

## Σχόλια για το Θέμα Γ των σημερινών Πανελλαδικών Εξετάσεων Φυσικής Ημερήσιου Γενικού Λυκείου

**1)** Στα τρέχοντα ημιτονοειδή ή αρμονικά κύματα  $y = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$  που διδάσκουμε στο Λύκειο η κινητική ενέργεια  $\delta K$ , η δυναμική ενέργεια  $\delta U$  και η (ολική) ενέργεια των στοιχειωδών μαζών  $\delta m$  που ταλαντώνονται δίνονται από τη σχέση

$$\delta E = 2\delta K = 2\delta U = \delta m \cdot A^2 \omega^2 \sigma \nu^2 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

Αυτό σημαίνει ότι η κινητική ενέργεια είναι πάντα ίση με τη δυναμική και η καθεμιά τους προφανώς ίση με το μισό της ολικής ενέργειας.

Όλες οι ενέργειες αυτές μεγιστοποιούνται συγχρόνως στις θέσεις ισορροπίας των στοιχειωδών μαζών και μηδενίζονται ταυτοχρόνως στις ακραίες θέσεις.

**2)** Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι η ενέργεια της κάθε στοιχειώδους μάζας σε ένα αρμονικό κύμα δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται και με το χρόνο και με τη θέση που βρίσκεται η μάζα αυτή.

Επομένως η φράση

«... Στοιχειώδης μάζα  $\Delta m = 10^{-6} \text{ Kg}$  του ελαστικού μέσου έχει ενέργεια ταλάντωσης  $E_T = 5\pi^2 \cdot 10^{-7} \text{ J}$  ...»

στην εκφώνηση του Θέματος Γ είναι λανθασμένη γιατί θεωρεί ότι η ενέργεια είναι σταθερή.

Η σωστή σχέση  $\delta E = 2\delta K = 2\delta U = \delta m \cdot A^2 \omega^2 \sigma \nu^2 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$  έχει αγνώστους το πλάτος, τη θέση, τη χρονική στιγμή. Όλα αυτά δε μπορούν να υπολογιστούν με ένα δεδομένο, την  $E_T = 5\pi^2 \cdot 10^{-7} \text{ J}$  που δίνεται στην εκφώνηση του Γ Θέματος.

**3)** Στα εγκάρσια αρμονικά κύματα  $y = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$  η ταλάντωση των στοιχειωδών μαζών είναι αρμονική (σκέτο), αλλά δεν είναι ΠΟΤΕ μα ΠΟΤΕ απλή αρμονική ταλάντωση.

Επομένως η φράση

«...«... Η πηγή εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση με εξίσωση...»

στην εκφώνηση του Θέματος Γ είναι λανθασμένη γιατί υπονοεί ότι όλα τα σημεία της χορδής τελικά θα εκτελέσουν απλή αρμονική ταλάντωση, κάτι στο οποίο τελικά θα στηριχτεί η λύση της Κεντρικής Επιτροπής Εξετάσεων.

Ας αποδείξουμε γιατί στο κύμα  $y = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$  όλα τα σημεία του μέσου (της χορδής) εκτελούν αρμονική ταλάντωση αλλά όχι απλή αρμονική ταλάντωση.

Αρμονική ταλάντωση εκτελούν γιατί η εξίσωση κίνησής τους  $y = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$  αποδίδεται με μια αρμονική συνάρτηση, το ημίτονο.

Όμως αυτή η (κυματική) ταλάντωση δεν είναι απλή αρμονική ταλάντωση διότι:

i. Οι ενέργειες (κινητική, δυναμική, ολική) των σημείων του μέσου κατά την ταλάντωσή τους δεν είναι σταθερές. Η κινητική ενέργεια, κάθε χρονική στιγμή, είναι ίση με τη δυναμική και συνεπώς ίση με το μισό της ολικής ενέργειας. Άρα στην κυματική αρμονική ταλάντωση η κινητική ενέργεια δε μετατρέπεται σε δυναμική και η δυναμική δε μετατρέπεται σε κινητική. Μαζί αυξάνονται, μαζί μειώνονται, μαζί μηδενίζονται. Οι ενέργειες μεγιστοποιούνται όλες μαζί στη θέση ισορροπίας  $y=0$  και μηδενίζονται όλες μαζί στις ακραίες θέσεις. Αυτό δε συμβαίνει στην α.α.τ.

ii. Η συνισταμένη δύναμη μέτρου  $T$  που ελέγχει την κίνηση των στοιχειωδών μαζών της χορδής είναι  $F_{ολ} = T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx = \delta m \cdot v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$ .

Η δύναμη αυτή δεν είναι της μορφής  $F_{ολ} = -Dy$ , όπου  $y$  η απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας και δεν είναι συντηρητική.

Αντιθέτως η  $F_{ολ}$  είναι χρονοεξαρτώμενη δύναμη.

