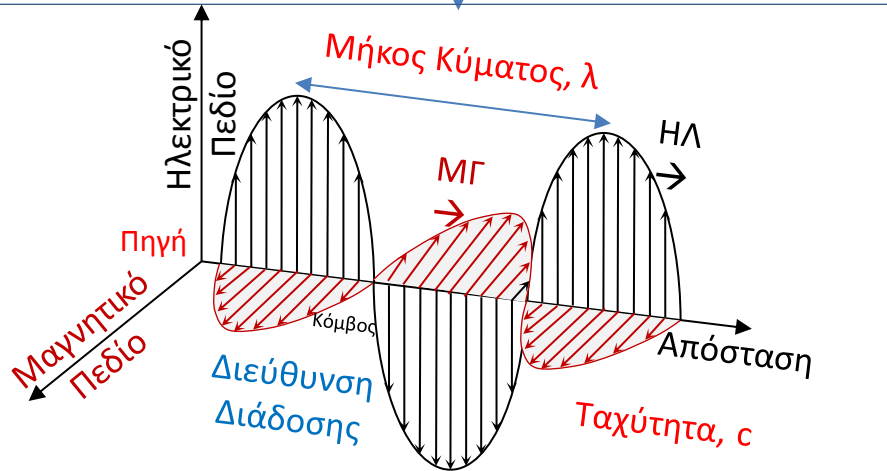


# Οπτική-Φως

## Μοντέλο Εγκάρσιου Κύματος



$$c = \lambda / T$$

$$c = \lambda \cdot f$$

$$\lambda = c / f$$

$$y = A \sin(kx - \omega t) \begin{cases} \vec{E} = E_y(x,t)\hat{j} = E_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - ct)\right)\hat{j}, \\ \vec{B} = B_z(x,t)\hat{k} = B_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - ct)\right)\hat{k} \end{cases}$$

Κυματαριθμός  $\leftarrow k = \frac{2\pi}{\lambda}, \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi c}{\lambda}$

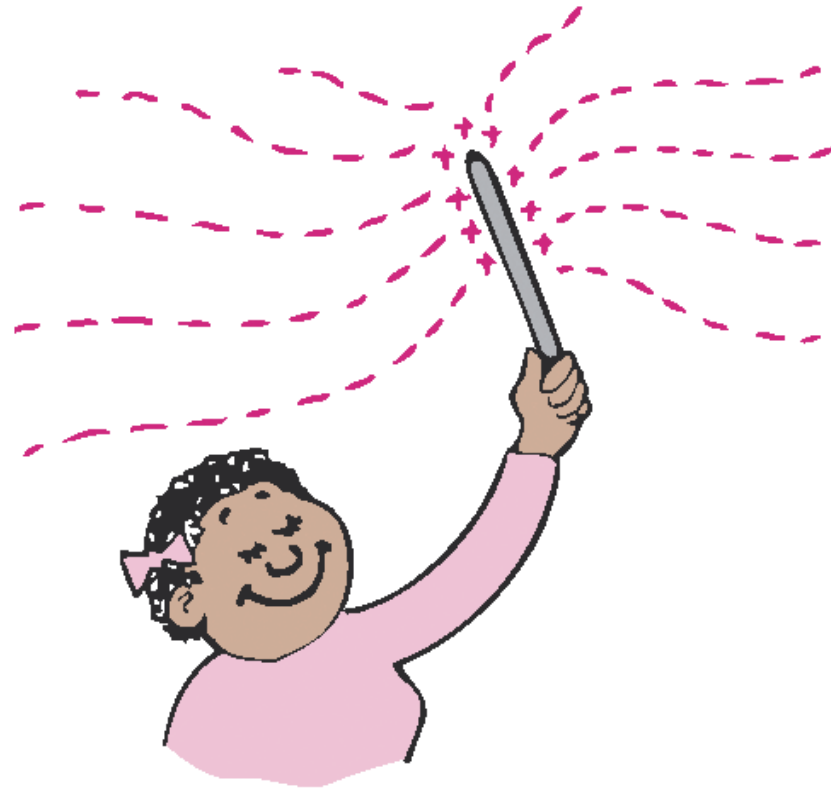
## Μοντέλο Σωματίου

**Einstein:** Όταν το φως αλληλεπιδρά με την ύλη, συμπεριφέρεται σαν να αποτελείται από πολλά επιμέρους σωματρία που ονομάζονται **φωτόνια**, τα οποία μεταφέρουν τις ιδιότητες σωματιδίων, όπως η ενέργεια και η ορμή. Τα ποσά της ενέργειας είναι διακριτά και ονομάζονται **quanta**.

Η σχέση μεταξύ της συχνότητας της ακτινοβολίας που εκφράζεται από τη θεωρία των κυμάτων και την κβαντική είναι:

$$Q = h \cdot f$$

όπου  $Q$  είναι η ενέργεια ενός quantum (J),  $h$  είναι η σταθερά του Planck ( $6.626 \times 10^{-34}$  J s), και  $f$  είναι η συχνότητα της ακτινοβολίας ( $(\text{Hz}) \text{ s}^{-1}$ )<sup>1</sup>



**ΕΙΚΟΝΑ 26.1** Αν κουνήσετε μπρος-πίσω ένα ηλεκτρικά φορτισμένο αντικείμενο, θα παραγάγετε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

# Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

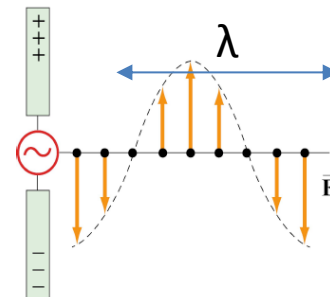
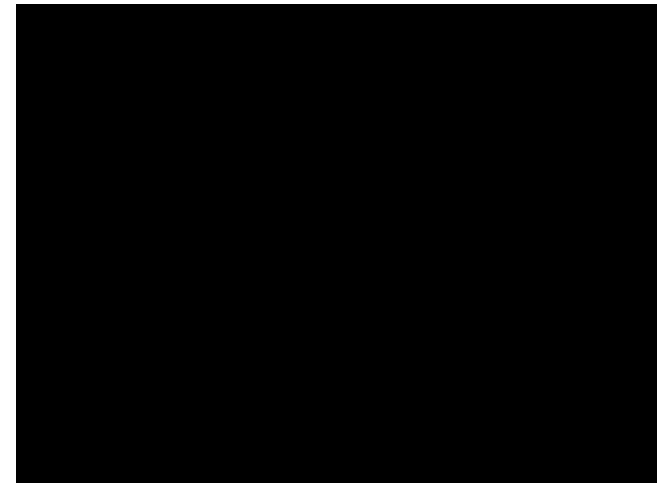
## Μοντέλο Επίπεδου Εγκάρσιου Κύματος

Τα ακίνητα φορτία και το σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα δεν παράγουν ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παράγεται όταν ένα ηλεκτρικό φορτίο επιταχύνεται.

Ταλαντούμενο – Επιταχυνόμενο Σημειακό φορτίο

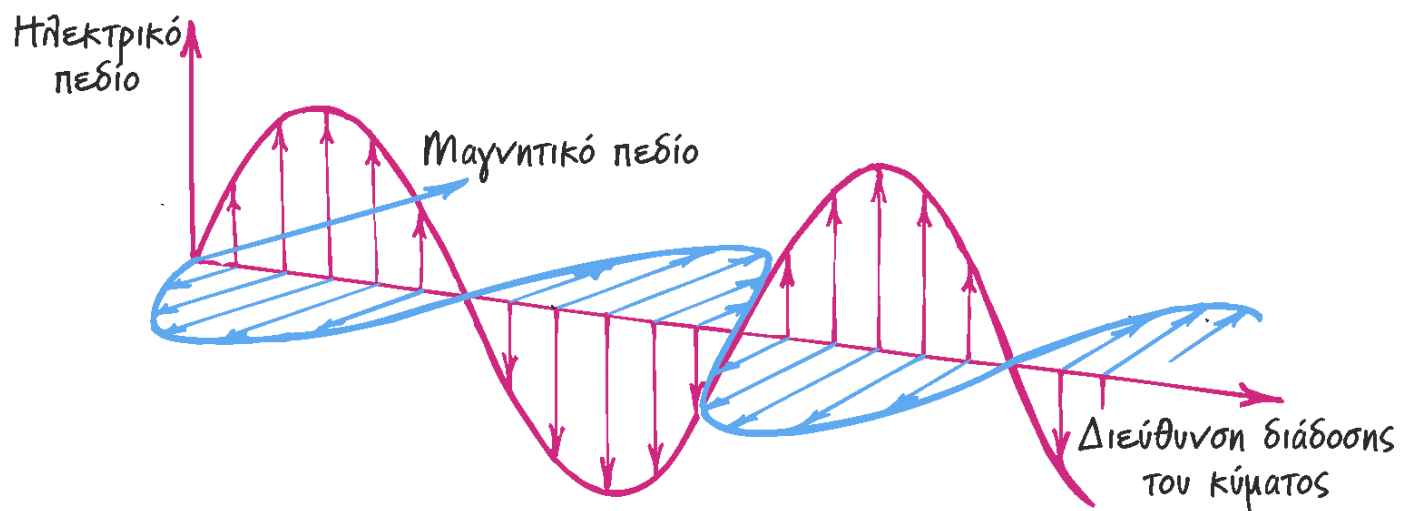
Το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ( $\lambda$ ) εξαρτάται από το χρονικό διάστημα που το φορτισμένο σωματίδιο επιταχύνεται και η συχνότητα του ( $f$ ) εξαρτάται από τον αριθμό των επιταχύνσεων ανά  $s$ .

Συχνότητα είναι ο αριθμός των μηκών κύματος που περνούν ένα σημείο ανά μονάδα χρόνου. Ένα κύμα που στέλνει μια κορυφή κάθε δευτερόλεπτο (συμπληρώνοντας ένα κύκλο) λέγεται ότι έχει συχνότητα έναν κύκλο ανά δευτερόλεπτο ή ένα Hertz, συντομογραφία 1 Hz.

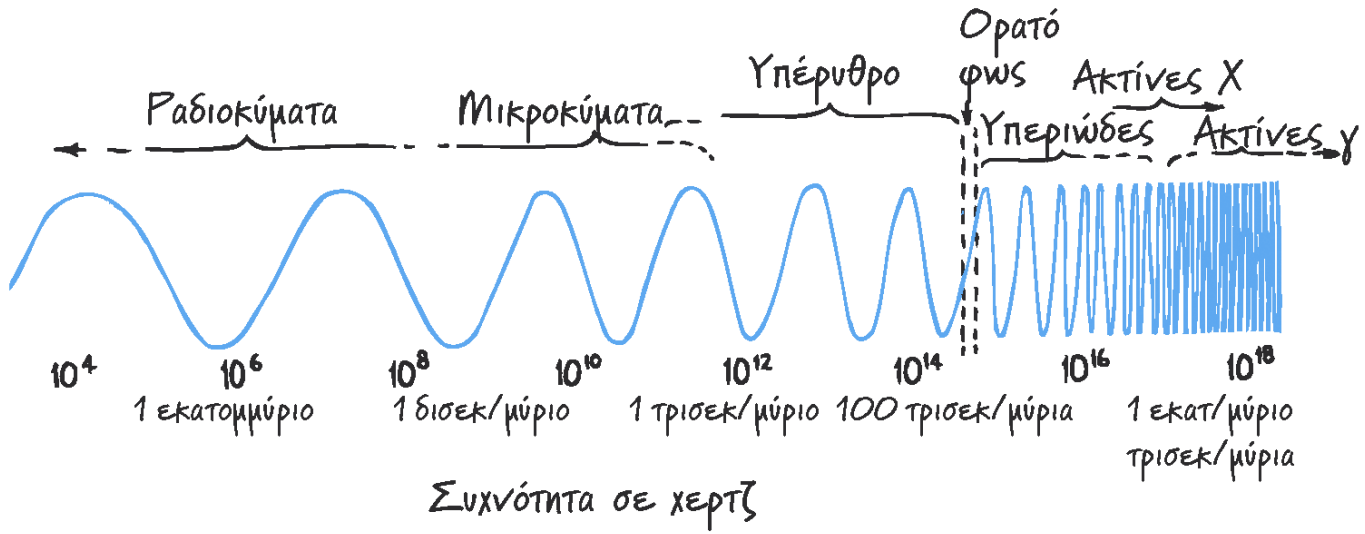


Κεραία  
Ηλεκτρικού  
Διπόλου

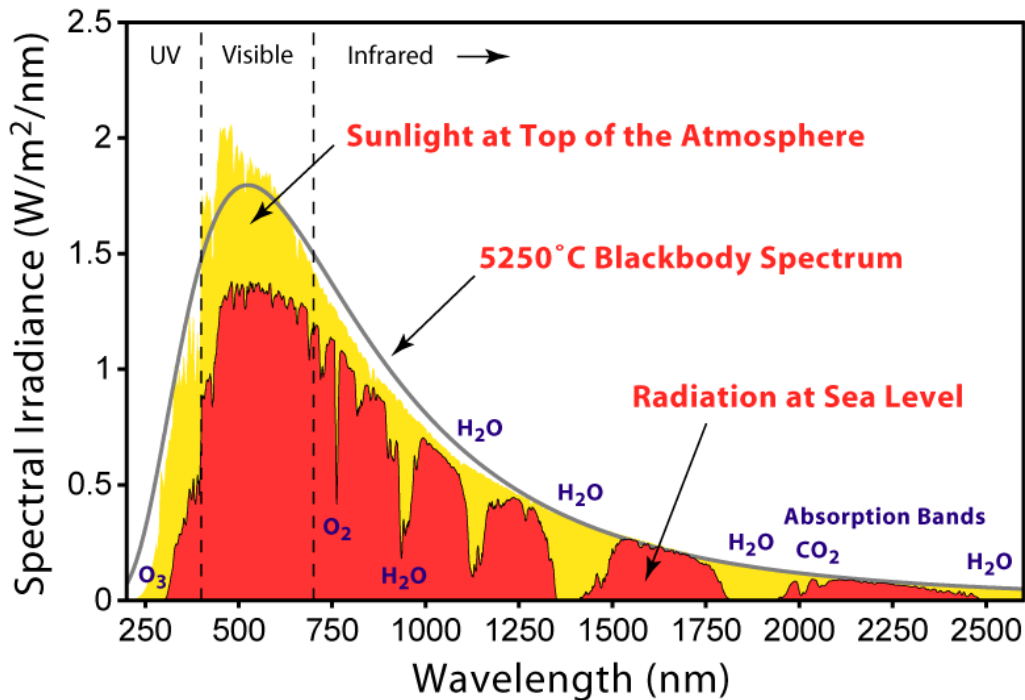
**ΕΙΚΟΝΑ 26.2** Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετα μεταξύ τους και προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.



**ΕΙΚΟΝΑ 26.3** Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι μια συνεχής περιοχή κυμάτων που εκτείνεται από τα ραδιοκύματα μέχρι τις ακτίνες γάμμα. Οι περιγραφικές ονομασίες των διαφόρων μερών του φάσματος αντιπροσωπεύουν απλώς μια ταξινόμηση που έχει καθιερωθεί για ιστορικούς λόγους, αφού όλα τα κύματα είναι της ίδιας φύσεως, και διαφέρουν μόνο ως προς τη συχνότητα και το μήκος κύματος, ενώ διαδίδονται όλα με την ίδια ταχύτητα.



# Ηλιακό φάσμα



commons.wikimedia.org

■ Η κατανομή της ακτινοβολίας ακολουθεί το νόμο Stefan-Boltzmann με θερμοκρασία επιφάνειας 5778 K

$$\frac{P}{A} = \sigma \cdot T^4 \left( \frac{J}{m^2 s} \right),$$

$$\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \left( \frac{W}{m^2 K^4} \right)$$

■ 99% της ενέργειας με μήκη κύματος μεταξύ 0.25 και 4.0  $\mu m$

■ Διακριτά τμήματα του φάσματος:

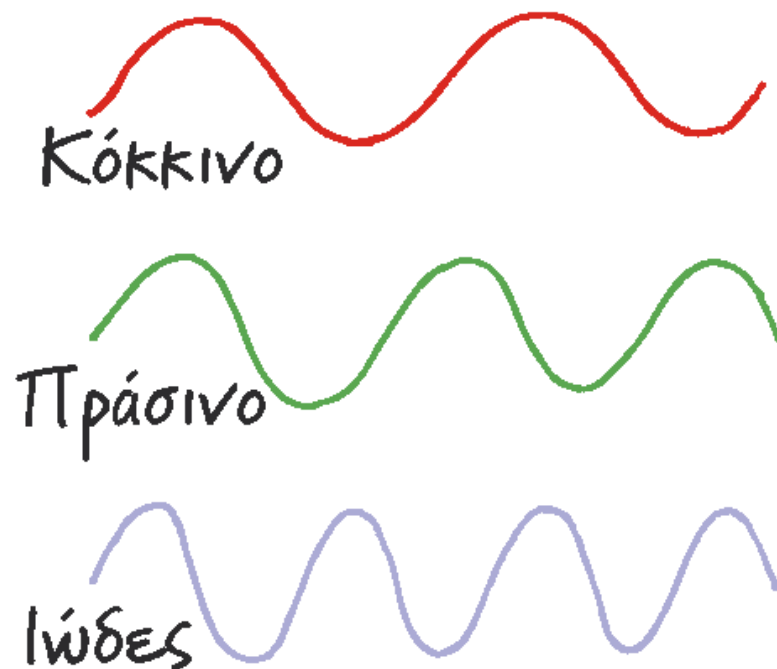
□ Υπεριώδες (Ultraviolet\_ [ $\lambda < 0.4 \mu m$ ])  
8% της ενέργειας

□ Ορατό (Visible) [ $\lambda: 0.39-0.77 \mu m$ ]  
περιέχει 46% της ενέργειας

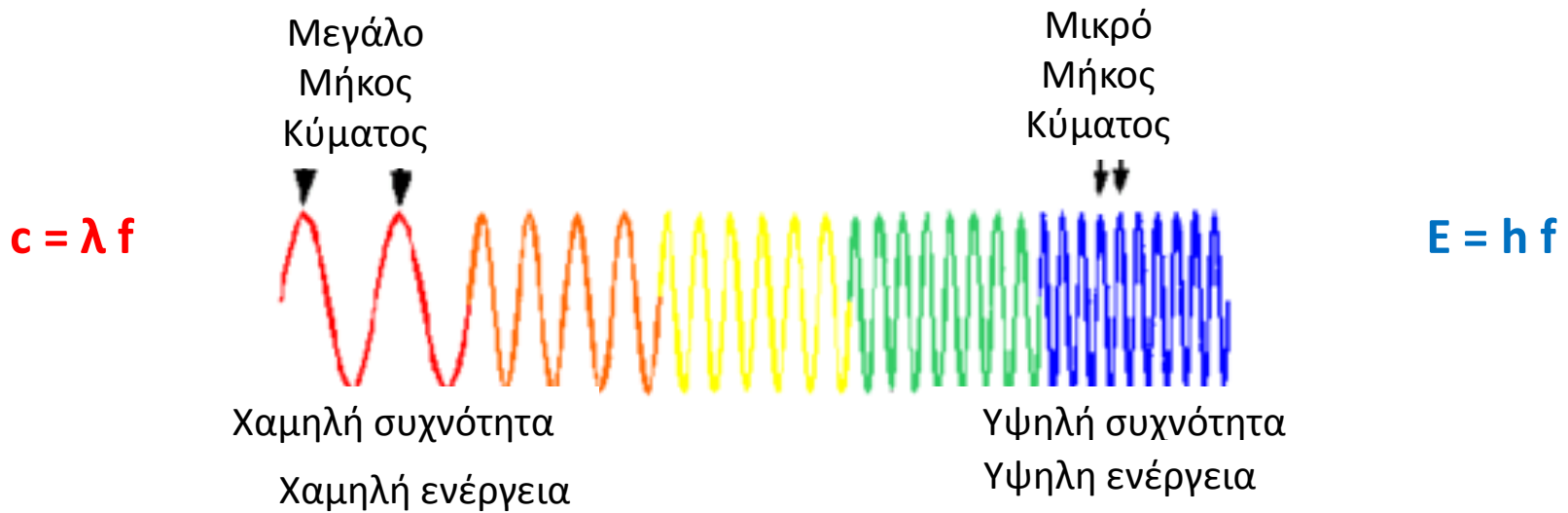
□ Υπέρυθρο (Infrared) [ $> 0.77 \mu m$ ]  
46% της ενέργειας

□  $E_{\text{φωτ}} = h \cdot f$  με  $h$  του Planck  $6.63 \times 10^{-34}$  Js,

(μεταξύ  $2.85 \times 10^{-19}$  J για κόκκινο και  $4.97 \times 10^{-19}$  J για το φωτόνιο του ιώδους χρώματος



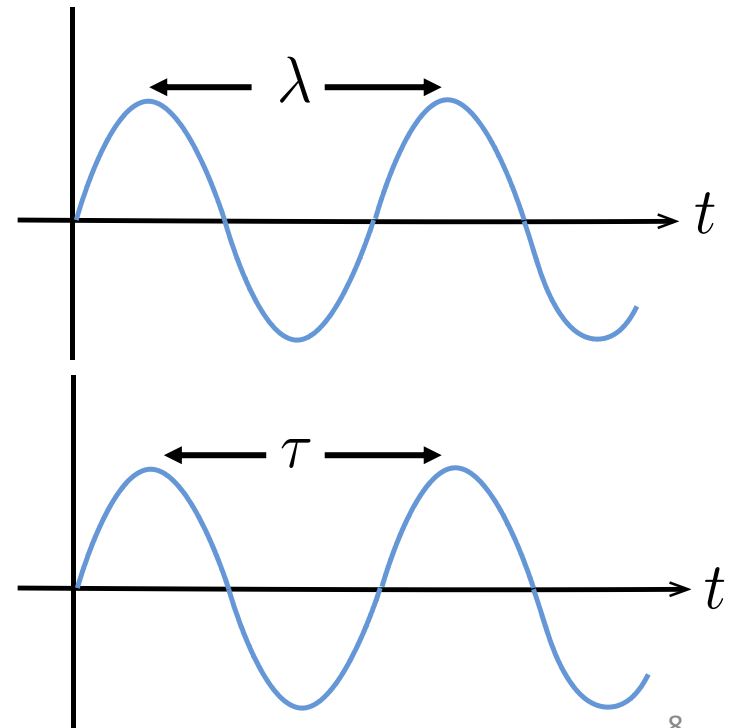
**ΕΙΚΟΝΑ 26.4** Σχετικά μήκη κύματος του κόκκινου, του πράσινου και του ιώδους φωτός. Το ιώδες φως έχει σχεδόν τη διπλάσια συχνότητα και περίπου το μισό μήκος κύματος από το κόκκινο.



- Η ταχύτητα του κύματος στο ίδιο μέσο είναι σταθερή και όταν διαδίδεται στο κενό είναι ίση με  $c$ .

- Όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα-ακτινοβολία διέρχεται από το ένα μέσο στο άλλο, η ταχύτητα του ΗΜ κύματος ( $c$ ) και το μήκος κύματος  $\lambda$  αλλάζουν, ως εκ τούτου, η συχνότητα  $f$  παραμένει η ίδια. Η τιμή της ταχύτητας του ΗΜ κύματος στο μέσο είναι πάντα μικρότερη από  $c$ .

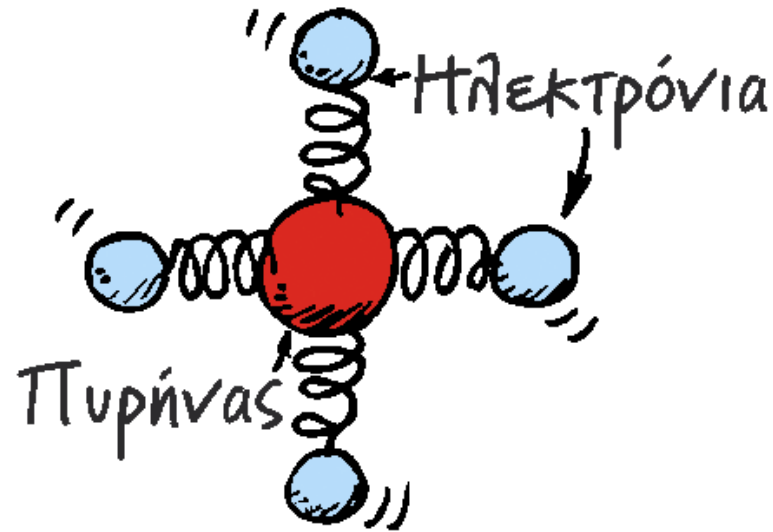
- Το εύρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι από  $<0.01 \text{ nm}$  ως  $>1 \text{ km}$



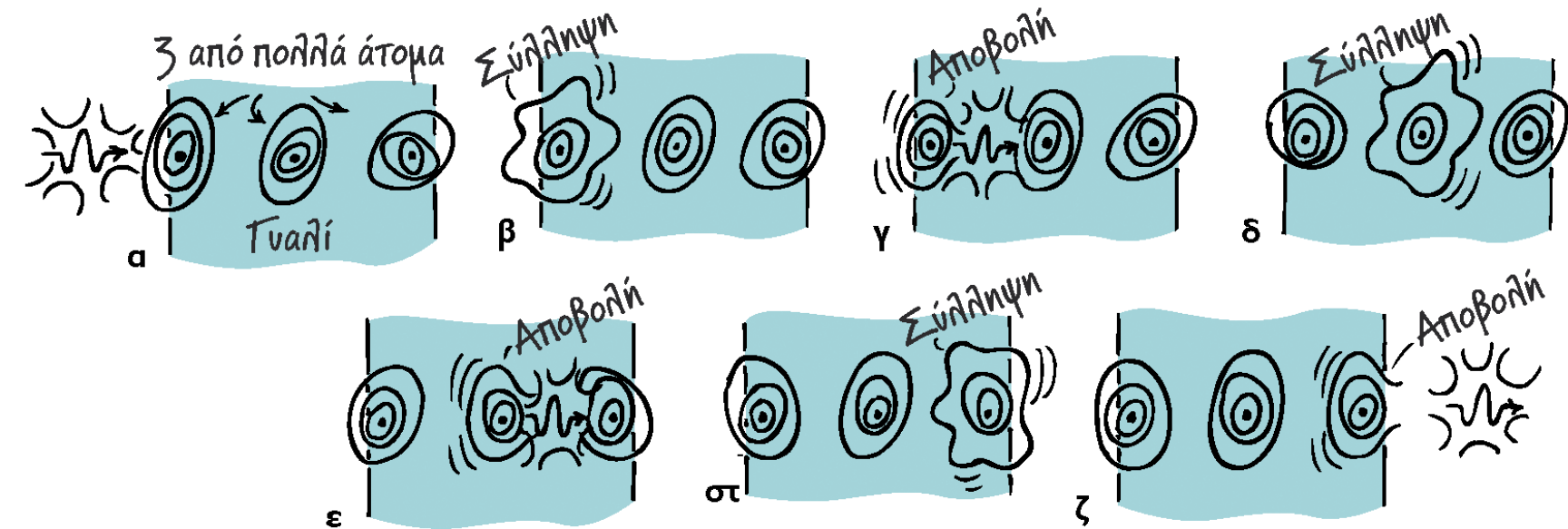


**ΕΙΚΟΝΑ 26.5** Όπως ακριβώς ένα ηχητικό κύμα μπορεί να θέσει έναν ηχητικό δέκτη σε ταλάντωση, ένα κύμα φωτός μπορεί να θέσει τα ηλεκτρόνια των διαφόρων υλικών σε ταλάντωση.





**ΕΙΚΟΝΑ 26.6** Τα ηλεκτρόνια στα άτομα του γυαλιού έχουν ορισμένες φυσικές συχνότητες ταλάντωσης και, στο πλαίσιο ενός απλού μοντέλου, μπορούν να θεωρηθούν ως σωματίδια συνδεδεμένα με τον πυρήνα μέσω ελατηρίων.



**ΕΙΚΟΝΑ 26.7** Ένα κύμα ορατού φωτός που προσπίπτει σε έναν υαλοπίνακα διεγείρει στα άτομα ταλαντώσεις οι οποίες προκαλούν μια αλυσίδα γεγονότων απορρόφησης και επανεκπομπής. Με τον τρόπο αυτό, η ενέργεια του φωτός διέρχεται μέσα από το υλικό και εξέρχεται από την άλλη πλευρά. Λόγω της χρονικής υστέρησης μεταξύ απορρόφησης και επανεκπομπής, το φως διαδίδεται μέσα στο γυαλί με μικρότερη ταχύτητα απ’ ό,τι στον κενό χώρο.

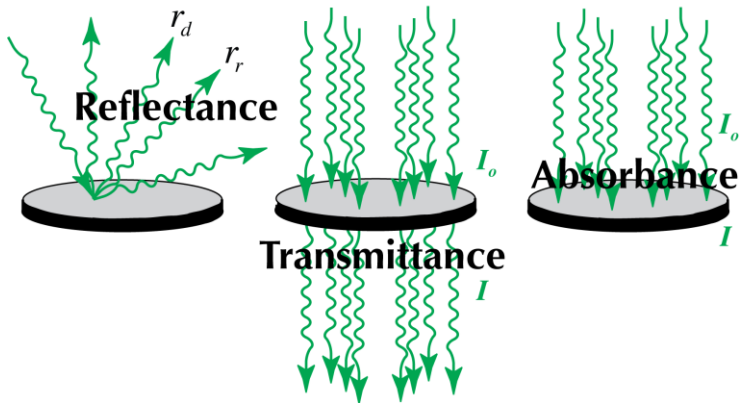
# Spectral hemispherical Absorptance : Φασματική Ικανότητα απορρόφησης ημισφαιρίου

Φασματική Ικανότητα απορρόφησης ημισφαιρίου (absorptance)  $\alpha$ : για μήκος  $\lambda$  είναι η ροή ακτινοβολίας που απορροφά ένα σώμα  $\Phi_{abs}(\lambda)$  προς την εισερχόμενη ροή  $\Phi_i(\lambda)$  στο σώμα

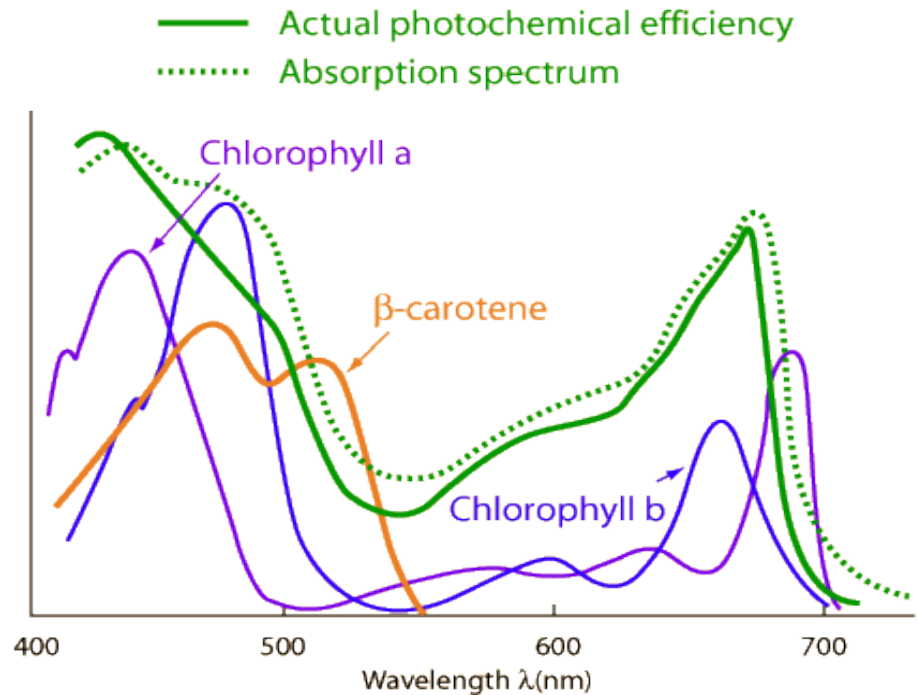
$$\alpha(\lambda) = \frac{\Phi_{abs}(\lambda)}{\Phi_i(\lambda)} \leq 1$$

(=1 για το μέλαν σώμα και <1 για όλα τα σώματα)

**Ικανότητα απορρόφησης ημισφαιρίου  $\alpha$**   
(ολοκλήρωση φασματικής σε όλο το φάσμα)

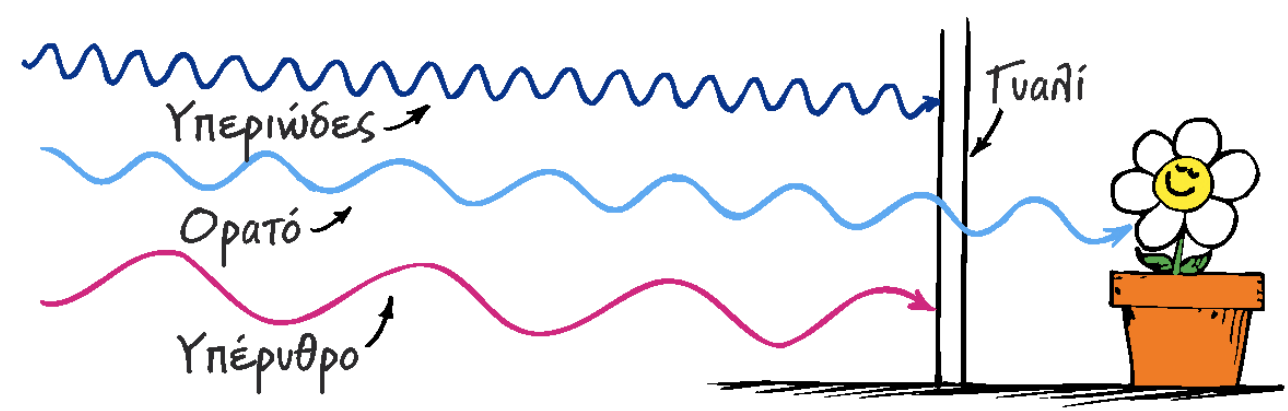


<http://www.yorku.ca/planters/photosynthesis>



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

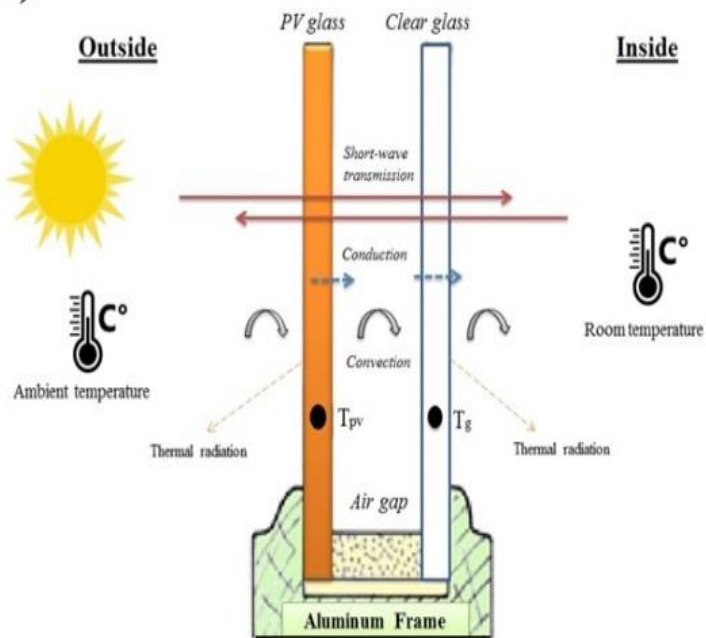
**ΕΙΚΟΝΑ 26.8** Το γυαλί ανακόπτει τόσο την υπέρυθη όσο και την υπεριώδη ακτινοβολία, αλλά είναι διαφανές στο ορατό φως.



