

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό φιλοδοξεί ν' αποτελέσει σημαντικό βοήθημα για τους μαθητές της θετικής κατεύθυνσης. Θεωρώ ότι τους βοηθά στην κατανόηση της εξεταζόμενης ύλης, τους εξοικειώνει με τα θέματα των εξετάσεων και τους καθιστά ικανούς να επιτύχουν τους στόχους τους.

Η συγγραφική αυτή εργασία περιλαμβάνει:

- **Αναλυτική παρουσίαση της θεωρίας.**
- **Ερωτήσεις κρίσεως, πολλαπλής επιλογής, τύπου σωστό-λάθος, αντιστοίχισης** για την ουσιαστική κατανόηση της ύλης.
- **Ασκήσεις και προβλήματα** που αντιπροσωπεύουν όλες τις περιπτώσεις τις οποίες μπορεί να συναντήσει ο μαθητής στις εξετάσεις.
- **Θέματα εξετάσεων** προηγούμενων ετών.
- **Κριτήρια αξιολόγησης**, ώστε ο μαθητής να ελέγχει τις γνώσεις του.
- **Απαντήσεις των εφαρμογών, των ασκήσεων και των προβλημάτων του σχολικού βιβλίου.**

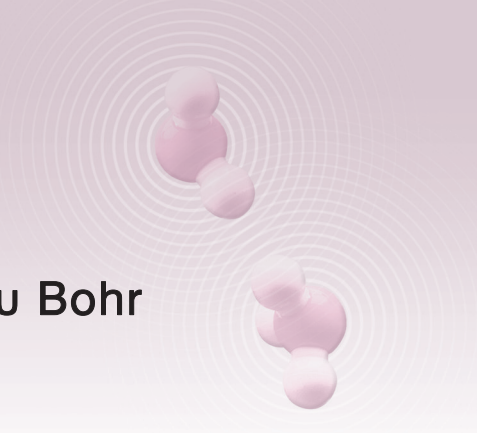
Κώστας Στ. Σαλτερής

Διδάκτωρ Χημικός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Το ατομικό πρότυπο του Bohr.	9
2.	Η κβαντομηχανική εικόνα του ατόμου - Τροχιακά	34
3.	Κβαντικοί αριθμοί.	45
4.	Ηλεκτρονιακή δόμηση των ατόμων	74
5.	Περιοδικός Πίνακας	117
6.	Μεταβολή ορισμένων περιοδικών ιδιοτήτων	159
7.	Ηλεκτρονιακοί τύποι κατά Lewis	191
8.	Επαναληπτικά θέματα: Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων και Περιοδικός Πίνακας	224
9.	Οξέα - Βάσεις – Ιοντικά υδατικά διαλύματα.	242
10.	Ιοντισμός οξέων - βάσεων	267
11.	Ιοντισμός του νερού - pH	314
12.	Ασκήσεις στο pH	348
13.	Υδατικά διαλύματα αλάτων	382
14.	Επίδραση κοινού ιόντος	422
15.	Ανάμειξη διαλυμάτων ηλεκτρολυτών	462
16.	Ασκήσεις με διερεύνηση	495
17.	Ρυθμιστικά διαλύματα	517
18.	Δείκτες - Ογκομέτρηση	566
19.	Επαναληπτικά θέματα: Οξέα - Βάσεις και ιοντική ισορροπία	614
	<i>Απαντήσεις - Υποδείξεις</i>	<i>643</i>
	<i>Απαντήσεις των εφαρμογών, των ασκήσεων και των προβλημάτων του σχολικού βιβλίου.</i>	<i>747</i>

Το ατομικό πρότυπο του Bohr



Τι πρέπει να γνωρίζετε

1. Κβαντική θεωρία του Planck

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται και απορροφάται όχι με συνεχή τρόπο, αλλά σε μικρά «πακέτα» ενέργειας (**κβάντα**).

Φωτόνια ονομάζονται τα κβάντα του φωτός ή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γενικότερα. Κάθε φωτόνιο μεταφέρει ενέργεια που δίνεται από τη σχέση

$$E_{\text{φωτονίου}} = hf, \quad \text{όπου } h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \text{ η σταθερά του Planck}$$

2. Ατομικό πρότυπο του Bohr

i) **Μηχανική συνθήκη:** Το ηλεκτρόνιο κινείται γύρω από τον πυρήνα σε ορισμένες **κυκλικές τροχιές** που έχουν καθορισμένη ενέργεια (**κβαντισμένη**). Η συνολική ενέργεια του ηλεκτρονίου δίνεται από τη σχέση

$$E_n = - \frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ J}, \quad \text{όπου } n = 1, 2, 3 \text{ κ.ο.κ. ο κύριος κβαντικός αριθμός}$$

- Όταν $n = 1$: **θεμελιώδης** κατάσταση, ενώ όταν $n = 2, 3$ κ.ο.κ.: **διεγερμένη** κατάσταση.

ii) **Οπτική συνθήκη:** το ηλεκτρόνιο εκπέμπει ή απορροφά ακτινοβολία (φωτόνια) μόνο όταν **αλλάζει ενεργειακή στάθμη** ($E_i \rightarrow E_f$). Ισχύει

$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_{\text{φωτονίου}} = hf = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

3. Το ατομικό πρότυπο του Bohr ερμήνευσε με επιτυχία το **γραμμικό φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου**, ενώ μπορεί να επεκταθεί και στα **υδρογονοειδή ιόντα** (${}_2\text{He}^+$, ${}_3\text{Li}^{2+}$ κ.ά.). Αντίθετα, δεν μπορεί να ερμηνεύσει τα φάσματα εκπομπής των πολυηλεκτρονιακών ατόμων, ούτε τον χημικό δεσμό.

Ερωτήσεις θεωρίας

1.1 Η κβαντική θεωρία του Planck.

Το 1900 ο Γερμανός φυσικός **Max Planck** για να ερμηνεύσει την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα θερμό σώμα διατύπωσε την κβαντική θεωρία, την οποία εφάρμοσε αργότερα ο Einstein (1905) για την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Σύμφωνα με την **κβαντική θεωρία (θεωρία των κβάντα)**:

- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (επομένως και το φως) εκπέμπεται και απορροφάται **όχι κατά συνεχή τρόπο** (δηλαδή ασυνεχώς), αλλά σε μικρά «πακέτα» ενέργειας που ονομάζονται **κβάντα** (quantum).
- Τα **κβάντα του φωτός** ή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γενικότερα ονομάζονται **φωτόνια**.

Κβάντα: προέρχεται από τη λατινική λέξη quantum: ποσό, ποσότητα.

Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του Planck, κάθε κβάντο **μεταφέρει ενέργεια E** η οποία είναι **ανάλογη** με τη συχνότητα της ακτινοβολίας (**f**). Η ενέργεια ενός κβάντου δίνεται από τη σχέση

$$E = hf$$

όπου: E: η ενέργεια του κβάντου (σε J),

h: η σταθερά του Planck, η οποία είναι ίση με $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$,

f: η συχνότητα της ακτινοβολίας (σε s^{-1} ή Hz).

Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από τεράστιο αριθμό φωτονίων (ριπή φωτονίων), το καθένα από τα οποία έχει ενέργεια $E = hf$. Επομένως η **ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι κβαντισμένη**, δηλαδή παίρνει **ορισμένες μόνο τιμές**, που είναι ακέραια πολλαπλάσια της στοιχειώδους ποσότητας hf. (Η ολική ενέργεια μιας ακτινοβολίας που αποτελείται από N φωτόνια είναι $E_{\text{ακτινοβ.}} = N \cdot E_{\text{φωτ.}} = N \cdot hf$.)

Κβαντισμένο μέγεθος είναι ένα μέγεθος που παίρνει ορισμένες **μόνο διακριτές τιμές**, δηλαδή το σύνολο των τιμών του δεν είναι συνεχές. Για παράδειγμα, κβαντισμένο μέγεθος είναι το ηλεκτρικό φορτίο, αφού παίρνει μόνο ορισμένες τιμές που είναι ακέραια πολλαπλάσια της τιμής του στοιχειώδους φορτίου του ηλεκτρονίου: $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Η κβαντική θεωρία του Planck δεν αναιρεί την κυματική φύση του φωτός. Το φωτόνιο έχει κυματικές ιδιότητες, όπως είναι για παράδειγμα η ενέργειά του ($E = hf$), η οποία εξαρτάται από τη συχνότητά του,

Φωτόνιο:

το στοιχειώδες ποσό ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Το φως έχει διπλή φύση:
σωματίδιο + κύμα

είναι δηλαδή κυματική ιδιότητα. Ταυτόχρονα όμως το φωτόνιο έχει και σωματιδιακές ιδιότητες, όπως για παράδειγμα όταν προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια μετάλλου (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο).

1.2 Το ατομικό πρότυπο του Bohr.

Το 1913 ο Δανός φυσικός **Niels Bohr** πρότεινε ένα ατομικό πρότυπο το οποίο **συνδυάζει** την ιδέα του ατομικού **πλανητικού προτύπου του Rutherford** και την **κβαντική θεωρία του Planck**. Το ατομικό πρότυπο του Bohr εφαρμόζεται για το **άτομο του υδρογόνου** (${}_1\text{H}$) και τα **υδρογονοειδή** ιόντα (ιόντα που έχουν ένα ηλεκτρόνιο και έναν πυρήνα, π.χ. ${}_2\text{He}^+$, ${}_3\text{Li}^{2+}$) και μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά με δύο συνθήκες:

1η συνθήκη (μηχανική συνθήκη)

Το ηλεκτρόνιο κινείται γύρω από τον πυρήνα σε ορισμένες μόνο **κυκλικές τροχιές**, οι οποίες έχουν καθορισμένη απόσταση (ακτίνα r) από τον πυρήνα (**επιτρεπόμενες τροχιές**). Κάθε επιτρεπόμενη τροχιά έχει **καθορισμένη ενέργεια**, είναι δηλαδή **κβαντισμένη**.

Η **ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου** (το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας) στο άτομο του υδρογόνου δίνεται από τη σχέση

$$E_n = - \frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ J}$$

όπου **n** : ο **κύριος κβαντικός αριθμός**, ο οποίος παίρνει θετικές ακέραιες τιμές **$n = 1, 2, 3$** κ.ο.κ., καθορίζει την **ενεργειακή στάθμη του ηλεκτρονίου** και δείχνει τη στιβάδα στην οποία κινείται το ηλεκτρόνιο (K, L, M κ.ά.).

- Η **ενέργεια** του ηλεκτρονίου έχει **αρνητικό πρόσημο**.

Το αρνητικό πρόσημο στην έκφραση της ενέργειας του ηλεκτρονίου έχει τη φυσική σημασία ότι **απαιτείται προσφορά ενέργειας** για να απομακρυνθεί το ηλεκτρόνιο σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα.

Ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου ονομάζουμε την ενέργεια του συστήματος που αποτελείται από το ηλεκτρόνιο και τον ακίνητο πυρήνα. Η ενέργεια αυτή είναι κινητική $\left(K = \frac{1}{2}mv^2\right)$ και δυναμική $\left(U = -k \cdot \frac{e^2}{r}\right)$.

