ΘΕΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΤΟΝ ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ

Α.Σ.Ε.Π

ΕΡΩΤΗΜΑ 1ο

Με βάση τα χαρακτηριστικά των βαρυτικών δυνάμεων, ποια μεγέθη συμπεραίνετε ότι διατηρούνται κατά τη κίνηση των πλανητών υπό την επίδραση του Ήλιου; Γιατί οι πλανητικές τροχιές είναι επίπεδες;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ 1η

1. Λόγω του γεγονότος ότι οι βαρυτικές δυνάμεις είναι κεντρικές, η ροπή της παγκόσμιας έλξης που ασκείται στον κάθε πλανήτη ως προς το κέντρο μάζας Ήλιου-Πλανήτη, το οποίο λόγω της μεγάλης μάζας του Ήλιου σε σχέση με τον κάθε πλανήτη ταυτίζεται με τη θέση του Ήλιου, είναι μηδέν. Έτσι η στροφορμή του κάθε πλανήτη παραμένει σταθερή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα δύο πράγματα. Λόγω της σταθερότητας της διεύθυνσης της στροφορμής, η τροχιά του κάθε πλανήτη είναι επίπεδη. Και λόγω της σταθερότητας του μέτρου της στροφορμής, το εσωτερικό γινόμενο της ταχύτητας επί την επιβατική ακτίνα είναι σταθερό. Αυτό μεταφράζεται στο γεγονός ότι ο κάθε πλανήτης σε ίσους χρόνους διανύει ίσα εμβαδά.

$\vec{M} = m\vec{r} \times \vec{V}$ = σταθερό

πράγματι αν πάρουμε τη χρονική παράγωγο της ανωτέρω σχέσης, έχουμε:

$$\frac{d}{dt}(m\vec{r} \times \vec{V}) = m\frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{V} + m\vec{r} \times \frac{d}{dt}\vec{V} = m\vec{V} \times \vec{V} + \vec{r} \times \vec{F} = 0$$

2. Λόγω του γεγονότος ότι η βαρυτική δύναμη είναι συντηρητική, συμπεραίνουμε ότι για τον κάθε πλανήτη ισχύει η Α.Δ.Μ.Ε αφού θεωρούμε τον Ήλιο ακίνητο, λόγω της μεγάλης μάζας του σε σχέση με τον κάθε πλανήτη. Η βαρυτική δύναμη είναι συντηρητική, γιατί εξαρτάται μόνο από την απόσταση των δύο σωμάτων και όχι για παράδειγμα από την ταχύτητα των σωμάτων ή το χρόνο.

Από την εξίσωση κίνησης έχουμε:

$$F = m\frac{d}{dt}\vec{V} = GMm\frac{\vec{r}}{r^3} \to \frac{d}{dt}\vec{V} = -GM\frac{\vec{r}}{r^3} \to \frac{d}{dt}V = -GM\frac{1}{r^2}$$

ολοκληρώνοντας αυτή τη σχέση έχουμε:

$$\int \frac{d}{dt}Vdr = GM\int \frac{1}{r^2}dr \to \int VdV = GM\int \frac{1}{r^2}dr \to \left.\frac{V^2}{2}\right|_{V_2}^{V_1} = \left.GM\frac{1}{r}\right|_{r_2}^{r_1} \to$$

$$\frac{1}{2}mV_1^2 - \frac{GMm}{r_1} = \frac{1}{2}mV_2^2 - \frac{GMm}{r_2}$$

$E=1/2MV^2-GMm/r=$σταθ

3. Λόγω του γεγονότος ότι η βαρυτική έλξη είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης, έχουμε ακόμη μια βαθύτερη συμμετρία, που εκφράζεται από το γεγονός της διατήρησης ενός ακόμη φυσικού μεγέθους το οποίο είναι ίσο με:

$\vec{V} \times \vec{M} + a\frac{\vec{r}}{r}$ όπου a = GMm

Το παραπάνω διανυσματικό μέγεθος κατευθύνεται από την εστία προς το περιήλιο και παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια της κίνησης. Αν πάρουμε τη παράγωγο ως προς το χρόνο του παραπάνω μεγέθους, μπορούμε να αποδείξουμε ότι ισούται με μηδέν. Για την απόδειξη αυτή πρέπει να λάβουμε υπ' όψη τις σχέσεις:

1) $\vec{M} = m\vec{r}\times\vec{V}$

2) $\dfrac{d\vec{M}}{dt}=0$

3) $\vec{A}\times(\vec{B}\times\vec{C}) = (\vec{A}\cdot\vec{C})\,\vec{B} - (\vec{A}\cdot\vec{B})\,\vec{C}$

4) $\dfrac{dr}{dt}=\dfrac{\vec{V}\cdot\vec{r}}{r}$

5) $m\dot{\vec{V}} = a\dfrac{\vec{r}}{r^3}$

ΕΡΩΤΗΜΑ 2ο

Από το νόμο του Gauss για το ηλεκτρικό πεδίο, να εξάγετε το νόμο του Coulomb. Εξηγήστε γιατί ο νόμος του Gauss έχει μια αντίστοιχη διατύπωση για το βαρυτικό πεδίο. Αν η Γη θεωρηθεί ως ομογενής σφαίρα, υποδείξτε έναν τρόπο υπολογισμού της έντασης του βαρυτικού πεδίου στο εσωτερικό της Γης.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ 2η

Ο νόμος του Gauss εκφράζεται ως εξής:

$$\Phi_{o\lambda} = \frac{q_{o\lambda}}{\varepsilon_0}$$

Εάν θεωρήσουμε ένα σημειακό φορτίο q_1 μπορούμε εφαρμόζοντας τον ανωτέρω νόμο να βρούμε την ένταση του πεδίου που δημιουργεί αυτό το φορτίο σε απόσταση r από αυτό. Έτσι θεωρώντας μια σφαιρική επιφάνεια ακτίνας r με κέντρο το φορτίο q_1 και εφαρμόζοντας τον ανωτέρω νόμο θα έχουμε:

$$\Phi_{o\lambda} = \frac{q_1}{\varepsilon_o} \rightarrow E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q_1}{\varepsilon_o} \rightarrow E = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_o r^2}$$

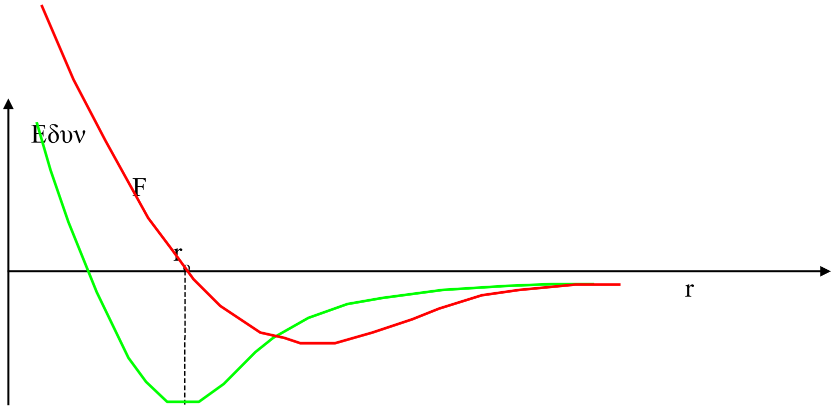
Άρα η δύναμη που θα δεχθεί ένα φορτίο q_2 που θα τοποθετήσουμε σε απόσταση r από το φορτίο q_1 θα δίνεται από τη σχέση $F=E\,q_2$ και αντικαθιστώντας την ένταση από την παραπάνω σχέση καταλήγουμε στον νόμο του Coulomb.

