

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο βιβλίο αυτό παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο οι δύο τελευταίες ενότητες («Το φως» και «Ατομικά φαινόμενα») της διδακτέας ύλης της Φυσικής γενικής παιδείας της Β΄ Λυκείου.

Σε κάθε κεφάλαιο περιέχονται:

- Θεωρία με μορφή ερωτήσεων, ώστε ο μαθητής να επικεντρώνεται στο συγκεκριμένο θέμα.
- Παρατηρήσεις που βοηθούν τον μαθητή να κατανοήσει βασικά σημεία και να αποφύγει τυχόν «παγίδες» που θα τον οδηγήσουν σε λανθασμένη επίλυση. Οι παρατηρήσεις αυτές θα βοηθήσουν τον μαθητή ιδιαίτερα στην επανάληψη που θα κάνει για τις εξετάσεις του Ιουνίου.
- Βασικές ασκήσεις υποδειγματικά λυμένες. Στη διαδικασία της επίλυσης παρουσιάζονται σε πλαίσιο «σημεία-κλειδιά» που βοηθούν τον μαθητή να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει για τη λύση των ασκήσεων.
- Ερωτήσεις που καλύπτουν όλο το φάσμα της διδακτέας ύλης και βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της θεωρίας.
- Ασκήσεις και προβλήματα προς λύση, των οποίων το πλήθος και η πολυμορφία εξασφαλίζουν τη σωστή προετοιμασία του μαθητή.
- Κριτήρια αξιολόγησης, για να ελέγξει ο μαθητής τις γνώσεις του.

Μετά την ανάπτυξη των κεφαλαίων της διδακτέας ύλης, παρατίθενται πίνακες με τους πιο σημαντικούς τύπους, καθώς και δύο επαναληπτικά κριτήρια αξιολόγησης.

Στο τέλος του βιβλίου βρίσκονται οι απαντήσεις στις ερωτήσεις και οι λύσεις των ασκήσεων, των προβλημάτων και των κριτηρίων αξιολόγησης.

Ευχαριστώ όλους τους συναδέλφους και τους μαθητές μου που με τις παρατηρήσεις τους βοήθησαν στη συγγραφή του βιβλίου αυτού και ευελπιστώ στις υποδείξεις τους για την περαιτέρω βελτίωσή του.

Ο συγγραφέας



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16ο

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ ΣΤΟ ΑΤΟΜΟ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

ΘΕΩΡΙΑ

16.1) Τι γνωρίζετε για την ατομική θεωρία του Λεύκιππου και του Δημόκριτου;

Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι ασχολήθηκαν με το πρόβλημα των συστατικών της ύλης. Ο **Λεύκιππος** και ο **Δημόκριτος** διατύπωσαν μία φιλοσοφική θεωρία προκειμένου να ερμηνεύσουν τις ιδιότητες των υλικών σωμάτων. Τα βασικά σημεία αυτής της θεωρίας είναι τα παρακάτω:

- Η ύλη αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια που δε διαιρούνται απεριόριστα και γι' αυτό ονομάστηκαν **άτομα** (δηλαδή άτομπα).
- Η ύλη αποτελείται από άτομα που διαφέρουν μεταξύ τους κατά το σχήμα και κατά το μέγεθος.
- Τα άτομα δε δημιουργούνται ούτε καταστρέφονται 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 στον διαχωρισμό των ατόμων.

Η ατομική θεωρία του Δημόκριτου ήταν μια φιλοσοφική θεωρία και δεν υπήρχε καμία πειραματική παρατήρηση για την υποστήριξή της. Καταπολεμήθηκε από τον Πλάτωνα, τον Αριστοτέλη και τους μαθητές τους και έπεσε σε αφάνεια μέχρι τις αρχές του 19ου αιώνα, οπότε την επανέφερε ο Dalton για να εξηγήσει τους νόμους της Χημείας που ανακάλυψε πειραματικά.



Λεύκιππος: Έλληνας φιλόσοφος, δάσκαλος του Δημόκριτου. Διατύπωσε πρώτος την υπόθεση ότι η ύλη αποτελείται από άτομα.



Δημόκριτος: Έλληνας φιλόσοφος του 5ου π.Χ. αι. Πρώτος διατύπωσε την άποψη ότι ο Γαλαξίας είναι το φως από μακρινά αστέρια.

16.2) Ποιο ήταν το πρότυπο του Thomson για το άτομο;

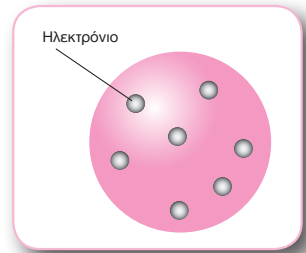
Η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου από τον Thomson στα τέλη του 19ου αιώνα έδειξε ότι το άτομο έχει εσωτερική δομή, άρα δεν είναι άτομπα. Επειδή η ύλη είναι ηλεκτρικά ουδέτερη, ο Thomson κατέληξε στο συμπέρασμα ότι και τα άτομα της ύλης είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Επομένως:

Το άτομο έχει ίσες ποσότητες θετικού και αρνητικού φορτίου.

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

Ο Thomson πρότεινε ένα πρότυπο σύμφωνα με το οποίο:

Το άτομο αποτελείται από μια σφαίρα θετικού φορτίου, ομοιόμορφα κατανεμημένου, μέσα στο οποίο είναι ενσωματωμένα τα ηλεκτρόνια.



Το μοντέλο του Thomson για το άτομο.

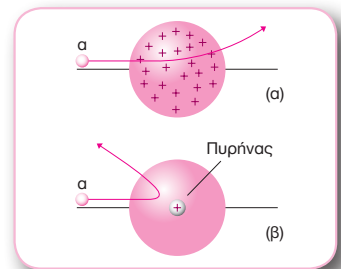
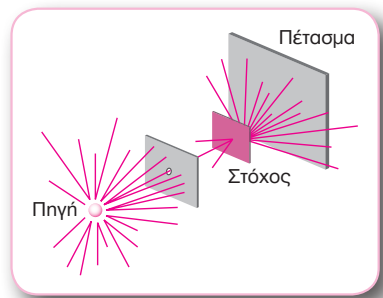
16.3) Να περιγράψετε τα πειράματα του Rutherford για τη διερεύνηση της δομής του ατόμου.

Ο Rutherford και οι μαθητές του έκαναν πειράματα για να διερευνήσουν την εσωτερική δομή του ατόμου.

Στα πειράματα αυτά μια δέσμη θετικά φορτισμένων σωματίων α κατευθυνόταν σε λεπτό μεταλλικό φύλλο χρυσού (στόχος). Σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson, η δέσμη των σωματίων α δε θα έπρεπε να αποκλίνει σημαντικά για τους εξής λόγους:

- Το ολικό ηλεκτρικό φορτίο του ατόμου είναι μηδέν και επομένως δεν ασκείται ηλεκτρική δύναμη στα σωματία α, όταν αυτά βρίσκονται στο εξωτερικό του ατόμου.
- Το θετικό ηλεκτρικό φορτίο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο και επομένως δεν ασκεί σημαντική απωστική δύναμη στα σωματία α, όσο αυτά βρίσκονται στο εσωτερικό του ατόμου.
- Η σύγκρουση των σωματίων α με τα ηλεκτρόνια δεν επηρεάζει σημαντικά την κίνησή τους, γιατί τα ηλεκτρόνια έχουν πολύ μικρότερη μάζα.

Ο Rutherford παρατήρησε ότι τα περισσότερα από τα σωματία α διέρχονταν μέσα από τον στόχο σχεδόν ανεπηρέαστα, σαν να κινούνταν μέσα σε σχεδόν κενό χώρο, και αρκετά απέκλιναν σε διάφορες γωνίες. **Υπήρχαν όμως και λίγα που απέκλιναν κατά 180°.** Αυτό όμως μπορεί να συμβεί μόνο αν το θετικό φορτίο είναι συγκεντρωμένο σε μικρό χώρο, ώστε να ασκεί στα σωματία α μεγάλες απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις.



Πρότυπο Thomson: Τα σωματία α αποκλίνουν κατά μικρή γωνία (σχ. α).
 Πρότυπο Rutherford: Τα σωματία α αποκλίνουν κατά μεγάλη γωνία (σχ. β).

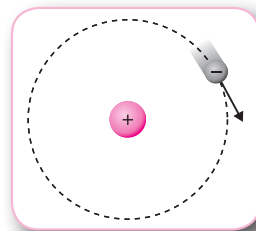
Δηλαδή, τα πειράματα ήρθαν σε αντίθεση με το πρότυπο του Thomson και έτσι ο Rutherford πρότεινε ένα διαφορετικό μοντέλο για το άτομο.

16.4) Ποιο ήταν το πρότυπο του Rutherford για το άτομο;

Ο Rutherford πρότεινε ένα πρότυπο για το άτομο σύμφωνα με το οποίο:

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

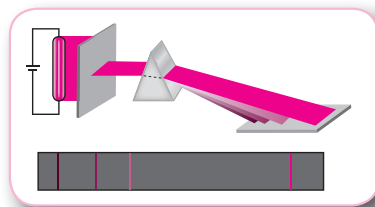
Το πρότυπο του Rutherford ονομάζεται και **πλανητικό μοντέλο του ατόμου**, επειδή αποτελεί μικρογραφία του ηλιακού πλανητικού συστήματος. Το μοντέλο αυτό, παρόλο που πλησιάζει στην εικόνα του ατόμου όπως τη γνωρίζουμε σήμερα, παρουσιάζει ορισμένες σημαντικές αδυναμίες.