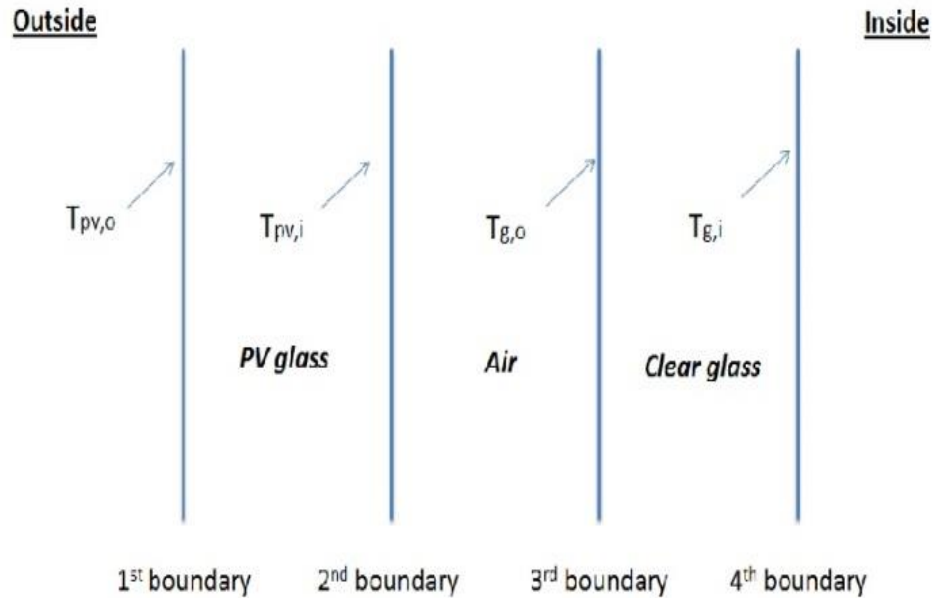
# Διατήρηση της Ενέργειας σε μια επιφάνεια

$$R_{(\lambda)} + \alpha_{(\lambda)} + \tau_{(\lambda)} = 1$$

a)



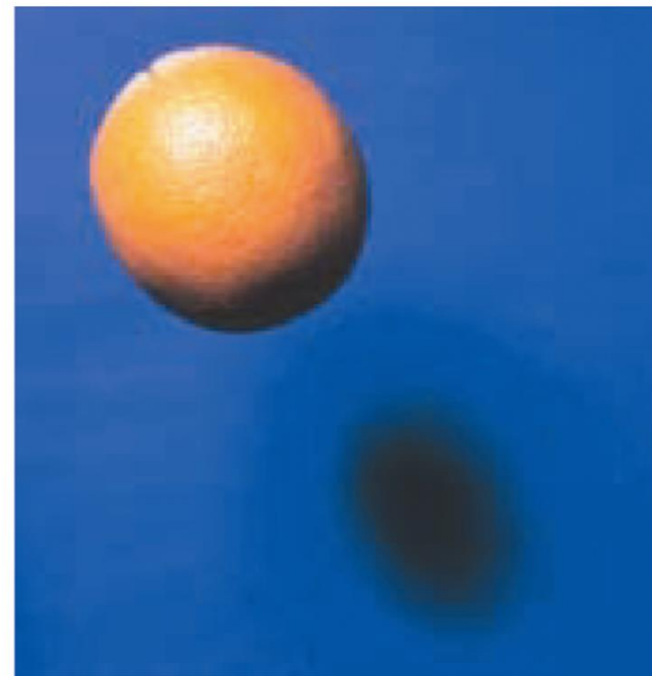
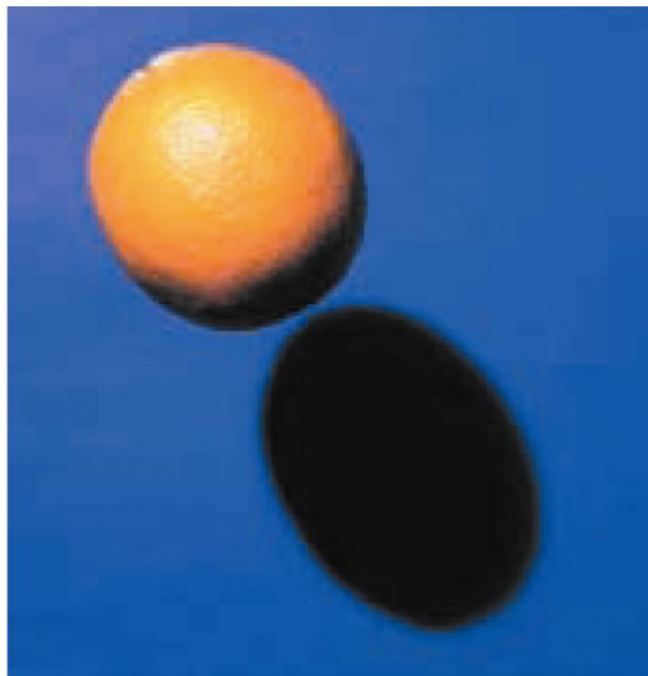
b)



**ΕΙΚΟΝΑ 26.9** Τα μέταλλα έχουν στιλπνή επιφάνεια, επειδή το φως που προσπίπτει σε αυτά θέτει τα ελεύθερα ηλεκτρόνιά τους σε ταλάντωση, οπότε εν συνεχεία τα ταλαντούμενα αυτά ηλεκτρόνια εκπέμπουν τα «δικά» τους κύματα φωτός υπό τη μορφή ανακλώμενης ακτινοβολίας.



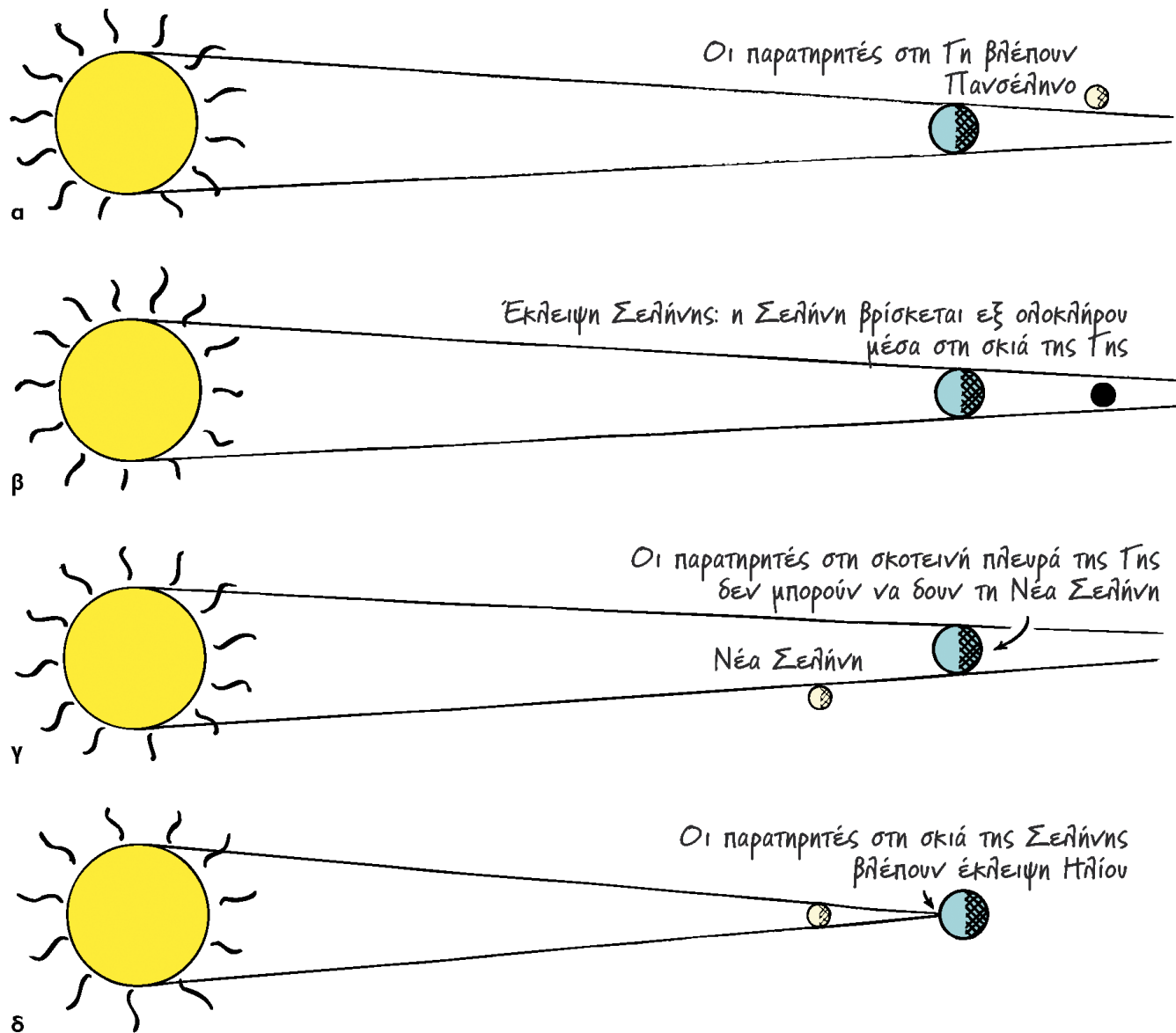
**ΕΙΚΟΝΑ 26.10** Μια μικρή φωτεινή πηγή παράγει σκιά με πιο σαφή όρια απ' ό,τι μια μεγαλύτερη πηγή.



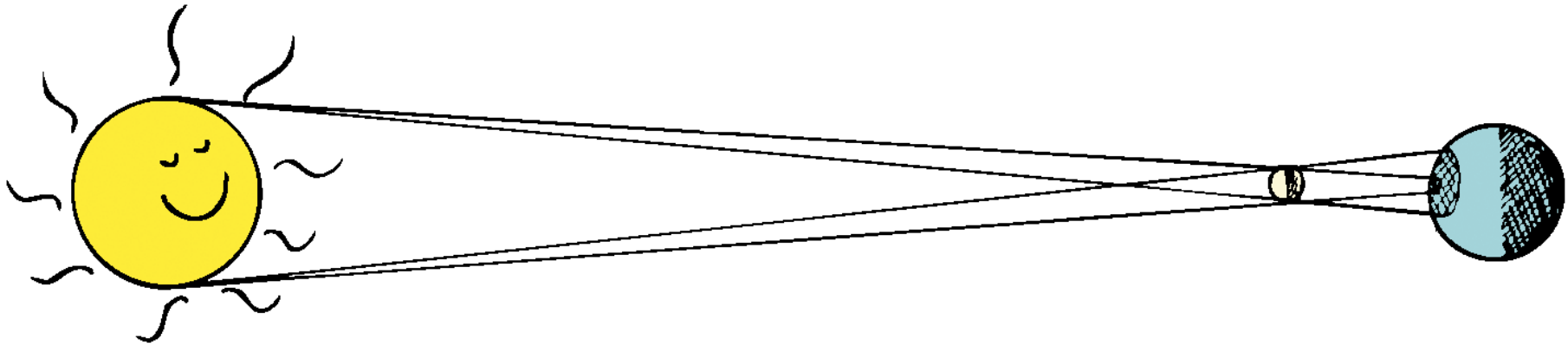




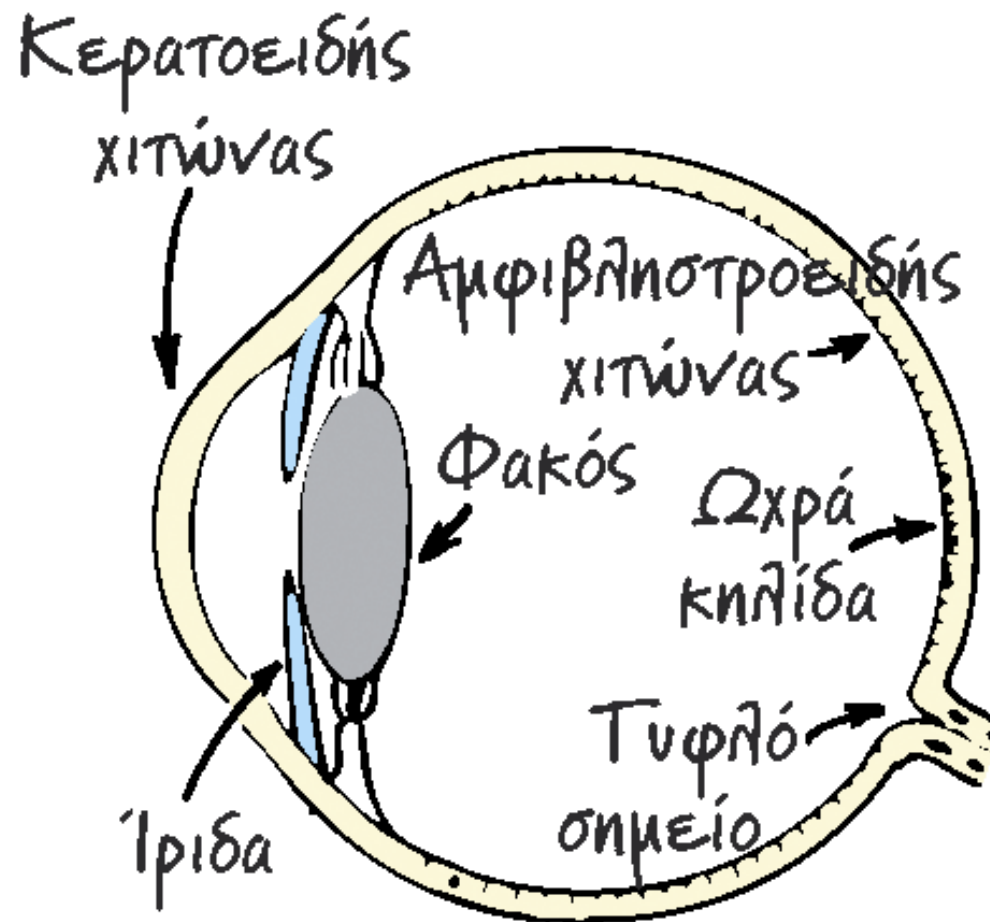
**ΕΙΚΟΝΑ 26.11** Ένα αντικείμενο που βρίσκεται κοντά σε έναν τοίχο ρίχνει σκιά με σαφή όρια, επειδή το φως που έρχεται από ελαφρά διαφορετικές κατευθύνσεις δεν «απλώνεται» πολύ πίσω από το αντικείμενο. Καθώς το αντικείμενο μετακινείται πιο μακριά από τον τοίχο, δημιουργούνται παρασκιάσματα και το σκίασμα γίνεται μικρότερο. Όταν το αντικείμενο βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση, η σκιά είναι λιγότερο ευδιάκριτη. Όταν το αντικείμενο είναι σε πολύ μεγάλη απόσταση (περίπτωση που δεν φαίνεται στην εικόνα αυτή) δεν υπάρχει καμία εμφανώς σκιασμένη περιοχή, διότι τα παρασκιάσματα αναμειγνύονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια μεγάλη θαμπή περιοχή.



**ΕΙΚΟΝΑ 26.12** (α) Όταν η Γη βρίσκεται μεταξύ Ηλίου και Σελήνης, έχουμε Πανσέληνο. (β) Όταν η ευθυγράμμιση των τριών σωμάτων είναι πλήρης, η Σελήνη βρίσκεται στη σκιά της Γης, οπότε έχουμε έκλειψη Σελήνης. (γ) Όταν η Σελήνη βρίσκεται μεταξύ Ηλίου και Γης, έχουμε Νέα Σελήνη. (δ) Όταν η ευθυγράμμιση των τριών σωμάτων είναι πλήρης, ένα τμήμα της Γης βρίσκεται στη σκιά της Σελήνης, οπότε έχουμε έκλειψη Ηλίου.



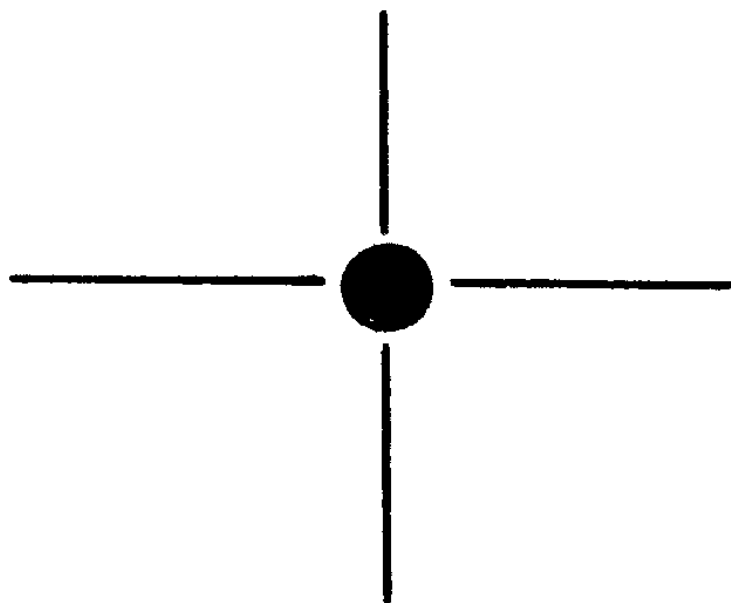
**ΕΙΚΟΝΑ 26.13** Λεπτομερέστερη απεικόνιση έκλειψης Ηλίου. Οι παρατηρητές που βρίσκονται στην περιοχή του σκιάσματος βλέπουν ολική έκλειψη, ενώ αυτοί που βρίσκονται στην περιοχή του παρασκιάσματος βλέπουν μερική. Οι περισσότεροι γήινοι παρατηρητές δεν βλέπουν καμία έκλειψη.



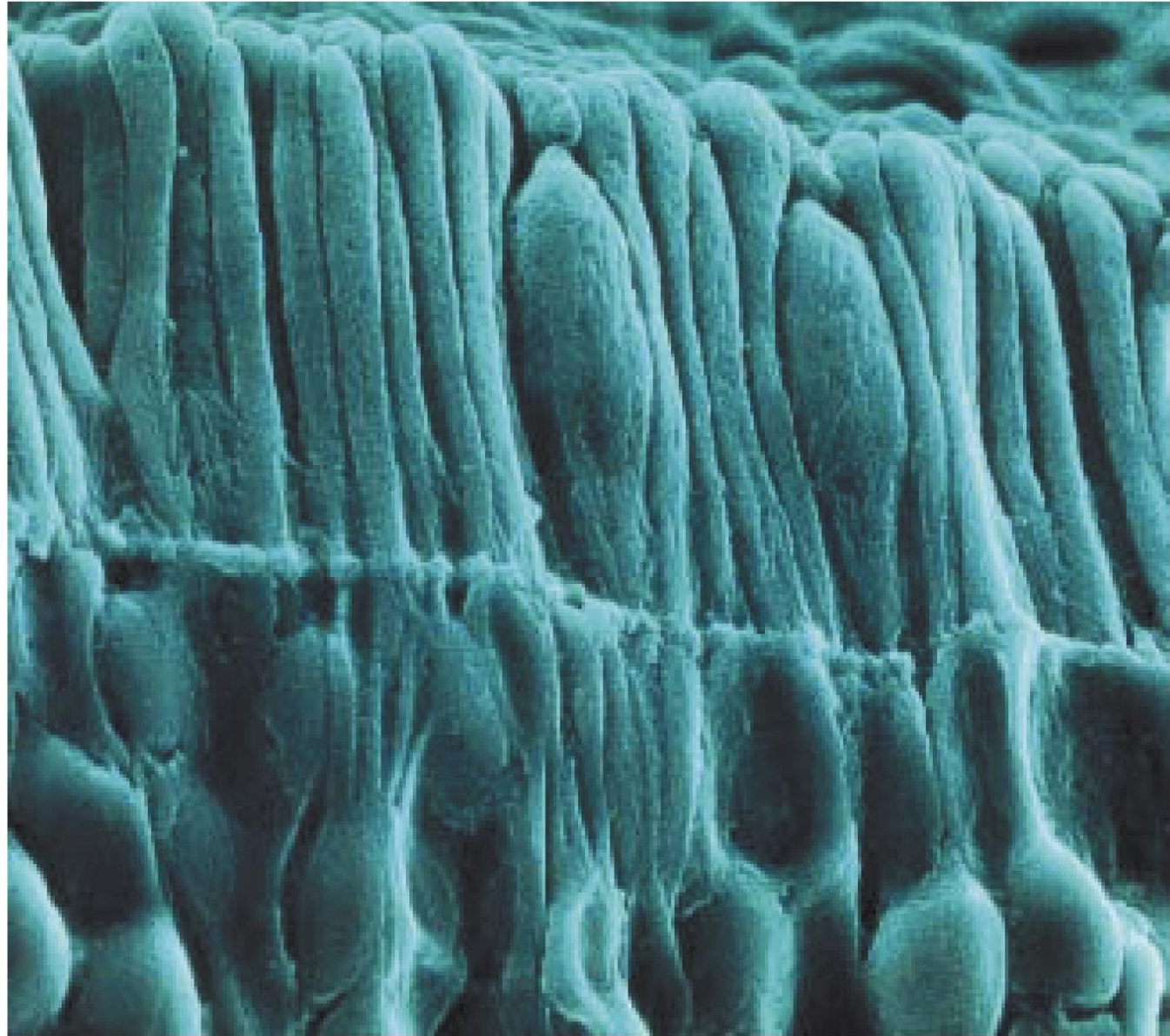
**ΕΙΚΟΝΑ 26.14** Το ανθρώπινο μάτι.

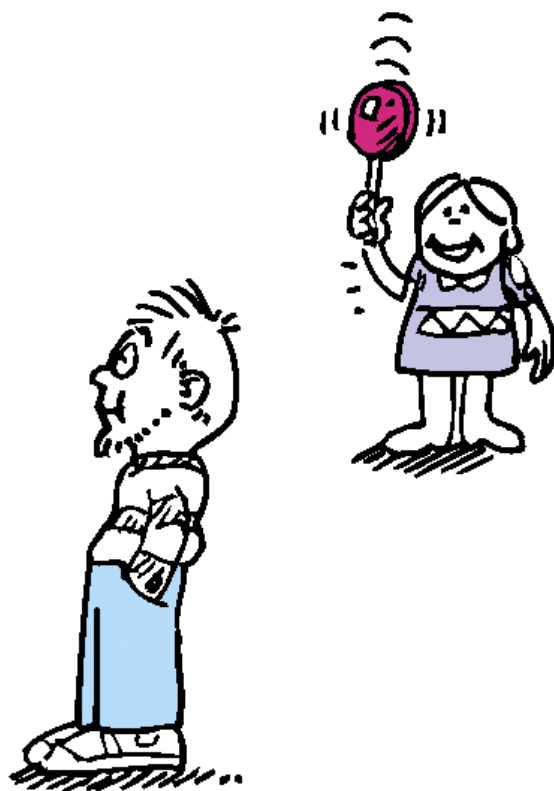
## Οπτικό Πεδίο

**ΕΙΚΟΝΑ 26.15** Το πείραμα του τυφλού σημείου. Κλείστε το αριστερό μάτι και κοιτάξτε με το δεξί τον μαύρο κύκλο. Ρυθμίστε την απόσταση ώστε να βρείτε το τυφλό σημείο, οπότε το X θα εξαφανιστεί. Επαναλάβετε κοιτάζοντας το X με το αριστερό μάτι και κρατώντας κλειστό το δεξί, οπότε θα εξαφανιστεί ο κύκλος. Παρατηρείτε ότι ο εγκέφαλός σας συμπληρώνει τις κάθετες γραμμές στη θέση όπου υπήρχε ο κύκλος;



**ΕΙΚΟΝΑ 26.16** Τα ραβδία και τα κωνία του ανθρώπινου ματιού, υπό μεγέθυνση.





**ΕΙΚΟΝΑ 26.17** Στην περιφέρεια του οπτικού σας πεδίου μπορείτε να δείτε ένα αντικείμενο μόνο όταν κινείται, ενώ δεν μπορείτε να διακρίνετε καθόλου το χρώμα του.



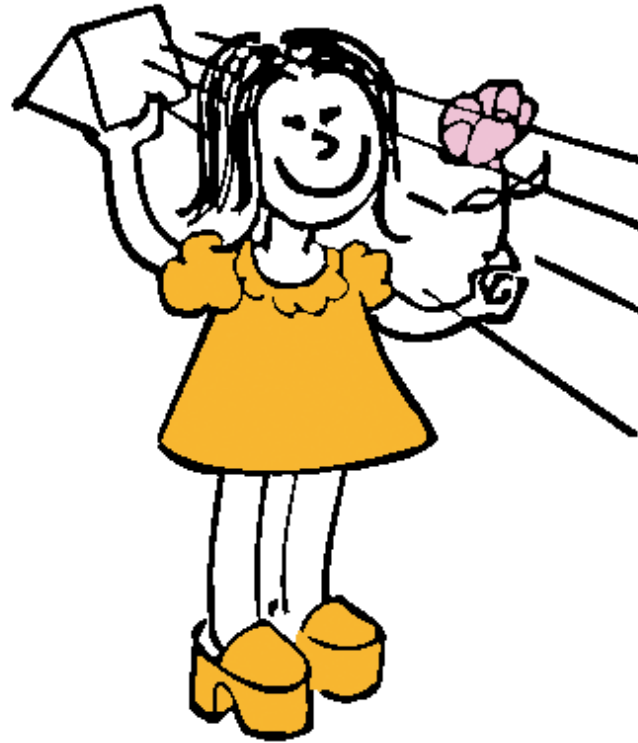
Σας αγαπά...



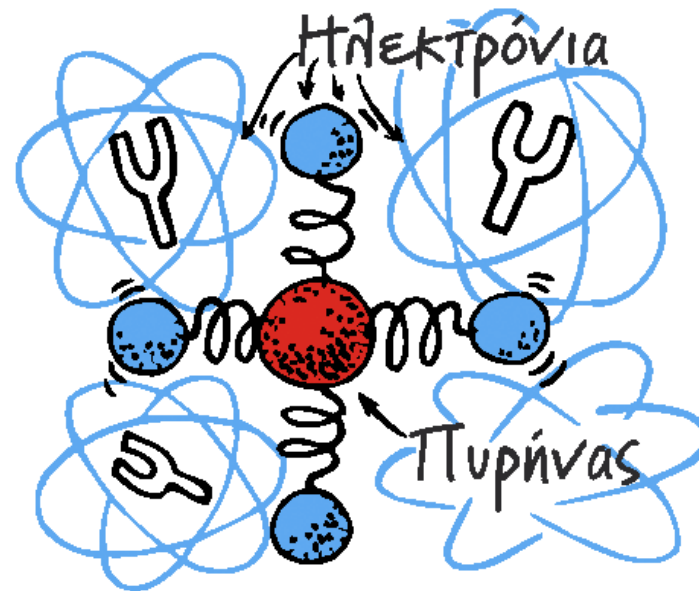
Δεν σας αγαπά;

**ΕΙΚΟΝΑ 26.18** Το μέγεθος της κόρης εξαρτάται από τη διάθεσή μας.

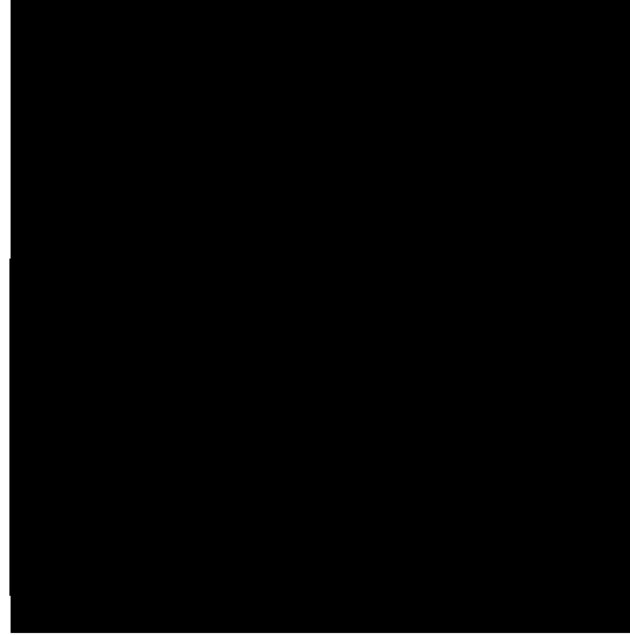
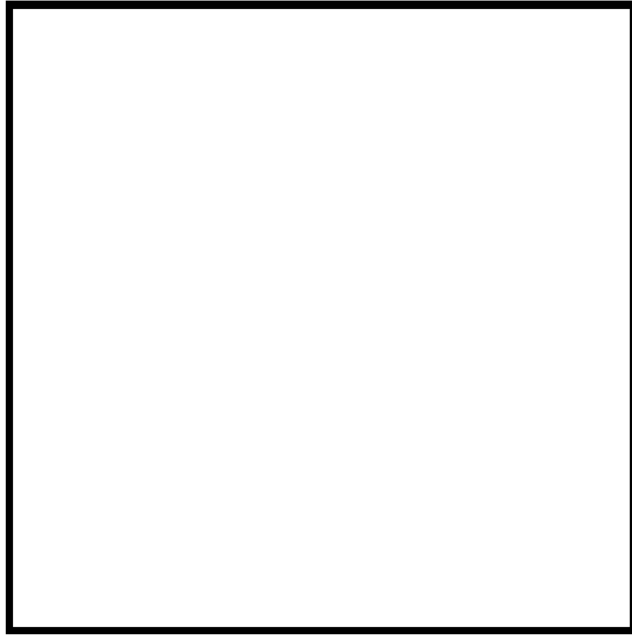




**ΕΙΚΟΝΑ 27.1** Τα χρώματα των διαφόρων αντικειμένων εξαρτώνται από τα χρώματα του φωτός που προσπίπτει πάνω τους.



**ΕΙΚΟΝΑ 27.2** Τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων ταλαντώνονται και συντονίζονται όπως θα συνέβαινε με κάποιες μάζες προσδεμένες σε ελατήρια. Ως αποτέλεσμα, τα άτομα και τα μόρια συμπεριφέρονται κατά κάποιον τρόπο σαν οπτικά διαπασών.

