

**ΦΥΣΙΚΗ**  
**Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ**  
**5ος τόμος**

**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.**

## ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

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

## ΚΡΙΤΕΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ

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

**ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ**

**Θεόφιλος Χατζητσομπάνης,  
*Μηχανικός ΕΜΠ, Εκπαιδευτικός***

**ΦΙΛΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ**

**Βασιλική Αναστασοπούλου,  
*Φιλολόγος***

**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***

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΓΙΑ  
ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ**

***Ομάδα Εργασίας  
Αποφ. 16158/6-11-06 και  
75142/Γ6/11-7-07 ΥΠΕΠΘ***

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

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

**ΑΝΑΔΟΧΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ:**

**Ελληνικά Γράμματα**

**ΦΥΣΙΚΗ**

**Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ**

**Τόμος 5ος**



## 6.2 Διάδοση του φωτός

### Ευθύγραμμη διάδοση του φωτός

*Ποια πορεία ακολουθεί το φως κατά τη διάδοσή του;*

Όταν το φως διαδίδεται ανάμεσα από πυκνά σύννεφα δημιουργούνται ευθύγραμμες δέσμες φωτός (εικόνα 6.9). Λεπτές ευθύγραμμες δέσμες φωτός δημιουργούνται όταν αυτό διέρχεται από λεπτές σχισμές ή οπές, όπως αυτές που δημιουργούνται στις οροφές σκοτεινών σπηλαίων (εικόνα 6.10).

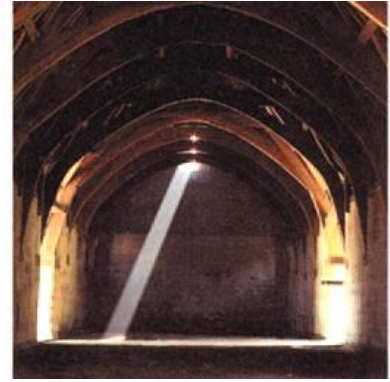
#### Εικόνα 6.9

Καθώς το φως διέρχεται μέσα από πυκνά σύννεφα σχηματίζονται λεπτές δέσμες φωτός.



## **Εικόνα 6.10**

**Καθώς το φως διέρχεται μέσα από τη σχισμή της οροφής σχηματίζει ευθύγραμμες δέσμες.**



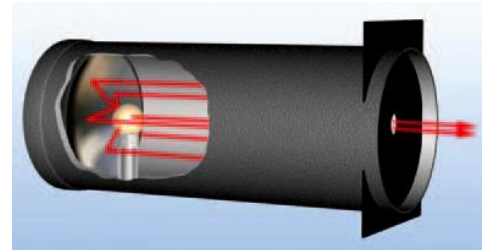
**Μπορούμε να δημιουργήσουμε μια πολύ λεπτότερη δέσμη φωτός αν σε προβολέα τοποθετήσουμε διάφραγμα με μικρή σχισμή (εικόνα 6.11).**

**Μια πολύ λεπτή δέσμη φωτός την παριστάνουμε με μια ευθεία γραμμή που την ονομάζουμε ακτίνα φωτός (εικόνα 6.11). Τις ακτίνες αυτές τις χρησιμοποιούμε για να σχεδιάζουμε την πορεία διάδοσης του φωτός. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο των φωτεινών ακτίνων μπορούμε να περιγράψουμε τα φαινόμενα της οπτικής με τη βοήθεια της γεωμετρίας. Γι' αυτό η μελέτη**

του φωτός που βασίζεται στο παραπάνω μοντέλο ονομάζεται γεωμετρική οπτική.

### **Εικόνα 6.11**

**Το μοντέλο της γεωμετρικής οπτικής**



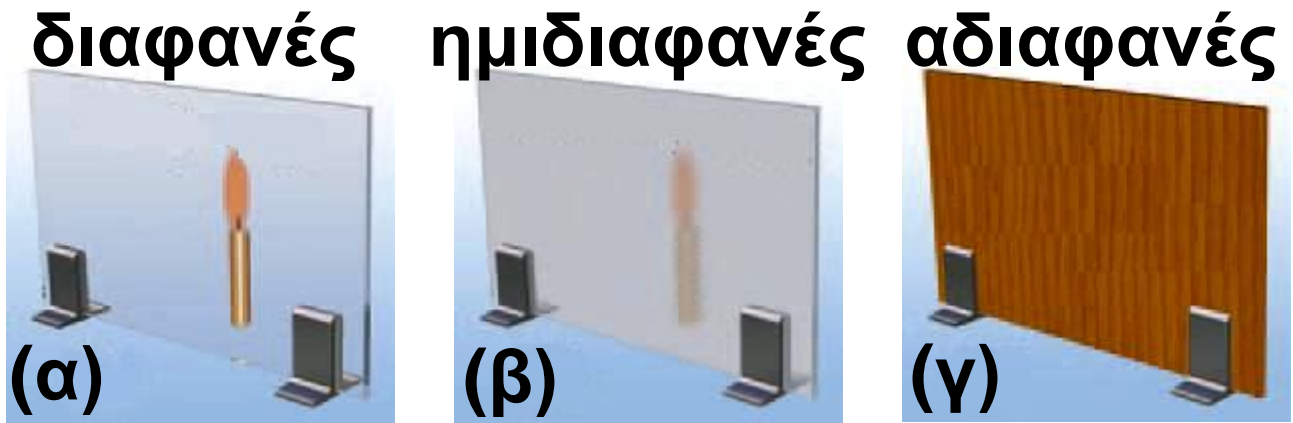
**Οι λεπτές δέσμες φωτός παριστάνονται με ευθείες**

Στα παραπάνω παραδείγματα είδαμε ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμα μέσα στον αέρα ο οποίος έχει τις ίδιες ιδιότητες (την ίδια πυκνότητα, την ίδια θερμοκρασία κ.λπ.) σε όλα τα σημεία του. Κάθε υλικό μέσο που έχει σε όλα τα σημεία του τις ίδιες ιδιότητες ονομάζεται ομογενές υλικό μέσο. Γενικά μέσα σε κάθε ομογενές υλικό το φως διαδίδεται ευθύγραμμα.

## **Πού διαδίδεται το φως**

**Βλέπουμε αντικείμενα ακόμα και όταν παρεμβάλλεται αέρας, νερό ή γυαλί ανάμεσα σε αυτά και στα μάτια μας. Ωστόσο δεν διακρίνουμε αντικείμενα πίσω από τοίχους ή ξύλινες πόρτες. Το φως διαδίδεται μέσα από ορισμένα σώματα. Τα σώματα μέσα στα οποία διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε **διαφανή** (εικόνα 6.12α). Αντιθέτως τα σώματα μέσα από τα οποία δεν διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε **αδιαφανή** (εικόνα 6.12γ). Υπάρχουν σώματα, π.χ. το γαλακτόχρωμο τζάμι, πίσω από τα οποία δεν διακρίνουμε καθαρά τα αντικείμενα. Αυτά τα σώματα τα ονομάζουμε **ημιδιαφανή** (εικόνα 6.12β).**

***Είναι άραγε απαραίτητο να υπάρχει υλικό μέσο για να διαδοθεί το φως;***



### **Εικόνα 6.12**

(α) Το φως διαδίδεται μέσα από διαφανή υλικά: τα αντικείμενα είναι πλήρως ορατά. (β) Το φως διαδίδεται μερικώς μέσα από ημιδιαφανή υλικά: τα αντικείμενα δεν διακρίνονται καθαρά. (γ) Το φως δε διαδίδεται μέσα από αδιαφανή υλικά: τα αντικείμενα δεν είναι ορατά.

**Ξέρουμε ότι το ηλιακό φως φθάνει στη γη, αν και όπως γνωρίζουμε ο περισσότερος χώρος μεταξύ του ήλιου και του πλανήτη μας είναι κενός. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το φως διαδίδεται στο κενό.**



## Εικόνα 6.13 Τα μέταλλα λάμπουν.

### **Φωτόνια και διάδοση του φωτός**

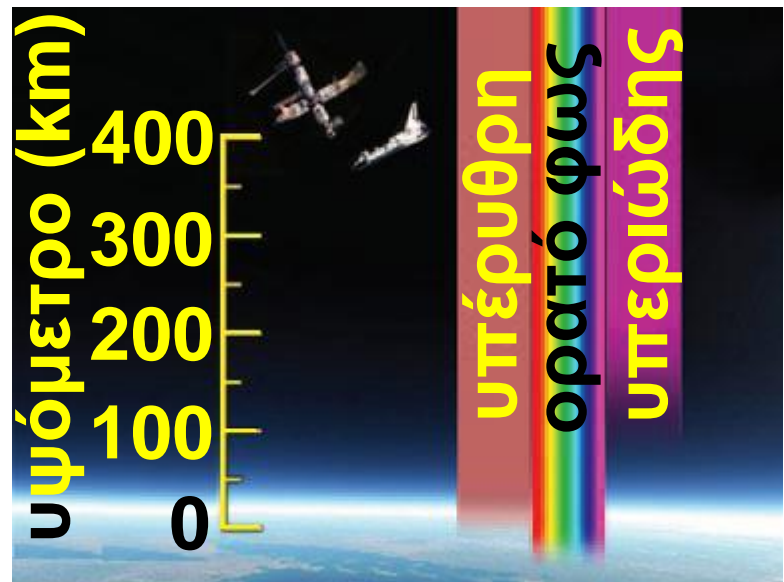
*Γιατί υπάρχουν διαφανή και αδιαφανή σώματα;*

Γνωρίζουμε ότι το φως είναι ενέργεια που μεταφέρεται από φωτόνια. Όταν το φως προσπέσει σε κάποιο σώμα, τα φωτόνια αλληλεπιδρούν με τα άτομα του υλικού από το οποίο αποτελείται το σώμα. Στα διαφανή υλικά τα άτομα απορροφούν τα φωτόνια και στη συνέχεια επανεκπέμπουν φωτόνια που έχουν την ίδια ενέργεια με τα αρχικά. Στα αδιαφανή υλικά η ενέργεια των φωτονίων μετασχηματίζεται σε κινητική ενέργεια των ατόμων ή

των μορίων του υλικού, δηλαδή έχουμε αύξηση της θερμικής ενέργειας του σώματος και τελικά μικρή αύξηση της θερμοκρασίας τους. Τα μέταλλα είναι αδιαφανή. Όταν προσπέσει φως σ' ένα μέταλλο, τα φωτόνια συνήθως συγκρούονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου και επιστρέφουν. Γι' αυτό τα μέταλλα είναι στιλπνά (λάμπουν) (εικόνα 6.13).

**Εικόνα 6.14**  
Η γήινη ατμόσφαιρα είναι

αδιαφανής στην υπεριώδη ακτινοβολία και διαφανής στο ορατό φως.



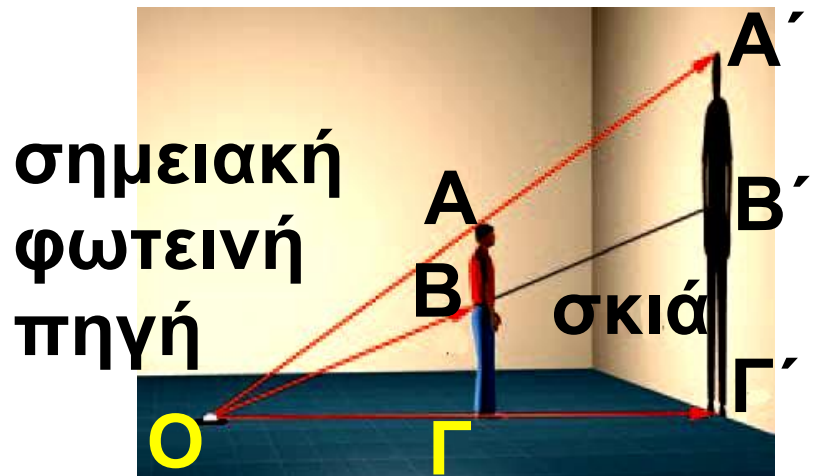
## **Σκιά**

Σε χώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως η Ελλάδα, συχνά αναζητούμε κάποια «σκιά» για να «προστατευτούμε από τις ακτίνες» του ήλιου.

*Πότε και πώς σχηματίζεται η σκιά;*

Σκιά σχηματίζουν τα αδιαφανή σώματα όταν αυτά φωτίζονται από μια φωτεινή πηγή. Η σκιά ενός σώματος σχηματίζεται στις περιοχές εκείνες όπου δεν φθάνουν οι ακτίνες που προέρχονται από τη φωτεινή πηγή, γιατί στην πορεία τους παρεμβάλλεται το αδιαφανές σώμα. Το φως δεν «στρίβει» από τις γωνίες του αδιαφανούς σώματος. Η δημιουργία της σκιάς είναι αποτέλεσμα της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός. Η σκιά δημιουργείται από την έλλειψη φωτός, αλλά για

τη δημιουργία της είναι αναγκαία η ύπαρξη φωτός και το αδιαφανές σώμα.



### Εικόνα 6.15

Η δημιουργία και το μέγεθος της σκιάς

Το ευθύγραμμο τμήμα ΑΓ είναι παράλληλο με το Α'Γ'. Σύμφωνα με το θεώρημα του Θαλή ισχύει

$\frac{ΑΓ}{Α'Γ'} = \frac{ΟΓ}{ΟΓ'}$ . Δηλαδή τα μεγέθη της σκιάς και του αντικειμένου συνδέονται με τις αποστάσεις από τη φωτεινή πηγή του αντικειμένου και της επιφάνειας στην οποία σχηματίζεται η σκιά.

## **Σκιές γύρω μας**

**Αν παρατηρήσεις προσεκτικά τις σκιές που σχηματίζονται γύρω σου, βλέπεις ότι κάποιες από αυτές έχουν σαφή όρια. Τέτοιες είναι οι σκιές που σχηματίζονται από φωτεινές πηγές μικρών διαστάσεων (π.χ. προβολέας) που βρίσκονται κοντά στο σώμα ή από φωτεινές πηγές μεγάλων διαστάσεων που βρίσκονται πολύ μακριά, όπως ο ήλιος (εικόνα 6.15). Σε αυτές τις περιπτώσεις η φωτεινή πηγή θεωρείται ότι είναι ένα σημείο και ονομάζεται σημειακή.**

**Οι περισσότερες όμως σκιές δεν έχουν σαφή όρια. Στο κεντρικό τμήμα της σκιάς υπάρχει συνήθως μια σκοτεινή περιοχή που είναι η κυρίως σκιά, ενώ γύρω από την κυρίως σκιά υπάρχει μια περιοχή που φωτίζεται εν μέρει και ονομάζεται**

παρασκιά. Στην περιοχή της κυρίως σκιάς δεν φθάνει καμία από τις φωτεινές ακτίνες που προέρχονται από τη φωτεινή πηγή, ενώ στη περιοχή της παρασκιάς φθάνουν μόνο ορισμένες από τις φωτεινές ακτίνες, ενώ οι υπόλοιπες αποκόπτονται από το σώμα (εικόνα 6.16).

### Εικόνα 6.16

Η δημιουργία της παρασκιάς. Η παρασκιά δημιουργείται όταν η πηγή δεν είναι σημειακή.



