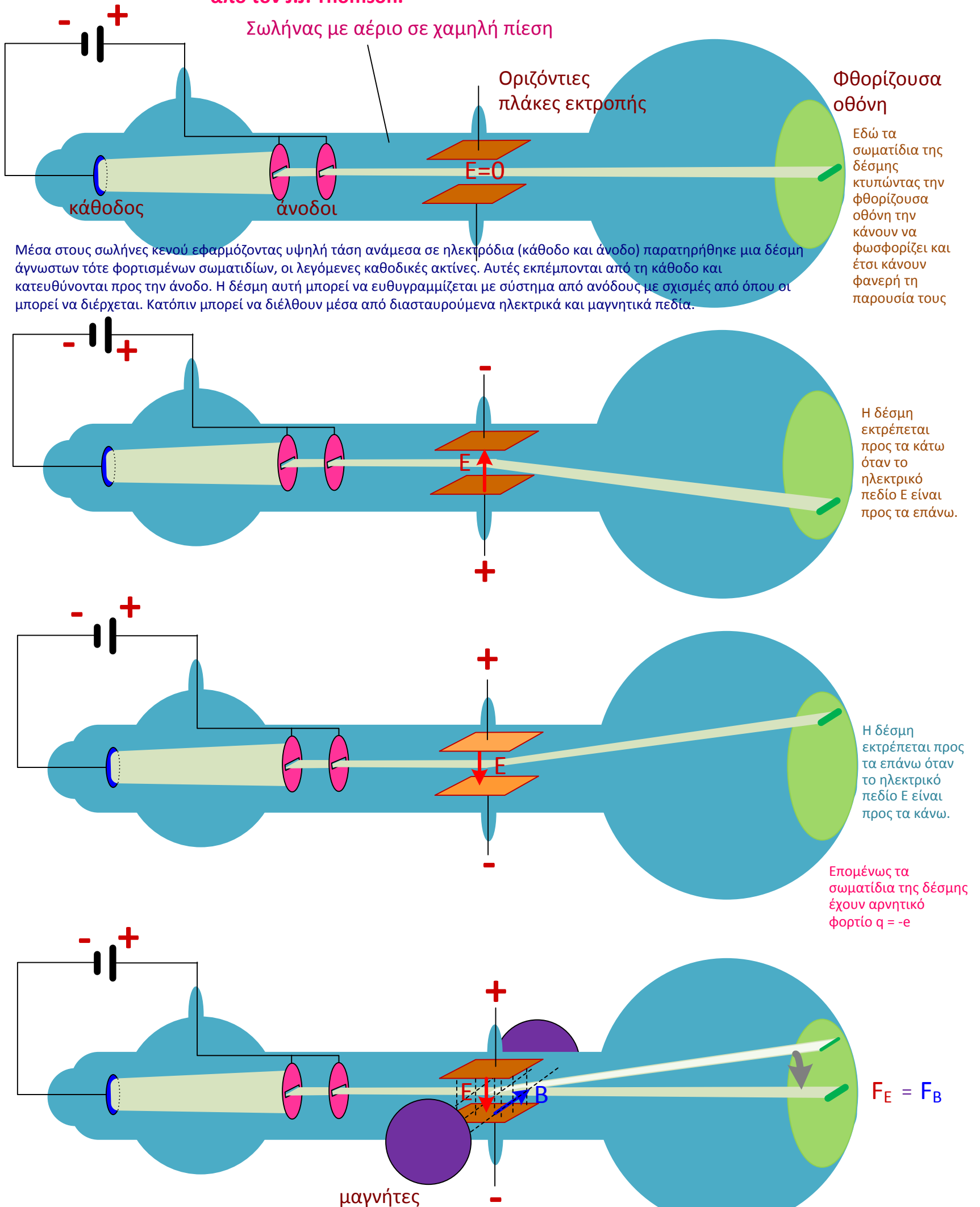


# ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΥΛΗΣ

## Το ηλεκτρόνιο

ανακαλύφθηκε και μετρήθηκε ο λόγος  $e/m$  σε σωλήνες καθοδικών ακτίνων από τον J.J. Thomson.



Μέσα στους σωλήνες κενού εφαρμόζοντας υψηλή τάση ανάμεσα σε ηλεκτρόδια (κάθοδο και άνοδο) παρατηρήθηκε μια δέσμη άγνωστων τότε φορτισμένων σωματιδίων, οι λεγόμενες καθοδικές ακτίνες. Αυτές εκπέμπονται από τη κάθοδο και κατευθύνονται προς την άνοδο. Η δέσμη αυτή μπορεί να ευθυγραμμίζεται με σύστημα από ανόδους με σχισμές από όπου οι μπορεί να διέρχεται. Κατόπιν μπορεί να διέλθουν μέσα από διασταυρούμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.