Αυτό δε συμβαίνει στην α.α.τ.

iii. Στην κυματική αρμονική ταλάντωση, αφού δεν υπάρχει δύναμη της μορφής  $F_{ολ} = -Dy$ , δεν έχει κανένα νόημα να μιλάμε για σταθερά επαναφοράς της μορφής  $D = \delta m \omega^2$ . Η ποσότητα  $\delta m \omega^2$  δεν αποτελεί παράμετρο της κίνησης και δεν προσδιορίζει μαζί με τη μάζα  $\delta m$  καμιά ιδιοσυχνότητα της μορφής

$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{\delta m}}$ . Στην κυματική αρμονική ταλάντωση των τρεχόντων μονο-

χρωματικών κυμάτων δεν υπάρχει καμιά ιδιοσυχνότητα και το γινόμενο  $\delta m \omega^2$  δεν έχει όνομα και δεν έχει καθιερωμένο σύμβολο, γιατί δεν αποτελεί χαρακτηριστικό του συστήματος. Αυτό δε συμβαίνει στην α.α.τ.

iv. Η συχνότητα ταλάντωσης  $f$  στην κυματική αρμονική ταλάντωση είναι αποκλειστική υπόθεση των αρχικών συνθηκών που επιβάλλονται ταυτοχρόνως σε όλο το άπειρο μήκος μιας χορδής και μπορεί να πάρει οποιαδήποτε επιθυμητή τιμή). Αυτό δε συμβαίνει στην α.α.τ.

v. **Η δυναμική ενέργεια** ενός στοιχειώδους τμήματος  $dx$  μάζας  $\delta m = \mu \cdot dx$  όπου  $\mu$  η γραμμική πυκνότητα της χορδής

- δεν οφείλεται σε μεταβλητή χωροεξαρτώμενη δύναμη της μορφής  $F = -Dy$

- δεν εξαρτάται από την απομάκρυνση του  $y$  από τη θέση ισορροπίας (άξονα  $x$ )

- **δε δίνεται** από σχέση της μορφής

$$\delta U = \frac{1}{2} Dy^2 = \frac{1}{2} D \left( A\eta\mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right)^2 = \frac{1}{2} DA^2\eta\mu^2 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Η δυναμική ενέργεια του κάθε στοιχειώδους τμήματος  $dx$  οφείλεται στην παραμόρφωση που έχει υποστεί αυτό το τμήμα από την ουσιαστικά σταθερή κατά μέτρο, δύναμης  $T$  και συνεπώς εξαρτάται από την κλίση της χορδής στο σημείο που βρίσκεται το  $dx$ .

**Για παράδειγμα, στην κυματική αρμονική ταλάντωση**  $y = A\eta\mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ .

**η δυναμική ενέργεια του στοιχειώδους τμήματος  $dx$  είναι**

$$\delta U = \frac{1}{2} T \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 dx = \frac{1}{2} \mu A^2 \omega^2 \sigma \nu^2 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) dx$$

Αυτό δε συμβαίνει στην α.α.τ.

- vi. Πρωταγωνιστικό ρόλο στην κίνηση των στοιχειωδών μαζών της χορδής έχει η ελαστικότητα του μέσου που δίνει τη δυνατότητα στο  $dx$  να αλλάζει το μήκος του και συνεπώς να αποκτά δυναμική ενέργεια, λόγω αυτής ακριβώς της παραμόρφωσης.

Τέτοιο χαρακτηριστικό δεν υπάρχει στην α.α.τ.

Στην α.α.τ. η δυναμική ενέργεια του υλικού σημείου που ταλαντώνεται δεν οφείλεται σε παραμορφώσεις που υφίσταται η μάζα που ταλαντώνεται, αλλά αποκλειστικά στη θέση της μάζας μέσα στο πεδίο της συντηρητικής δύναμης  $F = -Dy$ .

### **Συμπέρασμα**

Στην κυματική αρμονική ταλάντωση που επιβάλλει το αρμονικό μονοχρωματικό κύμα  $y = A\eta\mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

- Η δυναμική ενέργεια ενός στοιχειώδους τμήματος  $dx$  της χορδής δε δίνεται από τη σχέση

$$\delta U = \frac{1}{2} Dy^2 = \frac{1}{2} (\mu dx) \omega^2 \left( A\eta\mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right)^2 = \frac{1}{2} \mu A^2 \omega^2 \eta\mu^2 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) dx$$

αλλά από τη σχέση παραμόρφωσης

$$\delta U = \frac{1}{2} T \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 dx = \frac{1}{2} \mu A^2 \omega^2 \sigma \nu^2 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) dx$$

