

ΕΝΟΤΗΤΑ 1 : Από την Κλασική στη Σύγχρονη Φυσική

1.3 Ατομικό Πρότυπο του Bohr (1913)

1.3.1 Ιστορική Αναδρομή

Thomson (1900): Το άτομο αποτελείται από ένα υπόβαθρο θετικού φορτίου μέσα στο οποίο βρίσκονται διάσπαρτα τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια).

Rutherford (1909): Το θετικό φορτίο του ατόμου βρίσκεται συγκεντρωμένο σε μικρή περιοχή στο κέντρο του (πυρήνας). Τα ηλεκτρονια κινούνται σε τροχιές γύρω από τον πυρήνα κατά το «Πλανητικό Μοντέλο».

1.3.2 Αναπάντητα ερωτήματα

- Γιατί το άτομο κατά το πλανητικό μοντέλο του Rutherford δεν καταρρέει εκπέμποντας ΗΜ ακτινοβολία με συνεχές φάσμα;
- Αφού η ΗΜ ακτινοβολία εκπέμπεται από άτομα και μάλιστα κατά κβάντα (Einstein 1905), ποιά επίπτωση έχει το γεγονός αυτό στη δομή του ατόμου;

FIGURE 38.10 Το ατομικό πρότυπο του Thomson («σταφιδόψωμο»)

Αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια

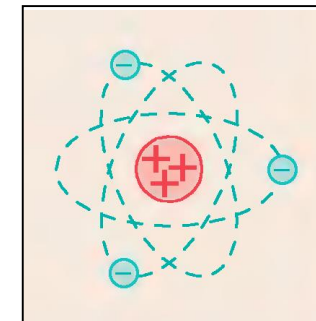
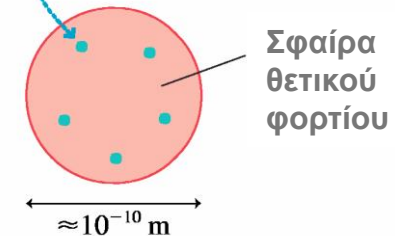
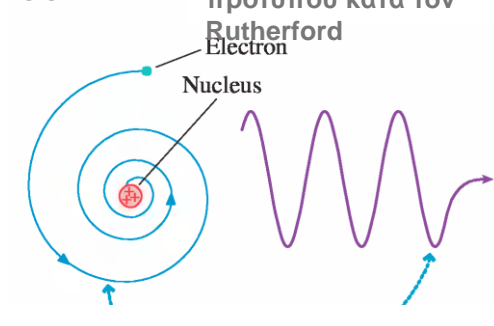


FIGURE 38.23 Η μοίρα του ατομικού προτύπου κατά τον Rutherford



1.3.3 Παραδοχές του Ατομικού Πρότυπου του Bohr (1913)

1. Το άτομο περιγράφεται από το πυρηνικό μοντέλο του Rutherford (θετικός πυρήνας + περιφερόμενα ηλεκτρόνια)
2. Τα άτομα βρίσκονται σε **στάσιμες καταστάσεις (ΣΚ)** που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες ηλεκτρονικές τροχιές, οι οποίες αριθμούνται με τον **κβαντικό αριθμό $n=1,2,3,\dots$** και έχουν **διακριτές ενέργειες (E_n)** με $E_1 < E_2 < E_3 < \dots$
3. Η ΣΚ με την ελάχιστη ενέργεια είναι ευσταθής και ονομάζεται **βασική**, ενώ οι υπόλοιπες λέγονται **διεγερμένες** και είναι ασταθείς.

4. Ένα άτομο μεταβαίνει με «**άλμα**» από μια κατάσταση (m) σε μια άλλη (n) εκπέμποντας ή απορροφώντας ένα φωτόνιο συχνότητας

$$f = \frac{\Delta E_{atom}}{h} = \frac{|E_m - E_n|}{h}$$

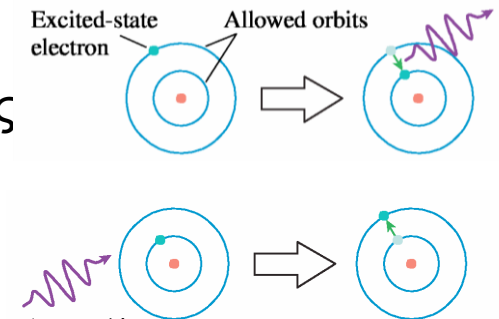
5. Ένα άτομο μπορεί να διεγερθεί με **ανελαστική κρούση** με ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο ή με άλλο άτομο.
6. Τα άτομα μεταβαίνει αυθόρμητα στην **κατάσταση ελάχιστης ενέργειας (βασική)**. Αν διεγερθεί, κατόπιν επανέρχεται με διαδοχικά άλματα στη βασική κατάσταση.

