Η
ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ
ΕΙΝΑΙ

. . .

Ε Δ Ω !

Προσδιορίζοντας
τις θεμελιώδεις κβαντικές σταθερές
από καθημερινές παρατηρήσεις

Η ΥΠΟΘΕΣΗ ΤΟΥ . . .   ΕΡΓΟΥ

Αψηφώντας τον κανονισμό της σχολής του, ένας τελειόφοιτος του Τμήματος Πλατωνικής Φυσικής αποφασίζει να «δραπετεύσει» για λίγο από τον κόσμο των καθαρών ιδεών και να επισκεφθεί έναν πραγματικό κόσμο -π.χ. τη γη μας- για να βεβαιωθεί ότι οι θεωρίες που έμαθε -ιδίως η κβαντική θεωρία που είλκυσε ιδιαίτερα το ενδιαφέρον του- ανταποκρίνονται σε όσα συμβαίνουν εκεί κάτω ή όχι. Κουβαλάει στις «αποσκευές» του όλους τους θεμελιώδεις νόμους -και ένα πλήρες βασικό τυπολόγιο- χωρίς όμως τις αριθμητικές τιμές των φυσικών σταθερών που εμφανίζονται σε αυτούς. Σύμφωνα με τη μεγάλη παράδοση της σχολής του, η ενασχόληση με συγκεκριμένα νούμερα και αριθμητικές προβλέψεις είναι ένα κατώτερο καθήκον που δεν πρέπει να απασχολεί την πνευματική ελίτ του «επαγγέλματος», στην οποία προορίζεται να ενταχθεί και ο ίδιος.

Για να ελέγξει λοιπόν τους θεωρητικούς νόμους που έμαθε -και ειδικότερα τους κβαντικούς νόμους- το πρώτο αναγκαίο καθήκον για τον περίεργο «επισκέπτη» μας είναι να προσδιορίσει τις τιμές των θεμελιωδών κβαντικών σταθερών –$h, m_e, m_p, e, \ldots$– *αρκούμενος στις απλούστερες δυνατές παρατηρήσεις που μπορεί να πραγματοποιήσει στο σύντομο διάστημα της παραμονής του στη γη. Και το προφανές πρώτο βήμα αυτού του «ερευνητικού προγράμματος» -που δεν χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ενωση- είναι να προσδιορίσει την περίφημη «σταθερά του* Planck» *όπως την αποκαλούν οι γήινοι. Ομως το «πρόγραμμα» κινδυνεύει να ακυρωθεί όταν ο επισκέπτης μας διαπιστώνει ότι ...απώλεσε το επιμελώς προετοιμασμένο τυπολόγιό του! Ετσι, θα πρέπει πλέον να αρκεστεί όχι μόνο στις απλούστερες δυνατές παρατηρήσεις, αλλά και στους πιο στοιχειώδεις δυνατούς τύπους ή όσους μπορεί να «βγάλει» ο ίδιος με στοιχειώδεις πράξεις ή απλή διαστατική ανάλυση. Και, βεβαίως, θα πρέπει να περιορίσει τις φιλοδοξίες του σε έναν χονδρικό υπολογισμό των κβαντικών σταθερών, όπου μόνον η τάξη μεγέθους θα έχει σημασία.*

ΘΑ ΤΑ ΚΑΤΑΦΕΡΕΙ;

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ:

Προσδιορίζοντας τη «σταθερά του Planck» από καθημερινές παρατηρήσεις

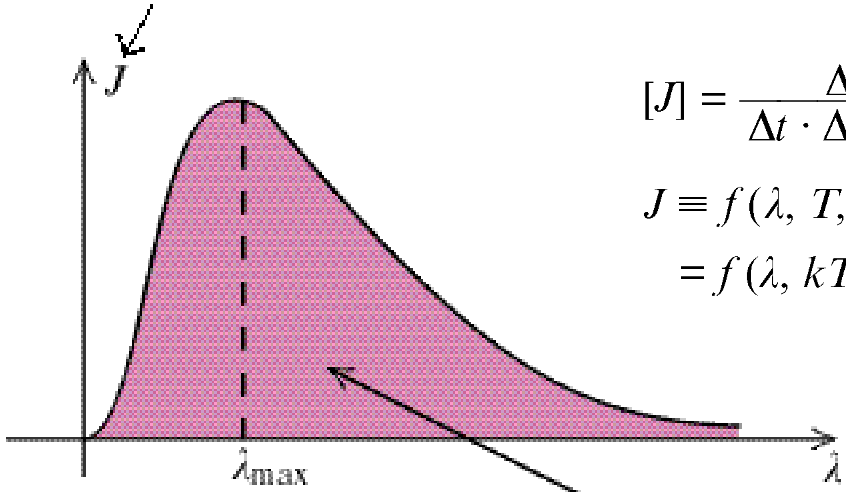
Χρειάζομαι ένα κβαντικό φαινόμενο με τα εξής χαρακτηριστικά :

