



ΦΥΣΙΚΗ Γ.Π. Β' ΛΥΚΕΙΟΥ

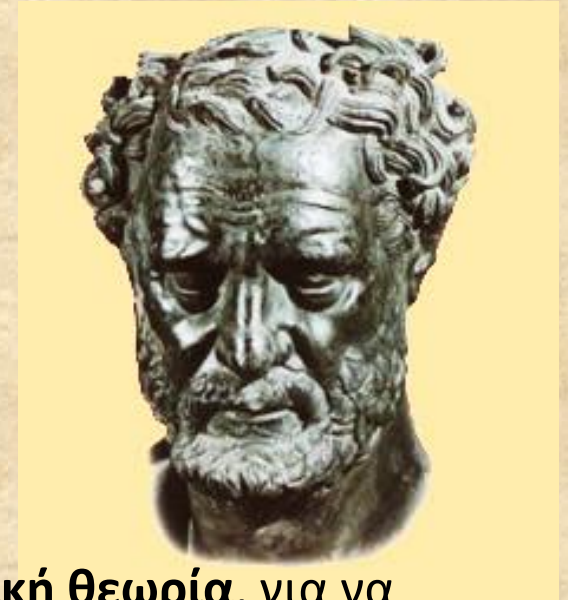
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΤΟΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομική θεωρία του Δημόκριτου

- 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 άτομητα). Διατύπωσαν λοιπόν μια **φιλοσοφική θεωρία**, για να ερμηνεύσουν τις ιδιότητες των υλικών σωμάτων.
- 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 19^ο αιώνα.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

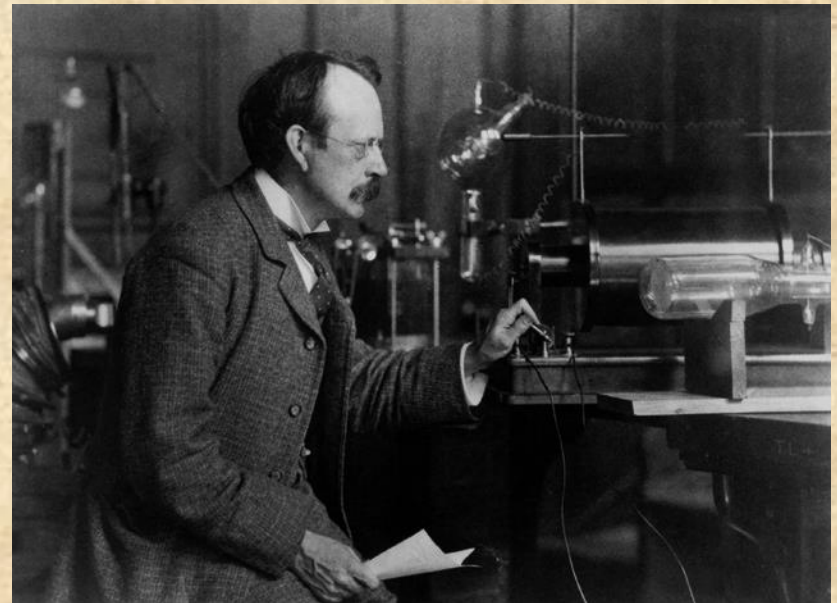
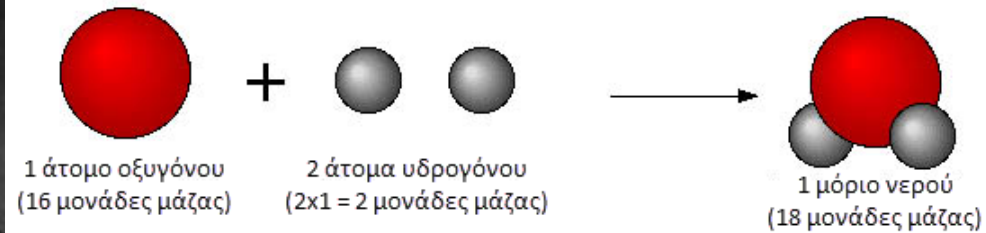
19^{ος} αιώνας: Η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου

- Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα ο **Dalton** (Ντάλτον)



επανέφερε την **ατομική θεωρία**, για να εξηγήσει τους **νόμους της Χημείας** που ανακάλυψε πειραματικά.

- Σημαντικό σταθμό στην εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών για το άτομο αποτέλεσε η **ανακάλυψη του ηλεκτρονίου** από τον Άγγλο φυσικό **J. J. Thomson** (Τόμσον) κατά το τέλος του 19^{ου} αιώνα.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου

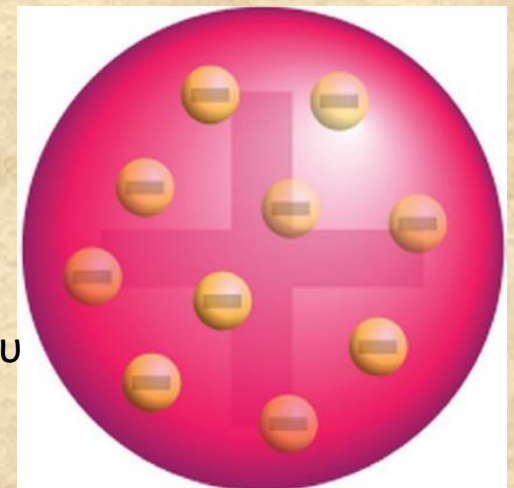


4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Η δομή του ατόμου

- 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**, ο Τόμσον κατέληξε στο συμπέρασμα ότι και **τα άτομα της ύλης είναι ηλεκτρικά ουδέτερα** και επομένως **το άτομο 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;»

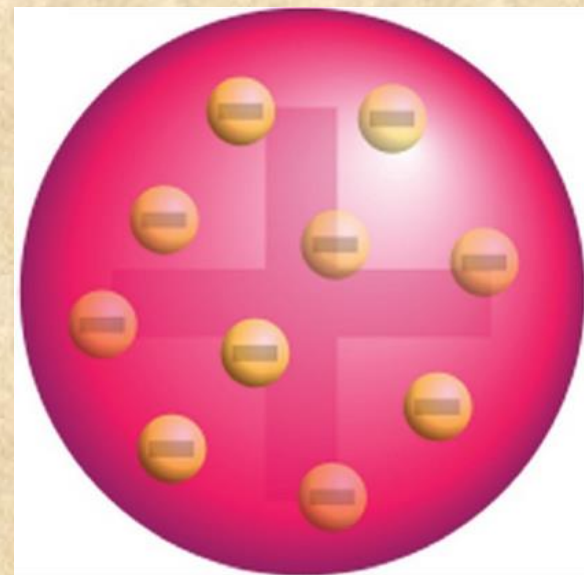
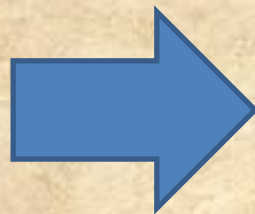
Το ατομικό πρότυπο του Thomson:
το «**σταφιδόψωμο**»