Εδώ τα σωματίδια της δέσμης κτυπώντας την φθορίζουσα οθόνη την κάνουν να φωσφορίζει και έτσι κάνουν φανερή τη παρουσία τους

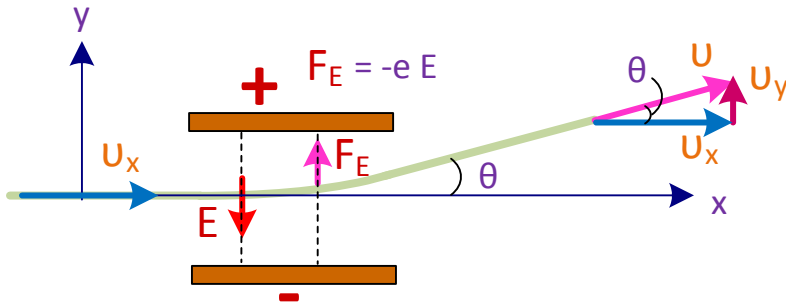
Η δέσμη εκτρέπεται προς τα κάτω όταν το ηλεκτρικό πεδίο  $E$  είναι προς τα επάνω.

Η δέσμη εκτρέπεται προς τα επάνω όταν το ηλεκτρικό πεδίο  $E$  είναι προς τα κάτω.

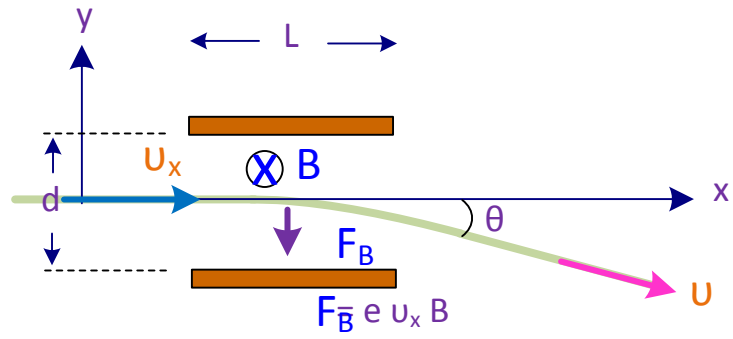
Επομένως τα σωματίδια της δέσμης έχουν αρνητικό φορτίο  $q = -e$

Με εφαρμογή επιπλέον διασταυρούμενου μαγνητικού πεδίου  $B$  και για τη δεδομένη  $u_x$ , μπορούμε να ρυθμίσουμε το ηλεκτρικό πεδίο  $E$  και μαγνητικό πεδίο  $B$  ώστε να μην αποκλίνει η δέσμη δηλ  $F_{ηλ} = F_E = F_{Μαγν} = F_B$

Μόνο του το ηλεκτρικό πεδίο εκτρέπει τη δέσμη προς τα επάνω



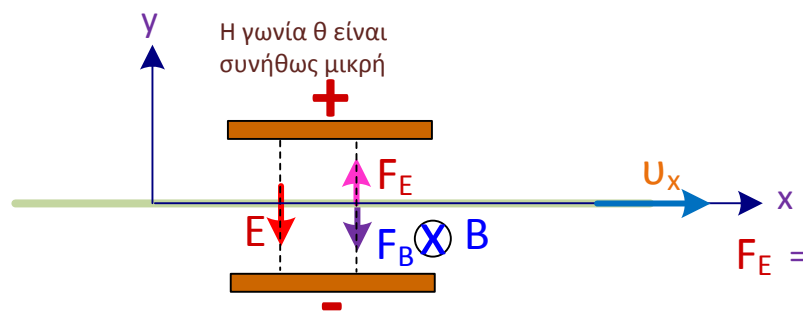
$$u_y = a_y t = (F_E / m) (L / u_x) = (E e / m) (L / u_x)$$



Μόνο του το μαγνητικό πεδίο εκτρέπει τη δέσμη προς τα κάτω

$$\tan \theta = \theta = u_y / u_x = (EL) / (u_x^2) (e/m)$$

Έτσι μετράται ο λόγος e/m και όχι το στοιχειώδες φορτίο e  
 $(e/m) = (\theta E) / (L B^2)$



