

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

3ος τόμος

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Νικόλαος Αντωνίου, Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών
Παναγιώτης Δημητριάδης, Φυσικός Εκπαιδευτικός
B/θμιας Εκπ/σης
Κων/νος Καμπούρης, Φυσικός Εκπαιδευτικός B/θμιας
Εκπ/σης
Κων/νος Παπαμιχάλης, Φυσικός Εκπαιδευτικός B/θμιας
Εκπ/σης
Λαμπρινή Παπατσίμπα, Φυσικός Εκπαιδευτικός
B/θμιας Εκπ/σης

ΚΡΙΤΕΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ

Κωνσταντίνος Κρίκος, Σχολικός Σύμβουλος
Πέτρος Περσεφόνης, Αναπληρωτής Καθηγητής
Πανεπιστημίου Πατρών(Τμήμα Φυσικής)
Γεώργιος Τουντουλίδης, Φυσικός, Εκπαιδευτικός
B/θμιας Εκπ/σης

ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ

Θεόφιλος Χατζητσομπάνης, Μηχανικός ΕΜΠ,
Εκπαιδευτικός

ΦΙΛΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Βασιλική Αναστασοπούλου, Φιλόλογος

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΟΕΡΓΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΓΓΡΑΦΗ

Γεώργιος Κ. Παληός, Σύμβουλος του Π.Ι.

ΕΞΩΦΥΛΛΟ

Καραβούζης Σαράντης, Ζωγράφος

ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

ΑΦΟΙ Ν. ΠΑΠΠΑ & ΣΙΑ Α.Ε.Β.Ε.,

Ανώνυμος Εκδοτ. & Εκτυπ. Εταιρεία

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Νικόλαος Αντωνίου
Παναγιώτης Δημητριάδης
Κωνσταντίνος Καμπούρης
Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης
Λαμπρινή Παπατσίμπα**

ΑΝΑΔΟΧΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ:

Ελληνικά Γράμματα

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Τόμος 3ος

Γ' Κ.Π.Σ. / ΕΠΕΑΕΚ II / Ενέργεια 2.2.1 / Κατηγορία Πράξεων 2.2.1.α: «Αναμόρφωση των προγραμμάτων σπουδών και συγγραφή νέων εκπαιδευτικών πακέτων»

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Δημήτριος Γ. Βλάχος Ομότιμος Καθηγητής του Α.Π.Θ
Πρόεδρος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου

Πράξη με τίτλο: «Συγγραφή νέων βιβλίων και παραγωγή υποστηρικτικού εκπαιδευτικού υλικού με βάση το ΔΕΠΠΣ και τα ΑΠΣ για το Γυμνάσιο»

Επιστημονικός Υπεύθυνος Έργου

Αντώνιος Σ. Μπομπέτσης

Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου

Αναπληρωτής Επιστημ. Υπεύθ. Έργου

Γεώργιος Κ. Παληός

Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου **Ιγνάτιος Ε.**

Χατζηευστρατίου Μόνιμος Πάρεδρος του Παιδαγ.

Ινστιτ.

Έργο συγχρηματοδοτούμενο 75% από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και 25% από εθνικούς πόρους.

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ

Ομάδα εργασίας για το Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

Προσαρμογή: **Σταθοπούλου Δάφνη**

Επιμέλεια: **Παπαναστασίου Δήμητρα**

Επιστημονικός υπεύθυνος: **Βασίλης Κουρμπέτης,**

Σύμβουλος Α' του Υ.ΠΟ.ΠΑΙ.Θ

**Υπεύθυνη του έργου: Μαρία Γελαστοπούλου,
M.Ed. Ειδικής Αγωγής**

**Τεχνική υποστήριξη: Κωνσταντίνος Γκυρτής,
Δρ. Πληροφορικής**

μια μικρή ιστορία...

Η Ολυμπιακή φλόγα είναι σύμβολο των Ολυμπιακών Αγώνων. Πριν από την έναρξη των Ολυμπιακών Αγώνων στην τελετή αφής, που γίνεται στο ιερό της Ήρας στην Αρχαία Ολυμπία έντεκα ιέρειες (ηθοποιοί) παγιδεύουν το ηλιακό φως και ανάβουν τη δάδα. Πώς το πετυχαίνουν αυτό; Η πρωθιέρεια τοποθετεί τη δάδα στο κέντρο κοίλου παραβολικού καθρέφτη. Οι ακτίνες του ήλιου ανακλώνται και συγκλίνουν πάνω στη δάδα. Η θερμοκρασία της δάδας αυξάνεται τόσο, ώστε να προκαλέσει ανάφλεξη του εύφλεκτου υλικού που περιέχει. Στη συνέχεια η φλόγα μεταλαμπαδεύεται στη δάδα του πρώτου λαμπαδηδρόμου. Από την Αρχαιότητα η τελετή αυτή αποτελεί την ανάμνηση της αρπαγής από τον Προμηθέα της φωτιάς του Δία. Εκείνη την εποχή οι Ολυμπιακοί Αγώνες γίνονταν στην Ολυμπία και η Ολυμπιακή φλόγα κρατούνταν αναμμένη καθ' όλη τη διάρκεια των αγώνων. Τι είναι ένας καθρέφτης και πώς επηρεάζει την πορεία διάδοσης του φωτός;



Σε αυτό το κεφάλαιο:

- Θα μελετήσεις την ανάκλαση του φωτός καθώς και τους νόμους που τη διέπουν
- Θα γνωρίσεις πως σχηματίζονται τα είδωλα σε κοίλους και σε κυρτούς σφαιρικούς καθρέφτες

ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

ΤΟ ΦΩΣ ΕΠΙΣΤΡΕΦΕΙ

Πολλές φορές βλέπουμε εικόνες αντικειμένων που σχηματίζονται σε έναν καθρέφτη ή στη λεία επιφάνεια του νερού (εικόνα 7.1). Ο άνθρωπος αντίκρισε για πρώτη φορά το πρόσωπό του στην ήρεμη επιφάνεια του νερού.

Εικόνα 7.1

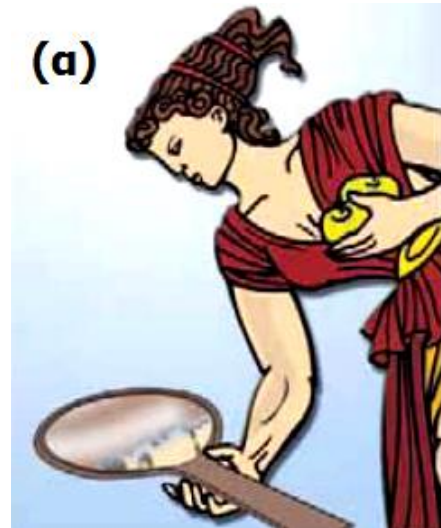
Όταν η επιφάνεια του νερού είναι τελείως λεία, τότε η εικόνα του αντικείμενου είναι καθαρή. Όταν η επιφάνεια είναι ταραγμένη, η εικόνα γίνεται θολή.



Στη Σύρο σε τάφους της νεολιθικής εποχής (3000 π.Χ.) βρέθηκαν τηγανόσχημα πήλινα σκεύη που πιθανόν χρησιμοποιούνταν ως καθρέφτες. Οι κάτοικοι του νησιού τοποθετούσαν νερό μέσα σε αυτά και καθρεφτίζονταν στην ήρεμη επιφάνειά του (εικόνα 7.2.α). Μεταλλικοί καθρέφτες (συνήθως από χαλκό) χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά κατά την εποχή του χαλκού (3000-1000 π.Χ.) (εικόνα 7.2.β). Με έναν καθρέφτη είναι δυνατόν να αλλάξουμε την κατεύθυνση μιας δέσμης φωτός.

Εικόνα 7.2(α)

Οι άνθρωποι αρχικά καθρεφτίζονταν στην ήρεμη επιφάνεια του νερού.



Εικόνα 7.2(β)

Χάλκινος καθρέφτης του 2.500 π.Χ.



7.1 Ανάκλαση του φωτός

Στο κεφάλαιο 6 είδαμε ότι ένα ετερόφωτο αντικείμενο γίνεται ορατό όταν το φωτίσουμε και ένα μέρος του φωτός που πέφτει πάνω του επανεκπέμπεται και φθάνει στο μάτι μας.

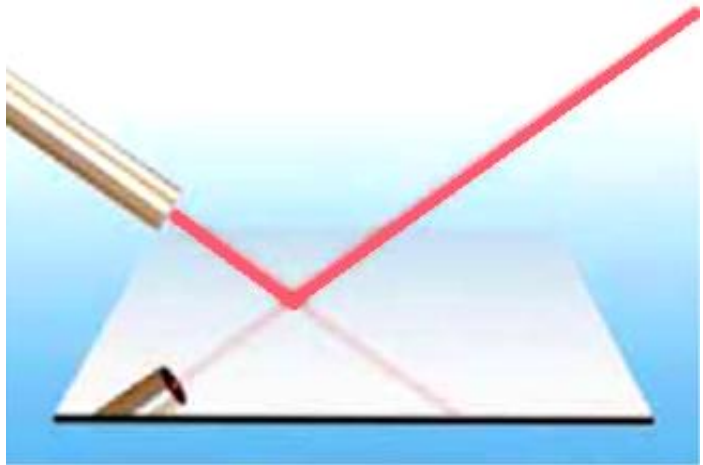
Τα δύο παραπάνω φαινόμενα συνδέονται στενά μεταξύ τους: σε κάθε περίπτωση το φως διαδίδεται μέσα σε ένα ομογενές μέσο (συνήθως τον αέρα), συναντά την επιφάνεια ενός αντικειμένου και αλλάζει κατεύθυνση παραμένοντας μέσα στο ίδιο μέσο. Όταν το φως συναντήσει την επιφάνεια ενός σώματος και αλλάξει διεύθυνση διάδοσης παραμένοντας μέσα στο ίδιο διαφανές υλικό, λέμε ότι ανακλάται.

Κατοπτρική ανάκλαση

Μια πολύ λεπτή φωτεινή δέσμη (όπως η δέσμη λέιζερ της εικόνας 7.3) που πέφτει στην επιφάνεια ενός καθρέφτη, μετά την ανάκλαση, ακολουθεί μια εντελώς καθορισμένη διεύθυνση. Αυτό το είδος ανάκλασης το ονομάζουμε **κατοπτρική ανάκλαση**.

Εικόνα 7.3

Η δέσμη λέιζερ ανακλάται από το επίπεδο κάτοπτρο.

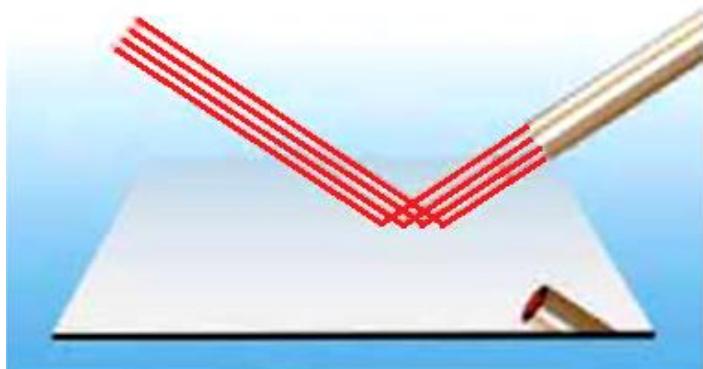


Πότε γίνεται κατοπτρική ανάκλαση;

Μια πολύ λεπτή φωτεινή δέσμη την παριστάνουμε με παράλληλες ακτίνες. Όταν η δέσμη προσπίπτει σε μια επιφάνεια που είναι λεία, όπως η επιφάνεια ενός μετάλλου, τότε όλες οι ανακλώμενες ακτίνες έχουν την ίδια κατεύθυνση (εικόνα 7.4).

Εικόνα 7.4

Οι προσπίπτουσες παράλληλες ακτίνες παραμένουν παράλληλες και μετά την ανάκλαση.



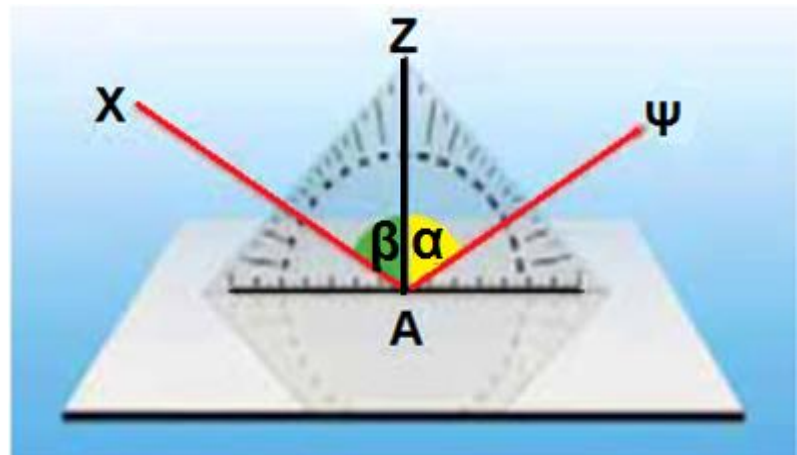
Γι' αυτό οι καθρέφτες (κάτοπτρα) διαθέτουν ένα λεπτό στρώμα αργύρου το οποίο ανακλά το φως. Κατά

τους ιστορικούς χρόνους οι μεταλλικοί καθρέφτες ήταν συνήθως από χαλκό ή άργυρο. Το 19ο αιώνα ο Γάλλος φυσικός Φουκώ επινόησε μέθοδο επικάλυψης γυαλιού με άργυρο, στην οποία βασίζεται η κατασκευή των σύγχρονων καθρεφτών. Επιδίωξη των σύγχρονων κατασκευαστών είναι οι εικόνες που σχηματίζονται από τους καθρέφτες να είναι όσο το δυνατόν πιο σαφείς και ευκρινείς.

Ποιοι κανόνες προσδιορίζουν τη διεύθυνση διάδοσης της ανακλώμενης δέσμης του φωτός στην κατοπτρική ανάκλαση;

Εικόνα 7.5

Αχ: η ακτίνα που προσπίπτει, Αψ: η ακτίνα που ανακλάται, π: η γωνία πρόσπτωσης, α: η γωνία ανάκλασης



Με την πειραματική διάταξη που απεικονίζεται στην εικόνα 7.5 μπορούμε να παρατηρήσουμε τη λεπτή δέσμη φωτός που προσπίπτει σε ένα σημείο του καθρέφτη, καθώς και την ανακλώμενη, και να σχεδιάσουμε τις αντίστοιχες ακτίνες. Η ακτίνα που προσπίπτει και η ευθεία η οποία είναι κάθετη στον καθρέφτη, στο σημείο πρόσπτωσης, σχηματίζουν μια γωνία που την ονομάζουμε γωνία πρόσπτωσης ($\hat{p}$). Αντίστοιχα η κάθετη και η ανακλώμενη ακτίνα σχηματίζουν μια άλλη γωνία που την ονομάζουμε γωνία ανάκλασης ($\hat{a}$).

Όποια και να είναι η διεύθυνση της προσπίπτουσας ακτίνας μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι:

1. η προσπίπτουσα, η ανακλώμενη ακτίνα και η κάθετη ευθεία επάνω στον καθρέφτη (στο σημείο πρόσπτωσης) βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (εικόνα 7.5).

2. η γωνία πρόσπτωσης ($\hat{\pi}$) είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης ($\hat{\alpha}$) (εικόνα 7.5):

$$(\hat{\pi})=(\hat{\alpha})$$

Οι προτάσεις (1) και (2) ονομάζονται νόμοι της κατοπτρικής ανάκλασης του φωτός.

Διάχυση

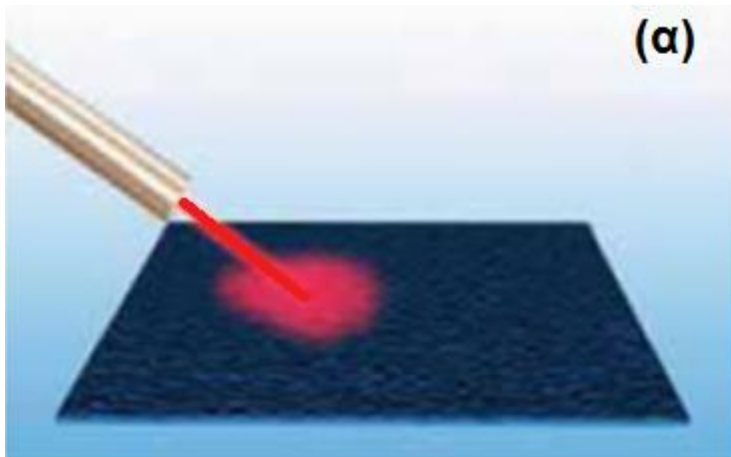
Όταν μια πολύ λεπτή φωτεινή δέσμη συναντά ένα λευκό φύλλο χαρτί, δεν μπορούμε να διακρίνουμε ανακλώμενη δέσμη. Τα αντικείμενα δεν καθρεφτίζονται πάνω σε αυτό. Από το χαρτί το φως διαδίδεται προς κάθε κατεύθυνση (εικόνα 7.6α). Σε κάθε τέτοια ανάλογη περίπτωση λέμε ότι το φως διαχέεται και το αντίστοιχο είδος ανάκλασης το ονομάζουμε **διάχυση**. Διάχυση συμβαίνει όταν η επιφάνεια που συναντά το φως είναι τραχιά, όπως του χαρτιού.

Λόγω της διάχυσης μπορούμε να βλέπουμε τα αντικείμενα όταν φωτίζονται, να παρατηρούμε την υφή και το χρώμα τους και να τα διακρίνουμε από το περιβάλλον τους. Την ημέρα σε ένα δωμάτιο μπορεί να υπάρχει φως χωρίς αυτό να φωτίζεται απευθείας από τον ήλιο. Το φως του ήλιου διαχέεται από τα μόρια του αέρα και εισέρχεται στο δωμάτιο.

Γιατί μια τραχιά επιφάνεια διαχέει το φως;

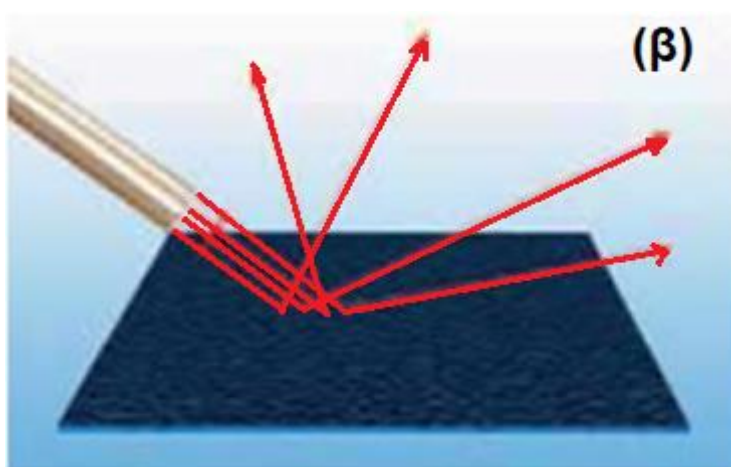
Μπορούμε να υποθέσουμε ότι μια τραχιά επιφάνεια αποτελείται από πολλούς μικροσκοπικούς καθρέφτες με τυχαίους προσανατολισμούς (εικόνα 7.6β).

Σε κάθε μικροσκοπικό καθρέφτη το φως υφίσταται κατοπτρική ανάκλαση. Επειδή όμως οι μικροσκοπικοί καθρέφτες έχουν τυχαίους προσανατολισμούς, οι ανακλώμενες από αυτούς ακτίνες μιας παράλληλης προσπίπτουσας δέσμης έχουν τυχαίες διευθύνσεις. Επομένως η λεπτή δέσμη φωτός μετά την ανάκλασή της στην τραχιά επιφάνεια διαχέεται προς κάθε κατεύθυνση.



Εικόνα 7.6

(α) Η δέσμη λέιζερ διασκορπίζεται πάνω στην τραχιά επιφάνεια.



(β) Οι παράλληλες ακτίνες μετά την ανάκλαση αποκτούν διαφορετικές κατευθύνσεις.

Φυσική και Γεωμετρία

Ανάκλαση και αρχή του ελάχιστου χρόνου

Οι νόμοι της ανάκλασης μπορούν να ερμηνευθούν με την αρχή του ελάχιστου χρόνου. Πράγματι στην περίπτωση που το φως διαδίδεται σε ομογενές υλικό η ταχύτητά του θα είναι σταθερή.

Επομένως η διαδρομή που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο είναι αυτή που έχει το ελάχιστο μήκος. Στη διπλανή εικόνα έχουμε σχεδιάσει πιθανές πορείες διάδοσης του φωτός από το λαμπτήρα στον καθρέφτη και από τον καθρέφτη στο μάτι.

Αν μετρήσουμε το μήκος κάθε διαδρομής, διαπιστώνουμε ότι η διαδρομή με το μικρότερο μήκος είναι η ενδιάμεση. Σύμφωνα με την αρχή του ελάχιστου χρόνου, το φως θα ακολουθήσει κατά τη διάδοσή του αυτή τη διαδρομή. Μπορούμε επίσης να μετρήσουμε τις γωνίες πρόσπτωσης και ανάκλασης και να επαληθεύσουμε ότι είναι ίσες.

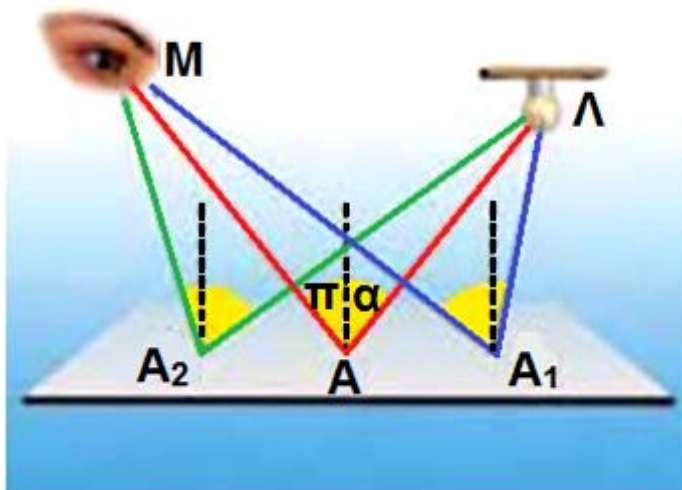
Χρησιμοποιώντας την αρχή του ελάχιστου χρόνου μπορούμε να αποδείξουμε τον νόμο της κατοπτρικής ανάκλασης;

Αρχικά διατυπώνουμε το ερώτημα με ακρίβεια και σαφήνεια χρησιμοποιώντας τη γλώσσα των Μαθηματικών.

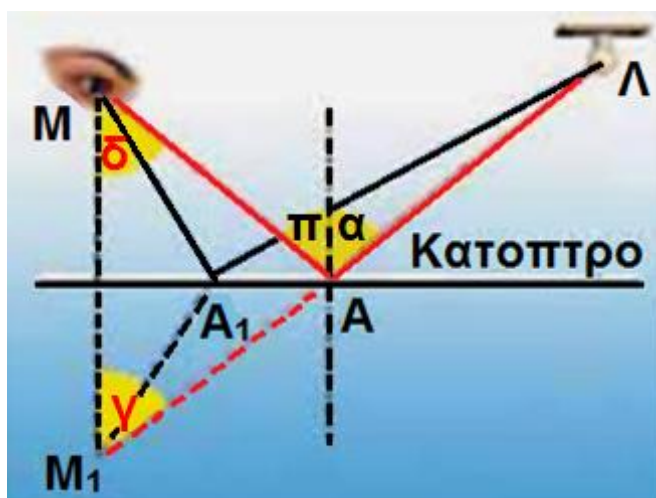
Μαθηματική διατύπωση: Αναζητούμε ένα σημείο A που να ανήκει στο επίπεδο (κάτοπτρο) έτσι ώστε το μήκος $ΛΑ+ΑΜ$ να είναι το ελάχιστο δυνατό.

Απόδειξη: Βρίσκω το σημείο M_1 συμμετρικό του M ως προς το επίπεδο. Συνδέω το M_1 με το $Λ$, η ευθεία $M_1Λ$ συναντά το επίπεδο στο A . Το A είναι το ζητούμενο σημείο.

Πράγματι: $ΑΜ=ΑΜ_1$ επομένως $ΛΑ+ΑΜ=ΛΑ+ΑΜ_1$ ή $ΛΑ+ΑΜ=M_1Λ$. Πρέπει να αποδείξω ότι το $M_1Λ$ είναι το ελάχιστο μήκος. Λαμβάνω ένα τυχαίο σημείο A_1 στο επίπεδο. Θα αποδείξω ότι: $ΛΑ_1+A_1M>M_1Λ$.



Οι πορείες $\Lambda A_1 M$ και $\Lambda A_2 M$ δεν ακολουθούν το νόμο της κατοπτρικής ανάκλασης. Η πορεία $\Lambda A M$ ακολουθεί το νόμο της κατοπτρικής ανάκλασης. Το μήκος της τελευταίας είναι μικρότερο από το μήκος των άλλων δύο.



$A_1 M = A_1 M_1$ ή $\Lambda A_1 + A_1 M = \Lambda A_1 + A_1 M_1$, όμως παρατηρώντας το σχήμα και γνωρίζοντας ότι μεταξύ δύο σημείων ο συντομότερος δρόμος είναι το ευθύγραμμο τμήμα που τα συνδέει συμπεραίνουμε ότι $\Lambda A_1 + A_1 M > M_1 \Lambda$, δηλαδή η διαδρομή $\Lambda A + A M$ είναι η ελάχιστη δυνατή και επομένως το φως, καθώς διαδίδεται από το Α στο Μ μέσω του κατόπτρου, θα διέλθει από το Α. Παρατηρώντας το σχήμα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η γωνία $\hat{\pi} = \hat{\delta} = \hat{\gamma} = \hat{\alpha}$, δηλαδή $\hat{\pi} = \hat{\alpha}$.

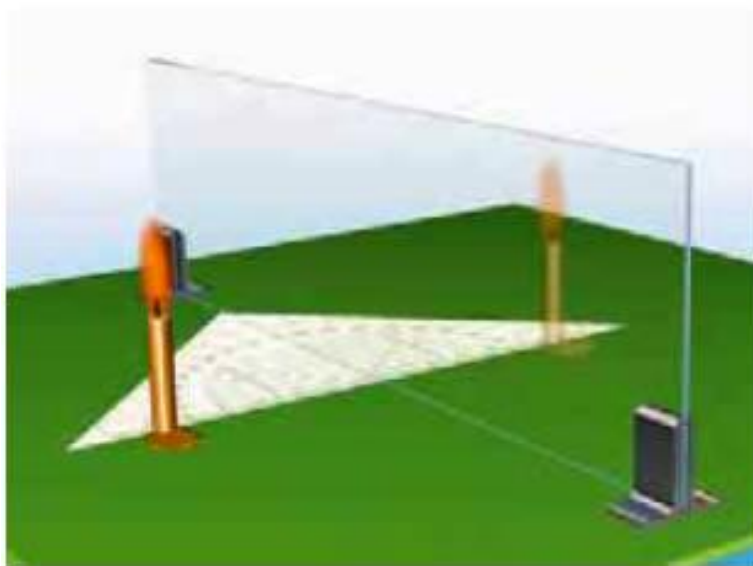
Μεταφράζουμε το συμπέρασμα στη γλώσσα της Φυσικής: Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης

7.2 Εικόνες σε καθρέφτες: είδωλα

Τοποθέτησε ένα τριαντάφυλλο μπροστά από έναν καθρέφτη. Παρατηρείς να σχηματίζεται η εικόνα του σε αυτόν. Η εικόνα ενός αντικειμένου που σχηματίζεται από έναν καθρέφτη (κάτοπτρο) ονομάζεται είδωλο.

Πώς μπορούμε να προσδιορίσουμε το είδος, τη θέση και το μέγεθος ενός ειδώλου;

Με ένα τζάμι σχηματίζουμε το είδωλο ενός κεριού. Σημειώνουμε τη θέση του ειδώλου από την άλλη μεριά του τζαμιού. Με ένα υποδεκάμετρο μετράμε τα μεγέθη κεριού και ειδώλου, καθώς και τις αποστάσεις τους από το τζάμι (εικόνα 7.7). Διαπιστώνουμε ότι το είδωλο έχει το ίδιο μέγεθος με το κερί. Επίσης η απόσταση μεταξύ του κεριού και του τζαμιού είναι ίση με την απόσταση μεταξύ του ειδώλου και του τζαμιού.



Εικόνα 7.7

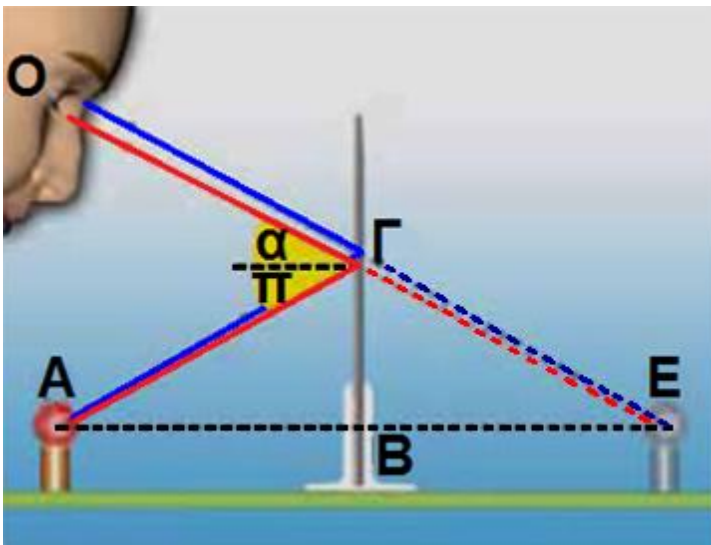
Προσδιορισμός της θέσης του ειδώλου σε επίπεδο καθρέφτη.

Επίπεδοι καθρέφτες

Πώς σχηματίζεται το είδωλο ενός αντικειμένου;

Όλες οι φωτεινές ακτίνες που προέρχονται από το σημείο Α του αντικειμένου ανακλώνται στον επίπεδο καθρέφτη και αλλάζουν κατεύθυνση (εικόνα 7.8). Οι

προεκτάσεις τους συναντώνται στο σημείο E. Στο μάτι του παρατηρητή φτάνουν κάποιες από τις ανακλώμενες ακτίνες. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος που είναι συνηθισμένος στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός προεκτείνει αυτές τις ακτίνες ευθύγραμμα και τοποθετεί το είδωλο στο σημείο τομής τους. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο παρατηρητής βλέπει ένα φωτεινό σημείο E πίσω από την επιφάνεια του καθρέφτη. Το E που είναι το σημείο τομής των προεκτάσεων όλων των ανακλώμενων ακτίνων που προέρχονται από το σημείο A και αποτελεί το είδωλο του A. Κάθε είδωλο που σχηματίζεται από τις προεκτάσεις ανακλωμένων ακτίνων ονομάζεται **φανταστικό**. Τα είδωλα που σχηματίζουν οι επίπεδοι καθρέφτες είναι πάντοτε φανταστικά.



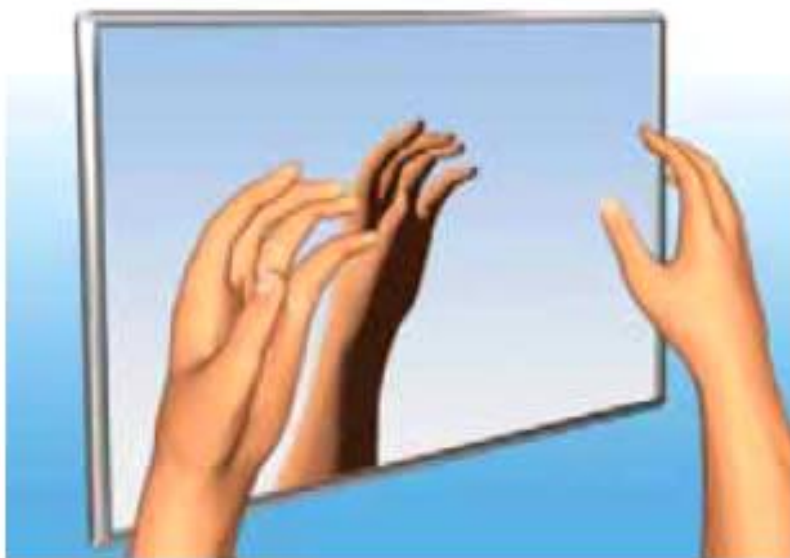
Εικόνα 7.8

Οι προεκτάσεις των ανακλώμενων φωτεινών ακτίνων που προέρχονται από το A τέμνονται στο E.

Πώς μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση του ειδώλου σε έναν επίπεδο καθρέφτη;

Για να προσδιορίζουμε τη θέση του ειδώλου, θα εφαρμόσουμε τους νόμους της κατοπτρικής ανάκλασης. Θεωρούμε δύο ακτίνες που ξεκινούν από το A. Την AΓ που ανακλώμενη ΓΟ (εικόνα 7.8) φθάνει στο μάτι μας και την AB που είναι κάθετη στον καθρέφτη και ανακλάται στην ίδια διεύθυνση.

Σύμφωνα με το νόμο της ανάκλασης η γωνία πρόσπτωσης $\hat{\pi}$ είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης $\hat{\alpha}$. Χρησιμοποιώντας τις γνώσεις μας από τη Γεωμετρία συγκρίνουμε τα τρίγωνα $AB\Gamma$ και $EB\Gamma$ (εικόνα 7.8). Συμπεραίνουμε ότι $AB\Gamma = EB\Gamma$ και άρα $AB = EB$. Προκύπτει, επομένως, ότι σε έναν επίπεδο καθρέφτη η απόσταση κάθε σημείου του ειδώλου από τον καθρέφτη είναι ίση με την απόσταση κάθε σημείου του αντικειμένου από τον καθρέφτη. Δηλαδή το είδωλο είναι συμμετρικό του αντικειμένου ως προς τον καθρέφτη και επομένως το είδωλο είναι ίσο σε μέγεθος με το αντικείμενο.



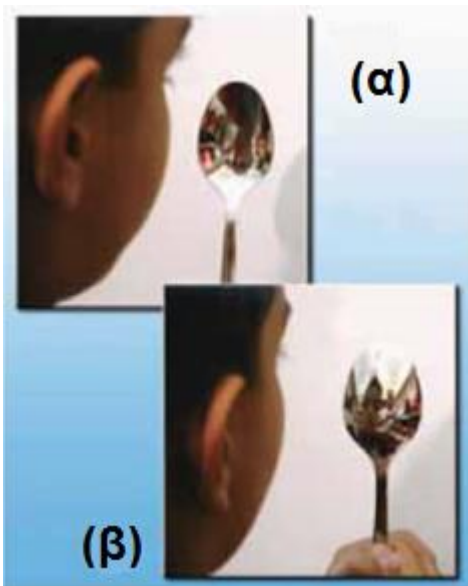
Εικόνα 7.9

Και το δεξί γίνεται αριστερό! Αν τοποθετήσουμε την παλάμη του δεξιού μας χεριού απέναντι και παράλληλα από ένα επίπεδο καθρέφτη, το είδωλο που προκύπτει είναι το αριστερό μας χέρι.

Καμπύλοι καθρέφτες

Στην καθημερινή ζωή δεν χρησιμοποιούμε μόνον επίπεδους καθρέφτες αλλά και καμπύλους. Καμπύλοι καθρέφτες υπάρχουν στα αυτοκίνητα, στις διασταυρώσεις των δρόμων κ.α.