Ο νόμος του Gauss έχει αντίστοιχη διατύπωση και για το βαρυτικό πεδίο, γιατί και οι δύο δυνάμεις είναι αντιστρόφως ανάλογες του τετραγώνου της απόστασης. Για να βρούμε την ένταση στο εσωτερικό της Γης αρκεί να εφαρμόσουμε το νόμου του Gauss για μια σφαιρική επιφάνεια με κέντρο το κέντρο της Γης και ακτίνα r μικρότερη από την ακτίνα της γης.

ΕΡΩΤΗΜΑ 3ο

Σχεδιάστε ποιοτικά την καμπύλη της δύναμης μεταξύ δύο μορίων (ή ιόντων) ως συνάρτηση της μεταξύ τους απόστασης, καθώς και την αντίστοιχη καμπύλη της δυναμικής ενέργειας τους. Με βάση τις δυνάμεις αυτές, να εξηγηθούν οι ιδιότητες ελαστικότητας και η θερμική διαστολή των στερεών.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ 3η



Ο νόμος του Hooke προκύπτει από τη πρώτη γραφική παράσταση, η οποία γύρω από το σημείο στο οποίο μηδενίζεται η δύναμη μπορεί να θεωρηθεί ευθεία. Έτσι η δύναμη για δύο μόρια είναι ανάλογη του Δr. Αυτή ακριβώς τη σχέση αν την επεκτείνουμε σε πολλά μόρια, καταλήγουμε αμέσως στον ανωτέρω νόμο.
Για τη θερμική διαστολή πρέπει να εξετάσουμε πως μεταβάλλεται το r_o στην καμπύλη της ενέργειας. Όταν μεταβάλουμε τη θερμοκρασία επειδή η καμπύλη της δυναμικής ενέργειας αυξάνει λιγότερο απότομα για $r>r_0$ παρά για $r<r_0$ η μέση θέση μετατοπίζεται προς μεγαλύτερες τιμές του r καθώς αυξάνει το πλάτος της ταλάντωσης. Αυτή είναι και η φυσική αιτία της θερμικής διαστολής. Με ποιο απλά λόγια, η θερμική διαστολή προέρχεται από το γεγονός ότι οι ενδοατομικές δυνάμεις και οι αντίστοιχες δυναμικές ενέργειες σ' ένα στερεό συμπεριφέρονται σαν να προέρχονται από ελατήρια που είναι ευκολότερο να επιμηκυνθούν παρά να συμπιεστούν. Έτσι όταν αυξάνει το πλάτος ταλάντωσης, η μέση απόσταση μεταξύ των ατόμων αυξάνει.

ΕΡΩΤΗΜΑ 4ο

Περιγράψτε συνοπτικά, χωρίς μαθηματικές αποδείξεις, πως προκύπτει η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων από τις μικροσκοπικές κινήσεις των μορίων. Να σχολιαστεί ακόμη η μικροσκοπική προέλευση της εντροπίας ενός θερμοδυναμικού συστήματος.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ 4η

υπολογίζουμε την πίεση που ασκεί ένα μόριο όταν κτυπάει ελαστικά σε μία έδρα ενός κύβου που περιέχει αέριο και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους, βρίσκουμε την πίεση που ασκούν όλα τα μόρια του αερίου σ' αυτήν την έδρα. Έτσι καταλήγουμε στη σχέση :

$$P\cdot V=\frac{1}{3}Nm\overline{v^2}$$

Εάν ορίσουμε την απόλυτη θερμοκρασία T στατιστικά από τη σχέση

$$T=\frac{1}{3k}m\overline{v^2}$$

θα έχουμε τελικά

$$PV = \frac{N}{N_A}RT \rightarrow PV = nRT$$

Η εντροπία ενός συστήματος μικροσκοπικά σχετίζεται με τη πιθανότητα να βρεθεί το σύστημα σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Όσο πιο πιθανή είναι μια συγκεκριμένη κατάσταση ενός συστήματος, τόσο από μεγαλύτερη εντροπία χαρακτηρίζεται το σύστημα.