1. Να εξαρτάται από όσο γίνεται λιγότερες φυσικές σταθερές. Π.χ., αν είναι δυνατόν, να μην εξαρτάται από τις ατομικές σταθερές m_e, e, m_p κ.λπ.

2. Να είναι όσο γίνεται πιο αισθητό σε καθημερινό *μακροσκοπικό* επίπεδο.

⟹ Φωτογραφική διάταξη για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος, δηλαδή τη θερμική ακτινοβολία "όλων" των πυκνών σωμάτων

φασματική ένταση



$$[J] = \frac{\Delta E}{\Delta t \cdot \Delta S \cdot \Delta\lambda}$$

$$J \equiv f(\lambda,\ T,\ k,\ \hbar,\ c)$$
$$= f(\lambda,\ kT,\ \hbar,\ c)$$

$$I = \int_0^\infty J\, d\lambda$$

ολική ένταση

Όμως:

Αφού δεν μπορώ να παρατηρήσω την καμπύλη της φασματικής κατανομής $J = f(\lambda, kT, c, \hbar)$ θα πρέπει να αναζητήσω δύο ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ της θερμικής ακτινοβολίας των σωμάτων.

Π.χ. έναν που να αφορά στην *ολική ένταση* I κι έναν άλλο για το *μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής* (Γνωστοί στους "γήινους" ως νόμος των Stefan-Boltzman ($I = \sigma T^4$) και νόμος του Wien $\lambda_{max} = \alpha/T$).

Άσκηση για τον Πλατωνικό Φυσικό :

Να βρεθούν οι νόμοι –δηλαδή οι μαθηματικοί τύποι– για τα μεγέθη I και λ_{max}.

Βασική διαπίστωση: Αρκεί *διαστατική ανάλυση* διότι είναι:

$$\left.\begin{aligned} & I = \int_0^\infty J \, d\lambda = f(kT, c, \hbar) \\ \text{και} \quad & \\ & \lambda_{max} = g(kT, c, \hbar) \end{aligned}\right\} \text{Τα } I \text{ και } \lambda_{max} \text{ εξαρτώνται μόνο από τρία άλλα φυσικά μεγέθη}$$

Υπενθύμιση

Το θεμελιώδες θεώρημα της διαστατικής ανάλυσης:

Αν ένα φυσικό μέγεθος *D* εξαρτάται μόνο από τρία άλλα –έστω τα *A*, *B*, *C*– τότε η εξάρτηση προσδιορίζεται “μονοσήμαντα” –δηλαδή με αυθαιρεσία μιας αριθμητικής σταθεράς– από καθαρά διαστατικές απαιτήσεις.

Απόδειξη:

$$D = f\,(A,\ B,\ C)$$

$$\Rightarrow D = k\ A^{a}\ B^{\beta}\ C^{\gamma}$$

Αδιάστατη αριθμητική σταθερά

όπου τα *α*, *β*, *γ* προσδιορίζονται μονοσήμαντα εξισώνοντας τις διαστάσεις *μήκους μάζας* και *χρόνου* – *L*, *M*, *T*– των δύο μελών.

Άσκηση 1:

Να βρεθεί ο νόμος των Stefan-Boltzman με διαστατική ανάλυση.

