ΦΥΣΙΚΗ

Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών και Σπουδών Υγείας

Γ΄ τάξη Γενικού Λυκείου

ΤΟΜΟΣ 2ος

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 1 21/7/2017 11:43:07 πμ

Σημείωση: Στο Ευρετήριο Όρων τα γράμματα Α, Β, Γ,..., Θ δηλώνουν αντίστοιχα τον 1ο, 2ο, 3ο,...,9ο τόμο.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 2 21/7/2017 11:43:07 πμ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Α. ΙΩΑΝΝΟΥ - Γ. ΝΤΑΝΟΣ
Α. ΠΗΤΤΑΣ - Σ. ΡΑΠΤΗΣ

Η συγγραφή και η επιστημονική επιμέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΦΥΣΙΚΗ

Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών και Σπουδών Υγείας

Γ΄ τάξη
Γενικού Λυκείου

ΤΟΜΟΣ 2ος

Ι. Τ. Υ. Ε. «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 3 21/7/2017 11:43:07 πμ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

Συγγραφείς:

Αλέκος Ιωάννου, Γιάννης Ντάνος
Άγγελος Πήττας, Σταύρος Ράπτης

Κριτές:

Αντωνίου Νικόλαος, καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών, ως πρόεδρος

Ευθυμιόπουλος Θωμάς, Αν. Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης

Αρναουτάκης Ιωάννης, Σχολικός Σύμβουλος ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης

Καρανίκας Ιωάννης, Σχολικός Σύμβουλος ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης

Πρίντζας Γεώργιος, Σχολικός Σύμβουλος ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης

Κοτρόζου Αικατερίνη, Φυσικός, M.Sc. Καθηγήτρια Δ/θμιας Εκ/σης

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 4 21/7/2017 11:43:07 πμ

Φωτάκης Ιωάννης, Καθηγητής ΠΕ04 Δ/θμιας Εκ/σης».

Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ.

Υποπρόγραμμα 1: ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Μέτρο 1.1: ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Ενέργεια 1.1α: Προγράμματα-βιβλία

ΕΡΓΟ: ΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 5 21/7/2017 11:43:07 πμ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας, η οποία δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το ΕΣΠΑ / ΕΠ «Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση» / Πράξη «ΣΤΗΡΙΖΩ».

Οι διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν κατόπιν έγκρισης του Δ.Σ. του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 6 21/7/2017 11:43:07 πμ

Η αξιολόγηση, η κρίση των προσαρμογών και η επιστημονική επιμέλεια του προσαρμοσμένου βιβλίου πραγματοποιείται από τη Μονάδα Ειδικής Αγωγής του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής.

Η προσαρμογή του βιβλίου για μαθητές με μειωμένη όραση από το ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ πραγματοποιείται με βάση τις προδιαγραφές που έχουν αναπτυχθεί από ειδικούς εμπειρογνώμονες για το ΙΕΠ.

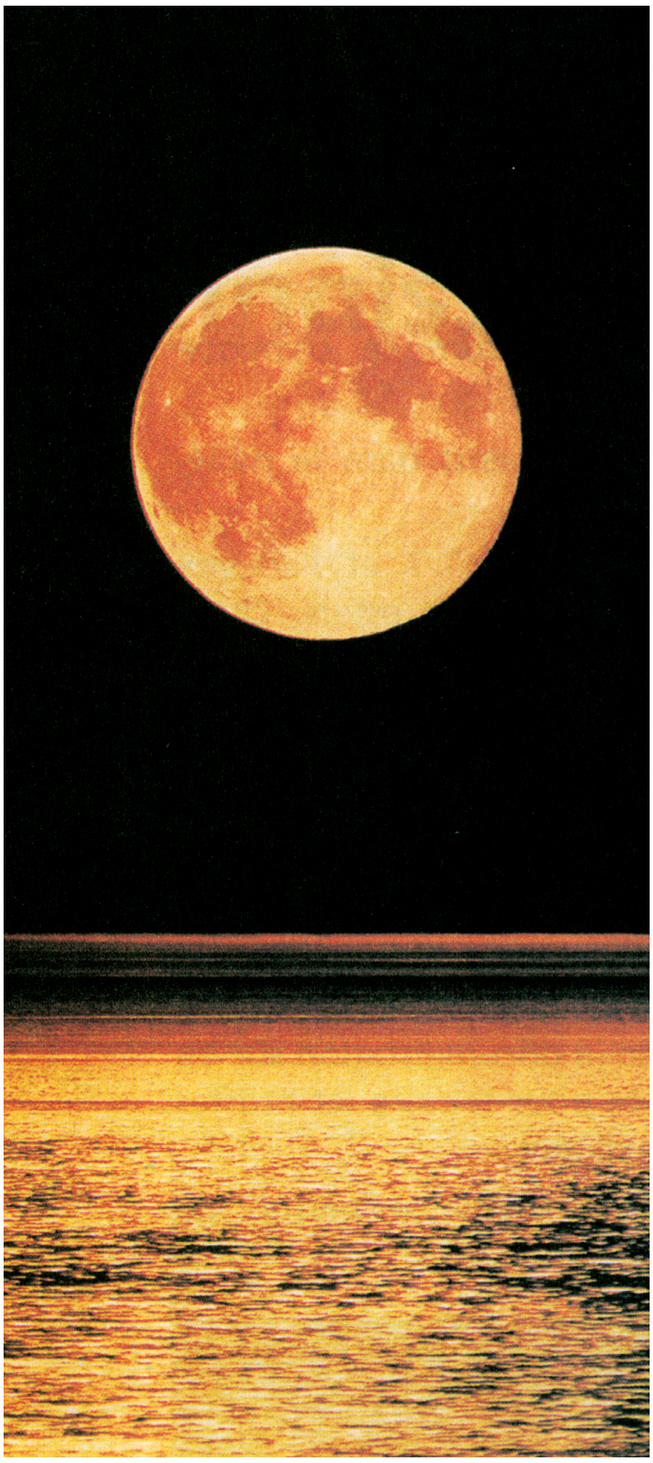
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ

ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 7 21/7/2017 11:43:08 πμ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 8 21/7/2017 11:43:08 πμ

2 ΚΥΜΑΤΑ



Επαλληλία

Συμβολή

Στάσιμα κύματα

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Ανάκλαση και διάθλαση

Διασκεδασμός

Σύνοψη

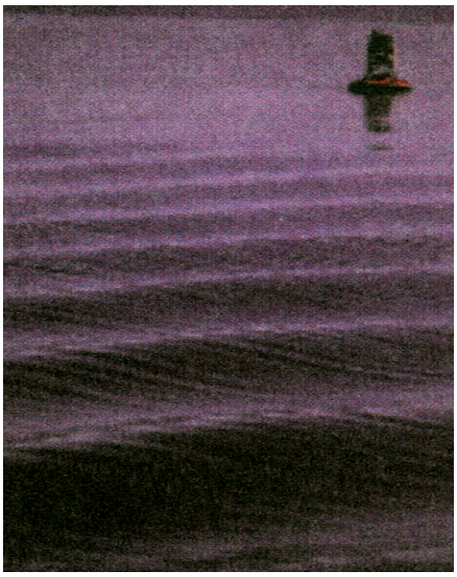
Ασκήσεις

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 5 21/7/2017 11:43:08 πμ

(2.1.) Εισαγωγή

Η έννοια «κύμα», από τις πιο βασικές έννοιες της φυσικής, χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή φαινομένων που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα.

Στην ενότητα αυτή θα περιγράψουμε το μηχανισμό παραγωγής τόσο των μηχανικών όσο και των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς και μια σειρά φαινομένων που είναι κοινά σε όλα τα κύματα -την ανάκλαση, τη διάθλαση και τη συμβολή.



Κύμα στην επιφάνεια της θάλασσας.
Εικόνα 2-1.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 6 21/7/2017 11:43:08 πμ

(2.2.) Μηχανικά Κύματα

Αν προκληθεί μια διαταραχή σε ένα υλικό που ηρεμεί (ισορροπεί), τα μόριά του, στην περιοχή όπου προκλήθηκε η διαταραχή, μετατοπίζονται από τις θέσεις ισορροπίας τους. Επειδή όμως τα μόρια αυτά αλληλεπιδρούν με τα γειτονικά τους δέχονται δυνάμεις που τείνουν να τα επαναφέρουν στις αρχικές τους θέσεις ενώ στα διπλανά τους ασκούνται δυνάμεις που τείνουν να τα εκτρέψουν από τη θέση ισορροπίας. Έτσι, η διαταραχή διαδίδεται από τη μια περιοχή του υλικού στην άλλη και όλα τα σημεία του υλικού εκτελούν διαδοχικά την ίδια κίνηση. Η διάδοση αυτής της διαταραχής στο χώρο ονομάζεται κύμα.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 7 21/7/2017 11:43:08 πμ

Για τη δημιουργία ενός κύματος χρειάζονται η **πηγή της διαταραχής** ή **πηγή του κύματος**, δηλαδή η αιτία που θα προκαλέσει τη διαταραχή και ένα υλικό (**μέσο**) στο οποίο κάθε μόριο αλληλεπιδρά με τα γειτονικά του (ελαστικό μέσο).

Τα κύματα που διαδίδονται σε ένα ελαστικό μέσο ονομάζονται **μηχανικά κύματα**. Ο κυματισμός στην επιφάνεια της θάλασσας, η διάδοση των δονήσεων κατά μήκος ενός στερεού και ο ήχος είναι μερικά παραδείγματα μηχανικών κυμάτων.

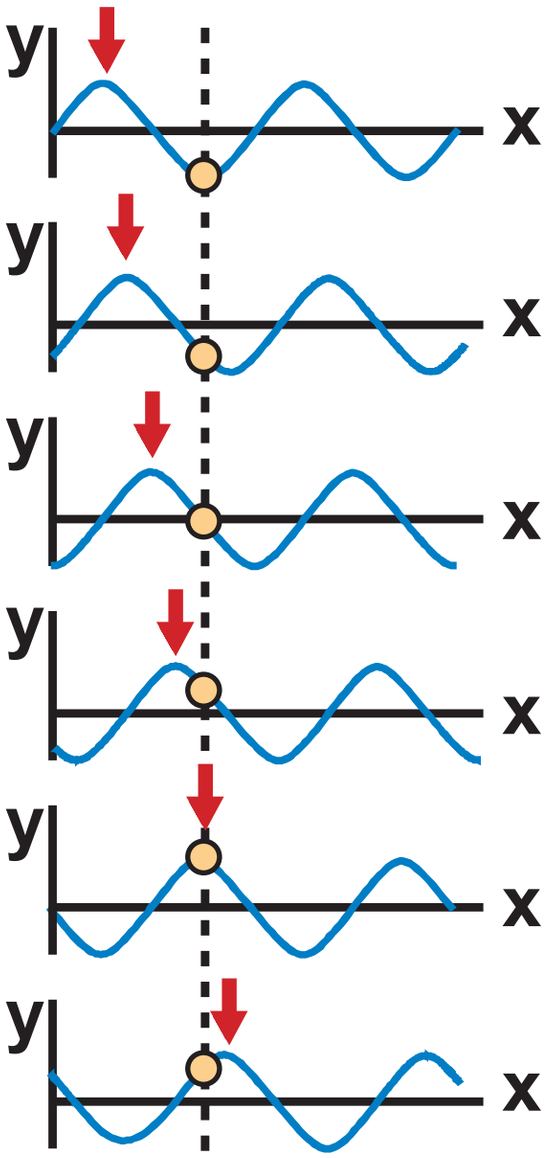
Κατά τη διάδοση ενός κύματος δεν έχουμε μεταφορά ύλης από μια περιοχή του ελαστικού μέσου σε άλλη. Τα μόρια του ελαστικού μέσου κινούνται γύρω από τη θέση ισορροπίας τους.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 8 21/7/2017 11:43:08 πμ

Για να προκαλέσουμε την κυματική διαταραχή πρέπει να δώσουμε ενέργεια σε κάποια περιοχή του μέσου. Η ενέργεια αυτή μεταφέρεται με το κύμα σε άλλες περιοχές του μέσου. **Κατά τη διάδοση ενός κύματος μεταφέρεται ενέργεια και ορμή από το ένα σημείο του μέσου στο άλλο, όχι όμως και ύλη.**

Τα κύματα στη θάλασσα μεταφέρουν μεγάλα ποσά ενέργειας και συχνά προκαλούν καταστροφές στις ακτές. **Εικόνα 2-2.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 9 21/7/2017 11:43:08 πμ



Κατά τη διάδοση ενός κύματος σε ένα ελαστικό μέσο τα σημεία του μέσου κινούνται γύρω από μια θέση ισορροπίας. Κατά τη διάδοση του κύματος δε μεταφέρεται ύλη.
Σχήμα 2-1.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 10 21/7/2017 11:43:08 πμ

Αν σε χρόνο t μια διαταραχή διαδίδεται σε απόσταση x από την πηγή παραγωγής της, το πηλίκο

$$u = \frac{x}{t} \qquad (2.1)$$

είναι η **ταχύτητα διάδοσης του κύματος.**

Η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται ένα κύμα σε ένα μέσον εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες του μέσου που διαταράσσεται και όχι από το πόσο ισχυρή είναι η διαταραχή. Λόγου χάρη ο ήχος, σε θερμοκρασία $20\,^{\circ}C$, διαδίδεται στον αέρα με ταχύτητα $344\,m/s$, ανεξάρτητα από το αν είναι ισχυρός ή ασθενής. Στα στερεά ο ήχος διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Στο σημείο αυτό να επισημάνουμε τη διάκριση ανάμεσα στην ταχύτητα

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 11 21/7/2017 11:43:08 πμ

του κύματος, που είναι σταθερή, και την ταχύτητα με την οποία κινούνται τα σημεία του μέσου γύρω από τη θέση ισορροπίας τους, που δεν είναι σταθερή.

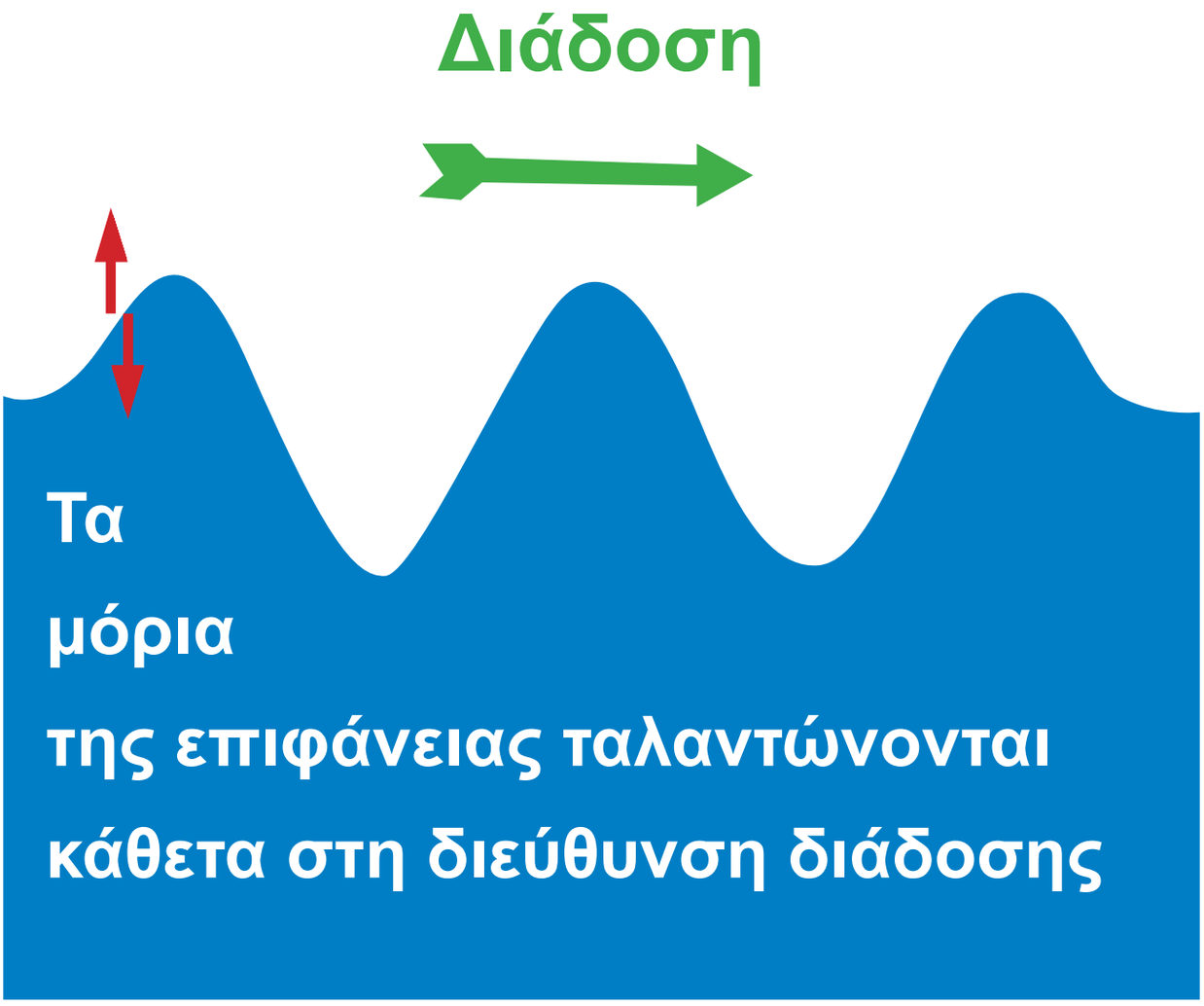
Με κριτήριο τη διεύθυνση στην οποία κινούνται τα σημεία του ελαστικού μέσου, τα κύματα διακρίνονται σε **εγκάρσια και σε διαμήκη.**

Τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται στα στερεά. Τα διαμήκη διαδίδονται τόσο στα στερεά όσο και στα υγρά και τα αέρια.

Εγκάρσια ονομάζονται τα κύματα στα οποία όλα τα σημεία του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τέτοια κύματα διαδίδονται κατά μήκος μιας χορδής. Τα κύματα που διαδίδονται στην επιφάνεια

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 12 21/7/2017 11:43:08 πμ

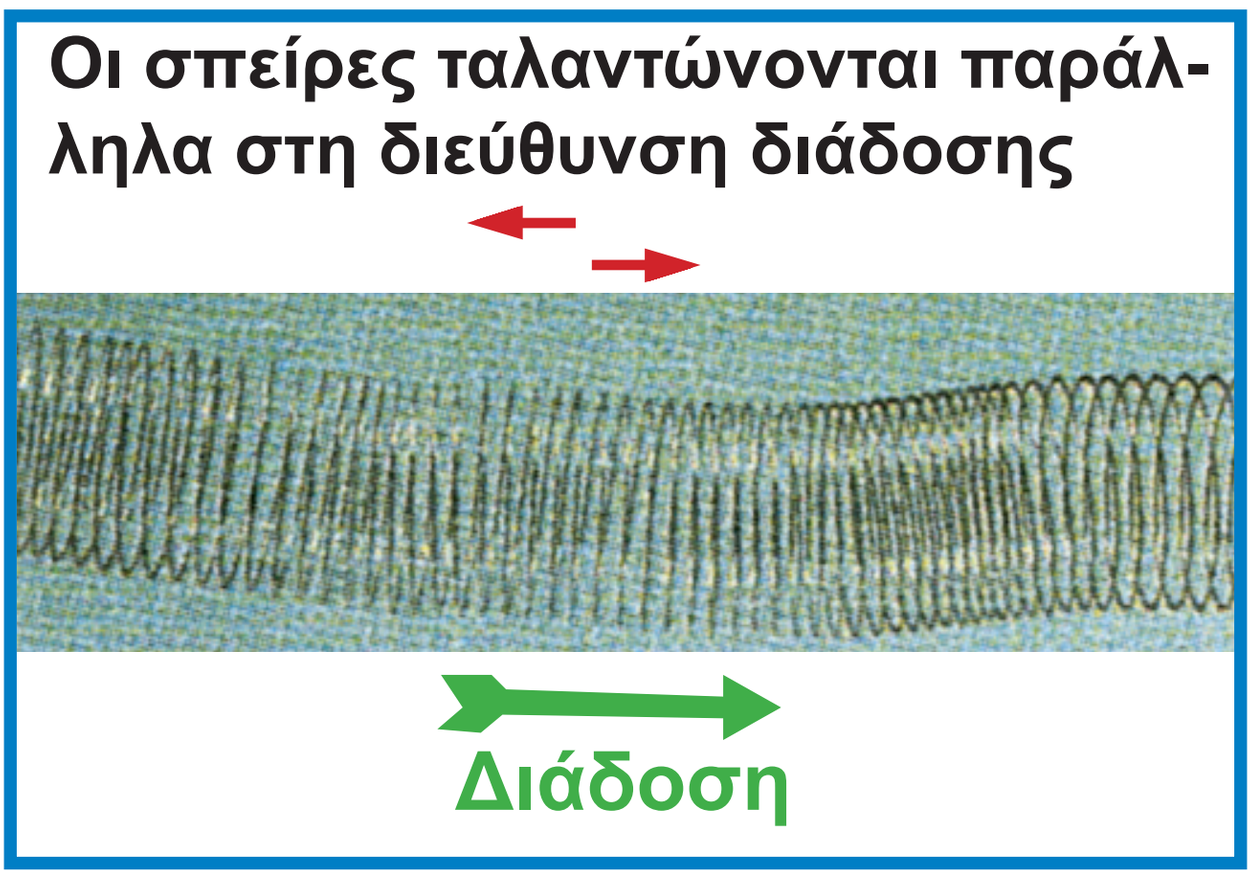
των υγρών μπορούν να θεωρηθούν κατά προσέγγιση εγκάρσια.



Τα κύματα στην επιφάνεια του νερού είναι κατά προσέγγιση εγκάρσια.
Σχήμα 2-2.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 13 21/7/2017 11:43:08 πμ

Διαμήκη ονομάζονται τα κύματα στα οποία τα σημεία του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τέτοιο είναι το κύμα που διαδίδεται κατά μήκος του ελατηρίου στο σχήμα 2.3.

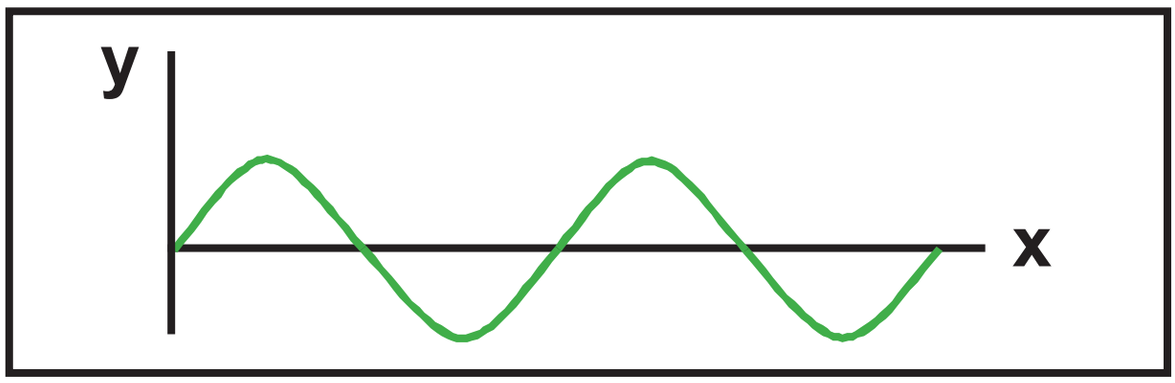


Διάμηκες κύμα.
Σχήμα 2-3.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 14 21/7/2017 11:43:08 πμ

Αν η πηγή εκτελεί περιοδική κίνηση τα σωματίδια του μέσου κινούνται επίσης περιοδικά. Το κύμα που προκύπτει τότε είναι ένα **περιοδικό κύμα**. Ειδικότερα, αν η κίνηση της πηγής είναι απλή αρμονική ταλάντωση όλα τα σωματίδια του μέσου εκτελούν επίσης απλή αρμονική ταλάντωση και το κύμα ονομάζεται **ημιτονοειδές ή αρμονικό**. Τα αρμονικά κύματα έχουν απλή μαθηματική περιγραφή και παίζουν έναν ιδιαίτερα σπουδαίο ρόλο. Οποιαδήποτε κυματική διαταραχή, όσο περίπλοκη και να είναι, μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από το άθροισμα ενός αριθμού αρμονικών κυμάτων.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 15 21/7/2017 11:43:08 πμ

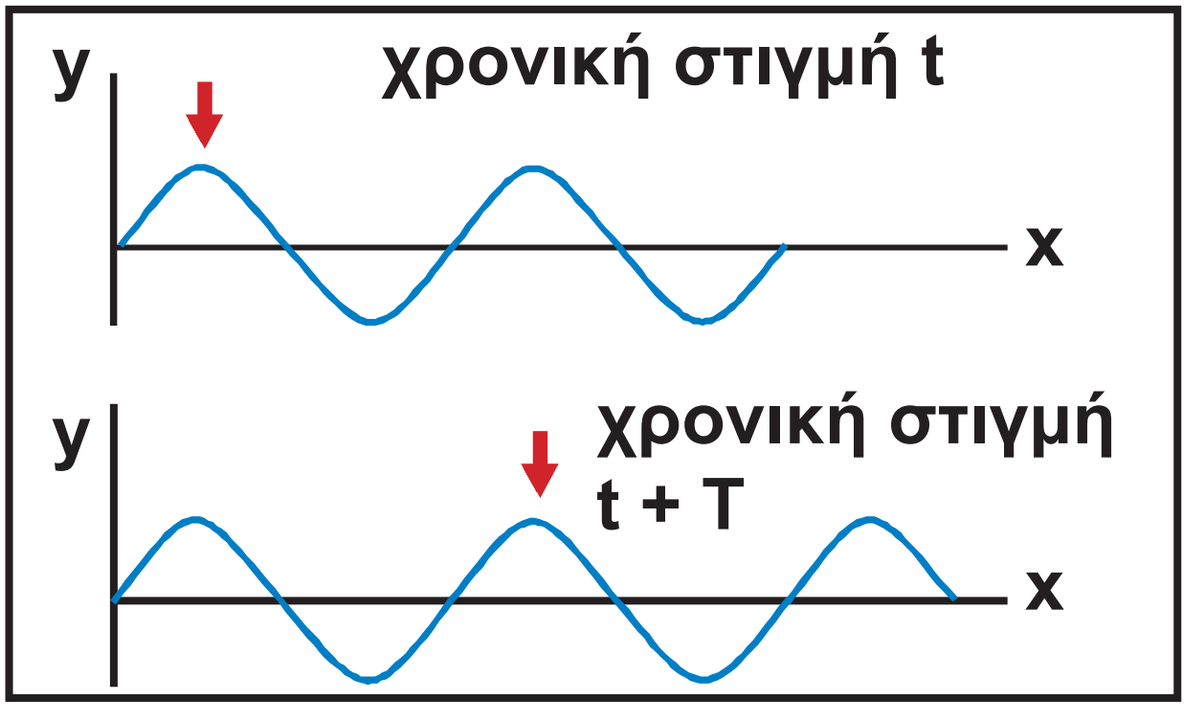


Στιγμιότυπο εγκάρσιου αρμονικού κύματος.
Σχήμα 2-4.

Η περίοδος (Τ) του κύματος είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο ένα σωματίδιο του μέσου ολοκληρώνει την κίνησή του (αρμονική ταλάντωση). Εάν φωτογραφίζαμε το μέσο στο οποίο διαδίδεται ένα αρμονικό κύμα δυο χρονικές στιγμές που διαφέρουν κατά μια περίοδο θα βλέπαμε ότι όλα τα σωματίδια του μέσου, έχοντας εκτελέσει μια πλήρη ταλάντωση, βρίσκονται πάλι στις αρχικές

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 16 21/7/2017 11:43:08 πμ

τους θέσεις. Έτσι, παρόλο που το κύμα θα έχει προχωρήσει, η κυματική εικόνα που θα πάρουμε θα είναι ίδια. Επομένως **περίοδος του κύματος είναι επίσης το χρονικό διάστημα στο οποίο η κυματική εικόνα επαναλαμβάνεται.**



Μετά από χρόνο μιας περιόδου η κυματική εικόνα επαναλαμβάνεται. **Σχήμα 2-5.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 17 21/7/2017 11:43:08 πμ

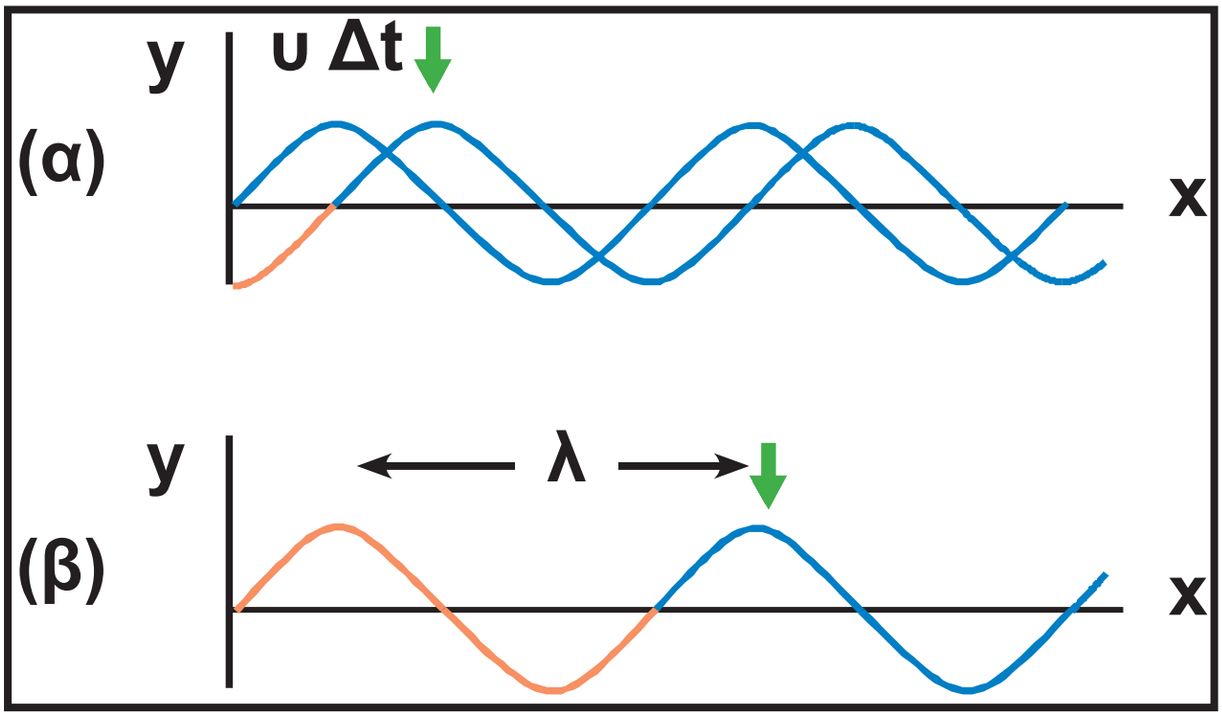
Η συχνότητα (**f**) **με την οποία ταλαντώνονται τα σημεία του μέσου ονομάζεται και συχνότητα του κύματος. Η συχνότητα του κύματος δείχνει τον αριθμό των κορυφών (αν πρόκειται για εγκάρσιο κύμα) ή των πυκνωμάτων (αν πρόκειται για διάμηκες) που φτάνουν σε κάποιο σημείο του μέσου στη μονάδα του χρόνου κατά τη διάδοση του κύματος.**

Η απόσταση στην οποία διαδίδεται το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου ονομάζεται μήκος κύματος και συμβολίζεται με λ.