- Η **ενέργεια** του ηλεκτρονίου είναι **κβαντισμένη**. Η ενέργεια του ηλεκτρονίου έχει μόνο ορισμένες τιμές (**ενεργειακές στάθμες** E_1, E_2, E_3 κ.ο.κ.).
- Η **τιμή της ενέργειας** εξαρτάται από την τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού **n** . Όσο **αυξάνεται η τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού n** , τόσο **αυξάνεται** (αλγεβρικά) και η **τιμή της ενέργειας του ηλεκτρονίου**. Δηλαδή όσο το ηλεκτρόνιο απομακρύνεται από τον πυρήνα, τόσο αυξάνεται η ενέργειά του.

$$n = 1: E_1 = -2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$n = 2: E_2 = -\frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{4} \text{ J}$$

$$n = 3: E_3 = -\frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{9} \text{ J}$$

.....

$$n \rightarrow \infty: E_n \rightarrow 0$$

Στο ατομικό πρότυπο του Bohr για τις ακτίνες των επιτρεπόμενων τροχιών ισχύει η σχέση $r_n = n^2 \cdot r_1$, όπου $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ είναι η μικρότερη ακτίνα επιτρεπόμενης τροχιάς ($n = 1$) και ονομάζεται **ακτίνα Bohr**.

2η συνθήκη (οπτική συνθήκη)

Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται σε μια ορισμένη επιτρεπόμενη τροχιά, η ενεργειακή του κατάσταση είναι σταθερή, οπότε δεν εκπέμπει ακτινοβολία. Το ηλεκτρόνιο **εκπέμπει ή απορροφά ενέργεια** υπό μορφή ακτινοβολίας μόνο **όταν μεταπηδά από μια τροχιά σε μια άλλη**, δηλαδή **όταν αλλάζει ενεργειακή στάθμη**.

Η διαφορά ενέργειας (ΔE) μεταξύ της τελικής ενεργειακής στάθμης (E_f) και της αρχικής ενεργειακής στάθμης (E_i) είναι ίση με την ενέργεια του φωτονίου που εκπέμπεται ή απορροφάται.

$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_{\text{φωτονίου}} = hf$$

i: initial (αρχική), f: final (τελική).

Κατά τη μετάβαση του ηλεκτρονίου από μια τροχιά χαμηλότερης ενέργειας (E_i) σε άλλη τροχιά υψηλότερης ενέργειας (E_f) **απορροφάται ενέργεια (διέγερση)**. Ισχύει

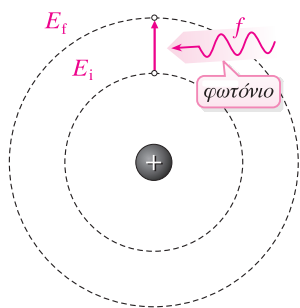
$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_f - E_i = hf \quad (E_f > E_i)$$

όπου f : η συχνότητα του φωτονίου της ακτινοβολίας που απορροφάται.

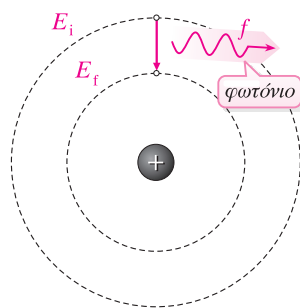
Κατά τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου από μια τροχιά υψηλότερης ενέργειας (E_i) σε μια άλλη τροχιά χαμηλότερης ενέργειας (E_f) **εκπέμπεται ακτινοβολία (αποδιέγερση)**. Ισχύει

$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_i - E_f = hf \quad (E_i > E_f)$$

όπου f : η συχνότητα του φωτονίου της ακτινοβολίας που εκπέμπεται.



α) Διέγερση: απορρόφηση φωτονίου.



β) Αποδιέγερση: εκπομπή φωτονίου.

Από τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής ($c = \lambda f$) προκύπτει ότι $f = \frac{c}{\lambda}$, οπότε αντικαθιστώντας έχουμε:

$$\Delta E = |E_f - E_i| = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

όπου $c = 3 \cdot 10^8$ m/s: η ταχύτητα του φωτός στο κενό και λ : το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή απορροφάται.

1.3 Θεμελιώδης και διεγερμένες καταστάσεις στο άτομο του υδρογόνου.

Θεμελιώδης κατάσταση ενός ατόμου ονομάζεται η κατάσταση με τη χαμηλότερη ενέργεια. Το άτομο του υδρογόνου έχει την ελάχιστη ενέργεια όταν το ηλεκτρόνιο κινείται στην πιο κοντινή τροχιά στον πυρήνα, δηλαδή όταν $n = 1$ (στιβάδα K). Ισχύει

$$E_1 = -2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} \quad \text{ελάχιστη ενέργεια}$$

Διεγερμένη κατάσταση ενός ατόμου ονομάζεται η κατάσταση η οποία έχει υψηλότερη ενέργεια από τη θεμελιώδη. Στο άτομο του υδρογόνου διεγερμένες καταστάσεις είναι όλες οι ενεργειακές στάθμες που έχουν $n > 1$, δηλαδή E_2, E_3, E_4 κ.ο.κ. (στιβάδες L, M, N κ.ο.κ.).

Η ενέργεια του ηλεκτρονίου σε μια διεγερμένη κατάσταση μπορεί να εκφραστεί σε συνάρτηση με την ενέργεια του ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση (E_1). Ισχύει

$$E_n = -\frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ J} \quad \text{ή} \quad E_n = \frac{E_1}{n^2}, \quad \text{όπου } n = 2, 3, 4 \text{ κ.ο.κ.}$$

Σε κάθε άτομο υπάρχει μία θεμελιώδης κατάσταση και άπειρες διεγερμένες.

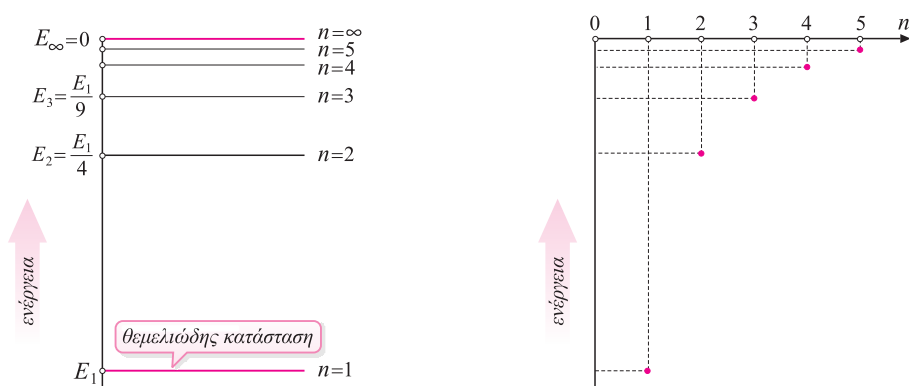
Κύριος κβαντικός αριθμός (στιβάδα)	$n = 1$ (K)	$n = 2$ (L)	$n = 3$ (M)	$n = 4$ (N)	...
Ενεργειακή στάθμη	$E_1 = -2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$	$E_2 = \frac{E_1}{4}$	$E_3 = \frac{E_1}{9}$	$E_4 = \frac{E_1}{16}$...
Κατάσταση ατόμου	θεμελιώδης	1η διεγερμένη	2η διεγερμένη	3η διεγερμένη	...

Αν το άτομο του υδρογόνου που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση ($n = 1$) **απορροφήσει ενέργεια** (για παράδειγμα με απορρόφηση ακτινοβολίας ή με κρούση με άλλο σωματίδιο), τότε το ηλεκτρόνιο του μπορεί να μεταπηδήσει σε άλλη επιτρεπόμενη τροχιά υψηλότερης ενέργειας (διέγερση). Η ενέργεια που απαιτείται για τη διέγερση του ατόμου ονομάζεται **ενέργεια διέγερσης**.

Η διεγερμένη κατάσταση είναι ασταθής κατάσταση. Η παραμονή του ηλεκτρονίου στη διεγερμένη κατάσταση **διαρκεί ελάχιστα** (10^{-10} s έως 10^{-8} s). Στη συνέχεια το ηλεκτρόνιο επανέρχεται στη θεμελιώδη κατάσταση (**αποδιέγερση**) είτε απευθείας με ένα άλμα είτε με περισσότερα διαδοχικά άλματα. Κάθε μετάπτωση του ηλεκτρονίου συνοδεύεται με εκπομπή ενός φωτονίου.

Η **ενέργεια** του ηλεκτρονίου αποκτά τη **μέγιστη** τιμή ($E = 0$) όταν το ηλεκτρόνιο απομακρυνθεί αρκετά, οπότε η έλξη του πυρήνα μηδενίζεται. Στην περίπτωση αυτή το ηλεκτρόνιο δεν ανήκει πλέον στο άτομο (είναι έξω από το ηλεκτρικό πεδίο του πυρήνα) και έχει επέλθει **ιοντισμός**.

Όταν $n \rightarrow \infty$, τότε $E_\infty = 0$



α) Ενεργειακές στάθμες για το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου.

β) Γραφική παράσταση της ενέργειας του ηλεκτρονίου (E_n) σε πολλαπλάσια της ποσότητας $E_1 = -2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

Παρατήρηση

Όπως προκύπτει από τη σχέση που δίνει την ενέργεια του ηλεκτρονίου (E_n) και φαίνεται και στο διάγραμμα με τις ενεργειακές στάθμες, η διαφορά ενέργειας μεταξύ δύο διαδοχικών ενεργειακών σταθμών ($\Delta E = E_{n+1} - E_n$) δεν είναι σταθερή, αλλά ελαττώνεται με την αύξηση του κύριου κβαντικού αριθμού n . Ισχύει

$$E_2 - E_1 > E_3 - E_2 > E_4 - E_3 \quad \text{κ.ο.κ.}$$

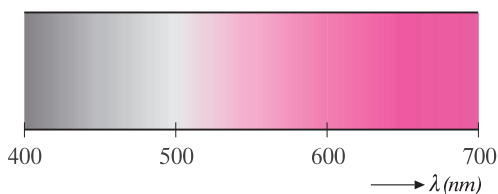
Η μεγαλύτερη διαφορά ενέργειας (ΔE) μεταξύ δύο διαδοχικών ενεργειακών σταθμών υπάρχει μεταξύ των δύο πρώτων ενεργειακών σταθμών, δηλαδή μεταξύ $n = 2$ (στιβάδα L) και $n = 1$ (στιβάδα K). Ισχύει

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{E_1}{4} - E_1 = -\frac{3}{4}E_1 = \frac{3}{4} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

1.4 Συνεχές και γραμμικό φάσμα εκπομπής.

Φάσμα εκπομπής ονομάζεται το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή. Τα φάσματα εκπομπής διακρίνονται σε συνεχή και γραμμικά.

