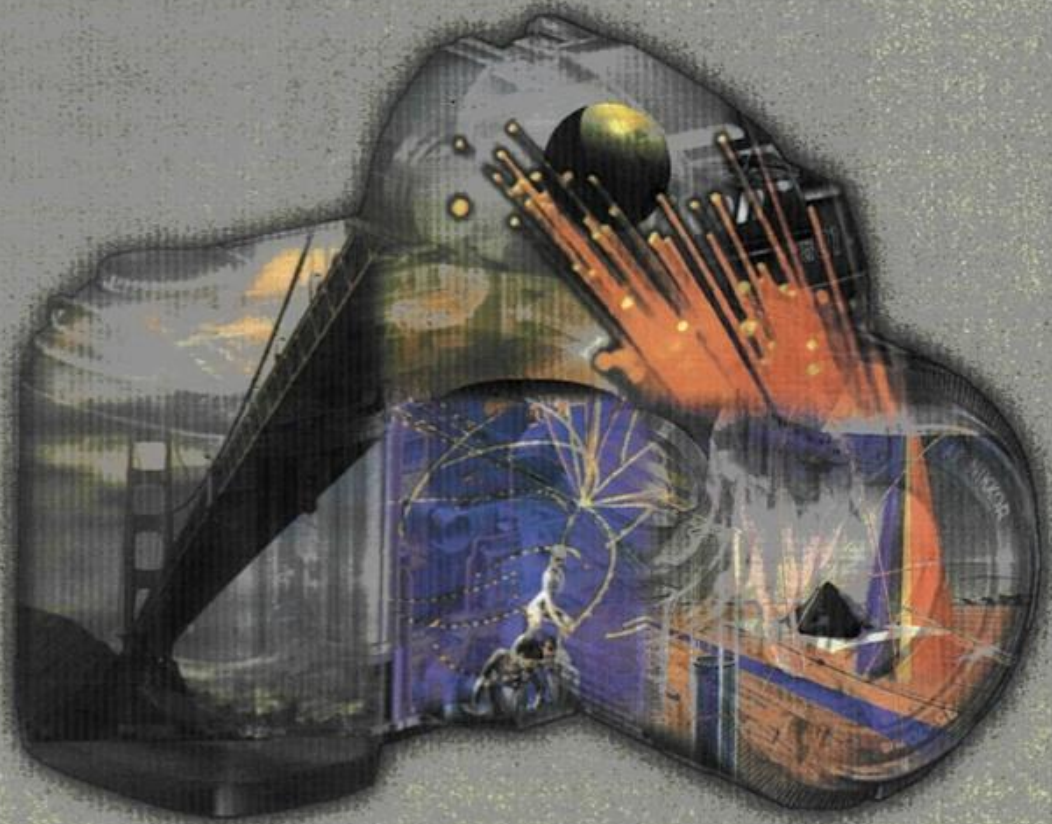


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΦΥΣΙΚΗ

ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ

Γ' ΤΑΞΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ

ΑΘΗΝΑ

ΦΥΣΙΚΗ

ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
Γ ΤΑΞΗΣ ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

Τόμος 2ος

ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ

**Πέτρος Γεωργακάκος, φυσικός,
καθηγητής 3ου Λυκείου**

Ηλιούπολης

**Αθανάσιος Σκαλωμένος, φυσικός,
καθηγητής 1ου Λυκείου Ζωγράφου**

**Νικόλαος Σφαρνάς, φυσικός,
καθηγητής 56ου Λυκείου Αθηνών**

**Ιωάννης Χριστακόπουλος,
φυσικός, καθηγητής του Ε.Π.Λ.**

**Νέας Φιλαδέλφειας «Μίλτος
Κουντουράς»**

ΟΜΑΔΑ ΚΡΙΣΗΣ

**Ευάγγελος Κούκλης, φυσικός,
καθηγητής 6ου Λυκείου Ζωγράφου**

**Σπύρος Τζαμαρίας, φυσικός
στοιχειωδών σωματιδίων. Κύριος
ερευνητής Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος»**

**Χρήστος Χρονόπουλος, φυσικός,
καθηγητής 4ου Λυκείου
Αμαρουσίου**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ**

**Χρήστος Δούκας, πάρεδρος
Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, τομέας
Φυσικών Επιστημών**

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

**Μαρίτα Κλειδωνάρη, φιλόλογος,
καθηγήτρια Λυκείου Αγίου
Στεφάνου**

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΓΙΑ
ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ**

**Ομάδα Εργασίας Ινστιτούτο
Εκπαιδευτικής Πολιτικής (Ι.Ε.Π.) –
(Ιουστίνα Φλεμοτόμου)**

(επιμέλεια:

Γεωργία Παπασταυρινίδου)

ΠΕΤΡΟΣ ΓΕΩΡΓΑΚΑΚΟΣ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΣΚΑΛΩΜΕΝΟΣ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΦΑΡΝΑΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΡΙΣΤΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

Φ Υ Σ Ι Κ Η

ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ

Γ ΤΑΞΗΣ ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

Τόμος 2ος

ΣΥΝΟΨΗ 1ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

□ Το φως έχει διπλή φύση. Συμπεριφέρεται ως κύμα και ως σωματίο που ονομάζεται φωτόνιο. Σε φαινόμενα όπως η συμβολή, η περίθλαση και η πόλωση εκδηλώνεται η κυματική φύση του φωτός (ηλεκτρομαγνητικό κύμα), ενώ σε φαινόμενα που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη (απορρόφηση - εκπομπή), όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, εκδηλώνεται η σωματιδιακή φύση του φωτός.

□ Σύμφωνα με τη θεωρία του Maxwell, το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία ξεκινούν από τη φωτεινή πηγή και διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις.

□ Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του Planck, το φως (και γενικότερα κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) εκπέμπεται και απορροφάται από τα άτομα της ύλης όχι κατά συνεχή τρόπο αλλά ασυνεχώς. Δηλαδή κάθε άτομο εκπέμπει ή απορροφά στοιχειώδη ποσά ενέργειας, που ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια.

□ Το φως, όπως και κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, διαδίδεται στο κενό με σταθερή ταχύτητα περίπου 3×10^8 m/s. Η τιμή της ταχύτητας του φωτός στο κενό είναι μια θεμελιώδης σταθερά της φύσης.

□ Το πηλίκο της ταχύτητας c_0 του φωτός στο κενό προς την ταχύτητα c μέσα σε κάποιο υλικό ονομάζεται δείκτης διάθλασης n του υλικού μέσου. Ισχύει δηλαδή:

$$n = \frac{\text{ταχύτητα του φωτός στο κενό}}{\text{ταχύτητα του φωτός στο μέσο}} = \frac{c_0}{c}$$

□ Σε ένα υλικό οπτικό μέσο η ταχύτητα του φωτός είναι διαφορετική για διαφορετικά μήκη κύματος. Ο δείκτης διάθλασης του μέσου δεν είναι σταθερός, αλλά εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός. Το φαινόμενο αυτό, δηλαδή η εξάρτηση της ταχύτητας του κύματος και του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος, ονομάζεται διασκεδασμός.

□ Το ορατό φως έχει όρια και τα χρώματά του έχουν μήκη κύματος που κυμαίνονται μεταξύ 400nm του ιώδους και 700nm του ερυθρού. Εκτός από την ακτινοβολία της ορατής περιοχής του φάσματος υπάρχει και ακτινοβολία αόρατη, η οποία βρίσκεται πέρα από την ιώδη περιοχή, με μήκη κύματος

μικρότερα των 400nm. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται υπεριώδης ακτινοβολία. Μετά την ερυθρή περιοχή του φάσματος υπάρχει αόρατη ακτινοβολία με μήκη κύματος μεγαλύτερα των 700nm, η οποία προκαλεί έντονη αύξηση της θερμοκρασίας των στερεών και υγρών σωμάτων. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται υπέρυθρη ακτινοβολία.

□ Το φυσικό φως είναι σύνθεση πολλών κυμάτων με διάφορα επίπεδα ταλάντωσης των ηλεκτρικών τους πεδίων και τυχαίες διευθύνσεις διάδοσης. Το φυσικό φως που δεχόμαστε απευθείας από μία φωτεινή πηγή, επειδή προέρχεται από πολλά άτομα ή μόρια, έχει πολλά επίπεδα ταλάντωσης και συνεπώς δεν είναι πολωμένο.

□ Για την πόλωση του φυσικού

φωτός χρησιμοποιούμε ειδικά πολωτικά φίλτρα. Μετά τη χρήση του φίλτρου το επίπεδο ταλάντωσης του κύματος είναι αυτό που καθορίζεται από το υλικό του φίλτρου. Η συσκευή που περιέχει το πολωτικό φίλτρο ονομάζεται πολωτής.

□ Η γωνία ολικής πόλωσης του φωτός, για κάθε μέσο, είναι εκείνη η γωνία πρόσπτωσης για την οποία η ανακλώμενη ακτίνα και η διαθλωμένη είναι κάθετες μεταξύ τους. Τα γυαλιά ηλίου που διαθέτουν απορροφητικό φίλτρο polaroid έχουν τέτοια κατασκευή, ώστε το χαρακτηριστικό επίπεδο πόλωσής τους να είναι κατακόρυφο και να απορροφούν στο μέγιστο δυνατό την οριζόντια συνιστώσα του ανακλώμενου φωτός. Έτσι στα μάτια φτάνει ένα μικρό ποσοστό του πολωμένου φωτός.

□ Όταν το ορατό φως προσπίπτει σε ένα σύστημα σωματίων, απορροφάται από αυτά και επανεκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις, χωρίς να αλλάζει η συχνότητα των διάφορων ακτινοβολιών του. Η απορρόφηση και η επανεκπομπή αυτή του φωτός ονομάζεται σκέδαση.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- 1.** Οι αστρονόμοι ισχυρίζονται ότι η σημερινή εικόνα ενός γαλαξία στο τηλεσκόπιο αφορά κάποια στιγμή του παρελθόντος του. Πώς εξηγείτε αυτό τον ισχυρισμό;
- 2.** Τι είναι το φως σύμφωνα με τη θεωρία του Maxwell;
- 3.** Πώς ερμηνεύει η κβαντική θεωρία του Planck την εκπομπή και την απορρόφηση του φωτός;
- 4.** Εξηγήστε γιατί, όταν φως διαπερνά μία διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών μέσων, η συχνότητά του παραμένει αμετάβλητη.
- 5.** Εξηγήστε γιατί το μήκος κύματος μίας μονοχρωματικής ακτινοβολίας, που διαδίδεται σε δύο οπτικά υλικά μέσα, έχει μικρότερη τιμή στο πυκνότερο μέσο σε σχέση με αυτήν που έχει στο αραιότερο.

6. Όταν το φως μεταβαίνει από ένα μέσο σε κάποιο άλλο δεν μεταβάλλονται:

α. το μήκος κύματος και η ταχύτητά του.

β. η συχνότητα και το μήκος κύματος του.

γ. η ταχύτητά του και η ενέργεια των φωτονίων.

δ. η ενέργεια των φωτονίων και η συχνότητά του.

7. Σημειώστε με Σ ή Λ όποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές ή λάθος αντίστοιχα:

α. Το φως διαδίδεται σε όλα τα οπτικά υλικά μέσα με ταχύτητα περίπου 3×10^8 m/s.

β. Το φως διαδίδεται στο κενό με ταχύτητα περίπου 3×10^8 m/s.

γ. Η ταχύτητα του φωτός μικραίνει, όταν το φως περνά από πυκνότερο σε αραιότερο οπτικό υλικό μέσο.

δ. Η ταχύτητα του φωτός μικραίνει, όταν το φως περνά από αραιότερο σε πυκνότερο οπτικό υλικό μέσο.

8. Ποιο φαινόμενο ονομάζεται διασκεδασμός του φωτός;

9. Κατά την ανάλυση του λευκού φωτός παίρνουμε μία ταινία με διάφορα χρώματα. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί συμβαίνει αυτό;

10. Φως μεγαλύτερου μήκους κύματος (ερυθρό) έχει μεγαλύτερη ταχύτητα σε ένα μέσο από φως μικρότερου μήκους κύματος (ιώδες); Να εξηγήσετε πως διαπιστώνουμε αυτό το γεγονός.

11. Δύο μονοχρωματικές ακτίνες φωτός, η κόκκινη και η κίτρινη, εκτρέπονται από γυάλινο πρίσμα. Ποιες από τις προτάσεις που ακουθούν είναι σωστές;

α. Η γωνία εκτροπής της κόκκινης είναι μικρότερη από την αντίστοιχη της κίτρινης.

β. Η γωνία εκτροπής της κόκκινης είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της κίτρινης.

γ. Η κόκκινη ακτίνα διαδίδεται στο γυαλί με μεγαλύτερη ταχύτητα από ό,τι η κίτρινη.

δ. Η κόκκινη και η κίτρινη ακτίνα διαδίδονται στο γυαλί με την ίδια ταχύτητα.

12. Οι δείκτες διάθλασης ενός τυπικού γυαλιού, που ακολουθούν, αντιστοιχούν σε καθένα από τα χρώματα. Να κάνετε την αντιστοιχία χρώματος - δείκτη διάθλασης.

Ιώδης 1,530

Μπλε 1,520

Πράσινο 1,517

Κίτρινο 1,512

Πορτοκαλί 1,525

Κόκκινο 1,508

13. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά του φωτός σε σχέση με τη διάδοσή του σε οπτικά μέσα;

14. Η γωνία εκτροπής κάθε χρώματος, όταν αυτό διέρχεται από πρίσμα:

α. είναι τόσο μικρότερη, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος του χρώματος.

β. είναι τόσο μικρότερη όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος του χρώματος.

γ. δεν εξαρτάται από το μήκος κύματος του χρώματος.

δ. είναι ίδια για όλα τα χρώματα.

15. Ο δείκτης διάθλασης ενός οπτικού μέσου:

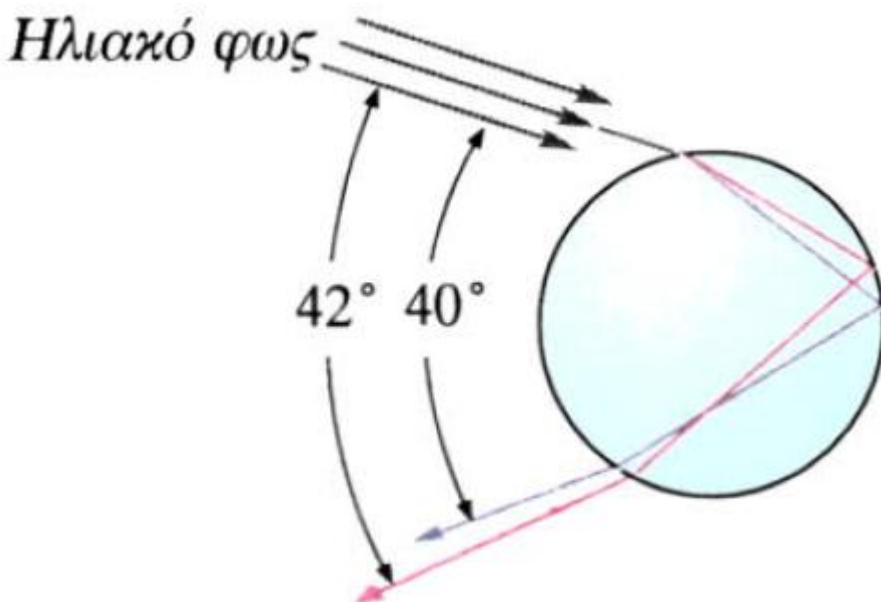
α. είναι ίδιος για όλα τα χρώματα.

β. αυξάνεται όσο αυξάνεται το μήκος κύματος του χρώματος.

γ. ελαττώνεται όσο αυξάνεται το μήκος κύματος του χρώματος.

δ. είναι χαρακτηριστικό μόνο του υλικού του οπτικού μέσου.

16. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε το ηλιακό φως να προσπίπτει σε σταγόνα βροχής. Ποια φαινόμενα παρατηρούνται κατά την πορεία των ακτίνων;



17. Το χρώμα του ουρανού είναι μπλε, γιατί...

α. τα μόρια του αέρα είναι μπλε.

β. η ίριδα των ματιών μας είναι μπλε.

γ. η σκέδαση του φωτός είναι εντονότερη στα μικρά μήκη κύματος.

δ. η σκέδαση του φωτός είναι εντονότερη στα μεγάλα μήκη κύματος.

Ποια από τις παραπάνω προτάσεις είναι η σωστή;

18. Τι είναι τα πολωτικά φίλτρα ή πολωτές;

19. Χρησιμοποιούμε γυαλιά τύπου polaroid, για να «κόψουμε», όσο το δυνατόν, την αντηλιά (έντονη ανάκλαση) του φωτός που προκαλούν λείες επιφάνειες όταν το φως προσπίπτει σ' αυτές (λόγου χάρη στην επιφάνεια της θάλασσας, όταν επικρατεί μπονάτσα).

Ποια πρέπει να είναι η διεύθυνση της πόλωσης του υλικού polaroid,

για να είναι τα γυαλιά αποτελεσματικά;

20. Να αναφέρετε τρεις τουλάχιστον ιδιότητες της υπεριώδους ακτινοβολίας οι οποίες μας πληροφορούν για την ύπαρξή της.

21. Με ποιο τρόπο αντιλαμβανόμαστε ότι πέρα από την ερυθρή περιοχή του φάσματος του ορατού φωτός υπάρχει αόρατη υπέρυθη ακτινοβολία;

22. Πώς ονομάζονται τα όργανα με τα οποία ανιχνεύεται η υπέρυθη ακτινοβολία και σε ποια αρχή βασίζεται η λειτουργία τους;

23. Τι ονομάζουμε φυσικό και τι γραμμικά πολωμένο φως;

24. Γιατί οι αστροναύτες, όταν βρίσκονται στη Σελήνη, βλέπουν μαύρο τον ουρανό;

25. Μπορούμε με έναν πολωτή να αντιληφθούμε ότι το φως κάποιας πηγής που φθάνει στα μάτια μας είναι πολωμένο ή όχι; Μήπως είναι απαραίτητο να έχουμε δύο όμοιους πολωτές; Εξηγήστε γιατί.

26. Τι ονομάζουμε γωνία ολικής πόλωσης; Να γράψετε το νόμο του Brewster.

27. Σημειώστε με Σ ή Λ όποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές ή λάθος αντίστοιχα:

- α. μερικώς πολωμένο,
- β. μόνο γραμμικά πολωμένο,
- γ. μη πολωμένο.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Για την επίλυση των προβλημάτων να θεωρηθούν γνωστά: σταθερά του Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, η ταχύτητα του φωτός στον αέρα $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

1. Σε ένα πείραμα μέτρησης της ταχύτητας του φωτός με τη μέθοδο του Fizeau η απόσταση μεταξύ της φωτεινής πηγής και του κατόπτρου είναι 12945m και ο τροχός έχει 720 διάκενα.

Να υπολογίσετε την ελάχιστη συχνότητα περιστροφής του τροχού αυτού, αν η πειραματική ταχύτητα του φωτός που προέκυψε ήταν $2,982 \times 10^8 \text{ m/s}$.

2. Μία δέσμη φωτός που διαδίδεται στο κενό έχει μήκος κύματος 600nm:

α. Να υπολογίσετε την ταχύτητα διάδοσης αυτής της δέσμης σε γυαλί με δείκτη διάθλασης 1,6.
β. Ποια τιμή έχει το μήκος κύματος της δέσμης, όταν αυτή διαδίδεται στο γυαλί; Δίνεται ότι η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι 300000km/s .

3. Μονοχρωματική ακτίνα φωτός ορισμένης συχνότητας έχει μήκος κύματος 500nm , όταν διαδίδεται στο νερό. Να υπολογιστεί το μήκος κύματος αυτού του φωτός, όταν διαδίδεται στο βενζόλιο. Οι δείκτες διάθλασης του νερού και του βενζολίου είναι αντίστοιχα 1,333 και 1,501.

4. Φως έχει μήκος κύματος 560nm στο κενό. Όταν διαδίδεται στο νερό, έχει ταχύτητα $2,25 \times 10^8 \text{m/s}$. Αν το φως αυτό διαδιδόταν στο νερό,

ποιο θα ήταν τότε το μήκος κύματος του;

5. Φως που διαδίδεται στο κενό έχει μήκος κύματος λ_0 . Όταν το ίδιο φως διαδίδεται στην αιθανόλη, έχει μήκος κύματος 440nm και στη γλυκερίνη 405nm . Ποιος είναι ο λόγος του δείκτη διάθλασης της αιθανόλης προς το δείκτη διάθλασης της γλυκερίνης σε μήκος κύματος λ_0 .

6. Φυσικό φως που διαδίδεται στον αέρα συναντά λεία επιφάνεια πάγου. Η ανακλώμενη ακτίνα βρέθηκε ολικώς πολωμένη. Να προσδιορίσετε τη γωνία πρόσπτωσης. Ο δείκτης διάθλασης του πάγου είναι $1,309$.

7. Μονοχρωματική δέσμη φωτός που διαδίδεται στο νερό προσπίπτει σε γυάλινο κύβο, ο οποίος είναι βυθισμένος εξ ολοκλήρου στο

νερό, υπό γωνία πρόσπτωσης 50° . Ένα μέρος της δέσμης ανακλάται, ενώ το άλλο διαθλάται. Αν η γωνία διάθλασης και η γωνία ανάκλασης έχουν άθροισμα 90° , να υπολογίσετε το δείκτη διάθλασης του γυάλινου κύβου για το φως αυτό, αν ο δείκτης διάθλασης του νερού είναι 1,333.

8. Μονοχρωματική δέσμη φυσικού φωτός που διαδίδεται στον αέρα προσπίπτει στη λεία επιφάνεια ενός κρυστάλλου χαλαζία υπό γωνία 57° (ως προς την κάθετο στο σημείο πρόσπτωσης). Η ανακλώμενη δέσμη βρέθηκε ότι είναι ολικώς πολωμένη:

α. Πόσος είναι ο δείκτης διάθλασης του χαλαζία;

β. Πόση είναι η γωνία διάθλασης;

9. Ένας ραδιοφωνικός σταθμός εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας 100MHz.

α. Πόση είναι η ενέργεια ενός φωτονίου αυτής της ακτινοβολίας;

β. Να συγκρίνετε το αποτέλεσμα με την ενέργεια κάποιας ορατής ακτινοβολίας π.χ. του κίτρινου φωτός, μήκους κύματος 600nm στο κενό.

γ. Να βρείτε τον αριθμό των φωτονίων που εκπέμπονται ανά δευτερόλεπτο, αν η ισχύς που ακτινοβολείται είναι 6,63kW.