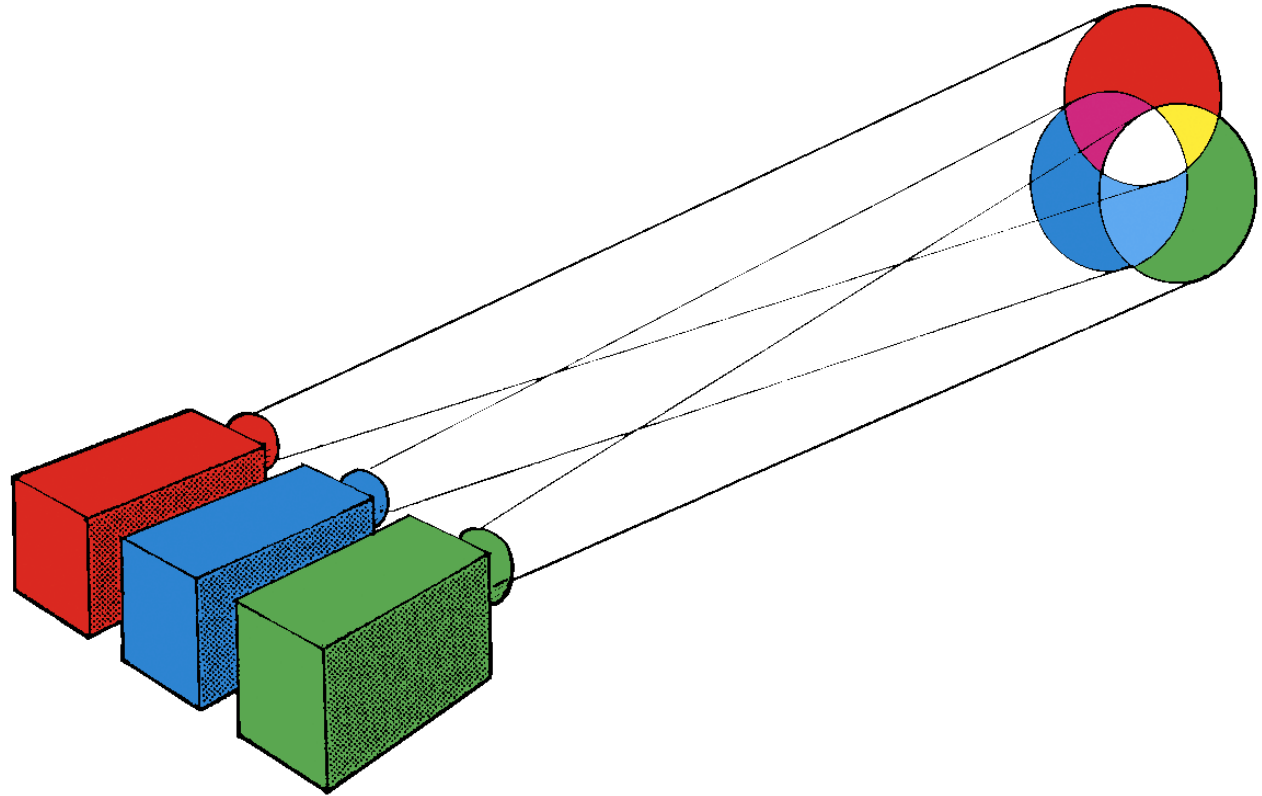


**ΕΙΚΟΝΑ 27.3** Το αριστερό τετράγωνο ανακλά όλα τα χρώματα του φωτός που πέφτει πάνω του. Όταν φωτίζεται με ηλιακό φως, φαίνεται λευκό. Όταν φωτίζεται με μπλε φως, φαίνεται μπλε. Το δεξί τετράγωνο απορροφά όλα τα χρώματα του φωτός που πέφτει πάνω του. Όταν φωτίζεται με ηλιακό φως, είναι θερμότερο από το λευκό τετράγωνο.



**ΕΙΚΟΝΑ 27.4** Οι σκουρόχρωμες περιοχές στο τρίχωμα του κουνελιού απορροφούν όλη την ορατή ακτινοβολία του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός, και για τον λόγο αυτό φαίνονται μαύρες. Οι ανοιχτόχρωμες περιοχές ανακλούν το φως όλων των συχνοτήτων, και επομένως φαίνονται λευκές.

**ΕΙΚΟΝΑ 27.9** Πρόσθεση χρωμάτων με ανάμειξη έγχρωμων φωτεινών δεσμών. Όταν τρεις προβολείς χρώματος κόκκινου, πράσινου και μπλε αντίστοιχα φωτίζουν ένα λευκό πέτασμα, στις περιοχές επικάλυψης των δεσμών παράγονται διαφορετικά χρώματα. Στην περιοχή όπου επικαλύπτονται και οι τρεις δέσμες παράγεται λευκό χρώμα.





α



β



γ



δ

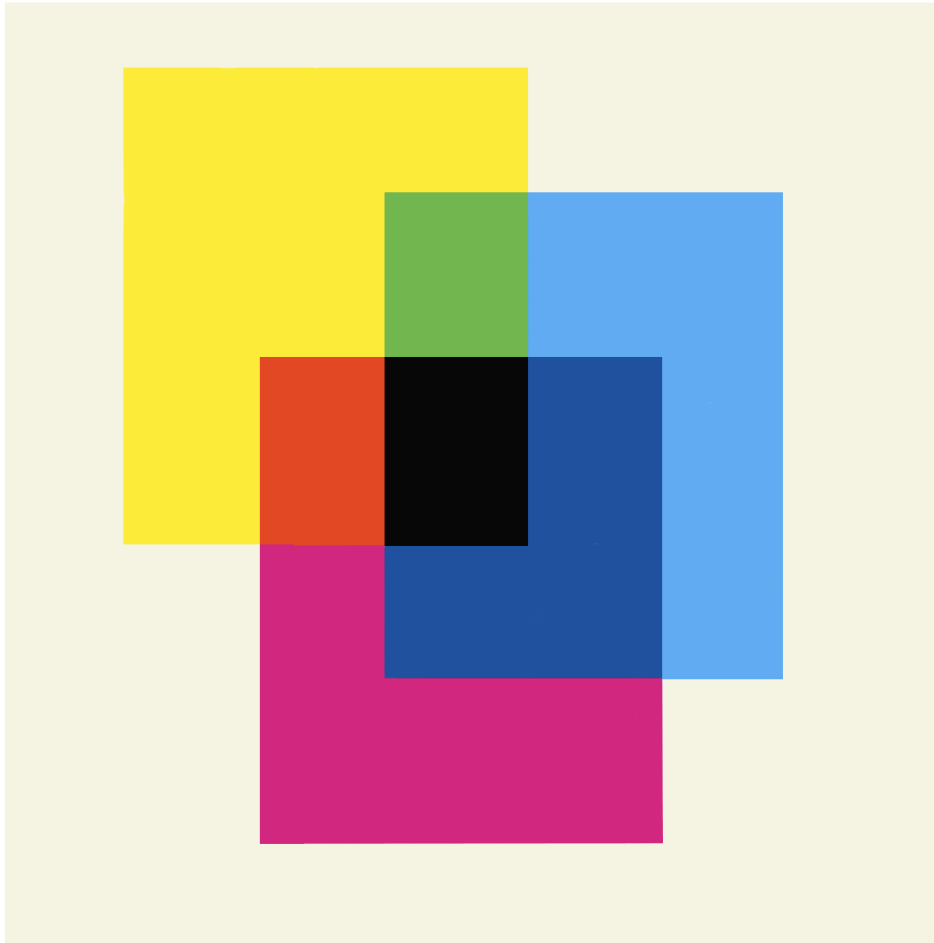


ε

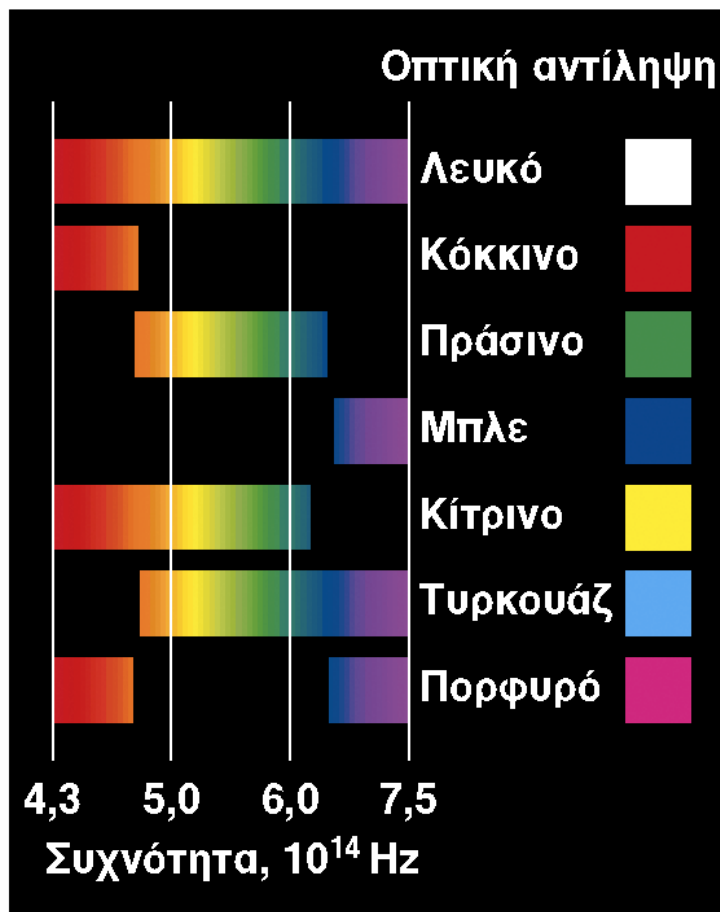


στ

**ΕΙΚΟΝΑ 27.II** Για την εκτύπωση έγχρωμων εικόνων και φωτογραφιών χρησιμοποιούνται μόνο τέσσερα χρώματα μελανιού (α) πορφυρό, (β) κίτρινο, (γ) τυρκουάζ, και (δ) μαύρο. Ο συνδυασμός του πορφυρού, του κίτρινου και του τυρκουάζ μελανιού δίνει την εικόνα (ε). Με την προσθήκη του μαύρου, παίρνουμε το τελικό αποτέλεσμα, (στ).



**ΕΙΚΟΝΑ 27.12** Οι χρωστικές ουσίες (ή αλλιώς *πιγμέντα*), όπως αυτές που υπάρχουν στις τρεις διαφάνειες που βλέπουμε στην εικόνα, απορροφούν και ουσιαστικά αφαιρούν από μια δέσμη φωτός που προσπίπτει πάνω τους φως ορισμένων συχνοτήτων, επιτρέποντας τη διέλευση μόνο ενός μέρους του φάσματος. Τα αφαιρετικά βασικά χρώματα είναι το κίτρινο, το πορφυρό και το τουρκουάζ. Όταν διέρχεται λευκό φως μέσα από επικαλυπτόμενα φύλλα αυτών των τριών χρωμάτων, ανακόπτονται (αφαιρούνται) όλες οι συχνότητες φωτός, και επομένως έχουμε μαύρο. Στις περιοχές όπου επικαλύπτονται μόνο το κίτρινο και το τουρκουάζ φύλλο, αφαιρούνται όλες οι συχνότητες φωτός εκτός αυτής που αντιστοιχεί στο πράσινο χρώμα. Με τον συνδυασμό χρωστικών κίτρινου, τουρκουάζ και πορφυρού χρώματος σε διάφορες αναλογίες, μπορούμε να παραγάγουμε όλα σχεδόν τα χρώματα του φάσματος.

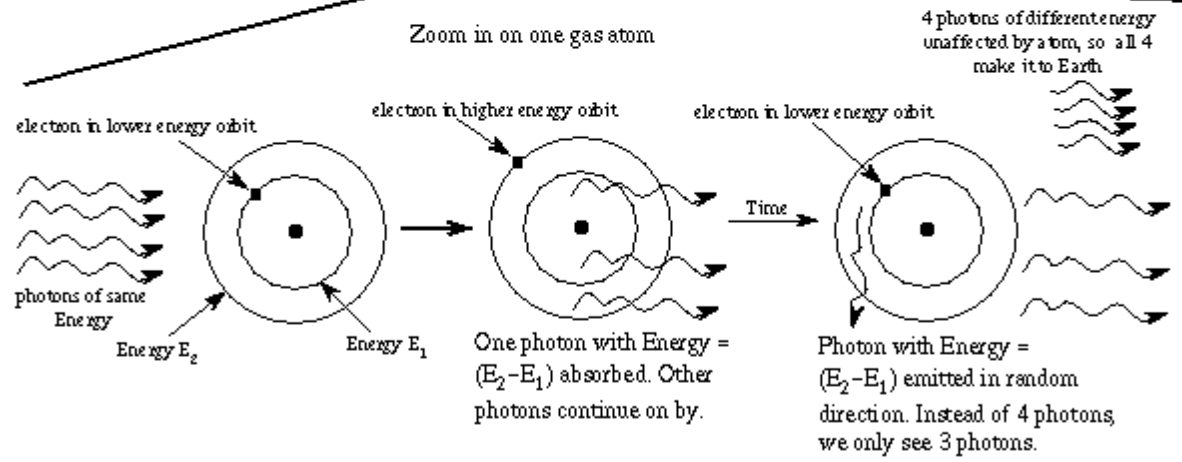
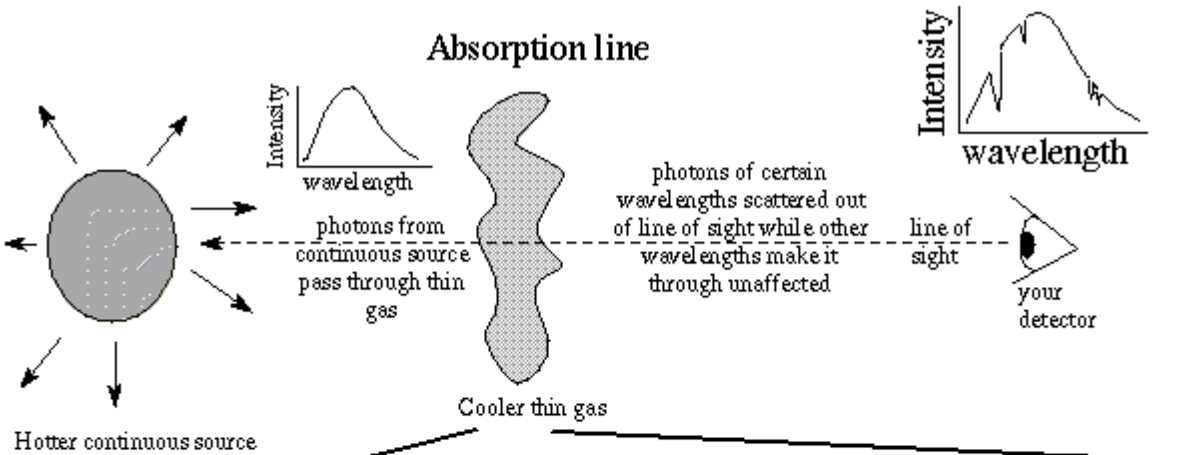


**ΕΙΚΟΝΑ 27.14** Οι περιοχές συχνοτήτων οι οποίες αντιστοιχούν, όσον αφορά την οπτική μας αντίληψη, στα προσθετικά και τα αφαιρετικά βασικά χρώματα.



# Η ηλιακή ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη

Απορρόφηση  
Άμεσης ΗΑ



## Μοντέλο Σωματίων

Πριν το 1905, η αντίληψη για το φως ήταν το μοντέλο κύματος που περιγράφηκε όταν ο Einstein μελέτησε το διαφορετικό χαρακτήρα του φωτός με την αλληλεπίδραση του φωτός με τα ηλεκτρόνια στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και την εμφάνιση των quanta.

Ο Niels Bohr και ο Max Planck αναγνώρισαν τη διακριτή φύση των ανταλλαγών ενέργειας ακτινοβολίας και πρότειναν την κβαντική θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η σύνδεση των πακέτων ενέργειας με τα οποία διαδίδεται η ενέργεια και της κυματικής φύσης του φωτός γίνεται με τη σχέση:

$$E = h f$$

όπου  $h$  η σταθερά του Planck ( $6.626 \times 10^{-34}$  J s) και  $f$  η συχνότητα της ακτινοβολίας.

Το φως έχει ταυτόχρονα και κυματικές και σωματιδιακές ιδιότητες. Δεν παρουσιάζει ταυτόχρονα την κυματική και τη σωματιδιακή του φύση ενώ η κυματική και κβαντική θεωρία του φωτός είναι συμπληρωματικές.

## Μοντέλο Σωματίων

Τα ΗΜ κύματα σχετίζονται στενά με την ατομική δομή και την ενέργεια:

- Άτομο: +ne θετικά φορτισμένο πυρήνα (πρωτόνια + νετρόνια) & -ne φορτισμένα ηλεκτρόνια δεσμευμένα σε τροχιές
- Οι τροχιές ηλεκτρονίων είναι ορισμένες σε συγκεκριμένα επίπεδα, με κάθε επίπεδο να αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη ενέργεια των ηλεκτρονίων
- Αλλαγή της τροχιάς είτε απαιτεί ενέργεια (έργο), ή απελευθερώνει ενέργεια
- Απαιτείται ελάχιστη ενέργεια για να κινηθεί ένα ηλεκτρόνιο μέχρι ένα πλήρες επίπεδο ενέργειας (δεν μπορεί να έχει μετατόπιση στο μισό του επιπέδου ενέργειας)
- Μόλις μετατοπίζεται σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση, το άτομο είναι διεγερμένο και έχει δυναμική ενέργεια
- Η ενέργεια απελευθερώνεται με τη μορφή εκπομπής φωτονίων (χαρακτηριστικών του κάθε υλικού) όταν το ηλεκτρόνιο μεταπίπτει στο χαμηλότερο επίπεδο της ενέργειας

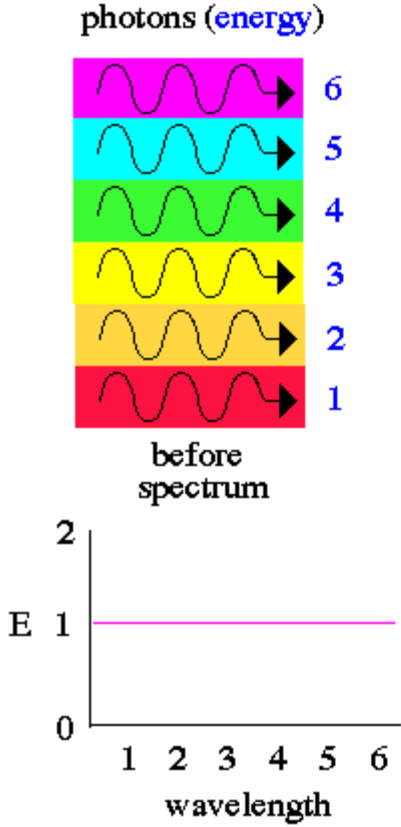
Orbit #	1	2	3	4	5	6	7							
Shell	K	L	M	N	O	P	Q							
Subshell	s	s	p	s	p	d	s	p	d	f	spdf	spdf	s	
# Electrons	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	32	32	2	
H <sup>1</sup>	1													
C <sup>6</sup>	2	2	2											
Si <sup>14</sup>	2	2	6	2	2									
Cu <sup>29</sup>	2	2	6	2	6	10	1							
Ag <sup>47</sup>	2	2	6	2	6	10	2	6	10	1				
U <sup>92</sup>	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2,6,10,3	2,6,1,0	2	

[http://www.tmeg.com/esp/e\\_orbit/orbit.htm](http://www.tmeg.com/esp/e_orbit/orbit.htm)

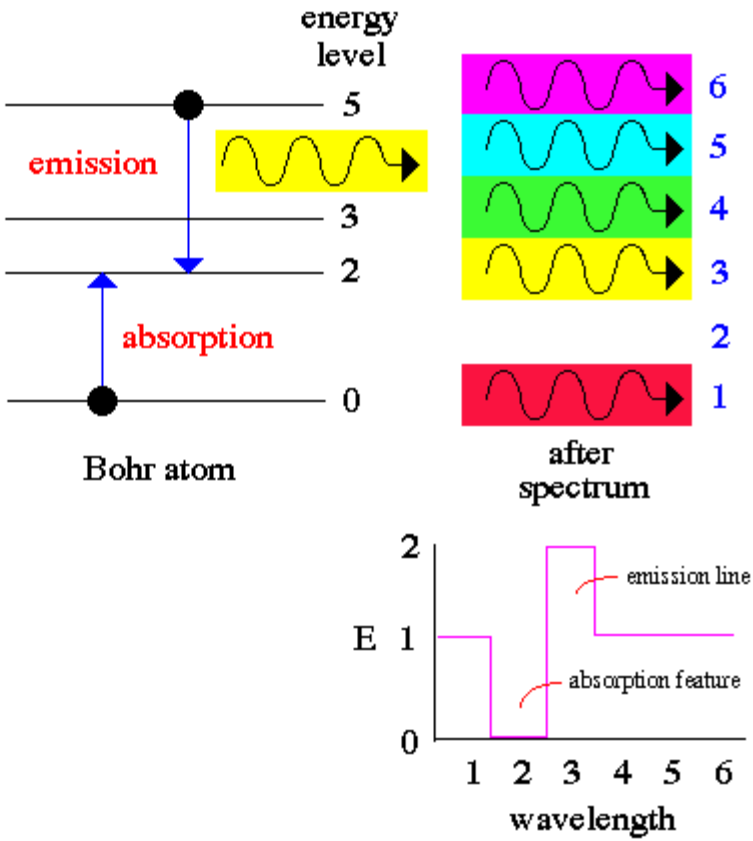
### Αυθόρμητη Εκπομπή

Ηλεκτρόνιο μεταβαίνει από υψηλότερη ενεργειακή στάθμη σε χαμηλότερη χωρίς την επίδραση εξωτερικού παράγοντα

### Μοντέλο Σωματίων



### Απορρόφηση-Εκπομπή



[http://abyss.uoregon.edu/~js/glossary/bohr\\_atom.html](http://abyss.uoregon.edu/~js/glossary/bohr_atom.html)

### Εξαναγκασμένη Εκπομπή

Ηλεκτρόνιο σε διεγερμένη κατάσταση και αποδιέγερση στη χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη όταν υποβληθεί στην επίδραση κατάλληλης ΗΜ ακτινοβολίας με παράλληλη εκπομπή φωτονίου ίσης ενέργειας (Laser).

## Μοντέλο Σωματίων

### Χρόνος Ζωής Διεγερμένων Καταστάσεων Αυθόρμητης Εκπομπής:

Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που βρίσκεται σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη μειώνεται με το χρόνο γραμμικά δηλαδή:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$\rightarrow \int \frac{dN}{N} = -\lambda \int dt \rightarrow \ln N = \lambda t + C \rightarrow N(t) = e^C \cdot e^{-\lambda \cdot t} \rightarrow N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

όπου  $N_0 = N(t=0)$  και  $\lambda$  η σταθερά χρόνου.

### Χρόνος Ημιζωής

$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\ln \left( \frac{1}{2} \right) = \ln \left( e^{-\lambda t_{1/2}} \right)$$

$$-0.6931 = -\lambda t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{0.6931}{\lambda}$$

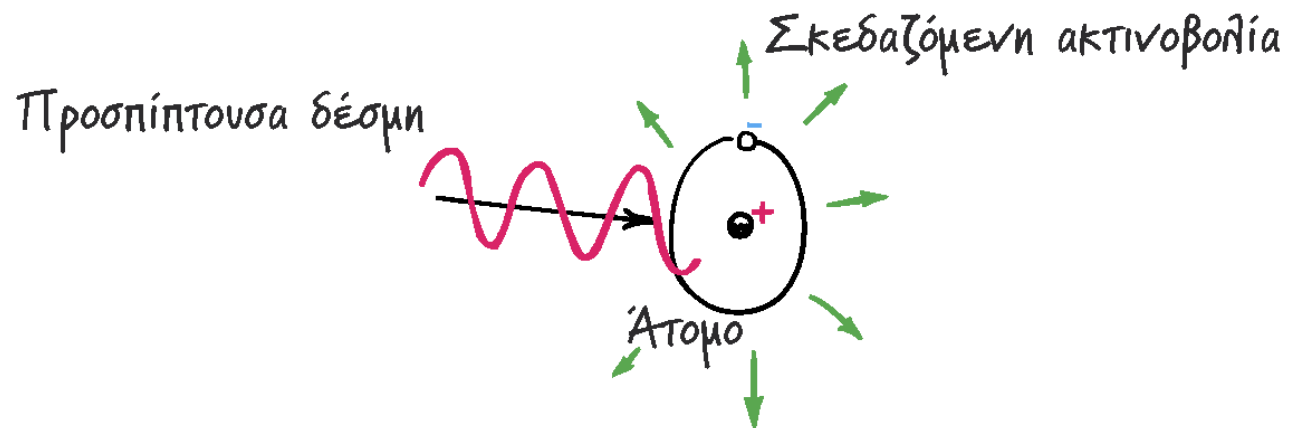
## Σκέδαση ΗΜ ακτινοβολίας

Η σκέδαση διαφέρει από την ανάκλαση καθώς η διεύθυνση της πρώτης δεν μπορεί να προβλεφθεί, σε αντίθεση με τη δεύτερη. Υπάρχουν κυρίως τέσσερεις τύποι της σκέδασης:

Ατμοσφαιρική  
σκέδαση

- Rayleigh (ελαστική σκέδαση με μόρια πολλές φορές μικρότερα από το μήκος κύματος της εισερχόμενης ΗΜ ακτινοβολίας)
- Mie (ελαστική σκέδαση με σφαιρικά μόρια με διάμετρο της ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος της εισερχόμενης ακτινοβολίας)
- Μη επιλεκτική (μήκος κύματος ΗΜ ακτινοβολίας πολλές φορές μικρότερο από τη διάμετρο των σωματιδίων)
- Compton (ανελαστική σκέδαση φωτονίου υψηλής ενέργειας (ακτίνες Χ, γ) από ημι-δεσμευμένο σωματίδιο, ιονισμός)

**ΕΙΚΟΝΑ 27.15** Μια δέσμη φωτός προσπίπτει σε ένα άτομο και αυξάνει την ταλαντωτική κίνηση των ηλεκτρονίων του. Τα ταλαντούμενα ηλεκτρόνια επανεκπέμπουν, ή αλλιώς σκεδάζουν, το φως προς διάφορες κατευθύνσεις.



## Διάδοση της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα

### Σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ΗΜ σκεδάζεται από τα άτομα και τα μόρια της ατμόσφαιρας είτε των αερίων ή των νεφών και των αερολυμάτων.

Η σκέδαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα διακρίνεται σε μοριακή σκέδαση, και σκέδαση από μεγαλύτερα σωμάτια, π.χ., αιωρήματα ή σταγονίδια νερού στα νέφη.

Ο φυσικός μηχανισμός της σκέδασης αφορά την αλληλεπίδραση της ΗΜ ακτινοβολίας με τα ηλεκτρόνια των μορίων, τα οποία υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου του κύματος ταλαντώνονται περί τη θέση ισορροπίας των με συχνότητα ίση με τη συχνότητα του κύματος. Έτσι, ενεργούν ως στοιχειώδη ηλεκτρικά δίπολα (ηλεκτρονικές κεραίες) που επανεκπέμπουν, και συνεπώς σκεδάζουν την ακτινοβολία σε διάφορες κατευθύνσεις, με προτίμηση κάποιες από αυτές, οι οποίες καθορίζονται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και το μέγεθος των σκεδαζόντων σωματίων.

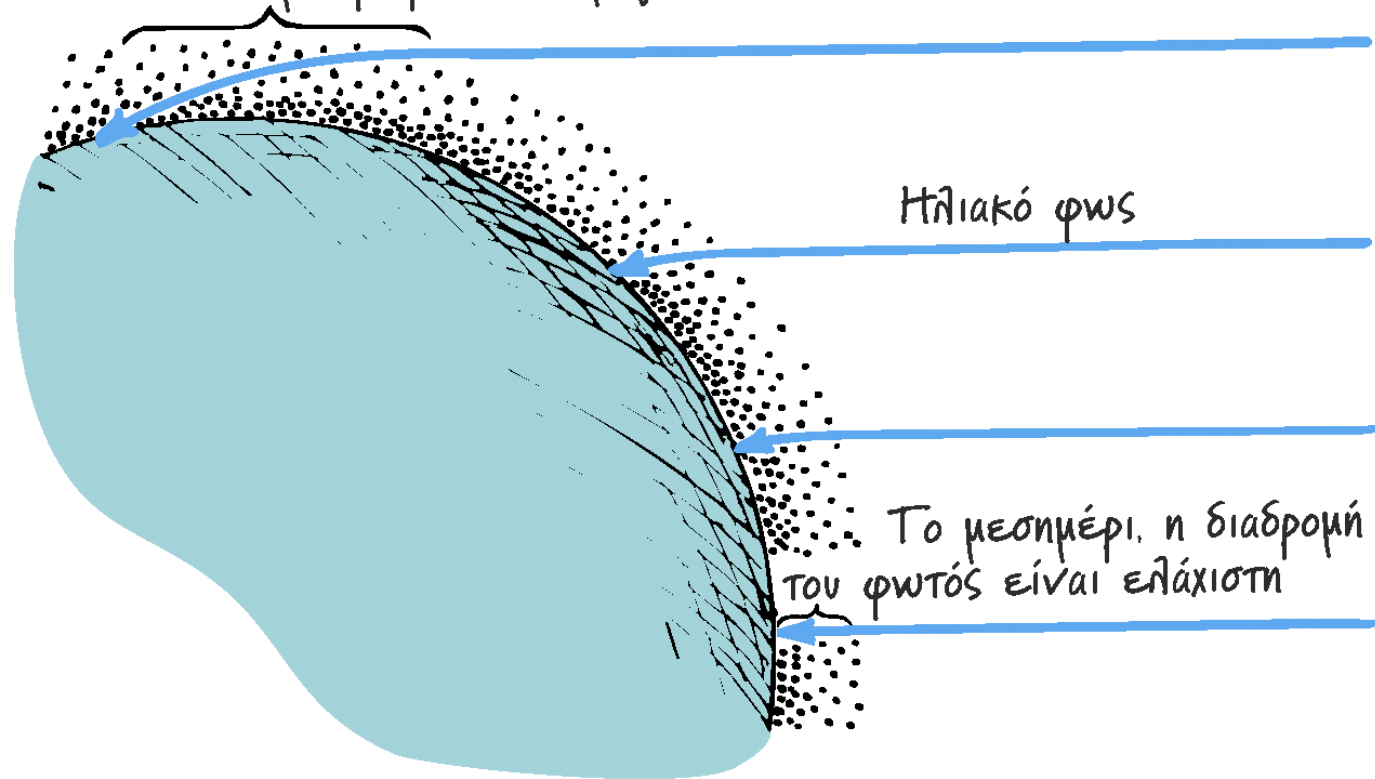
Η σκέδαση, σε αντίθεση με την απορρόφηση της ηλιακής ΗΜ ακτινοβολίας, είναι συνεχής (όχι διακριτή) συνάρτηση του μήκους κύματος



**ΕΙΚΟΝΑ 27.16** Όταν η ατμόσφαιρα είναι καθαρή, σκεδάζεται μόνο το φως υψηλής συχνότητας, με αποτέλεσμα ο ουρανός να φαίνεται γαλάζιος. Όταν είναι κατάφορτη από σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο του τυπικού μεγέθους ενός μορίου, σκεδάζεται επίσης το φως χαμηλότερων συχνοτήτων, και η προσθήκη αυτού του φωτός δίνει στον ουρανό ένα υπόλευκο χρώμα.



Κατά τη δύση (ή την ανατολή) του Ηλίου,  
η διαδρομή του ηλιακού φωτός μέσα από  
την ατμόσφαιρα είναι μεγίστη



**ΕΙΚΟΝΑ 27.17** Κατά τη δύση του Ηλίου, μια δέσμη ηλιακού φωτός πρέπει να διασχίσει μεγαλύτερο στρώμα ατμόσφαιρας απ' ό,τι το μεσημέρι μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια της Γης. Επομένως, κατά τη δύση του Ηλίου σκεδάζεται μεγαλύτερο ποσοστό μπλε φωτός από τη δέσμη σε σχέση με το μεσημέρι. Έτσι, όταν φτάνει στο έδαφος μια δέσμη αρχικά λευκού φωτός, οι μόνες συνιστώσες φωτός που έχουν απομείνει σε αυτήν είναι εκείνες με τις χαμηλότερες συχνότητες, με αποτέλεσμα το ηλιοβασίλεμα να φαίνεται κόκκινο.

**ΕΙΚΟΝΑ 27.18** Τα σύννεφα αποτελούνται από σταγονίδια νερού διαφόρων διαστάσεων. Τα μικρότερα από αυτά σκεδάζουν το μπλε φως, τα λίγο μεγαλύτερα το πράσινο, και τα ακόμη μεγαλύτερα το κόκκινο, με αποτέλεσμα το σύννεφο να φαίνεται λευκό.

