλοντα ιστό. Η δυνατότητα απορρόφησης του φωτός από έναν ιστό παίζει καθοριστικό ρόλο στο να προβλεφθεί η επίδραση που θα έχει κάποιο συγκεκριμένο μήκος κύματος σε αυτόν τον ιστό.

λεκτικά σε αυτά. Χαρακτηριστική είναι η Φωτοδυναμική θεραπεία (PhotoDynamic Therapy) για την επιλεκτική καταστροφή καρκινικών κυττάρων.

Θερμικά, η ενέργεια του φωτός Λείζερ απορροφάται από κάποια ουσία, η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία της. Αν αρκετή ποσότητα ενέργειας απορροφηθεί από έναν ιστό τότε ο ιστός θα θερμανθεί. Καθώς η θερμοκρασία θα αυξηθεί ο ιστός καταστρέφεται θερμικά. Τα θερμικά φαινόμενα αντιπροσωπεύουν το 85% των εφαρμογών των Λείζερ στη χειρουργική.

Η απορρόφηση του φωτός Λείζερ (και του οποιουδήποτε είδους φωτός) από τις διάφορες ουσίες δεν είναι όμοια σε όλο το φάσμα του φωτός. Κάποιες ουσίες, λόγω της μοριακής τους δομής, απορροφούν περισσότερο ή λιγότερο συγκεκριμένα μήκη κύματος από άλλες. Αυτή η διαδικασία της επιλεκτικής απορρόφησης έχει ως πλέον χαρακτηριστική της εφαρμογή την επέμβαση στο μάτι, όπου μια δέσμη από Λείζερ Nd:YAG διαπερνά τον κερατοειδή, το φακό και άλλα «εμπόδια» του οφθαλμού, προκειμένου να στοχεύσει-επέμβει θεραπευτικά στο εσωτερικό τοίχωμα του αμφιβληστροειδούς.



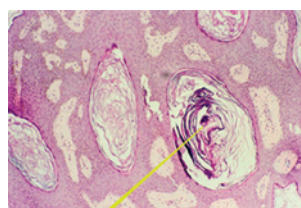
Εικόνα 2.31

Ενδεικτική αφαίρεση τατουάζ με χρήση ιατρικού Λείζερ

Μια εξίσου διαδεδομένη ιατρική εφαρμογή των Λείζερ είναι και η αφαίρεση των τατουάζ. Ο τύπος Λείζερ που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τις χρωστικές ουσίες που περιέχονται στα χρώματα του τατουάζ. Το κίτρινο και το πράσινο αφαιρούνται δυσκολότερα, ενώ το μπλε και το μαύρο ευκολότερα. Τα τρία είδη Λείζερ που έχουν αναπτυχθεί για την αφαίρεση τατουάζ (χρησιμοποιούν μια τεχνική γνωστή ως Q-switching που έχει σχέση με πολύ σύντομους παλμούς φωτός Λείζερ υψηλής ενέργειας) είναι: Q-switched Ruby, Q-switched Alexandrite και Q-switched Nd:YAG (το πλέον σύγχρονο κι αποτελεσματικό).

Αυτά τα Λείζερ ιατρικής χρήσης λειτουργούν με την παραγωγή σύντομων παλμών έντονης ακτινοβολίας φω-

τός που περνάει σχετικά «ακίνδυνα» μέσω των κορυφαίων στρωμάτων του δέρματος και απορροφάται επιλεκτικά από τη χρωστική ουσία που θέλουμε να διαλύσουμε λίγο βαθύτερα. Το Λείζερ στοχεύει επιλεκτικά και με ακρίβεια στη συγκεκριμένη χρωστική καταστρέφοντας μόνο αυτή. Η ενέργεια της δέσμης «τεμαχίζει» (ή αλλιώς «φωτο-διασπά» τη χρωστική σε πολύ μικρά κομμάτια που αποβάλλονται από το ανοσοποιητικό σύστημα του σώματος. Συγκεκριμένα μήκη κύματος φωτός αφαιρούν καλύτερα συγκεκριμένα μελάνια (σήμερα υπάρχουν πάνω από 100 είδη μελανιών βαφής για τατουάζ).



Εικόνα 2.32

Αμερικανοί ερευνητές στο Πανεπιστήμιο του Harvard ανέπτυξαν μία νέα τεχνική κατά την οποία μια μικροσκοπική δέσμη Λείζερ μπορεί να εξαερώσει συστατικά ζωντανών κυττάρων χωρίς να σκοτώσει τα κύτταρα. Η τεχνική θα μπορούσε να χρησιμοποιη-

θεί για απόλυτα ακριβείς χειρουργικές επεμβάσεις, καθώς και σε πειράματα για τη μελέτη της λειτουργίας των κυττάρων.

Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν το Λείζερ για να καταστρέψουν πρωτεΐνες κυτταρικού σκελετού, να εξαερώσουν ένα μιτοχόνδριο και να κόψουν συνδέσεις από νευρικά κύτταρα χωρίς να τα σκοτώσουν. Η συσκευή «νανοχειρουργικής με Λείζερ», όπως την ονομάζουν, εστιάζει με ακρίβεια στο εσωτερικό των κυττάρων. Εκπέμπει έναν ισχυρό παλμό φωτός που διαρκεί ένα εκατομμυριοστό του δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου. Ο παλμός, αν και σύντομος, μπορεί να αυξήσει τοπικά τη θερμοκρασία σε πολύ υψηλές τιμές. Ό,τι βρεθεί στην εστία της δέσμης εξαερώνεται αστραπιαία, ενώ το υπόλοιπο μέρος του κυττάρου δεν προλαβαίνει να υποστεί βλάβες.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Laser surgeon, laser dermatologist, dermatology, laser tattoo removal, laser body inspection, medical laser, biology laser.

2.7.4. Τα Λείζερ στη Φυσική και τη Χημεία.

Επειδή στα Λείζερ είναι δυνατή η δημιουργία φωτεινών παλμών πολύ μικρότερης διάρκειας (π.χ. 0,1 ps) από τις συνηθισμένες φωτεινές πηγές, με τις οποίες μπορούμε να παράγουμε φωτεινούς παλμούς (περίπου 1 ms), βελ-

Στους πυραύλους τύπου Sidewinder ο ανιχνευτής αποτελείται από οκτώ διόδους Λέιζερ (εκπομπή) και οκτώ διόδους αισθητήρων (λήψη) που τοποθετούνται συμμετρικά μπροστά, ακριβώς πίσω από τα πτερύγια.

Κατά την πτήση ο κάθε ανιχνευτής εκπέμπει συνεχώς δέσμες Λέιζερ, όπως ακριβώς ένα πλέγμα, γύρω από το βλήμα (οι δέσμες είναι αόρατες, εδώ έχουν χρωματισθεί με κίτρινο χρώμα).

Εάν το βλήμα φτάσει αρκετά κοντά σε ένα στόχο (π.χ. το αεροπλάνο της φωτογραφίας), κάποια δέσμη Λέιζερ θα ανακλασθεί από το σώμα του στόχου και θα οδηγηθεί προς τα πίσω, όπου θα ανιχνευθεί από κάποια από τις διόδους των αισθητήρων. Το σύστημα ελέγχου αναγνωρίζει ότι το βλήμα είναι δίπλα στο στόχο και προκαλεί την έκρηξη του πυραύλου.

Εικόνα 2.33

Κάποια είδη πυραύλων είναι φονικά έξυπνα και σχεδιάζονται έτσι, ώστε να εκρήγνυνται όχι όταν χτυπούν το στόχο τους αλλά όταν βρίσκονται κοντά του. Το σύστημα ελέγχου βλημάτων χρησιμοποιεί έναν έξυπνο οπτικό ανιχνευτή για να υπολογίσει πότε οι στόχοι είναι μέσα στην εμβέλεια των εκρηκτικών του πυραύλου. Οι πρώτες δοκιμές αυτής της τεχνολογίας έγιναν από τους Γερμανούς κατά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, με συμβατικές πηγές φωτός.

τιώθηκαν εξαιρετικά οι μετρήσεις χρονικών αναλύσεων. Δηλαδή δόθηκε η δυνατότητα μελέτης φαινομένων της Φυσικής και της Χημείας που έχουν χρονικές κλίμακες της τάξης ps. Οι παλμοί έχουν διάρκεια ενός δισεκατομμυριοστού του δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου (ή attoseconds όπως λέγονται). Έτσι ο επιστήμονας «φωτογράφος» παγώνει κυριολεκτικά το χρόνο και παρακολουθεί τη χρονική εξέλιξη του μικρόκοσμου.

Στη φασματοσκοπία τα Λέιζερ παρέχουν τη δυνατότητα φασματοσκοπικών μετρήσεων μεγαλύτερης ακρίβειας και μελετάται καλύτερα η δομή της ύλης. Μία ενδιαφέρουσα εφαρμογή στη Χημεία είναι η φωτοχημεία, με την οποία γίνεται δυνατός ο διαχωρισμός των ισοτόπων στοιχείων.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Laser spectrograph, laser spectrography, laser photochemistry, chemistry laser.

2.7.5. Τα Λέιζερ στις στρατιωτικές εφαρμογές.

Παρόλο που το όνειρο πολλών στρατιωτικών κύκλων ήταν από παλιά η δημιουργία ενός αδιαπέραστου πλέγματος άμυνας και επίθεσης με όπλα Λέιζερ, φαίνεται ότι κάτι τέτοιο δεν είναι ακόμη επιστημονικά εφικτό. Ενώ μελετώνται συνεχώς σενάρια και πρωτόκολλα λειτουργίας για ένα τέτοιο σύστημα, τα Λέιζερ που θα απαιτούνταν για να λειτουργήσει ένα τέτοιο σύστημα δεν έχουν ακόμη κατασκευαστεί (λόγω κόστους, ισχύος, μεγέθους και άλυτων προβλημάτων που προκύπτουν από την ύπαρξη

πολλαπλών στόχων). Στην πράξη, αυτό που βλέπουμε σήμερα είναι πολλές εφαρμογές των Λέιζερ στον τομέα της στοχοθέτησης (συσκευές για εύρεση και κλείδωμα στόχου ώστε να μην αστοχεί μια βολή πυρός) (εικ. 2.33), στον τομέα των επικοινωνιών και στον τομέα των αισθητήρων («έξυπνες» βόμβες, πυραυλοι κ.λπ.).

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

War laser, military laser, laser defence, laser attack, smart bomb, optical target detector, laser missile control system, laser star war.

2.7.6. Τα Λέιζερ στη μέτρηση του χρόνου.

Οι συσκευές Λέιζερ μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως τμήμα ενός πολύπλοκου μηχανισμού ελέγχου κάποιου κυκλώματος, που μετράει με ακρίβεια κάποια χρονική μεταβολή (όπως στα ατομικά ρολόγια) (εικ. 2.34) είτε ως αυτόνομη συσκευή σε απλούστερες διατάξεις (όπως στη μέτρηση χρόνου σε έναν αγώνα ταχύτητας) (εικ. 2.35). Σήμερα, αν και υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ατομικών ρολογιών, η αρχή στην οποία στηρίζο-



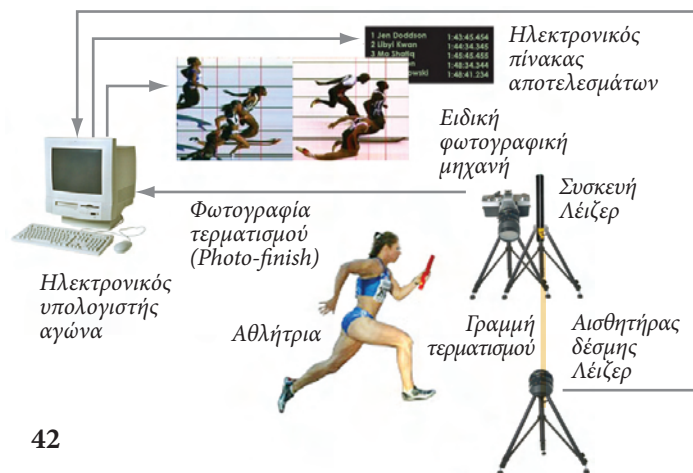
Εικόνα 2.34

Το πρώτο ατομικό ρολόι καίσίου (Cs) που κατασκευάστηκε το 1955 ήταν ικανό να διατηρεί τη μεγαλύτερη γνωστή ακρίβεια στη μέτρηση χρόνου που είχε επιτύχει ο άνθρωπος μέχρι τότε, με σφάλμα περίπου ένα δευτερόλεπτο κάθε 300 χρόνια. Σήμερα, τα πολύ υψηλής συχνότητας ραδιοκύματα στις συσκευές μέτρησης χρόνου έχουν αντικατασταθεί από δέσμες Λέιζερ.

νται όλα παραμένει η ίδια. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ τους αφορά στο χρησιμοποιούμενο χημικό στοιχείο και στον τρόπο ανίχνευσης όταν αλλάζουν οι ενεργειακές του στάθμες. Οι διάφοροι τύποι ατομικών ρολογιών περιλαμβάνουν: **Ατομικά ρολόγια καυσίου (Cs)**, που χρησιμοποιούν μια δέσμη ατόμων καυσίου (το ρολόι χωρίζει τα άτομα καυσίου διαφορετικών ενεργειακών σταθμών με χρήση μαγνητικού πεδίου), **ατομικά ρολόγια υδρογόνου (H_2)**, που διατηρούν τα άτομα υδρογόνου στην απαιτούμενη ενεργειακή στάθμη, μέσα σε ένα κατάλληλα διαμορφωμένο δοχείο (έτσι ώστε τα άτομα να μην χάνουν την υψηλότερη ενεργειακή τους στάθμη πάρα πολύ γρήγορα) και **ατομικά ρολόγια ρουβιδίου (Rb)**, ο απλούστερος και συμπαγέστερος τύπος όλων, που χρησιμοποιούν μια κυψέλη γυαλιού του αερίου ρουβιδίου. Σε αυτά αλλάζει η απορρόφηση φωτός στην οπτική συχνότητα του ρουβιδίου, σε σχέση με την περιβάλλουσα συχνότητα μικροκυμάτων. Σήμερα, τα διαθέσιμα ακριβέστερα ατομικά ρολόγια χρησιμοποιούν καίσιο και μαγνητικά πεδία, ενώ δέσμες Λέιζερ οριοθετούν την κίνηση των ατόμων τους.

Εικόνα 2.35

Στους αγώνες ταχύτητας, ο αφέτης πυροβολεί, στέλνοντας ηλεκτρικό ρεύμα (μέσω του καλωδίου που ενώνει το ειδικό όπλο του) στα σημεία εκκίνησης κάθε αθλητή, αλλά και σε μια κονσόλα συγχρονισμού και χρονομέτρησης. Όλοι οι αθλητές ξεκινούν ταυτόχρονα. Στο σημείο τερματισμού, ένα Λέιζερ δημιουργεί με τη δέσμη του μια γραμμή από τη μια άκρη των διαδρομών ως την άλλη, προς έναν αισθητήρα (φωτοηλεκτρικό κύτταρο). Καθώς ένας δρομέας διασχίζει τη γραμμή τερματισμού, η δέσμη «κόβεται» και το φωτοηλεκτρικό κύτταρο στέλνει ένα σήμα στην κονσόλα συγχρονισμού για να καταγράψει το χρόνο.



Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Olympic timing technology, olympic stopwatch, high-tech timekeeping device, athlete timing technology, laser sprint race, runner cross laser line, laser finish line.

2.7.7. Τα Λέιζερ στην επεξεργασία υλικών.

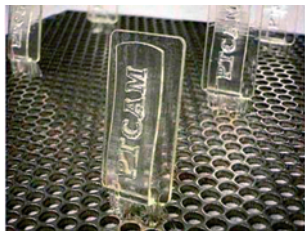
Συσκευές Λέιζερ υψηλής ισχύος, δηλαδή με ισχύ μεγαλύτερη των 100 W, χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές όπως συγκολλήσεις, κοπή μετάλλων και επιμετάλλωση με αρκετά πλεονεκτήματα όπως: μεγαλύτερη ακρίβεια χωρίς να καταστρέφεται το κοπτικό μηχάνημα (που είναι η ίδια η δέσμη Λέιζερ), καλύτερη αυτοματοποίηση στις κατασκευές, πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα στις εργασίες κ.λπ.. Λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων των Λέιζερ επιτυγχάνονται νέοι τύποι επεξεργασίας υλικών. Για παράδειγμα Λέιζερ διοξειδίου του άνθρακα CO_2 , ισχύος 1 έως 15 kW χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση κιβωτίων ταχυτήτων, κατεργασία κυλίνδρων κ.λπ..



Εικόνα 2.36

Μια μηχανή στερεολιθογραφίας, όπως αυτή που εικονίζεται, αποτελείται από τέσσερα σημαντικά μέρη: Μια δεξαμενή που γεμίζει με αρκετά κιλά ενός ειδικού υγρού φωτοπολυμερούς (καθαρό, υγρό πλαστικό), μια διάτρητη πλατφόρμα που βυθίζεται μέσα στη δεξαμενή (που μπορεί να κινηθεί ελεγχόμενα πάνω-κάτω στη δεξαμενή καθώς η διαδικασία εκτύπωσης προχωρά), ένα Λέιζερ κι έναν υπολογιστή που οδηγεί το Λέιζερ και την πλατφόρμα. Το φωτοπολυμερές είναι ευαίσθητο στο υπεριώδες φως, έτσι όταν το Λέιζερ εστιάζει σε ένα σημείο του η επιφάνειά του εκεί σκληραίνει. Είναι ενδιαφέρον να βλέπουμε το Λέιζερ να «χτίζει» σταδιακά κάθε στρώμα του αντικειμένου.

Η μέθοδος της στερεολιθογραφίας (stereolithography, που προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις «στέρεος, λίθος» και «γραφή») χρησιμοποιεί το Λέιζερ. Είναι επίσης γνωστή ως τρισδιάστατη διάταξη κατά στρώματα ή τρισδιάστατη εκτύπωση και



Εικόνα 2.37

Αντικείμενο που έχει κατασκευαστεί από μηχανή στερεολιθογραφίας.

εφεύρεσης, η στερεολιθογραφία δίνει έναν γρήγορο κι εύκολο τρόπο να μετατραπούν τα σχέδια σε χειροπιαστά αντικείμενα. Στο παρελθόν, μια τέτοια εργασία θα χρειαζόταν μήνες δουλειάς. Η στερεολιθογραφία μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε σχεδόν οποιοδήποτε τρισδιάστατο αντικείμενο. Εάν μπορούμε να το σχεδιάσουμε σωστά μπορούμε κατά πάσα πιθανότητα και να το κατασκευάσουμε.

Η βασική διαδικασία εκτύπωσης ακολουθεί τα εξής βήματα: Αφού ο σχεδιαστής δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο πρότυπο του αντικείμενου στον υπολογιστή του, το πρόγραμμα «τεμαχίζει» το ηλεκτρονικό σχέδιο σε λεπτά στρώματα (π.χ. σε 5–10 στρώματα/mm) και στέλνει τα **δεδομένα**² στον τρισδιάστατο εκτυπωτή. Το Λέιζερ του εκτυπωτή «ζωγραφίζει» ένα-ένα τα στρώματα στοχεύοντας το υγρό πλαστικό στη δεξαμενή. Η πλατφόρμα μετακινεί τη δεξαμενή κατά ένα κλάσμα του χιλιοστού και το Λέιζερ «ζωγραφίζει» το επόμενο στρώμα. Όταν το αντικείμενο τελειώσει, ξεπλένεται με έναν διαλύτη και έπειτα «ψήνεται» σε έναν υπεριώδη φούρνο που «θεραπεύει» τις μικρές ατέλειες στο πλαστικό.

1: Η βραχυγραφία CAD (από τα αγγλικά: Computer Aided Design) είναι όρος που χαρακτηρίζει όλες τις εργασίες που σχετίζονται με την ηλεκτρονική σχεδίαση αντικειμένων, με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, σε αντίθεση με τη «ζωγραφική» ή εν γένει με την παλαιότερη μέθοδο, όπου όλα τα κατασκευαστικά σχέδια ζωγραφίζονταν χειρωνακτικά. Συνήθως το λογισμικό (software) CAD είναι αναπόσπαστο εργαλείο της εργασίας μηχανικών, αρχιτεκτόνων, βιομηχανικών σχεδιαστών και άλλων επαγγελματιών, που απαιτούν ακρίβεια στην παρουσίαση και αποτελεσματικότητα στην αλυσίδα παραγωγής.

2: Δεδομένα: Πληροφορίες που μεταφέρονται από και προς κάποια συσκευή, μέσω ενός μέσου μεταφοράς.

μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε πλαστικά, τρισδιάστατα αντικείμενα από σχέδια CAD¹ μέσα σε λίγες ώρες και με μεγάλη ακρίβεια (εικ. 2.36). Για έναν μηχανικό που θέλει να ελέγξει μια μηχανική κατασκευή ή έναν εφευρέτη που δημιουργεί το πλαστικό πρωτότυπο μιας

Αυτή δεν είναι μια ιδιαίτερα γρήγορη διαδικασία. Ανάλογα με το μέγεθος και τον αριθμό των αντικειμένων, το Λέιζερ μπορεί να χρειαστεί 1 με 2 λεπτά για κάθε στρώμα. Μια τυπική κατασκευή μπορεί να πάρει από 6 έως 12 ώρες. Μεγάλα αντικείμενα (το μέγιστο μέγεθος για μια τυπική μηχανή είναι 25 cm σε τρεις διαστάσεις) απαιτούν μερικές ημέρες. Επίσης η στερεολιθογραφία είναι και μια σχετικά ακριβή διαδικασία. Εντούτοις, υπάρχουν επιχειρήσεις που ενοικιάζουν τη χρήση των μηχανών τους και κάποιος μπορεί να στείλει με ηλεκτρονικό ταχυδρομείο το σχέδιο CAD και να λάβει ταχυδρομικά τα αντικείμενά του. Μια ενδεικτική τρέχουσα τιμή για τη χρήση μιας τέτοιας μηχανής είναι €50–€75 ανά ώρα.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Laser rapid prototyping, stereolithography, 3-D layering, 3-D printing, laser liquid photopolymer, laser CAM, laser machined.

2.7.8. Τα Λέιζερ στις μετρήσεις.

Τα Λέιζερ λόγω των ιδιοτήτων τους καθίστανται χρήσιμα σε μεγάλη ποικιλία μετρήσεων. Χρησιμοποιούνται στον έλεγχο των εργαλειομηχανών στη βιομηχανική παραγωγή και σε τεχνικά έργα. Παραδείγματα τέτοια είναι οι μετρήσεις που αφορούν στην επιφάνεια της Γης, οι χαρτογραφήσεις, οι μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης κ.λπ. Μερικά είδη μετρήσεων είναι:

α) Ευθυγραμμίσεις.

Σε μηχανές, σε κατασκευή οικοδομικών έργων (π.χ. γέφυρες, κτήρια), στην αεροναυπηγική. Η ευθυγράμμιση βασίζεται σε ηλεκτρικές μετρήσεις και όχι στην υποκειμενική κρίση του χειριστή. Η ακρίβεια των μετρήσεων σήμερα για αποστάσεις μέχρι 5 m είναι περίπου 5 χιλιοστά του χιλιοστού του μέτρου (5 μm), και για αποστάσεις 15 m είναι 25 χιλιοστά του χιλιοστού του μέτρου (25 μm).

β) Μέτρηση αποστάσεων.

Για αποστάσεις 50 m, περίπου, χρησιμοποιείται το φαινόμενο της συμβολής του φωτός Λέιζερ. Π.χ. σε μηχανουργία, με ακρίβεια μέτρησης 1 μm. Για αποστάσεις

της τάξης του ενός χιλιομέτρου εφαρμόζονται μέθοδοι τηλεμετρίας (με διαμόρφωση του πλάτους του φωτός Λέιζερ) από μετρήσεις διαφοράς φάσης του φωτός Λέιζερ με ακρίβεια μέτρησης 1 μm . Για αποστάσεις μεγαλύτερες του 1 km καταγράφεται η διαφορά μεταξύ της χρονικής στιγμής, που ο φωτεινός παλμός φεύγει από τη συσκευή Λέιζερ και της στιγμής που επανέρχεται σ' αυτήν αφού ανακλαστεί στο τηλεμετρούμενο αντικείμενο. Αυτό στην ορολογία της τηλεμέτρησης αναφέρεται ως χρόνος πτήσης του φωτεινού παλμού.



Εικόνα 2.38

Το απλό αυτό σχέδιο του Nordtvedt έγινε δεκτό, όχι μόνο από τους Αμερικανούς αλλά από τους Ρώσους και τους Γάλλους αργότερα, ενώ από το 1969 έχουν τοποθετηθεί πάνω από 400 τέτοιοι ανακλαστήρες στην επιφάνεια του φεγγαριού.

εκτός από τη γνώση της απόστασης, μετρήσεις με δέσμες Λέιζερ σε αυτήν την κλίμακα μήκους μας παρέχουν πολύτιμα εφόδια για τη μελέτη φυσικών φαινομένων, την απόδειξη επιστημονικών νόμων κ.λπ. Η αποστολή και λήψη μιας τέτοιας δέσμης είναι πάντα ένα δύσκολο τεχνικό επίτευγμα (φαντασθείτε ότι αυτό που επιστρέφει είναι μόλις ένα φωτόνιο ανά δευτερόλεπτο). Τελικά όμως, ποιος θα μπορούσε να πει παλαιότερα με βεβαιότητα ότι η Σελήνη απομακρύνεται από τη Γη κατά 3,8 cm κάθε έτος;

γ) Μετρήσεις της ταχύτητας υγρών και στερεών.

Στις μετρήσεις αυτού του είδους χρησιμοποιούνται πολλοί διαδοχικοί παλμοί Λέιζερ. Ο κάθε παλμός παρέχει διαφορετικό χρόνο πτήσης της δέσμης του Λέιζερ και όταν αυτός αυξάνει σημαίνει ότι το αντικείμενο απομακρύνεται, ενώ όταν μειώνεται σημαίνει ότι το αντικείμενο πλησιάζει προς τον παρατηρητή. Από τις διαδοχικές αυτές μετρήσεις υπολογίζεται κάθε φορά η απόσταση, καθώς και η διαφορά χρόνου και το αποτέλεσμα του υπολογισμού δίνει την ταχύτητα με μεγάλη ακρίβεια.

Οι νέες συσκευές ελέγχου ταχύτητας με φως Λέιζερ για την οδική ασφάλεια χρησιμοποιούν μια μέθοδο που στηρίζεται στο χρόνο ανάκλασης του φωτός.

Το φως κινείται πολύ γρήγορα (300.000 km/s ή κατά προσέγγιση 30 cm/ns) στοχεύοντας ένα κινούμενο όχημα. Η δέσμη ανακλάται από το όχημα και η συσκευή ελέγχου μετρά το χρόνο που απαιτείται για το ταξίδι της –διαιρώντας με το 2 μπορεί να υπολογίσει τη χρονική απόσταση από το όχημα.

Εάν η συσκευή παίρνει 1.000 δείγματα από το ανακλώμενο φως ανά δευτερόλεπτο, μπορεί να συγκρίνει την αλλαγή στην απόσταση μεταξύ των δειγμάτων και να υπολογίσει την ταχύτητα του οχήματος.

Με τη λήψη αρκετών δειγμάτων κατά τη διάρκεια, ας πούμε, ενός τρίτου του δευτερολέπτου, η ακρίβεια της μέτρησης μπορεί να είναι εξαιρετικά υψηλή.

Το πλεονέκτημα μιας τέτοιας συσκευής (για την αστυνομία οπωσδήποτε) είναι ότι το μέγεθος του «κώνου» του φωτός Λέιζερ που εκπέμπει είναι πολύ μικρό, ακόμη και σε απόσταση 300 m (γι' αυτά τα Λέιζερ ο κώνος σε αυτήν την απόσταση είναι 1 m σε διάμετρο). Αυτό μας επιτρέπει να στοχεύουμε ένα συγκεκριμένο όχημα και να λαμβάνουμε πολύ ακριβείς μετρήσεις της ταχύτητας κίνησης, οπότε και να γνωρίζουμε αν έγινε υπέρβαση ταχύτητας.

Το μειονέκτημα είναι ότι ο τροχονόμος πρέπει να στοχεύσει και να μην παρεμβάλλεται άλλο αντικείμενο στην πορεία της δέσμης, όπως είδαμε και στις τηλεπικοινωνίες.

δ) Μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Φως Λέιζερ εκπέμπεται στην περιοχή που θέλουμε να μετρήσουμε τη ρύπανση και το φως που **σκεδαάζεται**¹ περισυλλέγεται από ένα οπτικό ραντάρ (τηλεσκόπιο) που δίνει τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε. Οι διάφοροι ρύποι που υπάρχουν στην περιοχή απορροφούν επιλεκτικά τα διάφορα μήκη κύματος. Το **σκεδαζόμενο** φως παρουσιάζει αυτήν την έλλειψη στα αντίστοιχα μήκη κύματος και η παρατήρησή του επιτρέπει να ταυτοποιήσουμε τους ρύπους, που προκάλεσαν αυτήν την απορρόφηση. Το σύστημα μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης LIDAR (Light Detection And Ranging) δίνει τη δυνατότητα μέτρησης της χημικής σύστασης και συγκέντρωσης διάχυτων υλικών (π.χ. καπνός) σε μεγάλα ατμοσφαιρικά ύψη.



το σύστημα Lidar πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 1 km από την υψικάμιν.

Είναι φανερό ότι μετρήσεις σχετικές με την ποιότητα του αέρα πρέπει να διεξάγονται όχι μόνο στο επίπεδο του εδάφους, αλλά και σε μεγαλύτερα ύψη, ώστε να λαμβάνεται μια ολοκληρωμένη εικόνα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Laser speed gun, laser distance target, laser speed car, laser speed target vehicle.

1: Σκέδαση φωτός είναι το φαινόμενο κατά το οποίο το φως προσπίπτει σε μικρά σωματίδια (π.χ. σκόνη και μικροσκοπικές σταγόνες νερού) και διασκορπίζεται σε πολλές διαφορετικές διευθύνσεις στο γύρο χώρο.

2.7.9. Τα Λέιζερ στην τρισδιάστατη απεικόνιση και η Ολογραφία.

Οι όροι ολογραφία (holography) και ολόγραμμα (hologram) προέρχονται από την ελληνική λέξη «όλος» που σημαίνει ολόκληρος ή πλήρης και «γράμμα» που σημαίνει μήνυμα. Θα μπορούσε λοιπόν το ολόγραμμα να ονομάζεται και «πλήρες μήνυμα». Η λέξη hologram χρησιμοποιούνταν παλαιότερα στην αγγλική γλώσσα για να δηλώσει ένα χειρόγραφο που έφερε και την υπογραφή του συγγραφέα.

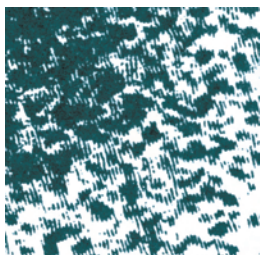
Η θεωρία της ολογραφίας αναπτύχθηκε από τον Ούγγρο φυσικό Denis Gabor το 1947 που εργαζόταν για τη βελτίωση της εικόνας από ηλεκτρονικά μικροσκόπια. Τα ολογράμματα μπορούμε να τα συναντήσουμε σήμερα σε διάφορες μορφές (π.χ. τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός έργου τέχνης σε ένα μουσείο, ετικέτες γνησιότητας σε συσκευασίες προϊόντων και πιστωτικές κάρτες, αποτύπωση πολλών εικόνων σε «μία» κ.λπ.). Μερικά παραδείγματα περισσότερο εξειδικευμένων εφαρμογών είναι οι ολογραφικές μνήμες, ο μη καταστροφικός έλεγχος ή η μελέτη διαρροών στη μηχανική, οι ιατρικές εφαρμογές, οι «έξυπνοι» φακοί και οι οθόνες κ.λπ.

Η ολογραφία είναι μια μέθοδος «φωτογράφισης» σε τρεις διαστάσεις και τεχνικά εντελώς διαφορετική από τη μέθοδο της κλασικής φωτογράφισης με φωτογραφική κάμερα. Στην ολογραφία, όπως και στην κλασική φωτογράφιση, υπάρχει ένα φιλμ στο οποίο καταγράφεται η πληροφορία για να αναπαραχθεί αργότερα το είδωλο του αντικειμένου



Εικόνα 2.40

Καθώς αλλάζουμε γωνία παρατήρησης στο ολογράφημα-σήμα της πιστωτικής κάρτας, βλέπουμε άλλη εικόνα κι άλλο χρωματισμό.



Εικόνα 2.41

Αφού «εμφανισθεί» το φιλμ του ολογράμματος και το παρατηρήσουμε με μεγεθυντικό φακό θα δούμε να παρουσιάζει μόνο φωτεινές και σκοτεινές περιοχές, πολύ κοντά η μια στην άλλη, που το σχήμα τους δεν θυμίζει σε τίποτα το σχήμα του αντικειμένου που φωτογραφίσαμε.

Η πληροφορία της εικόνας είναι κωδικοποιημένη με την καταγραφή στο φιλμ της σχετικής φάσης των δύο συμβαλλομένων κυμάτων.

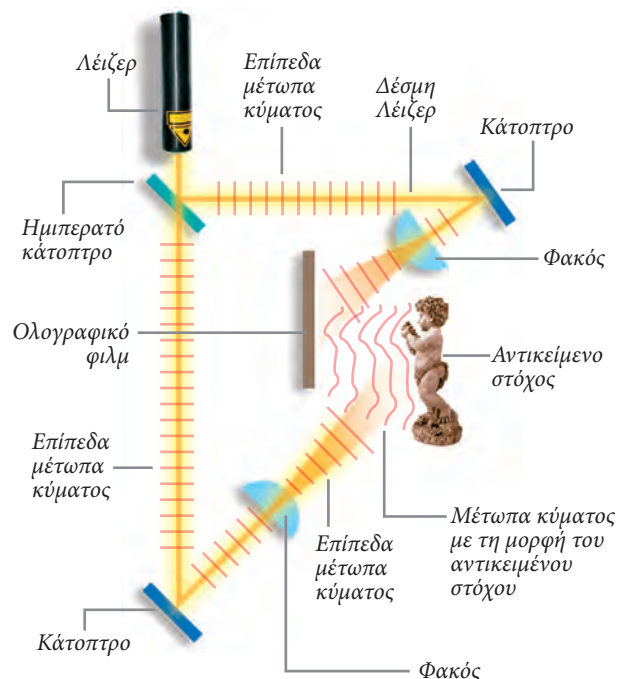
Ένα ενδιαφέρον φαινόμενο είναι το ακόλουθο: ακόμη κι αν κόψουμε το φιλμ αυτό σε μικρότερα κομμάτια, κάθε ένα από αυτά θα παρουσιάζει ολόκληρο το είδωλο του αρχικού φιλμ, κι αυτό επειδή το φως που ανακλάστηκε από κάθε σημείο της επιφάνειας του αντικειμένου όταν το «φωτογραφίσαμε» δεν καταγράφεται σε ένα μόνο σημείο του φιλμ.

ολογράμματος) καταφέρνει να αποδώσει πιστά τη σχετική απόσταση μεταξύ όλων των σημείων του αρχικού αντικειμένου και του παρατηρητή τους, δηλαδή την αίσθηση του βάθους, της τρισδιάστατης υφής κ.λπ.

που φωτογραφίσαμε (εικ. 2.42). Όμως οι ομοιότητες σταματάνε εδώ. Στην ολογραφία το είδωλο που αναπαράγουμε είναι τρισδιάστατο και γίνεται αντιληπτό είτε στο χώρο, είτε πάνω σε μια επιφάνεια. Κατά τη φωτογράφιση στην ολογραφία, εκτός από τις διαφορετικές εντάσεις των φωτεινών κυμάτων που ανακλώνται από το αντικείμενο, καταγράφουμε και τη φάση στην οποία βρίσκονται τα φωτεινά κύματα (π.χ. αν βρίσκονται σε κοιλάδα ή σε κορυφή). Γι' αυτό χρησιμοποιούμε φως Λέιζερ το οποίο είναι μονοχρωματικό, σύμφωνο και με επίπεδα μέτωπα κύματος.

Όταν παρατηρούμε αυτό το είδωλο από διαφορετικές γωνίες βλέπουμε διαφορετικές όψεις του ειδώλου, σαν να βρισκόταν το πραγματικό αντικείμενο μπροστά μας.

Το φιλμ του ολογράμματος (εικ. 2.41) μπορούμε να το παρομοιάσουμε με έναν πολύπλοκο φακό που στρέφει και διαμορφώνει το φως που πέφτει πάνω στην επιφάνειά του. Αυτό το φιλμ, όταν φωτισθεί με κατάλληλο φως (Λέιζερ ή φυσικό φως, ανάλογα με το είδος του



Εικόνα 2.42

Κατά τη φωτογράφιση ενός αντικειμένου στην ολογραφία εκμεταλλευόμαστε το φαινόμενο ότι όταν ένα επίπεδο κύμα (το μέτωπο του φωτεινού κύματος) ανακλαστεί από την επιφάνεια του αντικειμένου, η ανάκλαση του κύματος δεν είναι πλέον επίπεδο μέτωπο αλλά έχει τη μορφή του αποτυπώματος της επιφάνειας του αντικειμένου. Αυτή η μορφή διατηρείται και στο υπόλοιπο ταξίδι του μέχρι να φτάσει στο φιλμ. Σε ένα επίπεδο μέτωπο κύματος όλα τα σημεία του έχουν την ίδια φάση, ενώ σε αυτό το ανακλώμενο από το αντικείμενο κύμα (μη επίπεδο μέτωπο) έχουν διαφορετική φάση.

Για να μπορέσουμε να καταγράψουμε την πληροφορία της διαφορετικής φάσης (η οποία και δίνει την αίσθηση του τρισδιάστατου ειδώλου) πρέπει να έχουμε ως αναφορά κι ένα ακριβώς ίδιο επίπεδο μέτωπο φωτεινού κύματος. Η πρόσθεση των δύο αυτών μετώπων κυμάτων δημιουργεί ένα νέο μέτωπο που τελικά αποτυπώνεται πάνω στο φιλμ. Η καταγραφή ολογραμμάτων απαιτεί περίπου από 1 δευτερόλεπτο ως 1 λεπτό. Σε αυτό το χρονικό διάστημα πρέπει το αντικείμενο να διατηρείται απόλυτα ακίνητο, πράγμα που επιτυγχάνεται με ειδικές βάσεις και εργαστηριακό εξοπλισμό ακριβείας που αποσβένει τις ταλαντώσεις που προέρχονται από τον περιβάλλοντα χώρο (π.χ. ο άνεμος).

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

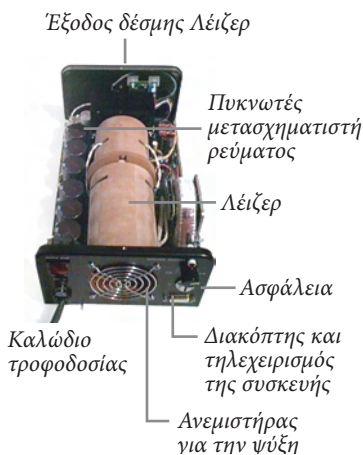
Hologram, make hologram, laser pointer holography, security holograms, holographic dimension, holographic memory.

2.7.10. Τα Λέιζερ στη διασκέδαση (σόου): Οπτικά εφέ.

Οι συνήθεις διατάξεις που χρησιμοποιούνται γι' αυτές τις δραστηριότητες έχουν την εμπορική ονομασία «laser shows». Αυτά είναι σύνθετα, ακριβά κι εύθραυστα συστήματα υψηλής τεχνολογίας που περιλαμβάνουν οπτικά τμήματα ακριβείας. Ανάλογα με το είδος του σόου χωρίζουμε τη χρήση των Λέιζερ σε εφέ ακτίνων και εφέ οθόνης.

Τα εφέ ακτίνων είναι τα αποτελέσματα που δημιουργούνται από την ίδια τη δέσμη Λέιζερ που ταξιδεύει μέσω του αέρα προς ή πέρα από τους θεατές. Τα εφέ ακτίνων περιλαμβάνουν στατικές (ακίνητες) ή δυναμικές (κινούμενες στο χώρο) δέσμες Λέιζερ. Οι στατικές δέσμες (που δεν κινούνται και φέγγουν μακριά, με ή χωρίς τη βοήθεια κατόπτρων) παράγονται συνήθως από μια επιφάνεια. Οι στατικές δέσμες μπορούν να είναι ο πιο επικίνδυνος τύπος παράστασης και πρέπει η διεύθυνση διάδοσής τους πάντα να μη συναντάει το ακροατήριο. Οι δυναμικές δέσμες Λέιζερ μπορούν να κινούνται με διάφορα ελεγχόμενα μοτίβα, όπως στρόβιλοι ακτίνων, ακολουθίες ακτίνων, «φύλλα» ακτίνων, «κώνοι», «σήραγγες» κ.λπ.

Στα εφέ οθόνης, όπου απαιτείται μια οθόνη (ή άλλη επιφάνεια) για να γίνουν ορατά, το Λέιζερ σόου προβάλλεται όπως μια ταινία σε κινηματογράφο. Η προβολή μπορεί να γίνει σε οθόνες, θόλους

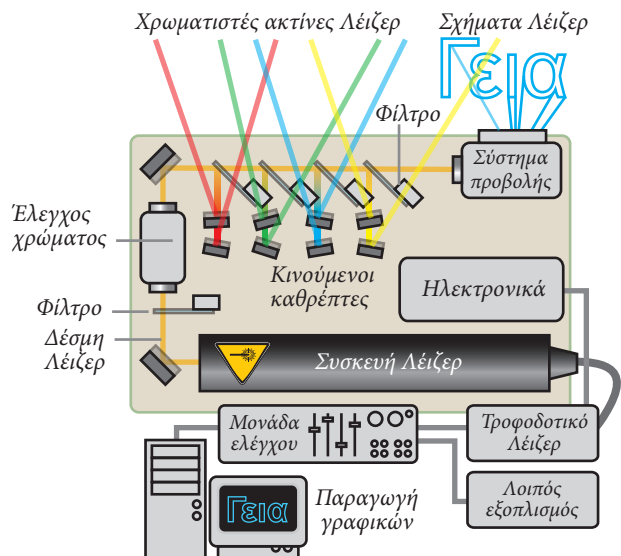


Εικόνα 2.43

Το εσωτερικό ενός αερόψυκτου Λέιζερ αργού για χρήση σε σόου φωτός.