Καμπύλος καθρέφτης είναι η εσωτερική και η εξωτερική επιφάνεια ενός καλογυαλισμένου κουταλιού. Όταν η ανακλαστική επιφάνεια είναι καμπύλη προς τα μέσα, όπως η εσωτερική επιφάνεια του κουταλιού, τον καθρέφτη τον ονομάζουμε **κοίλο**. Όταν είναι καμπύλη προς τα έξω, όπως η εξωτερική επιφάνεια του κουταλιού, τον ονομάζουμε **κυρτό** (εικόνα 7.10).



Εικόνα 7.10

Δύο είδη καμπύλων καθρεφτών:
(α) κυρτός, (β) κοίλος

Σφαιρικοί καθρέφτες. Εστία σφαιρικών καθρεφτών.

Όταν η ανακλαστική επιφάνεια ενός καθρέφτη είναι τμήμα μιας σφαίρας, ο καθρέφτης ονομάζεται σφαιρικός. Ένας σφαιρικός καθρέφτης μπορεί να είναι κοίλος ή κυρτός (εικόνα 7.11).

Εικόνα 7.11

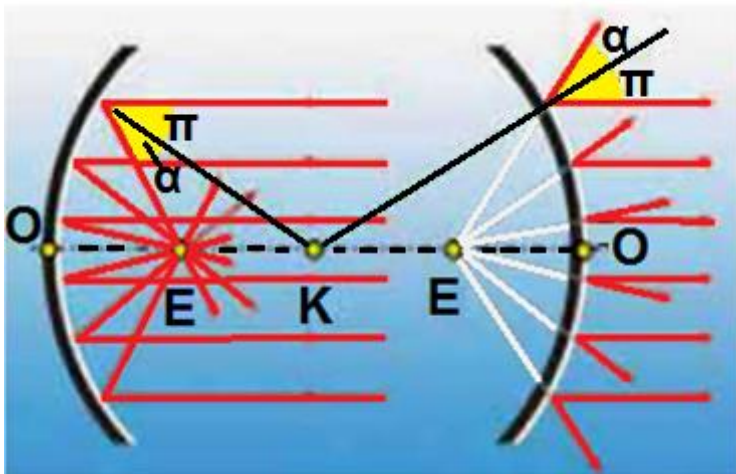
Η επιφάνεια μιας χριστουγεννιάτικης μπάλας είναι ένας σφαιρικός καθρέφτης.



Πώς ανάβει η δάδα κατά την τελετή της αφής της ολυμπιακής φλόγας;

Φωτεινές ακτίνες παράλληλες μεταξύ τους (όπως οι ακτίνες του ηλιακού φωτός), μετά την ανάκλασή τους επάνω σε κοίλο καθρέφτη, συγκλίνουν σε ένα σημείο (εικόνα 7.12). Αν η δάδα τοποθετηθεί σε αυτό το σημείο, τότε ανάβει.

Αντιθέτως φωτεινές ακτίνες παράλληλες μεταξύ τους, μετά την ανάκλασή τους επάνω σε κυρτό καθρέφτη, αποκλίνουν. Οι προεκτάσεις τους συγκλίνουν σε ένα σημείο πίσω από τον καθρέφτη (εικόνα 7.12).



Εικόνα 7.12

Κέντρο Κ, κύρια εστία Ε, οπτικός άξονας ΚΕ, ακτίνα καμπυλότητας, εστιακή απόσταση

Το σημείο Ε στο οποίο συγκλίνουν οι ανακλώμενες ακτίνες ή οι προεκτάσεις τους το ονομάζουμε κύρια εστία του κοίλου ή του κυρτού καθρέφτη αντίστοιχα.

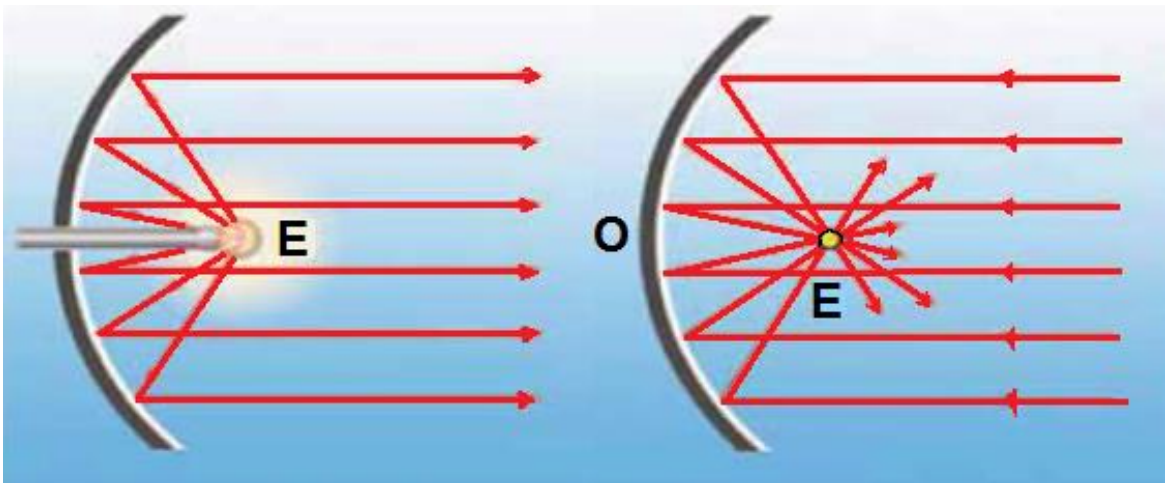
Σε ένα σφαιρικό καθρέφτη το κέντρο Κ της σφαίρας ονομάζεται κέντρο του καθρέφτη και η ακτίνα της σφαίρας ονομάζεται ακτίνα καμπυλότητας και συμβολίζεται με R . Την ευθεία ΚΕ που συνδέει το κέντρο του καθρέφτη με την κύρια εστία την ονομάζουμε κύριο άξονα. Το σημείο τομής Ο του κύριου άξονα με τον καθρέφτη ονομάζεται κορυφή του κατόπτρου. Την απόσταση ΕΟ της κύριας εστίας από την κορυφή του καθρέφτη την ονομάζουμε εστιακή απόσταση και συμβολίζεται με f . Γενι-

κά για ένα σφαιρικό καθρέφτη ισχύει: $R=2 \cdot f$.

Πώς μπορούμε να ερμηνεύσουμε τη συμπεριφορά των σφαιρικών καθρεφτών;

Κάθε σφαιρική επιφάνεια (επομένως και ένας σφαιρικός καθρέφτης) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αποτελείται από μικρές επίπεδες επιφάνειες που είναι κάθετες στην ακτίνα της σφαίρας στο αντίστοιχο σημείο. Επομένως κάθε φωτεινή ακτίνα που προσπίπτει σε ένα σημείο ο σφαιρικού καθρέφτη ανακλάται κατοπτρικά (εικόνα 7.12). Με τη βοήθεια της Γεωμετρίας αποδεικνύεται ότι φωτεινές ακτίνες παράλληλες προς τον κύριο άξονα ανακλώνται έτσι ώστε οι ανακλώμενες ακτίνες ή οι προεκτάσεις τους να περνούν από την κύρια εστία του καθρέφτη

Σύμφωνα με την αρχή της αντίστροφης πορείας του φωτός, όταν φωτεινές ακτίνες διέρχονται από την εστία ενός κοίλου καθρέφτη, μετά την ανάκλασή τους, διαδίδονται παράλληλα μεταξύ τους (εικόνα 7.13).



Εικόνα 7.13

Η αντίστροφη πορεία του φωτός

Η αντίστροφη πορεία του φωτός σε ένα κοίλο καθρέφτη

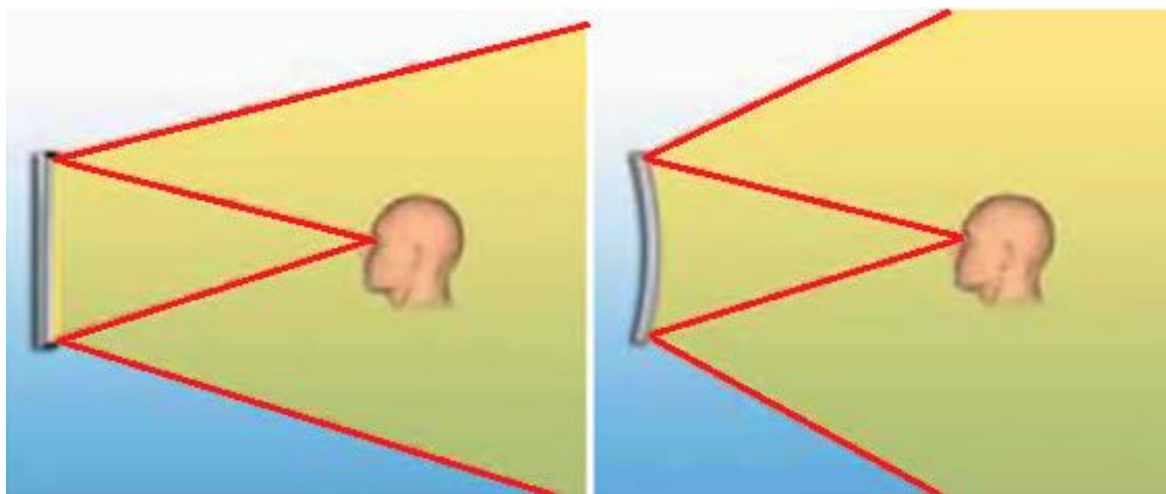
Με αυτό τον τρόπο δημιουργούμε παράλληλη δέσμη

φωτός στους προβολείς των αυτοκινήτων, θεάτρων, κέντρων διασκέδασης, γηπέδων κ.ά.

Οπτικό πεδίο

Οπτικό πεδίο μιας συσκευής ονομάζεται το τμήμα του χώρου που μπορούμε να δούμε με τη βοήθεια της συσκευής.

Τα όρια του οπτικού πεδίου ενός καθρέφτη ορίζονται από τις φωτεινές ακτίνες που, όταν ανακλώνται στα άκρα του καθρέφτη, φθάνουν στο μάτι μας. Επομένως, για να βρούμε το οπτικό πεδίο ενός καθρέφτη, ενώνουμε το μάτι μας με τα άκρα του καθρέφτη και θεωρώντας αυτά τα τμήματα ως φωτεινές ακτίνες βρίσκουμε τις ανακλώμενες. Η περιοχή που ορίζεται από αυτές τις ανακλώμενες ακτίνες και τον καθρέφτη είναι το οπτικό πεδίο (εικόνα 7.14).



Εικόνα 7.14

Οπτικό πεδίο επίπεδου και κυρτού σφαιρικού καθρέφτη.

Στους κυρτούς καθρέφτες μια παράλληλη δέσμη, μετά την ανάκλασή της, αποκλίνει. Επομένως, όταν το μάτι μας βρίσκεται στην ίδια απόσταση από ένα κυρτό και έναν επίπεδο καθρέφτη ίδιων διαστάσεων, το οπτικό πεδίο του κυρτού είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο

του επιπέδου. Τέτοιους καθρέφτες χρησιμοποιούμε στα αυτοκίνητα, στις διασταυρώσεις των δρόμων και στις υπεραγορές (εικόνα 7.15).

Εικόνα 7.15

Διεύρυνση του οπτικού πεδίου με τη χρήση κυρτού καθρέφτη.



Φυσική και καθημερινή ζωή και Τεχνολογία

Εγγραφή και ανάγνωση ενός οπτικού δίσκου (CD)

Η κατασκευή των οπτικών δίσκων (σύμπυκνων δίσκων, compact disc, CD) προκάλεσε επανάσταση στο χώρο της εγγραφής και της αναπαραγωγής μιας



πληροφορίας είτε αυτή είναι ένα μουσικό κομμάτι είτε μια κινηματογραφική ταινία είτε πληροφορίες που αποθηκεύονται και γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο οπτικός δίσκος αποτελείται από τρία φύλλα διαφορετικών υλικών: το πλαστικό υπό-

στρώμα, το στρώμα ανάκλασης και το προστατευτικό φύλλο. Στο πλαστικό υπόστρώμα υπάρχουν σχεδόν πέντε δισεκατομμύρια μικροσκοπικές κοιλότητες και

προεξοχές. Οι προεξοχές καλύπτονται από το στρώμα ανάκλασης. Γνωρίζεις ότι η πληροφορία σε μια ψηφιακή εγγραφή αποτελείται από συνδυασμούς των ψηφίων 0 και 1. Η συσκευή του οπτικού δίσκου εκπέμπει μια δέσμη λέιζερ που ανακλάται μόνο στις προεξοχές και απορροφάται από τις κοιλότητες.

Κάθε ανάκλαση αντιστοιχεί στο 1 και κάθε απορρόφηση στο 0. Έτσι μια πληροφορία καταγράφεται ως συνδυασμός κοιλοτήτων και προεξοχών και μεταφράζεται με την παραπάνω σύμβαση σε ψηφιακό κώδικα.

Επειδή οι οπτικοί δίσκοι δεν φθείρονται εύκολα και περιέχουν μεγάλο όγκο πληροφοριών, η χρήση τους έχει ανοίξει νέες προοπτικές στο χώρο των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

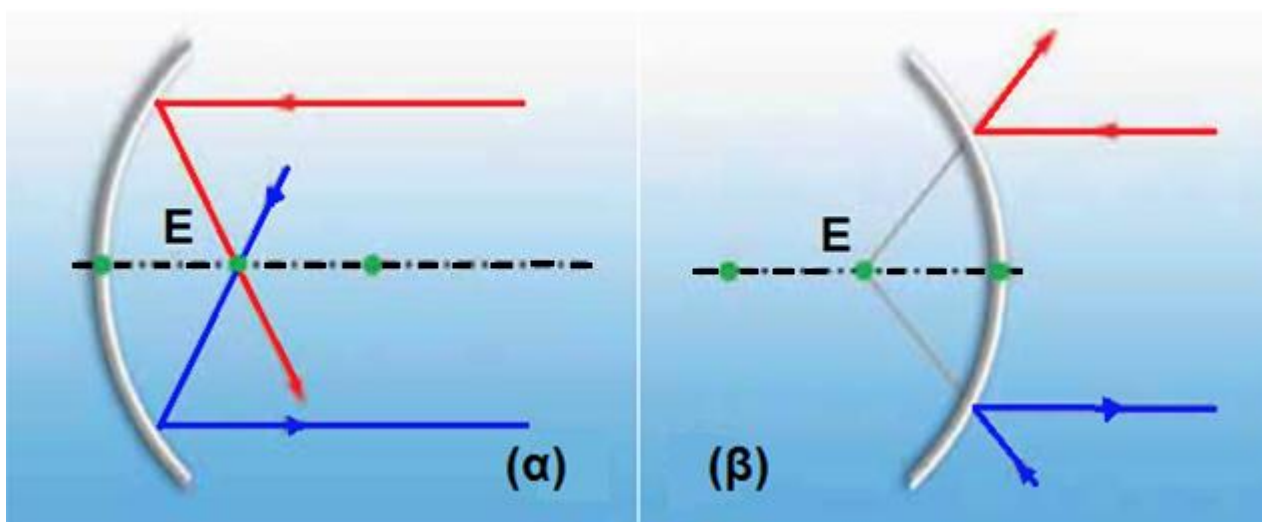
7.3 Το ηλεκτρικό φορτίο

Πώς σχηματίζεται το είδωλο ενός αντικειμένου πάνω σ' ένα σφαιρικό καθρέφτη;

Γνωρίζοντας πώς ανακλώνται οι ακτίνες σε ένα κοίλο ή κυρτό καθρέφτη μπορούμε να σχεδιάσουμε και να βρούμε τη θέση του ειδώλου κάθε σημείου ενός αντικειμένου σε ένα κοίλο ή κυρτό σφαιρικό καθρέφτη, εφαρμόζοντας τρεις απλούς κανόνες:

1. Ακτίνα παράλληλη προς το κύριο άξονα του καθρέφτη, μετά την ανάκλασή της, αυτή ή η προέκτασή της διέρχεται από την κύρια εστία του E (εικόνα 7.16α,β).

2. Αντίστροφα η ακτίνα που διέρχεται από την εστία, μετά την ανάκλασή της, γίνεται παράλληλη προς τον κύριο άξονα (εικόνα 7.16α,β).



Εικόνα 7.16

Ανάκλαση χαρακτηριστικών ακτίνων (α) κοίλο και (β) κυρτό κάτοπτρο.

Η τομή των δύο ανακλώμενων ακτίνων που προέρχονται από το ίδιο σημείο προσδιορίζει και το είδωλο του σημείου.

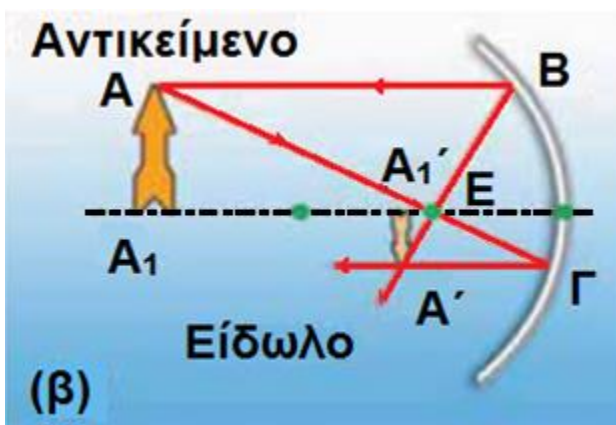
3. Το είδωλο ενός σημείου που βρίσκεται πάνω στον κύριο άξονα βρίσκεται επίσης στον κύριο άξονα. Το είδωλο ενός αντικειμένου που είναι κάθετο στον κύριο άξονα είναι και αυτό κάθετο στον κύριο άξονα.

Είδωλα σε κοίλους καθρέφτες

Σε απόσταση μεγαλύτερη από την ακτίνα καμπυλότητας R κοίλου καθρέφτη τοποθετούμε ένα φωτεινό αντικείμενο, για παράδειγμα ένα κερί. Τοποθετούμε μπροστά από τον καθρέφτη, σε κατάλληλη απόσταση από αυτόν, μια οθόνη. Παρατηρούμε ότι πάνω σε αυτή σχηματίζεται ευκρινώς το είδωλο του κεριού. Ένα τέτοιο είδωλο ονομάζεται **πραγματικό** και μπορεί να σχηματιστεί (προβληθεί) και σε μια οθόνη προβολής ή στο φιλμ μιας φωτογραφικής μηχανής (εικόνα 7.17α). Το πραγματικό είδωλο σχηματίζεται από τις ίδιες τις ακτίνες και όχι από τις προεκτάσεις τους (εικόνα 7.17β).



(α)



(β)

Εικόνα 7.17

(α) Είδωλο σε κοίλο καθρέφτη αντικειμένου που βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη της R . (β) Γραφικός προσδιορισμός του ειδώλου.

Γραφικός προσδιορισμός του ειδώλου

Το είδωλο είναι δυνατόν να προσδιοριστεί γραφικά με χρήση των κανόνων 1, 2 και 3. Από σημείο A του αντικειμένου φέρουμε φωτεινή ακτίνα AB παράλληλη προς τον κύριο άξονα. Η ανακλώμενη διέρχεται από την κύρια εστία. Από το ίδιο σημείο φέρουμε ακτίνα $ΑΓ$ που διέρχεται από την κύρια εστία. Η ανακλώμενη είναι παράλληλη προς τον κύριο άξονα. Οι δύο ανακλώμενες ακτίνες τέμνονται στο A' που είναι το είδωλο του A . Αφού το αντικείμενο είναι κάθετο στον κύριο άξονα και το είδωλό του θα είναι επίσης κάθετο. Από το A' φέρω κάθετη προς το κύριο άξονα: την $A'A_1$. Προκύπτει τελικά ότι το είδωλο είναι πραγματικό, αντεστραμμένο και μικρότερο από το αντικείμενο (εικόνα 7.17β).

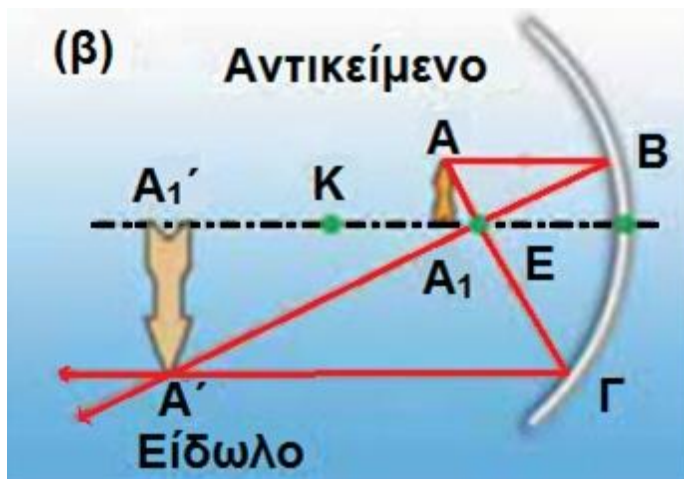
Πλησιάζοντας το αντικείμενο στον καθρέφτη το είδωλο μεγαλώνει και απομακρύνεται από αυτόν. Όταν το αντικείμενο βρεθεί μεταξύ της κύριας εστίας και του κέ-

ντρου, το είδωλο σχηματίζεται πίσω από το αντικείμενο, είναι πραγματικό και μεγαλύτερο από αυτό (εικόνα 7.18).



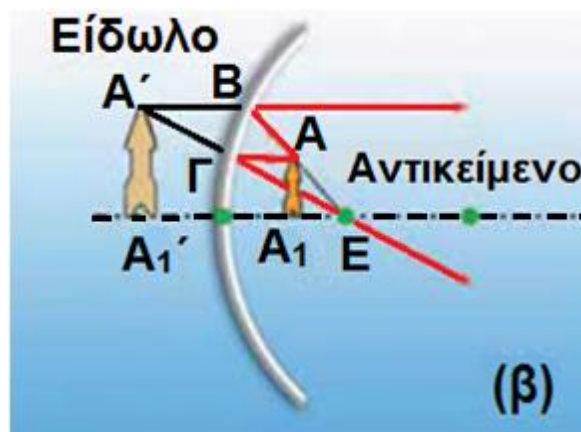
Εικόνα 7.18

(α) Είδωλο σε κοίλο καθρέφτη αντικειμένου που βρίσκεται μεταξύ κέντρου καμπυλότητας και εστίας. (β) Γραφικός προσδιορισμός του ειδώλου.



Πλησιάζοντας ακόμη περισσότερο το αντικείμενο προς τον καθρέφτη παρατηρούμε ότι σε μια ορισμένη θέση είναι αδύνατο να προβάλλουμε το είδωλο στην οθόνη. Σε αυτή τη θέση βρίσκεται η εστία του καθρέφτη.

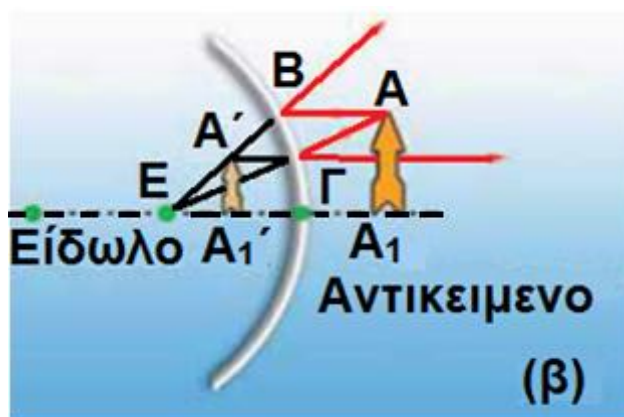
Αν πλησιάσουμε ακόμα περισσότερο το αντικείμενο προς τον καθρέφτη, μπορούμε να διακρίνουμε το είδωλό του μόνον κοιτάζοντας μέσα σ' αυτόν (εικόνα 7.19α). Το είδωλο είναι πλέον φανταστικό. Σχηματίζεται πίσω από τον καθρέφτη και από τις προεκτάσεις των ανακλώμενων ακτίνων. Είναι επίσης μεγαλύτερο από το αντικείμενο και ορθό (εικόνα 7.19).



Εικόνα 7.19 (α) Είδωλο σε κοίλο καθρέφτη αντικειμένου που βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη της f . (β) Γραφικός προσδιορισμός του ειδώλου. Το είδωλο σχηματίζεται από τις προεκτάσεις των ακτίνων: είναι φανταστικό.

Είδωλα σε κυρτούς καθρέφτες

Με παρόμοιο τρόπο διαπιστώνουμε ότι σε έναν κυρτό καθρέφτη το είδωλο είναι πάντοτε μικρότερο από το αντικείμενο, όρθιο και φανταστικό (εικόνα 7.20α,β).



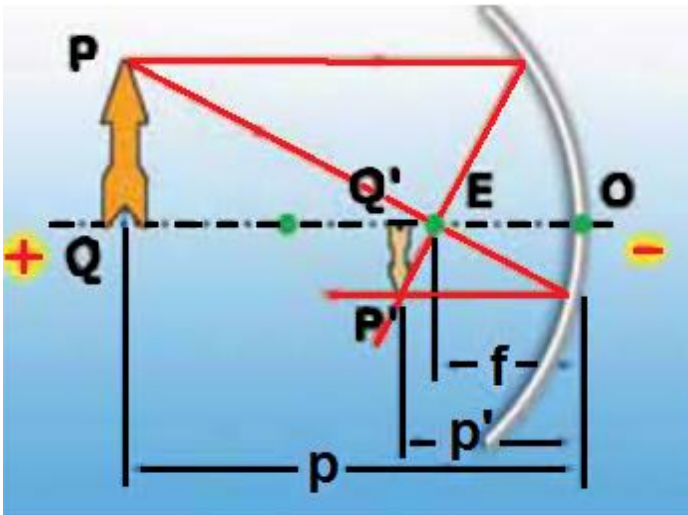
Εικόνα 7.20

(α) Είδωλο σε κυρτό καθρέφτη. (β) Γραφικός προσδιορισμός του ειδώλου σε κυρτό καθρέφτη

Εξίσωση των σφαιρικών καθρεφτών

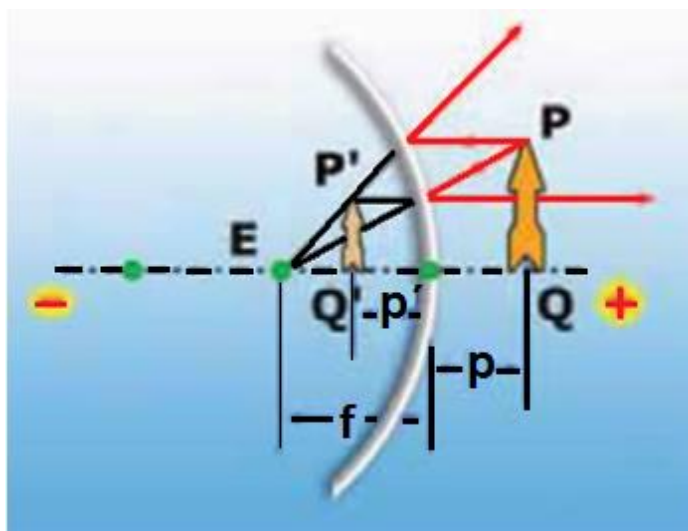
Μπορούμε να προσδιορίσουμε αναλυτικά τη θέση και το είδος του ειδώλου σε ένα σφαιρικό καθρέφτη;

Στις εικόνες 7.21, 7.22 παριστάνεται το είδωλο $P'Q'$ ενός αντικειμένου PQ σε έναν κοίλο ή κυρτό καθρέφτη αντίστοιχα. Συμβολίζουμε με p και p' τις αποστάσεις του αντικειμένου PQ και του ειδώλου $P'Q'$ από την κορυφή O του κατόπτρου και με f την εστιακή απόσταση.



Εικόνα 7.21

Προσδιορισμός ειδώλου σε κοίλο καθρέφτη.



Εικόνα 7.22

Προσδιορισμός ειδώλου σε κυρτό καθρέφτη.

Σύμβαση προσημών

Προκειμένου να προσδιορίσουμε αλγεβρικά τη θέση και το είδος του ειδώλου θα πρέπει να καθορίσουμε τον τρόπο με τον οποίο θα προσδιορίζουμε τα πρόσημα των αποστάσεων από την κορυφή του καθρέφτη του ειδώλου (εικόνες 7.21, 7.22). Συμφωνούμε ότι τα πρόση-

μα των αποστάσεων από το Ο όλων των σημείων που βρίσκονται μπροστά από τον καθρέφτη να είναι θετικά, ενώ αυτά των σημείων που βρίσκονται πίσω από τον καθρέφτη να είναι αρνητικά. Στον πίνακα 7.1 φαίνονται τα πρόσημα των αποστάσεων για τους κοίλους και κυρτούς καθρέφτες. Το μήκος του αντικειμένου έχει πάντα θετικό πρόσημο, ενώ του ειδώλου έχει θετικό όταν είναι ορθό και αρνητικό όταν είναι αντεστραμμένο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1	
ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΠΡΟΣΗΜΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΘΡΕΦΤΩΝ	
Κοίλος καθρέφτης	f θετικό
Κυρτός καθρέφτης	f αρνητικό
Πραγματικό αντικείμενο-είδωλο	p, p' θετικό
Φανταστικό είδωλο	p' αρνητικό

Με βάση τους νόμους της κατοπτρικής ανάκλασης μπορεί να αποδειχτεί ότι ισχύει η σχέση:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

Δηλαδή μια εξίσωση που συνδέει τις αποστάσεις p και p' με την εστιακή απόσταση f του κατόπτρου.

Μεγέθυνση

Θεωρήστε ένα γραμμικό αντικείμενο, για παράδειγμα ένα κερί που σχηματίζει σε καθρέφτη ένα γραμμικό είδωλο. Μεγέθυνση m ονομάζεται το πηλίκο του μήκους του

ειδώλου ($P'Q'$) προς το μήκος του αντικειμένου (PQ):

$$m = \frac{(P'Q')}{(PQ)}$$

Η μεγέθυνση συνδέεται με τις αποστάσεις αντικειμένου και ειδώλου με τη σχέση:

$$m = \frac{(P'Q')}{(PQ)} = -\frac{p'}{p}$$

Στην εξίσωση (7.2) το αρνητικό πρόσημο τίθεται έτσι ώστε να προκύπτει θετική μεγέθυνση όταν το είδωλο είναι ορθό και αρνητική όταν το είδωλο είναι αντεστραμμένο. Για παράδειγμα, σε ένα επίπεδο κάτοπτρο το p είναι θετικό και το p' είναι αρνητικό (φανταστικό είδωλο). Τα μέτρα των p και p' είναι ίσα (εικόνα 7.7). Άρα η μεγέθυνση προκύπτει θετική και ίση με 1, δηλαδή το είδωλο είναι ορθό και ίσο με το αντικείμενο. Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (7.1) και (7.2) και λαμβάνοντας υπόψη τις συμβάσεις για τα πρόσημα, μπορούμε να προσδιορίσουμε αναλυτικά τη θέση, το είδος και το μέγεθος του ειδώλου ενός αντικειμένου που βρίσκεται σε συγκεκριμένη απόσταση από συγκεκριμένο σφαιρικό καθρέφτη.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Καθρέφτες και είδωλα

- Κράτησε ένα κοίλο καθρέφτη με τεντωμένο το χέρι και κοίταξε το είδωλό σου.
- Ποια είναι η θέση του ειδώλου; Μπροστά ή πίσω από τον καθρέφτη;

- Μετακίνησε αργά τον καθρέφτη προς το πρόσωπό σου. Πώς μεταβάλλεται η θέση και το είδος του ειδώλου;
- Επανάλαβε τη διαδικασία για ένα κυρτό καθρέφτη.

Παράδειγμα 7.1

Πραγματικό είδωλο από κοίλο καθρέφτη

Αντικείμενο AA_1 μήκους 2 cm τοποθετείται όπως δείχνεται στην εικόνα 7.17 σε απόσταση 30 cm από την κορυφή O κοίλου καθρέφτη. Η ακτίνα καμπυλότητας του καθρέφτη είναι 20cm. α) Να υπολογιστεί η απόσταση από την κορυφή O του καθρέφτη που σχηματίζεται το είδωλο του αντικειμένου. β) Να προσδιορισθούν το είδος και το μήκος του ειδώλου.

Δεδομένα	AA_1 (μήκος αντικειμένου) = +2cm p (απόσταση αντικειμένου) = 30cm R (ακτίνα καμπυλότητας) = +20cm
Ζητούμενα	p' (απόσταση ειδώλου) $A'A'_1$ (μήκος ειδώλου)
Βασική Εξίσωση	$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'}, \quad m = \frac{A'A'_1}{AA_1} = -\frac{p'}{p}$

Λύση

α) **Βήμα 1:** Εφαρμόζω τις βασικές εξισώσεις

-Υπολογίζω την εστιακή απόσταση f $R=2 \cdot f$ ή $f = \frac{R}{2}$

$$\text{ή } f = \frac{+20 \text{ cm}}{2} \text{ ή } f = +10 \text{ cm.}$$

- Εφαρμόζω τον τύπο των κατόπτρων του ειδώλου από την κορυφή:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \text{ ή } \frac{1}{(+30\text{cm})} + \frac{1}{p} = \frac{1}{(+10\text{cm})} \text{ ή } \frac{1}{p'} = \frac{1}{10\text{cm}} - \frac{1}{30\text{cm}}$$
$$\text{ή } \frac{1}{p'} = +\frac{2}{30\text{cm}} \text{ ή } p' = +15 \text{ cm.}$$

Βήμα 2: Μεταφράζω το αποτέλεσμα στη γλώσσα της φυσικής

Το p' είναι θετικό, δηλαδή το είδωλο είναι πραγματικό και σχηματίζεται σε απόσταση 15cm από την κορυφή του κατόπτρου.

β) **Βήμα 1:** Εφαρμόζω τη βασική εξίσωση και προσ-

διορίζω τη φύση του ειδώλου και το μήκος του $m = \frac{p}{p'}$

$$\text{ή } m = \frac{+15\text{cm}}{+30\text{cm}} \text{ ή } m = \frac{(A'A'_1)}{AA_1} \text{ ή } \frac{1}{2} = \frac{A'A'_1}{+2\text{cm}} \text{ ή } A'A'_1 = -1$$

Βήμα 2: Μεταφράζω το αποτέλεσμα στη γλώσσα της φυσικής

Η μεγέθυνση είναι αρνητική, δηλαδή το είδωλο είναι αντεστραμμένο. Το μήκος του ειδώλου προκύπτει αρνητικό, εφόσον αυτό είναι αντεστραμμένο.

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

1. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που

α. Όταν το φως συναντήσει την επιφάνεια ενός σώματος και αλλάξει κατεύθυνση διάδοσης παραμένοντας μέσα στο ίδιο διαφανές υλικό, λέμε ότι

β. Όταν μετά την ανάκλαση μια λεπτή φωτεινή δέσμη ακολουθεί μια εντελώς καθορισμένη διεύθυνση, αυτή η ανάκλαση λέγεται Όταν το φως μετά την ανάκλασή του σε μια επιφάνεια διαδίδεται προς κάθε κατεύθυνση, λέμε ότι και το είδος αυτό της ανάκλασης το ονομάζουμε

γ. Γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία που σχηματίζεται από την και την στο σημείο πρόσπτωσης. Γωνία ανάκλασης είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της και της Η προσπίπτουσα φωτεινή ακτίνα, η και η κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο Η γωνία πρόσπτωσης είναι με τη γωνία

δ. Τα είδωλα που σχηματίζουν οι επίπεδοι καθρέφτες είναι Η απόσταση του ειδώλου από έναν επίπεδο καθρέφτη είναι με την απόσταση του αντικειμένου από τον καθρέφτη. Επίσης το είδωλο είναι σε μέγεθος με το αντικείμενο. Όμως η αριστερή πλευρά του αντικειμένου εικονίζεται στην πλευρά του και αντίστροφα.