Συνεχές φάσμα είναι ένα φάσμα που περιέχει **όλα τα μήκη κύματος** του ορατού φωτός. Όπως γνωρίζουμε, το λευκό φως (ηλιακό φως) περιλαμβάνει όλα τα μήκη κύματος της ορατής περιοχής. Αν μια δέσμη λευκού φωτός προσπέσει πάνω σε ένα πρίσμα, θα αναλυθεί σε πολλές δέσμες, οι οποίες αποτυπώνονται πάνω σε φωτογραφική πλάκα.

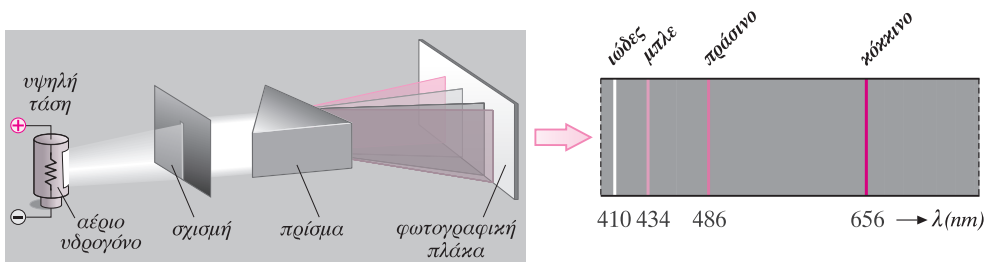


Το συνεχές φάσμα εκπομπής του λευκού φωτός.

Στην περίπτωση αυτή δημιουργείται μια **συνεχής έγχρωμη ταινία**, η οποία ονομάζεται συνεχές φάσμα του λευκού φωτός.

Γραμμικό φάσμα είναι το φάσμα το οποίο περιέχει **ορισμένα μόνο μήκη κύματος** (ορισμένα μόνο χρώματα). Αν εφαρμόσουμε ορισμένη ηλεκτρική τάση σε έναν γυάλινο σωλήνα που περιέχει αέριο υδρογόνο σε χαμηλή πίεση, θα διαπιστώσουμε ότι το αέριο εκπέμπει φως. Το φως αυτό, μετά την ανάλυση σε πρίσμα, σχηματίζει στη φωτογραφική πλάκα μια σειρά από φωτεινές γραμμές (**φασματικές γραμμές**). Το γραμμικό φάσμα εκπομπής του υδρογόνου αποτελείται από έναν ορισμένο αριθμό διάκριτων, έγχρωμων γραμμών, οι οποίες χωρίζονται από σκοτεινές ζώνες. Κάθε γραμμή του φάσματος αντιστοιχεί σε ένα διαφορετικό μήκος κύματος (ή χρώμα).

- Το γραμμικό φάσμα εκπομπής είναι **χαρακτηριστικό για το κάθε χημικό στοιχείο**, αποτελεί δηλαδή ένα είδος «δακτυλικού αποτυπώματος» του χημικού στοιχείου. Το δεδομένο αυτό βρίσκει εφαρμογή στη στοιχειακή χημική ανάλυση.



Το γραμμικό φάσμα εκπομπής του υδρογόνου.

1.5 Πώς ερμηνεύεται το γραμμικό φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου με βάση το ατομικό πρότυπο του Bohr;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Σύμφωνα με το ατομικό πρότυπο του Bohr, στο άτομο του υδρογόνου η ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι κβαντισμένη (ενεργειακές στάθμες E_1, E_2, E_3 κ.ο.κ.). Επομένως και η διαφορά ενέργειας μεταξύ δύο επιτρεπόμενων τροχιών ($\Delta E = |E_f - E_i|$) παίρνει μόνο ορισμένες τιμές.

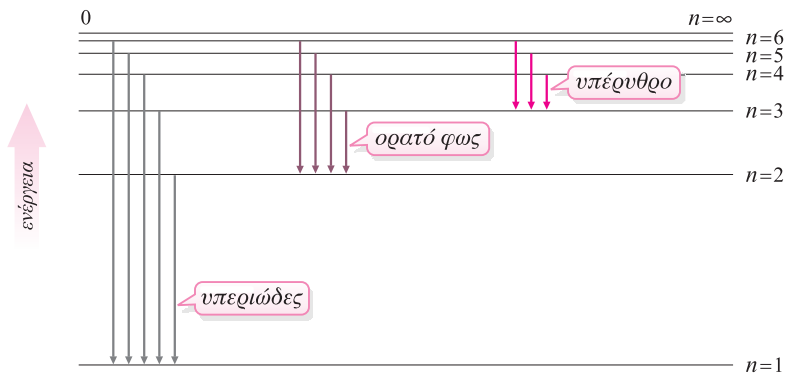
- Το άτομο του υδρογόνου **απορροφά και εκπέμπει φωτόνια** που έχουν **ορισμένες μόνο συχνότητες** (ορισμένα μήκη κύματος).

Τα φωτόνια που απορροφά ή εκπέμπει το άτομο του υδρογόνου έχουν ορισμένη ενέργεια ($E_{\text{φωτ.}} = hf$), η οποία είναι ίση με τη διαφορά ενέργειας μεταξύ δύο ενεργειακών σταθμών του. Δηλαδή απορροφούνται ή εκπέμπονται μόνο φωτόνια με ενέργειες $hf = E_2 - E_1, hf' = E_3 - E_1, hf'' = E_3 - E_2$ κ.ά.

Αν το άτομο του υδρογόνου που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση (E_1) απορροφήσει ορισμένο ποσό ενέργειας, μεταβαίνει σε άλλη επιτρεπόμενη τροχιά που έχει υψηλότερη ενέργεια (E_2, E_3 κ.ο.κ.). Η επάνοδος στη θεμελιώδη κατάσταση μπορεί να γίνει είτε απευθείας με ένα άλμα είτε με διαδοχικά άλματα. **Σε κάθε μετάπτωση** του ηλεκτρονίου εκπέμπεται **ένα φωτόνιο** το οποίο έχει ορισμένη συχνότητα, δηλαδή αντιστοιχεί σε **μια φασματική γραμμή στο φάσμα εκπομπής** του ατόμου του υδρογόνου. Έτσι εξηγείται γιατί το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου είναι **γραμμικό**, δηλαδή **έχει ορισμένες μόνο φασματικές γραμμές** (ορισμένα μήκη κύματος $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ κ.ο.κ.).

Τα μήκη κύματος των φωτονίων που απορροφά το αέριο υδρογόνο είναι ίσα με τα μήκη κύματος των φωτονίων που εκπέμπει. Δηλαδή το φάσμα απορρόφησης του υδρογόνου παρουσιάζει σκοτεινές γραμμές στη θέση των φωτεινών γραμμών του φάσματος εκπομπής.

- Το φάσμα εκπομπής του υδρογόνου έχει φασματικές γραμμές όχι μόνο στο **ορατό φως** (400 nm έως 700 nm) αλλά και στο **υπεριώδες (UV)** και στο **υπέρυθρο (IR)**.



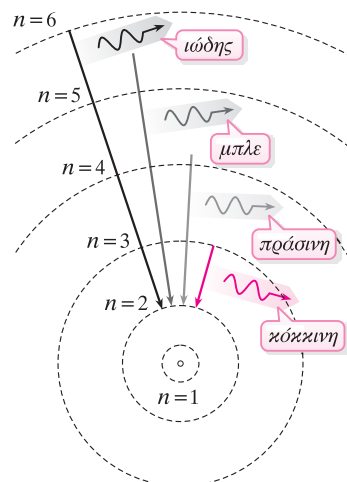
Σχέση μεταξύ ορισμένων ηλεκτρονιακών μεταπτώσεων στο άτομο του υδρογόνου και φασματικών γραμμών στο φάσμα εκπομπής.

Οι μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου στην ενεργειακή στάθμη $n = 1$ έχουν μεγάλη ενέργεια, οπότε τα φωτόνια που εκπέμπονται έχουν συχνότητες στην υπεριώδη περιοχή (UV). Οι μεταπτώσεις στην ενεργειακή στάθμη $n = 2$ έχουν μικρότερη ενέργεια και οι συχνότητες των φωτονίων εμφανίζονται στην περιοχή του ορατού φωτός. Τέλος, οι μεταπτώσεις στις στάθμες $n = 3$ και $n = 4$ αντιστοιχούν σε φωτόνια μικρότερης συχνότητας στην υπέρυθη περιοχή (IR).

Ηλεκτρονιακή μετάπτωση	$n \rightarrow 1$ (σειρά Lyman)	$n \rightarrow 2$ (σειρά Balmer)	$n \rightarrow 3$ (σειρά Paschen)	...
Ενέργεια φωτονίου $E_{\text{φωτ.}} = hf$	$E_n - E_1$	$E_n - E_2$	$E_n - E_3$...
Περιοχή φάσματος	υπεριώδης	ορατό φως	υπέρυθρη	...

Κατά τις μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου από τις τροχιές με $n > 2$ στην τροχιά με $n = 2$ εκπέμπεται ακτινοβολία στην ορατή περιοχή του φάσματος (400 nm έως 700 nm). Το γραμμικό φάσμα εκπομπής του υδρογόνου στην ορατή περιοχή έχει 4 μόνο φασματικές γραμμές.

μετάπτωση	λ (nm)	ακτινοβολία
$6 \rightarrow 2$	410	ιώδης
$5 \rightarrow 2$	434	μπλε
$4 \rightarrow 2$	486	πράσινη
$3 \rightarrow 2$	656	κόκκινη



1.6 Μειονεκτήματα του ατομικού προτύπου του Bohr.

Το ατομικό πρότυπο του Bohr (1913) είχε μεγάλη επιτυχία στην **ερμηνεία του γραμμικού φάσματος εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου**. Κάθε φασματική γραμμή του φάσματος μπορούσε να συσχετιστεί με μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου προς την ίδια ενεργειακή στάθμη. Οι πειραματικές τιμές για τα μήκη κύματος είναι σε συμφωνία με τις τιμές που προκύπτουν με βάση το ατομικό πρότυπο του Bohr:

$$\Delta E = |E_f - E_i| = hf = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Ακόμη το ατομικό πρότυπο του Bohr μπορεί να επεκταθεί και σε ιόντα που έχουν ένα μόνο ηλεκτρόνιο, όπως τα ιόντα ${}_2\text{He}^+$, ${}_3\text{Li}^{2+}$ (**υδρογονειδή ιόντα**).