Το πρότυπο του Rutherford για το άτομο.

16.5) Τι γνωρίζετε για τα φάσματα εκπομπής των αερίων;

Εάν εφαρμόσουμε ορισμένη τάση σε γυάλινο σωλήνα που περιέχει αέριο σε χαμηλή πίεση, θα παρατηρήσουμε ότι το αέριο εκπέμπει φως. Αναλύοντας το φως αυτό παρατηρούμε μια σειρά από φωτεινές γραμμές. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα διαφορετικό μήκος κύματος ή χρώμα.



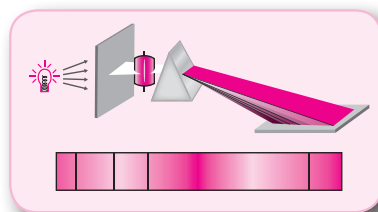
Η σειρά των φωτεινών γραμμών που παρατηρούνται κατά την ανάλυση του φωτός που εκπέμπει ένα αέριο ονομάζεται **γραμμικό φάσμα εκπομπής του αερίου**.

Τα μήκη κύματος που περιέχει το γραμμικό φάσμα εκπομπής είναι χαρακτηριστικά του στοιχείου που εκπέμπει το φως, δηλαδή δεν υπάρχουν δύο διαφορετικά στοιχεία που να έχουν το ίδιο φάσμα εκπομπής.

16.6) Τι γνωρίζετε για τα φάσματα απορρόφησης των αερίων;

Ένα αέριο μπορεί όχι μόνο να εκπέμπει αλλά και να απορροφά φως. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε με την παρακάτω διαδικασία.

Φωτίζουμε με πηγή που εκπέμπει λευκό φως ένα πρίσμα, πίσω από το οποίο έχει τοποθετηθεί πέτασμα. Ανάμεσα στην πηγή του φωτός και στο πρίσμα τοποθετούμε γυάλινο δοχείο που περιέχει κάποιο αέριο. Παρατηρούμε ότι το συνεχές φάσμα του λευκού φωτός που έχει σχηματιστεί πάνω στο πέτασμα διακόπτεται από σκοτεινές γραμμές.



Η ταινία των χρωμάτων που σχηματίζεται πάνω σε ένα πέτασμα κατά την ανάλυση του λευκού φωτός, όταν αυτό διέρχεται μέσω ενός αερίου, ονομάζεται **γραμμικό φάσμα απορρόφησης του αερίου**.

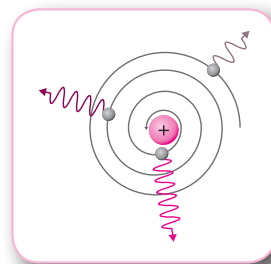
Οι σκοτεινές γραμμές στο γραμμικό φάσμα απορρόφησης εμφανίζονται σε εκείνες ακριβώς τις συχνότητες στις οποίες εμφανίζονται οι φωτεινές γραμμές στο φάσμα εκπομπής του ίδιου αερίου.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα:

- Το φάσμα εκπομπής ή απορρόφησης ενός αερίου αποτελείται από ορισμένες φασματικές γραμμές (**φωτεινές** για το φάσμα εκπομπής και **σκοτεινές** για το φάσμα απορρόφησης) που είναι χαρακτηριστικές του αερίου. Κάθε φασματική γραμμή αντιστοιχεί σε ορισμένη συχνότητα (ή μήκος κύματος).
- 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.

16.7) Για ποιο λόγο το μοντέλο του Rutherford για το άτομο δεν μπορεί να ερμηνεύσει τα γραμμικά φάσματα των αερίων;

Σύμφωνα με το μοντέλο του Rutherford, το ηλεκτρόνιο περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα σε κυκλική τροχιά, με ταχύτητα σταθερού μέτρου της οποίας η κατεύθυνση 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, και επομένως η ενέργειά του μειώνεται συνεχώς. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα το ηλεκτρόνιο να κινείται σε σπειροειδή τροχιά με διαρκώς μειούμενη ακτίνα και με διαρκώς μεταβαλλόμενη συχνότητα, μέχρις ότου πέσει στον πυρήνα.



Επειδή όμως η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι ίση με τη συχνότητα περιφοράς του ηλεκτρονίου, η οποία μεταβάλλεται συνεχώς, τα άτομα θα έπρεπε να εκπέμπουν συνεχές φάσμα και όχι γραμμικό, όπως αποδεικνύεται στην πράξη.

16.8) Ποιες είναι οι παραδοχές στις οποίες στηρίζεται το πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου;

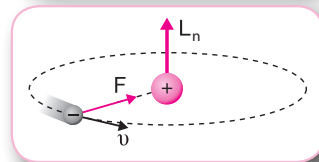
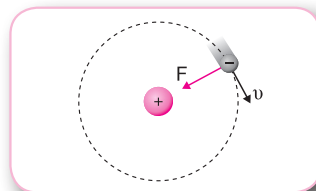
Προκειμένου να ερμηνεύσει τα γραμμικά φάσματα του υδρογόνου, ο Bohr πρότεινε ένα νέο πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου, το οποίο στηρίχθηκε στις παρακάτω παραδοχές:

- Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου περιφέρεται γύρω από τον θετικά φορτισμένο πυρήνα με την επίδραση της δύναμης Coulomb που δέχεται από αυτόν.
- Το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται μόνο σε ορισμένες τροχιές, που ονομάζονται **επιτρεπόμενες τροχιές**, στις οποίες η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι **κβαντωμένη**. Οι επιτρεπόμενες τροχιές είναι εκείνες για τις οποίες ισχύει η σχέση:

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

όπου mvr είναι το μέτρο της στροφορμής \vec{L} του ηλεκτρονίου, m η μάζα του, v το μέτρο της ταχύτητάς του, r η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του και h η σταθερά του Planck.

- Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται σε ορισμένη επιτρεπόμενη τροχιά, δεν εκπέμπει ακτινοβολία. Η παραδοχή αυτή έρχεται σε αντίθεση με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία.
- Όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδά από μία επιτρεπόμενη τροχιά με ενέργεια E_α σε άλλη με μικρότερη ενέργεια E_τ , εκπέμπεται ένα φωτόνιο με ενέργεια hf ίση με τη διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής του ενέργειας. Δηλαδή ισχύει: $E_\alpha - E_\tau = hf$



16.9) Να υπολογίσετε την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου.

Στο άτομο του υδρογόνου το ηλεκτρόνιο περιφέρεται σε κυκλική τροχιά γύρω από τον ακίνητο πυρήνα που αποτελείται από ένα πρωτόνιο, υπό την επίδραση της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb. Εφόσον το ηλεκτρόνιο εκτελεί κυκλική κίνηση, η δύναμη Coulomb παίζει τον ρόλο της κεντρομόλου δύναμης για το ηλεκτρόνιο. Επομένως ισχύει:

$$F = F_k \quad \text{ή} \quad F = m\alpha_k \quad \text{ή} \quad k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad \text{ή} \quad v = e \sqrt{\frac{k}{mr}} \quad (1)$$

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{ή} \quad K = k \frac{e^2}{2r} \quad (2)$$

Η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου δίνεται από τη σχέση:

$$U = -k \frac{e^2}{r} \quad (3)$$

Από τις σχέσεις (2) και (3) προκύπτει ότι η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι:

$$E = K + U \quad \text{ή} \quad E = k \frac{e^2}{2r} - k \frac{e^2}{r} \quad \text{ή} \quad E = -k \frac{e^2}{2r} \quad (4)$$

Η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου είναι η ενέργεια του συστήματος που αποτελείται από το ηλεκτρόνιο και τον ακίνητο πυρήνα του ατόμου και οφείλεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του ηλεκτρονίου και του πυρήνα.

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι απαιτείται προσφορά ενέργειας για να απομακρυνθεί το ηλεκτρόνιο σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα, όπου η δυναμική του ενέργεια είναι μηδέν.

16.10) Ποιες είναι οι επιτρεπόμενες τροχιές και ποιες οι επιτρεπόμενες τιμές της ενέργειας στο άτομο του υδρογόνου;

Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται μόνο στις επιτρεπόμενες τροχιές.

- Η μικρότερη ακτίνα επιτρεπόμενης τροχιάς ονομάζεται **ακτίνα του Bohr** και είναι ίση με $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Οι ακτίνες των υπόλοιπων επιτρεπόμενων τροχιών υπολογίζονται από τη σχέση:

$$r_n = n^2 r_1, \quad \text{με } n = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

όπου n είναι ο **κύριος κβαντικός αριθμός**.

- Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται στην τροχιά του Bohr ($n = 1$), έχει την ελάχιστη ενέργεια, που είναι ίση με $E_1 = -13,6 \text{ eV}$. Όταν κινείται στις άλλες επιτρεπόμενες τροχιές, η ολική του

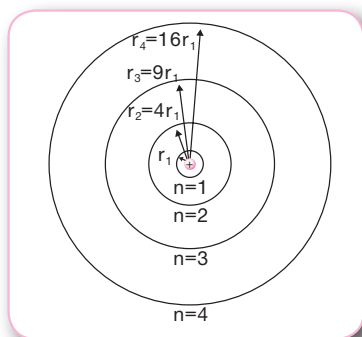
ενέργεια υπολογίζεται από τη σχέση: $E_n = \frac{E_1}{n^2}$

1eV (ηλεκτρονιοβόλτ) είναι η ενέργεια που μεταβιβάζεται σε ένα ηλεκτρόνιο, όταν αυτό επιταχύνεται μέσω διαφοράς δυναμικού 1V. Ισχύει η σχέση: $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Γνωρίζοντας τις τιμές της ακτίνας του Bohr και της ελάχιστης ενέργειας του ηλεκτρονίου και από τις σχέσεις $r_n = n^2 r_1$ και $E_n = \frac{E_1}{n^2}$, υπολογίζουμε τις επιτρεπόμενες τιμές της ακτίνας και της ενέργειας, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Κύριος κβαντικός αριθμός	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$...	$n=\infty$
Ακτίνα	r_1	$r_2 = 4r_1$	$r_3 = 9r_1$	$r_4 = 16r_1$...	$r_\infty = \infty$
Ολική ενέργεια	E_1	$E_2 = \frac{E_1}{4}$	$E_3 = \frac{E_1}{9}$	$E_4 = \frac{E_1}{16}$...	$E_\infty = 0$

Οι τιμές της ενέργειας είναι αρνητικές. Η μεγαλύτερη τιμή της ενέργειας είναι $E = 0$ και περιγράφει την κατάσταση ιονισμού, την κατάσταση δηλαδή στην οποία το ηλεκτρόνιο έχει απομακρυνθεί από το άτομο.



Η έννοια της κβάντωσης της ενέργειας είναι σημαντική, επειδή εξηγεί γιατί το ηλεκτρόνιο δεν κινείται σπειροειδώς, πλησιάζοντας συνεχώς προς τον πυρήνα, και επίσης έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη της κβαντομηχανικής. Αντίθετα, η κβάντωση της στροφορμής, σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, έχει μόνο ιστορική σημασία.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

➤ Μεταβολή φυσικών μεγεθών του ηλεκτρονίου

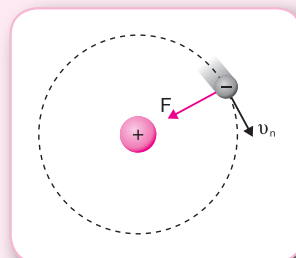
Έστω ότι το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου περιφέρεται σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n .

• Ηλεκτρική δύναμη που δέχεται το άτομο

Το μέτρο της ελκτικής ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα, όταν περιφέρεται σε κυκλική τροχιά με

κύριο κβαντικό αριθμό n , δίνεται από τη σχέση $F_n = k \frac{e^2}{r_n^2}$. Εάν

$F_1 = k \frac{e^2}{r_1^2}$ είναι το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης όταν το ηλεκτρόνιο περιφέρεται στην τροχιά



με $n=1$, έχουμε: $F_n = k \frac{e^2}{r_n^2}$ ή $F_n = k \frac{e^2}{(n^2 r_1)^2}$ ή $F_n = \frac{1}{n^4} k \frac{e^2}{r_1^2}$ ή $F_n = \frac{1}{n^4} F_1$

Παρατηρούμε ότι όταν **αυξάνεται** ο κύριος κβαντικός αριθμός, δηλαδή όταν το ηλεκτρόνιο περιφέρεται σε πιο απομακρυσμένες τροχιές από τον πυρήνα, το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης **μειώνεται**.

• **Κεντρομόλος επιτάχυνση του ηλεκτρονίου**

Η ηλεκτρική δύναμη που δέχεται το ηλεκτρόνιο παίζει τον ρόλο της κεντρομόλου δύναμης στην κυκλική κίνηση του ηλεκτρονίου. Επομένως το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης του ηλεκτρονίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_{\kappa_n} = \frac{F_n}{m} \quad \text{ή} \quad \alpha_{\kappa_n} = \frac{1}{n^4} \frac{F_1}{m} \quad \text{ή} \quad \alpha_{\kappa_n} = \frac{1}{n^4} \alpha_{\kappa_1},$$

όπου α_{κ_1} είναι το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης όταν το ηλεκτρόνιο περιφέρεται στην τροχιά με $n = 1$.

Παρατηρούμε ότι όταν **αυξάνεται** ο κύριος κβαντικός αριθμός, το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης **μειώνεται**.

• **Ταχύτητα του ηλεκτρονίου**

Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, η ηλεκτρική ελκτική δύναμη $F_n = k \frac{e^2}{r_n^2}$ που ασκεί ο πυρήνας στο ηλεκτρόνιο πρέπει να είναι ίση με $F_{\kappa} = m \alpha_{\kappa_n}$, όπου $\alpha_{\kappa_n} = \frac{v_n^2}{r_n}$ είναι η κεντρομόλος επιτάχυνση του ηλεκτρονίου. Άρα, το μέτρο της ταχύτητας του ηλεκτρονίου δίνεται από τη σχέση:

$$F_n = F_{\kappa} \quad \text{ή} \quad k \frac{e^2}{r_n^2} = m \alpha_{\kappa_n} \quad \text{ή} \quad k \frac{e^2}{r_n^2} = m \frac{v_n^2}{r_n} \quad \text{ή} \quad v_n = e \sqrt{\frac{k}{m r_n}}$$

Εάν $v_1 = e \sqrt{\frac{k}{m r_1}}$ είναι το μέτρο της ταχύτητας του ηλεκτρονίου όταν περιφέρεται στην τροχιά με

$$n=1, \text{ έχουμε: } v_n = e \sqrt{\frac{k}{m r_n}} \quad \text{ή} \quad v_n = e \sqrt{\frac{k}{m n^2 r_1}} \quad \text{ή} \quad v_n = \frac{1}{n} e \sqrt{\frac{k}{m r_1}} \quad \text{ή} \quad v_n = \frac{v_1}{n}$$

Παρατηρούμε ότι όταν **αυξάνεται** ο κύριος κβαντικός αριθμός, το μέτρο της ταχύτητας **μειώνεται**.

• **Στροφορμή του ηλεκτρονίου**

Το μέτρο της στροφορμής του ηλεκτρονίου υπολογίζεται από τη σχέση $L_n = n \frac{h}{2\pi}$. Εάν $L_1 = \frac{h}{2\pi}$ είναι το μέτρο της στροφορμής του ηλεκτρονίου, όταν περιφέρεται στην τροχιά με $n = 1$, έχουμε:

$$L_n = n \frac{h}{2\pi} \quad \text{ή} \quad L_n = n L_1$$

Παρατηρούμε ότι όταν **αυξάνεται** ο κύριος κβαντικός αριθμός, το μέτρο της στροφορμής **αυξάνεται**.

• **Κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου**

Η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου δίνεται από τη σχέση $K_n = k \frac{e^2}{2r_n}$. Επομένως:

$$K_n = k \frac{e^2}{2r_n} \quad \text{ή} \quad K_n = k \frac{e^2}{2n^2 r_1} \quad \text{ή} \quad K_n = \frac{1}{n^2} k \frac{e^2}{2r_1} \quad \text{ή} \quad K_n = \frac{1}{n^2} K_1,$$

όπου $K_1 = k \frac{e^2}{2r_1}$ είναι η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου, όταν περιφέρεται στην τροχιά με $n=1$.

Παρατηρούμε ότι όταν **αυξάνεται** ο κύριος κβαντικός αριθμός, η κινητική ενέργεια **μειώνεται**.

• **Δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου**

Η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου δίνεται από τη σχέση $U_n = -k \frac{e^2}{r_n}$. Επομένως:

$$U_n = -k \frac{e^2}{r_n} \quad \text{ή} \quad U_n = -k \frac{e^2}{n^2 r_1} \quad \text{ή} \quad U_n = -\frac{1}{n^2} k \frac{e^2}{r_1} \quad \text{ή} \quad U_n = \frac{1}{n^2} U_1,$$

όπου $U_1 = -k \frac{e^2}{r_1}$ είναι η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου, όταν περιφέρεται στην τροχιά με $n=1$.

Παρατηρούμε ότι όταν **αυξάνεται** ο κύριος κβαντικός αριθμός, η δυναμική ενέργεια, επειδή έχει αρνητική αλγεβρική τιμή, **αυξάνεται**.

• **Ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου**

Η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου δίνεται από τη σχέση $E_n = -k \frac{e^2}{2r_n}$. Επομένως:

$$E_n = -k \frac{e^2}{2r_n} \quad \text{ή} \quad E_n = -k \frac{e^2}{2n^2 r_1} \quad \text{ή} \quad E_n = -\frac{1}{n^2} k \frac{e^2}{2r_1} \quad \text{ή} \quad E_n = \frac{1}{n^2} E_1,$$

όπου $E_1 = -k \frac{e^2}{2r_1}$ είναι η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου, όταν περιφέρεται στην τροχιά με $n=1$.

Παρατηρούμε ότι όταν **αυξάνεται** ο κύριος κβαντικός αριθμός, η ολική ενέργεια, επειδή έχει αρνητική αλγεβρική τιμή, **αυξάνεται**.

