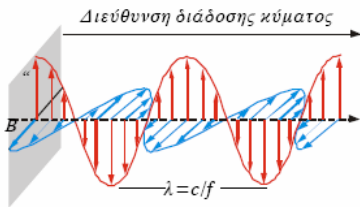


# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΤΟ ΦΩΣ

1. Τι γνωρίζετε για την ηλεκτρομαγνητική (H/M) θεωρία του Maxwell; Από ποιόν επιβεβαιώθηκε. Γράψτε την θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής, ερμηνεύστε τὰ σύμβολα και δώστε τις μονάδες των μεγεθών που εμπλέκονται, στο Διεθνές Σύστημα.

## Απάντηση



Σύμφωνα με την H/M θεωρία του Maxwell, το φώς είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τὰ οποία ξεκινούν από την φωτεινή πηγή και διαδίδονται προς κάθε κατεύθυνση. Τὰ κύματα αυτά συνίστανται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο, τὰ οποία παρουσιάζουν τοπική και χρονική μεταβολή της έντασής τους, διαδίδονται ταυτόχρονα με την ταχύτητα του φωτός, είναι εν φάσει (παίρνουν ταυτόχρονα μέγιστες και ελάχιστες τιμές) και οι εντάσεις τους είναι κάθετες μεταξύ τους. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα παράγεται κατά την ταλάντωση ενός ηλεκτρικού φορτίου και μεταφέρει την ενέργεια του μαγνητικού και του ηλεκτρικού πεδίου.

Η θεωρία του Maxwell επιβεβαιώθηκε πειραματικά από τον Hertz το 1887, ο οποίος παρήγαγε με ηλεκτρικές ταλαντώσεις κύματα της ίδιας φύσης με αυτήν του φωτός, μικρότερης όμως συχνότητας.

Η θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής είναι :  $c = \lambda \cdot f$ , όπου  $c$  είναι η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος και μετρείται σε m/sec,  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος και μετρείται σε m και  $f$  είναι η συχνότητά του και μετρείται σε Hz.

2. Τι γνωρίζετε για την κβαντική θεωρία του Planck; Τι επέβαλε την παραδοχή της; Αναιρεί την κυματική φύση του φωτός;

## Απάντηση

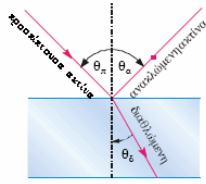
Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του Planck, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (συνεπώς και το φώς) εκπέμπεται και απορροφάται από τὰ άτομα της ύλης ασυνεχώς, κατά στοιχειώδη ποσά ενέργειας, που ονομάζονται κβάντα ή φωτόνια, και τὰ οποία χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη συχνότητα και συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας. Κάθε άτομο της ύλης επομένως απορροφά ή εκπέμπει μεμονωμένα φωτόνια, των οποίων η ενέργεια δίνεται από την σχέση  $E = h \cdot f$ , όπου  $h$  είναι η σταθερά του Planck ( $= 6.63 \times 10^{-34}$  J·sec) και  $f$  η συχνότητα.

Την κβαντική θεωρία επέβαλε η αδυναμία της κλασικής θεωρίας να ερμηνεύσει φαινόμενα αλληλεπίδρασης φωτεινής ακτινοβολίας και ύλης (π.χ. φωτοηλεκτρικό φαινόμενο).

Η κβαντική θεωρία δεν αναιρεί την κυματική φύση του φωτός. Το φωτόνιο εξακολουθεί να έχει και κυματικές ιδιότητες, όπως π.χ. η εξάρτηση της ενέργειάς του από την συχνότητα.

3. Τι γνωρίζετε για την ανάκλαση και την διάθλαση του φωτός;

## Απάντηση



**Ανάκλαση** είναι το φαινόμενο κατά το οποίο, όταν μία φωτεινή δέσμη, πού διαδίδεται σε ένα οπτικό μέσο, συναντήσει την διαχωριστική επιφάνεια με ένα άλλο οπτικό μέσο, τότε ένα μέρος αυτής ανακλάται και επιστρέφει στο αρχικό μέσο διάδοσης. Πειραματικά αποδεικνύεται ότι η γωνία προσπτώσεως ισούται με την γωνία ανακλάσεως.

**Διάθλαση** είναι το φαινόμενο κατά το οποίο, όταν μία φωτεινή δέσμη, πού διαδίδεται σε ένα οπτικό μέσο, συναντήσει την διαχωριστική επιφάνεια με ένα άλλο οπτικό μέσο, τότε ένα μέρος αυτής συνεχίζει στο δεύτερο μέσο διάδοσης, η πορεία της όμως αλλάζει διεύθυνση, σχηματίζοντας την γωνία διάθλασης με την κάθετο επί της διαχωριστικής επιφάνειας.

4. Πού οφείλεται η διάθλαση του φωτός;

#### Απάντηση

Η διάθλαση οφείλεται στις διαφορετικές ταχύτητες πού έχει το φώς στα διάφορα οπτικά μέσα στα οποία διαδίδεται. Άλλη τιμή έχει π.χ. στο κενό και άλλη στο νερό ή τον αέρα.

5. Πώς ορίζεται ο δείκτης διαθλάσεως ενός υλικού μέσου;

#### Απάντηση

Ο δείκτης διαθλάσεως ενός υλικού μέσου ορίζεται ως το πηλίκο, πού έχει η ταχύτητα του φωτός στο κενό, προς την ταχύτητα πού έχει όταν διαδίδεται σ' αυτό το υλικό μέσο. Δηλαδή  $n = c_0 / c$ .

6. Να εξαχθεί σχέση μεταξύ μήκους κύματος στο κενό, μήκους κύματος σ' ένα μέσο και δείκτη διαθλάσεως του μέσου.

#### Απάντηση

Εφαρμόζουμε την θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής για το κενό και για το υλικό μέσο και διαιρούμε κατά μέλη. Έτσι έχουμε  $c_0/c = f\lambda_0/f\lambda \Rightarrow c_0/c = \lambda_0/\lambda \Rightarrow n = \lambda_0/\lambda$  ή  $\lambda = \lambda_0/n$ .

7. Δείξτε ότι το μήκος κύματος του φωτός, όταν αυτό διαδίδεται σε οπτικώς πυκνότερο μέσο, είναι μικρότερο από το μήκος κύματος πού έχει τό φώς, όταν αυτό διαδίδεται σε οπτικώς αραιότερο μέσο ;

#### Απάντηση

Έστω ότι το οπτικώς πυκνότερο μέσο έχει δείκτη διαθλάσεως  $n_1$  και το μήκος κύματος του φωτός σ' αυτό είναι  $\lambda_1$ . Αντίστοιχα το οπτικώς αραιότερο μέσο έχει δείκτη διαθλάσεως  $n_2$  και το μήκος κύματος του φωτός σ' αυτό είναι  $\lambda_2$ . Το ότι το μέσον 1 είναι οπτικώς πυκνότερο του μέσου 2 σημαίνει ότι  $n_1 > n_2$  (1). Ισχύει όμως

ότι  $\lambda_1 = \lambda_0/n_1$  (2) και  $\lambda_2 = \lambda_0/n_2$  (3). Διαιρούμε κατά μέλη τις σχέσεις (2) και (3) και έχουμε :  $\lambda_1/\lambda_2 = n_2/n_1$  και λόγω της (1)  $\lambda_1/\lambda_2 = n_2/n_1 < 1 \Rightarrow \lambda_1/\lambda_2 < 1 \Rightarrow \lambda_1 < \lambda_2$ .

