



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑ Ι

Ασκήσεις

Ενότητα 2

Αδυναμίες της Κλασικής Μηχανικής

Δημήτρης Κονταρίδης
Αναπληρωτής Καθηγητής

Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

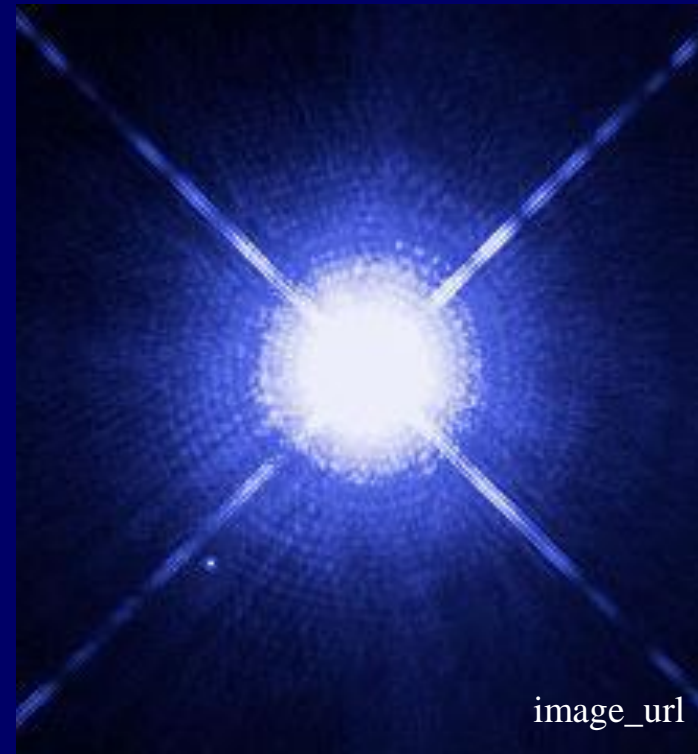
Άσκηση 1

Ο Σείριος, ένα από τα θερμότερα γνωστά άστρα εκπέμπει ακτινοβολία μέλανος σώματος με $\lambda_{\max} = 260 \text{ nm}$. Να υπολογιστεί η θερμοκρασία της επιφάνειας του Σείριου.

$$T \lambda_{\max} = \frac{1}{5} c_2 \quad (c = 1,44 \text{ cm K})$$

$$T = \frac{1,44 \text{ cm K}}{5 \times (260 \times 10^{-7} \text{ cm})} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = 1,11 \times 10^4 \text{ K}$$



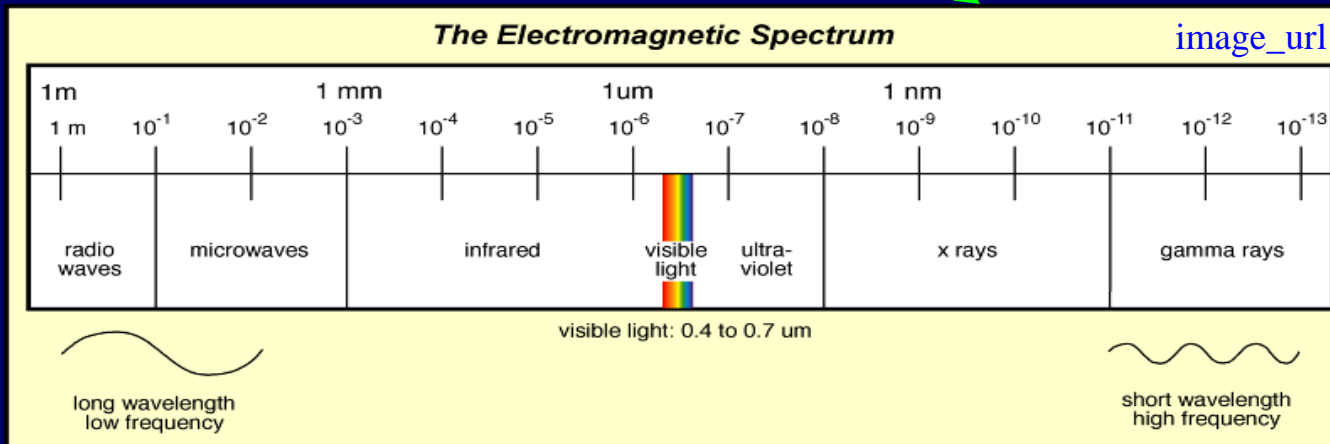
Ο Σείριος όπως φωτογραφήθηκε από το Hubble το 2003