Στο σχήμα 2.6α βλέπουμε δύο στιγμιότυπα ενός εγκάρσιου αρμονικού κύματος σε χρονικές στιγμές που διαφέρουν κατά Δt. Σ' αυτό το χρονικό διάστημα μια κορυφή του κύματος μετακινήθηκε κατά υ Δt. Σε

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 18 21/7/2017 11:43:08 πμ

χρονικό διάστημα μιας περιόδου μια κορυφή (έστω αυτή με το βελάκι) θα έχει μετακινηθεί κατά ένα μήκος κύματος (σχ. 2.6β). Επομένως η απόσταση δύο διαδοχικών κορυφών είναι ίση με λ.



(α) Σε χρόνο Δt μια κορυφή του κύματος μετακινείται κατά υΔt. (β) Σε μια περίοδο μετακινείται κατά λ.
Σχήμα 2-6.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 19 21/7/2017 11:43:09 πμ

Θα μπορούσαμε, να ορίσουμε το **μήκος κύματος** ως την **απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων του μέσου που απέχουν το ίδιο από τη θέση ισορροπίας τους και κινούνται κατά την ίδια φορά.**

Αν στη σχέση (2.1) αντικαταστήσουμε το t με την περίοδο του κύματος η απόσταση x στην οποία διαδίδεται το κύμα είναι λ και η σχέση παίρνει τη μορφή

$$\upsilon = \frac{\lambda}{T} \qquad (2.2)$$

Επειδή $T = \frac{1}{f}$ η σχέση, τελικά,

γίνεται $\boxed{\upsilon = \lambda f}$ (2.3)

Η σχέση αυτή ονομάζεται **θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 20 21/7/2017 11:43:09 πμ

Η μαθηματική περιγραφή του αρμονικού κύματος

Ας υποθέσουμε ότι η πηγή αρμονικής διαταραχής **O** αρχίζει να ταλαντώνεται τη χρονική στιγμή $t_0 = 0$ και ότι η ταλάντωσή της περιγράφεται από τη σχέση $y = A\eta\mu\omega t$. Ένα σημείο **M** του ελαστικού μέσου θα αρχίσει να ταλαντώνεται τη χρονική στιγμή

$$t_1 = \frac{x}{u}.$$

Επομένως τη χρονική στιγμή **t**, το σημείο **M** θα ταλαντώνεται επί χρόνο

$$t - t_1 = t - \frac{x}{u}$$

και, με την προϋπόθεση ότι το πλάτος της ταλάντωσης του **M** είναι

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 21 21/7/2017 11:43:09 πμ

ίσο με το πλάτος ταλάντωσης του Ο,[1] η εξίσωση της κίνησής του θα είναι

$$y = A\eta\mu\omega\left(t - \frac{x}{u}\right)$$

ή $$y = A\eta\mu\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{u}\right)$$

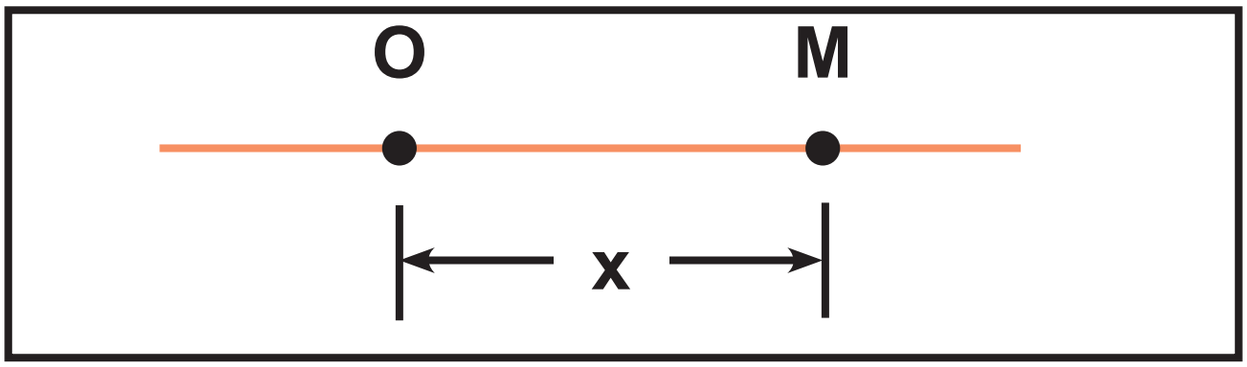
ή $$y = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{uT}\right)$$

ή, επειδή $uT = \lambda$,

$$\boxed{y = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)} \quad (2.4)$$

[1] Η προϋπόθεση αυτή εκπληρώνεται στην περίπτωση κυμάτων που διαδίδονται σε γραμμικά ελαστικά μέσα (π.χ. χορδές) χωρίς απώλειες ενέργειας.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 22 21/7/2017 11:43:09 πμ



Το σημείο **M** απέχει απόσταση **x** από την πηγή **O** του κύματος.
Σχήμα 2-7.

Αν το κύμα διαδίδεται κατά την αντίθετη φορά τότε

$$y = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right)$$

Η (2.4) αποτελεί την εξίσωση του κύματος και δίνει κάθε στιγμή την απομάκρυνση που έχουν τα σημεία του ελαστικού μέσου από τη θέση ισορροπίας τους.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 23 21/7/2017 11:43:09 πμ

Το **A** ονομάζεται **πλάτος του κύματος** και είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει η απομάκρυνση ενός σημείου του μέσου κατά την αρμονική ταλάντωση που εκτελεί.

Η γωνία $2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)$ ονομάζεται **φάση** και μετριέται σε ακτίνια.

Επειδή η φάση εξαρτάται από την απόσταση **x** από την πηγή προκύπτει ότι τα σημεία του ελαστικού μέσου την ίδια χρονική στιγμή έχουν διαφορετικές φάσεις.

Γραφική παράσταση του κύματος

Από τη σχέση (2.4) φαίνεται ότι η απομάκρυνση **y** κάποιου σημείου του μέσου είναι συνάρτηση δύο μεταβλητών, του χρόνου **t** και της απόστασης **x** του σημείου από την πηγή.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 24 21/7/2017 11:43:09 πμ

Για το λόγο αυτό δεν είναι δυνατό η σχέση (2.4) να παρασταθεί γραφικά σε επίπεδο σχήμα. Αν όμως η μια από τις δύο μεταβλητές θεωρηθεί σταθερή, η απομάκρυνση είναι συνάρτηση μόνο της άλλης μεταβλητής και είναι δυνατή η γραφική της παράσταση.

Α) Στιγμιότυπο του κύματος

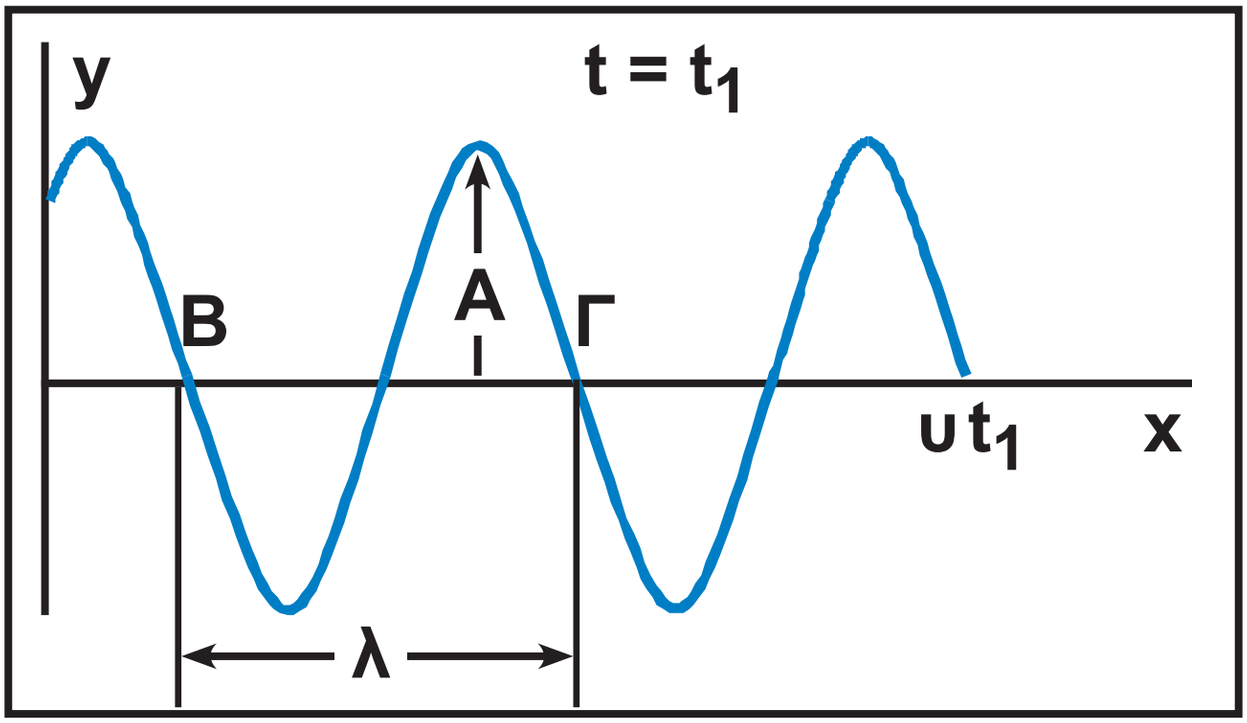
Για δεδομένη χρονική στιγμή ($t = t_1$) η σχέση (2.4) παίρνει τη μορφή

$$y = A\eta\mu 2\pi\left(\sigma\tau\alpha\theta - \frac{x}{\lambda}\right)$$

και δίνει την απομάκρυνση κάθε σημείου του μέσου συναρτήσει της απόστασής του από την πηγή. Το διάγραμμα αυτής της συνάρτησης (σχ. 2.8), δίνει τη θέση των διαφόρων σημείων του μέσου μια ορισμένη

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 25 21/7/2017 11:43:09 πμ

χρονική στιγμή και ονομάζεται **στιγμιότυπο του κύματος.**



Ένα στιγμιότυπο του κύματος. Τα σημεία Β και Γ που έχουν διαφορά φάσης 2π, απέχουν ένα μήκος κύματος. **Σχήμα 2-8.**

Β) Ταλάντωση ενός σημείου του μέσου

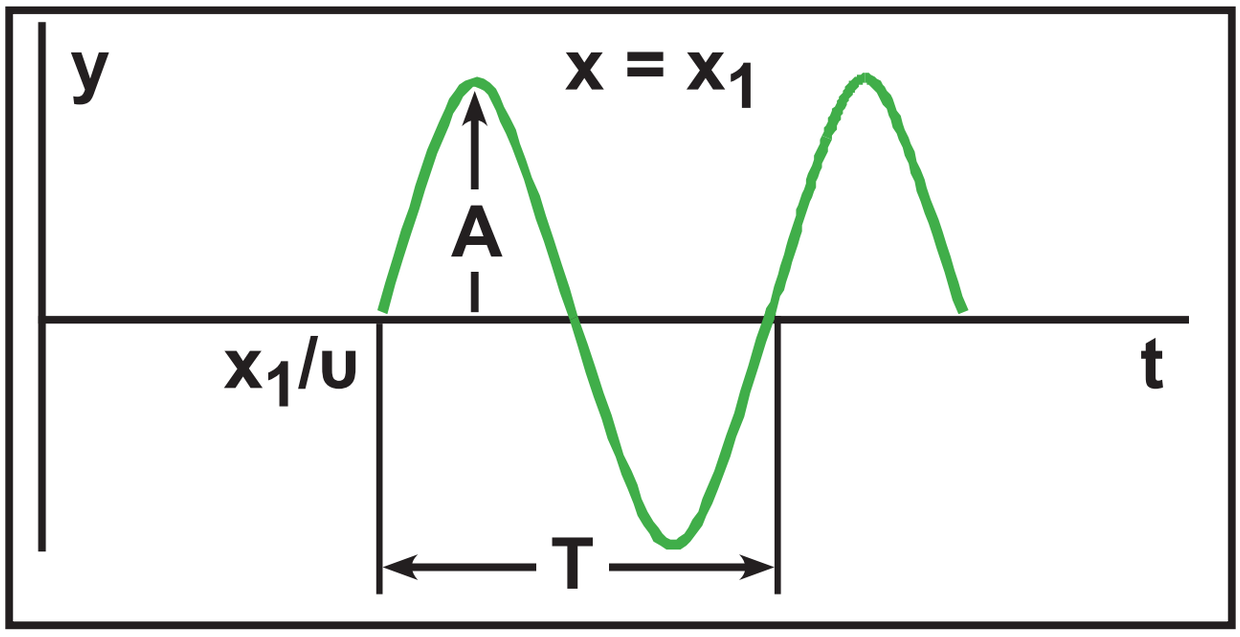
Για ορισμένη απόσταση από την πηγή ($x = x_1$), η σχέση (2.4) παίρνει τη μορφή

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 26 21/7/2017 11:43:09 πμ

$$y = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \sigma\tau\alpha\theta\right)$$

και δίνει την απομάκρυνση ενός συγκεκριμένου σημείου του μέσου συναρτήσει του χρόνου.

Η γραφική παράσταση της σχέσης αυτής (σχ. 2.9) είναι η γνωστή μας γραφική παράσταση της απλής αρμονικής ταλάντωσης.



Γραφική παράσταση της κίνησης ενός σημείου του ελαστικού μέσου σε συνάρτηση με το χρόνο.
Σχήμα 2-9.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 27 21/7/2017 11:43:09 πμ

(2.3.) Επαλληλία ή Υπέρθεση Κυμάτων

Τι συμβαίνει όταν στο ίδιο ελαστικό μέσο **συμβάλλουν**, δηλαδή διαδίδονται ταυτόχρονα δύο ή περισσότερα κύματα; Ποια είναι τότε η κίνηση των μορίων του μέσου;

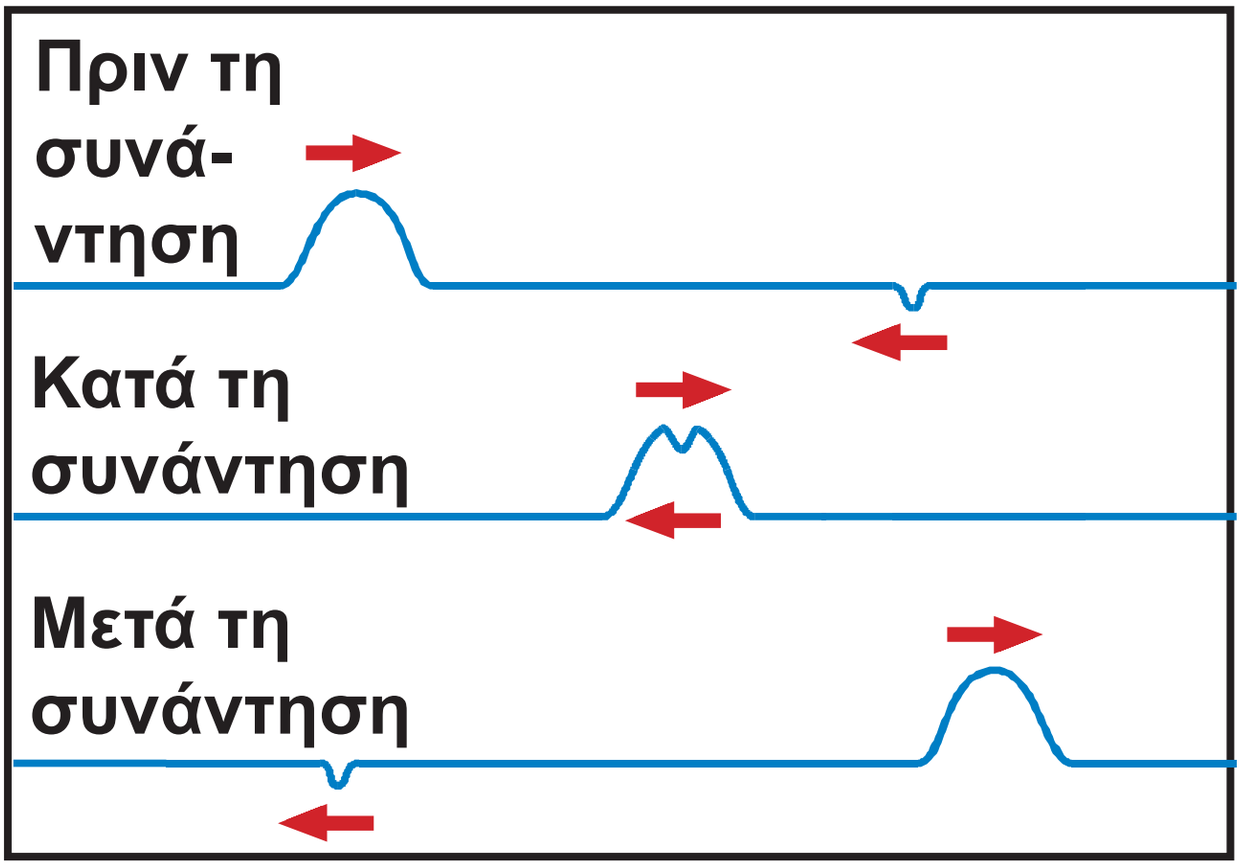
Έχει διαπιστωθεί ότι τα κύματα ακολουθούν την αρχή επαλληλίας ή υπέρθεσης, σύμφωνα με την οποία

όταν σε ένα ελαστικό μέσο διαδίδονται δύο ή περισσότερα κύματα η απομάκρυνση ενός σημείου του μέσου είναι ίση με τη συνισταμένη των απομακρύνσεων που οφείλονται στα επί μέρους κύματα.

Στο **σχήμα 2.10** φαίνεται το αποτέλεσμα της ταυτόχρονης διάδοσης δύο παλμών κατά μήκος ενός σχοινιού, στο ίδιο επίπεδο, με αντίθετες

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 28 21/7/2017 11:43:09 πμ

κατευθύνσεις. Όταν οι δυο παλμοί συναντώνται, τα μόρια του σχοινιού έχουν απομάκρυνση ίση με το αλγεβρικό άθροισμα των απομακρύνσεων που θα είχαν αν οι δυο παλμοί διαδίδονταν ξεχωριστά.



Σχήμα 2-10.

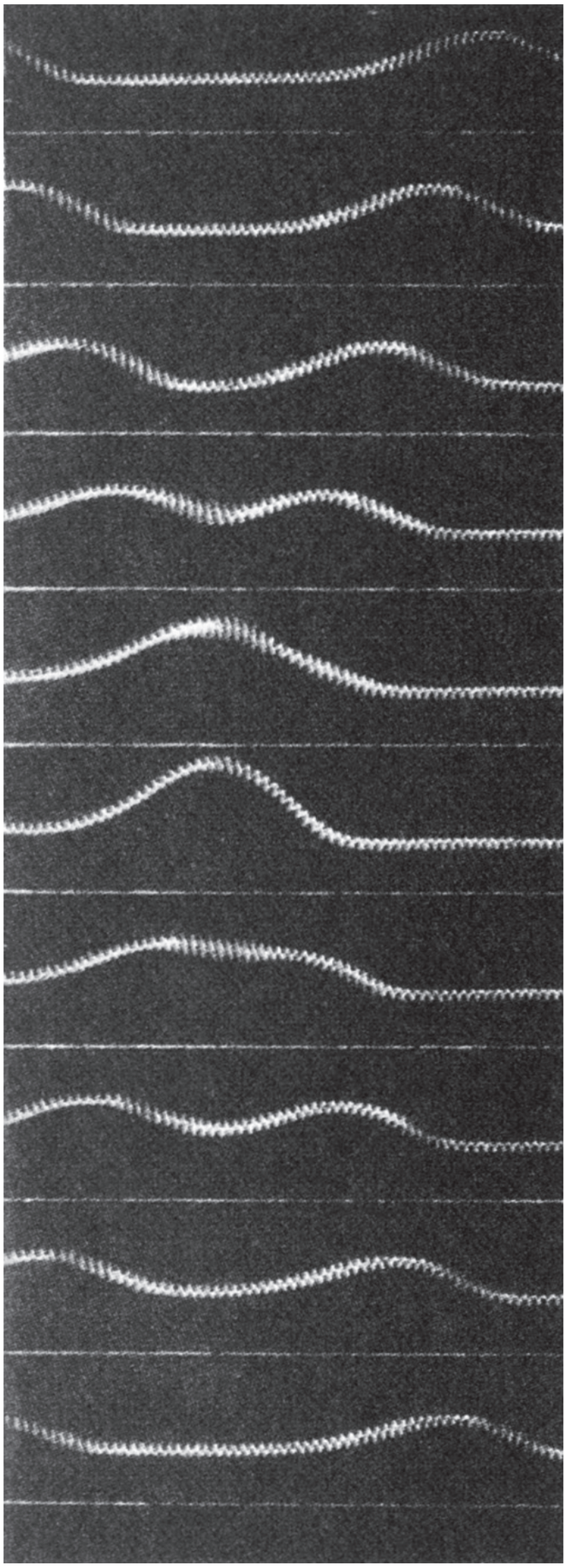
Στην εικόνα 2.3 φαίνονται δύο κύματα τα οποία διαδίδονται κατά μήκος ενός ελατηρίου. Όπως φαίνεται,

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 29 21/7/2017 11:43:09 πμ

τα κύματα διέρχονται το ένα μέσα από το άλλο χωρίς να μεταβληθούν καθόλου. Τα κύματα που διαδίδονται στο ίδιο μέσο, δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Κάθε κύμα διαδίδεται σαν να μην υπήρχε το άλλο. Η συνεισφορά κάθε κύματος στην απομάκρυνση ενός σημείου του μέσου είναι ανεξάρτητη από την ύπαρξη του άλλου κύματος.

Η αρχή της επαλληλίας παραβιάζεται μόνο όταν τα κύματα είναι τόσο ισχυρά ώστε να μεταβάλλουν τις ιδιότητες του μέσου στο οποίο διαδίδονται (όταν οι δυνάμεις που ασκούνται στα σωματίδια του μέσου δεν είναι ανάλογες της απομάκρυνσης). Τέτοιες περιπτώσεις όπου δεν ισχύει η αρχή της επαλληλίας, έχουμε στα κύματα που δημιουργούνται από μια έκρηξη.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 30 21/7/2017 11:43:09 πμ



Φωτογραφίες από δύο κυματικούς παλμούς που διαδίδονται κατά μήκος ενός ελατηρίου.
Εικόνα 2-3.

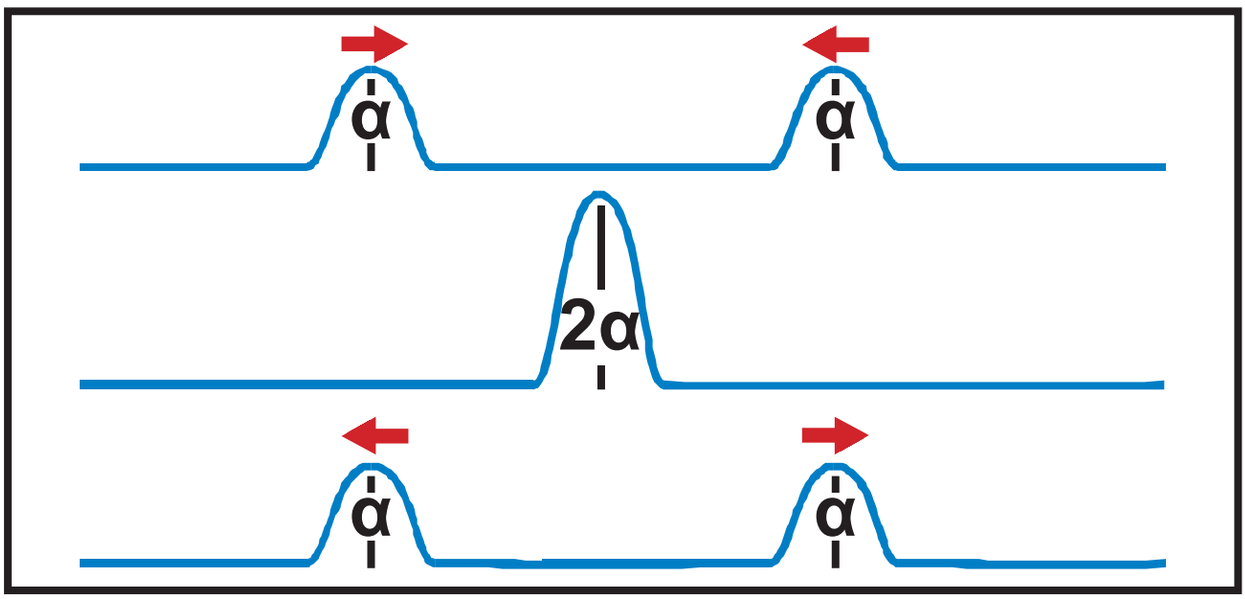
l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 31 21/7/2017 11:43:09 πμ

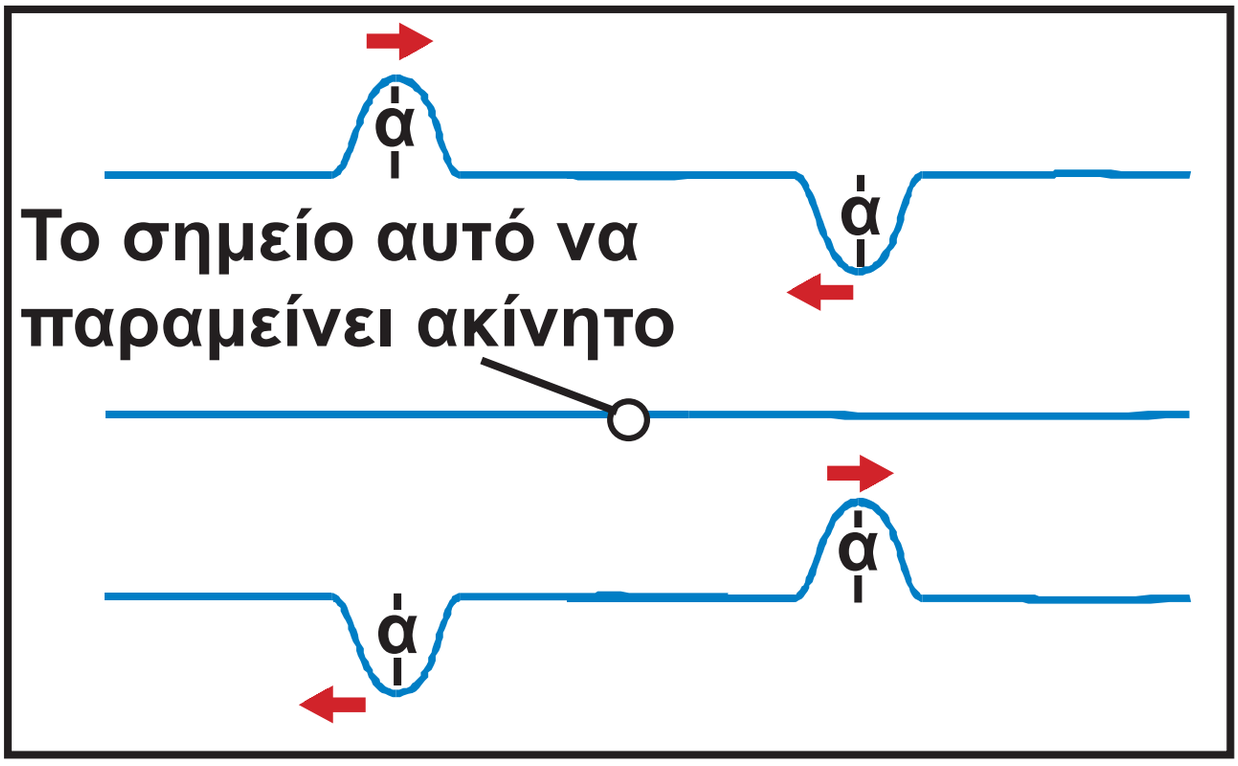
Τα κυματικά φαινόμενα που απαντούν στη φύση είναι συνήθως αρκετά σύνθετα. Όπως την κίνηση ενός βλήματος την αναλύουμε σε συνιστώσες, οριζόντια και κατακόρυφη, ένα σύνθετο κύμα μπορούμε να το θεωρήσουμε ως αποτέλεσμα της επαλληλίας ενός αριθμού αρμονικών κυμάτων, με επιλεγμένα πλάτη και μήκη κύματος.

Η ταυτόχρονη διάδοση δύο ή περισσότερων κυμάτων στην ίδια περιοχή ενός ελαστικού μέσου ονομάζεται συμβολή.

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε μερικές ειδικές περιπτώσεις συμβολής κυμάτων.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 32 21/7/2017 11:43:09 πμ





Το αποτέλεσμα της συμβολής δύο όμοιων κυματικών παλμών και της συμβολής δύο όμοιων αλλά αντίθετων παλμών.
Σχήμα 2-11.