8. Ποια χαρακτηριστικά διατηρεί αμετάβλητα το φώς, καθώς διαδίδεται σε ένα οπτικό μέσο, και ποια μεταβάλλει, αν αλλάξει οπτικό μέσο;

#### Απάντηση

Καθώς τό φώς διαδίδεται σε ένα οπτικό μέσο, διατηρεί αμετάβλητα τήν ταχύτητα, τό μήκος κύματος και τήν συχνότητα, ενώ αν αλλάξει οπτικό μέσο τότε μεταβάλλεται η ταχύτητα και το μήκος κύματος, της συχνότητας διατηρουμένης σταθερής και ίδιας με αυτή της πηγής.

9. Να αιτιολογήσετε γιατί ο δείκτης διαθλάσεως ενός οποιουδήποτε οπτικού μέσου για μια μονοχρωματική ακτινοβολία δεν είναι δυνατόν να είναι μικρότερος από την μονάδα.

#### Απάντηση

Όπως είναι γνωστό, ο δείκτης διαθλάσεως ορίζεται από την σχέση  $n = c_0/c$ , όπου  $c_0$  είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό και  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός στο οπτικό μέσο. Αλλά γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα του φωτός είναι άνω φράγμα, δηλαδή είναι η μέγιστη ταχύτητα πού μπορεί να έχει οτιδήποτε στη φύση. Επομένως  $c_0 > c \Rightarrow c_0/c > 1 \Rightarrow n > 1$ .

10. Μονοχρωματική ακτινοβολία διαδίδεται σε δύο διαφορετικά υλικά, με δείκτες διαθλάσεως  $n_1, n_2$ , όπου  $n_2 > n_1$ . Να δείξετε ότι  $\lambda_1 > \lambda_2$ , όπου  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$  τά αντίστοιχα μήκη κύματος.

#### Απάντηση

Για τά μήκη κύματος έχουμε αντίστοιχα :

$\lambda_1 = \lambda_0 / n_1$  και  $\lambda_2 = \lambda_0 / n_2$ . Διαιρώντας κατά μέλη λαμβάνουμε :

$\lambda_1 / \lambda_2 = n_2 / n_1$ . Επειδή  $n_2 > n_1$  έπεται ότι και  $\lambda_1 > \lambda_2$ .

11. Μονοχρωματική ακτινοβολία διαδίδεται στο κενό σε απόσταση κατά 50% μεγαλύτερη από την απόσταση πού διαδίδεται σε διαφανές οπτικό μέσο στον ίδιο χρόνο. Να βρεθεί ο δείκτης διάθλασης του οπτικού μέσου για την ακτινοβολία αυτή.

#### Απάντηση

Σε χρόνο  $t$  και στο κενό η ακτινοβολία θα διανύει απόσταση  $d_0 = c_0t$  (1). Στον ίδιο χρόνο στο οπτικό μέσο θα διανύει απόσταση  $d = ct$  (2). Διαιρώντας κατά μέλη λαμβάνουμε :

$d_0 / d = c_0t/ct = c_0/c = n$  (3). Αλλά  $d_0 = d + 50d/100 = 3d/2$  και αντικαθιστώντας στην (3) έχουμε  $(3d/2)/d = n \Rightarrow n = 3/2$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΤΟΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

1. Γιατί το πρότυπο του Rutherford αδυνατεί να ερμηνεύσει τὰ γραμμικά φάσματα των αερίων;

### Απάντηση

Τά περιφερόμενα ηλεκτρόνια του προτύπου Rutherford θα έπρεπε να εκπέμπουν συνεχώς ακτινοβολία ως συνεχώς επιταχυνόμενα (αλλαγή κατεύθυνσης), η ενέργειά τους θα έπρεπε να μειώνεται και αυτή συνεχώς, μειωμένης και της συχνότητας περιστροφής, αλλά και της ακτίνας της τροχιάς, η οποία θα έπρεπε να είναι σπειροειδής, μέχρι την τελική πτώση του ηλεκτρονίου στον πυρήνα. Η συχνότητα της ακτινοβολίας, πού ισούται με την συχνότητα περιστροφής θα έπρεπε και αυτή να μειώνεται συνεχώς και επομένως το φάσμα εκπομπής του ατόμου θα έπρεπε να είναι συνεχές και όχι γραμμικό, όπως παρατηρείται στην πράξη.

2. Γιατί ο Bohr οδηγήθηκε σε νέο ατομικό πρότυπο; Ποιες είναι οι παραδοχές στις οποίες στηρίζεται το πρότυπό του;

### Απάντηση

Ο Bohr με το πρότυπό του προσπάθησε να ερμηνεύσει τὰ γραμμικά φάσματα των αερίων και να απαντήσει στα ερωτήματα, γιατί το υδρογόνο εκπέμπει ορισμένα μόνο μήκη κύματος ακτινοβολίας και γιατί απορροφά εκείνα μόνο πού εκπέμπει.

Οι παραδοχές στις οποίες στηρίχθηκε ήσαν οι εξής:

- i. Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου περιφέρεται γύρω από τον θετικά φορτισμένο πυρήνα, υπό την επίδραση της δύναμης Coulomb πού δέχεται από αυτόν.
- ii. Το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται μόνο στις επιτρεπόμενες τροχιές, για τις οποίες ισχύει ότι η στροφορμή του είναι κβαντωμένη και ίση με ακέραιο πολλαπλάσιο της ποσότητας  $h/2\pi$ , όπου  $h$  η σταθερά του Planck. Δηλαδή  $L = mvr = n \cdot h/2\pi$ ,  $n=1,2,3,\dots,\infty$ . Όπου  $m$  είναι η μάζα του ηλεκτρονίου,  $v$  η ταχύτητα και  $r$  η ακτίνα της τροχιάς του.
- iii. Κινούμενο το ηλεκτρόνιο στις επιτρεπόμενες τροχιές δεν εκπέμπει ακτινοβολία παρά το αντίθετο πού επιτάσσει η ηλεκτρομαγνητική θεωρία.
- iv. Κατά την μεταπήδηση ενός ηλεκτρονίου από μια επιτρεπόμενη τροχιά σε άλλη μικρότερης ενέργειας, εκπέμπεται ένα φωτόνιο με ενέργεια ίση με την διαφορά των ενεργειών του ηλεκτρονίου, πού έχει στην αρχική και την τελική τροχιά. Δηλαδή  $E_a - E_t = hf$ , όπου  $f$  η συχνότητα του φωτονίου.

3. Αναφέρετε δύο ομοιότητες και δύο διαφορές μεταξύ των ατομικών προτύπων Rutherford και Bohr.

### Απάντηση

Ομοιότητες :

A) Και στα δύο πρότυπα η μάζα και το θετικό φορτίο είναι συγκεντρωμένα στον πυρήνα.