Άσκηση 2

Η θερμοκρασία της πύρινης σφαίρας μιας θερμοπυρηνικής έκρηξης αγγίζει τους 10^7 K. Σε ποια τιμή λ_{\max} αντιστοιχεί αυτή η θερμοκρασία;

$$T \lambda_{\max} = \frac{1}{5} c_2 \quad (c = 1,44 \text{ cm K})$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1,44 \text{ cm K}}{5 \times (10^7 \text{ K})} \Rightarrow \lambda_{\max} = 3 \times 10^{-8} \text{ cm}$$



Άσκηση 3

Να ελεγχθεί αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο τύπος Stefan-Boltzmann για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του μεγάλου ματιού μιας ηλεκτρικής κουζίνας που δουλεύει σε πλήρη ισχύ.

Ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας (W/m^2):

$$M = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Επιφάνεια “ματιού”:

$$S = \pi r^2 \Big|_{r \approx 10 \text{ cm}} = \pi \times (10^{-2} \text{ m}^2)$$

Καταναλισκόμενη ισχύς: $P \approx 1 \text{ kW}$



$$P = (\sigma T^4) \times S \Rightarrow T^4 = \frac{P}{\sigma S} = \frac{1000 \text{ W}}{(5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}) \times \pi \times (10^{-2} \text{ m}^2)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T^4 = 0,56 \times 10^{12} \text{ K}^4 \Rightarrow T = 865 \text{ K (592 } ^\circ\text{C)}$$

Λογικό αποτέλεσμα !!

Άσκηση 4

Ποια είναι η μέση ενέργεια μιας συλλογής αρμονικών ταλαντωτών, οι οποίοι βρίσκονται σε θερμική ισορροπία σε θερμοκρασία T ;

$$E = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}kx^2$$

Υπάρχουν δύο τετραγωνικοί όροι στην εξίσωση της ενέργειας.

Ο ένας είναι ανάλογος του p^2 και ο δεύτερος του x^2 .

Επομένως, η μέση ενέργεια του αρμονικού ταλαντωτή είναι:

$$E = 2 \times \left(\frac{1}{2}kT \right) = kT$$

Άσκηση 4

Ποια είναι η **μέση ενέργεια** μιας συλλογής διατομικών μορίων, τα οποία βρίσκονται σε θερμική ισορροπία σε θερμοκρασία **T** ;

Ένα διατομικό μόριο έχει:

- **3** βαθμούς ελευθερίας λόγω μεταφορικής κίνησης
- **2** βαθμούς ελευθερίας λόγω περιστροφικής κίνησης
- **1** βαθμό ελευθερίας δόνησης

$$E_{ολ} = E_{\mu} + E_{\pi} + E_{\delta} = 3\left(\frac{1}{2}kT\right) + 2\left(\frac{1}{2}kT\right) + kT \Rightarrow E_{ολ} = \frac{7}{2}kT$$

Άσκηση 5

Να υπολογιστεί ο αριθμός των φωτονίων που εκπέμπονται από κίτρινο λαμπτήρα ισχύος **100 W**, θεωρώντας ότι η ακτινοβολία έχει μήκος κύματος **560 nm** υποθέτοντας 100% απόδοση.

$$N = \frac{E}{h\nu} = \frac{(P\Delta t)\lambda}{hc} \Rightarrow N = 2,8 \times 10^{20}$$

Εύκολα μπορεί να υπολογιστεί ότι για την παραγωγή **1 mol φωτονίων** απαιτούνται περίπου **40 min**.

$$E = P\Delta t$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = 5,60 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$P = 100 \text{ J s}^{-1}$$

$$\Delta t = 1,0 \text{ s}$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$c = 2,998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Άσκηση 6

Στον Πίνακα δίνεται η κινητική ενέργεια (E_{κ}) των εξερχόμενων ηλεκτρονίων ως συνάρτηση του μήκους κύματος (λ) της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια μεταλλικού νατρίου (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). Να υπολογιστούν (α) η σταθερά του Planck και (β) το έργο εξόδου του μετάλλου.