Λύση:

$$I = f\,(kT,\, c,\, \hbar) \;\approx (kT)^{\alpha}\, c^{\,\beta}\, \hbar^{\gamma}$$

Πρέπει να βρω ένα συνδυασμό δυνάμεων των kT, c και $\hbar$ που να έχει διαστάσεις

$$[I] = \frac{E}{t \cdot L^2}$$

Θα είναι:

$$I = \frac{kT}{\boxed{\left(\dfrac{\hbar}{kT}\right)}\;\boxed{\left(\dfrac{c\,\hbar}{kT}\right)^2}}$$

Προφανές αφού

$$\hbar = E \cdot t$$

$$\Rightarrow \quad t = \frac{\hbar}{E} = \frac{\hbar}{kT}$$

Προφανές αφού

$$L = ct = \frac{c\hbar}{kT}$$

$$\Rightarrow \qquad \boxed{I \approx \frac{(kT)^4}{\hbar^3 c^2}} \qquad \textbf{(1)}$$

Ο περίφημος *νόμος της τέταρτης δύναμης της θερμοκρασίας.*

Άσκηση 2:

Να βρεθεί ο νόμος του Wien με διαστατική ανάλυση.

Λύση:

$$\lambda_{\max} = g\,(kT,\, c,\, \hbar)$$

Θέλω έναν συνδυασμό των kT, c και $\hbar$ που να έχει διαστάσεις *μήκους*.

Έχει βρεθεί από πριν και είναι ο

$$\boxed{\lambda_{\max} \approx \frac{\hbar c}{kT}} \qquad \textbf{(2)}$$

Ο περίφημος νόμος της αντίστροφης αναλογικής εξάρτησης του μήκους κύματος μέγιστης εκπομπής από τη θερμοκρασία.

Δυστυχώς:

Οι τύποι (1) και (2) περιέχουν –εκτός από τα c και $\hbar$– και την σταθερά k του Boltzman που είναι μάλλον απίθανο να μπορεί να “μετρηθεί” από απλές παρατηρήσεις διότι είναι “σταθερά μετατροπής μονάδων” –μετατρέπει τους βαθμούς Kelvin σε Joule– και όχι πραγματικά θεμελιώδης σταθερά της φύσεως.

Όμως:

Αφού το k πάει πάντα μαζί με το T –ως γινόμενο kT– μπορούμε να απαλλαγούμε απ’ αυτό αν απαλείψουμε το T από τις **(1)** και **(2)** οπότε παίρνουμε τον τύπο

$$\boxed{I \approx \hbar\, c^2 / \lambda^4_{max}} \qquad \mathbf{(3)}$$

Ο “τρίτος νόμος” της θερμικής ακτινοβολίας

Ο *ωραιότερος* και “*καθαρότερος*” τύπος της Φυσικής απ’ όσους περιγράφουν ένα *θεμελιώδες* και *αυτόνομα* παρατηρήσιμο φυσικό *φαινόμενο.*

Και... *ίσως* ο μόνος τύπος της Φυσικής **με αξιώσεις... αιωνιότητας!**
(Γιατί;)

Ο «τρίτος νόμος» και η σταθερά του Plank

(3) $\Rightarrow$ $$\boxed{\hbar \approx \frac{I \cdot \lambda_{max}^4}{c^2}}$$

οπότε –για τον προσδιορισμό του $\hbar$– αρκεί να “βρούμε” ένα ακτινοβολούν θερμό σώμα για το οποίο να είναι δυνατόν να μετρήσουμε

- ✔ την ***ολική ένταση I***,
- ✔ το ***μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής*** λ_{max}

  και –ως χωριστή άσκηση–
- ✔ την ***ταχύτητα c του φωτός***.

Και ο πιο προφανής “υποψήφιος” για το ρόλο ενός τέτοιου σώματος είναι, βεβαίως, ο

Ήλιος.

Έτσι, έχουμε μπροστά μας τα εξής τρία απλά (!) καθήκοντα:

Τρία "απλά" καθήκοντα!

Καθήκον 1 :

Να “μετρηθεί” η ένταση του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια του ήλιου!

Καθήκον 2 :

Να “μετρηθεί” το μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής του ηλιακού φωτός.

Καθήκον 3 :

Να “μετρηθεί” η ταχύτητα του φωτός!

Υπενθύμιση . . .