B) Τά ηλεκτρόνια περιστρέφονται σε τροχιές γύρω από τον πυρήνα.

Διαφορές :

A) Στο πρότυπο του Rutherford δεν υπάρχουν απαγορευμένες τροχιές για τα ηλεκτρόνια, σε αντίθεση με το πρότυπο του Bohr στο οποίο τα ηλεκτρόνια περιφέρονται σε καθορισμένες επιτρεπές τροχιές.

B) Στο πρότυπο του Bohr συμβαίνει εκπομπή φωτονίου κατά την μετάβαση ηλεκτρονίου από μια τροχιά σε άλλη μικρότερης ενέργειας, ενώ στο πρότυπο του Rutherford δεν υφίσταται κάτι τέτοιο.

4. Τι είναι η ακτίνα του Bohr και τι ο κύριος κβαντικός αριθμός; Πώς συνδέεται αυτός με τις τροχιές και με την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου σε κάθε μία από αυτές;

#### Απάντηση

Ακτίνα του Bohr ονομάζεται η μικρότερη ακτίνα επιτρεπόμενης τροχιάς και ισούται με  $r_1 = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ .

Ο κύριος κβαντικός αριθμός  $n$  είναι ακέραιος θετικός αριθμός με τιμές από ένα έως άπειρο και προσδιορίζει τις επιτρεπόμενες τροχιές αλλά και την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου σε κάθε μία από αυτές, σύμφωνα με τις σχέσεις :

$$\begin{aligned} \text{επιτρεπόμενες τροχιές (ακτίνες)} \quad r_n &= n^2 r_1, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \infty \\ \text{επιτρεπόμενες τιμές ενέργειας} \quad E_n &= E_1/n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \infty \end{aligned}$$

$r_1$  και  $E_1$  είναι η ακτίνα Bohr και η αντίστοιχη ολική ενέργεια.

5. Ποια είναι η μέγιστη τιμή της ολικής ενέργειας του ηλεκτρονίου; Σε ποια τιμή του κβαντικού αριθμού αντιστοιχεί, σε ποια επιτρεπόμενη τροχιά και ποια κατάσταση περιγράφει;

#### Απάντηση

Η μέγιστη τιμή της ολικής ενέργειας είναι  $E = 0$  και αντιστοιχεί στην τιμή άπειρο του κύριου κβαντικού αριθμού ( $n = \infty$ ) και συνεπώς σε τροχιά άπειρης ακτίνας ( $r = \infty$ ). Ενέργεια  $E=0$  περιγράφει κατάσταση κατά την οποία το ηλεκτρόνιο έχει απομακρυνθεί από το άτομο, έχει γίνει δηλαδή ιονισμός του ατόμου.

6. Ορίστε τις έννοιες : ενεργειακές στάθμες – ενεργειακές καταστάσεις – θεμελιώδης κατάσταση – διεγερμένες καταστάσεις ενός ατόμου.

#### Απάντηση

Ενεργειακές στάθμες ονομάζονται οι επιτρεπόμενες τιμές της ενέργειας των ατόμων. Ενεργειακές καταστάσεις ονομάζονται οι καταστάσεις των ατόμων στις αντίστοιχες ενεργειακές στάθμες αυτών.

Θεμελιώδης κατάσταση του ατόμου είναι αυτή που αντιστοιχεί στην μικρότερη ενέργεια  $E_1$ .

Διεγερμένες καταστάσεις του ατόμου είναι όλες οι ενεργειακές καταστάσεις αυτού  $E_2, E_3, E_4, \dots$ , πλην της θεμελιώδους  $E_1$ .

7. Τι είναι το διάγραμμα ενεργειακών σταθμών;

#### Απάντηση

Το διάγραμμα ενεργειακών σταθμών είναι ένα σχήμα πού περιλαμβάνει ένα κατακόρυφο άξονα βαθμολογημένο σε τιμές ενέργειας, και οριζόντια ευθύγραμμα τμήματα στις θέσεις πού αντιστοιχούν στις επιτρεπόμενες τιμές ενέργειας ενός ατόμου.

Μέ κατακόρυφα βέλη δείχνουμε την μετάβαση ενός ηλεκτρονίου από μια αρχική στάθμη σε μια τελική, ενώ η απόσταση των ενεργειακών σταθμών αντιστοιχεί στην διαφορά των αντίστοιχων ολικών ενεργειών του ηλεκτρονίου.

8. Τι είναι η διέγερση ενός ατόμου και τι ονομάζουμε ενέργεια διέγερσης; Τι είναι η αποδιέγερση και πώς γίνεται;

#### Απάντηση

**Διέγερση** ενός ατόμου είναι η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου του από τροχιά χαμηλότερης ενέργειας σε τροχιά υψηλότερης.

**Ενέργεια διέγερσης** είναι η ενέργεια πού πρέπει να προσφερθεί σε ένα ηλεκτρόνιο, για να μεταπηδήσει από τροχιά χαμηλότερης ενέργειας σε τροχιά υψηλότερης (για να διεγερθεί δηλαδή).

**Αποδιέγερση** είναι η επιστροφή ενός ηλεκτρονίου από την διεγερμένη κατάσταση στην θεμελιώδη. Αυτό γίνεται είτε απευθείας στην θεμελιώδη κατάσταση με ένα άλμα, οπότε εκπέμπεται ένα φωτόνιο, είτε με περισσότερα άλματα, οπότε εκπέμπονται ισάριθμα φωτόνια.

9. Τι είναι ο ιονισμός ενός ατόμου και τι ονομάζουμε ενέργεια ιονισμού; Τι σχέση έχει η τελευταία με την ενέργεια της θεμελιώδους κατάστασης;

#### Απάντηση

**Ιονισμός** ενός ατόμου είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια εγκαταλείπουν το άτομο και απομακρύνονται σε θέση εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα. Τότε το άτομο μετατρέπεται σε θετικό ιόν, αφού πλεονάζουν τά πρωτόνια του πυρήνα του έναντι των ηλεκτρονίων.

**Ενέργεια ιονισμού** ονομάζεται η ελάχιστη ενέργεια πού απαιτείται για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από την θεμελιώδη κατάσταση σε θέση εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα (για να ιονισθεί δηλαδή το άτομο). Θα ισχύει δε ότι :  
Ενέργεια ιονισμού =  $E_{\text{ion}} = E_{\infty} - E_1 = 0 - E_1 \Rightarrow E_{\text{ion}} = - E_1$ . Δηλαδή η ενέργεια ιονισμού ισούται απολύτως προς την ενέργεια της θεμελιώδους κατάστασης.

10. Ποια είναι η φύση των ακτίνων X.;

#### Απάντηση

Οι ακτίνες X είναι αόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μήκους κύματος πολύ μικρότερου από αυτά των ορατών ακτινοβολιών και συγκρίσιμου με τις διαστάσεις των ατόμων.

11. Τι γνωρίζετε για το φάσμα των ακτίνων X;

#### Απάντηση

Το φάσμα των ακτίνων X αποτελείται από ένα συνεχές φάσμα επάνω στο οποίο υπάρχουν μερικές γραμμές γραμμικού φάσματος.