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικό πρότυπο του Thomson

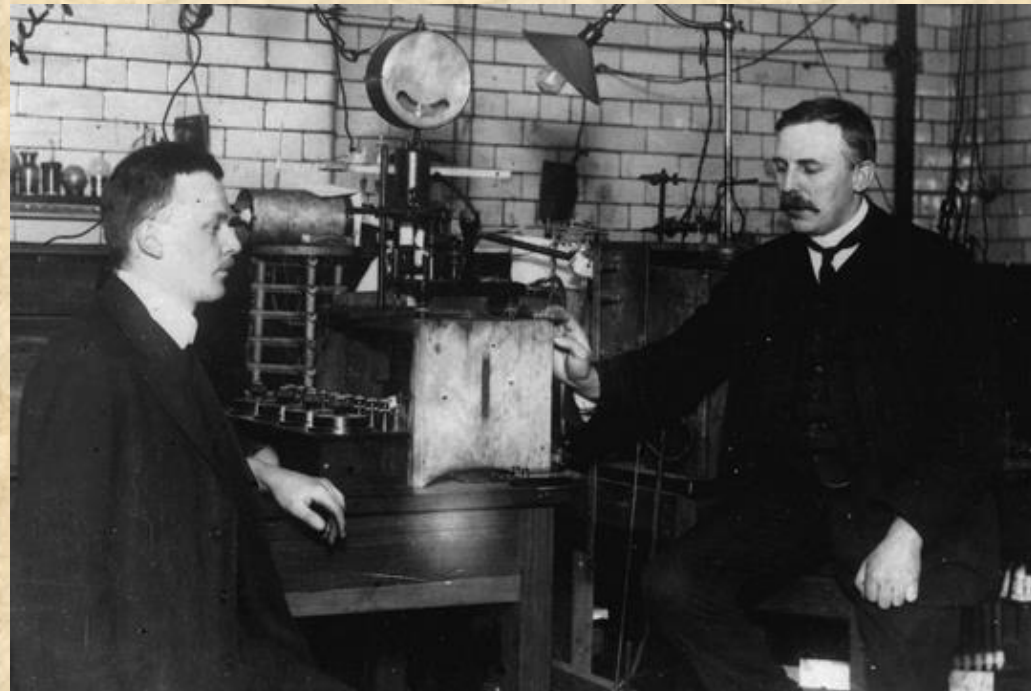
- Στο ερώτημα : «**πώς η μάζα και το φορτίο κατανέμονται στο εσωτερικό του ατόμου;**»
- Ο Thomson πρότεινε ένα πρότυπο σύμφωνα με το οποίο το άτομο αποτελείται από μια **σφαίρα θετικού φορτίου, ομοιόμορφα κατανεμημένου.**
- Μέσα σε αυτό είναι **ενσωματωμένα τα ηλεκτρόνια, όπως οι σταφίδες μέσα σε ένα σφαιρικό σταφιδόψωμο.**



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικό πρότυπο του Rutherford

- Θέλοντας να απαντήσουν στο ερώτημα : «**πώς η μάζα και το φορτίο κατανέμονται στο εσωτερικό του ατόμου;**»
- Ο **Rutherford** (Ράδερφορντ) και οι μαθητές του πραγματοποίησαν τα πρώτα **πειράματα, για να διερευνήσουν την εσωτερική δομή του ατόμου.**
- Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών ήλθαν **σε αντίθεση με το πρότυπο του Thomson.**

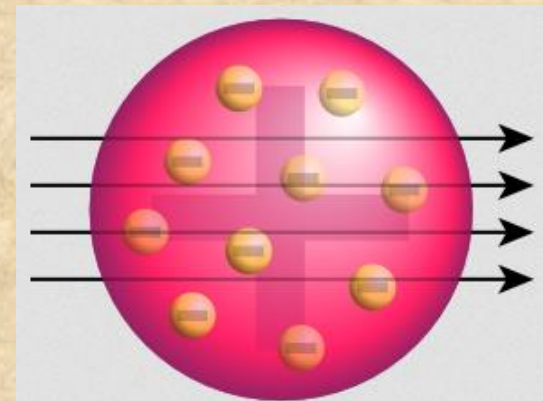
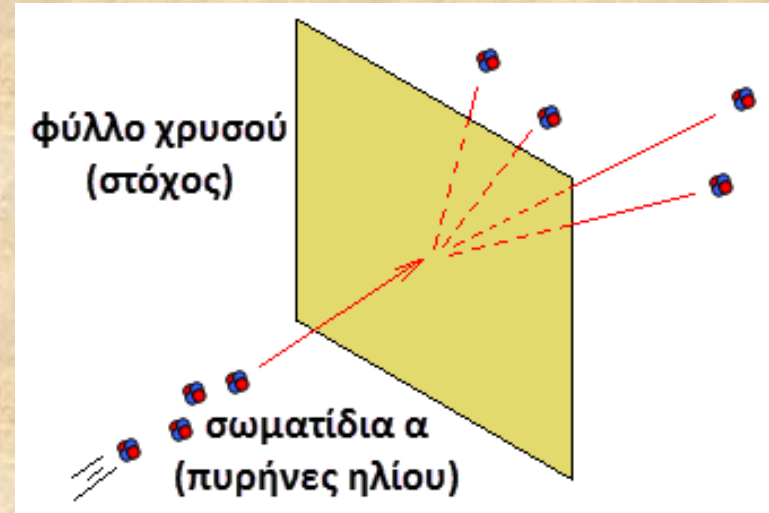


Ο Ernest Rutherford (δεξιά) με τον βοηθό του Hans Geiger

4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικό πρότυπο του Rutherford

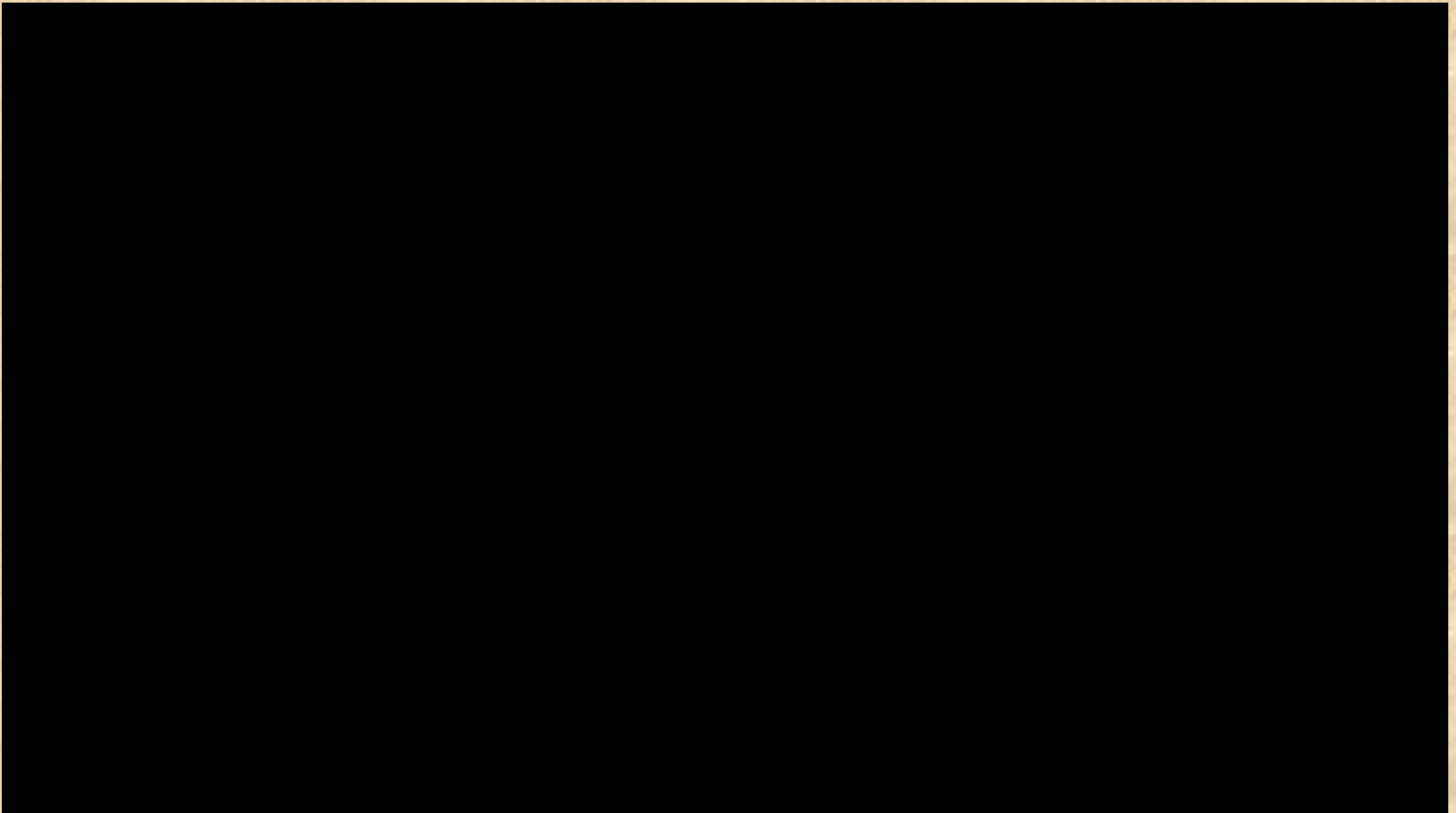
- Στα πειράματα αυτά μια δέσμη **θετικά φορτισμένων σωματίων α** (πυρήνες ηλίου) κατευθύνεται σε λεπτό μεταλλικό **φύλλο χρυσού** (στόχος).
- Σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson, η δέσμη των σωματίων α **δε θα έπρεπε να αποκλίνει σημαντικά**.
- Και αυτό επειδή στο πρότυπο αυτό το **θετικό το ηλεκτρικό φορτίο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο** και εφόσον τα ηλεκτρόνια έχουν πολύ μικρότερη μάζα, η κίνησή των σωματίων α **δεν θα έπρεπε να επηρεάζεται σημαντικά από τα ηλεκτρόνια** όπως η κίνηση μιας βαριάς πέτρας μέσα στη βροχή.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικό πρότυπο του Rutherford