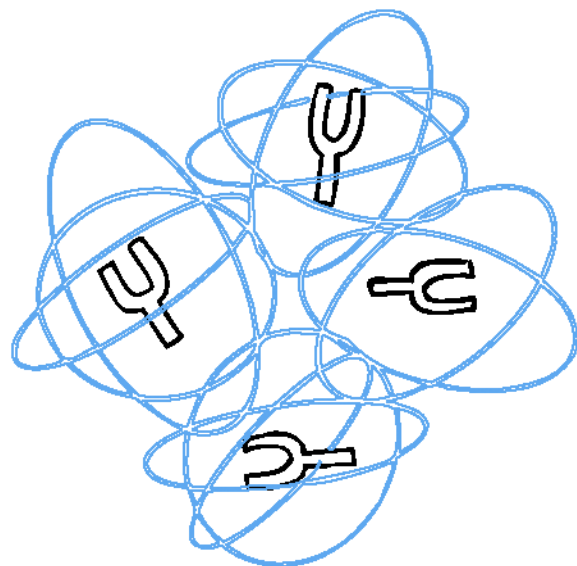




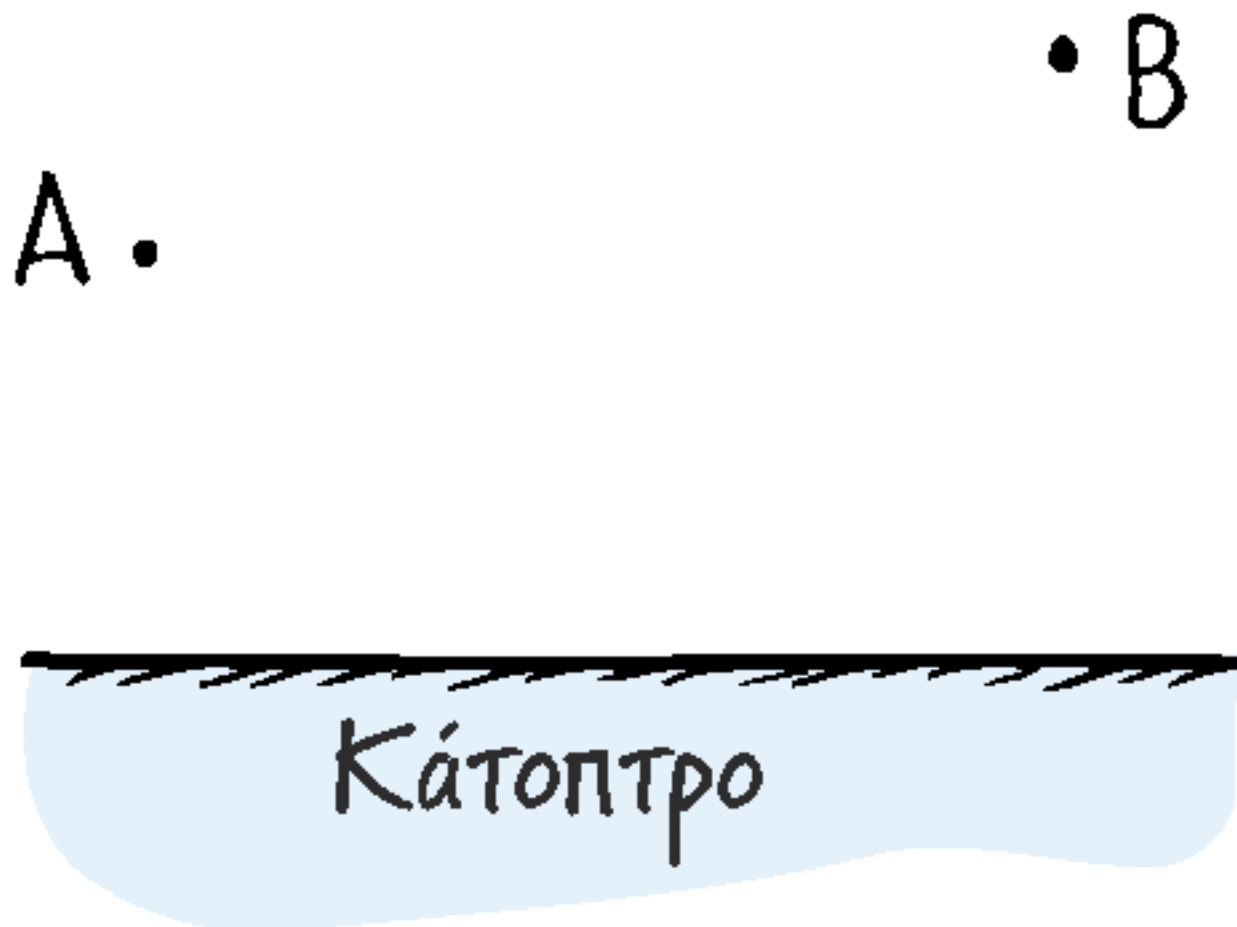
**ΕΙΚΟΝΑ 27.19** Το νερό έχει χρώμα τυρκουάζ (γαλαζοπράσινο) επειδή απορροφά περισσότερο το κόκκινο φως. Ο αφρός των κυμάτων έχει λευκό χρώμα επειδή, ακριβώς όπως και τα σύννεφα, αποτελείται από μικροσκοπικά σταγονίδια νερού διαφόρων διαστάσεων, τα οποία σκεδάζουν όλες τις συχνότητες του ορατού φωτός.



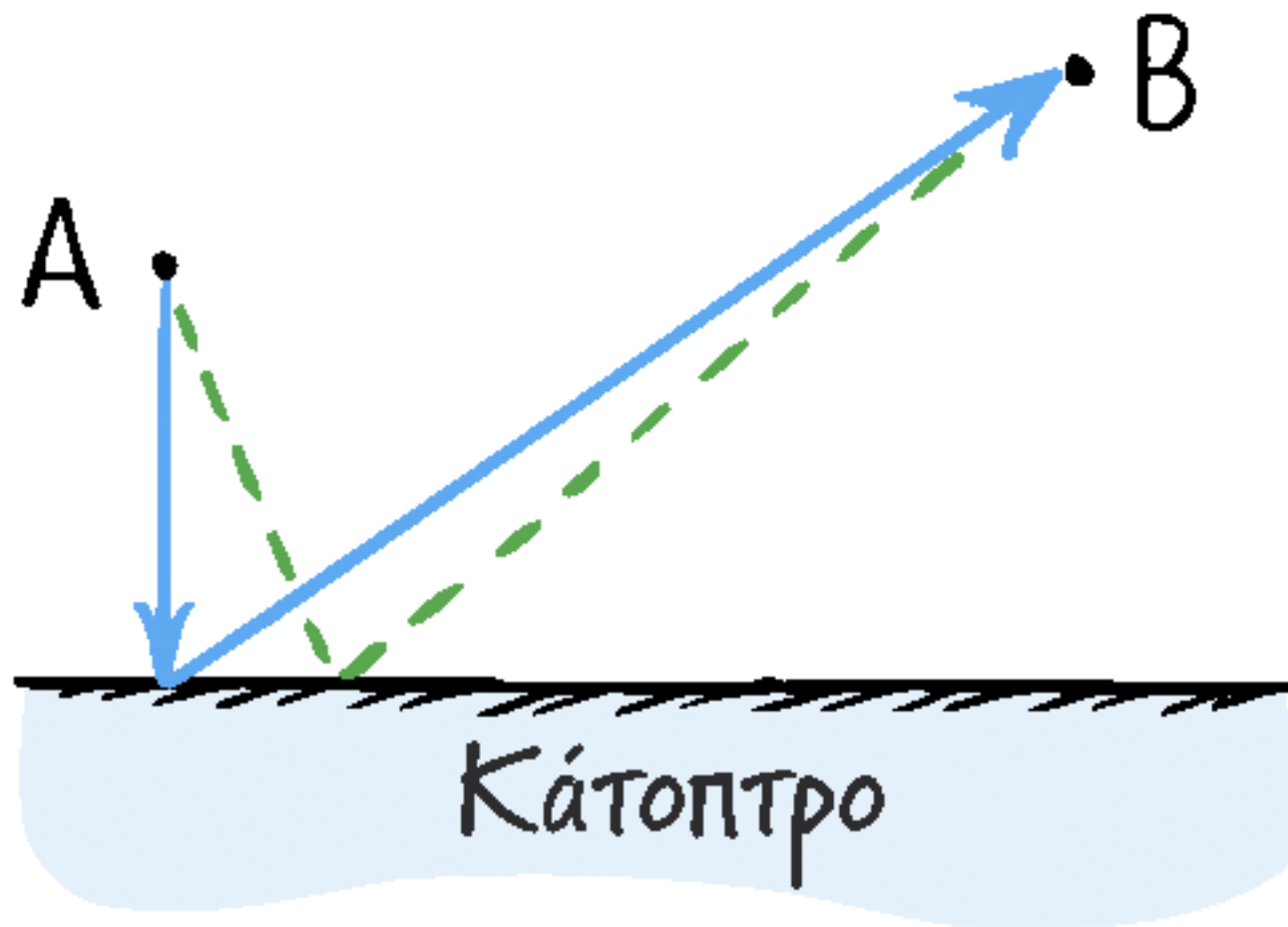
**ΕΙΚΟΝΑ 27.20** Στα φτερά της γαλάζιας αμερικανικής κίσσας δεν υπάρχουν χρωστικές ουσίες γαλάζιου χρώματος. Αντ' αυτού, στις ακίδες των φτερών της υπάρχουν μικροσκοπικά κυψελώδη κύτταρα τα οποία σκεδάζουν το φως – κυρίως το υψίσυχνο. Επομένως, το χρώμα της κίσσας είναι γαλάζιο για τον ίδιο λόγο που είναι γαλάζιος ο ουρανός – λόγω σκέδασης.



**ΕΙΚΟΝΑ 28.1** Το φως αλληλεπιδρά με τα άτομα όπως ο ήχος αλληλεπιδρά με τα διαπασών.

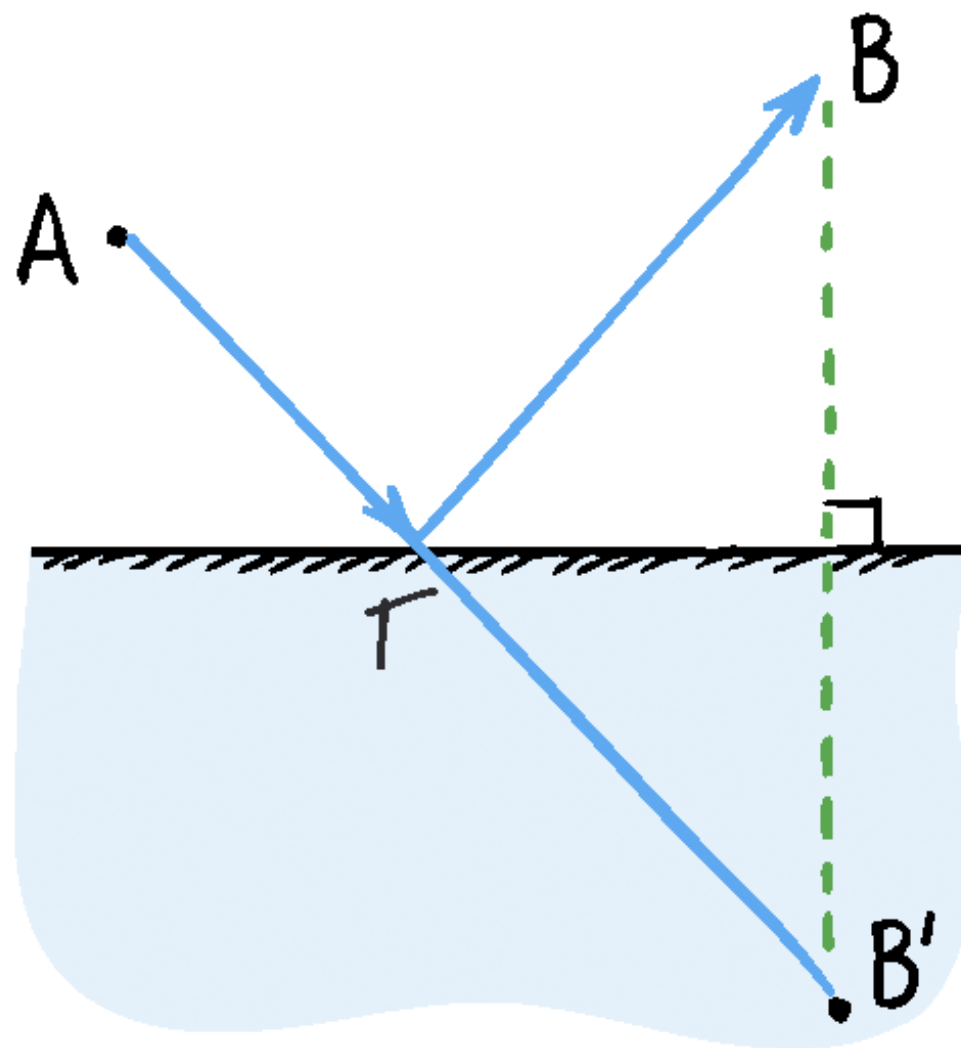


**ΕΙΚΟΝΑ 28.2**

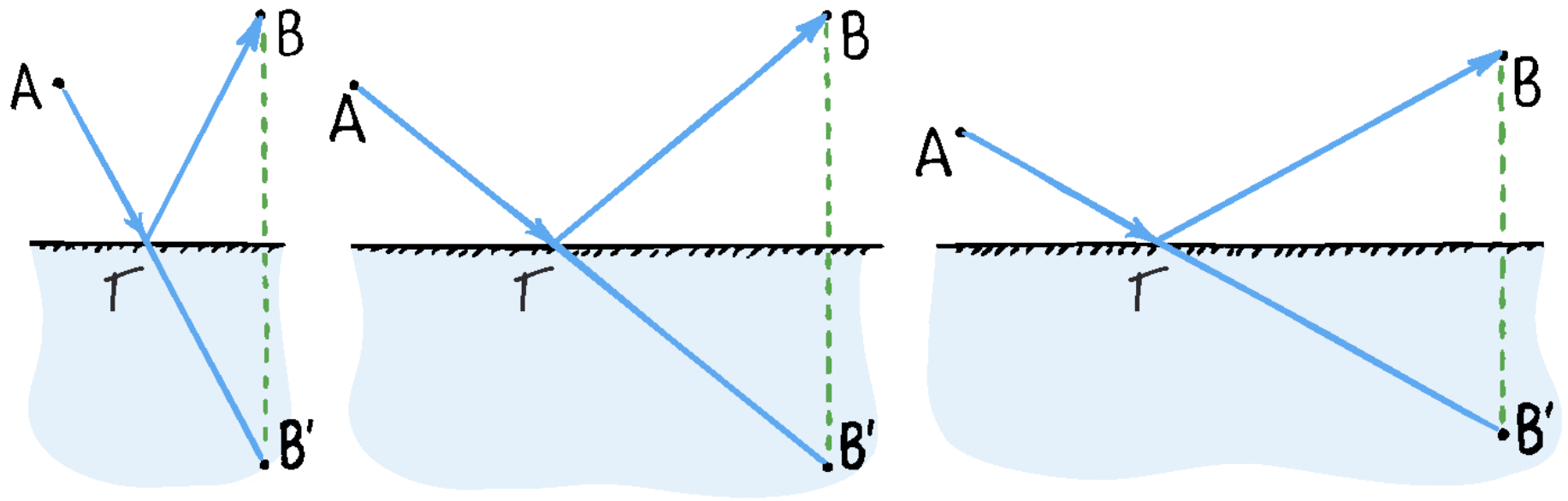


**ΕΙΚΟΝΑ 28.3**

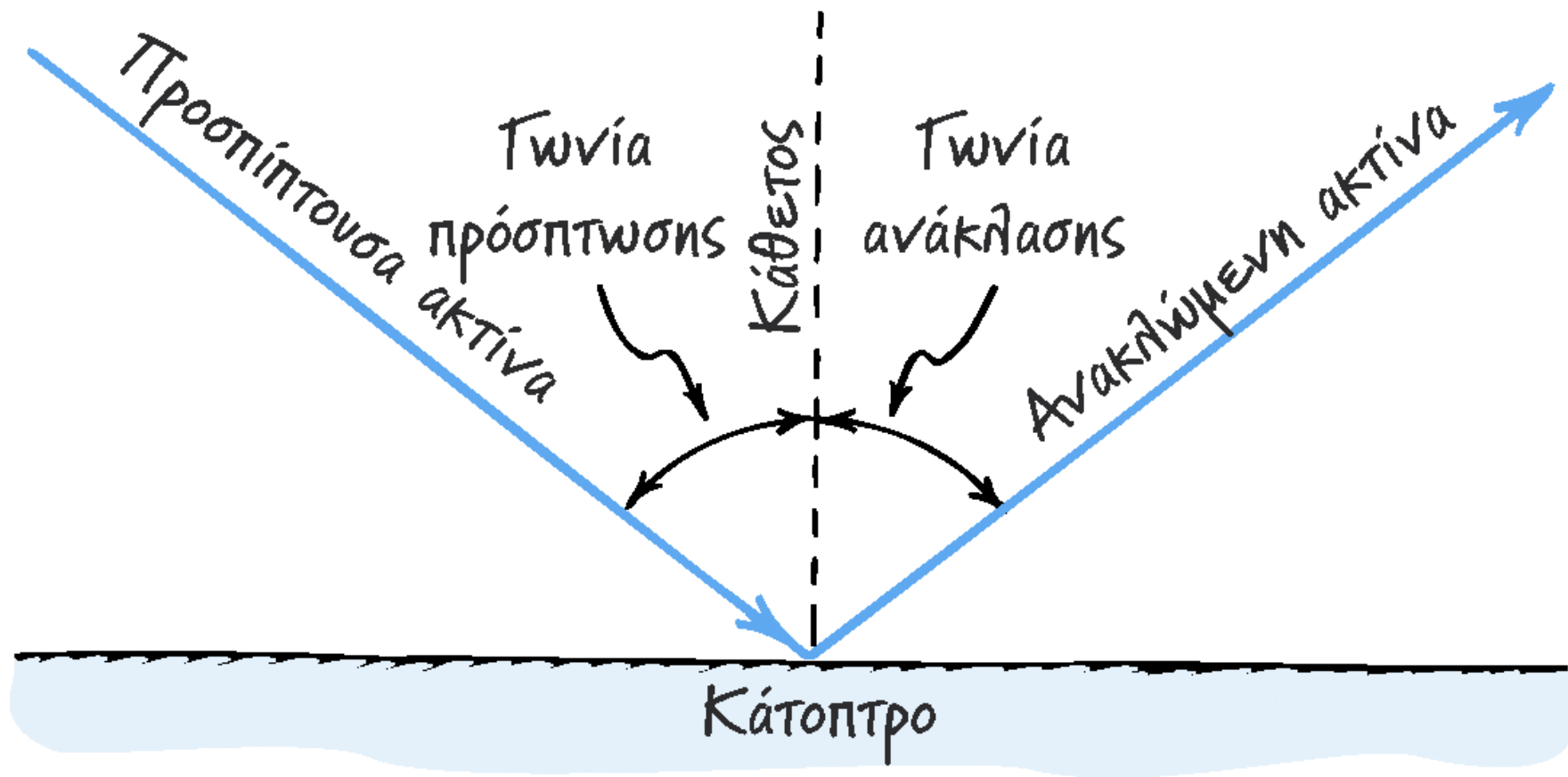




**ΕΙΚΟΝΑ 28.4**



**ΕΙΚΟΝΑ 28.5** Ανάκλαση.



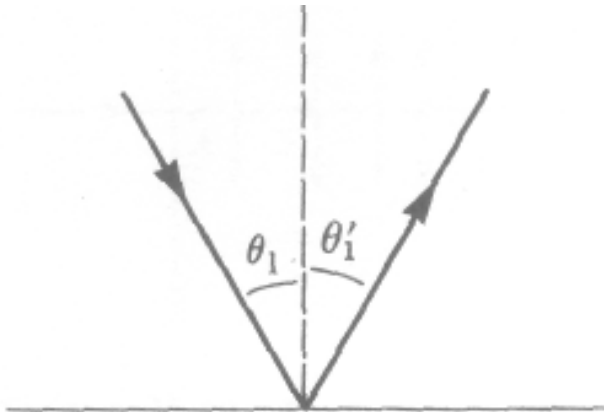
**ΕΙΚΟΝΑ 28.6** Ο νόμος της ανάκλασης.

# Διάδοση Κύματος σε Διαφορετικά Μέσα

## Αρχή του Huygens για Επίπεδο Κύμα

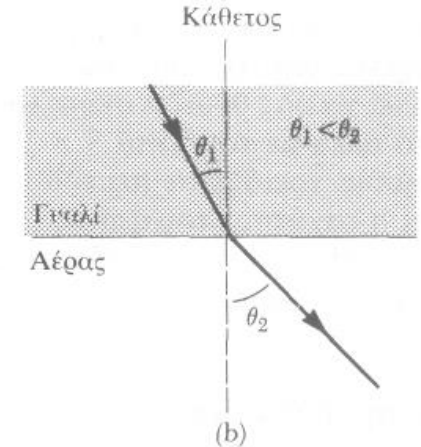
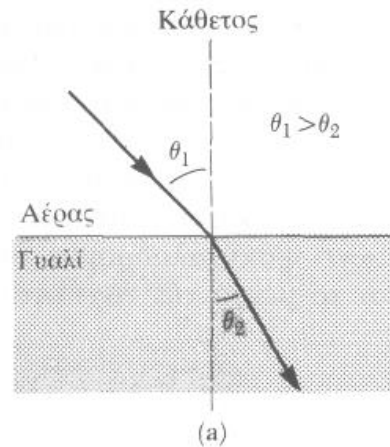
Το κυματικό μέτωπο είναι μια ισοφασική επιφάνεια, δηλαδή μια επιφάνεια στην οποία τα σημεία του κύματος τα οποία περιέχει βρίσκονται σε φάση. Κάθε σημείο αποτελεί πηγή δευτερογενών κυμάτων. Με κέντρο τις δευτερεύουσες αυτές πηγές τα κύματα διαδίδονται ως κύκλοι ακτίνας  $r=c \Delta t$  όπου  $c$  είναι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός και  $\Delta t$  ο χρόνος διάδοσης από το ένα κυματικό μέτωπο σε ένα άλλο

### Νόμος ανάκλασης

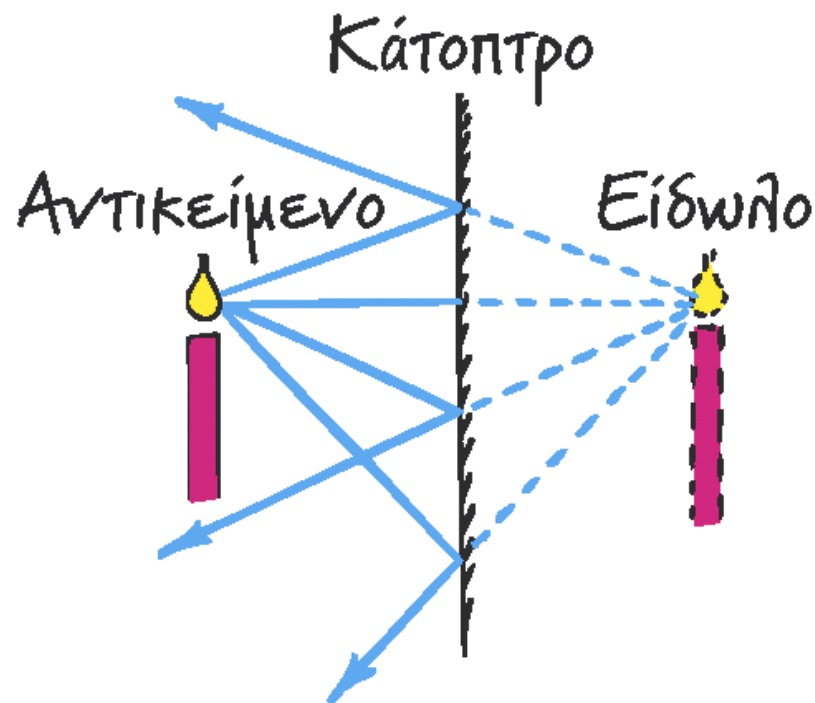


$$\theta_1 = \theta'_1$$

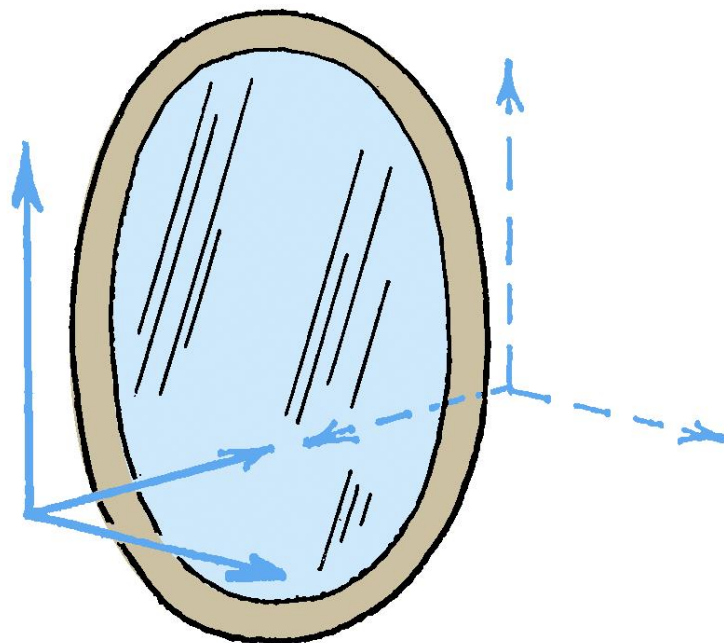
### Νόμος Snell της Διάθλασης



$$n_1 \cdot \sin \theta_2 = n_2 \cdot \sin \theta_1$$

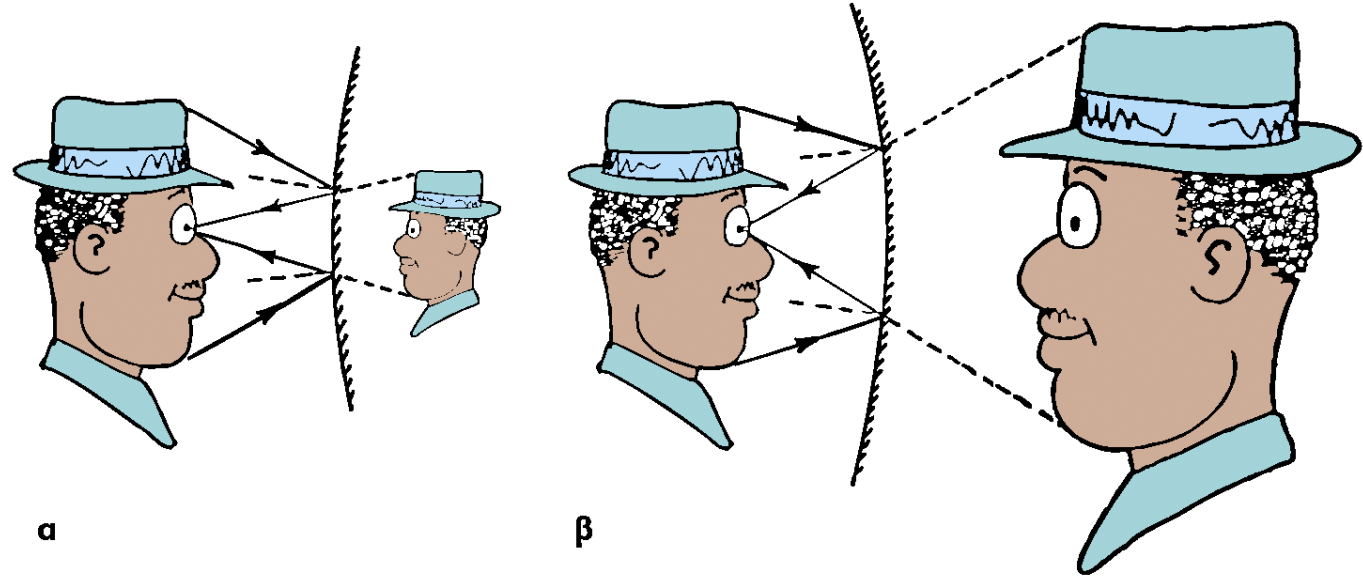


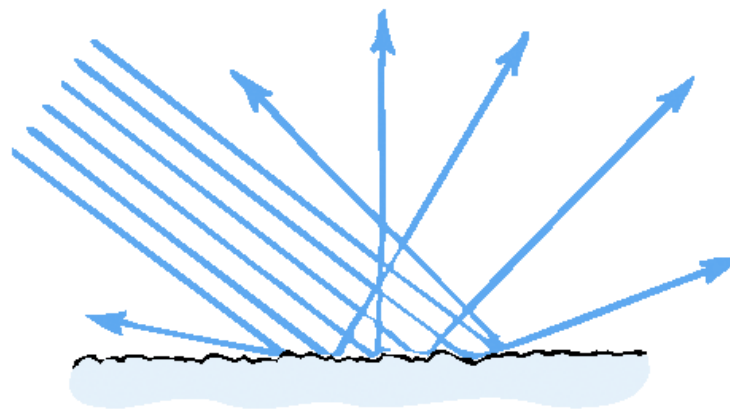
**ΕΙΚΟΝΑ 28.7** Πίσω από το κάτοπτρο, στο σημείο όπου συγκλίνουν οι προεκτάσεις των ανακλώμενων ακτίνων (διακεκομμένες γραμμές), σχηματίζεται ένα φανταστικό είδωλο.



**ΕΙΚΟΝΑ 28.8** Το είδωλο της Μάρτζορυ «απέχει» από την πίσω όψη του καθρέφτη όσο απέχει η ίδια από την μπροστινή όψη. Σημειώστε ότι τα ρούχα της ίδιας και του ειδώλου έχουν το ίδιο χρώμα – απόδειξη ότι η συχνότητα του φωτός δεν μεταβάλλεται με την ανάκλαση. Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο άξονας «αριστερά-δεξιά» (δηλ. ο οριζόντιος άξονας παράλληλα προς την επιφάνεια του καθρέφτη) δεν αντιστρέφεται, όπως βέβαια δεν αντιστρέφεται και ο άξονας «πάνω-κάτω» (δηλ. ο κατακόρυφος). Ο άξονας που αντιστρέφεται, όπως βλέπουμε στο σχήμα δεξιά, είναι ο άξονας «πίσω-μπρος» (ο οριζόντιος άξονας κάθετα προς την επιφάνεια του καθρέφτη). Αυτός είναι και ο λόγος που το είδωλο του αριστερού της χεριού είναι το δεξί χέρι του ειδώλου της.

**ΕΙΚΟΝΑ 28.9** (α) Το φανταστικό είδωλο που σχηματίζεται από *κυρτό* κάτοπτρο (δηλ. κάτοπτρο που καμπυλώνεται προς τα έξω) είναι μικρότερο από το αντικείμενο και βρίσκεται πιο κοντά στο κάτοπτρο απ' ό,τι αυτό. (β) Σε *κοίλο* κάτοπτρο (δηλ. κάτοπτρο που καμπυλώνεται προς τα μέσα, σχηματίζοντας «κοιλότητα»), το φανταστικό είδωλο είναι μεγαλύτερο από το αντικείμενο και βρίσκεται πιο μακριά από το κάτοπτρο. Και στις δύο περιπτώσεις, ο νόμος της ανάκλασης ισχύει για κάθε φωτεινή ακτίνα.



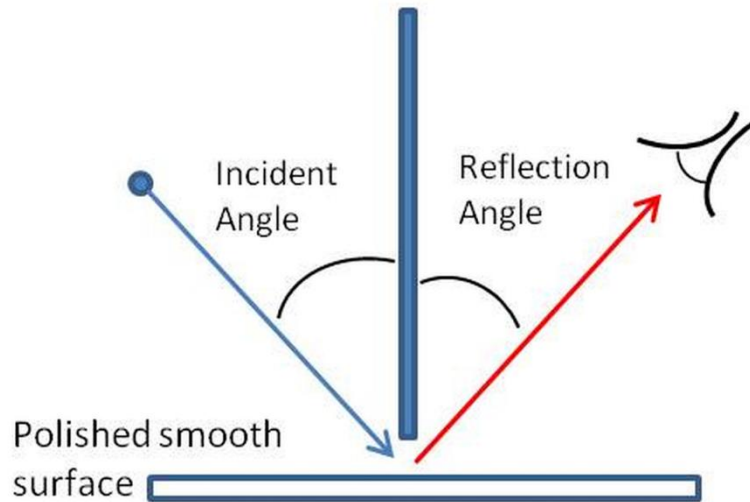


**ΕΙΚΟΝΑ 28.10** Διάχυτη ανάκλαση. Μολονότι η κάθε ακτίνα υπακούει στον νόμο της ανάκλασης, λόγω των πολλών διαφορετικών προσανατολισμών που έχουν τα διάφορα μικρά τμήματα μιας τραχιάς επιφάνειας, οι φωτεινές ακτίνες που προσπίπτουν σε μια τέτοια επιφάνεια ανακλώνται σε πολλές κατευθύνσεις.