### Σκιές ουράνιων σωμάτων

Η Γη και η Σελήνη όπως όλα τα αδιαφανή σώματα, όταν φωτίζονται δημιουργούν σκιά. Φαινόμενα που οφείλονται στη δημιουργία της σκιάς της σελήνης και της Γης είναι

**οι εκλείψεις του Ηλίου και της Σελήνης.**

## **Έκλειψη Ηλίου**

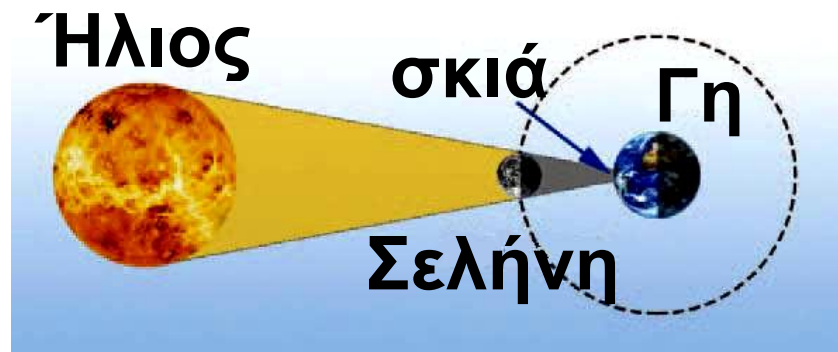
**Ένα εντυπωσιακό αποτέλεσμα του σχηματισμού της σκιάς της Σελήνης εκδηλώνεται όταν η Σελήνη βρεθεί στην περιοχή μεταξύ της Γης και του Ηλίου (εικόνα 6.17).**

**Τότε η σκιά της Σελήνης σχηματίζεται πάνω στην επιφάνεια της Γης και συμβαίνει μια έκλειψη Ηλίου. Το φαινόμενο αυτό προκάλούσε δέος στους ανθρώπους των παλαιότερων εποχών. Ο παρατηρητής που βρίσκεται στην περιοχή της κύριας σκιάς βλέπει να καλύπτεται ολόκληρος ο ηλιακός δίσκος (εικόνα 6.18). Πρόκειται για ολική έκλειψη.**

**Οι κάτοικοι της Γης που βρίσκονται στην περιοχή της παρασκιάς αντιλαμβάνονται μια μερική έκλει-**

ψη. Το ηλιακό φως γίνεται πιο αμυδρό, ενώ είναι δυνατό να παρατηρήσει κανείς απευθείας ένα τμήμα του ηλιακού δίσκου.

**Εικόνα 6.17**  
Σχηματική αναπαράσταση της ηλιακής έκλειψης.



**Εικόνα 6.18**

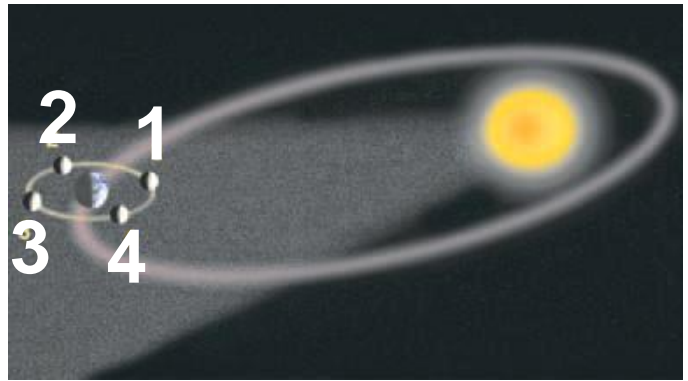
Φωτογραφία του ηλιακού στέμματος όπως αυτό έγινε ορατό

κατά την ολική έκλειψη του Ηλίου στις 11/8/1999 στο Ιράν.



## Φάσεις και έκλειψη Σελήνης

Η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη και ο Ήλιος φωτίζει συνεχώς τη μισή επιφάνειά της.



## Εικόνα 6.19

Οι φάσεις της Σελήνης όπως θα τις βλέπαμε αν μπορούσαμε να βρεθούμε στο διάστημα.

## Εικόνα 6.20

Οι φάσεις της Σελήνης όπως τις βλέπουμε από τη Γη.



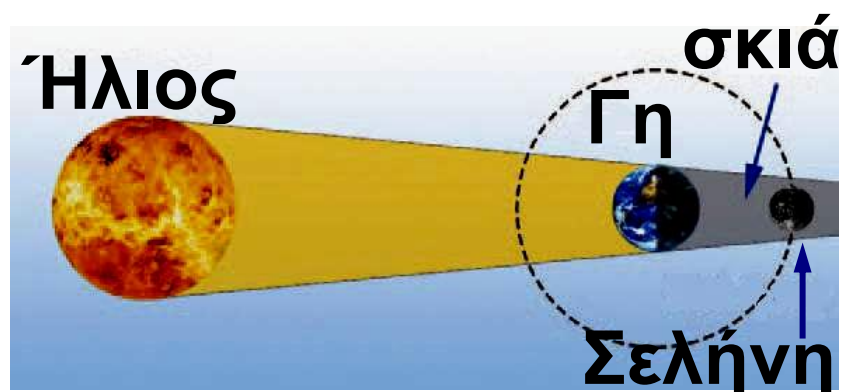
Η εικόνα της Σελήνης την οποία βλέπει ένας παρατηρητής από τη Γη μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση της Σελήνης σε σχέση με τη Γη και τον Ήλιο (εικόνα 6.19). Όταν η Γη βρίσκεται μεταξύ Σελήνης και Ηλίου βλέπουμε όλη τη φωτισμένη περιοχή της Σελήνης: τότε έχουμε

**πανσέληνο (θέση 3). Όταν η Σελήνη βρίσκεται μεταξύ Γης και Ηλίου έχει στραμμένη τη σκοτεινή πλευρά της προς τη Γη, οπότε δεν είναι ορατή από τη Γη: τότε έχουμε τη νέα Σελήνη (θέση 1). Οι φάσεις της Σελήνης επαναλαμβάνονται σε κάθε περιφορά της γύρω από τη Γη, η οποία διαρκεί 29,5 ημέρες περίπου (σεληνιακός κύκλος) (εικόνα 6.20).**

**Το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο είναι διαφορετικό από το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται η τροχιά της Σελήνης γύρω από τη Γη (εικόνα 6.19). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όταν η Σελήνη βρίσκεται στις θέσεις 1 και 3 (νέα Σελήνη και πανσέληνος), Σελήνη, Γη και Ήλιος να μη βρίσκονται πάντα στην ίδια ευθεία. Στην περίπτωση που κατά την πανσέληνο η Σελήνη βρεθεί στην**

ευθεία Γης-Ηλίου τότε θα βρεθεί στη σκιά της Γης. Τότε η Σελήνη δεν είναι ορατή από τη Γη και έχουμε ολική έκλειψη Σελήνης (εικόνα 6.21).

Αντίθετα όταν κατά τη φάση της νέας Σελήνης αυτή βρεθεί στην ευθεία Γης - Ηλίου, τότε η σκιά της Σελήνης σχηματίζεται στην επιφάνεια της Γης και εκδηλώνεται ολική έκλειψη Ηλίου (εικόνα 6.17).



**Εικόνα 6.21**

Σχηματική αναπαράσταση της έκλειψης Σελήνης.

Ενώ μια έκλειψη Σελήνης είναι ορατή από όλους τους κατοίκους ενός ημισφαιρίου της Γης που έχουν βέβαια νύχτα, μια έκλειψη

Ηλίου είναι ορατή από κατοίκους μιας πολύ μικρής περιοχής της Γης.

## **Ταχύτητα διάδοσης του φωτός**

Σε μια καταιγίδα βλέπεις πρώτα την αστραπή και μετά από λίγο ακούς τη βροντή. Φαίνεται ότι το φως φθάνει σε σένα σχεδόν αμέσως, ενώ ο ήχος με κάποια καθυστέρηση. Μπορείς να συμπεράνεις ότι το φως διαδίδεται πολύ γρηγορότερα από τον ήχο. Πράγματι, αρχικά από αστρονομικές παρατηρήσεις, προέκυψε ότι το φως που εκπέμπουν τα ουράνια σώματα δεν φθάνει ακαριαία στη Γη. Στη συνέχεια οι επιστήμονες με ακριβείς επίγειες μετρήσεις διαπίστωσαν ότι μέσα στο κενό και κατά προσέγγιση στον αέρα το φως διαδίδεται με ταχύτητα  $300.000 \text{ km/s}$ .



## Εικόνα 6.22

Η ταχύτητα διάδοσης του φωτός είναι διαφορετική σε διάφορα διαφανή υλικά. Στο κενό είναι η μεγαλύτερη.

*Πόσο μεγάλη είναι η ταχύτητα του φωτός; Κατ' αρχήν είναι περίπου 1.000.000 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα. Ένα αυτοκίνητο κινούμενο συνεχώς με 170 km/h θα χρειαζόταν για να διανύσει την*

απόσταση Γης-Ηλίου περίπου 100 χρόνια. Το φως διανύει την ίδια απόσταση σε 8 λεπτά περίπου. Την απόσταση Γης-Σελήνης τη διανύει περίπου σε 1 δευτερόλεπτο. Το φως δεν διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα σε όλα τα διαφανή υλικά. Με τη μεγαλύτερη ταχύτητα διαδίδεται στο κενό ή τον αέρα (εικόνα 6.22).

Έτσι προκύπτει ότι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο γυαλί είναι 200.000 km/s. Στην εικόνα 6.22 φαίνονται σχηματικά οι ταχύτητες του φωτός σε διάφορα υλικά.

Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα που μπορεί να παρατηρηθεί στον κόσμο. Είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα που κινείται οποιοδήποτε σώμα ή διαδίδεται οποιοδήποτε κύμα. Ακόμη και το ταχύτερο δια-

**στημόπλοιο κινείται πολύ πιο αργά από το φως.**

**Χρησιμοποιώντας την τεράστια ταχύτητα διάδοσης του φωτός έχουμε επινοήσει μια μονάδα μέτρησης αστρικών αποστάσεων. Για παράδειγμα, το φως χρειάζεται περίπου τέσσερα χρόνια για να φθάσει στη Γη από τον αστέρα A του Κενταύρου (τον πλησιέστερο σε μας αστέρα που είναι παρόμοιος με τον Ήλιο). Λέμε, λοιπόν, ότι ο αστέρας A του Κενταύρου απέχει τέσσερα έτη φωτός από εμάς.**

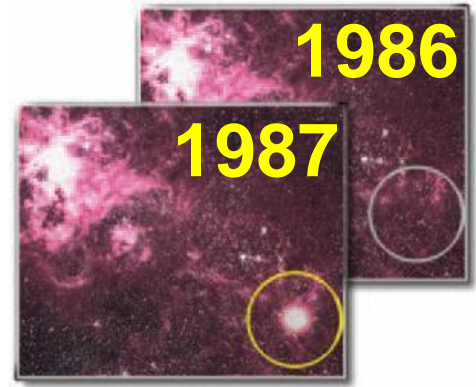
**Έτος φωτός είναι η απόσταση που διανύει το φως σε ένα έτος.**

**Ένα αστέρι γεννιέται**

**Οι υπερκαινοφανείς αστέρες (super nova) είναι αστέρια που εκρήγνυνται. Οι ποσότητες της ενέργειας που εκπέμπουν κατά την**

έκρηξή τους είναι τεράστιες. Ένα μεγάλο μέρος της παραπάνω ενέργειας είναι φωτεινή.

Η φωτεινότητα των παραπάνω αστέρων είναι κατά δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από αυτή ενός συνηθισμένου αστεριού. Γι' αυτό το λόγο κάποιοι από τους υπερκαινοφανείς αστέρες γίνονται για μικρό χρονικό διάστημα ορατοί με γυμνό μάτι παρόλο που βρίσκονται πολύ μακριά. Οι τελευταίοι δύο υπερκαινοφανείς που παρατηρήθηκαν από τη Γη με γυμνό μάτι ήταν το 1604 και το 1987. Στην παραπάνω φωτογραφία δείχνεται ο νυχτερινός ουρανός πριν και μετά την παρατήρηση του υπερκαινοφανούς. Η απόσταση του παραπάνω αστεριού από τη γη



είναι 169.000 έτη φωτός. Για να καταλάβουμε πόσο μακριά είναι το αστέρι από τη Γη μετατρέπουμε την παραπάνω απόσταση σε μέτρα. Το ταξίδι του φωτός από το αστέρι στη Γη διαρκεί χρονικό διάστημα

$$t = 170.000 \text{ έτη ή}$$

$$t = 169.000 \text{ έτη} \cdot \frac{350 \text{ ημερ}}{\text{έτος}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{\text{ημερ}} \cdot \frac{3.600 \text{ s}}{\text{h}} \text{ ή } t \approx 5,33 \cdot 10^{12} \text{ s}$$

Η απόσταση που διανύει είναι:

$$\Delta x = c \cdot t = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5,33 \cdot 10^{12} \text{ s} \\ \approx \underline{1,6 \cdot 10^{21} \text{ m}}$$

**Μπορείς να συγκρίνεις την παραπάνω απόσταση: α) με τη διάμετρο του ηλιακού μας συστήματος; β) με τη διάμετρο του γαλαξία μας;**

**Μπορείς να συμπεράνεις αν ο παραπάνω υπερκαινοφανής είναι στο γαλαξία μας;**

## **Η αρχή του ελάχιστου χρόνου**

**Μπορούμε να ερμηνεύσουμε γιατί το φως διαδίδεται ευθύγραμμα μέσα σε ένα ομογενές μέσο;**

**Το 1650 ο Γάλλος μαθηματικός Πιέρ ντε Φερμά (Fermat) (1601-1665) πρότεινε έναν απλό τρόπο με τον οποίο μπορούμε να προβλέπουμε την πορεία διάδοσης του φωτός σε κάθε περίπτωση. Ο Φερμά διατύπωσε την εξής πρόταση: όταν το φως διαδίδεται από ένα σημείο σε ένα άλλο ακολουθεί την πορεία για την οποία απαιτείται ο ελάχιστος χρόνος.**

**Η πρόταση αυτή ονομάζεται αρχή του ελάχιστου χρόνου ή αρχή του Φερμά. Όταν ένας οδηγός βιάζεται να πάει σε κάποιο προορισμό δεν επιλέγει τη διαδρομή με το μικρότερο μήκος αλλά εκείνη στην οποία μπορεί να κινηθεί με τη με-**

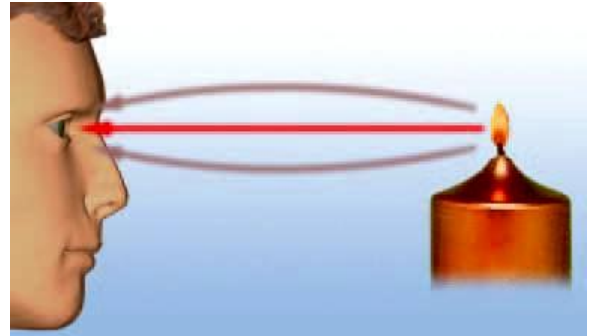
γαλύτερη ταχύτητα αποφεύγοντας το συνωστισμό, την κακή κατάσταση του οδοστρώματος κ.λπ. Με παρόμοιο τρόπο συμπεριφέρεται και το φως. Ο χρόνος που απαιτείται για να διαδοθεί από ένα σημείο σε ένα άλλο εξαρτάται τόσο από το μήκος της διαδρομής όσο και από την ταχύτητα με την οποία διαδίδεται.

Σε ένα ομογενές υλικό το φως διαδίδεται με σταθερή ταχύτητα. Σε αυτή την περίπτωση η διαδρομή που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο είναι αυτή με το ελάχιστο μήκος, δηλαδή η ευθύγραμμη (εικόνα 6.23). Όστε, σύμφωνα με την αρχή του ελάχιστου χρόνου, σε κάθε ομοιογενές υλικό μέσο το φως διαδίδεται ευθύγραμμα.

Όταν η θέση της πηγής του φωτός και του παρατηρητή αλλάξουν

αμοιβαία, τότε λόγω της αρχής του ελάχιστου χρόνου το φως διαδίδεται αντίστροφα ακολουθώντας πάλι την ίδια διαδρομή.

### Εικόνα 6.23 Αρχή της γεωμετρίας και φως



Κατά την πορεία του στον αέρα το φως, για να φτάσει από τη φλόγα του κεριού στο μάτι μας, θα ακολουθήσει τη συντομότερη διαδρομή.