10. Αν υποθέσουμε ότι το ανθρώπινο μάτι μπορεί να αισθανθεί φως μήκους κύματος $\lambda = 600\text{nm}$ όταν προσπίπτουν σ' αυτό τουλάχιστον 100 φωτόνια ανά δευτερόλεπτο, να υπολογίσετε:

α. τη συχνότητα του κύματος,

β. την ολική ενέργεια ανά δευτερόλεπτο που δέχεται το μάτι.

11. Μονοχρωματικό φως μήκους κύματος $\lambda_0 = 600\text{nm}$, που διαδίδεται στον αέρα εισέρχεται ταυτόχρονα σε δύο οπτικά υλικά πάχους 1m , κάθετα στην διαχωριστική επιφάνεια του κάθε υλικού με τον αέρα. Οι δείκτες διάθλασης των δύο υλικών είναι $n_1 = 1,5$ και $n_2 = 1,2$. Να βρείτε:

α. τη χρονική διαφορά εξόδου του φωτός από τα δύο οπτικά υλικά.
β. τον αριθμό των μηκών κύματος του φωτός σε κάθε οπτικό υλικό.

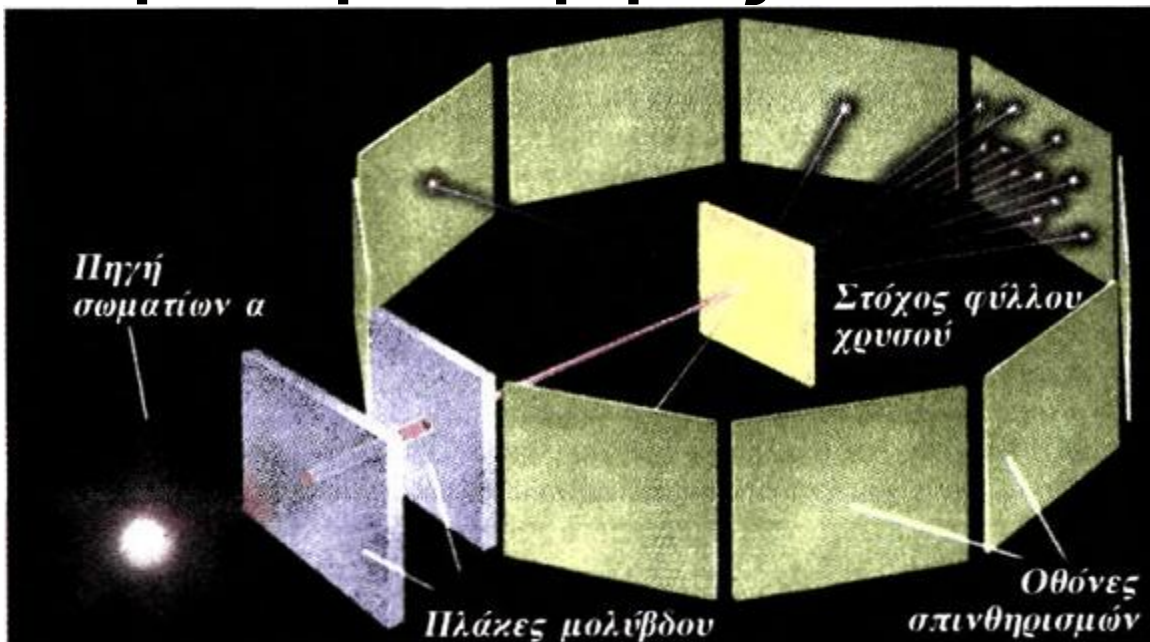
12. Ακτινοβολία συχνότητας 10^{12}Hz απορροφάται πλήρως από μία ποσότητα νερού, οπότε αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού κατά 2°C . Αν γνωρίζετε ότι για να αυξηθεί η θερμοκρασία της παραπάνω

**ποσότητας κατά 1°C απαιτείται
ενέργεια 21216J , πόσα φωτόνια της
ακτινοβολίας απορροφούνται;**

- **Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου**
- **Διακριτές ενεργειακές στάθμες**
- **Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων**
- **Ακτίνες Χ**

Πείραμα του Rutherford

Σκέδαση σωματίων α από ένα λεπτό φύλλο χρυσού. Το πείραμα αυτό έδειξε ότι το θετικό φορτίο και το μεγαλύτερο μέρος της μάζας ενός ατόμου είναι συγκεντρωμένα σε μια μικρή περιοχή του ατόμου, που ονομάστηκε πυρήνας.



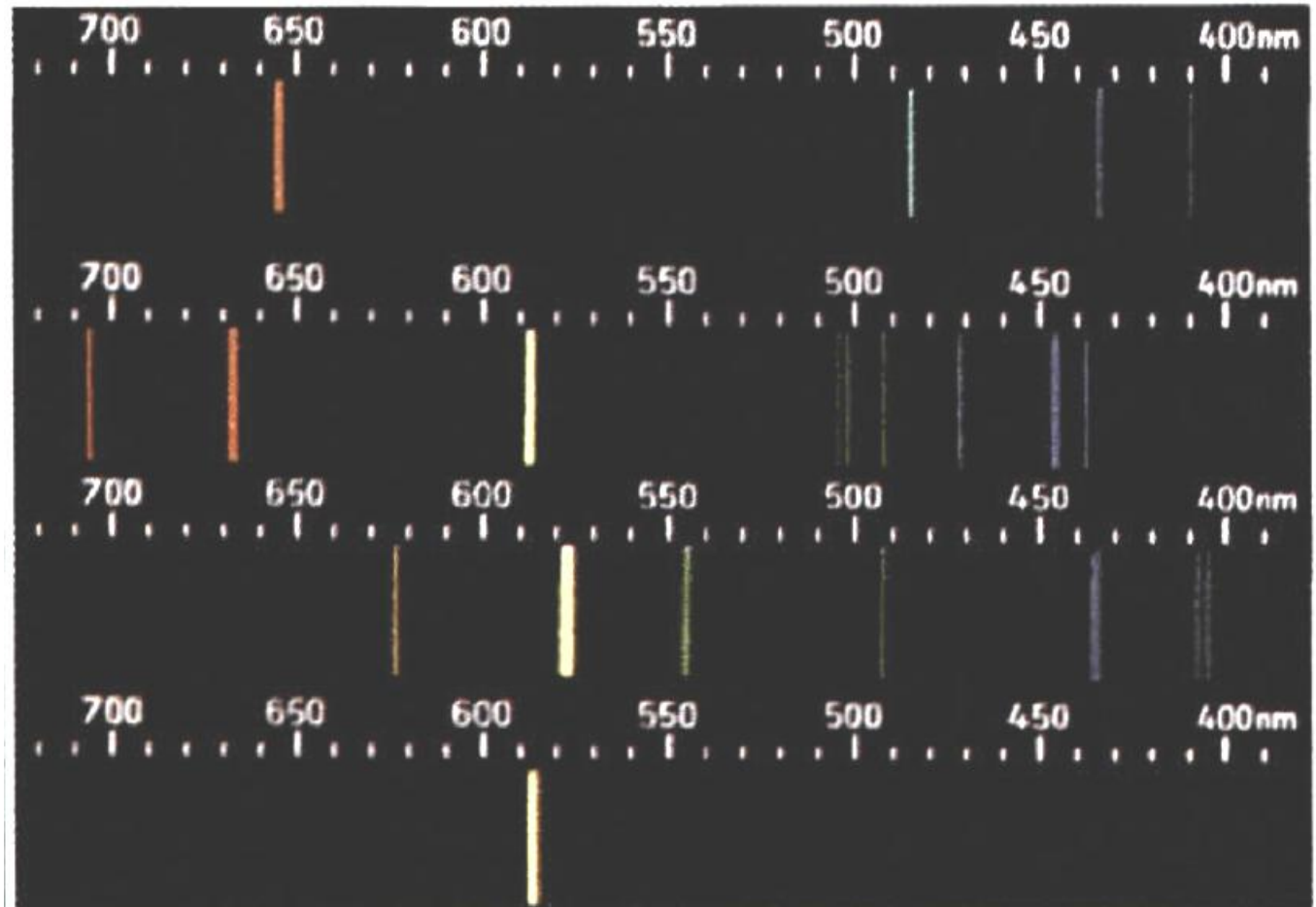
Φάσματα εκπομπής ατόμων

Υδρογόνου H

Ηλίου He

Υδραργύρου Hg

Νατρίου Na

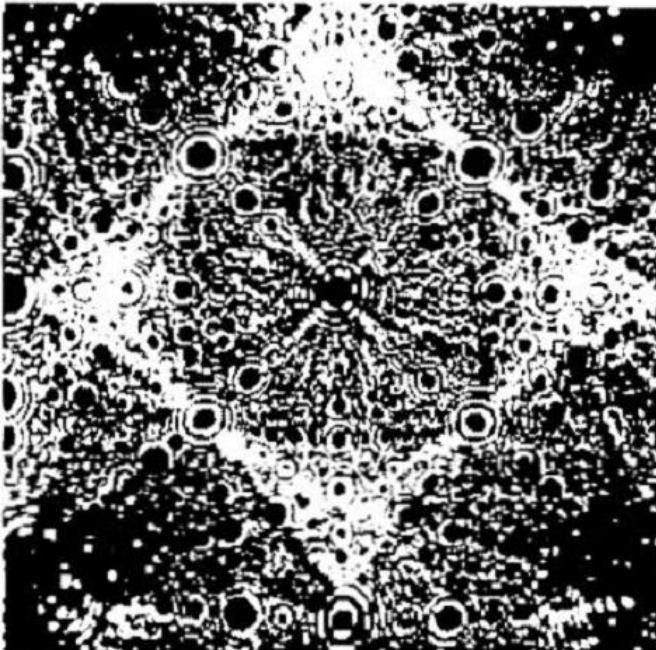




Στο πυρηνικό εργοστάσιο Sandia στο Νέο Μεξικό ένας επιταχυντής φορτισμένων σωματιδίων (μηχανή Z) παράγει μέσα σε ελάχιστο χρόνο δέκα φορές περισσότερη ενέργεια από όλους μαζί τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής στον κόσμο. Η ενέργεια παράγεται υπό μορφή ακτινών X. Ηλεκτρικές εκκενώσεις φωτίζουν την επιφάνεια της μηχανής Z. Η παραγόμενη ισχύς είναι 210 τρισεκατομμύρια Watt.



2-1 Ένας φύλακας του ατομικού ρολογιού καισίου στο Γραφείο Μέτρων και Σταθμών της Ουάσιγκτον.



2-2 Άτομα στην επιφάνεια μιας μύτης βελόνας όπως φαίνονται με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο πεδίου.

2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ ΣΤΟ ΑΤΟΜΟ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Πρώτοι οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι ασχολήθηκαν με το πρόβλημα των συστατικών της ύλης. Ο Λεύκιππος και ο Δημόκριτος υποστήριζαν ότι η ύλη αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια, τα οποία δεν μπορούν να διαιρούνται απεριόριστα και γι' αυτό ονομάστηκαν άτομα (δηλαδή άτμητα). Διατύπωσαν λοιπόν μια φιλοσοφική θεωρία, για να ερμηνεύσουν τις ιδιότητες των υλικών σωμάτων. Υποστήριξαν ότι η ύλη αποτελείται από άτομα που διαφέρουν μεταξύ τους κατά το σχήμα και κατά το μέγεθος. Τα άτομα δε δημιουργούνται ούτε κατάστρέφονται και επομένως είναι άφθαρτα και αιώνια. Τα άτομα είναι

πάρα πολλά και βρίσκονται σε διαρκή κίνηση μέσα στο κενό. Τα διάφορα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στην κίνηση των ατόμων. Ο σχηματισμός των υλικών σωμάτων οφείλεται στις ενώσεις των ατόμων με άλλα άτομα, ενώ αντίθετα η καταστροφή των σωμάτων οφείλεται στο διαχωρισμό των ατόμων.



2-3 Δημόκριτος ο Αβδηρίτης (470-360 π.Χ.). Αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος, ιδρυτής της ατομικής θεωρίας.

Ο Επίκουρος επηρεάστηκε από τη θεωρία του Δημόκριτου. Ένα μέρος της θεωρίας αυτής βρίσκεται σε ένα ποίημα του Ρωμαίου ποιητή Λουκρήτιου, όπου περιγράφεται, με βάση τις ατομικές αντιλήψεις του Δημόκριτου, η πίεση που ασκούν τα αέρια, η διάχυση των οσμών και το σχήμα των κρυστάλλων.

Η ατομική θεωρία του Δημόκριτου ήταν μία από τις φιλοσοφικές θεωρίες των αρχαίων Ελλήνων. Δεν υπήρχε καμία πειραματική παρατήρηση για την υποστήριξή της. Η θεωρία του Δημόκριτου καταπολεμήθηκε από τον Πλάτωνα, τον Αριστοτέλη και τους μαθητές τους και έπεσε σε αφάνεια μέχρι το 19ο αιώνα.

Στις αρχές του 19ου αιώνα ο Dalton (Ντάλτον) επανέφερε την ατομική θεωρία, για να εξηγήσει τους νό-

μους της Χημείας που ανακάλυψε πειραματικά.

Σημαντικό σταθμό στην εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών για το άτομο αποτέλεσε η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου από τον Thomson (Τόμσον) κατά το τέλος του 19ου αιώνα.



2-4 Αριστερά ο Άγγλος φυσικός J. J. Thomson (1856-1940) και δεξιά ο Ernest Rutherford (1871-1937).

Η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου ως συστατικό του ατόμου έδειξε ότι το

άτομο έχει εσωτερική δομή και επομένως δεν είναι άτμητο. Επειδή η ύλη είναι ηλεκτρικά ουδέτερη, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι και τα άτομα της ύλης είναι ηλεκτρικά ουδέτερα και επομένως το άτομο θα έχει ίσες ποσότητες θετικού και αρνητικού φορτίου.

Επίσης τα πειράματα έδειξαν ότι η μάζα του τμήματος που είναι θετικά φορτισμένο είναι μεγαλύτερη από τη μάζα των ηλεκτρονίων του ατόμου.

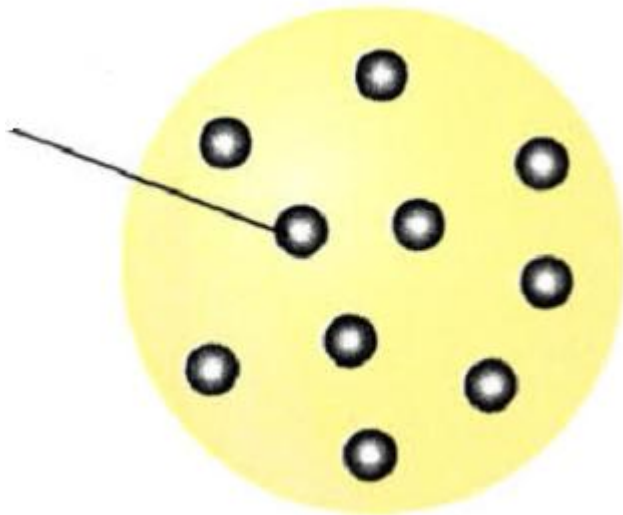
Το ερώτημα που τέθηκε στη συνέχεια ήταν: «πώς η μάζα και το φορτίο κατανέμονται στο εσωτερικό του ατόμου;»

Πρότυπο του Thomson

Ο Thomson (Τόμσον) πρότεινε ένα πρότυπο σύμφωνα με το οποίο το άτομο αποτελείται από μια σφαίρα

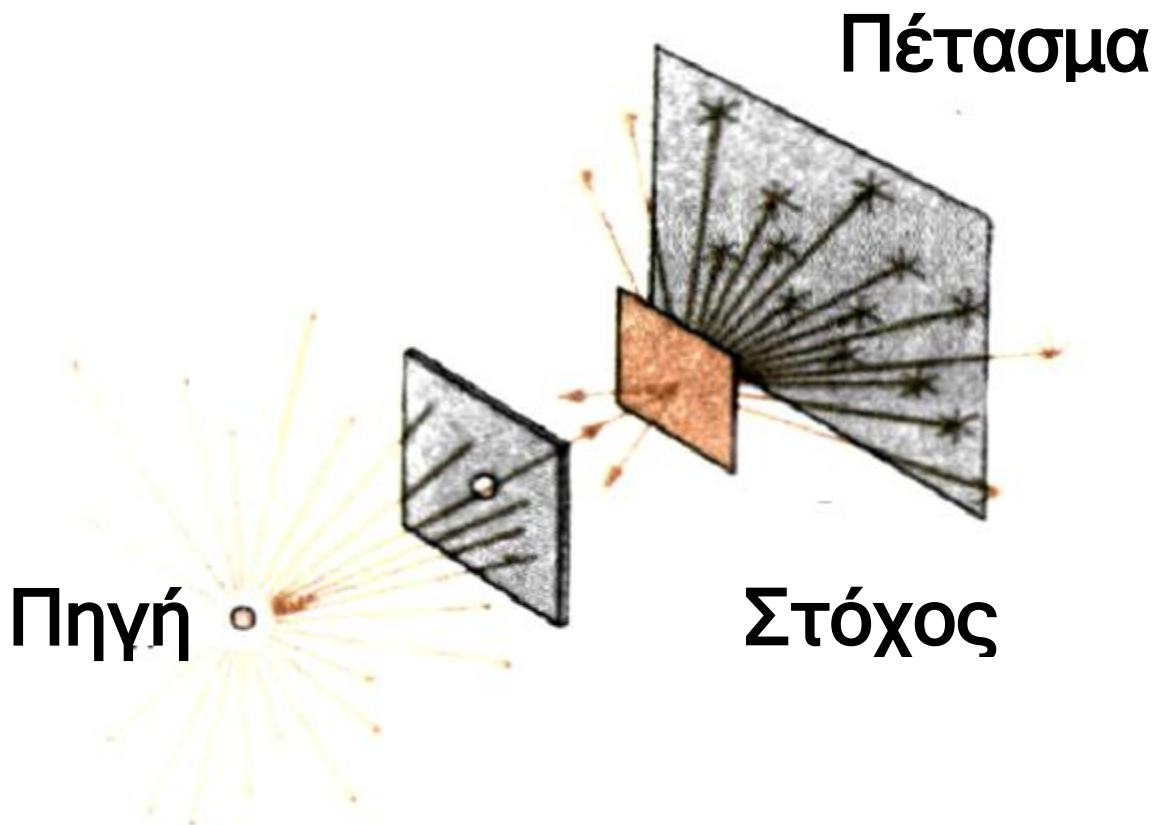
θετικού φορτίου, ομοιόμορφα κατανεμημένου, μέσα στο οποίο είναι ενσωματωμένα τα ηλεκτρόνια, όπως οι σταφίδες μέσα σε ένα σφαιρικό σταφιδόψωμο.

Ηλεκτρόνιο



2-5 Το άτομο σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson

Πρότυπο του Rutherford



2-6 Πείραμα του Rutherford.

Σκέδαση σωματίων α από ένα λεπτό φύλλο χρυσού. Περίπου ένα στα 8000 σωματία αποκλίνει κατά γωνία μεγαλύτερη των 90° . Τα σωματία α είναι πυρήνες ηλίου.

Ο Rutherford (Ράδερφοντ) και οι μαθητές του πραγματοποίησαν τα πρώτα πειράματα, για να διερευνή-

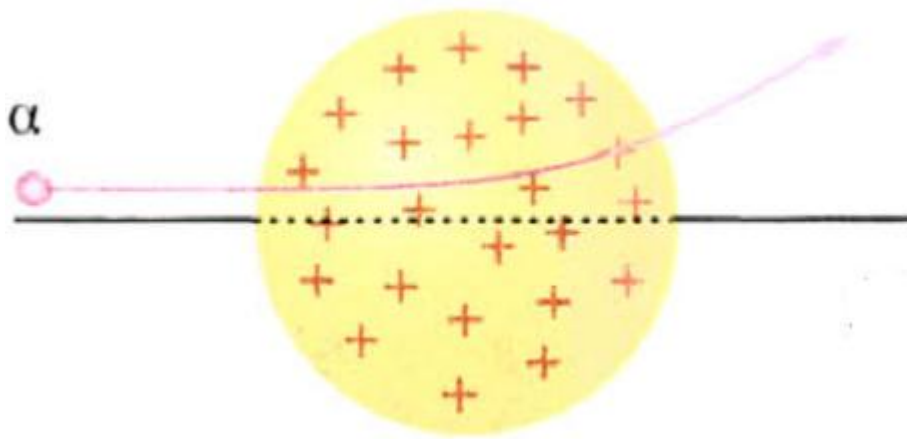
σουν την εσωτερική δομή του ατόμου, τα αποτελέσματα των οποίων ήλθαν σε αντίθεση με το πρότυπο του Thomson. Στα πειράματα αυτά μια δέσμη θετικά φορτισμένων σωματίων α κατευθύνεται σε λεπτό μεταλλικό φύλλο χρυσού (στόχος). Σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson, η δέσμη των σωματίων α δε θα πρέπει να αποκλίνει σημαντικά για τους εξής λόγους:

- α. Το ολικό ηλεκτρικό φορτίο του ατόμου είναι μηδέν και επομένως δεν ασκείται ηλεκτρική δύναμη στα σωματία α , όσο αυτά βρίσκονται στο εξωτερικό του ατόμου.
- β. Επειδή το θετικό ηλεκτρικό φορτίο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο, δεν μπορεί να ασκεί σημαντική απωστική δύναμη στα σωματία α , όσο αυτά βρίσκονται στο εσωτερικό του ατόμου.

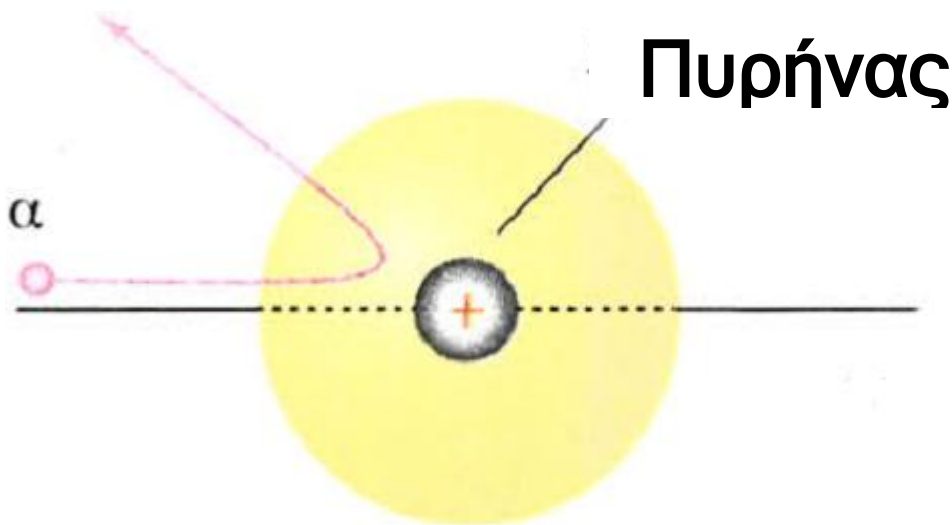
γ. Η σύγκρουση των σωματίων α με το ηλεκτρόνια δεν επηρεάζει σημαντικά την κίνησή τους, γιατί τα ηλεκτρόνια έχουν πολύ μικρότερη μάζα. Με τον ίδιο τρόπο δεν επηρεάζεται σημαντικά η κίνηση μιας βαριάς πέτρας μέσα στη βροχή.