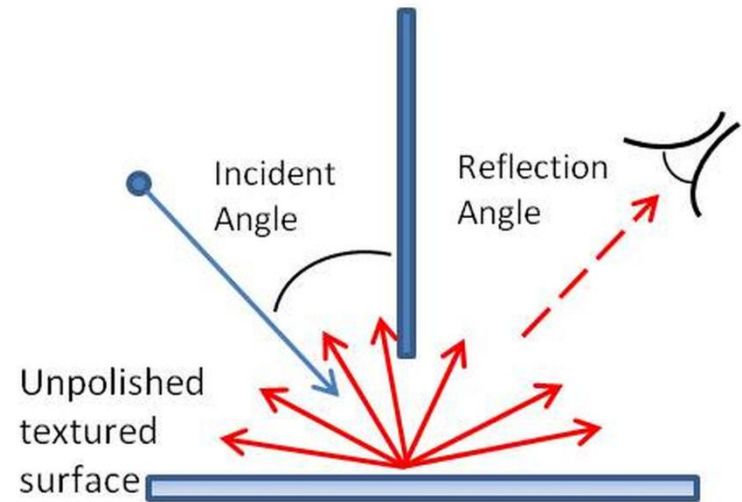


# Διάδοση Κύματος σε Διαφορετικά Μέσα

Specular Reflection



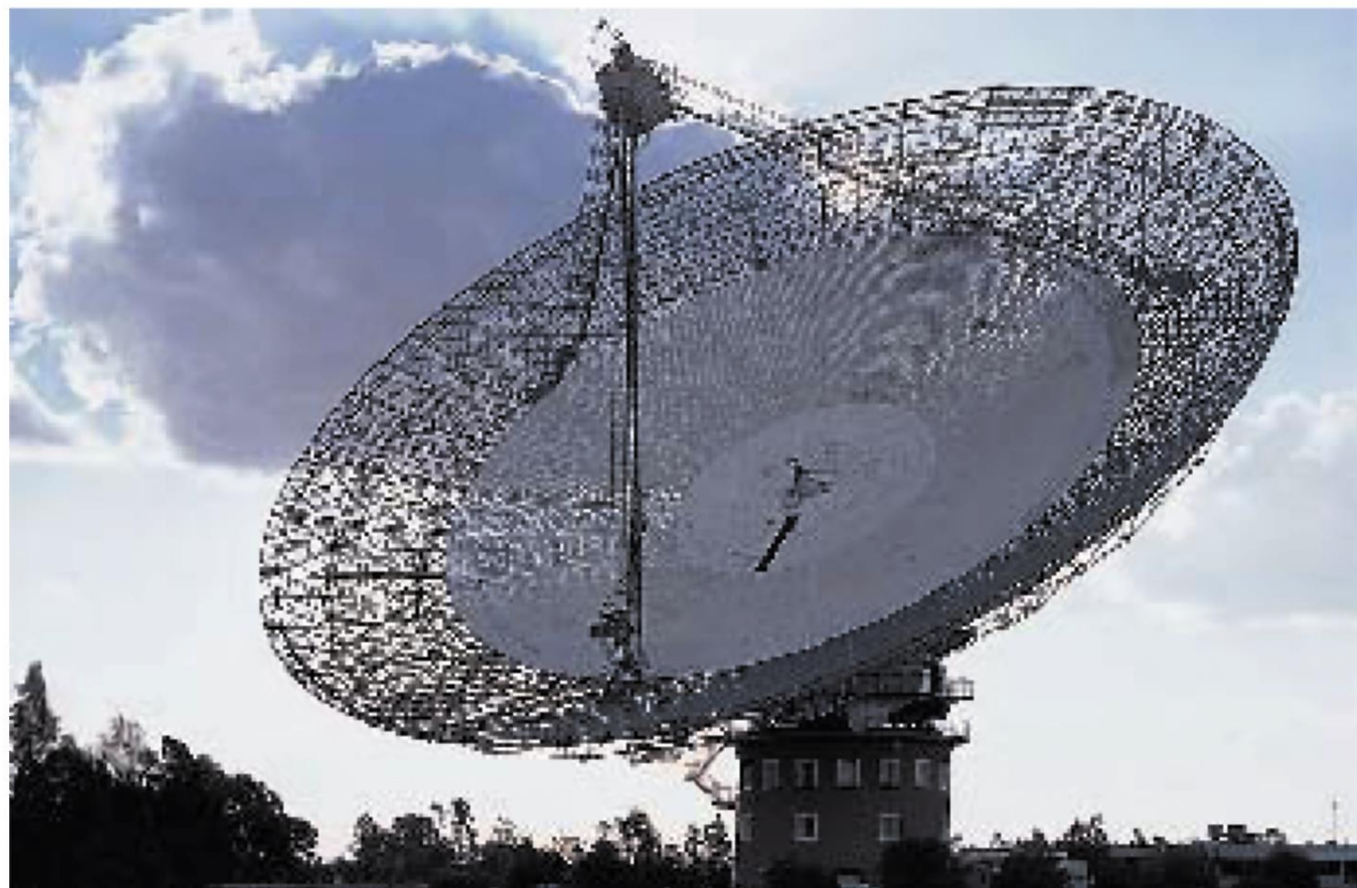
Diffuse Reflection

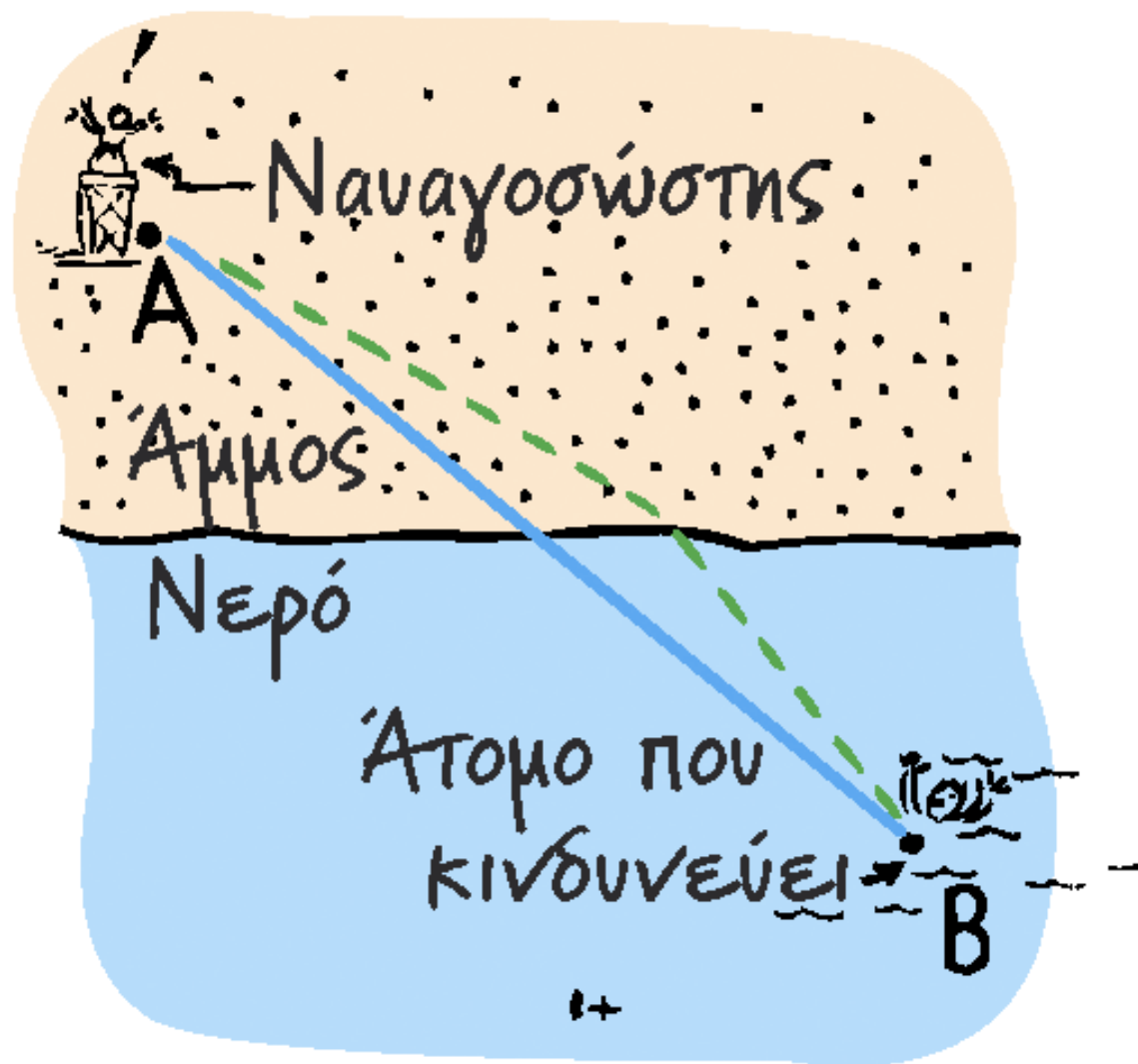


## Διαφορετικά είδη επιφανειών ανάκλασης:

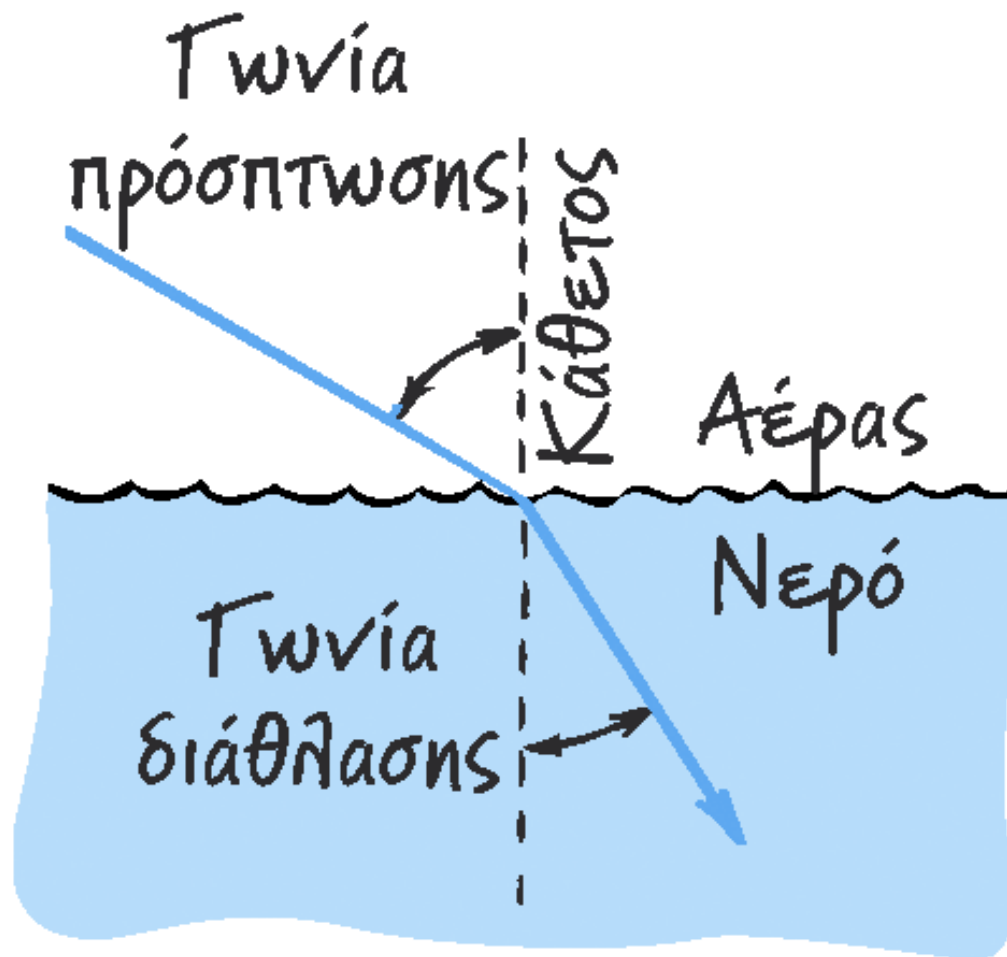
- Ανάκλαση (specular reflection): επιφάνεια λεία (το μέσο προφίλ της επιφάνειας είναι πολλές φορές μικρότερο από το μήκος της ακτινοβολίας που χτυπά την επιφάνεια)
- Επιφάνεια τραχύς: ανακλώμενες ακτίνες προς διάφορες κατευθύνσεις, εξαρτώμενες από τον προσανατολισμό της επιφάνειας. Η ακτινοβολία διαχέεται όπως συμβαίνει στην περίπτωση του άσπρου χαρτιού και άσπρων υλικών.
- Επιφάνεια πολύ τραχύς: Δεν υπάρχουν μεμονωμένες επιφάνειες ανάκλασης και συμβαίνει σκέδαση. Στην τέλεια επιφάνεια Lambertian η ροή μετά την επιφάνεια είναι σταθερή για κάθε γωνία της ανάκλασης στην κάθετη στην επιφάνεια

**ΕΙΚΟΝΑ 28.11** Ο δικτυωτός παραβολοειδής δίσκος ανακλά διάχυτα το μικρού μήκους κύματος ορατό φως, αλλά είναι λείος για τα μεγάλου μήκους κύματος ραδιοκύματα.

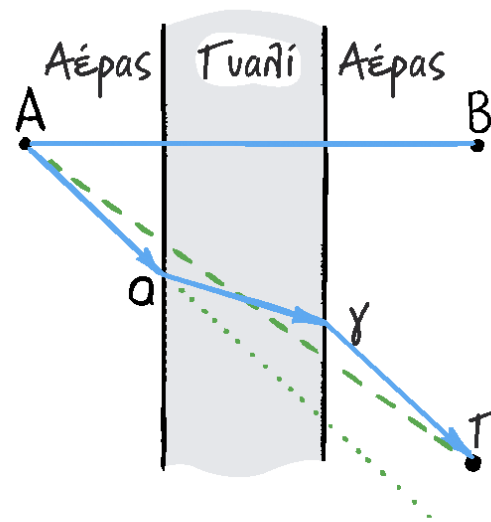




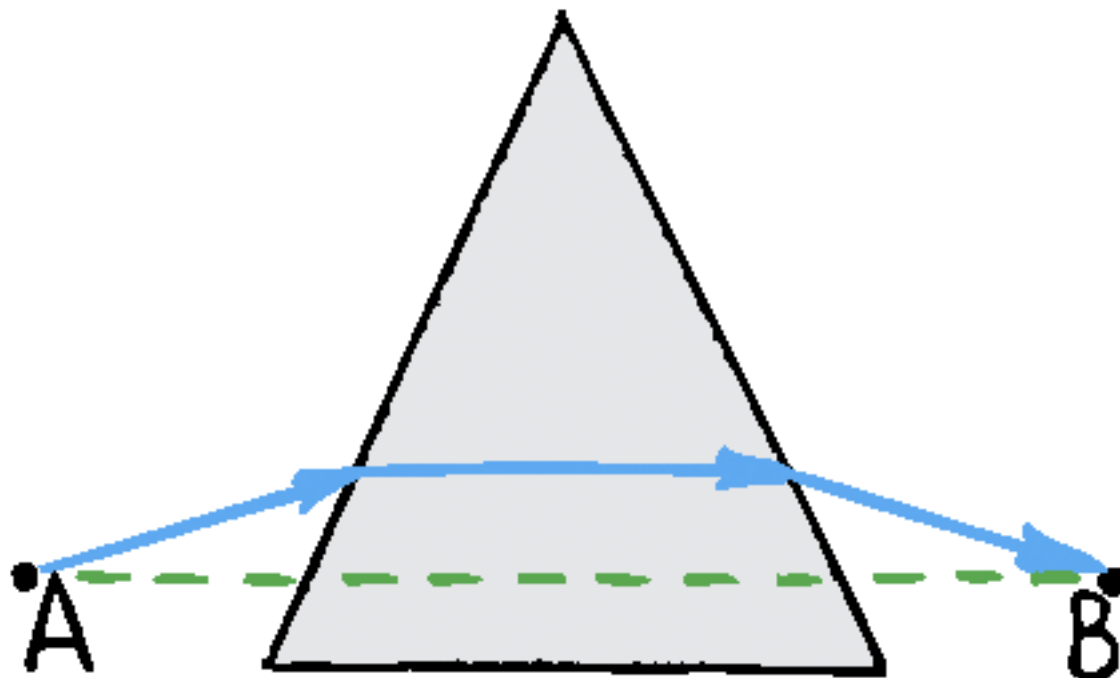
**ΕΙΚΟΝΑ 28.13** Διάθλαση.



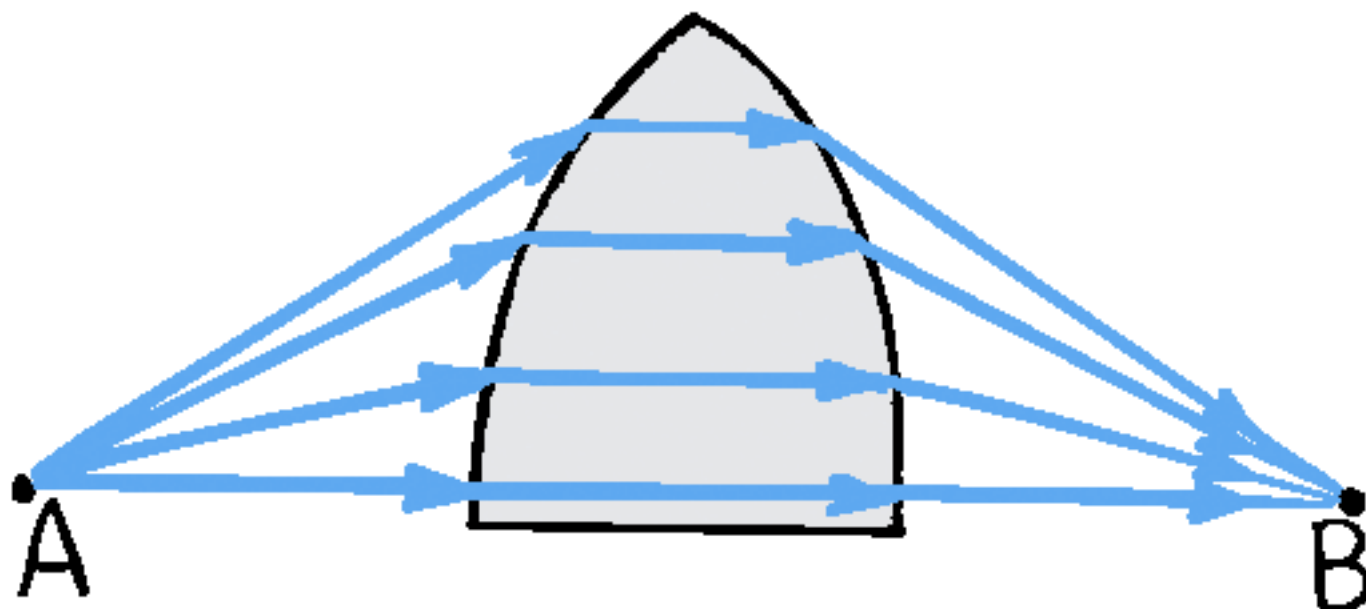
**ΕΙΚΟΝΑ 28.14** Διάθλαση.



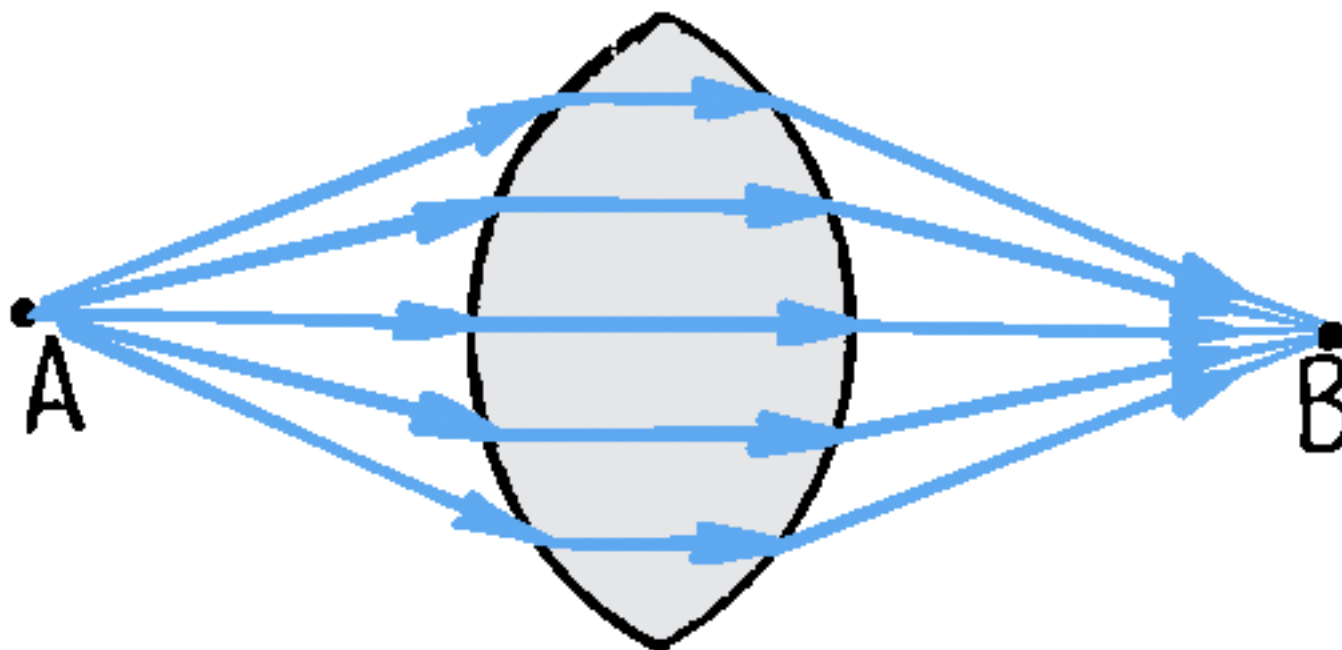
**ΕΙΚΟΝΑ 28.15** Διάθλαση σε γυαλί. Παρ' όλο που η μικρότερη διαδρομή είναι αυτή που αναπαριστά η διακεκομμένη γραμμή ΑΓ, το φως διανύει λίγο μεγαλύτερη απόσταση στον αέρα πηγαίνοντας από το σημείο Α στο σημείο α, στη συνέχεια μικρότερη απόσταση μέσα στο γυαλί μέχρι το σημείο γ, και κατόπιν συνεχίζει μέχρι το σημείο Γ. Η εξερχόμενη φωτεινή ακτίνα είναι μετατοπισμένη σε σχέση με την προσπίπτουσα, αλλά παράλληλη με αυτήν.



**ΕΙΚΟΝΑ 28.16** Πρίσμα.



**ΕΙΚΟΝΑ 28.17** Καμπύλο πρίσμα.



**ΕΙΚΟΝΑ 28.18** Συγκλίνων φα-  
κός.



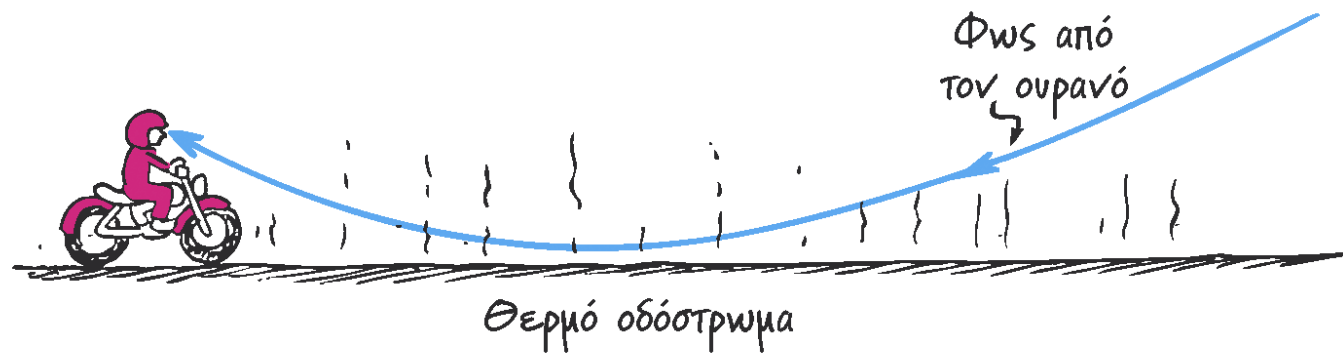


**ΕΙΚΟΝΑ 28.19** Λόγω της ατμοσφαιρικής διάθλασης, όταν ο Ήλιος βρίσκεται κοντά στον ορίζοντα φαίνεται πιο ψηλά στον ουρανό.

**ΕΙΚΟΝΑ 28.20** Το σχήμα του ηλιακού δίσκου παραμορφώνεται λόγω διαφορετικής διάθλασης.

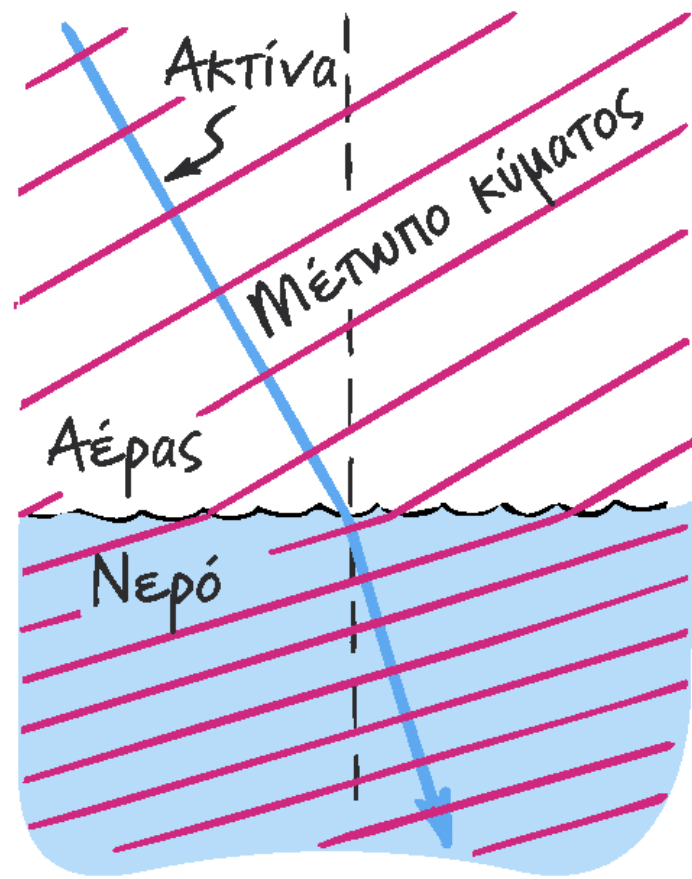


**ΕΙΚΟΝΑ 28.21** Το φως από τον ουρανό κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα στον αέρα που βρίσκεται κοντά στο έδαφος, επειδή ο αέρας αυτός είναι θερμότερος και πιο αραιός από τον υπερκείμενο αέρα. Όταν το φως περνά «ξυστά» από το έδαφος και κάμπτεται προς τα πάνω, ο παρατηρητής βλέπει έναν αντικατοπτρισμό.

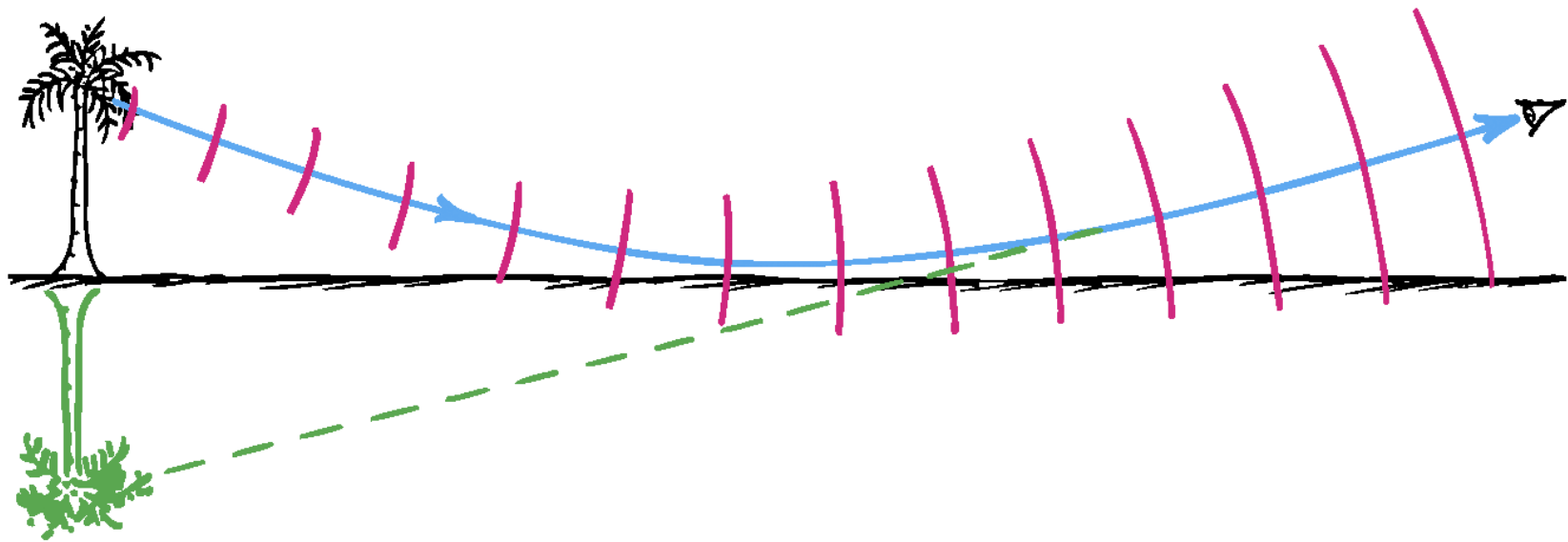


**ΕΙΚΟΝΑ 28.22** Ένας αντικατοπτρισμός. Ο λόγος που το οδόστρωμα φαίνεται βρεγμένο δεν είναι η ανάκλαση του ουρανού σε νερό, αλλά η διάθλαση του φωτός από τον ουρανό στον θερμότερο και λιγότερο πυκνό αέρα κοντά στην επιφάνεια του οδοστρώματος.

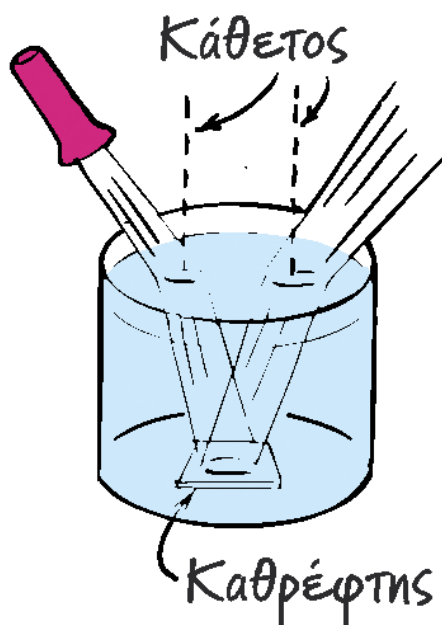




**ΕΙΚΟΝΑ 28.24** Όταν το ένα μέρος ενός φωτεινού κύματος επιβραδύνεται πριν από το άλλο, η κατεύθυνση διάδοσης του κύματος μεταβάλλεται.

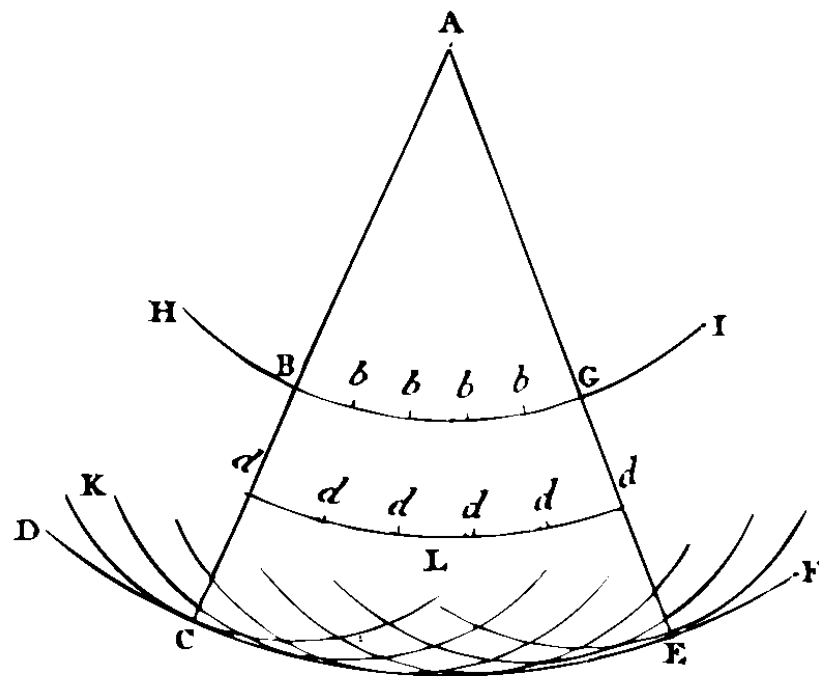
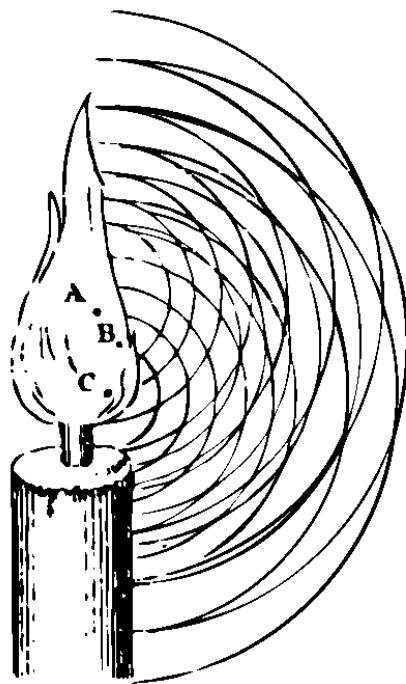


**ΕΙΚΟΝΑ 28.25** Η κυματική εξήγηση του αντικατοπτρισμού. Τα κατώτερα τμήματα των κυματικών μετώπων του φωτός κινούνται ταχύτερα στον θερμό αέρα που βρίσκεται κοντά στο έδαφος, με αποτέλεσμα το κύμα να κάμπτεται προς τα πάνω.