## 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. Βλέπουμε ένα αντικείμενο όταν .....το οποίο προέρχεται από αυτό εισέλθει στα..... μας. Τότε το φως διεγείρει τα ..... κύτταρα και η διέγερση αυτή μεταβιβάζεται στον ..... Ένα αντικείμενο μπορεί να εκπέμπει το ίδιο φως οπότε ονομάζεται ..... ή να επανεκπέμπει το φως που φτάνει σε αυτό οπότε ονομάζεται .....**

**β. Το φως είναι μια μορφή ..... Η φωτεινή ενέργεια μεταφέρεται από τα ..... Κάθε φωτόνιο μεταφέρει ..... ποσότητα ενέργειας. Το ..... του εκπεμπόμενου φωτός καθορίζεται από την ενέργεια των φωτονίων από τα οποία αποτελείται.**

**γ. Μέσα σε κάθε ομογενές υλικό το φως διαδίδεται ..... Εκτός από την ύλη το φως διαδίδεται και**

στο ..... Τα σώματα μέσα στα οποία διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε ..... Αντιθέτως τα σώματα μέσα στα οποία δεν διαδίδεται το φως, τα ονομάζουμε .....

**2.** Σε ποιες ή σε ποια από τις επόμενες προτάσεις το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά ορθό; Βλέπουμε ένα αντικείμενο όταν: α) το αντικείμενο εκπέμπει φως, β) το αντικείμενο φωτίζεται από φωτεινή πηγή, γ) φως από το αντικείμενο φτάνει στα μάτια μας.

**3.** Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.  
α. Ένα σώμα που εκπέμπει φως είναι φωτεινή πηγή.

**β. Σε κάθε φωτεινή πηγή κάποια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε φωτεινή.**

**γ. Μόνο τα στερεά σώματα μπορούν να εκπέμπουν φως όταν αποκτήσουν υψηλή θερμοκρασία.**

**δ. Ένα σώμα, για να εκπέμψει φως, πρέπει να έχει υψηλή θερμοκρασία.**

**4. Να περιγράψεις τις μετατροπές ενέργειας που συμβαίνουν: α) σ' έναν ηλεκτρικό λαμπτήρα που φωτοβολεί, β) σε ένα αναμμένο κερί, γ) όταν το ηλιακό φως πέφτει πάνω στα φύλλα των δέντρων, δ) όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στο συλλέκτη του ηλιακού θερμοσίφωνα, ε) όταν φως προσπίπτει σε ένα ακτινόμετρο.**

**5. Ταξινόμησε τα παρακάτω σώματα σε αυτόφωτα και ετερόφωτα: α) Ήλιος, β) Σελήνη, γ) Αυγερινός**

(πλανήτης Αφροδίτη), δ) Πούλια (αστερισμός), ε) αναμμένο κερί.

**6.** Κατάταξε τα παρακάτω σώματα σε διαφανή, ημιδιαφανή, αδιαφανή: νερό, αέρας, γυαλί, ξύλο, γαλακτόχρωμο τζάμι, αλουμινόχαρτο, χαρτί, φωτογραφικό φιλμ, έγχρωμο τζάμι.

**7.** Πότε και γιατί σχηματίζεται η σκιά;

**8.** Σε ποια φάση βρίσκεται η Σελήνη όταν έχουμε έκλειψη Ηλίου; Υποστήριξε την άποψή σου σχεδιάζοντας κατάλληλο σχήμα.

**9.** Στην εικόνα που παριστάνεται στο διπλανό σχήμα να δεί-



ξεις τις περιοχές σκιάς-παρασκιάς. Πού βρίσκεται ένας γήινος παρατηρητής όταν παρατηρεί μια ολική

ή μια μερική έκλειψη Ηλίου αντίστοιχα.

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

α. Η σκιά σχηματίζεται στην κατεύθυνση φωτεινής πηγής αντικειμένου προς την πλευρά του αντικειμένου.

β. Η παρασκιά οφείλεται στο γεγονός ότι το φως δεν διαδίδεται ευθύγραμμα μέσα στον αέρα.

γ. Εκδηλώνεται μια έκλειψη Σελήνης σε κάθε σεληνιακό κύκλο.

δ. Στη διάρκεια μιας έκλειψης η Γη, η Σελήνη και ο Ήλιος βρίσκονται στην ίδια ευθεία.

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

**11.** Η Σελήνη είναι αυτόφωτο ή ετερόφωτο σώμα; Να αιτιολογήσεις την απάντησή σου.

**12.** Μπορείς να εξηγήσεις γιατί η λάβα ενός ηφαιστείου είναι ορατή ακόμη και τη νύχτα;

**13.** Ποια είναι η κύρια φυσική φωτεινή πηγή για τη Γη; Να αναφέρεις τρεις τεχνητές φωτεινές πηγές που χρησιμοποιούμε συνήθως.

**14.** Χρησιμοποιώντας το μοντέλο των φωτεινών ακτίνων απεικόνισε τον τρόπο με τον οποίο βλέπεις τη Σελήνη.

**15.** Βλέπουμε ένα αναμμένο κερι στο σκοτάδι επειδή είναι μια φωτεινή πηγή. Πώς μπορούμε λοιπόν να δούμε ένα σβησμένο κερι;

**16.** Πώς διαπιστώνουμε ότι το φως διαδίδεται στο κενό; Συμβαίνει το ίδιο και με τον ήχο;

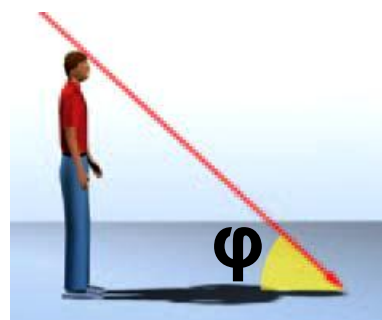
**17.** Να περιγράψεις ένα φαινόμενο με το οποίο να μπορείς να συμπεράνεις ότι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου είναι πολύ μικρότερη από την ταχύτητα διάδοσης του φωτός.

**18.** Με βάση την αρχή του ελάχιστου χρόνου, προσπάθησε να εξηγήσεις γιατί σε ομογενή μέσα το φως διαδίδεται ευθύγραμμα.

## Ασκήσεις

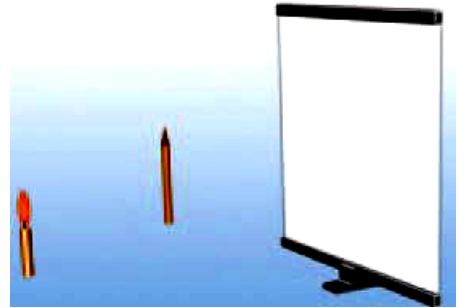
## ασκήσεις

**1. Φυσική και Γεωμετρία:** Ποια γωνία πρέπει να σχηματίζουν οι ηλιακές ακτίνες με το οριζόντιο επίπεδο ώστε το μήκος της σκιάς



ενός ανθρώπου στο έδαφος να είναι ίσο με το ύψος του;

**2.** Στη διπλανή εικόνα να σχεδιάσεις τη σκιά του μολυβιού που δημιουργείται πάνω στην



οθόνη από τη φλόγα του κεριού. Να υπολογίσεις το μέγεθος της σκιάς αν γνωρίζεις ότι το μήκος του μολυβιού είναι 15 cm και η απόστασή του από τη φλόγα 20 cm. Η οθόνη έχει τοποθετηθεί σε απόσταση 50 cm από τη φλόγα του κεριού.

**3. Φυσική και Γεωμετρία:** Αν το μήκος της σκιάς του δέντρου της διπλανής εικόνας είναι το  $\frac{1}{3}$  του ύψους του, μπορείς να βρεις πόσο είναι το ύψος του κτηρίου αν γνωρίζεις ότι το μήκος της σκιάς του είναι 18 m; Μπορείς να



σκεφθείς και να περιγράψεις με ποιο τρόπο ο Ερατοσθένης υπολόγισε το ύψος της πυραμίδας της Αιγύπτου με τη βοήθεια του μήκους της σκιάς ενός ραβδιού;

**4.** Υπολόγισε το χρόνο που χρειάζεται το φως για να φθάσει από τον Ήλιο στη Γη αν γνωρίζεις ότι η απόσταση Γης-Ηλίου είναι 1.500.000.000 km.

**5.** Ο Πλούτωνας είναι ο πιο απομακρυσμένος πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος. Το φως του Ηλίου φθάνει σε αυτόν 5,5 ώρες από τη στιγμή που εκπέμπεται. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα να υπολογίσεις την απόσταση του Πλούωνα από τον Ήλιο. Μπορείς να εκτιμήσεις τη διάμετρο του ηλιακού μας συστήματος;

**6.** Ο Α του Κενταύρου ή ο εγγύτατος του Κενταύρου είναι ο αστέρας ο οποίος βρίσκεται πλησιέστερα προς το ηλιακό μας σύστημα. Το φως για να φθάσει από τον Α του Κενταύρου στη Γη χρειάζεται 4,5 έτη. α) Με βάση αυτό το δεδομένο υπολόγισε την απόσταση του Α του Κενταύρου από τη Γη. β) Μπορείς να εκτιμήσεις πόσες φορές είναι μεγαλύτερη αυτή η απόσταση από τη διάμετρο του ηλιακού μας συστήματος; Δίδεται ότι η ταχύτητα του φωτός είναι:  $3 \cdot 10^8$  m/s.

**7.** Τη νύχτα της 23ης Φεβρουαρίου του 1987 ο αστρονόμος Ίαν Σέλτον φωτογράφησε με τη βοήθεια του τηλεσκοπίου του την έκρηξη ενός άστρου. Το άστρο αυτό βρισκόταν 169.000 έτη φως μακριά από τη Γη. Ποια χρονολογία συνέβη η

έκρηξη; Είναι δυνατόν πολλά από τα αστέρια που βλέπουμε το βράδυ στον έναστρο ουρανό να έχουν καταστραφεί αρκετά χρόνια πριν και να μην υπάρχουν πλέον; Αιτιολόγησε την άποψή σου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Βλέπουμε ένα αντικείμενο όταν φως που προέρχεται από αυτό φθάσει στα μάτια μας, διεγείρει τα οπτικά κύτταρα και η διέγερση μεταβιβαστεί στον εγκέφαλο.
- Τα αντικείμενα τα βλέπουμε είτε επειδή τα ίδια είναι φωτεινές πηγές, δηλαδή εκπέμπουν φως, οπότε τα ονομάζουμε αυτόφωτα, είτε επειδή φωτίζονται από άλλες φωτεινές πηγές, οπότε τα ονομάζουμε ετερόφωτα.
- Το φως μεταφέρει ενέργεια. Η ενέργεια που μεταφέρει το φως

ονομάζεται φωτεινή ενέργεια η οποία αποτελεί ειδική περίπτωση της ενέργειας ακτινοβολίας. Έτσι η φωτεινή ενέργεια όπως κάθε μορφή ενέργειας είναι δυνατόν να μετασχηματισθεί σε άλλες μορφές. Η φωτεινή ενέργεια μεταφέρεται από τα φωτόνια. Κάθε φωτόνιο μεταφέρει μια καθορισμένη ποσότητα ενέργειας.

□ Φωτεινή πηγή ονομάζεται ένα σώμα ή μια συσκευή που εκπέμπει φως. Σε κάθε φωτεινή πηγή κάποια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε φωτεινή.

□ Σε κάθε ομογενές υλικό το φως διαδίδεται ευθύγραμμα. Στο κενό και στον αέρα το φως διανύει 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα διάδοσης του φωτός διαφέρει από υλικό σε υλικό.

□ Τα σώματα μέσα στα οποία διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε διαφανή. Τα σώματα μέσα από τα οποία δεν διαδίδεται το φως τα ονομάζουμε αδιαφανή. Σώματα πίσω από τα οποία δεν διακρίνουμε καθαρά τα αντικείμενα τα ονομάζουμε ημιδιαφανή.

□ Η σκιά ενός σώματος σχηματίζεται στις περιοχές εκείνες όπου δεν φθάνουν οι ακτίνες που προέρχονται από τη φωτεινή πηγή, γιατί στην πορεία τους παρεμβάλλεται ένα αδιαφανές σώμα. Η δημιουργία της σκιάς είναι αποτέλεσμα της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός.

## **ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ**

**Φως | Φωτεινή Πηγή | Ταχύτητα του φωτός | Φωτεινή ενέργεια | Διαφανή, ημιδιαφανή, αδιαφανή σώματα | Σκιά | Φωτόνιο |**

## μια μικρή ιστορία...

Η Ολυμπιακή φλόγα είναι σύμβολο 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. Πως 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 λαμπαδηδοδρόμου. 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 πως επηρεάζει την πορεία διάδοσης του φωτός;**



**Στο κεφάλαιο αυτό:**

- Θα μελετήσεις την ανάκλαση του φωτός καθώς και τους νόμους που τη διέπουν
- Θα γνωρίσεις πως σχηματίζονται τα είδωλα σε κοίλους και 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 πρόσωπο του στην ήρεμη επιφάνεια του νερού. 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. Μεταλλικοί καθρέφτες (συνήθως από χαλκό) χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά κατά την εποχή του χαλκού (3000-1000 π.Χ.)

(εικόνα 7.2). Με έναν καθρέφτη είναι δυνατόν να αλλάξουμε την κατεύθυνση μιας δέσμης φωτός.

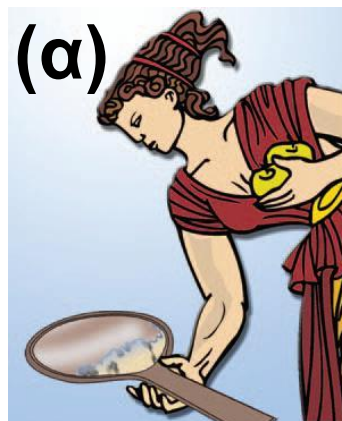
## Εικόνα 7.1

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



## Εικόνα 7.2

(α) Οι άνθρωποι αρχικά καθρεφτίζονταν στην ήρεμη επιφάνεια του νερού. (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.

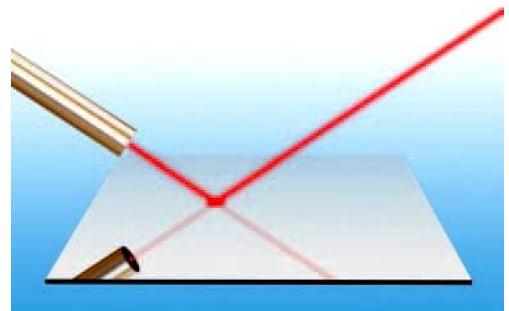
Τα δύο παραπάνω φαινόμενα συνδέονται στενά μεταξύ τους: σε κάθε περίπτωση το φως διαδίδεται μέσα σε ένα ομογενές μέσο (συνήθως τον αέρα), συναντά την επιφάνεια ενός αντικειμένου και αλλάζει κατεύθυνση παραμένοντας μέσα στο ίδιο μέσο. Όταν το φως συναντήσει την επιφάνεια ενός σώματος και αλλάξει διεύθυνση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

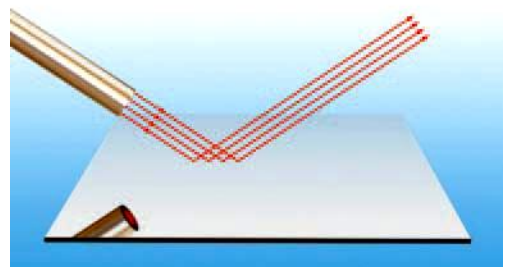
### **Εικόνα 7.3**

Η δέσμη λέιζερ ανακλάται από το επίπεδο κάτοπτρο.