λ/nm	E_{κ}/eV
100	10,1
200	3,94
300	1,88
400	0,842
500	0,222

1. Μετατρέπουμε το μήκος κύματος σε συχνότητα:
 $\nu = c/\lambda$
2. Μετατρέπουμε τα eV σε Joule:
 $1 \text{ eV} = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ J}$
3. Σχεδιάζουμε τη γραφική παράσταση E_{κ} vs ν .
4. Η κλίση της ευθείας μας δίνει το h και η τεταγμένη το Φ .

$$E_{\kappa} = h\nu - \Phi$$

όπου Φ είναι το έργο εξόδου του μετάλλου.

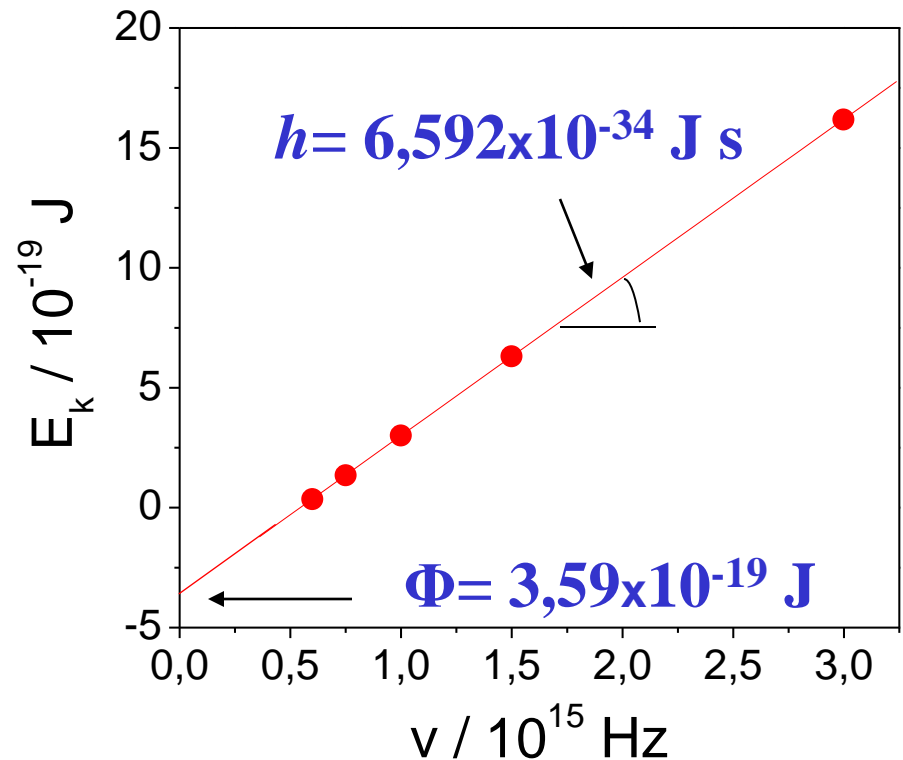
Άσκηση 6

Στον Πίνακα δίνεται η κινητική ενέργεια (E_k) των εξερχόμενων ηλεκτρονίων ως συνάρτηση του μήκους κύματος (λ) της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια μεταλλικού νατρίου (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). Να υπολογιστούν (α) η σταθερά του Planck και (β) το έργο εξόδου του μετάλλου.