➤ **Σχέσεις μεταξύ κινητικής, δυναμικής και ολικής ενέργειας του ηλεκτρονίου**

Έστω ότι το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου περιφέρεται σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n . Η κινητική, η δυναμική και η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου δίνονται από

τις σχέσεις $K_n = k \frac{e^2}{2r_n}$, $U_n = -k \frac{e^2}{r_n}$ και $E_n = -k \frac{e^2}{2r_n}$ αντίστοιχα. Επομένως έχουμε:

• **Σχέση κινητικής ενέργειας – ολικής ενέργειας**

$$\frac{K_n}{E_n} = \frac{k \frac{e^2}{2r_n}}{-k \frac{e^2}{2r_n}} \quad \text{ή} \quad \frac{K_n}{E_n} = -1 \quad \text{ή} \quad K_n = -E_n$$

• Σχέση δυναμικής ενέργειας – ολικής ενέργειας

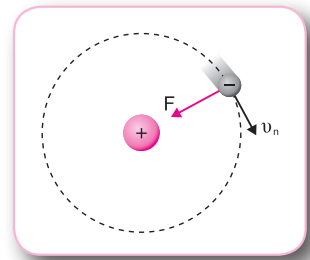
$$\frac{U_n}{E_n} = \frac{-k \frac{e^2}{r_n}}{-k \frac{e^2}{2r_n}} \quad \text{ή} \quad \frac{U_n}{E_n} = 2 \quad \text{ή} \quad U_n = 2E_n$$

• Σχέση κινητικής ενέργειας – δυναμικής ενέργειας

$$\frac{K_n}{U_n} = \frac{k \frac{e^2}{2r_n}}{-k \frac{e^2}{r_n}} \quad \text{ή} \quad \frac{K_n}{U_n} = -\frac{1}{2} \quad \text{ή} \quad U_n = -2K_n$$

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

16.11) Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , έχοντας ολική ενέργεια $E_n = -0,544 \text{ eV}$. Δίνονται η ακτίνα του Bohr $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου $E_1 = -13,6 \text{ eV}$, η σταθερά του νόμου του Coulomb $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ και $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Να υπολογίσετε:



- α) τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,
- β) την ακτίνα της κυκλικής τροχιάς,
- γ) την κινητική και τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
- δ) το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα.

Λύση

α) Γνωρίζουμε ότι η ολική ενέργεια E_n του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου που περιφέρεται σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n και ο κύριος κβαντικός αριθμός n συνδέονται με τη σχέση $E_n = \frac{E_1}{n^2}$. Επομένως: $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ ή $n^2 = \frac{E_1}{E_n}$ ή $n = \sqrt{\frac{E_1}{E_n}}$ ή $n = 5$

β) Από τη σχέση $r_n = n^2 r_1$, που δίνει τις ακτίνες των επιτρεπόμενων τροχιών, έχουμε: $r_5 = 5^2 r_1$ ή $r_5 = 13,25 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

γ) Από τις σχέσεις $K_n = k \frac{e^2}{2r_n}$, $U_n = -k \frac{e^2}{r_n}$ και $E_n = -k \frac{e^2}{2r_n}$, που δίνουν την κινητική, τη δυναμική και την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου αντίστοιχα, προκύπτει ότι:

$$K_n = -E_n \quad \text{και} \quad U_n = 2E_n$$

Επομένως: $K_n = K_5 = 0,544 \text{ eV}$ και $U_n = U_5 = -1,088 \text{ eV}$

Η κινητική K_n , η δυναμική U_n και η ολική ενέργεια E_n του ηλεκτρονίου που περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n συνδέονται με τις σχέσεις: $K_n = -E_n$, $K_n = -\frac{U_n}{2}$ και $U_n = 2E_n$

δ) Το ηλεκτρόνιο περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα υπό την επίδραση της δύναμης Coulomb, που παίζει τον ρόλο της κεντρομόλου δύναμης, και

$$\text{ισχύει: } F = F_{\kappa} = m\alpha_{\kappa} = m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}$$

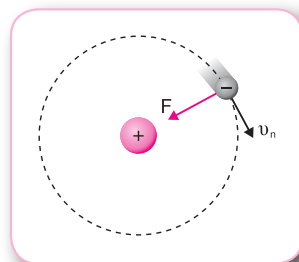
Επομένως το μέτρο της ελκτικής ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα, όταν περιφέρεται σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό

$n = 5$, δίνεται από τη σχέση: $F_5 = k \frac{e^2}{r_5^2}$ ή $F_5 = 1,31 \cdot 10^{-10} \text{ N}$

Το μέτρο της ελκτικής ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα, όταν περιφέρεται σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , δίνεται από τις σχέσεις:

$$F = m\alpha_{\kappa_n} = m \frac{v_n^2}{r_n} = \frac{ke^2}{r_n^2}$$

- 16.12)** Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , έχοντας κινητική ενέργεια $K_n = 1,51 \text{ eV}$. Δίνονται η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου $E_1 = -13,6 \text{ eV}$, η σταθερά του Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ και $\pi = 3,14$. Να υπολογίσετε:
- τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
 - την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
 - τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,
 - τη στροφορμή του ηλεκτρονίου.



Λύση

α) Από τις σχέσεις $K_n = k \frac{e^2}{2r_n}$ και $U_n = -k \frac{e^2}{r_n}$, που δίνουν την κινητική και τη δυναμική

ενέργεια του ηλεκτρονίου αντίστοιχα, προκύπτει ότι $\frac{K_n}{U_n} = -\frac{1}{2}$. Επομένως:

$$\frac{K_n}{U_n} = -\frac{1}{2} \quad \text{ή} \quad U_n = -2K_n \quad \text{ή} \quad U_n = -3,02 \text{ eV}$$

β) Η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_n = K_n + U_n \quad \text{ή} \quad E_n = -1,51\text{eV}$$

γ) Γνωρίζουμε ότι η ολική ενέργεια E_n του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου που περιφέρεται σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n και ο κύριος κβαντικός αριθμός

n συνδέονται με τη σχέση $E_n = \frac{E_1}{n^2}$. Επομένως:

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad \text{ή} \quad n^2 = \frac{E_1}{E_n} \quad \text{ή} \quad n = \sqrt{\frac{E_1}{E_n}} \quad \text{ή} \quad n = 3$$

δ) Από τη σχέση $L_n = n \frac{h}{2\pi}$, που δίνει τη στροφορμή του ηλεκτρονίου, έχουμε:

$$L_3 = 3 \frac{h}{2\pi} \quad \text{ή} \quad L_3 = 3,16 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Η στροφορμή L_n του ηλεκτρονίου που περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n είναι κβαντωμένο μέγεθος και δίνεται από τη σχέση:

$$L_n = n \frac{h}{2\pi} = m v_n r_n$$

16.13) Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου μεταβαίνει από μία επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά σε άλλη επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με μεγαλύτερη ακτίνα. Να ελέγξετε πώς μεταβάλλονται:

- α) το μέτρο της ταχύτητας και η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
- β) η στροφορμή του ηλεκτρονίου,
- γ) η αλγεβρική τιμή της δυναμικής ενέργειας του ηλεκτρονίου,
- δ) η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου.

Λύση

α) Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, η ηλεκτρική ελκτική δύναμη $F = k \frac{e^2}{r^2}$ που

ασκεί ο πυρήνας στο ηλεκτρόνιο πρέπει να είναι ίση με $F = m \alpha_k$, όπου $\alpha_k = \frac{v^2}{r}$ είναι η κεντρομόλος επιτάχυνση του ηλεκτρονίου. Άρα, το μέτρο της ταχύτητας του ηλεκτρονίου

σε μία τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n δίνεται από τη σχέση $v_n = e \sqrt{\frac{k}{m_e r_n}}$. Εάν v_1 είναι

το μέτρο της ταχύτητας του ηλεκτρονίου όταν περιφέρεται στην τροχιά του Bohr, έχουμε:

$$v_n = e \sqrt{\frac{k}{m_e r_n}} \quad \text{ή} \quad v_n = e \sqrt{\frac{k}{m_e n^2 r_1}} \quad \text{ή}$$

$$v_n = \frac{1}{n} e \sqrt{\frac{k}{m_e r_1}} \quad \text{ή} \quad v_n = \frac{v_1}{n} \quad (1)$$

Όταν το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει σε τροχιά με μεγαλύτερη ακτίνα, μεγαλώνει ο κύριος κβαντικός αριθμός.

Τα μέτρα των ταχυτήτων v_1 και v_n του ηλεκτρονίου όταν περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου σε κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς $n = 1$ και n αντίστοιχα συνδέονται με τη σχέση: $v_n = \frac{v_1}{n}$

Για $n' > n$, από τη σχέση (1) προκύπτει: $\frac{v_n}{v_{n'}} = \frac{n}{n'}$ ή $\frac{v_n}{v_{n'}} = \frac{n'}{n}$ ή $\frac{v_n}{v_{n'}} > 1$ ή $v_n > v_{n'}$

Επομένως το μέτρο της ταχύτητας του ηλεκτρονίου μειώνεται.

Επειδή η κινητική ενέργεια υπολογίζεται από τη σχέση $K_n = \frac{1}{2} m_e v_n^2$, προκύπτει ότι, κατά τη μετάβαση του ηλεκτρονίου σε τροχιά μεγαλύτερης ακτίνας, μειώνεται και η κινητική του ενέργεια.