πλανηταρίων, τοίχους, κτήρια, πίνακες διαφημίσεων, πλευρές βουνών, ακόμα και (υπό ειδικές συνθήκες) σε σύννεφα.

Ο πιο κοινός τύπος Λέιζερ που χρησιμοποιείται σε επιδείξεις είναι το Λέιζερ αργού (Ar). Το Λέιζερ αυτό δίνει μια κυανή χρωματισμένη δέσμη που μπορεί να διαχωριστεί σε μπλε και πράσινες ακτίνες χρησιμοποιώντας κίτρινο φίλτρο ή πρίσμα.



Εικόνα 2.44

Υπάρχουν διάφορα σημαντικά υποσυστήματα σε ένα σύστημα Λέιζερ σόου: Λέιζερ και τροφοδοτικό για την παροχή αρκετού ηλεκτρικού ρεύματος στο Λέιζερ, σύστημα προβολής του φωτός Λέιζερ που περιέχει κυκλώματα για τον έλεγχο του χρώματος της επιφάνειας των ακτίνων και υποσυστήματα προβολής, ανιχνευτές κίνησης που δίνουν εντολές στα κινούμενα κάτοπτρα των χρωματιστών δεσμών Λέιζερ, μονάδα ελέγχου, σύστημα παραγωγής γραφικών παραστάσεων, καθώς κι άλλος πρόσθετος εξοπλισμός όπως οθόνες, τροφοδοτικά, σκαλωσιές, συστήματα ψύξης κ.λπ.

Ένα Λέιζερ κρυπτού (Kr) μπορεί να διαμορφωθεί έτσι ώστε να παράγει διάφορα χρώματα ή μόνο το κόκκινο. Σε κάποια Λέιζερ σόου χρησιμοποιούνται ένα Λέιζερ αργού και ένα Λέιζερ κρυπτού ως «διαδοχικό ζευγάρι», όπου οι δέσμες τους συνδυάζονται προκειμένου να παράγουν μια «λευκή» δέσμη. Τα Λέιζερ σόου πλήρους χρώματος συνήθως χρησιμοποιούν Λέιζερ που περιέχουν ένα μείγμα αργού (Ar) και αερίου κρυπτού (Kr) και μπορούν να παράγουν κόκκινο, μερικές φορές κίτρινο, πράσινο και μπλε από την ίδια οπτική κοιλότητα. Άλλος κοινός τύπος Λέιζερ είναι το Λέιζερ ηλίου-νέου (He-Ne) που παράγει κόκκινη δέσμη μικρής ισχύος. Το He-Ne αντικαθίσταται γρήγορα από τα Λέιζερ διόδων που έχουν συμπαγές μέγεθος, χαμηλές απαιτήσεις ισχύος, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και χαμηλότερο κόστος. Λέιζερ στερεάς κατάστασης και υψηλής ισχύος NdYAG παράγουν έντονες πράσινες ακτίνες 532 nm και χρησιμοποιούνται συνήθως σε θεάματα στην ύπαιθρο. Τα Λέιζερ ατμού χαλκού παράγουν σμαραγδένιες πράσινες και χρυσές δέσμες.

2.7.11. Μια νέα τεχνολογία προβολής εικόνας: Προβολέας βίντεο με Λείζερ.

Ο βιντεοπροβολέας Λείζερ (εικ. 2.45) είναι η επόμενη γενιά προβολών, όπου η πηγή φωτός θα αντικατασταθεί από δέσμες Λείζερ διαφορετικών χρωμάτων, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να παραχθούν και να προβληθούν έγχρωμες κινούμενες εικόνες μεγάλης χρωματικής πιστότητας.

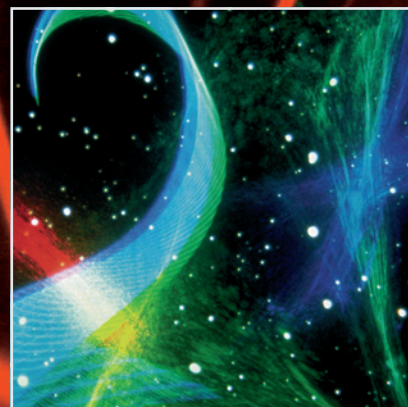
Εταιρείες που ασχολούνται με την τεχνολογία των βιντεοπροβολών προσπαθούν να κατασκευάσουν ολοκληρωμένα συστήματα που θα προβάλλουν τρισδιάστατες εικόνες σε πλανητάρια και αίθουσες κινηματογράφου, τα λεγόμενα Laserium.

Πιστεύεται ότι σύντομα θα αντικαταστήσουν τους υπάρχοντες προβολείς βίντεο σε χώρους υψηλών προδιαγραφών και απαιτήσεων για την αναπαράσταση έγχρωμης κινούμενης εικόνας μεγάλων διαστάσεων και υψηλής διακριτικής ικανότητας.

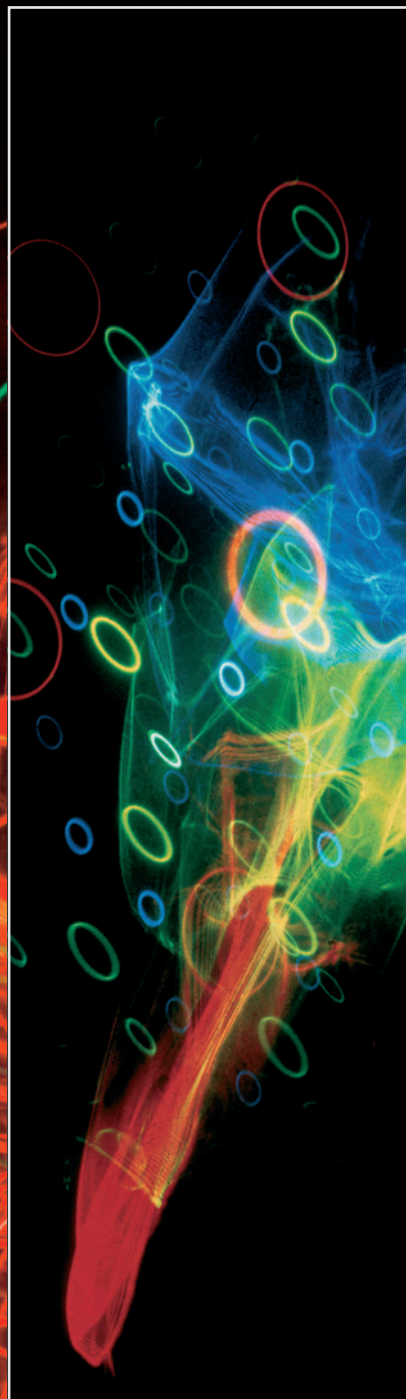
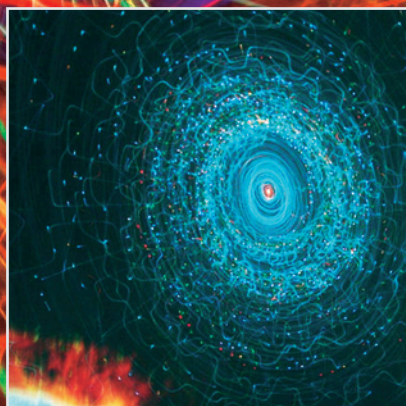
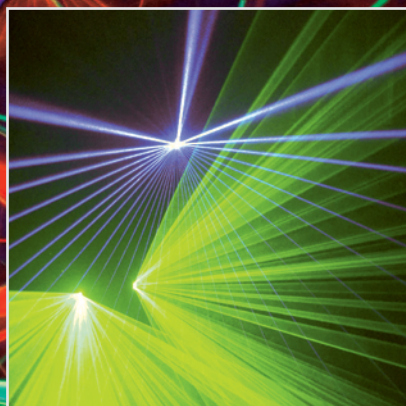
Τελικά, οι μελλοντικές εφαρμογές της ολογραφικής τρισδιάστατης απεικόνισης θα αποτελέσουν την εξέλιξη του κινηματογράφου ή των οθονών των οικιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών.

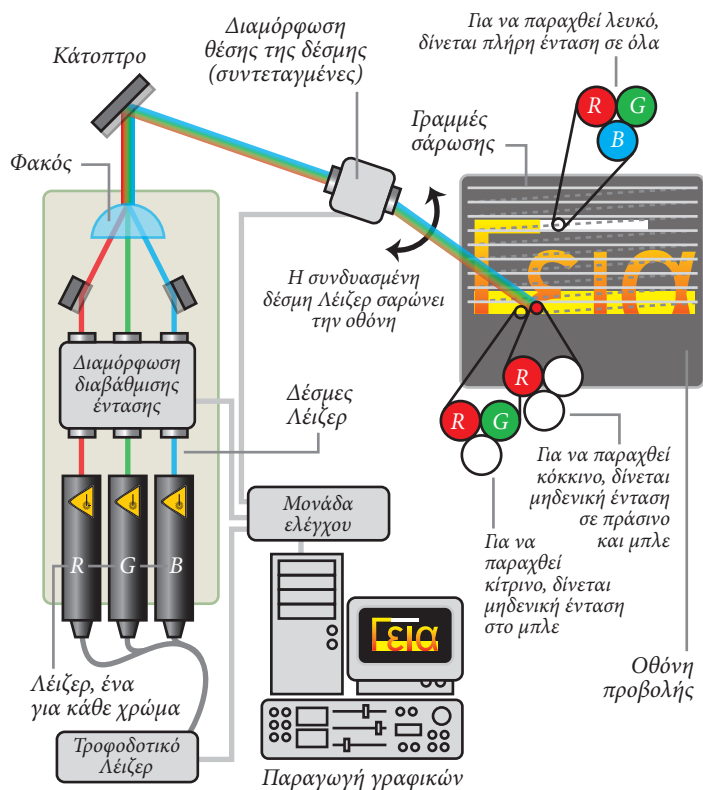
Το Laserium, σε συνδυασμό με την παρουσία των ήδη υπερσύγχρονων εγκαταστάσεων στο Ίδρυμα Ευγενίδου θα βοηθήσει τους επισκέπτες θεατές του στην πληρέστερη και περισσότερο εμπειριστατωμένη εμπέδωση τόσο των θεμάτων που παρουσιάζονται όσο και της θαυμαστής αυτής τεχνολογίας, που αξιοποιείται εκπαιδευτικά και εικαστικά.

Όπως χαρακτηριστικά έχει επιτυχημένα λεχθεί, «το Laserium είναι η μουσική στα μάτια μας».



Σε αυτές τις σελίδες δείτε μερικές
από τις αμέτρητες δυνατότητες των
παρουσιάσεων σε ένα Laserium.





Εικόνα 2.45

Σε αντίθεση με το μηχανισμό που χρησιμοποιείται στα Λείζερ σόου (όπου η δέσμη συνήθως διαγράφει στατικά σχήματα, δύσκολα όμως εμφανίζει κινούμενη εικόνα λόγω περιορισμών του μηχανισμού κίνησης), στον βιντεοπροβολέα υπάρχει ένα μη μηχανικό οπτικοακουστικό σύστημα. Αυτό επιτρέπει μεγάλες ταχύτητες σάρωσης δέσμης και μεγάλη διακριτική ικανότητα (αριθμός σημείων ανά μονάδα φωτιζόμενης επιφάνειας). Ο συνδυασμός διαφορετικών χρωμάτων δέσμης Λείζερ (το αντίστοιχο της τριχρωμίας: Red Green Blue ή R G B) και των αντίστοιχων οπτικοακουστικών συστημάτων –πλήρως συγχρονισμένων με τη σάρωση– επιτρέπει τη δημιουργία κινούμενων εικόνων με μοναδικές ιδιότητες. Μπορούμε να επιτύχουμε προβολή σχετικά μεγάλου αριθμού εικόνων ανά δευτερόλεπτο (περίπου 25 καρέ ανά δευτερόλεπτο) και τελικά να απολαύσουμε την ψευδαίσθηση της ομαλής κίνησης, όπως στις σημερινές κινηματογραφικές ταινίες. Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου βιντεοπροβολέα βασίζονται πρακτικά στις ιδιότητες που έχει η δέσμη του Λείζερ. Συγκεκριμένα είναι η μικρή απόκλιση, η σταθερότητα του φωτός καθώς και η δυνατότητα να χρησιμοποιούμε δέσμη υψηλής φωτεινότητας και μικρής διατομής. Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό μας επιτρέπει να έχουμε πρακτικά υψηλή ανάλυση εικόνας με την ίδια φωτεινότητα, ανεξάρτητα της απόστασης της οθόνης προβολής.

Επίσης ενδιαφέρον είναι ότι τα εικονοστοιχεία (pixel) της οθόνης μπορούν να έχουν διάφορες διαστάσεις και να προσαρμόζονται έτσι στην επιφάνεια της προβολής, κάτι που δε συμβαίνει με τις γνωστές συμβατικές οθόνες καθοδικού σωλήνα (CRT) ή με τις επίπεδες (LCD, Plasma, κ.λπ.) με την αυστηρά καθορισμένη γεωμετρία.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Laser show, laser projector, laser spectator, laser effects, light show, laserium, planetarium laser shows.

2.7.12. Ενδεικτικές καθημερινές συσκευές.

α) CD και CD players.

Το CD είναι ένα απλό κομμάτι πλαστικού διαμέτρου 12 cm και πάχους 1,2 mm περίπου (εικ. 2.46). Το μεγαλύτερο μέρος ενός δίσκου CD αποτελείται από ένα φορμαρισμένο σε πρέσα κομμάτι καθαρού πολυκαρβονικού πλαστικού. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, αυτό το πλαστικό εντυπώνεται με μικροσκοπικές ομοιόμορφες ανωμαλίες σαν σαμαράκια ή λακκούβες σε ένα δρόμο, που «ταξινομούνται» ως μια ενιαία, συνεχής και εξαιρετικά μακριά σπειροειδής διαδρομή. Μόλις διαμορφωθεί το κομμάτι του πλαστικού, ένα λεπτό, αντανakλαστικό στρώμα αλουμινίου ψεκάζεται επάνω στο δίσκο, που καλύπτει τις λακκούβες (εικ. 2.47).

Κατόπιν ένα λεπτό ακρυλικό στρώμα ψεκάζεται πάνω από το αλουμίνιο για να το προστατεύσει. Τέλος η ετικέτα τυπώνεται επάνω στο ακρυλικό στρώμα.

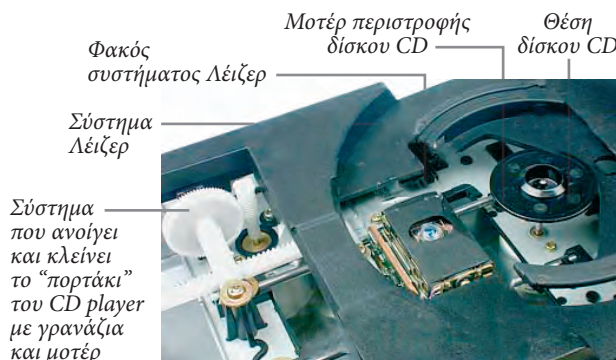


Εικόνα 2.47

Μια τομή ενός CD (όχι σε κλίμακα) μοιάζει με την εικόνα αυτή.



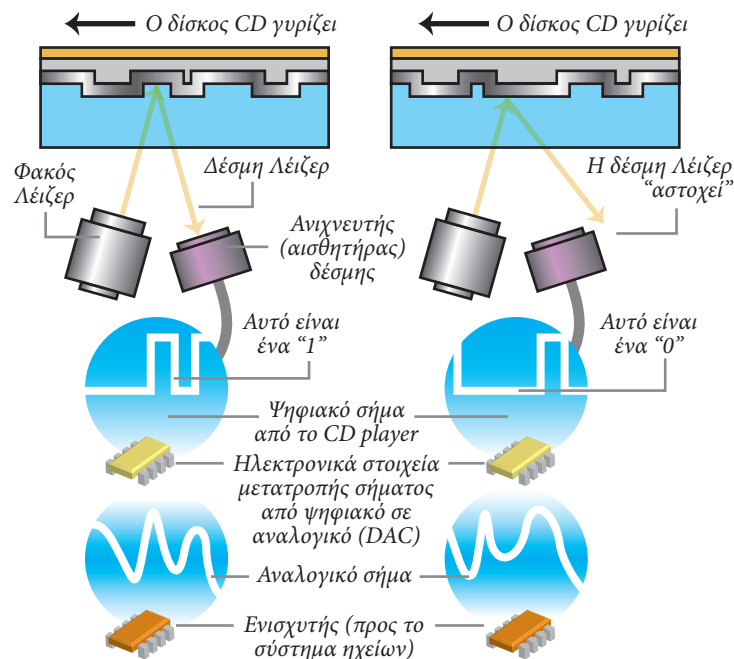
Εικόνα 2.46



Εικόνα 2.48

Το CD player αναλαμβάνει την εργασία της εύρεσης και ανάγνωσης των στοιχείων που αποθηκεύονται ως λακκούβες στο CD. Ο μηχανισμός ενός CD player αποτελείται από τρία κύρια μέρη: Ένα αθόρυβο μοτέρ που περιστρέφει το δίσκο, ένα Λείζερ και ένα σύστημα φακών που εστιάζουν και διαβάζουν τις τεχνητές ανωμαλίες της επιφάνειας και έναν μηχανισμό που κινεί το Λείζερ, έτσι ώστε η δέσμη του να μπορεί να ακολουθήσει τη σπειροειδή διαδρομή με σταθερή ταχύτητα. Το όλο σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να κινήσει τη δέσμη Λείζερ κατά χιλιοστά του χιλιοστού (μm).

Όπως είδαμε ο δίσκος CD εκ κατασκευής διαθέτει μια έτοιμη ενιαία σπειροειδή διαδρομή (ή μονοπάτι) που τον διατρέχει από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του. Το πάχος της είναι περίπου 0,5 χιλιοστά του χιλιοστού (μm) ενώ τα μονοπάτια της σπείρας απέχουν μόλις 1,6 μm το ένα από το άλλο. Το γεγονός ότι η σπειροειδής διαδρομή αρχίζει από το κέντρο σημαίνει ότι ένα CD μπορεί να έχει διάμετρο μικρότερη από 12 cm. Έτσι υπάρχουν π.χ. μικρές πλαστικές «κάρτες»–CD ή μικρά επισκεπτήρια–CD. Αυτά τα «δισκάκια» μπορούν να περιέχουν το πολύ 2 MB στοιχείων. Η κάθε μια από τις λακκούβες που αποτελούν το εντυπωμένο μονοπάτι είναι μόλις 0,5 μm φαρδιά (όσο και το μονοπάτι), με μήκος περίπου 0,83 μm και ύψος 125 nm. Οι απίστευτα μικρές διαστάσεις των λακκούβων καθιστούν τη σπειροειδή διαδρομή τους πάνω στο CD εξαιρετικά μακριά. Εάν θα μπορούσαμε να ξεκολλήσουμε αυτήν τη διαδρομή από το CD και να την τεντώσουμε σε μια ευθεία γραμμή, θα είχε μήκος σχεδόν 5 km. Έτσι, είναι προφανές ότι για να διαβάσουμε πληροφορίες σ' αυτήν την κλίμακα χρειαζόμαστε ένα μηχανισμό ανάγνωσης του δίσκου που να κινείται με πολύ μεγάλη ακρίβεια (εικ. 2.48 και 2.49).



Εικόνα 2.49

Η πιο δύσκολη εργασία του CD player είναι να στρέφει και να εστιάζει σωστά τη δέσμη Λείζερ στο μονοπάτι που έχει εγγραφεί στο δίσκο. Η δέσμη Λείζερ περνά μέσω του διαφανούς προστατευτικού πολυκαρβονικού στρώματος, ανακλάται από το στρώμα αλουμινίου και προσπίπτει σε μια οπτικοηλεκτρονική συσκευή που ανιχνεύει τις αλλαγές της έντασης της ανακλώμενης από το αλουμίνιο φωτεινής δέσμης. Οι λακκούβες ανακλούν το φως διαφορετικά από το υπόλοιπο του στρώματος αλουμινίου και ο αισθητήρας φωτός ανιχνεύει εκείνη την αλλαγή. Ηλεκτρονικά στοιχεία στο player ερμηνεύουν τις αλλαγές της ανακλαστικότητας σε ψηφία bits (0 και 1) και κατόπιν σε bytes («ψηφιολέξεις» των 8 bits).

Στο εξής θα αναφερόμαστε στις συσκευές ανάγνωσης με το όνομα που είναι περισσότερο γνωστές: CD players.

Το μοτέρ που περιστρέφει το δίσκο ελέγχεται ηλεκτρονικά, έτσι ώστε πάντα αυτός να περιστρέφεται μεταξύ 200 και 500 περιστροφών ανά λεπτό, ανάλογα με το ποιο σημείο της διαδρομής διαβάζεται. Κι αυτό επειδή καθώς η δέσμη Λείζερ κινείται από το κέντρο του δίσκου προς το εξωτερικό του, οι λακκούβες μας περνούν από το Λείζερ όλο και πιο γρήγορα –αυτό συμβαίνει επειδή απλά η γραμμική ή εφαπτόμενη ταχύτητα είναι ίση με την ακτίνα επί τη γωνιακή ταχύτητα, με την οποία ο δίσκος περιστρέ-

φεται (περιστροφές ανά λεπτό ή rpm). Επομένως, καθώς το Λέιζερ κινείται ακτινικά προς τα έξω, το μοτέρ επιβραδύνει την ταχύτητα του CD, προκειμένου το Λέιζερ να διαβάζει τα δεδομένα πάντα με σταθερή ταχύτητα.

