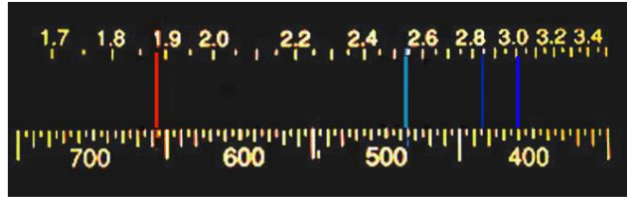


Το γραμμικό φάσμα εκπομπής του Υδρογόνου και ο Bohr

α) Μια λυχνία H_2 εκπέμπει φως, που αναλύεται με το φασματοσκόπιο και δίνει το παρακάτω φάσμα.



Φάσμα λυχνίας υδρογόνου (H_2)

Ποιο είδος φάσματος παρατηρούμε; Προσδιορίστε τα μήκη κύματος και τις συχνότητες, των τεσσάρων φασματικών γραμμών, που είναι ορατές. Δίνεται η ταχύτητα του φωτός στο κενό $c = 3 \cdot 10^8 m/s$ και η σταθερά του Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} Js$.

β) Τι εξήγηση έδωσε ο Bohr για αυτό το φάσμα;

γ) Υπολογίστε τις 3 πρώτες διεγερμένες ενεργειακές στάθμες του ατόμου του H σε eV , καθώς και την μέγιστη ενέργεια, που θα μπορούσε να έχει το ηλεκτρόνιο. Σχεδιάστε το διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών που υπολογίσατε, σε βαθμολογημένο άξονα.

δ) Υπολογίστε την ενέργεια διέγερσης του ηλεκτρονίου για μετάβαση από $E_1 \rightarrow E_2$, $E_1 \rightarrow E_3$, $E_1 \rightarrow E_4$, $E_1 \rightarrow E_\infty$ (ενέργεια ιονισμού).

ε) Αν τα ιόντα-βλήματα μέσα στη λυχνία υδρογόνου έχουν κινητική ενέργεια $K_{βλ(αρχ)}$, που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, κάποια από αυτά μπορούν να διεγείρουν άτομα υδρογόνου. Συμπληρώστε τις υπόλοιπες στήλες του πίνακα, εξηγώντας πως προέκυψαν. Υποθέτουμε ότι σε κάθε άτομο H, το ηλεκτρόνιο βρίσκεται αρχικά στη θεμελιώδη ενεργειακή του στάθμη.

$K_{βλ(αρχ)}(eV)$	Σύγκριση $K_{βλ(αρχ)} - E_\delta$	E_f	$K_{βλ(τελ)}(eV)$
9,59			
11,2			
12,5			
12,75			
13,6			

στ) Αφού παραμείνει για $10^{-8}s$ σε διεγερμένη στάθμη, το ηλεκτρόνιο επιστρέφει στη θεμελιώδη του E_1 . Υπολογίστε τα μήκη κύματος των πιθανών φωτονίων, που μπορεί να εκπέμπει και σχεδιάστε στο διάγραμμα ενεργειακών σταθμών τις αντίστοιχες μεταβάσεις. Δίνεται ότι $hc = 1243 eV \cdot nm$.

Απάντηση

α) Όταν κοιτάζουμε ένα φάσμα μέσα από το φασματογράφο, ας θυμόμαστε ότι βρισκόμαστε «σε απευθείας σύνδεση» με το μικρόκοσμο...»

Εδώ παρατηρούμε ένα **γραμμικό φάσμα εκπομπής**.

Με τη βοήθεια της κλίμακας του οργάνου διαβάζουμε τις τιμές των μηκών κύματος σε nm και υπολογίζουμε - με κομπιουτεράκι - τις αντίστοιχες συχνότητες, από το θεμελιώδη νόμο της Κυματικής.

Για την κόκκινη γραμμή: $\lambda_1 = 656 nm$

$$f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \cdot 10^8 m/s}{656 \cdot 10^{-9} m} = 0,0046 \cdot 10^{17} Hz = 4,6 \cdot 10^{14} Hz$$

Για την γαλάζια γραμμή: $\lambda_2 = 486 nm$

$$f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{486 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 0,0062 \cdot 10^{17} \text{ Hz} = 6,2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Για την μπλε γραμμή: $\lambda_3 = 434 \text{ nm}$

$$f_3 = \frac{c}{\lambda_3} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{434 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 0,0069 \cdot 10^{17} \text{ Hz} = 6,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Για την βιολετί γραμμή: $\lambda_4 = 410 \text{ nm}$

$$f_4 = \frac{c}{\lambda_4} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{410 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 0,0073 \cdot 10^{17} \text{ Hz} = 7,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Την ενέργεια που έχει ένα φωτόνιο του κάθε χρώματος, τη βρίσκουμε από τη σχέση του Planck.