Το ατομικό πρότυπο του Bohr παρουσιάζει όμως τα εξής μειονεκτήματα:

- α) Δεν μπορεί να ερμηνεύσει τα φάσματα εκπομπής των ατόμων που διαθέτουν περισσότερα από ένα ηλεκτρόνια (**πολυηλεκτρονιακά άτομα**). Επίσης δεν μπορεί να ερμηνεύσει τον **χημικό δεσμό**.
- β) Βασίζεται σε ορισμένες αυθαίρετες παραδοχές. Για παράδειγμα, για τον καθορισμό της ενεργειακής στάθμης εισάγεται αυθαίρετα η έννοια του κύριου κβαντικού αριθμού (n).
- γ) Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία, το ηλεκτρόνιο (όπως και κάθε επιταχυνόμενο φορτισμένο σωματίδιο) εκπέμπει ακτινοβολία, δηλαδή έχει συνεχώς απώλεια ενέργειας. Επομένως θα έπρεπε το ηλεκτρόνιο να κινείται σε σπειροειδή τροχιά με συνεχώς ελαττούμενη ακτίνα και τελικά να προσπίπτει στον πυρήνα του ατόμου. Η θεώρηση όμως αυτή είναι ασυμβίβαστη με το πειραματικό δεδομένο ότι το άτομο είναι σταθερό.
- δ) Σύμφωνα με το ατομικό πρότυπο του Bohr, το ηλεκτρόνιο κινείται σε καθορισμένες τροχιές, οπότε μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τη θέση και την ταχύτητά του. Αυτό όμως έρχεται σε **αντίθεση με την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg**, η οποία διατυπώθηκε αργότερα (1927). Έτσι, το ατομικό πρότυπο του Bohr εγκαταλείφθηκε και η εικόνα που έχουμε για το άτομο σήμερα στηρίζεται στην Κβαντομηχανική.

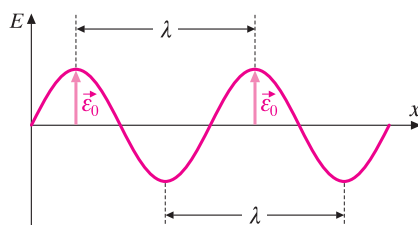
1.7 Βασικές γνώσεις για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell, **ηλεκτρομαγνητικό κύμα** είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Τα διανύσματα του ηλεκτρικού πεδίου (\vec{E}) και του μαγνητικού πεδίου (\vec{B}) είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (εγκάρσια κύματα). Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s).

Χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι τα εξής:

- Η **περίοδος (T)**: είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο η κυματική εικόνα επαναλαμβάνεται (το χρονικό διάστημα στο οποίο η ένταση \vec{E} κάνει μια πλήρη εναλλαγή).

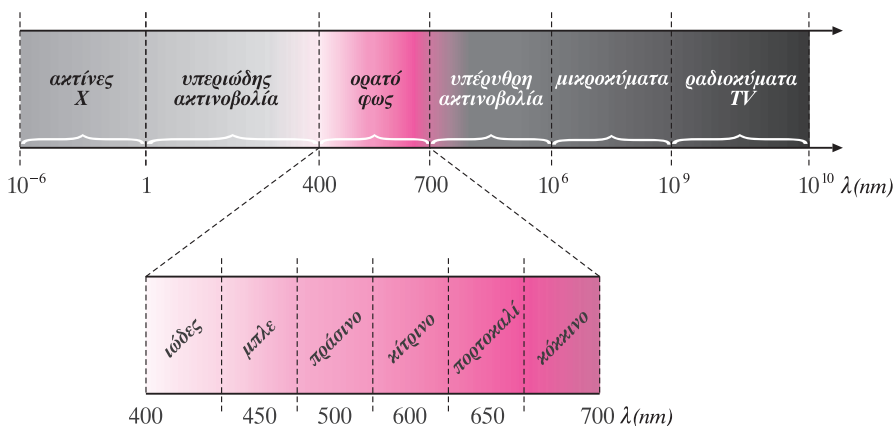
- Το **μήκος κύματος** (λ): είναι η απόσταση που διατρέχει το κύμα σε χρόνο ίσο με την περίοδο T του κύματος. Έχει μονάδα μέτρησης το 1 m, ενώ χρησιμοποιούνται συχνά και τα υποπολλαπλάσια $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ και $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.
- Η **συχνότητα** (f): είναι ο αριθμός των εναλλαγών της έντασης \vec{E} στη μονάδα του χρόνου (1 s). Ισχύει ότι $f = \frac{1}{T}$. Η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος εξαρτάται από την πηγή που παράγει το κύμα αυτό. Έχει μονάδα μέτρησης το $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.



Τα μεγέθη λ και f συνδέονται μεταξύ τους με τη **θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής**: $c = \lambda f$,

όπου c : η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Στο κενό και στον αέρα είναι $c = c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανάλογα με το μήκος κύματος (ή τη συχνότητα) διακρίνεται σε διάφορες μορφές, όπως ορατό φως, υπεριώδης και υπέρυθη ακτινοβολία, ακτίνες X κ.ά. Το **ορατό φως** (λευκό φως) αποτελείται από ακτινοβολίες με μήκη κύματος που κυμαίνονται από $4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ έως $7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, δηλαδή από **400 nm** έως **700 nm**.



1.8 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η απόσπαση ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ορισμένων μετάλλων (ή ενώσεών τους), όταν πάνω σε αυτή προσπίπτει φως. Η εκπομπή φωτοηλεκτρονίων πραγματοποιείται μόνο όταν η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη ή ίση από ορισμένη **οριακή τιμή** (f_0) η οποία είναι χαρακτηριστική για το μέταλλο. Η οριακή συχνότητα ονομάζεται **συχνότητα κατωφλίου** (f_0) και η αντίστοιχη ενέργεια (hf_0) ονομάζεται **έργο εξαγωγής** και εξαρτάται από το μέταλλο.

- Τα φωτοκύτταρα βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ερμηνεύτηκε το 1905 από τον Albert Einstein, ο οποίος βασίστηκε στην κβαντική θεωρία του Planck. Ο Einstein ονόμασε τα κβάντα του φωτός φωτόνια. Σύμφωνα με τον Einstein, **κάθε φωτόνιο** που προσπίπτει στην επιφάνεια του μετάλλου **μεταδίδει όλη την ενέργειά του** ($E = hf$) **σε ένα μόνο από τα ηλεκτρόνια** του μετάλλου. Από την ενέργεια του φωτονίου ($E = hf$) που προσπίπτει, ένα μέρος ίσο με $E_0 = hf_0$ απαιτείται για την απόσπαση του ηλεκτρονίου από το μέταλλο (έργο εξαγωγής), ενώ το υπόλοιπο αποτελεί την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου που αποσπάται από το μέταλλο ($K = \frac{1}{2}mv^2$). Δηλαδή ισχύει ότι

$$K = E - E_0 \quad \text{ή} \quad \frac{1}{2}mv^2 = hf - hf_0$$

όπου m : η μάζα του ηλεκτρονίου, v : η ταχύτητα του ηλεκτρονίου, f : η συχνότητα του φωτός που προσπίπτει και hf_0 : η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την απόσπαση ηλεκτρονίου από την επιφάνεια του μετάλλου.

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο **δεν μπορεί να ερμηνευτεί** με βάση την **κυματική φύση του φωτός**. Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται εξαρτάται από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (αυξάνεται με την αύξηση της συχνότητας), ενώ δεν εξαρτάται από την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την κυματική φύση του φωτός.

Ερωτήσεις κρίσεως

1.9 Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση.

- Πόση ενέργεια πρέπει να απορροφήσει για τη μετάβαση του ηλεκτρονίου του στη 2η διεγερμένη κατάσταση;
- Πόσα διαφορετικά φωτόνια εκπέμπονται κατά την αποδιέγερση του ατόμου και ποια σχέση έχουν οι συχνότητές τους;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) Η 2η διεγερμένη κατάσταση είναι η ενεργειακή στάθμη $n = 3$ (στιβάδα M). Η ενέργεια που απαιτείται για τη διέγερση από τη θεμελιώδη κατάσταση ($n = 1$) στην ενεργειακή στάθμη E_3 είναι

$$\begin{aligned} E_{\text{απορ.}} = \Delta E &= |E_3 - E_1| = \frac{-2,18 \cdot 10^{-18}}{3^2} - (-2,18 \cdot 10^{-18}) = \\ &= \frac{8}{9} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 1,94 \cdot 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

β) Η επάνοδος του ηλεκτρονίου από την ενεργειακή στάθμη με $n = 3$ στη θεμελιώδη

κατάσταση (αποδιέγερση) μπορεί να γίνει είτε απευθείας με ένα άλμα (οπότε εκπέμπεται ένα φωτόνιο), είτε με περισσότερα διαδοχικά άλματα (οπότε εκπέμπονται τόσα φωτόνια όσα είναι και τα άλματα).

- ▶ Από μια ποσότητα ατόμων υδρογόνου που βρίσκονται στην ενεργειακή στάθμη $n = 3$, σε ορισμένα άτομα η αποδιέγερση πραγματοποιείται απευθείας με ένα άλμα του ηλεκτρονίου, ενώ στα υπόλοιπα άτομα με διαδοχικά άλματα.
- *Απευθείας με ένα άλμα* ($n = 3 \rightarrow n = 1$). Εκπέμπεται ένα φωτόνιο με συχνότητα $f_{3 \rightarrow 1}$ για το οποίο ισχύει

$$\Delta E = |E_1 - E_3| = E_{\text{φωτ.}} \quad \text{ή} \quad E_3 - E_1 = hf_{3 \rightarrow 1} \quad (1)$$

- *Με δύο διαδοχικά άλματα* ($n = 3 \rightarrow n = 2$ και $n = 2 \rightarrow n = 1$). Στην περίπτωση αυτή εκπέμπονται δύο φωτόνια με συχνότητες $f_{3 \rightarrow 2}$ και $f_{2 \rightarrow 1}$ αντίστοιχα. Ισχύουν:

$$n = 3 \rightarrow n = 2: \Delta E' = |E_2 - E_3| = E'_{\text{φωτ.}} \quad \text{ή} \quad E_3 - E_2 = hf_{3 \rightarrow 2} \quad (2)$$

$$n = 2 \rightarrow n = 1: \Delta E'' = |E_1 - E_2| = E''_{\text{φωτ.}} \quad \text{ή} \quad E_2 - E_1 = hf_{2 \rightarrow 1} \quad (3)$$

Προσθέτοντας κατά μέλη τις σχέσεις (2) και (3) προκύπτει ότι

$$E_3 - E_1 = h(f_{3 \rightarrow 2} + f_{2 \rightarrow 1})$$

Επομένως με βάση τη σχέση (1) έχουμε:

$$hf_{3 \rightarrow 1} = h(f_{3 \rightarrow 2} + f_{2 \rightarrow 1}) \quad \text{ή} \quad \mathbf{f_{3 \rightarrow 1} = f_{3 \rightarrow 2} + f_{2 \rightarrow 1}} \quad (4)$$

- Για τις διαφορές ενέργειας μεταξύ των ενεργειακών σταθμών E_3 , E_2 και E_1 ισχύει ότι $\Delta E = \Delta E' + \Delta E''$, οπότε

$$hf_{3 \rightarrow 1} = hf_{3 \rightarrow 2} + hf_{2 \rightarrow 1} \quad \text{ή}$$

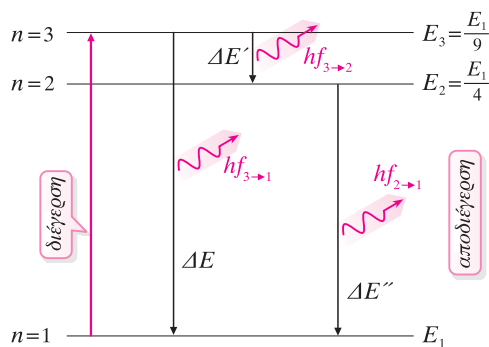
$$f_{3 \rightarrow 1} = f_{3 \rightarrow 2} + f_{2 \rightarrow 1}$$

- Από τη σχέση (4) και την εξίσωση $c = \lambda f$ προκύπτει ότι

$$\frac{c}{\lambda_{3 \rightarrow 1}} = \frac{c}{\lambda_{3 \rightarrow 2}} + \frac{c}{\lambda_{2 \rightarrow 1}} \quad \text{ή}$$

$$\frac{1}{\lambda_{3 \rightarrow 1}} = \frac{1}{\lambda_{3 \rightarrow 2}} + \frac{1}{\lambda_{2 \rightarrow 1}}$$

- Για τις ενεργειακές διαφορές $\Delta E'$ και $\Delta E''$ ισχύει ότι $\Delta E'' > \Delta E'$, οπότε $hf_{2 \rightarrow 1} > hf_{3 \rightarrow 2}$, επομένως $f_{2 \rightarrow 1} > f_{3 \rightarrow 2}$.