Το γραμμικό φάσμα οφείλεται σε διεγέρσεις και αποδιεγέρσεις με ταυτόχρονη εκπομπή φωτονίων, των ατόμων του υλικού της ανόδου, λόγω της κρούσης αυτών με τά ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια. Επειδή οι μεταβάσεις των ηλεκτρονίων κατά τις διεγέρσεις και αποδιεγέρσεις επιτρέπονται σε ορισμένες τροχιές, τά εκπεμπόμενα φωτόνια έχουν διακριτές τιμές συχνότητας, και το φάσμα είναι γραμμικό.

Το συνεχές φάσμα οφείλεται στην επιβράδυνση (μέχρι μηδενισμού της ταχύτητας) των ηλεκτρονίων κατά την πρόσκρουση επί της ανόδου. Η απώλεια ενέργειας μπορεί να συνοδεύεται από εκπομπή φωτονίου ενέργειας ίσης με αυτήν που έχασε το ηλεκτρόνιο και επειδή αυτή μπορεί να έχει οποιαδήποτε τιμή, η συχνότητα του φωτονίου θα έχει και αυτή οποιαδήποτε τιμή. Έτσι το φάσμα θα είναι συνεχές.

12. Υπολογίστε το μικρότερο μήκος κύματος που μπορεί να έχει ένα φωτόνιο κατά την εκπομπή του από επιβραδυνόμενο ηλεκτρόνιο λόγω της κρούσης του με την άνοδο, εντός της συσκευής παραγωγής ακτίνων X. Από τι εξαρτάται αυτό;

### Απάντηση

Το ζητούμενο ελάχιστο μήκος κύματος θα προκύπτει, όταν ένα ηλεκτρόνιο ακινητοποιείται μετά την πρώτη κρούση. Η διαφορά ενέργειας πριν και μετά την πρόσκρουση θα είναι τότε μέγιστη, και το εκπεμπόμενο φωτόνιο θα έχει την μέγιστη ενέργεια, συνεπώς μέγιστη συχνότητα και ελάχιστο μήκος κύματος. Θα ισχύει δηλαδή  $hf_{\max} = K_{\alpha} - K_{\tau} = K_{\alpha} - 0 = K_{\alpha} \Rightarrow hf_{\max} = K_{\alpha}$ . Επειδή η κινητική ενέργεια πρό της κρούσης  $K_{\alpha}$  είναι αυτή που αποκτά το ηλεκτρόνιο επιταχυνόμενο από την ανοδική τάση  $V$  της συσκευής, δηλαδή  $K_{\alpha} = eV$ , θα ισχύει  $hf_{\max} = eV$  και λόγω της θεμελιώδους εξίσωσης της κυματικής  $c = f_{\max}\lambda_{\min}$ , θα έχουμε  $hc/\lambda_{\min} = eV \Rightarrow \lambda_{\min} = hc/eV$

Όπως προκύπτει από την τελευταία σχέση, το ελάχιστο μήκος κύματος εξαρτάται μόνο από την ανοδική τάση  $V$ , αφού τά υπόλοιπα μεγέθη είναι οι σταθερές του Planck  $h$ , η ταχύτητα του φωτός  $c$  και το φορτίο του ηλεκτρονίου  $e$ .

13. Τι γνωρίζετε για την απορρόφηση των ακτίνων X, από ποιους παράγοντες εξαρτάται αυτή και πώς; Ποιες ακτίνες λέγονται σκληρές και ποιες μαλακές;

### Απάντηση

Οι ακτίνες X, διαπερνώντας τά διάφορα υλικά υφίστανται μερική απορρόφηση από αυτά. Η απορρόφηση αυτή εξαρτάται από την φύση και το πάχος του υλικού, και από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Έτσι όσο μεγαλύτερος είναι ο ατομικός αριθμός του υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απορρόφηση. Ομοίως όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του υλικού, τόσο αυξάνει και η απορρόφηση. Τέλος για συγκεκριμένο υλικό και συγκεκριμένο πάχος αυτού, η απορρόφηση αυξάνει με την αύξηση του μήκους κύματος των ακτίνων X.

Σκληρές ακτίνες λέγονται αυτές που έχουν μικρό μήκος κύματος (μεγάλη συχνότητα) και μεγάλη διεισδυτικότητα, ενώ μαλακές λέγονται αυτές που έχουν μεγάλο μήκος κύματος (μικρή συχνότητα) και μικρή διεισδυτικότητα.

14. Ερευνητής χειρίζεται συσκευή παραγωγής ακτίνων X και επιθυμεί να αυξήσει τη διεισδυτικότητά τους. Πώς θα πρέπει να μεταβάλλει την τάση μεταξύ

ανόδου – καθόδου της συσκευής; Να την αυξήσει ή να την ελαττώσει; (Πανελλήνιες 2003).

### Απάντηση

Σύμφωνα με τη θεωρία, η διεισδυτικότητα των ακτίνων X γίνεται τόσο μεγαλύτερη, όσο μικραίνει το μήκος κύματος.

Από την σχέση  $\lambda_{\min} = hc/eV$ , επειδή το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της τάσης V, προκύπτει ότι αυτό μικραίνει, όταν αυξάνει η τάση. Συνεπώς ο ερευνητής, για να αυξήσει τη διεισδυτικότητα των ακτίνων, θα πρέπει να αυξήσει την τάση μεταξύ ανόδου-καθόδου της συσκευής.

15. Σε μια συσκευή παραγωγής ακτίνων X ελαττώνουμε την τάση V που εφαρμόζεται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. **A.** Τότε το ελάχιστο μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας **α.** αυξάνεται. **β.** ελαττώνεται. **γ.** παραμένει σταθερό. **B.** Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

### Απάντηση

Ως γνωστόν το ελάχιστο μήκος κύματος δίνεται από την σχέση  $\lambda_{\min} = hc/eV$ . Εξ αυτής προκύπτει ότι όταν η τάση V ελαττώνεται, το ελάχιστο μήκος κύματος  $\lambda_{\min}$  αυξάνεται και επομένως σωστή απάντηση είναι η **α**.

16. Ένα φωτόνιο με ενέργεια 8,5 eV προσπίπτει σε άτομα υδρογόνου που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Το άτομο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση έχει ενέργεια -13,6 eV. Μετά την αλληλεπίδραση, το άτομο **α.** θα παραμείνει στην ίδια ενεργειακή στάθμη. **β.** θα ιονισθεί. **γ.** θα διεγερθεί. Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

### Απάντηση

Για την διέγερση του ατόμου στην αμέσως επόμενη ενεργειακή στάθμη  $n = 2$  από την θεμελιώδη  $n = 1$ , απαιτείται ενέργεια :

$$E_2 - E_1 = \frac{E_1}{n^2} - E_1 = \frac{E_1}{4} - E_1 = -\frac{3}{4}E_1$$
$$\Rightarrow E_2 - E_1 = -\frac{3}{4}(-13,6) = 10,2\text{eV}$$

Επειδή το φωτόνιο διαθέτει ενέργεια  $E_{\text{φωτ}} = 8,5\text{eV} < 10,2\text{eV}$

Το άτομο δεν θα διεγερθεί και θα παραμείνει στην ίδια ενεργειακή στάθμη. Συνεπώς σωστή απάντηση είναι το **α**.