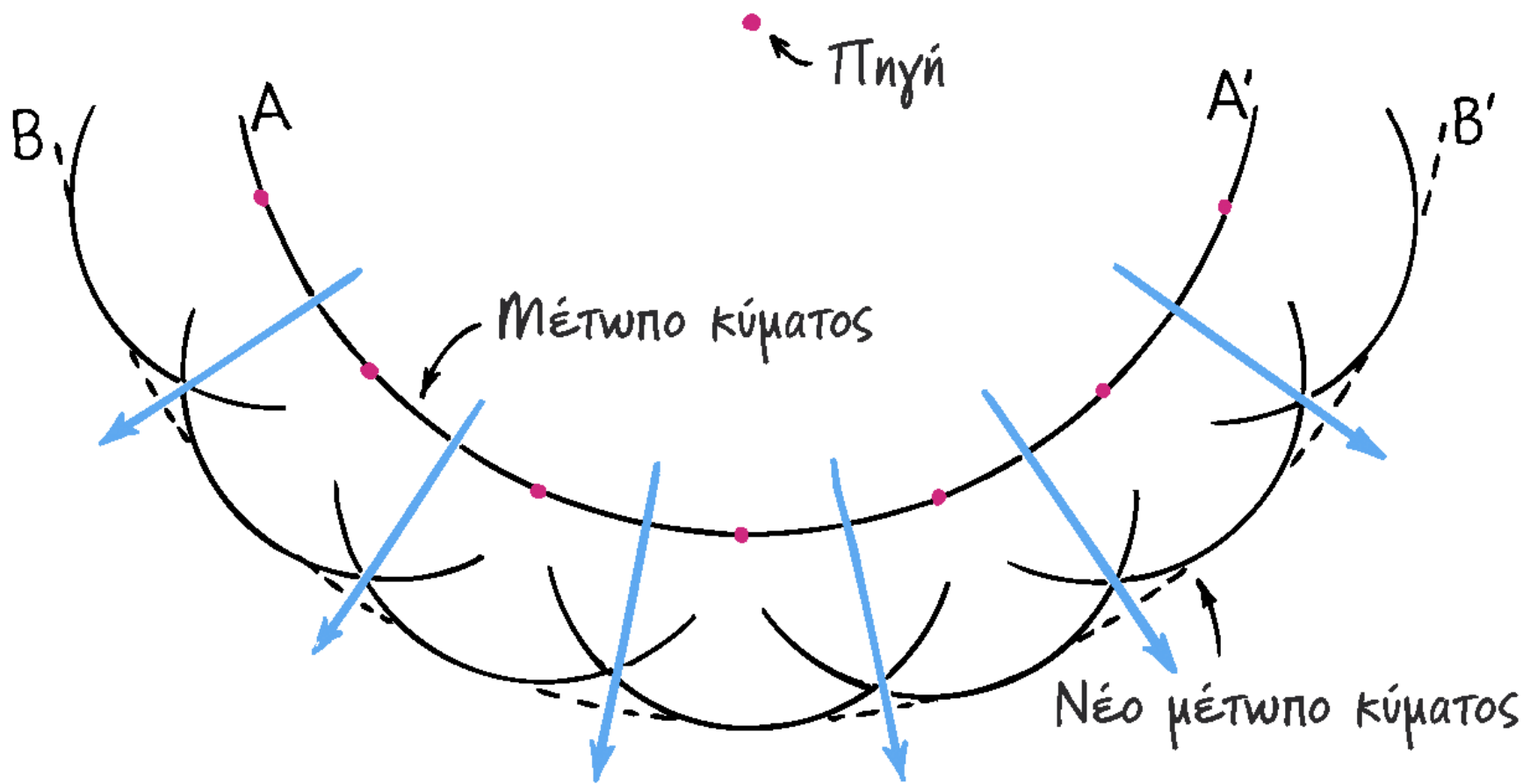


**ΕΙΚΟΝΑ 28.26** Όταν το φως επιβραδύνεται μεταβαίνοντας από το ένα μέσο στο άλλο, όπως συμβαίνει όταν πηγαίνει από τον αέρα στο νερό, εκτρέπεται προς την κάθετο. Όταν επιταχύνεται μεταβαίνοντας από το ένα μέσο στο άλλο, όπως συμβαίνει όταν πηγαίνει από το νερό στον αέρα, απομακρύνεται από την κάθετο.

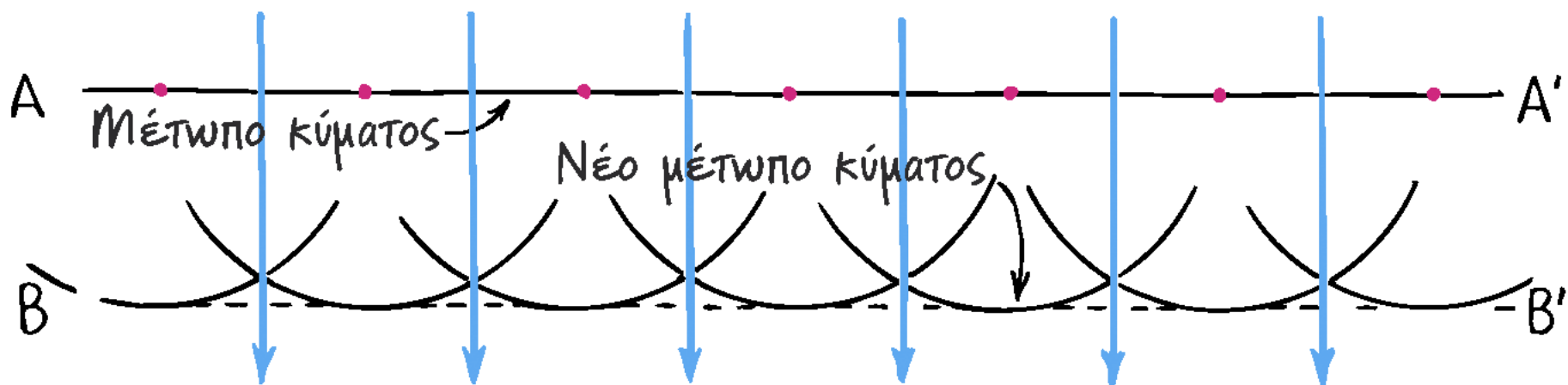
**ΕΙΚΟΝΑ 29.2** Τα σχέδια αυτά είναι από το βιβλίο του Χούχενς *Traité de la lumière* («Πραγματεία περί φωτός»). Το φως από την πηγή A εξαπλώνεται σε μορφή μετώπων κύματος, κάθε σημείο των οποίων δρα ως νέα πηγή κυμάτων. Τα δευτερογενή κυματίδια που ξεκινούν από τα σημεία  $b, b, b, b$  σχηματίζουν ένα νέο μέτωπο κύματος ( $d, d, d, d$ ): τα δευτερογενή κυματίδια που ξεκινούν από τα σημεία  $d, d, d, d$  σχηματίζουν ένα άλλο νέο μέτωπο κύματος (DCEF).



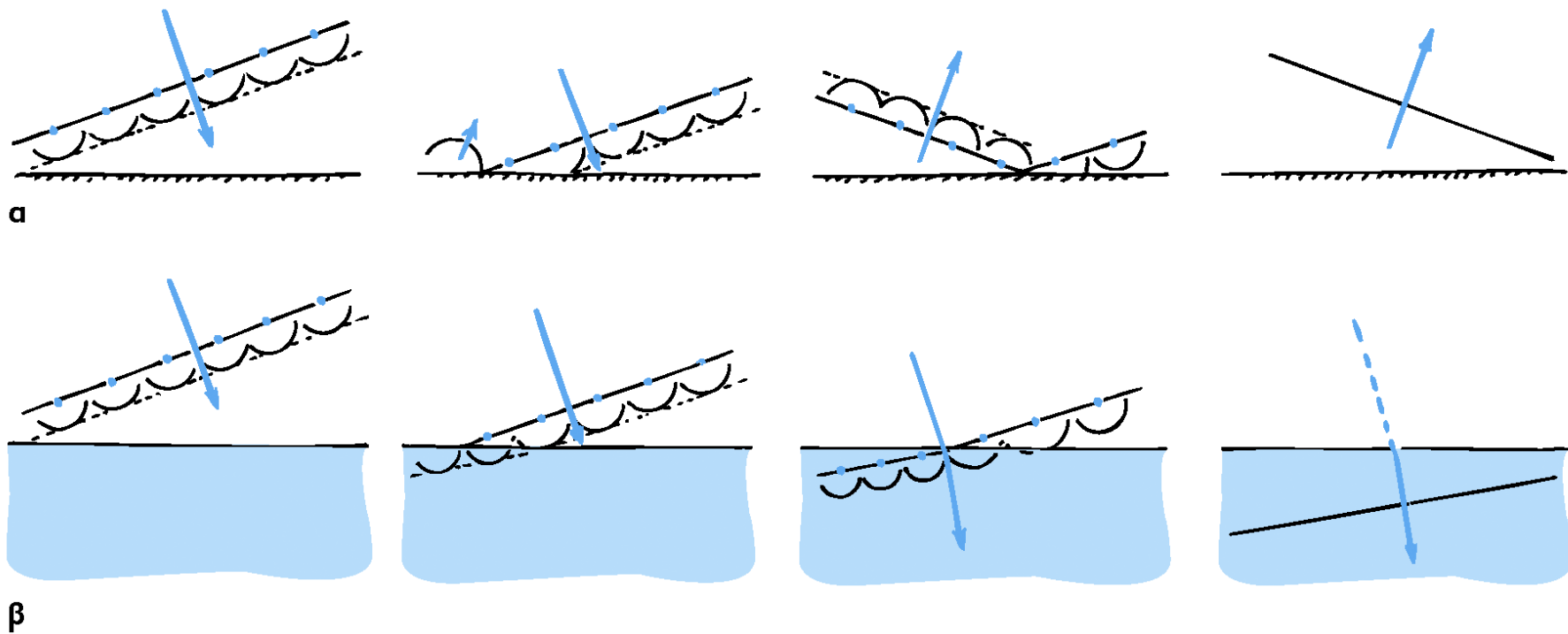




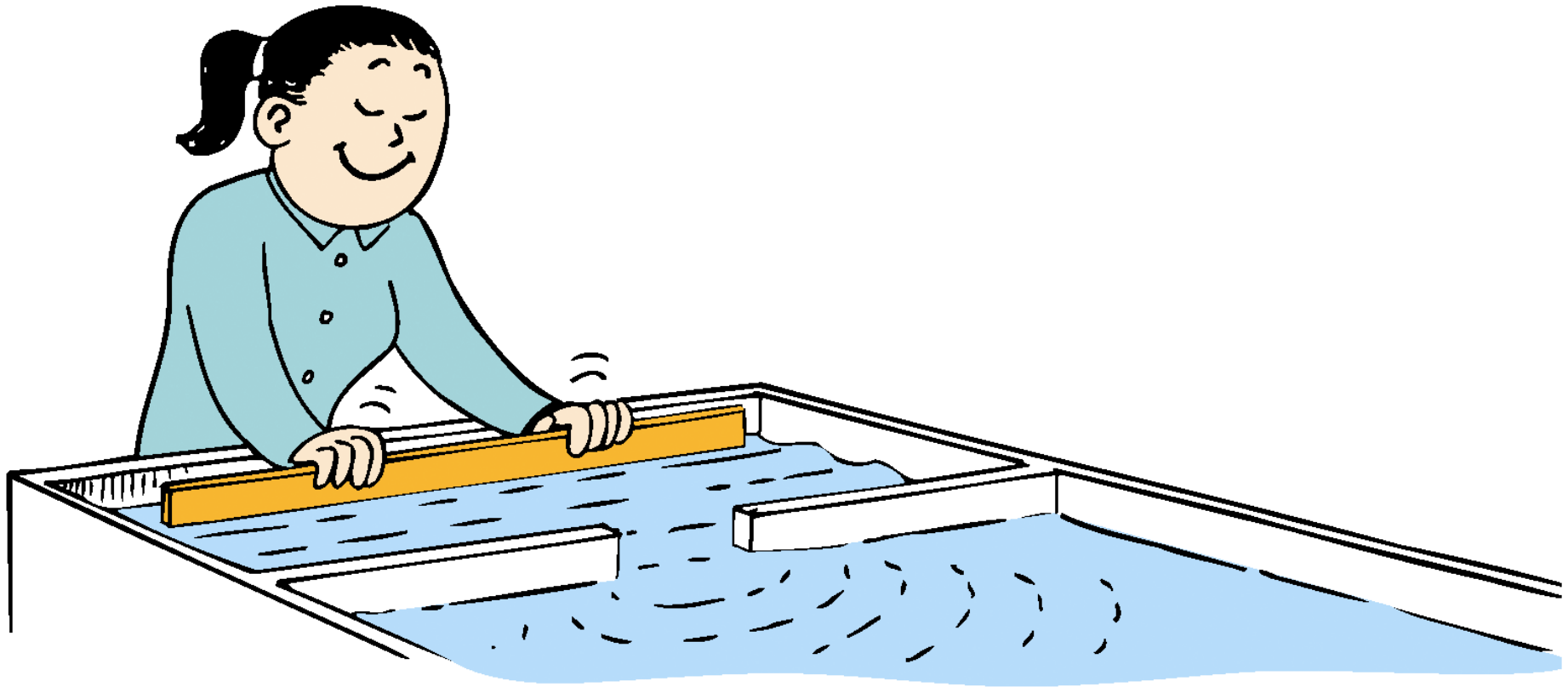
**ΕΙΚΟΝΑ 29.3** Εφαρμογή της αρχής του Χόυχενς σε ένα σφαιρικό μέτωπο κύματος.



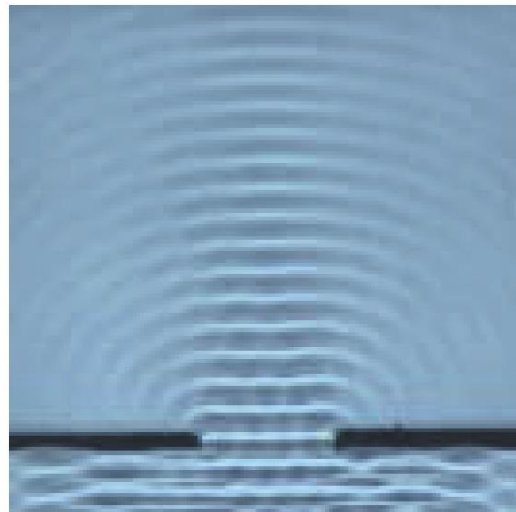
**ΕΙΚΟΝΑ 29.4** Εφαρμογή της αρχής του Χόυχενς σε ένα επίπεδο μέτωπο κύματος.



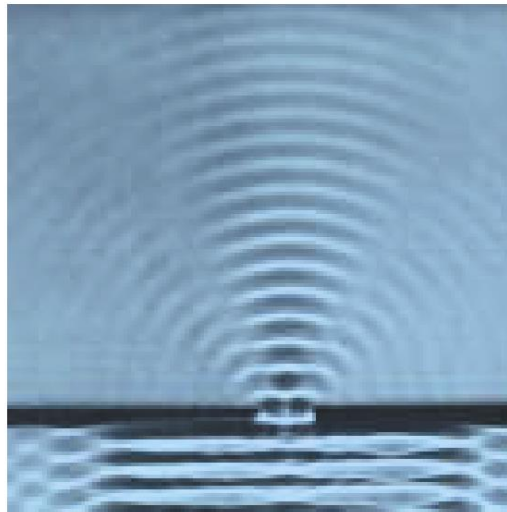
**ΕΙΚΟΝΑ 29.5** Εφαρμογή της αρχής του Χόυκενς (α) στην ανάκλαση και (β) στη διάθλαση.



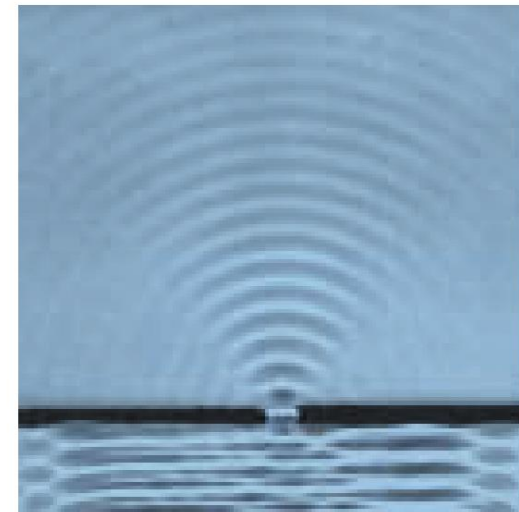
**ΕΙΚΟΝΑ 29.6** Ο ταλαντούμενος κανόνας παράγει επίπεδα κύματα στη δεξαμενή νερού. Το νερό που πάλλεται στο άνοιγμα δρα ως πηγή νέων κυμάτων, τα οποία απλώνονται σαν βεντάλια στην άλλη πλευρά του φράγματος. Με άλλα λόγια, τα υδάτινα κύματα περιθλώνται δια μέσου του ανοίγματος.



α



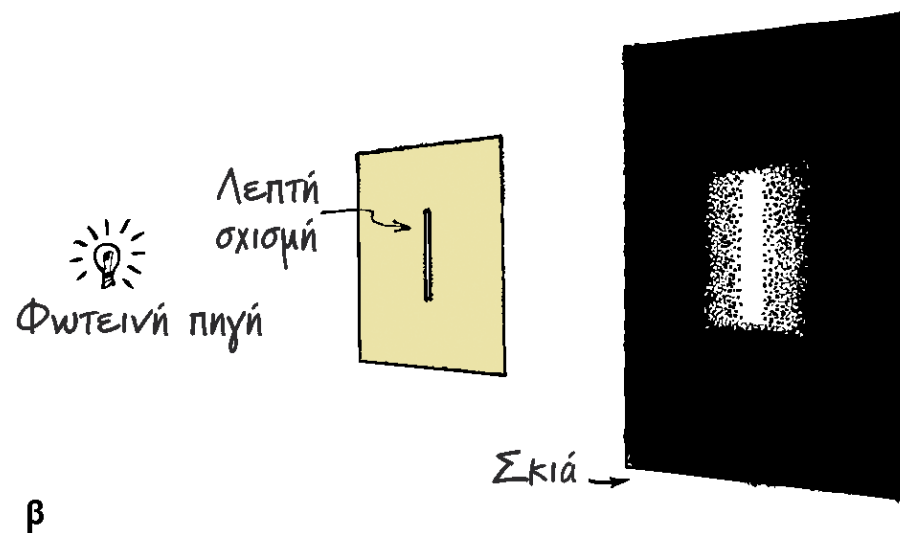
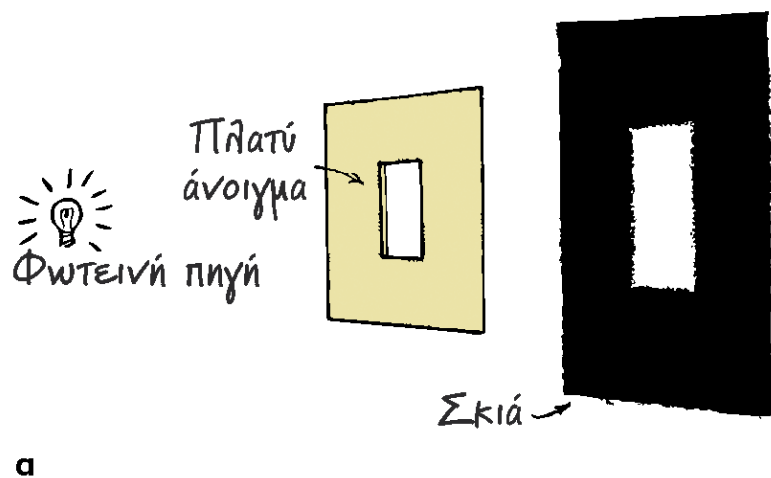
β



γ

**ΕΙΚΟΝΑ 29.7** Επίπεδα κύματα που διέρχονται δια μέσου ανοιγμάτων διαφόρων μεγεθών. Όσο μικρότερο είναι το άνοιγμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η κάμψη των κυμάτων στα άκρα του – με άλλα λόγια, τόσο πιο έντονα περιθλάται το κύμα.

**ΕΙΚΟΝΑ 29.8** (α) Όταν το άνοιγμα είναι μεγάλο σε σχέση με το μήκος κύματος του φωτός, το φως ρίχνει σκιά με αρκετά σαφές περίγραμμα.  
(β) Όταν το άνοιγμα είναι πολύ μικρό, η περίθλαση είναι εμφανέστερη και το περίγραμμα της σκιάς γίνεται πιο ασαφές.





**ΕΙΚΟΝΑ 29.9** Γραφική απεικόνιση της περίθλασης του φωτός από μία μόνο λεπτή σχισμή.



**ΕΙΚΟΝΑ 29.10** Στις σκιές μονοχρωματικού φωτός λέιζερ (δηλ., φωτός με μία μόνο συχνότητα) διακρίνονται εμφανώς κροσσοί περίθλασης. Αν είχαμε λευκή δέσμη φωτός, οι κροσσοί αυτοί θα συγχωνεύονταν με πολλούς άλλους.



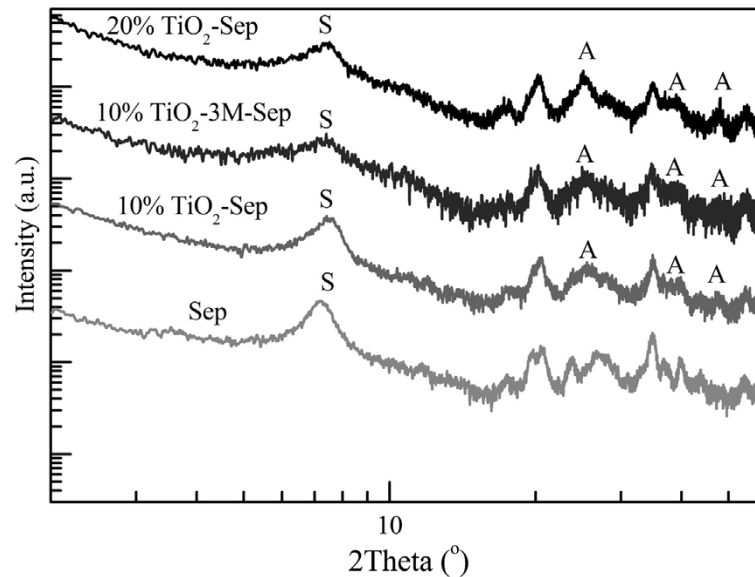
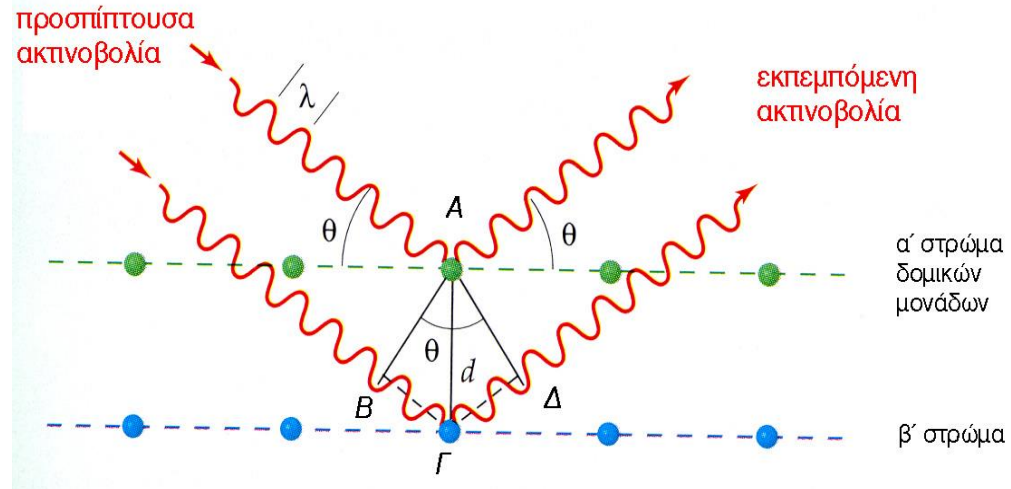
# Περίθλαση Ακτίνων Χ

Διάγραμμα. περίθλασης ακτίνων Χ  
από κρύσταλλο NaCl

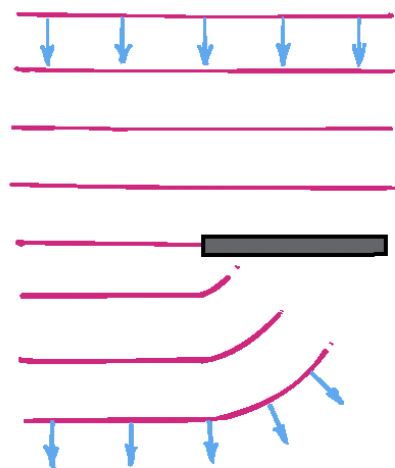


## Νόμος Bragg

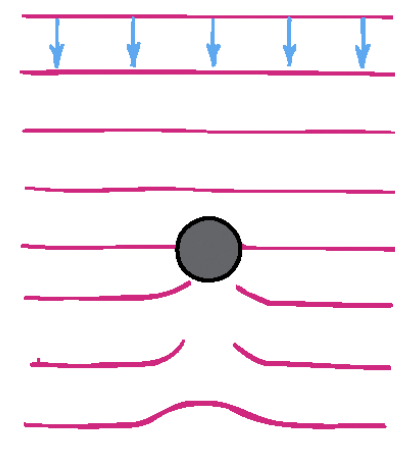
$$B\Gamma + \Gamma\Delta = 2d \eta\mu\theta = n\lambda$$



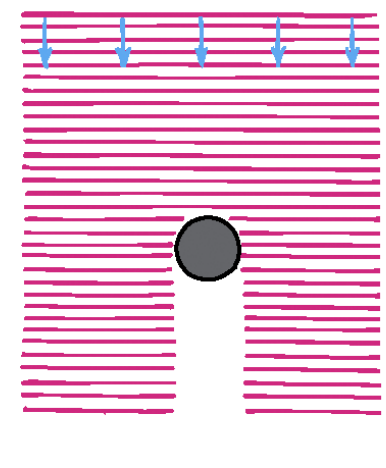
**ΕΙΚΟΝΑ 29.II** (α) Τα κύματα τείνουν να εξαπλωθούν στην περιοχή της «σκιάς». (β) Όταν το μήκος κύματος είναι παραπλήσιο του μεγέθους του αντικειμένου, η «σκιά» καλύπτεται σε μικρή απόσταση. (γ) Όταν το μήκος κύματος είναι μικρό σε σχέση με το μέγεθος του αντικειμένου, σχηματίζεται «σκιά» με πιο σαφές περίγραμμα.



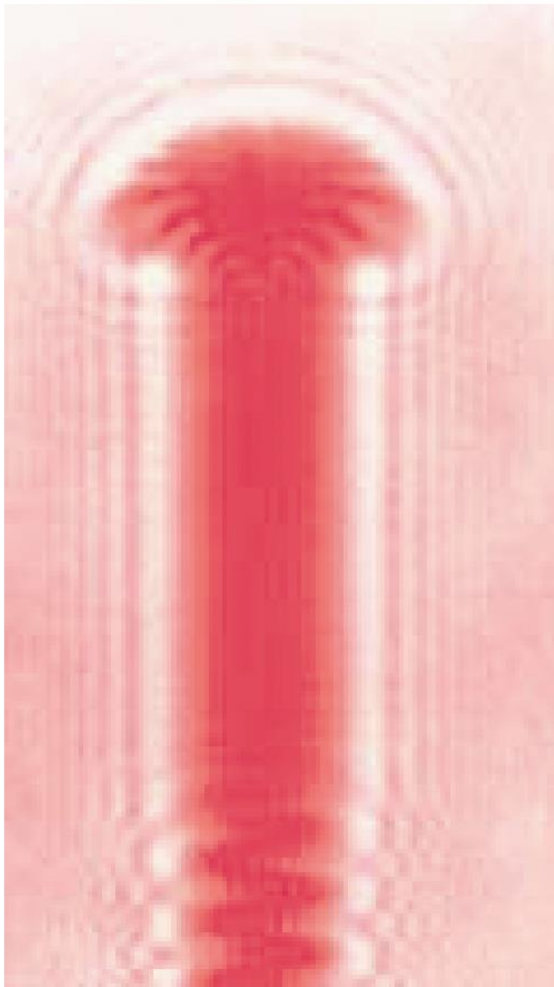
**α**



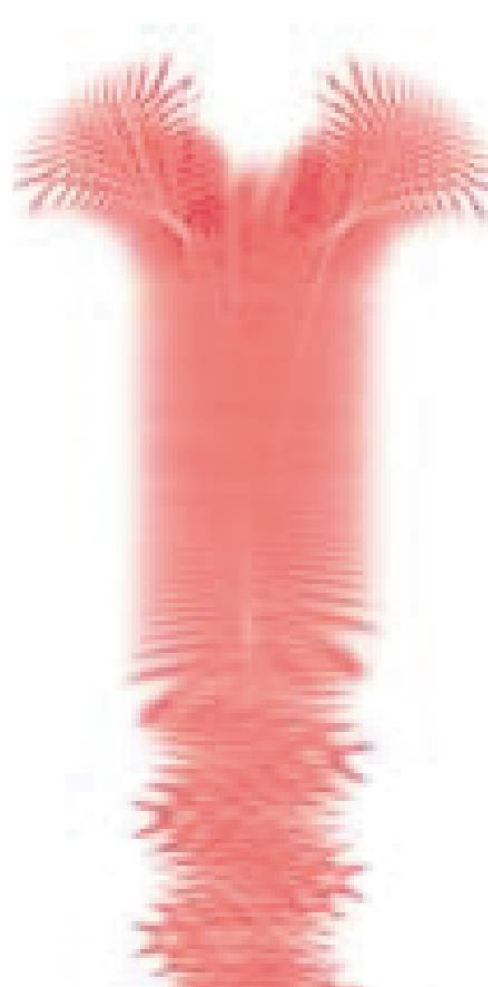
**β**



**γ**



(α)



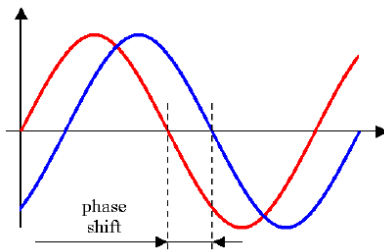
(β)

**ΕΙΚΟΝΑ 29.12** (α) Στη σκιά μιας βίδας σε φως λέιζερ διακρίνονται κροσσοί που δημιουργούνται από αποσβεστική συμβολή του περιθλώμενου φωτός. (β) Με παρατεταμένη έκθεση του φιλμ στο φως, εμφανίζονται κροσσοί μέσα στην περιοχή της σκιάς, οι οποίοι δημιουργούνται από ενισχυτική και αποσβεστική συμβολή.

## Επαλληλία και Συμβολή

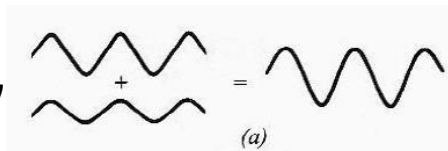
### Σύνθεση και επαλληλία Κυμάτων

Φάση Κύματος



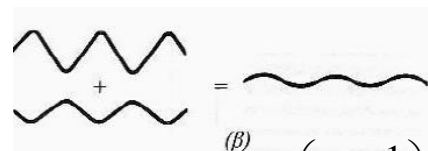
Ενισχυτική Συμβολή

Επαλληλία Κυμάτων



$$d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

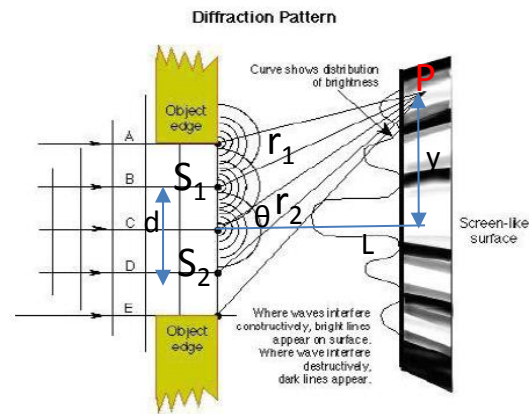
Αποσβεστική Συμβολή



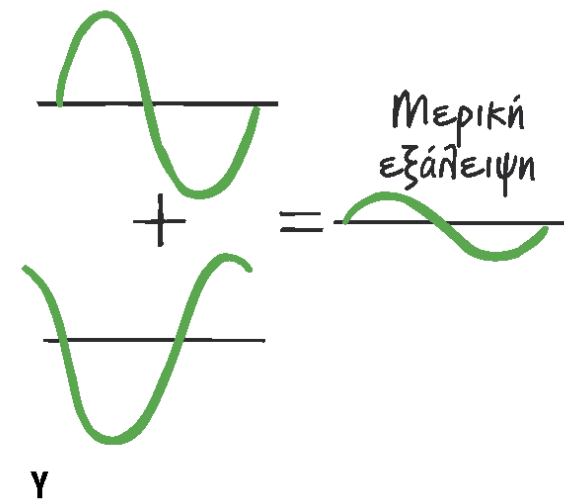
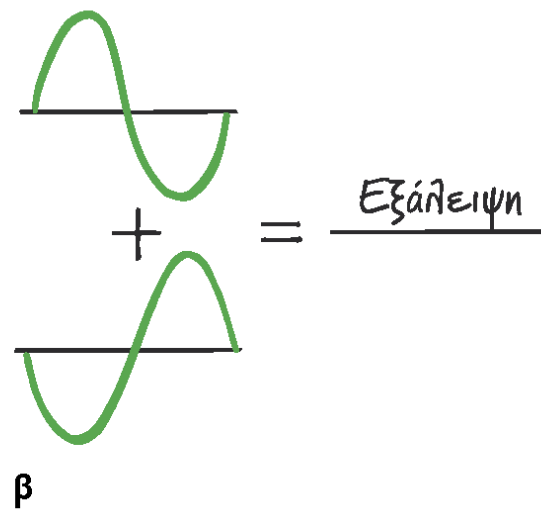
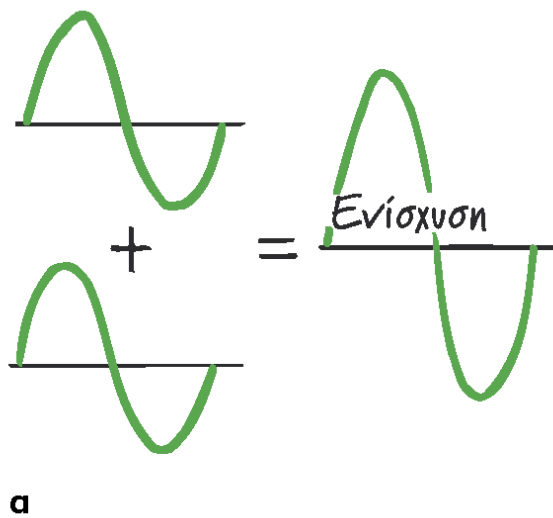
$$d \cdot \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Το πείραμα του Young μη ομοιόμορφης κατανομής φωτός κατόπιν συμβολής μονοχρωματικού φωτός σε διπλές σχισμές απέδειξε ότι το φως αποτελείται από κύματα.

Το φαινόμενο της περίθλασης παρατηρείται όταν το εμπόδιο ή η οπή έχουν διαστάσεις της ίδιας τάξης μεγέθους προς το μήκος κύματος των διαδιδόμενων κυμάτων.