### **Εικόνα 7.4**

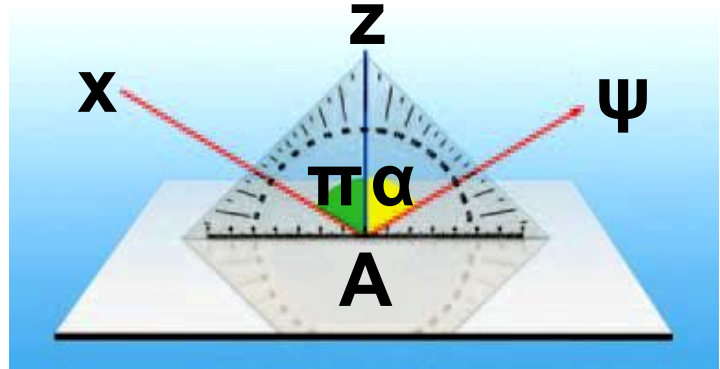
Οι προσπίπτουσες παράλληλες ακτίνες παραμένουν παράλληλες και μετά την ανάκλαση.



***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). 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.



### Εικόνα 7.5

Αχ: η ακτίνα που προσπίπτει, Αψ:

η ακτίνα που ανακλάται, π: η γωνία πρόσπτωσης, α: η γωνία ανάκλασης.

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

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 ( $\hat{\pi}$ ).

Αντίστοιχα η κάθετη και η ανακλώμενη ακτίνα σχηματίζουν μια άλλη γωνία που την ονομάζουμε γωνία ανάκλασης ( $\hat{\alpha}$ ). 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):

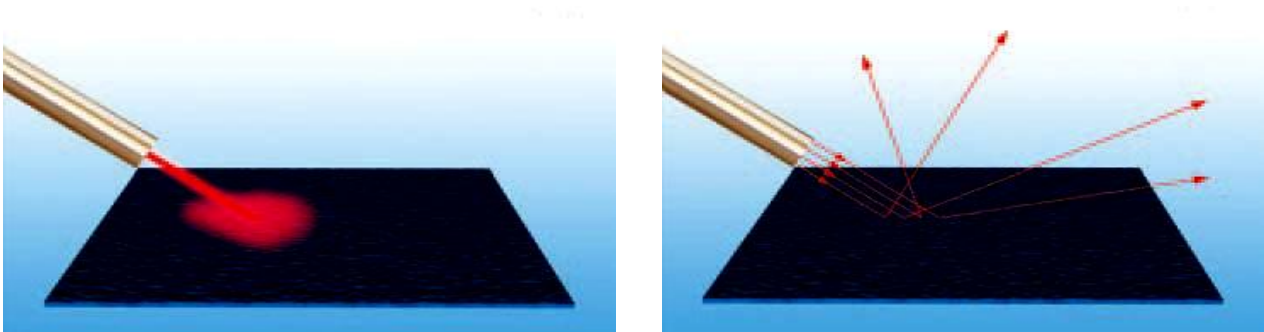
$$(\hat{\pi}) = (\hat{\alpha})$$

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.



### Εικόνα 7.6

(α) Η δέσμη λέιζερ διασκορπίζεται πάνω στην τραχιά επιφάνεια. (β) Οι παράλληλες ακτίνες μετά την ανάκλαση αποκτούν διαφορετικές κατευθύνσεις.

*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.

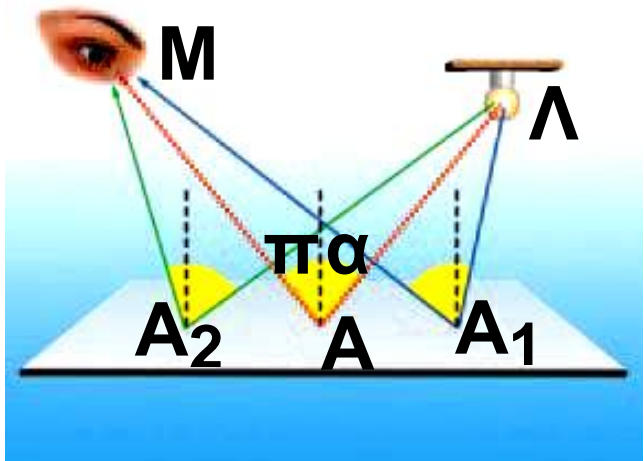
### **Ανάκλαση και αρχή του ελάχιστου χρόνου**

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 εικόνα της επόμενης σελίδας 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 ενδιαμέση. 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;

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

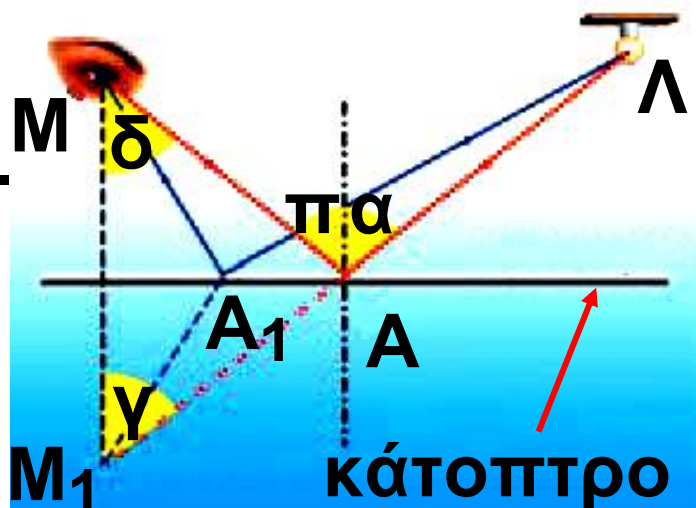


Αρχικά διατυπώνουμε το ερώτημα με ακρίβεια και σαφήνεια χρησιμοποιώντας τη γλώσσα των Μαθηματικών.

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

**Απόδειξη:** Βρίσκω το σημείο  $M_1$  συμμετρικό του  $M$  ως προς το επί-

πεδο. Συνδέω το  $M_1$  με το  $\Lambda$ , η ευ-  
 θεία  $M_1\Lambda$  συναντά το επίπεδο στο  
 $A$ . Το  $A$  είναι το ζητούμενο σημείο.  
 Πράγματι:  $AM = AM_1$  επομένως  
 $\Lambda A + AM = \Lambda A + AM_1$  ή  $\Lambda A + AM = M_1\Lambda$ .  
 Πρέπει να απο-  
 δείξω ότι το  
 $M_1\Lambda$  είναι το ελά-  
 χιστο μήκος.  
 Λαμβάνω ένα  
 τυχαίο σημείο  
 $A_1$  στο επίπεδο.



Θα αποδείξω ότι:  $\Lambda A_1 + A_1 M > M_1 \Lambda$ .  
 $A_1 M = A_1 M_1$  ή  $\Lambda A_1 + A_1 M = \Lambda A_1 + A_1 M_1$ ,  
 όμως παρατηρώντας το σχήμα και  
 γνωρίζοντας ότι μεταξύ δύο ση-  
 μείων ο συντομότερος δρόμος είναι  
 το ευθύγραμμο τμήμα που τα συν-  
 δέει συμπεραίνουμε ότι

$\Lambda A_1 + A_1 M > M_1 \Lambda$ , δηλαδή η διαδρομή  $\Lambda A + AM$  είναι η ελάχιστη δυνατή και επομένως το φως, καθώς διαδίδεται από το  $A$  στο  $M$  μέσω του κατόπτρου, θα διέλθει από το  $A$ . 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.

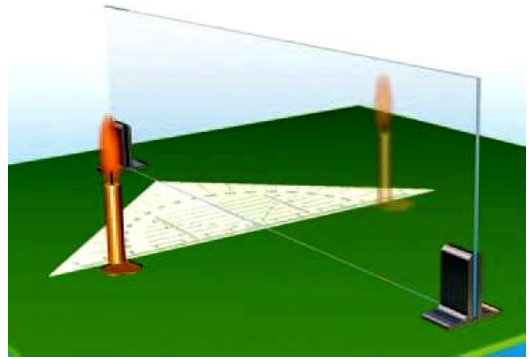
## 7.2 Εικόνες σε καθρέφτες: είδωλα

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

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

### **Εικόνα 7.7**

**Προσδιορισμός της θέσης του ειδώλου σε επίπεδο καθρέφτη.**



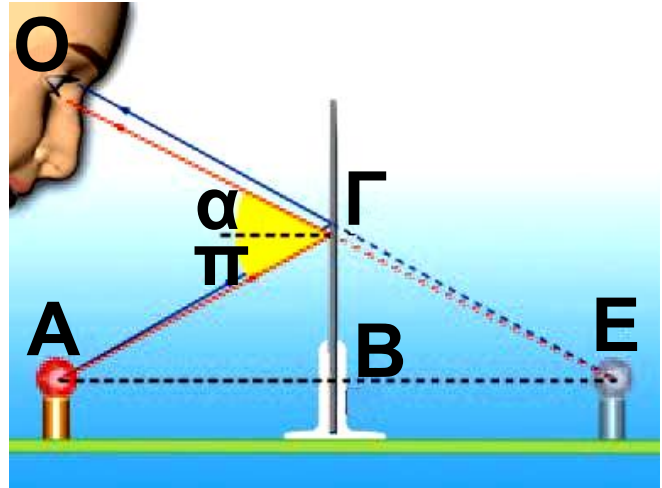
**Με ένα τζάμι σχηματίζουμε το είδωλο ενός κεριού. Σημειώνουμε τη θέση του ειδώλου από την άλλη μεριά του τζαμιού. Με ένα υποδεκάμετρο μετράμε τα μεγέθη κεριού και ειδώλου, καθώς και τις αποστάσεις τους από το τζάμι (εικόνα 7.7). Διαπιστώνουμε ότι το είδωλο έχει το ίδιο μέγεθος με το κεριό. Επίσης η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

## Επίπεδοι καθρέφτες

*Πώς σχηματίζεται το είδωλο ενός αντικειμένου;*

### Εικόνα 7.8

Οι προεκτάσεις των ανακλώμενων φωτεινών ακτίνων που προέρχονται από το Α τέμνονται στο Ε.



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 Ε. 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.

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

Για να προσδιορίσουμε τη θέση του ειδώλου, θα εφαρμόσουμε τους νόμους της κατοπτρικής ανάκλα-

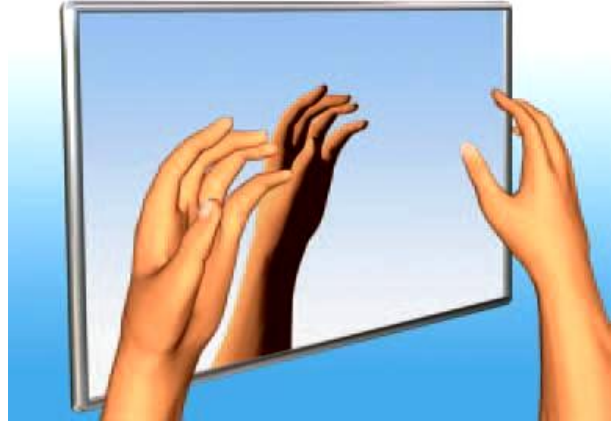
σης. Θεωρούμε δύο ακτίνες που ξεκινούν από το Α. Την ΑΓ που ανακλώμενη ΓΟ (εικόνα 7.8) φθάνει στο μάτι μας και την ΑΒ που είναι κάθετη στον καθρέφτη και ανακλάται στην ίδια διεύθυνση. Σύμφωνα με το νόμο της ανάκλασης η γωνία πρόσπτωσης  $\hat{\pi}$  είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης  $\hat{\alpha}$ . Χρησιμοποιώντας τις γνώσεις μας από τη Γεωμετρία συγκρίνουμε τα τρίγωνα ΑΒΓ και ΕΒΓ (εικόνα 7.8). Συμπεραίνουμε ότι  $ΑΒΓ = ΕΒΓ$  και άρα  $ΑΒ = ΕΒ$ . 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 δεξιό γίνεται αριστερό!

Αν τοποθετήσουμε την παλάμη του δε-



ξιού μας χεριού απέναντι και παράλληλα από ένα επίπεδο καθρέφτη, το είδωλο που προκύπτει είναι το αριστερό μας χέρι.

### Καμπύλοι καθρέφτες

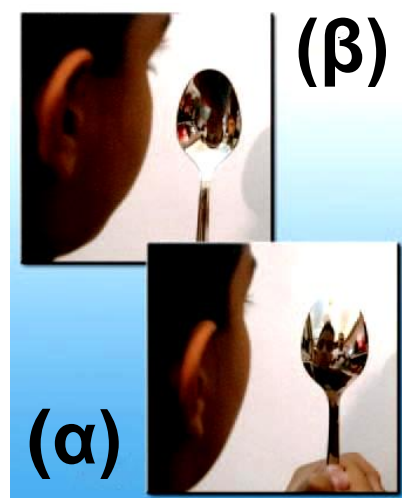
Στην καθημερινή ζωή δεν χρησιμοποιούμε μόνον επίπεδους καθρέφτες αλλά και καμπύλους. Καμπύλοι καθρέφτες υπάρχουν στα αυτοκίνητα, στις διασταυρώσεις των δρόμων κ.α.

Καμπύλος καθρέφτης είναι η εσωτερική και η εξωτερική επιφά-

νεια 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;*

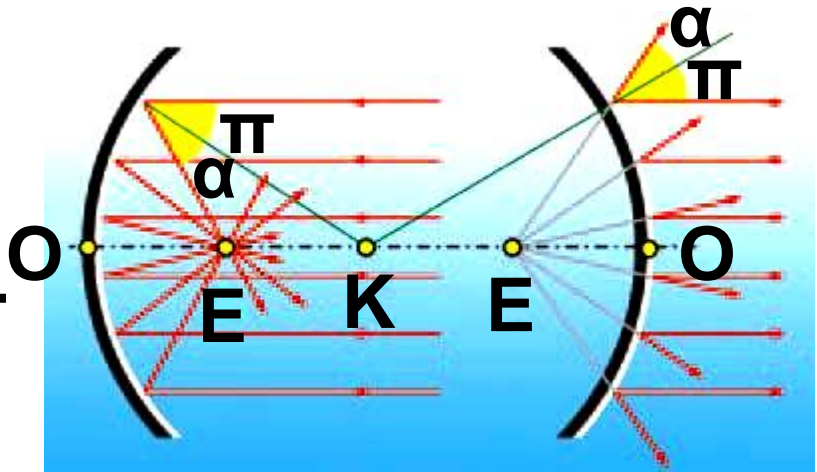
Φωτεινές ακτίνες παράλληλες μεταξύ τους (όπως οι ακτίνες του ηλιακού φωτός), μετά την ανάκλασή τους επάνω σε κοίλο καθρέφτη, συγκλίνουν σε ένα σημείο (εικόνα 7.12). Αν η δάδα τοποθετηθεί σε αυτό το σημείο, τότε ανάβει.

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  $K$ , κύρια εστία  $E$ , οπτικός άξονας  $KE$ , ακτίνα καμπυλότητας, εστιακή απόσταση.