Είναι $\Delta E = \Delta E' + \Delta E''$, οπότε ισχύει

$$f_{3 \rightarrow 1} = f_{3 \rightarrow 2} + f_{2 \rightarrow 1}.$$

Συμπέρασμα: Κατά την αποδιέγερση του ατόμου του υδρογόνου από την ενεργειακή στάθμη $n = 3$ εκπέμπονται **τρία διαφορετικά φωτόνια** με συχνότητες $f_{3 \rightarrow 1}$, $f_{3 \rightarrow 2}$ και $f_{2 \rightarrow 1}$. Δηλαδή στο φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου θα υπάρχουν τρεις φασματικές γραμμές.

1.10 Ποια είναι η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για τον ιοντισμό:

- ενός ατόμου υδρογόνου που είναι στη θεμελιώδη κατάσταση;
- ενός mol ατόμων υδρογόνου που είναι στη θεμελιώδη κατάσταση;
- ενός ατόμου υδρογόνου που είναι σε διεγερμένη κατάσταση;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

- α) **Ιοντισμός** ονομάζεται η απομάκρυνση του ηλεκτρονίου του ατόμου σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα.
Ενέργεια ιοντισμού (E_i) ονομάζεται η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την πλήρη απομάκρυνση του ηλεκτρονίου από το άτομο του χημικού στοιχείου, το οποίο βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση και σε αέρια φάση.

Η ενέργεια ιοντισμού για το άτομο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση είναι

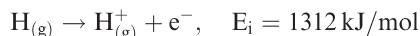
$$E_{\text{ιοντ.}} = E_{\infty} - E_1 \quad \text{ή} \quad E_{\text{ιοντ.}} = 0 - (-2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}) = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

β) Το 1 mol ατόμων υδρογόνου περιέχει $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ άτομα υδρογόνου. Επομένως για τον ιοντισμό 1 mol ατόμων υδρογόνου που είναι στη θεμελιώδη κατάσταση απαιτείται ενέργεια:

$$E_i = N_A \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 13,12 \cdot 10^5 \text{ J} \quad \text{ή} \quad E_i = 1312 \text{ kJ}$$

Επομένως η ενέργεια ιοντισμού του υδρογόνου είναι $E_i = 1312 \text{ kJ/mol}$.

- Ο ιοντισμός του υδρογόνου περιγράφεται από τη χημική εξίσωση:



γ) Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση όταν το ηλεκτρόνιο του είναι σε ενεργειακή στάθμη με $n > 1$, δηλαδή $n = 2, 3, 4$ κ.ο.κ. Η ενέργεια που απαιτείται για τον ιοντισμό του ατόμου στην περίπτωση αυτή είναι

$$E'_{\text{ιοντ.}} = E_{\infty} - E_n = 0 - \left(\frac{-2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ J} \right) = \frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ J}, \quad \text{όπου } n = 2, 3, 4 \text{ κ.ο.κ.}$$

- Για τον ιοντισμό ενός ατόμου υδρογόνου σε διεγερμένη κατάσταση ($n > 1$) απαιτείται λιγότερη ενέργεια απ' ό,τι αν το άτομο είναι στη θεμελιώδη κατάσταση ($n = 1$).

Ερωτήσεις θεωρίας – κρίσεως

1.11 Να συμπληρώσετε τα κενά στις επόμενες προτάσεις:

- Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του , κάθε κβάντο μεταφέρει ενέργεια που δίνεται από τη σχέση , όπου h η , η οποία μετράται σε
- Κβάντο είναι το ποσό ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα κβάντα του φωτός ονομάζονται και
- Το ατομικό πρότυπο του Bohr εφαρμόζεται με επιτυχία για το άτομο του και τα ιόντα.
- Στο ατομικό πρότυπο του Bohr η ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι Η ενέργεια του ηλεκτρονίου παίρνει την ελάχιστη τιμή της όταν $n = \dots\dots\dots$ και αυτή η ενεργειακή κατάσταση ονομάζεται
- Το φάσμα εκπομπής του λευκού φωτός είναι , ενώ το ατομικό φάσμα εκπομπής του υδρογόνου ή του νατρίου είναι

1.12 α) Να εξηγήσετε τα σύμβολα στην εξίσωση $E = hf$.

- Τι μονάδες έχει η σταθερά του Planck;
- Πόση ενέργεια μεταφέρει 1 mol φωτονίων του ερυθρού φωτός που έχει συχνότητα 656 nm;

1.13 Ποια από τα επόμενα μεγέθη είναι κβαντισμένα;

- Η ενέργεια μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Το ηλεκτρικό φορτίο.
- Η κινητική ενέργεια ενός αυτοκινήτου.
- Η ενέργεια του ηλεκτρονίου στο ατομικό πρότυπο του Bohr.

1.14 Ποιες ονομάζονται επιτρεπόμενες τροχιές στο

ατομικό πρότυπο του Bohr και τι σχέση έχουν οι ακτίνες τους;

1.15 Να απαντήσετε στα παρακάτω ερωτήματα:

- Τι ονομάζεται θεμελιώδης και τι ονομάζεται διεγερμένη κατάσταση στο άτομο του υδρογόνου; Πόσες διεγερμένες καταστάσεις έχει το άτομο του υδρογόνου;
- Πόση είναι η συνολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου:
 - στη θεμελιώδη κατάσταση;
 - στην τρίτη διεγερμένη κατάσταση;
 - όταν $n \rightarrow \infty$;

1.16 Να απαντήσετε στα παρακάτω ερωτήματα:

- Είναι δυνατόν το άτομο του υδρογόνου να απορροφήσει οποιοδήποτε ποσό ενέργειας ώστε να διεγερθεί;
- Οι φασματικές γραμμές στο φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου εμφανίζονται μόνο στην ορατή περιοχή;
- Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση και απορροφά φωτόνιο που αντιστοιχεί στο υπεριώδες φως. Είναι δυνατόν κατά την αποδιέγερσή του το άτομο να εκπέμψει φωτόνιο που αντιστοιχεί στο ορατό φως;

1.17 Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση.

- Ποια είναι η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να απορροφήσει το άτομο του υδρογόνου, ώστε να διεγερθεί;
- Πόση ενέργεια πρέπει να έχει ένα φωτόνιο που θα απορροφήσει το άτομο του υδρογόνου, ώστε:
 - να μεταβεί στη 2η διεγερμένη κατάσταση;
 - να ιοντιστεί;

1.18 Κατά τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου του ατό-

Οι απαντήσεις βρίσκονται στο τέλος του βιβλίου.

μου του υδρογόνου από την τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n στην αμέσως προηγούμενή της τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $(n - 1)$ εκπέμπεται ακτινοβολία συχνότητας f και μήκους κύματος λ . Να εξετάσετε πώς μεταβάλλονται τα μεγέθη f και λ όταν αυξάνεται η τιμή του n .

1.19 Κατά τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου από μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη (n_i) σε μια χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη (n_f) εκπέμπεται φωτόνιο συχνότητας f . Να αποδείξετε ότι ισχύει η σχέση

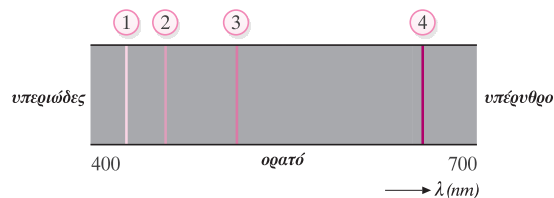
$$hf = 2,18 \cdot 10^{-18} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Πώς μετασχηματίζεται η σχέση αυτή όταν το ηλεκτρόνιο μεταπίπτει στη θεμελιώδη κατάσταση;

1.20 Στο επόμενο σχήμα δίνεται το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου που αντιστοιχεί στο ορατό φως. Οι μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου προέρχονται από τις τροχιές με $n = 3, 4, 5$ και 6 προς την τροχιά $n = 2$.

α) Τι σημαίνει ότι το φάσμα εκπομπής του υδρογόνου είναι γραμμικό;

β) Να αντιστοιχίσετε κάθε φασματική γραμμή στο ορατό με την αρχική ενεργειακή στάθμη από την οποία μεταπίπτει το ηλεκτρόνιο.



γ) Η φασματική γραμμή που αντιστοιχεί στη μετάπτωση του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου από $n = 2$ σε $n = 1$ εμφανίζεται στην υπεριώδη ή στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος;

1.21 Στις επόμενες μεταπτώσεις στο άτομο του υδρογόνου εκπέμπεται ακτινοβολία:

- i) $n = 4 \rightarrow n = 2$
- ii) $n = 3 \rightarrow n = 1$
- iii) $n = 3 \rightarrow n = 2$
- iv) $n = 2 \rightarrow n = 1$
- v) $n = 4 \rightarrow n = 1$
- vi) $n = 4 \rightarrow n = 3$

Να διατάξετε τις μεταπτώσεις αυτές κατά σειρά:

- α) αυξανόμενης συχνότητας της ακτινοβολίας,
- β) αυξανόμενου μήκους κύματος της ακτινοβολίας.

Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής

1.22 Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές και ποιες λανθασμένες;

- α) Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, η ακτινοβολία εκπέμπεται ή απορροφάται κατά στοιχειώδεις ποσότητες.
- β) Η εξίσωση $E = hf$ δίνει την ενέργεια μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- γ) Η σταθερά h του Planck είναι ίση με $6,63 \cdot 10^{-34}$ J.
- δ) Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι κβαντισμένη.
- ε) Φωτόνιο με μήκος κύματος 700 nm μεταφέρει μεγαλύτερη ενέργεια από φωτόνιο με μήκος κύματος 500 nm.
- στ) Η ενέργεια της πράσινης ακτινοβολίας δίνεται από

τη σχέση $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$, όπου $\lambda = 486$ nm είναι το μήκος κύματος της πράσινης ακτινοβολίας.

- ζ) Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του Planck, η ακτινοβολία εκπέμπεται όχι με συνεχή τρόπο.
- η) Φωτόνιο ονομάζεται το κβάντο του φωτός ή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γενικότερα.
- θ) Η ενέργεια ενός φωτονίου είναι ανάλογη με τη συχνότητά του.
- ι) Η κβαντική θεωρία έρχεται σε αντίθεση με την κυματική φύση του φωτός.