η οποία δίνει συγχρόνως και την κινητική ενέργεια του  $dx$

- Η ενέργεια δεν είναι σταθερή, δε διατηρείται και δε δίνεται από τη σχέση  $E = \frac{1}{2}DA^2$  , αλλά από τη σχέση  $\delta E = \mu A^2 \omega^2 \sin^2 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) dx$
- Δε νοείται σταθερά επαναφοράς  $D=m\omega^2$  ή  $D=\mu\omega^2 \delta x$

**Στα κύματα, η κίνηση των υλικών σημείων του μέσου γενικά είναι μια «ακατάστατη» κίνηση. Αν όμως τύχει να είναι ταλάντωση, τότε σίγουρα δεν είναι ΠΟΤΕ απλή αρμονική ταλάντωση**

**4)** Το εγκάρσιο αρμονικό κύμα δε διαδίδεται (δεν καταλαμβάνει δηλαδή μια περιοχή η οποία συνεχώς μεγαλώνει). Το (μονοχρωματικό) αρμονικό κύμα ή δεν υπάρχει στη χορδή ή υπάρχει ευθύς εξαρχής από τη γέννησή του λόγω αρχικών συνθηκών σε ολόκληρο το άπειρο μήκος της χορδής.

Επομένως δεν έχει ούτε πηγή ούτε μέτωπο. Απλώς υπάρχει παντού σε όλη τη χορδή με σταθερό πλάτος  $A$  όπως προβλέπει η κυματική εξίσωση. Η σταθερότητα αυτή του πλάτους δεν είναι αποτέλεσμα κάποιου επιπλέον δεδομένου της άσκησης, αλλά βασική προϋπόθεση της κυματικής εξίσωσης  $\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$  της οποίας λύσεις

είναι ΚΑΙ τα αρμονικά κύματα  $y = A\eta\mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ . Η κυματική εξίσωση δεν προβλέπει απώλειες ενέργειας για κανένα κύμα της. Τα κύματα που εμφανίζουν απώλειες είναι προϊόντα άλλων συνθηκών και άλλων διαφορικών εξισώσεων.

Επομένως η φράση

«Εγκάρσιο αρμονικό κύμα διαδίδεται χωρίς απώλειες ενέργειας σε χορδή ..... Η πηγή του κύματος βρίσκεται ....»

καθώς και το ερώτημα Γ2

«...να σχεδιάσετε σε βαθμολογημένους .... (υπονοεί:την έκταση που καταλαμβάνει το αρμονικό κύμα εκείνη τη στιγμή)...»

στην εκφώνηση του Θέματος Γ είναι λανθασμένα, γιατί τα αρμονικά κύματα

• δε διαδίδονται, δεν έχουν πηγές και μέτωπα

- διατηρούν έτσι κι αλλιώς την ενέργειά τους (και συνεπώς δε χρειάζεται καμιά ιδιαίτερη έμφαση στο ότι δεν εμφανίζουν απώλειες ενέργειας), γιατί από δομής της κυματικής εξίσωσης της οποίας είναι λύση δεν έχουν απώλειες ενέργειας

- δεν καταλαμβάνουν ποτέ πεπερασμένη έκταση

**Συνεπώς όλο το Θέμα Γ των φετινών πανελλαδικών είναι ένα απόλυτο επιστημονικό λάθος ήδη από ολόκληρη την εκφώνησή του.**

.....  
.....

Μετά από αυτά ...

α) Στα βαθμολογικά κέντρα γιατί πρέπει να βαθμολογηθεί ως σωστό το επιστημονικά λανθασμένο;

β) Ακόμη κι αν δεν αδικηθούν τα παιδιά, είναι σωστό να διασύρεται τόσο πολύ η Φυσική βάζοντας τα παιδιά να διαγωνιστούν χρησιμοποιώντας σχέσεις φυσικής που δεν αντιστοιχούν στο φαινόμενο που εξετάζεται στο Θέμα Γ;

γ) Αθώνει κανέναν θεματοδότη η δικαιολογία ότι στηρίχτηκε πάνω στον εντελώς λανθασμένο ορισμό του σχολικού βιβλίου για την απλή αρμονική ταλάντωση, προκειμένου να δημιουργήσει το Θέμα Γ που όχι μόνο όμοιό του δεν υπάρχει στο σχολικό βιβλίο, αλλά είναι επιστημονικά λανθασμένο;

δ) Ευθύνες στους πανεπιστημιακούς που ήταν στην επιτροπή θεμάτων και που έπρεπε να προφυλάξουν τη σκέψη των παιδιών και να αποτρέψουν το διασυρμό τόσων φυσικών που θα αναρτήσουν και θα βαθμολογήσουν λάθος λύσεις, δεν υπάρχουν;

ε) Τελικά υπάρχει πουθενά ευθύνη για το ότι ολόκληρο το Θέμα Γ είναι ένα επιστημονικό λάθος και όχι μια επιστημονική διαφωνία;

Θρασύβουλος Μαχαίρας  
Φυσικός  
12/6/2017