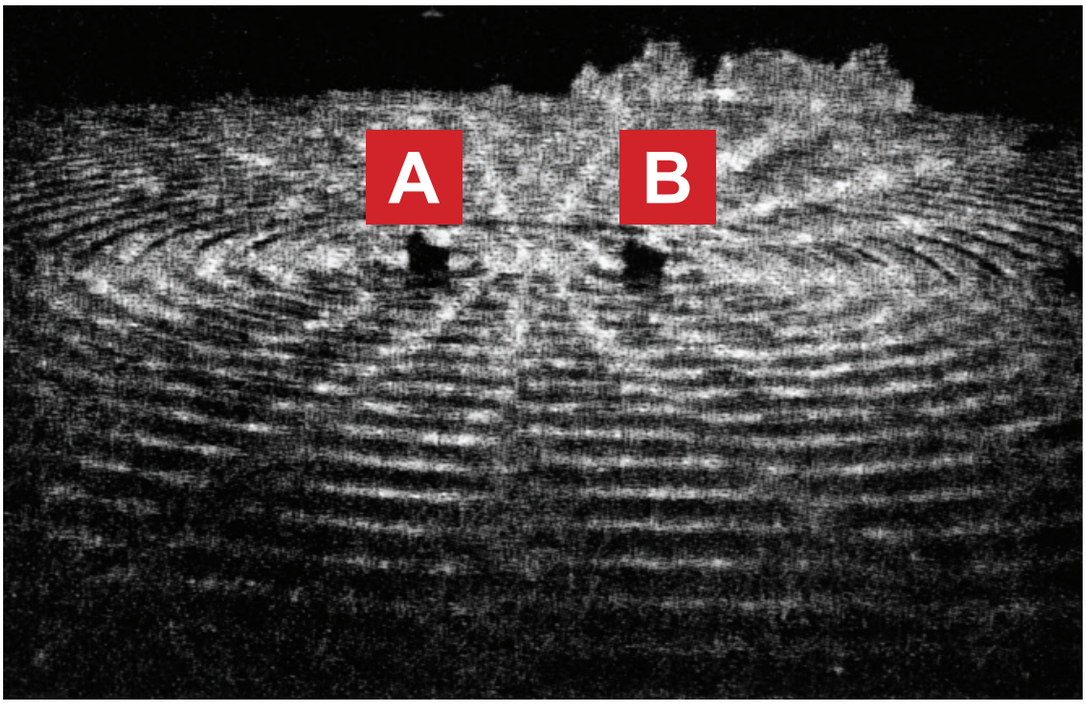
l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 33 21/7/2017 11:43:09 πμ

(2.4.) Συμβολή Δύο Κυμάτων Στην Επιφάνεια Υγρού

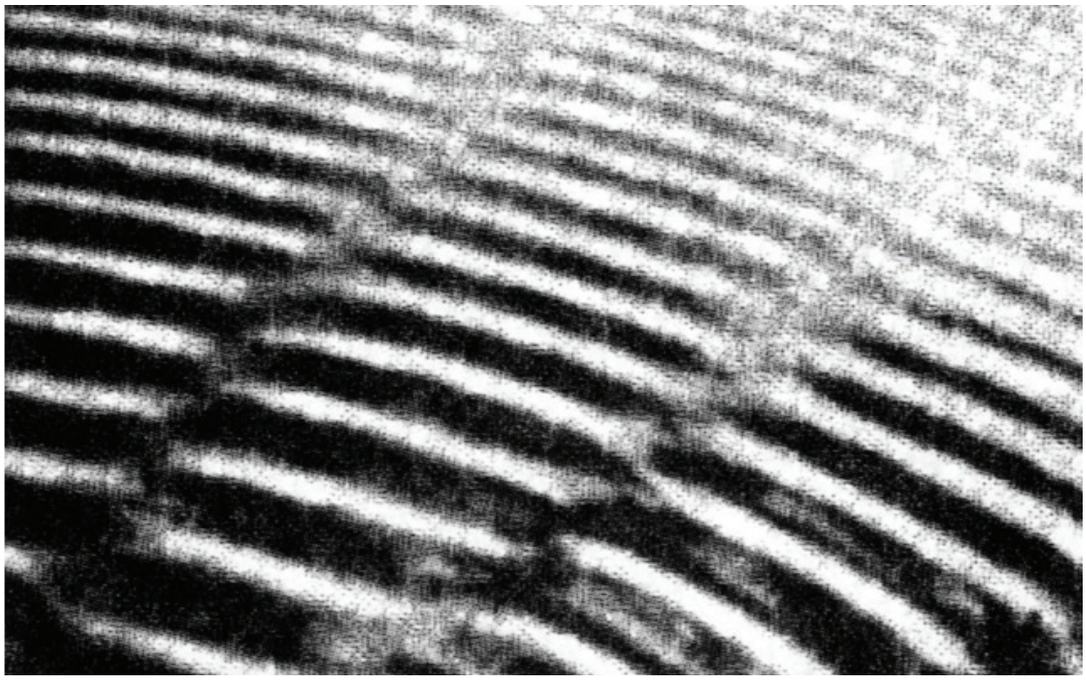
Οι εικόνες 2.4α και 2.4β δείχνουν το αποτέλεσμα της συμβολής δύο όμοιων κυμάτων στην επιφάνεια νερού. Τα κύματα προκαλούνται στην επιφάνεια νερού από τις πηγές **A** και **B**.

Βλέπουμε ότι υπάρχουν σημεία (τα οποία μάλιστα σχηματίζουν γραμμές) που παραμένουν ακίνητα, ενώ άλλα ταλαντώνονται πολύ έντονα.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 34 21/7/2017 11:43:09 πμ



(α)

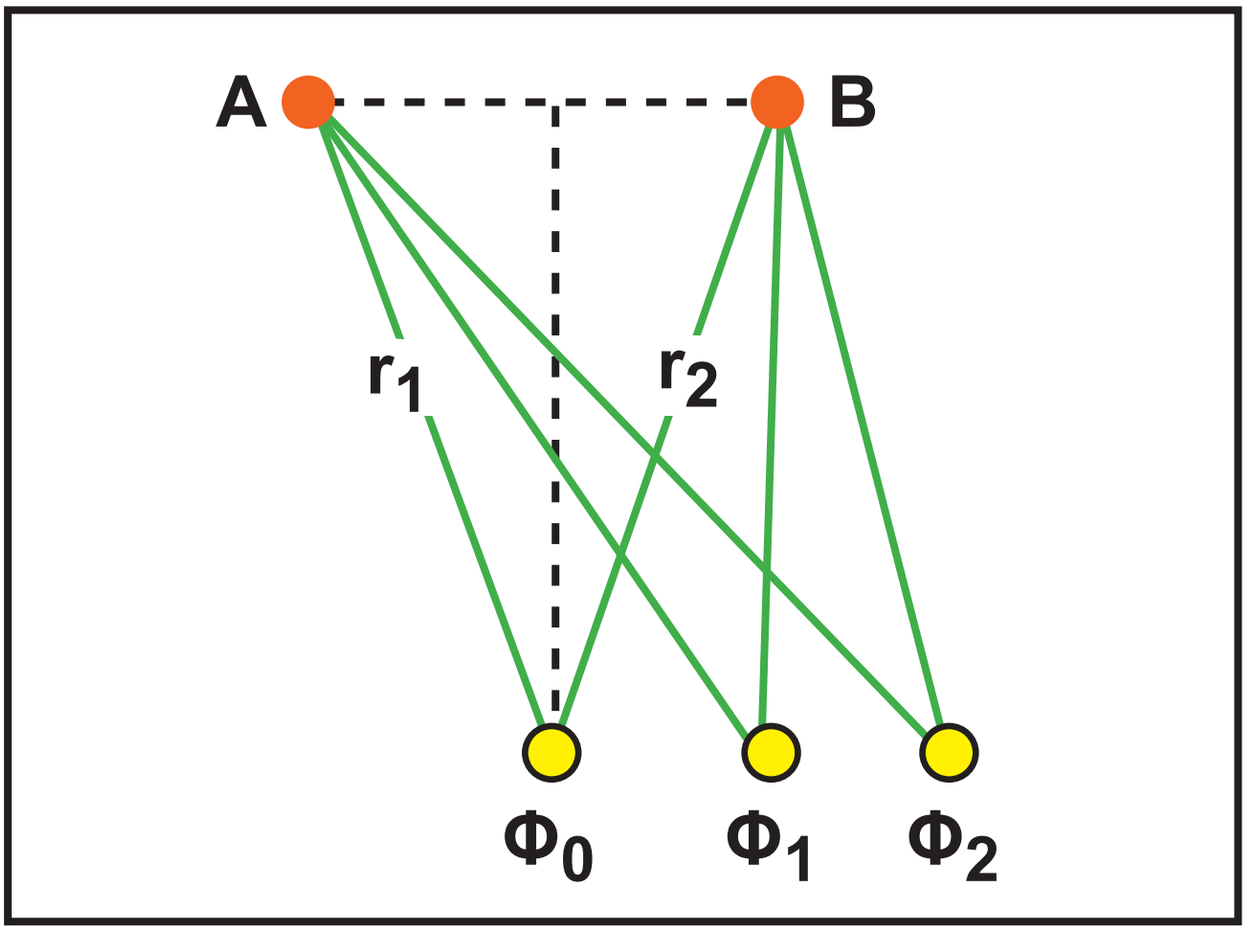


(β)

Η συμβολή δύο κυμάτων στην επιφάνεια νερού.
Εικόνα 2-4.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 35 21/7/2017 11:43:09 πμ

Στο σχήμα 2.12 το σημείο Φ_0 είναι ένα σημείο στην επιφάνεια του νερού που απέχει εξίσου από τα σημεία A και B, ($r_1 = r_2$).



Στα σημεία Φ_0 , Φ_1 , Φ_2 ,... για τα οποία οι αποστάσεις από τις δύο πηγές διαφέρουν ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος έχουμε ενίσχυση.
Σχήμα 2-12.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 36 21/7/2017 11:43:09 πμ

Επειδή τα δύο κύματα ξεκινούν ταυτόχρονα από τις πηγές και η απόσταση που διανύουν μέχρι να φτάσουν στο Φ_0 είναι ίδια, όταν στο Φ_0 φτάνει «όρος» από τη μια πηγή, θα φτάνει «όρος» και από την άλλη. Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας, στο Φ_0 θα δημιουργηθεί «όρος» με διπλάσιο ύψος. Μετά από χρόνο $\frac{T}{2}$ στο σημείο Φ_0 θα φτάσουν ταυτόχρονα δύο «κοιλάδες», έτσι η κοιλάδα που θα δημιουργηθεί στο Φ_0 θα έχει διπλάσιο βάθος. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι τα δύο κύματα συμβάλλουν ενισχυτικά.

Ενισχυτική συμβολή έχουμε και σε άλλα σημεία. Για παράδειγμα και στο σημείο Φ_1, στο οποίο $r_1 - r_2 = \lambda$. Όταν στο σημείο Φ_1 φτάνει «όρος» που προέρχεται από την πηγή B,

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 37 21/7/2017 11:43:09 πμ

ταυτόχρονα φτάνει «όρος» που προέρχεται από την πηγή **A** και δημιουργήθηκε μια περίοδο νωρίτερα. Το ίδιο συμβαίνει σε όλα εκείνα τα σημεία στα οποία η διαφορά των αποστάσεών τους από τις δύο πηγές είναι ακέραια πολλαπλάσια του μήκους κύματος.

Ας εξετάσουμε τώρα την περίπτωση ενός σημείου Σ_1 (σχ. 2.13), στο οποίο οι αποστάσεις r_1 και r_2 από τις πηγές **A** και **B**, διαφέρουν κατά $\frac{\lambda}{2}$.

Όπως είπαμε τα «όρη» ξεκινούν ταυτόχρονα από τις δύο πηγές. Όταν στο σημείο Σ_1 φτάνει όρος προερχόμενο από την πηγή **B**, από την πηγή **A** θα φτάνει κοιλάδα, με αποτέλεσμα τα δύο κύματα να αλληλοαναιρούνται. Μετά από χρόνο $\frac{T}{2}$, στο

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 38 21/7/2017 11:43:09 πμ

σημείο Σ_1, θα φτάσει «κοιλάδα» από το **B** και «όρος» από το **A**. Το άθροισμά τους θα είναι πάλι μηδέν. Το σημείο Σ_1 παραμένει διαρκώς ακίνητο. Το ίδιο συμβαίνει με όλα εκείνα τα σημεία, στην επιφάνεια του νερού, στα οποία η διαφορά των αποστάσεών τους από τις δύο πηγές είναι ίση με περιττό πολλαπλάσιο του $\frac{\lambda}{2}$. Επομένως

Τα σημεία των οποίων οι αποστάσεις r_1 και r_2, από τις δύο πηγές, διαφέρουν κατά ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος λ

(δηλαδή $r_1 - r_2 = N\lambda$

όπου $N = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$)

ταλαντώνονται με μέγιστο πλάτος. Τότε έχουμε ενίσχυση.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 39 21/7/2017 11:43:09 πμ

Τα σημεία των οποίων οι αποστάσεις r_1 και r_2, από τις δύο πηγές, διαφέρουν κατά περιττό πολλαπλάσιο του μισού μήκους κύματος ($\frac{\lambda}{2}$)

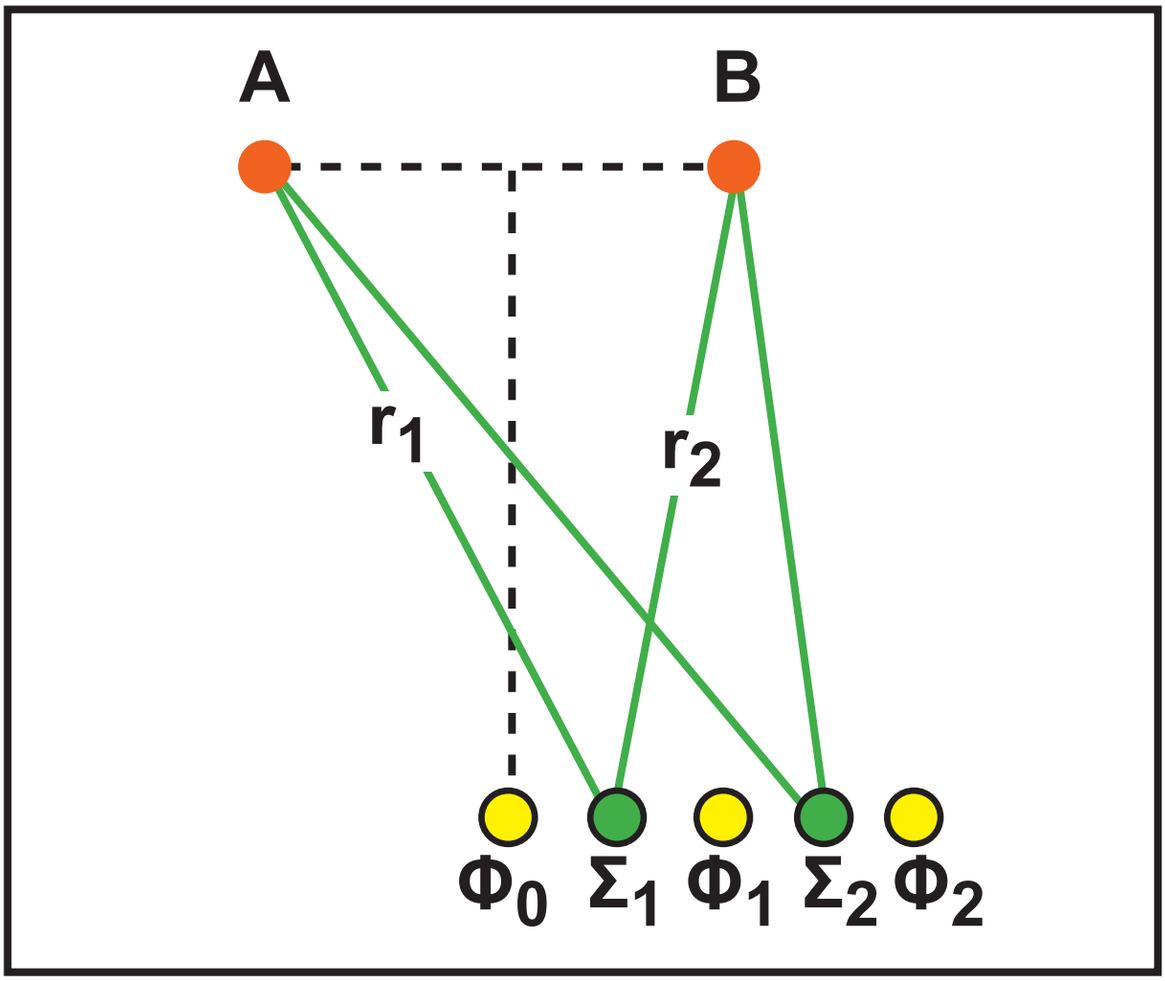
(δηλαδή $r_1 - r_2 = (2N\lambda + 1)\frac{\lambda}{2}$

όπου $N = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$)

μένουν διαρκώς ακίνητα. Τότε έχουμε απόσβεση.

Όλα τα υπόλοιπα σημεία κάνουν ταλάντωση με ενδιάμεσο πλάτος.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 40 21/7/2017 11:43:09 πμ



Στα σημεία Σ_1, Σ_2,... για τα οποία οι αποστάσεις από τις δύο πηγές διαφέρουν περιττό πολλαπλάσιο του μισού μήκους κύματος έχουμε απόσβεση. **Σχήμα 2-13.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 41 21/7/2017 11:43:10 πμ

Τα συμπεράσματα αυτά μπορούν να γίνουν πιο πειστικά αν μελετήσουμε μαθηματικά το φαινόμενο. Έστω ότι ένα τυχαίο σημείο του μέσου στο οποίο διαδίδονται ταυτόχρονα κύματα που προέρχονται από τις πηγές A και B, απέχει από αυτές r_1 και r_2 αντίστοιχα. Μια τυχαία χρονική στιγμή t το σημείο αυτό έχει απομάκρυνση,

$$y_1 = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda}\right)$$

εξαιτίας του πρώτου κύματος (2.5)

και

$$y_2 = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda}\right)$$

εξαιτίας του δεύτερου (2.6)

Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας, η απομάκρυνση του σημείου

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 42 21/7/2017 11:43:10 πμ

αυτού από τη θέση ισορροπίας του τη χρονική στιγμή t θα είναι

$$y = y_1 + y_2$$

η οποία βάσει των (2.5) και (2.6) γίνεται

$$y = A\left[\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda}\right) + \eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda}\right)\right] \quad (2.7)$$

Κάνοντας χρήση της τριγωνομετρικής ταυτότητας

$$\eta\mu\alpha + \eta\mu\beta = 2\sigma\upsilon\nu\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)\eta\mu\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)$$

η σχέση (2.7) γίνεται

$$y = 2A\sigma\upsilon\nu 2\pi\frac{r_1-r_2}{2\lambda}\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_1+r_2}{2\lambda}\right)$$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 43 21/7/2017 11:43:10 πμ

Επομένως το αποτέλεσμα της συμβολής είναι ταλάντωση που έχει πλάτος

$$A' = \left| 2A\,\text{συν}2\pi \frac{r_1 - r_2}{2\lambda} \right| \qquad (2.8)$$

και φάση $2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_1+r_2}{2\lambda}\right)$

Σύμφωνα με τη (2.8), το πλάτος της ταλάντωσης γίνεται μέγιστο $(A' = 2A)$ όταν

$$\text{συν}2\pi \frac{r_1 - r_2}{2\lambda} = \pm 1$$

ή όταν

$$2\pi \frac{|r_1 - r_2|}{2\lambda} = N\pi,$$

δηλαδή στα σημεία για τα οποία

$|r_1 - r_2| = N\lambda$ όπου $N = 0,1,2...$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 44 21/7/2017 11:43:10 πμ

Όταν

$$\sigma\upsilon\nu 2\pi \frac{r_1 - r_2}{2\lambda} = 0$$

δηλαδή

$$2\pi \frac{|r_1 - r_2|}{2\lambda} = (2N+1)\frac{\pi}{2}$$

ή

$$|r_1 - r_2| = (2N+1)\frac{\lambda}{2} \quad \text{με} \quad N = 0,1,2...$$

η (2.8) δίνει ότι $A' = 0$. Δηλαδή τα σημεία αυτά παραμένουν διαρκώς ακίνητα.

Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων για τα οποία ισχύει $r_1 - r_2 = \sigma\tau\alpha\theta.$ είναι υπερβολή. Επομένως τα σημεία στα οποία έχουμε ενισχυτική συμβολή και τα σημεία στα οποία έχουμε απόσβεση, βρίσκονται πάνω σε υπερβολές.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 45 21/7/2017 11:43:10 πμ

Σημείωση: Η μελέτη του φαινομένου της συμβολής, όπως έγινε, αφορούσε στη συμβολή δύο κυμάτων των οποίων οι πηγές βρίσκονται **σε φάση** (δηλαδή δημιουργούν ταυτόχρονα μέγιστα και ελάχιστα). Τέτοιες πηγές ονομάζονται σύγχρονες. Συμβολή, όμως, έχουμε κάθε φορά που δύο κύματα διαδίδονται στο ίδιο μέσο.

Παράδειγμα 2.1

Δύο σημειακές πηγές ήχου Α και Β εκπέμπουν αρμονικό ήχο ίδιας συχνότητας και βρίσκονται σε φάση. Στο μέσο Μ της απόστασής τους, ο ήχος ακούγεται έντονος. Στο σημείο Γ, που βρίσκεται πάνω στην ευθεία ΑΒ, σε απόσταση x = 4 cm από το σημείο Μ, ο ήχος μηδενίζεται για πρώτη φορά. Να βρεθεί η συχνότητα του ήχου που

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 46 21/7/2017 11:43:10 πμ

εκπέμπεται από τις δύο πηγές. Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι $u = 340\ m/s$.

Απάντηση:

Απόσβεση έχουμε στα σημεία, της ευθείας AB, στα οποία ισχύει

$r_1 - r_2 = (2N+1)\frac{\lambda}{2}$ όπου $N = 0, \pm 1, \pm 2, ..$

Στο σημείο Γ όπου για πρώτη φορά παρατηρείται απόσβεση $N = 0$

Επομένως $r_1 - r_2 = \frac{\lambda}{2}$

Αν το σημείο Γ βρίσκεται πλησιέστερα στο B τότε

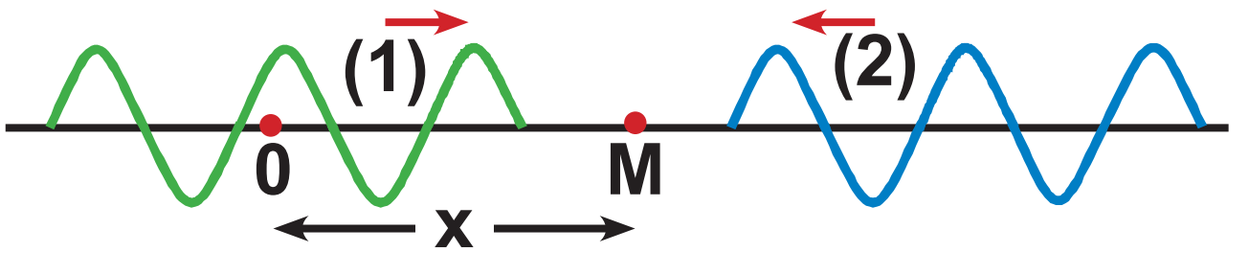
$AM + x - (BM - x) = \frac{\lambda}{2}$ ή $2x = \frac{\lambda}{2}$

άρα $\lambda = 4x = 16\,cm$ και $f = \frac{u}{\lambda} = 2125\,Hz$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 47 21/7/2017 11:43:10 πμ

(2.5.) Στάσιμα Κύματα

Δύο κύματα ίδιου πλάτους και ίδιας συχνότητας διαδίδονται με αντίθετη φορά μέσα στο ίδιο ελαστικό μέσο (σχ. 2.14).



Τα δύο κύματα διαδίδονται στο ίδιο ελαστικό μέσο με αντίθετη φορά. **Σχήμα 2-14.**

Τα δύο κύματα συμβάλλουν. Η κίνηση του μέσου ονομάζεται στάσιμο κύμα.

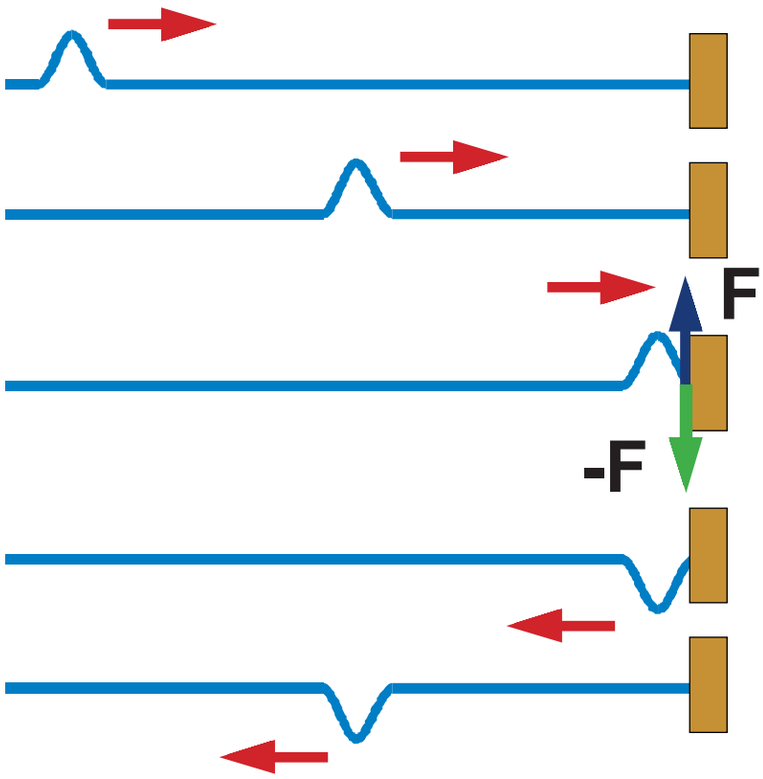
Στάσιμο κύμα ονομάζεται το αποτέλεσμα της συμβολής δύο κυμάτων της ίδιας συχνότητας και του

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 48 21/7/2017 11:43:10 πμ

ίδιου πλάτους που διαδίδονται στο ίδιο μέσο με αντίθετες κατευθύνσεις.

Κρατάμε την ελεύθερη άκρη ενός τεντωμένου σχοινιού, που η άλλη του άκρη είναι στερεωμένη σε ακλόνητο σημείο και της δίνουμε μια ώθηση. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένας κυματικός παλμός ο οποίος διαδίδεται κατά μήκος του σχοινιού. Όταν η κυματική διαταραχή φτάσει στην άκρη του σχοινιού το σχοινί ασκεί μια δύναμη στο σημείο στήριξης. Η αντίδραση σε αυτή τη δύναμη δημιουργεί έναν ανακλώμενο παλμό που κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση (σχ. 2.15).

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 49 21/7/2017 11:43:10 πμ



Ο κυματικός παλμός ανακλάται στο σταθερό εμπόδιο και διαδίδεται αντίθετα.
Σχήμα 2-15.

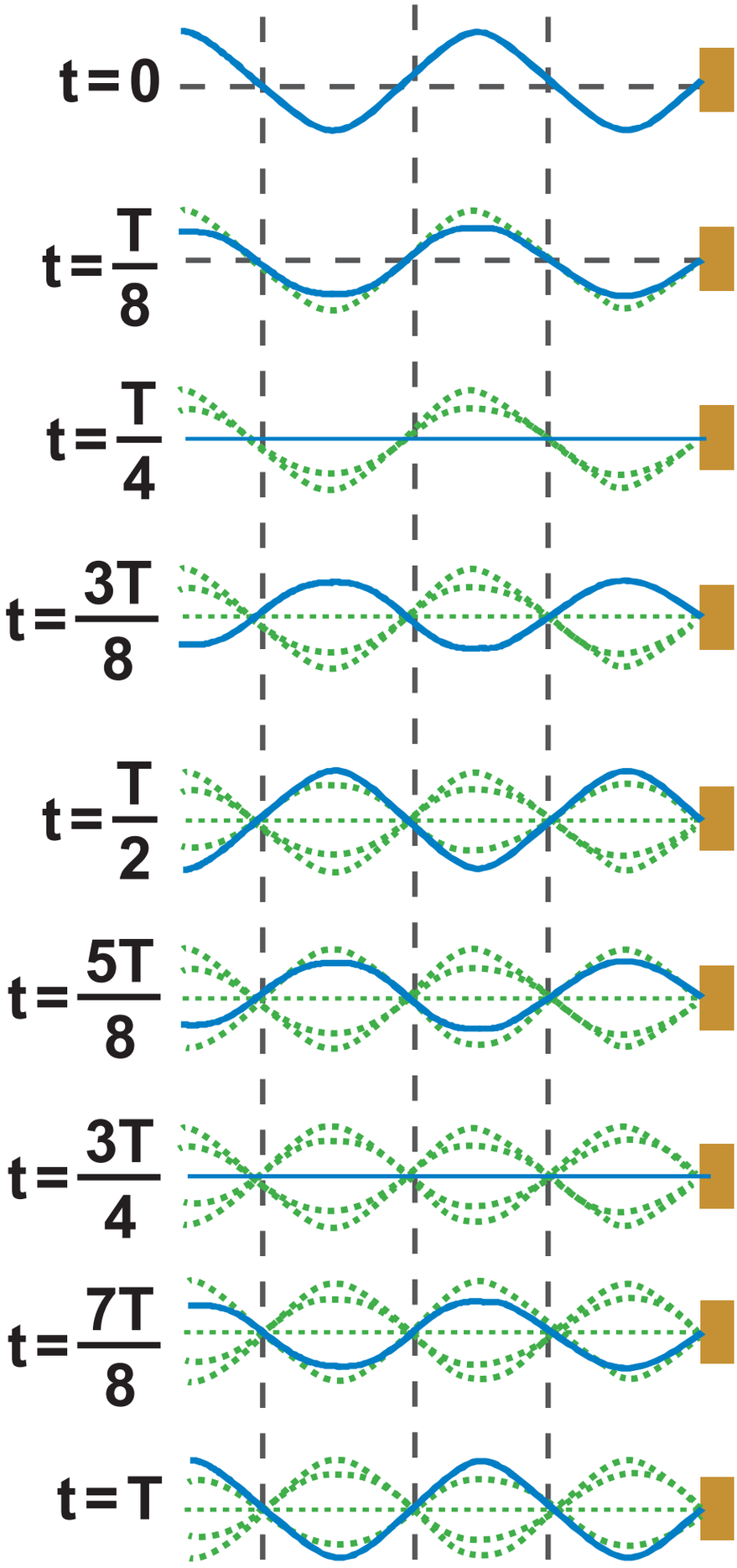
Εάν εξαναγκάσουμε το ελεύθερο άκρο του σχοινιού να κάνει αρμονική ταλάντωση (σχήμα 2.16) το αρμονικό κύμα που δημιουργείται και το όμοιό του που προκύπτει από την ανάκλαση συμβάλλουν δημιουργώντας στάσιμο κύμα.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 50 21/7/2017 11:43:10 πμ

Αν φωτογραφίσουμε το σχοινί σε διάφορες χρονικές στιγμές, θα παρατηρήσουμε ότι υπάρχουν σημεία στο σχοινί - οι **δεσμοί** - που παραμένουν διαρκώς ακίνητα ενώ όλα τα άλλα εκτελούν ταλάντωση με την ίδια συχνότητα. Το πλάτος της ταλάντωσης δεν είναι ίδιο για όλα τα σημεία που ταλαντώνονται. Μέγιστο πλάτος έχουν τα σημεία που βρίσκονται στο μέσο της απόστασης μεταξύ δύο διαδοχικών δεσμών -οι **κοιλίες**.