Η γωνία θ είναι συνήθως μικρή

$$F_E = F_B \quad e E = e u_x B \quad u_x = E / B$$

Έτσι μετρήθηκε η ταχύτητα  $u_x$

Για τη δεδομένη  $u_x$ , μπορούμε να ρυθμίσουμε το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο ώστε να μην αποκλίνει η δέσμη, δηλ. όταν:

$$F_E = F_B$$

$$(e/m) = (\theta E) / (L B^2)$$

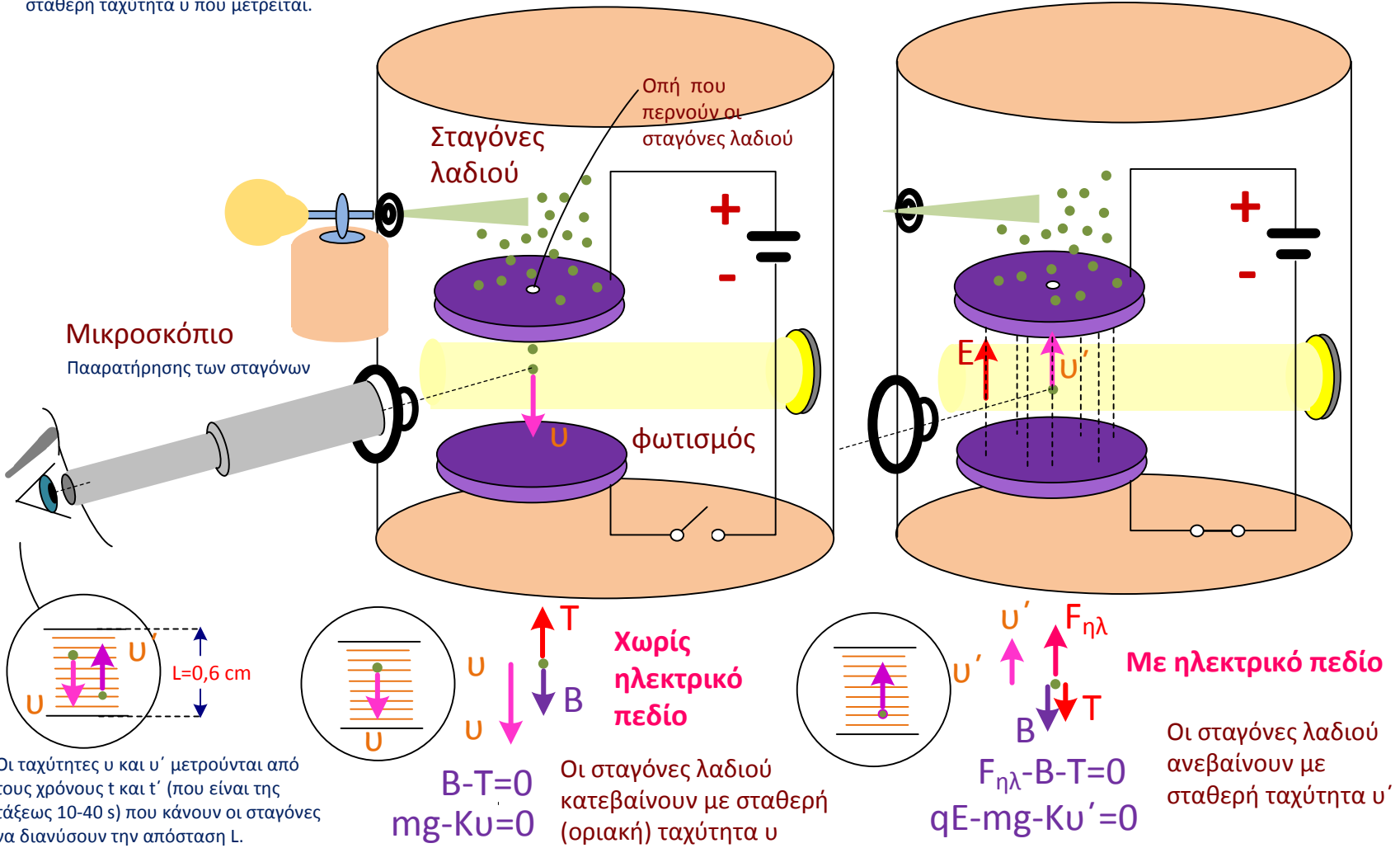
Έτσι ο J.J. Thomson μέτρησε το λόγο e/m των καθοδικών ακτίνων που είναι σωματίδια αρνητικού φορτίου -e. Βρήκε λόγο e/m 1000 περίπου φορές λιγότερο από αυτή του μικρότερου ατόμου που είχε μετρηθεί με ηλεκτρόλυση.