Για την κόκκινη γραμμή:

$$E_1 = h \cdot f_1 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 4,6 \cdot 10^{14} = 3,05 \cdot 10^{-19} \text{ J} \xrightarrow{/1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} 1,9 \text{ eV}$$

Για την γαλάζια γραμμή:

$$E_2 = h \cdot f_2 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 6,2 \cdot 10^{14} = 4,1 \cdot 10^{-19} \text{ J} \xrightarrow{/1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} 2,6 \text{ eV}$$

Για την μπλε γραμμή:

$$E_3 = h \cdot f_3 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 6,9 \cdot 10^{14} = 4,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \xrightarrow{/1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} 2,9 \text{ eV}$$

Για την βιολετί γραμμή:

$$E_4 = h \cdot f_4 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 7,3 \cdot 10^{14} = 4,8 \cdot 10^{-19} \text{ J} \xrightarrow{/1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} 3,0 \text{ eV}$$

Έτσι έχουμε τον παρακάτω πίνακα:

Χρώμα	$\lambda(\text{nm})$	$f(*10^{15}\text{Hz})$	$E(\text{eV})$
Κόκκινο	656	4,6	1,9
Γαλάζιο	486	6,2	2,6
Μπλε	434	6,9	2,9
Βιολετί	410	7,3	3,0

β) Ο Bohr θεώρησε ότι το ηλεκτρόνιο του ατόμου H περιστρέφεται γύρω από τον πυρήνα σε καθορισμένες (επιτρεπόμενες) κυκλικές τροχιές, έχοντας αρνητική ολική ενέργεια (αφού είναι δεσμευμένο στο ηλεκτρικό πεδίο του πυρήνα), που παίρνει διακριτές (κβαντωμένες) τιμές σύμφωνα με τη σχέση

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

όπου $E_1 = -13,6 \text{ eV}$ η ενέργεια του ηλεκτρονίου στην πρώτη επιτρεπόμενη τροχιά

(θεμελιώδης ενεργειακή στάθμη) και $n = 1, 2, 3, \dots \infty$ ο κύριος κβαντικός αριθμός.

Στη λυχνία αερίου H_2 τα άτομα H διεγείρονται με κρούση από ιόντα - βλήματα, που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες και το ηλεκτρόνιο ενός διεγερμένου ατόμου, παίρνει ενέργεια εξαιτίας της κρούσης και «ανεβαίνει» σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη E_2, E_3, \dots . Μετά από πολύ μικρό χρόνο (10^{-8} s), επιστρέφει (αποδιεγείρεται) στη θεμελιώδη στάθμη και η ενέργεια που απορρόφησε επανεκπέμπεται στο περιβάλλον. Μα τα ενεργειακά άλματα είναι μόνο ανάμεσα σε επιτρεπόμενες ενεργειακές στάθμες, άρα και το ποσό της αποβαλλόμενης ενέργειας είναι ίσο με την διαφορά

$$\Delta E = E_i - E_f$$

με E_i = αρχική ενέργεια, E_f = τελική ενέργεια.

Αυτό ακριβώς το ποσό ενέργειας αποβάλλεται σε «πακέτα», δηλαδή με ένα ή περισσότερα **φωτόνια**.

Βάσει όμως της εξίσωσης του Planck, μπορούμε να γράψουμε

$$\Delta E = h \cdot f$$

όπου f η συχνότητα του εκπεμπόμενου φωτονίου, στο ενεργειακό άλμα.

Συμπέρασμα:

Αυστηρά καθορισμένα φωτόνια → **αυστηρά καθορισμένα μήκη κύματος** → **μεμονωμένες φασματικές γραμμές** → **γραμμικό φάσμα εκπομπής**.

γ)

$$1^{\text{η}} \text{ διεγερμένη: } E_2 = \frac{E_1}{2^2} = \frac{-13,6 \text{ eV}}{4} = -3,4 \text{ eV}$$

$$2^{\text{η}} \text{ διεγερμένη: } E_3 = \frac{E_1}{3^2} = \frac{-13,6 \text{ eV}}{9} = -1,51 \text{ eV}$$

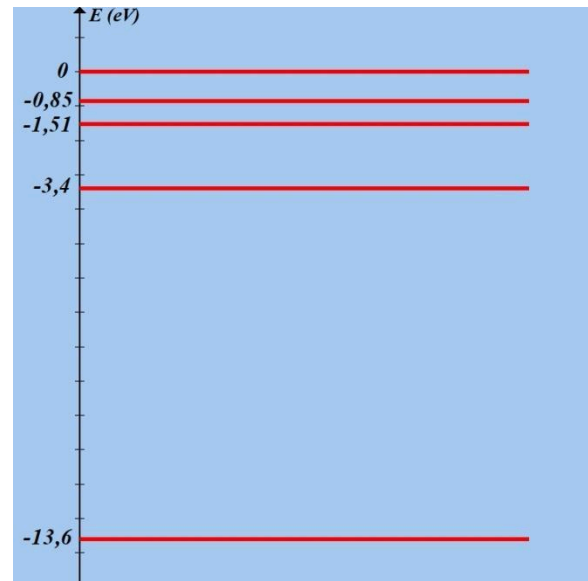
$$3^{\text{η}} \text{ διεγερμένη: } E_4 = \frac{E_1}{4^2} = \frac{-13,6 \text{ eV}}{16} = -0,85 \text{ eV}$$