Η ονομασία (στάσιμο = ακίνητο) οφείλεται στο γεγονός ότι εδώ δεν έχουμε να κάνουμε με ένα κύμα, δηλαδή με μια παραμόρφωση που διαδίδεται. Στο κύμα όλα τα σημεία εκτελούν διαδοχικά την ίδια κίνηση ενώ στο στάσιμο δε συμβαίνει το ίδιο.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 51 21/7/2017 11:43:10 πμ



Στιγμιότυπα στάσιμου κύματος σε χορδή. **Σχήμα 2-16.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 52 21/7/2017 11:43:10 πμ

Η εξίσωση του στάσιμου κύματος

Έστω το αρμονικό κύμα με εξίσωση

$$y_1 = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (2.9)$$

που διαδίδεται κατά τη θετική φορά του άξονα x (στο σχήμα 2.14 το κύμα 1).

Ένα δεύτερο κύμα με ίδιο πλάτος και ίδια συχνότητα, που διαδίδεται κατά την αντίθετη κατεύθυνση (στο σχήμα 2.14 το κύμα 2), θα περιγράφεται από την εξίσωση

$$y_2 = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (2.10)$$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 53 21/7/2017 11:43:10 πμ

Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας, η απομάκρυνση ενός σημείου **M** του μέσου τη χρονική στιγμή **t**, θα είναι $y = y_1 + y_2$ η οποία γίνεται από τις (2.9) και (2.10)

$$y = A\left[\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right)\right] \quad (2.11)$$

Κάνοντας χρήση της τριγωνομετρικής ταυτότητας

$$\eta\mu\alpha + \eta\mu\beta = 2\sigma\upsilon\nu\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)\eta\mu\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)$$

η σχέση (2.11) γίνεται

$$\boxed{y = 2A\sigma\upsilon\nu 2\pi\frac{x}{\lambda}\eta\mu\frac{2\pi}{T}t} \quad (2.12)$$

Παρατηρούμε ότι ο όρος

$$A' = 2A\sigma\upsilon\nu 2\pi\frac{x}{\lambda} \quad (2.13)$$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 54 21/7/2017 11:43:10 πμ

εξαρτάται μόνο από τη θέση x του σημείου και παραμένει σταθερός με το χρόνο.

Η σχέση (2.12) παίρνει τη μορφή

$$y = A' \eta\mu \frac{2\pi}{T} t \quad \text{ή} \quad y = A' \eta\mu\omega t$$

που είναι η εξίσωση της απλής αρμονικής ταλάντωσης. Επομένως **κάθε σημείο του μέσου εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση. Το πλάτος της ταλάντωσης $|A'|$ δεν είναι ίδιο για όλα τα σημεία αλλά εξαρτάται από τη θέση του [σχέση (2.13)]**.

Τα σημεία τα οποία βρίσκονται σε θέση x τέτοια ώστε

$$A' = 2A\sigma\upsilon\nu 2\pi \frac{x}{\lambda} = 0$$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 55 21/7/2017 11:43:10 πμ

δηλαδή $2\pi \frac{x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \ldots (2K + 1) \frac{\pi}{2}$

ή $x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \ldots (2K + 1) \frac{\lambda}{4}$ **(2.14)**

έχουν μηδενικό πλάτος ταλάντωσης, δηλαδή παραμένουν συνεχώς ακίνητα. Είναι οι δεσμοί του στάσιμου κύματος.

Τα σημεία τα οποία βρίσκονται σε θέση τέτοια ώστε

$$A' = 2A\sigma\upsilon\nu 2\pi \frac{x}{\lambda} = \pm 2A$$

δηλαδή $2\pi \frac{x}{\lambda} = 0, \pi, \ldots, K\pi$

ή $x = 0, \frac{\lambda}{2}, \frac{2\lambda}{2}, \ldots \frac{K\lambda}{2}$ **(2.15)**

έχουν μέγιστο πλάτος ταλάντωσης, ίσο με 2A. Αποτελούν τις κοιλίες του στάσιμου κύματος.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 56 21/7/2017 11:43:10 πμ

Από τις (2.14) και (2.15) προκύπτει ότι

η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών δεσμών, ή κοιλιών είναι ίση με το μισό του μήκους κύματος λ των κυμάτων από τη συμβολή των οποίων προήλθε το στάσιμο κύμα.

Στην παραπάνω μαθηματική μελέτη, η αρχή μέτρησης των αποστάσεων είναι κοιλία (για $x = 0$, έχουμε κοιλία).

Στάσιμα κύματα μπορούν να δημιουργηθούν και σε ένα μέσο του οποίου τα δύο άκρα είναι ακίνητα, όπως σε μια χορδή ενός μουσικού οργάνου (εικ. 2.5). Στην περίπτωση αυτή, αν θέλουμε ως αρχή μέτρησης των αποστάσεων να πάρουμε το ένα άκρο (όπου υπάρχει δεσμός), η σχέση (2.12) χρειάζεται τροποποίηση ώστε, για $x = 0$ να δίνει δεσμό.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 57 21/7/2017 11:43:10 πμ

Στις χορδές της κιθάρας σχηματίζονται στάσιμα κύματα. Τα άκρα κάθε χορδής είναι υποχρεωτικά δεσμοί. **Εικόνα 2-5.**

Ενεργειακή προσέγγιση

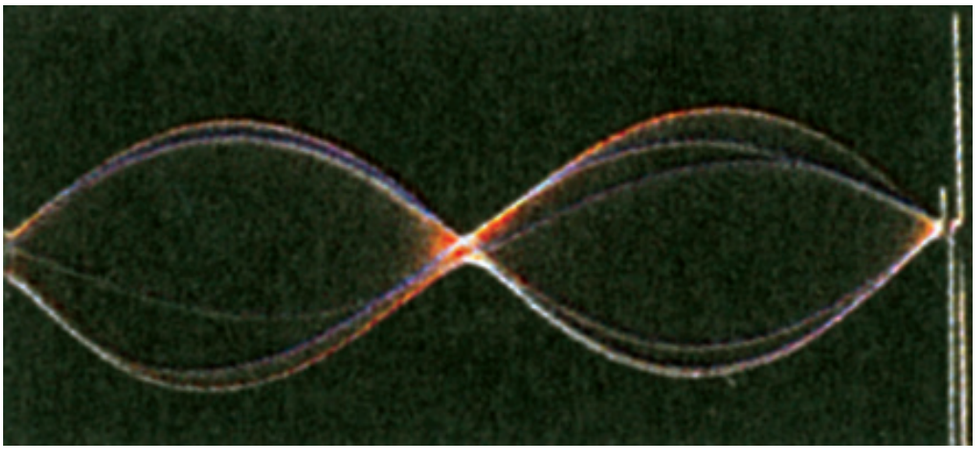
Εφόσον στο στάσιμο κύμα υπάρχουν σημεία που παραμένουν πάντα ακίνητα, δε μεταφέρεται ενέργεια από το ένα σημείο του μέσου στο άλλο (αυτός επίσης είναι ένας βασικός

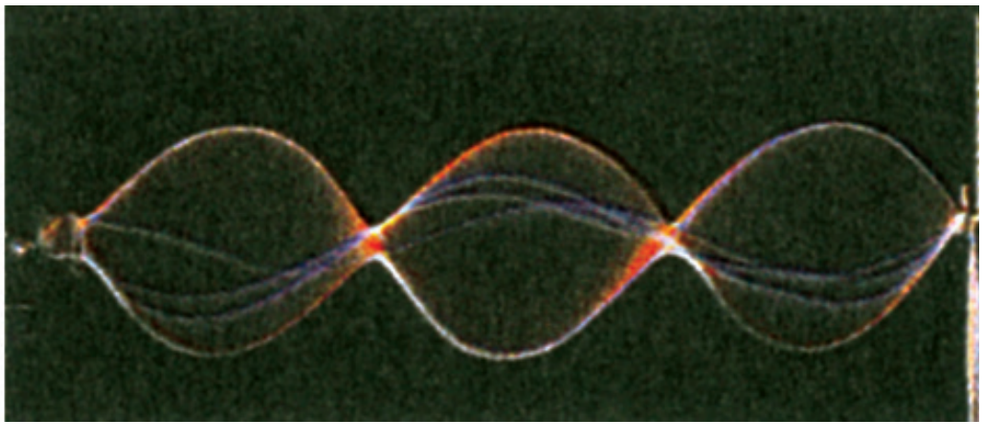
l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 58 21/7/2017 11:43:10 πμ

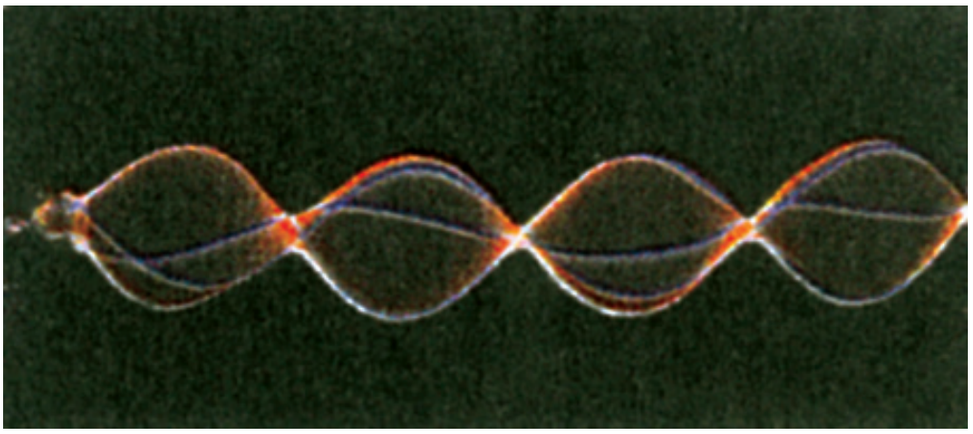
λόγος που διαφοροποιεί την κατάσταση του στάσιμου κύματος από αυτό που ορίσαμε ως κύμα).

Η ενέργεια που είχαν τα αρχικά κύματα, η συμβολή των οποίων έδωσε το στάσιμο κύμα, εγκλωβίζεται ανάμεσα στους δεσμούς. Σε μια χορδή, στην οποία έχει δημιουργηθεί στάσιμο κύμα, η ενέργεια μετατρέπεται συνεχώς από ελαστική δυναμική ενέργεια, όταν η χορδή είναι στιγμιαία ακίνητη, σε κινητική όταν η χορδή διέρχεται από τη θέση ισορροπίας. Στις ενδιάμεσες θέσεις τα μόρια της χορδής, έχουν και κινητική και δυναμική ενέργεια.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 59 21/7/2017 11:43:10 πμ

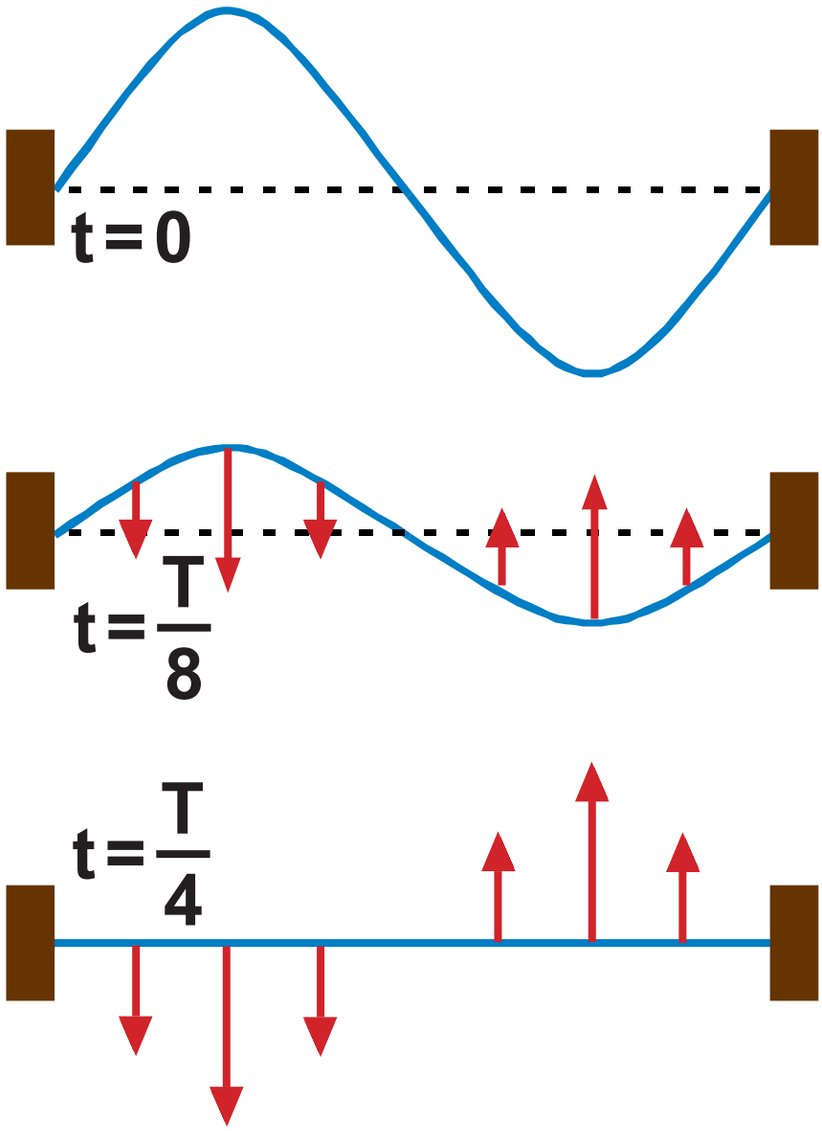






Στάσιμα κύματα σε χορδές.
Εικόνα 2-6.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 60 21/7/2017 11:43:11 πμ



Στιγμιότυπα στάσιμου κύματος σε χορδή. Τη στιγμή μηδέν η χορδή είναι ακίνητη, οπότε **K = 0**, όλη η ενέργεια είναι δυναμική, **U**, λόγω της παραμόρφωσης της χορδής. Τη στιγμή **$t = \frac{T}{8}$**, η χορδή κινείται. Έχει και

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 61 21/7/2017 11:43:11 πμ

κινητική και δυναμική ενέργεια. Τη στιγμή $t = \frac{T}{4}$, η χορδή δεν είναι παραμορφωμένη $(U = 0)$, συνεπώς όλη η ενέργεια έχει μετατραπεί σε κινητική.
Τα βέλη δείχνουν τις ταχύτητες των διαφόρων σημείων της χορδής. **Σχήμα 2-17.**

Παράδειγμα 2.2

Τα κύματα $y_1 = 8\,\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{0,3} - 5x\right)$

και $y_2 = 8\,\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{0,3} + 5x\right)$

διαδίδονται στο ίδιο ελαστικό μέσο σε αντίθετες κατευθύνσεις. Τα x **και** y **είναι σε** cm **και το** t **σε** s**.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 62 27/4/2018 4:50:55 μμ

α) Ποια είναι η εξίσωση του στάσιμου κύματος που δημιουργείται;
β) Ποιο είναι το πλάτος της ταλάντωσης ενός σημείου που βρίσκεται στη θέση $x = 3,025$ cm;

Απάντηση:

Η εξίσωση ενός αρμονικού κύματος είναι

$$y = A\eta\mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Συγκρίνοντας τη σχέση αυτή με τις εξισώσεις των κυμάτων που συμβάλλουν για να δημιουργήσουν το στάσιμο κύμα έχουμε ότι $A = 8$ cm, $T = 0,3$ s και $\lambda = 0,2$ cm

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 63 21/7/2017 11:43:11 πμ

Η εξίσωση του στάσιμου κύματος είναι

$$y = 2A\,\sigma\upsilon\nu\,2\pi\frac{x}{\lambda}\,\eta\mu\frac{2\pi}{T}t$$

$$y = 16\,\sigma\upsilon\nu\,10\pi x\,\eta\mu\frac{2\pi}{0,3}t$$

Επομένως

Το πλάτος της ταλάντωσης του σημείου που βρίσκεται στη θέση $x = 3,025\ cm$ είναι

$$A' = \left|2A\,\sigma\upsilon\nu 2\pi\frac{x}{\lambda}\right| = \left|16\,\sigma\upsilon\nu 30,25\,\pi\right| =$$

$$= \left|16\,\sigma\upsilon\nu\left(30\pi + \frac{\pi}{4}\right)\right| = 16\,\frac{\sqrt{2}}{2} =$$

$$= 8\sqrt{2}\ cm$$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 64 21/7/2017 11:43:11 πμ

(2.6.) Παραγωγή Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την παραγωγή και τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Τα κύματα που γνωρίσαμε (μηχανικά) αφορούσαν στη διάδοση μιας υλικής διαταραχής. Με τρόπο ανάλογο, όπως θα δούμε, διαδίδεται και μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή.

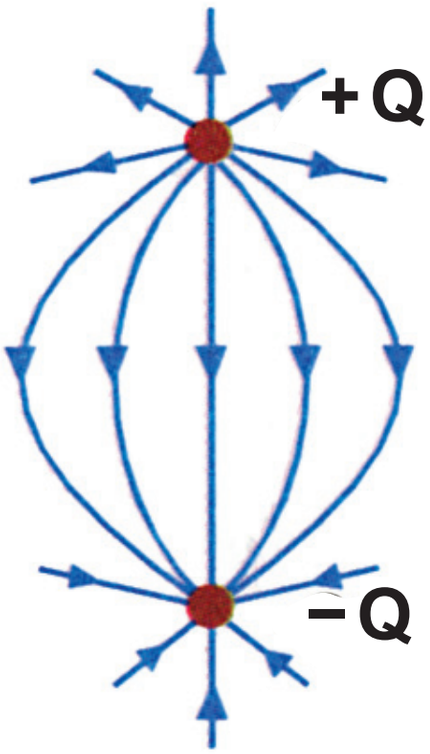
Γνωρίζουμε ότι ένα σύστημα δύο φορτίων +Q και −Q δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο (σχ. 2.18α) και ότι ένας αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο (σχ. 2.18β). Αν συνδέσουμε δυο μεταλλικούς αγωγούς στους πόλους μιας πηγής συνεχούς τάσης, οι αγωγοί φορτίζονται με φορτία +Q και −Q,

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 65 21/7/2017 11:43:11 πμ

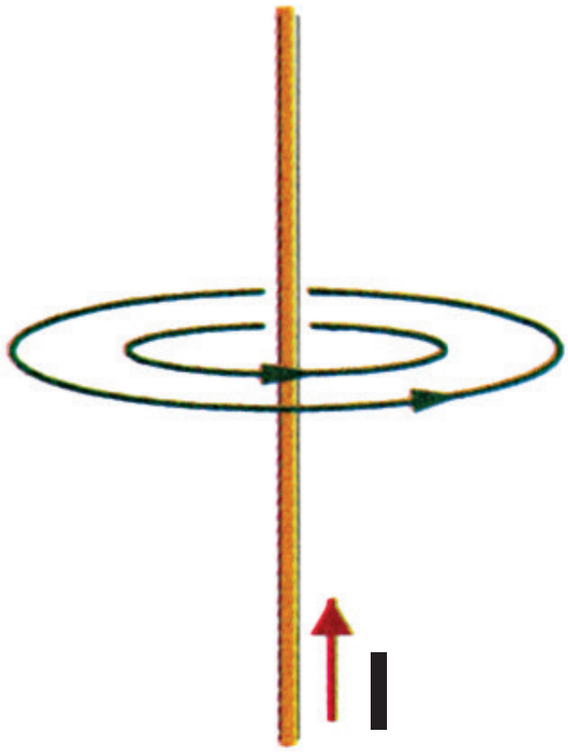
αντίστοιχα (σχ. 2.18γ). Οι ίδιοι αγωγοί, αν συνδεθούν με γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.18δ, αποκτούν ετερόσημα φορτία, $+q$ και $-q$, που μεταβάλλονται ημιτονοειδώς με το χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο αγωγοί διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Το σύστημα αυτών των αγωγών ονομάζεται **ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο**.

Θα δούμε στη συνέχεια ότι το ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο αποτελεί την κεραία εκπομπής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς σταθμούς.

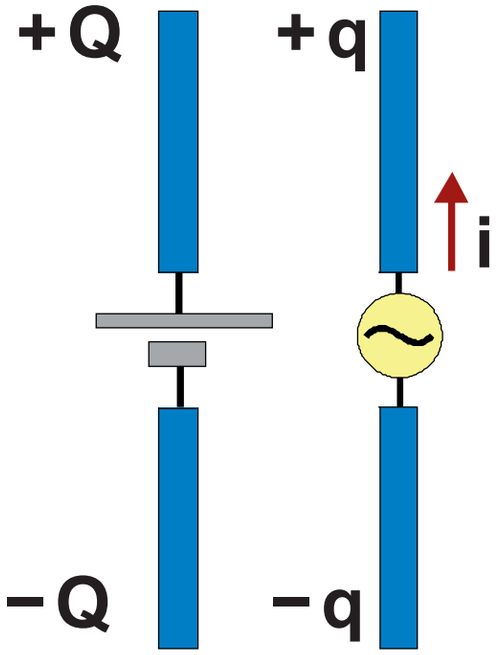
l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 66 21/7/2017 11:43:11 πμ



(α)



(β)



(γ)

(δ)

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 67 21/7/2017 11:43:11 πμ

(α) Ηλεκτρικό πεδίο δύο σημειακών φορτίων. (β) Μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου αγωγού. (γ) Μεταλλικοί αγωγοί συνδέονται με πηγή συνεχούς τάσης. Οι αγωγοί φορτίζονται με φορτία ±Q. (δ) Οι αγωγοί συνδέονται με γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης. Το φορτίο των αγωγών μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο. Η διάταξη διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα.

Σχήμα 2-18.

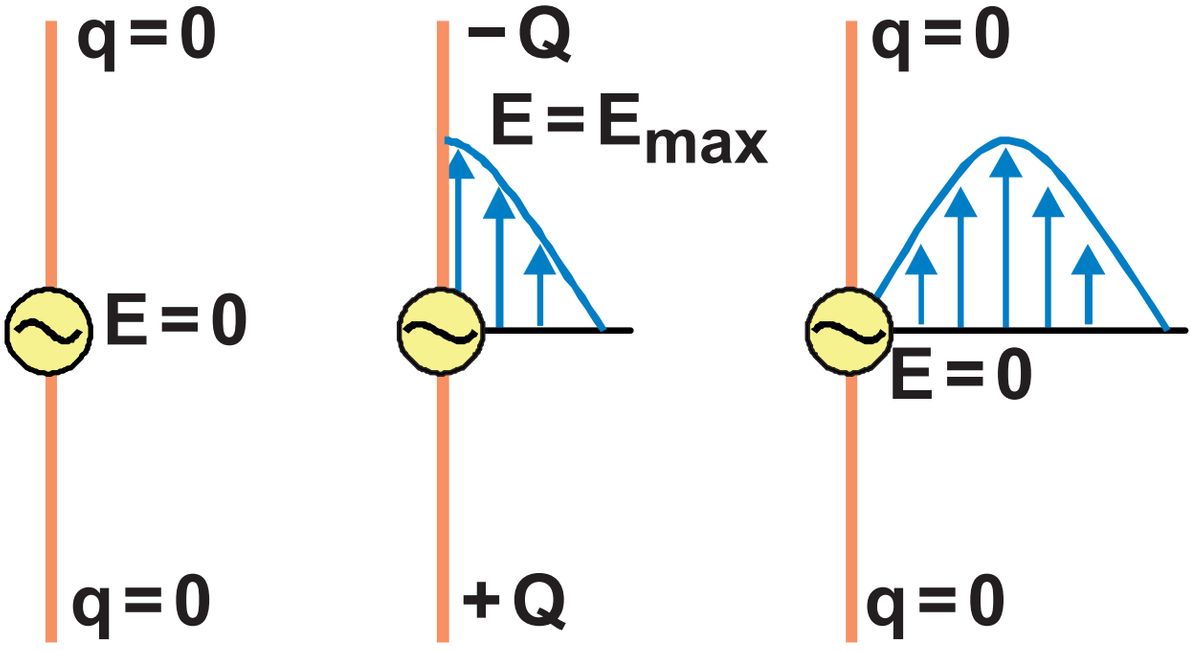
l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 68 21/7/2017 11:43:11 πμ

Στο σχήμα 2.19 απεικονίζεται η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρομαγνητικού κύματος από ένα ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο. Τη χρονική στιγμή μηδέν οι αγωγοί είναι αφόρτιστοι (σχ.2.19α). Καθώς η εναλλασσόμενη τάση μεταβάλλεται, στον επάνω αγωγό εμφανίζεται αρνητικό φορτίο $-q$, ενώ στον άλλο εμφανίζεται θετικό φορτίο $+q$, με συνέπεια να δημιουργείται γύρω από αυτούς ηλεκτρικό πεδίο. Τη χρονική στιγμή $t=\frac{T}{4}$ τα φορτία στους αγωγούς έχουν πάρει τη μέγιστη τιμή. Το ηλεκτρικό πεδίο που είχε δημιουργηθεί από τη στιγμή μηδέν μέχρι τη στιγμή $\frac{T}{4}$ έχει απομακρυνθεί από τους αγωγούς (σχ. 2.19β). Από τη στιγμή αυτή, τα φορτία στους αγωγούς μειώνονται.

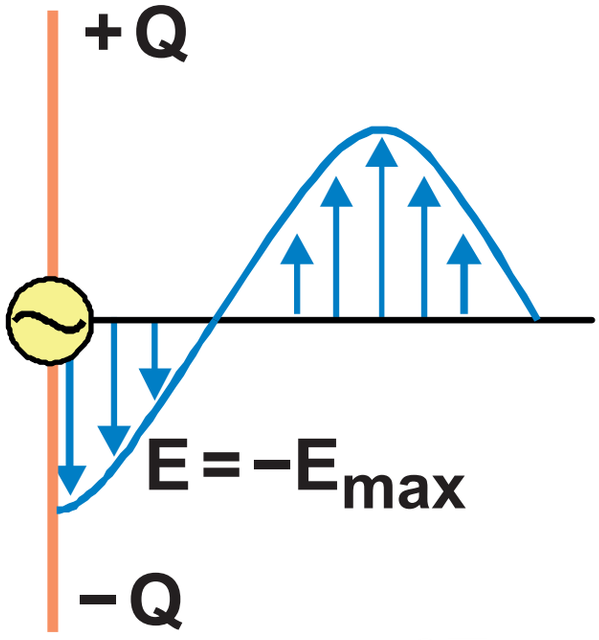
l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 69 21/7/2017 11:43:11 πμ

Αυτό συνεπάγεται μείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργούν. Ένα τέταρτο της περιόδου αργότερα τα φορτία έχουν μηδενισθεί. Εν τω μεταξύ το ηλεκτρικό πεδίο που είχε δημιουργηθεί μέχρι τότε απομακρύνεται από τους αγωγούς, με ταχύτητα c (σχ. 2.19γ). Στη συνέχεια, καθώς η πολικότητα της πηγής αλλάζει, στον επάνω αγωγό εμφανίζεται θετικό φορτίο και στον κάτω αρνητικό. Τα φορτία παίρνουν τη μέγιστη τιμή τους τη στιγμή $\frac{3T}{4}$, και μηδενίζονται τη στιγμή T. Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται συνεχώς.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 70 21/7/2017 11:43:11 πμ

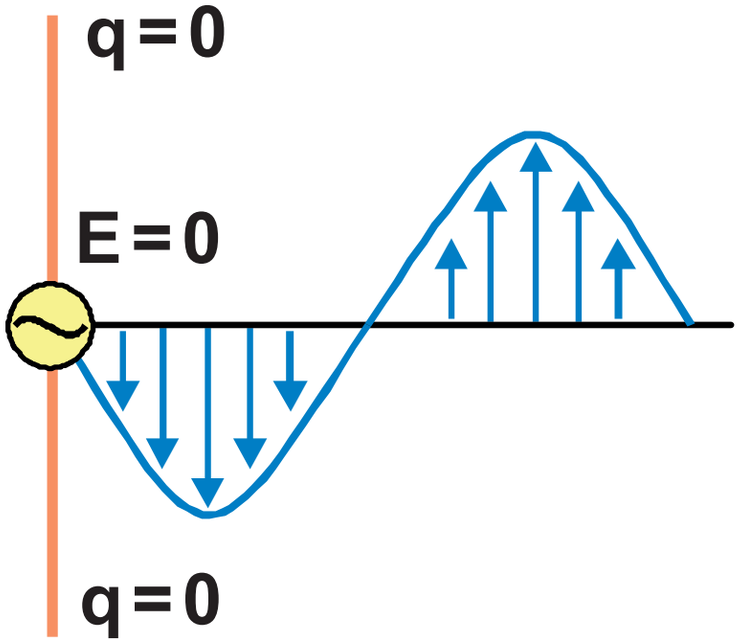


(α) $t = 0$ (β) $t = \frac{T}{4}$ (γ) $t = \frac{T}{2}$



(δ) $t = \frac{3T}{4}$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 71 21/7/2017 11:43:11 πμ



(ε) t = T

Ο κύκλος λειτουργίας ταλαντούμενου ηλεκτρικού δίπολου. Στο σχήμα απεικονίζεται μόνο το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται. Το σχέδιο δεν ανταποκρίνεται στις πραγματικές διαστάσεις.
Σχήμα 2-19.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 72 21/7/2017 11:43:11 πμ

Στο ίδιο χρονικό διάστημα δημιουργείται και μαγνητικό πεδίο διότι οι αγωγοί διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Η ένταση του ρεύματος – επομένως και το μαγνητικό πεδίο – έχει τη μέγιστη τιμή τη χρονική στιγμή μηδέν (σχ. 2.20). Το ρεύμα μηδενίζεται τη στιγμή $\frac{T}{4}$. Στο μεταξύ το μαγνητικό πεδίο που είχε δημιουργηθεί απλώνεται στο χώρο. Τη στιγμή $\frac{T}{2}$ οι αγωγοί διαρρέονται πάλι από ρεύμα, μέγιστης έντασης. Αυτή τη φορά, όμως, η φορά του ρεύματος – και των γραμμών του μαγνητικού πεδίου – είναι αντίθετη από την αρχική. Γύρω από τους αγωγούς έχει δημιουργηθεί εκ νέου μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο γύρω από τους αγωγούς μεταβάλλεται με τη

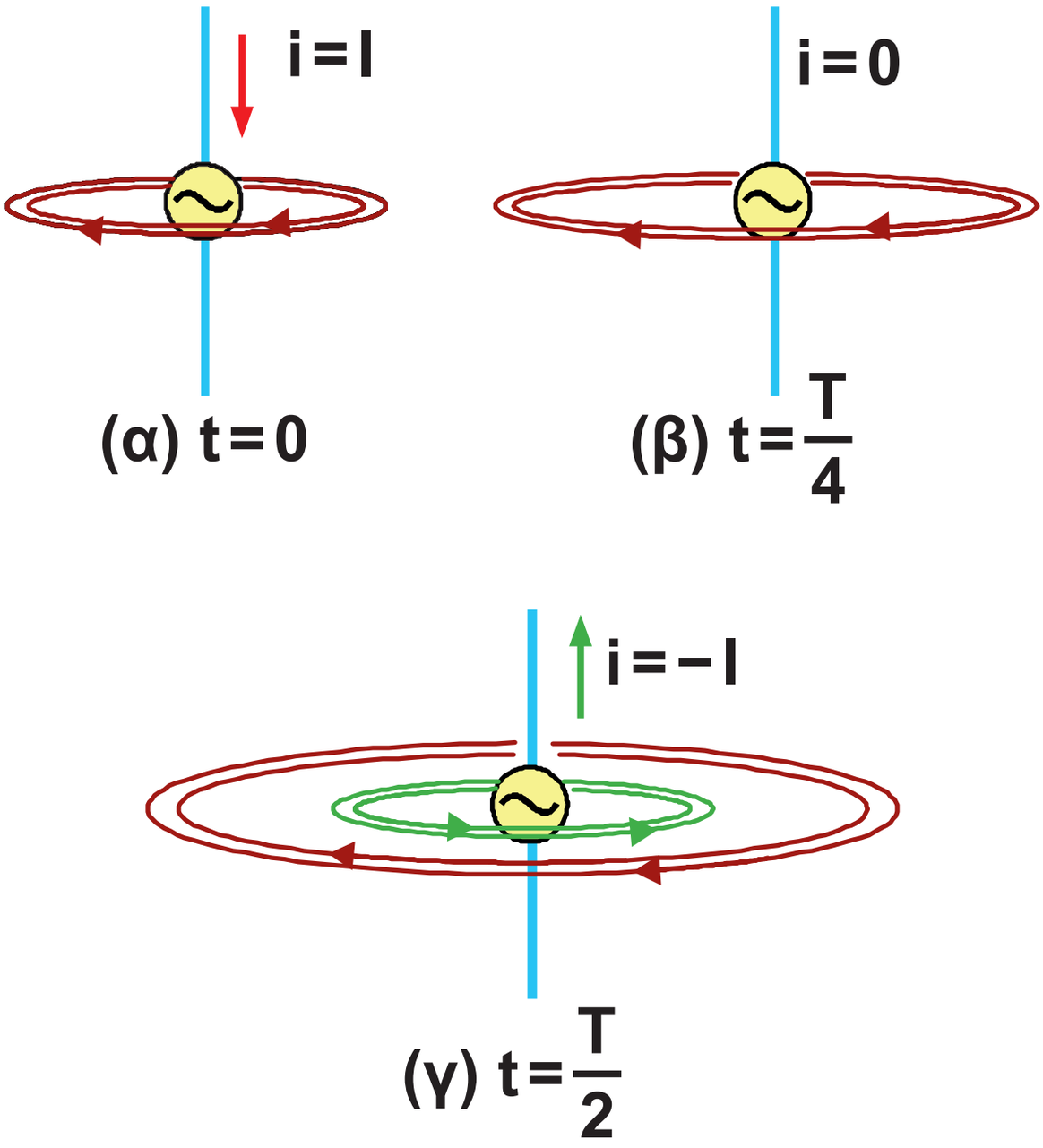
l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 73 21/7/2017 11:43:11 πμ

συχνότητα με την οποία μεταβάλλεται το ρεύμα στους αγωγούς.