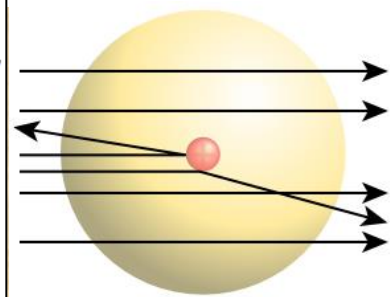
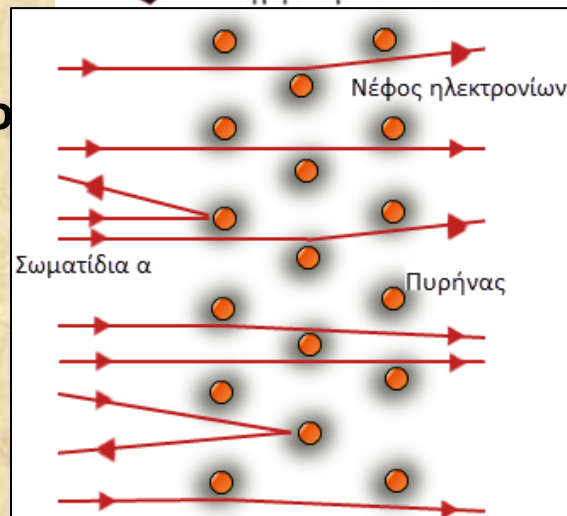
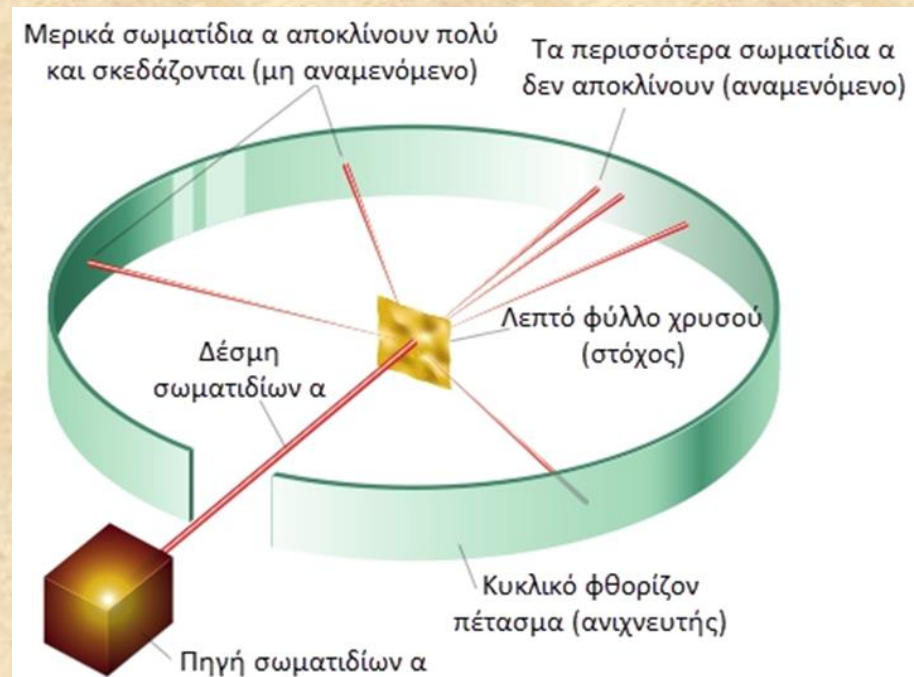
- Rutherford scattering experiment (Dr. Brian Cox):



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικό πρότυπο του Rutherford

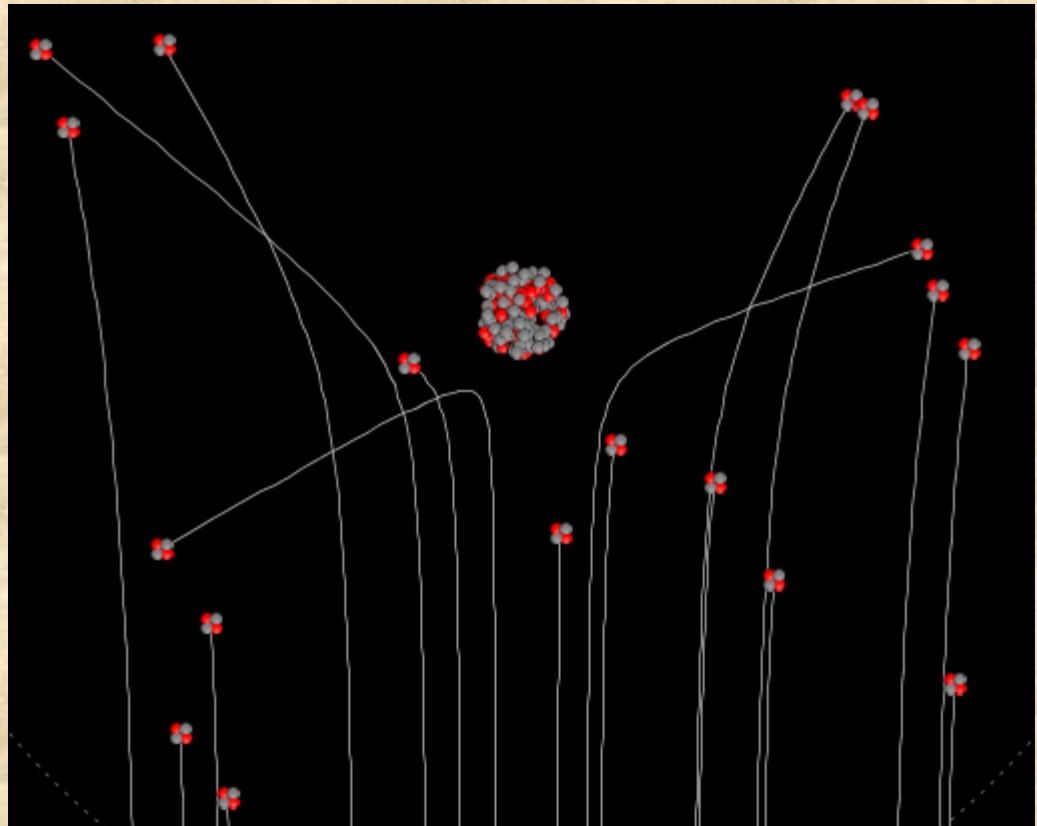
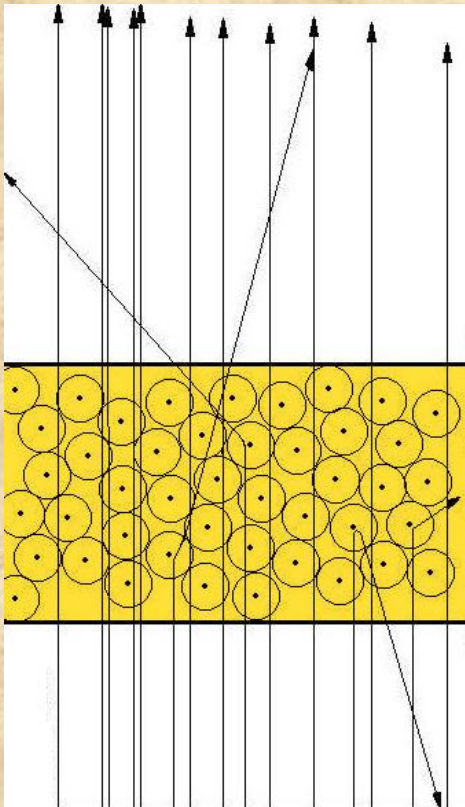
- Ο Rutherford παρατήρησε ότι τα περισσότερα από τα σωματίδια α διέρχονται μέσα από το στόχο σχεδόν ανεπηρέαστα, σαν να κινούνται μέσα σε **σχεδόν κενό χώρο**.
- Αρκετά αποκλίνουν σε διάφορες γωνίες. **Λίγα όμως αποκλίνουν κατά σχεδόν 180° .**
- Αυτό μπορεί να συμβεί μόνο, **αν το θετικό φορτίο είναι συγκεντρωμένο σε μικρό χώρο**, ώστε να ασκεί στα σωματίδια α μεγάλες απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικό πρότυπο του Rutherford