ε. Φωτεινές ακτίνες παράλληλες μεταξύ τους, μετά την ανάκλασή τους επάνω σε κοίλο καθρέφτη, σε ένα σημείο. Αντιθέτως φωτεινές ακτίνες παράλληλες μεταξύ τους, μετά την ανάκλασή τους επάνω σε κυρτό καθρέφτη, Οι προεκτάσεις τους σε ένα σημείο πίσω από τον καθρέφτη. Το σημείο στο οποίο συγκλίνουν οι ανακλώμενες ακτίνες ή οι προεκτάσεις τους το ονομάζουμε του κοίλου ή του κυρτού καθρέφτη αντίστοιχα. Την απόσταση της κύριας εστίας από την κορυφή του καθρέφτη την ονομάζουμε απόσταση και συμβολίζεται με

► Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:

2. Γιατί τα γράμματα μπροστά σε ορισμένα ασθενοφόρα οχήματα είναι «ανάποδα»;



3. Το μάτι του παρατηρητή που βρίσκεται στη θέση Π κοιτάζει τον καθρέφτη. Ποια ή ποιες από τις αριθμημένες κάρτες μπορεί να δει μέσα από τον καθρέφτη;



4. Ο νόμος της ανάκλασης ισχύει τη διάχυση του φωτός; Ο νόμος της ανάκλασης ισχύει στους σφαιρικούς καθρέφτες; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου κατασκευάζοντας το κατάλληλο σχήμα;

5. Γιατί μπορείς να διαβάσεις ευκολότερα ένα βιβλίο του οποίου οι σελίδες είναι τραχιές και όχι λείες και στιλπνές;

6. Σε ένα επιτραπέζιο ρολόι τοποθέτησε τους δείκτες του έτσι ώστε να δείχνουν εννιά ακριβώς. Τοποθέτησε το ρολόι μπροστά σε έναν επίπεδο καθρέφτη. Απεικόνισε με δύο απλά σχήματα πάνω σε μια σελίδα χαρτί το ρολόι και το είδωλό του. Κόψε με το ψαλίδι τις δύο εικόνες. Μπορείς να ταυτίσεις το είδωλο με το αντικείμενο μετατοπίζοντάς τα ή περιστρέφοντάς τα, χωρίς όμως να τα σηκώσεις από τη σελίδα;

Ασκήσεις

ασκήσεις

1. Μια φωτεινή δέσμη προσπίπτει σε έναν επίπεδο καθρέφτη με γωνία 45° ως προς την κάθετη: α) Ποια είναι η τιμή της γωνίας ανάκλασης; β) Ποια είναι η τιμή της γωνίας που σχηματίζει η ανακλώμενη με την προσπίπτουσα;

2. Φως από ένα μακρινό άστρο προσπίπτει σε έναν κοίλο καθρέφτη που έχει ακτίνα καμπυλότητας 150 cm. Σε ποια απόσταση από το κάτοπτρο σχηματίζεται το είδωλο του άστρου;

3. Οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν σε έναν κοίλο καθρέφτη οπότε σχηματίζεται το είδωλο του ηλίου σε απόσταση 3 cm από το κάτοπτρο. Ένα αντικείμενο ύψους 24 mm τοποθετείται σε απόσταση 12 cm από το κάτοπτρο: α) Πόση είναι η εστιακή απόσταση του καθρέφτη; β) Προσδιόρισε γραφικά το είδωλο του αντικείμενου. γ) Χρησιμοποιώντας την εξίσωση των καθρεφτών να βρεις τη θέση στην οποία σχηματίζεται το είδωλο και να υπολογίσεις το ύψος του

4. Ένας οδοντίατρος χρησιμοποιεί έναν μικρό κοίλο καθρέφτη με ακτίνα καμπυλότητας 40 mm για να εντοπίσει μια κοιλότητα στο δόντι ενός ασθενούς. Αν κρατάει το κάτοπτρο σε απόσταση 16 mm από το δόντι, ποια είναι η μεγέθυνση του ειδώλου που προκύπτει;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Όταν το φως συναντήσει την επιφάνεια ενός σώματος και αλλάξει διεύθυνση διάδοσης παραμένοντας μέσα στο ίδιο διαφανές υλικό, λέμε ότι ανακλάται. Όταν η επιφάνεια είναι λεία οι ανακλώμενες ακτίνες έχουν την ίδια κατεύθυνση, ενώ όταν είναι έχουν τυχαία. Στην πρώτη περίπτωση η ανάκλαση ονομάζεται κατοπτρική, ενώ στη δεύτερη διάχυση.
- Νόμοι της κατοπτρικής ανάκλασης του φωτός: α) Η προσπίπτουσα, η ανακλώμενη ακτίνα και η κάθετη ευθεία επάνω στον καθρέφτη (στο σημείο πρόσπτωσης) βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. β) Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης: $\hat{\pi} = \hat{\alpha}$
- Είδωλο ονομάζεται η εικόνα ενός αντικειμένου που σχηματίζεται από έναν καθρέφτη (κάτοπτρο). Πραγματικό ονομάζεται το είδωλο που σχηματίζεται από τις ανακλώμενες ακτίνες, ενώ φανταστικό αυτό που σχηματίζεται από τις προεκτάσεις τους.
- Το είδωλο που σχηματίζεται από έναν επίπεδο καθρέφτη είναι φανταστικό και συμμετρικό του αντικειμένου ως προς τον καθρέφτη.
- Υπάρχουν δύο είδη καμπύλων καθρεφτών, ο κυρτός και ο κοίλος. Το είδος του ειδώλου που σχηματίζεται από έναν κυρτό καθρέφτη είναι πάντοτε μικρότερο από το αντικείμενο, όρθιο και φανταστικό. Το είδωλο που σχηματίζει ένας κοίλος καθρέφτης εξαρτά-

ται από τη σχετική θέση του αντικειμένου από την κύρια εστία.

□ Οπτικό πεδίο μιας συσκευής ονομάζεται το τμήμα του χώρου που μπορούμε να δούμε με τη βοήθεια της συσκευής.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Ανάκλαση	Κυρτός και κοίλος καθρέφτης	Ακτίνα καμπυλότητας
Κατοπτρική ανάκλαση	Κύριος άξονας	Πραγματικό και φανταστικό είδωλο
Διάχυση	Κύρια εστία	Μεγέθυνση
Επίπεδος καθρέφτης 		

μια μικρή ιστορία...

Από την προσευχή του Νώε στο πρίσμα του Νεύτωνα. Όταν ο Νώε βγήκε από την κιβωτό μετά τον κατακλυσμό προσευχόμενος στον Θεό ύψωσε τα μάτια του προς τον ουρανό και αντίκρισε το ουράνιο τόξο. Θεώρησε το τόξο ως επιβεβαίωση της διαθήκης του Θεού προς τους ανθρώπους ότι ποτέ ξανά δε θα συμβεί κατάκλυσμός. Από τότε οι άνθρωποι αντίκρισαν πολλές φορές το ουράνιο τόξο και όταν άρχισαν να αναζητούν



λογικές ερμηνείες των φυσικών φαινομένων προσπάθησαν να καταλάβουν και τη διαδικασία δημιουργίας του ουράνιου τόξου. Το 1665 ο Ισαάκ Νεύτωνα ενώ ακόμη ήταν φοιτητής διερεύνησε τη συμπερι-

φορά του φωτός. Μια ηλιόλουστη μέρα σκοτείνιασε το δωμάτιό του κλείνοντας τα παραθυρόφυλλα. Άνοιξε μια μικρή τρύπα σε ένα παράθυρο, ώστε μια λεπτή δέσμη φωτός να περάσει μέσα στο σκοτεινό δωμάτιο. Στην πορεία της δέσμης τοποθέτησε ένα γυάλινο πρίσμα. Παρατήρησε ότι στο χαρτί που είχε πάνω στο γραφείο του, η φωτεινή δέσμη σχημάτισε ένα μικρό ουράνιο τόξο. Πώς προέκυψε το αποτέλεσμα του πειράματος του Νεύτωνα; Πως σχηματίζεται το ουράνιο τόξο;

Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μελετήσεις την πορεία του φωτός, όταν διαδίδεται από ένα υλικό σε άλλο.
- Θα μελετήσεις το φαινόμενο της διάθλασης και θα μάθεις να διατυπώνεις τους νόμους της διάθλασης του φωτός.
- Θα μελετήσεις πώς μια σύνθετη δέσμη λευκού φωτός αναλύεται σε απλές ακτινοβολίες, πώς σχηματίζεται το ουράνιο τόξο, καθώς και πώς προκύπτει το γαλάζιο χρώμα του ουρανού.

ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

8.1 Διάθλαση του φωτός

Η θάλασσα ή η πισίνα φαίνονται πιο ρηχές απ' όσο είναι στην πραγματικότητα. Το μισοβυθισμένο κουτάλι φαίνεται να λυγίζει στην επιφάνεια του νερού (εικόνα. 8.1). Πώς θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε τις παραπάνω παρατηρήσεις;



Εικόνα 8.1

Το κουτάλι φαίνεται να κάμπτεται καθώς βυθίζεται στο νερό.

Για να περιγράψουμε φαινόμενα όπως τα παραπάνω στη γλώσσα της Φυσικής θα μελετήσουμε πώς διαδίδεται μια λεπτή δέσμη φωτός όταν περνά από ένα διαφανές σώμα σε άλλο, για παράδειγμα από τον αέρα στο νερό ή στο γυαλί.

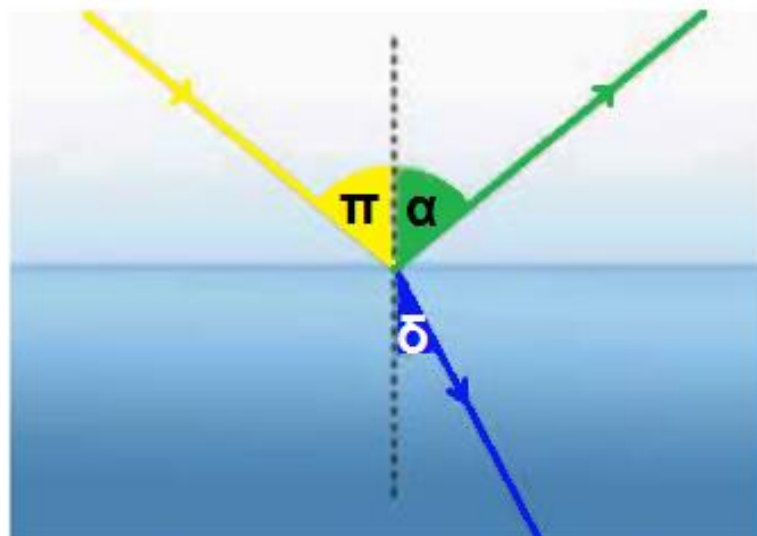
Το φως μέσα στην ύλη: διάθλαση

Αν παρατηρήσουμε προσεκτικά τη διάδοση μιας λεπτής δέσμης φωτός από τον αέρα στο γυαλί, διαπιστώνουμε ότι ένα μέρος από το φως της προσπίπτουσας δέσμης ανακλάται και ένα μέρος εισέρχεται στο γυαλί ακολουθώντας διαφορετική διεύθυνση από την προσπίπτουσα (εικόνα 8.2). Το ίδιο φαινόμενο παρατηρούμε ό-

ταν φως διαδίδεται από τον αέρα στο νερό και σε κάθε διαφανές σώμα.

Εικόνα 8.2

(α) Η προσπίπτουσα δέσμη παριστάνεται με την κίτρινη ακτίνα. (β) Η ανακλώμενη με την πράσινη. (γ) Η διαθλώμενη με την μπλε

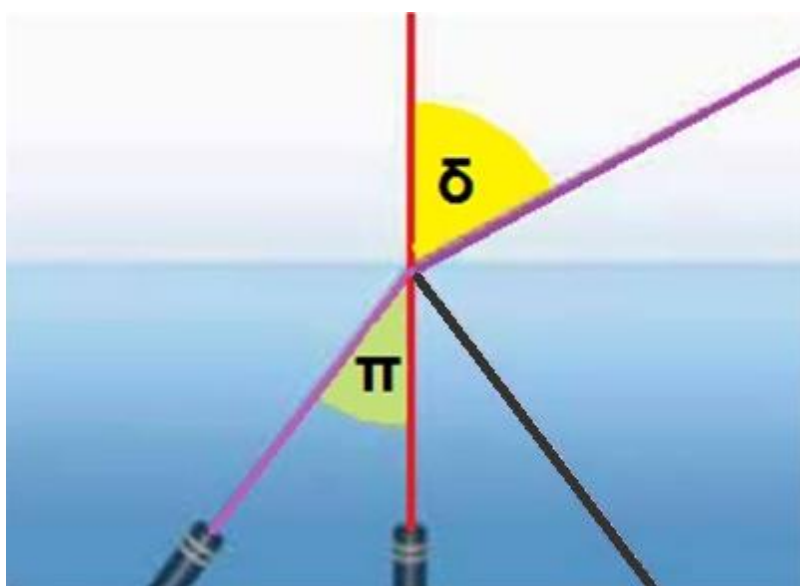


Γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα του φωτός στο νερό, στο γυαλί κ.α. είναι μικρότερη από την ταχύτητά του στον αέρα. Λέμε ότι αυτά τα υλικά (γυαλί, νερό) είναι **οπτικά πυκνότερα** από τον αέρα. Όταν το φως περνά από ένα διαφανές υλικό σε ένα άλλο διαφανές υλικό, στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, η διεύθυνση διάδοσής του αλλάζει. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται **διάθλαση**. Στο 5ο κεφάλαιο είδαμε ότι το ίδιο συμβαίνει και με ένα μηχανικό κύμα όταν περνά από ένα μέσο σε άλλο στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα. Δηλαδή το φως και τα μηχανικά κύματα διαθλώνται.

Για να μελετήσουμε το φαινόμενο της διάθλασης ορίζουμε τη γωνία πρόσπτωσης ($\hat{\pi}$), όπως και στην ανάκλαση, και τη γωνία διάθλασης ($\hat{\delta}$) που σχηματίζεται από την ακτίνα που διαθλάται και την κάθετη στην επιφάνεια πρόσπτωσης (εικόνα 8.2). Μπορούμε να επαληθεύσουμε πειραματικά ότι κατά τη διάθλαση του φωτός ικανοποιούνται οι ακόλουθοι νόμοι:

α. Η προσπίπτουσα ακτίνα, η διαθλώμενη και η ευθεία που είναι κάθετη στην επιφάνεια επαφής των δύο υλικών και περνά από το σημείο πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (εικόνα 8.2).

β. Όταν το φως περνά από ένα διαφανές σώμα σε άλλο οπτικά πυκνότερο (όπως όταν περνά από τον αέρα στο γυαλί), τότε η γωνία διάθλασης (δ) είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης (π) (εικόνα 8.2). Αντίθετα όταν το φως περνά από ένα οπτικά πυκνότερο σε ένα οπτικά αραιότερο μέσο, για παράδειγμα από το νερό στον αέρα, η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετη στην επιφάνεια, δηλαδή η γωνία διάθλασης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης (εικόνα 8.3).



Εικόνα 8.3

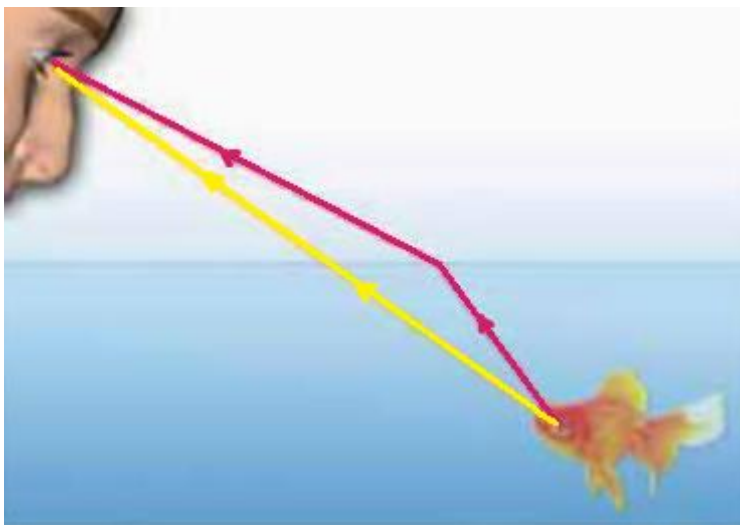
Η φωτεινή δέσμη διαδίδεται από το νερό (οπτικά πυκνότερο) στον αέρα (οπτικά αραιότερο). Ένα μέρος της δέσμης διαθλάται και ένα άλλο υφίσταται ανάκλαση.

Βέβαια διάθλαση (αλλαγή στη διεύθυνση διάδοσης) συμβαίνει μόνον όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μη μηδενική. Όταν η γωνία πρόσπτωσης ισούται με μηδέν, δηλαδή όταν η δέσμη του φωτός προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια, τότε η γωνία διάθλασης ισούται επίσης με το μηδέν. Το φως περνά στο άλλο μέσο, αλλά συνεχίζει να διαδίδεται στην ίδια διεύθυνση (εικόνα 8.3).

Διάθλαση και αρχή του ελάχιστου χρόνου

Στην ανάκλαση είδαμε ότι οι νόμοι της μπορούν να ερμηνευτούν χρησιμοποιώντας την αρχή του ελάχιστου χρόνου. Στην περίπτωση αυτή το φως διαδίδεται σε ομογενές υλικό με την ίδια ταχύτητα. Η διαδρομή που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο είναι αυτή με το ελάχιστο μήκος.

Όταν το φως διαδίδεται από ένα υλικό σε άλλο και στο δεύτερο υλικό η ταχύτητά του είναι διαφορετική απ' ό,τι είναι στο πρώτο, τότε ο χρόνος διάδοσης δεν εξαρτάται μόνο από το μήκος της διαδρομής αλλά και από την ταχύτητα. Σε αυτή την περίπτωση το φως δεν διαδίδεται ευθύγραμμα. Ακολουθεί τεθλασμένη πορεία διανύοντας μεγαλύτερη διαδρομή στο υλικό όπου η ταχύτητά του είναι μεγαλύτερη, ώστε να φθάσει στον προορισμό του στον ελάχιστο χρόνο (εικόνα 8.4). Το φως επομένως διαθλάται.

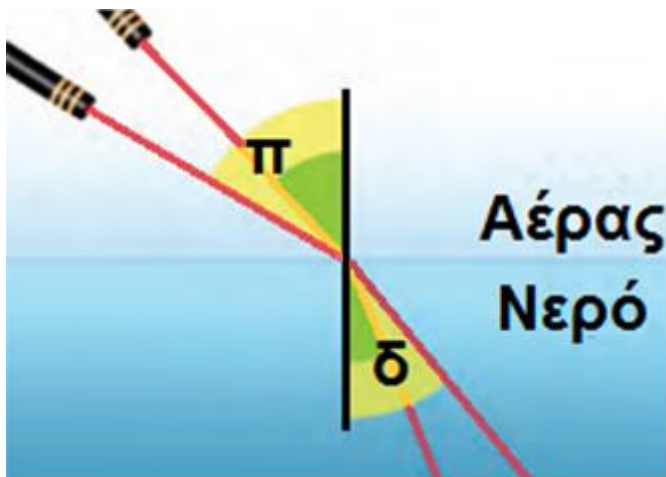


Εικόνα 8.4

Το φως χρειάζεται λιγότερο χρόνο να φθάσει από το ψάρι στο μάτι ακολουθώντας την τεθλασμένη διαδρομή από ό,τι την ευθύγραμμη

Νόμος της διάθλασης (του Snell)

Είδαμε ότι οι φωτεινές ακτίνες που περνούν από τον αέρα στο γυαλί ή σε οποιοδήποτε άλλο οπτικά πυκνότερο μέσο διαθλώνται και πλησιάζουν την κάθετο στην επιφάνεια. Όσο η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται τόσο και η γωνία διάθλασης αυξάνεται (εικόνα 8.5).



Εικόνα 8.5

Σε μεγαλύτερη γωνία πρόσπτωσης αντιστοιχεί μεγαλύτερη γωνία διάθλασης.

Ποια σχέση συνδέει τις δύο γωνίες και τις ταχύτητες διάδοσης του φωτός στα δύο μέσα;

Το 1621 ο Ολλανδός φυσικός Σνελ (Snell) διατύπωσε τη σχέση που συνδέει τη γωνία πρόσπτωσης ($\hat{\pi}$) με τη γωνία διάθλασης ($\hat{\delta}$) και ονομάζεται **νόμος του Σνελ**. Σύμφωνα με το νόμο του Σνελ (στη διάθλαση) το **πηλίκο του ημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης είναι σταθερό**:

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \text{σταθερό}$$

Όταν το φως περνάει από το κενό (ή τον αέρα) σε κάποιο άλλο υλικό, τότε αυτό το σταθερό αριθμό τον ονομάζουμε **δείκτη διάθλασης (n)** αυτού του υλικού, οπότε ο νόμος του Σνελ γράφεται:

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = n$$

Το 1678 ο Κρίστιαν Χούχενς (εικόνα 8.6) απέδειξε ότι ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού ισούται με το πηλίκο της ταχύτητας του φωτός c στο κενό (και κατά προσέγγιση στον αέρα) προς την ταχύτητά του u στο υλικό. Δηλαδή

$$n = \frac{c}{u} = \frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} \quad \text{ή} \quad \frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = n \frac{c_0}{c}$$

Από τη σχέση 8.1 φαίνεται ότι ο δείκτης διάθλασης του αέρα ή του κενού είναι 1.

Εικόνα 8.6



Κρίστιαν Χούχενς
(Huygens) (1629-1695)

Φυσικός, αστρονόμος και μαθηματικός ο οποίος γεννήθηκε στη Χάγη της Ολλανδίας, αλλά από το 1655 έως το 1681 έζησε στο Παρίσι όπου και έγινε ένα από τα ιδρυτικά μέλη της Γαλλικής Ακαδημίας των Επιστημών. Διατύπωσε την κυματική θεωρία του φωτός και ερμήνευσε την ανάκλαση

και την διάθλασή του. Ανακάλυψε τη μορφή των δακτυλίων του Κρόνου καθώς και έναν δορυφόρο του. Ασχολήθηκε με τη μαθηματική μελέτη και επίλυση πολλών προβλημάτων στη Μηχανική μεταξύ των οποίων ήταν και η κίνηση του απλού εκκρεμούς. Επινόησε την κατασκευή εκκρεμούς κατάλληλου για τη μέτρηση του χρόνου. Μαζί με το Γαλιλαίο και το Νεύτωνα θεωρείται από τους θεμελιωτές της Μηχανικής.

Είδαμε ότι το φως μέσα σε οποιοδήποτε υλικό διαδίδεται με μικρότερη ταχύτητα απ' ότι στο κενό ή τον αέ-

ρα. Άρα ο δείκτης διάθλασης για όλα τα υλικά είναι μεγαλύτερος της μονάδας.

Από το διάγραμμα 8.1 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το κίτρινο φως διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα στο νερό απ' ό,τι στο διαμάντι.

Κενό	1,00
Αέρας	1,0003
Νερό	1,33
Οινόπνευμα	1,36
Βοημική Ύαλος	1,52
Χαλαζίας	1,54
Μολυβδύαλος	1,62
Διαμάντι	2,42
	1 2
Δείκτης Διάθλασης n	

Διάγραμμα 8.1

Τιμές του δείκτη διάθλασης σε διάφορα υλικά για το κίτρινο φως που εκπέμπεται από άτομα νατρίου

Γενικά όταν το φως διαδίδεται από ένα διαφανές μέσο 1 σε ένα άλλο μέσο 2 ισχύει:

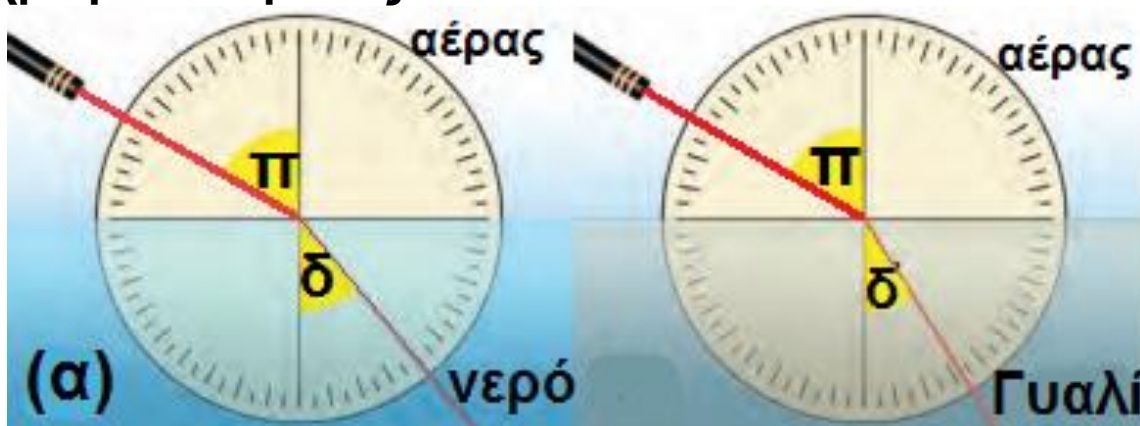
$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \frac{n_2}{n_1} \quad (8.2)$$

Έτσι όταν το φως διαδίδεται από το οπτικά πυκνότερο μέσο (μέσο 1) προς τον αέρα (μέσο 2) η εξίσωση 8.2 μπορεί να γραφεί:

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \frac{1}{n} \quad (8.3)$$

Από τις τιμές του διαγράμματος 8.1 βλέπουμε ότι το γυαλί έχει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης από το νερό. Άρα για την ίδια γωνία πρόσπτωσης η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη στο γυαλί απ' ό,τι στο νερό (η φω-

τεινή ακτίνα κάμπτεται περισσότερο στο γυαλί) (εικόνα 8.7). Γενικά όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός σε ένα μέσο, τόσο μεγαλύτερη τιμή έχει ο δείκτης διάθλασής του και τόσο πιο έντονη είναι η διάθλαση σ' αυτό. Η ταχύτητα του φωτός σε ένα μέσο εξαρτάται από το είδος του υλικού αλλά και από την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας, δηλαδή το χρώμα του φωτός. Συνεπώς και ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού θα εξαρτάται τόσο από το υλικό όσο και από το χρώμα του φωτός.



Εικόνα 8.7

Στο γυαλί το φως κάμπτεται περισσότερο απ' ό,τι στο νερό

Παράδειγμα 8.1

Μια λεπτή δέσμη φωτός προσπίπτει από τον αέρα στην επιφάνεια του νερού, με γωνία πρόσπτωσης $\pi=60^\circ$ (εικόνα 8.7β). Να υπολογίσεις τη γωνία δ που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια του νερού. Να χρησιμοποιήσεις τα δεδομένα από το διάγραμμα 8.1.

Δεδομένα	Γωνία πρόσπτωσης $\hat{\pi}=60^\circ$ Δείκτης διάθλασης του νερού από το διάγραμμα 8.1): $n=1,33$
Ζητούμενα	Γωνία διάθλασης: δ

Βασική εξίσωση

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = n$$

Λύση

Εφαρμόζουμε τη βασική εξίσωση $\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = n$ ή

$$\frac{\eta\mu 60^\circ}{\eta\mu(\hat{\delta})} = 1,33 \text{ ή } \eta\mu(\hat{\delta}) = \frac{\eta\mu 60^\circ}{1,33} = \frac{0,866}{1,33} = 0,65$$

Η γωνία διάθλασης $\hat{\delta}$ είναι $\hat{\delta} = 40,6^\circ$, δηλαδή μικρότερη της γωνίας πρόσπτωσης ($\hat{\pi} = 60^\circ$). Η ακτίνα πλησιάζει την κάθετη στην επιφάνεια πρόσπτωσης.

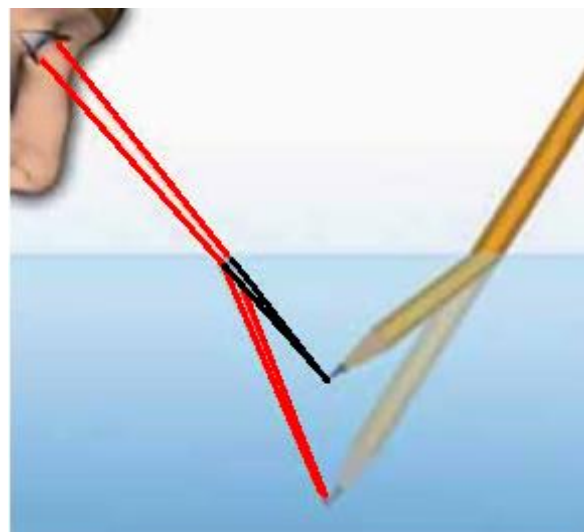
8.2 Εφαρμογές της διάθλασης του φωτός

Φαινόμενη ανύψωση

Γνωρίζοντας το νόμο της διάθλασης είναι δυνατό να ερμηνεύσουμε τη φαινομενική ανύψωση του πυθμένα της θάλασσας ή της πισίνας και το φαινομενικό σπάσιμο του μολυβιού ή του κουταλιού στην επιφάνεια του νερού (εικόνα 8.9)

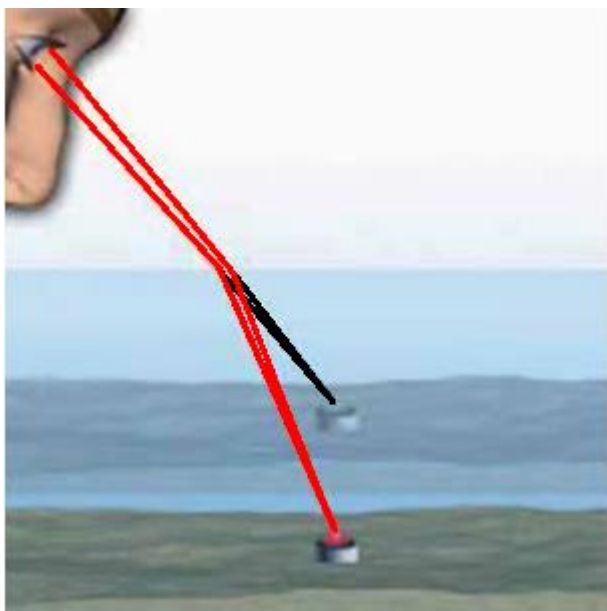
Εικόνα 8.9

Το είδωλο της μύτης του μολυβιού σχηματίζεται από τις προεκτάσεις των διαθλώμενων ακτίνων.



Ακτίνες φωτός που ξεκινούν από ένα σημείο του πυθμένα διαδίδονται από το νερό στον αέρα και φθάνουν στο μάτι μας. Στον αέρα το φως διαδίδεται με με-

γαλύτερη ταχύτητα απ' ό,τι στο νερό. Έτσι μόλις η φωτεινή δέσμη διέλθει από το νερό στον αέρα, η γωνία που σχηματίζει με την κάθετη ευθεία στη διαχωριστική επιφάνεια αυξάνεται (εικόνα 8.8). Το μάτι μας προεκτείνει τις ακτίνες που φθάνουν σε αυτό και σχηματίζει το είδωλο του σημείου στην τομή των προεκτάσεων των ακτίνων. Το φως φαίνεται ότι εκπέμπεται από ένα σημείο που βρίσκεται ψηλότερα από την πραγματική θέση του σημείου εκπομπής του. Μας δημιουργείται λοιπόν η εντύπωση ότι ο πυθμένας βρίσκεται ψηλότερα απ' όσο είναι στην πραγματικότητα (εικόνα 8.8).



Εικόνα 8.8

Το είδωλο του αντικειμένου σχηματίζεται από τις προεκτάσεις των διαθλώμενων ακτίνων που φθάνουν στο μάτι μας.

Ομοίως, επειδή κάθε σημείο του μολυβιού που βρίσκεται μέσα στο νερό φαίνεται ψηλότερα απ' όσο είναι στην πραγματικότητα, μας δημιουργεί την εντύπωση ότι το μολύβι είναι λυγισμένο προς τα πάνω (εικόνα 8.9).

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

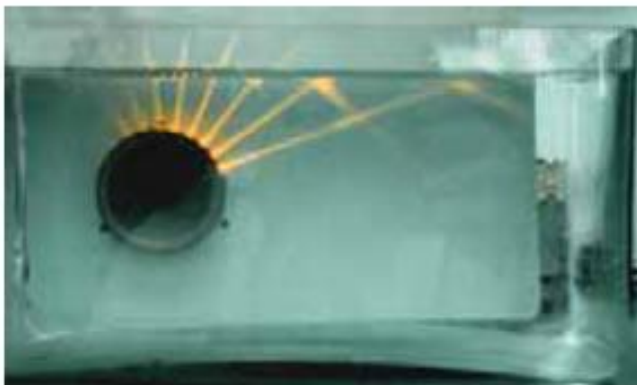
Το αόρατο γίνεται ορατό

- Τοποθέτησε ένα νόμισμα στον πυθμένα ενός κενού δοχείου και σε τέτοια θέση ώστε κοιτάζοντας πλάγια πάνω από τα χείλη του δοχείου μόλις να μη φαίνεται.
- Γέμισε το δοχείο με νερό χωρίς να το μετακινήσεις.
- Παρατήρησε ότι το νόμισμα γίνεται ορατό.

Πώς ερμηνεύεις το φαινόμενο αυτό;

Παγίδευση του φωτός: ολική ανάκλαση

Στην εικόνα 8.10 παριστάνονται φωτεινές δέσμες οι οποίες διαδίδονται από το νερό προς τον αέρα. Οι δέσμες διαδίδονται αρχικά στο νερό, στη συνέχεια προσπίπτουν στη διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα. Ορισμένες από αυτές διαθλώνται και εξέρχονται από το νερό. Άλλες προσπίπτουν με μεγάλη γωνία στη διαχωριστική επιφάνεια και ανακλώνται πίσω στο νερό: το φως παγιδεύεται στο ίδιο μέσο.



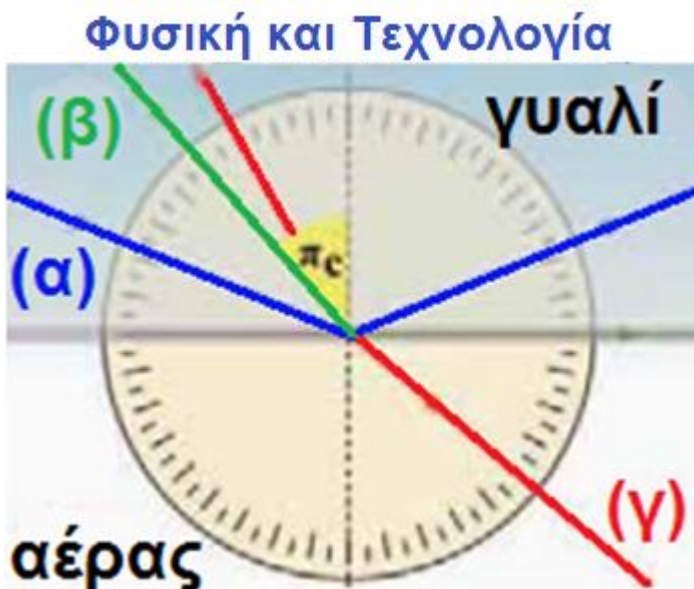
Εικόνα 8.10
Ορισμένες ακτίνες
παγιδεύονται στο νερό.