ΕΡΩΤΗΜΑ 5ο

Να δοθεί το φυσικό περιεχόμενο των εξισώσεων Maxwell και να σχολιαστούν ιδιαιτέρως (α) η αναγκαιότητα της συμπλήρωσης - και με ποιόν όρο - του νόμου του Ampere από τον Maxwell (β) η πρόβλεψη της θεωρίας για την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ 5η.

1. Η πρώτη εξίσωση είναι ο νόμος του Gauss στον ηλεκτρισμό ο οποίος είναι ισοδύναμος με τον νόμο του Coulomb. Η φυσική σημασία του νόμου είναι ότι στη φύση υπάρχουν δύο ειδών φορτία τα θετικά και τα αρνητικά. Τα ομώνυμα φορτία απωθούνται ενώ τα ετερώνυμα έλκονται. Η δύναμη με την οποία έλκονται ή απωθούνται δύο σημειακά φορτία είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης των φορτίων.

$$\vec{\nabla}\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

2. 1Η δεύτερη εξίσωση είναι ο νόμος του Gauss στο μαγνητισμό. Αυτή δηλώνει το γεγονός ότι δεν υπάρχουν μαγνητικά φορτία ή μαγνητικές ποσότητες ή μαγνητικά μονόπολα όπως αλλιώς λέγονται. Αν υπήρχαν μαγνητικά φορτία όπως υπάρχουν τα ηλεκτρικά, τότε η δεύτερη εξίσωση θα ήταν συμμετρική της πρώτης. Γιατί δεν υπάρχει στη φύση αυτή η συμμετρία, είναι ένα ερώτημα το οποίο ακόμη δεν έχει απαντηθεί. Μη ξεχνάμε ότι οι εξισώσεις γενικά στη φύση είναι συμμετρικές.

$$\vec{\nabla}\vec{B} = 0$$

1. Η τρίτη εξίσωση του Maxwell δεν είναι τίποτε άλλο παρά ο νόμος του Faraday ο οποίος αναφέρει ότι το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο.

$$\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{\mathrm{B}}}{\partial \mathrm{t}}$$

1. Η τέταρτη εξίσωση του Maxwell εκφράζει το νόμο του Biot-Savart ο οποίος αναφέρει ότι οποιοσδήποτε ρευματοφόρος αγωγός δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Η ολοκληρωτική μορφή αυτού του νόμου είναι γνωστή και ως νόμος του Ampere. Σε αυτό ακριβώς το νόμο έβαλε ουσιαστικά το χεράκι του ο Maxwell συμπληρώνοντας το νόμο με το ρεύμα μετατόπισης, ισχυριζόμενος για λόγους συμμετρίας και για άλλους λόγους, ότι όπως το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο, έτσι και το μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο, δημιουργεί μαγνητικό, οπότε το μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα είδος ρεύματος που καλείται ρεύμα μετατόπισης.

$$\vec{\nabla}\times\vec{B} - \mu_0\varepsilon_0\frac{\partial\vec{\mathrm{E}}}{\partial \mathrm{t}} = \mu_0\vec{J}$$

Η ταχύτητα του φωτός στο κενό από τις εξισώσεις του Maxwell προκύπτει ίση με:

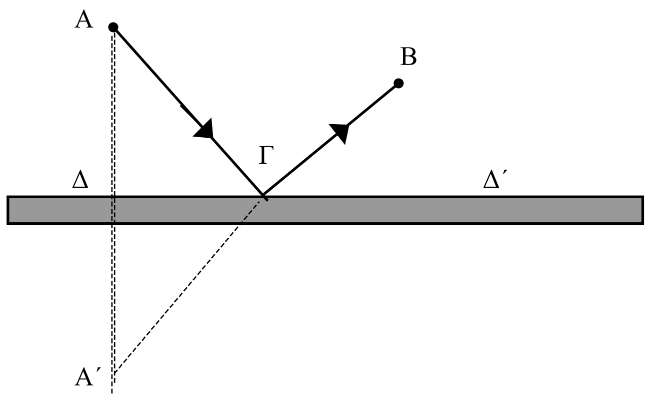
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$$