Ο Rutherford παρατήρησε ότι τα περισσότερα από τα σωματία α διέρχονται μέσα από το στόχο σχεδόν ανεπηρέαστα, σαν να κινούνται μέσα σε σχεδόν κενό χώρο. Αρκετά αποκλίνουν σε διάφορες γωνίες.

Λίγα όμως αποκλίνουν κατά 180° . Αυτό μπορεί να συμβεί μόνο, αν το θετικό φορτίο είναι συγκεντρωμένο σε μικρό χώρο, ώστε να ασκεί στα σωματία α μεγάλες απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις.



(α)



(β)

2-7 (α) Τα σωμάτια α αποκλίνουν κατά μικρή γωνία σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson. (β) Τα σωμάτια α αποκλίνουν κατά μεγάλη γωνία σύμφωνα με το πρότυπο τον Rutherford

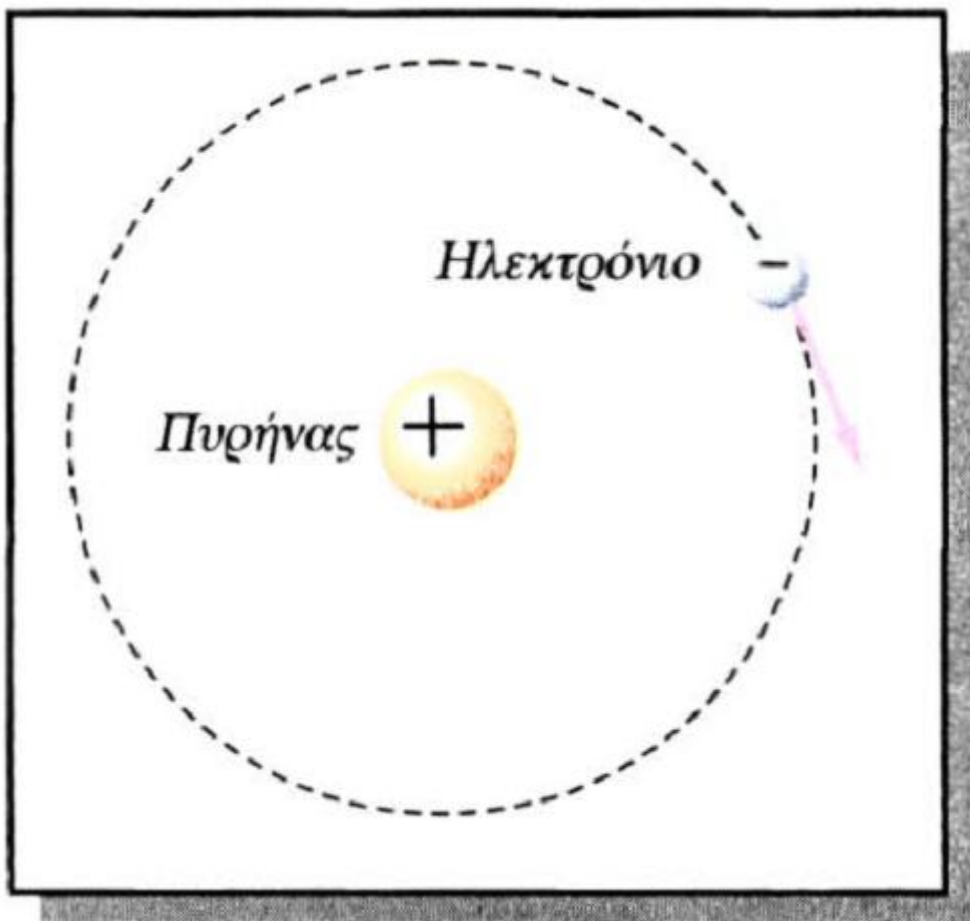
Για να ερμηνεύσει ο Rutherford τις πειραματικές παρατηρήσεις του,

πρότεινε ένα πρότυπο σύμφωνα με το οποίο:

Το άτομο αποτελείται από μία πολύ μικρή περιοχή στην οποία είναι συγκεντρωμένο όλο το θετικό φορτίο και σχεδόν όλη η μάζα του ατόμου. Η περιοχή αυτή ονομάζεται πυρήνας. Ο πυρήνας περιβάλλεται από ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια πρέπει να κινούνται γύρω από τον πυρήνα σε κυκλικές τροχιές, όπως οι πλανήτες γύρω από τον Ήλιο, γιατί, αν ήταν ακίνητα, θα έπεφταν πάνω στον πυρήνα εξαιτίας της ηλεκτρικής έλξης που δέχονται από αυτόν.

Το πρότυπο του Rutherford ονομάζεται και πλανητικό μοντέλο του ατόμου, γιατί αποτελεί μικρογραφία του ηλιακού πλανητικού συστήματος. Αποτελεί ένα μεγάλο βήμα,

που πλησιάζει στην εικόνα του ατόμου όπως τη γνωρίζουμε σήμερα. Όμως το μοντέλο αυτό, όπως θα δούμε παρακάτω, παρουσιάζει ορισμένες σημαντικές αδυναμίες.



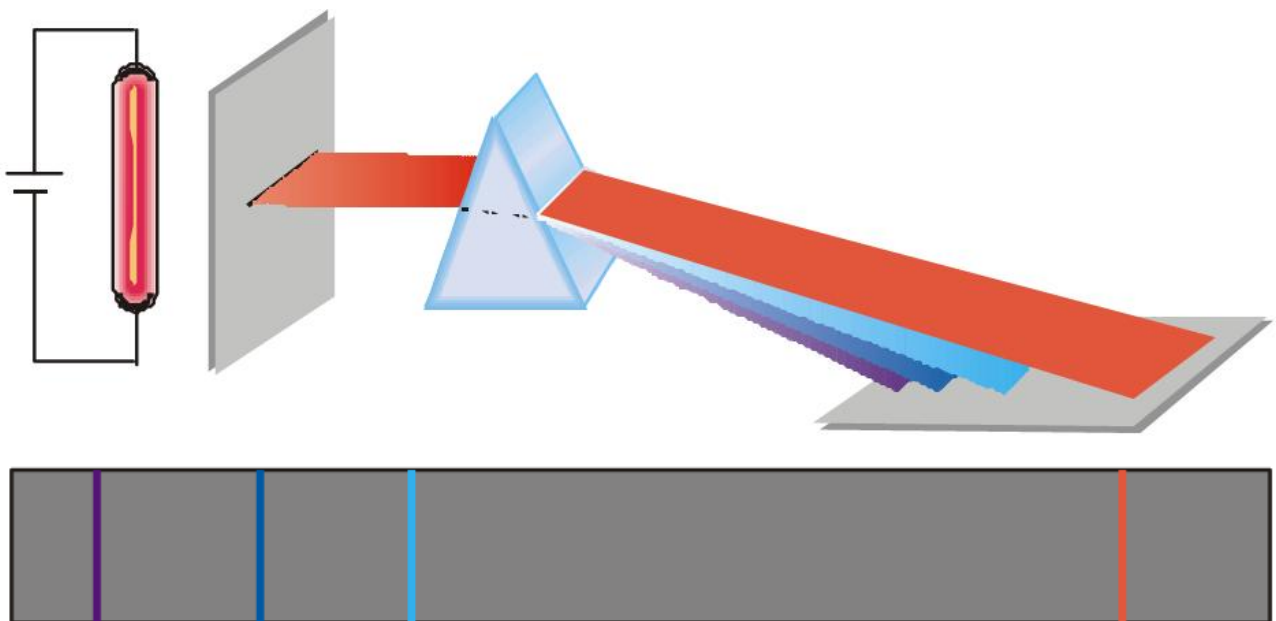
2-8 Μοντέλο του Rutherford για το άτομο (πλανητικό μοντέλο).

Ατομικά φάσματα

Όταν εφαρμόσουμε ορισμένη τάση σε γυάλινο σωλήνα που περιέχει

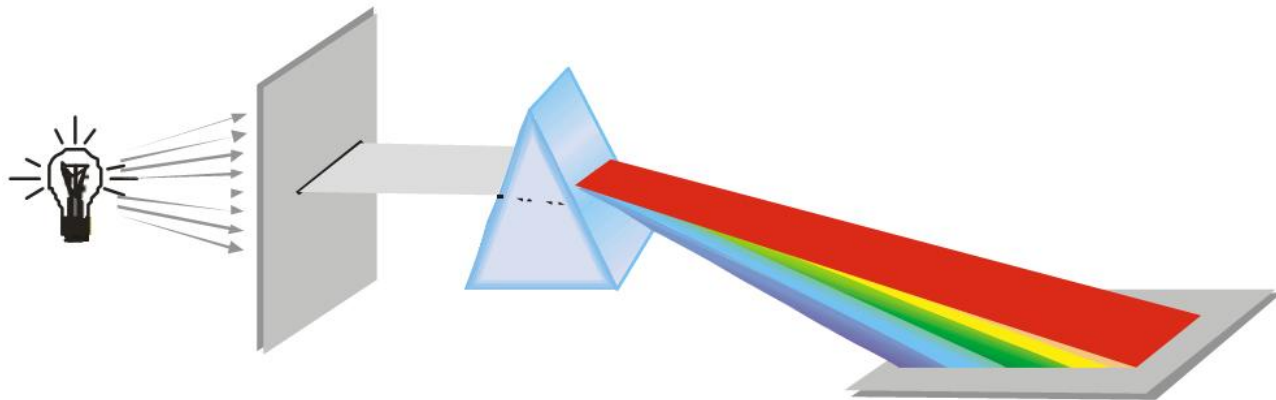
αέριο σε χαμηλή πίεση (όπως στις διαφημιστικές λυχνίες νέου), τότε θα παρατηρήσουμε ότι το αέριο εκπέμπει φως. Αν το φως αυτό αναλυθεί, όταν, για παράδειγμα, περάσει μέσα από ένα πρίσμα, τότε θα παρατηρήσουμε μια σειρά από φωτεινές γραμμές. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα διαφορετικό μήκος κύματος ή χρώμα. Όπως γνωρίζουμε, η σειρά των γραμμών που παρατηρούνται ονομάζεται γραμμικό φάσμα εκπομπής του αερίου. Τα μήκη κύματος που περιέχει το γραμμικό φάσμα εκπομπής είναι χαρακτηριστικά του στοιχείου που εκπέμπει το φως. Δεν υπάρχουν δύο διαφορετικά στοιχεία που να έχουν το ίδιο φάσμα εκπομπής. Το δεδομένο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των στοιχείων που περιέχονται σε μια

ουσία. Δηλαδή το γραμμικό φάσμα παίζει το ρόλο των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Όπως από τα δακτυλικά αποτυπώματα μπορούμε να βρούμε τον άνθρωπο στον οποίο ανήκουν, έτσι και από το γραμμικό φάσμα μπορούμε να βρούμε το στοιχείο στο οποίο ανήκει.



2-9 Γραμμικό φάσμα εκπομπής του υδρογόνου. Το φως που εκπέμπει το αέριο περνάει μέσα από ένα πρίσμα και το φάσμα αποτυπώνεται σε ευαίσθητο φιλμ.

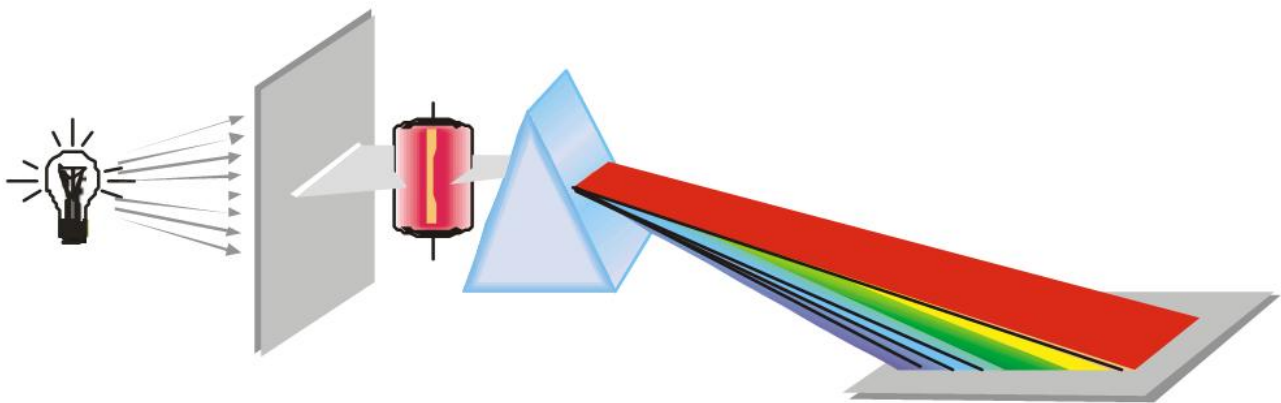
Ένα αέριο μπορεί όχι μόνο να εκπέμπει φως, αλλά μπορεί και να απορροφά φως. Αν φωτίσουμε με πηγή που εκπέμπει λευκό φως ένα πρίσμα, πίσω από το οποίο έχει τοποθετηθεί πέτασμα, τότε θα παρατηρήσουμε πάνω στο πέτασμα μια συνεχή χρωματιστή ταινία. Η ταινία αυτή των χρωμάτων, όπως γνωρίζουμε, ονομάζεται **συνεχές φάσμα του λευκού φωτός**.



2-10 Συνεχές φάσμα του λευκού φωτός.

Αν τώρα ανάμεσα στην πηγή του λευκού φωτός και στο πρίσμα το-

ποθετηθεί γυάλινο δοχείο που περιέχει κάποιο αέριο, τότε θα παρατηρήσουμε ότι η χρωματιστή ταινία διακόπτεται από σκοτεινές γραμμές. Η ταινία αυτή των χρωμάτων ονομάζεται γραμμικό φάσμα απορρόφησης του αερίου. Οι σκοτεινές γραμμές εμφανίζονται σε εκείνες ακριβώς τις συχνότητες στις οποίες εμφανίζονται οι φωτεινές γραμμές του φάσματος εκπομπής του ίδιου αερίου.



2-11 Γραμμικό φάσμα απορρόφησης του υδρογόνου

Επομένως το πείραμα δείχνει ότι:

α. Το φάσμα εκπομπής ή απορρόφησης ενός αερίου αποτελείται από ορισμένες φασματικές γραμμές που είναι χαρακτηριστικές του αερίου.

Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ορισμένη συχνότητα (ή μήκος κύματος).

β. Κάθε γραμμή του φάσματος απορρόφησης του αερίου συμπίπτει με μια γραμμή του φάσματος εκπομπής του. Δηλαδή κάθε αέριο απορροφά μόνο εκείνες τις ακτινοβολίες τις οποίες μπορεί να εκπέμπει.

Τα γραμμικά φάσματα των αερίων αποτέλεσαν το κλειδί για την έρευνα της δομής του ατόμου. Κάθε θεωρία για τη δομή του ατόμου πρέπει να εξηγεί γιατί τα άτομα εκπέμπουν ή απορροφούν μόνο ορισμένες ακτινοβολίες και γιατί απορρο-

φούν μόνο εκείνες τις ακτινοβολίες που μπορούν να εκπέμπουν.

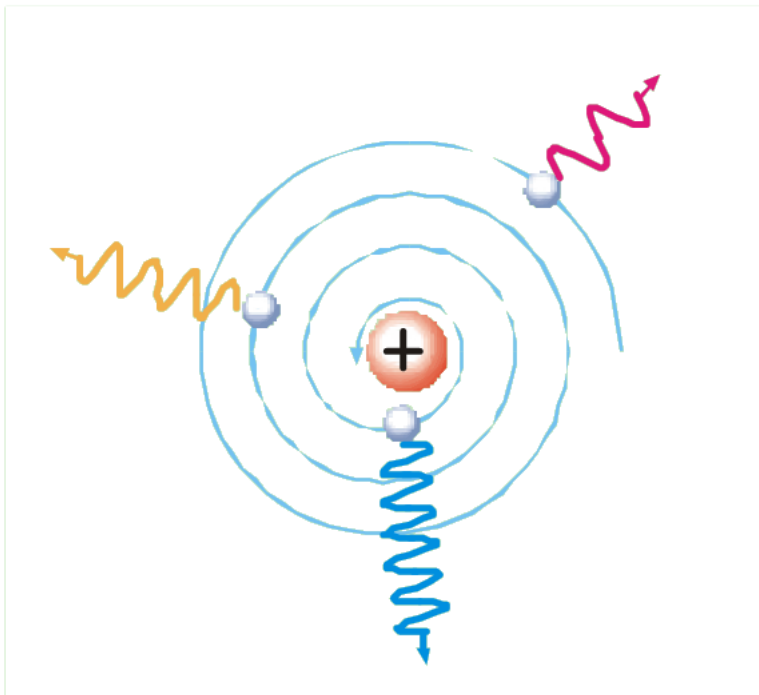
Το μοντέλο του Rutherford αδυνατούσε να εξηγήσει τα γραμμικά φάσματα των αερίων για τους παρακάτω λόγους:

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, το ηλεκτρόνιο περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα σε κυκλική τροχιά. Το μέτρο της ταχύτητάς του είναι σταθερό, αλλά η κατεύθυνσή της συνεχώς μεταβάλλεται και επομένως το ηλεκτρόνιο έχει επιτάχυνση.

Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία, το ηλεκτρόνιο, όπως και κάθε επιταχυνόμενο φορτίο, εκπέμπει ακτινοβολία, δηλαδή ακτινοβολεί ενέργεια. Η ενέργεια του ηλεκτρονίου θα πρέπει να μειώνεται συνεχώς. Επομένως θα πρέπει να κινείται σε σπειροειδή τροχιά με διαρκώς μειούμενη ακτίνα και με

διαρκώς μεταβαλλόμενη συχνότητα, μέχρις ότου πέσει στον πυρήνα. Η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας θα πρέπει να είναι ίση με τη συχνότητα περιφοράς του ηλεκτρονίου, η οποία μεταβάλλεται συνεχώς.

Άρα, σύμφωνα με το μοντέλο του Rutherford, τα άτομα θα έπρεπε να εκπέμπουν συνεχές φάσμα και όχι γραμμικό, όπως παρατηρείται στην πράξη.



2-12 Ηλεκτρομαγνητικό μοντέλο του ατόμου. Σύμφωνα με την κλασική Φυσική, το επιταχυνόμενο ηλεκτρόνιο έπρεπε να εκπέμπει συνεχές φάσμα και ακολουθώντας σπειροειδή τροχιά να πέφτει στον πυρήνα.

Για να ερμηνεύσει τα γραμμικά φάσματα του υδρογόνου, ο Bohr πρότεινε ένα νέο πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου.

Το πρότυπο του Bohr για το υδρογόνο



2-13 Ο Δανός φυσικός Niels Bohr (1885-1962). Τιμήθηκε με το βραβείο Nobel Φυσικής το 1922 για την έρευνά του στη δομή των ατόμων.

Στις αρχές του 20ού αιώνα οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι η κλασική Φυσική αδυνατούσε να ερμηνεύσει τα γραμμικά φάσματα των αερίων. Δεν μπορούσε να εξηγήσει:

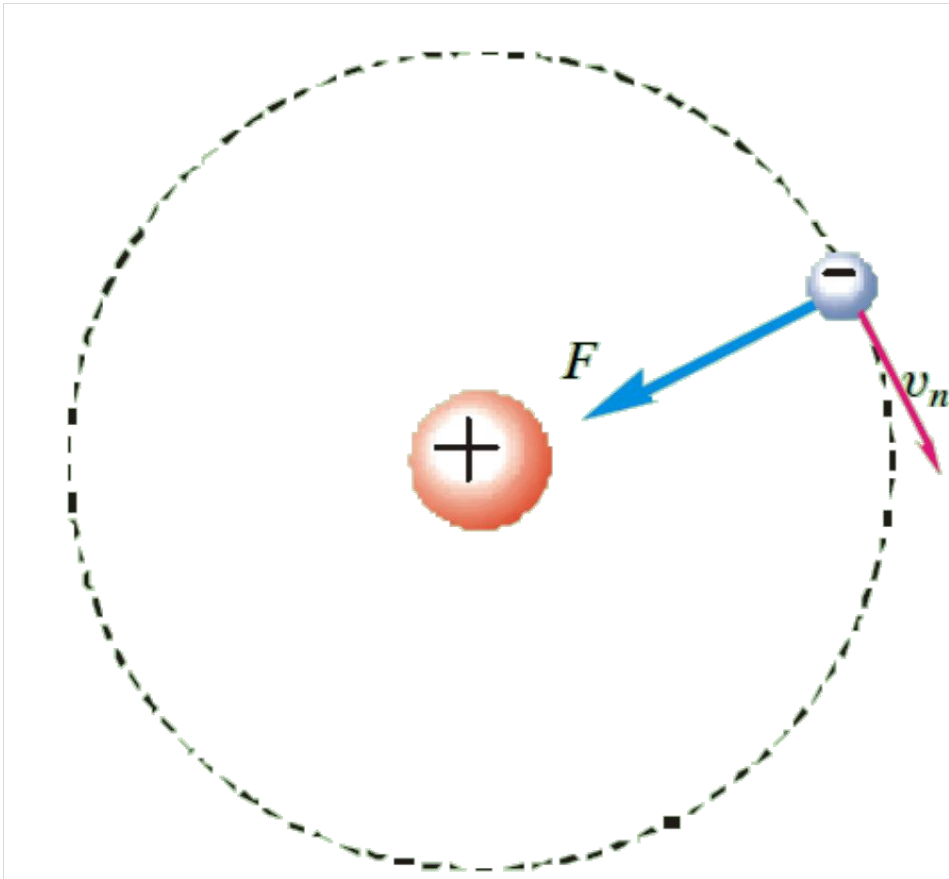
•Γιατί το υδρογόνο εκπέμπει μόνο ορισμένα μήκη κύματος ακτινοβολίας;

•Γιατί απορροφά μόνο τα μήκη κύματος που εκπέμπει;

Για να απαντήσει στα παραπάνω ερωτήματα, ο Δανός φυσικός Bohr (Μπορ) πρότεινε ένα πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου, που στηρίζεται στις παρακάτω παραδοχές:

α. Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου περιφέρεται γύρω από

το θετικά φορτισμένο πυρήνα με την επίδραση της δύναμης Coulomb που δέχεται από αυτόν (σχήμα 2-14).