Η μέγιστη τιμή της ενέργειας του ηλεκτρονίου

$$\text{προκύπτει προφανώς από τη σχέση } E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

για $n \rightarrow \infty$, οπότε $E_\infty = 0$.

Το διάγραμμα ενεργειακών σταθμών φαίνεται στη διπλανή εικόνα.



δ)

$$E_{\delta(1 \rightarrow 2)} = E_2 - E_1 = -3,4 - (-13,6) = 10,2 \text{ eV}$$

$$E_{\delta(1 \rightarrow 3)} = E_3 - E_1 = -1,51 - (-13,6) = 12,09 \text{ eV}$$

$$E_{\delta(1 \rightarrow 4)} = E_4 - E_1 = -0,85 - (-13,6) = 12,75 \text{ eV}$$

ε) Αν το βλήμα έχει κινητική ενέργεια

$$K_{\beta\lambda(\text{αρχ})} \geq E_f - E_i$$

το ηλεκτρόνιο διεγείρεται στην E_f , αλλιώς παραμένει στην E_i . Αν διεγερθεί, θα απορροφήσει την απαιτούμενη ενέργεια διέγερσης από το βλήμα και το βλήμα θα κρατήσει το υπόλοιπο ποσό ως κινητική ενέργεια, σύμφωνα με την ΑΔΕ:

$$K_{\beta\lambda(\text{τελ})} = K_{\beta\lambda(\text{αρχ})} - E_{\delta(i \rightarrow f)}$$

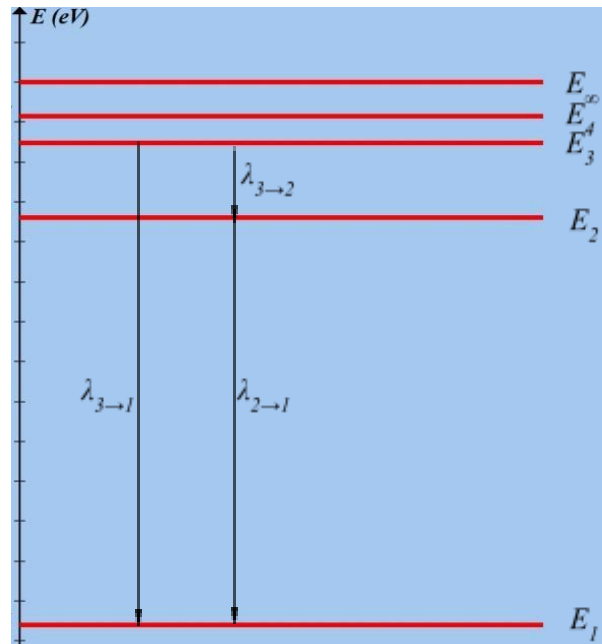
(eV)

$K_{\beta\lambda(\text{αρχ})}(\text{eV})$	Σύγκριση $K_{\beta\lambda(\text{αρχ})} - E_{\delta(i \rightarrow f)}$	$E_f(\text{eV})$	$K_{\beta\lambda(\text{τελ})}(\text{eV})$
9,59	$K_{\beta\lambda(\text{αρχ})} < 10,2$	E_1	9,59
11,2	$10,2 < K_{\beta\lambda(\text{αρχ})} < 12,09$	E_2	1
12,5	$12,09 < K_{\beta\lambda(\text{αρχ})} < 12,75$	E_3	2,3
12,75	$12,75 = K_{\beta\lambda(\text{αρχ})}$	E_4	0

$13,6$	$13,6 = K_{βλ(ααγ)}$	0	0
--------	----------------------	-----	-----

Στην τελευταία γραμμή του πίνακα έχουμε βλήμα, που διαθέτει ακριβώς κινητική ενέργεια ίση με την **ενέργεια ιονισμού**, άρα το ηλεκτρόνιο απομακρύνεται από το άτομο.

στ)



Η αποδιέγερση του ηλεκτρονίου μπορεί να γίνει με τους δύο τρόπους που βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα.