Πώς ερμηνεύουμε το φαινόμενο αυτό;

Στην εικόνα 8.11 παριστάνονται τρεις φωτεινές ακτίνες που διαδίδονται από το γυαλί στον αέρα. Η ακτίνα γ διαθλάται και περνά στον αέρα απομακρυνόμενη από την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια: ισχύει $\hat{\pi} < \hat{\delta}$. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία πρόσπτωσης τόσο η διαθλώμενη πλησιάζει προς τη διαχωριστική επιφάνεια. Για ορισμένη τιμή λοιπόν της γωνίας πρόσπτωσης η διαθλώμενη ακτίνα γίνεται παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (ακτίνα β). Αυτή η γωνία ονομάζεται **ορική γωνία διάθλασης** (π_c). Όταν λοιπόν $\hat{\pi} = \hat{\pi}_c$, τότε η γωνία διάθλασης γίνεται 90° ($\hat{\delta} = 90^\circ$). Με βάση τη σχέση 8.3 προκύπτει:

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \frac{1}{n} \quad \text{ή} \quad \frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \frac{1}{n} \quad \text{ή} \quad \eta\mu\hat{\pi}_c = \frac{1}{n}$$

Για ακόμα μεγαλύτερη γωνία το φως δεν εξέρχεται. Η προσπίπτουσα δέσμη υφίσταται μόνον ανάκλαση (ακτίνα α). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ολική ανάκλαση** (εικόνα 8.11).



Εικόνα 8.11

Η ακτίνα β εξέρχεται παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια. Ισχύει $\eta\mu\hat{\pi}_c = 1/n$. Η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του δείκτη διάθλασης του υλικού.

Αντικατοπτρισμός

Μερικές φορές όταν κινούμαστε σε αυτοκινητόδρομους στη διάρκεια του καλοκαιριού βλέπουμε από μακριά να καθρεφτίζεται στο δρόμο ο ουρανός ή ένα αντικείμενο, οπότε μας δημιουργείται η εντύπωση ότι στο βάθος του δρόμου υπάρχει νερό. Ωστόσο, όταν φθάνουμε εκεί, διαπιστώνουμε ότι το έδαφος είναι απολύτως στεγνό. Το φαινόμενο αυτό το παρατηρούν συχνά οι ταξιδιώτες της ερήμου. Ο ουρανός που καθρεφτίζεται στην έρημο δημιουργεί την εντύπωση της επιφάνειας μιας λίμνης ή θάλασσας η οποία διαρκώς απομακρύνεται όσο την πλησιάζεις (εικόνα 8.12). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **αντικατοπτρισμός**.



Εικόνα 8.12

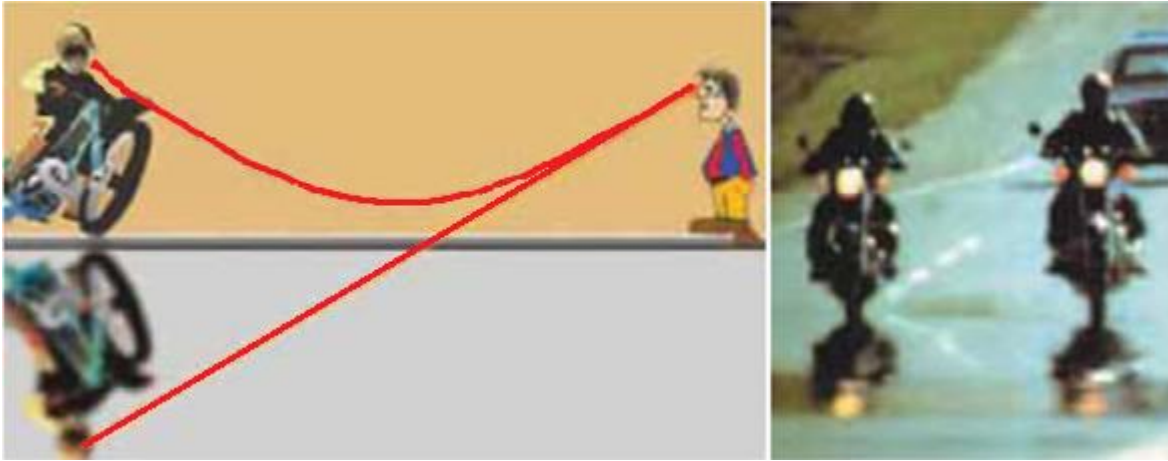
Ο ταξιδιώτης της ερήμου νομίζει ότι αντικρίζει στο βάθος μια λίμνη.

Πώς δημιουργείται η ψευδαίσθηση του αντικατοπτρισμού;

Ο αντικατοπτρισμός παρατηρείται όταν το έδαφος είναι πολύ θερμό. Έτσι, ακριβώς πάνω από αυτό ο αέρας έχει μεγάλη θερμοκρασία, ενώ ψηλότερα μικρότερη. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του αέρα τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός και άρα τόσο μικρότερος ο δείκτης διάθλασης σε αυτόν.

Επομένως η φωτεινή δέσμη από το αντικείμενο διαθλάται διαδοχικά στα στρώματα του αέρα. Τελικά κοντά στο έδαφος υφίσταται ολική ανάκλαση και φθάνει στα

μάτια του παρατηρητή, ο οποίος την προεκτείνει ευθύγραμμα σχηματίζοντας το είδωλο του αντικειμένου στο έδαφος (εικόνα 8.13).



Εικόνα 8.13

Καθώς το φως διαδίδεται στα διαδοχικά στρώματα του αέρα η ταχύτητά του μεταβάλλεται, με αποτέλεσμα η διάδοση της φωτεινής δέσμης να μην είναι ευθύγραμμη και να φαίνεται σαν να ανακλάται πάνω στο έδαφος.



αφού έχει δύσει;

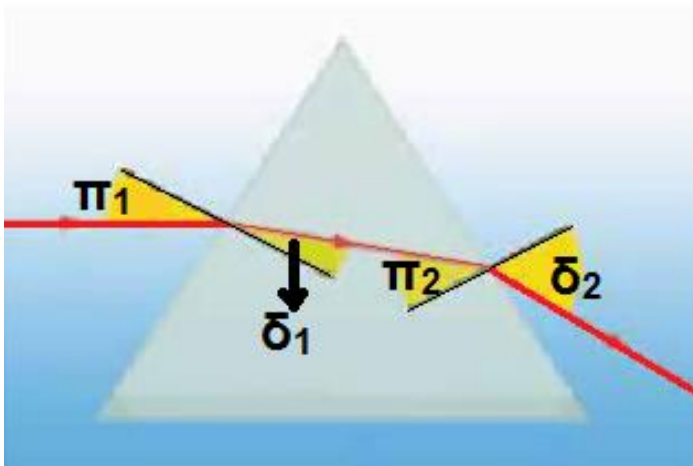
Ατμοσφαιρική διάθλαση

Αν γνωρίζεις ότι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στην ατμόσφαιρα είναι ελαφρώς μικρότερη απ' ό,τι στο διάστημα, μπορείς να εξηγήσεις γιατί βλέπουμε τον ήλιο λίγο πριν ανατείλει και

Διάθλαση σε πρίσμα

Ποια είναι η πορεία μιας φωτεινής ακτίνας καθώς αυτή διέρχεται μέσα από ένα πρίσμα;

Για να σχεδιάσουμε την πορεία μιας ακτίνας θα πρέπει να λάβουμε υπόψη το νόμο του Σνελ. Όταν μια φωτεινή ακτίνα εισέρχεται από τον αέρα στο γυαλί πλησιάζει προς την κάθετη, ενώ όταν εξέρχεται από το γυαλί στον αέρα απομακρύνεται από την κάθετη. Στην εικόνα 8.14 παριστάνεται η πορεία μιας φωτεινής ακτίνας που προσπίπτει παράλληλα προς τη μια πλευρά ενός τριγωνικού πρίσματος. Παρατήρησε ότι η ακτίνα, όταν βγαίνει από το πρίσμα, πλησιάζει προς τη βάση του τριγώνου και απομακρύνεται από την κορυφή του.



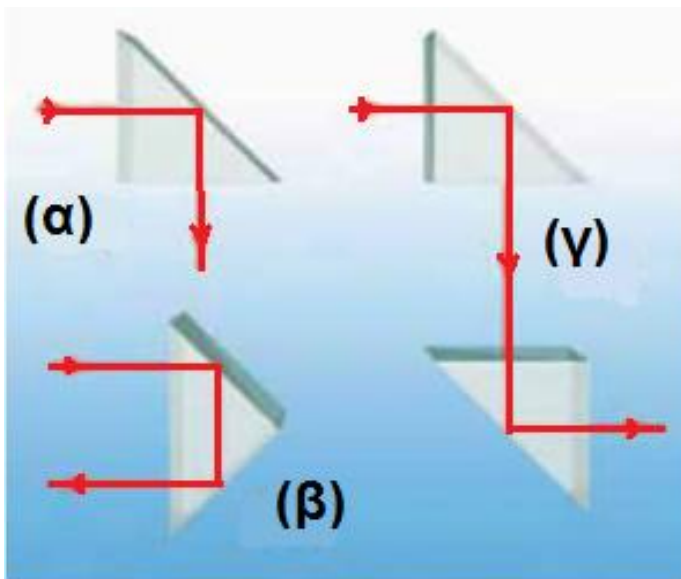
Εικόνα 8.14

Μια φωτεινή ακτίνα που προσπίπτει παράλληλα προς τη βάση ενός πρίσματος, καθώς εξέρχεται από αυτό πλησιάζει τη βάση του.

Πρίσματα ολικής ανάκλασης

Λαμβάνοντας την τιμή του δείκτη διάθλασης για το γυαλί από το διάγραμμα 8.1 ($n=1,52$) και αντικαθιστώντας στη σχέση (8.4) προκύπτει ότι η ορική γωνία για το γυαλί είναι $\hat{\pi}_c=41^\circ$, ενώ αντίστοιχα για το νερό $\hat{\pi}_c=49^\circ$. Το γεγονός ότι η ορική (κρίσιμη) γωνία για το γυαλί είναι μικρότερη από 45° μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε ένα πρίσμα σχήματος ισοσκελούς ορθογωνίου τριγώνου για να πετύχουμε: α) την εκτροπή μιας δέσμης φωτός κατά 90° , β) την αντιστρο-

φή της πορείας του φωτός και γ) την παράλληλη μετατόπιση μιας φωτεινής δέσμης (εικόνα 8.15).



Εικόνα 8.15
Πρίσματα ολικής ανάκλασης



Εικόνα 8.16. Ολική ανάκλαση και κιάλια. Οι περισσότερες διόπτρες (κιάλια) περιέχουν δύο πρίσματα κατάλληλα τοποθετημένα, όπως στην περίπτωση (γ) της εικόνας 8.15 τα οποία προκαλούν μετατόπιση της φωτεινής δέ-

σμης από το αντικείμενο στο μάτι. Με αυτόν τον τρόπο τα κιάλια γίνονται μικρότερα και πιο συμπαγή.

8.3 Ανάλυση του φωτός

Όταν το λευκό φως του ήλιου πέσει πάνω σε ένα ακανόνιστο κομμάτι γυαλιού, σε σαπουνόφουσκα, κηλίδα πετρελαίου, οπτικό δίσκο (εικόνα 8.17) κ.ά. εμφανίζονται όλα τα χρώματα με μια συγκεκριμένη σειρά.

Ίδια σειρά χρωμάτων εμφανίζεται και στο ουράνιο τόξο.



Εικόνα 8.17

Τα χρώματα σε έναν σύμπυκνο δίσκο.

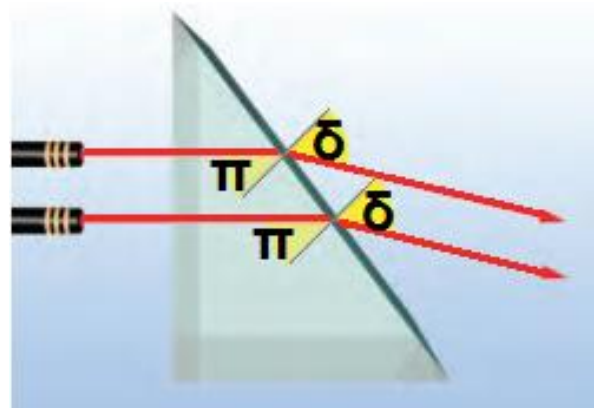
Πώς από το λευκό φως εμφανίζονται όλα τα χρώματα;

Διάθλαση μονοχρωματικής δέσμης φωτός σε πρίσμα

Στην εικόνα 8.18 παριστάνεται η πορεία μιας λεπτής μονοχρωματικής δέσμης φωτός που προσπίπτει κάθετα στη μια πλευρά ενός ορθογώνιου τριγωνικού πρίσματος. Μονοχρωματική ονομάζεται μια δέσμη φωτός όταν αποτελείται από φωτόνια μιας μόνο ενέργειας ή από φωτεινές ακτίνες ενός χρώματος. Στην εικόνα σχεδιάζονται δύο παράλληλες φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν στο ίδιο χρώμα. Παρατήρησε ότι παραμένουν παράλληλες και μετά τη διέλευσή τους από το πρίσμα.

Εικόνα 8.18

Οι μονοχρωματικές φωτεινές δέσμες παραμένουν παράλληλες μετά την έξοδό τους από το πρίσμα.



Πώς ερμηνεύουμε αυτό το γεγονός;

Οι δύο ακτίνες έχουν την ίδια γωνία πρόσπτωσης. Ε-

πειδή φωτεινή δέσμη αποτελείται από φωτόνια ίδιας ενέργειας αυτά μέσα στο γυαλί θα κινούνται με την ίδια ταχύτητα, δηλαδή και στις δύο ακτίνες θα αντιστοιχεί ο ίδιος δείκτης διάθλασης. Επομένως σύμφωνα με το νόμο της διάθλασης και η γωνία διάθλασης θα είναι ίδια.

Ανάλυση του λευκού φωτός

Τι θα συμβεί αν στο πρίσμα προσπέσει φως που δεν είναι μονοχρωματικό, όπως για παράδειγμα το ηλιακό φως;

Ένας από τους μεγαλύτερους φυσικούς όλων των εποχών ο Ισαάκ Νεύτων ενδιαφέρθηκε να απαντήσει στο ερώτημα αυτό. Άρχισε τα πειράματά του στην οπτική το 1662 σε ηλικία 20 ετών όταν ακόμη ήταν φοιτητής στο Καίμπριτζ. Αρχικά δημιούργησε λεπτές φωτεινές δέσμες ηλιακού φωτός, σκοτεινιάζοντας το εργαστήριό του και ανοίγοντας μικρές οπές στα παραθυρόφυλλα. Ακολούθως τοποθέτησε ένα γυάλινο πρίσμα κοντά στην οπή και οδήγησε το εξερχόμενο φως σε μια λευκή επιφάνεια (εικόνα 8.19).



Εικόνα 8.19 Ο Ισαάκ Νεύτων ενώ πειραματίζεται στο εργαστήριό του με το λευκό φως.

Παρατήρησε το σχηματισμό μιας έγχρωμης ταινίας: του χρωματικού φάσματος. Στη συνέχεια ο Νεύτωνας κατήυθνε την έγχρωμη φωτεινή δέσμη σε ένα δεύτερο

πρίσμα και παρατήρησε ότι το φως που εξερχόταν από αυτό ήταν λευκό (εικόνα 8.20).

Με αυτό τον τρόπο ο Νεύτωνας έδειξε ότι τα χρώματα στο λευκό φως δεν είχαν προστεθεί από το υλικό του πρίσματος και κατέληξε τελικά στο συμπέρασμα ότι το λευκό φως είναι μίγμα όλων των χρωμάτων σε κατάλληλη αναλογία. Το φαινόμενο του διαχωρισμού του λευκού φωτός σε χρώματα ονομάζεται **ανάλυση (διασπορά)** του φωτός.



Εικόνα 8.20

Σχηματική αναπαράσταση της συσκευής του Νεύτωνα.

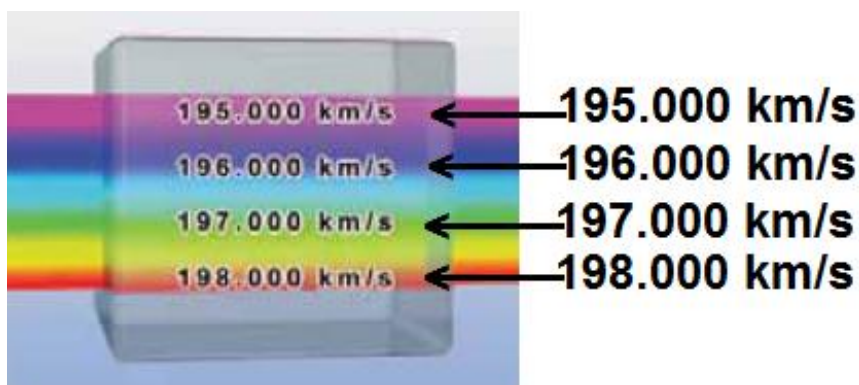
Δείκτης διάθλασης και χρώματα του φωτός

Πώς όμως από το λευκό φως εμφανίζονται όλα τα χρώματα;

Για να ερμηνεύσουμε την ανάλυση του φωτός υποθέτουμε ότι η ταχύτητα διάδοσης μιας φωτεινής ακτίνας σ' ένα υλικό, επομένως και ο δείκτης διάθλασης του υλικού, εξαρτάται από το «χρώμα» της (εικόνα 8.21).

Εικόνα 8.21

Στο γυαλί μια φωτεινή ακτίνα που αντιστοιχεί στο κόκκινο χρώμα διαδίδε-

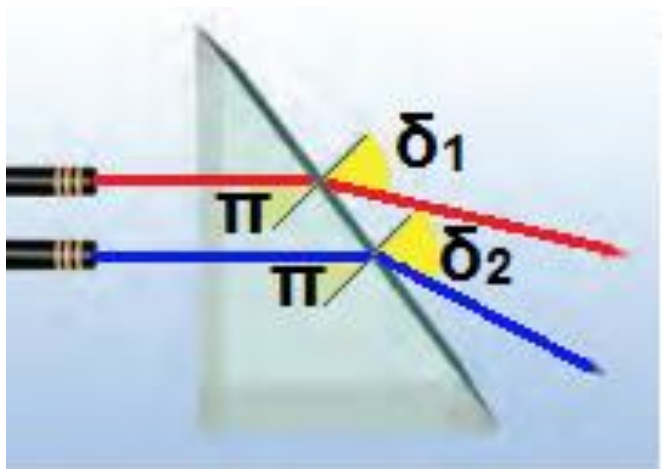


ται με μεγαλύτερη ταχύτητα απ' ό,τι η ακτίνα που αντιστοιχεί στο μπλε χρώμα. Δηλαδή ο δείκτης διάθλασης του γυαλιού είναι διαφορετικός για το μπλε και κόκκινο χρώμα.

Έτσι ο δείκτης διάθλασης του ιώδους είναι μεγαλύτερος από του κόκκινου χρώματος. Σύμφωνα με το νόμο της διάθλασης για την ίδια γωνία πρόσπτωσης μια φωτεινή δέσμη ιώδους χρώματος εκτρέπεται από το πρίσμα περισσότερο από την αντίστοιχη του ερυθρού χρώματος (εικόνα 8.22). Με αυτό τον τρόπο το λευκό φως αναλύεται σε συγκεκριμένες περιοχές χρωμάτων: ιώδη, μπλε, κυανή (γαλάζια), πράσινη, κίτρινη, πορτοκαλί, κόκκινη και σε όλες τις ενδιάμεσες αποχρώσεις τους. Βεβαίως όταν φωτεινές δέσμες όλων των χρωμάτων φθάσουν συγχρόνως στην ίδια περιοχή του αμφιβληστροειδούς χιτώνα του ματιού μας δημιουργείται η εντύπωση του λευκού φωτός.

Εικόνα 8.22

Η κόκκινη φωτεινή δέσμη διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα στο γυαλί απ' ό,τι η μπλε. Ο δείκτης διάθλασης της κόκκινης είναι μικρότερος από της μπλε. Από το νόμο της διάθλασης για την ίδια γωνία πρόσπτωσης η κόκκινη θα εκτρέπεται λιγότερο από την μπλε.



Το ουράνιο τόξο

Το ουράνιο τόξο είναι ένα θαυματικό αποτέλεσμα της ανάλυσης του ηλιακού φωτός. Το ουράνιο τόξο σχηματίζεται όταν ο ήλιος λάμπει σε μια περιοχή του ουρανού, ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν σταγόνες νερού σ' ένα σύννεφο ή βρέχει στην αντίθετη περιοχή του ουρανού (εικόνα 8.23).



Εικόνα 8.23
Το ουράνιο τόξο.

Για να καταλάβουμε πώς σχηματίζεται το ουράνιο τόξο ας παρακολουθήσουμε την πορεία μιας πολύ λεπτής φωτεινής δέσμης. Κάθε σταγόνα συμπεριφέρεται σαν μικρό πρίσμα. Καθώς η δέσμη εισέρχεται στη σταγόνα διαθλάται και αναλύεται στα χρώματα του φάσματος. Στο εσωτερικό της σταγόνας υφίσταται ολική ανάκλαση και εξέρχεται αφού διαθλαστεί για δεύτερη φορά. Η δεύτερη διάθλαση είναι παρόμοια με την πρώτη και προκαλεί μεγαλύτερο διαχωρισμό των φωτεινών ακτίνων (εικόνα 8.24). Από τις ακτίνες που φθάνουν στο μάτι μας αυτές που αντιστοιχούν σε διαφορετικά χρώματα προέρχονται από διαφορετικές σταγόνες. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται η εικόνα του ουράνιου τόξου.



Εικόνα 8.24
Η σταγόνα του νερού συμπεριφέρεται όπως ένα πρίσμα και προκαλεί ανάλυση του φωτός.

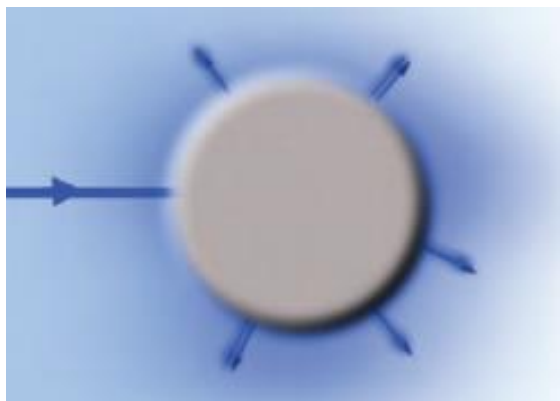
8.4 Το χρώμα

Το χρώμα του ουρανού

Οι αστροναύτες που αντίκρισαν τον ήλιο από τη σελήνη είδαν ένα λαμπερό δίσκο σε ένα μαύρο φόντο. Αντίθετα αντικρίζοντας τον ήλιο από τη Γη βλέπουμε ένα λαμπερό δίσκο σ' ένα καταγάλανο φόντο. Κατά τη διάρκεια της ανατολής ή της δύσης του ήλιου ο ουρανός παίρνει διάφορους χρωματισμούς που από την αρχαιότητα ως σήμερα αποτελούν πηγή έμπνευσης για τους καλλιτέχνες αλλά και πολλές φορές αντικείμενο θαυμασμού από τους απλούς ανθρώπους.

Πού οφείλεται το γαλάζιο χρώμα του ουρανού;

Σωματίδια όπως τα άτομα, τα μόρια ή κόκκοι σκόνης απορροφούν κάποιες από τις φωτεινές ακτίνες που προσπίπτουν πάνω τους και τις επανεκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις (εικόνα 8.25). Λέμε τότε ότι το φως σκεδάζεται.



Εικόνα 8.25

Τα μόρια του οξυγόνου και του αζώτου καθώς και οι κόκκοι σκόνης απορροφούν τις φωτεινές ακτίνες και τις επανεκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις.

Η ορατή ακτινοβολία του Ήλιου φθάνει στη Γη αφού διασχίσει την ατμόσφαιρα που την περιβάλλει, σκεδάζεται στα μόρια του οξυγόνου και του αζώτου και «διασκορπίζεται» προς όλες τις κατευθύνσεις. Από τις ακτίνες του ορατού φωτός περισσότερο σκεδάζονται εκείνες που αντιστοιχούν στο ιώδες χρώμα και ακολουθούν διαδοχικά ακτίνες που αντιστοιχούν στα υπόλοιπα χρώματα του φάσματος. Η ιώδης ακτινοβολία δια-

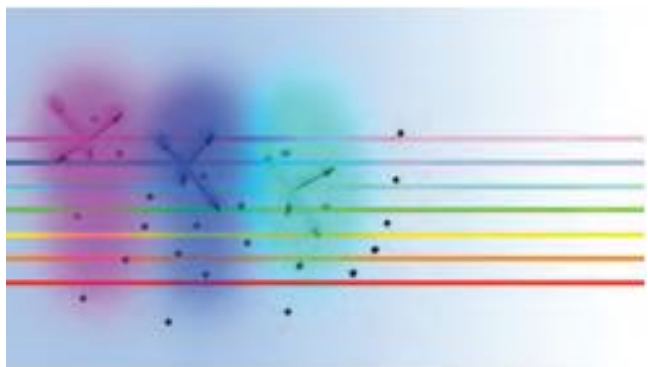
σκορπίζεται 10 φορές περισσότερο από την κόκκινη. Το φως γαλάζιου χρώματος σκεδάζεται λιγότερο από εκείνο του ιώδους όμως τα μάτια μας είναι περισσότερο ευαίσθητα στο γαλάζιο παρά στο ιώδες και γι' αυτό ο ουρανός μας φαίνεται γαλάζιος (εικόνα 8.26). Ο ουρανός όμως δεν φαίνεται πάντοτε γαλάζιος. Όταν στην ατμόσφαιρα υπάρχουν σωματίδια μεγαλύτερα από τα μόρια του οξυγόνου και του αζώτου, τότε σκεδάζονται έντονα φωτεινές ακτίνες και άλλων χρωμάτων εκτός του ιώδους και του μπλε. Αυτό κάνει τον ουρανό να φαίνεται λιγότερο γαλάζιος και να παίρνει ένα χρώμα προς το άσπρο.

Γιατί κατά την ανατολή και τη δύση του ήλιου ο ουρανός «βάφεται» κόκκινος;

Είδαμε ότι οι φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα σκεδάζονται λιγότερο από αυτές του ιώδους. Επομένως όταν μια δέσμη λευκού φωτός διανύει μικρή απόσταση στην ατμόσφαιρα και φτάνει στον παρατηρητή θα περιέχει κυρίως ακτίνες ιώδους και μπλε χρώματος (εικόνα 8.26). Αντίθετα μια δέσμη λευκού φωτός που διανύει μεγάλη απόσταση στην ατμόσφαιρα όταν φθάσει στον παρατηρητή θα περιέχει κυρίως ακτίνες που αντιστοιχούν στο πορτοκαλί και το κόκκινο χρώμα (εικόνα 8.26).

Εικόνα 8.26

Η ιώδης, η μπλε και η γαλάζια ακτινοβολία σκεδάζονται περισσότερο από τις υπόλοιπες. Έτσι το χρώμα του ουρανού που προκύπτει από το διάχυτο ηλιακό φως φαίνεται γαλάζιο.



Το φως που φθάνει στον παρατηρητή όταν ο ήλιος βρίσκεται κοντά στον ορίζοντα διανύει πολύ μεγαλύτερη απόσταση στην ατμόσφαιρα απ' ό,τι διανύει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι κατά το ηλιοβασίλεμα ο ουρανός εμφανίζεται διαδοχικά κίτρινος, πορτοκαλί και τελικά κόκκινος. Η αντίθετη σειρά χρωμάτων εμφανίζεται κατά την ανατολή (εικόνα 8.27).

Εικόνα 8.27

Κατά την ανατολή και τη δύση του ήλιου ο ουρανός «βάφεται» πορφυρός



Το χρώμα των σωμάτων

Ο κόσμος που μας περιβάλλει εμφανίζει ποικιλία χρωμάτων. Τα τριαντάφυλλα είναι κόκκινα, ο ουρανός γαλάζιος, τα φύλλα των φυτών πράσινα (εικόνα 8.28). Τα χρώματα βρίσκονται πάντα στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος τόσο των καλλιτεχνών όσο και των φυσικών. Για το φυσικό όμως τα χρώματα των σωμάτων δεν προέρχονται από το υλικό από το οποίο αποτελούνται. Η αίσθηση του χρώματος προκαλείται στο σύστημα ματιού-εγκεφάλου του παρατηρητή από το φως που ανακλάται ή εκπέμπεται από τα σώματα.



Εικόνα 8.28

Ο κόσμος που μας περιβάλλει είναι έγχρωμος.

Χρώματα από ανάκλαση

Έχεις παρατηρήσει πώς μεταβάλλεται το χρώμα των αντικειμένων όταν μεταβάλλεται το χρώμα της φωτεινής δέσμης που πέφτει πάνω τους;

Στο λευκό φως το άνθος ενός τριαντάφυλλου φαίνεται κόκκινο, ενώ τα φύλλα πράσινα (εικόνα 8.29α). Αν το τριαντάφυλλο φωτιστεί με φωτεινή δέσμη πράσινου χρώματος, τότε το άνθος φαίνεται μαύρο, ενώ τα φύλλα διατηρούν το πράσινο χρώμα τους (εικόνα 8.29β).



**Εικόνα
8.29**

Το χρώμα
ενός ετερό-
φωτου σώ-
ματος εξαρ-

τάται από το χρώμα του φωτός που πέφτει πάνω του. Τα τριαντάφυλλα φωτίζονται: (α) με λευκό φως και (β) με πράσινο.

Γιατί το χρώμα των ετερόφωτων σωμάτων εξαρτάται από το χρώμα με το οποίο φωτίζονται;

Τα αδιαφανή σώματα απορροφούν ένα μέρος των φωτεινών ακτίνων που πέφτουν πάνω τους, ενώ ανακλούν το υπόλοιπο. Αν ένα σώμα ανακλά τις φωτεινές ακτίνες κόκκινου χρώματος και απορροφά αυτές που αντιστοιχούν στα υπόλοιπα ορατά χρώματα, τότε θα φαίνεται κόκκινο όταν φωτίζεται με λευκό ή με κόκκινο φως. Με οποιοδήποτε άλλο χρώμα θα φαίνεται μαύρο. Τα μέρη των φυτών που περιέχουν χλωροφύλλη απορροφούν φωτεινές ακτίνες όλων των χρωμάτων και ανακλούν μόνο αυτές που αντιστοιχούν στο πράσινο χρώ-

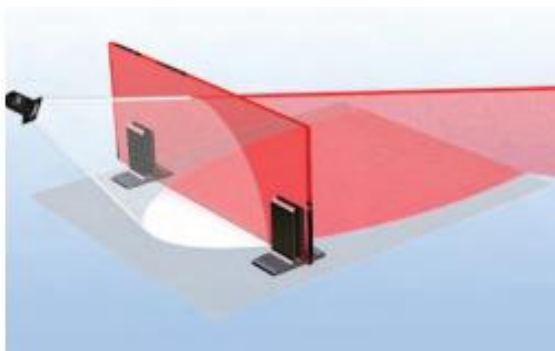
μα και γι' αυτό φαίνονται πράσινα (εικόνα 8.28).

Το λευκό και το μαύρο

Η σελίδα του τετραδίου σου ανακλά τις φωτεινές δέσμες που αντιστοιχούν σε όλα τα χρώματα. Έτσι όταν φωτιστεί με λευκό φως φαίνεται λευκή, ενώ αν φωτιστεί με το κίτρινο φως ενός κεριού φαίνεται κίτρινη. Γενικά αν ένα σώμα ανακλά τις φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν σε όλα τα χρώματα θα εμφανίζεται με το χρώμα της φωτεινής δέσμης με την οποία φωτίζεται, ενώ αν απορροφά τις φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν σε όλα τα χρώματα και δεν ανακλά καμία τότε θα εμφανίζεται μαύρο. Αντικείμενα όπως το κάρβουνο ή τα γράμματα του βιβλίου σου φαίνονται μαύρα γιατί απορροφούν εξίσου σχεδόν όλες τις φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν στο ορατό φως.

Χρώματα από διέλευση

Τα διαφανή έγχρωμα σώματα, όπως ένα κομμάτι χρωματιστό τζάμι, αφήνουν να περάσουν φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν σε ορισμένα χρώματα και απορροφούν τις υπόλοιπες. Ένα κομμάτι τζάμι το οποίο στο λευκό φως φαίνεται κόκκινο επιτρέπει στις φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα να διέλθουν, ενώ απορροφά τις υπόλοιπες (εικόνα 8.31). Τα συνήθη τζάμια των παραθύρων είναι άχρωμα επειδή επιτρέπουν το πέρασμα φωτεινών ακτίνων που αντιστοιχούν σε όλα τα χρώματα.



Εικόνα 8.31

Χρώμα διαφανούς σώματος
Το κόκκινο τζάμι επιτρέπει τη διέλευση των φωτεινών ακτίνων που αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα και απορροφά τις υπόλοιπες.

Γενικά το χρώμα ενός αδιαφανούς σώματος καθορίζεται από το χρώμα που αντιστοιχεί στις φωτεινές ακτίνες που αυτό ανακλά, ενώ ενός διαφανούς καθορίζεται από το χρώμα που αντιστοιχεί στις φωτεινές ακτίνες των οποίων επιτρέπει τη διέλευση.



Εικόνα 8.30

Χρώμα αδιαφανούς σώματος.

Το κόκκινο άνθος ανακλά τις φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα και απορροφά τις υπόλοιπες.

Φυσική και Βιολογία και καθημερινή ζωή

Το ηλιακό φως

Το ηλιακό φως είναι λευκό γιατί περιέχει φωτόνια όλων των ενεργειών του ορατού φάσματος. Περιέχει όμως περισσότερα φωτόνια που αντιστοιχούν στην ενδιάμεση περιοχή μεταξύ του κίτρινου και του πράσινου χρώματος και λιγότερα στις ακραίες περιοχές

του κόκκινου και του ιώδους. Επειδή το ανθρώπινο είδος εξελίχθηκε στο περιβάλλον του ηλιακού φωτός, τα μάτια μας είναι πιο ευαίσθητα στο φως αυτών των χρωμάτων. Γι' αυτό κάποιες λουρίδες σε αυτοκινητόδρομους βάφονται κίτρινες ώστε να διακρίνονται καλύτερα. Για τον ίδιο λόγο βλέπουμε καλύτερα με το κίτρινο φως που εκπέμπουν λαμπτήρες ατμών νατρίου.

Ερωτήσεις

ερωτήσεις

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

1. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Όταν το φως περνά από ένα διαφανές υλικό σε ένα άλλο διαφανές υλικό, στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, η διεύθυνση διάδοσής του.....
Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται

β. Γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ακτίνα και την στο σημείο πρόσπτωσης. Γωνία διάθλασης είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ακτίνας και της στη διαχωριστική επιφάνεια. Η προσπίπτουσα φωτεινή ακτίνα, η και η κάθετη στην επιφάνεια επαφής στο σημείο πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο

γ. Όταν το φως περνά από ένα διαφανές σώμα σε άλλο οπτικά πυκνότερο (όπως όταν περνά από τον αέρα στο

γυαλί), τότε η γωνία διάθλασης (δ) είναι από τη γωνία πρόσπτωσης ($\hat{\pi}$). Αντίθετα όταν το φως περνά από ένα οπτικά πυκνότερο σε ένα οπτικά αραιότερο μέσο, για παράδειγμα από το νερό στον αέρα, η γωνία διάθλασης είναι από τη γωνία πρόσπτωσης.

Όταν η δέσμη του φωτός προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια διαχωρισμού δύο μέσων, τότε το φως περνά στο άλλο μέσο και συνεχίζει να διαδίδεται στην διεύθυνση.