Αφού με κάποια μαθηματική επεξεργασία, προκύπτει ότι η εξίσωση διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό δείχνει ότι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται πάντα σε οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς με την ίδια ταχύτητα την c. Άρα οι εξισώσεις του Maxwell είναι συμβατές με την 2η αρχή της θεωρίας σχετικότητας του Einstein. Ή αλλιώς όπως λέμε, οι εξισώσεις Maxwell παραμένουν αναλλοίωτες αν υποστούν τους μετασχηματισμούς Lorenz

ΕΡΩΤΗΜΑ 6ο

Ποια αρχή διέπει τη γεωμετρική και ποια την κυματική οπτική και από ποια γενικότερη θεωρία προκύπτουν;. Να εφαρμόσετε μία από τις αρχές αυτές για να εξάγετε το νόμο της ανάκλασης του φωτός. Σε ποιο όριο η κυματική οπτική μεταβαίνει στη γεωμετρική οπτική;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ 6η:
Η αρχή που διέπει τη γεωμετρική οπτική είναι η αρχή του Fermat η αρχή δηλαδή του ελαχίστου δρόμου. Η αρχή αυτή λέει ότι το φως για να μεταβεί από το ένα σημείο του χώρου στο άλλο, ακολουθεί πάντα το συντομότερο χρονικά δρόμο. Με βάση αυτήν την αρχή, μπορούν να εξηγηθούν τα φαινόμενα της ανάκλασης, της διάθλασης κτλ, δεν μπορούν όμως να εξηγηθούν τα φαινόμενα της συμβολής, της περίθλασης κτλ που είναι καθαρά κυματικά φαινόμενα.
ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΟΥ Fermat



θέλουμε να βρούμε ένα σημείο Γ πάνω στο επίπεδο ανάκλασης, ώστε η απόσταση ΑΓΒ να γίνει ελάχιστη. (η ταχύτητα του φωτός είναι σταθερή, οπότε ο ελάχιστος χρόνος πετυχαίνεται όταν η απόσταση γίνει ελάχιστη.) Φέρνουμε το συμμετρικό του Α ως προς το επίπεδο ανάκλασης, έστω το Α΄. Από την ισότητα των τριγώνων (ΑΓΔ)=(Α΄ΓΔ) $\rightarrow$ ΑΓ=Α΄Γ
Έτσι ΑΓ+ΓΒ=Α΄Γ+ΓΒ . Η Απόσταση Α΄Γ+ΓΒ γίνεται ελάχιστη όταν τα σημεία Α΄, Γ, Β Αφού η ευθεία είναι η συντομότερη κάθε άλλης γραμμής. Οπότε η γωνία

$$\widehat{ΑΓΔ} = \widehat{Α'ΓΔ} = \widehat{ΒΓΔ'}$$

που τελικά είναι και ο νόμος της ανάκλασης.

ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ΤΟΥ Fermat.

Έστω ότι το φως μεταβαίνει από το σημείο Α στο σημείο Β. Στο μέσο (1) η ταχύτητα του φωτός είναι V_1 και στο μέσο (2) η ταχύτητα είναι V_2. Θέλουμε να προσδιορίσουμε ένα σημείο Γ πάνω στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων, ώστε το φως να φθάσει όσο το δύνατό γρηγορότερα από το ένα σημείο στο άλλο. Δηλαδή ζητάμε τον προσδιορισμό του Γ ώστε :