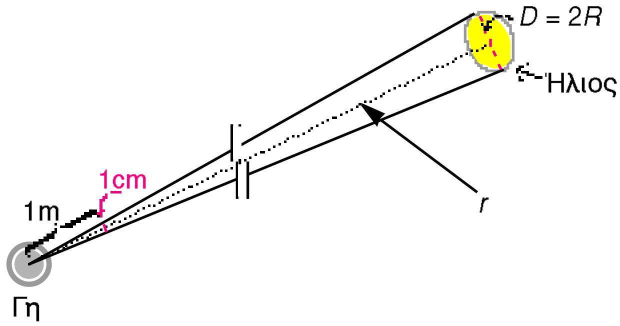
Σύμφωνα με τους κανόνες του “παιγνιδιού”, επιτρέπονται μόνο *παρατηρήσεις* και *χρήση πληροφοριών* που είναι προσιτές και γνωστές στον *μέσο άνθρωπο.*

Καθήκον 1 : Να “μετρηθεί” η ένταση του φωτός του ήλιου στην επιφάνειά του από δεδομένα της κοινής εμπειρίας.

Τα δεδομένα:

Δεδομένο 1: Το ηλιακό θερμοσίφωνο δουλεύει! Και κάνει περίπου την ίδια δουλειά με το ηλεκτρικό θερμοσίφωνο (ισχύς **~ 2 KW**) χρησιμοποιώντας μια ηλιοσυλλεκτική επιφάνεια της τάξεως του **1m²**.

Δεδομένο 2: Ο ηλιακός δίσκος καλύπτεται από ένα αντικείμενο *ενός εκατοστού* σε απόσταση *ενός μέτρου* από το μάτι μας.



και τα συμπεράσματα:

Συμπέρασμα 1 :

Η ένταση του ηλιακού φωτός πάνω στη γη είναι της τάξεως του KW/m². Δηλαδή

$$I_\Gamma \approx 1\ \mathrm{KW/m^2}$$

Συμπέρασμα 2 :

$$\frac{D}{r} = \frac{1\mathrm{cm}}{1\mathrm{m}} = \frac{1}{100} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{R}{r} = \frac{1}{200}}$$

Και επομένως: (Νόμος αντίστροφου τετραγώνου)

$$I_H = I_\Gamma \left(\frac{r}{R}\right) = I_\Gamma\,(200)^2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{I_H \approx 4 \cdot 10^7\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2}}}$$

Καθήκον 2 : Να "μετρηθεί" το μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής του ήλιου από δεδομένα της κοινής εμπειρίας και ένα... δαρβινικό επιχείρημα!

➤ το δεδομένο της κοινής εμπειρίας

Δύο γραμμούλες σε απόσταση 1mm παύουμε να τις βλέπουμε ως χωριστές σε απόσταση ~ 3m.

$\Longrightarrow$ Διακριτική ικανότητα του ματιού: $\delta\theta \approx \dfrac{1\text{mm}}{3\text{m}} = \dfrac{10^{-3}}{3}$

Αλλά (*)

$$\delta\theta \approx \frac{\lambda}{D}$$

μήκος κύματος ορατού φωτός (λ)

διάμετρος κόρης οφθαλμού ≈ 3mm (D)

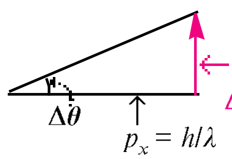
$$\Longrightarrow \lambda \approx D \cdot \delta\theta = 3 \cdot 10^{-3}\,\frac{10^{-3}}{3} = 10^{-6}\text{m} = \underline{\underline{10.000\ \text{Å}}}$$

➤ . . . και το Δαρβινικό επιχείρημα

Δεδομένου ότι όλοι οι βιολογικοί οργανισμοί που διαθέτουν σύστημα όρασης *βλέπουν* –με ασήμαντες παρεκκλίσεις– στην ίδια περιοχή μηκών κύματος και ότι αυτό το "σύστημα όρασης" είναι προϊόν **εξελικτικής προσαρμογής στο περιβάλλον**, η περιοχή του "ορατού φωτός" δεν μπορεί παρά να συμπίπτει με την περιοχή όπου η ηλιακή ακτινοβολία γίνεται μέγιστη. Διότι οι οργανισμοί που απέκτησαν ένα σύστημα όρασης σ' αυτή την "πλούσια σε φωτόνια" περιοχή, προφανώς θα είχαν ένα σοβαρό εξελικτικό πλεονέκτημα.

$$\boxed{\text{Συμπέρασμα:}\quad \lambda_{max} \approx 10.000\ \text{Å} = 10^{-6}\text{m}}$$

(*) Αρχή αβεβαιότητας για φωτόνια:

$\Delta y \bullet \Delta p_y \approx h,\ \ \Delta y \approx D \Longrightarrow$ 

$\Delta p_y = \dfrac{h}{D} \Longrightarrow \Delta\theta \approx \dfrac{\Delta p_y}{p_x} \approx \dfrac{\lambda}{D}.$

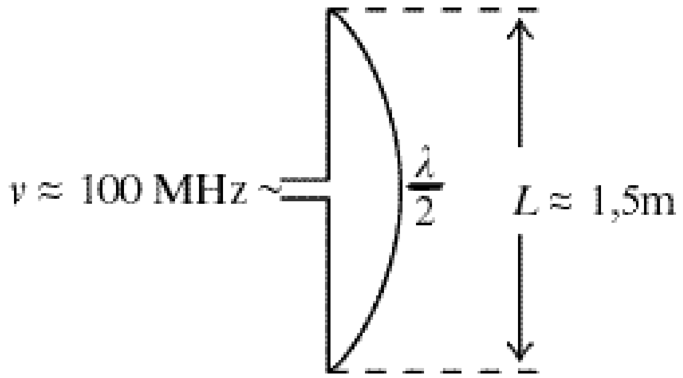
Καθήκον 3 : Να *συναχθεί* η ταχύτητα του φωτός από δεδομένα της «κοινής εμπειρίας».

Τα δεδομένα:

Δεδομένο 1: Οι συχνότητες των ραδιοφωνικών κυμάτων στην περιοχή των FM –αναγράφονται πάνω στο “καντράν”– είναι της τάξεως των *100MHz*.

Δεδομένο 2: Οι διπολικές κεραίες εκπομπής των αντίστοιχων σταθμών έχουν ύψος γύρω στο 1,5m(*).

και το συμπέρασμα:



$$\Rightarrow L = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2L \approx 3\text{m}$$

$$\Rightarrow \quad c = \lambda \cdot \nu \approx 3\text{m} \cdot 10^8\text{Hz} \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$$

(*) Ως τάξη μεγέθους αυτό προκύπτει και από τις κεραίες λήψης των αυτοκινήτων που είναι λίγο μεγαλύτερες από 1m.

Η σταθερά του Planck είναι εδώ!

και έχει την τιμή . . .

$$\hbar \approx \frac{I \cdot \lambda_{max}^4}{c^2}$$

με

$$I = I_H \approx 4 \cdot 10^7 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}, \qquad \lambda_{max} \approx 10^{-6}\mathrm{m}, \qquad c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

(οι μετρημένες τιμές)

δηλαδή

$$\hbar \approx \frac{4 \cdot 10^7 \cdot (10^{-6})^4}{9 \cdot 10^{16}} \; J \cdot s$$

$$\Rightarrow \boxed{\hbar \approx 4 \cdot 10^{-34} \, J \cdot s}$$

(έναντι πραγματικής τιμής $\hbar = 1{,}055 \times 10^{-34} \, J \cdot s$)

Αν είχε τη δυνατότητα να μάθει την “πραγματική τιμή”, ο πλατωνικός επισκέπτης μας θα είχε κάθε λόγο να αισθάνεται

ε υ τ υ χ ή ς .

και ένα υποθετικό σενάριο

Αν η σταθερά του Planck ...δεν ήταν εδώ

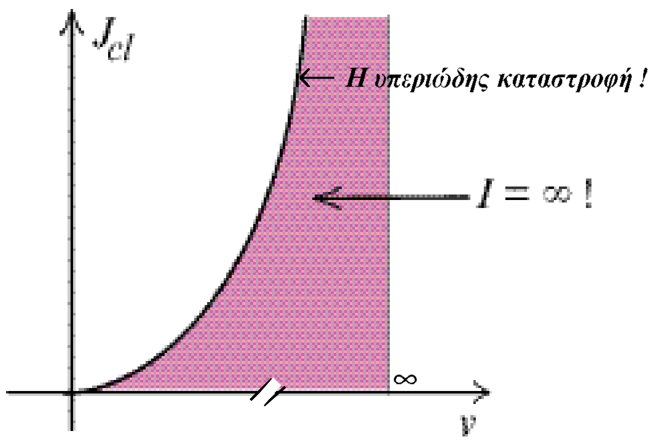
(οπότε θα ίσχυε η Κλασική Φυσική)