Συνδίασε την ιδέα της κβάντωσης της ενέργειας (Einstein) με το πυρηνικό άτομο (Rutherford)

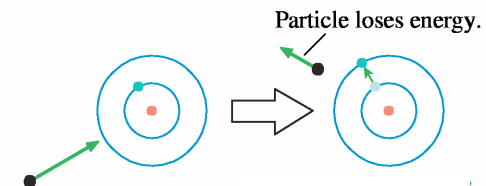


Niels Bohr

Εκπομπή και απορρόφηση φωτός



Διέγερση με κρούση



1.3.4 Το άτομο του Υδρογόνου κατά το προτυπο του Bohr

Βασιζόμενος στην υπόθεση ότι η ενέργεια του ατόμου είναι κβαντισμένη (E_n) απέδειξε ότι και η **στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι κβαντισμένη** $L_n = n\hbar$ όπου $L = mvr$ και $\hbar = h/2\pi$

Η έλξη Coulomb αποτελεί την απαιτούμενη κεντρομόλο δύναμη για την κυκλική κίνηση του ηλεκτρονίου γύρω από τον ακίνητο πυρήνα:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2} = m \frac{v_n^2}{r_n} \xrightarrow{mv_n r_n} r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \cdot n^2 \text{ και } v_n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h} \cdot \frac{1}{n}$$

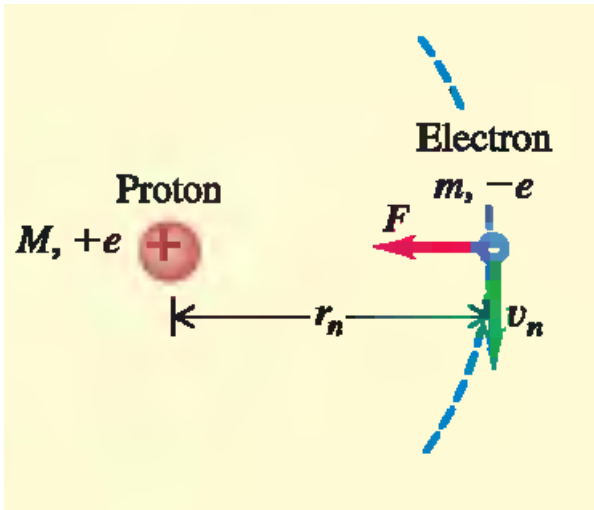
Για $n=1$:

η πιο μικρή ακτίνα: $r_1 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \approx 5.3 \times 10^{-11} \text{ m} \equiv a_B$

η πιο μεγάλη ταχύτητα: $v_1 = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h} \approx 2.19 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \sim c/100$

Η κινητική ενέργεια: $K_n = \frac{1}{2} m v_n^2 = \frac{m e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$, η δυναμική ενέργεια: $U_n = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} = -\frac{2m e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$

και η ολική ενέργεια: $E_n = K_n + U_n = -\frac{m e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$ Οπότε: $E_1 = -\frac{m e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \approx -13.6 \text{ eV}$



1.3.5 Επιτεύγματα της θεωρίας του Bohr

1. Η ύλη είναι ευσταθής και δεν καταρρέει κατά την προβλεψη της ΗΜ θεωρίας για το πυρηνικό μοντέλο.
2. Τα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης των ατόμων είναι διακριτά.
3. Φασματα εκπομπής μπορούν να παραχθούν με κρούσεις ατόμου-ατόμου ή ατόμου-ηλεκτρονίου (Σωλήνες εκκένωσης αερίων)
4. Τα φάσματα εκπομπής ($n \rightarrow n-m$, $n=1,2,3,\dots$) εμφανίζουν περισσότερες γραμμές από τα φάσματα απορρόφησης ($1 \rightarrow 2$, $1 \rightarrow 3$, $1 \rightarrow 4$, ...)
5. Κάθε στοιχείο έχει ένα μοναδικό φάσμα (λόγω των διακριτων ενεργειακών του καταστάσεων)
6. Το φάσμα εκπομπής ή απορρόφησης του υδρογόνου εξηγήθηκε πλήρως (βλέπε Ενότητα 1.4).

1.3.6 Αποτυχίες της θεωρίας του Bohr

1. Η αδυναμία να εξηγήσει την πολυπλοκότητα των φασμάτων των πολυηλεκτρονικών ατόμων.
2. Η άγνωστη προέλευση των στασίμων καταστάσεων και η αδυναμία να προβλεφθούν τα χαρακτηριστικά τους. (Ο Bohr υπέθεσε μόνο την ύπαρξη τους).