$$t_{\cdot} = \frac{ΑΓ}{V_1} + \frac{ΓΒ}{V_2} = min$$

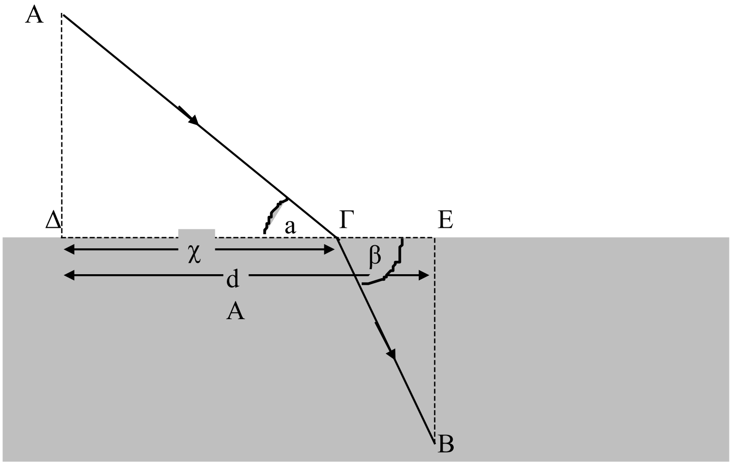
Η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$t_{\cdot} = f(x) = \frac{\sqrt{(ΑΔ)^2 + x^2}}{V_1} + \frac{\sqrt{(ΒΕ)^2 + (d-x)^2}}{V_2}$$

Για να έχει ελάχιστο αυτή η σχέση θα πρέπει η παράγωγός της ως προς χ να είναι μηδέν: Άρα θα έχουμε:

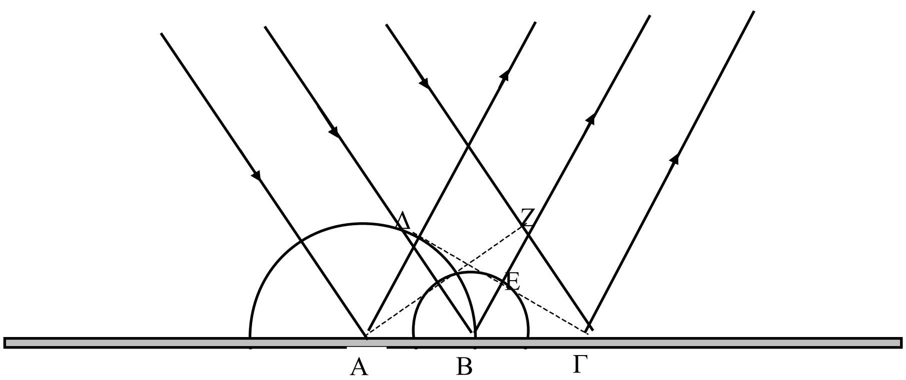
$$\frac{x}{V_1}\frac{1}{\sqrt{(A\Delta)^2+x^2}}-\frac{d-x}{V_2}\frac{1}{\sqrt{(BE)^2+(d-x)^2}}=0\rightarrow\frac{\dfrac{x}{\sqrt{(A\Delta)^2+x^2}}}{\dfrac{d-x}{\sqrt{(BE)^2+(d-x)^2}}}=\frac{V_1}{V_2}\rightarrow\frac{V_1}{V_2}=\frac{\sigma\upsilon\nu a}{\sigma\upsilon\nu\beta}$$

Αυτός βασικά είναι και ο νόμος του Snell.



ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΟΥ ΧΟΙΝΚΕΝΣ.