1.23 Ποιες από τις επόμενες προτάσεις, που αναφέρονται στο ατομικό πρότυπο του Bohr, είναι σωστές;

- α) Συνδυάζει την ιδέα του πλανητικού προτύπου του Rutherford με την κβαντική θεωρία.

- β) Το ηλεκτρόνιο κινείται σε κυκλικές ή ελλειπτικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα.
- γ) Κάθε επιτρεπόμενη τροχιά έχει καθορισμένη ενέργεια, δηλαδή η ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι κβαντισμένη.
- δ) Το ηλεκτρόνιο έχει ελάχιστη ενέργεια όταν βρίσκεται στην ενεργειακή στάθμη με $n = 1$.
- ε) Για την ενέργεια του ηλεκτρονίου στις τροχιές με $n = 1$ και $n = 4$ ισχύει $E_4 = \frac{E_1}{4}$.
- στ) Όσο αυξάνεται η τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού n , το ηλεκτρόνιο απομακρύνεται από τον πυρήνα, οπότε αυξάνεται και η ενέργεια του ηλεκτρονίου.
- ζ) Όταν ο κύριος κβαντικός αριθμός n διπλασιάζεται, η ενέργεια του ηλεκτρονίου υποδιπλασιάζεται.
- η) Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται σε μια επιτρεπόμενη τροχιά, εκπέμπει ακτινοβολία.
- θ) Η διαφορά ενέργειας ΔE ανάμεσα σε δύο διαδοχικές στιβάδες του ατόμου του υδρογόνου είναι σταθερή.
- ι) Το πρότυπο του Bohr ερμηνεύει τα γραμμικά φάσματα εκπομπής στο άτομο του υδρογόνου και σε όλα τα πολυηλεκτρονιακά άτομα.
- ια) Το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου περιέχει ορισμένα μόνο μήκη κύματος, δηλαδή είναι γραμμικό.
- ιβ) Η ενέργεια του ηλεκτρονίου μπορεί να πάρει όλες τις τιμές μεταξύ $-2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ και μηδέν.
- ιγ) Το ηλεκτρόνιο σε μια ενεργειακή στάθμη μπορεί να έχει ενέργεια $-2,18 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
- δ) Κατά τη μετάπτωση $M \rightarrow K$ του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου εκπέμπεται ακτινοβολία μικρότερου μήκους κύματος σε σχέση με αυτή που εκπέμπεται κατά τη μετάπτωση $M \rightarrow L$.
- ε) Κατά τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου από την τροχιά με $n = 3$ στην τροχιά με $n = 1$ εκπέμπεται φωτόνιο μεγαλύτερης συχνότητας απ' ό,τι κατά τη μετάπτωσή του από την τροχιά με $n = 6$ στην τροχιά με $n = 2$.
- στ) Η πρώτη διεγερμένη κατάσταση στο άτομο του υδρογόνου αντιστοιχεί στην ενεργειακή στάθμη με $n = 2$.

1.25 Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές και ποιες λανθασμένες;

- α) Για να διεγερθεί το άτομο του υδρογόνου από τη θεμελιώδη κατάσταση, μπορεί να απορροφήσει φωτόνια με ορισμένες μόνο συχνότητες.
- β) Η ενέργεια που απαιτείται για τον ιοντισμό ενός ατόμου υδρογόνου όταν αυτό βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση είναι $E = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.
- γ) Χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να ιοντιστεί ένα διεγερμένο άτομο υδρογόνου απ' ό,τι όταν το άτομο αυτό είναι στη θεμελιώδη κατάσταση.
- δ) Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση. Η ενέργεια διέγερσης του ατόμου είναι μικρότερη από την ενέργεια ιοντισμού του.
- ε) Όταν το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται σε κατάσταση διέγερσης, το ηλεκτρόνιό του είναι κατά μέσο όρο πιο μακριά από τον πυρήνα απ' ό,τι είναι όταν το άτομο βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση.
- στ) Κάθε φασματική γραμμή στο φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου αντιστοιχεί σε μετάπτωση του ηλεκτρονίου προς την ίδια ενεργειακή στάθμη.
- ζ) Το ατομικό φάσμα εκπομπής είναι χαρακτηριστικό για το κάθε χημικό στοιχείο.

1.26 Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση σε καθεμία από τις επόμενες ερωτήσεις.

- α) Στην εξίσωση $E = hf$ το σύμβολο E εκφράζει:
- i) την ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας,
- ii) το στοιχειώδες ποσό ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας,

- iii) την ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου,
- iv) την ενέργεια της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή απορροφά το άτομο του υδρογόνου.
- β) Η κβαντική θεωρία διατυπώθηκε από τον:
- i) Bohr, ii) Planck,
iii) Einstein, iv) Rutherford.
- γ) Σε ποια από τις επόμενες τροχιές το άτομο του υδρογόνου έχει μεγαλύτερη ενέργεια;
- i) $n = 1$ ii) $n = 2$
iii) $n = 3$ iv) $n = 4$
- δ) Για την ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου στις τροχιές με $n = 1$ και $n = 3$ ισχύει η σχέση:
- i) $E_1 > E_3$ ii) $E_3 = \frac{E_1}{9}$
iii) $E_3 = -\frac{E_1}{9}$ iv) $E_1 = \frac{E_3}{9}$
- ε) Από τη σχέση $E_n = -\frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2}$ J στο ατομικό πρότυπο του Bohr υπολογίζεται:
- i) η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
ii) η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
iii) η συνολική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
iv) η ενέργεια διέγερσης του ηλεκτρονίου.
- στ) Η θεμελιώδης κατάσταση και η δεύτερη διεγερμένη κατάσταση στο άτομο του υδρογόνου αντιστοιχούν στις ενεργειακές στάθμες με:
- i) $n = 1$ και $n = 2$, ii) $n = \infty$ και $n = 3$,
iii) $n = 1$ και $n = 3$, iv) $n = 0$ και $n = 2$.
- ζ) Με την αύξηση του κύριου κβαντικού αριθμού n στο άτομο του υδρογόνου:
- i) ελαττώνεται η ενέργεια του ηλεκτρονίου,
ii) το ηλεκτρόνιο πλησιάζει προς τον πυρήνα,
iii) ελαττώνεται η διαφορά ενέργειας ανάμεσα σε δύο διαδοχικές στιβάδες,
iv) το άτομο εκπέμπει ακτινοβολία.
- η) Στη θεμελιώδη κατάσταση το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου έχει ενέργεια:
- i) μηδέν, ii) $2,18 \cdot 10^{-18}$ J,
iii) ελάχιστη, iv) μέγιστη.
- 1.27** Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση σε καθεμία από τις επόμενες ερωτήσεις.
- α) Σε ποια από τις επόμενες μεταβάσεις του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου εκπέμπεται φोटόνιο;
- i) $n = 2 \rightarrow n = 3$ ii) $n = 5 \rightarrow n = 2$
iii) $n = 1 \rightarrow n = 5$ iv) $n = 3 \rightarrow n = 4$
- β) Πόση ενέργεια απαιτείται για τη διέγερση του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου από τη θεμελιώδη κατάσταση στην τροχιά με $n = 4$;
- i) $2,18 \cdot 10^{-18}$ J ii) $\frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{16}$ J
iii) $2,04 \cdot 10^{-18}$ J iv) $\frac{3}{4} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18}$ J
- γ) Ποια από τις επόμενες μεταβάσεις στο άτομο του υδρογόνου απαιτεί μεγαλύτερο ποσό ενέργειας;
- i) $n = 2 \rightarrow n = 4$ ii) $n = 3 \rightarrow n = 1$
iii) $n = 1 \rightarrow n = 2$ iv) $n = 2 \rightarrow n = 6$
- δ) Σε ποια από τις επόμενες μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου η ακτινοβολία που εκπέμπεται έχει μικρότερο μήκος κύματος;
- i) $n = 3 \rightarrow n = 2$ ii) $n = 4 \rightarrow n = 3$
iii) $n = 4 \rightarrow n = 2$ iv) $n = 2 \rightarrow n = 1$
- ε) Το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου:
- i) είναι συνεχές,
ii) περιέχει φασματικές γραμμές μόνο στην ορατή περιοχή,
iii) αποτελείται από ορισμένο αριθμό φασματικών γραμμών,
iv) έχει φασματικές γραμμές μόνο στην υπεριώδη περιοχή.
- στ) Η παραμονή του ηλεκτρονίου του υδρογόνου στη διεγερμένη κατάσταση διαρκεί περίπου:
- i) 1 s, ii) 10^{-9} s,
iii) 10^{-1} s, iv) 10^{-2} s.
- 1.28** Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση σε καθεμία από τις επόμενες ερωτήσεις.
- α) Η ενέργεια που απαιτείται για τον ιοντισμό 1 mol ατόμων υδρογόνου που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση είναι:
- i) $2,18 \cdot 10^{-18}$ J ii) $\frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{N_A}$ J

$$\text{iii)} \frac{3}{4} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} \quad \text{iv)} N_A \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

β) Κατά τις μεταπτώσεις $L \rightarrow K$ και $N \rightarrow K$ του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου εκπέμπονται ακτινοβολίες με συχνότητες f_1 και f_2 αντίστοιχα. Για τις συχνότητες f_1 και f_2 ισχύει:

$$\text{i)} f_1 > f_2 \quad \text{ii)} \frac{f_1}{f_2} = \frac{4}{5}$$

$$\text{iii)} \frac{f_1}{f_2} = \frac{1}{2} \quad \text{iv)} \frac{f_1}{f_2} = \frac{3}{4}$$

γ) Κατά τις μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου $E_x \rightarrow E_2$ και $E_2 \rightarrow E_1$ εκπέμπονται φωτόνια με συχνότητες f και $f' = 4f$ αντίστοιχα. Ποιος είναι ο κύριος κβαντικός αριθμός της ενεργειακής στάθμης E_x ;

$$\text{i)} x = 3 \quad \text{ii)} x = 4$$

$$\text{iii)} x = 5 \quad \text{iv)} x = 6$$

1.29 Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη δεύτερη διεγερμένη κατάσταση (στιβάδα M). Κατά την αποδιέγερση του ατόμου μπορεί να γίνουν οι μεταπτώσεις $M \rightarrow K$, $M \rightarrow L$ και $L \rightarrow K$ του ηλεκτρονίου, οπότε εκπέμπονται ακτινοβολίες με συχνότητες f_1 , f_2 και f_3 και μήκη κύματος λ_1 , λ_2 και λ_3 αντίστοιχα. Ποιες από τις επόμενες σχέσεις είναι σωστές;

$$\text{α)} f_1 > f_2 > f_3 \quad \text{β)} f_1 > f_3 > f_2$$

$$\text{γ)} f_2 = f_3 = \frac{f_1}{2} \quad \text{δ)} f_1 = f_2 + f_3$$

$$\text{ε)} \lambda_1 < \lambda_3 < \lambda_2 \quad \text{στ)} \lambda_1 = \frac{\lambda_2 \cdot \lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3}$$

1.30 Ένα άτομο υδρογόνου που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση απορροφά ένα φωτόνιο μήκους κύματος λ_1 και συχνότητας f_1 και μεταβαίνει στη στιβά-

δα M. Στη συνέχεια εκπέμπει δύο φωτόνια με μήκη κύματος λ_2 και λ_3 ($\lambda_2 > \lambda_3$) και συχνότητες f_2 και f_3 αντίστοιχα και επανέρχεται στη θεμελιώδη κατάσταση. Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές και ποιες λανθασμένες;

α) Το ηλεκτρόνιο έχει μεγαλύτερη ενέργεια στη στιβάδα M απ' ό,τι έχει στη θεμελιώδη κατάσταση.