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

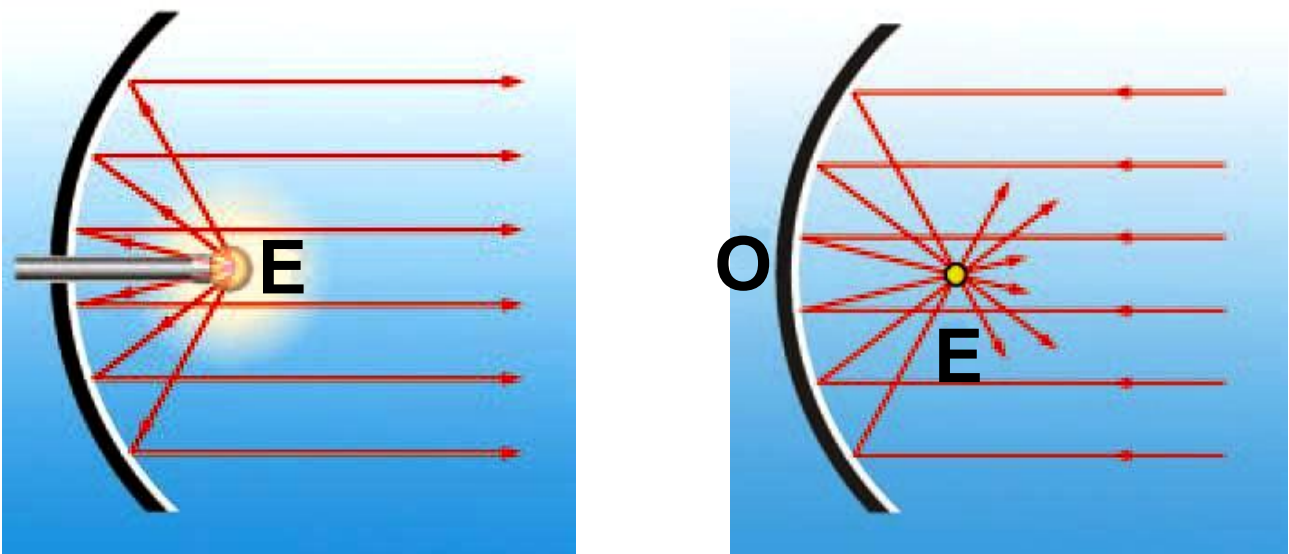
Σε ένα σφαιρικό καθρέφτη το κέντρο  $K$  της σφαίρας ονομάζεται κέντρο του καθρέφτη και η ακτίνα

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  $f$ . Γενικά 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

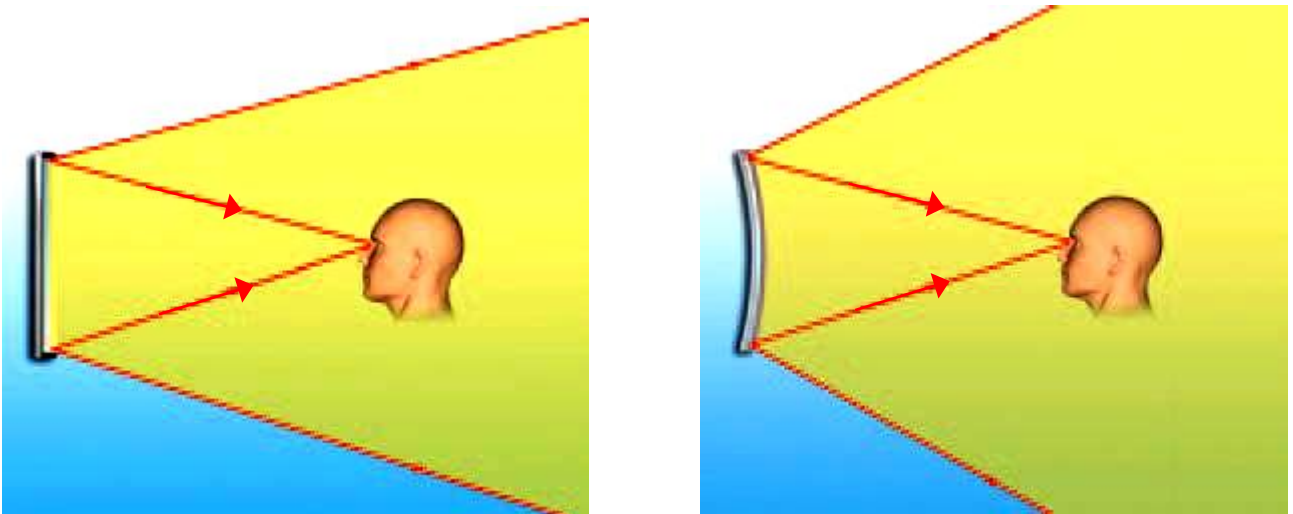
σημείο. Επομένως κάθε φωτεινή ακτίνα που προσπίπτει σε ένα σημείο σφαιρικού καθρέφτη ανακλάται κατοπτρικά (εικόνα 7.12). Με τη βοήθεια της Γεωμετρίας αποδεικνύεται ότι φωτεινές ακτίνες παράλληλες προς τον κύριο άξονα ανακλώνται έτσι ώστε οι ανακλώμενες ακτίνες ή οι προεκτάσεις τους να περνούν από την κύρια εστία του καθρέφτη.



**Εικόνα 7.13 Η αντίστροφη πορεία του φωτός**

Η αντίστροφη πορεία του φωτός σε ένα κοίλο 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 7.14

Οπτικό πεδίο επίπεδου και κυρτού σφαιρικού 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).**

**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 επίπεδου. 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.

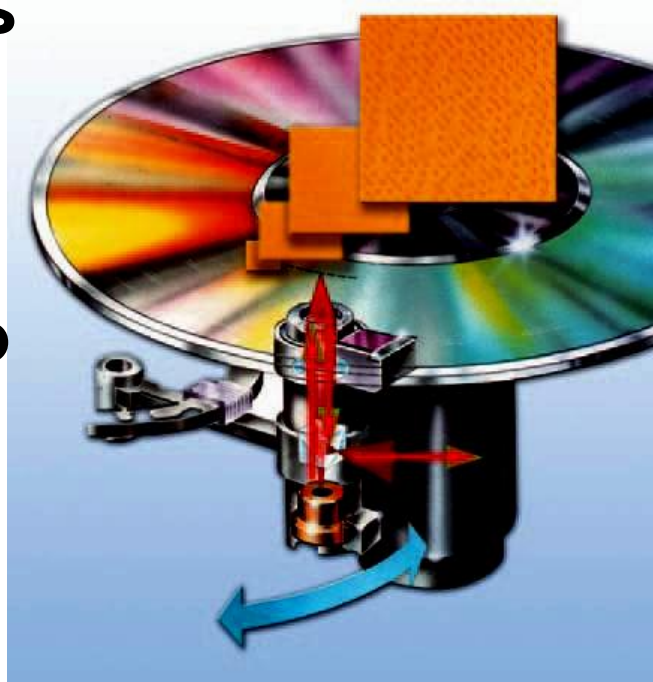


### **Εγγραφή και ανάγνωση ενός οπτικού δίσκου (CD)**

Η κατασκευή των οπτικών δίσκων (σύμπυκνων δίσκων, compact disc, CD) προκάλεσε επανάσταση στο

χώρο της εγγραφής και της αναπαγωγής 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 υπόστρωμα, το στρώμα ανάκλασης και το προστατευτικό φύλλο.

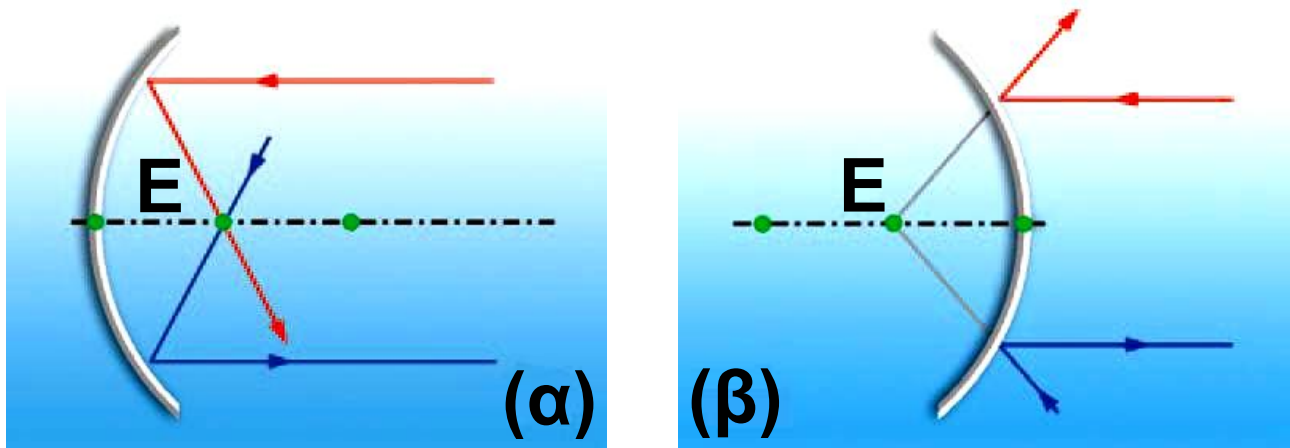


Στο πλαστικό υπόστρωμα υπάρχουν σχεδόν πέντε δισεκατομμύρια μικροσκοπικές κοιλότητες και προεξοχές. Οι προεξοχές καλύπτονται από το στρώμα ανάκλασης. Γνωρίζεις ότι η πληροφορία σε μια

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 Προσδιορισμός ειδώλου σε κοίλους και κυρτούς καθρέφτες



**Εικόνα 7.16**

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

*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 καθρέ-

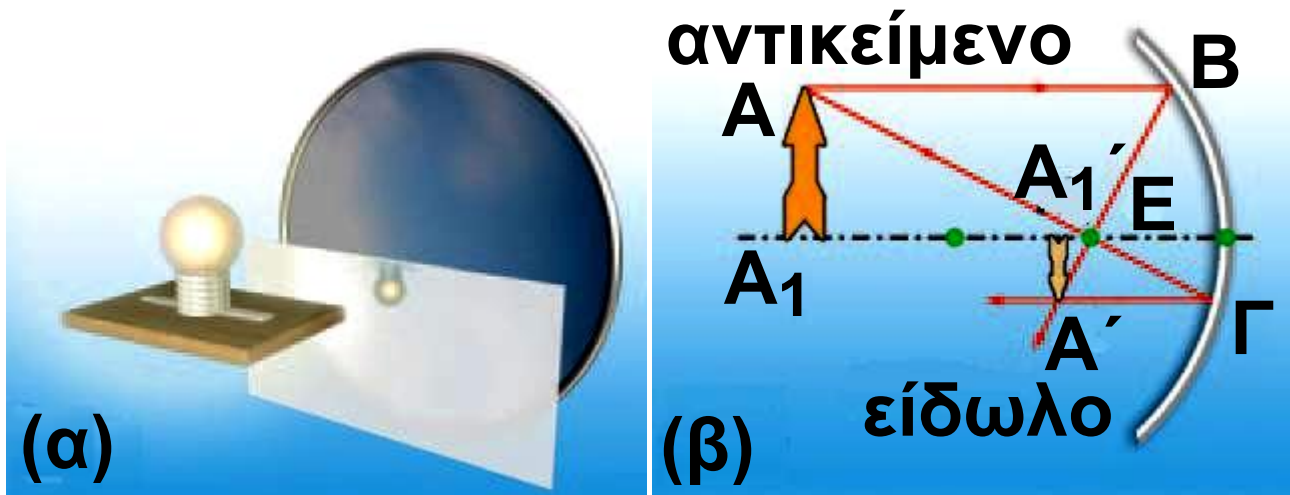
**φτη, εφαρμόζοντας τρεις απλούς κανόνες:**

**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).**

**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.**



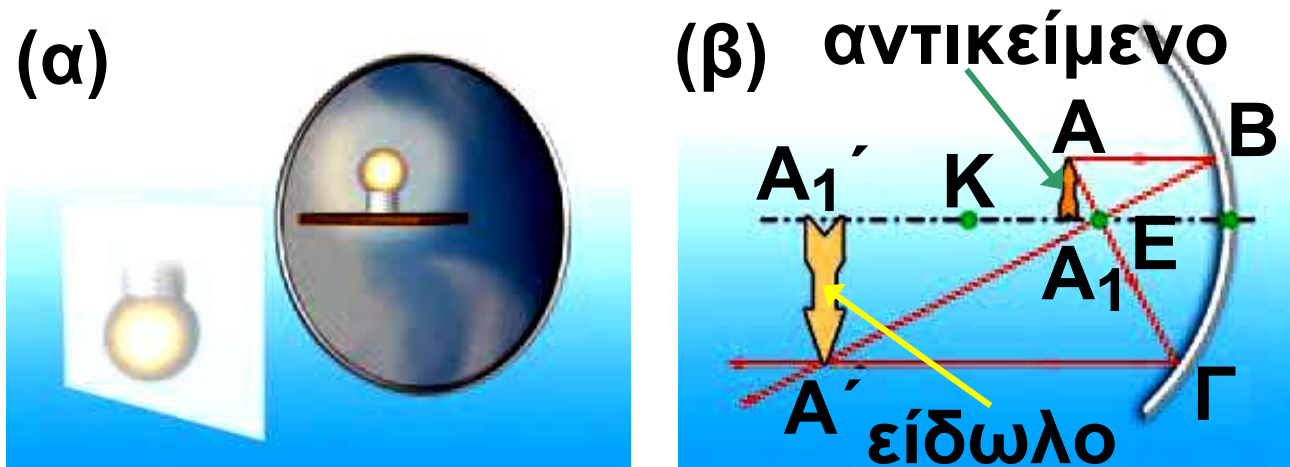
**Εικόνα 7.17**

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

### **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 σχηματί-

ζεται ευκρινώς το είδωλο του κε-  
ριού. Ένα τέτοιο είδωλο ονομάζεται  
πραγματικό και μπορεί να σχηματι-  
στεί (προβληθεί) και σε μια οθόνη  
προβολής ή στο φιλμ μιας φωτο-  
γραφικής μηχανής (εικόνα 7.17α).  
Το πραγματικό είδωλο σχηματίζεται  
από τις ίδιες τις ακτίνες και όχι από  
τις προεκτάσεις τους (εικόνα 7.17β).



**Εικόνα 7.18**

(α) Είδωλο σε κοίλο καθρέφτη  
αντικειμένου που βρίσκεται μεταξύ  
κέντρου καμπυλότητας και εστίας.  
(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  $AG$  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 είδωλο 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, αντεστραμμέ-

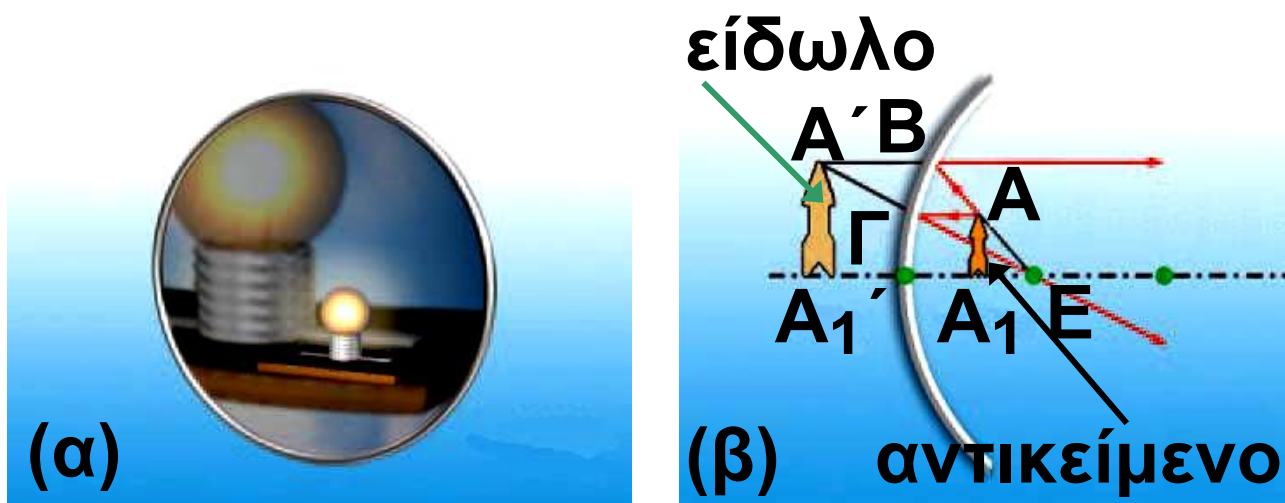
**νο και μικρότερο από το αντικείμενο (εικόνα 7.17β).**

**Πλησιάζοντας το αντικείμενο στον καθρέφτη το είδωλο μεγαλώνει και απομακρύνεται από αυτόν. Όταν το αντικείμενο βρεθεί μεταξύ της κύριας εστίας και του κέντρου, το είδωλο σχηματίζεται πίσω από το αντικείμενο, είναι πραγματικό και μεγαλύτερο από αυτό (εικόνα 7.18).**

**Πλησιάζοντας ακόμη περισσότερο το αντικείμενο προς τον καθρέφτη παρατηρούμε ότι σε μια ορισμένη θέση είναι αδύνατο να προβάλουμε 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 είδωλο 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).