Αυτό που έχει σημασία είναι ότι, καθώς τα ηλεκτρικά φορτία ταλαντώνονται, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο που συνεχώς δημιουργούν απομακρύνονται από το δίπολο (διαδίδονται) με την ταχύτητα του φωτός (**c**).

Μια διαταραχή που διαδίδεται ονομάστηκε κύμα. Η κατάλληλη ονομασία για αυτού του είδους τις διαταραχές (ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων) που διαδίδονται είναι **«ηλεκτρομαγνητικό κύμα»**.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 74 21/7/2017 11:43:11 πμ



Το ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα και δημιουργεί γύρω του μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.
Σχήμα 2-20.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 75 21/7/2017 11:43:11 πμ

Ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός. Σε όλα τα υλικά διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα.

Από τη μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων διαπιστώθηκε ότι:

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο. Τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 76 21/7/2017 11:43:11 πμ

Κάθε στιγμή το πηλίκο των μέτρων των εντάσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου ισούται με την ταχύτητα του φωτός

$$\left(\frac{E}{B} = c\right).$$

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα -όπως και τα μηχανικά- υπακούουν στην αρχή της επαλληλίας.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται από μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Ένα σταθερό ηλεκτρικό πεδίο ή ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν παράγει ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Αυτό σημαίνει ότι τα ακίνητα φορτία καθώς και τα φορτία που κινούνται με σταθερή ταχύτητα (σταθερά ρεύματα) δε μπορούν να δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Μόνο ηλεκτρικά φορτία

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 77 21/7/2017 11:43:11 πμ

που επιταχύνονται δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Η αιτία δημιουργίας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων.

Οι κεραίες των ραδιοφωνικών ή τηλεοπτικών σταθμών είναι ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα. Κατά την ταλάντωση του φορτίου στην κεραία παράγεται ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Το ρεύμα στην κεραία γίνεται μέγιστο όταν τα φορτία στα άκρα της μηδενίζονται ενώ όταν τα φορτία έχουν μέγιστη τιμή, το ρεύμα μηδενίζεται. Αυτό σημαίνει ότι, κοντά στην κεραία, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο έχουν διαφορά φάσης 90° (όταν το ένα είναι μέγιστο το άλλο είναι μηδέν). Σε μεγάλη όμως απόσταση

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 78 21/7/2017 11:43:11 πμ

από την κεραία τα δύο πεδία είναι σε φάση.

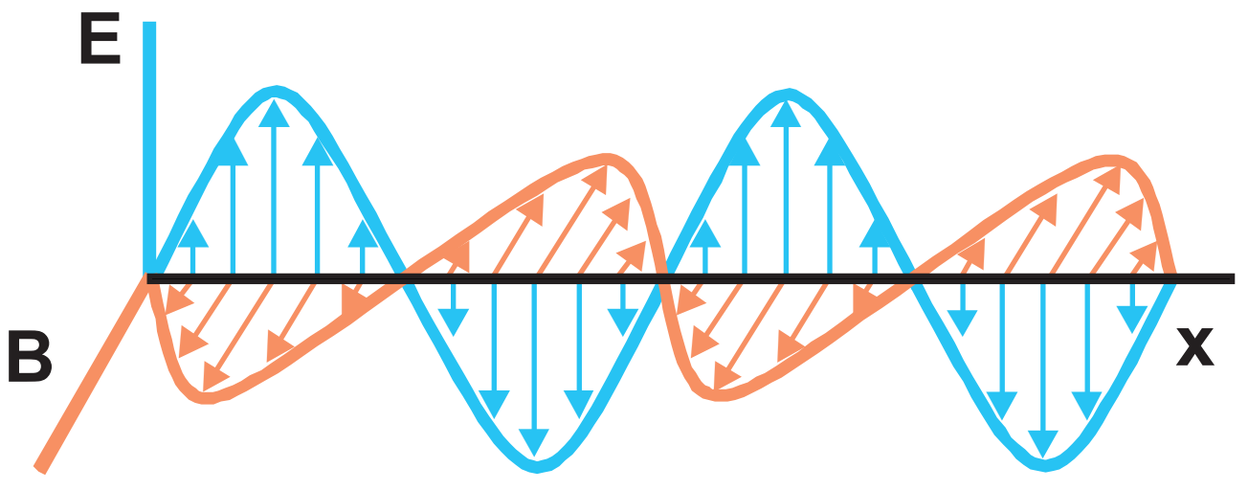
Οι εξισώσεις που περιγράφουν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος που διαδίδεται κατά τη διεύθυνση x είναι

$$E = E_{max}\, \eta\mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$B = B_{max}\, \eta\mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Στο σχήμα (2.21) φαίνεται το στιγμιότυπο ενός αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 79 21/7/2017 11:43:11 πμ



Στιγμιότυπο αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος, διαδιδόμενου κατά τη διεύθυνση **x**.
Σχήμα 2-21.

(2.7.) Η Μετάδοση και Λήψη Σημάτων με Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα

Η εποχή μας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί «εποχή της πληροφορίας». Ασύλληπτα μεγάλος αριθμός πληροφοριών μεταφέρονται από τον πομπό στο δέκτη της πληροφορίας, με

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 80 21/7/2017 11:43:12 πμ

καλώδια χαλκού ή με οπτικές ίνες ή – στην ασύρματη τηλεπικοινωνία – μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Σε κάθε μορφή τηλεπικοινωνίας, η προς μετάδοση πληροφορία – ήχος ή εικόνα – «μετατρέπεται» με το κατάλληλο μέσο – μικρόφωνο ή βιντεοκάμερα, αντίστοιχα – σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα (σήμα). Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα στην κεραία του πομπού μετατρέπεται σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα που κινούμενο με την ταχύτητα του φωτός φτάνει στο δέκτη για να «μετατραπεί» και πάλι σε ρεύμα και στη συνέχεια σε ήχο ή εικόνα με μια κατά βάση αντίστροφη διαδικασία.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε πώς γίνεται η μετάδοση ενός ήχου στην ασύρματη τηλεπικοινωνία.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 81 21/7/2017 11:43:12 πμ

Η εκπομπή

Με ένα μικρόφωνο, ένας ήχος μπορεί να μας δώσει μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Οι διακυμάνσεις του μικροφωνικού ρεύματος εξαρτώνται από τον ήχο που φτάνει στο μικρόφωνο. Ένας απλός ήχος, π.χ. ο ήχος ενός διαπασών, δίνει μικροφωνικό ρεύμα που έχει τη μορφή του σχήματος 2.22α. Με άλλη διάταξη, ο πομπός παράγει υψίσυχνο αρμονικό ρεύμα (σχήμα 2.22β) με ορισμένη συχνότητα, χαρακτηριστική του κάθε σταθμού (φέρουσα συχνότητα). Στο υψίσυχνο αυτό ρεύμα προστίθεται το μικροφωνικό ρεύμα. Το ρεύμα που προκύπτει, αφού ενισχυθεί, οδηγείται στην κεραία εκπομπής, η οποία εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό κύμα της ίδιας μορφής.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 82 21/7/2017 11:43:12 πμ

Η διαδικασία πρόσθεσης των δύο ρευμάτων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που ονομάζεται **διαμόρφωση**. Κατά τη διαδικασία αυτή το μικροφωνικό ρεύμα «αποτυπώνεται» στο υψίσυχνο ρεύμα.

Η διαμόρφωση μπορεί να γίνει με δυο τρόπους. Στη **διαμόρφωση κατά πλάτος** ή **ΑΜ** (από τις λέξεις amplitude modulation) το μικροφωνικό ρεύμα μεταβάλλει το πλάτος του υψίσυχνου ρεύματος. Στην περίπτωση του μικροφωνικού ρεύματος που παίρνουμε από απλό ήχο, το διαμορφωμένο ρεύμα παρουσιάζει τη μορφή του σχήματος 2.22γ.

Στη **διαμόρφωση κατά συχνότητα** ή **FM** (frequency modulation) (σχ. 2.23) η συχνότητα του διαμορφωμένου ρεύματος δεν είναι

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 83 21/7/2017 11:43:12 πμ

σταθερή αλλά μεταβάλλεται περιοδικά ανάλογα με την ένταση του μικροφωνικού ρεύματος.

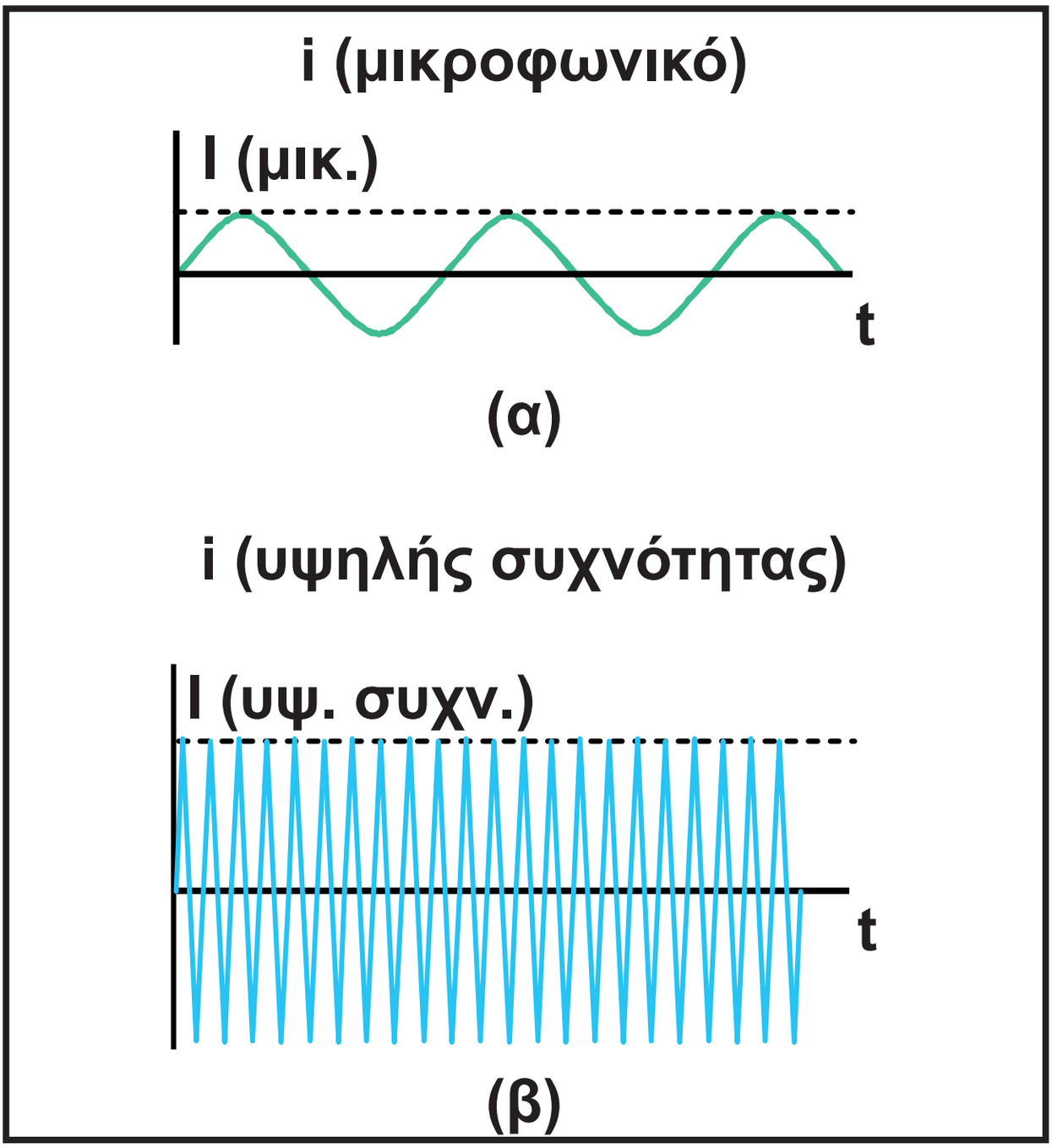
Το πλεονέκτημα αυτής της διαμόρφωσης είναι ότι το εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα δεν επηρεάζεται σημαντικά από παράσιτα.

Η διαμόρφωση επιβάλλεται για δύο λόγους. α) Το μήκος μιας κεραίας πρέπει να είναι συγκρίσιμο με το μήκος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που εκπέμπει. Τα μικροφωνικά ρεύματα έχουν συχνότητες που κυμαίνονται από 20Hz – 20000Hz (ακουστές συχνότητες). Επομένως, για να εκπεμφθεί ηλεκτρομαγνητικό κύμα με τέτοιες συχνότητες απαιτείται κεραία μήκους πολλών χιλιομέτρων. β) Κάθε πομπός πρέπει να έχει κάποια ταυτότητα ώστε να είναι

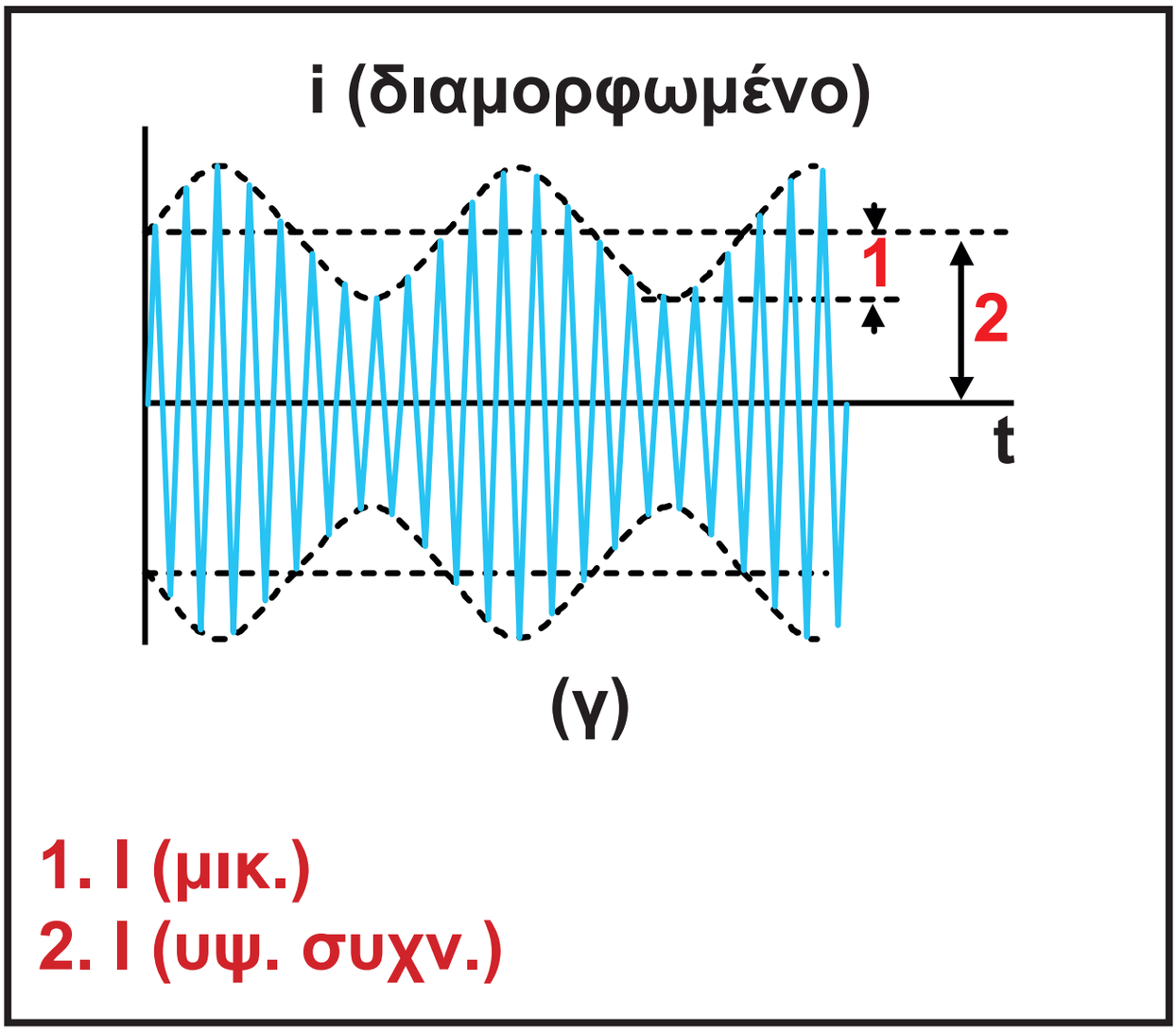
l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 84 21/7/2017 11:43:12 πμ

δυνατή η αναγνώριση και η επιλογή του από κάποιο δέκτη.

Στο σχήμα 2.24 δίνεται το γενικό διάγραμμα ενός ραδιοφωνικού πομπού.

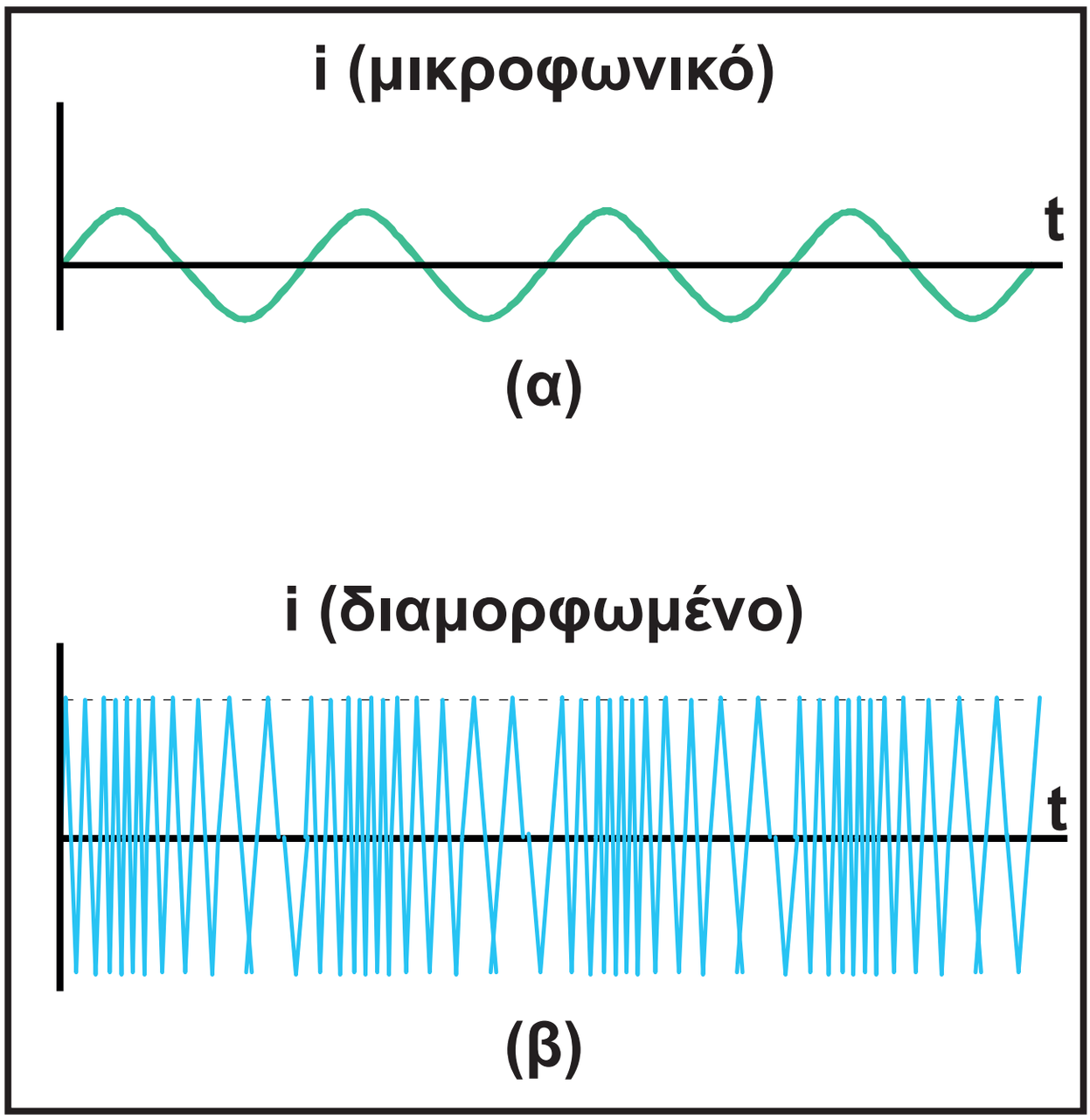


I_c_physics_bm_43-67_28b.indd 85 21/7/2017 11:43:12 πμ



(α) Μικροφωνικό ρεύμα (β) ρεύμα υψηλής συχνότητας (γ) διαμορφωμένο ρεύμα.
Σχήμα 2-22.

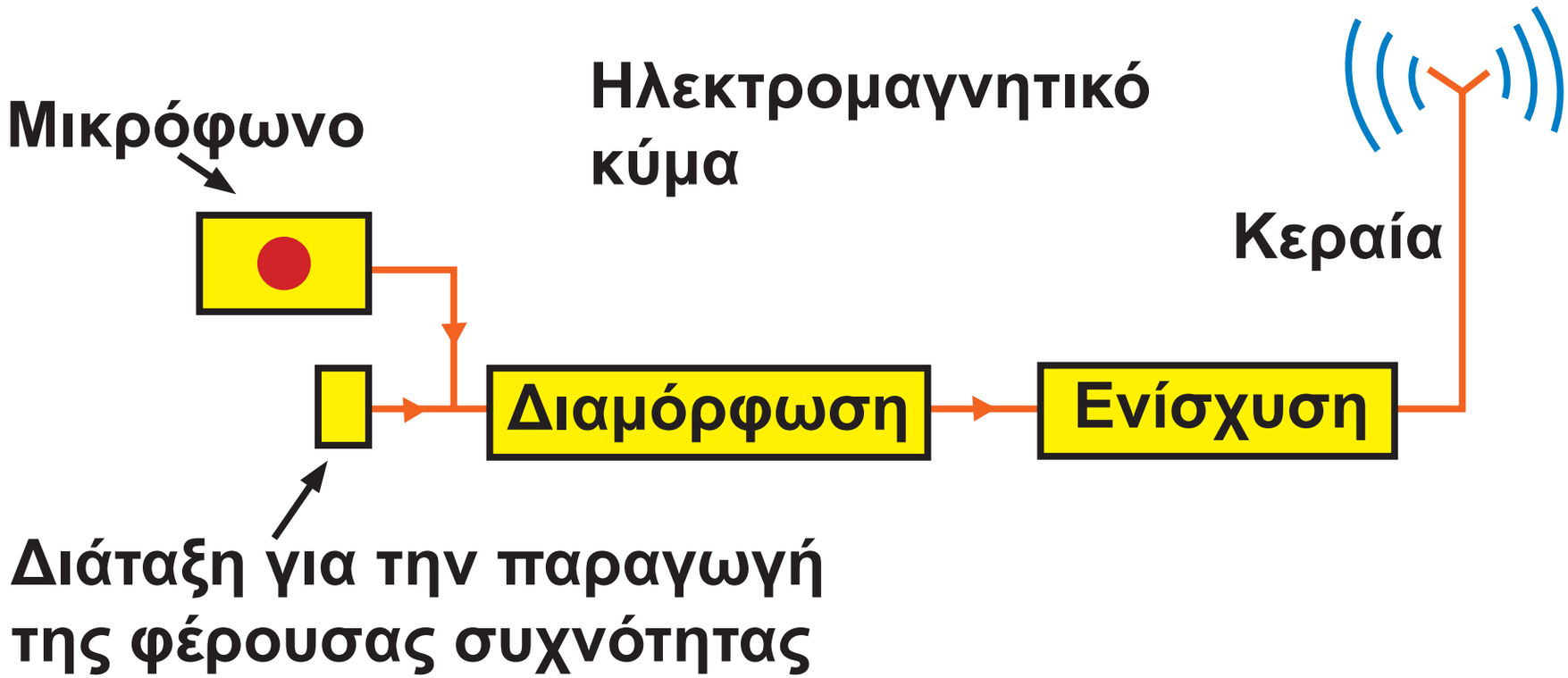
I_c_physics_bm_43-67_28b.indd 86 21/7/2017 11:43:12 πμ



(α) Μικροφωνικό ρεύμα (β) ρεύμα διαμορφωμένο κατά συχνότητα **Σχήμα 2-23.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 87 21/7/2017 11:43:12 πμ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 88



Το γενικό διάγραμμα ενός ραδιοφωνικού πομπού. **Σχήμα 2-24.**

21/7/2017 11:43:12 πμ

Η λήψη

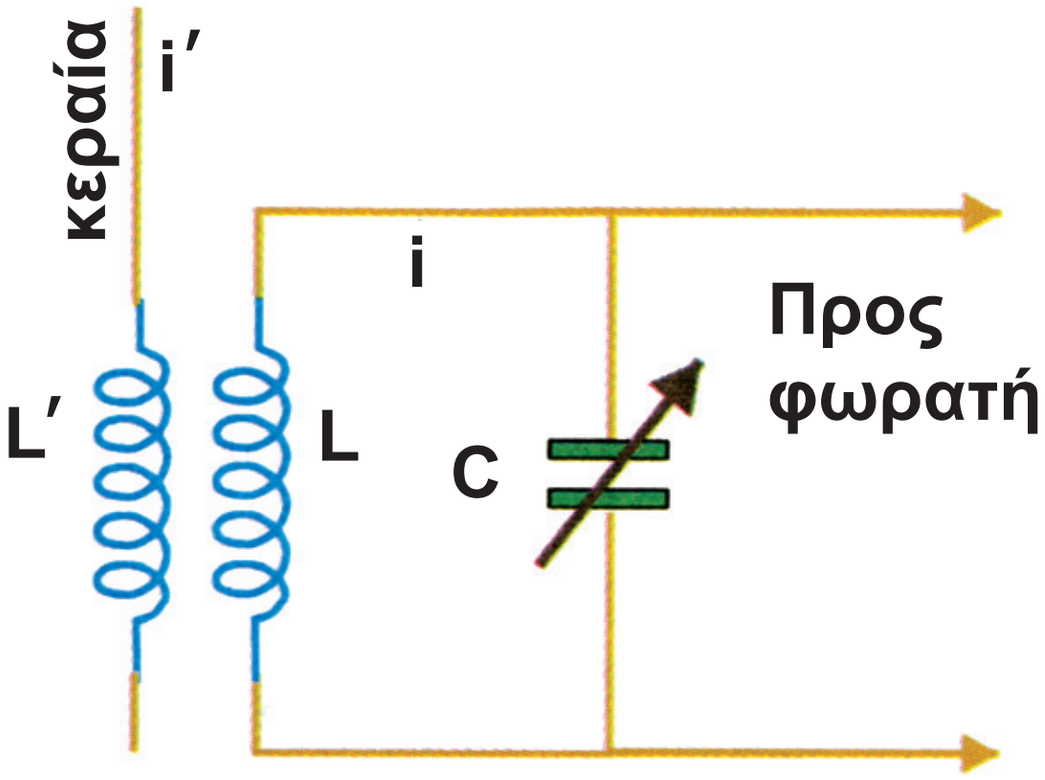
Η λήψη του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από το δέκτη (ραδιόφωνο) γίνεται με ένα αγωγό (κεραία) που, συνήθως, είναι ένα απλό σύρμα. Η κεραία του δέκτη «εκτίθεται» στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα πολλών σταθμών. Η επιλογή ενός συγκεκριμένου πομπού (σταθμού) πραγματοποιείται με ένα κύκλωμα LC, επαγωγικά συνδεδεμένο με την κεραία του δέκτη (σχ. 2.25α). Ο πυκνωτής του κυκλώματος αυτού είναι μεταβλητός. Όταν μεταβάλλουμε τη χωρητικότητα του πυκνωτή, στρέφοντας το κουμπί επιλογής σταθμών, μεταβάλλουμε την ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος LC.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 89 21/7/2017 11:43:12 πμ

Κάθε ραδιοφωνικός σταθμός, με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπει, δημιουργεί στην κεραία ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα που έχει συχνότητα ίση με την ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος LC ενισχύεται στο κύκλωμα. Το ρεύμα αυτό είναι όμοιο με το διαμορφωμένο ρεύμα του πομπού που έχει επιλεγεί. Στη συνέχεια, το ρεύμα αυτό, με μια διαδικασία που ονομάζεται **φώραση** ή αποδιαμόρφωση, διαχωρίζεται στο, άχρηστο πλέον, υψίσυχνο ρεύμα και στο ρεύμα χαμηλής συχνότητας, που είναι όμοιο με το μικροφωνικό ρεύμα του πομπού. Το χαμηλής συχνότητας ρεύμα, αφού ενισχυθεί, διαβιβάζεται στο μεγάφωνο το οποίο παράγει ήχο όμοιο με τον ήχο που δημιούργησε το μικροφωνικό ρεύμα στον πομπό (σχ. 2.25β).