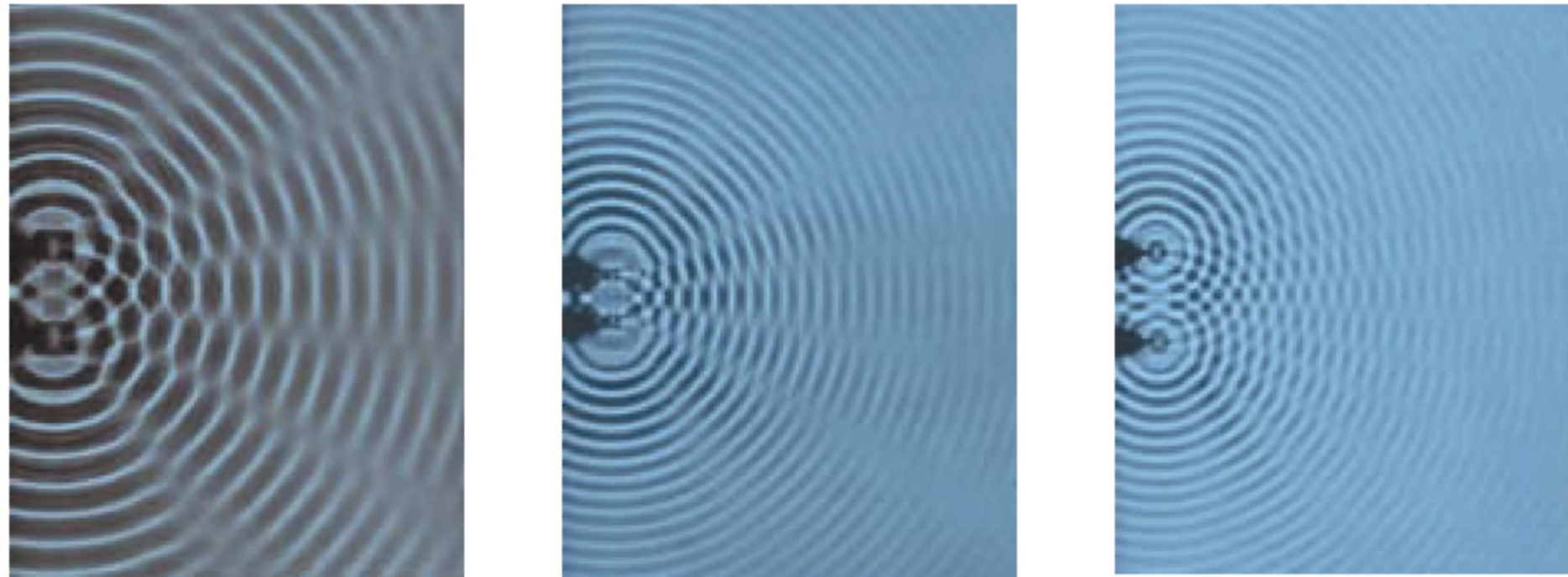
Ένταση Κατανομής 
$$I = I_0 \cdot \frac{\sin^2(N \cdot \pi \cdot d \cdot \sin \theta / \lambda)}{\sin^2(\pi \cdot d \cdot \sin \theta / \lambda)}$$



**ΕΙΚΟΝΑ 29.13** Συμβολή κυμάτων.

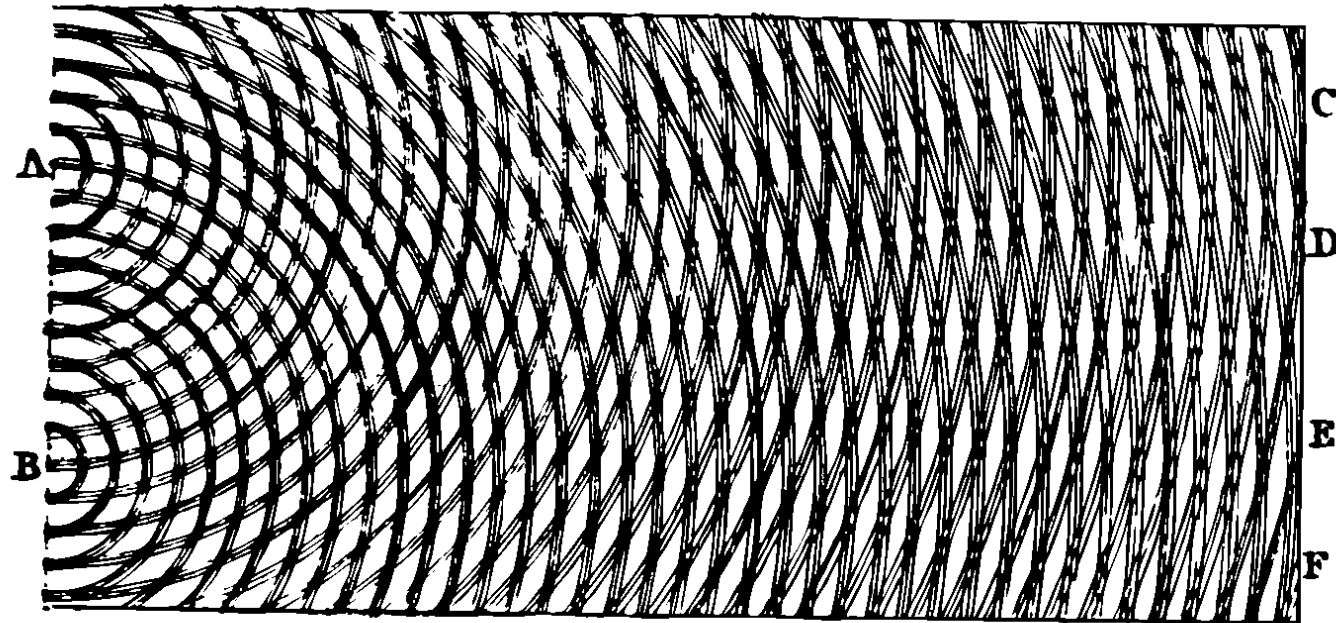


**ΕΙΚΟΝΑ 29.14** Συμβολή υδάτινων κυμάτων.

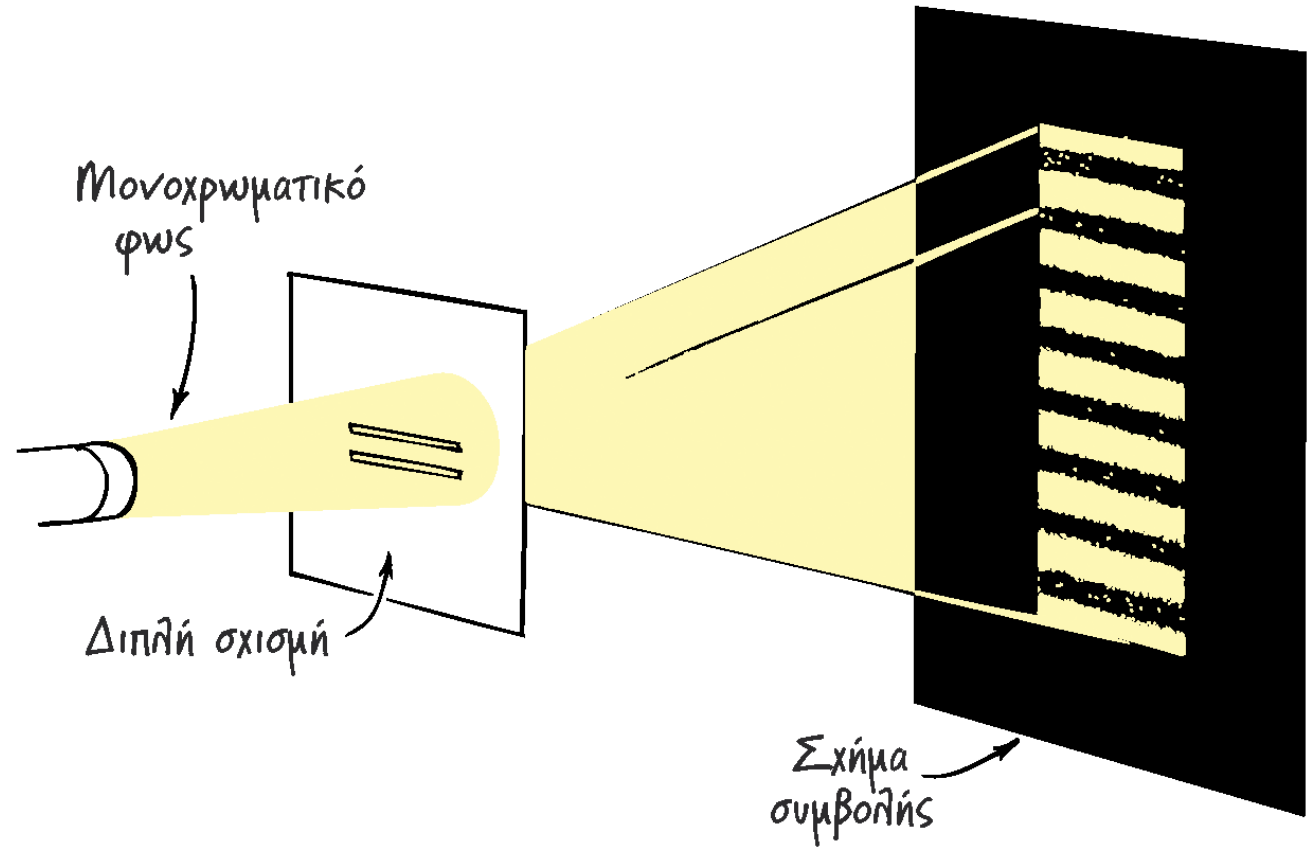


**ΕΙΚΟΝΑ 29.15** Σχήματα συμβολής επικαλυπτόμενων κυμάτων από δύο ταλαντούμενες πηγές.

**ΕΙΚΟΝΑ 29.16** Το αυθεντικό σχέδιο του Τόμας Γιανγκ για το σχήμα συμβολής από δύο πηγές. Οι μαύροι κύκλοι αντιπροσωπεύουν κορυφές κυμάτων, ενώ οι λευκές περιοχές μεταξύ των κορυφών αντιπροσωπεύουν κοιλίες. Στα σημεία όπου οι κορυφές επικαλύπτουν κορυφές ή οι κοιλίες επικαλύπτουν κοιλίες έχουμε ενισχυτική συμβολή. Τα γράμματα C, D, E και F υποδεικνύουν περιοχές αποσβεστικής συμβολής.





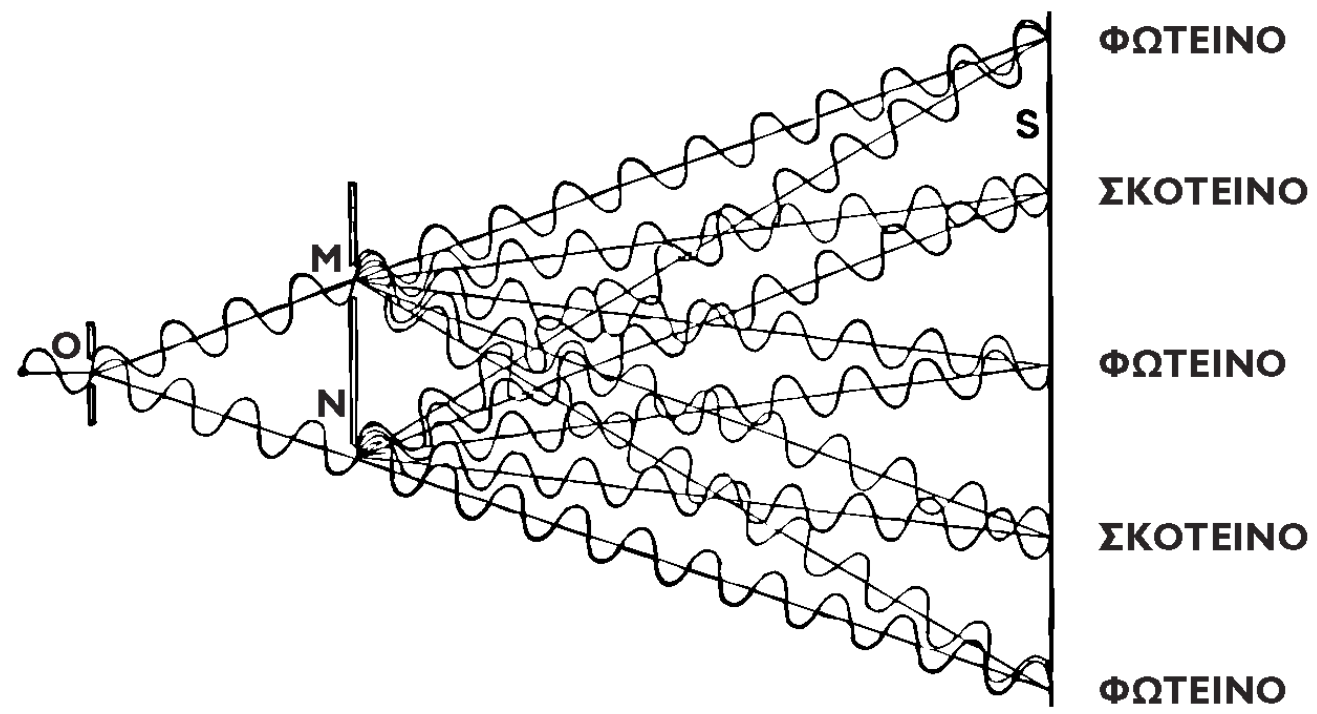


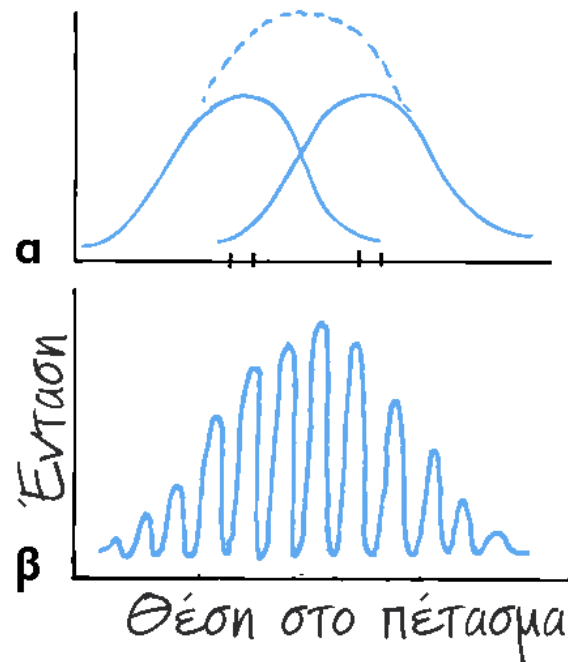
**ΕΙΚΟΝΑ 29.17** Όταν μονοχρωματικό φως περνά από δύο σχισμές που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, παράγεται ένα ταινιωτό σχήμα συμβολής.



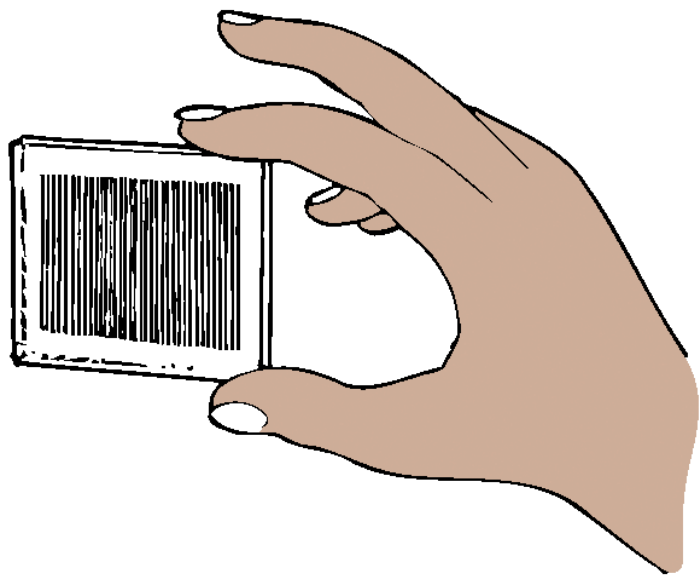
**ΕΙΚΟΝΑ 29.18** Οι φωτεινοί κροσσοί εμφανίζονται στα σημεία όπου τα κύματα από τις δύο σχισμές φτάνουν σε φάση· οι σκοτεινές περιοχές προκύπτουν από επικάλυψη κυμάτων τα οποία βρίσκονται εκτός φάσης.

**ΕΙΚΟΝΑ 29.19** Το φως από την πηγή  $O$  διέρχεται από τις σχισμές  $M$  και  $N$  και δημιουργεί στο πέτασμα  $S$  ένα σχήμα συμβολής.

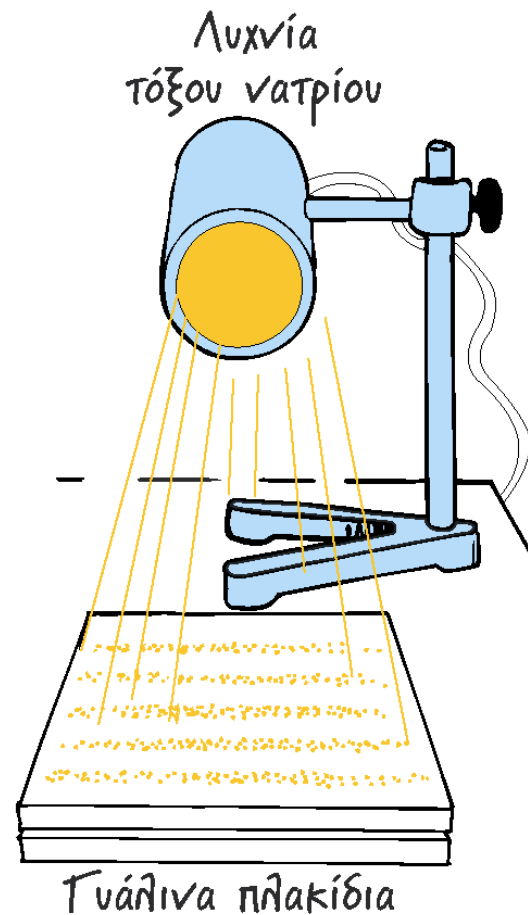




**ΕΙΚΟΝΑ 29.20** Όταν το φως περιθλάται και από τις δύο σχισμές, η κατανομή της έντασης δεν αντιστοιχεί στο άθροισμα των δύο κατανομών απλής σχισμής, όπως υποδεικνύει το διάγραμμα (α). Λόγω συμβολής, η κατανομή της έντασης έχει τη μορφή που φαίνεται στο (β).

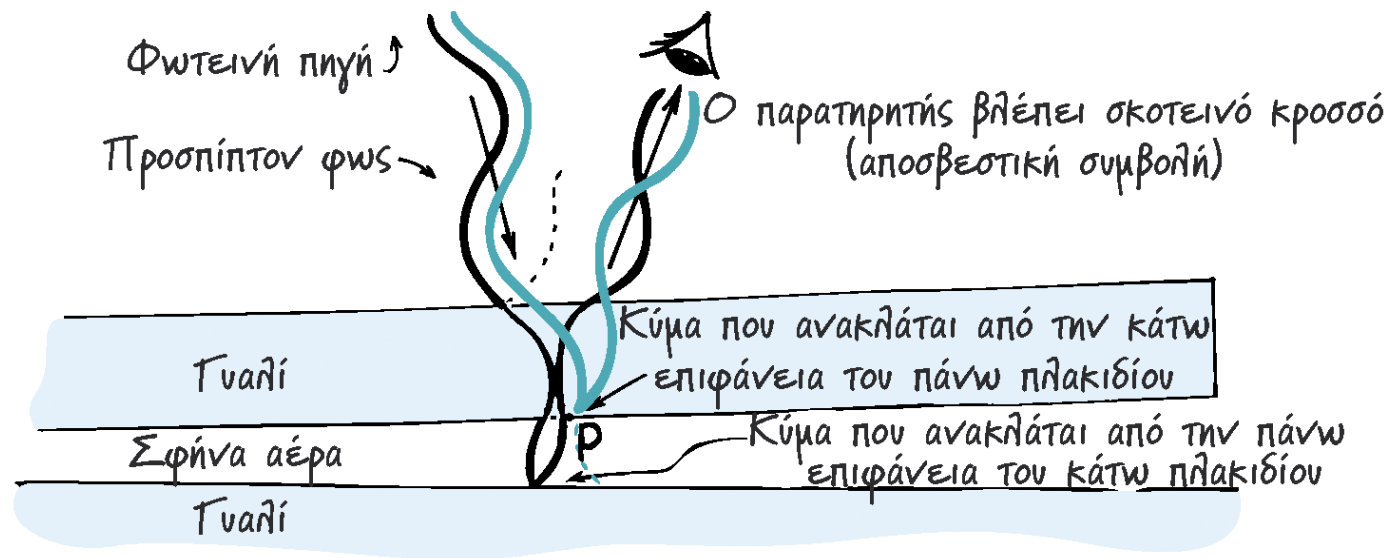


**ΕΙΚΟΝΑ 29.21** Μέσω του φαινομένου της συμβολής, ένα φράγμα περίθλασης αναλύει το φως στα διάφορα χρώματα από τα οποία αποτελείται, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί πρίσματος σε ένα φασματοσκόπιο.



**ΕΙΚΟΝΑ 29.22** Όταν μονοχρωματικό φως ανακλάται από δύο γυάλινα πλάκιδια μεταξύ των οποίων υπάρχει ένα σφαινοειδές στρώμα αέρα, δημιουργούνται κροσσοί συμβολής.

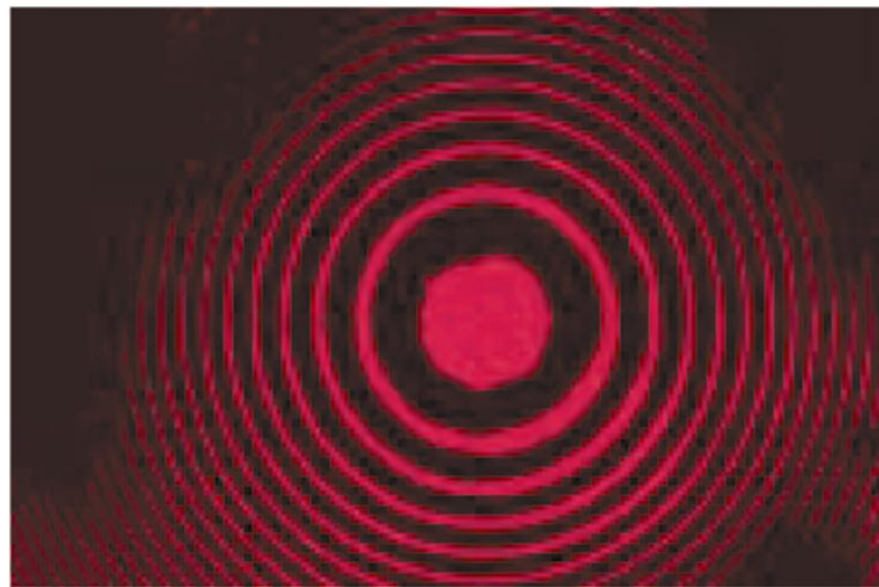
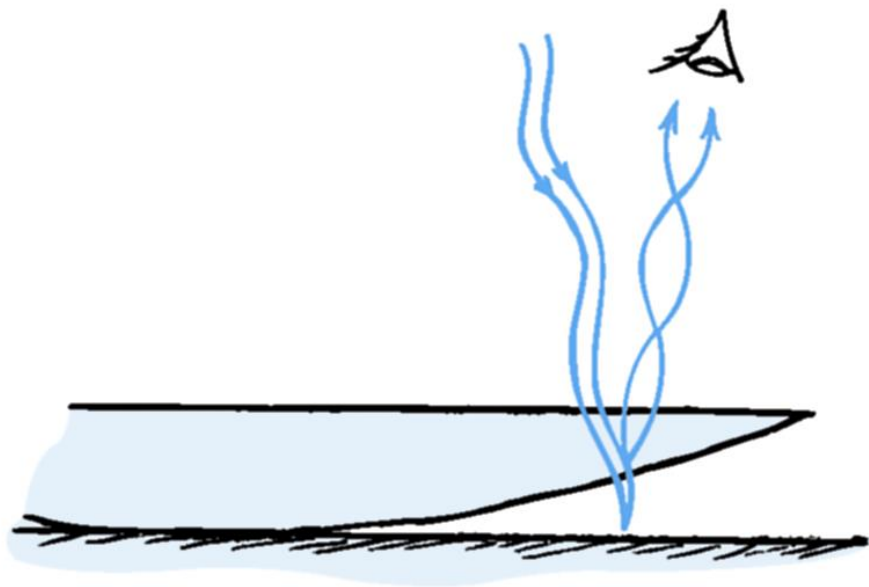
**ΕΙΚΟΝΑ 29.23** Ανάκλαση από την πάνω και την κάτω επιφάνεια ενός «λεπού υμενίου αέρα».



**ΕΙΚΟΝΑ 29.24** Οπτικά επίπεδες πλάκες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ομαλότητας επιφανειών.

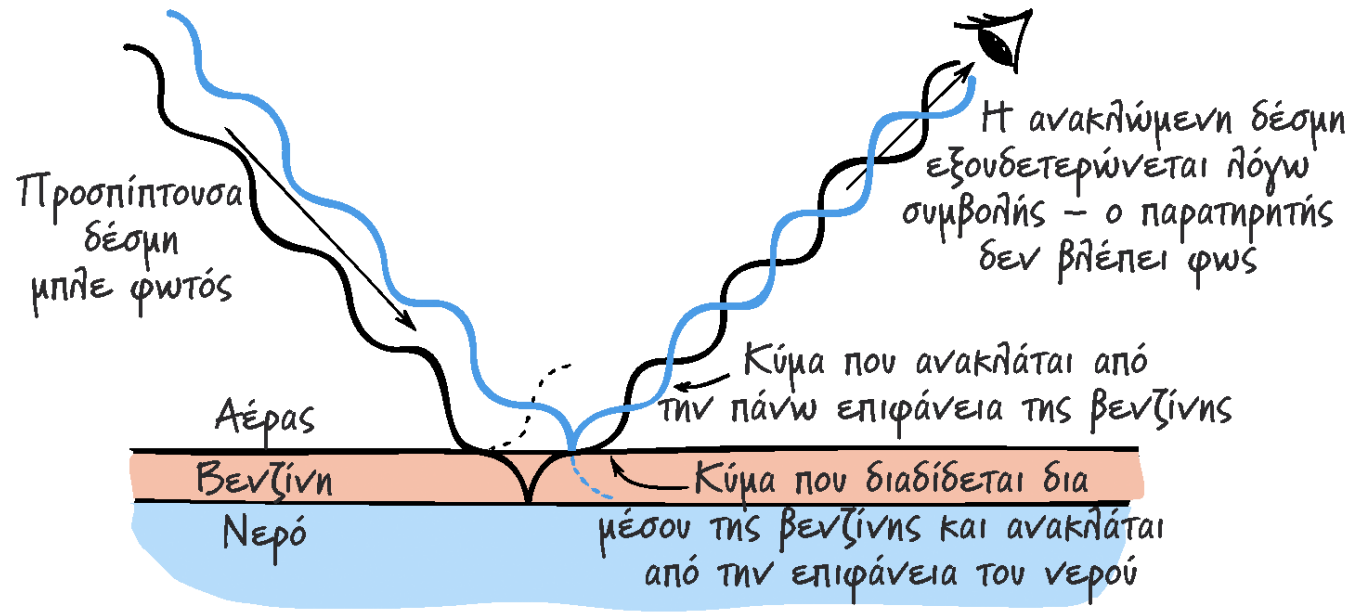


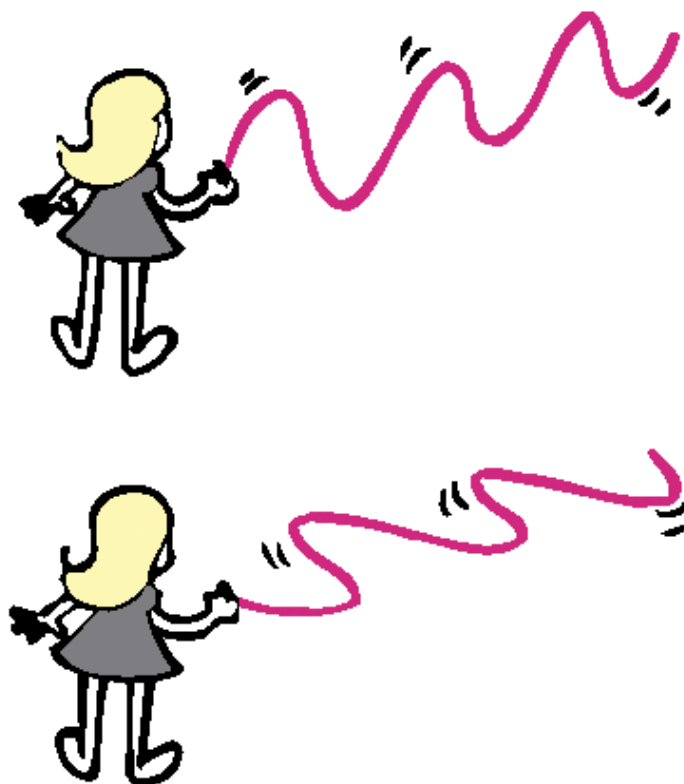




**ΕΙΚΟΝΑ 29.25** Δακτύλιοι του Νεύτωνα.

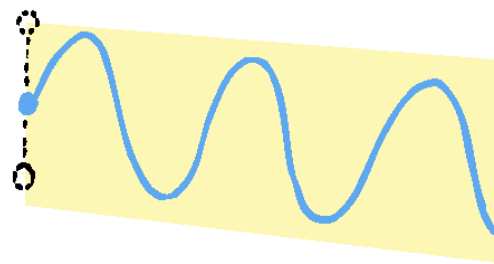
**ΕΙΚΟΝΑ 29.26** Το λεπτό υμένιο βενζίνης έχει ακριβώς το κατάλληλο πλάτος ώστε τα δύο κύματα του μπλε φωτός που ανακλώνται από την πάνω και την κάτω επιφάνεια να αλληλοεξουδετερώνονται πλήρως. Αν το υμένιο ήταν πιο λεπτό, πιθανόν να εξουδετερονόταν το μικρότερου μήκους κύματος ιώδες. (Το ένα κύμα έχει σχεδιαστεί με μαύρο χρώμα, ώστε να είναι εμφανές πώς ακριβώς δημιουργείται η διαφορά φάσης με το μπλε κύμα κατά την ανάκλαση.)

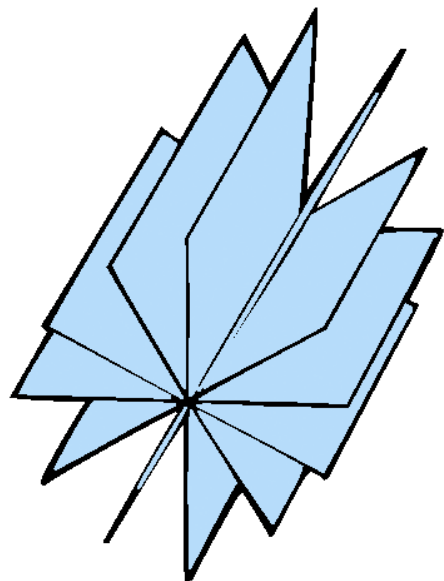




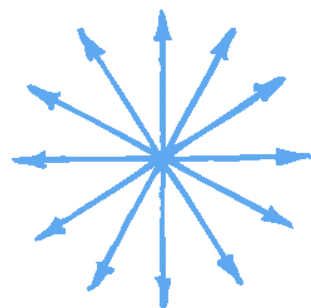
**ΕΙΚΟΝΑ 29.28** Ένα κύμα πολωμένο στο κατακόρυφο επίπεδο, και ένα άλλο πολωμένο στο οριζόντιο επίπεδο.

**ΕΙΚΟΝΑ 29.29** (α) Ένα κατακόρυφα ταλαντούμενο φορτίο παράγει ένα κύμα πολωμένο στο κατακόρυφο επίπεδο.  
(β) Ένα οριζόντια ταλαντούμενο φορτίο παράγει ένα κύμα πολωμένο στο οριζόντιο επίπεδο.