δ. Όταν η γωνία πρόσπτωσης λάβει μια ορισμένη τιμή τέτοια ώστε η διαθλώμενη ακτίνα να γίνει παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων, τότε αυτή η γωνία ονομάζεται γωνία διάθλασης και συμβολίζεται με

Με χρήση του νόμου του Σνελ για τη διάθλαση προκύπτει: $n\hat{\pi}_0 = \frac{1}{\dots\dots\dots}$ Για α-

κόμα μεγαλύτερη γωνία η προσπίπτουσα δέσμη υφίσταται μόνον Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάκλαση.

ε. Αν ένα σώμα ανακλά τις φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν σε όλα τα χρώματα, τότε θα εμφανίζεται με το της φωτεινής δέσμης με την οποία φωτίζεται.

Αν ένα σώμα τις φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν σε όλα τα χρώματα της ορατής ακτινοβολίας και δεν ανακλά κανένα, τότε θα εμφανίζεται.....

Τα διαφανή έγχρωμα σώματα αφήνουν να περάσουν που αντιστοιχούν στο χρώμα που εμφανίζουν και όλες τις υπόλοιπες.

2. Να διατυπώσεις το νόμο του Σνελ για τη διάθλαση του φωτός.

3. Πώς ορίζεται ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού και ποιες είναι οι μονάδες του;

4. Να συγκρίνεις τη γωνία πρόσπτωσης με τη γωνία διάθλασης όταν μια φωτεινή δέσμη διέρχεται από τον αέρα στο γυαλί και δεν είναι κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια. Το ίδιο όταν διέρχεται από το γυαλί στον αέρα. Να σχεδιάσεις σε κατάλληλο σχήμα την πορεία των φωτεινών ακτίνων.

5. Το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής διάθλασης αυξάνει ή μειώνει τη διάρκεια της ημέρας. Δικαιολόγησέ το.

► **Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις για τις ερωτήσεις που ακολουθούν:**

6. Στο διπλανό σχήμα φαίνεται ένα νόμισμα Π που έχει τοποθετηθεί στον πυθμένα μιας λίμνης. Σε ποιο σημείο πρέπει να τοποθετήσει το μάτι του ένας παρατηρητής ώστε να δει το νόμισμα; Να παραστήσεις γραφικά στο τετράδιό σου την πορεία των φωτεινών ακτίνων.

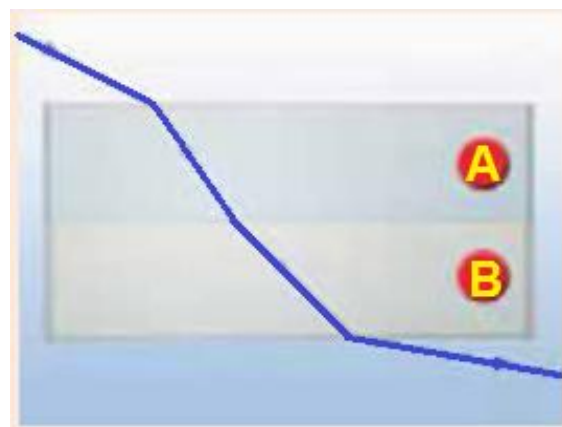


7. Μια μονοχρωματική φωτεινή δέσμη διαδίδεται από το νερό στο γυαλί. Συμβουλεύσου τα δεδομένα που δίδονται στο διάγραμμα 8.1 για την ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο νερό και το γυαλί και σχεδίασε την πορεία της φωτεινής δέσμης.



- 8.** Να συμπληρώσεις την πορεία των φωτεινών δεσμών που παριστάνονται στο διπλανό σχήμα.
- 9.** Κατά τις ζεστές καλοκαιρινές ημέρες οι ευθείς ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι συχνά δίνουν την εντύπωση ότι σε μεγάλη απόσταση είναι βρεγμένοι. Πώς θα μπορούσες να εξηγήσεις αυτό το φαινόμενο;
- 10.** Παρατήρησε την εικόνα 8.1 στην οποία παριστάνεται ένα κουτάλι βυθισμένο σε ένα ποτήρι με νερό. Πώς θα μπορούσες να εξηγήσεις το σπάσιμο που παρατηρείς στη λαβή του κουταλιού; Σχεδίασε ένα κατάλληλο σχήμα με το οποίο να δικαιολογείς αυτό που παρατηρείς.
- 11.** Ένας Εσκιμώος θέλει να χτυπήσει με το καμάκι του μια φώκια που βρίσκεται βυθισμένη στο νερό. Θα πρέπει να στοχεύσει πιο πάνω, πιο κάτω ή κατευθείαν πάνω της; Θα έκανε το ίδιο αν χρησιμοποιούσε ως όπλο ένα πιστόλι με ισχυρή δέσμη λέιζερ; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου σχεδιάζοντας και το ανάλογο σχήμα;

- 12.** Θέλεις να στείλεις μια δέσμη λέιζερ σε ένα διαστημικό σταθμό ο οποίος βρίσκεται μέσα στην ατμόσφαιρα ακριβώς στη γραμμή του ορίζοντα. Θα σκοπεύσεις πιο πάνω, πιο κάτω ή τον ίδιο το δορυφορικό σταθμό; Θα έκανες το ίδιο αν αντί για δέσμη λέιζερ εκτόξευες έναν πύραυλο;



- 13.** Γνωρίζεις ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα σε ένα ομογενές μέσο αλλά σε μια οπτική ίνα φαίνεται να

κάμπτεται και να ακολουθεί τη διεύθυνσή της. Μπορείς να εξηγήσεις γιατί συμβαίνει αυτό;

14. Παρατήρησε τη διπλανή εικόνα στην οποία παριστάνεται η πορεία μιας φωτεινής δέσμης, καθώς διέρχεται από το υλικό Α στο υλικό Β. Ποιο από τα δύο υλικά έχει το μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης; Σε ποιο υλικό το φως διαδίδεται με τη μεγαλύτερη ταχύτητα;

15. Το γυαλί έχει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης από το νερό. Ποιο υλικό παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ορική γωνία;

16. Σ' ένα πρίσμα το ιώδες φως εκτρέπεται από τη πορεία διάδοσής του περισσότερο από το κόκκινο. Γιατί συμβαίνει αυτό;

17. Ποια έγχρωμη δέσμη έχει μεγαλύτερη ταχύτητα στο γυαλί; Η κόκκινη, η πράσινη ή η μπλε;

18. Να εξηγήσεις γιατί ένα σκοτεινό σύννεφο προμηνύει βροχή αν γνωρίζεις ότι οι μεγάλες σταγόνες νερού απορροφούν μεγαλύτερο ποσοστό ακτινοβολίας απ' όση διαχέουν.

19. Ένα διαφανές τζάμι όταν φωτίζεται με λευκό φως φαίνεται κόκκινο, ενώ ένα άλλο πράσινο. Κατασκευάζουμε ένα γυάλινο κουτί που το περίβλημά του αποτελείται από τα δύο τζάμια τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο. Στο εσωτερικό του κουτιού τοποθετούμε μια λευκή πηγή φωτός. Ποιο είναι το χρώμα που θα δούμε;

20. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενό τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

i. Όταν ο Νηλ Άρμστρονγκ, ο πρώτος άνθρωπος που

πάτησε την επιφάνεια της Σελήνης, έστρεψε το βλέμμα του προς τα πάνω αντίκρισε ένα μαύρο ουρανό σε αντίθεση με τον καταγάλανο της Γης. Αυτό συμβαίνει γιατί: α) στη Σελήνη δεν υπάρχουν φωτεινές πηγές, β) η Σελήνη δεν έχει ατμόσφαιρα, γ) η Σελήνη έχει πολύ χαμηλή θερμοκρασία, δ) η Σελήνη δεν έχει ωκεανούς που να ανακλούν το ηλιακό φως, ε) τίποτε από όλα αυτά.

ii. Η σκηνή ενός θεάτρου φωτίζεται από έναν προβολέα που εκπέμπει ακτινοβολία μπλε χρώματος. Το χρώμα που φαίνεται να έχει ο κίτρινος μανδύας του πρωταγωνιστή είναι: α) μπλε, β) κίτρινο, γ) λευκό, δ) μαύρο, ε) κανένα από αυτά.

Ασκήσεις

ασκήσεις

1. Μια φωτεινή δέσμη προσπίπτει στην επάνω επιφάνεια μιας ορθογώνιας γυάλινης πλάκας με γωνία προσπτωσης 60° , ενώ η γωνία διάθλασης της δέσμης είναι 35° . Να σχεδιάσεις την προσπίπτουσα και τη διαθλωμένη φωτεινή ακτίνα, καθώς και την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης. Να προσδιορίσεις τη γωνία πρόσπτωσης της φωτεινής δέσμης στην κάτω επιφάνεια της πλάκας. Αν η πλάκα περιβάλλεται από αέρα, να υπολογίσεις τη γωνία με την οποία εξέρχεται η φωτεινή ακτίνα από αυτή. Ποια είναι η διεύθυνση της εξερχόμενης φωτεινής δέσμης σε σχέση με τη διεύθυνση της προσπίπτουσας;

2. Να προσδιορίσεις το δείκτη διάθλασης ενός υλικού αν γνωρίζεις ότι μια φωτεινή δέσμη διαθλάται με γωνία 30° όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι 45° .

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

□ Διάθλαση ονομάζεται το φαινόμενο της αλλαγής της διεύθυνσης διάδοσης του φωτός όταν αυτό περνά από ένα διαφανές υλικό σε ένα άλλο διαφανές υλικό, στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα.

□ Κατά τη διάθλαση του φωτός ισχύουν οι ακόλουθοι νόμοι:

α) Η προσπίπτουσα ακτίνα, η διαθλώμενη και η ευθεία που είναι κάθετη στην επιφάνεια επαφής των δύο υλικών και περνά από το σημείο πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

β) Το ημίτιο του ημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτιο της γωνίας διάθλασης είναι σταθερό:

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \text{σταθερό}$$

□ Δείκτης διάθλασης ενός υλικού ορίζεται το ημίτιο $n = (\text{ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό}) / (\text{ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο υλικό})$ ή $n = c/u$

□ Όταν φωτεινή ακτίνα προσπίπτει στην επιφάνεια επαφής δύο υλικών, προερχόμενη από το οπτικά πυκνότερο με γωνία μεγαλύτερη μιας οριζικής γωνίας τότε υφίσταται μόνο ανάκλαση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ολική ανάκλαση.

□ Το λευκό φως είναι σύνθετο. Αποτελείται από ακτινοβολίες που αντιστοιχούν σε κάθε χρώμα. Το λευκό φως αναλύεται από ένα πρίσμα, οπότε σχηματίζεται το χρωματικό φάσμα.

□ Η ανάλυση του φωτός οφείλεται στο ότι η ταχύτητα διάδοσης μιας φωτεινής ακτίνας σ' ένα υλικό, επομέ-

νως και ο δείκτης διάθλασης του υλικού, εξαρτάται από το «χρώμα» της.

□ Το χρώμα ενός αδιαφανούς σώματος καθορίζεται από το χρώμα που αντιστοιχεί στις φωτεινές ακτίνες που αυτό ανακλά, ενώ ενός διαφανούς καθορίζεται από το χρώμα που αντιστοιχεί στις φωτεινές ακτίνες των οποίων επιτρέπει τη διέλευση.

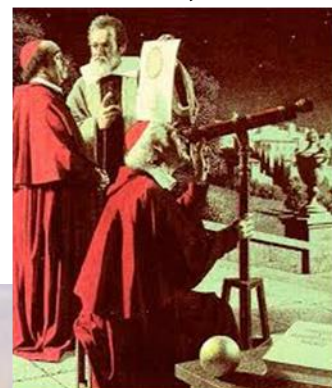
ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Οπτικά πυκνότερο υλικό	Διάθλαση	Δείκτης διάθλασης
Ολική ανάκλαση	Ανάλυση του φωτός	Χρωματικό φάσμα

μια μικρή ιστορία...

Τον Αύγουστο του 1606 ο Γαλιλαίος προσπάθησε να πείσει τον Δόγη και το συμβούλιο της Βενετίας για την ανεκτίμητη αξία του Perspicillum, όπως ονόμαζε το τηλεσκόπιο που ο ίδιος είχε κατασκευάσει. Ο Γαλιλαίος και ο βοηθός του είχαν ξοδέψει πολλές ώρες στο εργαστήριο του στην Πάδοβα της Ιταλίας λειαινώντας και ελέγχοντας φακούς τους οποίους χρησιμοποίησαν στην κατασκευή του τηλεσκοπίου. Οι προσπάθειες τους όμως ανταμείφθηκαν. Ο Δόγης και το συμβούλιο αναγνώρισαν την αξία του οργάνου του ως καθηγητή στο Πανεπιστήμιο της Πάδοβας. Η μεγαλύτερη και ανεκτίμητη ανταμοιβή για το Γαλιλαίο ήρθε όταν έστρεψε το τηλεσκόπιο στον ουρανό και παρατήρησε ουράνια σώματα και φαινόμενα αόρατα μέχρι τότε. Έγραψε ενθουσιασμένος: Είμαι απείρως ευγνώμων προς το Θεό που καταδέχτηκε να με καταστήσει τον πρώτο παρατηρητή σε τόσο θαυμαστά αλλά μέχρι τώρα αόρατα στο ανθρώπινο μάτι.

Πώς λειτούργησε το τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου;



Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μάθεις πως λειτουργούν οι φακοί και ποια είναι τα πιο γνωστά είδη τους. (συγκλίνοντες και αποκλίνοντες)
- Θα γνωρίσεις πως σχηματίζονται τα είδωλα φωτεινών αντικειμένων σε ένα συγκλίνοντα και ένα αποκλίνοντα φακό, καθώς και τις έννοιες «πραγματικό» και «φανταστικό» είδωλο.
- Θα διαπιστώσεις ότι το μάτι μας λειτουργεί όπως ένας φακός και θα γνωρίσεις τις εφαρμογές των φακών στην καθημερινή μας ζωή και τη σημασία τους για τη διερεύνηση των αισθήσεων μας (τηλεσκόπιο- μικροσκόπιο).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΦΑΚΟΙ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

ΦΑΚΟΙ: Η ΟΡΑΣΗ ΜΑΣ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΓΑΛΟΚΟΣΜΟ

Οπτικός φακός ονομάζεται ένα διαφανές σώμα, συνήθως από γυαλί, το οποίο έχει καμπύλες επιφάνειες (σφαιρικές ή κυλινδρικές). Οι αρχαίοι Έλληνες γνώριζαν ότι ένα διαφανές σφαιρικό δοχείο γεμάτο νερό μπορούσε να συγκεντρώνει σε μια πολύ μικρή επιφάνεια το ηλιακό φως που έπεφτε πάνω του (εικόνα 9.1).



Εικόνα 9.1
Το φλογοβόλο γυαλί. Αριστοφάνης : Νεφέλες

- 1 ΣΤ:** Είδες ποτέ στα φαρμακεία το γυαλί το διάφανο κι ωραίο που μ' αυτό ανάβουν τη φωτιά;
- 2 Σω:** Το φακό εννοείς;
- 3 ΣΤ:** Μπράβο! Να λοιπόν κρατώντας τον στο χέρι σαν ο κλητήρας γράφει τη μήνυση μπροστά στον ήλιο θα στεκόμουν και θα έλιωνα της δίκης τα γράμματα.

ΑΡΙΣΤΟΦΑΝΗΣ, ΝΕΦΕΛΕΣ

Πρώτοι οι Κινέζοι χρησιμοποίησαν τους φακούς για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της όρασης. Γυαλιά όρασης κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά στη Βόρεια Ιταλία γύρω στα 1825.

Στις αρχές του 17ου αιώνα ο Κέπλερ και ο Γαλιλαίος συνδύασαν δύο φακούς και κατασκεύασαν τα πρώτα τηλεσκόπια (εικόνα 9.2).



(α)



(β)

Εικόνα 9.2
(α) Το τηλεσκόπιο που χρησιμοποίησε ο Γαλιλαίος με το οποίο

ο παρατήρησε προσεκτικά την επιφάνεια της Σελήνης και ανακάλυψε κάποιους από τους δορυφόρους του Δία.

β) Ένα σύγχρονο τηλεσκόπιο

Με τα τηλεσκόπια οι δύο επιστήμονες διεύρυναν τα όρια του ορατού σύμπαντος και έτσι μπόρεσαν να παρατηρήσουν τις κινήσεις των πλανητών και των δορυφόρων τους. Οι φακοί αποτελούν τα βασικά εξαρτήματα όλων σχεδόν των οπτικών οργάνων: των μικροσκοπίων, των τηλεσκοπίων, των φωτογραφικών μηχανών, των μηχανημάτων προβολής εικόνων κ.ά.

9.1 Συγκλίνοντες και αποκλίνοντες φακοί

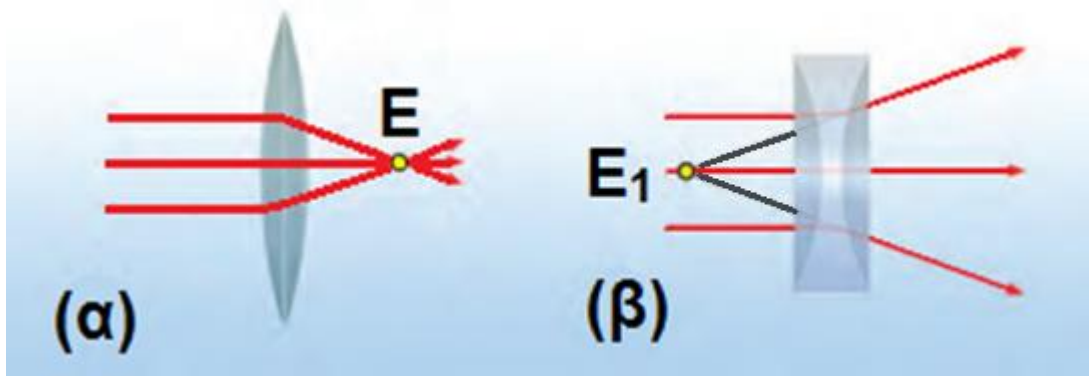
Αν αναρωτήθηκες ποτέ για τα χαρακτηριστικά ενός πολύ μικρού αντικειμένου και θέλησες να τα παρατηρήσεις, ασφαλώς θα χρησιμοποίησες ένα μεγεθυντικό φακό. Αν παρατηρήσεις ένα αντικείμενο μέσα από ένα φα-

κό, το μέγεθός του φαίνεται διαφορετικό από αυτό που είναι στην πραγματικότητα.

Σε ποιο φαινόμενο βασίζεται η λειτουργία των φακών;

Όταν μια φωτεινή δέσμη περάσει μέσα από ένα φακό, λόγω του φαινομένου της διάθλασης κάμπτεται πολύ έντονα. Υπάρχουν δύο κύρια είδη φακών:

Οι κυρτοί φακοί είναι παχύτεροι στο μέσον και λεπτότεροι στο άκρο και μετατρέπουν μια δέσμη παράλληλων φωτεινών ακτίνων σε συγκλίνουσα, γι' αυτό και ονομάζονται **συγκλίνοντες φακοί**. Ο μεγεθυντικός φακός είναι συγκλίνων φακός (εικόνα 9.3α). Οι κοίλοι φακοί είναι λεπτότεροι στο μέσο και παχύτεροι στα άκρα. Μετατρέπουν μια δέσμη παράλληλων φωτεινών ακτίνων σε αποκλίνουσα, γι' αυτό ονομάζονται **αποκλίνοντες φακοί** (εικόνα 9.3β).



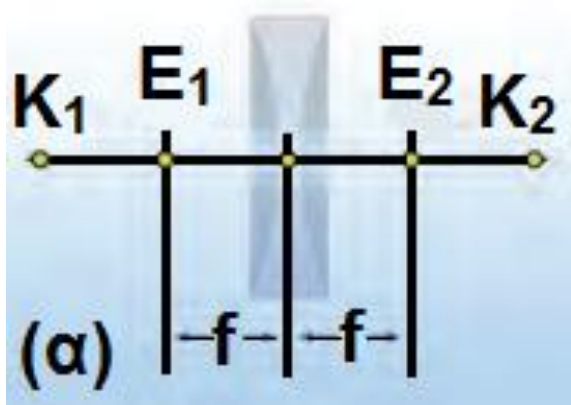
Εικόνα 9.3

(α) Συγκλίνων φακός. (β) Αποκλίνων φακός.

Τέτοιου είδους φακοί χρησιμοποιούνται στο σκόπευτρο της φωτογραφικής μηχανής.

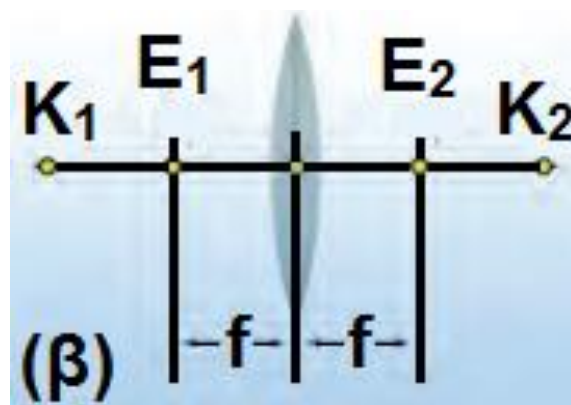
Το σημείο E_1 στο οποίο συγκεντρώνονται οι φωτεινές ακτίνες της συγκλίνουσας δέσμης ή οι προεκτάσεις της αποκλίνουσας ονομάζεται κύρια εστία του φακού.

Στην εικόνα 9.4 φαίνονται μερικά από τα χαρακτηριστικά των φακών με σφαιρικές επιφάνειες.



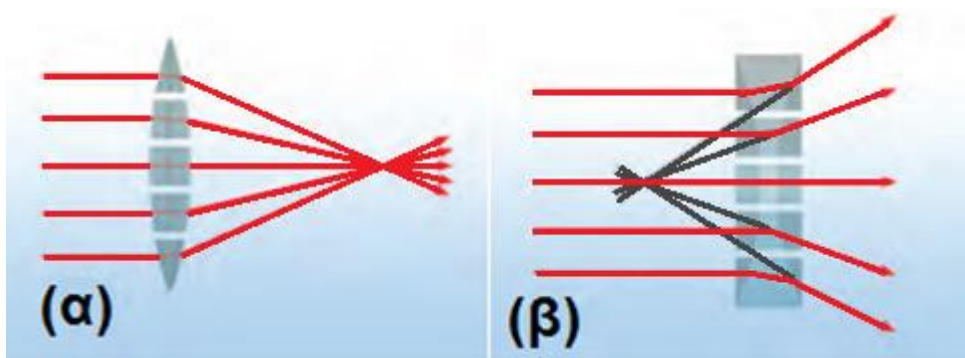
Εικόνα 9.4

α) Χαρακτηριστικά κοίλου φακού. (β) Χαρακτηριστικά κυρτού φακού.



Η γραμμή K_1K_2 που συνδέει τα κέντρα των δύο σφαιρικών επιφανειών λέγεται κύριος άξονας του φακού. Το σημείο του κυρίου άξονα που βρίσκεται στο μέσο του φακού ονομάζεται κέντρο του φακού. Η απόσταση της κύριας εστίας από το κέντρο του φακού ονομάζεται εστιακή απόσταση του φακού. Ένας λεπτός φακός διαθλά τις φωτεινές δέσμες που έρχονται από δεξιά του με τον ίδιο τρόπο που διαθλά και αυτές που έρχονται από αριστερά του. Συνεπώς έχει δύο κύριες εστίες (E_1, E_2). Για λεπτούς φακούς οι δύο εστιακές αποστάσεις είναι ίσες.

Για να καταλάβουμε πώς λειτουργεί ένας φακός, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αποτελείται από ένα σύνολο πρισμάτων διαφορετικών μεγεθών και σχημάτων (εικόνα 9.5).

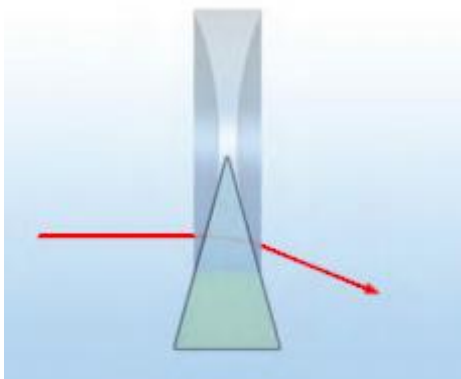


Εικόνα 9.5
Στους φα-
κούς τα πρί-
σματα είναι
τοποθετημέ-
να ώστε: (α)
Οι συγκλίνο-

ντες φακοί να είναι παχύτεροι στο κέντρο. (β) Οι αποκλί-
νοντες φακοί να είναι λεπτότεροι στο κέντρο.

Γιατί ο φακός που είναι λεπτότερος στο κέντρο προκαλεί απόκλιση των φωτεινών δεσμών, ενώ ο παχύ-
τερος σύγκλιση;

Μπορούμε να προσεγγίσουμε ένα πολύ λεπτό κοί-
λο φακό με ένα τριγωνικό πρίσμα του οποίου η κορυφή
βρίσκεται στο κέντρο του φακού. Σχεδιάζουμε την πο-
ρεία μιας λεπτής φωτεινής δέσμης που προσπίπτει στο
φακό παράλληλα στον κύριο άξονά του. Στο κεφάλαιο 8



μάθαμε ότι, όταν μια φωτεινή ακτί-
να εισέρχεται παράλληλα προς τη
βάση ενός τριγωνικού πρίσματος,
εξερχόμενη από αυτό αλλάζει πο-
ρεία ώστε να πλησιάζει προς τη
βάση του (εικόνα 9.6).

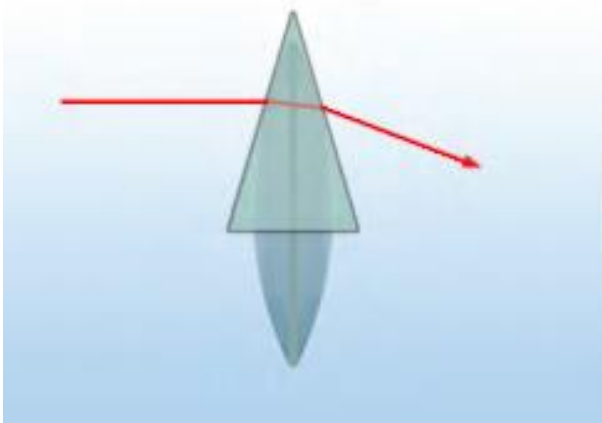
Εικόνα 9.6

Ένας αποκλίνων φακός προσεγγίζεται με ένα τριγωνικό
πρίσμα του οποίου η κορυφή βρίσκεται στο κέντρο του
φακού.

Έτσι σ' ένα κοίλο φακό η εξερχόμενη ακτίνα εκτρέ-
πεται ώστε να απομακρύνεται από το κέντρο του, δηλα-
δή ο φακός λειτουργεί ως αποκλίνων.

Αντίστοιχα ένας πολύ λεπτός φακός που είναι πα-

χύτερος στο κέντρο του προσεγγίζεται από ένα τριγωνικό πρίσμα του οποίου η κορυφή βρίσκεται στην κορυφή του φακού και η βάση του είναι παράλληλη προς τον κύριο άξονα του φακού (εικόνα 9.7). Έτσι μια φωτεινή ακτίνα παράλληλη προς τον κύριο άξονα όταν εξέρχεται από το φακό πλησιάζει προς το κέντρο του, δηλαδή ο φακός λειτουργεί ως συγκλίνων.



Εικόνα 9.7

Ένας συγκλίνων φακός προσεγγίζεται με ένα τριγωνικό πρίσμα του οποίου η κορυφή βρίσκεται στην κορυφή του φακού.



Εικόνα 9.8

Μια γυάλινη σφαίρα μπορεί να λειτουργήσει ως συγκλίνων φακός.

9.2 Είδωλα φακών

Όταν σε αρκετή απόσταση από ένα συγκλίνοντα φακό τοποθετήσουμε ένα αντικείμενο, π.χ. ένα κερί, τότε σε οθόνη πίσω από το φακό είναι δυνατόν να σχηματιστεί πραγματικό είδωλο και αντεστραμμένο (εικόνα 9.9).



Εικόνα 9.9
Είδωλο σε συγκλίνοντα φακό

Πλησιάζοντας το αντικείμενο προς το φακό το μέγεθος του ειδώλου μεγαλώνει και μετά από ορισμένο σημείο δεν είναι δυνατή η προβολή του σε οθόνη. Σε αυτή τη θέση βρίσκεται η εστία του φακού. Πλησιάζοντας το αντικείμενο ακόμη περισσότερο μπορούμε να διακρίνουμε το είδωλο μόνο μέσα από το φακό. Το είδωλο είναι πλέον φανταστικό. Είναι επίσης όρθιο και μεγαλύτερο του αντικειμένου. Ο φακός λειτουργεί ως μεγεθυντικός (εικόνα 9.10).

Εικόνα 9.10
Ο συγκλίνων φακός χρησιμοποιείται για τη μεγέθυνση αντικειμένων, όπως τα γράμματα της εικόνας.



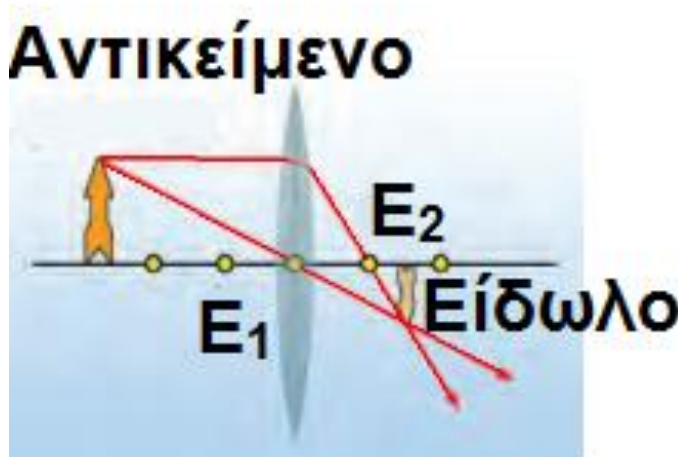
Γραφικός προσδιορισμός του ειδώλου

Πώς θα μπορούσαμε να προσδιορίσουμε τη θέση, το είδος και το μέγεθος του ειδώλου που σχηματίζεται από ένα φακό;

Για να προσδιορίσουμε γραφικά το είδος του ειδώλου που σχηματίζει ένας φακός, ακολουθούμε τα παρακάτω

βήματα. Αρχικά προσδιορίζουμε το είδος του φακού (κοίλος ή κυρτός, συγκλίνων ή αποκλίνων), καθώς και τα χαρακτηριστικά του (κέντρο και εστιακή απόσταση). Στη συνέχεια προσδιορίζουμε τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου όπως το μέγεθός του και τη θέση του, δηλαδή την απόστασή του από το κέντρο του φακού. Το αντικείμενο, είτε αυτό είναι ένα μικρόβιο που παρατηρείται με το μικροσκόπιο είτε είναι ένας γαλαξίας που παρατηρείται με ένα τηλεσκόπιο, το παριστάνουμε με ένα βέλος. Για απλότητα τοποθετούμε την αρχή του βέλους στον κύριο άξονα.

Για να προσδιορίσουμε το είδωλο του αντικειμένου, προσδιορίζουμε το είδωλο ενός σημείου του, για παράδειγμα της μύτης του βέλους. Το είδωλο ενός σημείου προσδιορίζεται σχεδιάζοντας την πορεία δύο χαρακτηριστικών ακτίνων που ξεκινούν από το σημείο (μια παράλληλη προς τον κύριο άξονα και την άλλη να διέρχεται από το κέντρο του φακού) (εικόνα 9.11).



Εικόνα 9.11

Γραφικός προσδιορισμός του ειδώλου σε συγκλίνοντα φακό.

Η πορεία των ακτίνων σχεδιάζεται σύμφωνα με τους παρακάτω κανόνες:

1. Κάθε ακτίνα που είναι παράλληλη προς τον κύριο άξονα ενός κυρτού, συγκλίνοντος φακού μετά τη διάθλασή της διέρχεται από την κύρια εστία του φακού. Αν

ο φακός είναι κοίλος, αποκλίνουν από την κύρια εστία διέρχεται η προέκταση της διαθλώμενης ακτίνας.

2. Αντίστροφα μια ακτίνα η οποία διέρχεται από την κύρια εστία ενός συγκλίνοντος φακού ή που κατευθύνεται προς την κύρια εστία ενός αποκλίνοντος φακού μετά τη διάθλασή της γίνεται παράλληλη προς τον κύριο άξονα.

3. Μια ακτίνα που περνά από το κέντρο του φακού δεν αλλάζει πορεία.

Είδη ειδώλων σε φακούς

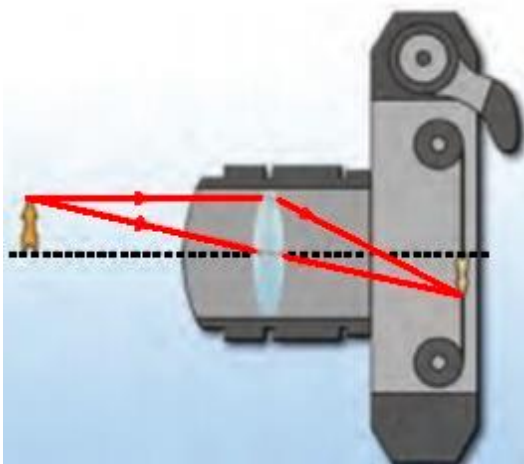
Εφαρμόζουμε τους παραπάνω κανόνες προκειμένου να προσδιορίσουμε τα χαρακτηριστικά των ειδώλων και στα δύο είδη φακών.

α. Συγκλίνων φακός

Τοποθετούμε ένα αντικείμενο, για παράδειγμα ένα κερί, σε απόσταση μεγαλύτερη της εστιακής. Αν τοποθετήσουμε μια οθόνη πίσω από το φακό, παρατηρούμε ότι πάνω σε αυτή θα σχηματίζεται το είδωλο αντεστραμμένο και μικρότερο του αντικειμένου.

Στην εικόνα 9.11 παρουσιάζεται ο γραφικός προσδιορισμός του ειδώλου του κεριού. Παρατηρούμε ότι όσο το αντικείμενο παραμένει σε απόσταση μεγαλύτερη της εστιακής το είδωλό του είναι μικρότερο του αντικειμένου και αντεστραμμένο. Επίσης είναι πραγματικό γιατί σχηματίζεται από τις διαθλώμενες ακτίνες και όχι από τις προεκτάσεις τους.

Με αυτό τον τρόπο χρησιμοποιούνται οι συγκλίνοντες φακοί για την προβολή σε μια οθόνη διαφανειών ή κινούμενων εικόνων και την προβολή μιας πραγματικής εικόνας στο φιλμ μιας φωτογραφικής μηχανής (εικόνα 9.12).



Εικόνα 9.12

Σχηματισμός του πραγματικού ειδώλου στο φιλμ μιας φωτογραφικής μηχανής.

Γιατί όταν χρησιμοποιείς ένα μεγεθυντικό φακό τον κρατάς πολύ κοντά στο αντικείμενο που θέλεις να μεγεθύνεις (εικόνα 9.10); Ο μεγεθυντικός φακός είναι ένας συγκλίνων φακός. Για να καταλάβουμε πώς λειτουργεί, σχηματίζουμε το είδωλό ενός αντικειμένου το οποίο τοποθετούμε σε απόσταση μικρότερη της εστιακής (εικόνα 9.13). Παρατηρούμε ότι τέμνονται οι προεκτάσεις των διαθλωμένων ακτίνων. Σχηματίζεται φανταστικό είδωλο, το οποίο δεν είναι δυνατόν να προβληθεί σε οθόνη, αλλά είναι πάντοτε μεγαλύτερο του αντικειμένου και όρθιο (εικόνα 9.13).