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 90 21/7/2017 11:43:12 πμ

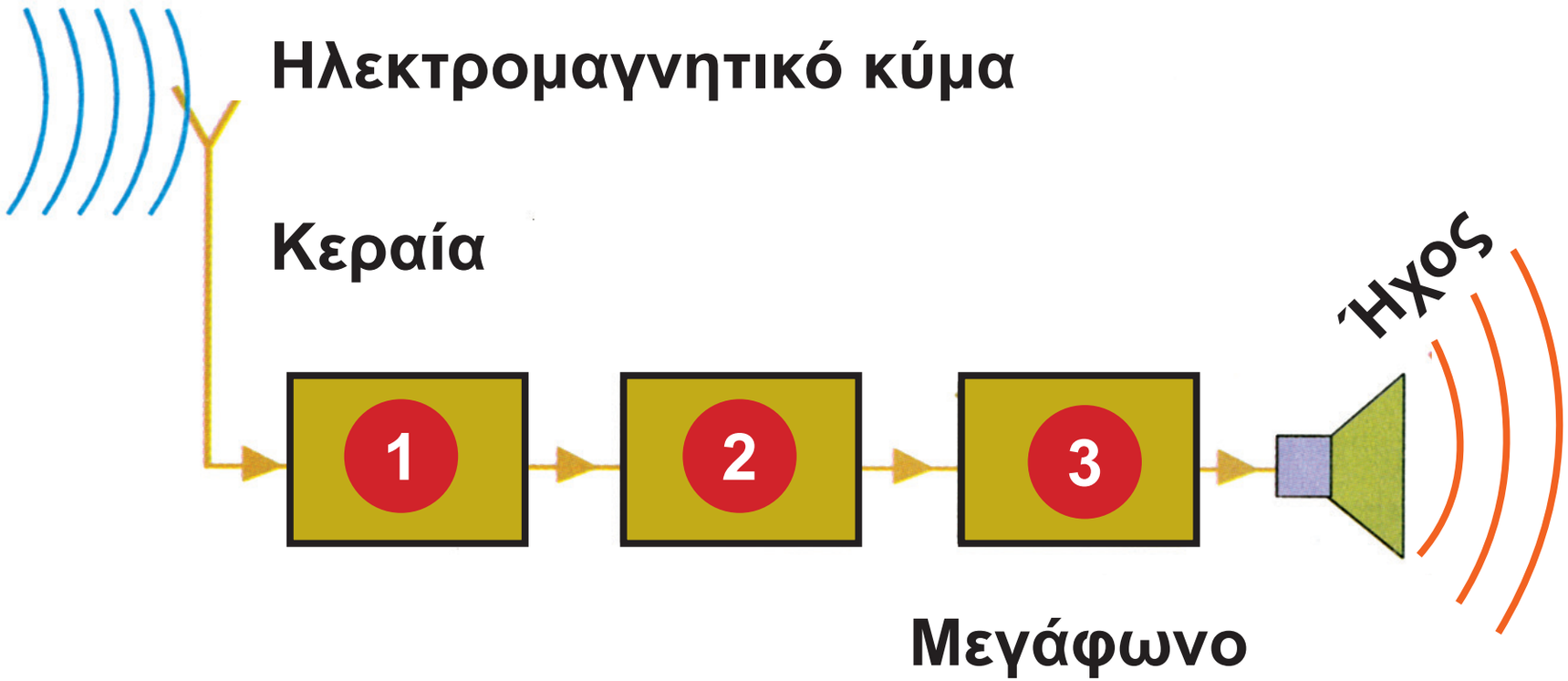
Στο σχήμα 2.25β δίνεται το γενικό διάγραμμα ενός ραδιοφωνικού δέκτη.



(α)

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 91 21/7/2017 11:43:12 πμ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 92



(β)

1. Επιλογή, 2. Φώραση, 3. Ενίσχυση

(α) Το κύκλωμα επιλογής (β) Σχηματική παράσταση της διαδικασίας λήψης
Σχήμα 2-25.

21/7/2017 11:43:12 πμ

(2.8.) Το Φάσμα Της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν παράγονται μόνο από ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα. Σήμερα γνωρίζουμε ότι συνδέονται με ένα πλήθος φυσικών φαινομένων όπως είναι η αποδιέγερση των ατόμων, οι πυρηνικές διασπάσεις κ.ά. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα μηκών κύματος και συχνοτήτων. Η έκταση του φάσματος αυτού παρουσιάζεται στο σχήμα 2.26, στο οποίο σημειώνονται προσεγγιστικά οι περιοχές μήκους κύματος και συχνότητας των διαφόρων τμημάτων του. Παρά τις τεράστιες διαφορές στις εφαρμογές και στην παραγωγή τους, όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν τα γενικά

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 93 21/7/2017 11:43:12 πμ

χαρακτηριστικά που περιγράψαμε στην παράγραφο 2-6.

Εφόσον όλα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα c, η συχνότητά τους και το μήκος κύματος συνδέονται με τη σχέση

$$c = \lambda f$$

Θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή των διαφόρων περιοχών του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά σειρά ελαττούμενου μήκους κύματος. Πρέπει όμως να έχουμε υπόψη μας ότι δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός του κάθε τμήματος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα υπόλοιπα.

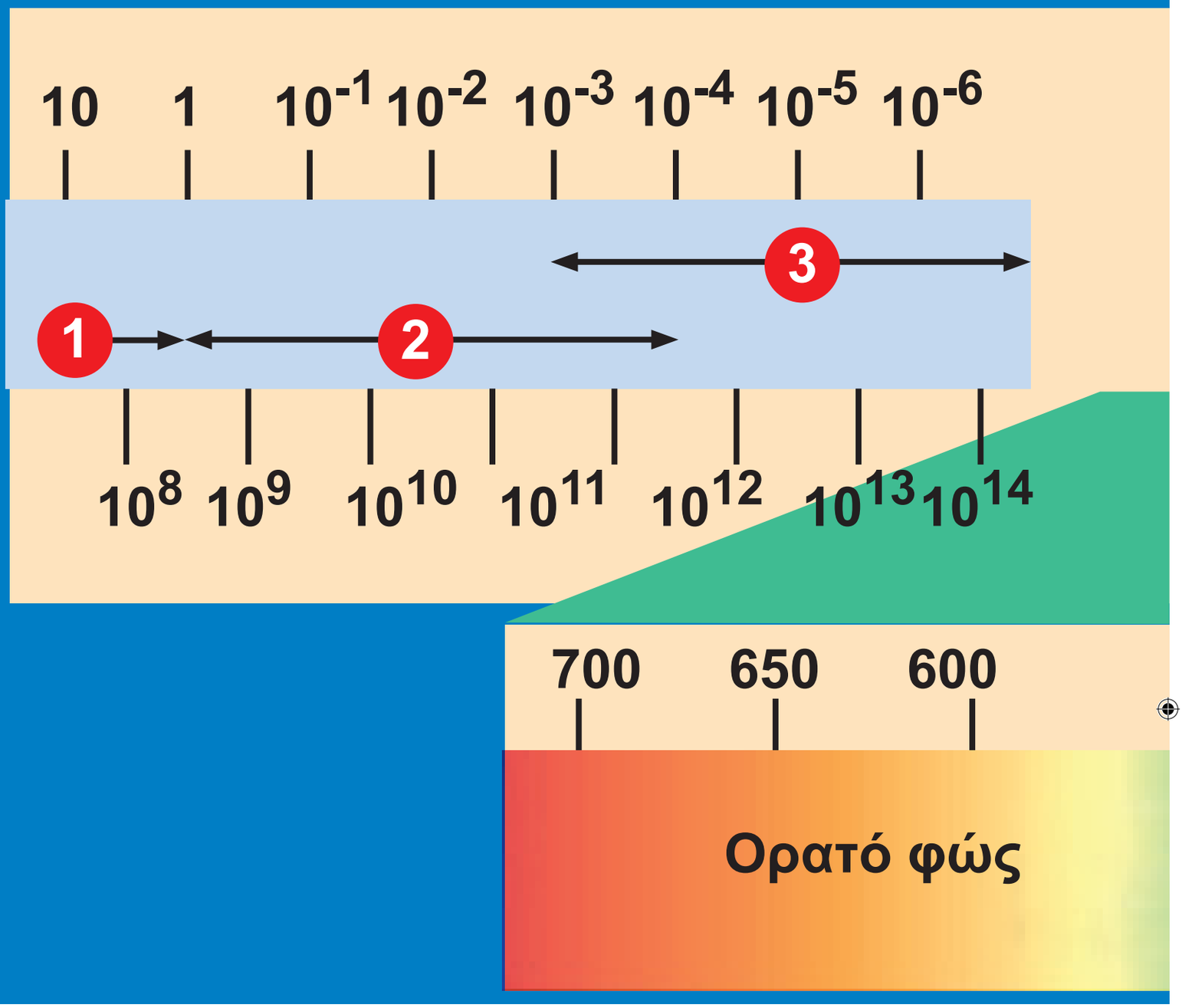
Ραδιοκύματα. Είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος κύματος από 10^5 m έως μερικά εκατοστά.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 94 21/7/2017 11:43:12 πμ

Δημιουργούνται από ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως τα κυκλώματα LC, και χρησιμοποιούνται στη ραδιοφωνία και την τηλεόραση.

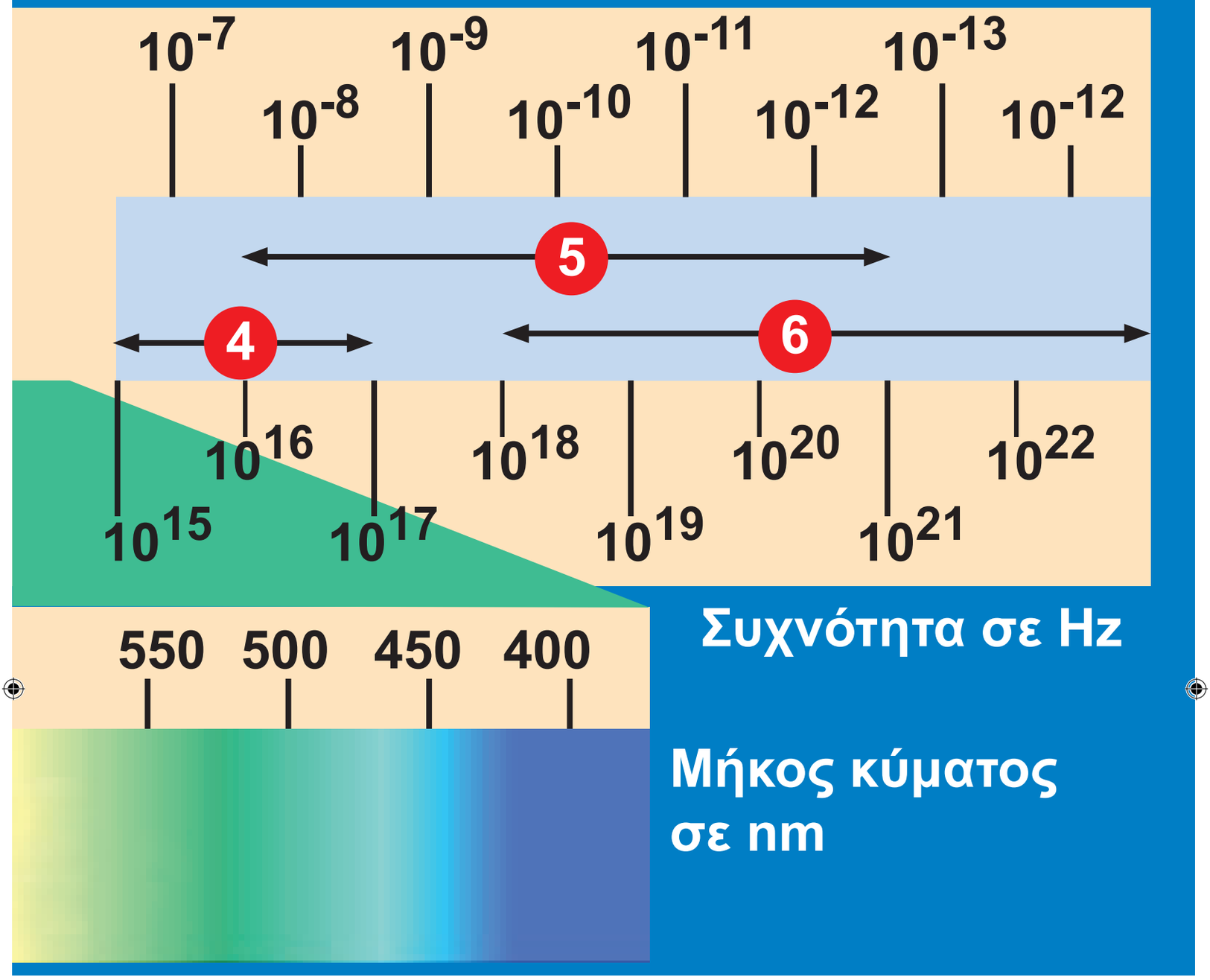
Μικροκύματα. Το μήκος κύματός τους εκτείνεται από 30 cm έως 1 mm περίπου. Παράγονται από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Οι φούρνοι μικροκυμάτων με τους οποίους μαγειρεύουμε ή ζεσταίνουμε γρήγορα το φαγητό λειτουργούν με κύματα αυτής της περιοχής. Μικροκύματα χρησιμοποιούν και τα ραντάρ.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 95 21/7/2017 11:43:12 πμ



1. Ραδιοκύματα TV
2. Μικροκύματα
3. Υπέρυθρο
4. Υπεριώδες
5. Ακτίνες Χ
6. Ακτίνες γ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 96 21/7/2017 11:43:12 πμ



Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στη λεπτομέρεια φαίνεται η περιοχή του ορατού φωτός. **Σχήμα 2-26.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 97 21/7/2017 11:43:12 πμ

Υπέρυθρα κύματα. Καλύπτουν την περιοχή από 1 mm έως 7×10^{-7} m περίπου. Τα κύματα αυτά εκπέμπονται από τα θερμά σώματα και απορροφώνται εύκολα από τα περισσότερα υλικά. Η υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφάται από ένα σώμα αυξάνει το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του.

Το ορατό φως. Είναι το μέρος εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανιχνεύει ο ανθρώπινος οφθαλμός. Το μήκος κύματος του ορατού φωτός κυμαίνεται από 400 nm έως 700 nm (δηλαδή από 400×10^{-9}m έως 700×10^{-9}m). Το ορατό φως παράγεται από την ανακατανομή των ηλεκτρονίων στα άτομα και στα μόρια. Κάθε υποπεριοχή του ορατού

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 98 21/7/2017 11:43:12 πμ

φάσματος προκαλεί στον άνθρωπο την αίσθηση κάποιου συγκεκριμένου χρώματος. Προσεγγιστικά τα μήκη κύματος των διαφόρων χρωμάτων του ορατού φάσματος είναι:

700 έως	630 nm	Ερυθρό
630 έως	590 nm	Πορτοκαλί
590 έως	560 nm	Κίτρινο
560 έως	480 nm	Πράσινο
480 έως	440 nm	Κυανό
440 έως	400 nm	Ιώδες

Μια ακτινοβολία που περιέχει μήκη κύματος σε μια πολύ στενή περιοχή χαρακτηρίζεται **μονοχρωματική**. Για παράδειγμα, μια ακτινοβολία από

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 99 21/7/2017 11:43:12 πμ

490 έως 491 nm είναι μια πράσινη μονοχρωματική ακτινοβολία. Τέτοια ακτινοβολία μπορούμε να πάρουμε με τη χρήση ειδικών πηγών ή φίλτρων. Όταν χρησιμοποιούμε την έκφραση «μονοχρωματικό φως με μήκος κύματος 580 nm» στην πραγματικότητα εννοούμε φως σε μια στενή περιοχή μηκών κύματος γύρω στα 580 nm. Το απόλυτα μονοχρωματικό φως, δηλαδή το φως που αποτελείται μόνο από ένα μήκος κύματος, αποτελεί μια εξιδανίκευση. Τα λέιζερ παράγουν φως που πλησιάζει πολύ στο απόλυτα μονοχρωματικό.

Υπεριώδης ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή καλύπτει τα μήκη κύματος από $3{,}8 \times 10^{-7}$ m έως 6×10^{-8} m περίπου. Ο Ήλιος είναι ισχυρή πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι υπεριώδεις ακτίνες είναι υπεύθυνες για το

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 100 21/7/2017 11:43:12 πμ

«μαύρισμα» όταν κάνουμε ηλιοθεραπεία, το καλοκαίρι. Μεγάλες δόσεις υπεριώδους ακτινοβολίας βλάπτουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, που φτάνει στη Γη από τον Ήλιο απορροφάται από τα άτομα και τα μόρια της ανώτερης ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα).

Το όζον της στρατόσφαιρας, απορροφά κατά κύριο λόγο την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία. Σήμερα ανησυχούμε για την πιθανή καταστροφή αυτής της προστατευτικής ασπίδας ενάντια στις υπεριώδεις ακτίνες του Ήλιου. Το όζον της στρατόσφαιρας μειώνεται εξαιτίας εκτεταμένης χρήσης των χλωροφθορανθράκων, ενώσεων που χρησιμοποιούνται στα ψυγεία, τα κλιματιστικά τους ψεκαστήρες και αλλού.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 101 21/7/2017 11:43:12 πμ

Οι ακτίνες Χ (ή ακτίνες Röntgen) είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από 10^{-8} m έως 10^{-13} m περίπου. Η πιο κοινή αιτία παραγωγής ακτίνων Χ είναι η επιβράδυνση ηλεκτρονίων που προσκρούουν με μεγάλη ταχύτητα σε ένα μεταλλικό στόχο. Οι ακτίνες Χ χρησιμοποιούνται στην ιατρική, κυρίως για διαγνωστικούς σκοπούς (ακτινογραφίες), και στη μελέτη των διαφόρων κρυσταλλικών δομών. Οι ακτίνες Χ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στους ζωντανούς οργανισμούς και γι' αυτό πρέπει να αποφεύγουμε την έκθεσή μας σ' αυτές χωρίς σοβαρό λόγο.

Οι ακτίνες γ. Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ορισμένους ραδιενεργούς πυρήνες καθώς και σε αντιδράσεις πυρήνων και στοιχειωδών σωματιδίων ή ακόμα

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 102 21/7/2017 11:43:12 πμ

και κατά τη διάσπαση στοιχειωδών σωματιδίων. Τα μήκη κύματός τους αρχίζουν από 10^{-10} m και φτάνουν ως τα 10^{-14} m. Είναι πολύ διεισδυτικές και βλάπτουν τους οργανισμούς που τις απορροφούν.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 103 21/7/2017 11:43:12 πμ

(2.9.) Ανάκλαση και Διάθλαση

Α. Ανάκλαση του φωτός

Όταν το φως που διαδίδεται σε ένα μέσο συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο αρχικό μέσο διάδοσης και σε ένα άλλο, ένα μέρος του επιστρέφει στο αρχικό μέσο.

Στο σχήμα 2.27α βλέπουμε πώς ανακλώνται οι ακτίνες μιας φωτεινής παράλληλης δέσμης που προσπίπτει πάνω σε λεία και στιλπνή επιφάνεια, (κάτοπτρο). Οι ανακλώμενες ακτίνες εξακολουθούν να είναι παράλληλες μεταξύ τους και η ανάκλαση αυτή ονομάζεται **κατοπτρική ανάκλαση**.

Εάν η επιφάνεια πάνω στην οποία προσπίπτει η δέσμη έχει ανωμαλίες, οι ακτίνες που την αποτελούν

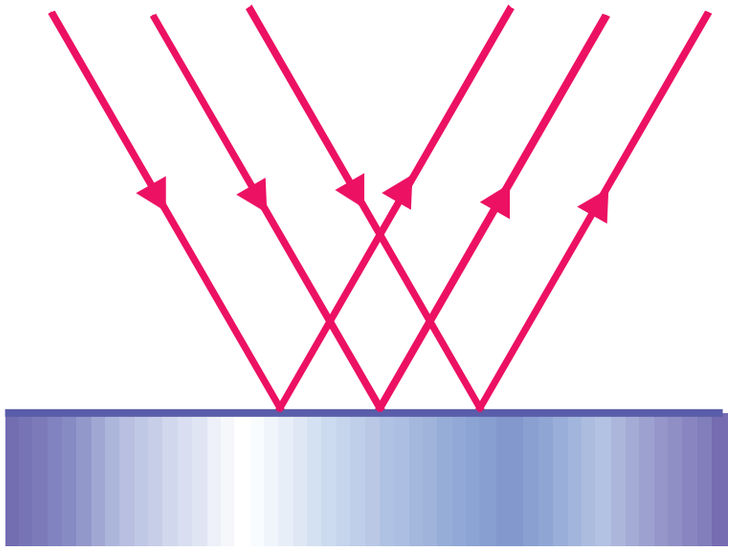
l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 104 21/7/2017 11:43:12 πμ

ανακλώνται σε διάφορες διευθύνσεις (σχ. 2.27β) και σκορπίζουν στο γύρω χώρο. Η ανάκλαση αυτή, στην οποία οι ανακλώμενες ακτίνες δεν είναι πια παράλληλες, ονομάζεται **διάχυση**.

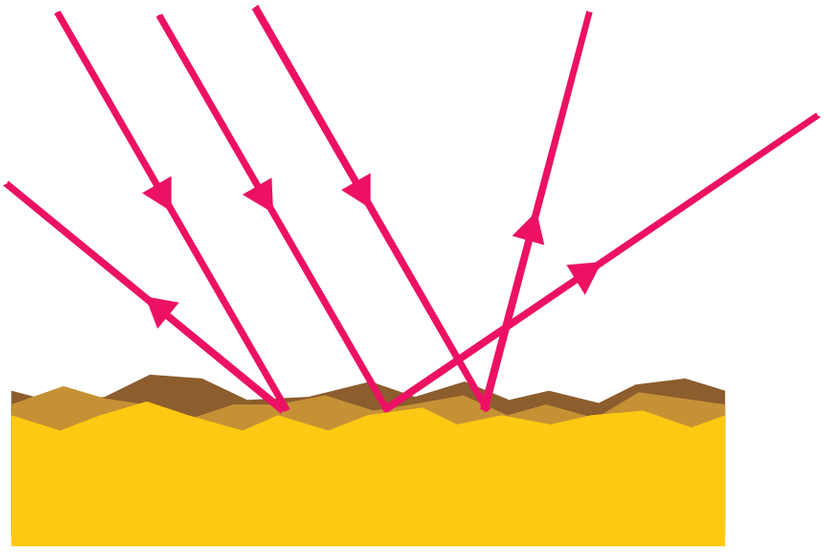
Τη νύχτα, αν ο δρόμος είναι στεγνός, το φως από τους προβολείς του αυτοκινήτου διαχέεται και έτσι ο δρόμος φαίνεται καλά. Εάν όμως έχει βρέξει, το νερό γεμίζει τις λακκούβες και το φως των προβολέων ανακλάται κατοπτρικά πάνω στην επιφάνεια του νερού με αποτέλεσμα να μη φωτίζονται όλα τα σημεία του δρόμου, ο οποίος, στην περίπτωση αυτή δε διακρίνεται καλά.

Στη συνέχεια, όταν χρησιμοποιούμε τον όρο ανάκλαση θα εννοούμε κατοπτρική ανάκλαση.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 105 21/7/2017 11:43:12 πμ



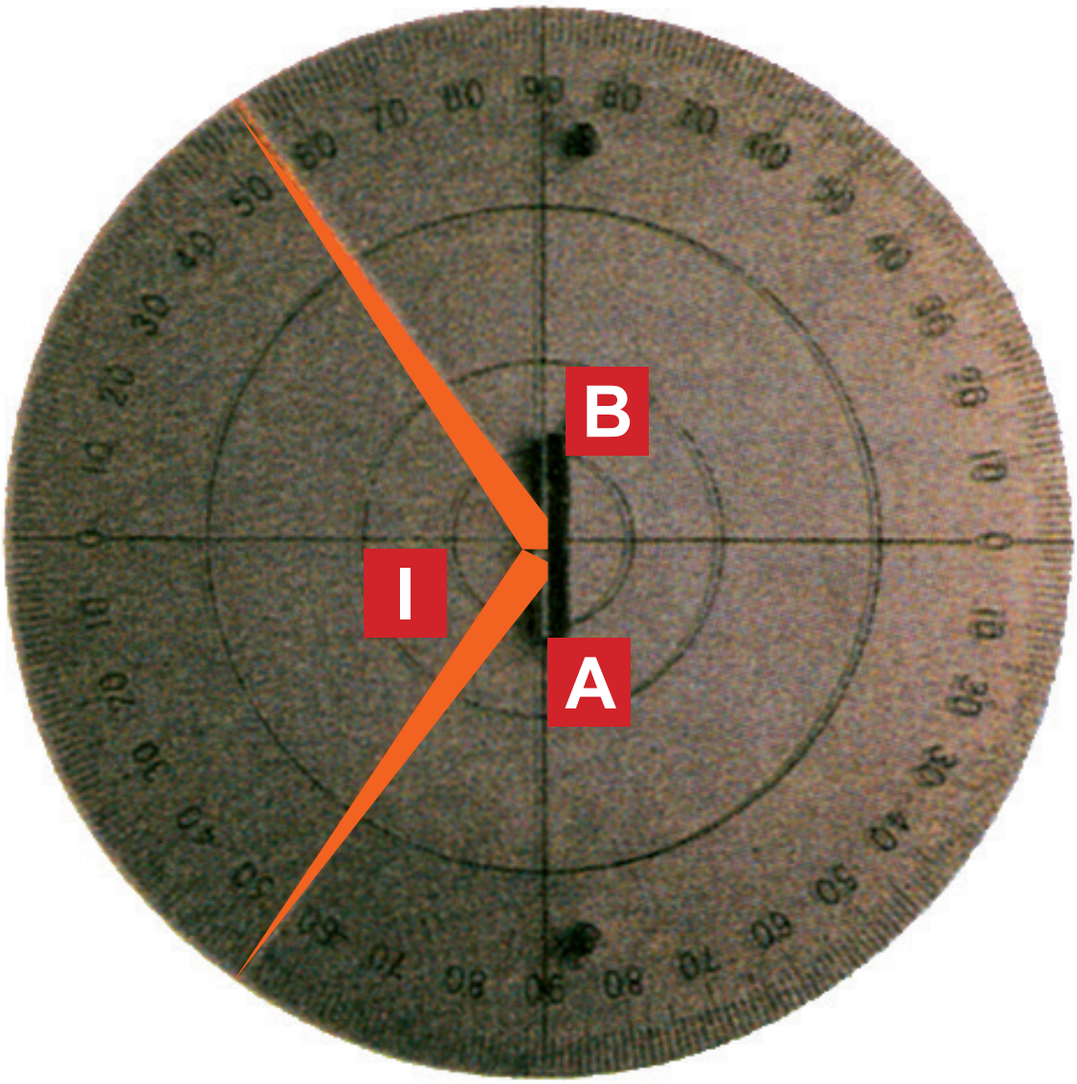
(α)



(β)