2-14 Το πρωτόνιο θεωρείται ακίνητο. Η δύναμη Coulomb F προκαλεί την απαιτούμενη κεντρομόλο επιτάχυνση. Το ηλεκτρόνιο λοιπόν περιφέρεται με ταχύτητα v_n σε επιτρεπόμενη τροχιά ακτίνας r_n , ώστε να ισχύει:

$$mvr = n \hbar$$

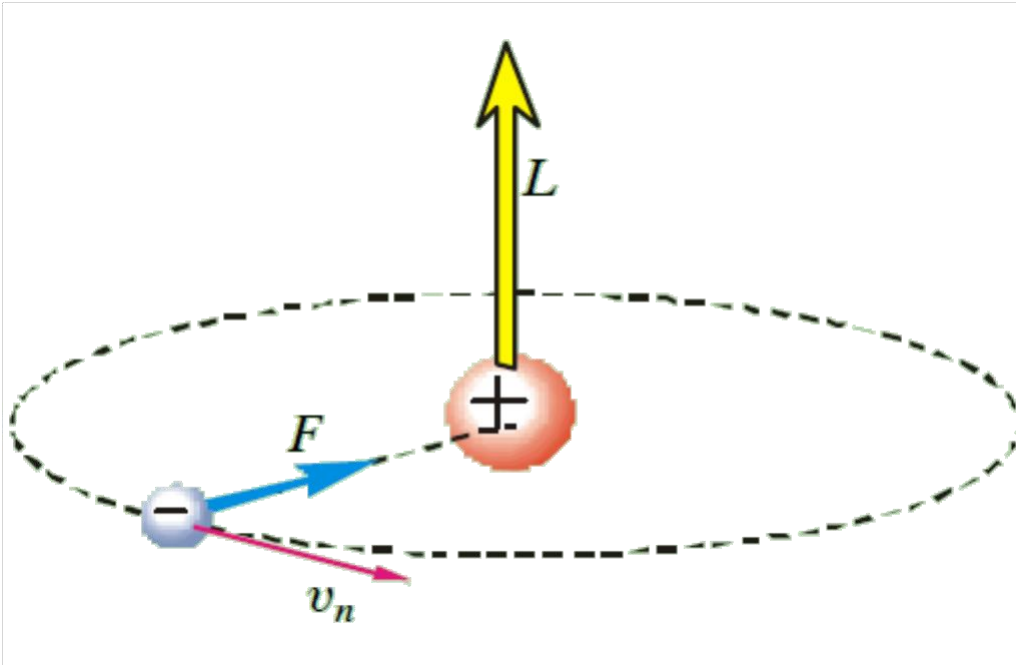
β. Το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται μόνο σε ορισμένες τροχιές, οι οποίες ονομάζονται επιτρεπόμενες τροχιές. Οι επιτρεπόμενες τροχιές είναι εκείνες για τις οποίες ισχύει ότι η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι κβαντωμένη και ίση με ακέραιο πολλαπλάσιο της ποσότητας $\hbar = h/2\pi$, όπου h είναι η σταθερά του Planck. Το μέτρο της στροφορμής του ηλεκτρονίου δίνεται από την εξίσωση:

$$L = mvr$$

όπου m είναι η μάζα του ηλεκτρονίου, v είναι το μέτρο της ταχύτητάς του και r η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του. Εφαρμόζοντας τη συνθήκη σύμφωνα με την οποία η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι κβαντωμένη, έχουμε:

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

(2.1)



2-14α Το διάνυσμα της στροφορμής L του ηλεκτρονίου στο πρότυπο του Bohr.

γ. Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται σε ορισμένη επιτρεπόμενη τροχιά, δεν εκπέμπει ακτινοβολία. Η παραδοχή αυτή έρχεται σε αντίθεση με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία σύμφωνα με την οποία το ηλεκτρόνιο θα έπρεπε να ακτινοβολεί συνεχώς ενέργεια, να διαγράφει σπειροειδή

τροχιά με διαρκώς μειούμενη ακτίνα και τελικά να πέφτει στον πυρήνα.

δ. Όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει από μία επιτρεπόμενη τροχιά σε άλλη μικρότερης ενέργειας, τότε εκπέμπεται ένα φωτόνιο με ενέργεια ίση με τη διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής του ενέργειας. Αν E_{α} είναι η ενέργεια του ατόμου πριν από τη μετάβαση, E_{τ} η ενέργεια μετά τη μετάβαση και hf η ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου, τότε ισχύει:

$$E_{\tau} - E_{\alpha} = hf \quad (2.2)$$

Ολική ενέργεια ηλεκτρονίου

Θα υπολογίσουμε την κινητική, τη δυναμική και την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου, θεωρούμε ότι το ηλεκτρόνιο περιφέρεται γύρω από τον ακίνητο

πυρήνα, ο οποίος αποτελείται από ένα πρωτόνιο. Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, η ηλεκτρική ελκτική δύναμη $F = ke^2/r^2$, που ασκεί ο πυρήνας στο ηλεκτρόνιο, πρέπει να είναι ίση με $F = ma_k$, όπου $a_k = v^2/r$ είναι η κεντρομόλος επιτάχυνση του ηλεκτρονίου:

$$F = ma_k \quad \text{ή} \quad k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad \text{ή}$$

$$v = e \sqrt{\frac{k}{mr}}$$

Αντικαθιστώντας την παραπάνω σχέση στην εξίσωση $K = \frac{1}{2}mv^2$

βρίσκουμε:

$$K = k \frac{e^2}{2r}$$

Η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου δίνεται από την εξίσωση:

$$U = -k \frac{e^2}{r}$$

Η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής του ενέργειας:

$$E = K + U = k \frac{e^2}{2r} + \left(-k \frac{e^2}{r}\right)$$

ή

$$E = -k \frac{e^2}{2r} \text{ Ολική ενέργεια ηλεκτρονίου}$$

(2.3)

Όταν αναφερόμαστε στην ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου, εννοούμε την ενέργεια του συστήματος που αποτελείται από το ηλεκτρόνιο και τον ακίνητο πυρήνα του ατόμου. Η ενέργεια αυτή οφείλεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του ηλεκτρονίου και του πυρήνα.

Επιτρεπόμενες τροχιές και τιμές ενέργειας

Το ηλεκτρονιοβόλτ (eV)

Το ηλεκτρονιοβόλτ είναι η ενέργεια που μεταβιβάζεται σε ένα ηλεκτρόνιο, όταν αυτό επιταχύνεται μέσω διαφοράς δυναμικού 1V.

$$1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19}\text{J}$$

Η μικρότερη ακτίνα επιτρεπόμενης τροχιάς του ηλεκτρονίου ονομάζεται ακτίνα του Bohr και είναι ίση με $r_1 = 0,53 \times 10^{-10}\text{m}$. Οι ακτίνες των άλλων επιτρεπόμενων τροχιών του ηλεκτρονίου δίνονται από την εξίσωση:

$$r_n = n^2 r_1 \text{ Επιτρεπόμενες τροχιές}$$

(2.4)

όπου n είναι ακέραιος θετικός αριθμός, ο οποίος ονομάζεται κύριος

κβαντικός αριθμός, και μπορεί να πάρει τιμές από ένα μέχρι άπειρο:

$$n = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται στην τροχιά με τη μικρότερη ακτίνα ($n = 1$), τότε έχει την ελάχιστη ενέργεια, που είναι ίση με $E_1 = -13,6\text{eV}$. Όταν κινείται στις άλλες επιτρεπόμενες τροχιές, τότε έχει ολική ενέργεια που δίνεται από την εξίσωση:

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

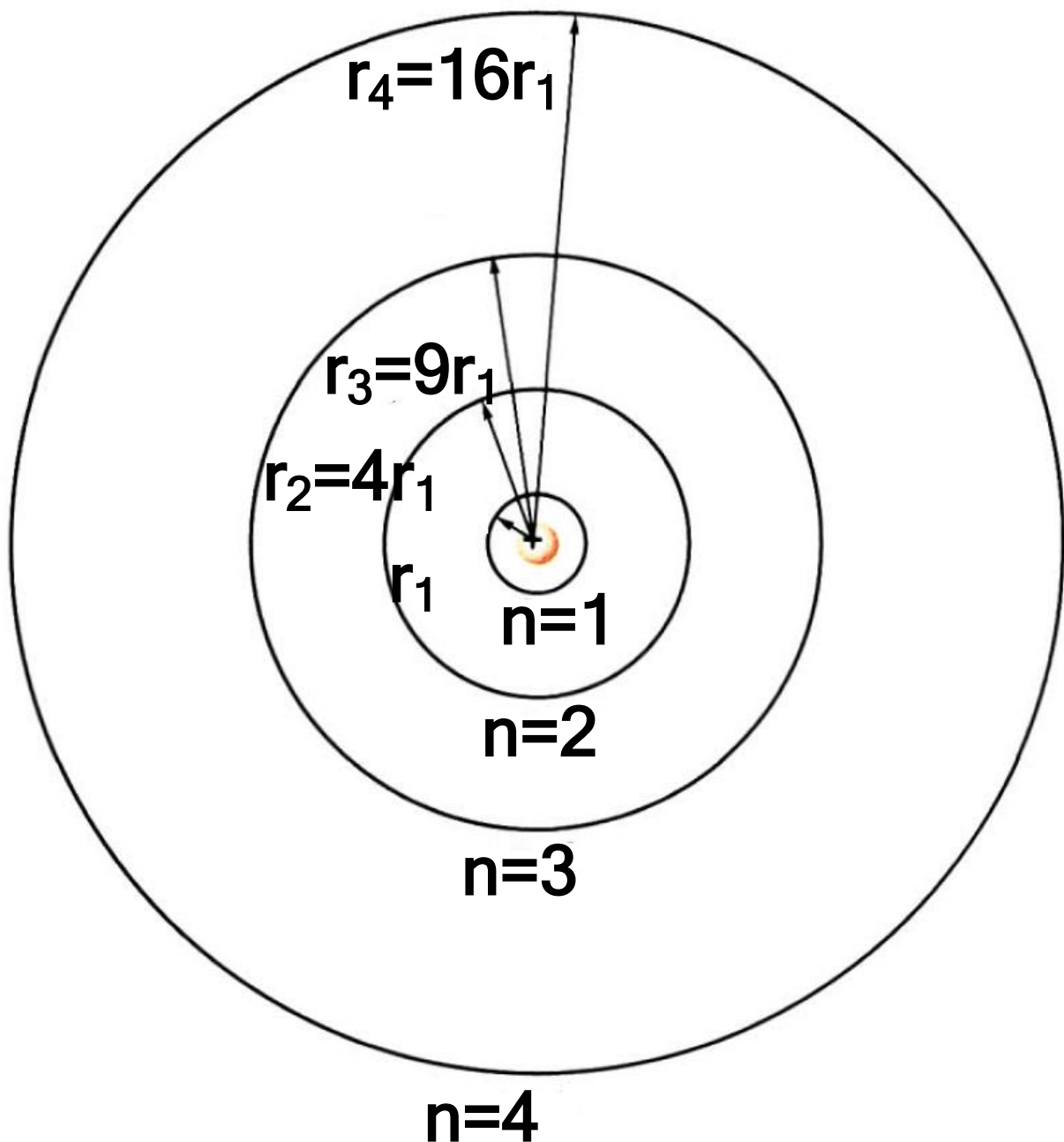
Επιτρεπόμενες τιμές ενέργειας

(2.5)

Γνωρίζοντας τις τιμές των r_1 και E_1 και αντικαθιστώντας $n = 1, 2, 3, \dots$ στις εξισώσεις 2.4 και 2.5, υπολογίζουμε τις επιτρεπόμενες τιμές της ακτίνας και της ενέργειας. Οι τιμές αυτές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Κύριος κβαντικός αριθμός	$n=1$	$n=2$	$n=3$...	$n \rightarrow \infty$
Ακτίνα	r_1	$4r_1$	$9r_1$...	∞
Ολική ενέργεια	E_1	$E_1/4$	$E_1/9$...	0

Οι τιμές της ενέργειας είναι αρνητικές. Η μεγαλύτερη τιμή της ενέργειας είναι $E = 0$. Αντιστοιχεί σε $n \rightarrow \infty$ και $r \rightarrow \infty$ και περιγράφει την κατάσταση κατά την οποία το ηλεκτρόνιο έχει απομακρυνθεί από το άτομο (ιονισμός). Η φυσική σημασία τον αρνητικού προσήμου της ολικής ενέργειας είναι ότι απαιτείται προσφορά ενέργειας, για να απομακρυνθεί το ηλεκτρόνιο σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα.



2-15 Επιτρεπόμενες τροχιές τον ηλεκτρονίου στο πρότυπο τον Bohr για το άτομο τον υδρογόνου.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 – 1

Ένα άτομο υδρογόνου που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση έχει ολική ενέργεια $E_1 = -13,6\text{eV}$. Η ακτίνα της τροχιάς του ηλεκτρονίου είναι $r_1 = 0,53 \times 10^{-10}\text{m}$. Να υπολογιστούν οι ακτίνες της τροχιάς και οι ενέργειες του ηλεκτρονίου στις δύο πρώτες διεγερμένες καταστάσεις, που αντιστοιχούν σε κβαντικούς αριθμούς $n = 2$ και $n = 3$.

ΛΥΣΗ Η ακτίνα της τροχιάς δίνεται από την εξίσωση:

$$r_n = n^2 \cdot r_1$$

Αντικαθιστώντας $n = 2$ και $n = 3$, βρίσκουμε:

$$r_2 = 2^2 r_1 = 4r_1 = 2,12 \cdot 10^{-10}\text{m}$$

$$r_3 = 3^2 r_1 = 9r_1 = 4,77 \cdot 10^{-10}\text{m}$$

Η ολική ενέργεια του ατόμου του υδρογόνου δίνεται από την εξίσωση:

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

Αντικαθιστώντας $n = 2$ και $n = 3$, βρίσκουμε:

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

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

Απόδειξη των τύπων (2.4) και (2.5)

Χρησιμοποιούμε την εξίσωση που περιγράφει την κβάντωση της στροφορμής: $mvr = n\hbar$ (1) και το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα για το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου:

$$F = ma_K \quad \text{ή} \quad k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

$$\text{ή} \quad mv^2 r = ke^2 \quad (2)$$

Λύνουμε την (1) ως προς u και αντικαθιστούμε το αποτέλεσμα στη (2):

$$m \frac{n^2 \hbar^2}{m^2 r^2} = k e^2 \quad \text{ή} \quad r = n^2 \frac{\hbar^2}{m k e^2}$$

Αντικαθιστώντας το r με r_n , έχουμε:

$r_n = n^2 \frac{\hbar^2}{m k e^2},$ $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$	Ακτίνες επιτρεπόμενων τροχιών (2.6)
---	--

Αντικαθιστώντας $n = 1$, βρίσκουμε την τροχιά με τη μικρότερη ακτίνα r_1 :

$$r_1 = \frac{\hbar^2}{m k e^2}$$

Αντικαθιστώντας την τελευταία εξίσωση στη 2.6, παίρνουμε:

$$r_n = n^2 r_1$$

Αν αντικαταστήσουμε στην εξίσωση 2.3 το E με E_n και το r με r_n ,

παίρνουμε την ακόλουθη έκφραση για την ενέργεια του ατόμου:

$$E = -k \frac{e^2}{2r} \quad \text{ή} \quad E_n = -k \frac{e^2}{2r_n} \quad \text{ή λόγω της 2.6}$$

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{mk^2e^4}{2\hbar^2},$$
$$n = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

Επιτρεπόμενες
τιμές της
ενέργειας (2.7)

Η μικρότερη τιμή της ενέργειας αντιστοιχεί σε $n = 1$.

Αντικαθιστώντας $n = 1$ στην εξίσωση 2.7, βρίσκουμε:

$$E_1 = \frac{mk^2e^4}{2\hbar^2} \quad \text{και} \quad E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές των σταθερών m , k , e και $\hbar = h/2\pi$ υπολογίζουμε τη μικρότερη επιτρεπόμενη ακτίνα r_1 και τη μικρότερη επιτρεπόμενη ενέργεια E_1 . Είναι:

$$r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m και } E_1 = -13,6 \text{ eV}$$

Η έννοια της κβάντωσης της ενέργειας είναι σημαντική, γιατί εξηγεί ότι το ηλεκτρόνιο κινείται μόνο σε ορισμένες τροχιές καθορισμένης ενέργειας και δεν κινείται σπειροειδώς πλησιάζοντας συνεχώς προς τον πυρήνα. Επίσης η κβάντωση της ενέργειας έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη της κβαντομηχανικής. Όμως η κβάντωση της στροφομής, σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, έχει ιστορική μόνο σημασία.

2.2 ΔΙΑΚΡΙΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ

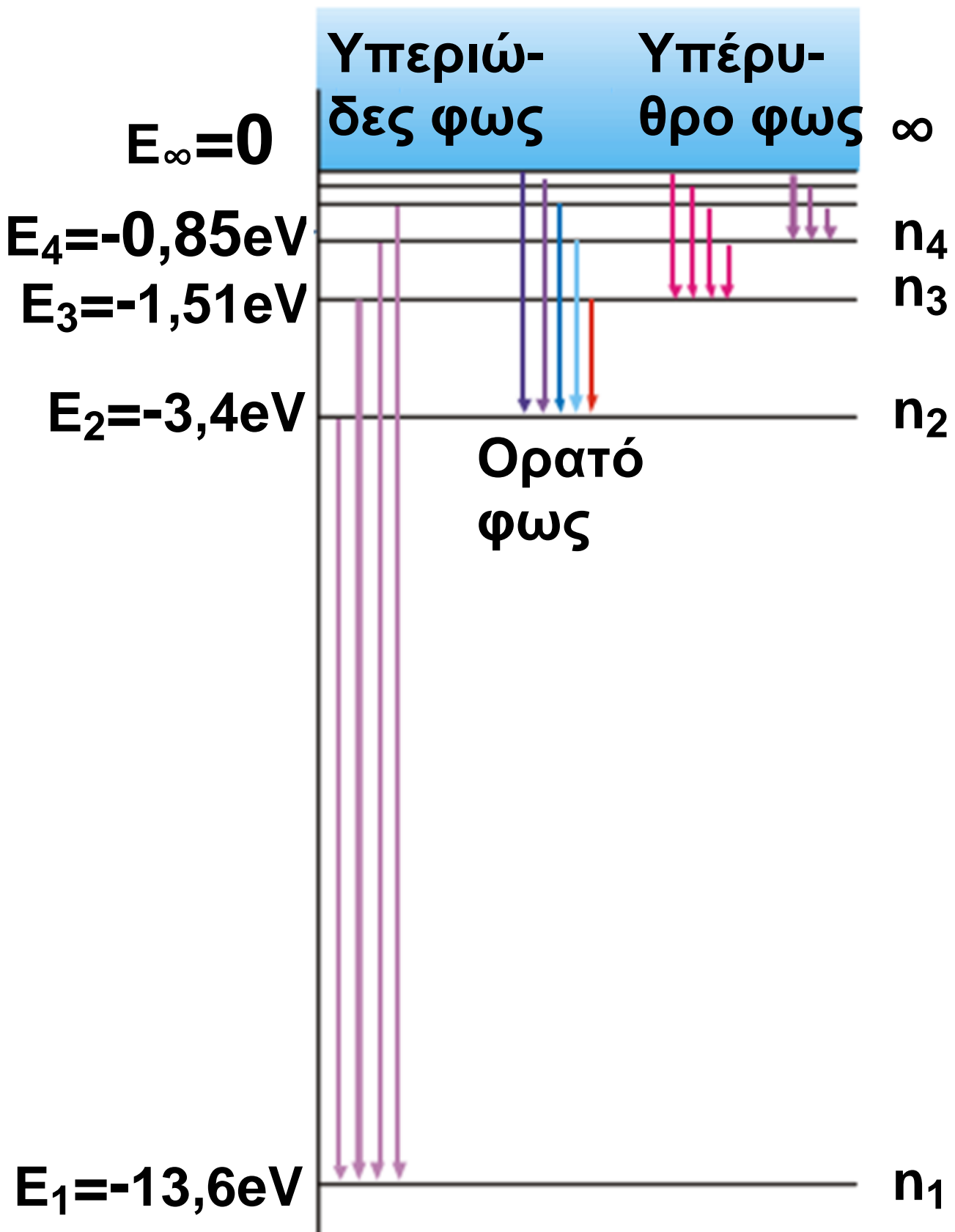
Ενεργειακές στάθμες

Οι επιτρεπόμενες τιμές της ενέργειας του υδρογόνου και κάθε ατόμου ονομάζονται **ενεργειακές στάθμες**. Οι αντίστοιχες καταστάσεις του ατόμου ονομάζονται **ενεργειακές καταστάσεις**. Η κατάσταση με τη χαμηλότερη ενέργεια E_1 ονομάζεται **θεμελιώδης κατάσταση**. Όλες οι άλλες ενεργειακές καταστάσεις E_2, E_3, \dots ονομάζονται **διεγερμένες καταστάσεις**.

Διάγραμμα ενεργειακών σταθμών

2-16 Διάγραμμα ενεργειακών σταθμών του ατόμου του υδρογόνου. Οι μεταβάσεις των ηλεκτρονίων από μία

τροχιά σε άλλη συμβολίζονται με κατακόρυφα βέλη.



Παίρνουμε κατακόρυφο άξονα βαθμολογημένο σε τιμές ενέργειας και σχεδιάζουμε οριζόντιες ευθείες γραμμές στις θέσεις που αντιστοιχούν στις επιτρεπόμενες τιμές ενέργειας E_1, E_2, E_3, \dots του ηλεκτρονίου. Το σχήμα που προκύπτει είναι το **διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών**.

Η απόσταση μεταξύ δύο ενεργειακών σταθμών αντιστοιχεί στη διαφορά των αντίστοιχων ολικών ενεργειών του ηλεκτρονίου. Η μετάβαση του ηλεκτρονίου από μία τροχιά σε άλλη συμβολίζεται με κατάκόρυφο βέλος, που έχει αρχή την αρχική στάθμη και τέλος την τελική στάθμη.

Διέγερση του ατόμου

Αν το άτομο του υδρογόνου που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατά-

σταση απορροφήσει ενέργεια, τότε το ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταπηδήσει σε άλλη επιτρεπόμενη τροχιά υψηλότερης ενέργειας.