Σχηματισμός ειδώλου σε συγκλίνοντα φακό όταν η απόσταση του αντικείμενου είναι μικρότερη της εστιακής.

β. Αποκλίνων φακός

Το είδωλο ενός αντικειμένου που σχηματίζεται με ένα αποκλίνοντα φακό είναι πάντοτε φανταστικό, όρθιο και μικρότερο από το αντικείμενο ανεξάρτητα από τη θέση

του αντικειμένου (εικόνες 9.14, 9.15).



Εικόνα 9.14

Το μέγεθος του ειδώλου σ' έναν αποκλίνοντα φακό είναι μικρότερο του αντικείμενου.



Εικόνα 9.15

Σχηματισμός ειδώλου σε αποκλίνοντα φακό.

Ένας αποκλίνων φακός χρησιμοποιείται συχνά στο σκόπευτρο μιας φωτογραφικής μηχανής. Όταν κοιτάζεις το αντικείμενο που θέλεις να φωτογραφίσεις μέσα από το σκόπευτρο της μηχανής, βλέπεις το φανταστικό όρθιο είδωλό του (εικόνα 9.16). Οι αναλογίες του ειδώλου είναι ίδιες με της φωτογραφίας που πρόκειται να τραβηχτεί.

Εικόνα 9.16

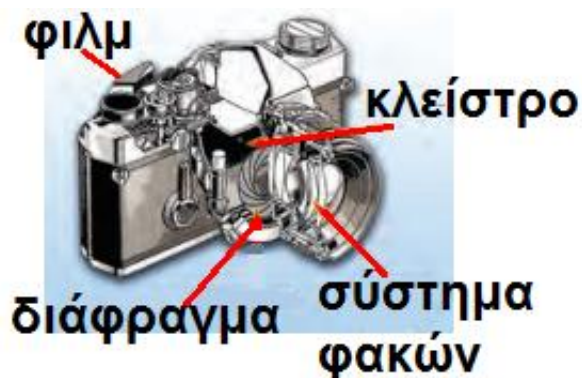
Το σκόπευτρο μιας φωτογραφικής μηχανής.



9.3 Οπτικά όργανα και το μάτι

Η φωτογραφική μηχανή

Μια απλή φωτογραφική μηχανή αποτελείται από ένα συγκλίνοντα φακό και ένα ευαίσθητο φιλμ τα οποία είναι τοποθετημένα σε ένα αδιαφανές κουτί. Ο φακός μπορεί να μετακινηθεί μπροστά και πίσω ώστε να ρυθμιστεί η απόσταση ανάμεσα στο φακό και στο φιλμ. Μέσω του φακού σχηματίζεται πάνω στο φιλμ ένα πραγματικό, αντεστραμμένο είδωλο (εικόνα 9.17).



Εικόνα 9.17

Τα μέρη μιας φωτογραφικής μηχανής.

Ο αριθμός των φωτονίων που φθάνουν στο φιλμ ρυθμίζεται από ένα κλείστρο και ένα διάφραγμα. Το κλείστρο ελέγχει το χρονικό διάστημα που το φιλμ είναι εκτεθειμένο στο φως. Το διάφραγμα ελέγχει το άνοιγμα του κουτιού από το οποίο διέρχεται το φως για να φθάσει στο φιλμ. Μεταβολή στο μέγεθος του διαφράγματος μεταβάλλει τον αριθμό των φωτονίων που φθάνουν στο φιλμ κάθε χρονική στιγμή. Όταν τα φωτόνια φθάσουν στο φιλμ, απορροφώνται από το υλικό του και προκαλούν χημικές αντιδράσεις, με αποτέλεσμα το φιλμ να αμαυρώνεται στα σημεία που προσπίπτουν φωτόνια. Με αυτό τον τρόπο αποτυπώνεται στο φιλμ το είδωλο του αντικειμένου.

Το μικροσκόπιο

Το μικροσκόπιο αποτελείται από δύο συγκλίνοντες φακούς: το φακό που βρίσκεται κοντά στο μάτι μας

(προσοφθάλμιος φακός) και το φακό που βρίσκεται κοντά στο αντικείμενο (αντικειμενικός φακός) (εικόνα 9.18).

Ο αντικειμενικός φακός έχει μικρή εστιακή απόσταση και δημιουργεί πραγματικό είδωλο του αντικειμένου. Αυτό το είδωλο αποτελεί το αντικείμενο για τον προσοφθάλμιο φακό ο οποίος σχηματίζει ένα μεγεθυμένο φανταστικό είδωλο (εικόνα 9.18).

Εικόνα 9.18

Τα μέρη και η λειτουργία ενός μικροσκοπίου.



Το τηλεσκόπιο

Τα βασικά στοιχεία ενός τηλεσκοπίου είναι τα ίδια με του μικροσκοπίου. Στο τηλεσκόπιο ο αντικειμενικός φακός έχει μεγάλη εστιακή απόσταση και δημιουργεί το πραγματικό είδωλο ενός πολύ μακρινού αντικειμένου σε απόσταση μικρότερη της εστιακής και πολύ κοντά στην κύρια εστία του προσοφθάλμιου φακού. Το είδωλο αυτό αποτελεί αντικείμενο για τον προσοφθάλμιο. Το είδωλο που σχηματίζει ο προσοφθάλμιος είναι μεγεθυμένο, αντεστραμμένο και φανταστικό (εικόνα 9.19).

Εικόνα 9.19

Ένα κοινό αστρονομικό τηλεσκόπιο κατασκευάζεται με συνδυασμό δύο φακών



Οι αστρονόμοι προτιμούν τα τηλεσκόπια με τους δύο φακούς. Σε αυτά τα τηλεσκόπια υπάρχει πολύ μικρότερη απορρόφηση φωτονίων και έτσι το είδωλο που σχηματίζεται είναι λαμπρότερο, αν και αντεστραμμένο.

Στα μεγάλα τηλεσκόπια που χρησιμοποιούμε για την παρατήρηση των ουράνιων σωμάτων ο αντικειμενικός φακός αντικαθίσταται συνήθως από ένα κοίλο κάτοπτρο (εικόνα 9.20). Τα τηλεσκόπια αυτά ονομάζονται **κατοπτρικά**.

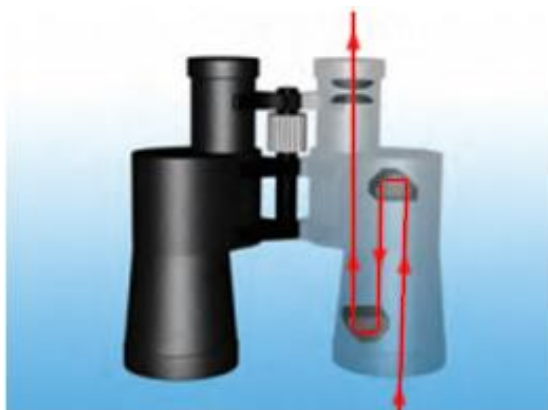


Εικόνα 9.20

Στοιχεία κατοπτρικού τηλεσκοπίου.

Το γήινο τηλεσκόπιο

Αν προσθέσουμε στο σύστημα των φακών ενός τηλεσκοπίου έναν τρίτο φακό ή ένα σύστημα από τριγωνικά πρίσματα που προκαλούν τετραπλή ανάκλαση, το είδωλο προκύπτει τελικά όρθιο. Ένα τέτοιο τηλεσκόπιο ονομάζεται **γήινο τηλεσκόπιο**. Ένα ζεύγος γήινων τηλεσκοπίων τοποθετημένων δίπλα δίπλα δημιουργούν τα **κιάλια** (εικόνα 9.21).



Εικόνα 9.21

**Το γήινο τηλεσκόπιο:
τα κιάλια**

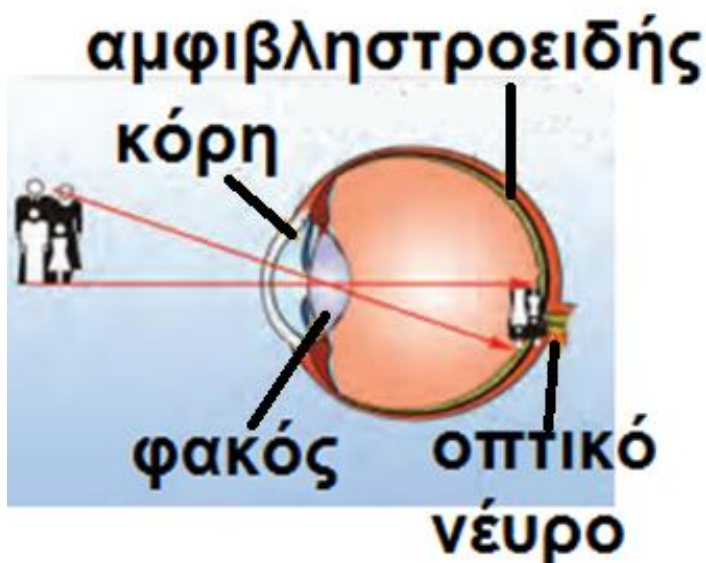
Τα βασικά μέρη μιας διόπτρας (κιάλια).

Το μάτι

Το μάτι έχει σχήμα σχεδόν σφαιρικό και είναι γεμάτο παχύρρευστο υγρό. Στο εμπρόσθιο μέρος υπάρχει μικρό άνοιγμα, η **κόρη**, και πίσω από αυτή ένας φακός.

Οι φωτεινές δέσμες που προέρχονται από ένα αντικείμενο εισέρχονται στο μάτι μέσω της κόρης. Ο αριθμός των φωτονίων που εισέρχεται ρυθμίζεται από το έγχρωμο τμήμα του ματιού, την **ίριδα**, που περιβάλλει την κόρη. Το φως διέρχεται μέσω του διαφανούς περιβλήματος το οποίο ονομάζεται **κερατοειδής χιτώνας** και διαθλάται στο φακό και το υγρό. Οι διαθλωμένες ακτίνες εστιάζονται στον **αμφιβληστροειδή χιτώνα** ο οποίος βρίσκεται στο πίσω μέρος του ματιού και είναι εξαιρετικά ευαίσθητος στο φως. Το είδωλο του αντικειμένου σχηματίζεται πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα αντεστραμμένο. Εκεί εξαπλώνεται το **οπτικό νεύρο** το οποίο συνδέει το μάτι με τον εγκέφαλο. Αν και το είδωλο σχηματίζεται αντεστραμμένο, ο εγκέφαλος που είναι ο τελικός επεξεργαστής του ερεθίσματος δημιουργεί την εντύπωση του όρθιου (εικόνα 9.22).

Φυσική και Ιατρική



Εικόνα 9.22
Τα μέρη του ματιού

Το μάτι προσαρμόζεται

Κατάλληλοι μύες μεταβάλλουν αυτόματα την καμπυλότητα του φακού, μεταβάλλοντας συνεπώς την εστιακή του απόσταση, έτσι ώστε το είδωλο να σχηματίζεται πάντα στον αμφιβληστροειδή, είτε το αντικείμενο βρίσκεται κοντά είτε πολύ μακριά από το μάτι.

Ελαττώματα της όρασης

Αν διαθέτεις αυτό που ονομάζουμε κανονική όραση, μπορείς να δεις καθαρά και αντικείμενα που βρίσκονται σε απόσταση 25 εκατοστών από εσένα (κοντινό σημείο). Τα ελαττώματα της όρασης συνδέονται με την αδυναμία του ματιού να σχηματίσει το είδωλο του αντικειμένου πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Μερικά από τα ελαττώματα της όρασης διορθώνονται με τη χρήση γυαλιών ή φακών επαφής (εικόνα 9.23).



Εικόνα 9.23

Τα γυαλιά είναι κατάλληλοι φακοί που διορθώνουν κάποια από τα ελαττώματα της όρασης.

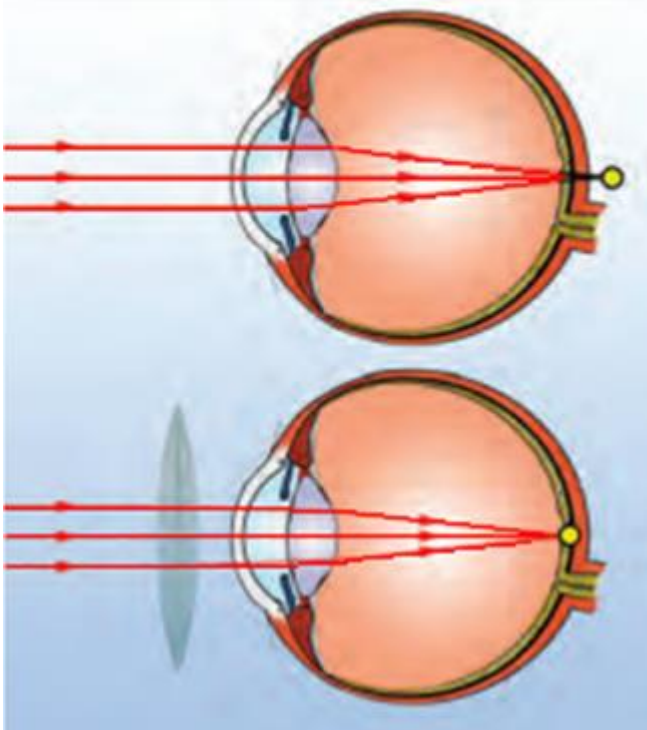
Πρεσβυωπία-Υπερμετρωπία

Θα έχεις πιθανόν παρατηρήσει τον παππού σου ή τη γιαγιά σου να φέρνει ένα αντικείμενο, για παράδειγμα μια εφημερίδα, σε μεγάλη απόσταση από τα μάτια του για να το δει καθαρότερα. Γιατί συμβαίνει αυτό;

Συνήθως με το πέρασμα των χρόνων το μάτι χάνει την ικανότητά του να προσαρμόζει το φακό ανάλογα με την απόσταση του αντικειμένου ώστε να σχηματίζει το είδωλο πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Επίσης σε

ορισμένα άτομα ο βολβός μπορεί να έχει μικρότερο βάθος από το κανονικό. Στις παραπάνω περιπτώσεις το είδωλο ενός κοντινού αντικειμένου σχηματίζεται μπροστά από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Αυτό το ελάττωμα διορθώνεται με τη χρήση ενός συγκλίνοντος φακού, ο οποίος προκαλεί σύγκλιση των ακτίνων ώστε να εστιάσουν στον αμφιβληστροειδή χιτώνα (εικόνα 9.24).

Φυσική και Τεχνολογία και Ιατρική



Εικόνα 9.24

Η πρεσβυωπία και η διόρθωσή της

Κάποιος που έχει πρεσβυωπία δεν μπορεί να δει καθαρά κοντινά αντικείμενα. Το είδωλο σχηματίζεται πίσω από τον αμφιβληστροειδή. Ένας συγκλίνων φακός διορθώνει αυτό το ελάττωμα. Οι φωτεινές ακτίνες διαθλώνται αρχικά στο φακό και στη συνέχεια στο μάτι μας, και τελικά το είδωλο σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή.

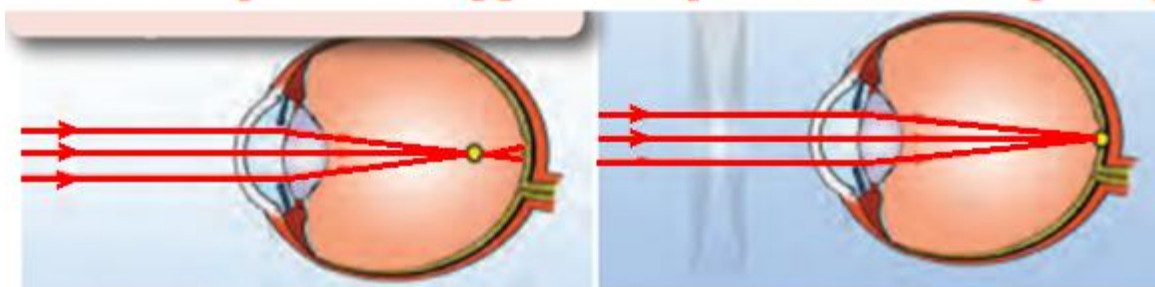
Μυωπία

Κάποιοι από τους συμμαθητές σου –πιθανόν και εσύ ο ίδιος– να μην μπορούν να δουν πολύ καθαρά αντικείμενα που βρίσκονται μακριά, για παράδειγμα τα γράμματα στον πίνακα της αίθουσας. Όταν όμως πλησιάσουν αρκετά στον πίνακα, τότε τα διακρίνουν με ευκρίνεια. Γιατί συμβαίνει αυτό;

Αν ο φακός του ματιού έχει μικρή ακτίνα καμπυλότητας ή αν το μήκος του βολβού είναι μεγάλο, τότε το εί-

δωλο ενός μακρινού αντικειμένου σχηματίζεται μπροστά από τον αμφιβληστροειδή, η όραση δεν είναι καθαρή και λέμε ότι ο οφθαλμός είναι μυωπικός. Για να διορθώσουμε αυτό το ελάττωμα, χρησιμοποιούμε έναν αποκλίνοντα φακό μπροστά από το μάτι. Ο αποκλίνων φακός προκαλεί απόκλιση των φωτεινών ακτίνων, με αποτέλεσμα το είδωλο να σχηματίζεται πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα (εικόνα 9.25).

Φυσική και Τεχνολογία και Ιατρική



Εικόνα 9.25

Η μυωπία και η διόρθωσή της

Ένας άνθρωπος που έχει μυωπία δεν μπορεί να δει καθαρά τα μακρινά αντικείμενα. Το είδωλο σχηματίζεται μπροστά από τον αμφιβληστροειδή. Ένας αποκλίνων φακός διορθώνει το παραπάνω ελάττωμα.

Ερωτήσεις

ερωτήσεις

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

1. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Οι φακοί είναι παχύτεροι στο μέσον και λεπτότεροι στα άκρα και μετατρέπουν μια δέσμη παράλληλων φωτεινών ακτίνων σε..... Γι' αυτό και ονομάζονται φακοί. Ο μεγεθυντικός φακός είναι φακός.

β. Οι φακοί είναι λεπτότεροι στο μέσο και παχύτεροι στα άκρα. Μετατρέπουν μια δέσμη παράλληλων φωτεινών ακτίνων σε Ονομάζονται λοιπόν φακοί.

2. Τοποθέτησε ένα αναμμένο κερί έτσι ώστε η φλόγα του να βρίσκεται στην εστία ενός λεπτού συγκλίνοντος φακού. Να σχεδιάσεις την πορεία των ακτίνων που προέρχονται από τη φλόγα του κεριού και διαθλώνται στο φακό

3. Τοποθέτησε μια πηγή λείζερ έτσι ώστε η μονοχρωματική φωτεινή δέσμη την οποία παράγει να είναι παράλληλη προς τον κύριο άξονα ενός αποκλίνοντος φακού και να διέρχεται μέσα από αυτόν. Να σχεδιάσεις την πορεία των φωτεινών ακτίνων της δέσμης μετά τη διάθλασή τους από το φακό.

► **Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις για τις ερωτήσεις που ακολουθούν:**

4. Ποιες είναι οι κύριες διαφορές σ' ένα αστρονομικό και ένα γήινο τηλεσκόπιο;

5. Ποιο όργανο μοιάζει περισσότερο με το μάτι; Ένα τηλεσκόπιο, ένα μικροσκόπιο ή μια φωτογραφική μηχανή;

6. Οι χάρτες της Σελήνης τη δείχνουν συνήθως αντεστραμμένη. Γιατί νομίζεις ότι συμβαίνει αυτό;

7. Να υποθέσεις ότι η φωτογραφική σου μηχανή έχει εστιάσει στο φιλμ το είδωλο ενός ανθρώπου που βρίσκεται σε απόσταση 2 m. Στη συνέχεια θέλεις να φωτογραφίσεις ένα δέντρο που βρίσκεται μακρύτερα. Ο φακός θα πρέπει να πλησιάσει ή να απομακρυνθεί από το φιλμ; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

8. Γιατί ένας μεγεθυντικός φακός ονομάζεται «γυαλί που βάζει φωτιά»;

Ασκήσεις

ασκήσεις

1. Θέλεις να φωτογραφίσεις το είδωλό σου που σχηματίζεται σε ένα επίπεδο καθρέφτη. Αν στέκεσαι σε απόσταση 1,5 m από τον καθρέφτη, σε ποια απόσταση πρέπει να εστιάσεις τη φωτογραφική σου μηχανή;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Υπάρχουν δύο είδη φακών: οι συγκλίνοντες και οι αποκλίνοντες.
- Φωτεινές ακτίνες παράλληλες μεταξύ τους μετά τη διάθλασή τους σε συγκλίνοντα ή αποκλίνοντα φακό συγκλίνουν ή αποκλίνουν αντίστοιχα.
- Το σημείο σύγκλισης διαθλώμενων ακτινών ή των προεκτάσεών του ονομάζεται εστία του φακού.
- Το είδος του ειδώλου που σχηματίζει ένας συγκλίνων φακός εξαρτάται από τη σχετική θέση του αντικειμένου ως προς την εστία του.
- Ο αποκλίνων φακός σχηματίζει πάντοτε φανταστικό είδωλο, ορθό και μικρότερο του αντικειμένου.
- Οι φακοί χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οπτικών οργάνων όπως τηλεσκόπια, μικροσκόπια, φωτογραφικές μηχανές. Επιπλέον, βρίσκουν εφαρμογή στη διόρθωση ελαττωμάτων της όρασης, όπως είναι η μυωπία και η πρεσβυωπία.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Συγκλίνων φακός

Κύριος άξονας

Μυωπία

Αποκλίνων φακός

Οπτικά όργανα

Πρεσβυωπία

Κύρια εστία

ΕΝΟΤΗΤΑ 4

ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΥΡΗΝΑΣ

Κεφάλαιο 10 : Ο ατομικός πυρήνας

Κεφάλαιο 11 : Πυρηνικές αντιδράσεις



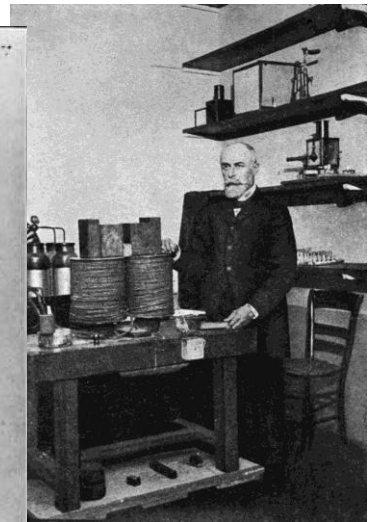
Από πού προέρχεται μια η θερμική ενέργεια μιας φυσικής θερμής πηγής ή ενός θερμοπίδακα; Γιατί το υλικό που εκτοξεύεται στις εκρήξεις των ηφαιστείων είναι σε διάπυρη κατάσταση; Τα φαινόμενα αυτά δείχνουν ότι στο εσωτερικό της Γης, σε μεγάλο βάθος υπάρχει μια μεγάλη πηγή θερμικής ενέργειας. Ένα μεγάλο μέρος της θερμικής ενέργειας του εσωτερικού της Γης οφείλεται σε διεργασίες που συμβαίνουν στους πυρήνες των ατόμων ορισμένων στοιχείων. Πρόκειται για την πυρη-

νική ενέργεια ή ραδιενέργεια (radio energy) που απελευθερώνουν τα ραδιενεργά ορυκτά που υπάρχουν στα έγκατα, βαθιά στο εσωτερικό της Γης, Από πού προέρχεται η τεράστια ενέργεια που εκπέμπει ο ήλιος; Το μυστικό της ηλιακής ενέργειας βρίσκεται, και αυτή, κρυμμένο βαθιά στο εσωτερικό της ύλης: στον πυρήνα των ατόμων. Στην παρούσα ενότητα θα μάθουμε να εξηγούμε όλα αυτά τα φαινόμενα. Διεισδύουμε στο εσωτερικό του ατόμου, γνωρίζουμε τα σωμάτια που το απαρτίζουν και τον τρόπο που αλληλεπιδρούν. Περιγράφουμε το φαινόμενο της πυρηνικής σχάσης, δηλαδή τις μεταβολές που συμβαίνουν στον ατομικό πυρήνα όταν διασπάται, καθώς και το φαινόμενο της πυρηνικής σύντηξης, δηλαδή τη διαδικασία της συνένωσης δύο πυρήνων. Τέλος, συζητάμε πώς ο άνθρωπος κατάφερε να αξιοποιήσει τη γνώση του για την πυρηνική σχάση και σύντηξη σε θαυμαστές τεχνολογικές εφαρμογές, που οφείλουν να αποσκοπούν στη Βελτίωση του Βιοτικού επιπέδου κάθε πολίτη.

μια μικρή ιστορία...

Ο συννεφιασμένος παρισινός ουρανός σύμμαχος σε μια σημαντική Επιστημονική ανακάλυψη. Το Φεβρουάριο του 1896 ο Ανρί Μπεκερέλ, καθηγητής στην περίφημη Πολυτεχνική Σχολή του Παρισιού πειραματιζόταν σχετικά με τη φύση των ακτινοβολιών που εξέπεμπαν ορισμένες ενώσεις του στοιχείου του ουρανίου, όταν αυτές φωτίζονταν από ηλιακό φως. Εξέθετε για αρκετή ώρα τις ουσίες στο ηλιακό φως και στη συνέχεια μετρούσε τα αποτελέσματα των ακτινοβολιών, από το πόσο έντονα αυτές αμαύρωναν μια φωτογραφική πλάκα. Πίστευε ότι το ουράνιο ακτινοβολούσε λόγω φθορισμού, που προκαλούσε το ηλιακό φως. Την τελευταία ε-

βδομάδα του μήνα ο Ήλιος είχε κρυφτεί πίσω από τα βαριά σύννεφα και ο Μπεκερέλ σταμάτησε τα πειράματά. Έβαλε το φιλμ μαζί με τις ενώσεις ουρανίου σ' ένα σκοτεινό συρτάρι και περίμενε να ξαναβγεί ο Ήλιος. Επειδή η συννεφιά συνεχιζόταν, προς το τέλος του μήνα, απογοητευμένος, αποφάσισε να εμφανίσει το φιλμ. Περίμενε να δει μια πολύ αμυδρή εικόνα. Προς μεγάλη του έκπληξη παρατήρησε ότι το φιλμ είχε αμαυρωθεί έντονα. Συμπέρανε ότι το ουράνιο ακόμη και στο σκοτάδι εξέπεμπε μια άγνωστη ακτινοβολία. Για πρώτη φορά στην Ιστορία, ο Μπεκερέλ είχε παρατηρήσει τα αποτελέσματα της ραδιενέργειας.



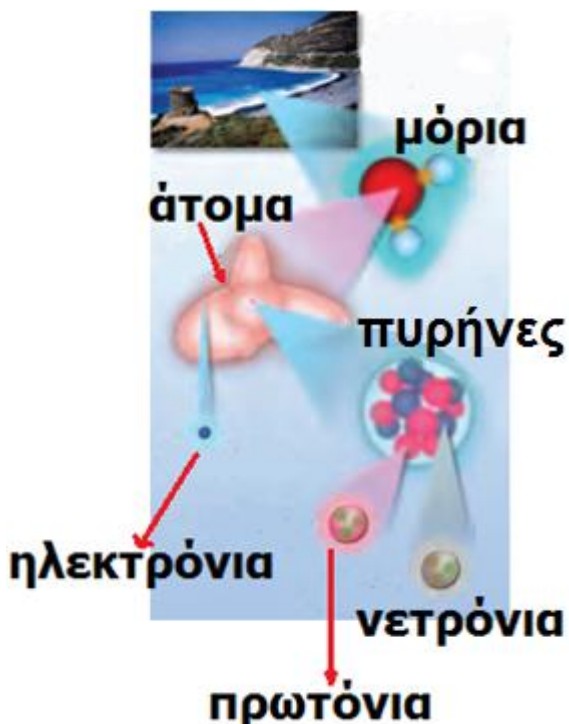
Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μάθεις ποια σωματίδια αποτελούν τον πυρήνα των ατόμων και θα γνωρίσεις τα χαρακτηριστικά τους
- Θα γνωρίσεις πώς αλληλεπιδρούν τα σωματίδια του πυρήνα ενός ατόμου, καθώς και για το φαινόμενο της ραδιενέργειας και τα είδη της ραδιενεργού ακτινοβολίας.
- Θα ενημερωθείς για τη βιολογική δράση της ραδιενεργού ακτινοβολίας και προστατευόμαστε από αυτή.

Ο ΑΤΟΜΙΚΟΣ ΠΥΡΗΝΑΣ

ΠΥΡΗΝΑΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ: Ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΓΙΓΑΝΤΑΣ

Οι επιστήμονες ήδη από τα μέσα του 19ου αιώνα αντιμετώπιζαν το ερώτημα: Ποια είναι η προέλευση της ηλιακής ενέργειας; Η απάντηση ήλθε πολύ αργότερα όταν μέσω του πειράματος διείσδυσαν στο εσωτερικό του ατόμου και ανακάλυψαν τον πυρήνα του ατόμου και τη δομή του (Εικόνα 10.1).



Εικόνα 10.1

Οι δομικοί λίθοι της ύλης.

Έτσι έδωσαν απάντηση στο ερώτημα γιατί ο Ήλιος και τα αστέρια λάμπουν στον ουρανό.

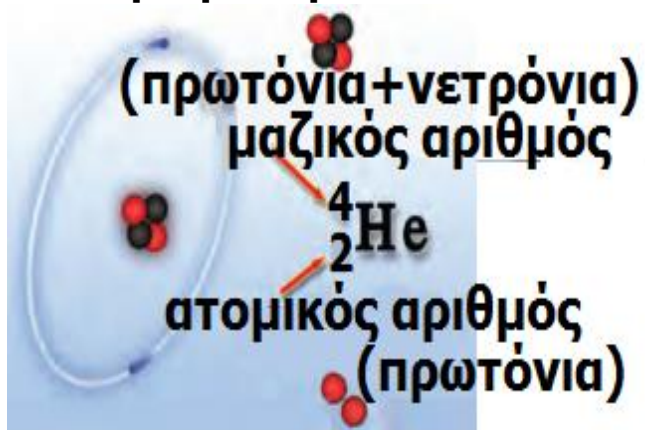
10.1 Περιγραφή του πυρήνα

Το 1911 ο Ράδερφορντ (Rutherford) και οι συνεργάτες του πραγματοποιώντας μια σειρά από πειράματα στο εργαστήριο του πανεπιστημίου του Μάντσεστερ

στην Αγγλία κατάφεραν να αποκαλύψουν την ύπαρξη του πυρήνα στα άτομα. Αναλύοντας τα αποτελέσματα των πειραμάτων κατέληξαν στα συμπεράσματα ότι ο πυρήνας του ατόμου: α) αν θεωρηθεί σφαιρικός, έχει ακτίνα 10.000 φορές μικρότερη από αυτή του ατόμου β) έχει θετικό ηλεκτρικό φορτίο και γ) έχει το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ατόμου.

Το ελαφρύτερο από τα άτομα είναι του υδρογόνου. Στον πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου δόθηκε το όνομα πρωτόνιο. Επειδή ο πυρήνας είναι θετικά φορτισμένος, και το πρωτόνιο πρέπει να έχει θετικό φορτίο. Γνωρίζουμε ότι τα άτομα, άρα και το άτομο του υδρογόνου, είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Συνεπώς το φορτίο του πρωτονίου είναι αντίθετο με το φορτίο του ηλεκτρονίου (στοιχειώδες φορτίο). Η μάζα του πρωτονίου είναι περίπου 2.000 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου.

Γενικότερα σε ένα ουδέτερο άτομο ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων. Αυτός ο αριθμός, που συμβολίζεται με Z , ονομάζεται ατομικός αριθμός (Εικόνα 10.2). Ο ατομικός αριθμός καθορίζει το χημικό στοιχείο στο οποίο ανήκει το άτομο. Όλα τα άτομα ενός ορισμένου στοιχείου έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό (Z), δηλαδή περιέχουν το ίδιο αριθμό πρωτονίων.



Εικόνα 10.2

Το άτομο του ηλίου όπως το φαντάστηκε ο Ράδερφορντ. Ο πυρήνας του στοιχείου ηλίου αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια

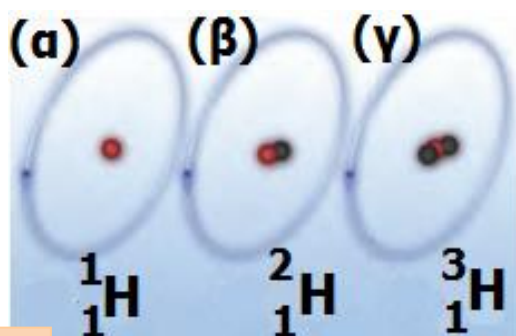
Έτσι τα άτομα του άνθρακα με $Z=6$ περιέχουν πάντα 6 πρωτόνια, ενώ του οξυγόνου με $Z=8$ περιέχουν 8 πρωτόνια.

Ο Ράδεφορντ παρατήρησε ότι η μάζα του πυρήνα του ατόμου του άνθρακα ήταν ίση με τη μάζα όχι 6 αλλά 12 πρωτονίων. Για να ερμηνεύσει την παραπάνω παρατήρηση, υπέθεσε ότι ο πυρήνας εκτός από πρωτόνια αποτελείται και από ουδέτερα σωματίδια με μάζα σχεδόν ίση με τη μάζα του πρωτονίου. Το 1932 ο Τσάντγουικ (Chadwick), ένας μαθητής του Ράδεφορντ, ανακάλυψε ένα τέτοιο σωματίδιο που το ονόμασε νετρόνιο, δηλαδή ουδετερόνιο (εικόνα 10.2). Επειδή τα νετρόνια είναι ουδέτερα, ο αριθμός τους δεν επηρεάζει τον αριθμό των ηλεκτρονίων του ατόμου.

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ονομάζονται με μια λέξη **νουκλεόνια**. Ο συνολικός αριθμός των νουκλεονίων ενός πυρήνα ονομάζεται **μαζικός αριθμός** και συμβολίζεται με A (εικόνα 10.2). Στοιχεία με ατομικό αριθμό μέχρι 20 έχουν σχεδόν όλα ίσους αριθμούς πρωτονίων και νετρονίων. Όμως τα βαρύτερα στοιχεία έχουν περισσότερα νετρόνια απ' ό,τι πρωτόνια. Τα άτομα που έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων (ατομικό αριθμό) αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων (άρα μαζικό αριθμό) ονομάζονται **ισότοπα**.

Τα ισότοπα συμβολίζονται με ${}^A_Z\Sigma$, όπου Σ το σύμβολο του στοιχείου. Το υδρογόνο έχει τρία ισότοπα (εικόνα 10.3), το χλώριο δύο με σύμβολα ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ και ${}^{17}_{17}\text{Cl}$, ενώ στο γήινο φλοιό υπάρχουν τρία ισότοπα του ουρανίου με πιο κοινό το ${}^{238}_{92}\text{U}$.