Τότε θα ήταν

$$J = f(\nu, T, k, c) \qquad \equiv f(\nu, kT, c)$$

$$[J] = \frac{\Delta E}{\Delta t \cdot \Delta S \cdot \Delta \nu} \equiv \frac{E}{L^2}$$

$$\Rightarrow J \approx \frac{kT}{(c/\nu)^2} = \frac{kT}{c^2}\nu^2$$



Συμπέρασμα: Αν η σταθερά του Planck δεν... ήταν εδώ, ένα θερμό σώμα θα ακτινοβολούσε ***άπειρη ενέργεια ανά δευτερόλεπτο!***

Αλλά τότε, ούτε εμείς θα είμασταν εδώ για να το παρατηρήσουμε!

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ:

Προσδιορίζοντας τις «άλλες» κβαντικές σταθερές

—m_e, e, m_p, …—

Τρεις "εύκολες" ασκήσεις

Άσκηση 1.

Εκτιμήστε **το** **τυπικό μέγεθος των ατόμων** με βάση την γνωστή "εικόνα του ουρανού" –*ένας λαμπρός ηλιακός δί - σκος αλλά και αρκετό διάχυτο φως*– και τις ακόλουθες κοινές πληροφορίες:

α) Το ύψος της "πυκνής" ατμόσφαιρας είναι γύρω στα **10 Km.**

β) Σε βάθος **δέκα μέτρων**, η πίεση του θαλασσινού νερού είναι άλλη μία ατμόσφαιρα.

Υποδείξεις:

1. *Εξηγήστε* πρώτα, μ' έναν φυσικό συλλογισμό, γιατί η "εικόνα του ουρανού" έχει *άμεση σχέση* με το μέγεθος των ατόμων, ή των μικρών μορίων, που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Ποια νομίζετε ότι θα ήταν η εικόνα του ουρανού αν το μέγεθος των "ατόμων" ήταν:

   α) Εκατό φορές μεγαλύτερο απ' ό,τι γνωρίζουμε ότι είναι.

   β) Εκατό φορές μικρότερο απ' ό,τι γνωρίζουμε ότι είναι.

2. *Προσπαθήστε* να εφαρμόσετε ποσοτικά την παραπάνω σχέση.

   Λέξεις-κλειδιά : *Ενεργός διατομή σκέδασης*, *Τύπος Rayleigh* (με χρήση διαστατικής ανάλυσης) και *μέση ελεύ - θερη διαδρομή* ($l = 1/n\sigma$).

Άσκηση 2.

Εκτιμήστε τη **μάζα** και το **φορτίο του ηλεκτρονίου** με βάση:

α) Την προηγούμενη εκτίμησή σας για το μέγεθος των ατόμων, και

β) το γεγονός ότι τα φωτόνια του ορατού φωτός –και πολύ περισσότερο, οι *άμεσοι* γείτονές τους στο *υπεριώδες– είναι* σε θέση να προκαλέσουν χημικές αντιδράσεις.

Βασική υπόδειξη :

$$E_\gamma = h\nu = \frac{hc}{\lambda_{\text{ορατό}}} \approx \boxed{\frac{\hbar^2}{2m_e\, a^2}}$$

Ακτίνα τυπικού "ατόμου"

Κινητική ενέργεια λόγω ***αρχής αβεβαιότητας*** *ενός σωματιδίου παγιδευμένου σε μια περιοχή διαστάσεως α.*

Έλεγχος: Τα παραπάνω πρέπει να είναι συμβιβαστά με το εξής κοινό εμπειρικό δεδομένο: Τρώμε περίπου 2kg τροφής ημερησίως για να "πάρουμε" τα (1000-2000) Kcal που χρειαζόμαστε. Εξηγήστε τί σχέση μπορεί να έχει αυτό το δεδομένο με το πρόβλημά μας.

Άσκηση 3. (Κατάδυση στον ατομικό πυρήνα)

Εκτιμήστε τα χαρακτηριστικά του πυρήνα –μάζα νουκλεονίων (m_p ή m_n) και ακτίνα (R)– με βάση τα ακόλουθα κοινά δεδομένα:

α) Η πυκνότητα της μακροσκοπικής πυκνής ύλης είναι της τάξης του gr/cm^3. (Απορρέει από τον ορισμό του gr ή του Kg ως μονάδας μάζας).