β) Η ενέργεια του φωτονίου που απαιτείται για τη διεγερση στη στιβάδα M είναι $\frac{2,18}{9} \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

γ) Για τις συχνότητες των τριών φωτονίων ισχύει $f_1 = f_2 + f_3$.

δ) Το μήκος κύματος λ_2 αντιστοιχεί στη μετάπτωση $M \rightarrow L$.

ε) Για τα μήκη κύματος λ_1 , λ_2 και λ_3 των φωτονίων ισχύει $\lambda_3 = \lambda_1 + \lambda_2$.

στ) Για τα μήκη κύματος λ_1 , λ_2 και λ_3 των φωτονίων ισχύει $\lambda_1 < \lambda_3 < \lambda_2$.

1.31 Κατά τις μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου από εξωτερικές στιβάδες στη στιβάδα με $n = 2$ εκπέμπεται ακτινοβολία στην ορατή περιοχή του φάσματος (σειρά Balmer). Να αντιστοιχίσετε τον κύριο κβαντικό αριθμό n της αρχικής στιβάδας (στήλη A) με το μήκος κύματος (λ) της ακτινοβολίας που εκπέμπεται (στήλη B).

ΣΤΗΛΗ Α		ΣΤΗΛΗ Β	
α) $n = 3$	●	●	i) 656 nm (κόκκινη)
β) $n = 4$	●	●	ii) 410 nm (ιώδης)
γ) $n = 5$	●	●	iii) 486 nm (πράσινη)
δ) $n = 6$	●	●	iv) 434 nm (μπλε)

Ασκήσεις

1. Η ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου σε μια διεγερμένη κατάσταση με κύριο κβαντικό αριθμό n ($n = 2, 3$ κ.ο.κ.) είναι

$$E_n = -\frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ J} = \frac{E_1}{n^2}, \quad \text{όπου } E_1 = -2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

2. Κατά τη μετάβαση του ηλεκτρονίου σε μια ενεργειακή στάθμη υψηλότερης ενέργειας (**διέγερση**) απορροφάται φωτόνιο. Ισχύει

$$E_{\text{φωτ.}} = \Delta E = |E_f - E_i| = E_f - E_i \quad (\text{είναι } E_f > E_i)$$

3. Κατά τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου σε μια ενεργειακή στάθμη χαμηλότερης ενέργειας (**αποδιέγερση**) εκπέμπεται φωτόνιο. Ισχύει

$$E_{\text{φωτ.}} = \Delta E = |E_f - E_i| = E_i - E_f \quad (\text{είναι } E_i > E_f)$$

- Η αποδιέγερση προς τη θεμελιώδη κατάσταση μπορεί να γίνει είτε απευθείας με ένα άλμα είτε με περισσότερα διαδοχικά άλματα.

4. Για την ενέργεια του φωτονίου ισχύει

$$E_{\text{φωτ.}} = hf = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (\text{είναι } c = \lambda f)$$

Από τη σχέση αυτή υπολογίζουμε τη συχνότητα και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή απορροφάται.

1.32 * Να υπολογίσετε τη συχνότητα και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται κατά τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου από την τροχιά $n = 4$ στην τροχιά $n = 2$ στο άτομο του υδρογόνου. Δίνονται: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ και $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

ΛΥΣΗ

Η ενέργεια του φωτονίου που εκπέμπεται κατά τη μετάπτωση από την ενεργειακή στάθμη $n = 4$ στην ενεργειακή στάθμη $n = 2$ είναι

$$\begin{aligned} E_{\text{φωτ.}} = \Delta E = |E_2 - E_4| &= \left| \frac{-2,18 \cdot 10^{-18}}{2^2} - \frac{-2,18 \cdot 10^{-18}}{4^2} \right| = \\ &= \left| \frac{-2,18 \cdot 10^{-18}}{4} + \frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{16} \right| = \frac{3}{16} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

* Είναι η άσκηση 24 στη σελίδα 42 του σχολικού βιβλίου.

Για τη συχνότητα f του φωτονίου της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ισχύει

$$E_{\text{φωτ.}} = hf \quad \text{ή} \quad f = \frac{E_{\text{φωτ.}}}{h} = \frac{\frac{3}{16} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 6,17 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} \text{ (Hz)}$$

Για το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ισχύει

$$c = \lambda f \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{6,17 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad \text{ή} \quad 486 \text{ nm}$$

(Ισχύει ότι $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.)

- Η ενέργεια του φωτονίου που εκπέμπεται μπορεί να υπολογιστεί και ως εξής:

$$E_{\text{φωτ.}} = |E_2 - E_4| = E_4 - E_2 = \frac{E_1}{4^2} - \frac{E_1}{2^2} = \frac{E_1}{16} - \frac{E_1}{4} = -\frac{3}{16} E_1$$

1.33 Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση.

α) Ποιο είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που πρέπει να απορροφήσει ώστε να μεταβεί στη δεύτερη διεγερμένη κατάσταση;

β) Πόσα φωτόνια πρέπει να έχει η ακτινοβολία ώστε να διεγερθούν όλα τα άτομα που περιέχονται σε $0,4 \text{ g}$ υδρογόνου και να μεταβούν στη δεύτερη διεγερμένη κατάσταση; Δίνονται: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, η σχετική ατομική μάζα του H: $A_r = 1$ και $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$.

ΛΥΣΗ

α) Η δεύτερη διεγερμένη κατάσταση είναι η ενεργειακή στάθμη με $n = 3$ (E_3). Η ενέργεια του φωτονίου που απορροφάται ώστε να διεγερθεί ένα άτομο υδρογόνου από τη θεμελιώδη κατάσταση ($n = 1$) στην ενεργειακή στάθμη με $n = 3$ είναι

$$E_{\text{φωτ.}} = \Delta E = |E_3 - E_1| = \left| \frac{-2,18 \cdot 10^{-18}}{3^2} + 2,18 \cdot 10^{-18} \right| = \frac{8}{9} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

- Ισχύει $\Delta E = |E_3 - E_1| = E_3 - E_1 = \frac{E_1}{9} - E_1 = -\frac{8}{9} E_1$.

Για το μήκος κύματος λ του φωτονίου της ακτινοβολίας που απορροφάται ισχύει

$$E_{\text{φωτ.}} = hf = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad \text{ή}$$

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{8}{9} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18}} \text{ m} = 1,03 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad \text{ή} \quad 103 \text{ nm}$$

β) Ο αριθμός moles των ατόμων υδρογόνου είναι

$$n = \frac{m}{A_{r(H)}} \quad \text{ή} \quad n = \frac{0,4 \text{ g}}{1 \text{ g/mol}} \quad \text{ή} \quad n = 0,4 \text{ mol}$$

Το 1 mol ατόμων υδρογόνου περιέχει N_A άτομα υδρογόνου
Τα 0,4 mol » » περιέχουν $0,4N_A$ » »

Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία των Planck και Einstein, **κάθε φωτόνιο μεταδίδει ολόκληρη την ενέργειά του σε ένα μόνο ηλεκτρόνιο**. Επομένως για τη διέγερση όλων των ατόμων υδρογόνου απαιτούνται $0,4N_A = 2,41 \cdot 10^{23}$ φωτόνια.

- Η ενέργεια της ακτινοβολίας αυτής είναι $E_{\text{ακτ.}} = 0,4N_A \cdot E_{\text{φωτ.}} = 0,4N_A \cdot \frac{8}{9} \cdot 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

Ασκήσεις – Προβλήματα

Για τη λύση των ασκήσεων και των προβλημάτων δίνονται οι σταθερές: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ και $A_{r(H)} = 1$.

1.34 Να υπολογίσετε την ενέργεια που μεταφέρει ένα φωτόνιο:

- του ερυθρού φωτός, μήκους κύματος 700 nm,
- των ραδιοφωνικών κυμάτων, συχνότητας 100 MHz,
- της ακτινοβολίας μικροκυμάτων, συχνότητας 10^{10} Hz ,
- της υπέρυθρης ακτινοβολίας, συχνότητας $5 \cdot 10^8 \text{ kHz}$,
- της υπεριώδους ακτινοβολίας, μήκους κύματος $4 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$.

1.35 α) Να υπολογίσετε τη συχνότητα και την ενέργεια ενός φωτονίου που έχει μήκος κύματος $\lambda = 500 \text{ nm}$.

β) Πόση ενέργεια μεταφέρει μια ακτινοβολία που αποτελείται από 1 mol τέτοιων φωτονίων;

1.36 Οι ατμοί νατρίου (Na) εκπέμπουν κίτρινο φως που έχει μήκος κύματος 589 nm.

- Ποια είναι η συχνότητα και ποια η ενέργεια ενός φωτονίου του φωτός αυτού;
- Το φάσμα εκπομπής του καλίου (K) έχει μια έντονη κόκκινη γραμμή, συχνότητας $3,91 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$.

Να συγκρίνετε την ενέργεια των δύο φωτονίων που εκπέμπονται από το Na και το K.

1.37 Το φωτόνιο μιας ακτινοβολίας έχει ενέργεια $3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

- Ποιο είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας αυτής; Η ακτινοβολία αυτή ανήκει στο ορατό φως;
- Είναι δυνατόν η ακτινοβολία αυτή να έχει ολική ενέργεια $5 \cdot 10^{-10} \text{ J}$;

1.38 Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση.