έστω ένα κύμα κτυπάει πλάγια μια επιφάνεια. Το κύμα θα φθάσει πρώτα στο σημείο Α, το οποίο θα γίνει δευτερογενής πηγή κύματος και θα εκπέμψει ένα σφαιρικό κύμα, μετά στο σημείο Β και τέλος στο σημείο Γ. Τη στιγμή που το κύμα θα έχει φθάσει στο σημείο Γ, το κύμα που έχει πηγή το σημείο Α έχει φθάσει στο σημείο Δ, ενώ αυτό που έχει πηγή το Β, έχει φθάσει στο σημείο Ε. Η νέα ισοφασική επιφάνεια του κύματος είναι η ΔΕΓ, αφού λόγω συμβολής, στα υπόλοιπα σημεία του χώρου που φθάνουν κύματα από τα σημεία από το Α έως το Γ έχουμε απόσβεση και τελικά μένει η κοινή περιβάλλουσα των δευτερογενών πηγών από το Α στο Γ. Με αυτό το τρόπο βλέπουμε μια αλλαγή στην διεύθυνση της ισοφασικής επιφάνειας. Η ισοφασική επιφάνεια πριν την ανάκλαση ήταν η ΑΖ και μετά την ανάκλαση έγινε η ΔΓ. Συγκρίνουμε τα τρίγωνα ΑΔΓ και ΑΖΓ. Τα τρίγωνα αυτά είναι ορθογώνια, αφού η ισοφασική επιφάνεια είναι πάντα κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. έχουν κοινή υποτείνουσα την ΑΓ και ακόμη ΑΔ=ΖΓ=ct. Άρα τα τρίγωνα είναι ίσα. Επομένως ΖΑΓ=ΔΓΑ που αποτελεί και το νόμο της ανάκλασης. $Z\hat{A}\Gamma=\Delta\hat{\Gamma}A$



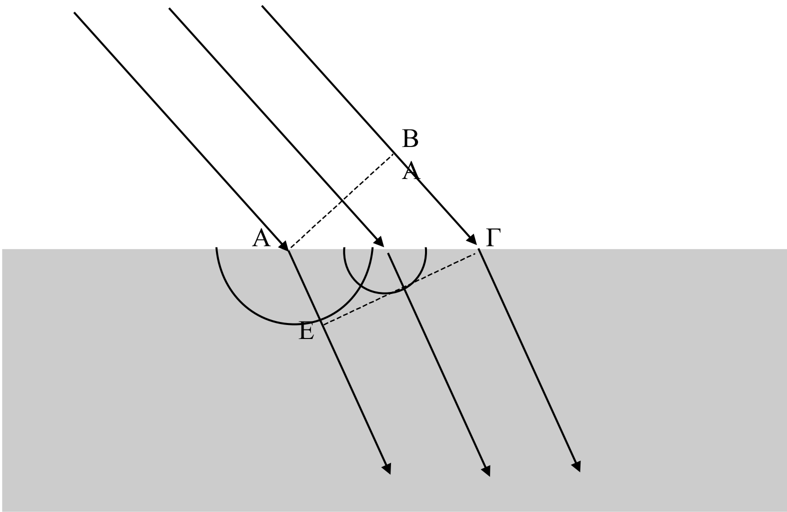
Έστω ότι τη χρονική στιγμή t=0 το κύμα φθάνει στο σημείο Α. Μετά από χρόνο που θα χρειαστεί για να διανύσει την απόσταση ΒΓ θα φθάσει και στο σημείο Γ. Δηλαδή στο σημείο Γ θα φθάσει τη χρονική στιγμή

$$t=\frac{ΒΓ}{c_1}$$

όπου c_1 η ταχύτητα που διαδίδεται το κύμα στο μέσο (1). Για όλο αυτό το χρόνο το σημείο Α έχει γίνει δευτερογενής πηγή ακτινοβολίας και έχει εκπέμψει κύμα το οποίο στο μέσο (2) έχει φθάσει σε όλα τα σημεία της επιφάνειας μιας σφαίρας με ακτίνα $ΑΕ=c_2\, t$. Έτσι παρατηρούμε ότι η διεύθυνση του κύματος άλλαξε μπαίνοντας στο μέσο (2) αφού στο μέσο (1) η ισοφασική επιφάνεια του κύματος ήταν η ΑΒ, ενώ στο μέσο (2) έγινε η ΕΓ. Έχουμε:

$$\frac{\eta\mu(Γ\hat{Α}Β)}{\eta\mu(Ε\hat{Γ}Α)}=\frac{ΒΓ}{ΑΕ}=\frac{c_1\cdot t}{c_2\cdot t}=\frac{c_1}{c_2}$$

που αποτελεί και το νόμο της διάθλασης.