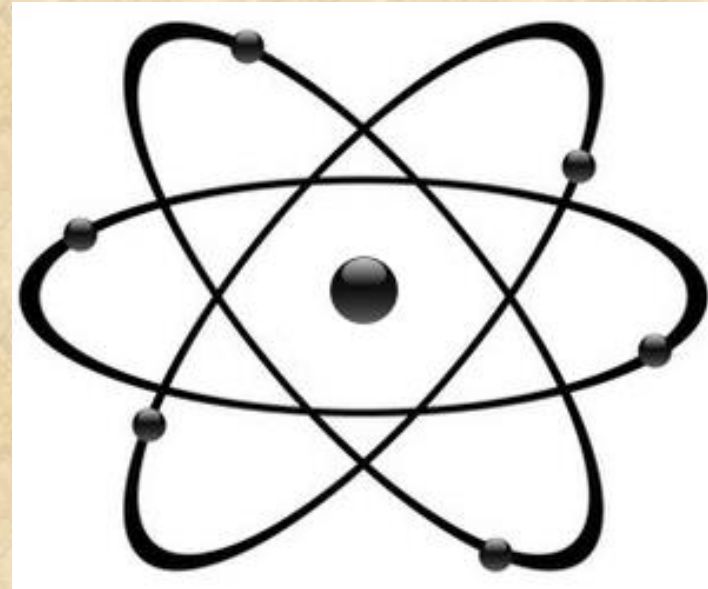
- Σύμφωνα με τον Rutherford το **θετικό φορτίο του ατόμου είναι συγκεντρωμένο σε μικρό χώρο**, ώστε να ασκεί στα σωματίια α μεγάλες απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικό πρότυπο του 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**.
 - Αν ήταν ακίνητα, **θα έπεφταν πάνω στον πυρήνα** εξαιτίας της ηλεκτρικής έλξης που δέχονται από αυτόν.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικό πρότυπο του Rutherford

- 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**.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικό πρότυπο του Rutherford

- Modern Rutherford scattering experiment

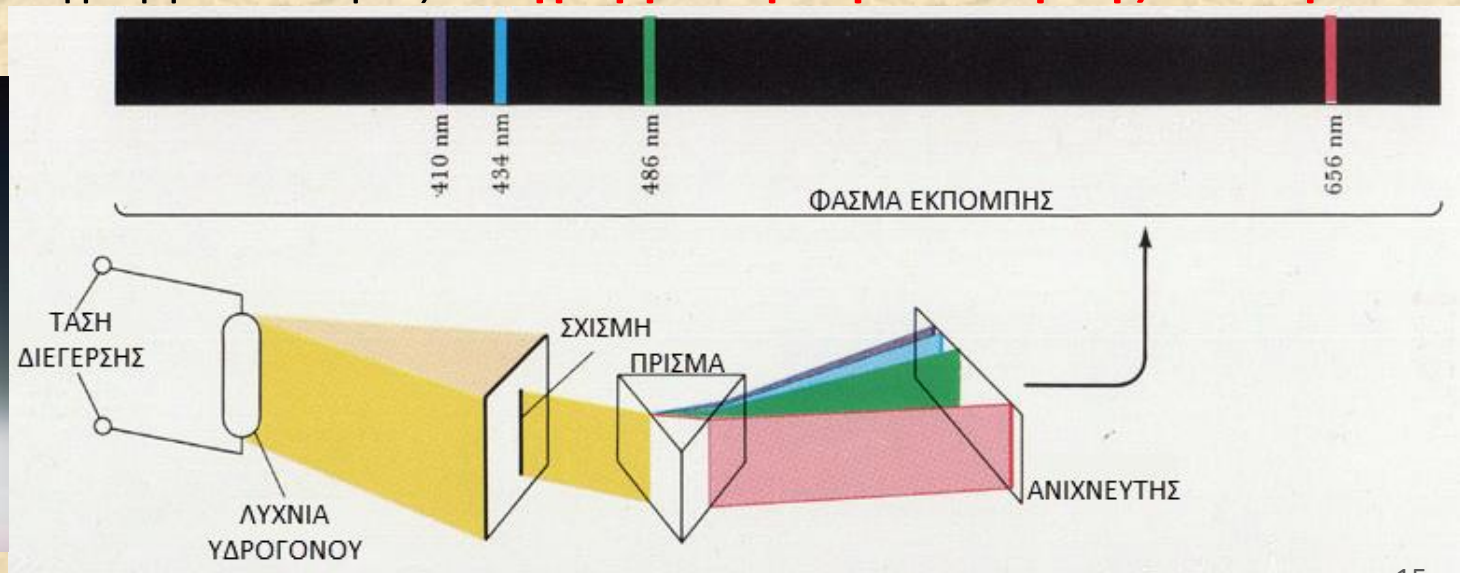
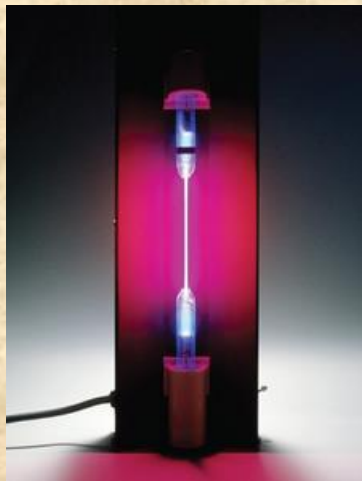