Απάντηση στα δύο παραπάνω ερωτήματα έδωσε η Κβαντική Μηχανική στη μαθηματική της θεμελίωση από τον Schrödinger.

Σημείωση

Τα αποτελέσματα της θεωρίας Bohr για πολυηλεκτρονικά άτομα προκύπτουν αν θέσουμε όπου $e^2 \rightarrow Ze^2$ και όπου $e^4 \rightarrow Z^2 e^4$ (Z =ατομικός αριθμός του πυρήνα) στα αποτελέσματα για το άτομο του υδρογόνου (§1.3.5).

1.3.7 Ασκήσεις

7. Ένα (υποθετικό) άτομο έχει στάσιμες καταστάσεις με ενέργειες $E_1=0\text{eV}$, $E_2=3\text{eV}$, και $E_3=5\text{eV}$. Ποια μήκη κύματος εμφανίζονται (α) στο φάσμα εκπομπής και (β) στο φάσμα απορροφησης του στοιχείου αυτού; *Απ. (α) 248nm(UV), 414nm(κυανό), 621nm(πορτοκαλί) (β) 248nm, 414nm*
8. Υπολογίστε το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου φωτονίου κατά την αποδιέγερση ενός ατόμου υδρογόνου από την πρώτη διεγερμένη ($n=2$) στη θεμελιώδη ($n=1$) κατάσταση. Σε ποιά περιοχή του φάσματος ανήκει; Δίνονται: $h=4.136 \times 10^{-15}\text{eV}\cdot\text{s}$, $c=3.00 \times 10^8\text{m/s}$. *Απ. 122nm (UV)*
9. Ατομα υδρογόνου βομβαρδίζονται με ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια τα οποία επιταχύνονται υπό τάση V . (α) Ποιά είναι η ελάχιστη τιμή της απαιτούμενης τάσης (V_{min}) ώστε να επιτευχθεί ιονισμός των ατόμων υδρογόνου; (β) Πόση είναι τότε η ταχύτητα των ηλεκτρονίων-βλημάτων; Δίνονται: $m=9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$, $e=1.6 \times 10^{-19}\text{C}$. *Απ. (α) 13.6V (β) $2.19 \times 10^6\text{m/s}$*
10. Ο χρόνος ζωής ενός ατόμου υδρογόνου στην πρώτη διεγερμένη κατάσταση ($n=2$) είναι περίπου $1.0 \times 10^{-8}\text{s}$. Υπολογίστε πόσες περιστροφές θα κάνει το ηλεκτρόνιο στην κατάσταση αυτή πριν το άτομο αποδιεγερθεί. Δίνονται: $u_1=2.19 \times 10^6\text{m/s}$ και $r_1=5.30 \times 10^{-11}\text{m}$. *Απ. 0.82×10^7 Πόσα άτομα πρέπει να αποδιεγερθούν ταυτόχρονα από τη $n=2$ στάθμη για να παραχθεί φωτεινή ισχύς ίση με 1mW;*

1.3.7 Ασκήσεις

11. Αέριο υδρογόνο «φωτίζεται» με δέσμη μήκους κύματος 85.5nm και προκαλεί φωτόρρευμα. Αν θεωρήσουμε ότι τα άτομα του υδρογόνου ήταν όλα στη βασική κατάσταση ($n=1$) πριν το φωτισμό, να βρείτε (α) με πόση κινητική ενέργεια (σε eV) ελευθερώνονται τα ηλεκτρόνια και (β) πόση είναι η τάση αποκοπής. Απ. (α) 14.5eV
(β) 14.5V
12. Δείξτε ότι η συχνότητα περιφοράς του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου δίνεται από τη σχέση $f_n = me^4/4\varepsilon_0^2 h^3 n^3$. Κατά την κλασική ΗΜ θεωρία ένα περιφερόμενο ηλεκτρικό φορτίο εκπέμπει ΗΜ κύματα συχνότητας ίσης με τη συχνότητα περιφοράς του. Με βάση αυτό να συγκρίνετε τις τιμές της συχνότητας που εκπέμπει το άτομο σύμφωνα με την κλασική θεωρία και σύμφωνα με τη θεωρία του Bohr κατά τη μετάβαση $n+1 \rightarrow n$. Για τη σύγκριση να χρησιμοποιήσετε τις τιμές $n=1$, $n=10$ και $n=100$. Τι παρατηρείτε;