Μέσα στο CD player υπάρχουν ηλεκτρονικά στοιχεία που αναλαμβάνουν να μεταφράσουν τη συνεχή ροή των εντυπωμένων λακκουβών σε δεδομένα και την αποστολή τους είτε προς έναν μετατροπέα του σήματος από ψηφιακό σε αναλογικό (DAC), είτε προς τα κυκλώματα ήχου ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή (στην περίπτωση ενός τέτοιου CD-ROM).

Στα CD εγγραφής μπορούμε όχι μόνο να διαβάσουμε, αλλά και να γράψουμε πληροφορίες. Η λογική λειτουργίας παραμένει ίδια (διαφέρει η διάταξη του Λέιζερ και ο τύπος του δίσκου CD). Επιπλέον υπάρχουν CD πολλαπλής εγγραφής, τα οποία μπορούν να γραφούν-σβηστούν πολύ περισσότερες από μια φορές.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

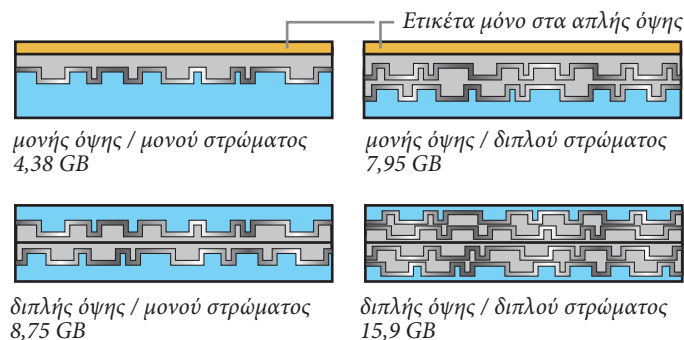
Compact Disc, CD Manufacturing, Compact Disc CD Player, CD-ROM Drive, CD-R, CD-RW, CD-Recordable, Burn CD, CD laser beam, digital recording, optical media.

β) DVD και DVD players.

Τα DVD θεωρούνται η εξέλιξη των CD, έχουν τις ίδιες διαστάσεις, κατασκευάζονται με τα ίδια υλικά και παρόμοια λογική με αυτά. Όπως και σε ένα CD, ένα DVD κωδικοποιείται υπό μορφή μικρών κοιλωμάτων (λακκούβες) κατά μια διαδρομή στο δίσκο.

Ένα DVD μπορεί να αποτελείται από περισσότερα του ενός στρώματα πολυκαρβονικού πλαστικού. Πάλι χρησιμοποιείται αλουμίνιο αλλά κι ένα πολύ λεπτό ημι-ανακλαστικό στρώμα χρυσού, που επιτρέπει στο Λέιζερ να εστιάσει όχι σε ένα αλλά σε δύο στρώματα (δηλ. υπάρχουν DVD δύο στρώσεων, ενίοτε σε κάθε όψη ή αλλιώς «τέσσερις δίσκοι σε έναν»).

Ένα DVD μπορεί να έχει μέχρι και τέσσερα στρώματα, δύο σε κάθε πλευρά. Η δέση Λέιζερ που διαβάζει το δίσκο μπορεί να εστιάσει στο δεύτερο στρώμα μέσω του πρώτου στρώματος.



Εικόνα 2.50

Η τομή ενός δίσκου DVD (όχι υπό κλίμακα) θα έμοιαζε έτσι, κατά περίπτωση.

Η διαθέσιμη χρονική διάρκεια και ο όγκος των δεδομένων που μπορούν να εγγραφούν στους σημερινούς τύπους DVD του εμπορίου παρουσιάζονται ενδεικτικά στον **Πίνακα 2.3**.

Πίνακας 2.3

Τα διάφορα είδη και η αντίστοιχη ψηφιακή χωρητικότητα των σημερινών DVD του εμπορίου.

Τύπος DVD	Όγκος δεδομένων ή χρονική διάρκεια εγγραφής
DVD μονής όψης / μονού στρώματος (single-sided/single-layer)	4,38 GB ή 2 ώρες
DVD μονής όψης / διπλού στρώματος (single-sided/double-layer)	7,95 GB ή 4 ώρες
DVD διπλής όψης / μονού στρώματος (double-sided/single-layer)	8,75 GB ή 4,5 ώρες
DVD διπλής όψης / διπλού στρώματος (double-sided/double-layer)	15,9 GB ή άνω των 8 ωρών

Μπορεί να αναρωτιέστε γιατί η χωρητικότητα ενός DVD δεν διπλασιάζεται όταν προσθέτουμε ένα ολόκληρο δεύτερο στρώμα στο δίσκο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε ένα δίσκο με δύο στρώματα, τα κοιλώματα (λακκούβες) πρέπει να είναι λίγο μακρύτερα και στα δύο στρώματα για να αποφεύγεται η παρεμβολή μεταξύ των διαδοχικών στρωμάτων, η οποία θα προκαλούσε λάθη κατά την ανάγνωση.

Τελικά, τα DVD μπορούν να αποθηκεύσουν πολύ περισσότερα στοιχεία από τα CD για τρεις κύριους λόγους:

1. **Αποθηκεύουν στοιχεία με υψηλή πυκνότητα:** Ένας δίσκος DVD μονής στρώσης (single-layer) μπορεί να αποθηκεύσει περίπου επτά φορές περισσότερα στοιχεία από ένα CD κι αυτό οφείλεται εν μέρει στο ότι οι λακκούβες της διαδρομής είναι κατά 2,08 φορές μικρότερες και η ίδια η διαδρομή 2,16 φορές λεπτότερη.
2. **Αξιοποιούν καλύτερα το χώρο:** Στο CD, περιλαμβάνονται πολλές πρόσθετες πληροφορίες που κωδικοποιούνται στο δίσκο για να επιτρέψουν τη διόρθωση λανθασμένης ανάγνωσης –αυτές οι πληροφορίες είναι ακριβώς μια επανάληψη των πληροφοριών που είναι ήδη γραμμένες στο δίσκο. Η πιο εξελιγμένη τεχνολογία των DVD δεν σπαταλά τόσο χώρο γι' αυτές τις βοηθητικές πληροφορίες, αφήνοντας έτσι περισσότερες «πραγματικές» πληροφορίες να εγγραφούν (επίσης, η κωδικοποίηση των στοιχείων γίνεται σε μια ελαφρώς μεγαλύτερη περιοχή του δίσκου από εκείνη που χρησιμοποιείται στο δίσκο ενός CD).
3. **Αποθηκεύουν στοιχεία σε περισσότερα του ενός στρώματα.**

Όπως καταλαβαίνουμε, οι μηχανισμοί Λέιζερ που χρησιμοποιούνται στα DVD players είναι ικανοί για πολύ περισσότερο ακριβείς κινήσεις από τους αντίστοιχους των CD players. Ένα DVD player μπορεί πάντα να «παίξει» κι ένα CD, λόγω του ότι οι τεχνολογικές του προδιαγραφές είναι κατά πολύ ανώτερες και λόγω του ότι αυτή είναι μια εμπορική κίνηση που θα επιτρέψει τη σταδιακή αποχώρηση του CD από την αγορά όταν τα DVD players και οι DVD δίσκοι καταστούν φθηνά για όλους τους χρήστες.

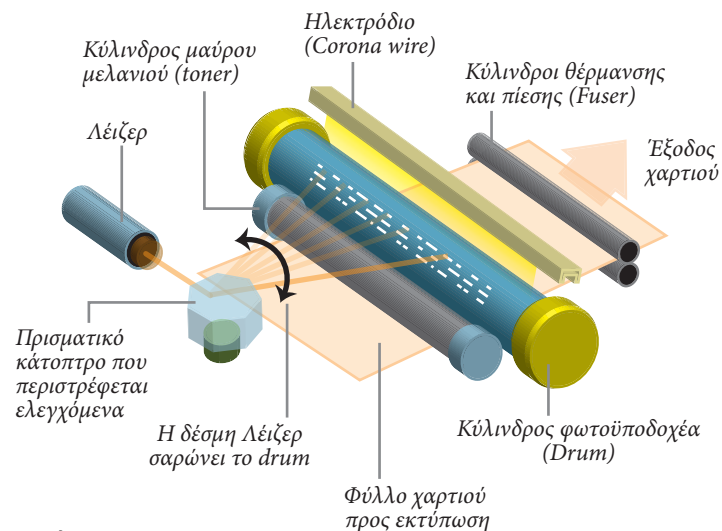
Δεδομένης της συνεχούς τεχνολογικής εξέλιξης, νέα πρότυπα έρχονται να αντικαταστήσουν τα CD και DVD, με πολύ περισσότερη χωρητικότητα αλλά βασιζόμενα στις ίδιες αρχές λειτουργίας. Το πρότυπο HD DVD μπορεί να αποθηκεύσει 15 GB σε απλό δίσκο ή 30 GB σε δίσκο διπλής στρώσης, ενώ το πρότυπο Blue-ray έχει χωρητικότητας 25 και 50 GB αντίστοιχα.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

DVD Disc, DVD Manufacturing, DVD Player, DVD Drive, DVD-R, DVD+R, Recordable DVD, Burn DVD, DVD laser beam, digital recording, optical media, HD DVD, Blue-ray.

γ) Εκτυπωτές Λέιζερ.

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός εκτυπωτή Λέιζερ –αν εξαιρέσουμε όσα αφορούν στην τεχνολογία του ίδιου του Λέιζερ– έχει να κάνει με το στατικό ηλεκτρισμό. Πρόκειται για εκείνο το είδος ηλεκτρικού φορτίου που συσσωρεύεται σε ένα μονωμένο σώμα (π.χ. σε μπαλόνι που πετάει διά μέσου μιας καταιγίδας ή σε γυάλινη ράβδο που την τρίβουμε σε ένα μάλλινο ύφασμα). Ο εκτυπωτής Λέιζερ χρησιμοποιεί το στατικό ηλεκτρισμό σαν προσωρινή «κόλλα». Το σύστημα γραφής με Λέιζερ περιλαμβάνει το κύκλωμα διαμόρφωσης της δέσμης (ανάλογα με τα δεδομένα που έχουν πλέον μεταφραστεί σε ηλεκτρικούς παλμούς), το Λέιζερ κι ένα κινητό κάτοπτρο με φακούς εστίασης (για να αντισταθμίζονται οι διαφορετικές αποστάσεις της δέσμης Λέιζερ από τα διάφορα σημεία της κυλινδρικής επιφάνειας πάνω στον κύλινδρο στον οποίο «γράφει») (εικ. 2.51). Μόλις η δέσμη σαρώσει μια γραμμή δεδομένων πάνω στον κύλινδρο, αυτός γυρίζει και η δέσμη σαρώνει από την αρχή μια νέα γραμμή.



Εικόνα 2.51

Τα βασικά στοιχεία ενός συνηθισμένου εκτυπωτή Λέιζερ.

Ο συγχρονισμός όλου του μηχανισμού ελέγχεται με μικρο-επεξεργαστή και διεκπεραιώνεται με μεγάλη ταχύτητα.

Στην καρδιά του μονόχρωμου εκτυπωτή Λέιζερ υπάρχει ένας φωτοϋποδοχέας, δηλαδή ένας περιστρεφόμενος κύλινδρος (drum) με επιφάνεια που καλύπτεται από ένα φωτοαγωγίμο υλικό που μπορεί να εκφορτίζεται όταν πέφτει πάνω του φως (φωτόνια). Αρχικά ολόκληρη η επιφάνεια του drum λαμβάνει θετικό φορτίο από ένα ειδικό ηλεκτρόδιο ρεύματος που έχει τη μορφή σύρματος (corona wire) ή άλλου κυλίνδρου (charged roller). Καθώς το drum περιστρέφεται μια πολύ λεπτή δέσμη Λέιζερ «γράφει» με μεγάλη ταχύτητα τα γράμματα, σχήματα κ.λπ. πάνω στη θετικά ηλεκτρικά φορτισμένη επιφάνεια με τη μορφή ηλεκτρικών παλμών, δηλαδή μια ηλεκτροστατική εικόνα που είναι αόρατη από το ανθρώπινο μάτι. Όπου πέσει η δέσμη Λέιζερ το drum αποφορτίζεται αποκτώντας αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο. Στο επόμενο στάδιο, θετικά φορτισμένο toner (μια εξαιρετικά λεπτή πούδρα-μελάνι) περνάει πάνω από την επιφάνεια του drum και φυσικά μένει σταθερά κολλημένο μόνο πάνω στα σημεία που είναι αρνητικά φορτισμένα. Κατόπιν πάνω στο drum κυλάει ένα φύλλο χαρτιού –ή άλλου εκτυπώσιμου υλικού– που προωθείται πάνω του. Προηγουμένως το μηχάνημα έχει δώσει αρνητικό φορτίο στο χαρτί (μεγαλύτερο φορτίο από εκείνο του drum), προκειμένου το μελάνι που βρίσκεται στην επιφάνεια του drum να προτιμήσει να κολλήσει πάνω στο χαρτί. Εφόσον το χαρτί κινείται με την ίδια ταχύτητα, η εικόνα που σχεδίασε το Λέιζερ αποτυπώνεται με ακρίβεια στο χαρτί, με πούδρα-μελάνι. Τέλος το χαρτί –αφού αποφορτιστεί– περνάει μέσα από ένα ζευγάρι κυλίνδρων που το συμπιέζουν και το ζεσταίνουν (fuser). Το toner λιώνει και εμποτίζει τις ίνες του χαρτιού κολλώντας σταθερά στη θέση του. Ο κύκλος συνεχίζεται όταν το drum αποφορτιστεί πλήρως (σβήσιμο της ηλεκτροστατικής εικόνας) και επαναφορτισθεί από το ηλεκτρόδιο εκ νέου με θετικό φορτίο για να δεχτεί τα δεδομένα για την επόμενη στη σειρά εκτύπωσης σελίδα. Σημειώστε ότι η τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί για τους έγχρωμους εκτυπωτές Λέιζερ βασίζεται στις ίδιες αρχές αλλά συνθέτει το χρώμα

με χρήση τριών επιπλέον μελανιών (toners), οπότε έχουμε τη λεγόμενη εκτύπωση τετραχρωμίας. Κάποιοι εκτυπωτές χρησιμοποιούν μια σειρά φωτοδιόδων (strip of Light Emitting Diodes ή LEDs) αντί για δέσμη Λέιζερ και είναι φθηνότεροι, αλλά με κατώτερα αποτελέσματα. Για να είναι ευκολότερη η συντήρησή τους, όλοι σχεδόν οι εκτυπωτές Λέιζερ έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να ενσωματώνουν σε εύχρηστα φορητά κομμάτια τα βασικά μέρη που θέλουν αντικατάσταση ύστερα από τη χρήση (εικ. 2.52).



Εικόνα 2.52

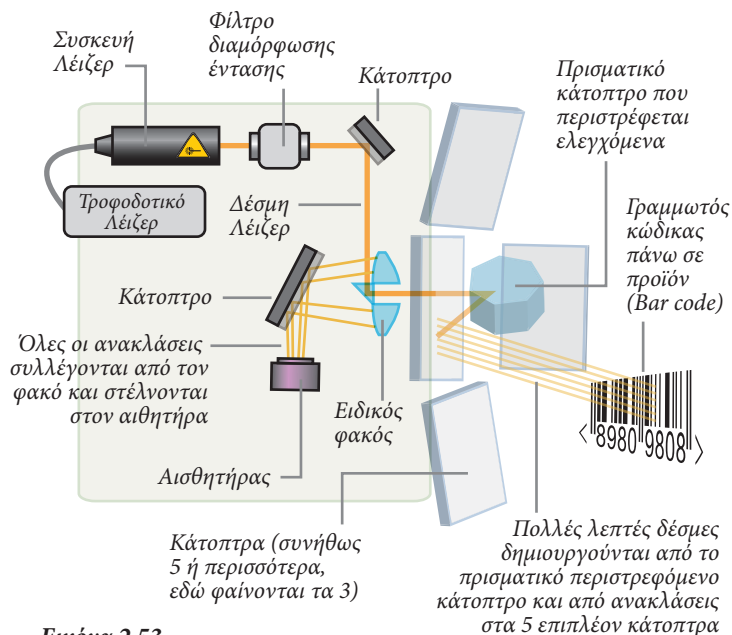
Συνήθως το σύστημα του toner (που μπορεί να είναι περισσότερα του ενός μελάνια όταν ο εκτυπωτής είναι έγχρωμος) ή του drum, μπορεί να αλλάχθει από το χρήστη με ιδιαίτερη ευκολία.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Laser printer, laser toner, electrostatic image, photoreceptor, laser developer unit.

δ) Σαρωτές γραμμωτού κώδικα.

Οι σαρωτές γραμμωτού κώδικα (bar code scanners) χρησιμοποιούνται για να αναγνωρίζουν κωδικούς που αναγράφονται σε ετικέτες προϊόντων και να μεταφέρουν τα δεδομένα αυτά (αριθμούς) σε κάποιο μηχάνημα (π.χ. ηλεκτρονικό υπολογιστή, ταμειακή μηχανή) για περαιτέρω επεξεργασία. Η πηγή φωτός ενός σαρωτή γραμμωτού κώδικα (bar code scanner) στο σούπερ μάρκετ ή στο ταμείο ενός μαγαζιού ρούχων είναι συνήθως ένα Λέιζερ He-Ne των 0,5 ως 2 mW (μήκους κύματος 632,8 nm πορτοκαλί-κόκκινο) ή ένα διοδικό Λέιζερ του 1 ως 5 mW (μήκους κύματος περίπου 670 nm, κόκκινο). Παρόλο που η δέσμη φαίνεται ιδιαίτερα φωτεινή η ισχύς της είναι πολύ μικρή. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στο διαφορετικό τρόπο που ανακλάται το φως Λέιζερ από κάθε γραμμωτό κώδικα (barcode) λόγω της εναλλαγής και της συγκεκριμένης διάστασης του μοτίβου (λευκό-μαύρο) των γραμμών του (εικ. 2.53).



Εικόνα 2.53

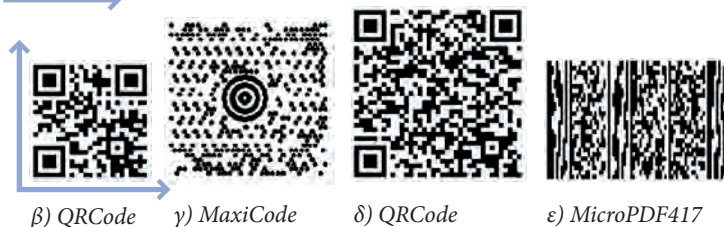
Εκτός από τη συσκευή Λέιζερ ένα τυπικό σύστημα ανάγνωσης γραμμωτού κώδικα στο ταμείο ενός καταστήματος περιλαμβάνει: ένα ειδικό φίλτρο διαμόρφωσης της έντασης του Λέιζερ για να διατηρεί σταθερή τη δέσμη του όταν υπάρχουν αλλαγές στην τάση τροφοδοσίας, κάτοπτρα-οδηγούς της δέσμης προς ένα σύστημα πέντε ή περισσότερων επίπεδων κατόπτρων μέσα από έναν ειδικό φακό αποστολής και λήψης της δέσμης Λέιζερ προς τον γραμμωτό κώδικα του προϊόντος. Ακόμη περιλαμβάνει ένα ταχύτατα περιστρεφόμενο πρισματικό κάτοπτρο το οποίο στέλνει τη δέσμη Λέιζερ προς το σύστημα των κατόπτρων και κατόπιν προς το προϊόν. Παρόλο που μοιάζουν τυχαία τοποθετημένα, τα κάτοπτρα έχουν προσεκτικά προσανατολιστεί, ώστε να εξασφαλίζουν το μέγιστο δυνατό εύρος κάλυψης και την εύρεση του γραμμωτού κώδικα με μία κατά το δυνατόν σάρωση. Η δέσμη μπορεί να ανακλαστεί σε ένα ή δύο από αυτά κατά το ταξίδι της από και προς το προϊόν. Τέλος, το φως που ανακλάται από το γραμμωτό κώδικα του προϊόντος συγκεντρώνεται και οδηγείται προς έναν ειδικό αισθητήρα που μεταφέρει τα δεδομένα σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου. Το τελευταίο ερμηνεύει τα οπτικά δεδομένα και αναζητά αναγνωρίσιμα μοτίβα (patterns) λευκού και μαύρου. Όταν ο κωδικός αναγνωρίζεται με επιτυχία, στέλνεται στο πρόγραμμα που απογράφει το λογαριασμό μας.