- Πόση ενέργεια απαιτείται για τη διέγερση του ατόμου στην τροχιά με $n = 2$; Ποια είναι η συχνότητα και ποιο το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που απαιτείται για τη διέγερση αυτή;
- Πόσα φωτόνια πρέπει να έχει η ακτινοβολία ώστε να διεγερθούν όλα τα άτομα που περιέχονται σε 0,5 g υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση; Ποια είναι η συνολική ενέργεια της ακτινοβολίας αυτής;

1.39 Να υπολογίσετε τη συχνότητα και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται σε καθεμία

από τις επόμενες μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου:

- α) $n = 2 \rightarrow n = 1$ β) $n = 4 \rightarrow n = 1$
γ) $n = 6 \rightarrow n = 2$ δ) $n = 4 \rightarrow n = 3$

Σε ποια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αντιστοιχεί η κάθε ακτινοβολία που εκπέμπεται;

1.40 α) Ποιο είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που απαιτείται για τη διέγερση του ατόμου υδρογόνου από τη θεμελιώδη κατάσταση στην τέταρτη διεγερμένη κατάσταση;

β) Ποιο είναι το μέγιστο μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται κατά την αποδιέγερση του ατόμου του υδρογόνου το οποίο βρίσκεται στην τέταρτη διεγερμένη κατάσταση;

1.41 Ποσότητα υδρογόνου ίση με 0,2 g, που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση, απορροφά ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda = 97,3$ nm, οπότε όλα τα άτομα διεγείρονται και μεταβαίνουν στη στιβάδα A με κύριο κβαντικό αριθμό x. Να υπολογίσετε:

- α) τον αριθμό των φωτονίων που απαιτούνται για τη διέγερση όλων των ατόμων,
β) την ολική ενέργεια την οποία μεταφέρει η ακτινοβολία που απαιτείται για τη διέγερση,
γ) τον κύριο κβαντικό αριθμό x της στιβάδας A.

1.42 Να υπολογίσετε την ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για τον ιοντισμό:

- α) ενός ατόμου υδρογόνου που είναι στη θεμελιώδη κατάσταση,
β) ενός ατόμου υδρογόνου που είναι στην πρώτη διεγερμένη κατάσταση,
γ) όλων των ατόμων υδρογόνου που περιέχονται σε 0,2 g υδρογόνου τα οποία είναι στη θεμελιώδη κατάσταση.

1.43 Το άτομο υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση.

α) Ποια είναι η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να έχει το φυτόνιο μιας ακτινοβολίας ώστε να προκαλέσει διέγερση στο άτομο του υδρογόνου;

β) Να εξετάσετε αν το ορατό φως (400 nm έως 700 nm) μπορεί να προκαλέσει διέγερση στο άτομο υδρογόνου που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση.

γ) Το άτομο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση απορροφά λόγω κρούσης ενέργεια ίση με $2,5 \cdot 10^{-18}$ J. Να υπολογίσετε την κινητική ενέργεια που θα αποκτήσει το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου. Θεωρούμε ότι η κινητική ενέργεια του πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου δεν μεταβάλλεται.

1.44 Κατά τη μετάπτωση του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου από τη στιβάδα με $n = x$ προς τη στιβάδα με $n = 2$ εκπέμπεται πράσινη ακτινοβολία με μήκος κύματος 486 nm.

α) Ποια είναι η ενεργειακή διαφορά των δύο στιβάδων;

β) Ποια είναι η τιμή x του κύριου κβαντικού αριθμού n της αρχικής στιβάδας;

γ) Είναι δυνατόν κατά την αποδιέγερση του ηλεκτρονίου από την αρχική στιβάδα με $n = x$ προς τη στιβάδα με $n = 2$ να γίνει εκπομπή και ιώδους ακτινοβολίας;

Δίνεται ότι $\lambda_{\text{ιώδες}} < \lambda_{\text{πράσινο}}$.

1.45 Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου βρίσκεται σε μια διεγερμένη κατάσταση όπου έχει ενέργεια

$$E = -\frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{16} \text{ J.}$$

α) Ποιος είναι ο κύριος κβαντικός αριθμός της τροχιάς στην οποία βρίσκεται το ηλεκτρόνιο; Πόση ενέργεια πρέπει να προσλάβει το ηλεκτρόνιο, ώστε να διεγερθεί από τη θεμελιώδη κατάσταση και να μεταβεί στην τροχιά που υπολογίσατε;

β) Κατά την αποδιέγερση του ηλεκτρονίου από την τροχιά αυτή εκπέμπονται φωτόνια με διαφορετικές συχνότητες.

Οι απαντήσεις βρίσκονται στο τέλος του βιβλίου.

- i) Πόσες διαφορετικές συχνότητες είναι δυνατόν να έχουν τα φωτόνια που εκπέμπονται;
- ii) Ποιο από τα φωτόνια αυτά έχει το μεγαλύτερο και ποιο έχει το μικρότερο μήκος κύματος;

1.46 Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου που βρίσκεται στη στιβάδα X μεταπίπτει στη θεμελιώδη κατάσταση, οπότε εκπέμπει φωτόνιο μήκους κύματος $1,03 \cdot 10^{-7}$ m. Να υπολογίσετε:

- α) τη συχνότητα του φωτονίου που εκπέμπεται,
- β) την ενέργεια του ηλεκτρονίου στη στιβάδα X,
- γ) τον κύριο κβαντικό αριθμό n της στιβάδας X.
- δ) Πόσα διαφορετικά φωτόνια μπορεί να εκπέμπει το άτομο αυτό κατά την αποδιέγερσή του από τη στιβάδα X;

1.47 Το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου έχει φασματικές γραμμές και στην υπεριώδη περιοχή, οι οποίες αντιστοιχούν σε μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου προς την ενεργειακή στάθμη με $n = 1$ (σειρά Lyman). Μια φασματική γραμμή της σειράς Lyman έχει $\lambda = 95$ nm.

- α) Ποιος είναι ο κύριος κβαντικός αριθμός της αρχικής ενεργειακής στάθμης;
- β) Κατά την αποδιέγερση του ηλεκτρονίου από την αρχική ενεργειακή στάθμη στο φάσμα εκπομπής υπάρχει και μια φασματική γραμμή στο ορατό με $\lambda = 434$ nm. Σε ποια μετάπτωση του ηλεκτρονίου αντιστοιχεί αυτή η φασματική γραμμή;

1.48 Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση.

- α) Πόση ενέργεια πρέπει να απορροφήσει για να μεταβεί στη στιβάδα M ($n = 3$);
- β) Κατά την αποδιέγερση του ατόμου πραγματοποιούνται οι μεταπτώσεις του ηλεκτρονίου $M \rightarrow L$, $L \rightarrow K$ και $M \rightarrow K$ στις οποίες εκπέμπονται φωτόνια με συχνότητες αντίστοιχα f_1 , f_2 και f_3 .
 - i) Να αποδείξετε ότι ισχύει $f_1 + f_2 = f_3$.
 - ii) Να υπολογίσετε την τιμή του λόγου $\frac{f_2}{f_1}$.

1.49 Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου που βρίσκεται στη στιβάδα X μεταπίπτει στη στιβάδα M

($n = 3$) εκπέμποντας ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda = 1,09 \cdot 10^{-6}$ m. Να υπολογίσετε:

- α) τη συχνότητα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται κατά τη μετάπτωση αυτή,
- β) την ενεργειακή διαφορά μεταξύ των στιβάδων X και M,
- γ) τον κύριο κβαντικό αριθμό n της στιβάδας X.

1.50 Ένα άτομο υδρογόνου που βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση απορροφά ένα φωτόνιο μήκους κύματος 97,3 nm. Στη συνέχεια εκπέμπει ένα φωτόνιο μήκους κύματος $\lambda_1 = 486$ nm και τελικά επανέρχεται στη θεμελιώδη κατάσταση εκπέμποντας ένα ακόμη φωτόνιο μήκους κύματος λ_2 .

- α) Πόσες γραμμές έχει το φάσμα εκπομπής που αντιστοιχεί σε αυτές τις μεταπτώσεις και ποιες είναι οι συχνότητες των αντίστοιχων ακτινοβολιών;
- β) Σε ποιες στιβάδες βρέθηκε το ηλεκτρόνιο κατά τη διέγερση και την αποδιέγερσή του;

1.51 Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από την επιφάνεια μεταλλικού ασβεστίου (Ca) όταν ακτινοβολείται με φως είναι $4,34 \cdot 10^{-19}$ J (φωτοηλεκτρικό έργο εξαγωγής).

- α) Ποια είναι η ελάχιστη συχνότητα φωτός για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στο Ca;
- β) Ποια είναι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων που αποσπώνται από το Ca αν χρησιμοποιηθεί φως μήκους κύματος 345 nm;

Δίνεται $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

1.52 Φως μήκους κύματος 400 nm προσπίπτει στην επιφάνεια μεταλλικού Na, οπότε αποσπώνται ηλεκτρόνια με ταχύτητα $6 \cdot 10^5$ m \cdot s⁻¹. Να υπολογίσετε:

- α) την ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από την επιφάνεια του Na,
- β) την ελάχιστη συχνότητα που πρέπει να έχει το φως ώστε να προκαλέσει απόσπαση ηλεκτρονίων από το Na (συχνότητα κατωφλίου),
- γ) την ταχύτητα με την οποία θα αποσπαστούν ηλεκτρόνια από την επιφάνεια του Na, αν χρησιμοποιήσουμε ακτινοβολία συχνότητας $8 \cdot 10^{14}$ Hz.

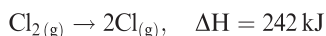
Δίνεται $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

1.53 Για την απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από την επιφάνεια ενός μετάλλου M απαιτείται ενέργεια $6,63 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ (φωτοηλεκτρικό έργο εξαγωγής).

- α) Ποια είναι η ελάχιστη συχνότητα που πρέπει να έχει μια ακτινοβολία ώστε να προκαλέσει απόσπαση ηλεκτρονίου από την επιφάνεια του μετάλλου M ;
- β) Ακτινοβολία συχνότητας $2 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ προσπίπτει στην επιφάνεια του μετάλλου M . Να υπολογίσετε την ταχύτητα με την οποία αποσπώνται ηλεκτρόνια από την επιφάνεια του μετάλλου M .
- γ) Να εξετάσετε αν η ακτινοβολία με συχνότητα $2 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ μπορεί να προκαλέσει διέγερση στο άτομο υδρογόνου που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση.

Δίνεται $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

1.54 Η απορρόφηση ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει τη διάσπαση του χημικού δεσμού στο Cl_2 σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:



Αν θεωρήσουμε ότι η διάσπαση ενός μορίου Cl_2 ολο-

κληρώνεται με την απορρόφηση ενός φωτονίου, να υπολογίσετε το μέγιστο μήκος κύματος της ακτινοβολίας η οποία μπορεί να προκαλέσει διάσπαση του δεσμού $\text{Cl} - \text{Cl}$;

1.55 Η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση του μορίου του H_2 σε άτομα H είναι 432 kJ/mol . Η διάσπαση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με απορρόφηση ακτινοβολίας.

- α) Ποιο είναι το μήκος κύματος του φωτονίου της ακτινοβολίας που απαιτείται για τη διάσπαση του μορίου του H_2 ;
- β) Αν το φωτόνιο αυτό απορροφηθεί από ένα άτομο υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση, μπορεί να προκαλέσει διέγερση του ατόμου;

1.56 Η χλωροφύλλη a είναι ένα πολύπλοκο οργανικό μόριο, το οποίο κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης απορροφά φως και διεγείρεται και στη συνέχεια αποδιδείρεται. Αν το φως που απορροφάται έχει $\lambda = 440 \text{ nm}$, ενώ το φως που εκπέμπεται έχει $\lambda = 670 \text{ nm}$, να υπολογίσετε την ενέργεια που απαιτείται κατά τη φωτοσύνθεση, όταν γίνεται απορρόφηση -εκπομπή 1 mol φωτονίων.