β) Από τη σχέση $L_n = n \frac{h}{2\pi}$ προκύπτει ότι η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι ανάλογη του κύριου κβαντικού αριθμού. Επομένως, όταν το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει σε τροχιά μεγαλύτερης ακτίνας, δηλαδή σε τροχιά με μεγαλύτερο κύριο κβαντικό αριθμό, η στροφορμή του αυξάνεται.

γ) Από τη σχέση $U_n = -k \frac{e^2}{r_n}$, που δίνει τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου, έχουμε:

$$U_n = -k \frac{e^2}{r_n} \quad \text{ή} \quad U_n = -k \frac{e^2}{n^2 r_1} \quad \text{ή} \quad U_n = -\frac{1}{n^2} k \frac{e^2}{r_1} \quad \text{ή} \quad U_n = -\frac{1}{n^2} U_1 \quad (2)$$

Από τη σχέση (2) προκύπτει ότι, όταν το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει σε τροχιά με μεγαλύτερο κύριο κβαντικό αριθμό, μειώνεται η απόλυτη τιμή της δυναμικής του ενέργειας. Επειδή η δυναμική ενέργεια έχει αρνητική αλγεβρική τιμή, αυξάνεται.

δ) Από τη σχέση $E_n = \frac{E_1}{n^2}$, που δίνει την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου, προκύπτει ότι, όταν το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει σε τροχιά με μεγαλύτερο κύριο κβαντικό αριθμό, μειώνεται η απόλυτη τιμή της ολικής του ενέργειας. Επειδή η ολική ενέργεια έχει αρνητική αλγεβρική τιμή, αυξάνεται.

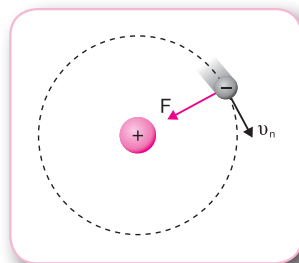
16.14) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς n και $n + 4$, έχει κινητικές ενέργειες K_n και K_{n+4} αντίστοιχα που συνδέονται με τη σχέση $\frac{K_n}{K_{n+4}} = 9$. Δίνονται η ακτίνα του Bohr $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου $E_1 = -13,6 \text{ eV}$, η σταθερά του Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ και $\pi = 3,14$. Να υπολογίσετε:

α) τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,

β) τις στροφορμές L_n και L_{n+4} του ηλεκτρονίου,

γ) τον λόγο $\frac{F_n}{F_{n+4}}$ των μέτρων των ηλεκτρικών δυνάμεων που δέχεται το ηλεκτρόνιο

από τον πυρήνα,



δ) την ακτίνα της επιτρεπόμενης κυκλικής τροχιάς με κύριο κβαντικό αριθμό $n + 2$ και την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου σε αυτή την τροχιά.

Λύση

α) Από τη σχέση $K_n = k \frac{e^2}{2r_n}$, που δίνει την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου, έχουμε:

$$\frac{K_n}{K_{n+4}} = 9 \quad \text{ή} \quad \frac{k \frac{e^2}{2r_n}}{k \frac{e^2}{2r_{n+4}}} = 9 \quad \text{ή} \quad \frac{r_{n+4}}{r_n} = 9 \quad \text{ή} \quad \frac{(n+4)^2 r_1}{n^2 r_1} = 9 \quad \text{ή} \quad \frac{n+4}{n} = 3 \quad \text{ή} \quad n = 2$$

β) Η στροφορμή του ηλεκτρονίου υπολογίζεται από τη σχέση $L_n = n \frac{h}{2\pi}$. Επομένως:

$$L_2 = 2 \frac{h}{2\pi} \quad \text{ή} \quad L_2 = 2,11 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$L_6 = 6 \frac{h}{2\pi} \quad \text{ή} \quad L_6 = 6,33 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

γ) Η σχέση $F_n = k \frac{e^2}{r_n^2}$ δίνει την ελκτική ηλεκτρική δύναμη

που δέχεται το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα. Επομένως:

$$\frac{F_n}{F_{n+4}} = \frac{k \frac{e^2}{r_n^2}}{k \frac{e^2}{r_{n+4}^2}} = \frac{r_{n+4}^2}{r_n^2} = \frac{[(n+4)^2 r_1]^2}{(n^2 r_1)^2} = \left(\frac{n+4}{n}\right)^4 = \left(\frac{6}{2}\right)^4 = 81$$

δ) Οι ακτίνες των επιτρεπόμενων τροχιών υπολογίζονται από τη σχέση $r_n = n^2 r_1$. Για κύριο κβαντικό αριθμό $n + 2 = 4$, έχουμε: $r_4 = 4^2 r_1$ ή $r_4 = 8,48 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Η ολική ενέργεια E_n του ηλεκτρονίου του ατόμου και ο κύριος κβαντικός αριθμός n συν-

δέονται με τη σχέση $E_n = \frac{E_1}{n^2}$. Επομένως: $E_4 = \frac{E_1}{4^2}$ ή $E_4 = -0,85 \text{ eV}$

Το μέτρο της ελκτικής ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου μειώνεται, όταν αυξάνεται ο κύριος κβαντικός αριθμός της τροχιάς στην οποία περιφέρεται το ηλεκτρόνιο.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

- 16.15)** Ποια συμπεράσματα προέκυψαν από την ανακάλυψη του ηλεκτρονίου από τον Thomson;
- 16.16)** Να αναφέρετε τους βασικούς λόγους για τους οποίους ο Rutherford πρότεινε ένα διαφορετικό μοντέλο για το άτομο από αυτό που είχε προτείνει ο Thomson.
- 16.17)** Τι γνωρίζετε για το γραμμικό φάσμα εκπομπής ενός αερίου;
- 16.18)** Να σχολιάσετε την πρόταση: «Δύο διαφορετικά στοιχεία μπορεί να έχουν το ίδιο φάσμα εκπομπής».
- 16.19)** Να σχολιάσετε την πρόταση: «Σε ένα φάσμα απορρόφησης ενός αερίου οι σκοτεινές γραμ-

μές εμφανίζονται σε μήκη κύματος διπλάσια από αυτά στα οποία εμφανίζονται οι φωτεινές γραμμές του φάσματος εκπομπής του ίδιου αερίου».

- 16.20)** Να αναφέρετε ένα πείραμα στο οποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε το γραμμικό φάσμα εκπομπής ενός αερίου.
- 16.21)** Να αναφέρετε ένα πείραμα στο οποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε το γραμμικό φάσμα απορρόφησης ενός αερίου.
- 16.22)** Να εξηγήσετε γιατί, σύμφωνα με το πρότυπο του Rutherford, θα έπρεπε το φάσμα εκπομπής των ατόμων να είναι συνεχές και όχι γραμμικό.
- 16.23)** Τι γνωρίζετε για τις επιτρεπόμενες τροχιές του ηλεκτρονίου στο πρότυπο του Bohr;
- 16.24)** Να γράψετε τη σχέση με την οποία υπολογίζεται η στροφορμή του ηλεκτρονίου στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr.
- 16.25)** Να αναφέρετε πότε, σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου εκπέμπει ακτινοβολία.
- 16.26)** Να υπολογίσετε την κινητική και τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

- 16.27)** Ο Δημόκριτος υποστήριξε ότι:
- α) η ύλη αποτελείται από άτομα που διαφέρουν μεταξύ τους κατά το σχήμα και το μέγεθος.
 - β) τα άτομα δημιουργούνται και καταστρέφονται.
 - γ) ο σχηματισμός των υλικών σωμάτων οφείλεται στον διαχωρισμό των ατόμων, ενώ η καταστροφή των σωμάτων οφείλεται στην ένωση των ατόμων.
- 16.28)** Σύμφωνα με τη θεωρία του Thomson:
- α) η μάζα του τμήματος που είναι θετικά φορτισμένο είναι ίση με τη μάζα των ηλεκτρονίων του ατόμου.
 - β) το άτομο έχει εσωτερική δομή και επομένως δεν είναι άτμητο.
 - γ) η ποσότητα του θετικού φορτίου στο άτομο είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα του αρνητικού φορτίου.
- 16.29)** Σύμφωνα με το πρότυπο του Rutherford:
- α) το άτομο αποτελείται από μία σφαίρα θετικών φορτίων, ομοιόμορφα κατανεμημένων, μέσα στην οποία είναι ενσωματωμένα τα ηλεκτρόνια.
 - β) τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τον πυρήνα σε συγκεκριμένες κυκλικές τροχιές.
 - γ) στο άτομο υπάρχει μία πολύ μικρή περιοχή στην οποία είναι συγκεντρωμένο όλο το θετικό φορτίο και σχεδόν όλη η μάζα του ατόμου.
- 16.30)** Ποια πρόταση είναι σωστή;
- α) Στα πειράματα του Rutherford μία δέσμη θετικά φορτισμένων σωματιδίων α κατευθύν-

θηκαν σε λεπτό μεταλλικό φύλλο χαλκού.

β) Στα πειράματα του Rutherford πολλά σωματίδια απέκλιναν από την πορεία τους κατά γωνία μεγαλύτερη των 90° .

γ) Το πρότυπο του Rutherford ονομάζεται πλανητικό μοντέλο του ατόμου.