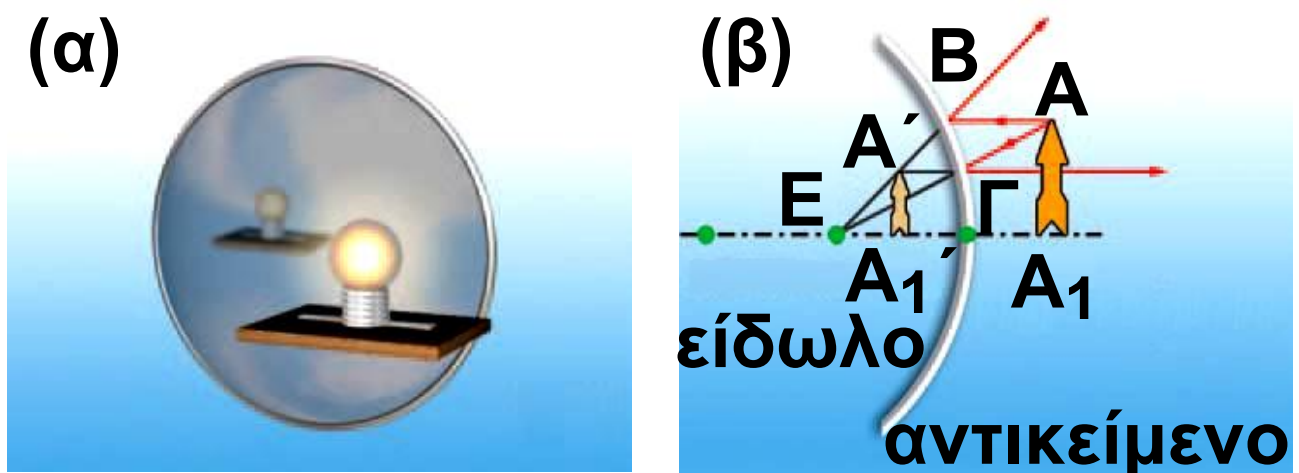


**Εικόνα 7.19**

(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.

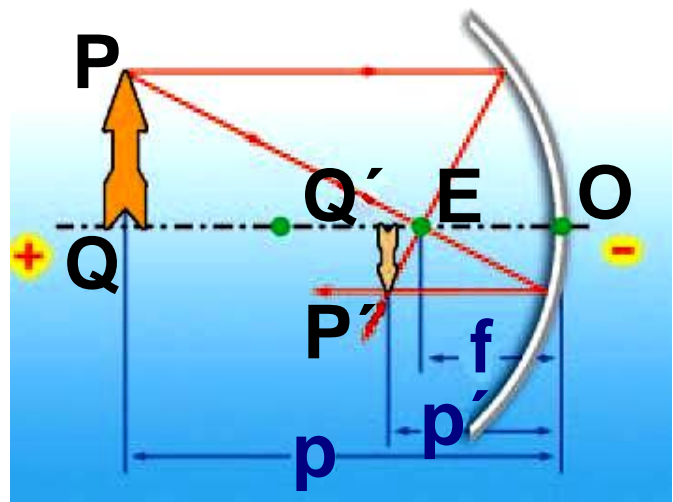
(β) Γραφικός προσδιορισμός του ειδώλου σε κυρτό καθρέφτη.

## **Εξίσωση των σφαιρικών καθρεφτών**

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

ΣΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ 7.21, 7.22 ΠΑΡΙΣΤΑΝΕΤΑΙ ΤΟ ΕΙΔΩΛΟ  $P'Q'$  ΕΝΟΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ  $PQ$  ΣΕ ΕΝΑΝ ΚΟΪΛΟ Ή ΚΥΡΤΟ ΚΑΘΡΕΨΤΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΣΥΜΒΟΛΙΖΟΥΜΕ ΜΕ  $p$  ΚΑΙ  $p'$  ΤΙΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ  $PQ$  ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΙΔΩΛΟΥ  $P'Q'$  ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ  $O$  ΤΟΥ ΚΑΤΟΠΤΡΟΥ ΚΑΙ ΜΕ  $f$  ΤΗΝ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ.

**Εικόνα 7.21**  
Προσδιορισμός  
ειδώλου σε κοίλο  
καθρέψτη.



### **Σύμβαση πρόσημων**

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 απο-

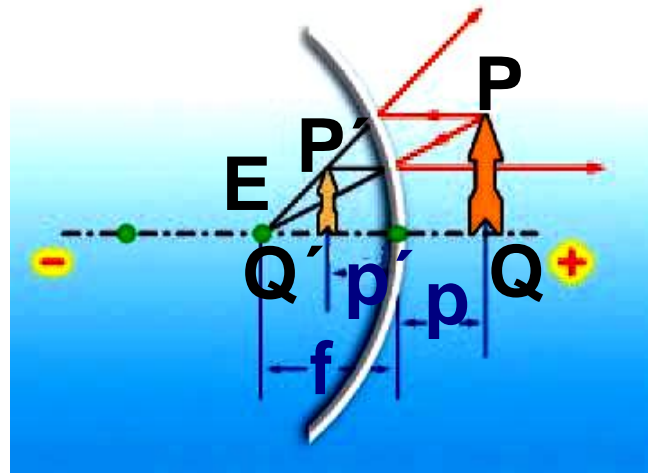
στάσεων από την κορυφή του καθρέφτη του ειδώλου (εικόνες 7.21, 7.22). Συμφωνούμε ότι τα πρόσημα των αποστάσεων από το  $O$  όλων των σημείων που βρίσκονται μπροστά από τον καθρέφτη να είναι θετικά, ενώ αυτά των σημείων που βρίσκονται πίσω από τον καθρέφτη να είναι αρνητικά. Στον πίνακα 7.1 φαίνονται 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.

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.

**Εικόνα 7.22**  
 Προσδιορισμός  
 ειδώλου σε κυρτό  
 καθρέφτη.



### 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

## **Μεγέθυνση**

Θεωρήστε ένα γραμμικό αντικείμενο, για παράδειγμα ένα κερι που σχηματίζει σε καθρέφτη ένα γραμμικό είδωλο. Μεγέθυνση  $m$  ονομάζεται το πηλίκο του μήκους του ειδώλου ( $P'Q'$ ) προς το μήκος του αντικειμένου ( $PQ$ ):  $m = \frac{(PQ)}{(P'Q')}$ . Η μεγέθυνση συνδέεται με τις αποστάσεις αντικειμένου και ειδώλου με τη σχέση:

$$m = \frac{(P'Q')}{(PQ)} = - \frac{p'}{p} \quad (7.2)$$

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.

## Δραστηριότητα

### Καθρέφτες και είδωλα

► Κράτησε ένα κοίλο καθρέφτη με τεντωμένο το χέρι και κοίταξε το είδωλο σου.

- ▶ Ποια είναι η θέση του ειδώλου; Μπροστά ή πίσω από τον καθρέφτη;
- ▶ Μετακίνησε αργά τον καθρέφτη προς το πρόσωπο 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 20 cm. 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

$$AA_1 \text{ (μήκος αντικειμένου)} = \\ = + 2 \text{ cm}$$

$$p \text{ (απόσταση αντικειμένου)} = \\ = + 30 \text{ cm}$$

$$R \text{ (ακτίνα καμπυλότητας)} = \\ = + 20 \text{ cm}$$

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

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

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

**Βήμα 2:** Μεταφράζω το αποτέλεσμα στη γλώσσα της Φυσικής

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

**β) Βήμα 1:** Εφαρμόζω τη βασική εξίσωση και προσδιορίζω τη φύση

του ειδώλου και το μήκος του

$$m = \frac{p'}{p} \quad \text{ή} \quad m = \frac{+15 \text{ cm}}{+30 \text{ cm}} \quad \text{ή} \quad m = -\frac{1}{2}.$$

$$m = \frac{(A'A_1')}{AA_1} \quad \text{ή} \quad \frac{1}{2} = \frac{A'A_1'}{+2 \text{ cm}} \quad \text{ή}$$

$$A'A_1' = -1$$

**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.

## Ερωτήσεις

## ερωτήσεις

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

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

**ΠΤΟΥΝ να είναι επιστημονικά ορθές:**

**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 σχημα-**

τίζεται 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

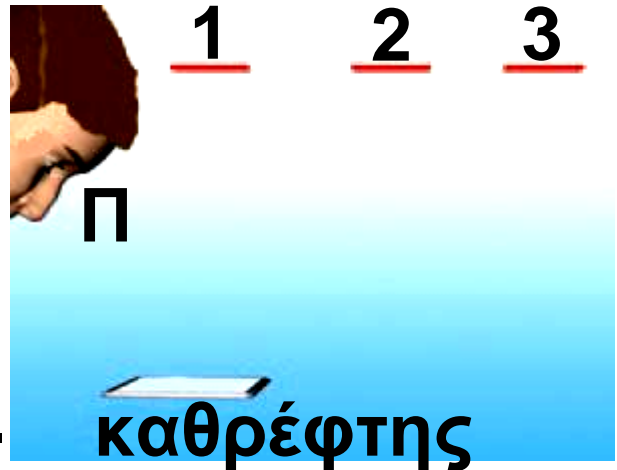
ακτίνες παράλληλες μεταξύ τους, μετά την ανάκλασή τους επάνω σε κυρτό καθρέφτη, ..... Οι προεκτάσεις τους ..... σε ένα σημείο πίσω από τον καθρέφτη. Το σημείο στο οποίο συγκλίνουν οι ανακλώμενες ακτίνες ή οι προεκτάσεις τους το ονομάζουμε ..... του κοίλου ή του κυρτού καθρέφτη αντίστοιχα. Την απόσταση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

► Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις για τις 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 στη 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 είδωλο 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  $45^\circ$  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 αντικειμένου. 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 ένα 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 τραχιά 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 εξαρτάται από τη σχετική θέση του αντικειμένου από την κύρια εστία του.

□ 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 στο 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 σε θα συμβεί κατακλυσμός. 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 Νεύτωνας ενώ ήταν ακόμα φοιτητής διερευ-**

**νούσε τη συμπεριφορά 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. Στη 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. Πως προέκυψε το αποτέλεσμα του πειράματος του Νεύτωνα; Πως σχηματίζεται το ουράνιο τόξο;**

**Στο κεφάλαιο αυτό:**

- Θα μελετήσεις την πορεία του φωτός όταν διέρχεται από ένα υλικό σε άλλο.**
- Θα μελετήσεις το φαινόμενο της διάθλασης και θα μάθεις να διατυ-**



**πώνεις τους νόμους της διάθλασης του φωτός.**

- **Θα μελετήσεις πως μια σύνθετη δέσμη λευκού φωτός αναλύεται σε απλές ακτινοβολίες, πως σχηματίζεται του ουράνιο τόξο, καθώς και πως 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 όταν φως διαδίδεται από τον αέρα στο νερό και σε κάθε διαφανές σώμα.

Γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα του φωτός στο νερό, στο γυαλί κ.α. είναι μικρότερη από την ταχύτητά

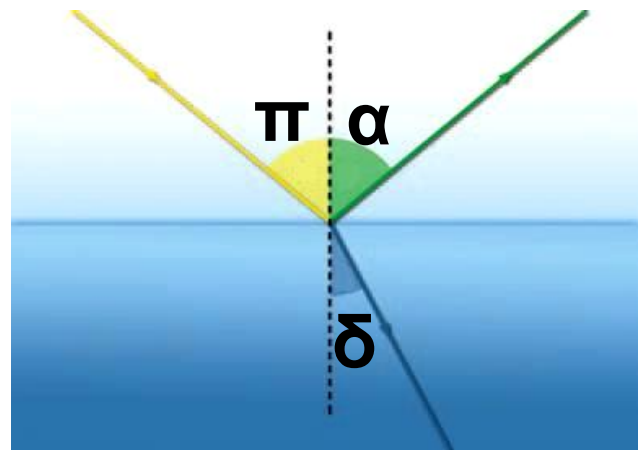
του στον αέρα. Λέμε ότι αυτά τα υλικά (γυαλί, νερό) είναι οπτικά πυκνότερα από τον αέρα. Όταν το φως περνά από ένα διαφανές υλικό σε ένα άλλο διαφανές υλικό, στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, η διεύθυνση διάδοσής του αλλάζει. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διάθλαση. Στο 5ο κεφάλαιο είδαμε ότι 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 πρόσπτωση-

σης (εικόνα 8.2). Μπορούμε να επαληθεύσουμε πειραματικά ότι κατά τη διάθλαση του φωτός ικανοποιούνται οι ακόλουθοι νόμοι:

### Εικόνα 8.2

(α) Η προσπίπτουσα δέσμη παριστάνεται με την κίτρινη ακτίνα. (β) Η



ανακλώμενη με την πράσινη. (γ) Η διαθλώμενη με την μπλε.

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).

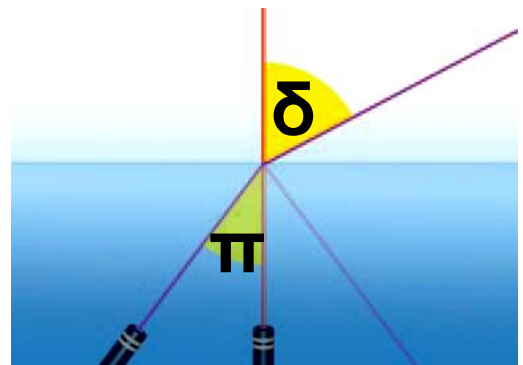
β. Όταν το φως περνά από ένα διαφανές σώμα σε άλλο οπτικά πυκνότερο (όπως όταν περνά από τον

αέρα στο γυαλί), τότε η γωνία διάθλασης ( $\hat{\delta}$ ) είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης ( $\hat{\pi}$ ) (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).**

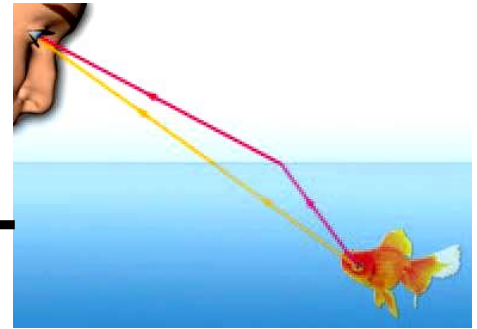
## **Διάθλαση και αρχή του ελάχιστου χρόνου**

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.

### Εικόνα 8.4

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



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 ευθύγραμμη. Ακολουθεί τεθλασμένη πορεία διανύοντας μεγαλύτερη διαδρομή στο υλικό όπου η ταχύτητά του είναι μεγαλύτερη, ώστε να φθά

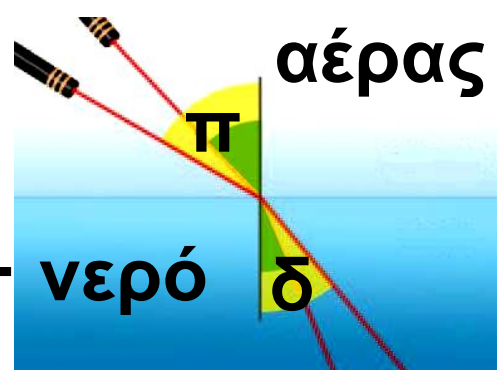
σει στον προορισμό του στον ελάχιστο χρόνο (εικόνα 8.4). Το φως επομένως διαθλάται.