β) Η ισχύς των πυρηνικών βομβών μετριέται σε *δεκάδες μεγατόνων* ενός κοινού εκρηκτικού (T.N.T.)

Βασική υπόδειξη :

$$E_{\text{πυρ.}} \approx \frac{\hbar^2}{2m_p R^2}$$

Ακτίνα πυρήνα

Ο πυρήνας είναι γίγαντας ενέργειας ακριβώς επειδή είναι νάνος μεγέθους.

(*Το βασικό "δίδαγμα" της αρχής της αβεβαιότητας*).

Και μια ριψοκίνδυνη πρόβλεψη με διαστατική ανάλυση :

Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΣΤΕΡΕΟ ΣΩΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΔΩΝ ΚΒΑΝΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ.

μάζα του πυρήνα ≈ Am_p, όπου A ο μαζικός αριθμός

$$c_s = F(\hbar, e, m_e, M)$$

$$= \boxed{\frac{e^2}{h}}\ \boxed{f\left(\frac{m_e}{M}\right)}$$

ο μοναδικός συνδυασμός των $\hbar$, e και m_e με διαστάσεις ταχύτητας

μια τυχούσα συνάρτηση του μοναδικού αδιάστατου συνδυασμού των τεσσάρων παραμέτρων του προβλήματος

Όμως:

Η εξάρτηση από το M θα είναι υποχρεωτικά της μορφής $1/\sqrt{M}$, όπως εύλογα προκύπτει είτε από την κλασική έκφραση της ιδιοσυχνότητας ενός ταλαντωτή –το στερεό δεν είναι παρά μια αλυσίδα τέτοιων συζευγμένων ταλαντωτών– είτε από τον κλασικό τύπο της ταχύτητας του ήχου σε ένα συνεχές μέσο ($c_s = \sqrt{B/\rho}$), όπου εδώ θα είναι $\rho = M/a$, με a την πλεγματική απόσταση.

Επομένως, $f = \sqrt{m_e/M}$, και άρα

$$\boxed{c_s \approx \frac{e^2}{\hbar}\sqrt{\frac{m_e}{M}} \approx \frac{50}{\sqrt{A}}\ \frac{\text{Km}}{s}}$$

Για τον σίδηρο ($A = 56$) το αριθμητικό αποτέλεσμα είναι ≈ 6680 m/s έναντι πειραματικής τιμής 5950 m/s για τα διαμήκη και 3240 για τα εγκάρσια ηχητικά κύματα (Ελ. Οικονόμου, *Φυσική Στερεάς Κατάστασης*, τ. I, σελ. 95). Αν δεν θεωρηθεί ως ευτυχής ***σύμπτωση***, μια τόσο κοντινή πρόβλεψη εγγίζει τα όρια του ...θαύματος! Η Κβαντομηχανική όχι μόνο είναι εδώ, αλλά είναι και ***πανταχού παρούσα.***

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ:

Συμπεράσματα

Συμπέρασμα 1.

Παρά τη φήμη της ως μιας πολύ *εξωτικής θεωρίας* –που έχει σχέση μόνο με τον *μακρυνό* και *αθέατο* μικρόκοσμο– ***η Κβαντομηχανική είναι παρούσα γύρω μας όσο καμμιά άλλη φυσική θεωρία***. Σε τέτοιο μάλιστα βαθμό, ώστε μπορούμε να *εκτιμήσουμε* τις θεμελιώδεις παραμέτρους της (h, m_e, m_p, e, ...) χρησιμοποιώντας μόνο δεδομένα της κοινής μακροσκοπικής εμπειρίας.

. . . και μερικές “δασκαλίστικες” σκέψεις

Παραδείγματος χάριν: Μήπως θα βοηθούσε λίγο αν διδάσκαμε τη Φυσική με έναν λιγότερο Πλατωνικό τρόπο; Δηλαδή, αναζητώντας τις εκδηλώσεις της σε ***φαινόμενα της κοινής εμπειρίας*** κι όχι μόνο σε “αποστειρωμένα” εργαστηριακά αποτελέσματα, ή “στημένες ασκήσεις” χωρίς καμμία σχέση με τον πραγματικό κόσμο;

Δεν θα ήταν, παραδείγματος χάριν, χρήσιμο όταν διδάσκουμε αυτόν τον υπέροχο *νόμο της βαρύτητας*, να ζητήσουμε από τους μαθητές μας, αντί να λύνουν μόνο τεχνητές ασκήσεις, να σκεφτούν πώς θα μπορούσαν να τον χρησιμοποιήσουν για να υπολογίσουν κάτι τόσο “δικό μας” όσο η ακτίνα ή η μάζα της Γης;

Συμπέρασμα 2.