Για το ελάχιστο μήκος κύματος ισχύει αρχικά ότι :



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

1. Πώς ορίζονται το έλλειμμα μάζας, η ενέργεια συνδέσεως και η ενέργεια συνδέσεως ανά νουκλεόνιο;

### Απάντηση

Έλλειμμα μάζας  $\Delta M$  ονομάζεται η διαφορά της μάζας  $M_\pi$  ενός πυρήνα, από το άθροισμα των μαζών των ελευθέρων νουκλεονίων αυτού. Δηλαδή  $\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_\pi$ . Όπου  $Z$  είναι ο αριθμός των πρωτονίων,  $m_p$  είναι η μάζα κάθε πρωτονίου,  $N$  είναι ο αριθμός των νετρονίων και  $m_n$  η μάζα κάθε νετρονίου.

Ενέργεια σύνδεσης  $E_B$  είναι η ισοδύναμη προς το έλλειμμα μάζας ενέργεια. Δηλαδή  $E_B = \Delta M c^2$ .

Ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο  $E_B/A$  είναι το πηλίκο της ενέργειας σύνδεσης προς το πλήθος των νουκλεονίων.

2. Τι εκφράζει η ενέργεια συνδέσεως και πώς μετρείται η σταθερότητα ενός πυρήνα;

### Απάντηση

Η ενέργεια σύνδεσης εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την απομάκρυνση των νουκλεονίων του πυρήνα σε αποστάσεις ώστε να μην αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Η σταθερότητα ενός πυρήνα μετρείται με την ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, τόσο σταθερότερος είναι ο πυρήνας.

3. Τι είναι η μεταστοιχείωση και τι η ραδιενέργεια;

### Απάντηση

Μεταστοιχείωση είναι η διαδικασία μετατροπής του πυρήνα ενός στοιχείου σε πυρήνα άλλου στοιχείου.

Ραδιενέργεια (φυσική) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένας πυρήνας μετατρέπεται αυθορμήτως σε άλλο πυρήνα με παράλληλη έκκληση ενέργειας και ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας.

4. Ποιος είναι ο λόγος πού οι μεγάλοι πυρήνες έχουν πιο πολλά νετρόνια παρά πρωτόνια;

### Απάντηση

Τά νετρόνια συμβάλλουν στην σταθερότητα του πυρήνα με την συμμετοχή τους στην ισχυρή αλληλεπίδραση, ενώ δεν μετέχουν στις απωστικές διαλυτικές του πυρήνα δυνάμεις, ως αφόρτιστα. Έτσι στους μεγάλους πυρήνες, επειδή οι απωστικές δυνάμεις μεταξύ των πρωτονίων κυριαρχούν, δεδομένης της μικρής εμβέλειας των ισχυρών πυρηνικών, το πλεόνασμα των ουδετέρων νετρονίων αυξάνει τις ισχυρές πυρηνικές και αντισταθμίζει τις απωστικές ηλεκτρικές.

5. Ποιες αρχές πρέπει να τηρούνται σε κάθε πυρηνική αντίδραση;

### Απάντηση

Σε κάθε πυρηνική αντίδραση θα πρέπει να τηρείται η αρχή διατήρησης του φορτίου και η αρχή διατήρησης του συνολικού αριθμού των νουκλεονίων.

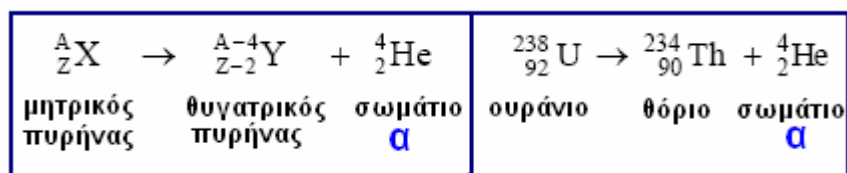
6. Τι γνωρίζετε για την διάσπαση α; Από πού προκύπτει η παραγόμενη ενέργεια; Αναφέρετε ένα παράδειγμα.

### Απάντηση

Διάσπαση α είναι η εκπομπή σωματίων α από έναν βαρύ πυρήνα που λέγεται μητρικός και η ταυτόχρονη μετατροπή του σε νέο πυρήνα που λέγεται θυγατρικός. Επειδή τά σωματία α, ως πυρήνες του στοιχείου ήλιου, αποτελούνται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, κατά την διάσπαση αυτή ο μόν μητρικός πυρήνας υφίσταται μείωση του μαζικού του αριθμού κατά 4 και του ατομικού κατά 2, ο δε θυγατρικός πυρήνας που προκύπτει είναι σταθερότερος.

Η ενέργεια που παράγεται, εκδηλούμενη ως κινητική του θυγατρικού πυρήνα και του σωματίου α, οφείλεται στην διαφορά μαζών μεταξύ του μητρικού αφ' ενός και του αθροίσματος των μαζών του θυγατρικού και του σωματίου α αφ' ετέρου. Ο μητρικός πυρήνας έχει μεγαλύτερη μάζα. Το έλλειμμα μάζας μετατρέπεται στην εν λόγω ενέργεια.

Η διάσπαση α απεικονίζεται με το παρακάτω σχήμα, στο οποίο φαίνεται και η διάσπαση του ουρανίου 238 ως παράδειγμα.



7. Τι γνωρίζετε για την διάσπαση β; Σε ποιες περιπτώσεις διακρίνεται; Αναφέρετε ένα παράδειγμα.

### Απάντηση

Διάσπαση β είναι η εκπομπή σωματιδίου β (ηλεκτρόνιο ή ποζιτρόνιο) από έναν πυρήνα και διακρίνεται σε **διάσπαση β<sup>-</sup>** αν πρόκειται για εκπομπή ηλεκτρονίου και **διάσπαση β<sup>+</sup>**, αν πρόκειται για εκπομπή ποζιτρονίου. Στην πρώτη περίπτωση ο αριθμός των πρωτονίων αυξάνεται κατά ένα στον θυγατρικό πυρήνα, ενώ ο αριθμός των νετρονίων μειώνεται κατά ένα. Στην δεύτερη περίπτωση ο αριθμός των πρωτονίων μειώνεται κατά ένα στον θυγατρικό πυρήνα, ενώ ο αριθμός των νετρονίων αυξάνεται κατά ένα. Συνεπώς ο μαζικός αριθμός παραμένει αμετάβλητος και στις δύο περιπτώσεις.

Προφανώς το εκπεμπόμενο ηλεκτρόνιο (ή ποζιτρόνιο) δεν βρίσκεται μέσα στον πυρήνα, αλλά σχηματίζεται με την διάσπαση ενός νετρονίου (ή πρωτονίου) σε ένα πρωτόνιο (ή νετρόνιο), ένα ηλεκτρόνιο (ή ποζιτρόνιο) και ένα αντινεutrino (ή νεutrino).