**It's 100 years since Ernest Rutherford
'discovered' the atomic nucleus.**

4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικά φάσματα

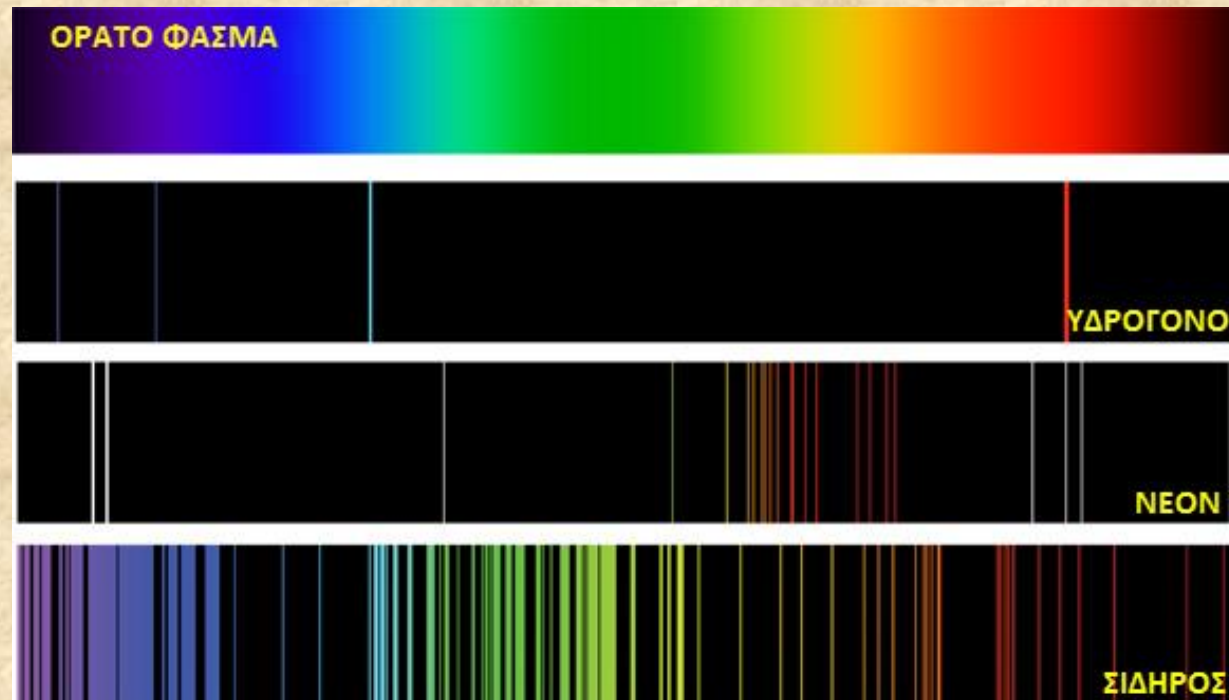
- Όταν εφαρμόσουμε ορισμένη **τάση** σε γυάλινο σωλήνα που περιέχει **αέριο σε χαμηλή πίεση** (όπως στις διαφημιστικές λυχνίες νέου), τότε θα παρατηρήσουμε ότι **το αέριο εκπέμπει φως**.
- Αν το φως αυτό **αναλυθεί** (πχ από ένα πρίσμα) τότε θα παρατηρήσουμε μια **σειρά από φωτεινές γραμμές**. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα διαφορετικό μήκος κύματος ή χρώμα.
- Η σειρά των γραμμών ονομάζεται **γραμμικό φάσμα εκπομπής του αερίου**.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικά φάσματα

- Τα μήκη κύματος που περιέχει το γραμμικό φάσμα εκπομπής είναι **χαρακτηριστικά του στοιχείου που εκπέμπει το φως**. Δεν υπάρχουν δύο διαφορετικά στοιχεία με 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**.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικά φάσματα

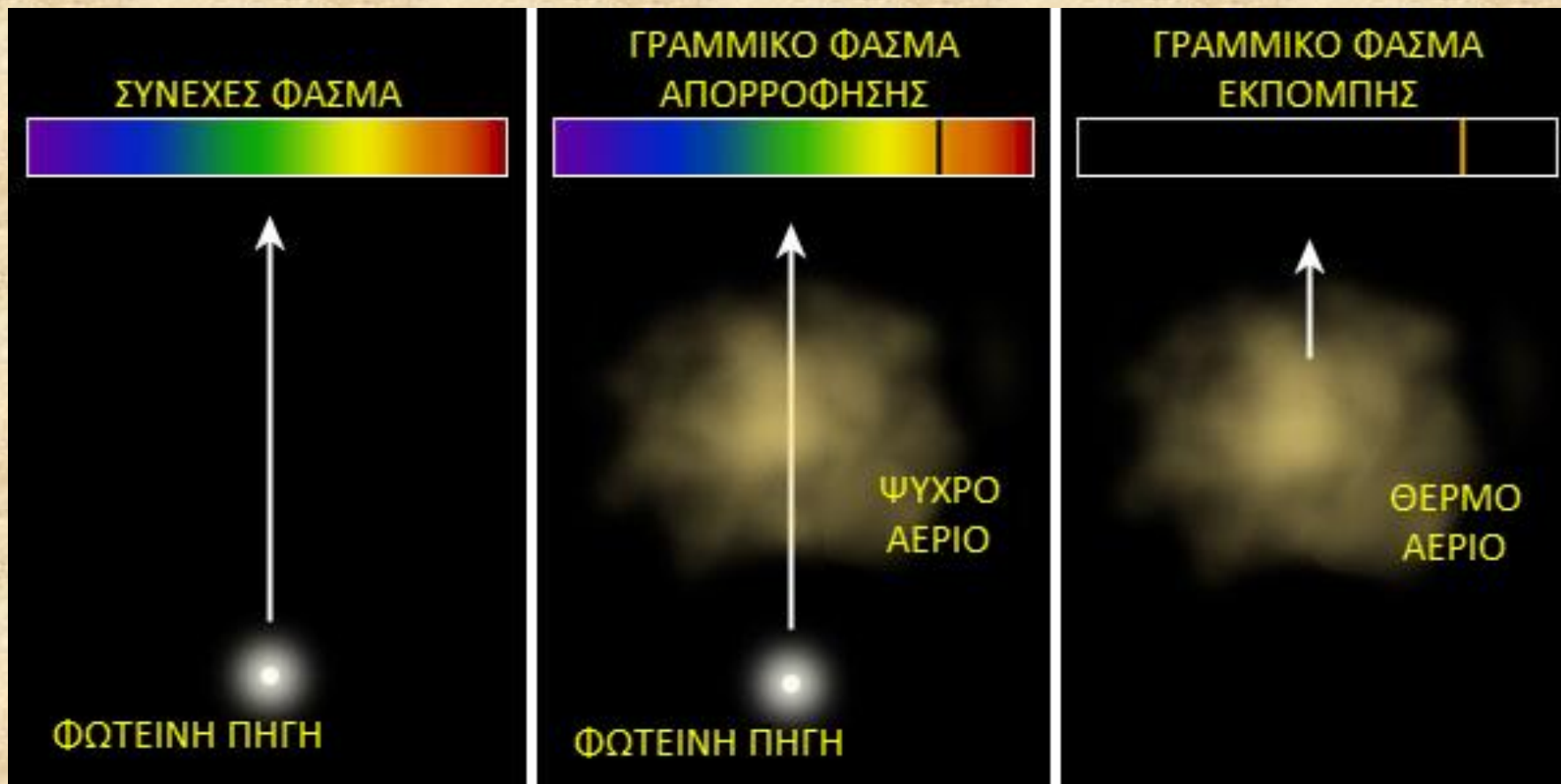
- Η συνεχής χρωματιστή ταινία που προκύπτει όταν το φως μιας πηγής που εκπέμπει λευκό φως διέρχεται από ένα πρίσμα ονομάζεται **συνεχές φάσμα του λευκού φωτός**.
- Αν ανάμεσα στην πηγή του λευκού φωτός και στο πρίσμα τοποθετηθεί **γυάλινο δοχείο που περιέχει κάποιο αέριο**, τότε θα παρατηρήσουμε ότι 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 όπου εμφανίζονται οι **φωτεινές γραμμές του φάσματος εκπομπής**.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικά φάσματα

- Περιπτώσεις φασμάτων:



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ατομικά φάσματα

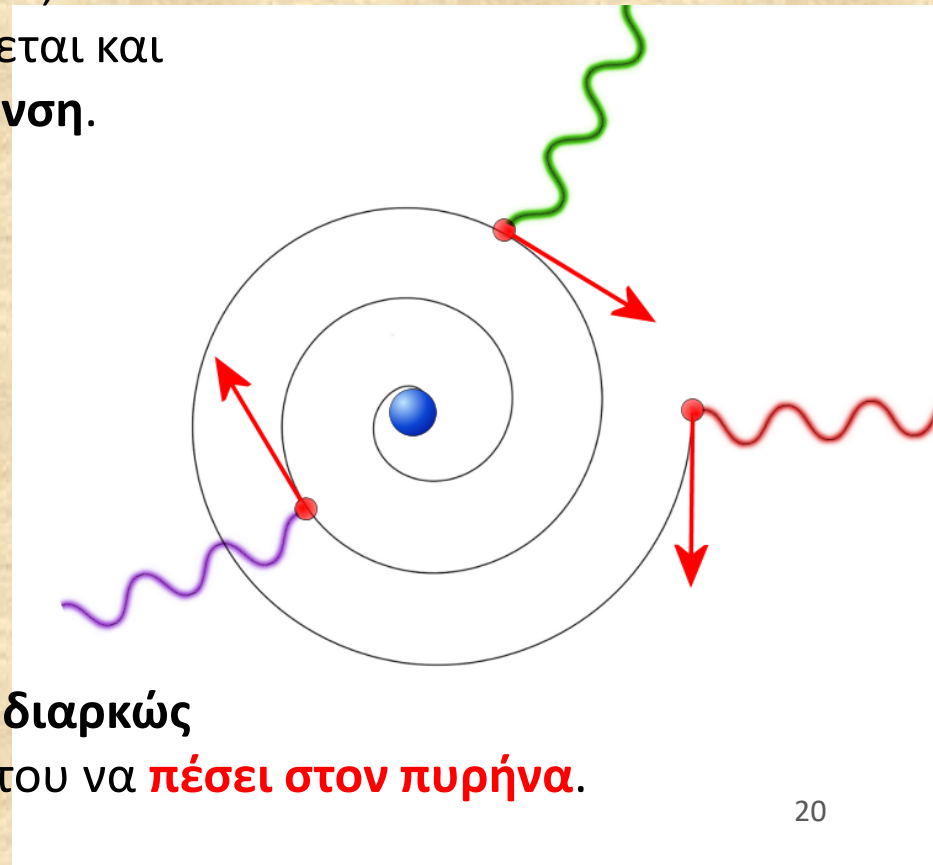
- Τα γραμμικά φάσματα των αερίων αποτέλεσαν το κλειδί για την **έρευνα της δομής του ατόμου**.
- Κάθε θεωρία για τη δομή του ατόμου πρέπει να εξηγεί γιατί τα άτομα εκπέμπουν ή απορροφούν **μόνο ορισμένες** ακτινοβολίες.
- Επίσης πρέπει να εξηγεί γιατί τα άτομα **απορροφούν** μόνο εκείνες τις ακτινοβολίες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



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Αδυναμίες του μοντέλου του Rutherford

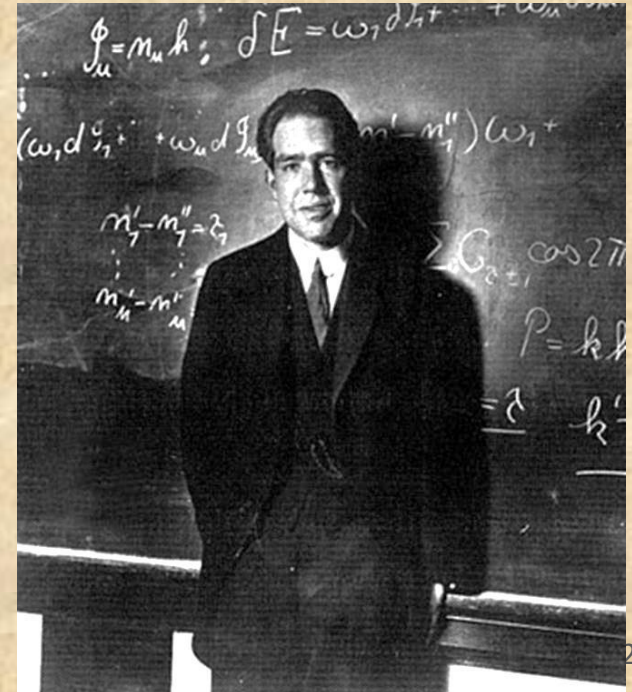
- Το μοντέλο του Rutherford αδυνατούσε να εξηγήσει τα **γραμμικά φάσματα των αερίων** για τους παρακάτω λόγους:
 - Το ηλεκτρόνιο περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα σε κυκλική τροχιά. Το μέτρο της **ταχύτητάς** του είναι σταθερό, αλλά η κατεύθυνσή της συνεχώς μεταβάλλεται και επομένως το ηλεκτρόνιο έχει **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**. Άρα θα κινείται σε σπειροειδή τροχιά με διαρκώς μειούμενη ακτίνα και με διαρκώς μεταβαλλόμενη συχνότητα, μέχρις ότου να **πέσει στον πυρήνα**.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Αδυναμίες του μοντέλου του Rutherford

- 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.
- Συνοψίζοντας, σύμφωνα με την **κλασική Φυσική**, το επιταχυνόμενο ηλεκτρόνιο έπρεπε να εκπέμπει **συνεχές φάσμα** και με σπειροειδή τροχιά να πέφτει στον πυρήνα.
- Για να ερμηνεύσει τα **γραμμικά φάσματα του υδρογόνου**, ο Δανός φυσικός **Niels Bohr** πρότεινε ένα **νέο πρότυπο** για το άτομο του υδρογόνου.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Το πρότυπο του Bohr για το υδρογόνο

- Ο Bohr πρότεινε **ένα νέο πρότυπο για το άτομο**, θέλοντας να ερμηνεύσει τα **γραμμικά φάσματα των αερίων** και να απαντήσει στα ερωτήματα που δεν μπορούσε να εξηγήσει η **κλασική Φυσική**:
 - Γιατί το **υδρογόνο εκπέμπει μόνο ορισμένα μήκη κύματος** ακτινοβολίας;
 - Γιατί **απορροφά μόνο τα μήκη κύματος που εκπέμπει**;



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

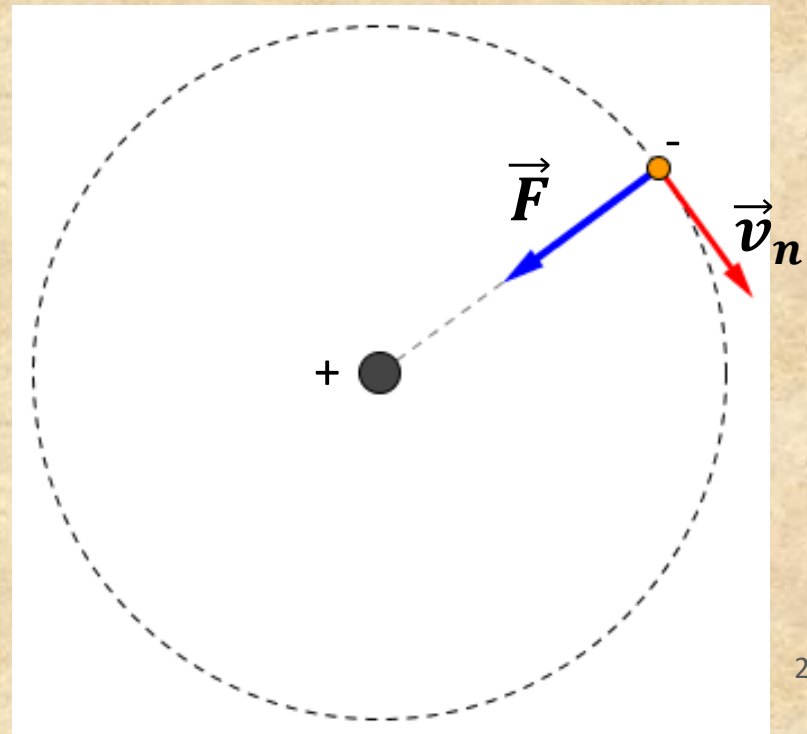
Το πρότυπο του Bohr για το υδρογόνο

- Το **πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου**, στηρίζεται στις παρακάτω παραδοχές:

(α) Το **ηλεκτρόνιο** του ατόμου του υδρογόνου **περιφέρεται** σε κυκλική τροχιά γύρω από το **θετικά φορτισμένο πυρήνα** με την επίδραση της **δύναμης Coulomb** που δέχεται από αυτόν.