16.31) Ποια πρόταση είναι σωστή;

α) Τα μήκη κύματος που περιέχει το γραμμικό φάσμα εκπομπής είναι χαρακτηριστικά του στοιχείου που εκπέμπει το φως.

β) Το γραμμικό φάσμα εκπομπής είναι ίδιο για όλα τα αέρια.

γ) Το γραμμικό φάσμα εκπομπής ενός αερίου δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες για το αέριο από το οποίο εκπέμπεται.

16.32) Στο γραμμικό φάσμα απορρόφησης ενός αερίου οι σκοτεινές γραμμές εμφανίζονται:

α) σε μεγαλύτερες συχνότητες από αυτές στις οποίες εμφανίζονται οι φωτεινές γραμμές στο φάσμα εκπομπής του ίδιου αερίου.

β) σε μικρότερες συχνότητες από αυτές στις οποίες εμφανίζονται οι φωτεινές γραμμές στο φάσμα εκπομπής του ίδιου αερίου.

γ) στις ίδιες συχνότητες στις οποίες εμφανίζονται οι φωτεινές γραμμές στο φάσμα εκπομπής του ίδιου αερίου.

16.33) Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου κινείται σε επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές στις οποίες η στροφορμή του είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της ποσότητας:

α) $\frac{h}{\pi}$

β) $\frac{2h}{\pi}$

γ) $\frac{h}{2\pi}$

16.34) Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, η ταχύτητα ενός ηλεκτρονίου μάζας m που περιφέρεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά ακτίνας r δίνεται από τη σχέση:

α) $v = \frac{n\hbar}{mr}$

β) $v = \frac{n\hbar}{2mr}$

γ) $v = \frac{2n\hbar}{mr}$, με $n = 1, 2, \dots, \infty$

16.35) Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπηδά από μία επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά ενέργειας E_α σε άλλη μικρότερης ενέργειας E_τ , εκπέμπεται ένα φωτόνιο με συχνότητα f που δίνεται από τη σχέση:

α) $f = \frac{2(E_\alpha - E_\tau)}{h}$

β) $f = \frac{E_\alpha - E_\tau}{2h}$

γ) $f = \frac{E_\alpha - E_\tau}{h}$

16.36) Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου εκπέμπει ακτινοβολία:

α) κατά τη διάρκεια της περιστροφής του σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά.

β) κατά τη μεταπήδησή του από μία επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά σε άλλη μικρότερης ενέργειας.

γ) κατά τη μεταπήδησή του από μία επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά σε άλλη μεγαλύτερης ενέργειας.

16.37) Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, για το άτομο του υδρογόνου:

α) η στροφορμή του ηλεκτρονίου παίρνει τιμές που δίνονται από τη σχέση $L = n \frac{h}{\pi}$.

β) η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι ίδια σε όλες τις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές.

γ) το ηλεκτρόνιο κινείται μόνο σε επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές.

16.38) Η ηλεκτρική ελκτική δύναμη που δέχεται το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα στο άτομο του υδρογόνου, όταν περιφέρεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά ακτίνας r , δίνεται από τη σχέση:

α) $F = \frac{ke^2}{r}$ β) $F = \frac{ke^2}{2r^2}$ γ) $F = \frac{ke^2}{r^2}$

16.39) Το μέτρο της ταχύτητας του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου κατά την περιφορά του γύρω από τον πυρήνα σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά ακτίνας r δίνεται από τη σχέση:

α) $v = e\sqrt{\frac{k}{mr}}$ β) $v = e\sqrt{\frac{m}{kr}}$ γ) $v = e\sqrt{\frac{r}{km}}$

16.40) Η κινητική ενέργεια K_n και η δυναμική ενέργεια U_n του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου κατά την περιφορά του γύρω από τον πυρήνα σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n συνδέονται με τη σχέση:

α) $\frac{K_n}{U_n} = -1$ β) $\frac{K_n}{U_n} = -2$ γ) $\frac{K_n}{U_n} = -\frac{1}{2}$

16.41) Η κινητική ενέργεια K_n και η ολική ενέργεια E_n του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου κατά την περιφορά του γύρω από τον πυρήνα σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n συνδέονται με τη σχέση:

α) $\frac{K_n}{E_n} = 1$ β) $\frac{K_n}{E_n} = -1$ γ) $\frac{K_n}{E_n} = -2$

16.42) Η δυναμική ενέργεια U_n και η ολική ενέργεια E_n του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου κατά την περιφορά του γύρω από τον πυρήνα σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n συνδέονται με τη σχέση:

α) $\frac{E_n}{U_n} = \frac{1}{2}$ β) $\frac{E_n}{U_n} = 2$ γ) $\frac{E_n}{U_n} = -\frac{1}{2}$

16.43) Η ακτίνα του Bohr έχει τιμή:

α) $r = 0,53 \cdot 10^{-11} \text{m}$ β) $r = 0,53 \cdot 10^{-9} \text{m}$ γ) $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{m}$

- 16.44)** Οι ακτίνες των επιτρεπόμενων κυκλικών τροχιών του ηλεκτρονίου δίνονται από τη σχέση:
 α) $r_n = nr_1$ β) $r_n = n^2 r_1$ γ) $r_n = nr_1^2$, με $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$
- 16.45)** Η ολική ενέργεια E_1 του ηλεκτρονίου, όταν αυτό κινείται στην κυκλική τροχιά με τη μικρότερη ακτίνα, είναι:
 α) $E_1 = 13,6\text{eV}$ β) $E_1 = -13,6\text{eV}$ γ) $E_1 = -3,4\text{eV}$
- 16.46)** Οι επιτρεπόμενες τιμές της ολικής ενέργειας E_n του ηλεκτρονίου δίνονται από τη σχέση:
 α) $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ β) $E_n = \frac{E_1}{n}$ γ) $E_n = \frac{E_1^2}{n}$, με $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$
- 16.47)** Στο άτομο του υδρογόνου το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει από μία τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n σε άλλη με μεγαλύτερο κύριο κβαντικό αριθμό. Ποια πρόταση είναι σωστή;
 α) Το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο αυξάνεται.
 β) Το μέτρο της στροφορμής του ηλεκτρονίου αυξάνεται.
 γ) Η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου αυξάνεται.
- 16.48)** Εάν αυξάνεται η στροφορμή του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου, όταν αυτό μεταβαίνει από μία επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά σε άλλη επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά, τότε:
 α) η νέα τροχιά έχει μικρότερη ακτίνα από την προηγούμενη.
 β) στη νέα τροχιά αυξάνεται η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου.
 γ) στη νέα τροχιά μειώνεται το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης του ηλεκτρονίου.
- 16.49)** Σύμφωνα με το κλασικό μοντέλο του Rutherford για το άτομο:
 α) το φάσμα εκπομπής από ένα άτομο πρέπει να είναι συνεχές.
 β) το θετικό φορτίο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο μέσα στο άτομο.
 γ) η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι κβαντωμένη.
 δ) η ακτίνα του πυρήνα είναι της τάξης μεγέθους 10^{-10}m .

(Πανελλαδικές εξετάσεις 2004)

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

- 16.50)** Στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριο κβαντικό αριθμό $n=1$ και $n=2$ οι στροφορμές του ηλεκτρονίου έχουν μέτρα L_1 και L_2 αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;
 α) $L_2 = L_1$ β) $L_2 = 2L_1$ γ) $L_2 = 4L_1$
- 16.51)** Στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριο κβαντικό αριθμό $n=1$ και $n=3$ τα μέτρα των ταχυτήτων και οι ακτίνες περιφοράς του ηλεκτρονίου είναι v_1, r_1 και v_3, r_3 αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;
 α) $v_3 r_3 = 2v_1 r_1$ β) $v_3 r_3 = v_1 r_1$ γ) $v_3 r_3 = 3v_1 r_1$

16.52) Οι ακτίνες r_2 και r_6 των επιτρεπόμενων κυκλικών τροχιών του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου, που αντιστοιχούν στους κύριους κβαντικούς αριθμούς $n=2$ και $n=6$, συνδέονται με τη σχέση:

$$\alpha) \frac{r_2}{r_6} = \frac{1}{9} \quad \beta) \frac{r_2}{r_6} = \frac{1}{6} \quad \gamma) \frac{r_2}{r_6} = \frac{1}{3}$$

16.53) Τα μέτρα της ηλεκτρικής δύναμης που ασκεί ο πυρήνας του ατόμου του υδρογόνου στο ηλεκτρόνιο, όταν αυτό περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με $n=2$ και $n=4$, είναι F_2 και F_4 αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;

$$\alpha) \frac{F_2}{F_4} = 16 \quad \beta) \frac{F_2}{F_4} = 8 \quad \gamma) \frac{F_2}{F_4} = 4$$

16.54) Τα μέτρα της ταχύτητας του ηλεκτρονίου, όταν αυτό περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με $n=1$ και $n=3$, είναι v_1 και v_3 αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;

$$\alpha) \frac{v_1}{v_3} = 3 \quad \beta) \frac{v_1}{v_3} = 9 \quad \gamma) \frac{v_1}{v_3} = 6$$