Εικόνα 10.3. Τα τρία ισότοπα του υδρογόνου: (α) πρώτιο ${}^1_1\text{H}$, (β) δευτέριο ${}^2_1\text{H}$, (γ) τρίτιο ${}^3_1\text{H}$



Από τα 83 στοιχεία που υπάρχουν στη Γη σε αξιόλογη ποσότητα, μόνο τα 20 έχουν μια μόνο σταθερή μορφή. Τα υπόλοιπα έχουν από δύο έως δέκα σταθερά ισότοπα. Αν λάβουμε υπόψη όλα τα ισότοπα, τότε ο αριθμός των διαφορετικών πυρήνων ανέρχεται περίπου σε 2.500. Όλα τα ισότοπα ενός στοιχείου αποτελούνται από άτομα που ο πυρήνας τους έχει τον ίδιο αριθμό πρωτονίων και άρα τα άτομά τους περιέχουν τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων. Επειδή οι χημικές ιδιότητες ενός στοιχείου καθορίζονται από τον αριθμό των ηλεκτρονίων των ατόμων του, δηλαδή τον ατομικό αριθμό, όλα τα ισότοπα ενός στοιχείου έχουν τις ίδιες χημικές ιδιότητες. Έχουν όμως διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, όπως πυκνότητα, σημείο τήξης, σημείο βρασμού κ.λπ.

Είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο ότι τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια του ατόμου συγκρατούνται σε αυτό από τις ελκτικές ηλεκτρικές δυνάμεις που τους ασκεί ο θετικά φορτισμένος πυρήνας.

Όμως ποιες δυνάμεις συγκρατούν τα συστατικά του πυρήνα;

Ο πυρήνας αποτελείται από θετικά φορτισμένα πρωτόνια και από ουδέτερα νετρόνια. Μεταξύ των πρωτονίων ασκούνται ισχυρές απωστικές δυνάμεις.

Πού οφείλεται λοιπόν η σταθερότητα των πυρήνων; Γιατί τα πρωτόνια δεν εκσφενδονίζονται μακριά το ένα από το άλλο;

Το 1935 ο Ιάπωνας φυσικός Γιουκάβα (εικόνα 10.4) για να ερμηνεύσει το σχηματισμό των πυρήνων, πρότεινε την ύπαρξη μιας άγνωστης μέχρι τότε δύναμης.

Η δύναμη αυτή, ασκείται μέσα στον πυρήνα και είναι ισχυρότατα ελκτική ώστε να υπερνικά την άπωση μεταξύ των πρωτονίων (εικόνα 10.5). Αυτή η δύναμη ονομάζεται ισχυρή πυρηνική δύναμη.

Εικόνα 10.4

Χιντέκι Γιουκάβα (Yukawa Ideki, 1907-1981)

Σπούδασε Φυσική στην Ιαπωνία και σε ηλικία 22 ετών έγινε καθηγητής στο πανεπιστήμιο του Κιότο. Ο Γιουκάβα είναι ο πρώτος Ιάπωνας επιστήμονας που πήγε στις ΗΠΑ μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου και έγινε καθηγητής της Θεωρητικής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Κολούμπια. Είναι ο πρώτος Ιάπωνας φυσικός που τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1949.

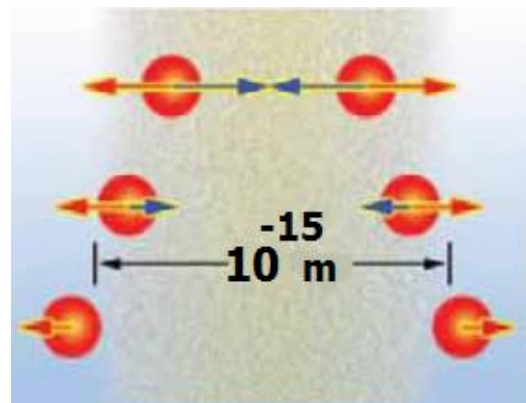
Φυσική και Ιστορία



Εικόνα 10.5 Η εμβέλεια της πυρηνικής δύναμης.

Τα πρωτόνια αλληλεπιδρούν:

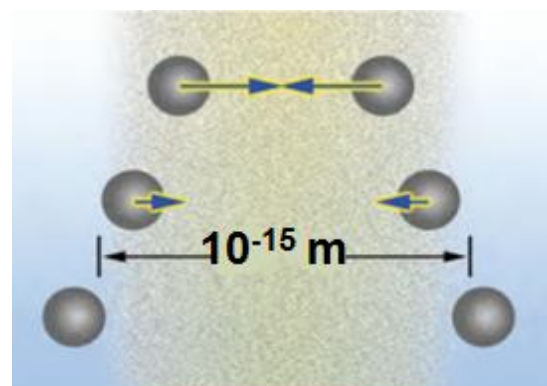
(α) με ηλεκτρικές δυνάμεις (απωστικές), (β) με ισχυρές πυρηνικές (ελκτικές). Σε απόσταση μεγαλύτερη από 10^{-15} m η ισχυρή πυρηνική δύναμη σχεδόν μηδενίζεται.

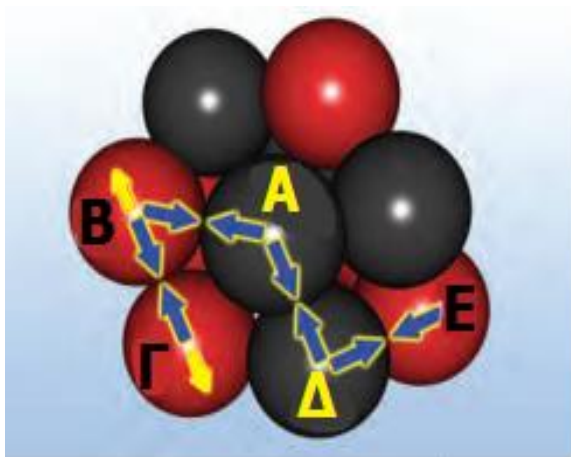


Η ισχυρή πυρηνική δύναμη ή ισχυρή αλληλεπίδραση είναι πολύ μικρής εμβέλειας, δηλαδή ασκείται μόνο μεταξύ νουκλεονίων που η απόστασή τους είναι μικρότερη από 10^{-15} m (εικόνα 10.6, 10.7)

Εικόνα 10.6

Η εμβέλεια της πυρηνικής δύναμης. Τα νετρόνια αλληλεπιδρούν μόνο με ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις (ελκτικές)





Εικόνα 10.7

Νετρόνια: η κόλλα του πυρήνα

Το πρωτόνιο Β και το νετρόνιο Α βρίσκονται πολύ κοντά. Έλκονται με ισχυρή πυρηνική δύναμη. Τα νετρόνια Α και Δ είναι κοντά και έλκονται με ι-

σχυρή πυρηνική δύναμη. Το πρωτόνιο Ε και το νετρόνιο Δ βρίσκονται πολύ κοντά και έλκονται με ισχυρή πυρηνική δύναμη. Τελικά τα νετρόνια λειτουργούν ως «κόλλα» η οποία συγκρατεί τα μακρινά πρωτόνια Β και Ε στον πυρήνα.

Γι' αυτό το λόγο οι πυρήνες έχουν πάρα πολύ μικρό μέγεθος. Η πυρηνική δύναμη ασκείται μόνο μεταξύ γειτονικών πρωτονίων και νετρονίων, είναι ελκτική και εξίσου ισχυρή για τα ζεύγη πρωτονίου-πρωτονίου, πρωτονίου-νετρονίου και νετρονίου-νετρονίου. Εξαιτίας αυτής της ισοδυναμίας τα πρωτόνια και τα νετρόνια ονομάζονται με μια λέξη νουκλεόνια.

Γιατί είναι αναγκαία η ύπαρξη των νετρονίων για το σχηματισμό ενός πυρήνα;

Τα πρωτόνια όταν βρίσκονται πολύ κοντά έχουν πολύ μεγάλες κινητικές ενέργειες με αποτέλεσμα να απομακρύνονται μεταξύ τους. Όσο όμως αυξάνεται η απόσταση των πρωτονίων η ισχυρή πυρηνική δύναμη εξασθενεί και η απωστική ηλεκτρική δύναμη υπερισχύει. Αν όμως μεταξύ των πρωτονίων μεσολαβούν νετρόνια, τότε μεταξύ πρωτονίων-νετρονίων αναπτύσσονται μόνο οι ελκτικές ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις (εικόνα 10.7) και έτσι τα νετρόνια λειτουργούν ως «κόλλα» που διατηρεί τα πρωτόνια σε κοντινή απόσταση. Όσο περισσότερα πρωτόνια υπάρχουν σε ένα πυρήνα, τόσο πε-

ρισσότερα νετρόνια απαιτούνται για να συγκρατηθούν ενωμένα. Γι' αυτό και στους βαρύτερους πυρήνες υπάρχουν περισσότερα νετρόνια από πρωτόνια.

10.2 Ραδιενέργεια

Το 1896 ο Γάλλος φυσικός Μπεκερέλ (Bekereel) ανακάλυψε ότι μερικά στοιχεία, όπως το ουράνιο, εξέπεμπαν αυθόρμητα κάποιες «ακτίνες» οι οποίες αμαύρωναν τις φωτογραφικές πλάκες. Η έρευνα συνεχίστηκε από το Ράδερφορντ και τους Πιέρ και Μαρία Κιουρί (Curie) (εικόνα 10.8) οι οποίοι ανακάλυψαν δύο νέα στοιχεία που εξέπεμπαν παρόμοιες ακτίνες, το πολώνιο και το ράδιο.

Εικόνα 10.8

Ο Πιέρ και η Μαρία Κιουρί στο εργαστήριό τους στο Παρίσι.



Ποια ήταν η φύση και η προέλευση των νέων «ακτίνων»;

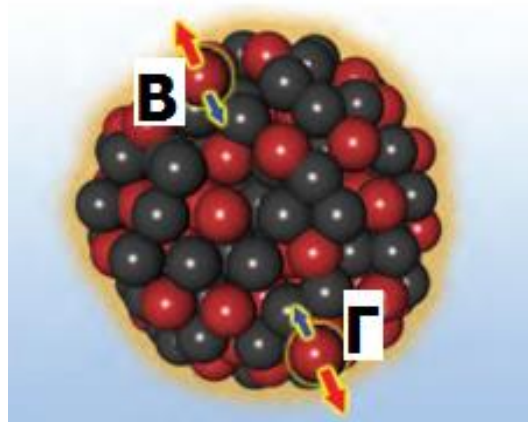
Οι ερευνητές μετά από προσεκτικές παρατηρήσεις κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι ακτίνες αυτές προέρχονταν από ενεργειακές μεταβολές που συνέβαιναν στον πυρήνα ορισμένων ατόμων. Διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν στοιχεία των οποίων οι πυρήνες διασπώνται αυθόρμητα. Τα στοιχεία αυτά λέγονται **ραδιενεργά** στοιχεία και το φαινόμενο ονομάζεται **ραδιενεργός διάσπαση**. Όλα τα στοιχεία που είναι «βαρύτερα» από το μόλυβδο (ατομικός αριθμός 82) είναι ραδιενεργά.

Πώς ερμηνεύουμε το γεγονός ότι οι βαριοί πυρήνες διασπώνται αυθόρμητα;

Στους μικρούς πυρήνες τα πρωτόνια βρίσκονται πολύ κοντά και έτσι η ισχυρή πυρηνική δύναμη υπερνικά εύκολα την απωστική ηλεκτρική. Αντίθετα σ' ένα μεγάλο πυρήνα τα πρωτόνια που βρίσκονται στα άκρα του απέχουν πολύ μεταξύ τους (Β και Γ στην εικόνα 10.9), οπότε η ελκτική δύναμη είναι ασθενέστερη από την απωστική. Επομένως οι μεγάλοι πυρήνες δεν είναι τόσο σταθεροί όσο οι μικρότεροι.

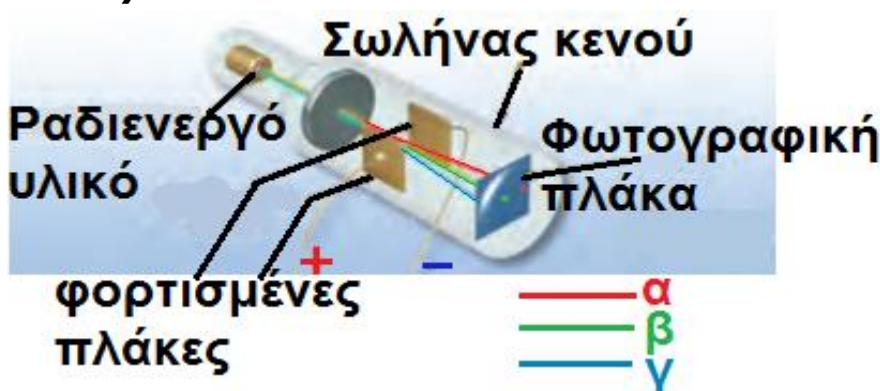
Εικόνα 10.9

Οι μεγάλοι πυρήνες είναι ασταθείς και διασπώνται ευκολότερα.



Ακτινοβολίες α, β, γ

Τα ραδιενεργά στοιχεία εκπέμπουν τρία διαφορετικά είδη ακτινοβολιών που πήραν τα ονόματά τους από τα τρία πρώτα γράμματα της ελληνικής αλφαβήτου α, β και γ. Με βάση τον τρόπο που κινούνται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο προσδιορίστηκε η φύση τους (εικόνα 10.10).

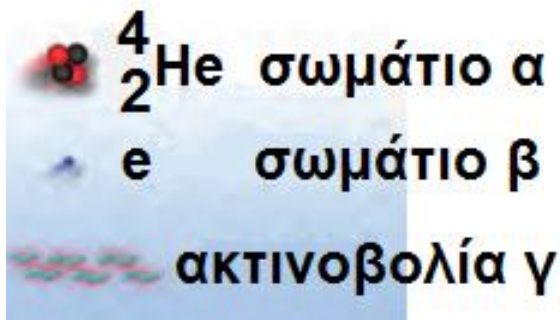


Εικόνα 10.10

Οι ακτινοβολίες α, β, γ συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο όταν διέρχονται μέσα από ηλεκ-

τρικό πεδίο. Η ακτινοβολία α έλκεται από μια αρνητικά φορτισμένη πλάκα, η β έλκεται από μια θετικά φορτισμένη, ενώ στη γ δεν ασκείται καμία ηλεκτρική δύναμη.

Έτσι προέκυψε ότι η ακτινοβολία α είναι θετικά φορτισμένα σωμάτια και μάλιστα πυρήνες ηλίου ${}^4_2\text{He}$, ενώ η β είναι αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια. Τέλος η γ είναι φωτόνια πολύ μεγάλης ενέργειας, δηλαδή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως το ορατό φως (εικόνα 10.11).



Εικόνα 10.11

Τα τρία είδη της ραδιενεργού ακτινοβολίας

Διεισδυτικότητα των ραδιενεργών ακτινοβολιών
Οι ακτινοβολίες α, β, γ διεισδύουν σε διαφορετικό βαθμό στο εσωτερικό της ύλης (εικόνα 10.12). Ένα σωμάτιο α είναι εύκολο να σταματήσει γιατί έχει σχετικά μεγάλη μάζα και σχετικά μικρή ταχύτητα. Επιπλέον έχει το διπλάσιο του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου οπότε αλληλεπιδρά ηλεκτρικά έντονα με την ύλη.



Εικόνα 10.12

Ένα λεπτό φύλλο χαρτί είναι αρκετό για να σταματήσει την ακτινοβολία α. Για να απορροφηθεί η ακτινοβολία β χρειάζεται ένα λεπτό φύλλο μετάλλου. Οι ακτίνες γ μπορούν να διαπερνούν διάφορα υλικά ακόμα και μεγάλου πάχους. Για να τις σταματήσουμε χρησιμοποιούμε στρώματα μολύβδου μεγάλου πάχους.

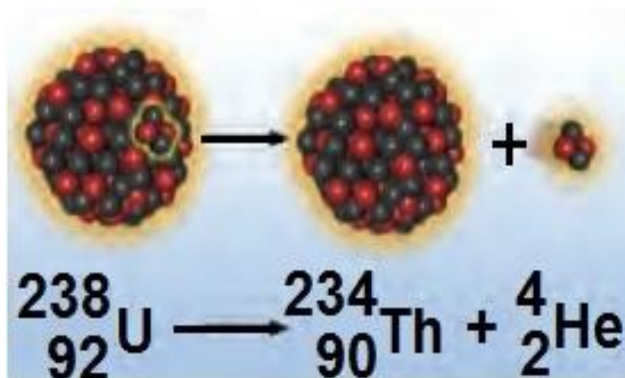
Ένα σωμάτιο β έχει πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα που πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός και αρνητικό

φορτίο ίσο με το φορτίο του ηλεκτρονίου. Συνεπώς σταματά πιο δύσκολα κυρίως λόγω συγκρούσεων με άλλα ηλεκτρόνια.

Η ακτινοβολία γ είναι η πιο δεισδυτική από τις τρεις, γιατί τα φωτόνια δεν έχουν φορτίο και μπορούν να απορροφηθούν μόνο από ένα ηλεκτρόνιο ή έναν πυρήνα. Απορροφάται κυρίως από στοιχεία μεγάλου ατομικού αριθμού όπως ο μόλυβδος.

Διάσπαση α

Κάποιοι πυρήνες (μητρικοί) μετατρέπονται σε νέους πυρήνες (θυγατρικοί) εκπέμποντας σωμάτια α. Μια τέτοια διάσπαση ονομάζεται διάσπαση α. Επειδή τα σωματίδια α περιέχουν πρωτόνια και νετρόνια, ο θυγατρικός πυρήνας θα έχει μάζα και φορτίο διαφορετικό από εκείνο του μητρικού πυρήνα. Ο ατομικός του αριθμός (Z) θα είναι μικρότερος κατά δύο μονάδες, ενώ ο μαζικός αριθμός (A) κατά τέσσερις (εικόνα 10.13).



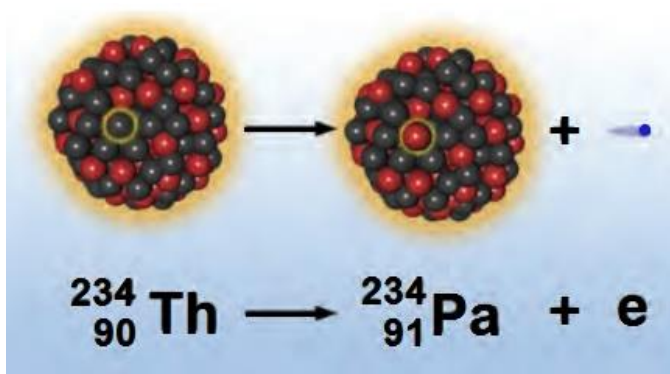
Εικόνα 10.13

Διάσπαση α - εκπομπή σωματιδίου α

Ο πυρήνας του ουρανίου ${}_{92}^{238}\text{U}$ εκπέμπει ένα σωμάτιο α και μετατρέπεται σε πυρήνα θορίου ${}_{90}^{234}\text{Th}$.

Διάσπαση β

Κατά τη διάσπαση β από το μητρικό πυρήνα εκπέμπονται σωματίδια β. Τα σωματίδια β είναι ηλεκτρόνια και επομένως ο θυγατρικός πυρήνας θα έχει σχεδόν την ίδια μάζα αλλά διαφορετικό φορτίο από το μητρικό (εικόνα 10.14).

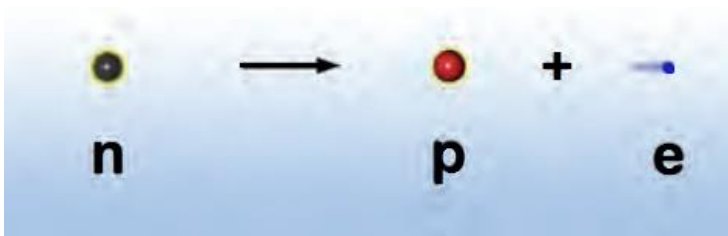


Εικόνα 10.14
Διάσπαση β - εκπομπή
σωματιδίου β
 Ο πυρήνας του θορίου $^{234}_{90}\text{Th}$ εκπέμπει ένα σω-
 ματίδιο β και μετατρέ-
 πεται σε πυρήνα πρωτα-

κτινίου $^{234}_{91}\text{Pa}$

Πώς όμως εκπέμπονται ηλεκτρόνια από τον πυρή-
 να, αφού ο πυρήνας δεν περιέχει ηλεκτρόνια;

Μέσα στον πυρήνα ένα νετρόνιο μετασχηματίζεται
 σε ένα πρωτόνιο εκπέμποντας ένα ηλεκτρόνιο (εικόνα
 10.15). Έτσι ο ατομικός αριθμός (Z) αυξάνεται κατά μια
 μονάδα, ενώ ο μαζικός αριθμός (A) διατηρείται σταθε-
 ρός (εικόνα 10.14).



Εικόνα 10.15
Ερμηνεία της διάσπα-
σης β

Ένα νετρόνιο του πυ-
 ρήνα μετατρέπεται σε πρωτόνιο και ηλεκτρόνιο. Το η-
 λεκτρόνιο διαφεύγει με πολύ μεγάλη ταχύτητα από τον
 πυρήνα με μορφή ακτινοβολίας β.

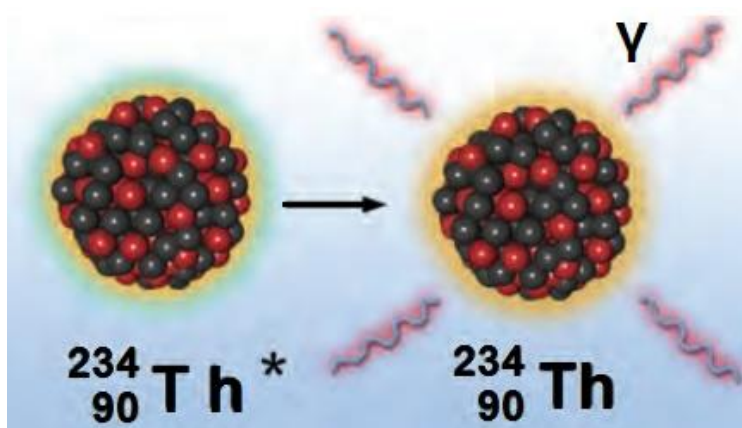
Κατά τις διασπάσεις α και β ο αρχικός πυρήνας με-
 τατρέπεται σε πυρήνα άλλου στοιχείου ή συμβαίνει ό-
 πως λέμε **μεταστοιχείωση**.

Διάσπαση γ

Πώς παράγεται η ακτινοβολία γ κατά τη διάσπαση

των ραδιενεργών πυρήνων;

Μετά από μια διάσπαση α ή β μερικές φορές ο θυγατρικός πυρήνας περικλείει ενέργεια περισσότερη απ' αυτή που αντιστοιχεί στη σταθερή του κατάσταση (θεμελιώδη) ή όπως λέμε βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση. Στη συνέχεια εκπέμπει την επιπλέον ενέργεια με μορφή ενός φωτονίου μεγάλης ενέργειας που ονομάζεται φωτόνιο ακτινοβολίας γ και μεταπίπτει στη θεμελιώδη κατάσταση (εικόνα 10.16).



Εικόνα 10.16

Ο διεγερμένος πυρήνας εκπέμπει ενέργεια με μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (φωτόνια πολύ μεγάλης ενέργειας).

Ανιχνευτές ραδιενεργών ακτινοβολιών

Τα φωτογραφικά φιλμ αμαυρώνονται όταν πέφτουν επάνω τους σωματίδια α ή β ή ακτίνες γ , επομένως είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση αυτών των σωματιδίων και των ακτίνων. Εκτός από τα φιλμ και πολλές άλλες συσκευές χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση φορτισμένων σωματιδίων και ακτίνων γ . Η λειτουργία των περισσότερων βασίζεται στον ιονισμό της ύλης όταν αυτή βομβαρδίζεται από σωματίδια μεγάλης ταχύτητας ή φωτόνια μεγάλης ενέργειας. Όταν ένα ουδέτερο άτομο συγκρουστεί με ένα σωματίδιο μεγάλης ενέργειας, τότε είναι δυνατόν κάποια ηλεκτρόνια του ατόμου να απορροφήσουν ενέργεια από τα σωματίδια και να απομακρυνθούν από το άτομο. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν ελεύθερα ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα τα ο-

ποία μπορούν να ανιχνευτούν με κατάλληλη διάταξη. Ο πιο κοινός τύπος ανιχνευτή ραδιενεργού ακτινοβολίας είναι ο μετρητής Γκάιγκερ (Geiger) (εικόνα 10.17).



Εικόνα 10.17

Έλεγχος ραδιενεργού ακτινοβολίας σε εργαζόμενους σε πυρηνικό εργοστάσιο με ανιχνευτή Γκάιγκερ

10.3 Βιολογική δράση της ακτινοβολίας

Ο τρόπος με τον οποίο η ακτινοβολία επηρεάζει τους ζωντανούς οργανισμούς αναφέρεται ως βιολογική δράση της ακτινοβολίας.

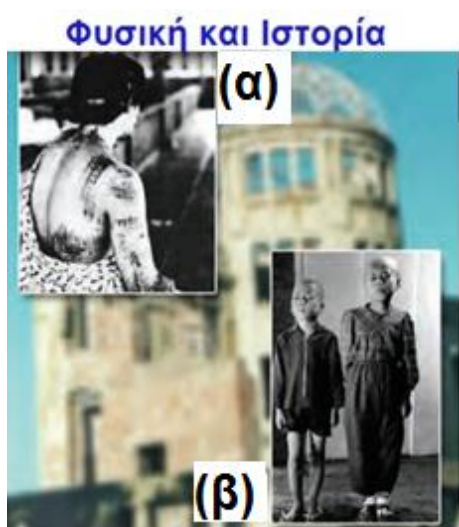
Με τον όρο ακτινοβολία εννοούμε τόσο τις ραδιενεργές (α , β , γ), τα ταχέως κινούμενα πρωτόνια και νετρόνια όσο και την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια μεγάλης ενέργειας), για παράδειγμα τις ακτίνες Χ. Τα σωματίδια ή τα φωτόνια από τα οποία αποτελούνται οι ακτινοβολίες μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Τα φωτόνια ή τα σωματίδια αυτά, καθώς διέρχονται μέσα από την ύλη, συγκρούονται με τους δομικούς της λίθους. Κατά τις συγκρούσεις αυτές ένα μέρος της ενέργειας της ακτινοβολίας μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια των ατόμων τα οποία απομακρύνονται από αυτά και έτσι δημιουργούνται ιόντα. Γι' αυτό αυτές τις ακτινοβολίες τις ονομάζουμε ιονίζουσες ακτινοβολίες

Κοσμική ακτινοβολία

Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας στην οποία όλοι εκτιθέμεθα είναι η **κοσμική ακτινοβολία**, δηλαδή η προερχόμενη από το διάστημα (κυρίως από τον Ήλιο και τα υπόλοιπα άστρα) και η οποία διέρχεται από την ατμόσφαιρα. Αν και η ατμόσφαιρα δρα ως προστατευτική ασπίδα σταματώντας τα περισσότερα πρωτόνια ή τα σωμάτια α, κάποιες κοσμικές ακτίνες τη διαπερνούν και φθάνουν στην επιφάνεια της Γης. Σε μεγαλύτερα ύψη η ακτινοβολία αυτή είναι πιο έντονη. Δεν πρέπει όμως να ξεχνάμε ότι το ανθρώπινο γένος εμφανίστηκε και εξελίχτηκε μέσα στο περιβάλλον αυτής της ακτινοβολίας, οπότε ο ανθρώπινος οργανισμός έχει προσαρμοστεί στην παραπάνω ακτινοβολία.

Δραστικότητα των ακτινοβολιών

Οι ιστοί καταστρέφονται όταν δεχθούν πολύ μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας, όπως είναι η ηλιακή, οι ακτίνες Χ και όλες οι ραδιενεργές (εικόνα 10.18).



Εικόνα 10.18. Φωτογραφίες επιπτώσεων από την ατομική βόμβα που ρίφθηκε στη Χιροσίμα στις 5 Αυγούστου 1945

(α) Η πλάτη μιας γυναίκας όπως έγινε από τα εγκαύματα που υπέστη από την έκρηξη της βόμβας ενώ βρισκόταν σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων από τη θέση όπου εξερράγη. (β) Η εικόνα δύο παιδιών που έμμειναν χωρίς μαλλιά λίγες ημέρες μετά την έκρηξη λόγω της ισχυρής ακτινοβολίας που δέχτηκαν

Η έκθεση σε ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει

σχετικά ήπιες καταστροφές, για παράδειγμα η υπερβολική έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει έγκαυμα. Είναι όμως δυνατόν να οδηγήσει σε σοβαρές ασθένειες ακόμα και σε θάνατο όταν προκληθεί μαζική καταστροφή των κυττάρων των ιστών ή μεταβολές του γενετικού υλικού. Το πόσο επικίνδυνη είναι μια ακτινοβολία εξαρτάται από το είδος της (πίνακας 10.1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.1	
Ακτινοβολία	Σχετική βιολογική δραστικότητα
Ακτίνες Χ και γ	1
Ηλεκτρόνια	1,0 - 1,5
Βραδέα νετρόνια	3 - 5
Πρωτόνια	10
Σωματίδια α	20
Βαρέα ιόντα	20
<p>Η δραστικότητα των ακτινοβολιών σχετίζεται με την ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται από αυτές, καθώς και με το βαθμό απορρόφησης από τους ιστούς.</p>	



Εικόνα 10.19

Διεθνές σύμβολο που δηλώνει την περιοχή υψηλής ραδιενεργού ακτινοβολίας.

Όλοι οι άνθρωποι εκτίθενται σε ακτινοβολίες. Οι ακτινοβολίες προέρχονται είτε από φυσικές πηγές, όπως τα γήινα ορυκτά, το έδαφος και η κοσμική ακτινοβολία, είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως ιατρικές εφαρμογές (εικόνα 10.20).



Εικόνα 10.20
Συνεισφορές των διάφορων πηγών ραδιενέργειας.

Φυσική ραδιενέργεια

Η κύρια φυσική πηγή ραδιενέργειας είναι το ραδόνιο $^{226}_{88}\text{Rn}$, ένα άχρωμο αδρανές αέριο που προέρχεται από τη διάσπαση του ραδίου $^{226}_{88}\text{Ra}$. Το ράδιο βρίσκεται σε ελάχιστες ποσότητες σε όλα σχεδόν τα πετρώματα και το έδαφος. Καθώς διασπάται το ράδιο που βρίσκεται στο έδαφος, στα θεμέλια των οικοδομών, παράγεται το αέριο ραδόνιο. Το ραδόνιο, επειδή είναι αέριο, εύκολα διεισδύει στον αέρα του σπιτιού μας και γι' αυτό είναι επικίνδυνο. Πάντως ένας τακτικός αερισμός των χώρων της κατοικίας μειώνει την περιεκτικότητα του αέρα που αναπνέουμε σε ραδόνιο και έτσι μειώνει τον κίνδυνο.

Δόσεις ακτινοβολίας

Το αποτέλεσμα της δράσης των ακτινοβολιών στον ανθρώπινο οργανισμό είναι αθροιστικό. Η βλάβη δηλα-

δή που παθαίνουμε αν εκτεθούμε σε ακτινοβολία δεν αποκαθίσταται, αλλά προστίθεται στις βλάβες που θα πάθουμε σε επόμενες εκθέσεις σε ακτινοβολίες. Τη δόση της ακτινοβολίας που παίρνουμε κάθε φορά τη μετράμε σε rem. Ένας μέσος άνθρωπος προσλαμβάνει περίπου 0,2 rem το χρόνο. Μια συνηθισμένη ακτινογραφία θώρακος δίνει περίπου 0,02 rem. Η ποσότητα της ακτινοβολίας που προκαλεί άμεσο θανατηφόρο αποτέλεσμα είναι γύρω στα 500 rem. Έχει υπολογιστεί ότι η μέση εκπομπή ραδιενεργού ακτινοβολίας από όλα τα εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας μικραίνει το μέσο όρο ζωής κατά 5 ημέρες, ενώ από το ραδόνιο κατά 40 περπ-ου ημέρες. Συγκριτικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι το κάπνισμα ενός πακέτου τσιγάρων κάθε μέρα μικραίνει τη μέση διάρκεια ζωής κατά 6 χρόνια. Η αρνητική όμως επίδραση της ακτινοβολίας στον τοπικό πληθυσμό από τη χρήση πυρηνικών όπλων ή από κάποιο σοβαρό πυρηνικό ατύχημα είναι πολύ μεγαλύτερη (εικόνα 10.20).

Η ακτινοβολία γ είναι η πιο επικίνδυνη διότι έχει πολύ μεγάλη διεισδυτική ικανότητα. Λιγότερο επικίνδυνη είναι η ακτινοβολία β και ακόμα λιγότερο η α .

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Κοσμική ακτινοβολία

- Τοποθέτησε έναν μετρητή Γκάιγκερ στο θρανίο σου, μακριά από οποιοδήποτε ραδιενεργό πηγή
- Θέσε σε λειτουργία τον μετρητή και κατάγραψε των αριθμό των απαριθμήσεων για χρονικό διάστημα τριών λεπτών.

- Τύλιξε σε ένα φύλλο χαρτί γύρω από τον σωλήνα και επανάλαβε τις μετρήσεις.
Μειώνονται οι απαριθμήσεις;
Τι τύπος ακτινοβολίας φτάνει στον απαριθμητή;
- Επανάλαβε τη διαδικασία περιβάλλοντας διαδοχικά τον σωλήνα με φύλλα αλουμινίου πάχους 6mm ή μολύβδου πάχους 5mm.
Μειώνεται ο αριθμός των απαριθμήσεων; Τι μπορείς να συμπεράνεις για το είδος της κοσμικής ακτινοβολίας;

Ερωτήσεις

ερωτήσεις

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

Περιγραφή του πυρήνα

1. Συμπλήρωσε τις προτάσεις ώστε να είναι επιστημονικά ορθές:

Ο πυρήνας έχει ακτίνα 10.000 φορές μικρότερη από αυτή του, έχει ηλεκτρικό φορτίο και το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της του ατόμου. Αποτελείται από και που ονομάζονται Ο συνολικός αριθμός των νουκλεονίων ενός πυρήνα ονομάζεται αριθμός και συμβολίζεται με, ενώ των πρωτονίων και συμβολίζεται με Στοιχεία που έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων ονομάζονται

2. Να επιλέξεις το γράμμα που αντιστοιχεί στην επιστημονικά ορθή πρόταση:

- i. Το φυσικό μέγεθος A είναι: α) ο αριθμός των πρωτονίων, β) ο αριθμός των νετρονίων, γ) ο αριθμός των νετρονίων, δ) ο ατομικός αριθμός, ε) τίποτε από αυτά.
- ii. Οι ισότοποι πυρήνες έχουν: α) ίδιες τιμές για το A και το Z , β) ίδιες τιμές για το A και διαφορετικές για το Z , γ) διαφορετικές τιμές για το A και ίδιες για το Z , δ) διαφορετικές τιμές για το A και το Z , ε) κανένα από τα παραπάνω.