Η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου του ατόμου από μία τροχιά χαμηλής ενέργειας σε άλλη υψηλότερης ενέργειας ονομάζεται διέγερση του ατόμου. Η ενέργεια που απαιτείται για τη διέγερση του ατόμου ονομάζεται ενέργεια διέγερσης.

Το διεγερμένο άτομο παραμένει στην κατάσταση διέγερσης για ελάχιστο χρονικό διάστημα (της τάξης του 10^{-8} s) και επανέρχεται στη θεμελιώδη κατάσταση. Η επάνοδος του ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση μπορεί να γίνει είτε απευθείας με ένα άλμα, οπότε εκπέμπεται ένα φωτόνιο, είτε με περισσότερα διαδοχικά άλματα, οπότε

εκπέμπονται τόσα φωτόνια όσα και τα άλματα που πραγματοποιεί.

Ιονισμός του ατόμου

Μερικές φορές το άτομο μπορεί να απορροφήσει τόσο μεγάλη ενέργεια, ώστε είναι δυνατό το ηλεκτρόνιο του να απομακρυνθεί από τον πυρήνα, σε περιοχή που ο πυρήνας δεν ασκεί ηλεκτρική δύναμη στο ηλεκτρόνιο. Το ηλεκτρόνιο απόμακρύνεται οριστικά από τον πυρήνα και το άτομο μετατρέπεται σε θετικό ιόν. Η απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου του ατόμου σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα ονομάζεται ιονισμός του ατόμου. Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται, για να απομακρυνθεί το ηλεκτρόνιο του ατόμου από τη θεμελιώδη τροχιά σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του

πυρήνα, ονομάζεται **ενέργεια ιονισμού**.

$$E_{\text{ιον.}} = E_{\infty} - E_1$$

όπου E_{∞} είναι η ενέργεια του ατόμου που αντιστοιχεί σε κατάσταση με $n \rightarrow \infty$ και E_1 η ενέργειά του στη θεμελιώδη κατάσταση. Επομένως:

$$E_{\text{ιον.}} = -E_1$$

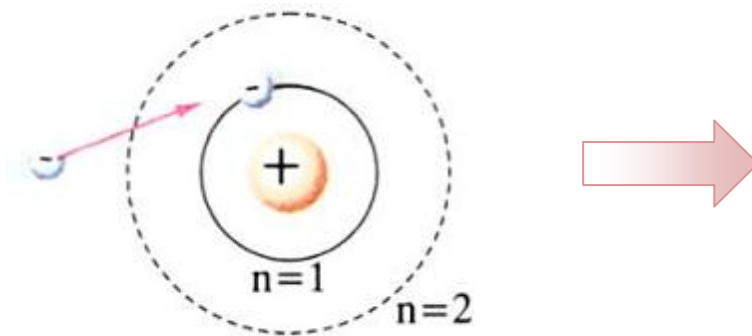
Για το άτομο του υδρογόνου είναι $E_1 = -13,6\text{eV}$, οπότε η ενέργεια ιονισμού είναι $E_{\text{ιον.}} = 13,6\text{eV}$.

2.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

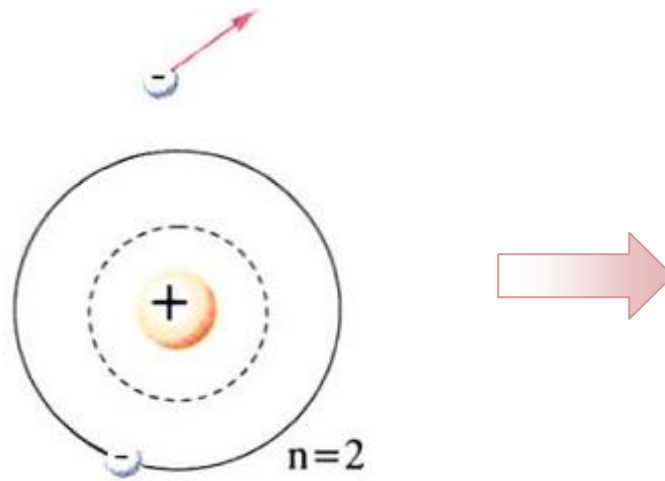
Διέγερση με κρούση

Όταν ένα σωματίδιο (π.χ. ηλεκτρόνιο, ιόν ή άτομο) συγκρουστεί με ένα άτομο υδρογόνου, που βρίσκεται, λόγω χάρη, στη θεμελιώδη κατάσταση, τότε το ηλεκτρόνιο του

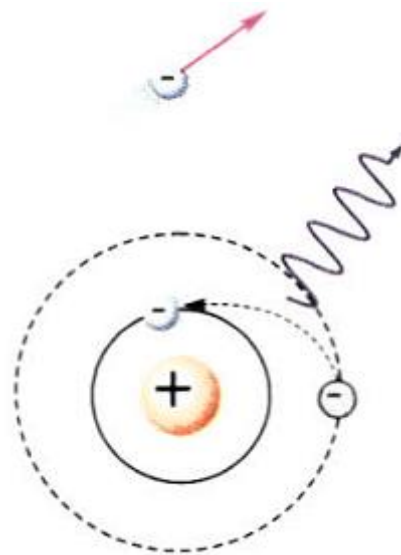
ατόμου μπορεί να απορροφήσει ικανή ποσότητα ενέργειας και να μεταπηδήσει σε τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας, με αποτέλεσμα το άτομο να διεγερθεί. Το διεγερμένο άτομο επανέρχεται μετά από ελάχιστο χρόνο στη θεμελιώδη κατάσταση. Η επάνοδος μπορεί να γίνει είτε με ένα άλμα κατευθείαν στη θεμελιώδη κατάσταση, με ταυτόχρονη εκπομπή ενός φωτονίου, είτε με περισσότερα ενδιάμεσα άλματα από τροχιά σε τροχιά, με ταυτόχρονη εκπομπή περισσότερων φωτονίων.



(α)



(β)



2-17 (α) Το άτομο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση πριν από την κρούση με το ηλεκτρόνιο.

(β) Το άτομο σε διεγερμένη κατάσταση.

(γ) Το άτομο επανέρχεται στη θεμε-

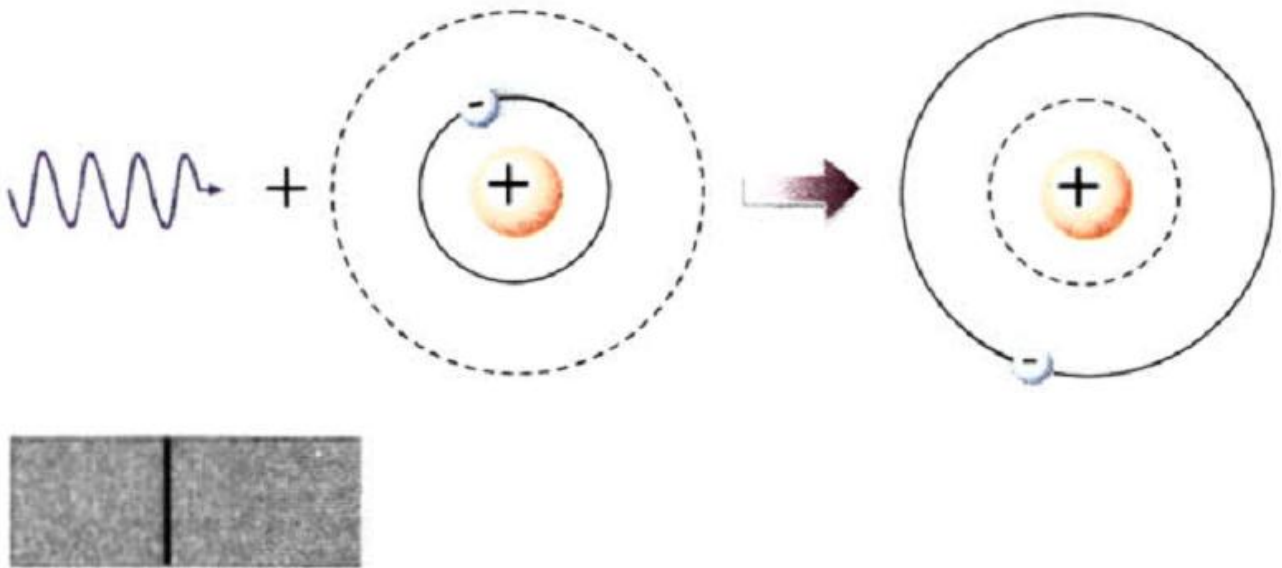
λιώδη κατάσταση εκπέμποντας ένα φωτόνιο.

Για παράδειγμα, το ηλεκτρικό πεδίο σε σωλήνα που περιέχει αέριο χαμηλής πίεσης επιταχύνει τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα που ήδη βρίσκονται μέσα στο σωλήνα. Όταν η ενέργειά τους γίνει αρκετά μεγάλη, τότε είναι δυνατό να προκαλέσουν διέγερση των ατόμων ή των ιόντων του αερίου με τα οποία συγκρούονται.

Διέγερση με απορρόφηση ακτινοβολίας

Ας θεωρήσουμε ότι ένα άτομο υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση ($n = 1$) και απορροφά ένα φωτόνιο, που έχει τόση ενέργεια όση ακριβώς απαιτείται, για να μεταπηδήσει το ηλεκτρόνιο από τη θεμελιώδη κατάσταση στην κατά-

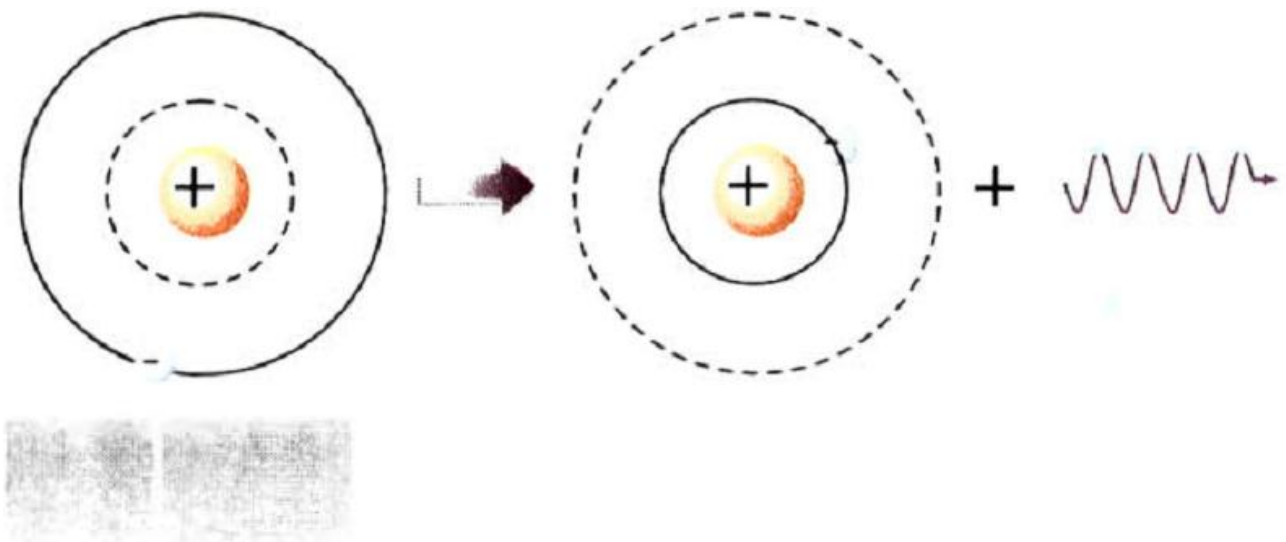
σταση που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό $n=2$.



2-18 Ερμηνεία του φάσματος απορρόφησης. Το άτομο απορροφά ένα φωτόνιο και μεταβαίνει από τη θεμελιώδη κατάσταση στην πρώτη διεγερμένη κατάσταση. Η σκοτεινή γραμμή του φάσματος απορρόφησης αντιστοιχεί στο μήκος κύματος του φωτονίου που απορροφήθηκε.

Μετά από ελάχιστο χρονικό διάστημα το διεγερμένο άτομο επανέρχεται στην κατάσταση $n = 1$ εκπέμποντας ένα φωτόνιο, που έχει μήκος

κύματος ίσο με το μήκος κύματος του φωτονίου που απορρόφησε (σχήμα 2-19). Επομένως και οι ενέργειες των δύο φωτονίων είναι ίσες. Αυτός είναι ο λόγος που το φάσμα εκπομπής παρουσιάζει μία φωτεινή γραμμή στη θέση της σκοτεινής γραμμής του φάσματος απορρόφησης.



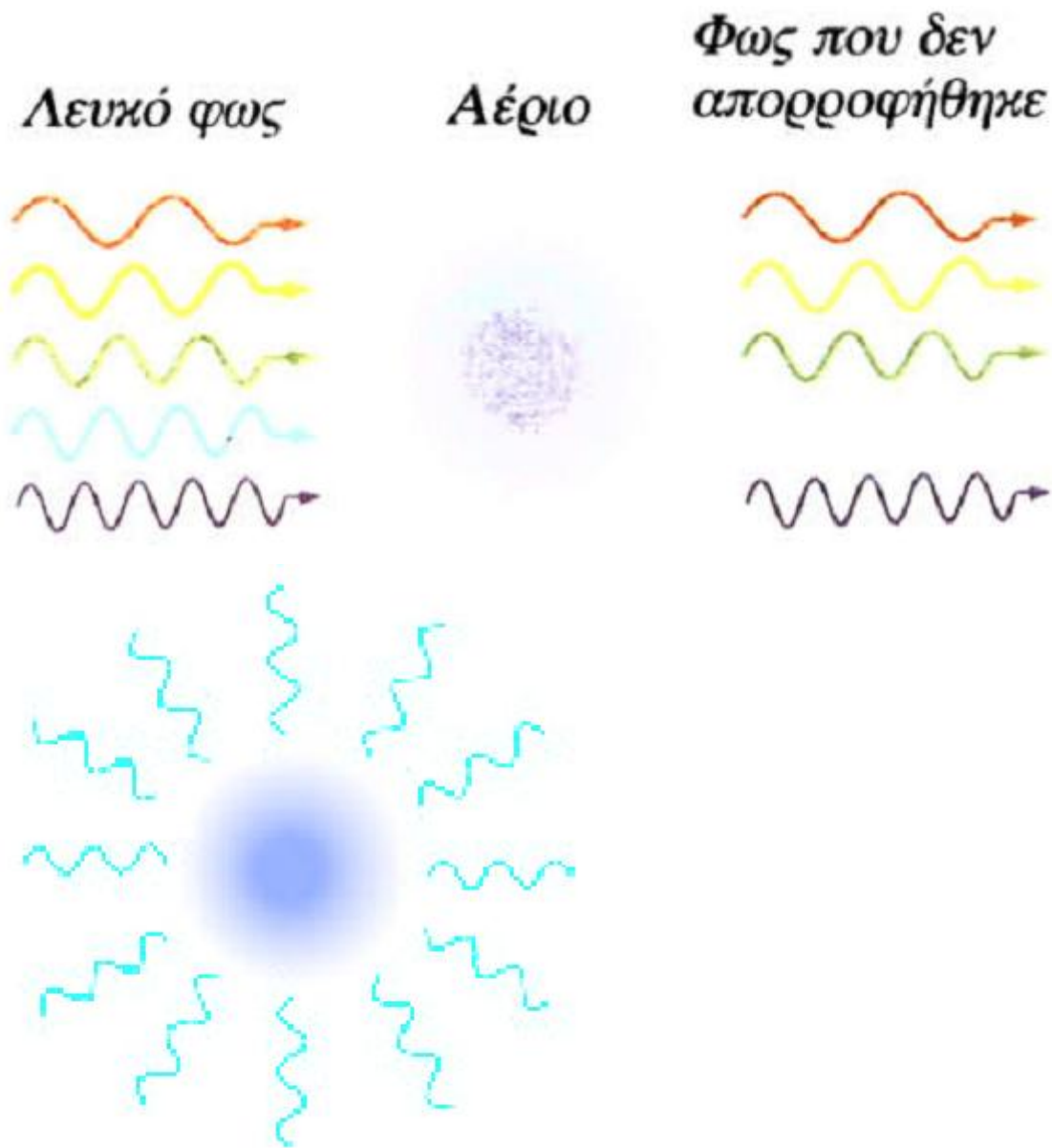
2-19 Ερμηνεία του φάσματος εκπομπής. Το άτομο εκπέμπει ένα φωτόνιο και μεταβαίνει στη θεμελιώδη κατάσταση. Η φωτεινή γραμμή αντιστοιχεί στο μήκος κύματος του φωτονίου που εκπέμπεται.

Όταν λευκό φως, το οποίο, όπως γνωρίζουμε, περιέχει όλα τα μήκη κύματος, διέρχεται μέσα από αέριο υδρογόνο, τότε το αέριο απορροφά μόνο εκείνα τα φωτόνια τα οποία έχουν μήκη κύματος που αντιστοιχούν σε μεταβάσεις μεταξύ των επιτρεπόμενων τιμών ενέργειας του ατόμου του υδρογόνου. Τα διεγερμένα άτομα του υδρογόνου επανέρχονται στη θεμελιώδη κατάσταση εκπέμποντας φωτόνια προς όλες τις κατευθύνσεις.

Συμπέρασμα:

Το αέριο απορροφά και εκπέμπει φωτόνια που έχουν ορισμένα μήκη κύματος. Τα μήκη κύματος των φωτονίων που απορροφά το αέριο είναι ίσα με τα μήκη κύματος των φωτονίων που εκπέμπει. Το φάσμα απορρόφησης του αερίου παρουσιάζει σκοτεινές γραμμές στη θέση των

φωτεινών γραμμών του φάσματος εκπομπής.



2-20 Το φως που απορροφήθηκε από το αέριο επανεκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Η επιτυχία και η αποτυχία του προτύπου του Bohr

Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, όταν το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου μεταβεί από αρχική τροχιά, που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό n_α , σε τελική τροχιά μικρότερης ενέργειας, που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό n_τ , τότε εκπέμπεται ένα φωτόνιο συχνότητας f , για την οποία ισχύει:

$$E_\alpha - E_\tau = hf \quad \text{ή} \quad f = \frac{E_\alpha - E_\tau}{h} \quad (2.8)$$

Το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου φωτονίου υπολογίζεται από την εξίσωση: $c = \lambda f$.

Οι τιμές του μήκους κύματος που υπολογίζονται από την παραπάνω εξίσωση συμφωνούν με τις πειραματικές τιμές. Δηλαδή το πρότυπο

του Bohr περιγράφει τα γραμμικά φάσματα του υδρογόνου.

Το πρότυπο του Bohr μπορεί να επεκταθεί και σε ιόντα που έχουν μόνο ένα ηλεκτρόνιο, όπως το (He^+), το (Li^{2+}) κ.λπ. τα οποία ονομάζονται υδρογονοειδή.

Το πρότυπο του Bohr δεν μπορεί να ερμηνεύσει τα γραμμικά φάσματα των ατόμων που έχουν δύο ή περισσότερα ηλεκτρόνια.

Κατά το 1920 αναπτύχθηκε μια νέα θεωρία, η κβαντομηχανική, η οποία περιγράφει με επιτυχία τα φαινόμενα που αναφέρονται στα σωματίδια του μικρόκοσμου και στο φως.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 – 2

Να υπολογιστεί το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει το άτομο του υδρογόνου, όταν μεταπηδά από την κατάσταση με $n=6$

στην κατάσταση με $n=2$. Η ενέργεια του ατόμου του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση είναι

$$E_1 = -13,6\text{eV}$$

($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

ΛΥΣΗ Το μήκος κύματος του φωτονίου που εκπέμπει το άτομο προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$E_6 - E_2 = hf. \text{ Αντικαθιστώντας } f = \frac{c}{\lambda}$$

βρίσκουμε:

$$E_6 - E_2 = h \frac{c}{\lambda} \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{hc}{E_6 - E_2} \quad (1)$$

Οι ενέργειες E_2 και E_6 υπολογίζονται από τις εξισώσεις:

$$E_2 = \frac{E_1}{n^2} = \frac{E_1}{2^2} = -3,4\text{eV} = -3,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_6 = \frac{E_1}{n^2} = \frac{E_1}{6^2} = \frac{13,6}{36} \text{ eV} = -0,378 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Αντικαθιστώντας στην (1) τις παραπάνω τιμές, βρίσκουμε:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{(-0,378+3,4) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 – 3

Ένα άτομο υδρογόνου, που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση έχει ολική ενέργεια $E_1 = -13,6\text{eV}$:

(α) Να υπολογιστεί το μήκος κύματος ενός φωτονίου που θα προκαλέσει ιονισμό του ατόμου.

(β) Να υπολογιστεί η ελάχιστη ταχύτητα ενός ηλεκτρονίου που θα προκαλέσει, λόγω κρούσης, ιονισμό του ατόμου.

ΛΥΣΗ (α) Η ενέργεια που απαιτείται, για να απομακρυνθεί το ηλεκτρόνιο του ατόμου από τη θεμελιώδη κατάσταση στην κατάσταση $n \rightarrow \infty$, είναι:

$$E = E_{\infty} - E_1$$

Αντικαθιστώντας $E_{\infty} = 0$ και

$E_1 = -13,6\text{eV}$, βρίσκουμε:

$$E = 13,6\text{eV}$$

Η ενέργεια E που απαιτείται, για να ιονιστεί το άτομο, είναι ίση με την ενέργεια hf του φωτονίου, που προκαλεί τον ιονισμό. Άρα: $E=hf$.