Το πρωτόνιο θεωρείται ακίνητο.

Η δύναμη Coulomb F προκαλεί την απαιτούμενη **κεντρομόλο επιτάχυνση**.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Το πρότυπο του Bohr για το υδρογόνο

(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 Plank**.

Το μέτρο της στροφορμής του ηλεκτρονίου δίνεται από την εξίσωση:

$$L = m \cdot v \cdot r$$

m : η μάζα του ηλεκτρονίου

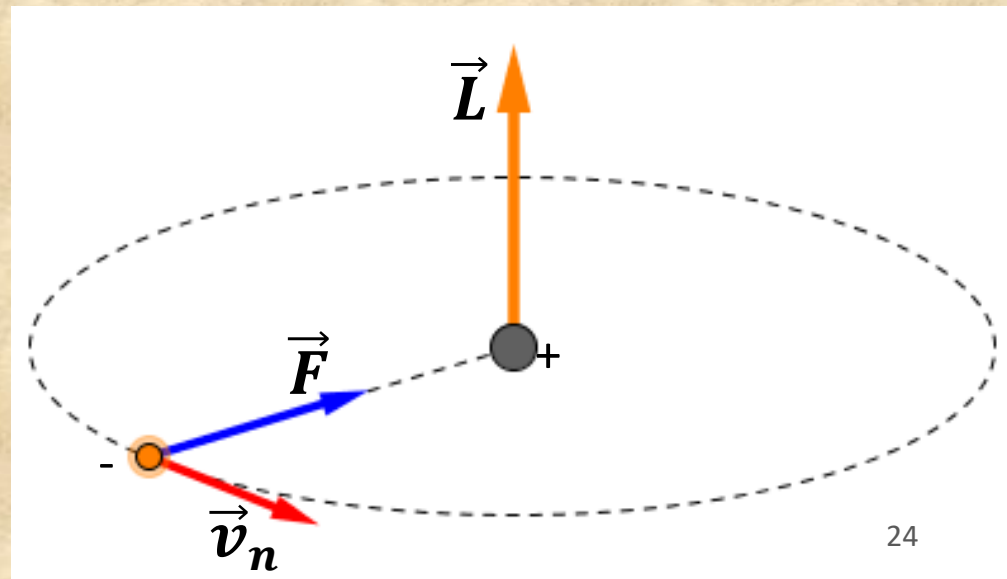
v : το μέτρο της ταχύτητάς του

r : η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του

Επομένως:

$$L = n \cdot \hbar$$

όπου $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$

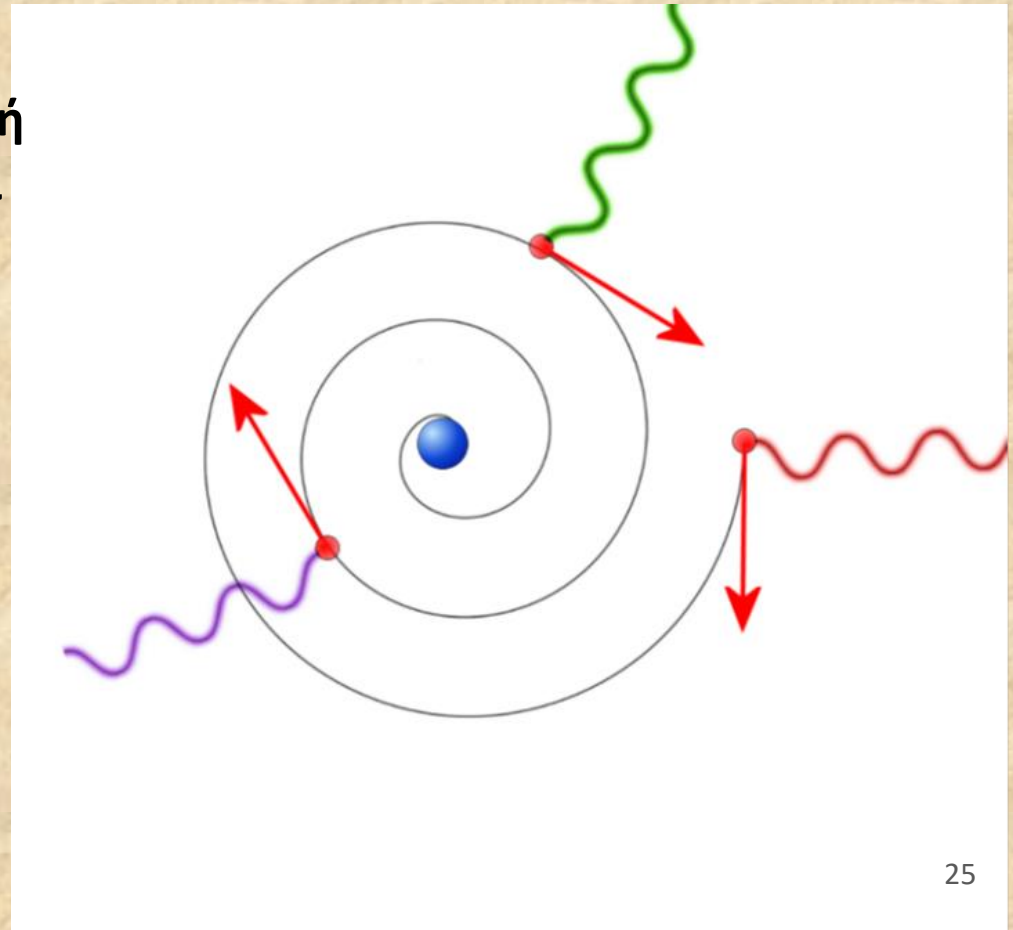


4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Το πρότυπο του Bohr για το υδρογόνο

(γ) Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται σε ορισμένη επιτρεπόμενη τροχιά, δεν εκπέμπει, ακτινοβολία.

Η παραδοχή αυτή έρχεται σε αντίθεση με την κλασική 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.