Με τον 1^ο τρόπο εκπέμπεται ένα φωτόνιο μήκους κύματος $\lambda_{3 \rightarrow 1}$ ώστε:

$$\Delta E_{3 \rightarrow 1} = hf_{3 \rightarrow 1} \Leftrightarrow \Delta E_{3 \rightarrow 1} = h \frac{c}{\lambda_{3 \rightarrow 1}} \Leftrightarrow \lambda_{3 \rightarrow 1} = \frac{hc}{\Delta E_{3 \rightarrow 1}}$$

$$\lambda_{3 \rightarrow 1} = \frac{hc}{E_3 - E_1} \Leftrightarrow \lambda_{3 \rightarrow 1} = \frac{1243 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{12,09 \text{ eV}} \Leftrightarrow \lambda_{3 \rightarrow 1} = 103 \text{ nm}$$

δηλαδή **αόρατο υπεριώδες**.

Με τον 2^ο τρόπο εκπέμπονται δύο φωτόνια με μήκη κύματος:

$$\lambda_{3 \rightarrow 2} = \frac{hc}{\Delta E_{3 \rightarrow 2}} \Leftrightarrow \lambda_{3 \rightarrow 2} = \frac{hc}{E_3 - E_2} \Leftrightarrow \lambda_{3 \rightarrow 2} = \frac{1243 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{1,89 \text{ eV}} \Leftrightarrow \lambda_{3 \rightarrow 2} = 658 \text{ nm}$$

δηλαδή **ορατό κόκκινο** και

$$\lambda_{2 \rightarrow 1} = \frac{hc}{\Delta E_{2 \rightarrow 1}} \Leftrightarrow \lambda_{2 \rightarrow 1} = \frac{hc}{E_2 - E_1} \Leftrightarrow \lambda_{2 \rightarrow 1} = \frac{1243 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{10,2 \text{ eV}} \Leftrightarrow \lambda_{2 \rightarrow 1} = 122 \text{ nm}$$

δηλαδή **αόρατο υπεριώδες**.

Σχόλια για μαθητές Θετικής κατεύθυνσης

Για να επιτύχουμε ιονισμό με κρούση ατόμων υδρογόνου, χρειαζόμαστε μέση κινητική ενέργεια $13,6 \text{ eV} = 21,76 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, που προκύπτει από την κινητική θεωρία των αερίων:

$$\bar{K} = \frac{3}{2} kT \Leftrightarrow T = \frac{2\bar{K}}{3k} = \frac{2 \cdot 21,76 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 1,05 \cdot 10^5 \text{ K}$$

Σε αυτή τη θερμοκρασία η κατάσταση της ύλης λέγεται **πλάσμα**.

Το πλάσμα είναι η τέταρτη κατάσταση της ύλης, διαφορετική από τη στερεά, την υγρή και την αέρια. Στο πλάσμα, τα άτομα έχουν ιονιστεί, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια μίξη

από θετικά φορτισμένα ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αυτή η διαδικασία ιονισμού προσδίδει ηλεκτρική αγωγιμότητα στο υλικό.

Το πλάσμα βρίσκεται στη φύση συνήθως σε φαινόμενα, που αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες., Υπάρχει στα αστέρια (όπως ο Ήλιος), στους κεραυνούς και ορισμένους τύπους φλόγας. Μπορεί επίσης να παράγεται τεχνητά σε εργαστηριακές συνθήκες, με τόξο πλάσματος, ηλεκτρικές εκκενώσεις, θέρμανση αερίων σε υψηλές θερμοκρασίες.

Πολύ σημαντική εφαρμογή της δημιουργίας πλάσματος είναι οι θερμοπυρηνικοί αντιδραστήρες σύντηξης, που ίσως λύσουν το ενεργειακό πρόβλημα της ανθρωπότητας.

Ο πιο ισχυρός αντιδραστήρας είναι ο JT – 60SA στην Νάκα, κοντά στο Τόκιο. Είναι ειδικά κατασκευασμένος ώστε να μπορεί να ανεβάζει τη θερμοκρασία του πλάσματος στους **200 εκατομμύρια βαθμούς κελσίου** και να διατηρεί αυτή την κατάσταση για 100 δευτερόλεπτα, μέσα στον κυκλικό, μαγνητικά μεμονωμένο αντιδραστήρα. Ο χρόνος αυτός ξεπερνά σημαντικά τις δυνατότητες των αντιδραστήρων προηγούμενης τεχνολογίας «Tokamak».

Κατά τη διαδικασία, πραγματοποιείται η σύντηξη πυρήνων υδρογόνου σε ήλιο, απελευθερώνοντας ενέργεια με τη μορφή φωτός και θερμότητας. Αν όλα λειτουργήσουν κατά το σχέδιο, τότε θα επιτευχθεί η παραγωγή ενέργειας με τον ίδιο τρόπο που το κάνει ο Ήλιος μας!

Ανδρέας Ριζόπουλος