Αντικαθιστώντας $f = c/\lambda$, βρίσκουμε:

$$E = h \frac{c}{\lambda}, \text{ οπότε}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} =$$

$$0,91 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

(β) Η ενέργεια που απαιτείται, για να ιονιστεί το άτομο, είναι ίση με την

κινητική ενέργεια $\frac{1}{2}mv^2$ του

ηλεκτρονίου:

$$E = \frac{1}{2} m u^2 \quad \text{ή} \quad u = \sqrt{\frac{2E}{m}}$$

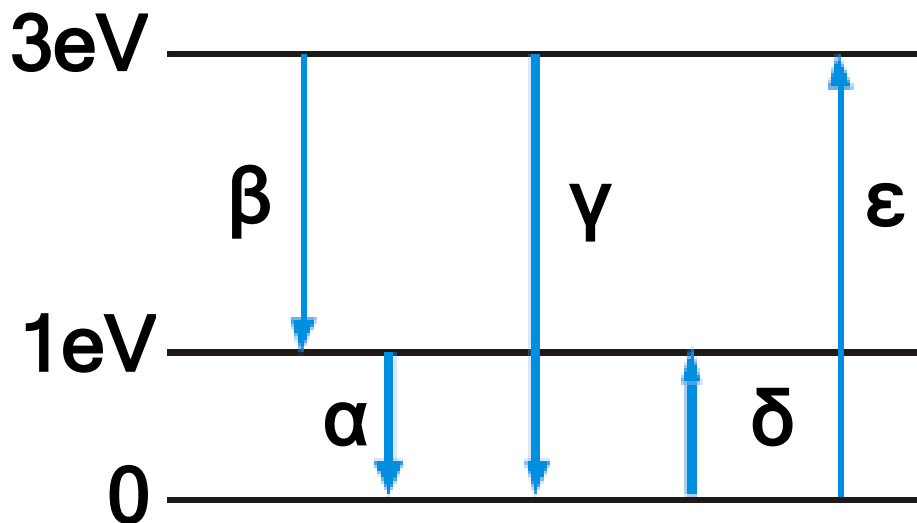
$$\text{ή} \quad u = \sqrt{\frac{2 \cdot 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}}} =$$

$$2,19 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 – 4

Ένα υποθετικό άτομο έχει τρεις ενεργειακές στάθμες, τη θεμελιώδη και δύο άλλες διεγερμένες στάθμες με ενέργεια 1eV και 3eV, αντίστοιχα, περισσότερη από τη θεμελιώδη: (α) Να υπολογιστούν οι συχνότητες και τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που μπορεί να εκπέμπει το άτομο. (β) Ποια μήκη κύματος της ακτινοβολίας μπορεί να απορροφήσει το άτομο, αν βρίσκεται αρχικά στη θεμελιώδη κατάσταση; ($h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.)

ΛΥΣΗ (α) Στο σχήμα φαίνεται το διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών του ατόμου.



Οι δυνατές ενέργειες των εκπεμπόμενων φωτονίων αντιστοιχούν στις μεταβάσεις α, β και γ.

Χρησιμοποιούμε την εξίσωση $E = hf$ για καθεμιά από τις μεταβάσεις.

Μετάβαση α:

$$f_{\alpha} = \frac{E}{h} = \frac{1\text{eV}-0}{4,136 \cdot 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}} = 2,42 \cdot 10^{14} \text{Hz}$$

Μετάβαση β:

$$f_{\beta} = \frac{E}{h} = \frac{(3-1)\text{eV}}{4,136 \cdot 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}} = 4,84 \cdot 10^{14} \text{Hz}$$

Μετάβαση γ :

$$f_{\gamma} = \frac{E}{h} = \frac{3\text{eV}-0}{4,136 \cdot 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}} = 7,26 \cdot 10^{14} \text{Hz}$$

Τα αντίστοιχα μήκη κύματος της ακτινοβολίας είναι:

$$\lambda_{\alpha} = \frac{c}{f_{\alpha}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{m/s}}{2,42 \cdot 10^{14} \text{Hz}} = 1,24 \cdot 10^{-6} \text{m} = 1240 \text{nm}$$

$$\lambda_{\beta} = \frac{c}{f_{\beta}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{m/s}}{4,84 \cdot 10^{14} \text{Hz}} = 6,20 \cdot 10^{-7} \text{m} = 620 \text{nm}$$

$$\lambda_{\gamma} = \frac{c}{f_{\gamma}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{m/s}}{7,25 \cdot 10^{14} \text{Hz}} = 4,14 \cdot 10^{-7} \text{m} = 414 \text{nm}$$

(β) Από το διάγραμμα προκύπτει ότι, όταν το άτομο βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση, μπορεί να απορροφήσει μόνο φωτόνια με ενέργεια

1eV ή 3eV (μετάβαση δ και ϵ αντίστοιχα).

Δεν μπορεί να απορροφήσει φωτόνια ενέργειας 2eV , αφού δεν υπάρχει ενεργειακή στάθμη με ενέργεια 2eV υψηλότερη από τη θεμελιώδη. Από τους υπολογισμούς που έχουν γίνει παρατηρούμε ότι τα αντίστοιχα μήκη κύματος θα είναι 1240nm και 414nm .

2.4 ΑΚΤΙΝΕΣ Χ

Σε πολλές περιπτώσεις ένας γιατρός, προκειμένου να κάνει διάγνωση μιας πάθησης, παραπέμπει τον ασθενή του στον ακτινολόγο, για να βγάλει μια ακτινογραφία. Όσοι έχουμε βγάλει ακτινογραφία θώρακα γνωρίζουμε ότι κατά τη λήψη της ακτινογραφίας στεκόμαστε ακίνητοι, χωρίς να αναπνέουμε, ενώ ο ακτινολόγος βγαίνει έξω από το χώρο λήψης της ακτινογραφίας. Αν

στη συνέχεια παρατηρήσουμε προσεκτικά την ακτινογραφία, θα δούμε ότι τα οστά του θώρακα εμφανίζονται ως φωτεινές περιοχές, ενώ οι ιστοί ως σκοτεινές περιοχές.

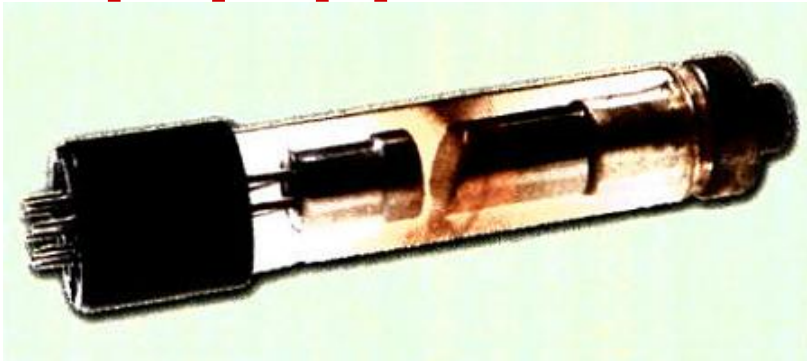
Κατά τη λήψη της ακτινογραφίας μια αόρατη ακτινοβολία διαπερνά το σώμα μας. Όμως τι είναι αυτή η ακτινοβολία και πώς παράγεται; Προς το τέλος του 19ου αιώνα ο Γερμανός φυσικός Roentgen (Ρέντγκεν) μελετούσε τις ιδιότητες των ηλεκτρονίων που επιταχύνονταν, μέσα σε σωλήνα χαμηλής πίεσης, από ηλεκτρικό πεδίο και έπεφταν σε μεταλλικό στόχο. Ο Roentgen παρατήρησε ότι, όταν πλησίαζε στο σωλήνα μία φθορίζουσα ουσία, τότε η ουσία, ακτινοβόλούσε φως, ενώ, όταν πλησίαζε ένα φωτογραφικό φιλμ, τότε αυτό μαύριζε. Υποστήριξε λοιπόν ότι τα

φαινόμενα αυτά οφείλονταν σε ένα νέο άγνωστο και μυστηριώδη τύπο ακτινών, τις οποίες ονόμασε ακτίνες X. Το σύμβολο X χρησιμοποιήθηκε από το Roentgen για να δηλώσει την άγνωστη μέχρι τότε φύση των ακτίνων, όπως στην Άλγεβρα το σύμβολο X χρησιμοποιείται για να συμβολίσει μία άγνωστη ποσότητα. Οι ακτίνες X ονομάζονται και ακτίνες Roentgen.



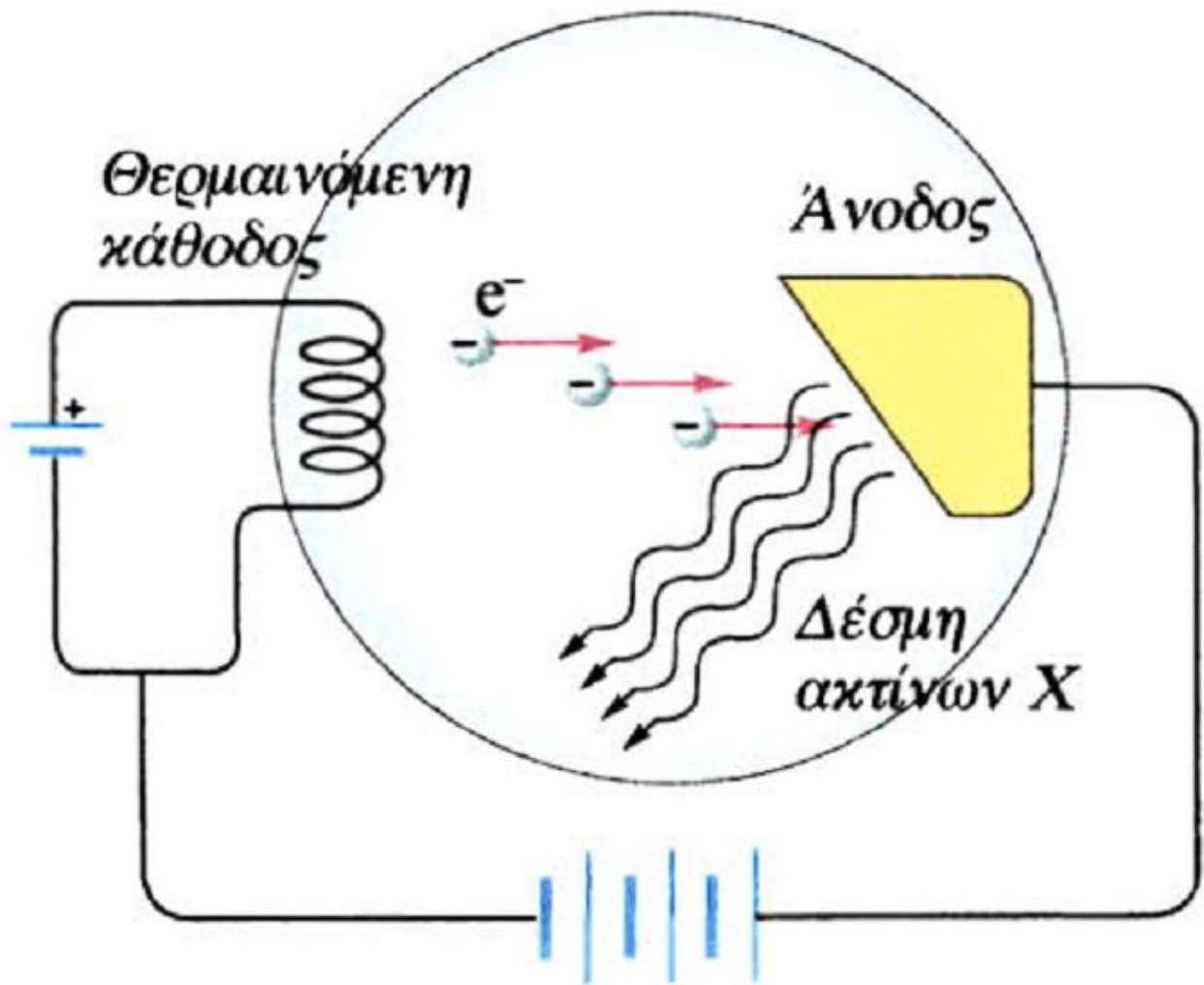
2-21 Wilhelm Roentgen (1845-1923). Ανακάλυψε το 1895 τις ακτίνες X. Το 1901 τιμήθηκε με το βραβείο Nobel.

Παραγωγή ακτινών X



Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε από το Roentgen αποτελείται από ένα γυάλινο σωλήνα που είναι εφοδιασμένος με δύο ηλεκτρόδια, την άνοδο και την κάθοδο. Η κάθοδος θερμαίνεται και εκπέμπει ηλεκτρόνια. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της καθόδου τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται στη μονάδα του χρόνου.

2-22 Συσκευή παραγωγής ακτίνων X. Ηλεκτρόνια μεγάλης ταχύτητας προσπίπτουν σε μεταλλικό στόχο. Από το μεταλλικό στόχο εκπέμπονται ακτίνες X



Μεταξύ της ανόδου και της καθόδου εφαρμόζεται υψηλή τάση, η οποία επιταχύνει τα ηλεκτρόνια. Ο σωλήνας περιέχει αέριο σε πολύ χαμηλή πίεση (της τάξης των 10^{-7} atm), ώστε να περιορίζονται οι συγκρούσεις των ηλεκτρονίων με τα μόρια του αερίου. Τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν στην άνοδο με μεγάλη ταχύτητα.

Η άνοδος εκπέμπει μια πολύ διεισδυτική ακτινοβολία, που ονομάζεται ακτίνες X. Επειδή αναπτύσσεται πολύ υψηλή θερμοκρασία στην άνοδο, το υλικό της ανόδου είναι δύστηκτο μέταλλο και ψύχεται για να μη λιώνει. Επομένως:

Οι ακτίνες X παράγονται, όταν ηλεκτρόνια μεγάλης ταχύτητας, που έχουν επιταχυνθεί από υψηλή τάση, προσπίπτουν σε μεταλλικό στόχο.

Φύση των ακτινών X

Τα πειράματα έχουν δείξει ότι οι ακτίνες X είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια), που έχει πολύ μικρό μήκος κύματος. Το μήκος κύματος είναι 10000 φορές μικρότερο από το μήκος κύματος του ορατού φωτός και είναι συγκρίσιμο με το μέγεθος του ατόμου.

Επομένως:

Οι ακτίνες X είναι αόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που έχει μήκη κύματος πολύ μικρότερα από τα μήκη κύματος των ορατών ακτινοβολιών.

Φάσμα των ακτινών X

Το φάσμα της ακτινοβολίας X είναι σύνθετο. Αποτελείται από ένα συνεχές φάσμα πάνω στο οποίο εμφανίζονται μερικές γραμμές (γραμμικό φάσμα). Τα δύο είδη φάσματος οφείλονται σε δύο διαφορετικές διεργασίες παραγωγής και εκπομπής των ακτινών X.

α. Γραμμικό φάσμα

Τα κινούμενα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα άτομα του υλικού της ανόδου. Τα άτομα της ανόδου διεγείρονται. Ένα ηλεκτρόνιο των εσωτερικοί στιβάδων του ατόμου μεταπηδά σε άλλη επιτρεπόμενη

τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας. Η κενή θέση του ηλεκτρονίου μπορεί να συμπληρωθεί από ένα ηλεκτρόνιο του ατόμου που βρίσκεται στις εξωτερικές στιβάδες, με ταυτόχρονη εκπομπή ενός φωτονίου.

Επειδή οι επιτρεπόμενες τιμές της ενέργειας του ατόμου είναι καθορισμένες, οι συχνότητες των φωτονίων που εκπέμπονται θα είναι καθορισμένες. Το φάσμα του φωτός που εκπέμπει το άτομο θα αποτελείται από γραμμές που είναι χαρακτηριστικές του υλικού της ανόδου. Επειδή η ενέργεια που απαιτείται, για να εκδιωχθεί ένα ηλεκτρόνιο από μια εσωτερική τροχιά, είναι μεγάλη, θα πρέπει και η ενέργεια του ηλεκτρονίου που προκαλεί τη διέγερση να είναι μεγάλη. Επομένως απαιτείται το ηλεκτρόνιο να έχει

επιταχυνθεί από μεγάλη διαφορά δυναμικού.

β. Συνεχές φάσμα

Ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να επιβραδυνθεί εξαιτίας της αλληλεπίδρασής του με τα άτομα του στόχου. Όπως έχουμε αναφέρει, ένα επιταχυνόμενο (ή επιβραδυνόμενο) φορτίο εκπέμπει ακτινοβολία. Η απώλεια της κινητικής ενέργειας ($K_{\alpha} - K_{\tau}$) του ηλεκτρονίου θα είναι ίση με την ενέργεια του φωτονίου hf που εκπέμπεται.

Δηλαδή:

$$hf = K_{\alpha} - K_{\tau} \quad (2.9)$$

Το ηλεκτρόνιο μπορεί να χάσει όλη ή οποιοδήποτε μέρος της ενέργειάς του σε μία κρούση, δηλαδή μπορεί να ακινητοποιηθεί μετά από μία ή περισσότερες κρούσεις. Επειδή κατά τις κρούσεις των ηλεκτρονίων με τα άτομα του στόχου τα ηλεκτρόνια

μπορεί να χάσουν οποιοδήποτε μέρος της ενέργειάς τους, συμπεραίνουμε ότι τα φωτόνια που εκπέμπονται θα έχουν οποιαδήποτε τιμή ενέργειας, που θα είναι μικρότερη ή ίση της αρχικής ενέργειας του ηλεκτρονίου. Επομένως το φάσμα της ακτινοβολίας αυτής θα είναι συνεχές.

γ. Το μικρότερο μήκος κύματος

Το μικρότερο μήκος κύματος λ_{\min} της ακτινοβολίας εκπέμπεται, όταν η ενέργεια ενός ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου σε μία μόνο κρούση.

Αντικαθιστώντας $K_T = 0$ στην παραπάνω σχέση 2.9 βρίσκουμε:

$$hf = K_\alpha \quad (2.10)$$

Η κινητική ενέργεια K_α του ηλεκτρονίου είναι ίση με την ενέργεια eV που αποκτά μέσω της τάσης V που

το επιταχύνει. Αντικαθιστώντας $K_{\alpha}=eV$ στην παραπάνω σχέση, παίρνουμε:

$$hf = eV \quad \text{και επειδή} \quad f = \frac{c}{\lambda_{\min}},$$

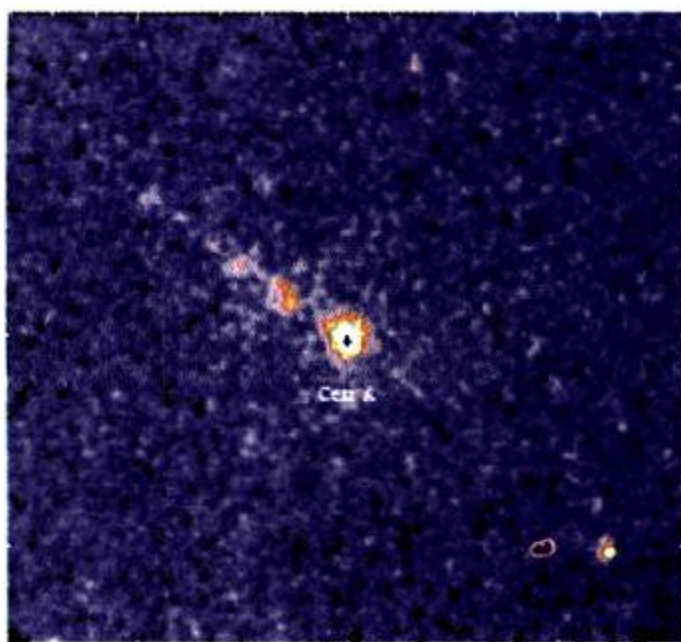
βρίσκουμε:

$$h \frac{c}{\lambda_{\min}} = eV ,$$

οπότε

$$\lambda_{\min} = \frac{ch}{eV} \quad (2.11)$$

Παρατηρούμε ότι το ελάχιστο μήκος κύματος εξαρτάται μόνο από την τάση V που εφαρμόζεται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.



2-23 Φωτογραφία με ακτίνες Χ, επεξεργασμένη με ηλεκτρονικό υπολογιστή, τον πυρήνα ενός γαλαξία στον αστερισμό τον Κενταύρου, όπου πιστεύουμε ότι υπάρχει μια μαύρη τρύπα. Ακτίνες Χ εκπέμπονται, καθώς η μαύρη τρύπα έλκει μεγάλες ποσότητες μάζας από τη γύρω περιοχή και αυτές αποκτούν μεγάλες επιταχύνσεις.

Απορρόφηση των ακτίνων Χ

Όταν οι ακτίνες Χ διαπερνούν οποιοδήποτε υλικό, τότε ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από

το υλικό. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας εξαρτάται από τη φύση του υλικού, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και το πάχος του υλικού.

α. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ατομικός αριθμός Z των ατόμων του υλικού που απορροφά την ακτινοβολία τόσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση της ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί στις ακτινογραφίες του ανθρώπινου σώματος τα οστά, τα οποία αποτελούνται από άτομα μεγαλύτερου ατομικού αριθμού, απορροφούν περισσότερη ακτινοβολία, ενώ οι ιστοί απορροφούν πολύ λιγότερη.

β. Όταν οι ακτίνες X διαπερνούν μια πλάκα, που έχει ορισμένο πάχος, τότε η απορρόφηση των ακτίνων αυξάνεται όσο αυξάνεται το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Οι

ακτίνες X που έχουν μικρά μήκη κύματος είναι περισσότερο διεισδυτικές και ονομάζονται σκληρές ακτίνες, ενώ οι ακτίνες που έχουν μεγάλα μήκη κύματος είναι λιγότερο διεισδυτικές και ονομάζονται μαλακές ακτίνες.



γ. Όσο το πάχος του υλικού είναι μεγαλύτερο τόσο μεγαλύτερη είναι και η απορρόφηση της ακτινοβολίας μέσα στο υλικό αυτό.

Χρήσεις των ακτίνων X

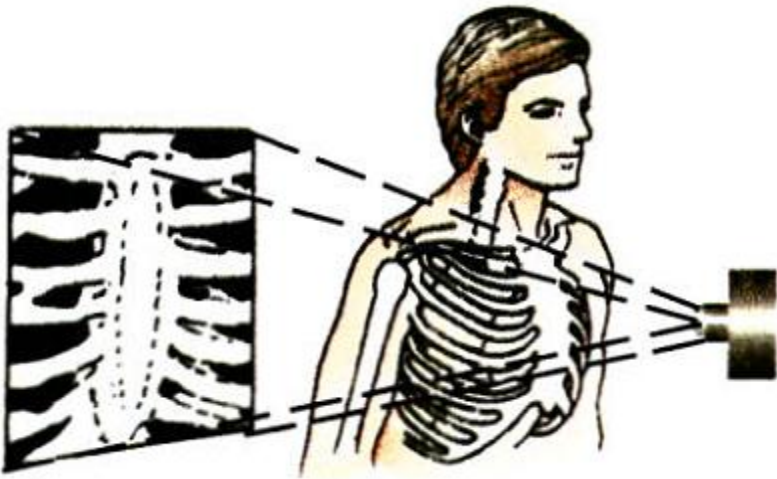
Στην Ιατρική

α. Ακτινογραφία – Ακτινοσκόπηση. Όπως έχουμε αναφέρει, η απορρόφηση των ακτίνων X εξαρτάται από τον ατομικό αριθμό των χημικών στοιχείων του υλικού

που τις απορροφά. Τα βαριά χημικά στοιχεία έχουν μεγάλο ατομικό αριθμό και απορροφούν περισσότερο την ακτινοβολία από ό,τι τα ελαφρά στοιχεία, τα οποία έχουν μικρό ατομικό αριθμό. Στην ιδιότητα αυτή στηρίζεται η χρήση των ακτινών X στη διάγνωση πολλών παθήσεων. Τα οστά περιέχουν στοιχεία μεγάλου ατομικού αριθμού (ασβέστιο, φώσφορος) και απορροφούν περισσότερο τις ακτίνες από ό,τι οι ιστοί, οι οποίοι αποτελούνται από ελαφρότερα στοιχεία (άνθρακας, οξυγόνο, υδρογόνο, άζωτο και άλλα).