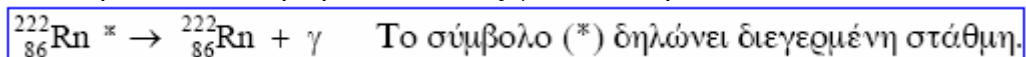
Υπεύθυνη για την διάσπαση β είναι η ασθενής αλληλεπίδραση μεταξύ των κουάρκ του νετρονίου ή του πρωτονίου. Η παρουσία μάλιστα του νετρίνο υπαγορεύθηκε από την ανάγκη να ισχύουν οι αρχές διατήρησης ενέργειας και ορμής, δεδομένου ότι ήταν αδύνατη η ανίχνευσή του. Ανακαλύφθηκε αργότερα. Τά σχήματα των δύο διασπάσεων και οι αντίστοιχες μετατροπές των νουκλεονίων εμφανίζονται στο παρακάτω σχήμα, όπου εικονίζεται και ένα παράδειγμα.

διάσπαση β <sup>-</sup>	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}_{-1}e + \bar{\nu}_e$	${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + e^- + \bar{\nu}_e$
διάσπαση β <sup>+</sup>	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}_{+1}e + \nu_e$	${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + e^+ + \nu_e$
ο άνθρακας μετατρέπεται σε άζωτο με διάσπαση β ${}^{14}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + {}_{-1}e + \bar{\nu}_e$		

8. Τι γνωρίζετε για την διάσπαση γ; Αναφέρετε ένα παράδειγμα.

### Απάντηση

**Διάσπαση γ** είναι η εκπομπή ακτίνων γ κατά την αποδιέγερση πυρήνων, οι οποίοι βρίσκονται σε διεγερμένη στάθμη λόγω ίσως προηγούμενης διάσπασης α ή β. Τά φωτόνια που παράγονται κατά την μετάπτωση σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη, είναι εξαιρετικά υψηλής συχνότητας και συνεπώς ενεργείας. Κατά την διάσπαση γ δεν μεταβάλλεται ούτε ο μαζικός ούτε ο ατομικός αριθμός του πυρήνα. Ένα παράδειγμα διάσπασης γ αποτελεί η ακτινοβολία του διεγερμένου ραδονίου και η μετάπτωσή του σε σταθερό ραδόνιο, όπως φαίνεται παρακάτω.



9. Τι γνωρίζετε για την διεισδυτική ικανότητα των σωματιδίων α, β, γ και πώς μπορεί να γίνει διαχωρισμός αυτών;

### Απάντηση

Τά σωματίδια α έχουν ελάχιστη διεισδυτική ικανότητα, μόλις διαπερνούν ένα φύλλο χαρτί, τά σωματίδια β έχουν μεγαλύτερη, μπορούν να διαπεράσουν φύλλα αλουμινίου πάχους λίγων εκατοστών, ενώ οι ακτίνες γ έχουν πολύ μεγάλη διεισδυτική ικανότητα και μπορούν να διαπεράσουν αρκετά εκατοστά μολύβδου. Η μεγάλη διεισδυτικότητα των ακτίνων γ οφείλεται στο γεγονός, ότι δεν φέρουν φορτίο και δεν αλληλεπιδρούν με την ύλη ηλεκτρικά.

Ο διαχωρισμός των σωματιδίων α, β και γ στηρίζεται στο είδος του ηλεκτρικού φορτίου που φέρουν. Έτσι αν οδηγηθούν σε ένα μαγνητικό πεδίο, τά μέν σωματίδια α και β εκτρέπονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, οι δε ακτίνες γ δεν εκτρέπονται καθόλου.

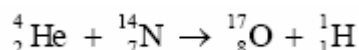
10. Τι ονομάζονται πυρηνικές αντιδράσεις; Διατυπώστε τις γενικότερες αρχές της φυσικής οι οποίες πρέπει να τηρούνται κατά την πραγματοποίησή τους. Δώστε την πρώτη πυρηνική αντίδραση που παρατήρησε ο Rutherford.

### Απάντηση

Πυρηνικές αντιδράσεις είναι φαινόμενα βομβαρδισμού και κρούσης διαφόρων πυρήνων – στόχων με κινούμενα σωματίδια, οπότε παράγονται νέοι πυρήνες.

Κατά την πραγματοποίηση των πυρηνικών αντιδράσεων τηρούνται οι αρχές διατήρησης ενέργειας, ορμής και φορτίου. Η διατήρηση του φορτίου επιβάλλει την ισότητα του αθροίσματος των ατομικών αριθμών πριν και μετά την κρούση. Επίσης στις πυρηνικές αντιδράσεις διατηρείται ο ολικός αριθμός νουκλεονίων, δηλαδή το άθροισμα των μαζικών αριθμών πριν την κρούση πρέπει να ισούται με το άθροισμα αυτών μετά την κρούση.

Η πρώτη πυρηνική αντίδραση που παρατήρησε ο Rutherford, αφορούσε βομβαρδισμό πυρήνων αζώτου με σωματίδια α, οπότε σχηματιζόταν πυρήνες οξυγόνου και υδρογόνου :



11. Πώς ορίζεται η ενέργεια μιάς πυρηνικής αντίδρασης; Ποιες πυρηνικές αντιδράσεις λέγονται εξώθερμες και ποιες ενδόθερμες;

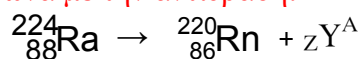
### Απάντηση

Η ενέργεια  $Q$  μιάς πυρηνικής αντίδρασης προσδιορίζεται από την ισοδύναμη διαφορά των μαζών ηρεμίας πριν και μετά την αντίδραση. Δηλαδή για μια πυρηνική αντίδραση  $A+B \rightarrow \Gamma+\Delta$ , η ενέργειά της είναι  $Q = (M_A + M_B - M_\Gamma - M_\Delta)c^2$ .

**Εξώθερμες** είναι οι πυρηνικές αντιδράσεις για τις οποίες η ενέργεια  $Q$  είναι θετική. Η μάζα των αντιδρώντων δηλαδή είναι μεγαλύτερη από την μάζα των προϊόντων, αλλά και η κινητική ενέργεια των προϊόντων είναι μεγαλύτερη από αυτή των αντιδρώντων.

**Ενδόθερμες** είναι οι πυρηνικές αντιδράσεις για τις οποίες η ενέργεια  $Q$  είναι αρνητική. Η μάζα των αντιδρώντων δηλαδή είναι μικρότερη από την μάζα των προϊόντων, αλλά και η κινητική ενέργεια των προϊόντων είναι μικρότερη από αυτή των αντιδρώντων.

12. Ο πυρήνας  ${}^{224}_{88}\text{Ra}$  διασπάται σε  ${}^{220}_{86}\text{Rn}$  με ταυτόχρονη εκπομπή αγνώστου σωματίου  $Y$ , σύμφωνα με την αντίδραση:



Ποιο είναι το σωματίο  $Y$ ;

### Απάντηση

Εφαρμόζουμε την αρχή διατήρησης φορτίου για την εν λόγω αντίδραση και έχουμε :  $88 = 86 + Z \Rightarrow Z = 2$ .

Εφαρμόζουμε και την αρχή διατήρησης του συνολικού αριθμού των νουκλεονίων για την εν λόγω αντίδραση και έχουμε :

$224 = 220 + A \Rightarrow A = 4$ . Επομένως το σωματίο  $Y$  είναι το  ${}^4_2\text{He}$ , δηλαδή το σωματίο α, ο πυρήνας του στοιχείου ήλιου.