## **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 και 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 ημίτιο της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτιο 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:

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

## **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.

Το 1678 ο Κρίστιαν Χόουχενς (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.

Είδαμε ότι το φως μέσα σε οποιοδήποτε υλικό διαδίδεται με μικρότερη ταχύτητα απ' ό,τι στο κενό ή τον αέρα. 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		
βιοχημική 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:

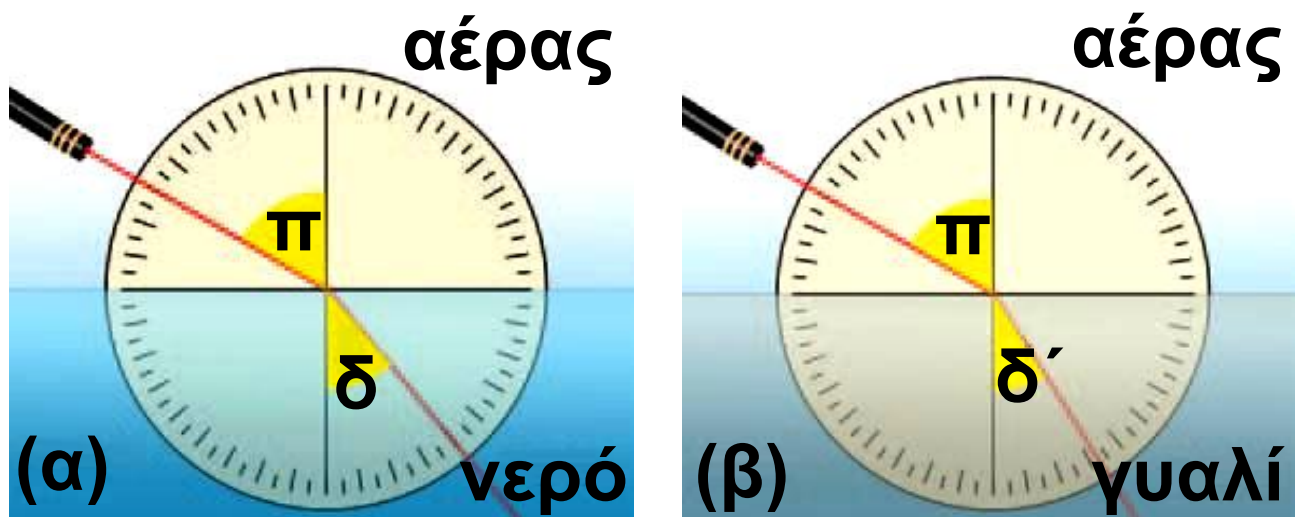
$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \frac{n_1}{n_2}$$

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

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

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 φωτεινή 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  $\delta$  που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια του νερού.

### Δεδομένα

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

### Ζητούμενα

Γωνία διάθλασης:  $\hat{\delta}$

### Βασική εξίσωση

Νόμος του Σνελ:  $\frac{n\mu(\hat{\pi})}{n\mu(\hat{\delta})} = n$

Να χρησιμοποιήσεις τα δεδομένα από το διάγραμμα 8.1.

### Λύση

Εφαρμόζουμε τη βασική εξίσωση:

$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = n \quad \text{ή} \quad \frac{\eta\mu 60^\circ}{\eta\mu(\hat{\delta})} = 1,33 \quad \text{ή}$$

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

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

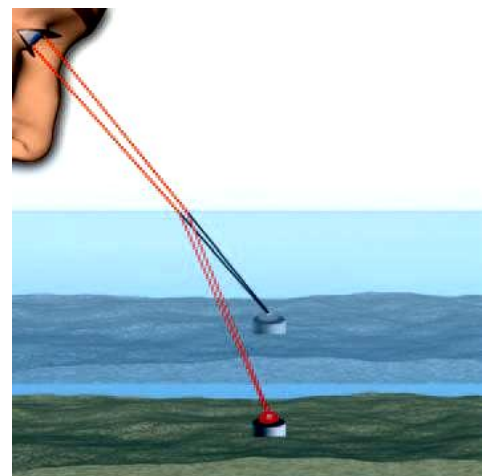
### Φαινόμενη ανύψωση

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)

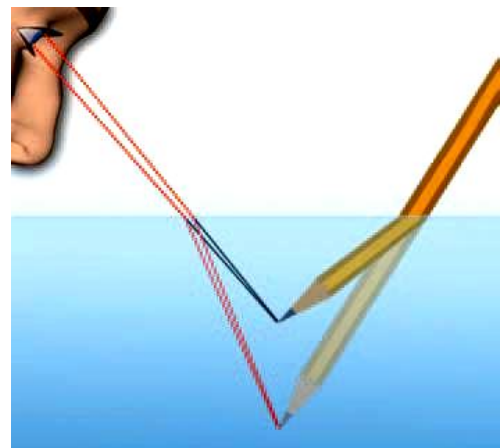
### Εικόνα 8.8

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



### 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 μεγαλύτερη 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).**

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).

### **Δραστηριότητα**

**Το αόρατο γίνεται ορατό**

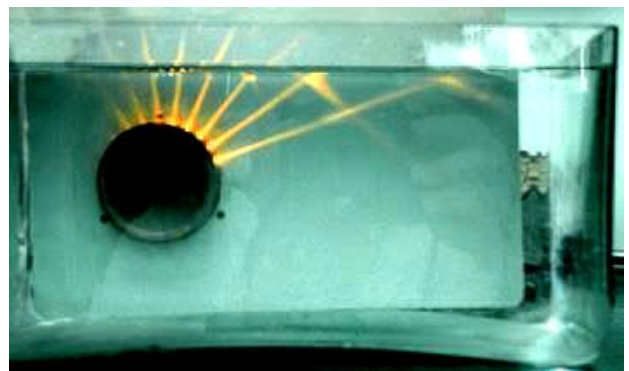
- ▶ Τοποθέτησε ένα νόμισμα στον πυθμένα ενός κενού δοχείου και σε τέτοια θέση ώστε κοιτάζοντας πλάγια πάνω από τα χείλη του δοχείου μόλις να μη φαίνεται.
- ▶ Γέμισε το δοχείο με νερό χωρίς να το μετακινήσεις.
- ▶ Παρατήρησε ότι το νόμισμα γίνεται ορατό.

*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.

*Πώς ερμηνεύουμε το φαινόμενο αυτό;*



### Εικόνα 8.10

Ορισμένες ακτίνες παγιδεύονται στο νερό.

Στην εικόνα 8.11 παριστάνονται τρεις φωτεινές ακτίνες που διαδίδονται από το γυαλί στον αέρα. Η ακτίνα  $\gamma$  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  $\beta$ ). Αυτή η γωνία ονομάζεται ορική γωνία διάθλασης ( $\hat{\pi}_c$ ). Όταν λοιπόν  $\hat{\pi} = \hat{\pi}_c$ , τότε η γωνία διάθλασης γίνεται  $90^\circ$  ( $\delta = 90^\circ$ ). Με βάση τη σχέση 8.3 προκύπτει:

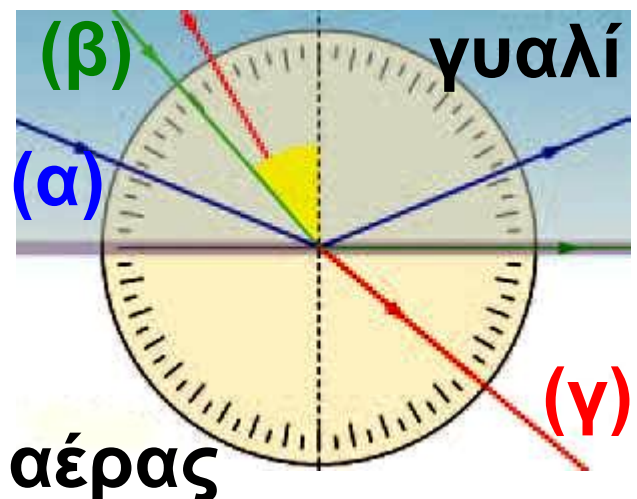
$$\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \frac{1}{n} \quad \text{ή} \quad \frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu 90^\circ} = \frac{1}{n} \quad \text{ή}$$

$$\eta_{\hat{\pi}_c} = \frac{1}{n} \quad (8.4)$$

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.



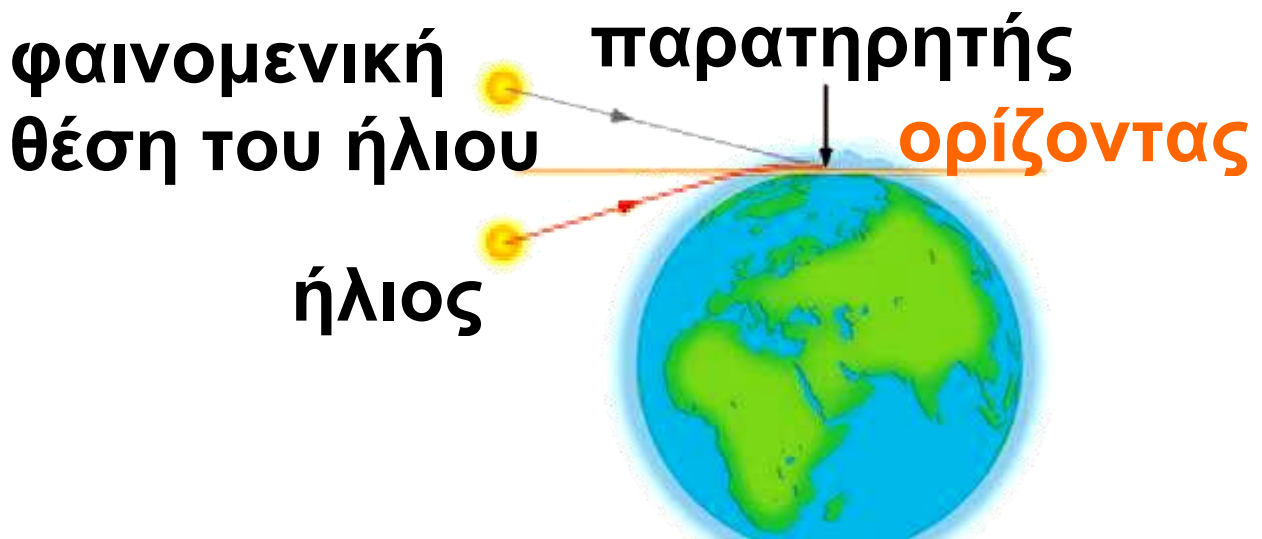
Ισχύει  $\eta_{\hat{\pi}_c} = \frac{1}{n}$ . Η σχέση αυτή

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**.

*Πώς δημιουργείται η ψευδαίσθηση του αντικατοπτρισμού;*



## Ατμοσφαιρική διάθλαση

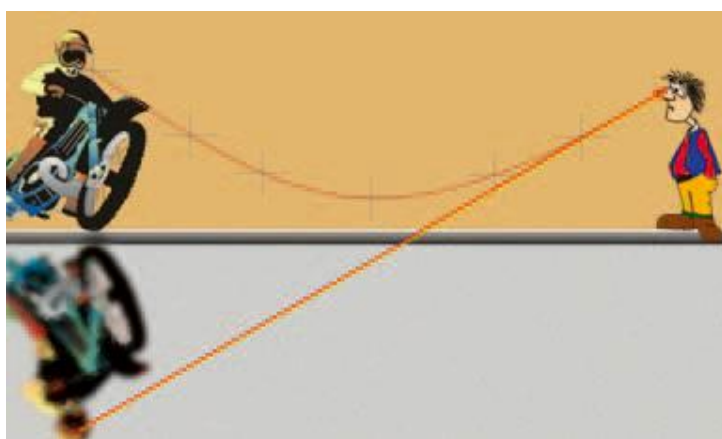
Αν γνωρίζεις ότι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στην ατμόσφαιρα είναι ελαφρώς μικρότερη απ' ό,τι στο διάστημα, μπορείς να εξηγήσεις γιατί βλέπουμε τον ήλιο λίγο πριν ανατείλει και αφού έχει δύσει;

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.

### Εικόνα 8.12

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



### 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.

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).

## **Διάθλαση σε πρίσμα**

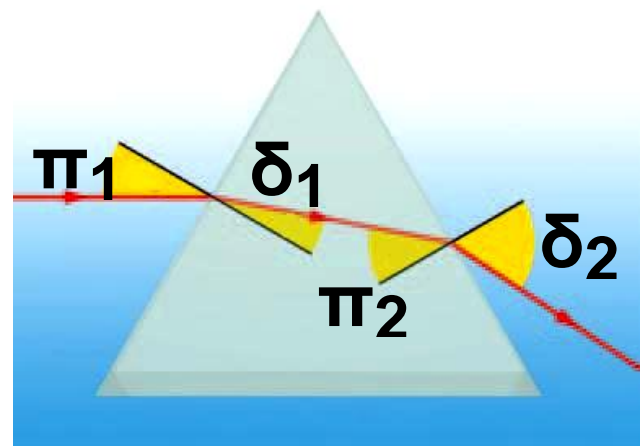
*Ποια είναι η πορεία μιας φωτεινής ακτίνας καθώς αυτή διέρχεται μέσα από ένα πρίσμα;*

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

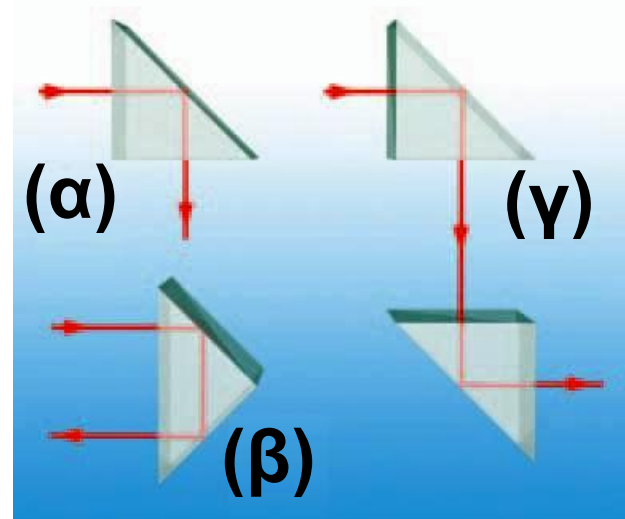


### Πρίσματα ολικής ανάκλασης

Λαμβάνοντας την τιμή του δείκτη διάθλασης για το γυαλί από το διάγραμμα 8.1 ( $n = 1,52$ ) και αντικαθιστώντας στη σχέση (8.4) προκύπτει

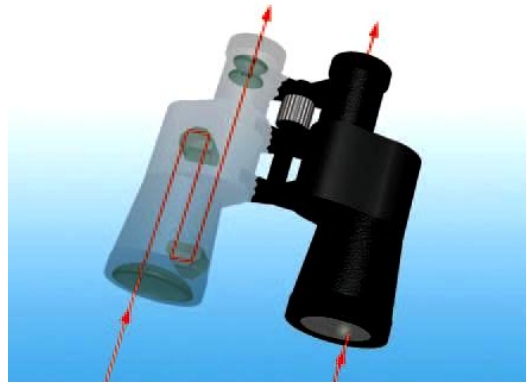
ότι η ορική γωνία για το γυαλί είναι  $\mu_c = 41^\circ$ , ενώ αντίστοιχα για το νερό  $\mu_c = 49^\circ$ . Το γεγονός ότι η ορική (κρίσιμη) γωνία για το γυαλί είναι μικρότερη από  $45^\circ$  μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε ένα πρίσμα σχήματος ισοσκελούς ορθογωνίου τριγώνου για να πετύχουμε: α) την εκτροπή μιας δέσμης φωτός κατά  $90^\circ$ , β) την αντιστροφή 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) περιέ-



χουν δύο πρίσματα κατάλληλα τοποθετημένα, όπως στην περίπτωση (γ) της εικόνας 8.15 τα οποία προκαλούν μετατόπιση της φωτεινής δεσμής από το αντικείμενο στο μάτι. Με αυτό 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.