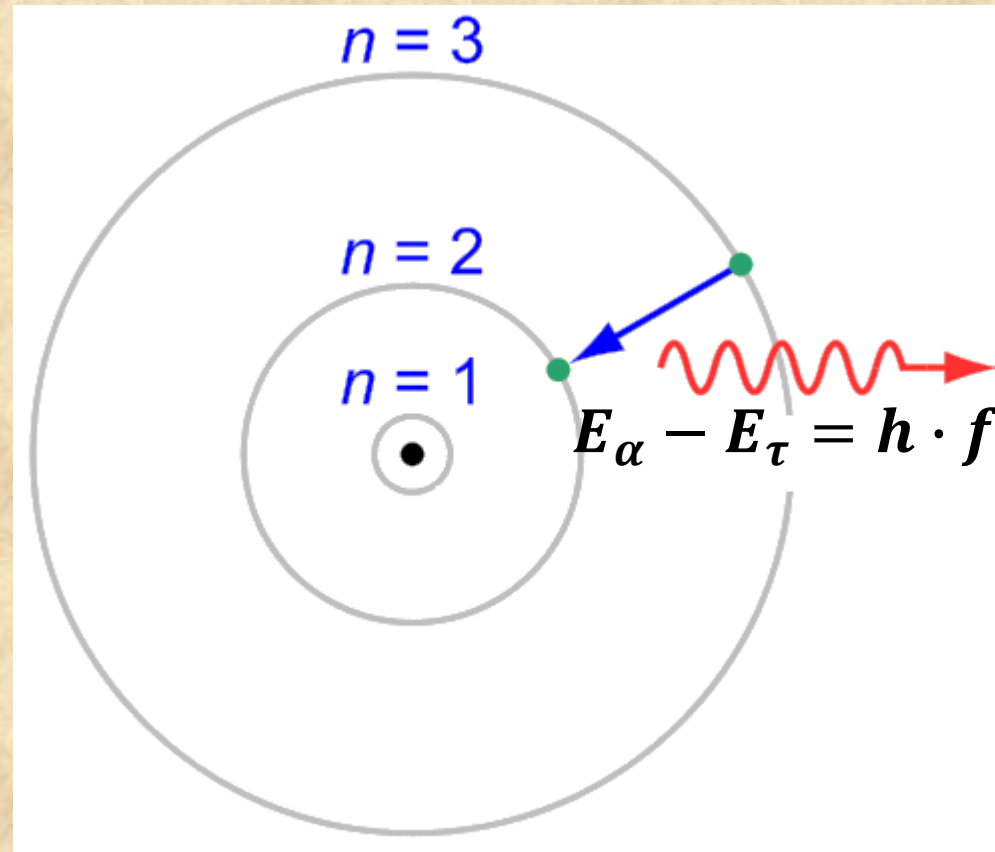
4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Το πρότυπο του Bohr για το υδρογόνο

(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 $h \cdot f$ η ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου, τότε ισχύει:

$$E_\alpha - E_\tau = h \cdot f$$



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ολική ενέργεια ηλεκτρονίου

- Θεωρούμε ότι το ηλεκτρόνιο περιφέρεται γύρω από τον **ακίνητο πυρήνα**, ο οποίος αποτελείται από **ένα πρωτόνιο**. Η **κινητική**, η **δυναμική** και η **ολική ενέργεια** του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου προκύπτουν ως εξής:
- Η **ηλεκτρική ελκτική δύναμη** που ασκεί ο πυρήνας στο ηλεκτρόνιο και η **κεντρομόλος επιτάχυνση του ηλεκτρονίου** είναι αντίστοιχα:

$$F = k \cdot \frac{e^2}{r^2} \quad \alpha_{\kappa} = \frac{v^2}{r}$$

- Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα είναι $F = m \cdot \alpha_{\kappa}$ άρα:

$$k \cdot \frac{e^2}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = e \cdot \sqrt{\frac{k}{m \cdot r}}$$

- Η **κινητική** και η **δυναμική ενέργεια** θα είναι αντίστοιχα K και U :

$$K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot e^2 \cdot \frac{k}{m \cdot r} \Rightarrow K = k \cdot \frac{e^2}{2 \cdot r} \text{ και } U = -k \cdot \frac{e^2}{r}$$

4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Ολική ενέργεια ηλεκτρονίου

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

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

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

4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Επιτρεπόμενες τροχιές και τιμές ενέργειας

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

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

- Ο n είναι ακέραιος θετικός αριθμός, που ονομάζεται **κύριος κβαντικός αριθμός**, και είναι: $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$
- Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται στην τροχιά με τη μικρότερη ακτίνα ($n = 1$), τότε έχει την ελάχιστη ενέργεια, που είναι ίση με: $E_1 = -13,6 eV$.
- Όταν κινείται στις άλλες επιτρεπόμενες τροχιές, τότε έχει **ολική ενέργεια** που δίνεται από την εξίσωση:

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

4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Επιτρεπόμενες τροχιές και τιμές ενέργειας

- Οι επιτρεπόμενες τιμές της ακτίνας και της ενέργειας υπολογίζονται αντικαθιστώντας $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$ στους παραπάνω τύπους:

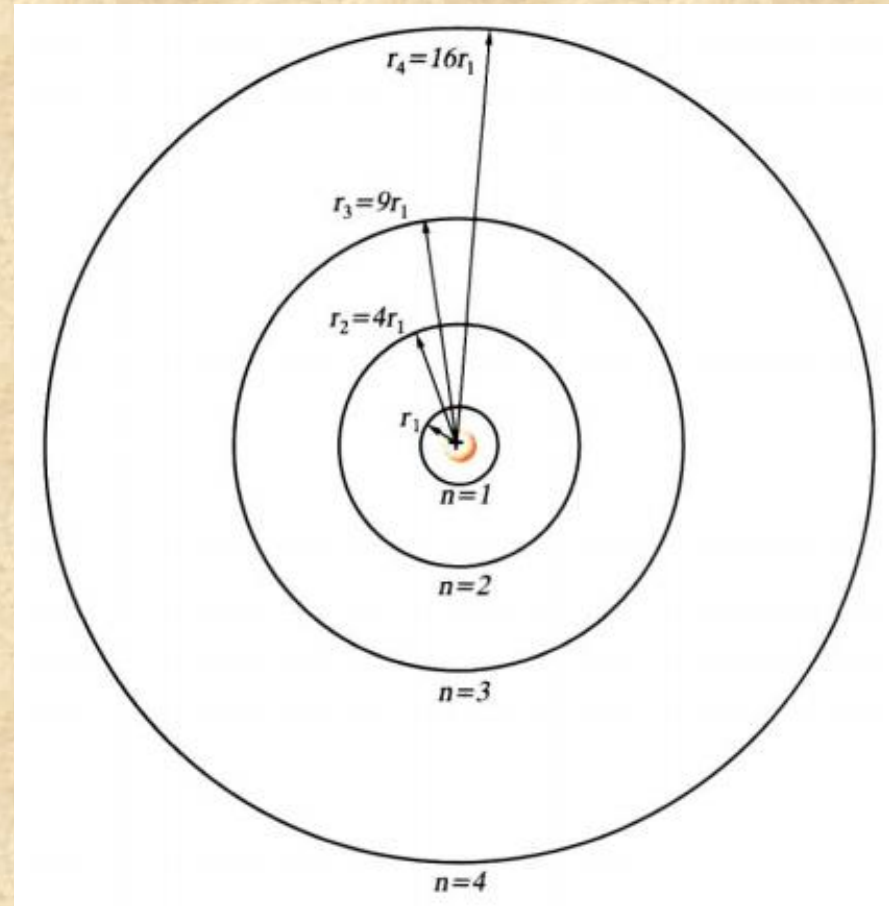
Κύριος κβαντικός αριθμός	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	...	$n \rightarrow \infty$
Ακτίνα	r_1	$4 \cdot r_1$	$9 \cdot r_1$	...	∞
Ολική ενέργεια	E_1	$E_1/4$	$E_1/9$	...	0

- 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 του **αρνητικού πρόσημου** της ολικής ενέργειας είναι ότι **απαιτείται προσφορά ενέργειας**, για να απομακρυνθεί το ηλεκτρόνιο σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου τον πυρήνα.

4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Επιτρεπόμενες τροχιές και τιμές ενέργειας

- **Επιτρεπόμενες τροχιές** του ηλεκτρονίου στο **πρότυπο του Bohr** για το **άτομο του υδρογόνου**:
- 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.
- Η κβάντωση της ενέργειας έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη της **κβαντομηχανικής**. Όμως η κβάντωση της στροφορμής, σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, έχει ιστορική μόνο σημασία.



4.1 Ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Παράδειγμα 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 $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}\text{m}$. 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: $r_n = n^2 \cdot r_1$

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

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

Η ολική ενέργεια του ατόμου δίνεται από την εξίσωση: $E_n = E_1/n^2$

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

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