Η ακριβής τιμή της **σταθεράς του Planck** είναι:

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$E_k = h\nu - \Phi$$



Άσκηση 7

Ένα φωτο-προωθούμενο διαστημικό όχημα μάζας **10,0 kg** εκπέμπει ακτινοβολία με μήκος κύματος **225 nm** και ισχύ **1,50 kW**, με διεύθυνση αποκλειστικά προς τα πίσω. Ποια θα είναι η ταχύτητα του οχήματος μετά από **10 χρόνια** ανεμπόδιστης κίνησης στο διάστημα;

Η ορμή του κάθε φωτονίου είναι $p = h/\lambda$.

Αν N είναι ο συνολικός αριθμός των φωτονίων που εκπέμπονται, η ορμή που θα αποκτήσει το όχημα σε χρόνο t θα είναι:

$$p_{\text{tot}} = Np = \frac{Nh}{\lambda}$$

Ο αριθμός των φωτονίων που εκπέμπονται σε χρόνο t υπολογίζεται από το λόγο του ρυθμού εκπομπής ενέργειας προς την ενέργεια του ενός φωτονίου:

$$N = \left(\frac{P}{h\nu} \right) t = \frac{P t \lambda}{hc}$$

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις :

$$u = \frac{p_{\text{tot}}}{m} = \frac{Nh}{m\lambda} = \frac{P t \lambda}{hc} \frac{h}{m\lambda} \Rightarrow u = \frac{P t}{cm} \Rightarrow u = 158 \text{ m s}^{-1}$$

Άσκηση 8

Να υπολογιστεί το μήκος κύματος ηλεκτρονίων, τα οποία επιταχύνονται από στάση κάτω από την επίδραση διαφοράς δυναμικού **40 kV**.

Η ενέργεια που αποκτά ένα ηλεκτρόνιο μέσω διαφοράς δυναμικού ΔV είναι $e \cdot \Delta V$.

$$E_K = \frac{1}{2} m_e u^2 = \frac{p^2}{2m_e} = e \Delta V \Rightarrow p = (2m_e e \Delta V)^{1/2}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{(2m_e e \Delta V)^{1/2}} \Rightarrow \lambda = 6,1 \times 10^{-12} \text{ m}$$

Το μήκος κύματος αυτό (**6,1 pm**) είναι μικρότερο από το μήκος δεσμών στα μόρια (**~100 pm**).

Για το λόγο αυτό, επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια χρησιμοποιούνται στην τεχνική της περίθλασης ηλεκτρονίων για τον προσδιορισμό της μοριακής δομής.

$$1 \text{ V C} = 1 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$\Delta V = 4,0 \times 10^4 \text{ V}$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,609 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Άσκηση 9

Μια πανίσχυρη σύγχρονη τεχνική για την μελέτη της δομής της ύλης είναι η **περίθλαση νετρονίων** (neutron diffraction).

Η μέθοδος περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας δέσμης νετρονίων ορισμένης θερμοκρασίας από μια πηγή νετρονίων υψηλής ενέργειας.

Αν η ταχύτητα ενός νετρονίου δίνεται από τη σχέση $u_n = (3k_B T / m_n)^{1/2}$ ποια είναι η θερμοκρασία που απαιτείται ώστε τα νετρόνια να έχουν μήκος κύματος de Broglie ίσο με 50 pm; Δίνεται: $m_n = 1,67 \times 10^{-27}$ kg.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_n u_n} = \frac{h}{(3m_n k_B T)^{1/2}} \Rightarrow T = \frac{h^2}{3m_n k_B \lambda^2}$$

$$T = \frac{(6,626 \times 10^{-34} \text{ J s})^2}{3 \times (1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (1,381 \times 10^{-23} \text{ J s}^{-1}) \times (50 \times 10^{-12} \text{ m})^2}$$

$$\Rightarrow T = 2500 \text{ K}$$

Άλυτες Ασκήσεις

Η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης είναι **288 K**. Να υπολογιστεί το μήκος κύματος στο μέγιστο της ακτινοβολίας μέλανος σώματος της Γης. Σε ποιο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αντιστοιχεί η ακτινοβολία αυτή; Ποια η σχέση με το “φαινόμενο του θερμοκηπίου;”