Σημειώστε ότι νέου τύπου κώδικες (**εικ. 2.54**) έρχονται να αντικαταστήσουν τους γραμμωτούς, έχοντας πλέον τη δυνατότητα να αποθηκεύουν τεράστιο αριθμό συμβόλων (αριθμών και χαρακτήρων), μουσικής, διευθύνσεων και άλλων προσωπικών στοιχείων κ.ά.. Συνήθως η μορφή που

έχουν αναπτύσσεται προς «δύο» κατευθύνσεις –δηλαδή η πληροφορία καταγράφεται σε δύο άξονες– σε αντίθεση με τους γραμμωτούς κώδικες που αναπτύσσονται σε «μία». Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι υπάρχουν πολλά μοντέλα κωδικοποίησης και αντίστοιχα διαφορετικά ονόματα, που δηλώνουν τον τύπο των κωδικών και άρα τη μέθοδο (ή τη συσκευή) που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για να αποκωδικοποιήσουμε τις πληροφορίες τους. Η παραγωγή, το εμπόριο και ο έλεγχος ζωής των προϊόντων που μας περιβάλλουν γίνεται τόσο περίπλοκος και αναλυτικός, ώστε ποικίλες τεχνολογίες κωδικοποίησης αναπτύσσονται, ανάλογα με τις ανάγκες.



α) UCC/EAN-128 Ο κώδικας αναπτύσσεται προς μια κατεύθυνση



Ο κώδικας αναπτύσσεται προς δύο κατευθύνσεις

Εικόνα 2.54

Στις εικόνες που βλέπετε επάνω, έχει κωδικοποιηθεί η φράση: «[Eugenides Foundation 2008](#)» με τις ακόλουθες ενδεικτικές μεθόδους: α) UCC/EAN-128: κοινός γραμμωτός κώδικας που, εκτός από αριθμούς, μπορεί να κωδικοποιήσει τους βασικούς αλφαβητικούς χαρακτήρες. β) QRCode: κώδικας «δύο διαστάσεων» (2D-code) ή κατευθύνσεων. Ο συγκεκριμένος είναι ο πιο διαδεδομένος κώδικας δύο διαστάσεων σε χρήση στην Ιαπωνία. γ) MaxiCode: κώδικας δύο κατευθύνσεων, σε χρήση από την UPS για τη διακίνηση του ταχυδρομείου. Επίσης, η ακόμη μεγαλύτερη φράση: «[Eugenides Foundation, The book for lasers and applications, 2008](#)» φαίνεται κωδικοποιημένη κατά: δ) QRCode και ε) MicroPDF417 που είναι σήμερα διεθνώς ο περισσότερο διαδεδομένος κώδικας δύο κατευθύνσεων.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Bar code scanner, super market code scanner, linear barcode, 2D barcode, stacked barcode, RFID tags, super market tags.

3. Παραρτήματα

*Η φωτεινή δέσμη ενός Λέιζερ, φωτογραφημένη με
μεγάλη χρονική έκθεση, καθώς γυρίζει.
Θυμίζει τους αέναους κύκλους του Σύμπαντος.*



Α. Ασφάλεια και Λείζερ.

Προσοχή!

Ο σπουδαιότερος κανόνας ασφάλειας για τα Λείζερ είναι η βασική αρχή του να θεωρούμε τη δέσμη τους πάντα επιβλαβή και επικίνδυνη! Σε κάθε περίπτωση πρέπει να γνωρίζουμε τη διεύθυνση διάδοσης της δέσμης, η οποία μπορεί να φτάσει σε εμάς κατευθείαν ή από ανάκλαση και να προκαλέσει ζημιά. Το πλέον ευάλωτο όργανό μας είναι το μάτι.

Α.1. Κλάσεις.

Ακόμη και μικρής ισχύος Λείζερ (λίγων mW), όπως αυτά που πωλούνται στα περίπτερα, μπορούν να γίνουν επικίνδυνα εάν χρησιμοποιούνται εσφαλμένα.

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος είναι από τις δέσμες που μπορεί να στοχεύσουν στο μάτι. Η βλάβη που μπορεί να πάθει το μάτι όταν χτυπηθεί από δέσμη Λείζερ εξαρτάται από την ισχύ, το μήκος κύματος, τη χρονική διάρκεια του παλμού του Λείζερ και τα μέσα προστασίας που πιθανόν να προστατεύουν τον άνθρωπο (π.χ. ειδικά γυαλιά). Η δέσμη Λείζερ μπορεί να εστιαστεί από τον ίδιο το φακό του ματιού σε ένα πολύ μικρό σημείο του αμφιβληστροειδούς και να καταστρέψει ανεπανόρθωτα κάποια σημεία του (κάψιμο του ιστού), προκαλώντας μερική ή ολική τύφλωση. Σημειώστε ότι τα μάτια μας είναι ευαίσθητα μόνο στο ορατό φάσμα, άρα μόνο σε Λείζερ που εκπέμπουν ορατές ακτίνες.

Διάφοροι οργανισμοί (ANSI, OSHA, FDA-CDRH, NRPB, Στρατός) έχουν εκδώσει πρότυπα ασφάλειας, σύμφωνα με τα οποία έχουν κωδικοποιηθεί τα Λείζερ ανάλογα με την επικινδυνότητά τους. Γενικά δεχόμαστε διεθνώς έξι ομάδες Λείζερ σύμφωνα με το πόσο επικίνδυνα μπορούν να γίνουν και εκδίδουμε σαφείς και αναλυτικές οδηγίες για τη χρήση τους. Από τις έξι κλάσεις Λείζερ μόνο εκείνα που ανήκουν στις τρεις πρώτες κατηγορίες (I, II και IIa) είναι ακίνδυνα για το μάτι, δεδομένου ότι η ισχύς τους είναι μικρή και το μάτι προλαβαίνει να κλείσει έγκαιρα (ανακλαστικά) σε περίπτωση που η δέσμη του Λείζερ πέσει πάνω του.

- Η κλάση I (0 ως 0,39 mW) ομαδοποιεί Λείζερ χαμηλής ισχύος, που δεν είναι επικίνδυνα ακόμη κι όταν βλέπουμε συνεχώς τη δέσμη τους ή είναι έτσι τοποθετημένα που εμποδίζουν τη θέα της δέσμης κατ' ευθείαν.
- Η κλάση IIa (0,39 ως 1 mW) περιλαμβάνει Λείζερ ορατού φωτός που δεν επιτρέπεται να έρχονται σε άμεση επαφή με τα μάτια. Παρόλα αυτά δεν προκαλούν βλάβη για χρονική έκθεση μικρότερη από 0,25 s (π.χ. σαρωτές γραμμωτού κώδικα).
- Η κλάση II (0 ως 1 mW) περιλαμβάνει Λείζερ ορατού φωτός που δεν είναι φυσιολογικά επικίνδυνα, αλλά η έκθεση στο φως τους για κάποιο χρονικό διάστημα θα μπορούσε να επιφέρει βλάβες στα μάτια (για χρόνο μεγαλύτερο από 0,25 s, όπως συμβαίνει και με τις συμβατικές πηγές φωτισμού, π.χ. δυνατά φλας φωτογραφικών μηχανών).
- Η κλάση IIIa (1 ως 5 mW) ομαδοποιεί Λείζερ που φυσιολογικά δεν προκαλούν βλάβη στα μάτια αν η δέσμη περάσει στιγμιαία από μπροστά τους αλλά αποτελούν σοβαρό κίνδυνο αν συνδυαστούν με διατάξεις οπτικής που μεγεθύνουν (όπως τα μικροσκόπια και τα τηλεσκόπια), οι οποίες εστιάζουν τη δέσμη (π.χ. δείκτες παρουσιάσεων).
- Στην κλάση IIb (5 ως 500 mW) περιλαμβάνονται Λείζερ που είναι επικίνδυνα κατά την αλληλεπίδραση της δέσμης με τα μάτια και το δέρμα.
- Τέλος, στην κλάση IV (500 mW και άνω) περιλαμβάνονται όλα τα Λείζερ που αποτελούν όχι μόνο σοβαρό κίνδυνο τραυματισμού αλλά επιπλέον μπορούν να προκαλέσουν βλάβες λόγω δευτερογενούς παραγωγής σωματιδίων και ακτινοβολίας επικίνδυνης για τα βιολογικά κύτταρα. Επίσης μπορούν να ανάψουν φωτιά σε εύφλεκτα υλικά.

Ειδικά προστατευτικά γυαλιά-φίλτρα.



Πίνακας Α.1

Κλάσεις των Λέιζερ.

Κλάση	Μέγιστη ισχύς (mW)	Ετικέτα (Ελληνικά και Αγγλικά)	Μορφή ετικέτας
I	μέχρι 0,39	(Δεν απαιτείται ετικέτα)	
IIa	0,39 ως 1,0	(Δεν απαιτείται ετικέτα)	
II	0 ως 1,0	ΠΡΟΣΟΧΗ, Ακτινοβολία Laser – Μη κοιτάτε τη δέσμη (CAUTION, Laser Radiation – Do not stare into beam).	
IIIa	1,0 ως 5	ΠΡΟΣΟΧΗ, Ακτινοβολία Laser – Αποφύγετε έκθεση των ματιών στη δέσμη (CAUTION, Laser Radiation – Avoid Direct Eye Exposure to Beam).	
IIIb	5 ως 500	ΚΙΝΔΥΝΟΣ, Ακτινοβολία Laser – Αποφύγετε την έκθεση στη δέσμη (DANGER, Laser Radiation – Avoid Direct Exposure to Beam).	
IV	500 και άνω	ΚΙΝΔΥΝΟΣ, Ακτινοβολία Laser – Αποφύγετε την έκθεση των ματιών και του δέρματος στη δέσμη (DANGER, Laser Radiation – Avoid Eye or Skin Exposure to Beam).	

Α.2. Σύμβολα ασφαλείας.

Τα σύμβολα ασφαλείας είναι διεθνώς αναγνωρισμένα σχήματα που τοποθετούνται όπου πρέπει να δηλωθεί κάποιο είδος κινδύνου στο προσωπικό και στους επισκέπτες ενός χώρου, στους χειριστές συσκευών, οχημάτων κ.λπ.

Τα διεθνή σύμβολα ασφαλείας (πάντα σε κίτρινο φόντο) ειδικά για τα Λέιζερ παρουσιάζονται στη στήλη δεξιά, ενώ μερικά ακόμα σήματα μπορείτε να δείτε στους χώρους ενός εργαστηρίου Λέιζερ, τα οποία αφορούν σε γενικότερες δραστηριότητες.

Ενδεικτικές λέξεις-κλειδιά, αναζήτηση στο Internet

Laser Safety, Laser Safety Classification, Laser Safe Limits, Laser Safety Issues, Laser Safety Guidelines, Laser Safety Precaution, Laser Pointer Safety, Eye Protection High Power Lasers, Laser Accidents.



Προσοχή!

Καμιά από τις συσκευές Λέιζερ δεν πρέπει να αποσυναρμολογείται από μη ειδικευμένο προσωπικό.

Αυτό υπαγορεύεται τόσο από την πολυπλοκότητα και την ακρίβεια της ρύθμισής τους, όσο και από την επικινδυνότητά τους.

Β. Ενδεικτικοί σταθμοί στη μελέτη του φωτός.

10ος αιώνας π.Χ.

Στα «Ορφικά» γίνεται αναφορά ανάμματος φωτιάς από τον Ήλιο με τη χρήση γυάλινου αντικειμένου (πιθανότατα φακού), όπου ενώ το φως διαπερνά το αντικείμενο χωρίς να το πυρακτώνει (θερμαίνει) προκαλεί το άναμμα φωτιάς σε εύφλεκτο υλικό.

3ος αιώνας π.Χ.

Ευκλείδης (Αλεξάνδρεια): Στο βιβλίο του «Οπτικά» γράφει ότι το φως ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή και περιγράφει το νόμο της ανάκλασης. Πίστευε ότι η όραση σχετίζεται με ακτίνες που εκπέμπονται από τα μάτια και συναντούν τα αντικείμενα.

1ος αιώνας μ.Χ.

Ήρωνας (Αλεξάνδρεια): Στο βιβλίο του «Κατοπτρικά» απέδειξε γεωμετρικά ότι η διαδρομή που ακολουθεί μία φωτεινή ακτίνα, που ανακλάται από έναν επίπεδο καθρέφτη είναι η συντομότερη διαδρομή που θα μπορούσε να ακολουθήσει μια ακτίνα μεταξύ της φωτεινής πηγής και του σημείου παρατήρησης.

2ος αιώνας μ.Χ.

Κλαύδιος Πτολεμαίος (Αλεξάνδρεια): Μελέτησε το φαινόμενο της διάθλασης του φωτός στην ατμόσφαιρα και πρότεινε ότι η γωνία διάθλασης είναι ανάλογη της γωνίας πρόσπτωσης.

9ος αιώνας μ.Χ.

Abu Ali Hasan Ibn al-Haitham (γνωστός ως Alhazen): Υποστήριξε ότι η όραση οφείλεται στις ακτίνες φωτός που προσπίπτουν στο μάτι και όχι σε ακτίνες που εκπέμπει το ίδιο το μάτι. Πραγματοποίησε έρευνα για τους φακούς χρησιμοποιώντας σφαιρικούς και παραβολικούς καθρέπτες και απέδωσε τη μεγεθυντική τους ιδιότητα στην καμπυλότητα των επιφανειών τους. Οι φακοί κατασκευάστηκαν 200 χρόνια αργότερα.

1291

Στη Βενετία της Ιταλίας αναπτύσσεται η τεχνική της προσθήκης υλικών που αποχρωματίζει το γυαλί και έτσι έγινε δυνατή η παραγωγή γυαλιού που ήταν σχετικά καθαρό και διαφανές. Με την κάλυψη της μίας επιφάνειάς του με ένα μεταλλικό φύλλο κατασκευάστηκε το κάτοπτρο.

1665

Francesco Maria Grimaldi (Ιταλία): Με τη δημοσίευση της έρευνάς του, δύο χρόνια μετά το θάνατό του (1665), αποδεικνύεται για πρώτη φορά ότι το φως είναι κυματικό φαινόμενο. Ο Grimaldi στα πειράματά του άφησε μία φωτεινή ακτίνα να περάσει μέσα από δύο στενές σχισμές τοποθετημένες η μία πίσω από την άλλη. Κατόπιν η ακτίνα έπεφτε σε μία λευκή επιφάνεια. Διαπιστώνοντας ότι η φωτεινή ζώνη πάνω στη λευκή επιφάνεια ήταν λίγο πλατύτερη από τις σχισμές κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ακτίνα είχε καμφθεί ελαφρά στα άκρα των σχισμών.

Το φαινόμενο αυτό το ονόμασε περίθλαση και ήταν μία ένδειξη ότι το φως είναι κυματικό φαινόμενο με μικρό μήκος κύματος. Παρόλη τη σημασία της ανακάλυψής του πέρασε ακόμη ενάμιση αιώνας για να γίνει αποδεκτή η κυματική φύση του φωτός.

1675

Olaf Roemer (Δανία): Από το αστεροσκοπείο του Παρισιού, κατέγραψε τις χρονικές στιγμές των εκλείψεων των δορυφόρων του Δία σε περιόδους που η Γη πλησίαζε ή απομακρυνόταν από το Δία. Οι διαφορές τιμών στις μετρήσεις του ερμήνευσε πως οφείλονταν στο ότι το φως χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να καλύψει την από-

σταση Δία-Γης, όταν η Γη βρίσκεται πιο μακριά (δηλ. στην αντίθετη από τον Δία πλευρά του Ήλιου) και λιγότερο χρόνο όταν βρίσκεται πιο κοντά (Γη και Δίας στην ίδια πλευρά του Ήλιου).

Με βάση αυτές τις χρονικές διαφορές υπολόγισε ότι το φως πρέπει να κινείται με ταχύτητα 225.000 km/s. Τιμή λανθασμένη γιατί είναι τα τρία τέταρτα περίπου της πραγματικής τιμής, αλλά μία πολύ καλή πρώτη εκτίμηση.

1678

Christiaan Huygens (Ολλανδία): Πρότεινε ότι το φως αποτελείται από κύματα του ίδιου τύπου με τα ηχητικά και ότι όσον αφορά στο μέσο διάδοσης, στο κενό του διαστήματος υπάρχει ένα αραίο ρευστό (που το ονόμασε «αιθέρα»). Αντίθετα ο Newton (από το 1666) υποστήριζε ότι το φως αποτελείται από σωματίδια, κυρίως επειδή ανάμεσα στον Ήλιο και τη Γη υπάρχει κενό και θεωρούσε ότι ένα κύμα δεν μπορούσε να διασχίσει αυτόν το χώρο.

1727

James Bradley (Ηνωμένο Βασίλειο): Στην προσπάθειά του να μελετήσει το φαινόμενο της παράλλαξης των αστέρων μέτρησε την ταχύτητα του φωτός. Το ζήτημα τότε ήταν ότι αν η Γη κινείται όντως γύρω από τον Ήλιο, η κίνηση αυτή θα έπρεπε να προκαλέσει μια παραλλακτική μετατόπιση των κοντινότερων άστρων σε σχέση με τα πιο μακρινά.

Ο Bradley χρησιμοποίησε ένα τηλεσκόπιο εστιακής απόστασης¹ περίπου 65 m. Προσπάθησε να μετρήσει τη μικρή μετατόπιση που θα έπρεπε να παρουσιάζουν τα άστρα στη διάρκεια ενός έτους και οι μετρήσεις του εντόπισαν μια μετατόπιση, η οποία όμως δεν συνέπιπτε με εκείνη που θα έπρεπε να προκαλέσει η αλλαγή της θέσεως της Γης πάνω στην τροχιά της.

Αναζητώντας εξήγηση για το φαινόμενο που είχε παρατηρήσει βρήκε τελικά ότι η μετατόπιση αυτή εμφανιζόταν

1: Εστιακή απόσταση: Είναι η απόσταση από το μέσον ενός φακού μέχρι του σημείου στο οποίο συγκεντρώνεται μια δέσμη φωτεινών ακτίνων, αν αυτές φωτίζουν τον φακό από μεγάλη απόσταση από αυτόν.

επειδή το τηλεσκόπιο έπρεπε να έχει μια ελαφρά κλίση, ώστε να συλλαμβάνει το φως, καθώς η Γη κινείται στην τροχιά της. Η κλίση αυτή που πρέπει να δοθεί στο τηλεσκόπιο εξαρτάται από το λόγο της ταχύτητας με την οποία κινείται η Γη στην τροχιά της προς την ταχύτητα του φωτός. Επομένως ο Bradley είχε ανακαλύψει έναν νέο τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας του φωτός, αφού η ταχύτητα της Γης γύρω από τον Ήλιο καθώς και η κλίση του τηλεσκοπίου ήταν γνωστά. Η τιμή που βρήκε ήταν 282.000 km/s, μόλις κατά 5% λιγότερο από την πραγματική.

1801

Thomas Young (Ηνωμένο Βασίλειο): Με τα πειράματά του υποστήριξε την κυματική φύση του φωτός, που ως έννοια αποδείχτηκε για πρώτη φορά από τον Francesco Grimaldi (βλ. 1665). Ο Young σε ένα πείραμά του φώτισε μια επιφάνεια με δύο ξεχωριστές φωτεινές δέσμες, οι οποίες διέρχονταν πρώτα από δύο λεπτές σχισμές και πάνω στην επιφάνεια παρατήρησε φαινόμενα συμβολής, δηλαδή διαδοχικές φωτεινές και σκοτεινές ζώνες.

Το φαινόμενο αυτό μπορούσε να εξηγηθεί μόνο με την κυματική θεωρία και όχι με τη σωματιδιακή. Ο Young υπολόγισε, με βάση τα πειράματα συμβολής που είχε κάνει, ότι το μήκος κύματος των φωτεινών κυμάτων πρέπει να είναι μικρότερο από ένα χιλιοστό του χιλιοστού του μέτρου. Στο σημείο που έσφαλε είναι ότι υπέθεσε ότι τα φωτεινά κύματα είναι διαμήκη (στην πραγματικότητα είναι εγκάρσια).

1849

Armand Hypolite Louis Fizeau (Γαλλία): Μέτρησε για πρώτη φορά την ταχύτητα του φωτός στον αέρα στη Γη (κι όχι μελετώντας αστρονομικά φαινόμενα έξω από τον πλανήτη μας). Έκανε χρήση ενός οδοντωτού τροχού για να «τεμαχίζει» μια φωτεινή ακτίνα σε σειρά φωτεινών παλμών η οποία ανακαλούνταν σε έναν καθρέφτη. Η τιμή που υπολόγισε ήταν 313.300 km/s.

1850

Jean Bernard Leon Foucault (Γαλλία): Μέτρησε την ταχύτητα του φωτός στον αέρα βελτιώνοντας τη μέθο-

δο του Fizeau, χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενους καθρέφτες. Χρησιμοποίησε δύο κάτοπτρα, το ένα από τα οποία περιστρεφόταν με μεγάλη ταχύτητα. Το φως ανακλάται από το σταθερό κάτοπτρο στο περιστρεφόμενο. Το περιστρεφόμενο κάτοπτρο μετακινείται κατά μία γωνία μέσα στο χρονικό διάστημα που χρειάζεται το φως για να φτάσει σε αυτό και έτσι η φωτεινή ακτίνα ανακλάται προς το πλάι. Από τη γωνία εκτροπής της ακτίνας μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα του φωτός. Η καλύτερη τιμή που διαπίστωσε ο Foucault ήταν 298.000 km/s, τιμή κατά 0,7% μικρότερη της πραγματικής. Επειδή η απόσταση που έπρεπε να διανύσει το φως στη μέθοδο αυτή ήταν μικρή, μπορούσε εύκολα να πραγματοποιηθεί η ίδια μέτρηση με φως που όδευε μέσα σε νερό. Ο Foucault επίσης διαπίστωσε ότι το φως κινείται μέσα στο νερό, με τα τρία τέταρτα της ταχύτητάς του στον αέρα.