13. Η ενέργεια σύνδεσης  $E_{BX}$  του πυρήνα  ${}^A X_{Z1}$  είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια σύνδεσης  $E_{B\Psi}$  του πυρήνα  ${}^A \Psi_{Z2}$ . Ποιος από τους παραπάνω δύο πυρήνες είναι σταθερότερος και γιατί;

### Απάντηση

Γνωρίζουμε ότι η σταθερότητα ενός πυρήνα καθορίζεται από την ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο. Επειδή οι δύο πυρήνες έχουν τον ίδιο μαζικό αριθμό A, θα έχουν τον ίδιο αριθμό νουκλεονίων A.

Συνεπώς σταθερότερος θα είναι ο πυρήνας  ${}^A X_{Z1}$ , επειδή αυτός έχει την μεγαλύτερη ενέργεια σύνδεσης, οπότε θα έχει και την μεγαλύτερη ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο.

Δηλαδή  $E_{BX}/A > E_{B\Psi}/A \Rightarrow$  πυρήνας X σταθερότερος του Ψ.

14. Ραδιενεργός πυρήνας A έχει ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο 7,9 MeV/νουκλεόνιο, ενώ ένας άλλος ραδιενεργός πυρήνας B έχει ενέργεια σύνδεσης  $E_B = 1.200$  MeV. Αν ο πυρήνας A είναι σταθερότερος από τον πυρήνα B, να υπολογισθεί ο μαζικός αριθμός του πυρήνα B. (140,150 ή 160)

#### Απάντηση

Αφού ο πυρήνας A είναι σταθερότερος από τον πυρήνα B, θα πρέπει η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο του B να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του A. Δηλαδή  $E_B/A < 7,9$ . Για A=160 ισχύει  $E_B/A = 1200/160 = 7,5 < 7,9$ , ενώ για A=140 ή 150 δεν πληρούται η ανισότητα  $E_B/A < 7,9$ . Συνεπώς ο ζητούμενος μαζικός αριθμός είναι A=160.

15. α) Να συμπληρωθούν οι παρακάτω πυρηνικές αντιδράσεις β) Ποιες από αυτές αντιστοιχούν σε διασπάσεις α και ποιες σε διασπάσεις β;

#### Απάντηση

Α	${}_{13}^{27}\text{Al} + \dots \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$
Β	${}_{67}^{164}\text{Ho} \rightarrow \dots + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e$
Γ	${}_1^2\text{H} + \dots \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$
Δ	${}_2^4\text{He} + \dots \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + {}_1^1\text{H}$

16. α) Να συμπληρωθούν οι παρακάτω πυρηνικές αντιδράσεις β) Σε ποιο τύπο ραδιενέργειας αντιστοιχούν;

Α	$\dots {}_{92}\text{U} \rightarrow \dots {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$
Β	${}_6^{14}\text{C} \rightarrow \dots {}_7\text{N} + \text{e}^- + \bar{\nu}_e$

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Ένας ραδιοφωνικός σταθμός εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας  $f = 100 \text{ MHz}$ . α) Πόση είναι η ενέργεια ενός φωτονίου αυτής της ακτινοβολίας; β) Να συγκρίνετε το αποτέλεσμα με την ενέργεια του κίτρινου φωτός, μήκους κύματος  $\lambda_{\kappa} = 600 \text{ nm}$  στο κενό και γ) Να βρείτε τον αριθμό των φωτονίων που εκπέμπονται ανά δευτερόλεπτο, αν η ισχύς που ακτινοβολείται είναι  $p = 6,63 \text{ kW}$ . Δίνεται η σταθερά του Planck,  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{sec}$  και η ταχύτητα του φωτός στον αέρα  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ .

### Λύση

α) Η ενέργεια του φωτονίου δίνεται από την σχέση  $E = hf = 6,63 \times 10^{-34} \cdot 100 \times 10^6$   
 $\Rightarrow E = 6,63 \times 10^{-26} \text{ Joule}$ .

β) Η ενέργεια των φωτονίων του κίτρινου χρώματος θα είναι ομοίως  $E_{\kappa} = h \cdot f_{\kappa} = h \cdot c / \lambda_{\kappa} = 6,63 \times 10^{-34} \cdot 3 \times 10^8 / 600 \cdot 10^{-9} \Rightarrow E_{\kappa} = 3,315 \times 10^{-19} \text{ Joule}$ .

Για την σύγκριση των δύο ενεργειών λαμβάνουμε τον λόγο αυτών και έχουμε :

$$E / E_{\kappa} = 6,63 \times 10^{-26} \text{ Joule} / 3,315 \times 10^{-19} \text{ Joule} = 2 \times 10^{-7} < 1 \Rightarrow E_{\kappa} > E$$

γ) Εάν  $N$  είναι ο αριθμός των φωτονίων που εκπέμπει ο σταθμός, ισχύουν για την ισχύ τα ακόλουθα:

$$p = E/t = NE/t \Rightarrow N/t = p/E = 6,63 \times 10^3 / 6,63 \times 10^{-26} \text{ Joule} \Rightarrow N/t = 10^{29} \text{ φωτόνια ανά δευτερόλεπτο.}$$

2. Σε μια ακτινογραφία απαιτούνται ακτίνες X μήκους κύματος  $\lambda = 10^{-10} \text{ m}$ . Η ένταση του ρεύματος της δέσμης των ηλεκτρονίων είναι  $I = 40 \text{ mA}$  και ο χρόνος λήψης της ακτινογραφίας είναι  $t = 0,1 \text{ sec}$ . Θεωρούμε ότι όλη η κινητική ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου: α) Ποια τάση εφαρμόζεται στο σωλήνα παραγωγής ακτίνων X; β) Πόση ισχύ και πόση ενέργεια μεταφέρει η ηλεκτρονική δέσμη; γ) Ποια είναι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων τη στιγμή που προσπίπτουν στην άνοδο; δ) Πόσα ηλεκτρόνια ανά δευτερόλεπτο προσπίπτουν στην άνοδο; ε) Πόση είναι η ισχύς της ακτινοβολίας X αν η απόδοση της συσκευής σε ακτίνες X είναι 2%. στ) Η ενέργεια που μεταφέρεται από την ακτινοβολία σε χρονικό διάστημα  $\Delta t = 0,1 \text{ s}$ . (θεωρούμε ότι όλη η ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου). Δίνεται η σταθερά του Planck,  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{sec}$ , η ταχύτητα του φωτός στον αέρα  $c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ , το φορτίο του ηλεκτρονίου  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Cb}$ ,  $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ Kgr}$ .

### Λύση

α) Στον σωλήνα παραγωγής ακτίνων X, κάθε ηλεκτρόνιο επιταχύνεται από το πεδίο της ανοδικής τάσης, αποκτά δηλαδή κινητική ενέργεια από το έργο που παράγει το ηλεκτρικό πεδίο, και η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου. Δηλαδή

$$W = eU = hf = hc_0/\lambda \Rightarrow eU = hc_0/\lambda \Rightarrow U = hc_0/le (1) \Rightarrow U = 12430 \text{ V}$$

β) Η ισχύς της δέσμης είναι  $p = UI = 12430 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 497,2 \text{ W}$ . Η μεταφερόμενη ηλεκτρονική ενέργεια θα είναι  $E = p \cdot t = 497,2 \cdot 0,1 \Rightarrow E = 49,72 \text{ Joule}$ .