*Πώς από το λευκό φως εμφανίζονται όλα τα χρώματα;*

### **Εικόνα 8.17**

Τα χρώματα σε έναν σύμπυκνο δίσκο.



### **Διάθλαση μονοχρωματικής δέσμης φωτός σε πρίσμα**

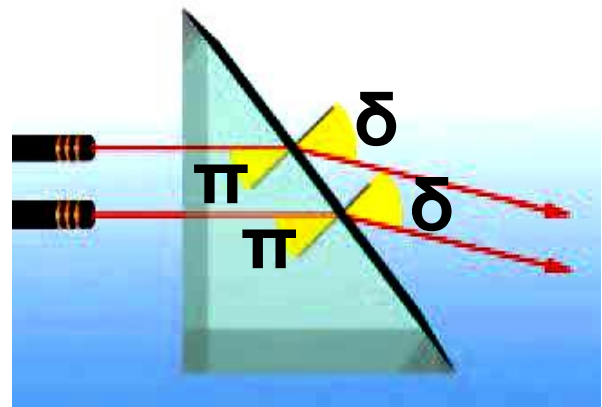
Στην εικόνα 8.18 παριστάνεται η πορεία μιας λεπτής μονοχρωματικής δέσμης φωτός που προσπίπτει κάθετα στη μια πλευρά ενός ορθογώνιου τριγωνικού πρίσματος. Μονοχρωματική ονομάζεται μια δέσμη φωτός όταν αποτελείται από φωτόνια μιας μόνο ενέργειας ή από φωτεινές ακτίνες ενός χρώματος. Στην εικόνα σχεδιάζονται δύο παράλλη-

λες φωτεινές ακτίνες που αντιστοιχούν στο ίδιο χρώμα. Παρατήρησε ότι παραμένουν παράλληλες και μετά τη διέλευσή τους από το πρίσμα.

*Πώς ερμηνεύουμε αυτό το γεγονός;*

### Εικόνα 8.18

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



Οι δύο ακτίνες έχουν την ίδια γωνία πρόσπτωσης. Επειδή 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 διάθλα-

σης. Επομένως σύμφωνα με το νόμο της διάθλασης και η γωνία διάθλασης θα είναι ίδια.

### **Εικόνα 8.19**

Ο Ισαάκ Νεύτων ενώ πειραματίζεται στο εργαστήριο του με το λευκό φως.



### **Ανάλυση του λευκού φωτός**

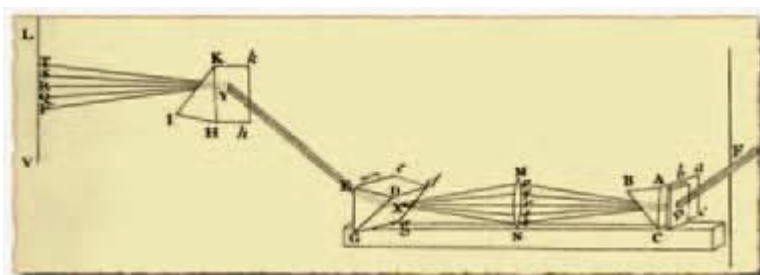
*Τι θα συμβεί αν στο πρίσμα προσπέσει φως που δεν είναι μονοχρωματικό, όπως για παράδειγμα το ηλιακό φως;*

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 Κάιμπριτζ. Αρχικά δημιούργησε λεπτές φωτεινές δέσμες ηλιακού φωτός, σκοτεινιάζοντας το εργαστήριο 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). Παρατήρησε το σχηματισμό μιας έγχρωμης ταινίας: του χρωματικού φάσματος. Στη συνέχεια ο Νεύτωναs κατηύθυνε 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 Νεύτωναs 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). 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 8.21

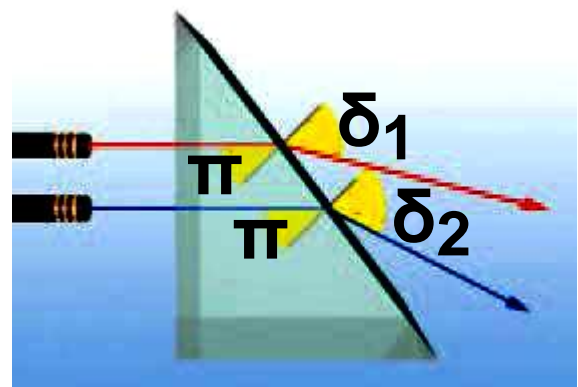
Στο γυαλί μια φωτεινή ακτίνα που αντιστοιχεί



στο κόκκινο χρώμα διαδίδεται 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.

### Εικόνα 8.22

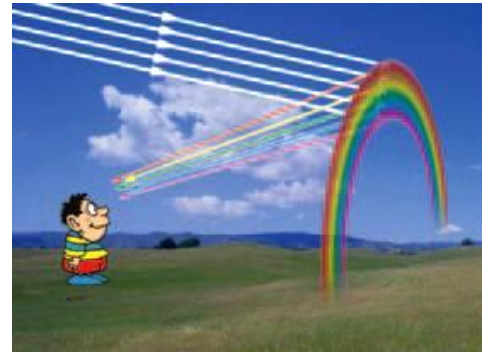
Η κόκκινη φωτεινή δέσμη διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα



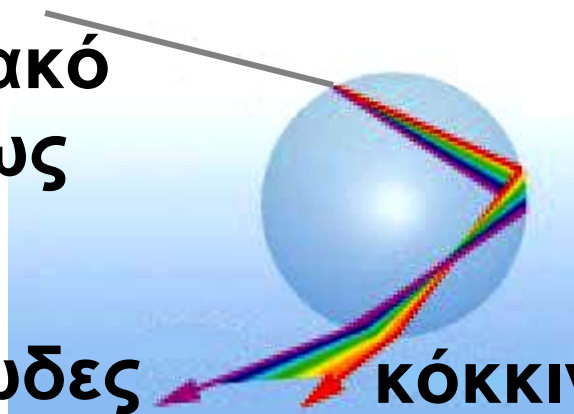
στο γυαλί απ' ό,τι η μπλε. Ο δείκτης διάθλασης της κόκκινης είναι μικρότερος από της μπλε. Από το

νόμο της διάθλασης για την ίδια γωνία πρόσπτωσης η κόκκινη θα εκτρέπεται λιγότερο από την μπλε.

**Εικόνα 8.23**  
Το ουράνιο τόξο.



ηλιακό  
φως



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

## **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). 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 διαφο-

ρετικά χρώματα προέρχονται από διαφορετικές σταγόνες. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται η εικόνα του ουράνιου τόξου.

## 8.4 Το χρώμα

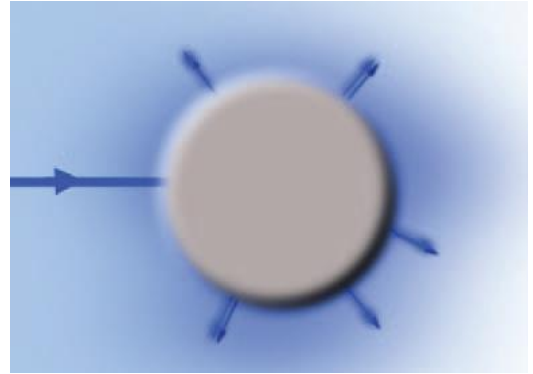
### **Το χρώμα του ουρανού**

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 ουράνός 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;*

### **Εικόνα 8.25**

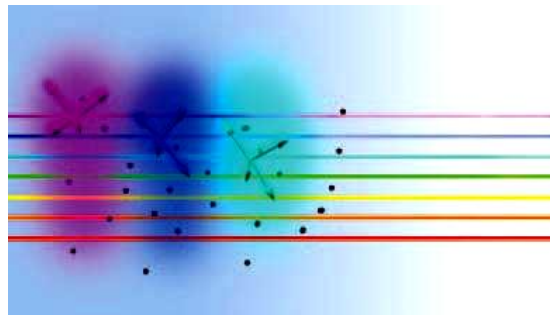
Τα μόρια του οξυγόνου και του αζώτου καθώς και οι κόκκοι



σκόνης απορροφούν τις φωτεινές ακτίνες και τις επανεκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις.

### **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.

Σωματίδια όπως τα άτομα, τα μόρια ή κόκκοι σκόνης απορρο-

φούν 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. 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 διασκορπίζεται 10 φορές περισσότερο από την κόκκινη. Το φως γαλάζιου χρώματος σκεδάζεται λιγότερο από εκείνο του ιώδους όμως τα μάτια μας είναι περισσότερο



ηλιοβασίλεμα  
μεγάλη διαδρομή  
στην ατμόσφαιρα  
μεσημέρι  
μικρή διαδρομή  
στην ατμόσφαιρα

### **Εικόνα 8.27**

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

ρο 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.

### **Εικόνα 8.28**

Ο κόσμος που μας περιβάλλει είναι έγχρωμος.



*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 δια-

νύει μεγάλη απόσταση στην ατμόσφαιρα όταν φθάσει στον παρατηρητή θα περιέχει κυρίως ακτίνες που αντιστοιχούν στο πορτοκαλί και το κόκκινο χρώμα (εικόνα 8.26). 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).

## **Το χρώμα των σωμάτων**

Ο κόσμος που μας περιβάλλει εμφανίζει ποικιλία χρωμάτων. Τα τριαντάφυλλα είναι κόκκινα, ο ουρανός γαλάζιος, τα φύλλα των φυ-

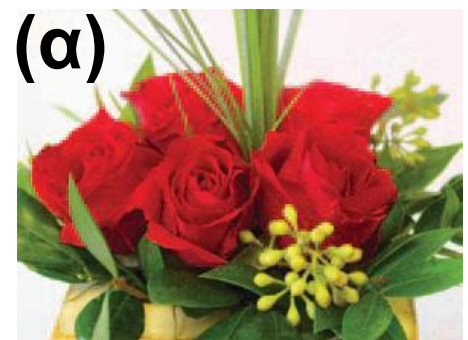
τών πράσινα (εικόνα 8.28). Τα χρώματα βρίσκονται πάντα στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος τόσο των καλλιτεχνών όσο και των φυσικών. Για το φυσικό όμως τα χρώματα των σωμάτων δεν προέρχονται από το υλικό από το οποίο αποτελούνται. Η αίσθηση του χρώματος προκαλείται στο σύστημα ματιού-εγκεφάλου του παρατηρητή από το φως που ανακλάται ή εκπέμπεται από τα σώματα.

## **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 ετερόφωτου σώματος εξαρτάται 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;*

## **Εικόνα 8.30** **Χρώμα αδιαφανούς** **σώματος**



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

**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**

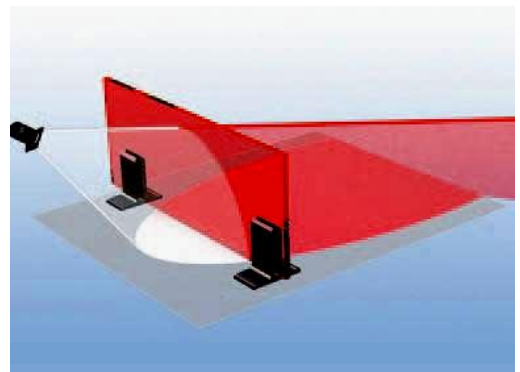
περιέχουν χλωροφύλλη απορροφούν φωτεινές ακτίνες όλων των χρωμάτων και ανακλούν μόνο αυτές που αντιστοιχούν στο πράσινο χρώμα και γι' αυτό φαίνονται πράσινα (εικόνα 8.28).

## **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.

### **Εικόνα 8.31** **Χρώμα διαφανούς σώματος**



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

### **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.**

**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.**

## **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 αυτοκινητοδρόμους βάφονται κίτρινες ώστε να διακρίνονται καλύτερα. Για τον ίδιο λόγο βλέπουμε καλύτερα με το κίτρινο φως που εκπέμπουν λαμπτήρες ατμών νατρίου.**

► 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 στη διαχωριστική επιφάνεια. Η προσπίπτουσα φωτεινή**

ακτίνα, η και της 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 ( $\hat{\delta}$ ) 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:

$$n_{\mu\beta\omicron} = \frac{1}{\dots}$$

γωνία η προσπίπτουσα δέσμη υφίσταται μόνον 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 τετράδιο σου την πορεία των φωτεινών ακτίνων.



**7.** Μια μονοχρωματική φωτεινή δέσμη διαδίδεται από το νερό στο

γυαλί. Συμβουλευόσου 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 δέσμων 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.

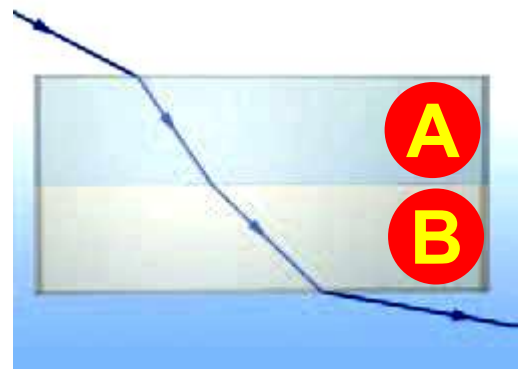
**11.** Ένας Εσκιμώος θέλει να χτυπήσει με το καμάκι του μια φώκια που βρίσκεται βυθισμένη στο νερό. Θα πρέπει να στοχεύσει πιο πάνω, πιο κάτω ή κατευθείαν πάνω της; Θα έκανε το ίδιο αν χρησιμοποιούσε ως όπλο ένα πιστόλι με ισχυρή δέσμη λέιζερ; Μπορείς να αιτιολογήσεις την απάντησή σου σχεδιάζοντας και 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 φωτει-



νής δέσμης, καθώς διέρχεται από το υλικό A στο υλικό B. 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 περιεχόμενο 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 πρόσπτωσης  $60^\circ$ , ενώ η γωνία διάθλασης της δέσμης είναι  $35^\circ$ . Να

σχεδιάσεις την προσπίπτουσα και τη διαθλώμενη 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  $30^\circ$  όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι  $45^\circ$ .

## 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 δυο υλικών και περνά από το σημείο πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

β) Το ημίγινόμενο του ημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης είναι στα-

θερό:  $\frac{\eta\mu(\hat{\pi})}{\eta\mu(\hat{\delta})} = \text{σταθερό (νόμος του}$

Σνελ για τη διάθλαση)

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

▶ Όταν φωτεινή ακτίνα προσπίπτει την επιφάνεια επαφής δυο 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, επο

μένως 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 την διέλευση.

## **ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ**

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

# Περιεχόμενα 5ου τόμου

## ΕΝΟΤΗΤΑ 3 ΟΠΤΙΚΗ

### Κεφάλαιο 6. Φύση και διάδοση του φωτός

6.2. Διάδοση του φωτός ..... 7

### Κεφάλαιο 7. Ανάκλαση του φωτός

ΤΟ ΦΩΣ ΕΠΙΣΤΡΕΦΕΙ..... 47

7.1. Ανάκλαση του φωτός ..... 49

7.2. Εικόνες σε καθρέφτες:

είδωλα ..... 60

7.3. Προσδιορισμός ειδώλου σε κοίλους και κυρτούς καθρέφτες ..... 76

## **Κεφάλαιο 8. Διάθλαση του φωτός**

**8.1. Διάθλαση του φωτός ..... 105**

**8.2. Εφαρμογές της διάθλασης του  
φωτός ..... 105**

**8.3. Ανάλυση του φωτός..... 133**

**8.4. Το χρώμα ..... 143**







**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.**