1882

Albert Abraham Michelson (Ην. Πολιτείες): Πραγματοποίησε νέες μετρήσεις και διαπίστωσε ότι η ταχύτητα του φωτός είναι 299.853 km/s, τιμή πολύ πιο ακριβής από όλες που είχαν μετρηθεί μέχρι τότε (μόνο 60 περίπου km μεγαλύτερη από την τιμή που έχουμε υπολογίσει σήμερα).

1892

Nikolayevich Lebedev (Ρωσία): Προσπάθησε να ελέγξει την πρόβλεψη που προέκυπτε από τις εξισώσεις του Maxwell, ότι το φως πρέπει να ασκεί μια πίεση στις επιφάνειες που φωτίζει. Χρησιμοποιώντας πολύ ελαφρά κάτοπτρα σε κενό αέρα παρατήρησε και μέτρησε την πίεση που ασκεί το φως.

1927

Albert Abraham Michelson (Ην. Πολιτείες): Στα τελευταία χρόνια της ζωής του επιχείρησε να μετρήσει την ταχύτητα του φωτός με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια. Χρησιμοποίησε τη μέθοδο των περιστρεφόμενων καθρεφτών. Για το σκοπό αυτό μέτρησε μια απόσταση 35,4 km ανάμεσα σε δύο βουνοκορφές στην Καλιφόρνια, με ακρίβεια τουλάχιστον 2,5 cm, χρησιμοποιώντας ένα ειδικό οκτάεδρο περι-

στρεφόμενο κάτοπτρο κατά τη μέθοδο του Foucault (βλ. το 1850). Προσδιόρισε την ταχύτητα του φωτός σε 299.798 km/s. Η τιμή αυτή ήταν μόνο κατά 6 περίπου km/s μεγαλύτερη από την τιμή που δεχόμαστε σήμερα και η οποία έχει υπολογιστεί με όργανα πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας.

1947

Dennis Gabor (Ουγγαρία): Ανακάλυψε την ολογραφία. Διατύπωσε την παρακάτω θεωρία: Αν υποθέσουμε ότι χωρίζουμε μια φωτεινή δέσμη στα δύο, το ένα μέρος συναντά ένα αντικείμενο και ανακλάται αλλοιωμένο, λόγω της επίδρασης που θα ασκήσει πάνω του το αντικείμενο, ενώ το δεύτερο μέρος της δέσμης ανακλάται από ένα κάτοπτρο οπότε δεν υφίσταται καμιά αλλοίωση. Αν τα δύο μέρη της δέσμης συναντηθούν πάνω σε φωτογραφικό φιλμ, αυτό θα καταγράψει τα φαινόμενα συμβολής μεταξύ των δύο τμημάτων της δέσμης.

Όταν εμφανιστεί το φιλμ, θα φαίνεται λευκό, αν όμως διέλθει φως από μέσα του θα αποκτήσει τα αποτυπωμένα χαρακτηριστικά της συμβολής και θα παραχθεί έτσι μία τρισδιάστατη εικόνα, η οποία θα μεταφέρει πολύ περισσότερες πληροφορίες από μια συνηθισμένη φωτογραφία. Η τρισδιάστατη εικόνα ονομάστηκε ολογραφία, επειδή ακριβώς αποτυπώνει όλες τις διαστάσεις.

Όταν έγινε δυνατή η πρακτική εφαρμογή της θεωρίας του, ο Gabor τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1971.

1960

Theodore Maiman (Ην. Πολιτείες): Κατασκεύασε την πρώτη συσκευή που ήταν σε θέση να παραγάγει υψηλής έντασης σύμφωνη μονοχρωματική δέσμη ορατού φωτός.

Ο Maiman κατασκεύασε έναν κύλινδρο από τεχνητό ρουμπίνι, τα άκρα του οποίου είχαν λειανθεί με προσοχή, έτσι ώστε να είναι επίπεδα και παράλληλα μεταξύ τους και καλύπτονταν από ένα λεπτό στρώμα αργύρου. Ένας λαμπτήρας εκλάμψεων διοχέτευε ενέργεια στον κύλινδρο, ώσπου αυτός να εκπέμψει μια δέσμη ερυθρού φωτός.

Το σύμφωνο φως που παράγεται με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζει ελάχιστη διασπορά και είναι δυνατόν να εστι-

αστεί σε ένα σημείο με τόσο μικρές διαστάσεις, ώστε οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε αυτό να είναι πολύ υψηλότερες από εκείνες που επικρατούν στην επιφάνεια του Ήλιου. Η συσκευή αυτή ονομάστηκε laser (Λείζερ) από τα αρχικά της μεθόδου που είναι light amplification by stimulated emission of radiation (ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας).

1965

Emmitt Leith & Juris Upatnieks (Ην. Πολιτείες): Χρησιμοποιούν το Λείζερ ως ιδανική φωτεινή πηγή για τη δημιουργία ολογραφίας. Οι δύο ερευνητές, κατόρθωσαν να παραγάγουν τα πρώτα ολογραφήματα.

1970

Μέχρι το 1970 είχαν αναπτυχτεί τεχνικές για τη μεταφορά του φωτός με τη βοήθεια λεπτών, εξαιρετικά διαυγών γυάλινων ινών. Οι ίνες επικαλύπτονται με πλαστικό ή με ένα δεύτερο τύπο γυαλιού, κατάλληλα επιλεγμένο ώστε το φως που έτεινε να εξέλθει από την ίνα να συναντά την επικάλυψη και να υφίσταται ολική ανάκλαση.

Με αυτόν τον τρόπο, το φως παρέμενε μέσα στην ίνα, ακόμη και αν αυτή ακολουθούσε καμπύλη ή τεθλασμένη διαδρομή.

Με τη χρήση ειδικών συσκευών Λείζερ, το φως μπορούσε να υποστεί διαμόρφωση τόσο εύκολα, όσο και το ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι, τα ακουστικά κύματα μπορούσαν να μετατραπούν σε φως μεταβαλλόμενου πλάτους και, όταν αυτό έφτανε στον προορισμό του, ήταν πάλι δυνατόν να μετατραπεί σε ηχητικό κύμα. Κατά αυτόν τον τρόπο κατέστη εφικτή η δυνατότητα να βελτιωθούν και να επεκταθούν οι τηλεφωνικές επικοινωνίες.

1972

Ερευνητική ομάδα χρησιμοποιεί μια αλυσίδα από δέσμες Λείζερ και υπολογίζει την ταχύτητα του φωτός με πολύ μεγάλη ακρίβεια, καταλήγοντας στην τιμή των 299.792,4581 km/s.

1978

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά σε πειραματικά τηλεφωνικά δίκτυα και αποδεικνύονται αποτελεσματικές. Μέσα σε μια δεκαετία άρχισαν να αντικαθιστούν τα υπερατλαντικά καλώδια.



Γ. Ενδεικτικοί σταθμοί στην εξέλιξη των Λέιζερ.

1917

Το όνομα Λέιζερ (Laser) καθιερώνεται. Η λέξη LASER είναι ένα αρκτικόλεξο για το Light Amplification by Stimulated Emission Radiation. Η όλη ιδέα στηρίζεται σε ένα άτομο διεγερμένης κατάστασης που συγκρούεται με ένα φωτόνιο. Όταν ένα τέτοιο φωτόνιο συγκρούεται, προκαλεί την εκπομπή ενός άλλου φωτονίου ίδιας ενέργειας.

Ο Albert Einstein πρότεινε αρχικά αυτό το φαινόμενο το 1916 με μια δημοσίευση που αποδείκνυε τη θεωρία ακτινοβολίας του Planck. Έτσι για πρώτη φορά δημιουργεί τη θεωρία για τη διαδικασία που κάνει τα Λέιζερ να λειτουργούν, την αποκαλούμενη «υποκινημένη εκπομπή». Η ιδέα, εντούτοις, θεωρήθηκε περίεργη και το γεγονός της αλληλεπίδρασης φωτονίων με ένα διεγερμένο άτομο σπάνιο. Μόνο πολύ αργότερα οι επιστήμονες άρχισαν να δημιουργούν πληθυσμούς με περισσότερα άτομα σε διεγερμένη κατάσταση σε σχέση με την κατάσταση ηρεμίας τους, οπότε και η διαδικασία υποκινημένης εκπομπής μπορούσε να θεωρηθεί πραγματικότητα.

1954

Ο πρόδρομος του Λέιζερ ήταν το Μείζερ. Το Μείζερ (MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission ή ενίσχυση μικροκυμάτων από την υποκινημένη εκπομπή της ακτινοβολίας), ενίσχυσε την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μικρότερων μηκών κύματος (μικροκυμάτων, το «μ» –αντί του «λ»– στο μείζερ).

Η παρακίνηση για την ανάπτυξη του Μείζερ φαίνεται να δόθηκε από το ενδιαφέρον για την ακτινοβολία μικροκυμάτων μετά από τη χρησιμότητά τους στην τεχνολογία

ραντάρ κατά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Μετά από τον πόλεμο, πολλοί επιστήμονες που είχαν εργαστεί στην ανάπτυξη του ραντάρ συνέχισαν τις έρευνές τους σχετικά με την ακτινοβολία μικροκυμάτων χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο μέρος του διαθέσιμου στρατιωτικού εξοπλισμού.

Οι Charles Townes και Arthur Schawlow (Ην. Πολιτείες) σε δημοσίευσή τους περιγράφουν το Μείζερ που μελέτησαν και κατασκεύασαν στο πανεπιστήμιο της Columbia, χρησιμοποιώντας την ακτινοβολία αερίου αμμωνίας και μικροκυμάτων –το Μείζερ εφευρέθηκε πριν από το (οπτικό) Λέιζερ. Η τεχνολογία είναι σχετικά παρόμοια αλλά δεν χρησιμοποιεί ορατό φως. Στις 24 Μαρτίου 1959 τους χορηγήθηκε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το Μείζερ. Το πρώτο Μείζερ ήταν ανίκανο για συνεχή λειτουργία. Προκειμένου να επιτευχθεί συνεχής διέγερση, νέα συστήματα με περισσότερα από δύο ενεργειακά επίπεδα έπρεπε να σχεδιαστούν. Αυτά τα συστήματα θα μπορούσαν να απελευθερώσουν την υποκινημένη εκπομπή, διατηρώντας μια αντιστροφή πληθυσμών.

Οι Ρώσοι Nikolai Basov και Alexander Prokhorov ανέπτυξαν αρχικά αυτήν την ιδέα. Το Μείζερ αποτέλεσε μια μεγάλη επιτυχία, που σήμερα χρησιμοποιείται για να ενισχύσει τα ραδιοσήματα, καθώς και ως υπερευαίσθητος ανιχνευτής στη διαστημική έρευνα.

1958

Το Δεκέμβριο οι Charles Townes και Arthur Schawlow δημοσιεύουν στο περιοδικό Physical Review τη θεωρία για ένα ορατό Λέιζερ, μια εφεύρεση που θα χρησιμοποιούσε το υπέρυθρο ή/και το ορατό φως του φάσματος.

Τιμήθηκαν χωριστά με το βραβείο Νόμπελ το 1964 και το 1981. Μετά από επιμονή του Townes τα Εργαστήρια Bell κατέθεσαν αίτηση για πατέντα. Αυτή είναι η No 2.929.922, του έτους 1960, στο αμερικανικό αρχείο ευρεσιτεχνιών.

1958

Υπάρχει έντονη διαμάχη ως προς το αν ο Gordon Gould ήταν ο πρώτος που είχε διατυπώσει θεωρίες για τα Λέιζερ. Επίσης ο Gordon Gould ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίη

ησε τη λέξη «Λείζερ». Ο Gould ήταν διδακτορικός σπουδαστής στο πανεπιστήμιο της Columbia υπό τον Charles Townes, εφευρέτη του Μείζερ. Ο Gould εμπνεύστηκε για να φτιάξει το οπτικό Λείζερ την ίδια χρονιά αλλά απέτυχε να γίνει δεκτή η αίτησή του για το σχετικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ως το 1959.

Κατά συνέπεια, το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Gould απορρίφτηκε και η τεχνολογία του χρησιμοποιήθηκε από άλλους. Χρειάστηκαν να περάσουν αρκετά χρόνια για να κερδίσει τελικά αυτή τη διαμάχη.

1958

Σύντομα, αφότου τα Μείζερ έγιναν πραγματικότητα, οι επιστήμονες άρχισαν να εξετάζουν τη δυνατότητα της υποκινημένης εκπομπής σε άλλες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ο Townes, μαζί με τον Arthur Schawlow, άρχισε να μελετά τη δυνατότητα κατασκευής Μείζερ στο ορατό και στο υπέρυθρο φάσμα. Μαζί δημοσιεύουν την πρώτη λεπτομερή πρόταση για ένα οπτικό Μείζερ (αργότερα μετονομάστηκε σε Λείζερ) σε ένα άρθρο στο περιοδικό Physical Review.

1959

Τα εμπόδια στη δημιουργία ενός Λείζερ παρέμειναν μεγάλα. Τα πολύ μικρότερα μήκη κύματος του ορατού φωτός και η δυσκολία εύρεσης ενός κατάλληλου μέσου διέγερσης σήμαιναν ότι έπρεπε να γίνουν ακριβέστερες μετρήσεις και ότι το παραμικρό λάθος στην κατασκευή των συσκευών είχε κρίσιμη επίδραση στην καλή λειτουργία ενός Λείζερ. Ο Theodore Maiman (Ην. Πολιτείες) κατασκευάζει ένα λειτουργικό Λείζερ που θεωρήθηκε το πρώτο επιτυχές οπτικό Λείζερ ή Λείζερ φωτός. Το Λείζερ του Maiman ήταν μια ράβδος συνθετικού ρουμπινιού (ruby) με επαργυρωμένες άκρες που τοποθετήθηκε μέσα σε μια λυχνία αναλαμπών διαμορφωμένη σαν ελατήριο. Το Λείζερ αυτό ήταν ικανό μόνο για παλλόμενη λειτουργία, λόγω των τριών μόνο μεταβάσεων του ενεργειακού επιπέδου του μέσου του.

1960

Οι Peter Sorokin και Mirek Stevenson αναπτύσσουν το πρώτο Λείζερ τεσσάρων επιπέδων (με χρήση ουρανίου) που ήταν θεωρητικά ικανό για παραγωγή συνεχούς ακτινοβολίας, αν και σε αυτό το Λείζερ στερεάς κατάστασης μια συνεχής ακτινοβολία δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί. Όμως η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των Λείζερ είχε πλέον ξεκινήσει.

1961

Οι Ali Javan, William Bennet και Donald Herriot φτιάχνουν το πρώτο Λείζερ αερίου χρησιμοποιώντας Ήλιο και Νέο (He-Ne). Αυτός ο τύπος Λείζερ κατέστη το κυρίαρχο Λείζερ για τα επόμενα 20 χρόνια, έως ότου κατασκευάστηκαν τα φτηνά Λείζερ ημιαγωγών κατά τα μέσα της δεκαετίας του '80.

Το Λείζερ He-Ne πέτυχε δύο κρίσιμα πράγματα: Πρώτον, ήταν το πρώτο Λείζερ ικανό να εκπέμψει μια συνεχή ακτίνα και δεύτερον, σε αυτό η λειτουργία μπορούσε να ξεκινήσει από μια ηλεκτρική εκφόρτιση κι όχι από την έντονη εκτόξευση φωτονίων από ένα flash.

1962

Ο Robert Hall δημιουργεί έναν νέο τύπο Λείζερ που χρησιμοποιείται σήμερα σε πολλές από τις ηλεκτρονικές συσκευές και τα συστήματα επικοινωνιών που λειτουργούν καθημερινά.

1963

Εφευρέθηκε το Λείζερ διοξειδίου του άνθρακα από τον Kumar Patel. Ο Hildreth «Hal» Walker ανακαλύπτει την τηλεμετρία¹ Λείζερ και την ηλεκτρονική στοχοθέτηση.

1: Τηλεμετρία είναι η μέθοδος μέτρησης αποστάσεων με τη χρήση παλμικής δέσμης Λείζερ. Γνωρίζοντας ότι το φως ταξιδεύει με σταθερή και γνωστή ταχύτητα, το τηλεμετρικό όργανο μετρά το χρόνο που έκανε η εκπεμπόμενη δέσμη να επιστρέψει σε αυτό μετά την ανάκλασή της στο αντικείμενο που στοχεύει. Πολλαπλασιάζοντας το χρόνο αυτό με την ταχύτητα του φωτός και παίρνοντας το μισό βρίσκουμε την απόσταση μεταξύ του παρατηρητή και του αντικειμένου.

1964

Οι Jerome V. Kasper και George C. Pimentel κατασκευάζουν στο πανεπιστήμιο Berkley της California το Λείζερ ιοδίνης που δίνει φως Λείζερ κοντά στο υπέρυθρο.

1964

Τα Λείζερ αερίου είχαν περιορισμένη ισχύ, έτσι οι G. Kumar και N. Patel άρχισαν να πειραματίζονται με το διοξείδιο του άνθρακα και τα Λείζερ μονοξειδίου του άνθρακα με ανάμειξη Αζώτου, Ηλίου και Νερού, προκειμένου να τελειοποιήσουν τις ιδιότητες της ακτινοβολίας Λείζερ.

Ο Patel θεωρείται ότι κατασκεύασε τα πρώτα ισχυρά Λείζερ αερίου. Ο Earl Bell ανακάλυψε έπειτα το Λείζερ ιόντων όταν τοποθέτησε ιόντα υδραργύρου σε Ήλιο για να ξεκινήσει την «αντιστροφή πληθυσμών». Αν και το Λείζερ ιόντων υδραργύρου ποτέ δεν είχε σημαντική πρακτική εφαρμογή, ήταν άμεσος προκάτοχος στο Λείζερ Argon-Ion που αναπτύχθηκε από τον William Bridges.

Τα Λείζερ ιόντων αερίου οδήγησαν κατόπιν στην ανάπτυξη των Λείζερ ατμού μετάλλων από πολλούς επιστήμονες που πειραματίστηκαν με διαφορετικά μέταλλα.

1964

Οι Basov, Prokhorov και Townes μοιράζονται το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για την ανάπτυξη της έννοιας του Μείζερ και την εργασία τους στη θεωρία του Λείζερ.

1965

Γρήγορα συνειδητοποιήθηκε η χρησιμότητα των Λείζερ και οι χρήσεις τους πολλαπλασιάστηκαν. Εντούτοις, λίγο μετά το 1964, ο ενθουσιασμός άρχισε να υποχωρεί. Παραδείγματος χάριν, υπήρξε μικρή επιτυχία στην ανάπτυξη ενός Λείζερ ημιαγωγών σε θερμοκρασία δωματίου για χρήση σε μαθηματικούς υπολογισμούς.

Η ισχύς των Λείζερ φάνηκε επίσης περιορισμένη, απογοητεύοντας την αμερικανική κυβέρνηση (κύριο χρηματοδότη της έρευνας) όσον αφορά στις πιθανές στρατιωτικές χρήσεις της. Τα Λείζερ μεταγλωττίστηκαν χαριτωμένα ως «μια λύση που ψάχνει πρόβλημα» αντί για «ένα πρόβλημα που ψάχνει λύση». Η έρευνα στα Λείζερ συνεχίστηκε

αργά. Υπήρξαν ποικίλες βελτιώσεις που αύξησαν τη διάρκεια ζωής, την εστίαση των ακτίνων, τη βελτιωμένη συνοχή της ακτινοβολίας, τη ρυθμισμένη και μικρότερη διάρκεια παλμού κ.λπ. Η κατασκευή Λείζερ με Νεοδύμιο, ισχύος χιλιάδων MW και παλμούς της τάξης ps από τον Anthony DeMaria οδήγησε σε βελτιωμένα μοντέλα που βρήκαν χρήση στη φωτογράφιση υψηλών ταχυτήτων και σε επιστημονικές εφαρμογές, όπως στη μελέτη των φυσικών και των χημικών φαινομένων.

1966

Οι Sorokin και J R Lankard κατασκευάζουν το πρώτο οργανικό χρωστικό (dye) Λείζερ.

1968

Δίνεται δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το «Portable Beam Generator», επίσης γνωστό ως φορητό πυροβόλο όπλο ακτίνων Λείζερ, στον εφευρέτη του Frederick P. Schollhammer.

1969

Μια σειρά κοινωνικών παραγόντων είχε επιπτώσεις στην ανάπτυξη των Λείζερ στην Αμερική. Το τέλος του ψυχρού πολέμου είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση στα στρατιωτικά έξοδα και κατά συνέπεια ανάλογη μείωση στα κεφάλαια για την ανάπτυξη των όπλων ακτίνων Λείζερ και των Λείζερ υψηλής ισχύος. Παρόλη την ύφεση, στρατιωτικά ενδιαφέροντα στο Βιετνάμ οδήγησαν στην ανάπτυξη του ραντάρ Λείζερ και του Λείζερ στοχοθέτησης.