16.55) Οι δυναμικές ενέργειες του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου, όταν αυτό περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με $n=3$ και $n=5$, είναι U_3 και U_5 αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;

$$\alpha) \frac{U_3}{U_5} = \frac{25}{9} \quad \beta) \frac{U_3}{U_5} = \frac{5}{3} \quad \gamma) \frac{U_3}{U_5} = \frac{9}{25}$$

16.56) Οι κινητικές ενέργειες του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου, όταν αυτό περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με $n=2$ και $n=4$, είναι K_2 και K_4 αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;

$$\alpha) \frac{K_2}{K_4} = 2 \quad \beta) \frac{K_2}{K_4} = 8 \quad \gamma) \frac{K_2}{K_4} = 4$$

16.57) Η ακτίνα του Bohr είναι $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Στο άτομο του υδρογόνου η ακτίνα της επιτρεπόμενης κυκλικής τροχιάς με $n=3$ του ηλεκτρονίου είναι:

$$\alpha) r_3 = 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ m} \quad \beta) r_3 = 1,59 \cdot 10^{-10} \text{ m} \quad \gamma) r_3 = 3,18 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

16.58) Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου που βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση έχει ολική ενέργεια $E_1 = -13,6 \text{ eV}$. Η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου, όταν περιφέρεται στην επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με $n=3$, είναι:

$$\alpha) E_3 = 12,09 \text{ eV} \quad \beta) E_3 = -1,51 \text{ eV} \quad \gamma) E_3 = -4,53 \text{ eV}$$

16.59) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου μεταβαίνει από την κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n=1$ σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n' , η ολική ενέργειά του μεταβάλλεται σε απόλυτη τιμή κατά 75%. Ο κβαντικός αριθμός n' είναι:

$$\alpha) n' = 4 \quad \beta) n' = 2 \quad \gamma) n' = 6$$

16.60) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου μεταβαίνει από την κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n=4$ σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n' , η στροφορμή του μεταβάλλεται κατά -50% . Οι δυναμικές ενέργειες U_4 και $U_{n'}$ του ηλεκτρονίου, όταν αυτό περιφέρεται στις κυκλικές τροχιές με $n=4$ και n' αντίστοιχα, συνδέονται με τη σχέση:

$$\alpha) \frac{U_4}{U_{n'}} = \frac{1}{4} \quad \beta) \frac{U_4}{U_{n'}} = \frac{1}{2} \quad \gamma) \frac{U_4}{U_{n'}} = \frac{1}{8}$$

16.61) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου μεταβαίνει από την κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n=4$ σε κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n' , το μέτρο της ταχύτητάς του μεταβάλλεται κατά -20% . Οι ολικές ενέργειες E_4 και $E_{n'}$ του ηλεκτρονίου, όταν αυτό περιφέρεται στις κυκλικές τροχιές με $n=4$ και n' αντίστοιχα, συνδέονται με τη σχέση:

$$\alpha) \frac{E_4}{E_{n'}} = \frac{25}{16} \quad \beta) \frac{E_4}{E_{n'}} = \frac{5}{4} \quad \gamma) \frac{E_4}{E_{n'}} = \frac{16}{25}$$

16.62) Τα μέτρα της ταχύτητας του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου, όταν αυτό περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς $n=1$ και n' , είναι v_1 και $v_{n'}$ αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;

$$\alpha) v_{n'} = \frac{v_1}{n'} \quad \beta) v_{n'} = \frac{v_1}{n'^2} \quad \gamma) v_{n'} = n'v_1$$

16.63) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στις κυκλικές τροχιές με $n=3$ και $n=5$, η δυναμική του ενέργεια U_3 και η κινητική του ενέργεια K_5 αντίστοιχα συνδέονται με τη σχέση:

$$\alpha) \frac{U_3}{K_5} = \frac{50}{9} \quad \beta) \frac{U_3}{K_5} = -\frac{25}{3} \quad \gamma) \frac{U_3}{K_5} = -\frac{50}{9}$$

16.64) Τα μέτρα της ηλεκτρικής δύναμης που ασκεί ο πυρήνας του ατόμου του υδρογόνου στο ηλεκτρόνιο, όταν αυτό περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς n_1 και n_2 , είναι F_{n_1} και F_{n_2} αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;

$$\alpha) \frac{F_{n_1}}{F_{n_2}} = \frac{n_1^2}{n_2^2} \quad \beta) \frac{F_{n_1}}{F_{n_2}} = \frac{n_2}{n_1} \quad \gamma) \frac{F_{n_1}}{F_{n_2}} = \frac{n_2^2}{n_1^2}$$

16.65) Άτομο υδρογόνου βρίσκεται σε μία διεγερμένη κατάσταση. Η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου U και η ολική του ενέργεια E συνδέονται με τη σχέση:

$$\alpha) U = E \quad \beta) U = 2E \quad \gamma) U = -E$$

(Πανελλαδικές εξετάσεις 2006)

16.66) Στο ατομικό πρότυπο του Bohr για το υδρογόνο, αν K_1 , K_2 είναι οι κινητικές ενέργειες και L_1 , L_2 τα μέτρα των στροφορμών των ηλεκτρονίων στις επιτρεπόμενες τροχιές με κβαντικό αριθμό $n=1$ και $n=2$, τότε ισχύει:

$$\alpha) \frac{K_1}{K_2} = 2 \text{ και } \frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{2} \quad \beta) \frac{K_1}{K_2} = 4 \text{ και } \frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{2} \quad \gamma) \frac{K_1}{K_2} = 4 \text{ και } \frac{L_1}{L_2} = 2$$

(Πανελλαδικές εξετάσεις 2004)

16.67) Δύο άτομα υδρογόνου α και β βρίσκονται σε διαφορετικές διεγερμένες καταστάσεις, με στροφορμές L_α και L_β . Δίνεται ότι $L_\alpha > L_\beta$. Για τις ενέργειες των δύο ατόμων ισχύει:

- α) $E_\alpha = E_\beta$ β) $E_\alpha > E_\beta$ γ) $E_\alpha < E_\beta$

(Πανελλαδικές εξετάσεις 2006)

16.68) Εάν L_1, L_2, L_3 και L_4 είναι τα μέτρα των στροφορμών του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου που αντιστοιχούν στις κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς n_1, n_2, n_3 και n_4 , ποια σχέση είναι σωστή;

- α) $L_4 = L_1 + L_2 + L_3$ β) $\frac{3L_4}{2} = L_1 + L_2 + L_3$ γ) $L_1 + L_3 = L_2 + L_4$

16.69) Η κινητική και η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου που βρίσκεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά που αντιστοιχεί σε κύριο κβαντικό αριθμό n είναι K_n και U_n αντίστοιχα. Όταν το άτομο του υδρογόνου βρίσκεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά που αντιστοιχεί σε κύριο κβαντικό αριθμό n' , με $n' > n$, η κινητική και η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι $K_{n'}$ και $U_{n'}$ αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;

- α) $K_n + U_n = K_{n'} + U_{n'}$ β) $K_n + U_n > K_{n'} + U_{n'}$ γ) $K_n + U_n < K_{n'} + U_{n'}$

Στις παρακάτω Ασκήσεις και Προβλήματα θεωρούνται γνωστά η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου $E_1 = -13,6 \text{ eV}$, η ακτίνα του Bohr $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, η σταθερά του Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, η σταθερά του νόμου του Coulomb $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ και η μάζα του ηλεκτρονίου $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Δίνονται επίσης $\pi = 3,14$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ και $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

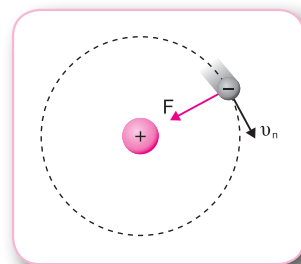
ΑΣΚΗΣΕΙΣ

16.70) Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στην επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n = 1$.

- α) Να αναφέρετε ποια είναι η φυσική σημασία του αρνητικού προσήμου της ολικής ενέργειας του ηλεκτρονίου.
β) Να υπολογίσετε την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου.
γ) Να υπολογίσετε τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου.

16.71) Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , έχοντας κινητική ενέργεια $K_n = 3,4 \text{ eV}$, δυναμική ενέργεια U_n και ολική ενέργεια E_n . Να υπολογίσετε:

- α) την ολική ενέργεια E_n του ηλεκτρονίου,
β) τη δυναμική ενέργεια U_n του ηλεκτρονίου,
γ) τον κύριο κβαντικό αριθμό n .



16.72) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με $n = 1$ και $n = 2$, έχει κινητικές ενέργειες, δυναμικές ενέργειες και στροφορμές K_1, U_1, L_1 και K_2, U_2, L_2 αντίστοιχα. Να υπολογίσετε:

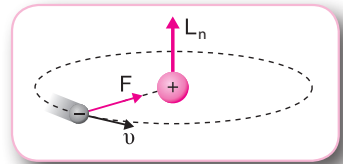
- τις τιμές των κινητικών και δυναμικών ενεργειών K_1, K_2, U_1 και U_2 ,
- τις στροφορμές L_1 και L_2 .

16.73) Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στην επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με $n = 3$. Να υπολογίσετε:

- την ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου σε eV και J,
- την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου και το μέτρο της ταχύτητάς του,
- τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου.