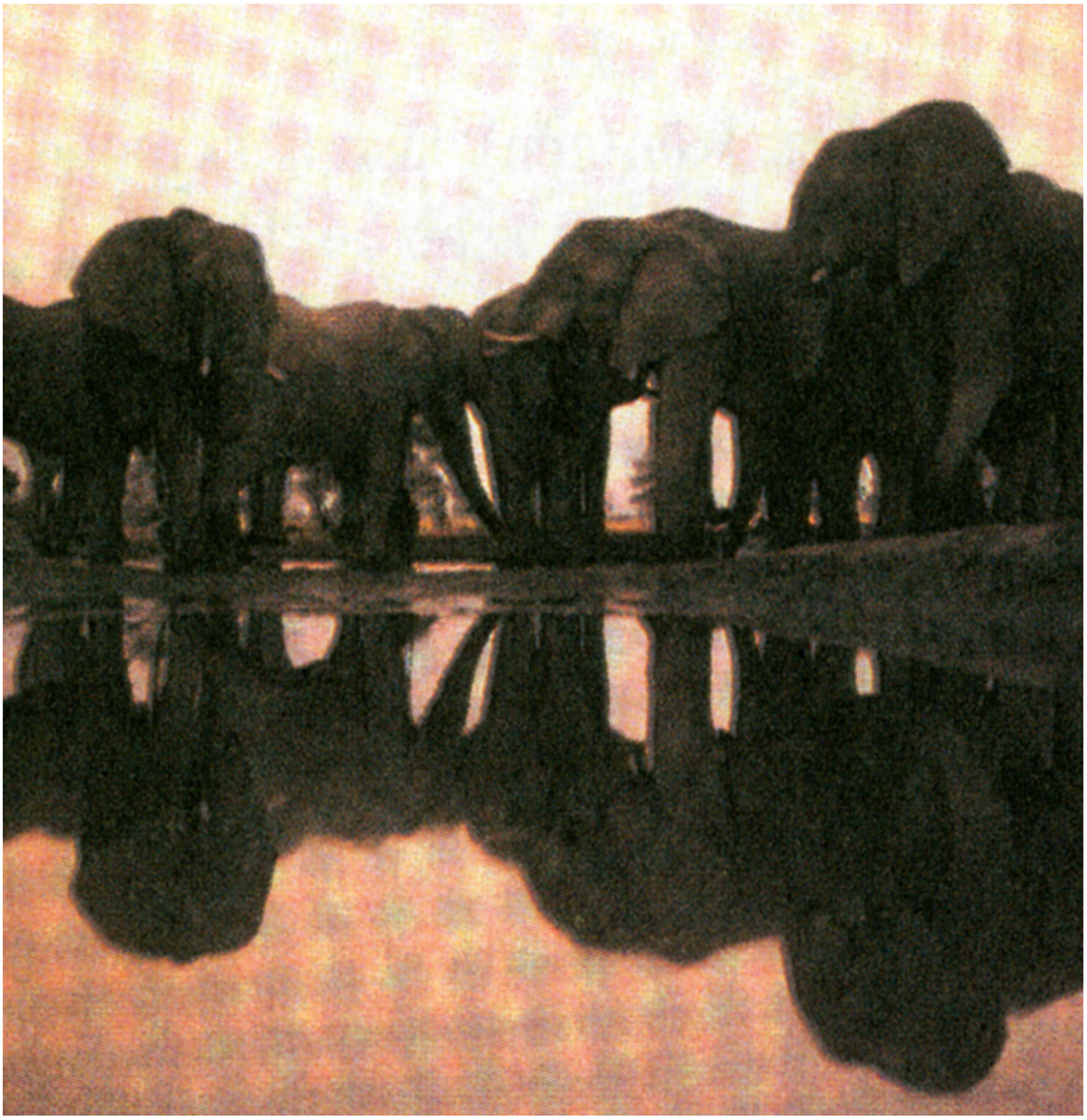
(α) Κατοπτρική ανάκλαση (β) διάχυση
Σχήμα 2-27.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 106 21/7/2017 11:43:12 πμ



Διάταξη για την πειραματική μελέτη της ανάκλασης του φωτός.
Εικόνα 2-7.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 107 21/7/2017 11:43:13 πμ



Το είδωλο που βλέπουμε στην επιφάνεια της λίμνης προέρχεται από ακτίνες που φτάνουν σε μας αφού ανακλαστούν στην επιφάνειά της. **Εικόνα 2-8.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 108 21/7/2017 11:43:13 πμ

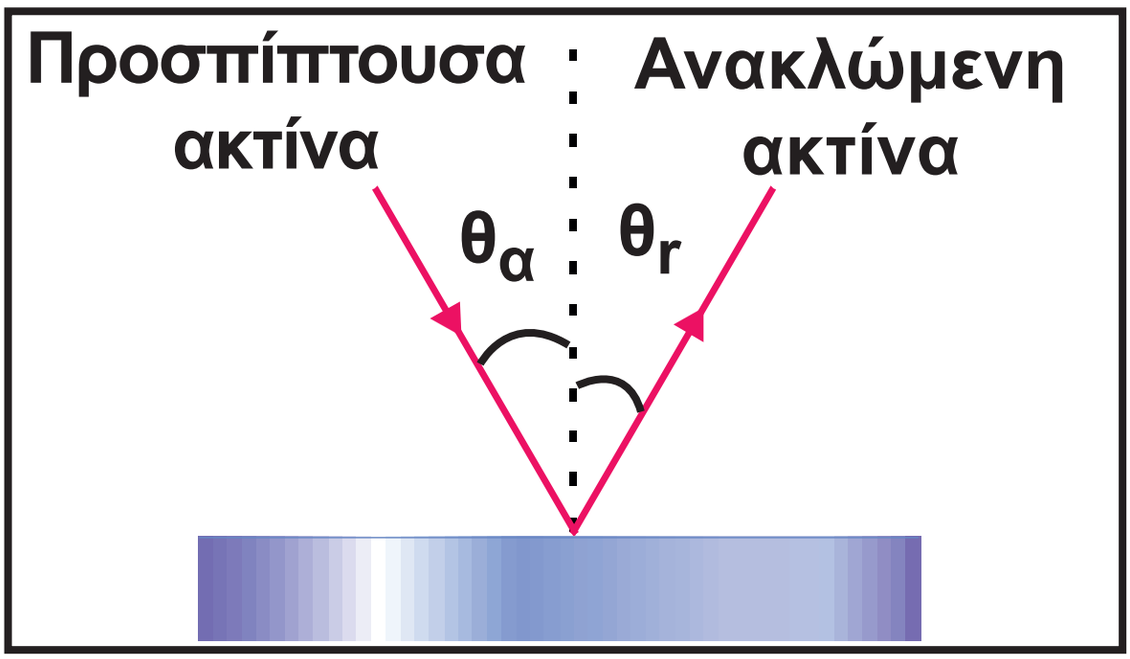
Έστω ότι μια φωτεινή ακτίνα προσπίπτει υπό γωνία πάνω σε μια λεία επιφάνεια και ανακλάται (σχ. 2.28). Τη γωνία ανάμεσα στην αρχική διεύθυνση της ακτίνας και στην κάθετη στην επιφάνεια την ονομάζουμε **γωνία πρόσπτωσης** (θ_α), και τη γωνία ανάμεσα στην κάθετη στην επιφάνεια και στη διεύθυνση της ανακλώμενης ακτίνας, **γωνία ανάκλασης** (θ_r). Πειραματικά προκύπτει ότι:

1. **Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη και η κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.**

2. **Η γωνία ανάκλασης θ_r, είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης θ_α.**

$$\theta_r = \theta_\alpha$$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 109 21/7/2017 11:43:13 πμ



Ανάκλαση φωτεινής ακτίνας. θ_α είναι η γωνία πρόσπτωσης και θ_r η γωνία ανάκλασης. Ισχύει $\theta_\alpha = \theta_r$.
Σχήμα 2-28.

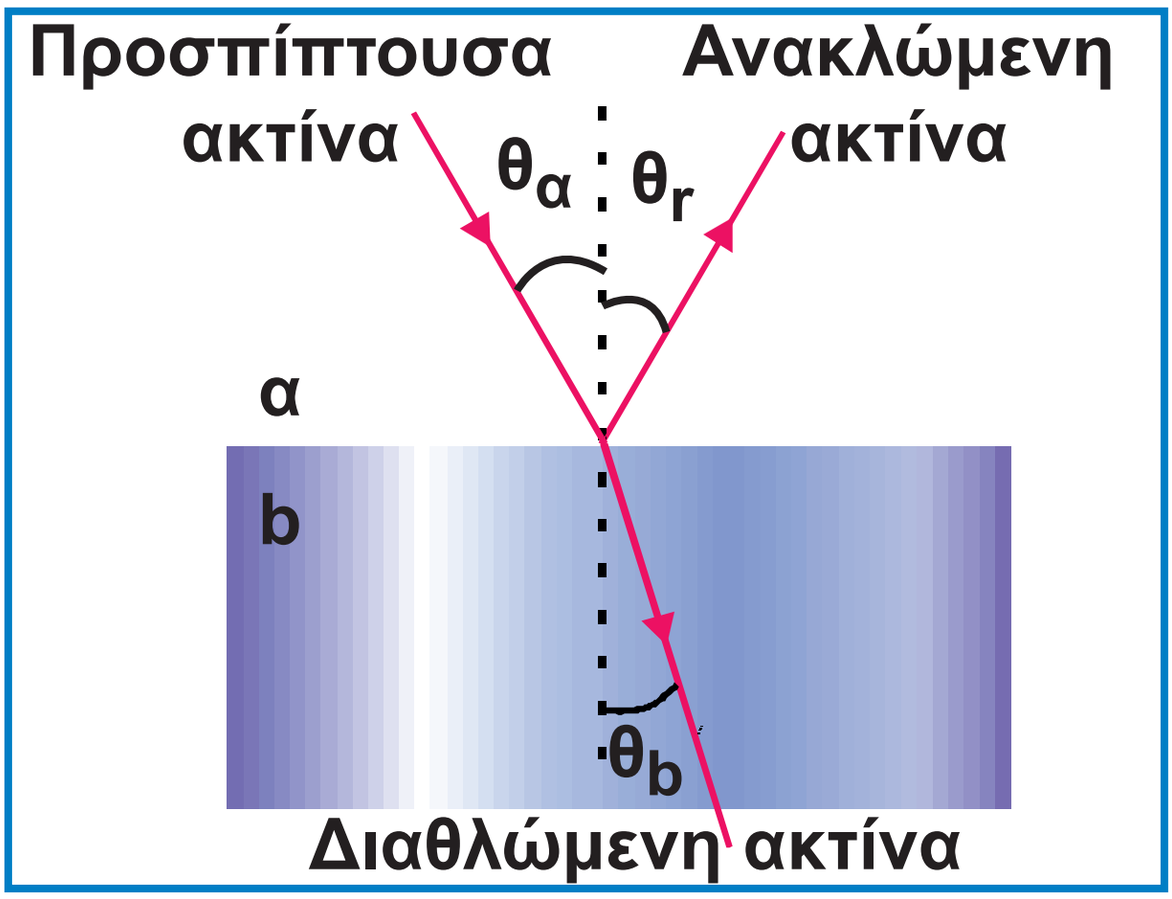
Β. Διάθλαση του φωτός

Όταν το φως συναντήσει την επιφάνεια που διαχωρίζει το μέσον στο οποίο διαδίδεται από ένα άλλο διαφανές μέσο, στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα, ένα μέρος του ανακλάται και το υπόλοιπο μέρος

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 110 21/7/2017 11:43:13 πμ

του διαθλάται, δηλαδή περνάει στο δεύτερο μέσο, αλλάζοντας πορεία.

Η γωνία που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια λέγεται γωνία διάθλασης (σχ. 2.29).



Ανάκλαση και διάθλαση φωτεινής μονοχρωματικής δέσμης κατά τη μετάβαση από ένα διαφανές μέσο σε άλλο. **Σχήμα 2-29.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 111 21/7/2017 11:43:13 πμ

Γνωρίζουμε ότι το φως διαδίδεται με τη μεγαλύτερη ταχύτητα στο κενό.

Ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c) , προς την ταχύτητά του (υ) στο υλικό

$$n = \frac{c}{\upsilon}$$

ονομάζεται δείκτης διάθλασης (n) του οπτικού υλικού.

Ο δείκτης διάθλασης είναι καθαρός αριθμός και για οποιοδήποτε υλικό είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Επειδή η ταχύτητα του φωτός στον αέρα είναι περίπου ίση με την ταχύτητα με την οποία διαδίδεται στο κενό ο δείκτης διάθλασης του αέρα συνήθως θεωρείται ίσος με τη μονάδα.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 112 21/7/2017 11:43:13 πμ

Πειραματικά προκύπτει ότι

1. Η προσπίπτουσα ακτίνα, η διαθλώμενη και η κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων, στο σημείο πρόσπτωσης της ακτίνας βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.
2. Όταν το φως είναι μονοχρωματικό, ο λόγος του ημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης (θ_α) προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης (θ_b) είναι ίσος με τον αντίστροφο λόγο των δεικτών διάθλασης των δύο μέσων.

$$\frac{\eta\mu\theta_\alpha}{\eta\mu\theta_b} = \frac{n_b}{n_\alpha} \quad \text{ή} \quad \boxed{n_\alpha \eta\mu\theta_\alpha = n_b \eta\mu\theta_b} \qquad (2.16)$$

Η σχέση αυτή ονομάζεται και **νόμος του Snell** (Σνελ).

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 113 21/7/2017 11:43:13 πμ

Η σχέση (2.16) δείχνει ότι όταν μια ακτίνα διέρχεται από ένα υλικό α σε ένα υλικό b στο οποίο η ταχύτητα του φωτός είναι μικρότερη ($n_b > n_\alpha$), τότε η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης, δηλαδή η διαθλώμενη ακτίνα πλησιάζει στην κάθετη, στο σημείο πρόσπτωσης. Αντίθετα αν η ταχύτητα του φωτός στο δεύτερο υλικό (b) είναι μεγαλύτερη της ταχύτητάς του στο πρώτο ($n_b < n_\alpha$), η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετη.

Ο δείκτης διάθλασης του κενού είναι εξ ορισμού ίσος με τη μονάδα, επομένως όταν μια ακτίνα διέρχεται από το κενό σε ένα υλικό, πλησιάζει πάντα την κάθετη.

Όταν μια ακτίνα προσπίπτει κάθετα στη διαχωριστική επιφάνεια, $\theta_\alpha = 0$,

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 114 21/7/2017 11:43:13 πμ

$\eta\mu\theta_\alpha = 0$ και από (2.16) προκύπτει ότι και $\theta_b = 0$. Δηλαδή η ακτίνα δεν αλλάζει κατεύθυνση.

Από τους νόμους της διάθλασης προκύπτει ότι η πορεία που ακολουθεί μια ακτίνα είναι ίδια είτε αυτή μεταβαίνει από το υλικό α στο b είτε αντίστροφα.

Όταν το μονοχρωματικό φως διέρχεται από ένα υλικό σε κάποιο άλλο, η συχνότητά του (f), δεν αλλάζει. Αφού η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το φως είναι διαφορετική στα δυο μέσα και η συχνότητα της ακτινοβολίας μένει σταθερή, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας πρέπει να είναι διαφορετικό στα δυο μέσα. ($u = \lambda f$)

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 115 21/7/2017 11:43:13 πμ

Εάν το ένα μέσο είναι το κενό ή – στην πράξη – ο αέρας τότε

$$c = \lambda_0 f$$

όπου λ_0 το μήκος κύματος της ακτινοβολίας στο κενό. Σε κάθε υλικό ισχύει

$$\upsilon = \lambda f$$

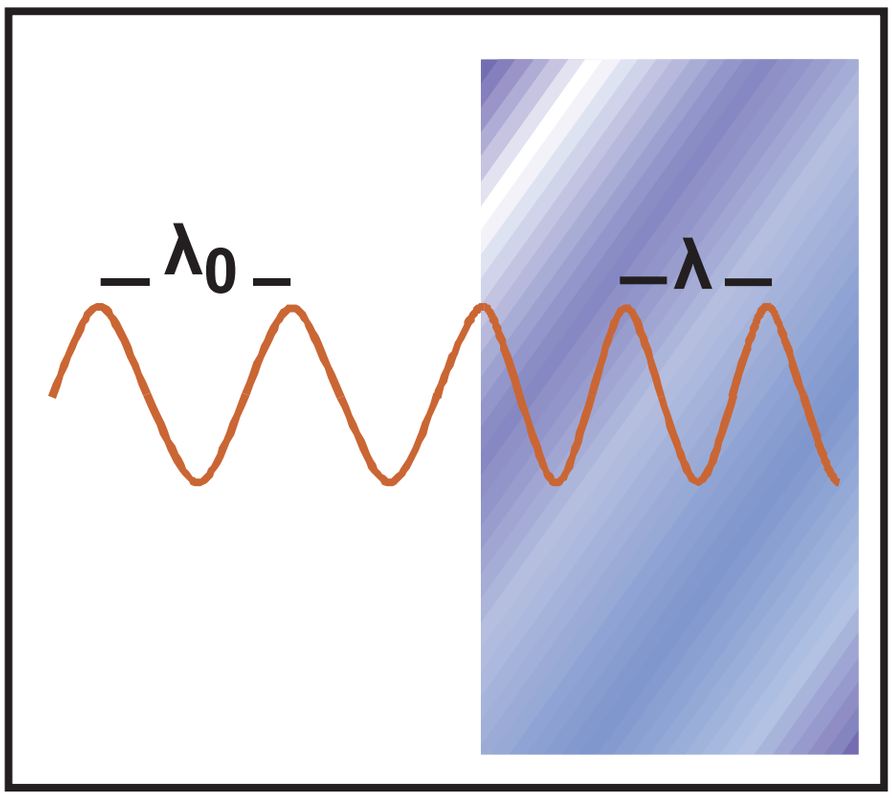
Διαιρώντας τις δύο σχέσεις προκύπτει

$$\frac{c}{\upsilon} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad \text{ή} \quad n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

$$\text{οπότε} \quad \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

επομένως **το μήκος κύματος μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας που μεταβαίνει από το κενό ή τον αέρα σε κάποιο άλλο μέσο μειώνεται.**

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 116 21/7/2017 11:43:13 πμ

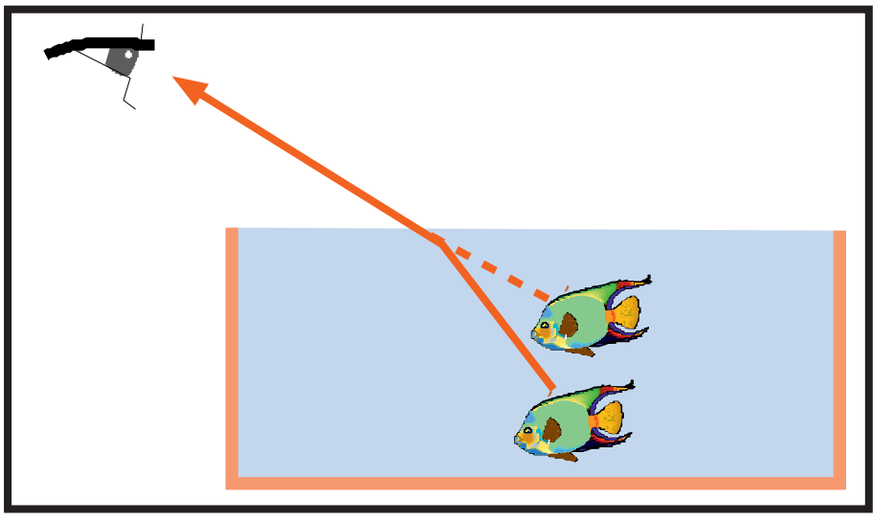


Μονοχρωματική ακτινοβολία περνάει από τον αέρα σε ένα διαφανές μέσο. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας μειώνεται.
Σχήμα 2-30.

Στο φαινόμενο της διάθλασης οφείλονται πολλές οφθαλμαπάτες, όπως το φαινομενικό σπάσιμο μιας ράβδου που ένα τμήμα της είναι βυθισμένο στο νερό. Μια άλλη

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 117 21/7/2017 11:43:13 πμ

οφθαλμαπάτη φαίνεται στο σχήμα 2.31. Το μάτι αντιλαμβάνεται το φως σαν να διαδίδεται ευθύγραμμα. Έτσι βλέπει το ψάρι στην προέκταση της ακτίνας (εστιγμένη γραμμή), πιο κοντά στην επιφάνεια από ότι είναι πραγματικά.



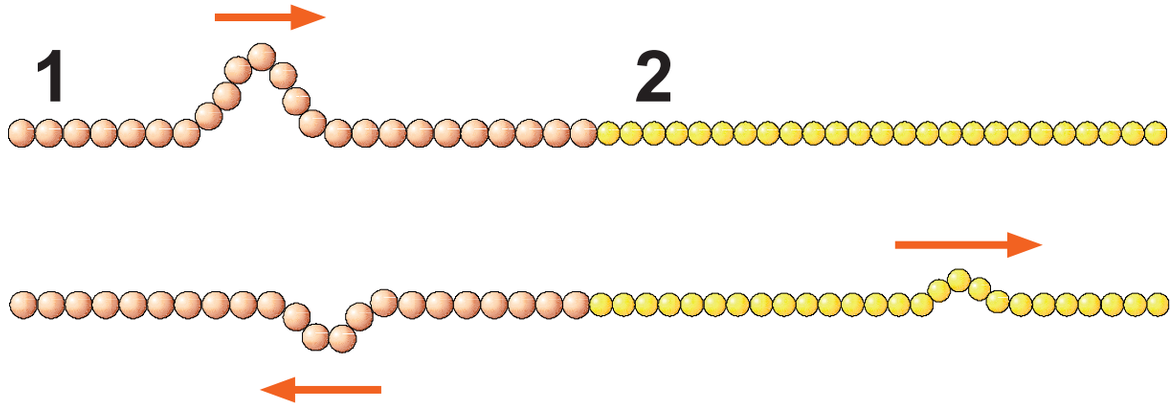
Εξαιτίας της διάθλασης ένα αντικείμενο μέσα στο νερό φαίνεται να βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια από όσο είναι πραγματικά.
Σχήμα 2-31.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 118 21/7/2017 11:43:13 πμ

Μελετήσαμε τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης για το φως κι αυτό γιατί ο ρόλος των φαινομένων στον κλάδο της φυσικής που μελετά το φως και ονομάζεται οπτική είναι σημαντικός, αλλά και γιατί, με το φως τα φαινόμενα είναι εύκολα παρατηρήσιμα.

Ωστόσο πρέπει να επισημάνουμε ότι τα φαινόμενα αυτά δεν περιορίζονται μόνο στα φωτεινά κύματα αλλά είναι κοινά σε όλα τα είδη κυμάτων, ηλεκτρομαγνητικά και μηχανικά.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 119 21/7/2017 11:43:13 πμ



Όταν ο κυματικός παλμός που διαδίδεται στο μέσο 1 συναντήσει το μέσο 2 εν μέρει ανακλάται και εν μέρει συνεχίζει στο μέσο 2, με άλλη ταχύτητα.
Σχήμα 2-32.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι τα ραδιοκύματα ανακλώνται σε μεταλλικές επιφάνειες. Θα έχετε παρατηρήσει τις κεραίες εκπομπής με μεταλλικό «κάτοπτρο» ή τις κεραίες δορυφορικής λήψης που επίσης φέρουν κάτοπτρο. Οι μεταλλικές επιφάνειες παίζουν για τα

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 120 21/7/2017 11:43:14 πμ

ραδιοκύματα το ρόλο που παίζουν οι καθρέφτες για το φως. Σε πολλές κεραίες εκπομπής, υπάρχει μια παραβολική μεταλλική επιφάνεια (κάτοπτρο). Χωρίς το κάτοπτρο, το κύμα που παράγεται από το ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο θα διασκορπιζόταν σε όλο το χώρο γύρω του. Με το κάτοπτρο, μετά την ανάκλασή του το κύμα διαδίδεται προς μια μόνο κατεύθυνση. Το κύμα αυτό είναι ικανό να φτάσει πολύ μακριά χωρίς σημαντική εξασθένιση. Στις κεραίες λήψης, το κάτοπτρο ανακλά τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που πέφτουν πάνω του και τα εστιάζει στην κεραία, με αποτέλεσμα το σήμα στην κεραία να είναι πιο ισχυρό.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 121 21/7/2017 11:43:15 πμ

Παραβολικές κεραίες ραδιοτηλεσκόπιου.
Εικόνα 2-9.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι δείκτες διάθλασης ορισμένων υλικών, για το κίτρινο φως με μήκος κύματος $\lambda_0 = 589\,nm$.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 122 21/7/2017 11:43:15 πμ

Υλικό	Δείκτης Διάθλασης
Στερεά	
Πάγος	1,309
Πυριτική στεφανύαλος	1,52
Μολυβδύαλος (κρύσταλλο)	1,66
Φθορίτης	1,434
Χλωριούχο νάτριο	1,544
Αδάμας	2,419
Υγρά	
Νερό	1,333
Αιθυλική αλκοόλη	1,361
Βενζόλιο	1,501
Αέρια	
Αέρας	1,000293
Διοξείδιο του άνθρακα	1,00045

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 123 21/7/2017 11:43:15 πμ

Παράδειγμα 2.3

Ακτίνα φωτός μήκους κύματος $\lambda_0 = 590 \times 10^{-9}$ m μεταβαίνει από τον αέρα σε γυαλί, που έχει δείκτη διάθλασης 1,52. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας είναι $\theta_\alpha = 30^\circ$. Να υπολογίσετε:

α) τη συχνότητα της ακτινοβολίας στον αέρα και στο γυαλί,
β) την ταχύτητα διάδοσης στο γυαλί,
γ) το μήκος κύματος της ακτινοβολίας στο γυαλί,
δ) τη γωνία διάθλασης της ακτίνας.

Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι $c = 3 \times 10^8$ m/s.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 124 21/7/2017 11:43:15 πμ

Απάντηση:

α) Όταν το φως διαδίδεται στον αέρα η ταχύτητά του είναι σχεδόν όση και η ταχύτητά του στο κενό δηλαδή c. Από τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής έχουμε

$$c = \lambda_0 f \quad \text{ή} \quad f = \frac{c}{\lambda_0} = 5 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

Η συχνότητα μιας ακτινοβολίας δεν αλλάζει όταν το φως μεταβαίνει από το ένα μέσο στο άλλο. Επομένως, και στο γυαλί η συχνότητα της ακτινοβολίας είναι $f = 5 \times 10^{14}$ Hz.

β) Ο δείκτης διάθλασης του γυαλιού είναι

$$n = \frac{c}{u}$$

επομένως $$u = \frac{c}{n} = 1{,}973 \times 10^{8}\ \text{m/s}$$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 125 21/7/2017 11:43:15 πμ

γ) Για να βρούμε το μήκος κύματος της ακτινοβολίας στο γυαλί χρησιμοποιούμε πάλι τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής για τη διάδοσή της στο γυαλί.

$$\upsilon = \lambda f$$

οπότε $\lambda = \frac{\upsilon}{f} = 395 \times 10^{-9}\ m$

δ) Σύμφωνα με το νόμο του Snell

$$n_\alpha\ \eta\mu\theta_\alpha = n_b\ \eta\mu\theta_b$$

Το αρχικό μέσο (α) είναι ο αέρας με δείκτη διάθλασης $n_\alpha = 1$, ενώ μέσο b είναι το γυαλί με δείκτη διάθλασης $n_b = n$. Επομένως

$$\eta\mu\theta_\alpha = n\ \eta\mu\theta_b$$

άρα $\eta\mu\theta_b = \frac{\eta\mu 30^\circ}{n} = 0{,}329$,

$$\theta_b = 19{,}2^\circ$$

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 126 21/7/2017 11:43:15 πμ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 127

Πίνακες Σταθερών - Χρήσιμα Μεγέθη

Θεμελιώδεις Φυσικές Σταθερές

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Ταχύτητα του φωτός	c	3×10^{8} m/s
Φορτίο ηλεκτρονίου (απόλυτη τιμή)	e	$1,6 \times 10^{-19}$ C

21/7/2017 11:43:15 πμ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 128

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Βαρυτική σταθερά (σταθερά της παγκόσμιας έλξης)	G	$6,67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2/Kg^2$
Σταθερά Planck	h	$6,626 \times 10^{-34}\ J \cdot s$
Σταθερά Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23}\ J/K$
Σταθερά Avogadro	N_A	$6,023 \times 10^{23}$ μόρια/mol
Σταθερά των αερίων	R	$8,314\ J/mol \cdot K$
Μάζα ηλεκτρονίου	m_e	$9,1 \times 10^{-31}\ Kg$

21/7/2017 11:43:15 πμ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 129

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Μάζα νετρονίου	m_n	$1,675 \times 10^{-27}$ Kg
Μάζα πρωτονίου	m_p	$1,673 \times 10^{-27}$ Kg
Διηλεκτρική σταθερά του κενού	ε_0	$8,85 \times 10^{-12}$ $C^2/N \cdot m^2$
Σταθερά Coulomb	K_C	9×10^9 Nm^2/C^2
Μαγνητική διαπερατότητα του κενού	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ $Wb/A \cdot m$

21/7/2017 11:43:15 πμ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 130

Άλλες Χρήσιμες Σταθερές

Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας		4,186 J / cal
Κανονική ατμοσφαιρική πίεση	1 atm	$1{,}013 \times 10^5$ Pa (N/m^2)
Απόλυτο μηδέν	0 K	$-273\ ^{\circ}C$
Ηλεκτρονιοβόλτ	1 eV	$1{,}6 \times 10^{-19}$ J
Ενέργεια ηρεμίας ηλεκτρονίου	mc^2	0,511 MeV
Γραμμομοριακός όγκος ιδανικού αερίου ($0\ ^{\circ}C$, 1 atm)	V_{mol}	22,4 L / mol

21/7/2017 11:43:15 πμ

Λεξιλόγιο Όρων

Α

αδρανειακό σύστημα: σύστημα αναφοράς στο οποίο ισχύει η αρχή της αδράνειας του Newton.

αεροδύναμη: η δύναμη που δέχεται από τον αέρα η πτέρυγα του αεροπλάνου κατά τη διάρκεια της πτήσης του.

αιθέρας: υποθετικό αβαρές ελαστικό μέσο, η παρουσία του οποίου θεωρήθηκε απαραίτητη για τη διάδοση του φωτός.

ακτίνες Röntgen: ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 10^{-8} και 10^{-13} m. Είναι αποτέλεσμα της επιβράδυνσης των ηλεκτρονίων

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 131 21/7/2017 11:43:15 πμ

που προσπίπτουν σε μεταλλικές επιφάνειες με μεγάλη ταχύτητα ή της αποδιέγερσης των ατόμων του μετάλλου.

ακτίνες γ: ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 10^{-10} και 10^{-14} m. Εκπέμπονται από πυρήνες ραδιενεργών στοιχείων.

ακτίνες Χ: οι ακτίνες Roentgen.

ακτινοβολία: ενέργεια που εκπέμπεται με μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

αμορτισέρ: μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την απόσβεση των ταλαντώσεων των αυτοκινήτων.