Από την άλλη μεριά, οι πρόσφατες περιβαλλοντικές, οικολογικές και ενεργειακές ανησυχίες οδήγησαν στην αυξανόμενη χρηματοδότηση για προγράμματα ερευνητικής τεχνολογίας Λείζερ, όπως για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την παραγωγή ενέργειας.

Οι επικοινωνίες αποτέλεσαν ένας από τους μεγαλύτερους χώρους στους οποίους τα Λείζερ θεωρήθηκαν ότι θα έχουν επιτυχημένη εφαρμογή.

1969

Ο Gary Starkweather, στα ερευνητικά εργαστήρια της Xerox κάνει την πρώτη επίδειξη εκτύπωσης χαρτιού με

ακτίνα Λέιζερ, με μια συσκευή που αργότερα θα εξελιχθεί στο γνωστό κοινό εκτυπωτή Λέιζερ (laser printer).

1970

Οι αυξανόμενες ανάγκες της τηλεφωνίας, η αξιόπιστη ηλεκτρονική μετάδοση, η αναμετάδοση των τηλεοπτικών σημάτων και η ανάγκη για την επικοινωνία στο διάστημα, συνέβαλαν στην έμφαση που δόθηκε στη χρήση τεχνολογίας Λέιζερ για τις επικοινωνίες.

Το οπτικό φως έχει συχνότητες 10^9 φορές μεγαλύτερες από τα ραδιοκύματα και 10^5 φορές μεγαλύτερες από τα μικροκύματα. Τα Λέιζερ φάνηκαν ως μια ιδανική εναλλακτική λύση στην υπάρχουσα επιβαρυνόμενη τεχνολογία επικοινωνιών. Οι τεχνικές δυσκολίες στη χρήση Λέιζερ στις επικοινωνίες ήταν μεγάλες. Η πρώτη σημαντική εφεύρεση ήταν η ανακάλυψη από τους Charles Kao και George Hockham ότι κατάλληλα επεξεργασμένες ίνες γυαλιού θα μπορούσαν να διαβιβάσουν αποτελεσματικά φως Λέιζερ από τη μια τους άκρη στην άλλη. Επίσης την ίδια χρονιά εφευρέθηκε μια μέθοδος προκειμένου να βελτιώσει τους ημιαγωγούς (κρυσταλλοτρίοδος ή τρανζίστορ, δίοδος) που μείωσε δραματικά τις πυκνότητες ρεύματος που απαιτούνταν για τη λειτουργία τους. Οι δύο αυτές τεχνολογίες συμπλήρωσαν η μία την άλλη και έδωσαν μία νέα ώθηση στην εφαρμογή των Λέιζερ.

1971

Ο John M. Madey δημοσιεύει τις αρχές λειτουργίας ενός Λέιζερ ελεύθερων ηλεκτρονίων (FEL: Free Electron Laser).

1971

Με αυξανόμενη ισχύ και μειωμένη διάρκεια παλμού (εξελίξεις που συνδέονται με τους C.K.N. Patel και Anthony DeMaria) οι εφαρμογές των Λέιζερ στη χημεία άρχισαν να αυξάνονται.

Τώρα τα Λέιζερ έγιναν αρκετά οικονομικά και αποτελεσματικά για χρήσεις στη φασματοσκοπία. Κατά τη διάρκεια του χρόνου, η αντικατάσταση άλλων πηγών φωτός με το φως Λέιζερ έχει βελτιώσει σε πολύ μεγάλο βαθμό την ευαισθησία, την επιλεκτικότητα και τα όρια της ανίχνευσης.

1976

Ο John M. Madey με την ομάδα του παρουσιάζουν στο πανεπιστήμιο του Stanford το πρώτο FEL.

1977

Ο Gordon Gould κερδίζει επίσημα τη διαμάχη της πρωτιάς για τη διατύπωση της θεωρίας του Λέιζερ λαμβάνοντας το σχετικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.

1979

Η IBM λανσάρει τον περίφημο IBM 3800 εκτυπωτή Λέιζερ, ικανό να τυπώνει 20.000 γραμμές το λεπτό.

1982

Ο Αμερικανός πρόεδρος Ronald Reigan ξεκινάει επίσημα το λεγόμενο πρόγραμμα «Πόλεμος των Άστρων» («Star Wars Program»), ένα σχέδιο διασφάλισης της άμυνας και της επίθεσης των Ην. Πολιτειών από το διάστημα. Εξελιγμένα συστήματα ελέγχου και πυρός (που περιλαμβάνουν τη χρήση Λέιζερ στο διάστημα, δορυφόρους, πυραύλους, επικοινωνίες κ.λπ.) θα δημιουργούσαν μια αδιαπέραστη «ομπρέλα» προστασίας πάνω από την Αμερική.

Το πρόγραμμα θεωρητικά έχει πλέον εγκαταλειφθεί, λόγω περιορισμών στην τεχνολογία, τεράστιου κόστους και λόγω της σχετικής πολιτικής ηρεμίας που διαδέχθηκε το «άνοιγμα» του Ανατολικού μπλοκ προς τη Δύση.

1985

Ο D. I. Matthews και η ομάδα του περιγράφουν πειράματα για Λέιζερ ακτίνων X στο εθνικό εργαστήριο Lawrence Livermore.

1987

Ο Steven Trokel κατοχυρώνει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το Excimer Λέιζερ για τη διόρθωση όρασης με χειρουργική επέμβαση, αφού εκτέλεσε την πρώτη χειρουργική επέμβαση Λέιζερ στα μάτια ενός ασθενή του.

Το Λέιζερ Excimer χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τα τσιπ υπολογιστών στη δεκαετία του '70. Οι Rangaswamy Srinivasin, James Wynne και Samuel Blum, διαπίστωσαν τη δυνατότητα του Λέιζερ Excimer να αλληλεπιδρά θεραπευτικά και με ασφάλεια με βιολογικό ιστό.

1996

Εγκρίνεται επίσημα το πρώτο Excimer Λέιζερ για οφθαλμική εγχείρηση.

1998

Τα Λέιζερ έχουν οδηγήσει πλέον σε διάφορες νέες μορφές φασματοσκοπίας που θα ήταν αδύνατες χωρίς αυτά. Για παράδειγμα, η φασματοσκοπία Raman, θα ήταν πρακτικά αδύνατη χωρίς τα σύγχρονα Λέιζερ.

Η φασματοσκοπία Raman χρησιμοποιεί ουσιαστικά το ορατό φως για να προκαλέσει παλμικές μεταβάσεις στα μόρια –ένα πολύ αδύναμο φαινόμενο που απαιτεί πολύ έντονη μονοχρωματική πηγή φωτός δεδομένου ότι η επίδραση Raman παράγει σχετικά πολύ μικρές ενεργειακές αλλαγές. Επίσης τα Λέιζερ έχουν ανοίξει το δρόμο για τη μη γραμμική φασματοσκοπία (nonlinear spectroscopy) ή την κοινή αλληλεπίδραση δύο ή περισσότερων φωτονίων με ένα μόριο. Τα γεγονότα αυτού του είδους απαιτούν εξαιρετικά έντονες πηγές φωτός και πραγματικά δεν αποδείχθηκαν πειραματικά μέχρι την εμφάνιση των παλλόμενων Λέιζερ.

Μια άλλη χημική τεχνική που είναι αποτέλεσμα της εμφάνισης των Λέιζερ είναι και η χημεία με χρήση Λέιζερ (ένα υποσύνολο της φωτοχημείας).

Στις φασματοσκοπικές μεθόδους το Λέιζερ δεν προκαλεί χημική αλλαγή στο δείγμα –προκαλεί απλά βραχύβιες αλλαγές στους πληθυσμούς ηλεκτρονίων των διαφορετικών ενεργειακών επιπέδων. Μεγάλη προσπάθεια έχει καταβληθεί για μια δυναμικότερη χρήση των Λέιζερ, όπου η ακτινοβολία τους προκαλεί χημική αλλαγή.

Η ισχυρή ένταση των Λέιζερ μπορεί να χρησιμοποιηθεί

για να υπερνικήσει τα ενεργητικά εμπόδια και να επηρεάσει γεγονότα που συμβαίνουν κατά το σχηματισμό και τη ρήξη των χημικών δεσμών.

Σήμερα

Το μέλλον των Λέιζερ είναι πολλά υποσχόμενο. Οι δυσκολίες στην κατασκευή και στη βελτίωση των συσκευών Λέιζερ δεν εντοπίζονται στο μηχανισμό άντλησης, αλλά στην επιτυχία υψηλής μονοχρωματικότητας και μεγάλης ισχύος.

Καθώς ο χρόνος περνάει αναμφίβολα θα υπάρχουν νέοι επιστήμονες με νέες ιδέες και νέα πειράματα, οι οποίοι θα επεκτείνουν το ρόλο αυτών των θαυμαστών συσκευών ακόμα περισσότερο σε περιοχές εφαρμογών κυρίως στην ιατρική και στο περιβάλλον.



Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι το καλύτερο κριτήριο για την επίτευξη ή όχι ενός επιστημονικού στόχου θα παραμένει πάντα η αισθητή βελτίωση της ποιότητας της ζωής και της ευημερίας της ανθρώπινης κοινωνίας σε ολόκληρο τον μικρό μας πλανήτη.

Δ. Ευρετήριο ονομάτων.

A

Αριστοτέλης

Έλληνας, 384–322 π.Χ.

Φιλόσοφος.

Ήταν μαθητής του Πλάτωνα. Μπορεί να θεωρηθεί ανταγωνιστής του Πλάτωνα που απέρριψε τις κεντρικές ιδέες της Πλατωνικής θεωρίας. Ο Αριστοτέλης προσπάθησε να ισορροπήσει τις απαιτήσεις για ορθολογική θεώρηση με τα εμπειρικά δεδομένα, που προκύπτουν από την παρατήρηση των φυσικών φαινομένων και την ιστορική παράδοση.

Επισήμανε ότι οι αισθήσεις μπορούν να παραπλανήσουν στα θέματα των μη αισθήσεων και έκανε μόνο υπαινιγμούς για θέματα σχετικά με τη θεολογία και την ψυχολογία. Ως συνέπεια οι θεωρίες του βρήκαν εφαρμογή σε διαφορετικές θρησκείες και θεωρίες, όπως ο χριστιανισμός, ο ισλαμισμός, η αναγέννηση. Ο Αριστοτέλης ήταν ο πρώτος που θεματοποίησε με σαφήνεια τα προβλήματα που αφορούσαν στην επιστημονική απόδειξη.



E

Εμπεδοκλής

Δωρική αποικία Σικελίας, ~493–433 π.Χ.

Πολιτικός, διανοούμενος, επιστήμονας κ.ά..

Ο Εμπεδοκλής ήταν μια πολυσύνθετη προσωπικότητα. Σε συνέχεια των αντιλήψεων του Πλάτωνα, έναν περίπου αιώνα αργότερα από αυτόν (και ο Καντ τον 18ο αιώνα), επιχειρεί να συνθέσει μια νέα αντίληψη κοσμοθεωρίας και γι' αυτό θεωρείται ισάξιος του.

Ήταν πολιτικός (υπέρμαχος της Δημοκρατίας), διανοούμενος, ποιητής, επιστήμονας, θεραπευτής. Σώζεται μέρος του ποιητικού του έργου «Περί Φύσεως», στο οποίο



περιγράφει τη θεώρησή του για τον κόσμο. Εκφράζει ένα συνδυασμό της προσωκρατικής σκέψης. Συνδυάζει την Ηρακλείτεια άποψη του κόσμου (αέναη κίνηση των όντων) και την Ελεατική (ο κόσμος είναι στατικός και αμετάλλακτος). Η θεωρία του για τη γέννηση των οργανισμών βασίζεται στην εξέλιξη και αυτό τον χαρακτηρίζει ως πρόδρομο του Δαρβίνου. Η άποψή του ότι η γνώση είναι ανάμνηση τον χαρακτηρίζει συνεχιστή της διδασκαλίας της μετεμψύχωσης, που δίδαξαν περίπου μισό αιώνα νωρίτερα οι Πυθαγόρειοι φιλόσοφοι.

H

Ήρωνας ο Αλεξανδρινός

Ελληνοαιγύπτιος, ~65–125 μ.Χ.

Γεωμέτρης και μηχανικός.

Ο Ήρωνας απέδειξε τον τύπο που δίνει το εμβαδόν του τριγώνου βάσει της μισής περιμέτρου του, ενώ ασχολήθηκε με όγκους τρισδιάστατων σχημάτων όπως σφαίρες, κυλίνδρους, κώνους, πρίσματα, πυραμίδες κ.λπ. Στο βιβλίο του «Μετρική» ασχολήθηκε με το διαχωρισμό εμβαδών και όγκων.

Στο βιβλίο του «Διόπτρα» περιλαμβάνεται ένα κεφάλαιο αστρονομίας που δίνει τη μέθοδο για να βρεθεί η απόσταση μεταξύ Αλεξάνδρειας και Ρώμης χρησιμοποιώντας τη διαφορά μεταξύ της τοπικής ώρας κατά την οποία παρατηρήθηκε μία έκλειψη της σελήνης από την κάθε πόλη.

Στο βιβλίο του «Περί Κατόπτρων» ασχολείται με τους καθρέφτες.

Ακόμη, στη μελέτη του για το φως αναφέρει ότι τα αποτελέσματα της όρασης από τις ακτίνες φωτός εκπορεύονται από τα μάτια. Πιστεύει ότι αυτές οι ακτίνες ταξιδεύουν με άπειρη ταχύτητα.



I

Ίππαρχος**Έλληνας, περίπου 190–120 π.Χ.****Αστρονόμος.**

Θεωρείται ο πατέρας της αστρονομίας. Έφτιαξε τον πρώτο αστρολογικό κατάλογο με 1080 αστέρες, ταξινομώντας τους σύμφωνα με τη θέση και τη λαμπρότητά τους. Επινοητής της τριγωνομετρίας προκειμένου να υπολογίζει τη διάρκεια της ημέρας σε διαφορετικούς τόπους. Εφευρέτης του αστρολάβου («αστήρ»+»λαμβάνω»). Συγγράμματά του που έχουν σωθεί είναι: «Εις αστερισμούς» και «Των Αράτου και Ευδόξου φαινομένων εξηγήσεων».

**Πυθαγόρας****Έλληνας, 580–500 π.Χ.****Φιλόσοφος, μαθηματικός.**

Ιδρυτής της Πυθαγόρειας σχολής. Υποστήριζε ότι το Σύμπαν διέπεται από αριθμητικές σχέσεις. Το έργο του δεν διασώθηκε. Το γνωστό «Πυθαγόρειο Θεώρημα» ανακαλύφτηκε και αποδείχτηκε στο τέλος περίπου του 6 αι. π.Χ., στο περίφημο πανεπιστήμιο που είχε ιδρύσει ο Πυθαγόρας στον Κρότωνα, πιστεύεται δε ότι είναι έργο του ίδιου του Πυθαγόρα.



K

Κλαύδιος Πτολεμαίος**Ελληνοαιγύπτιος, περίπου 90–168 μ.Χ.****Αστρονόμος, γεωγράφος, μαθηματικός.**

Παρόλο που θεώρησε τη Γη κέντρο του Σύμπαντος, κατόρθωσε να κάνει ακριβείς μελέτες για θέματα τριγωνομετρίας, στερεογραφικής προβολής, αστρονομίας. Το έργο του κατέγραψε στα βιβλία: «Μαθηματική Σύνταξις» ή «Αλμαγέστη» ή «Μέγας Αστρονόμος», «Περί Αναλήμματος», «Planisphaerium», «Υπόθεσις των Πλανωμένων», «Περί Ροπών», «Οπτική», «Γεωγραφίας Υφήγησις», «Αρμονικά».



A

Abu Ali Hasan Ibn al-Haitham –ή Alhazen (Αλ Χάζεν)**Άραβας, 965–1039 μ.Χ.****Φυσικός.**

Θεωρείται ο πατέρας της σύγχρονης οπτικής. Πέρασε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του στην Ισπανία ερευνώντας σε θέματα οπτικής, μαθηματικών, ιατρικής και φυσικής. Το έργο του «Θησαυρός Οπτικής» είναι η πρώτη ακριβής περιγραφή της ανατομίας του ματιού και η πρώτη προσπάθεια επιστημονικής εξήγησης για το τι είναι όραση.



B

Basov Nikolay Gennadiyevich (Μπασόφ Γεναντίγεβιτς Νικολάι)**Σοβιετικός, 1922–2001 μ.Χ.****Φυσικός.**

Ανέπτυξε το Μείζερ, πρόγονο του Λέιζερ, συνεργαζόμενος στην αρχή με τον Aleksandr Prokhorov. Προχώρησε στη θεωρία του Λέιζερ και πρώτος έθεσε την ιδέα χρήσης ημιαγωγών για την παραγωγή ακτίνας Λέιζερ. Το 1964 πήρε το βραβείο Νόμπελ μαζί με το συνάδελφό του Aleksandr Prokhorov και τον Αμερικανό φυσικό Charles Townes για τη συμβολή του στην επιστήμη των Μείζερ και Λέιζερ.



Π

Πλάτωνας**Έλληνας, ~428–347 π.Χ.****Φιλόσοφος.**

Ο Σωκράτης, ο Πλάτωνας και ο Αριστοτέλης είναι οι τρεις μεγάλοι Έλληνες φιλόσοφοι, που οι θεωρίες τους έθεσαν τις βάσεις του δυτικού πολιτισμού. Ο Πλάτωνας χρονολογικά ακολουθεί τον Σωκράτη, ενώ ο Αριστοτέλης ήταν μαθητής του Πλάτωνα. Ο Πλάτωνας πιστεύει ότι πρέπει να ακολουθούμε τη λογική (είναι ορθολογιστής). Η θεωρία των ιδεών του Πλάτωνα ήταν μαθηματική.



Bohr Niels Henrik (Μπορ Νιλς Χένρικ)

Δανός, 1885–1962 μ.Χ.

Φυσικός.

Ανάπτυξε τη θεωρία της πυρηνικής σχάσης. Μετά τον 2ο παγκόσμιο πόλεμο έλαβε μέρος στο ατομικό πρόγραμμα της Αμερικής αλλά παράλληλα οργάνωσε και το πρώτο διεθνές συνέδριο για την ειρήνη στη Γενεύη. Το 1922 πήρε το βραβείο Νόμπελ. Υπήρξε επίσης επαγγελματίας ποδοσφαιριστής.



Bradley James (Μπράντλεϊ Τζέιμς)

Άγγλος, 1693–1762 μ.Χ.

Αστρονόμος.

Ανακάλυψε το φαινόμενο της «αποπλάνησης» του φωτός, δηλαδή ότι η μεταβολή της θέσης των αστερών οφείλεται στην ετήσια κίνηση της Γης, ένδειξη ότι η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο. Έργο του είναι και ο υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός σε 295.000 km/s (ενώ είναι 299.793 km/s).



Einstain Albert (Αϊνστάιν Άλμπερτ)

Γερμανοεβραίος, 1879–1955 μ.Χ.

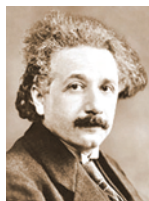
Φυσικός, φιλόσοφος και ανθρωπιστής.

Με εξαιρετική συνεισφορά στη φυσική, διατύπωσε το νόμο της σχετικότητας και τη βασική αρχή ότι ο χρόνος δεν κυλάει για όλους και όλα με τον ίδιο ρυθμό.

Η πιο γνωστή εξίσωση στον κόσμο πρέπει να είναι εκείνη που εκφράζει την ισοδυναμία μεταξύ της ενέργειας και της μάζας: $E=mc^2$.

Το 1921 πήρε το βραβείο Νόμπελ.

Η επιτροπή που βράβευσε τον Albert Einstein ήταν διστακτική στην έννοια του κβάντου και γι' αυτό στήριξε το βραβείο στο μαθηματικό τύπο που πρότεινε ο Einstein



για τον υπολογισμό της ενέργειας του ηλεκτρονίου, όπως προέκυψε από την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

F

Foucault Jean Bernard Leon (Φουκό Ζαν Μπερνάρ Λεόν)

Γάλλος, 1819–1868 μ.Χ.

Φυσικός.

Το 1852 έγινε διάσημος αποδεικνύοντας την περιστροφή της Γης κρεμώντας ένα εκκρεμές από την οροφή του μεγάρου «Πάνθεον» στο Παρίσι.



G

Gabor Dennis (Γκάμπορ Ντένις)

Ουγγροάγγλος, 1900–1979 μ.Χ.

Φυσικός.

Προσπαθώντας να βελτιώσει την ανάλυση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, στα τέλη του 1940, ανακάλυψε μια διαδικασία που ονόμασε «ανακατασκευή μετώπου κύματος», αλλά σήμερα είναι περισσότερο γνωστή ως «ολογραφία».

Η εργασία του αναγνωρίστηκε ως εξαιρετικά σημαντική μετά την εξέλιξη των Λέιζερ, τα χρόνια που ακολούθησαν.



Gould Gordon (Γκουλντ Γκόρντον)

Αμερικανός, 1920–2005 μ.Χ.

Φυσικός.

Θεωρείται ο πατέρας του Λέιζερ μετά από διαμάχη ετών για τα δικαιώματα της πατέντας της συσκευής.