16.74) Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στην επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , έχοντας στροφορμή $L_n = 3,167 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. Να υπολογίσετε:

- τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,
- την κινητική και τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
- το ποσοστό στα εκατό της μεταβολής του μέτρου της στροφορμής του ηλεκτρονίου κατά τη μετάβασή του από την κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n στην κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n = 5$.



16.75) Ένα άτομο υδρογόνου βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση. Να υπολογίσετε τα μέτρα:

- της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο και της κεντρομόλου επιτάχυνσής του,
- της στροφορμής του ηλεκτρονίου,
- της ταχύτητας του ηλεκτρονίου.

16.76) Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , έχοντας ταχύτητα μέτρου $v_n = 3,642 \cdot 10^5 \text{ m/s}$. Να υπολογίσετε:

- την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
- την ολική ενέργεια και τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
- τον κύριο κβαντικό αριθμό n .

16.77) Όταν το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς n και $n + 2$, έχει στροφορμές L_n και L_{n+2} αντίστοιχα. Να προσδιορίσετε τη σχέση που συνδέει:

- τις στροφορμές L_n και L_{n+2} ,
- τις ακτίνες r_n και r_{n+2} των κυκλικών τροχιών.

16.78) Εάν K_n, U_n είναι η κινητική και η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου στην κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n και K_{n+3}, E_{n+3} η κινητική και η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στην κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n+3$, να υπολογίσετε:

α) τον λόγο $\frac{U_n}{K_{n+3}}$, β) τον λόγο $\frac{K_n}{E_{n+3}}$.

16.79) Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται αρχικά στην επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n και στη συνέχεια στην επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n-1$, με $n > 1$. Εάν F_n, v_n και F_{n-1}, v_{n-1} είναι τα μέτρα της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο και της ταχύτητάς του στις τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς n και $n-1$ αντίστοιχα, να υπολογίσετε τους λόγους:

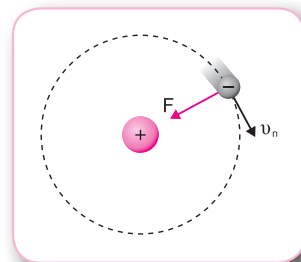
α) $\frac{F_n}{F_{n-1}}$, β) $\frac{v_n}{v_{n-1}}$.

16.80) Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , έχοντας ολική ενέργεια $E_n = -0,85 \text{ eV}$. Να υπολογίσετε:

- α) τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,
- β) την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
- γ) τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου,
- δ) το μέτρο της στροφορμής του ηλεκτρονίου.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

16.81) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται από τον πυρήνα είναι $F_n = \frac{1}{16} F_1$, όπου F_1 είναι το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο όταν το άτομο βρίσκεται στη



θεμελιώδη κατάσταση. Να υπολογίσετε:

- α) τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,
- β) την κινητική και τη δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου στην τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n ,
- γ) το ποσοστό στα εκατό της μεταβολής του μέτρου της ταχύτητας του ηλεκτρονίου κατά τη μετάβασή του από την τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n στην τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n=3$.

16.82) Σε ένα άτομο υδρογόνου το ηλεκτρόνιο περιφέρεται στην επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με $n=5$. Να υπολογίσετε:

- α) την ακτίνα r_5 της κυκλικής τροχιάς,

- β) το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο,
- γ) την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου σε J,
- δ) το μέτρο της ταχύτητας του ηλεκτρονίου.

16.83) Όταν το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς $n=2$ και n , έχει κινητικές, δυναμικές και ολικές ενέργειες K_2, U_2, E_2 και K_n, U_n, E_n αντίστοιχα. Γνωρίζουμε ότι $\frac{K_2}{U_n} = -\frac{9}{8}$. Να υπολογίσετε:

- α) την ολική ενέργεια E_2 , τη δυναμική ενέργεια U_2 και την κινητική ενέργεια K_2 του ηλεκτρονίου,
- β) τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,
- γ) το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης του ηλεκτρονίου στην τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n ,
- δ) το μέτρο της ταχύτητας του ηλεκτρονίου στην τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n .

16.84) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς n και $n+1$, έχει ολικές ενέργειες E_n και E_{n+1} αντίστοιχα, με $E_{n+1} = \frac{16E_n}{25}$. Να υπολογίσετε:

- α) τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,
- β) τις ολικές ενέργειες E_n και E_{n+1} του ηλεκτρονίου,
- γ) τη σχέση των δυναμικών ενεργειών U_n και U_{n+1} του ηλεκτρονίου,
- δ) τον λόγο $\frac{L_{n+1}}{L_n}$ των στροφορμών του ηλεκτρονίου.

16.85) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς n και $n+2$, τα μέτρα της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται από τον πυρήνα F_n και F_{n+2} αντίστοιχα συνδέονται με τη σχέση $F_{n+2} = \frac{F_n}{81}$. Να υπολογίσετε:

- α) τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,
- β) τις δυναμικές ενέργειες U_n και U_{n+2} του ηλεκτρονίου,
- γ) τη σχέση των κινητικών ενεργειών K_n και K_{n+2} ,
- δ) τον λόγο $\frac{r_{n+2}}{r_n}$ των ακτίνων των τροχιών.

ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Θέμα 1ο

α) Ποια πρόταση είναι σωστή;

- i) Σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson τα άτομα των αερίων εκπέμπουν γραμμικό φάσμα.
- ii) Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, το ηλεκτρόνιο μπορεί να περιφέρεται μόνο σε ορισμένες κυκλικές τροχιές, που ονομάζονται επιτρεπόμενες τροχιές.
- iii) Το πρότυπο του Bohr ερμηνεύει τα γραμμικά φάσματα εκπομπής όλων των αερίων.

β) Η κινητική ενέργεια K και η δυναμική ενέργεια U του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου, κατά την περιφορά του γύρω από τον πυρήνα σε μία επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά, συνδέονται με τη σχέση:

i) $2K - U = 0$ ii) $\frac{K}{2} + U = 0$ iii) $K + \frac{U}{2} = 0$

γ) Όταν στο άτομο του υδρογόνου κατά τη μετάβαση του ηλεκτρονίου από μία επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά σε άλλη μειώνεται ο κύριος κβαντικός αριθμός, τότε:

- i) η ταχύτητα του ηλεκτρονίου μειώνεται.
- ii) η στροφορμή του ηλεκτρονίου αυξάνεται.
- iii) το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα αυξάνεται.

Θέμα 2ο

α) Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς $n=1$ και $n=2$, τα μέτρα της κεντρομόλου επιτάχυνσής του α_{κ_1} και α_{κ_2} αντίστοιχα συνδέονται με τη σχέση:

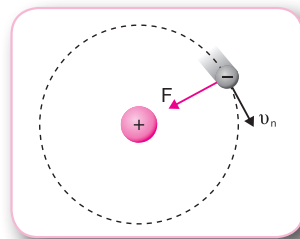
i) $\frac{\alpha_{\kappa_1}}{\alpha_{\kappa_2}} = 16$ ii) $\frac{\alpha_{\kappa_1}}{\alpha_{\kappa_2}} = 8$ iii) $\frac{\alpha_{\kappa_1}}{\alpha_{\kappa_2}} = 4$

β) Κατά τη μετάβαση του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου από την τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n=2$ σε επιτρεπόμενη κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , η ακτίνα της περιφοράς του αυξάνεται κατά 125%. Εάν L_2 και L_n είναι αντίστοιχα οι στροφορμές του ηλεκτρονίου στις παραπάνω τροχιές, ποια σχέση είναι σωστή;

i) $\frac{L_2}{L_n} = \frac{1}{2}$ ii) $\frac{L_2}{L_n} = \frac{2}{5}$ iii) $\frac{L_2}{L_n} = \frac{2}{3}$

Θέμα 3ο

Όταν το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιφέρεται στις επιτρεπόμενες κυκλικές τροχιές με κύριους κβαντικούς αριθμούς n και $n+3$, οι ακτίνες περιφοράς του r_n και r_{n+3} αντίστοιχα συνδέονται με τη σχέση $\frac{r_n}{r_{n+3}} = \frac{4}{25}$. Δίνεται η ακτίνα του Bohr $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.



Να υπολογίσετε:

α) τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,

β) τις ακτίνες r_n και r_{n+3} ,

γ) τον λόγο $\frac{E_n}{E_{n+3}}$ των ολικών ενεργειών του ηλεκτρονίου,

δ) τον λόγο $\frac{U_n}{U_{n+3}}$ των δυναμικών ενεργειών του ηλεκτρονίου.

Θέμα 4ο

Όταν το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου μεταβαίνει από την τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n=2$ στην τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n , η κινητική του ενέργεια μειώνεται κατά 84%. Δίνονται η σταθερά του νόμου του Coulomb $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$, η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου $E_1 = -13,6 \text{ eV}$, η ακτίνα του Bohr $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ και $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Να υπολογίσετε:

α) την ολική, τη δυναμική και την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου στην τροχιά με $n=2$,

β) τον κύριο κβαντικό αριθμό n ,

γ) το ποσοστό στα εκατό της μεταβολής του μέτρου της ταχύτητας του ηλεκτρονίου, όταν μεταβαίνει από την κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό $n=2$ στην κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n ,

δ) το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα, όταν κινείται στην κυκλική τροχιά με κύριο κβαντικό αριθμό n .