Αν λοιπόν μεταξύ της πηγής των ακτινών X και μιας φθορίζουσας οθόνης τοποθετηθεί ο προς εξέταση ασθενής, τότε πάνω στην οθόνη θα φανούν οι σκιές των διάφορων οργάνων (ακτινοσκόπηση). Αν στη

θέση της φθορίζουσας οθόνης τοποθετηθεί μια φωτογραφική πλάκα, τότε θα πάρουμε πάνω στην πλάκα την ανάλογη φωτογραφία (ακτινογραφία).

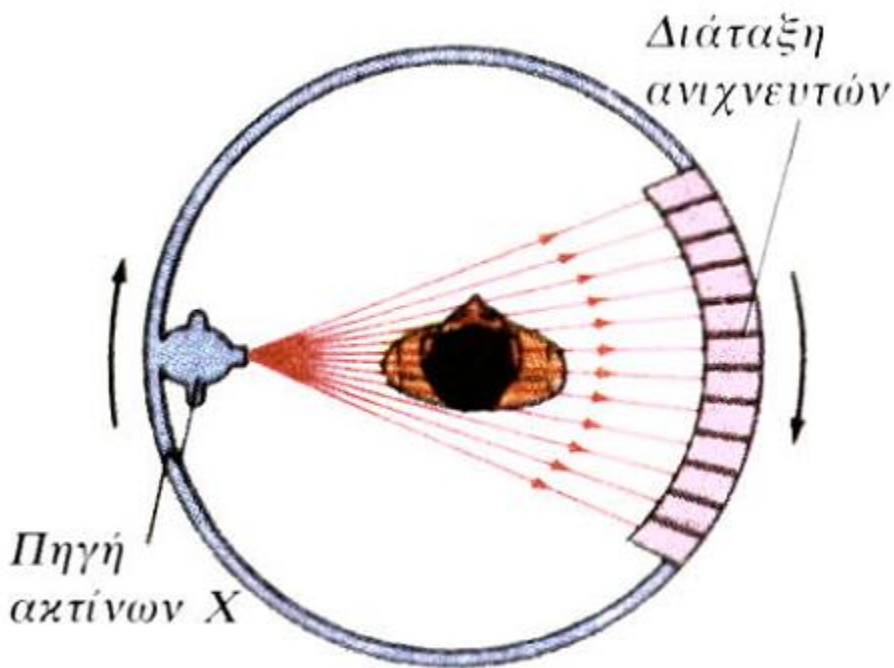


2-24 Ακτινογραφία. Τα οστά απορρίπτουν εντονότερα τις ακτίνες X σε σύγκριση με τον υπόλοιπο ιστό. Έτσι στο φιλμ εμφανίζονται ως φωτεινότερες περιοχές.

β. Αυτοματοποιημένη αξονική τομογραφία. Τελευταία χρησιμοποιείται η αυτοματοποιημένη αξονική τομογραφία. Η πηγή των ακτίνων X παράγει μια αποκλίνουσα δέσμη, που έχει μορφή βεντάλιας.

Οι ακτίνες της δέσμης διαπερνούν το ανθρώπινο σώμα και, όταν εξέρχονται από την άλλη πλευρά του σώματος, ανιχνεύονται, με διάταξη ανιχνευτών. Κάθε ανιχνευτής μετράει την απορρόφηση μιας λεπτής δέσμης, που διαπερνά το σώμα. Η συσκευή περιστρέφεται γύρω από το ανθρώπινο σώμα και ένας υπολογιστής επεξεργάζεται τις πληροφορίες.

Με αυτό τον τρόπο μπορούν να ανιχνευτούν όγκοι ή άλλες ανωμαλίες που είναι πολύ μικροί και δεν μπορούν να παρατηρηθούν με την ακτινογραφία.



2-25 Αρχή λειτουργίας αξονικού τομογράφου. Οι ακτίνες Χ, που περνούν μέσα από το σώμα μετρούνται συγχρόνως σε κάθε διεύθυνση. Η πηγή και ο ανιχνευτής περιστρέφονται, ώστε να έχουμε μετρήσεις σε διαφορετικές γωνίες.

Στη βιομηχανία

Οι ακτίνες Χ χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, για να διαπιστωθεί η ύπαρξη κοιλοτήτων, ραγισμάτων ή άλλων ελαττωμάτων στο εσωτερικό των μεταλλικών αντικειμένων. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η

ίδια με τη διαδικασία της ακτινο-
διαγνωστικής. Τα ελαττωματικά ση-
μεία εντοπίζονται από το γεγονός
ότι προκαλούν μικρότερη απορρό-
φηση.

Βιολογικές βλάβες που προκαλούν οι ακτίνες X

Οι ακτίνες X προκαλούν βλάβες
στους οργανισμούς. Όταν απορρο-
φηθούν από τους ιστούς, διασπών
τους μοριακούς δεσμούς και δη-
μιουργούν ενεργές ελεύθερες ρίζες,
που με τη σειρά τους μπορεί να
διαταράξουν τη μοριακή δομή των
πρωτεϊνών και ειδικά του γενετικού
υλικού (DNA).

Αν το κύτταρο που έχει υποστεί
βλάβη από την ακτινοβολία επι-
βιώσει, τότε μπορεί να δώσει πολ-
λές γενεές μεταλλαγμένων κυττά-
ρων. Αν οι αλλαγές στο DNA αφο-
ρούν γονίδια που ελέγχουν το ρυθ-

μό πολλαπλασιασμού των κυττάρων, οι ακτίνες X μπορεί να προκαλέσουν καρκίνο. Η υπερβολική έκθεση ενός οργανισμού σε ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στα γενετικά κύτταρα. Σ' αυτή την περίπτωση, ενώ ο ίδιος οργανισμός δε θα εμφανίσει κάποια βλάβη, θα επηρεαστούν οι απόγονοι του.

Η χρήση των ακτίνων X για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς πρέπει να γίνεται με προσοχή, εκτιμώντας τόσο τα οφέλη όσο και τους κινδύνους που προέρχονται από την έκθεση του οργανισμού σε ακτινοβολία για μεγάλο χρονικό διάστημα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 – 5

Τα ηλεκτρόνια σε ένα σωλήνα ακτίνων X επιταχύνονται με διαφορά δυναμικού 50kV. Αν ένα ηλεκτρόνιο

παράγει ένα φωτόνιο κατά την πρόσκρουσή του στο στόχο, να υπολογιστεί το ελάχιστο μήκος κύματος των ακτίνων X που παράγονται.

ΛΥΣΗ Το ελάχιστο μήκος κύματος αντιστοιχεί στη μέγιστη ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου hf_{\max} . Αυτό συμβαίνει, όταν όλη η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου eV χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός φωτονίου.

Έχουμε λοιπόν:

$$eV = hf_{\max} \quad \text{και επειδή} \quad c = \lambda_{\min} f_{\max} \quad \text{ή}$$

$$f_{\max} = \frac{c}{\lambda_{\min}}$$

$$\text{βρίσκουμε} \quad eV = h \frac{c}{\lambda_{\min}} \quad \text{ή}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J})(50 \cdot 10^3 \text{ V})} = 2,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 – 6

Σε μια ακτινογραφία απαιτούνται ακτίνες X με μήκος κύματος

$\lambda = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$. Η ένταση του ρεύματος της δέσμης των ηλεκτρονίων είναι $I = 40 \text{ mA}$ και ο χρόνος λήψης της ακτινογραφίας είναι $t = 0,1 \text{ s}$.

Να υπολογιστούν:

(α) Η τάση που πρέπει να εφαρμοστεί μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.

(β) Η ισχύς και η ενέργεια που μεταφέρει η δέσμη των ηλεκτρονίων.

(γ) Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που προσπίπτουν στην άνοδο.

(Θεωρούμε ότι όλη η ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου.)

ΛΥΣΗ (α) Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας έχει ενέργεια hf ή hc/λ . Η ενέργεια του φωτονίου είναι ίση με την κινητική ενέργεια που απέκτησε το ηλεκτρόνιο εξαιτίας της επιτάχυνσής του μέσω της τάσης V . Άρα:

$$eV = h \frac{c}{\lambda} \quad \text{ή} \quad V = \frac{hc}{\lambda e}$$

$$V = \frac{(6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})(1,50 \cdot 10^{11} \text{ m})}$$

$$\text{ή} \quad V = 82500 \text{ V}$$

(β) Η ισχύς που μεταφέρει η δέσμη των ηλεκτρονίων είναι:

$$P = V \cdot I = 82500 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 3300 \text{ W}$$

Η ενέργεια που μεταφέρει η δέσμη είναι:

$$W = P \cdot t = 3300 \cdot 0,1 \text{ J} = 330 \text{ J}$$

(γ) Το φορτίο q που προσπίπτει στην άνοδο σε χρόνο t είναι:

$$q = I \cdot t = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 \text{ C} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

και ο αριθμός των ηλεκτρονίων που προσπίπτουν στην άνοδο είναι:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 2,5 \cdot 10^{16} \text{ ηλεκτρόνια}$$

ΣΥΝΟΨΗ 2ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

□ Σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson, το άτομο αποτελείται από μία σφαίρα ομοιόμορφα κατανεμημένου θετικού φορτίου, μέσα στην οποία είναι ενσωματωμένα τα ηλεκτρόνια.

□ Σύμφωνα με το πρότυπο του Rutherford, το άτομο αποτελείται:

i. από μια μικρή περιοχή (πυρήνας), στην οποία είναι συγκεντρωμένο όλο το θετικό φορτίο και όλη σχεδόν η μάζα του ατόμου,

ii. από τα ηλεκτρόνια, τα οποία κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα.

□ Το υδρογόνο, όπως και όλα τα αέρια, μπορεί να εκπέμπει μόνο ορισμένες ακτινοβολίες και να απορροφά μόνο εκείνες τις ακτινοβολίες τις οποίες μπορεί να εκπέμπει.

□ Για να ερμηνεύσει ο Bohr το φάσμα του υδρογόνου, διατύπωσε τις παρακάτω ιδέες:

i. Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου μπορεί να κινείται μόνο σε ορισμένες επιτρεπόμενες τροχιές, για τις οποίες η στροφορμή του είναι $mvr = n \cdot (h/2\pi) = n\hbar$ ($n = 1, 2, 3, \dots, \infty$).

ii. Αν το ηλεκτρόνιο του ατόμου μεταπηδήσει από μία επιτρεπόμενη τροχιά ενέργειας E_α σε άλλη τροχιά μικρότερης ενέργειας E_τ , τότε το άτομο εκπέμπει ένα φωτόνιο συχνότητας f και ισχύει: $E_\alpha - E_\tau = hf$.

□ Η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου δίνεται από τη σχέση: $E = -k \frac{e^2}{2r}$.

□ Οι ακτίνες των επιτρεπόμενων τροχιών και οι αντίστοιχες τιμές της ολικής ενέργειας του ηλεκτρονίου δίνονται από τις σχέσεις:

$$r_n = n^2 r_1 \quad \text{και}$$

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots, \infty)$$

□ Οι επιτρεπόμενες τιμές της ενέργειας ονομάζονται ενεργειακές στάθμες. Οι αντίστοιχες καταστάσεις του ατόμου ονομάζονται ενεργειακές καταστάσεις. Η κατάσταση με τη χαμηλότερη ενέργεια E_1 ονομάζεται θεμελιώδης κατάσταση. Όλες οι άλλες ενεργειακές καταστά-

σεις E_2, E_3, \dots ονομάζονται διεγερμένες καταστάσεις.

□ Η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου του ατόμου από μία τροχιά χαμηλής ενέργειας σε άλλη υψηλότερης ενέργειας ονομάζεται διέγερση του ατόμου. Η απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου του ατόμου σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα ονομάζεται ιονισμός του ατόμου.

□ Οι ακτίνες X παράγονται, όταν ηλεκτρόνια μεγάλης ταχύτητας, που έχουν επιταχυνθεί από υψηλή τάση, προσπίπτουν σε μεταλλικό στόχο. Είναι αόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που έχει μήκη κύματος πολύ μικρότερα από τα μήκη κύματος των ορατών ακτινοβολιών.

□ Το φάσμα των ακτινών Χ είναι σύνθετο. Αποτελείται από ένα συνεχές φάσμα πάνω στο οποίο εμφανίζονται μερικές γραμμές (γραμμικό φάσμα).

□ Το μικρότερο μήκος κύματος λ_{\min} των ακτινών Χ εκπέμπεται, όταν το ηλεκτρόνιο δίνει όλη την κινητική του ενέργεια σε ένα φωτόνιο σε μία μόνο κρούση. Το μικρότερο μήκος κύματος δίνεται από τη σχέση:

$$\lambda_{\min} = \frac{ch}{eV}$$

□ Οι ακτίνες Χ προκαλούν βιολογικές βλάβες.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποιο είναι το πρότυπο του Thomson για το άτομο;

2. Ποιο είναι το πρότυπο του Rutherford για το άτομο;

3. Όταν μία δέσμη σωματίων α κατευθύνεται σε λεπτό μεταλλικό φύλλο στόχου, τότε παρατηρούμε ότι:

I. τα περισσότερα σωματρία α περνάνε ανεπηρέαστα μέσα από το στόχο,

II. αρκετά σωματρία α αποκλίνουν σε διάφορες γωνίες, ενώ λίγα αποκλίνουν κατά 180^0 .

Ποια από τις παραπάνω παρατηρήσεις δείχνει ότι:

α. Ο χώρος μέσα στο άτομο είναι σχεδόν κενός.

β. Το θετικό φορτίο του ατόμου είναι συγκεντρωμένο στο κέντρο

του ατόμου.

γ. Το κέντρο του ατόμου είναι θετικά φορτισμένο.

4. Να εξηγήσετε γιατί το πρότυπο του Rutherford αδυνατεί να ερμηνεύσει τα γραμμικά φάσματα των αερίων.

5. Να διατυπώσετε το πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου.

6. Να υπολογίσετε την κινητική, τη δυναμική και την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου σε συνάρτηση με την ακτίνα της τροχιάς του.

7. Να σχεδιάσετε το διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών για το άτομο του υδρογόνου.

8. Τι ονομάζεται:

α. διέγερση,

β. ιονισμός,

γ. ενέργεια διέγερσης και

δ. ενέργεια ιονισμού;

9. Να περιγράψετε το μηχανισμό διέγερσης του ατόμου:

α. λόγω κρούσης και

β. λόγω απορρόφησης ακτινοβολίας.

10. Ποια γραμμικά φάσματα μπορεί να ερμηνεύσει το πρότυπο του Bohr και ποια δεν μπορεί;

11. Πώς παράγονται οι ακτίνες X;

12. Πώς ερμηνεύεται το γραμμικό φάσμα των ακτινών X και πώς το συνεχές φάσμα;

13. Να υπολογιστεί το ελάχιστο μήκος κύματος των ακτίνων X.

14. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η απορρόφηση των ακτίνων X και με ποιο τρόπο;

15. Ποια είναι η φύση των ακτίνων X;

16. Πού χρησιμοποιούνται οι ακτίνες X;

17. Ποιες είναι οι βιολογικές βλάβες που προκαλούν οι ακτίνες X;

18. Πώς επηρεάζονται οι ακτίνες X:

α. από τη θερμοκρασία της καθόδου,

β. από την τάση που εφαρμόζεται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου,

γ. από το υλικό της ανόδου;

(Στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής που ακολουθούν να κυκλώσετε το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση.)

19. Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου, το οποίο βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση:

α. έχει απομακρυνθεί από το άτομο.

β. ηρεμεί.

γ. είναι σε τροχιά με τη χαμηλότερη ενέργεια.

δ. είναι σε τροχιά με την υψηλότερη ενέργεια.

20. Ένα άτομο εκπέμπει ένα φωτόνιο, όταν ένα από τα ηλεκτρόνια του:

α. απομακρύνεται από το άτομο.

β. μεταβαίνει σε τροχιά μικρότερης ενέργειας.

γ. μεταβαίνει σε τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας.

δ. περιφέρεται σε επιτρεπόμενη τροχιά.

21. Το γραμμικό φάσμα εκπομπής αερίου περιέχει μήκη κύματος που είναι:

α. ίδια για όλα τα στοιχεία.

β. χαρακτηριστικά του στοιχείου που το εκπέμπει.

γ. διαφορετικά από τα μήκη κύματος του φάσματος

απορρόφησης του ίδιου στοιχείου.

δ. στην περιοχή του ορατού.

22. Ποιο από τα παρακάτω πειραματικά δεδομένα δείχνει την ύπαρξη διακριτών ενεργειακών σταθμών στα άτομα;

α. Το φάσμα εκπομπής ενός στοιχείου περιέχει φωτεινότερες γραμμές σε μεγαλύτερη θερμοκρασία.

β. Το φάσμα απορρόφησης ενός στοιχείου έχει σκοτεινές γραμμές στις θέσεις που αντιστοιχούν στις φωτεινές γραμμές του φάσματος εκπομπής.

γ. Το φάσμα των ακτινών X παρουσιάζει ένα ελάχιστο μήκος κύματος.

23. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή;

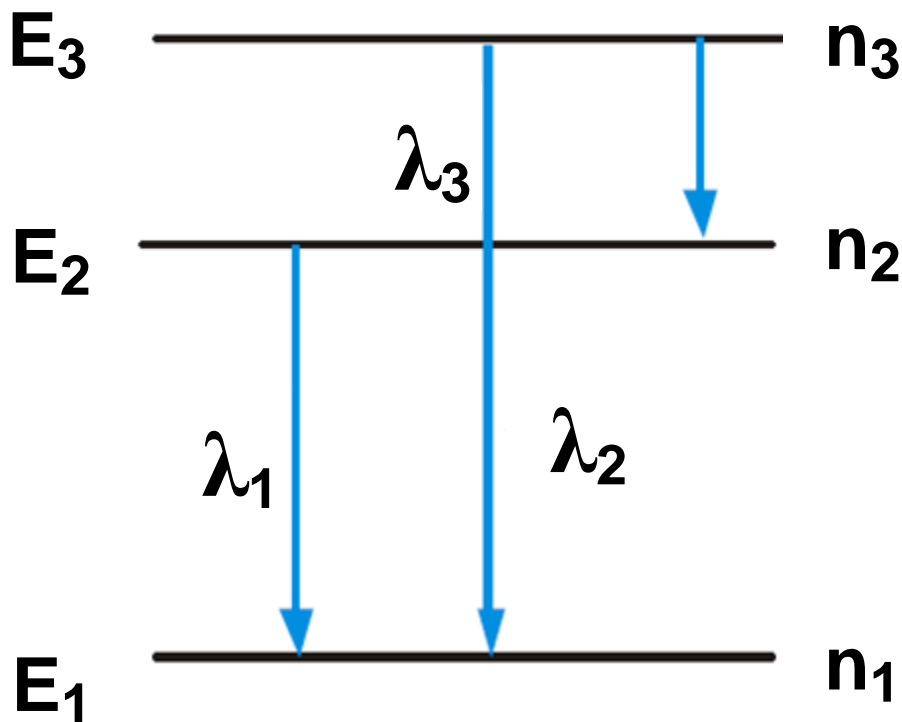
α. Η ενέργεια ιονισμού είναι μικρότερη από την ενέργεια διέγερσης.

β. Η ενέργεια ενός φωτονίου είναι $h\lambda$, όπου λ είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

γ. Ένα ηλεκτρόνιο που βρίσκεται σε διεγερμένη ενεργειακή στάθμη ακτινοβολεί συνεχώς ενέργεια.

δ. Η θεμελιώδης κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου είναι η κατάσταση στην οποία το ηλεκτρόνιο βρίσκεται στη χαμηλότερη επιτρεπτή ενεργειακή στάθμη.

24. Το σχήμα δείχνει το διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών του ατόμου του υδρογόνου. Τα μήκη κύματος λ_1 , λ_2 , λ_3 είναι τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται κατά τις μεταβάσεις του ηλεκτρονίου μεταξύ των ενεργειακών σταθμών, όπως δείχνουν τα βέλη.



Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή;

α. $\lambda_2 = \lambda_1 + \lambda_3$

β. $\lambda_2 > \lambda_3$

γ. $f_2 = f_1 + f_3$

δ. $f_2 = \frac{f_1 f_3}{f_1 + f_3}$

25. Το φάσμα απορρόφησης ενός αερίου εμφανίζει μια συνεχή χρωματιστή ταινία που διακόπτεται από σκοτεινές γραμμές:

α. Οι θέσεις των σκοτεινών γραμμών είναι χαρακτηριστικές του στοιχείου.

β. Μπορεί δύο διαφορετικά στοιχεία να έχουν το ίδιο φάσμα απορρόφησης.

γ. Οι σκοτεινές γραμμές δημιουργούνται, γιατί το λευκό φως απορροφά την ακτινοβολία που εκπέμπει το αέριο.

δ. Οι θέσεις των σκοτεινών γραμμών εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του αερίου.

26. Το γραμμικό φάσμα των ακτινών X αποτελείται από δύο γραμμές που αντιστοιχούν σε μήκη κύματος λ_1 και λ_2 αντίστοιχα. Οι γραμμές αυτές θα μετατοπιστούν, αν αλλάξουμε:

α. το υλικό της ανόδου.

β. την τάση μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.

γ. τη θερμοκρασία της καθόδου.

δ. τη θερμοκρασία της ανόδου.

27. Το ελάχιστο μήκος κύματος λ_{\min} του συνεχούς φάσματος των ακτινών X θα μεταβληθεί, αν μεταβάλλουμε:

- α. το υλικό της ανόδου.
- β. τη θερμοκρασία της καθόδου.
- γ. τη διαφορά δυναμικού μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.
- δ. τη θερμοκρασία της ανόδου.

Θεωρούμε ότι τα ηλεκτρόνια ξεκινούν από την κάθοδο με μηδενική ταχύτητα.

28. Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου:

- α. το ηλεκτρόνιο εκπέμπει συνεχώς ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
- β. η στροφορμή του ηλεκτρονίου μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή.
- γ. το άτομο αποτελείται από μία σφαίρα θετικού φορτίου ομοιόμορφα κατανεμημένου.

δ. το ηλεκτρόνιο κινείται μόνο σε επιτρεπτές τροχιές.

29. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές και ποιες λανθασμένες;

α. Σύμφωνα με το πρότυπο του Rutherford τα άτομα θα έπρεπε να εκπέμπουν συνεχές και όχι γραμμικό φάσμα.

β. Ο Thomson πρότεινε το λεγόμενο πλανητικό μοντέλο για το άτομο.