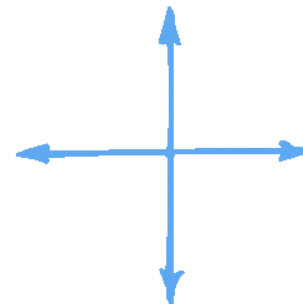




α

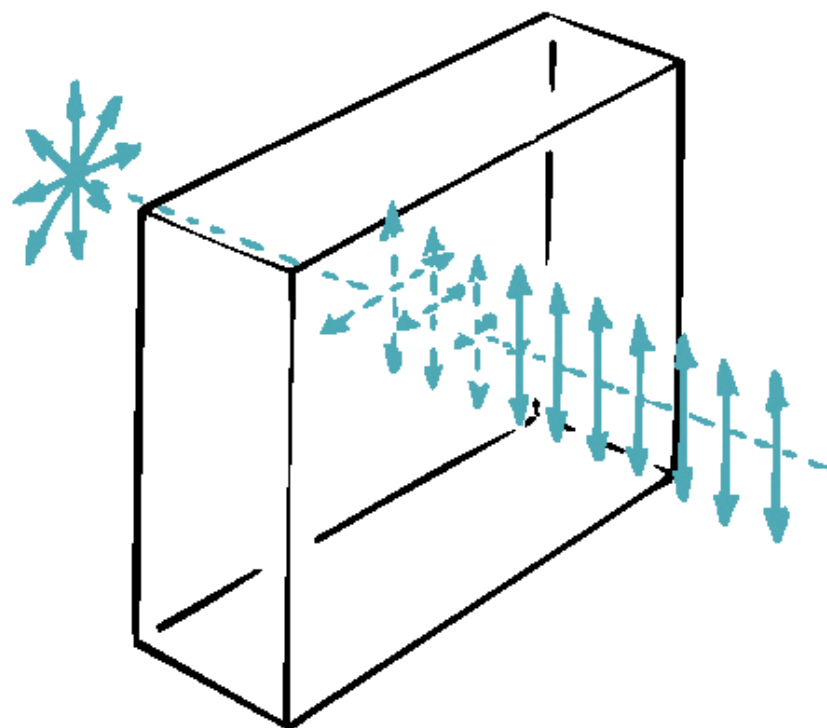


β

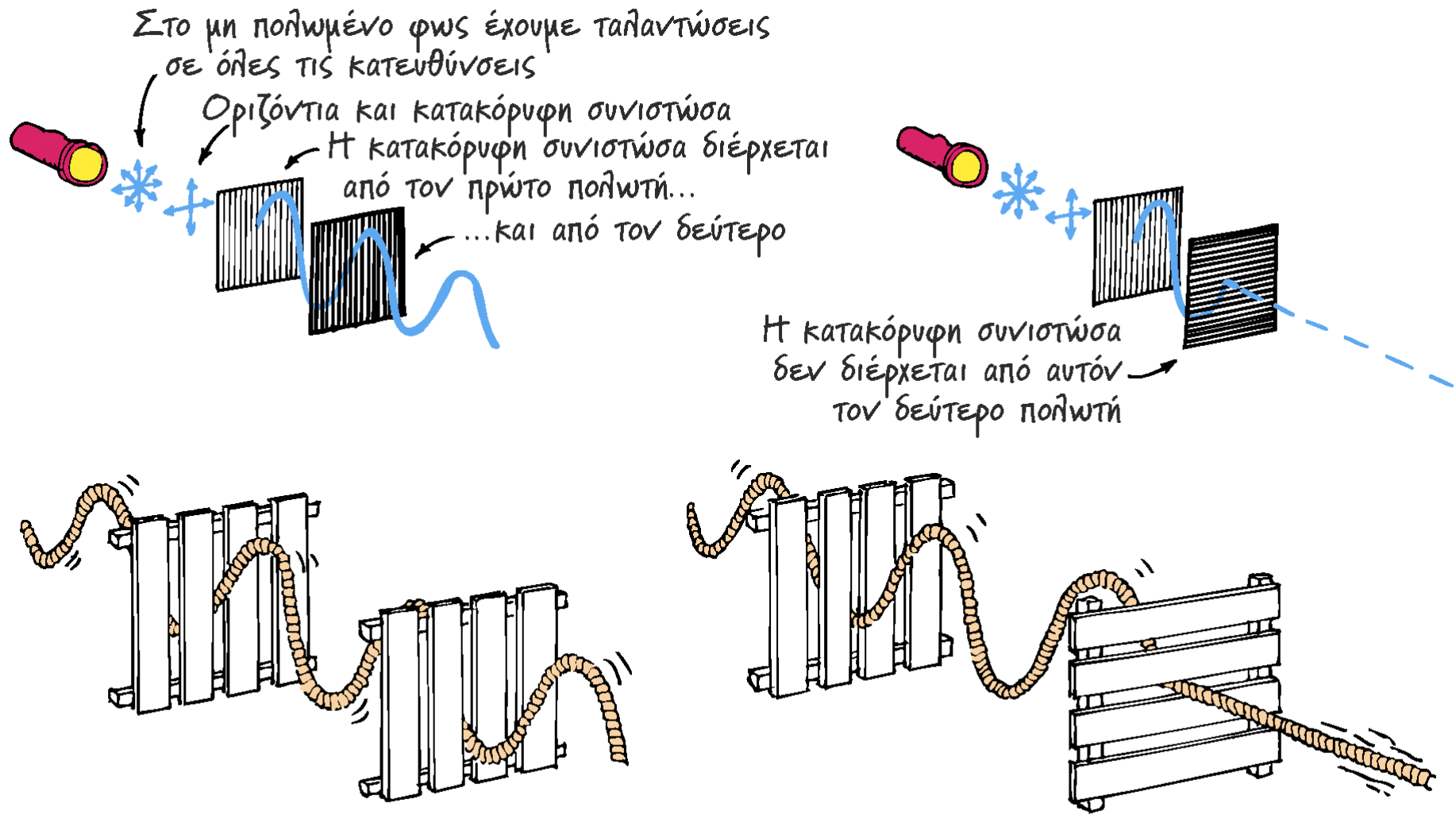


γ

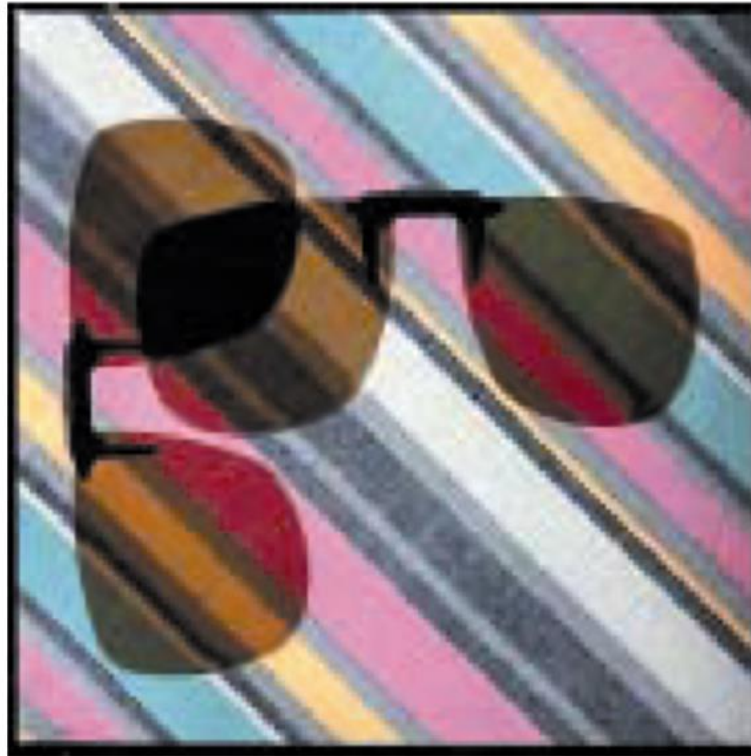
**ΕΙΚΟΝΑ 29.30** Αναπαραστάσεις του μη πολωμένου φωτός. Στα σχήματα β και γ, τα διανύσματα αντιπροσωπεύουν το ηλεκτρικό πεδίο του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.



**ΕΙΚΟΝΑ 29.31** Η μια συνιστώσα του προσπίπτοντος μη πολωμένου φωτός απορροφάται, με αποτέλεσμα το εξερχόμενο φως να είναι πολωμένο.

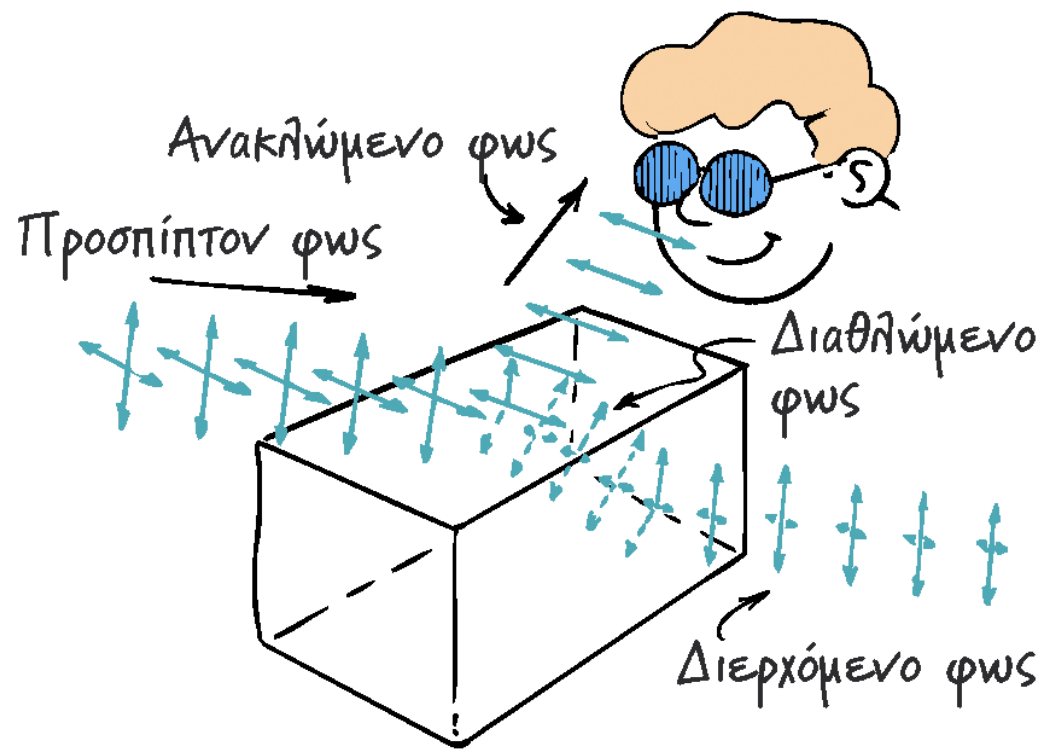


**ΕΙΚΟΝΑ 29.32** Το μηχανικό ανάλογο με τα κύματα που διαδίδονται στο σχοινί δείχνει σχηματικά τι συμβαίνει στην περίπτωση των διασταυρωμένων φίλτρων πολαρίντ.

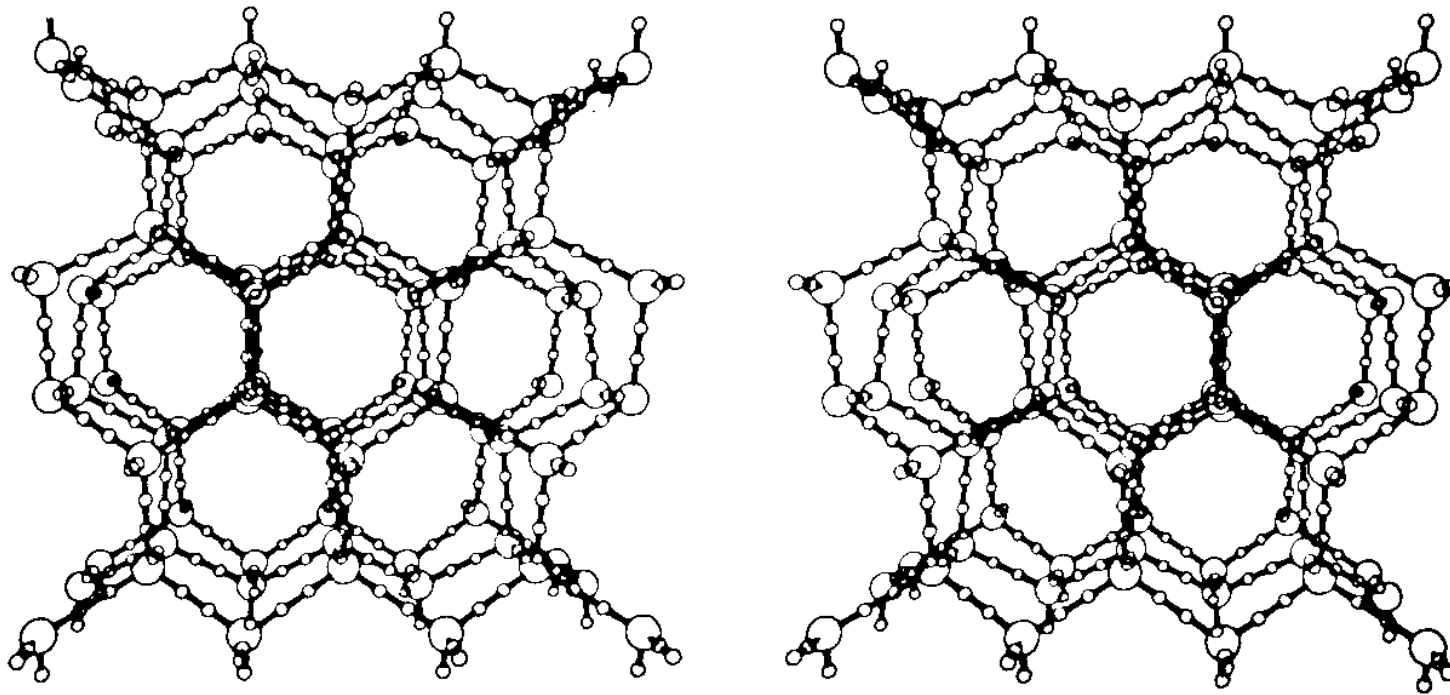


**ΕΙΚΟΝΑ 29.33** Τα γυαλιά ηλίου πολαρόιντ ανακόπτουν την οριζόντια συνιστώσα του φωτός. Όταν τοποθετήσουμε δύο φακούς τον ένα μπροστά από τον άλλο υπό ορθή γωνία μεταξύ τους, δεν περνάει καθόλου φως.





**ΕΙΚΟΝΑ 29.34** Το φως που ανακλάται από μη μεταλλικές επιφάνειες είναι πολωμένο σε σημαντικό βαθμό. Όπως βλέπουμε στο σχήμα, η συνιστώσα του προσπίπτοντος φωτός που είναι παράλληλη προς την επιφάνεια ανακλάται, ενώ η κάθετη σε αυτήν διεισδύει στο μέσο. Επειδή το μεγαλύτερο μέρος του ανακλώμενου φωτός που βλέπουμε προέρχεται από οριζόντιες επιφάνειες, οι άξονες διέλευσης των γυαλιών ηλίου πολαρίζονται κατακόρυφοι.



**ΕΙΚΟΝΑ 29.36** Η κρυσταλλική δομή του πάγου σε στερεοσκοπική απεικόνιση. Για να αντιληφθείτε το βάθος, θα πρέπει το αριστερό μάτι να κοιτάζει το αριστερό σχήμα και το δεξί μάτι το δεξιό σχήμα, έτσι ώστε ο εγκέφαλος να συνδυάσει τις δύο εικόνες. Για να το πετύχετε αυτό, προτού κοιτάξετε τη σελίδα εστιάστε τα μάτια σας σε μακρινή απόσταση. Χωρίς να αλλάξετε την εστίαση κοιτάξετε τη σελίδα, οπότε θα δείτε το κάθε σχήμα διπλό. Στη συνέχεια, ρυθμίστε κατάλληλα την εστίαση ώστε οι δύο εσωτερικές εικόνες να συμπέσουν, σχηματίζοντας μια ενιαία κεντρική σύνθετη εικόνα. Για να τελειοποιήσετε την τεχνική απαιτείται κάποια εξάσκηση. (Αν διασταυρώσετε τα βλέμματα των δύο ματιών για να κάνετε τις εικόνες να συμπέσουν, το μακρινό και το κοντινό θα εναλλαχθούν μεταξύ τους!)

**ΕΙΚΟΝΑ 29.38** Αν εστιάσετε τα μάτια σας σε μακρινή απόσταση, η δεύτερη και η τέταρτη γραμμή θα φανούν πιο απομακρυσμένες, ενώ αν διασταυρώσετε τα βλέμματα των δύο ματιών θα φανούν πιο κοντά.

*The test of all knowledge  
is experiment.*

Experiment is the *sole judge*  
of scientific "truth."

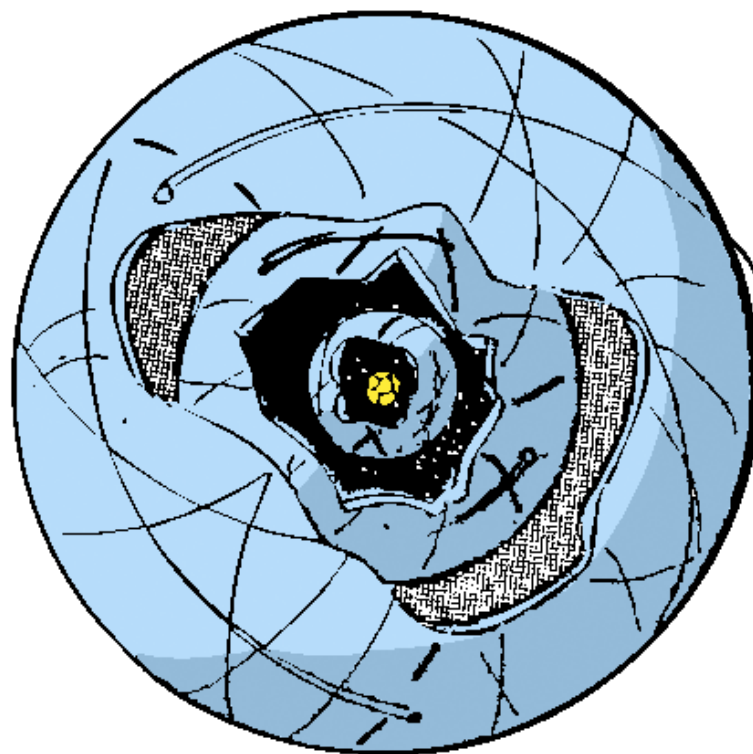
Richard P. Feynman

*The test of all knowledge  
is experiment.*

Experiment is the *sole judge*  
of scientific "truth."

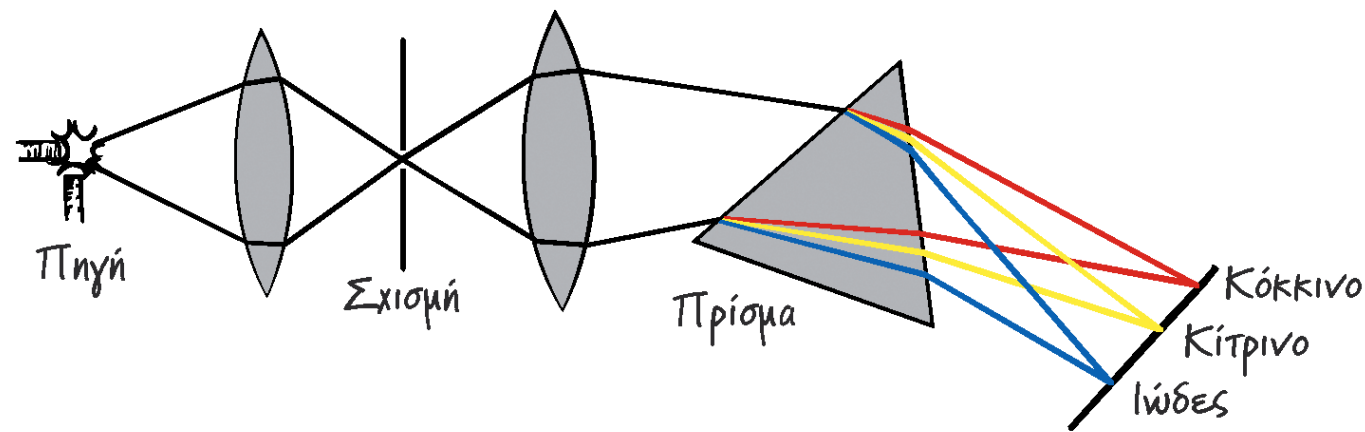
Richard P. Feynman

## Εκπομπή φωτός

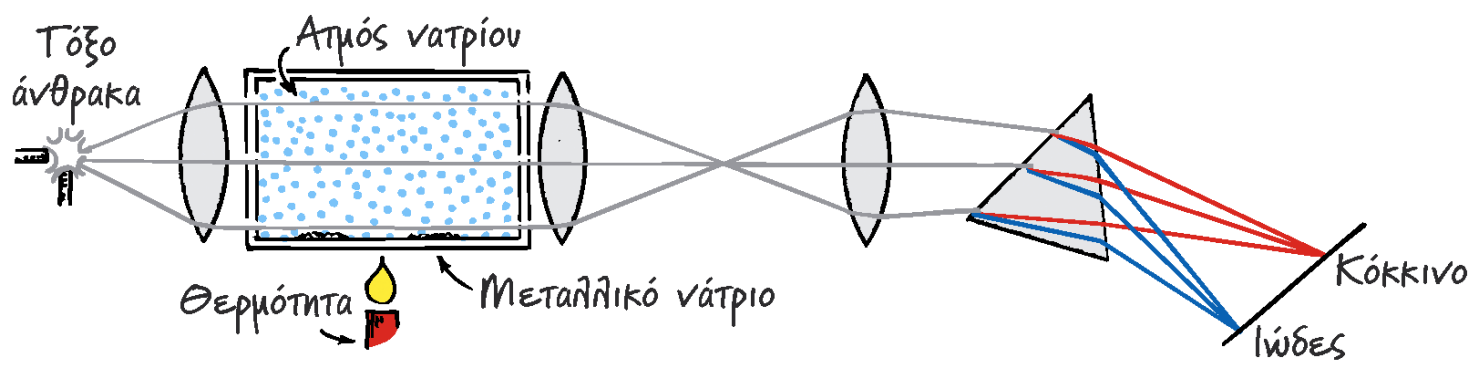


**ΕΙΚΟΝΑ 30.1** Απλοποιημένη εικόνα ηλεκτρονίων που περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα ενός ατόμου σε διακριτούς φλοιούς.

**ΕΙΚΟΝΑ 30.4** Ένα απλό φασματοσκόπιο. Πάνω σε ένα πέτασμα σχηματίζονται είδωλα της φωτιζόμενης σχισμής, τα οποία δημιουργούν ένα γραμμωτό σχήμα. Το σύνολο των φασματικών γραμμών είναι χαρακτηριστικό του φωτός με το οποίο φωτίζεται η σχισμή.



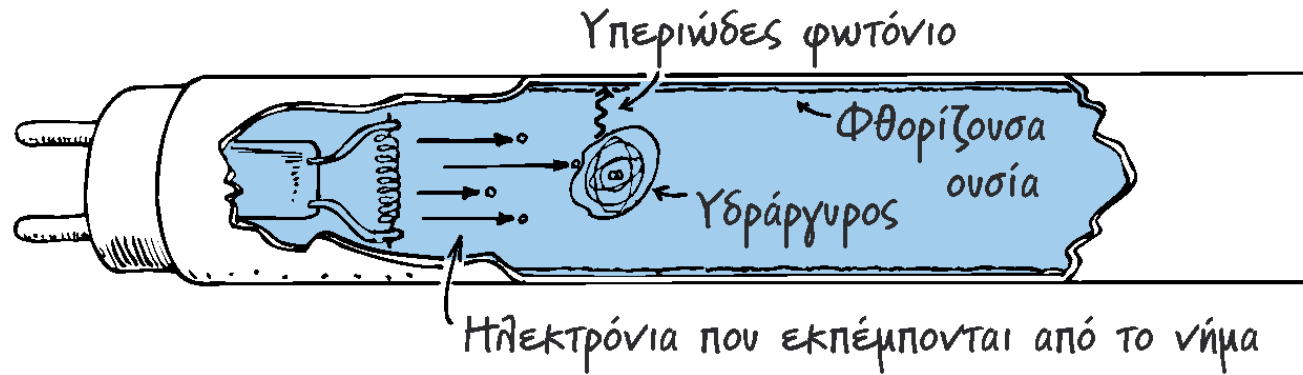
**ΕΙΚΟΝΑ 30.8** Πειραματική διάταξη για την παρατήρηση του φάσματος απορρόφησης ενός αερίου.



**ΕΙΚΟΝΑ 30.9** Φάσμα εκπομπής και φάσμα απορρόφησης.

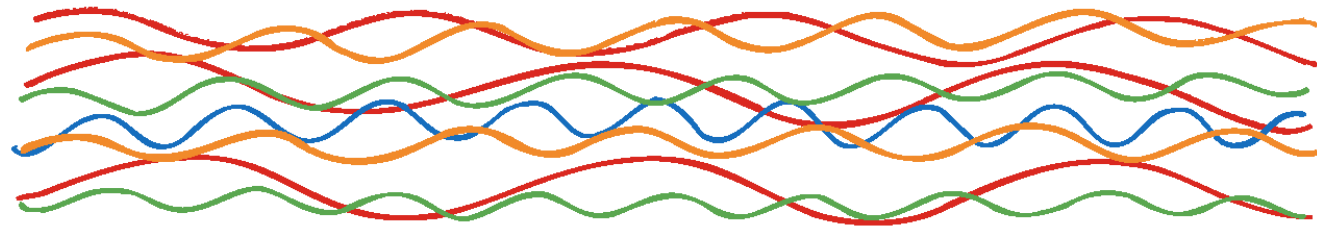


**ΕΙΚΟΝΑ 30.12** Ένας λαμπτήρας φθορισμού. Το αέριο στον σωλήνα διεγείρεται από το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και εκπέμπει υπεριώδες φως. Το φως αυτό, στη συνέχεια, διεγείρει τις φθορίζουσες ουσίες στην εσωτερική επιφάνεια του γυάλινου σωλήνα, οι οποίες εκπέμπουν λευκό φως.

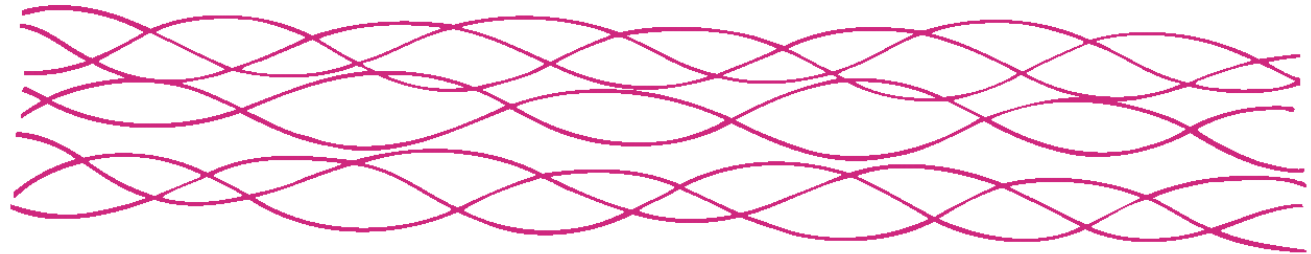




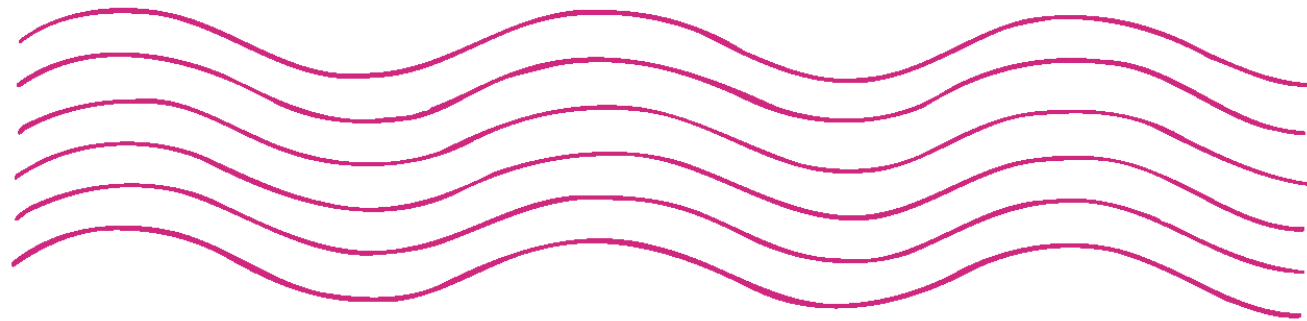
**ΕΙΚΟΝΑ 30.13** Το ασύμφωνο λευκό φως περιέχει κύματα πολλών συχνοτήτων (και μηκών κύματος) που βρίσκονται εκτός φάσης μεταξύ τους.

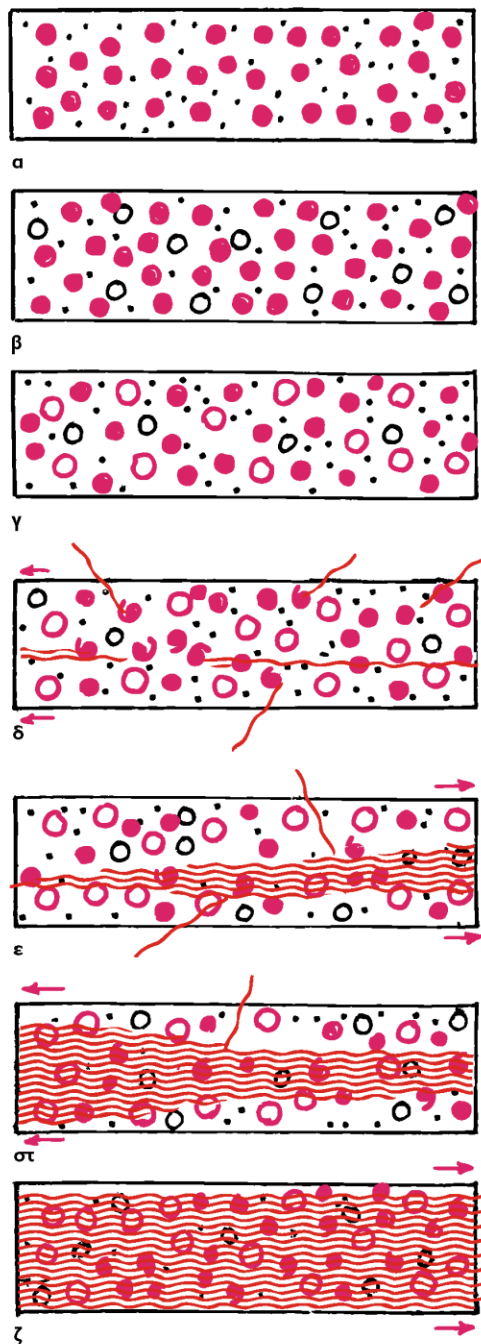


**ΕΙΚΟΝΑ 30.14** Ακόμη και το φως μίας και μόνο συχνότητας (και ενός μόνο μήκους κύματος) εξακολουθεί να περιέχει μια μεγάλη ποικιλία φάσεων.



**ΕΙΚΟΝΑ 30.15** Σύμφωνο φως:  
όλα τα κύματα είναι πανομοιό-  
τυπα και σε φάση μεταξύ τους.





**ΕΙΚΟΝΑ 30.16** Λειτουργία ενός λέιζερ ηλίου-νέου. (α) Το λέιζερ αποτελείται από έναν λεπτό πυρίμαχο γυάλινο σωλήνα, που περιέχει ένα χαμηλής πίεσης μείγμα αερίου αποτελούμενο κατά 85% από ήλιο (μικρές μαύρες κουκκίδες) και κατά 15% από νέον (μεγάλες κόκκινες κουκκίδες). (β) Όταν στα άκρα του σωλήνα εφαρμοστεί υψηλή τάση, αναπτύσσεται σε αυτόν ηλεκτρικό ρεύμα που διεγείρει τα άτομα και του ηλίου και του νέου στις συνήθεις ανώτερες καταστάσεις τους, οι οποίες αποδιηγείρονται αμέσως, εκτός από μια κατάσταση των ατόμων του ηλίου που χαρακτηρίζεται από παρατεταμένη καθυστέρηση πριν από την αποδιεγέρσή της – μια μετασταθή κατάσταση. Δεδομένου ότι η κατάσταση αυτή είναι σχετικά ευσταθής, αναπτύσσεται ένας αρκετά μεγάλος πληθυσμός διεγερμένων ατόμων ηλίου (μαύροι κύκλοι). Τα άτομα αυτά περιπλανώνται στον σωλήνα και λειτουργούν ως πηγή ενέργειας για τα άτομα του νέου, τα οποία έχουν μια μετασταθή κατάσταση με ενέργεια σχεδόν ίση με αυτήν των διεγερμένων ατόμων του ηλίου, αλλά στην οποία είναι δύσκολο να μεταβούν με άλλον τρόπο. (γ) Όταν τα διεγερμένα άτομα ηλίου συγκρούονται με άτομα νέου που βρίσκονται στην κατώτερη ενεργειακή τους κατάσταση (τη θεμελιώδη), το ήλιο μεταβιβάζει την ενέργειά του στο νέον, το οποίο μεταβαίνει στη δική του μετασταθή κατάσταση (κόκκινοι κύκλοι). Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται, και ύστερα από λίγο το πλήθος των διεγερμένων ατόμων νέου υπερβαίνει το πλήθος των ατόμων νέου που βρίσκονται σε χαμηλότερης ενέργειας διεγερμένες καταστάσεις. Αυτός ο «αντεστραμμένος» πληθυσμός περιμένει στην πράξη να ακτινοβολήσει την ενέργειά του. (δ) Τελικά, μερικά από τα άτομα του νέου αποδιηγείρονται και εκπέμπουν ερυθρά φωτόνια μέσα στον σωλήνα. Όταν η ακτινοβολία προσπίπτει σε άλλα διεγερμένα άτομα νέου, τα εξαναγκάζει να εκπέμψουν φωτόνια με την ίδια ακριβώς φάση με την ακτινοβολία που προκάλεσε την εκπομπή. Τα φωτόνια βγαίνουν από τον σωλήνα σε τυχαίες κατευθύνσεις, δίνοντάς του μια κόκκινη λάμψη. (ε) Τα φωτόνια που κινούνται παράλληλα προς τον άξονα του σωλήνα ανακλώνται σε παράλληλα κάτοπτρα, επιστρωμένα με ειδικό υλικό, που βρίσκονται στα άκρα του σωλήνα. Τα ανακλώμενα φωτόνια προκαλούν εκπομπή φωτονίων και από άλλα άτομα νέου, και έτσι παράγεται μια χιονοστιβάδα φωτονίων με την ίδια συχνότητα, την ίδια φάση και την ίδια κατεύθυνση. (στ) Τα φωτόνια ανακλώνται μπρος-πίσω ανάμεσα στα κάτοπτρα, ενισχυόμενα σε κάθε διαδρομή (ζ) Ορισμένα από αυτά «διαρρέουν» από το ένα κάτοπτρο, που είναι μερικός διαπερατό. Τα φωτόνια αυτά σχηματίζουν τη δέσμη λέιζερ.