Το 1958 άφησε το διδακτορικό του προκειμένου να εκμεταλλευτεί αποκλειστικά την ιδέα που είχε για την ανάπτυξη μιας συσκευής που ο ίδιος ονόμασε «Λέιζερ». Πιστεύοντας ότι έπρεπε να κατασκευάσει ένα πρωτότυπο που να λειτουργεί για να



λάβει την πατέντα, αμέλησε να υποβάλει την αίτησή του μέχρι το 1959, με αποτέλεσμα μια δικαστική διαμάχη για την πατρότητα του Λέιζερ (έχοντας ως αντιπάλους του το δίδυμο Charles Townes και Arthur Schawlow) που κράτησε περίπου 20 χρόνια, ως τη χρονιά που τελικά του δόθηκε το πολυπόθητο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.

Grimaldi Francesco Maria (Γκριμάλντι Φραντσέσκο)

Ιταλός, 1618–1663 μ.Χ.

Φυσικός, μαθηματικός.

Ένας από τους μεγαλύτερους μαθηματικούς και φυσικούς της εποχής του και εξαιρετικός παρατηρητής στον τομέα της οπτικής, ανακάλυψε και περιέγραψε το φαινόμενο της περίθλασης.

Ήταν από τους πρώτους που θεώρησε ότι το φως έχει κυματική φύση.



H

Heisenberg Carl Werner (Χάιζενμπερκ Καρλ Βέρνερ)

Γερμανός, 1901–1976 μΧ

Φυσικός.

Γνωστός για την «αρχή της απροσδιοριστίας» που εκφράζει το γεγονός ότι είναι αδύνατο να γνωρίζουμε τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου ταυτόχρονα.

Υπεύθυνος για επαναστατικές αλλαγές στη φυσική μέσω της ανάπτυξης της κβαντικής μηχανικής. Το 1932 πήρε το βραβείο Νόμπελ.



Huygens Christiaan (Χόιγκενς Κρίστιαν)

Ολλανδός, 1629–1695 μ.Χ.

Φυσικός, αστρονόμος.

Μεγαλύτερη ανακάλυψή του το γεγονός ότι κατάφερε να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά το εκκρεμές και το συσπειρωμένο ελατήριο στη μέτρηση του χρόνου σχεδιάζοντας ρολόγια ακριβείας.



K

Kepler Johannes (Κέπλερ Γιόχαν)

Γερμανός, 1571–1630 μ.Χ.

Αστρονόμος και αστρολόγος.

Είναι γνωστός για την ανακάλυψή του ότι οι πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές γύρω από τον Ήλιο. Ήταν ο πρώτος που έδωσε τη σωστή ερμηνεία για τη λειτουργία της όρασης στον άνθρωπο και ο πρώτος που περιέγραψε επιστημονικά τον τρόπο λειτουργίας του τηλεσκοπίου.



L

Lebedev Pyotr Nikolayevich (Λέμπεντεφ Πιότρ Νικολάγιεβιτς)

Ρώσος, 1866–1912 μ.Χ.

Φυσικός.

Απόδειξε ότι το φως ασκεί πίεση πάνω στα σώματα που προσπίπτει.



M

Maiman Theodore Harold (Μέιμαν Θίοντορ Χάρολντ)

Αμερικανός, 1927 μ.Χ. – σήμερα

Φυσικός.

Θεωρείται εφευρέτης του Λέιζερ όταν το 1960 κατασκευάζει την πρώτη συσκευή με συνθετικό ρουμπίνι και επαργυρωμένα άκρα για να ανακλά το φως.



Maxwell James Clerk (Μάξγουελ Τζέιμς Κλερκ)

Σκωτσέζος, 1831–1879 μ.Χ.

Φυσικός.

Ένας από τους μεγαλύτερους θεωρητικούς φυσικούς. Ασχολήθηκε με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και διατύπωσε τους νόμους για την κινητική θεωρία των αερίων.



Michelson Albert Abraham (Μάικελσον Άλμπερτ Έιμπραχαμ)

Αμερικανογερμανός, 1852–1931 μ.Χ.

Φυσικός.

Καθιέρωσε την ταχύτητα του φωτός ως θεμελιώδη σταθερά της φυσικής. Την υπολόγισε σε 299.774 km/s (δηλαδή μόλις 2 km/s λιγότερο από την πραγματική).

Το 1907 υπήρξε ο πρώτος Αμερικανός επιστήμονας που πήρε Νόμπελ φυσικής (για τις φασματοσκοπικές και μετεωρολογικές εργασίες του).



N

Newton Isaac (Ισαάκ Νιούτον (Νεύτων))

Άγγλος, 1642–1727 μ.Χ.

Φυσικός, μαθηματικός.

Το έργο του «Οι μαθηματικές αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας» που εκδόθηκε το 1687 έπαιξε καταλυτικό ρόλο στη διαμόρφωση της επιστημονικής μαθηματικής σκέψης παγκόσμια.



Διατύπωσε τους περίφημους τρεις νόμους της κίνησης, το νόμο της βαρύτητας και της ψύξης. Ως μαθηματικός είναι ιδρυτής του διαφορικού λογισμού.

Με το έργο του, το οποίο παραμένει μοναδικό, οδήγησε τη φυσική σε νέες κατευθύνσεις και έδωσε στα μαθηματικά τη δυνατότητα για νέες ερμηνείες των φυσικών φαινομένων.

P

Planck Max (Πλανκ Μαξ)

Γερμανός, 1858–1947 μ.Χ.

Φυσικός.

Γνωστός για τη θεωρία του ότι τα άτομα ταλαντώνονται και απορροφούν ή εκπέμπουν ενέργεια κατά μικρές ποσότητες («πακέτα» ή κβάντα). Το 1918 πήρε το βραβείο Νόμπελ.



Prokhorov Aleksandr Mikhaylovich (Προκόροφ Αλεξάντερ)

Σοβιετικός, 1916 μ.Χ. – 2002 μ.Χ.

Φυσικός.

Ανέπτυξε το Μείζερ, πρόγονο του Λέιζερ, συνεργαζόμενος στην αρχή με τον Nikolay Basov. Στα 1964 πήρε το βραβείο Νόμπελ μαζί με τον Basov και τον Αμερικανό φυσικό Charles Townes για την ανεξάρτητη συμβολή του στην επιστήμη των Μείζερ και Λέιζερ.



R

Roemer Olaus –ή Ole ή Olaf– Christensen (Ρέμερ Ολάους Κρίστενσεν)

Δανός, 1644–1710 μ.Χ.

Αστρονόμος.

Μέτρησε το φαινόμενο της μετάπτωσης των αστέρων Σείριος και Βέγας, παρόλο που τα αποτελέσματα δεν ήταν σωστά.

Απόδειξε οριστικά ότι το φως κινείται με καθορισμένη ταχύτητα και την υπολόγισε σε 225.000 km/s (ενώ είναι 299.793 km/s).



S

Schawlow Arthur (Σάλοου Άρθουρ)

Αμερικανός, 1921–1999 μ.Χ.

Φυσικός.

Θεωρείται συνεφευρέτης του Λέιζερ. Μαζί με τον Charles Townes εργάστηκε για την ενίσχυση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε μικρότερα μήκη κύματος υπέρυθρου και ορατού φωτός.

Μετά από σχετική δημοσίευση το 1960 έλαβαν δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στο τέλος του ίδιου έτους.

Έλαβε βραβείο Νόμπελ στα 1981 για τη συμβολή του στην επιστήμη των Λέιζερ.



T

Townes Charles (Τόουνς Τσαρλς)

Αμερικανός, 1915 μ.Χ.–σήμερα

Φυσικός.

Εφευρέτης του πρώτου Μείζερ, στα 1953. Παρόλη τη μεγάλη επιτυχία του δε σταμάτησε να σκέφτεται τον τρόπο να μεταφέρει την ίδια θεωρία σε δέσμες φωτός.

Έτσι, γεννήθηκε το Λέιζερ.

Στα 1964 πήρε το βραβείο Νόμπελ μαζί με τους Σοβιετικούς φυσικούς Aleksandr Prokhorov και Nikolay Basov για τη συμβολή του στην επιστήμη των Μείζερ και Λέιζερ.



W

Willebrord Snel van Roijen (Βίλεμπρορντ Σνελ βαν Ρόγεν)

Ολλανδός, 1591–1626 μ.Χ.

Αστρονόμος, μαθηματικός.

Γνωστός για την ανακάλυψη του νόμου της διάθλασης του φωτός, θεμελιώδους για τη γεωμετρική οπτική.



Y

Young Thomas (Γιανγκ Τόμας)

Άγγλος, 1773–1829 μ.Χ.

Φυσικός, γιατρός και αιγυπτιολόγος.

Παιδί φαινόμενο που σε ηλικία δεκαέξι ετώνμίλαγε άπταιστα δέκα γλώσσες. Το αληθινό του ενδιαφέρον όμως ήταν η φυσική.

Χρησιμοποιώντας υπεριώδεις ακτίνες απόδειξε πέρα από κάθε αμφιβολία την κυματική φύση του φωτός.



Ε. Ενδεικτική βιβλιογραφία.

Για περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να ανατρέξετε στα ακόλουθα ενδεικτικά βιβλία που αφορούν τα Λέιζερ και την Κβαντική Φυσική. Όλα φιλοξενούνται στη βιβλιοθήκη του Ιδρύματος Ευγενίδου.

- [1] Αναστασάκης, Ευάγγελος, Σύγχρονη πειραματική οπτική, Αθήνα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2002.-xvii, 290 σ., Περιλαμβάνει βιβλιογραφικές παραπομπές και ευρετήριο, ISBN 9602546077.
- [2] Αντύπας, Γεώργιος, Τα Laser στην ιατρική, Αθήνα, Γ.Μ. Παρισιάνος, 1996, 220 σ., ISBN 9603400084
- [3] Γκάμοφ, Τζωρτζ, Τριάντα χρόνια που συγκλόνισαν τη φυσική: η ιστορία της κβαντικής θεωρίας, Αθήνα, Σύλλογος προς Διάδοσιν Ωφελίμων Βιβλίων, 1971, 189 σ., (Σύλλογος προς Διάδοσιν Ωφελίμων Βιβλίων: Περίοδος δευτέρα).
- [4] Γούδη, Χρίστου Δ., Τεχνητές πηγές και ανιχνευτές φωτός, Πάτρα, 1984, 155 σ., (Εφαρμοσμένη οπτική 1).
- [5] Γραμματικάκης, Γιώργος, Η αυτοβιογραφία του φωτός, 3η έκδ., Ηράκλειο, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2006, 477 σ., (Επιστήμη και ανθρώπινος πολιτισμός / διευθυντής σειράς: Στέφανος Τραχανάς), Βιβλιογραφία, σ. 458-465, Περιλαμβάνει ευρετήριο, ISBN 9605242079.
- [6] Οικονόμου Ε.Ν., Η Φυσική σήμερα, ο κόσμος ο μικρός, ο μέγας, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 1986.
- [7] Οπτικοηλεκτρονικά διατάξεις laser και εφαρμογές αυτών, 5η έκδ., Πύργος, ΣΕΤΤΗΛ, 1981, 335 σ.
- [8] Περσεφόνης, Πέτρος, Laser: φυσική και τεχνολογία, Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2001, xvii, 248 σ., Βιβλιογραφία: σ.249, ISBN 9607510917.
- [9] Σάγος, Γεώργιος Α. και Μαλαχίας Νικόλαος Γ., Αρχές ηλεκτρο-οπτικών συστημάτων & στρατιωτικές εφαρμογές, Αθήνα, Παπασωτηρίου, 2000.-xxvii, 363 σ., Βιβλιογραφία: σ. 357-358, Περιλαμβάνει αλφαβητικό ευρετήριο, ISBN 9607510674.
- [10] Σεραφετινίδης, Α.Α., Εισαγωγή στην οπτοηλεκτρονική, Αθήνα, Συμμετρία, 1989, 180 σ.
- [11] Bachor, Hans-A. and Ralph, Timothy C., A guide to experiments in quantum optics .-2nd ed., rev.-Weinheim, Germany : Wiley / VCH, c 2004.-xiii, 421 p.-Bibliography: p. 401-403.-Includes index.-ISBN 3527403930.
- [12] Baggott, Jim, Beyond measure : modern physics, philosophy, and the meaning of quantum theory.-Oxford : Oxford University Press, 2004.-xvi, 379 p. : ill.-Bibliography: p.[357]-363. Includes indexes.-ISBN 0198525362.
- [13] Barrow, John D. Davies, Paul C. W. and, Harper, Charles L (ed.), Science and ultimate reality: quantum theory, cosmology, and complexity.-Cambridge: Cambridge University Press, c2004.-xx, 721 p.-Includes bibliographical references and index.-ISBN 052183113X.
- [14] Blaker, J. Warren and Schaeffer, Peter, Optics: an introduction for technicians and technologists.- Upper Saddle River, New Jersey : Prentice-Hall, c 2000.-viii, 229 p. : ill. -Includes index.-ISBN 0132277948.
- [15] Dawes, Christopher, Laser welding: a practical guide.-Cambridge: Abington, 1992.-x, 258 p. -ISBN 1855730340.
- [16] Demtroder, Wolfgang, Laser spectroscopy: basic concepts and instrumentation.-3rd ed.-Berlin; Heidelberg: Springer, c2003.-xx, 987 p.- (Physics and astronomy online library).-Bibliography: p. 893-977.-Includes subject index.-ISBN 3540652256.
- [17] Grimes, Dale M. and Grimes, Craig A., The electromagnetic origin of quantum theory and light.-New Jersey : World Scientific, c 2002.-xvi, 447 p.-Includes bibliographical references and index.-ISBN 9810247850.
- [18] Hawkes, John and Latimer, Ian, Lasers : theory and practice.-New York : Prentice-Hall, c 1995.-xiv, 520 p.- (Prentice Hall international series in optoelectronics).-ISBN 0135214939.
- [19] Hey, Tony και Walters, Patrick Το κβαντικό Σύμπαν : μια συναρπαστική περιήγηση στον κόσμο των κβάντων.-2η έκδ.-Αθήνα : Κάτοπτρο, 1992.-255 σ.-Τίτλος πρωτοτύπου: The quantum universe.-Περιλαμβάνει λεξιλόγιο.-ISBN 9607023157.

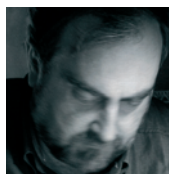
- [20] Ion, John C., Laser Processing of Engineering Materials principles, procedure and industrial application.– Amsterdam; Boston : Elsevier/Butterworth–Heinemann, 2005.–xviii, 556 p. : ill. ; 26 cm.–ISBN 0750660791.
- [21] Kuhn, Keln, Laser engineering.–Upper Saddle River, NJ: Prentice–Hall, c 1998.–xiv, 498 p.–ISBN 0023669217.
- [22] Laufer, Gabriel, Introduction to Optics and Lasers in Engineering.–Cambridge: Cambridge University Press, 2005.–xvii, 496p: ill.–ISBN 0521017629.
- [23] Luxon, James T. and Parker, David E., Industrial lasers and their applications.–2nd ed.–Englewood Cliffs, NJ: Prentice–Hall, c1992.–xvi, 301 p.–ISBN 0134595386.
- [24] Luxon, James T., Industrial lasers and their applications.– 2nd ed.–Englewood Cliffs, NJ: Prentice–Hall, c1992.–xvi, 301 p. –ISBN 0134595386.
- [25] Lynch, David K. and Livingston, William, Color and light in nature.–2nd ed.–Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2001.–x, 277 p. : ill. (some col.) .–Includes bibliographical references, glossary and index.–ISBN 0521775043.
- [26] March Robert, Φυσική για ποιητές, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 1995 –ISBN 9607140567.
- [27] Meschede, Dieter, Optics, light and lasers : the practical approach to modern aspects of photonics and laser physics / ; translators Dorothea Gauer and Markus Mauerer.– Weinheim, Germany : Wiley / VCH, c2004.–ix, 410 p.: ill. –Original title: Optik, Light und Laser.–Bibliography: p.[397]–402. Includes index.–ISBN 3527403647.
- [28] Miller, Gary M.Modern electronic communication.–6th ed.–Upper Saddle River, NJ : Prentice–Hall, 1999.–xix, 794 p.–Includes glossary, list of acronyms and index.–ISBN 0139272372.
- [29] Rae, Alastair I.M., Quantum physics, illusion or reality? –2nd ed.–Cambridge : Cambridge University Press, 2004.–155 p. ; 22 cm. –Bibliography: p.149–152.–Includes index.–ISBN 0521542669.
- [30] Serway, Raymond A., Moses, Clement J, Moyer, Curt A., Σύγχρονη φυσική.–Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2000.–xv, 591 σ.–(Πανεπιστημιακή βιβλιοθήκη θετικών επιστημών / διευθυντής Στέφανος Τραχανάς).– Τίτλος πρωτοτύπου: Modern Physics.–Εκδότης πρωτ.: Saunders College Publishing.–Περιλαμβάνει ευρετήριο.–ISBN 9605240599.
- [31] Silfvast, William T, Laser fundamentals.–Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2004.–xxiv, 642 p.: ill.; 26 cm.–Includes bibliographical references and index. –ISBN 0521833450.
- [32] Steen, William M., Laser material processing.–2nd ed.–London : Springer, 1998.–xiv, 346 p.–with 234 figures. –ISBN 3540761748.
- [33] Tilley, Richard J. D.Colour and optical properties of materials: an exploration of the relationship between light, the optical properties of materials and colour.–Chichester: Wiley, c 2000.–xii, 335 p.–ISBN 0471851981.
- [34] Waldman, Gary, Introduction to light : the physics of light, vision, and color.–Mineola, New York : Dover, 2002.–ix, 228 p. –Includes index.–ISBN 048642118X.
- [35] Weber, Marvin J., Handbook of lasers.–Boca Raton : CRC, c2001.–1198 p.–(Laser and optical science and technology series / editor–in–chief: Marvin J. Weber).–Includes index.–ISBN 0849335094.
- [36] Weiss, Richard J., A brief history of light and those that lit the way.–Singapore ; New Jersey : World Scientific, 1996.–vii, [2], 176 p.–(Series in popular science; v.1).– Bibliography: p. 175–176.–ISBN 9810223781.
- [37] Zare, Richard N. [et al.], Laser experiments for beginners.– Sausalito, CA : University Science Books, 1995.–xvi, 232 p.–ISBN 0935702369.



Νικόλαος Μ. Αφεντάκης

Διπλ. Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης, Προγραμματιστής και Interactive Designer. Μεταπτυχιακός υπότροφος στο τμήμα ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ειδικότητα και χόμπι του τα εικονικά περιβάλλοντα που συνδυάζονται με εκπαιδευτικές διαδικασίες. Δραστηριοποιείται στη σχεδίαση και κατασκευή πλήρως μελετημένων εικονικών μοντέλων ιστορικών πλοίων. Στο ενεργητικό του περιλαμβάνονται εργονομικές μελέτες (όπως σήμανσης, επικοινωνίας κ.λπ.), εφαρμογές διαδικτύου, σχεδιασμός διαδραστικών περιβαλλόντων, παραγωγή έντυπου επικοινωνιακού υλικού σε συνεργασίες με ιδιωτικούς και Δημόσιους φορείς.

nikosafentakis@gmail.com



Σταύρος Δ. Μουσταϊδής

Φυσικός, Διδακτορικές σπουδές στην Πολυτεχνική σχολή του Παρισιού. Εξειδίκευση και πλούσιο ερευνητικό έργο στη Φυσική Πλάσματος, στην αλληλεπίδραση Λέιζερ και ύλης, στην τεχνολογία των Λέιζερ. Αναπληρωτής Καθηγητής του Πολυτεχνείου Κρήτης και Διευθυντής του Εργαστηρίου Δομής της Ύλης και Φυσικής Λέιζερ του ίδιου Πολυτεχνείου. Έχει ασχοληθεί εκτεταμένα και με μεγάλη εμπειρία στην έρευνα και ανάπτυξη οπτοηλεκτρονικών συστημάτων, οργάνων και διαγνωστικών διατάξεων με πολυάριθμες εφαρμογές (όπως φασματοσκοπία με χρήση λέιζερ για ανίχνευση βλαβερών ουσιών, στην βιο-μηχανική και ιατρική).

moustaid@science.tuc.gr



Ελευθερία Σ. Σεργάκη

Φυσικός του Αριστοτελείου Παν. Θεσ/νίκης, Μ.Δ.Ε. του Τμήματος ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης, Υποψήφια Διδάκτωρ του Πολυτεχνείου Κρήτης στο ίδιο Τμήμα. Εργάζεται ως Ειδικό Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (Ε.Ε.ΔΙ.Π.) στο εργαστήριο Δομής της Ύλης και Φυσικής Λέιζερ του Πολυτεχνείου Κρήτης. Διαθέτει εμπειρία στο σχεδιασμό και κατασκευή πειραματικών διατάξεων για τη διδασκαλία της Φυσικής καθώς και στη συγγραφή θεμάτων πειραματικής Φυσικής. Συντονίστρια και επιστημονική υπεύθυνη έργων συγγραμμάτων εκπαίδευσης που έχουν διακριθεί για λογαριασμό της α' βάθμιας και β' βάθμιας εκπαίδευσης.

elefsergaki@gmail.com

*Μία φωτεινή δέσμη ενός Λέιζερ,
φωτογραφημένη με μεγάλη χρονική έκθεση,
ανακλάται στην επιφάνεια των καθρεπτών.*