ανάκλαση κύματος: το φαινόμενο κατά το οποίο όταν το κύμα συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια δυο μέσων επιστρέφει στο πρώτο μέσο ακολουθώντας ορισμένο δρόμο.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 132 21/7/2017 11:43:15 πμ

άξονας περιστροφής (στερεού σώματος): η ευθεία που ενώνει τα σημεία τα οποία παραμένουν ακίνητα κατά την περιστροφή του σώματος.

απεριοδική ταλάντωση: η κίνηση ενός ταλαντωτή ο οποίος δεν υπερβαίνει τη θέση ισορροπίας, λόγω ισχυρών αποσβέσεων.

απομάκρυνση: η απόσταση σώματος που ταλαντώνεται, από τη θέση ισορροπίας.

αρμονική ταλάντωση: η ταλάντωση στην οποία η απομάκρυνση του ταλαντωτή είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου.

αρχική φάση: η τιμή που έχει τη χρονική στιγμή μηδέν η φάση ενός μεγέθους που μεταβάλλεται αρμονικά με το χρόνο.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 133 21/7/2017 11:43:15 πμ

Γ

γενική θεωρία της σχετικότητας: η θεωρία της σχετικότητας που συμπεριλαμβάνει και μη αδρανειακά συστήματα - θεωρία για τη βαρύτητα.

γωνία εκτροπής: η γωνία που σχηματίζει με την αρχική της διεύθυνση η μονοχρωματική δέσμη που βγαίνει από μια οπτική διάταξη.

γωνιακή συχνότητα: μέγεθος που χαρακτηρίζει τα περιοδικά φαινόμενα, ανάλογο προς τη συχνότητα. Στην ομαλή κυκλική κίνηση συμπίπτει με το μέτρο της γωνιακής ταχύτητας.

Δ

δείκτης διάθλασης (υλικού): ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό προς την ταχύτητά του στο υλικό αυτό.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 134 21/7/2017 11:43:15 πμ

δεσμός στάσιμου κύματος: ένα σημείο που παραμένει ακίνητο όταν στο ελαστικό μέσο στο οποίο ανήκει δημιουργείται στάσιμο κύμα.

δευτέριο: ισότοπο του υδρογόνου με μαζικό αριθμό δύο.

διάθλαση κύματος: η αλλαγή πορείας ενός κύματος κατά τη μετάβασή του από ένα μέσο σε ένα άλλο στο οποίο διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα.

διακρότημα: η αυξομείωση του πλάτους της ταλάντωσης που εκτελεί ένα σώμα όταν μετέχει σε δυο ταλαντώσεις της ίδιας διεύθυνσης, που έχουν το ίδιο πλάτος και συχνότητες που παρουσιάζουν μικρή διαφορά.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 135 21/7/2017 11:43:15 πμ

διάμηκες κύμα: το κύμα στο οποίο τα μόρια του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται στη διεύθυνση της διάδοσής του.

διαμόρφωση πλάτους (AM): η τροποποίηση του πλάτους του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που εκπέμπει ο σταθμός, από το μικροφωνικό ρεύμα.

διαμόρφωση συχνότητας (FM): η τροποποίηση της συχνότητας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που εκπέμπει ο σταθμός, από το μικροφωνικό ρεύμα.

διασκεδασμός (του φωτός): η εξάρτηση του δείκτη διάθλασης ενός υλικού από το μήκος κύματος.

διαστολή του χρόνου: Η φαινομενική επιβράδυνση του χρόνου

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 136 21/7/2017 11:43:15 πμ

(αύξηση του χρονικού διαστήματος) σε σώμα που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα.

δίδυμη γένεση: η μετατροπή ενός φωτονίου σε ζεύγος ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου.

διέγερση (ατόμου): η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου του ατόμου σε στιβάδα με ενέργεια μεγαλύτερη από την αρχική.

διεγέρτης: το σώμα που προκαλεί εξαναγκασμένη ταλάντωση ενός ταλαντωτή- που προσφέρει περιοδικά ενέργεια σε ένα σώμα που ταλαντώνεται.

δύναμη επαναφοράς: η δύναμη που αναγκάζει ένα σώμα να ταλαντώνεται- που τείνει να επαναφέρει το σώμα στη θέση ισορροπίας.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 137 21/7/2017 11:43:15 πμ

δυναμική άνωση: η συνιστώσα της αεροδύναμης η κάθετη στην ταχύτητα.

Ε

εγκάρσιο κύμα: το κύμα στο οποίο τα μόρια του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση της διάδοσής του.

ειδική θεωρία της σχετικότητας: θεωρία που διατύπωσε ο Einstein για αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Βασικές της παραδοχές είναι: α) η ταχύτητα του φωτός είναι ανεξάρτητη από τη ταχύτητα του παρατηρητή, β) οι νόμοι της φυσικής είναι ίδιοι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα.

έκκεντρη κρούση: η κρούση σωμάτων που οι ταχύτητές τους βρίσκονται σε παράλληλες ευθείες.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 138 21/7/2017 11:43:15 πμ

ελαστική κρούση: η κρούση κατά την οποία διατηρείται η μηχανική ενέργεια του συστήματος των σωμάτων.

ελεύθερη ταλάντωση: η ταλάντωση ενός σώματος το οποίο εκτρέπεται από τη θέση ισορροπίας και αφήνεται ελεύθερο.

έλλειμμα μάζας: η διαφορά της μάζας ενός πυρήνα από τη μάζα των συστατικών του.

ενέργεια σύνδεσης (πυρήνα): το ποσό της ενέργειας που πρέπει να προσφερθεί στον πυρήνα για να διασπαστεί στα συστατικά του.

ενέργεια ηρεμίας: το ποσό της ενέργειας (mc^2) που έχει ένα σώμα όταν ηρεμεί.

ένταση ακτινοβολίας: η ενέργεια που περνάει από τη μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 139 21/7/2017 11:43:15 πμ

εξαναγκασμένη ταλάντωση: η ταλάντωση που γίνεται με την περιοδική προσφορά ενέργειας στο ταλαντούμενο σύστημα.

εξίσωση κύματος: η σχέση που δίνει την απομάκρυνση των σημείων του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα κάθε χρονική στιγμή.

εξίσωση συνέχειας: η σχέση μεταξύ της ταχύτητας ενός ασυμπίεστου ρευστού και της διατομής του σωλήνα στον οποίο κινείται.

εσωτερική τριβή ρευστού: η τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των μορίων του ρευστού λόγω της κίνησής του.

έργο εξαγωγής: η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να πάρει ένα ηλεκτρόνιο για να εγκαταλείψει την επιφάνεια ενός μετάλλου.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 140 21/7/2017 11:43:15 πμ

Η

ηλεκτρική ταλάντωση: εναλλασσόμενο ρεύμα μεγάλης συχνότητας που παίρνουμε από κύκλωμα LC όταν φορτίσουμε τον πυκνωτή.

ηλεκτρομαγνητικό κύμα: η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου στο χώρο.

Ι

ιδιομήκος (αντικειμένου): βλ. «**μήκος ηρεμίας**».

ιδιόχρονος (αδρανειακού συστήματος): ο χρόνος που μετράει ένα ρολόι ακίνητο σε ένα αδρανειακό σύστημα.

ιξώδες: η εσωτερική τριβή μεταξύ των μορίων ενός ρευστού- συντελεστής που δείχνει πόσο παχύρρευστο είναι ένα υγρό.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 141 21/7/2017 11:43:15 πμ

Κ

κβαντισμένο μέγεθος: κάθε μέγεθος που παίρνει διακριτές τιμές που είναι πολλαπλάσια μιας ελάχιστης.

κέντρο μάζας (σώματος): το σημείο στο οποίο μπορεί να θεωρηθεί συγκεντρωμένη όλη η μάζα ενός σώματος.

κοιλία στάσιμου κύματος: ένα σημείο που ταλαντώνεται με το μέγιστο πλάτος, όταν στο ελαστικό μέσο στο οποίο ανήκει σχηματίζεται στάσιμο κύμα.

κρίσιμη γωνία: η μέγιστη τιμή της γωνίας πρόσπτωσης στη διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφανών υλικών για την οποία το φως περνάει από το πρώτο υλικό στο δεύτερο στο οποίο το φως διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 142 21/7/2017 11:43:15 πμ

κρούση κεντρική: η κρούση σωμάτων που οι ταχύτητές τους βρίσκονται στην ίδια ευθεία.

κύμα μηχανικό: μια διαταραχή που μεταδίδεται σε ένα ελαστικό μέσο.

κυματοπακέτο: κύμα περιορισμένο στο χώρο.

Μ

μάζα ηρεμίας: η μάζα που έχει ένα σώμα όταν ηρεμεί.

μέλαν σώμα: σώμα που απορροφά όλες τις ακτινοβολίες που πέφτουν πάνω του.

μετασχηματισμοί Lorentz: οι σχέσεις που συνδέουν τις συντεταγμένες της θέσης και χρόνου ενός σώματος σε δυο αδρανειακά συστήματα αναφοράς που βρίσκονται σε σχετική κίνηση.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 143 21/7/2017 11:43:15 πμ

μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου: οι σχέσεις που συνδέουν τις συντεταγμένες της θέσης ενός σώματος σε δυο αδρανειακά συστήματα αναφοράς που κινούνται με ταχύτητα πολύ μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός.

μεταφορική κίνηση (στερεού σώματος): η κίνηση στην οποία όλα τα σημεία του σώματος έχουν την ίδια ταχύτητα.

μήκος ηρεμίας (αντικειμένου): το μήκος ενός αντικειμένου, όπως μετριέται στο σύστημα αναφοράς ως προς το οποίο ηρεμεί.

μήκος κύματος De Broglie: το μήκος του κύματος που αντιστοιχεί σε ένα σωματίδιο.

μήκος κύματος: η απόσταση στην οποία φτάνει το κύμα σε χρόνο μιας

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 144 21/7/2017 11:43:15 πμ

περιόδου- η μικρότερη απόσταση δύο σημείων, στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, που βρίσκονται σε φάση.

μικροκύματα: ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκη κύματος μεταξύ 1mm και 30cm. Χρησιμοποιούνται στα ραντάρ.

μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας: όργανο που επιτρέπει να απεικονίσουμε αγώγιμες επιφάνειες σε ατομική κλίμακα. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο σήραγγας.

Ν

νευτώνεια ρευστά: τα ρευστά στα οποία η εσωτερική τριβή είναι γραμμική συνάρτηση της ταχύτητας ροής.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 145 21/7/2017 11:43:15 πμ

Ο

ολική εσωτερική ανάκλαση: η ανάκλαση μιας φωτεινής δέσμης που δε συνοδεύεται από διάθλαση. Γίνεται στην επιφάνεια που διαχωρίζει ένα διαφανές μέσον από ένα άλλο με μικρότερο δείκτη διάθλασης, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία.

ορμή (υλικού σημείου): το διάνυσμα που έχει την κατεύθυνση της ταχύτητας και μέτρο ίσο με το γινόμενο της μάζας του υλικού σημείου επί το μέτρο της ταχύτητάς του.

ουράνιο τόξο: το φωτεινό τόξο που εμφανίζεται στον ουρανό, ως αποτέλεσμα της ανάκλασης και του διασκεδασμού του ηλιακού φωτός στα σταγονίδια της βροχής.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 146 21/7/2017 11:43:15 πμ

Π

poise (πουάζ): μονάδα μέτρησης του ιξώδους ενός ρευστού, ισοδύναμη με $10^{-1}\,Nsm^{-2}$.

παροχή (σωλήνα ή ρευματικής φλέβας): το πηλίκο του όγκου dV του ρευστού που περνάει από μια διατομή του σωλήνα (ή της φλέβας) σε χρόνο dt προς το χρόνο αυτό.

περίοδος (φαινομένου): το πηλίκο του χρόνου μέσα στον οποίο ολοκληρώνονται N εναλλαγές του φαινομένου με τον αριθμό N- ο χρόνος ανάμεσα σε δυο διαδοχικές όμοιες φάσεις του φαινομένου.

πλάγια κρούση: η κρούση σωμάτων που οι ταχύτητές τους βρίσκονται σε τυχαία διεύθυνση.

πλαστική κρούση: η κρούση που οδηγεί στη συγκόλληση των σωμάτων.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 147 21/7/2017 11:43:15 πμ

ποζιτρόνιο: το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου - σωματίδιο με μάζα ίση με τη μάζα του ηλεκτρονίου και φορτίο +e.

πυρηνική σύντηξη: πυρηνική αντίδραση στη διάρκεια της οποίας πυρήνες μικρού ατομικού αριθμού συντήκονται και δίνουν βαρύτερους πυρήνες, με ταυτόχρονη έκλυση ενέργειας.

πυρηνική σχάση: πυρηνική αντίδραση στη διάρκεια της οποίας ένας πυρήνας μεγάλου ατομικού αριθμού χωρίζεται σε δυο πυρήνες μικρότερου ατομικού αριθμού με ταυτόχρονη έκλυση ενέργειας.

πυρηνικός αντιδραστήρας: η διάταξη στην οποία πραγματοποιούνται ελεγχόμενες πυρηνικές αντιδράσεις.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 148 21/7/2017 11:43:15 πμ

Ρ

ραδιοκύματα: ηλεκτρομαγνητικά κύματα που προκύπτουν από ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα και χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες.

ρευματική γραμμή: η γραμμή που συνδέει τις διαδοχικές θέσεις ενός μορίου του ρευστού.

ρευστά: σώματα που δεν έχουν δικό τους σχήμα- τα υγρά και τα αέρια.

ροπή αδράνειας (ως προς άξονα): το μέτρο της αδράνειας των σωμάτων στη στροφική κίνηση- ορίζεται ως το άθροισμα $\Sigma m_i \cdot r_i^2$, όπου m_i μια στοιχειώδης μάζα του σώματος και r_i η απόστασή της από τον άξονα.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 149 21/7/2017 11:43:15 πμ

ροπή δύναμης (ως προς άξονα): διάνυσμα που έχει τη διεύθυνση του άξονα και μέτρο το γινόμενο του μέτρου της συνιστώσας της δύναμης που βρίσκεται σε επίπεδο κάθετο στον άξονα επί την απόστασή της από τον άξονα.

ροπή δύναμης (ως προς σημείο): διάνυσμα κάθετο στο επίπεδο που ορίζει το σημείο και ο φορέας της δύναμης και μέτρο το γινόμενο του μέτρου της δύναμης επί την απόσταση του σημείου από τον φορέα της δύναμης.

Σ

σταθερά απόσβεσης: η σταθερά αναλογίας στη σχέση που συνδέει τη δύναμη η οποία προκαλεί την απόσβεση μιας ταλάντωσης με την ταχύτητα του ταλαντωτή.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 150 21/7/2017 11:43:15 πμ

στάσιμο κύμα: η κίνηση που κάνει ένα μέσο στο οποίο διαδίδονται ταυτόχρονα, με αντίθετη φορά, δυο κύματα της ίδιας συχνότητας και του ίδιου πλάτους.

στιγμιότυπο κύματος: η εικόνα που παρουσιάζει μια χρονική στιγμή το ελαστικού μέσο στο οποίο διαδίδεται ένα κύμα - η γραφική παράσταση της συνάρτησης $y = f(x,t)$ για ορισμένη τιμή του t.

στρόβιλοι: περιοχές στις οποίες το ρευστό κάνει περιστροφική κίνηση.

στροφική κίνηση: η κίνηση ενός στερεού γύρω από άξονα- η κίνηση στην οποία όλα τα σημεία του στερεού έχουν την ίδια γωνιακή ταχύτητα.

στροφορμή στερεού σώματος: το άθροισμα των στροφορμών των στοιχειωδών τμημάτων που απαρτίζουν το στερεό.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 151 21/7/2017 11:43:15 πμ

στροφορμή συστήματος σωμάτων: το άθροισμα των στροφορμών των σωμάτων που απαρτίζουν το σύστημα.

στροφορμή υλικού σημείου (που κάνει κυκλική κίνηση): διάνυσμα κάθετο στο επίπεδο της τροχιάς με μέτρο το γινόμενο του μέτρου της ορμής του υλικού σημείου επί την ακτίνα της τροχιάς του.

στρωτή ροή: η κίνηση ενός ρευστού, όταν δε σχηματίζονται στρόβιλοι.

συμβολή κυμάτων: η ταυτόχρονη διάδοση δυο ή περισσοτέρων κυμάτων στην ίδια περιοχή του χώρου.

συμβολόμετρο: όργανο που μας επιτρέπει να προσδιορίζουμε με μεγάλη ακρίβεια τη θέση των κροσσών συμβολής του φωτός.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 152 21/7/2017 11:43:15 πμ

σύνθεση ταλαντώσεων: η μελέτη της κίνησης ενός σώματος που μετέχει σε περισσότερες από μια ταλαντώσεις.

συντονισμός: το φαινόμενο κατά το οποίο ένα σώμα κάνει εξαναγκασμένη ταλάντωση με το μέγιστο πλάτος.

συστολή του μήκους: Η φαινομενική σμίκρυνση ενός σώματος που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα.

συχνότητα κατωφλίου: η ελάχιστη συχνότητα που πρέπει να έχει μια φωτεινή δέσμη για να προκαλέσει εκπομπή φωτοηλεκτρονίων από ένα μέταλλο.

συχνότητα (φαινομένου): ο αριθμός των επαναλήψεων του φαινομένου στη μονάδα του χρόνου.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 153 21/7/2017 11:43:16 πμ

Τ

ταλάντωση (μηχανική): Παλινδρομική κίνηση γύρω από μια θέση ισορροπίας.

πλάτος ταλάντωσης: η μεγαλύτερη τιμή της απομάκρυνσης του ταλαντωτή.

τάση αποκοπής: η τιμή της τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων ενός φωτοκύτταρου για την οποία διακόπτεται το ρεύμα.

τυρβώδης ροή: η ροή ενός ρευστού όταν σχηματίζονται στρόβιλοι.

Υ

υδροστατική πίεση: η πίεση των υγρών που οφείλεται στο βάρος τους.

υπεριώδης ακτινοβολία: αόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από 60 nm μέχρι 380 nm.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 154 21/7/2017 11:43:16 πμ

Φ

φαινόμενο Compton: ο σκεδασμός της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα σωματίδια της ύλης. Συνοδεύεται από αύξηση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας.

φαινόμενο Doppler: η εμφάνιση διαφοράς ανάμεσα στη συχνότητα του εκπεμπόμενου κύματος και της συχνότητας που αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής όταν μεταβάλλεται η απόστασή του από την πηγή του κύματος.

φαινόμενο σήραγγας: η διέλευση σωματιδίων μέσα από ένα φράγμα δυναμικού χωρίς να έχουν την απαραίτητη ενέργεια, όπως απαιτεί η κλασική θεωρία.

φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: η απόσπαση ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο όταν στην επιφάνειά του

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 155 21/7/2017 11:43:16 πμ

προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατάλληλης συχνότητας.

φλέβα: το σχήμα που ορίζεται από τις ρευματικές γραμμές που αντιστοιχούν στα σημεία του περιγράμματος μιας επιφάνειας που βρίσκεται στη ροή του ρευστού.

φώραση: η διαδικασία με την οποία διαχωρίζεται το μικροφωνικό ρεύμα από το φέρον κύμα.

φωτοκύτταρο: διάταξη με την οποία οι αυξομειώσεις στην ένταση μιας φωτεινής δέσμης, κατάλληλης συχνότητας, μετατρέπονται σε αυξομειώσεις ηλεκτρικού ρεύματος.

φωτόνιο: το κβάντο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σωμάτιο μηδενικής μάζας ηρεμίας.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 156 21/7/2017 11:43:16 πμ

Αλφαβητικό Ευρετήριο

Α

αδρανειακό σύστημα Ζ′34
ακτίνες Röntgen Β′102, Θ′37
ακτίνες γ Β′102
ακτίνες Χ Β′102, Θ′37
ακτινοβολία μέλανος σώματος Θ′7
ανάκλαση του φωτός Β′104
ανάλυση του φωτός Γ′18
αξιώματα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας Η′22
απεριοδική ταλάντωση Α′71
απομάκρυνση Α′24
αρμονική ταλάντωση Α′24
αρχή διατήρησης της στροφορμής Ε′92

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 157 21/7/2017 11:43:16 πμ

αρχή της αβεβαιότητας Θ΄57
αρχή του Pascal Δ΄12
αρχική φάση Α΄30

Γ

γενική θεωρία της σχετικότητας Η΄104
γωνία εκτροπής Γ΄20
γωνιακή επιτάχυνση Ε΄14
γωνιακή συχνότητα Α΄21

Δ

δείκτης διάθλασης (υλικού) Β΄112
δεσμός στάσιμου κύματος Β΄56
διάθλαση του φωτός Β΄110
διακρότημα Α΄114, Α΄116
διάμηκες κύμα Β΄14
διαμόρφωση κατά πλάτος Β΄83
διασκεδασμός (του φωτός) Γ΄18

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 158 21/7/2017 11:43:16 πμ

διαστολή του χρόνου Η΄30
διαφορικό ΣΤ΄103
δίδυμη γένεση Η΄79
διεγέρτης Α΄82
δύναμη επαναφοράς Α΄35

Ε

εγκάρσιο κύμα Β΄12
έκκεντρη κρούση Ζ΄14
ελαστική κρούση Ζ΄18, Ζ΄24
ελεύθερη ταλάντωση Α΄80
έλλειμμα μάζας Η΄78
ενέργεια σύνδεσης Η΄85
ενέργεια ηρεμίας Η΄77
εξαναγκασμένη ταλάντωση (ηλεκτρ.) Α΄94
εξαναγκασμένη ταλάντωση (μηχαν.) Α΄82

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 159 21/7/2017 11:43:16 πμ

εξίσωση Schrödinger Θ′69
εξίσωση Bernoulli Δ′39
εξίσωση κύματος Β′23
εξίσωση στάσιμου κύματος Β′53
εξίσωση συνέχειας Δ′27
εξωτερικό γινόμενο διανυσμάτων ΣΤ′84
επαλληλία κυμάτων Β′28
έργο εξαγωγής Θ′28
εσωτερική τριβή Δ′52

Η

ηλεκτρική ταλάντωση Α′51
ηλεκτρομαγνητικό κύμα Β′65
ηχοκαρδιογράφημα Doppler Ζ′139

Θ

θεμελιώδης νόμος στροφικής κίνησης Ε′63

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 160 21/7/2017 11:43:16 πμ

θεώρημα Steiner Ε΄56
θεώρημα Torricelli Δ΄44

Ι

ιδανικά υγρά Δ΄19
ιδιομήκος Η΄44
ιδιοσυχνότητα Α΄80
ιδιόχρονος Η΄30
ιξώδες Δ΄52

Κ

καμπύλωση του χωροχρόνου Η΄115
κβαντικός αριθμός Θ΄17
κέντρο μάζας (συστήματος) Ζ΄55
κέντρο μάζας (σώματος) Ε΄20
κιβώτιο ταχυτήτων ΣΤ΄93
κίνηση του κέντρου μάζας Ζ΄58

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 161 21/7/2017 11:43:16 πμ

κινητική ενέργεια:
- στην αρμονική ταλάντωση Α΄45
- στη στροφική κίνηση Ε΄101
κοιλία στάσιμου κύματος Β΄56
κρίσιμη γωνία Γ΄8
κρούση κεντρική Ζ΄13
κύλιση τροχού Ε΄17
κύμα ελαστικότητας Β΄8
κυματοπακέτο Θ΄60
κυματοσυνάρτηση Θ΄69

Μ

μάζα ηρεμίας Η΄77
μέλαν σώμα Θ΄12
μετασχηματισμοί Lorentz Η΄48, Η΄60
μετασχηματισμοί έντασης ηλεκτρικού - μαγνητικού πεδίου Η΄91
μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου Ζ΄49

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 162 21/7/2017 11:43:16 πμ

μεταφορική κίνηση Ε΄8
μήκος ηρεμίας Η΄44
μήκος κύματος Β΄18
μήκος κύματος De Broglie Θ΄52
μηχανικά κύματα Β΄8
μικροκύματα Β΄95
μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας Θ΄131
μιόνιο Η΄35

Ν

νευτώνεια ρευστά Δ΄57
νόμος μετατόπισης του Wien Θ΄14
νόμος του Snell Β΄113

Ο

ολική εσωτερική ανάκλαση Γ΄7
ουράνιο τόξο Γ΄23

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 163 21/7/2017 11:43:16 πμ

Π

poise (πουάζ) Δ΄56
παράδοξο των διδύμων Η΄164
παροχή Δ΄23, Δ΄24
πείραμα Michelson- Morley Η΄11
περίοδος Α΄19
περίοδος ηλεκτρικής ταλάντωσης Α΄58
πηγάδι δυναμικού
- με άπειρο βάθος Θ΄80
- με ορισμένο βάθος Θ΄86
πλάγια κρούση Ζ΄14, Ζ΄25
πλαστική κρούση Ζ΄19, Ζ΄31
πλάτος ταλάντωσης Α΄25
ποζιτρόνιο Η΄81
προώθηση πυραύλου Ζ΄67

Ρ

ραδιοκύματα Β΄94
ρευματική γραμμή Δ΄20

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 164 21/7/2017 11:43:16 πμ

ρευστά Δ΄19
ροπή αδράνειας (ως προς άξονα) Ε΄51
ροπή δύναμης (ως προς άξονα) Ε΄28
ροπή δύναμης (ως προς σημείο) Ε΄33

Σ

σταθερά απόσβεσης Α΄68
σταθερά επαναφοράς Α΄35
στάσιμο κύμα Β΄48
στιγμιότυπο κύματος Β΄31
στροφική κίνηση Ε΄12
στροφορμή στερεού σώματος Ε΄81
στροφορμή συστήματος Ε΄86
στροφορμή υλικού σημείου Ε΄78
στρωτή ροή Δ΄20
συμβολή κυμάτων Β΄34

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 165 21/7/2017 11:43:16 πμ

συμβολόμετρο Η′14
σύνθεση ταλαντώσεων Α′104
σύνθετη κίνηση στερεού Ε′14
συνθήκη ισορροπίας στερεού Ε′44
συνθήκη κανονικοποιήσεως Θ′72
συντονισμός Α′85
συντονισμού εφαρμογές Α′97
σύστημα αναφοράς κέντρου μάζας Ζ′55
συστολή του μήκους Η′44
συχνότητα Α′20
συχνότητα κατωφλίου Θ′34
σχετικιστική ορμή Η′70
σχετικιστική ενέργεια Η′77
σωλήνας Δ′22

Τ

ταλάντωση (μηχανική) Α′23
τάση αποκοπής Θ′27

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 166 21/7/2017 11:43:16 πμ

Υ

υδροστατική πίεση Δ΄10
υπέρθεση κυμάτων Β΄28
υπεριώδης ακτινοβολία Β΄100

Φ

φαινόμενο Compton Θ΄37
φαινόμενο Doppler Ζ΄72
φαινόμενο σήραγγας Θ΄93
φάση ταλάντωσης Α΄30
φέρουσα συχνότητα Β΄82
φθίνουσα ηλεκτρική ταλάντωση Α΄78
φθίνουσα ταλάντωση Α΄64
φλέβα ρευματική Δ΄22
φώραση Β΄90
φωτοηλεκτρικό φαινόμενο Θ΄22
φωτοκύτταρο Θ΄23
φωτόνιο Θ΄29

Χ

χωροχρόνος Η΄24

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 167 21/7/2017 11:43:16 πμ

Βιβλιογραφία

1. Πανεπιστημιακή Φυσική Hugh D. Young Εκδόσεις Παπαζήση.
2. Physics for scientists & engineers Serway.
3. Φυσική Halliday Resnick Εκδόσεις Πνευματικός.
4. Halliday - Resnick - Walker Fundamentals of Physics Extended (fifth edition).
5. F.J.Keller - W.E.Gettys - M.J.Skove Physics (second edition).
6. Κεφάλαια σύγχρονης Φυσικής Halliday Resnick Εκδόσεις Πνευματικός.
7. Οι έννοιες της Φυσικής Paul G. Hewitt Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 168 21/7/2017 11:43:16 πμ

8. Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυναμική David J. Griffiths Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

9. Μαθήματα Φυσικής (Ηλεκτρισμός - Μαγνητισμός) πανεπιστήμιο Berkley Edward Purcell μετάφραση και έκδοση ομάδα καθηγητών ΕΜΠ.

10. Κλασσική και σύγχρονη Φυσική Kenneth W. Ford Εκδόσεις Πνευματικός.

11. Κβαντομηχανική Ι. Στέφανος Τραχανάς Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

12. Η Φυσική σήμερα Ε.Ν. Οικονόμου Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 169 21/7/2017 11:43:16 πμ

13. Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική Einstein - Infeld Εκδόσεις Δωδώνη.

14. Η ελαφρότητα της Βαρύτητας Jayant Narlikar Εκδόσεις Τροχαλία.

15. Ιστορία της Φυσικής Emilio Segre Εκδόσεις Δίαυλος.

16. Φυσική Β΄ Ενιαίου Λυκείου (ειδίκευση) Υπουργείο Παιδείας Κύπρος.

17. Κ.Δ. Αλεξόπουλος - Δ.Ι. Μαρίνος Γενική Φυσική. Εκδόσεις ΟΛΥΜΠΙΑ.

18. Κβαντικό σύμπαν Tony Hey & Patrick Walters, εκδόσεις Κάτοπτρο.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 170 21/7/2017 11:43:16 πμ

19. 3000 solved problems in physics Alvin Halpern, Ph.D Schaum's Mc Graw Hill.

20. Echocardiography Harvey Feigenbaum fourth edition Lea & Febigep.

21. String and sticky tape experiments by R.D.Edge.

22. Turning the World Inside Out by Robert Ehrliich.

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 171 21/7/2017 11:43:16 πμ

Περιεχόμενα

2 Κύματα

Εισαγωγή 6

Μηχανικά κύματα 7

Επαλληλία ή υπέρθεση κυμάτων 28

Συμβολή δυο κυμάτων διαφορετικών διευθύνσεων 34

Στάσιμα κύματα 48

Παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων 65

Μετάδοση και λήψη σημάτων με ηλεκτρομαγνητικά κύματα 80

Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας 93

Ανάκλαση και διάθλαση 104

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 172 21/7/2017 11:43:16 πμ

Παραρτήματα

Πίνακες σταθερών 127

Λεξιλόγιο Όρων 131

Αλφαβητικό ευρετήριο 157

Βιβλιογραφία 168

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 173 21/7/2017 11:43:16 πμ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 174 21/7/2017 11:43:16 πμ

l_c_physics_bm_43-67_28b.indd 175 21/7/2017 11:43:16 πμ

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.