γ. Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου, εκπέμπει ακτινοβολία όταν κινείται σε επιτρεπόμενη τροχιά.

δ. Το σωματίο α είναι ένας πυρήνας ηλίου (${}^4_2\text{He}$).

30. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές και ποιες λανθασμένες;

Στο πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου:

α. Η ακτίνα της νιοστής τροχιάς του ηλεκτρονίου είναι ανάλογη του n^2 .

β. Η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στη νιοστή τροχιά είναι αντιστρόφως ανάλογη του κύριου κβαντικού αριθμού n .

γ. Η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του $h/2\pi$.

δ. Το μέτρο της δυναμικής ενέργειας του ηλεκτρονίου σε μια τροχιά είναι μεγαλύτερο από την κινητική του ενέργεια.

31. Στο πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου ο λόγος της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου σε μια τροχιά προς την ολική ενέργεια, είναι:

α. -1 β. 1 γ. 1/2 δ. 2

32. Η ενέργεια ιονισμού του ατόμου του υδρογόνου είναι $13,6\text{eV}$. Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για να διεγερθεί το άτομο του υδρογόνου από τη θεμελιώδη κατάσταση είναι:

- α. $3,4\text{eV}$ β. $13,6\text{eV}$
γ. $-13,6\text{eV}$ δ. $10,2\text{eV}$

33. Το ελάχιστο μήκος κύματος των ακτίνων X εξαρτάται:

- α. από την ένταση του ρεύματος.
β. από την τάση που εφαρμόζεται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.
γ. από τη φύση του αερίου που περιέχεται στο σωλήνα παραγωγής των ακτίνων X.
δ. από το υλικό της ανόδου.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Οι παρακάτω φυσικές σταθερές θεωρούνται γνωστές:

Σταθερά του νόμου Coulomb:

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

Φορτίο ηλεκτρονίου: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Μάζα ηλεκτρονίου: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Σταθερά Planck: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Ταχύτητα του φωτός στο κενό:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

1. Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση. Η ακτίνα της τροχιάς του ηλεκτρονίου είναι $r = 5,3 \times 10^{-11} \text{ m}$. Να υπολογιστούν:

α. η ταχύτητα του ηλεκτρονίου,

β. η περίοδος της κίνησης του ηλεκτρονίου,

γ. η κινητική, η δυναμική και η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου.

2. Η ενέργεια του ατόμου του υδρογόνου, όταν αυτό βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση, είναι $-13,6\text{eV}$:

α. Ποια θα είναι η ενέργεια του ατόμου στην πρώτη διεγερμένη κατάσταση ($n = 2$) και ποια στη δεύτερη διεγερμένη κατάσταση ($n = 3$);

β. Το άτομο διεγείρεται και αποκτά ενέργεια $-0,85\text{eV}$. Σε ποιο κύριο κβαντικό αριθμό αντιστοιχεί η διεγερμένη αυτή κατάσταση;

3. Η ενέργεια του ατόμου του υδρογόνου, όταν βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση, είναι $-13,6\text{eV}$. Ηλεκτρόνια συγκρούονται με άτομα του υδρογόνου τα οποία βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Τα άτομα διεγείρονται και εκπέμπουν γραμμικό φάσμα που αποτελείται μόνο από μία γραμμή ορισμένης συχνότητας. Ποια είναι η ελάχιστη

και ποια η μέγιστη ενέργεια των ηλεκτρονίων που διεγείρουν τα άτομα του υδρογόνου; (Η ορμή του ατόμου δε μεταβάλλεται κατά την κρούση.)

4. Διεγερμένα άτομα υδρογόνου βρίσκονται σε κατάσταση που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό $n = 4$:

α. Να υπολογιστεί το πλήθος των γραμμών του φάσματος εκπομπής του αερίου.

β. Να σχεδιαστεί το διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών, στο οποίο να φαίνονται οι μεταβάσεις που πραγματοποιούνται.

5. Το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση στην οποία η ολική ενέργεια είναι

$-13,6\text{eV}$:

α. Ποια ελάχιστη ενέργεια απαιτείται, για να ιονιστεί το άτομο;

β. Ποια ενέργεια απαιτείται, για να διεγερθεί το άτομο στην πρώτη διεγερμένη κατάσταση ($n = 2$);
γ. Το άτομο του υδρογόνου απορροφά, λόγω κρούσης, ενέργεια 15eV και ιονίζεται. Ποια κινητική ενέργεια αποκτά τελικά το ηλεκτρόνιο, αν η κινητική ενέργεια του ατόμου δε μεταβάλλεται κατά την κρούση;

6. Ηλεκτρόνια επιταχύνονται μέσω τάσης $12,3\text{V}$ και περνάνε μέσα από αέριο που αποτελείται από άτομα υδρογόνου τα οποία βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Να υπολογιστούν τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει το αέριο. Η ενέργεια του ατόμου του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση είναι $-13,6\text{eV}$.

7. Σε σωλήνα παραγωγής ακτινών X τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται από τάση 10kV. Να υπολογιστεί η μέγιστη συχνότητα και το ελάχιστο μήκος κύματος των ακτινών X που παράγονται.

8. Σε σωλήνα παραγωγής ακτίνων X εφαρμόζεται τάση (α) $V_1 = 10KV$, (β). $V_2 = 40KV$. Τα αντίστοιχα ελάχιστα μήκη κύματος των ακτίνων X είναι λ_1 και λ_2 . Να υπολογιστεί ο λόγος λ_1/λ_2 .

9. Σε μια ακτινογραφία απαιτούνται ακτίνες X μήκους κύματος $\lambda=10^{-10}$ m. Η ένταση του ρεύματος της δέσμης των ηλεκτρονίων είναι 40mA και ο χρόνος λήψης της ακτινογραφίας είναι 0,1s. Θεωρούμε ότι όλη η κινητική ενέργεια κάθε ηλεκ-

τρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου:

α. Ποια τάση εφαρμόζεται στο σωλήνα παραγωγής ακτίνων Χ;

β. Πόση ισχύ και πόση ενέργεια μεταφέρει η ηλεκτρονική δέση;

γ. Ποια είναι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων τη στιγμή που προσπίπτουν στην άνοδο;

δ. Πόσα ηλεκτρόνια ανά δευτερόλεπτο προσπίπτουν στην άνοδο;

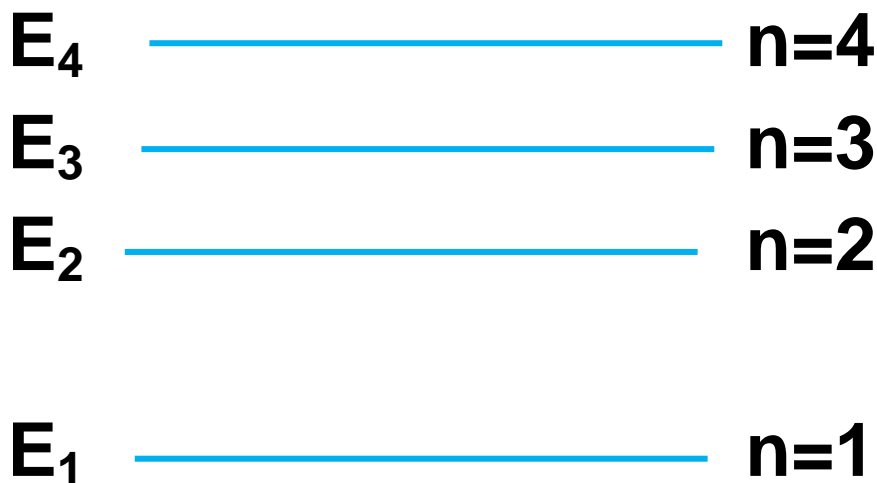
ε. Η ισχύς της ακτινοβολίας Χ αν η απόδοση της συσκευής σε ακτίνες Χ είναι 2%.

στ. Η ενέργεια που μεταφέρεται από την ακτινοβολία σε χρονικό διάστημα $\Delta t=0,1\text{s}$.

ζ. Η μεταβολή επί τοις % στην τιμή της ανοδικής τάσης, αν θέλουμε το ελάχιστο μήκος κύματος του συνεχούς φάσματος να ελαττωθεί κατά 20%. (Θεωρούμε ότι όλη η ενέργεια

κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου.)

10. 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 τετράδιο 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.

11. Διεγερμένα άτομα υδρογόνου αποδιεγείρονται και τα άτομα επανέρχονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Η ενέργεια της θεμελιώδους κατάστασης είναι $E_1 = -13,6\text{eV}$. Από τη μελέτη των φασματικών γραμμών υπολογίστηκαν τρεις διαφορές ενεργειών μεταξύ των διεγερμένων καταστάσεων και της θεμελιώδους κατάστασης και βρέθηκαν ίσες με $12,75\text{eV}$, $12,09\text{eV}$ και $10,2\text{eV}$.

α. Να υπολογίσετε τις ενέργειες που αντιστοιχούν στις διεγερμένες καταστάσεις των ατόμων υδρογόνου.

β. Να υπολογίσετε τους κβαντικούς αριθμούς στους οποίους αντιστοιχούν οι διεγερμένες καταστάσεις.

γ. Να σχεδιάσετε το διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών, στο οποίο να φαίνονται οι μεταβάσεις των ηλεκτρονίων που πραγματοποιού-

νται.

δ. Σε ένα από τα άτομα του υδρογόνου, που βρίσκεται πλέον στη θεμελιώδη κατάσταση, προσπίπτει μονοχρωματική ακτινοβολία, με συνέπεια το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου να έχει κινητική ενέργεια $K = 6,29\text{eV}$, σε περιοχή όπου η επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα είναι πρακτικά μηδέν. Να υπολογίσετε τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

12. Προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη κοιλότητας στο εσωτερικό ενός μεταλλικού αντικειμένου, χρησιμοποιούνται ακτίνες X. Στη διάταξη παραγωγής των ακτινών X, η τάση που εφαρμόζεται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου είναι 16.575V . Τα ηλεκτρόνια ξεκινούν από την κάθοδο με μηδενική ταχύτητα, επιταχύνονται και προσπί-

πτουν στη άνοδο. Θεωρούμε ότι η θερμοκρασία της καθόδου είναι σταθερή και ότι η κινητική ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε ενέργεια ενός φωτονίου σε μία μόνο κρούση. Να υπολογίσετε:

α. την κινητική ενέργεια που έχει κάθε ηλεκτρόνιο όταν φθάνει στην άνοδο.

β. το ελάχιστο μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το υλικό της ανόδου.

Στην παραπάνω διάταξη παραγωγής ακτινών X , μεταβάλλοντας την τάση της ανόδου και καθόδου, η αρχική ισχύς P_1 , της δέσμης των ηλεκτρονίων τετραπλασιάζεται και παίρνει την τιμή $P_2 = 4P_1$, ενώ η θερμοκρασία της καθόδου διατηρείται σταθερή και η ένταση του

ρεύματος των ηλεκτρονίων παραμένει η ίδια. Να υπολογίσετε:

γ. το λόγο των ταχυτήτων u_1/u_2 , όπου u_1 και u_2 οι ταχύτητες με τις οποίες τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν στην άνοδο πριν και μετά τον τετραπλασιασμό της ισχύος, αντίστοιχα.

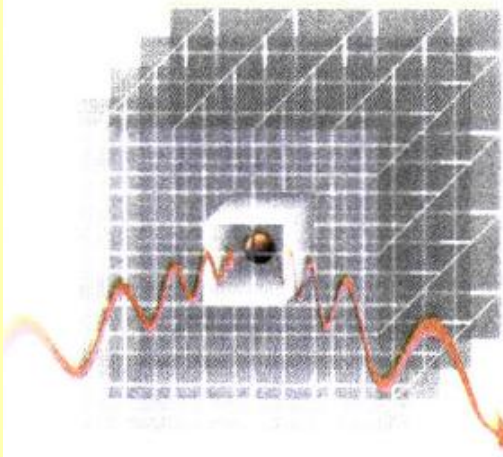
δ. το ελάχιστο μήκος κύματος της παραγόμενης ακτινοβολίας, μετά τον τετραπλασιασμό της ισχύος και να δικαιολογήσετε ποια από τις δύο ακτινοβολίες είναι περισσότερο διεισδυτική.

Αιτιοκρατία και κβαντομηχανική

Η επιτυχία των επιστημονικών θεωριών, ιδιαίτερα της θεωρίας του Νεύτωνα για τη βαρύτητα, οδήγησε στις αρχές του 19ου αιώνα το Γάλλο φυσικό Pierre Simon Laplace (Λαπλάς) να υποστηρίξει ότι το Σύμπαν είναι απολύτως ντετερμινιστικό (αιτιοκρατικό). Υπέθεσε ότι πρέπει να υπάρχει ένα σύνολο φυσικών νόμων, που θα μας επέτρεπε να προβλέψουμε οτιδήποτε συμβαίνει στο Σύμπαν, αν γνωρίζαμε απόλυτα την κατάστασή του σε κάποια χρονική στιγμή.



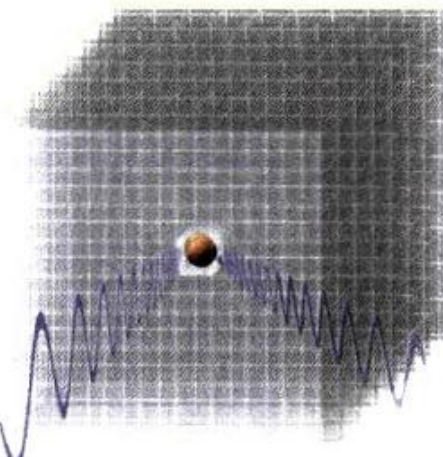
Το φως υψηλότερης συχνότητας διαταράσσει την ταχύτητα του σωματιδίου περισσότερο από ό,τι το φως χαμηλότερης συχνότητας.



Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος του φωτός που χρησιμοποιείται, για να παρατηρηθεί το σωματίδιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η απροσδιοριστία της θέσης του, αλλά επίσης τόσο μεγαλύτερη είναι η βεβαιότητα όσον αφορά την ταχύτητά του.



Παρατηρητής



Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος του φωτός που χρησιμοποιείται, για να παρατηρηθεί το σωματίδιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η βεβαιότητα της θέσης του, αλλά επίσης τόσο μεγαλύτερη είναι η απροσδιοριστία όσον αφορά την ταχύτητά του.

Ο Laplace όμως δεν περιορίστηκε σ' αυτό. Υποστήριξε ότι υπάρχουν παρόμοιοι νόμοι που προσδιορίζουν τα πάντα, ακόμη και την ανθρώπινη συμπεριφορά.

Το δόγμα του επιστημονικού ντετερμινισμού καταπολεμήθηκε από πολλούς που αισθάνονταν ότι περιορίζε την ελευθερία του Θεού να παρεμβαίνει στον κόσμο, παρέμει-

νε όμως το βασικό αξίωμα της επιστήμης έως και τα πρώτα χρόνια του αιώνα μας. Μία από τις πρώτες ενδείξεις ότι η πεποίθηση αυτή πρέπει να εγκαταλειφθεί παρουσιάστηκε κατά τη μελέτη της ακτινοβολίας των θερμών σωμάτων, όπως τα άστρα. Σύμφωνα με ό,τι πίστευαν εκείνη την εποχή, ένα θερμό αντικείμενο έπρεπε να ακτινοβολεί στο περιβάλλον του την ίδια ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας σε όλες τις περιοχές συχνοτήτων. Επειδή όμως οι περιοχές συχνοτήτων είναι άπειρες, έπρεπε να είναι άπειρη και η συνολική ποσότητα ακτινοβολούμενης ενέργειας.

Για να αποφύγει αυτό το προφανώς μη αποδεκτό συμπέρασμα, ο Γερμανός φυσικός Max Planck υπέθεσε το 1900 ότι η ηλεκτρομαγνητική

ενέργεια εκπέμπεται κατά ασυνεχή ποσά, που ονομάστηκαν κβάντα. Επιπλέον κάθε κβάντο μεταφέρει ποσότητα ενέργειας που είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα των κυμάτων που εκπέμπονται. Άρα η εκπομπή ακτινοβολίας στις μεγάλες συχνότητες θα περιορίζεται, αφού εκεί η εκπομπή ενός κβάντου απαιτεί μεγαλύτερη ενέργεια από όση είναι διαθέσιμη. Έτσι το συνολικό ποσό ενέργειας που εκπέμπεται θα ήταν περιορισμένο και όχι άπειρο.

Οι επιπτώσεις της θεωρίας των κβάντων για το δόγμα του ντετερμινισμού δεν κατανοήθηκαν παρά μόνο το 1926, όταν ένας άλλος Γερμανός φυσικός, ο Werner Heisenberg (Χάισενμπεργκ), διατύπωσε την περίφημη αρχή του, την αρχή της απροσδιοριστίας.

Για να μπορέσουμε να προβλέψουμε τη μελλοντική θέση και ταχύτητα ενός σωματιδίου, πρέπει να μπορούμε να μετρήσουμε επακριβώς την τωρινή του θέση και ταχύτητα. Ο προφανής τρόπος, για να πετύχουμε κάτι τέτοιο, είναι να φωτίσουμε το σωματίδιο. Κάποια από τα κύματα του φωτός θα ανακλαστούν πάνω του και θα υποδείξουν το σημείο όπου βρίσκεται. Δε θα μπορούμε όμως να προσδιορίσουμε τη θέση του με μεγαλύτερη ακρίβεια από την απόσταση μεταξύ των κορυφών των κυμάτων του φωτός που χρησιμοποιούμε.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι, για να μετρήσουμε με πολύ μεγάλη ακρίβεια τη θέση ενός σωματιδίου, χρειαζόμαστε φως με πολύ μικρό μήκος κύματος. Αλλά από την υπόθεση των κβάντων του Planck προ-

κύπτει ότι δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οσοδήποτε μικρή ποσότητα φωτός. Πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τουλάχιστον ένα κβάντο. Αυτό το κβάντο θα προκαλέσει μια απρόβλεπτη διαταραχή στη θέση και στην ταχύτητα του σωματιδίου. Επιπλέον όσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη ακρίβεια μέτρησης της θέσης του σωματιδίου τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος του φωτός που χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε, και τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια του κβάντου. Έτσι η ταχύτητα του σωματιδίου θα υποστεί ακόμη μεγαλύτερη διαταραχή.

Με άλλα λόγια, όσο πιο μεγάλη είναι η ακρίβεια με την οποία προσπαθούμε να μετρήσουμε τη θέση του σωματιδίου τόσο πιο μικρή είναι η ακρίβεια με την οποία μπο-

ρούμε να μετρήσουμε την ταχύτητά του και αντίστροφα. Ο Heisenberg έδειξε ότι, αν πολλαπλασιάσουμε την απροσδιοριστία στη θέση του σωματιδίου επί την απροσδιοριστία στην ταχύτητά του, επί τη μάζα του, θα έχουμε έναν αριθμό που δεν μπορεί ποτέ να γίνει πιο μικρός από ορισμένη ποσότητα, τη λεγόμενη σταθερά του Planck. Η αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg είναι θεμελιώδης χαρακτηριστική ιδιότητα του κόσμου.

Η αρχή της απροσδιοριστίας είχε βαθιά επίπτωση στην εικόνα του ανθρώπου για τον κόσμο. Αν και πέρασαν περισσότερα από πενήντα χρόνια, αυτή η επίπτωση δεν έχει κατανοηθεί εντελώς από πολλούς φιλοσόφους και εξακολου-

θεί να αποτελεί αντικείμενο διαμάχης.

Η αρχή της απροσδιοριστίας σήμανε το τέλος του ονείρου του Laplace για μία θεωρία της Φυσικής και ένα μοντέλο του Σύμπαντος που θα ήταν απόλυτα ντετερμινιστικά. Η νέα θεωρία, που βασίστηκε στην αρχή της απροσδιοριστίας, ονομάστηκε κβαντική μηχανική. Σύμφωνα με τη νέα θεωρία, ένα σωματίδιο δεν έχει μία θέση και μία ταχύτητα διαχωρισμένες μεταξύ τους, καλά ορισμένες και παρατηρήσιμες. Αντί γι' αυτές περιγράφεται με μία συνάρτηση της θέσης και της ταχύτητάς του, που λέγεται κυματοσυνάρτηση. Η κυματοσυνάρτηση μας μιλά μόνο για τις πιθανότητες να έχει το σωματίδιο διάφορες τιμές θέσης και ταχύτητας.

Η κβαντική μηχανική δεν προβλέπει για ένα πείραμα ένα μοναδικά καθορισμένο αποτέλεσμα, αλλά ένα πλήθος διαφορετικών πιθανών αποτελεσμάτων και μας πληροφορεί για το πόσο πιθανό είναι το καθένα τους. Η κβαντική μηχανική εισάγει λοιπόν στην επιστήμη ένα αναπόφευκτο στοιχείο αδυναμίας πρόβλεψης και τυχαίου.

**Απόσπασμα από το βιβλίο
Το χρονικό του χρόνου του Stephen
Hawking (Στέφαν Χόκινγκ).**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 2ου ΤΟΜΟΥ ΦΥΣΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Σύνοψη 1ου κεφαλαίου	5
Ερωτήσεις	11
Ασκήσεις και Προβλήματα	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2



ΑΤΟΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ ΣΤΟ ΑΤΟΜΟ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	32
Πρότυπο του Thomson - Πρότυπο του Rutherford.....	36-38
Ατομικά φάσματα.....	43
Το πρότυπο του Bohr για το υδρογόνο.....	51

Ολική ενέργεια ηλεκτρονίου	56
Επιτρεπόμενες τροχιές και τιμές ενέργειας.....	59
2.2 ΔΙΑΚΡΙΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ	68
Ενεργειακές στάθμες - Διέγερση του ατόμου.....	68-70
Ιονισμός του ατόμου.....	72
2.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ	73
Διέγερση με κρούση.....	73
Διέγερση με απορρόφηση ακτινοβολίας.....	76
Η επιτυχία και η αποτυχία του προτύπου του Bohr	81
2.4 ΑΚΤΙΝΕΣ Χ	89
Παραγωγή των ακτινών Χ.....	92
Φύση - Φάσμα των ακτινών .	94-95

Απορρόφηση των ακτίνων Χ....	100
Χρήσεις των ακτίνων	102
Βιολογικές βλάβες που προκαλούν οι ακτίνες Χ.....	107
Σύνοψη 1ου κεφαλαίου	112
Ερωτήσεις	117
Ασκήσεις και Προβλήματα	130
Αιτιοκρατία/κβαντομηχανική	142

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του Νόμου 1129 της 15/21 μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946, 108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Διά Βίου Μάθησης και Θρησκευμάτων / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.