γ) Σύμφωνα και με τα παραπάνω η κινητική ενέργεια που αποκτά ένα ηλεκτρόνιο την οφείλει στο έργο του ηλεκτρικού πεδίου, δηλαδή  $K = W \Rightarrow \frac{1}{2} m v^2 = eU \Rightarrow v^2 = 2eU/m \Rightarrow 2 \cdot 1,16 \times 10^{-19} \cdot 12430/9,1 \times 10^{-31} \Rightarrow v = 66,1 \times 10^6 \text{ m/sec}$ .

δ) Από την ένταση του ρεύματος προκύπτει ότι  $I = Q/t \Rightarrow Q = It = 40 \times 10^{-3} \cdot 1 \Rightarrow Q = 4 \times 10^{-2} \text{ Cb}$ . Το φορτίο αυτό που έρχεται στην άνοδο σε χρόνο 1 δευτερόλεπτο αντιστοιχεί σ' ένα πλήθος  $N$  ηλεκτρονίων. Επειδή δε το 1 ηλεκτρόνιο έχει φορτίο  $e = 1,16 \times 10^{-19} \text{ Cb}$ , το φορτίο  $Q = 4 \times 10^{-2} \text{ Cb}$  θα οφείλεται σε  $N = Q/e = 4 \times 10^{-2} / 1,16 \times 10^{-19} = 2,5 \times 10^{17}$  ηλεκτρόνια.

ε) Η απόδοση ως γνωστόν είναι  $\alpha = p_{\omega\phi} / p_{\delta\alpha\pi} = p_x / p \Rightarrow p_x = \alpha p = 0,02 \cdot 497,2 \Rightarrow p_x = 9,944 \text{ W}$ .

στ) Η μεταφερόμενη από τις ακτίνες X ενέργεια  $E_x$  σε χρόνο  $\Delta t = 0,1 \text{ sec}$  δίνεται από την σχέση  $p_x = E_x/t \Rightarrow E_x = p_x \Delta t = 9,944 \cdot 0,1 \Rightarrow E_x = 0,994 \text{ joule}$ .

3. Ένα άτομο υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη του κατάσταση ( $n = 1$ ) με ενέργεια  $E_1 = -13,6 \text{ eV}$ . Στο σχήμα δίνεται το διάγραμμα των τεσσάρων πρώτων ενεργειακών σταθμών του ατόμου του υδρογόνου. α) Να υπολογίσετε την ενέργεια κάθε διεγερμένης κατάστασης ( $n = 2, n = 3, n = 4$ ). β) Ένα σωματίδιο με κινητική ενέργεια  $K_1 = 13 \text{ eV}$  συγκρούεται με το παραπάνω άτομο υδρογόνου. Το άτομο απορροφά τμήμα της κινητικής ενέργειας του σωματιδίου και διεγείρεται στην ενεργειακή στάθμη με κύριο κβαντικό αριθμό  $n = 3$ . Να υπολογίσετε την τελική κινητική ενέργεια του σωματιδίου. γ) Το διεγερμένο άτομο, μετά από ελάχιστο χρονικό διάστημα, επανέρχεται στη θεμελιώδη του κατάσταση. Να μεταφέρετε το σχήμα των ενεργειακών σταθμών στο τετράδιό σας και να σχεδιάσετε τις δυνατές μεταβάσεις του ηλεκτρονίου από τη διεγερμένη κατάσταση στη θεμελιώδη κατάσταση. δ) Σε μια από τις παραπάνω μεταβάσεις εκπέμπεται ακτινοβολία με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Να υπολογίσετε τη συχνότητα αυτή. Δίνεται η σταθερά του Planck  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Joule-sec}$ , και ότι  $1 \text{ eV} = 1,16 \times 10^{-19} \text{ Joule}$ .

### Λύση

α) Η ενέργεια κάθε στάθμης δίνεται από την σχέση  $E_n = E_1/n^2$  όπου  $E_1 = -13,6 \text{ eV}$ , είναι η ενέργεια του ηλεκτρονίου για την τροχιά με την μικρότερη ακτίνα, δηλαδή για  $n = 1$ . Η ενέργεια για τις άλλες ενεργειακές στάθμες θα είναι :

$$\text{Για } n = 2 \Rightarrow E_2 = E_1/2^2 = E_1/4 = -13,6/4 \Rightarrow E_2 = -3,4 \text{ eV}$$

$$\text{Για } n = 3 \Rightarrow E_3 = E_1/3^2 = E_1/9 = -13,6/9 \Rightarrow E_3 = -1,51 \text{ eV}$$

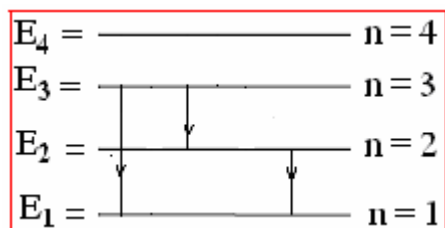
$$\text{Για } n = 4 \Rightarrow E_4 = E_1/4^2 = E_1/16 = -13,6/16 \Rightarrow E_4 = -0,85 \text{ eV}.$$

β) Για να μεταπηδήσει το ηλεκτρόνιο από την τροχιά με  $n = 1$  στην τροχιά με  $n = 3$ , θα πρέπει να απορροφήσει ενέργεια  $\Delta E$  ίση με την διαφορά ενεργειών των δύο τροχιών. Δηλαδή  $\Delta E = E_3 - E_1 = -1,51 \text{ eV} - (-13,6 \text{ eV}) \Rightarrow \Delta E = 12,09 \text{ eV}$ .

Την ενέργεια αυτή την προσφέρει το σωματίδιο που συγκρούεται με το άτομο του υδρογόνου, του οποίου η κινητική ενέργεια θα υφίσταται ισότιμη μείωση. Επομένως η τελική κινητική ενέργεια του σωματιδίου θα είναι :

$$K_2 = K_1 - \Delta E = 13 - 12,09 \Rightarrow K_2 = 0,91 \text{ eV}.$$

γ) Οι δυνατές μεταβάσεις του ηλεκτρονίου από τη διεγερμένη κατάσταση ( $n = 3$ ) στην θεμελιώδη κατάσταση ( $n = 1$ ) φαίνονται στο σχήμα.



δ) Η ακτινοβολία με την μεγαλύτερη συχνότητα θα εκπέμπεται κατά την μετάβαση από την στάθμη με  $n = 3$  στην στάθμη με  $n = 1$ , γιατί σ' αυτή τη μετάβαση αντιστοιχεί η μεγαλύτερη διαφορά ενέργειας. Θα ισχύει δε ότι:

$$E_3 - E_1 = h \cdot f \Rightarrow f = (E_3 - E_1)/h = 12,09 \text{ eV}/h = 12,09 \cdot 1,6 \times 10^{-19} \text{ Joule}/6,63 \times 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{sec} \Rightarrow f = 2,92 \times 10^{19} \text{ Hz.}$$