Αν μάθει να τη χρησιμοποιεί κανείς, η ***διαστατική ανάλυση*** είναι ένα από τα ισχυρότερα εργαλεία που μπορεί να έχει στη διάθεσή του ένας Φυσικός. Όχι απλώς για να ελέγχει τη διαστατική ορθότητα γνωστών τύπων –αυτή είναι η συνήθης χρήση–, αλλά κυρίως για να ***παράγει φυσικούς τύπους*** των οποίων η ακριβής μορφή είτε είναι δύσκολο να βρεθεί είτε δεν έχει σημασία να την γνωρίζουμε, αν αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η γενική εξάρτηση από τις παραμέτρους του προβλήματος ή η εξαγωγή εκτιμήσεων τάξης μεγέθους.

. . . και μια ερώτηση

Γιατί η διαστατική μέθοδος είναι τόσο συστηματικά αγνοημένη στην πανεπιστημιακή διδασκαλία; Κι όχι μόνο την Ελληνική;

. . . συν μια πιθανή απάντηση

Επειδή είναι ...απίστευτα απλή. Και είναι πράγματι δύσκολο να πιστέψει κανείς ότι μπορεί να βγάλει αξιόπιστα συμπεράσματα με τόσο απλό τρόπο και τόση λίγη πληροφορία. Ο φόβος της ...απλότητας;

Συμπέρασμα 3.

Η ευχέρεια στις ***εκτιμήσεις τάξεως μεγέθους*** είναι επίσης ένα ισχυρό εργαλείο για τη σωστή κατανόηση του φυσικού κόσμου. Μεταξύ των άλλων, διότι μας επιβάλλει να “πάρουμε αποστάσεις” από τις επουσιώδεις λεπτομέρειες και να συγκεντρώσουμε την προσοχή μας στους κύριους παράγοντες του προβλήματος και τις σχετικές τάξεις μεγέθους.

Το να ζητάμε από τον μαθητή μας να θυμάται, π.χ., ότι η ακτίνα της Γης είναι 6380 Km είναι απολύτως άχρηστο. Το να τον μάθουμε όμως να σκέφτεται πώς θα μπορούσε να αποκλείσει διάφορα ενδεχόμενα —π.χ. το να είναι η ακτίνα της Γης 1000 Km ή 100.000 Km— έχοντας στη διάθεσή του ***κοινές πληροφορίες*** και μια ***αίσθηση των αποστάσεων πάνω στον πλανήτη***, είναι μια πολύτιμη πνευματική συνήθεια, χρήσιμη για κάθε αυριανό πολίτη.

Δεύτερο παράδειγμα: Το να θυμόμαστε ότι το μήκος κύματος του ορατού φωτός είναι από 4000 έως 7500 Å, είναι μια χρήσιμη πληροφορία αλλά τίποτε περισσότερο. Το να είμαστε όμως σε θέση να πούμε ότι μήκος κύματος του ορατού φωτός ***δεν μπορεί να είναι*** ένα δέκατο ή ένα εκατοστό του χιλιοστού –διότι τότε σίγουρα δεν θα διαβάζαμε τούτες τις γραμμές– αυτό είναι ένας ***επιστημονικός συλλογισμός*** υψηλού επιπέδου.

Και η σαφής διάκριση μεταξύ ***εγκυκλοπαιδικής πληροφορίας*** και ***επιστημονικού συλλογισμού*** θα πρέπει να αποτελεί τη βάση κάθε επιστημονικής εκπαίδευσης.

Ο «δραπέτης» απεβλήθη
τελικά από τη Σχολή,
αλλά μετά απ' αυτόν
ο «παράδεισος» δεν ήταν
πια ο ίδιος. Η «επιθυμία
τού πραγματικού κόσμου»
διέφθειρε βαθμιαία
το «καθαρό πνεύμα»
της Σχολής, και ύστερα
από μερικούς αιώνες
οδήγησε στο κλείσιμό της.

ΤΕΛΟΣ