Μια συσκευή αναπαραγωγής Blu-Ray χρησιμοποιεί δίοδο laser με ισχύ 5 mW, η οποία εκπέμπει φως με μήκος κύματος $\lambda=405$ nm. Πόσα φωτόνια εκπέμπονται από τη συσκευή αυτή ανά δευτερόλεπτο;

Όταν μια καθαρή επιφάνεια αργύρου ακτινοβολείται με φως μήκους κύματος 230 nm, η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που εκδιώκονται από το μέταλλο είναι 0,805 eV. **(α)** Να υπολογιστεί το έργο εξόδου του αργύρου. **(β)** Ποιο είναι το κατώφλι της συχνότητας της ακτινοβολίας που απαιτείται για την εκδίωξη ηλεκτρονίων από τον άργυρο; ($1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$).

Έστω ηλεκτρόνιο με κινητική ενέργεια 1.0 eV (δηλ. έχει επιταχυνθεί σε πεδίο με διαφορά δυναμικού 1 V). **(α)** Να υπολογιστεί η ορμή του ηλεκτρονίου, και να συγκριθεί με την ορμή ενός “τυπικού” μορίου αερίου N_2 σε θερμοκρασία δωματίου, το οποίο κινείται με ταχύτητα ~ 500 m/s). **(β)** Να υπολογιστεί η ταχύτητα του ηλεκτρονίου και να συγκριθεί με την ταχύτητα του φωτός. **(γ)** Να υπολογιστεί το μήκος κύματος του ηλεκτρονίου, και να συγκριθεί με τη διάμετρο του ατόμου του υδρογόνου (~ 128 pm)

Άλυτες Ασκήσεις

Έστω φούρνος μικροκυμάτων με πηγή που παράγει ακτινοβολία συχνότητας $2,0$ GHz. **(α)** Αν το πλάτος του φούρνου είναι 30 cm, πόσα μήκη κύματος “χωρούν” σε αυτή τη διάσταση; Στο φούρνο τοποθετούμε φλυτζάνι που περιέχει 250 mL νερό. **(β)** Πόσα φωτόνια πρέπει να απορροφηθούν ώστε η θερμοκρασία του νερού να ανεβεί από τους 25 °C στους 80 °C; Για απλότητα υποθέστε ότι η πυκνότητα του νερού ($1,0$ g/mL) και η θερμοχωρητικότητά του ($4,184$ J/g °C) δε μεταβάλλονται σε αυτή τη θερμοκρασιακή περιοχή.

Σε μια συσκευή μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, η άνοδος αποτελείται από ψευδάργυρο (Zn), ο οποίος έχει έργο εξόδου $4,24$ eV. Το ηλεκτρόδιο έχει επιφάνεια $1,8$ cm² και ακτινοβολείται με φως συχνότητας $3,5 \times 10^{15}$ Hz και έντασης $2,7 \times 10^3$ W/m². **(α)** Να υπολογιστεί η ενέργεια του καθενός φωτονίου της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. **(β)** Πόση ενέργεια απαιτείται για την εκδίωξη ενός φωτοηλεκτρονίου από το ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου; **(γ)** Υποθέτοντας ότι το σύνολο της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας προσπίπτει στο ηλεκτρόδιο Zn, πόσα φωτόνια προσπίπτουν στο ηλεκτρόδιο ανά δευτερόλεπτο; **(δ)** Ποιο είναι το κατώφλι συχνότητας των φωτονίων κάτω από το οποίο δεν εκπέμπονται φωτοηλεκτρόνια από την επιφάνεια του Zn; **(ε)** Ποια είναι η μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων που εκπέμπονται από τον Zn; **(στ)** Ποιο είναι το δυναμικό ανάσχεσης για τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από το ηλεκτρόδιο;

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Ιστορικού εκδόσεων έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.

Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών. Αναπληρωτής Καθηγητής, Δημήτρης Κονταρίδης. «Φυσικοχημεία Ι». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2172/>

Σημείωμα αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.