ΕΡΩΤΗΜΑ 7ο

Με βάση την αρχή της απροσδιοριστίας, να ευρεθεί η ελάχιστη ενέργεια ενός γραμμικού ταλαντωτή κυκλικής συχνότητας ω και να σχολιαστεί το συμπέρασμα σε σχέση με την αντίστοιχη πρόβλεψη της κλασικής μηχανικής.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ 7η

Η αρχή απροσδιοριστίας εκφράζεται ως εξής: $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar$

Αν θεωρήσουμε ότι η μέγιστη απροσδιοριστία στη θέση και στην ορμή είναι η ίδια η τιμή της θέσης και της ορμής του σωματιδίου και λαμβάνοντας υπ' όψη τον τύπο της ορμής όπου p=mu, θα έχουμε

$$u \geq \frac{\hbar}{mx} \qquad (1)$$

Η ενέργεια ενός αρμονικού ταλαντωτή είναι το άθροισμα της δυναμικής και της κινητικής του ενέργειας.

$$E o\lambda = \frac{1}{2}mu^2 + \frac{1}{2}Dx^2 \qquad (2)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (1) και (2) έχουμε για την ενέργεια:

$\hbar \grave{u}$

Η ανωτέρω ανίσωση για να έχει πραγματικές λύσεις θα πρέπει $\ddot{A} \geq 0$

Άρα $E^2 - D\dfrac{\hbar^2}{m} \geq 0 \rightarrow E \geq \hbar\sqrt{\dfrac{D}{m}} \rightarrow E \geq \hbar\omega$

Έτσι παρατηρούμε ότι ενώ στη κλασσική μηχανική η ελάχιστη ενέργεια που μπορεί να έχει ένας αρμονικός ταλαντωτής είναι μηδέν, στη κβαντική μηχανική η ελάχιστη ενέργεια που μπορεί να έχει είναι $\hbar \grave{u}$ που αντιστοιχεί στην ενέργεια ενός φωνονίου.

ΕΡΩΤΗΜΑ 8ο

Ποια είναι η κατάταξη των στοιχειωδών σωματιδίων και των αλληλεπιδράσεων τους, σύμφωνα με το καθιερωμένο πρότυπο και ποια είναι η σχέση των σωματιδίων αυτών με τη συμβατική ύλη (πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια).

ΑΠΑΝΤΗΣΗ 8η

Σύμφωνα με το καθιερωμένο πρότυπο, τα στοιχειώδη σωματίδια κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες.
Α) τα λεπτόνια που είναι
το ηλεκτρόνιο e
το νετρίνο του ηλεκτρονίου ν_e

το μεσόνιο μ
το νετρίνο του μεσονίου ν_μ

το σωμάτιο ταυ τ
το νετρίνο του σωματιδίου ν_τ

Β)
τα 6 quarks
1. το πάνω u
2. το κάτω d
3. το παράδοξο s
4. το μαγικό c
5. το πυθμενικό ή όμορφο b
6. το κορυφαίο t

Ακόμη υπάρχουν και οι φορείς των αλληλεπιδράσεων που:

για τις βαρυτικές δυνάμεις είναι το βαρυτόνιο
για τις ηλεκτρομαγνητικές είναι το φωτόνιο
για τις ασθενών αλληλεπιδράσεων είναι το +W , -W , Z και στη περίπτωση που δεν έχει σπάσει η συμμετρία ανάμεσα στις ασθενείς δυνάμεις και στις ηλεκτρομαγνητικές, είναι τα σωμάτια Higgs
για τις ισχυρές δυνάμεις τέλος είναι τα glouon συγκολλητόνια.

Τα βαρυτόνια αποτελούνται από τρία quarks. Το πρωτόνιο αποτελείται από 2 πάνω και ένα κάτω (2/3+2/3-1/3=1) ενώ το νετρόνιο από δύο κάτω και ένα πάνω quark (2/3-1/3-1/3 = 0)