Ραδιενέργεια

3. Στο διπλανό πίνακα αντιστοίχισε τα είδη της ραδιενεργού ακτινοβολίας με τα σωματίδια από τα οποία αποτελείται:

1. ακτινοβολία α	α. ηλεκτρόνια
2. ακτινοβολία β	β. φωτόνια
3. ακτινοβολία γ	γ. πυρήνες ηλίου

4. Ποια από τις ραδιενεργές ακτινοβολίες έχει την ίδια φύση με το ορατό φως;

► Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:

Περιγραφή του πυρήνα

5. Πώς μεταβάλλεται ο ατομικός και ο μαζικός αριθμός ενός πυρήνα όταν εκπέμπει αντίστοιχα: i) ένα σωματίδιο α, ii) ένα σωματίδιο β, iii) μια ακτίνα γ;

6. Συχνά αναφέρεται ότι τα νετρόνια παίζουν το ρόλο της «κόλλας» μεταξύ των πρωτονίων. Μπορείς να εξηγήσεις γιατί;

7. Τα πρωτόνια έχουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο, ενώ τα νετρόνια είναι ουδέτερα. Γιατί συχνά τα ονομάζουμε νουκλεόνια χωρίς διάκριση;

Ραδιενέργεια

- 8.** Σ' ένα αλουμινένιο κουτί τοποθετείται ένα φωτογραφικό φιλμ. Δίπλα στο κουτί βρίσκεται μια ραδιενεργός πηγή. Μετά από μερικές μέρες παρατηρούμε ότι το φιλμ έχει αμαυρωθεί. Ποια νομίζεις ότι μπορεί να είναι η πιθανή αιτία; Η πηγή εκπέμπει: i) σωματίδια α, ii) σωματίδια β, iii) ακτίνες γ. Να δικαιολογήσεις την επιλογή σου.
- 9.** Στη ραδιενεργό διάσπαση β εκπέμπονται από τον πυρήνα ηλεκτρόνια. Πώς συμβαίνει κάτι τέτοιο αφού ο πυρήνας δεν περιέχει ηλεκτρόνια;

Ασκήσεις

ασκήσεις

- 1.** Δύο ισότοπα του ουρανίου είναι το $^{235}_{92}\text{U}$ και το $^{238}_{92}\text{U}$. Πόσα νετρόνια υπάρχουν στον πυρήνα καθενός;
- 2.** Το στοιχείο υδρογόνο έχει σύμβολο H και ατομικό αριθμό 1. Γράψε τα σύμβολα των τριών ισοτόπων του υδρογόνου με 0, 1 και 2 νετρόνια στον πυρήνα τους.
- 3.** Ποιά είδη σωματιδίων και πόσα σωματίδια από κάθε είδος υπάρχουν σε ένα άτομο $^{109}_{47}\text{Ag}$;
- 4.** Το ραδιενεργό ισότοπο του μολύβδου $^{214}_{82}\text{Pb}$ μετατρέπεται σε βισμούθιο Bi με εκπομπή ακτινοβολίας β. Να γράψεις το πλήρες σύμβολο του ισοτόπου του βισμούθιου που προκύπτει.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Οι ατομικοί πυρήνες αποτελούνται από πρωτόνια και νετρόνια. Ο αριθμός των πρωτονίων ενός πυρήνα ονομάζεται ατομικός αριθμός Z . Ο συνολικός αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων ονομάζεται μαζικός αριθμός A . Άτομα με πυρήνες που έχουν ίδιο αριθμό πρωτονίων και διαφορετικό αριθμό νετρονίων ονομάζονται ισότοπα.
- Πρωτόνια και νετρόνια συγκρατούνται στον πυρήνα με την επίδραση της ισχυρής αλληλεπίδρασης.
- Ένας ασταθής πυρήνας διασπάται, όποτε μετατρέπεται σε πυρήνα ενός άλλου στοιχείου. Το φαινόμενο ονομάζεται ραδιενέργεια. Υπάρχουν τρία είδη ραδιενεργών διασπάσεων. Η διάσπαση α : ο πυρήνας που διασπάται εκπέμπει σωμάτια α (πυρήνες ηλίου). Η διάσπαση β : ο πυρήνας που διασπάται εκπέμπει σωμάτια β (ηλεκτρόνια μεγάλης ταχύτητας). Η διάσπαση γ : ο ραδιενεργός πυρήνας κατά τη διάσπασή του εκπέμπει ακτινοβολία γ (φωτόνια πολύ μεγάλης ενέργειας).
- Οι ακτινοβολίες έχουν βιολογικές επιδράσεις που εξαρτώνται από το είδος και την ενέργεια της ακτινοβολίας

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

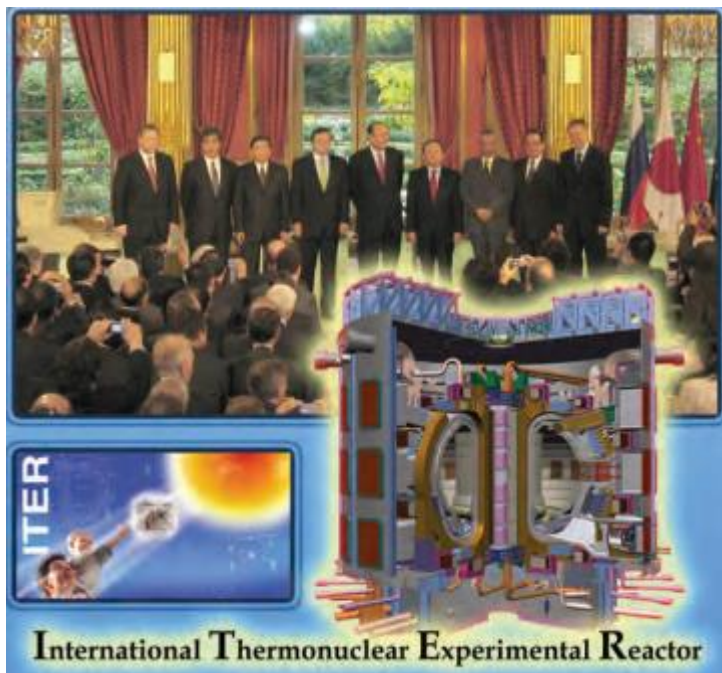
Πρωτόνιο, νετρόνιο	Μαζικός αριθμός	Ισχυρή αλληλεπίδραση H
Ακτινοβολία α, β, γ	Ατομικός αριθμός	Ισότοπα
Ραδιενέργεια		

μια μικρή ιστορία...

Ιστορική ενεργειακή συμφωνία

“31 χώρες είπαν «ναι» στην κατασκευή Διεθνούς Πειραματικού Θερμοπυρηνικού Αντιδραστήρα στη Γαλλία (International Thermonuclear Experimental Reactor)”.

Με τίτλους σαν και αυτόν το Νοέμβριο του 2006 όλα τα ειδησεογραφικά πρακτορεία μετέδιδαν την είδηση ότι στο μέγαρο των Ηλυσίων Πεδίων στο Παρίσι αξιωματούχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της Ρωσίας, της Ιαπωνίας, της Ινδίας, της Κίνας, της Κορέας και των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής υπέγραψαν συμφωνία, η οποία ενδέχεται να αποδειχθεί ιστορική για το ενεργειακό μέλλον του πλανήτη. Η συμφωνία που υπεγράφη έπειτα από πολυετείς καθυστερήσεις και έντονες αντιπαράθεσεις, επιτρέπει την έναρξη ουσιαστικών ερευνών στον τομέα της πυρηνικής σύντηξης. Ο ITER (η λατινική λέξη σημαίνει δρόμος), σαν ένας σύγχρονος αλχημιστής φιλοδοξεί να μετατρέψει το θαλασσινό νερό σε



καύσιμη ύλη, αναπαράγοντας στο εσωτερικό του τις πυρηνικές αντιδράσεις, που κάνουν τον Ήλιο να λάμπει. Η επιτυχής λειτουργία του αντιδραστήρα ITER θα αποτελέσει ένα από τα σημαντικότερα ορόσημα του τεχνολογικού μας πολιτισμού. Θα σημάνει την οριστική απεξάρτηση

των ανθρώπων από τις σημαντικότερες ως σήμερα πηγές ενέργειας, τον άνθρακα και το πετρέλαιο. Τι είναι

η πυρηνική σύντηξη; Πώς προκαλείται; Γιατί παράγονται τόσο μεγάλα ποσά ενέργειας στις πυρηνικές συντήσεις; Από πού προέρχεται η ενέργεια του Ήλιου;

Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μάθεις για την προέλευση της πυρηνικής ενέργειας.
- Θα γνωρίσεις τα είδη των πυρηνικών αντιδράσεων: σχάση και σύντηξη.
- Θα γνωρίσεις τις ειρηνικές και μη εφαρμογές της πυρηνικής ενέργειας.

ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΕΛΙΞΙΡΙΟ ΣΩΤΗΡΙΑΣ Ή ΟΛΕΘΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΟΤΗΤΑ;

Η μεγαλύτερη ομορφιά της Φυσικής, ίσως αποκαλύπτεται στις εκπλήξεις που επιφυλάσσει η επιστημονική πρόοδος. Στα μέσα της δεκαετίας του 1930 ο Ράδερφορντ, ο άνθρωπος που ανακάλυψε τον ατομικό πυρήνα και ο Αϊνστάιν, που προέβλεψε την απελευθέρωση της πυρηνικής ενέργειας, θεωρούσαν ανέφικτη οποιαδήποτε προσπάθεια τεχνητής αξιοποίησης της πυρηνικής ενέργειας.

Περίπου 10 χρόνια αργότερα το 1945, η κατασκευή πυρηνικής βόμβας τους διέψευσε με δραματικό τρόπο. Σήμερα, 60 χρόνια μετά, μεγάλο μέρος της ελπίδας για την αντιμετώπιση ενεργειακών και οικολογικών προβλημάτων σε πλανητική κλίμακα βασίζεται και στην τιθάσευση της πυρηνικής ενέργειας.

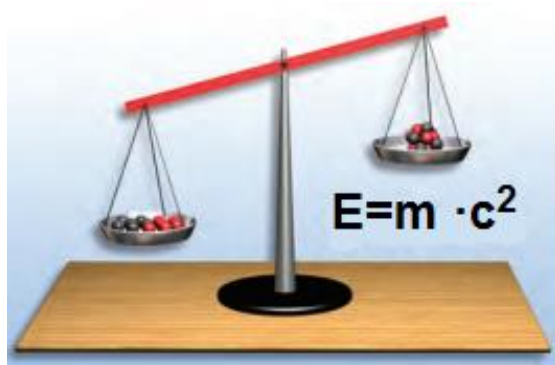
Από την εκμετάλλευση της σχάσης 1kg ουρανίου 235 παράγεται ηλεκτρική ενέργεια ίση με $4,2 \cdot 10^{13}$ kJ, όση παράγεται από την καύση περίπου 3.300 τόννων άνθρακα. Για να πάρουμε 1 kg ουράνιο 235 πρέπει να επεξεργαστούμε περίπου 100 τόννους μεταλλεύματος ουρανίου.

Από την εκμετάλλευση της σχάσης 1 kg ουρανίου 235 παράγεται ηλεκτρική ενέργεια ίση με $4,2 \cdot 10^{13}$ kJ, όση παράγεται από την καύση περίπου 3.300 τόννων άνθρακα. Για να πάρουμε 1 kg ουράνιο 235 πρέπει να επεξεργαστούμε περίπου 100 τόννους μεταλλεύματος ουρανίου.

11.1 Ενέργεια και πυρηνικές αντιδράσεις

Ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα

Γνωρίσαμε ότι μεταξύ των πρωτονίων και των νετρονίων στον πυρήνα ασκούνται ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις. Τα νουκλεόνια στον πυρήνα έχουν δυναμική ενέργεια. Την ενέργεια αυτή την ονομάζουμε **πυρηνική ενέργεια**. Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι ο πυρήνας έχει μικρότερη μάζα από τη συνολική μάζα των νουκλεονίων από τα οποία σχηματίζεται (εικόνα 11.1). Αυτή η διαφορά μαζών ονομάζεται **έλλειμμα μάζας**.



Εικόνα 11.1

Ο πυρήνας έχει μικρότερη μάζα από τη συνολική μάζα των νουκλεονίων από τα οποία σχηματίζεται.

Πώς εξηγούμε το έλλειμμα μάζας στους πυρήνες;

Ο Αϊνστάιν στο πλαίσιο της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας απέδειξε ότι η μάζα (m) και η ενέργεια (E) συνδέονται με την εξίσωση: $E=mc^2$, όπου c η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Δηλαδή η δυναμική ενέργεια των νουκλεονίων στους πυρήνες αντιστοιχεί σε ορισμένη ποσότητα μάζας, ίση ακριβώς με το έλλειμμα μάζας.

Ενέργεια και πυρηνικές αντιδράσεις

Κατά την αυθόρμητη ραδιενεργό διάσπαση ή την τεχνητή παραγωγή ενός πυρήνα με βομβαρδισμό ενός άλλου πυρήνα συμβαίνει μια αναδιάταξη των συστατικών των πυρήνων, δηλαδή μια **πυρηνική αντίδραση**.

Αντίστοιχα σε μια χημική αντίδραση συμβαίνει αναδιάταξη των ατόμων των στοιχείων, ή ακριβέστερα των ηλεκτρονίων των ατόμων. Υπάρχει όμως μια πολύ σημαντική ποσοτική διαφορά. Η ενέργεια σύνδεσης των νουκλεονίων στον πυρήνα, λόγω του ελλείμματος μάζας και της μεγάλης τιμής της ταχύτητας του φωτός, είναι περίπου ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια σύνδεσης των ηλεκτρονίων στο άτομο. Συνεπώς η δυναμική ενέργεια που μετατρέπεται σε κινητική των σωματιδίων σε μια πυρηνική αντίδραση είναι ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σε μια χημική αντίδραση. Οι δύο κύριες πυρηνικές αντιδράσεις με τις οποίες εκλύεται αυτή η τεράστια ποσότητα ενέργειας είναι η πυρηνική σχάση και η πυρηνική σύντηξη.

11.2 Πυρηνική σχάση

Η δυνατότητα μετατροπής της πυρηνικής ενέργειας σε ενέργεια άλλης μορφής διερευνήθηκε κατά τη δεκαετία του 1930. Το 1939 δύο Γερμανοί χημικοί ο Χαν (Hahn) και ο Στράσμαν (Strassman) έκαναν μια τυχαία ανακάλυψη που επρόκειτο ν' αλλάξει το μέλλον του κόσμου.

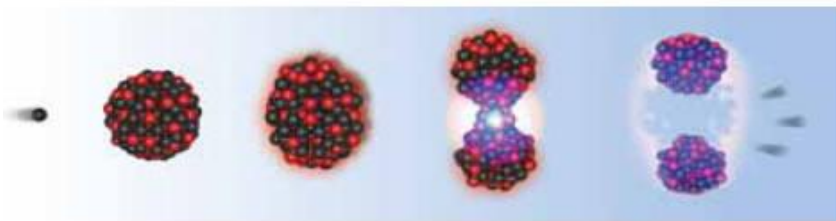
Συνεχίζοντας προγενέστερες ερευνητικές προσπάθειες του Ιταλού Φέρμι (Fermi) (εικόνα 11.3) βομβάρδισαν ουράνιο με νετρόνια.

Εικόνα 11.2. Ενρίκο Φέρμι (Fermi)

Ιταλός φυσικός, επικεφαλής της ομάδας επιστημόνων που πέτυχε για πρώτη φορά την ελεγχόμενη αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση στο Σικάγο το 1942. Χρησιμοποίησε γραφίτη ως επιβραδυντή.



Αναλύοντας τα χημικά προϊόντα της αντίδρασης με έκπληξη διαπίστωσαν ότι παραγόταν βάριο. Οι δύο χημικοί δεν μπορούσαν να καταλάβουν πώς το βάριο με ατομικό αριθμό 56 ήταν δυνατόν να παράγεται από το ουράνιο που έχει ατομικό αριθμό 92.



Εικόνα 11.3
Η σχάση του ουρανίου 235

Σύμφωνα με ένα απλό πρότυπο ο

πυρήνας συμπεριφέρεται σαν μια φορτισμένη σταγόνα υγρού. Η απορρόφηση ενός νετρονίου προκαλεί μια επιμήκυνση του πυρήνα. Όταν η επιμήκυνση γίνει αρκετά μεγάλη οι απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις υπερβαίνουν τις ελκτικές πυρηνικές, οπότε ο πυρήνας σχίζεται στα δύο.

Μια εβδομάδα αργότερα η Λίζε Μάιτνερ (Meitner) (εικόνα 11.4) και ο Φρις (Frisch) έδωσαν τη σωστή εξήγηση: οι πυρήνες του ουρανίου είχαν διασπαστεί σε δύο μικρότερους πυρήνες σχεδόν ίσης μάζας. Η Μάιτνερ ονόμασε αυτή τη διαδικασία **σχάση**.



Εικόνα 11.4
Ο Ότο Χαν (Otto Hann) και η Λίζε Μάιτνερ (Lize Meitner) στο εργαστήριό τους στο Βερολίνο.

Γενικότερα πυρηνική σχάση ονομάζεται η διάσπαση ενός ασταθούς πυρήνα σε δύο μικρότερους πυρήνες με σχεδόν ίσες μάζες. Συνήθως συνοδεύεται από ταυτόχρονη εκπομπή νετρονίων και απελευθέρωση τεράστιας ποσότητας ενέργειας. Ένας πυρήνας του ισοτόπου του ουρανίου $^{235}_{92}\text{U}$ παθαίνει σχάση όταν βομβαρδίζεται με νετρόνια και διασπάται συνήθως σ' ένα πυρήνα βαρίου $^{141}_{56}\text{Ba}$ και σ' ένα πυρήνα κρυπτού $^{92}_{36}\text{Kr}$, ενώ συγχρόνως εκπέμπονται τρία νετρόνια (εικόνα 11.3). Καθένα από αυτά μπορεί να προκαλέσει νέα σχάση οπότε τελικά είναι δυνατόν να προκύψει μια αλυσιδωτή αντίδραση. Η αλυσιδωτή αντίδραση μπορεί να είναι αργή και ελεγχόμενη, π.χ. σ' ένα πυρηνικό αντιδραστήρα ενός ενεργειακού σταθμού πυρηνικής σχάσης, ή να αποκτήσει εκρηκτικό χαρακτήρα, όπως στην ατομική πυρηνική βόμβα (εικόνα 11.5).



Εικόνα 11.5

Η βόμβα ουρανίου που εξερράγη στη Χιροσίμα.

Για να συντηρηθεί μια αλυσιδωτή αντίδραση, θα πρέπει η μάζα του σχάσιμου υλικού, για παράδειγμα του U-235 , να υπερβαίνει μια ελάχιστη τιμή που λέγεται **κρίσιμη μάζα**.

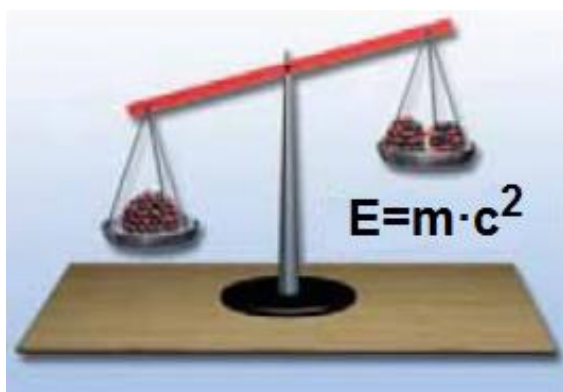
Γιατί δεν εκδηλώνονται αλυσιδωτές αντιδράσεις στα κοιτάσματα ουρανίου που υπάρχουν στη φύση;

Στο φυσικό ουράνιο το ισότοπο U-235 υπάρχει σε

αναλογία μόλις 0,7%. Το ισότοπο U-238 που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία μπορεί να απορροφήσει νετρόνια χωρίς να υποστεί σχάση. Γι' αυτό και δεν πραγματοποιείται αλυσιδωτή αντίδραση στο ουράνιο που υπάρχει στη φύση.

Σχάση και ενέργεια

Στη σχάση του ουρανίου η μάζα των προϊόντων είναι μικρότερη από τη μάζα των αντιδρώντων (εικόνα 11.6). Το έλλειμμα μάζας είναι ισοδύναμο με την ενέργεια που εκλύεται, σύμφωνα με την εξίσωση του Αϊνστάιν. Η ενέργεια που απελευθερώνεται σε μια αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης είναι τεράστια, πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια οποιασδήποτε χημικής αντίδρασης, για παράδειγμα της καύσης.



Εικόνα 11.6

Ο πυρήνας του ουρανίου έχει μεγαλύτερη μάζα από τη συνολική μάζα των πυρήνων του βαρίου, του κρυπτού και των επιπλέον νετρονίων που παράγονται.

Πυρηνικοί αντιδραστήρες

Ο πυρηνικός αντιδραστήρας είναι ένα σύστημα στο οποίο πραγματοποιείται μια ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης που οδηγεί σε απελευθέρωση ενέργειας. Το πρωταρχικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε στην προσπάθεια κατασκευής ενός πυρηνικού αντιδραστήρα ήταν η συντήρηση της αλυσιδωτής αντίδρασης. Τα περισσότερα από τα νετρόνια που παράγονται από τη σχάση των πυρήνων του ουρανίου 235 ($^{235}_{92}\text{U}$) κινούνται γρήγορα. Αυτά τα γρήγορα νετρόνια δεν απορροφώνται από τους πυρήνες του ουρανίου 235. Για να α-

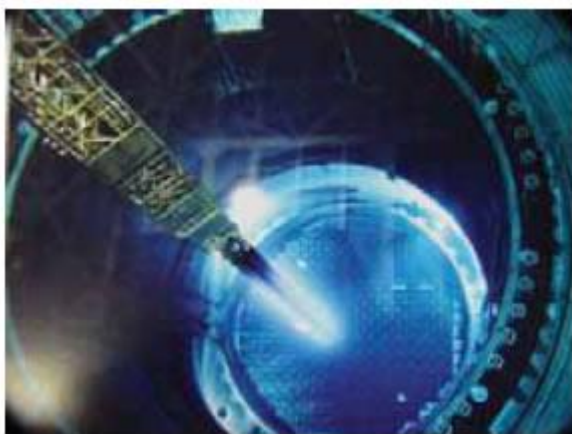
πορροφηθούν και να προκαλέσουν νέες διασπάσεις, πρέπει να επιβραδυνθούν. Η επιβράδυνση επιτυγχάνεται όταν τα νετρόνια συγκρουστούν με τους πυρήνες του υλικού που περιβάλλει το ουράνιο, το οποίο ονομάζεται επιβραδυντής. Ως επιβραδυντές μπορούν να χρησιμοποιηθούν γραφίτης ή το συνηθισμένο νερό. Για να συντηρηθεί η αλυσιδωτή αντίδραση, η αναλογία του ουρανίου 235 στο δείγμα πρέπει να αυξηθεί. Αυτή η διαδικασία αύξησης του αριθμού των σχάσιμων πυρήνων ονομάζεται εμπλουτισμός. Με τον εμπλουτισμό η αναλογία του U-235 αυξάνεται από 0,7% σε 3%. Σε ένα καθιερωμένου τύπου πυρηνικό αντιδραστήρα περίπου 200 τόνοι ουρανίου τοποθετούνται μέσα σε εκατοντάδες μεταλλικές ράβδους (εικόνα 11.7).



Εικόνα 11.7

Ράβδοι πυρηνικού καυσίμου τη στιγμή που τις κατεβάζουν στην καρδιά του αντιδραστήρα.

Η περιοχή στην οποία τοποθετείται το σχάσιμο υλικό ονομάζεται καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα. Οι ράβδοι με το σχάσιμο υλικό περιβάλλονται από νερό το οποίο δρα ως επιβραδυντής, ενώ ταυτόχρονα μεταφέρει θερμική ενέργεια από την καρδιά του αντιδραστήρα προς το περιβάλλον (εικόνα 11.8).

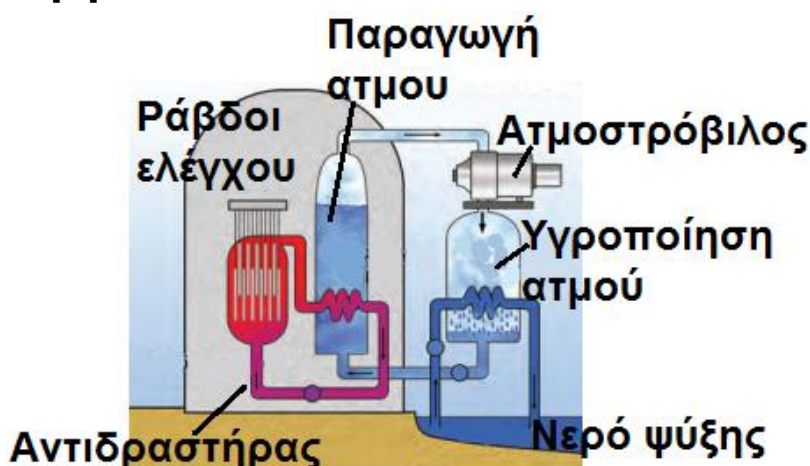


Εικόνα 11.8

Το νερό περιβάλλει την καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα και δρα ως επιβραδυντής.

Πυρηνικός αντιδραστήρας και μετατροπές ενέργειας

Σ' ένα σταθμό πυρηνικής ενέργειας, η θερμική ενέργεια που εκλύεται από τη σχάση προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του νερού που περιβάλλει το ουράνιο. Αυτό το νερό δεν βράζει επειδή βρίσκεται κάτω από υψηλή πίεση, η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία βρασμού. Όπως δείχνεται στην εικόνα 11.9 αυτό το νερό μεταφέρεται από μια αντλία σε μια δεξαμενή θερμότητας όπου προκαλεί βρασμό άλλου μη ραδιενεργού νερού. Ο ατμός που παράγεται στρέφει τους στροβίλους που συνδέονται με γεννήτριες οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.



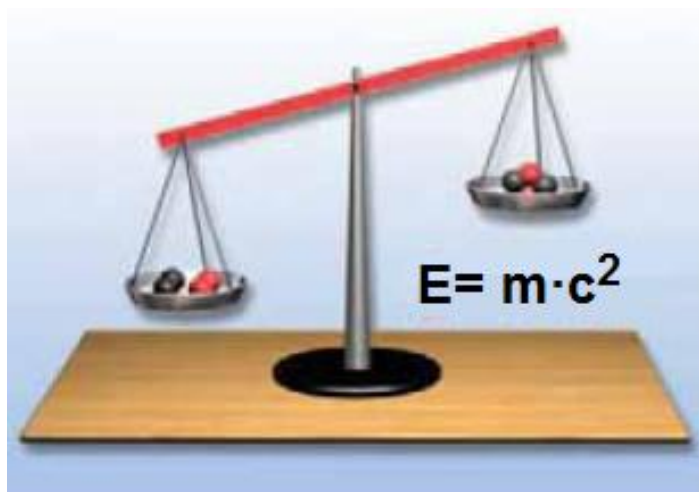
Εικόνα 11.9

Σχηματική αναπαράσταση πυρηνικού αντιδραστήρα.

11.3 Πυρηνική σύντηξη

Η πυρηνική σύντηξη είναι μια αντίδραση αντίστροφη της σχάσης. Στη σύντηξη ελαφροί πυρήνες συνενώνο-

νται ώστε να σχηματιστεί ένας βαρύτερος πυρήνας. Συγχρόνως απελευθερώνεται τεράστια ποσότητα ενέργειας. Τυπικό παράδειγμα σύντηξης αποτελεί η διαδικασία που συντελείται στο εσωτερικό του Ήλιου. Τέσσερις πυρήνες υδρογόνου (πρωτόνια), με μια διαδικασία που πραγματοποιείται σε διαδοχικά στάδια, σχηματίζουν έναν πυρήνα ηλίου. Αρχικά δύο πρωτόνια μετατρέπονται σε νετρόνια, τα οποία στη συνέχεια ενώνονται με άλλα δύο πρωτόνια, οπότε σχηματίζεται ο πυρήνας ηλίου ${}^4_2\text{He}$. Η μάζα του πυρήνα του ηλίου είναι μικρότερη από τη μάζα των τεσσάρων πρωτονίων (εικόνα 11.10).



Εικόνα 11.10

Η μάζα του πυρήνα του ηλίου είναι μικρότερη από τη μάζα των δύο πρωτονίων και των δύο νετρονίων.

Τη διαφορά αυτή της μάζας, όπως είδαμε και προηγουμένως, την ονομάζουμε έλλειμμα μάζας. Η ενέργεια που αντιστοιχεί στο έλλειμμα μάζας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των προϊόντων της σύντηξης. Η σύντηξη είναι η πηγή της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον Ήλιο και τα άστρα. Αν μειωθούν τα αποθέματα του υδρογόνου των πρωτονίων, η σύντηξη που περιγράψαμε θα διακοπεί και ο Ήλιος τελικά θα σβήσει. Ευτυχώς για μας αυτό προβλέπεται να συμβεί σε περίπου 5 δισεκατομμύρια χρόνια.

Για να συμβεί σύντηξη δύο πυρήνων, πρέπει οι πυρήνες να πλησιάσουν αρκετά κοντά ώστε να υπερνικηθεί η απωστική ηλεκτρική δύναμη από την ελκτική πυ-

ρηνική. Για να πλησιάσουν τόσο κοντά οι πυρήνες, θα πρέπει να κινούνται με πολύ μεγάλες ταχύτητες, δηλαδή να έχουν μεγάλες κινητικές ενέργειες. Άρα η σύντηξη απαιτεί την ύπαρξη πολύ μεγάλων θερμοκρασιών, της τάξης των δεκάδων εκατομμυρίων βαθμών σαν αυτές που επικρατούν στο κέντρο του Ήλιου. Γι' αυτό οι αντιδράσεις σύντηξης ονομάζονται και **θερμοπυρηνικές**.

Άλλο ένα παράδειγμα αξιοποίησης ενός επιστημονικού επιτεύγματος για πολεμικούς και όχι για ειρηνικούς σκοπούς είναι η κατασκευή της βόμβας υδρογόνου που βασίζεται στις αντιδράσεις σύντηξης (εικόνα 11.11).



Εικόνα 11.11

Ατομική βόμβα σύντηξης - Ένας μικρός βραχύβιος ήλιος.

Η δοκιμή της πρώτης βόμβας υδρογόνου στα νησιά Μπικίνι το 1954. Στο κέντρο της έκρηξης μιας τέ-

τοιας βόμβας δημιουργούνται θερμοκρασίες συγκρίσιμες με αυτές που είχε το σύμπαν ένα δευτερόλεπτο μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

Υπάρχει όμως και η θετική προοπτική της σύντηξης. Η σύντηξη θεωρείται από πολλούς η πιο ελπιδοφόρα διαδικασία για τη μελλοντική αντιμετώπιση των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι πέρα από την αφθονία πυρηνικού καυσίμου, δηλαδή του υδρογόνου του νερού των ωκεανών, η ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη παρουσιάζει και άλλα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη σχάση:

– Δεν υπάρχουν ραδιενεργά κατάλοιπα, αφού το ήλιο που παράγεται δεν είναι ραδιενεργό.

– Δεν υπάρχει κίνδυνος πυρηνικού ατυχήματος, αφού στους αντιδραστήρες σύντηξης δεν απαιτείται κρίσιμη μάζα.

– Θα αποφευχθεί η ρύπανση της ατμόσφαιρας, εφόσον δεν γίνεται καύση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1

Χώρα	Ποσοστό (%) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς σταθμούς σχάσης
Ρωσία	15
ΗΠΑ	20
Μ. Βρετανία	20
Βουλγαρία	30
Γερμανία	30
Ελβετία	45
Γαλλία	80
Σουηδία	50

Ερωτήσεις

ερωτήσεις

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

1. Να επιλέξεις το γράμμα που αντιστοιχεί στην επιστημονικά ορθή πρόταση:

Η ηλιακή ενέργεια προέρχεται από: α) πυρηνική σύντηξη, β) πυρηνική σχάση, γ) διάσπαση β, δ) διάσπαση α, ε) τίποτε από τα παραπάνω.

2. Να χαρακτηρίσεις καθεμία από τις παρακάτω προτάσεις ως σωστή ή λανθασμένη:

- α. Σ' έναν πυρήνα οι ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις τείνουν να απομακρύνουν τα νουκλεόνια, ενώ οι ισχυρές τείνουν να τα συγκρατήσουν μαζί.
- β. Στη φύση δεν υπάρχουν ραδιενεργά στοιχεία.
- γ. Η βιολογική δράση των ραδιενεργών ακτινοβολιών εξαρτάται από την ενέργεια και τη φύση της ακτινοβολίας.
- δ. Ένας πυρήνας έχει πάντοτε μεγαλύτερη μάζα από το άθροισμα των μαζών των νουκλεονίων από τα οποία αποτελείται.
- ε. Η ηλιακή ενέργεια προκύπτει από πυρηνική σχάση.

► Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις για τις ερωτήσεις που ακολουθούν:

4. Τι ονομάζεται πυρηνική σχάση και τι πυρηνική σύντηξη; Να αναφέρεις από ένα παράδειγμα.
5. Τι ονομάζεται έλλειμμα μάζας σε μια πυρηνική αντίδραση;
6. Ποιες μετατροπές ενέργειας συμβαίνουν στην πυρηνική σχάση και ποιές στην πυρηνική σύντηξη;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Η ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα είναι η δυναμική ενέργεια εξαιτίας της ισχυρής δύναμης. Η ενέργεια σύνδεσης είναι ισοδύναμη με το έλλειμμα μάζας του πυρήνα. Κατά την πυρηνική σχάση ένας βαρύς πυρήνας χωρίζεται σε δύο ελαφρύτερους πυρήνες. Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη σχάση μεττρέπεται τελικά στους πυρηνικούς αντιδραστήρες σε ηλεκτρική ενέργεια
- Κατά την πυρηνική σύντηξη δύο ελαφροί πυρήνες

συνενώνονται για να σχηματίσουν ένα βαρύτερο. Η ενέργεια του Ήλιου και των άστρων παράγεται με πυρηνική σύντηξη. Η ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη μπορεί να προσφέρει με ασφάλεια τεράστιες ποσότητες ενέργειας χωρίς ρύπανση του περιβάλλοντος.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Ενέργεια σύνδεσης

Πυρηνική σχάση

Έλλειμμα μάζας

Πυρηνική σύντηξη

Περιεχόμενα 3ου τόμου

ΕΝΟΤΗΤΑ 3 ΟΠΤΙΚΗ

Κεφάλαιο 7. Ανάκλαση του φωτός

ΤΟ ΦΩΣ ΕΠΙΣΤΡΕΦΕΙ.....	6
7.1. Ανάκλαση του φωτός.....	7
7.2. Εικόνες σε καθρέφτες: είδωλα.....	14
7.3. Προσδιορισμός ειδώλου σε κοίλους και κυρτούς καθρέφτες.....	22

Κεφάλαιο 8. Διάθλαση του φωτός

8.1. Διάθλαση του φωτός.....	39
8.2. Εφαρμογές της διάθλασης του φωτός.....	47
8.3. Ανάλυση του φωτός.....	54
8.4. Το χρώμα.....	60

Κεφάλαιο 9. Φακοί και οπτικά όργανα

ΦΑΚΟΙ: Η ΟΡΑΣΗ ΜΑΣ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΓΑΛΟΚΟΣΜΟ.....	76
9.1. Συγκλίνοντες και αποκλίνοντες φακοί.....	77
9.2. Είδωλα φακών.....	81
9.3. Οπτικά όργανα και το μάτι.....	87

ΕΝΟΤΗΤΑ 4 ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ – ΠΥΡΗΝΑΣ

Κεφάλαιο 10. Ο ατομικός πυρήνας

ΠΥΡΗΝΑΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ: Ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΓΙΓΑΝΤΑΣ.....	104
10.1. Περιγραφή του πυρήνα.....	104

10.2. Ραδιενέργεια.....	110
10.3. Βιολογική δράση της ακτινοβολίας.....	116

Κεφάλαιο 11. Πυρηνικές αντιδράσεις

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΕΛΙΞΙΡΙΟ ΣΩΤΗΡΙΑΣ Ή ΟΛΕΘΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΟΤΗΤΑ;.....	128
11.1. Ενέργεια και πυρηνικές αντιδράσεις.....	129
11.2. Πυρηνική σχάση.....	130
11.3. Πυρηνική σύντηξη.....	135

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.