Ο λόγος (e/m) βρέθηκε ανεξάρτητος του αερίου του καθοδικού σωλήνα και ότι είναι ίδιος με τον αντίστοιχο λόγο των σωματιδίων που εκπέμπονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Άρα το σωματίδια των καθοδικών ακτίνων έπρεπε να είναι κοινά συστατικά της ύλης. Είχε ανακαλύψει τα ηλεκτρόνια.

# Μέτρηση του φορτίου e του ηλεκτρονίου από τον Millikan

Ο Millikan χρησιμοποίησε θάλαμο όπου δοχέτευε σταγόνες λαδιού οι οποίες φορτιζόνταν λόγω τριβής στο ακροφύσιο κατά τη διάρκεια της εκτόξευσής τους στο θάλαμο με φορτίο  $q_i$ . Οι σταγόνες εν σθενεία διαπερνούν μέσω μια οπής στο χώρο μεταξύ 2 επίπεδων πλακών όπου μπορεί να εφαρμοστεί ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο έλκει τις σταγόνες προς επάνω και έτσι οι σταγόνες φθάνουν μια σταθερή ταχύτητα  $u'$  που μετρείται. Χωρίς ηλεκτρικό πεδίο η σταγόνα κινείται προς τα κάτω φθάνοντας μια σταθερή ταχύτητα  $u$  που μετρείται.



## Νόμος Stokes

Ο συντελεστής  $K$  τριβής στην δύναμη αντίστασης (τριβής) του αέρα στη σταγόνα

Με απαλοιφή του  $K$  βρίσκουμε

$$K = 6\pi\eta r$$

$r$  : Η ακτίνα του σταγονιδίου λαδιού  
 $\eta$  : Το ιξώδες του αέρα

$$mg = Ku$$

$$mg = 4/3\pi r^3 \rho g = 6\pi\eta r u$$

$$4/3\pi r^2 \rho g = 6\pi\eta u$$

$$r = \sqrt{\frac{9\eta u}{2\rho g}}$$

Έτσι μετρώντας την οριακή ταχύτητα  $u$  προσδιορίζεται η ακτίνα  $r$  των σταγονιδίων και μετά η μάζα τους  $m$  από :

$$m = 4/3\pi r^3 \rho$$

$$mg - Ku = 0$$

$$qE - mg - Ku' = 0$$

Απαλοΐφοντας το  $K$  από τις

βρίσκουμε

$$q = \frac{mg}{E} \frac{u + u'}{u}$$

Βρέθηκε πως η ταχύτητες  $u'$  που μετρούσαν είχαν ασυνεχή μεταβολή σε  $u_1', u_2', u_3'$  κλπ

$$q_i = \frac{mg}{E} \frac{u + u_i'}{u}$$

Έτσι οι λόγοι των διαδοχικών φορτίων και ταχυτήτων  $q_i, q_{i+1}$  είναι:

Βρέθηκαν να είναι λόγοι ακέραιων αριθμών

$$q_i = \lambda e$$

$$\frac{q_i}{q_{i+1}} = \frac{u + u_i'}{u + u_{i+1}'}$$

$$\frac{q_i}{q_{i+1}} = \frac{\lambda}{\mu}$$

Άρα το φορτίο ήταν ακέραιο πολλαπλάσιο του θεμελιώδους φορτίου  $e$ . Δηλ. είναι κβαντισμένο.

Έτσι το  $e$  μετρήθηκε για πρώτη φορά με ακρίβεια στο δεύτερο σημαντικό ψηφίο  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Σήμερα η γνωστή τιμή του  $e$  είναι :  $e = 1,602189 \times 10^{-19} \text{ C}$

## Εναλλακτικός τρόπος:

Το ηλεκτρ. πεδίο μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε η σταγόνα λαδιού να ισορροπεί

$$F_{ηλ} = B$$

$$q_i E_i = mg$$

$$q_i = mg / E_i$$

Όπου μπορεί να βρεθεί ότι το φορτίο  $q_i$  είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του θεμελιώδους φορτίου  $e$

Όμως αυτή η μέθοδος δεν έχει αρκετή ακρίβεια

$$q_i = \lambda e$$

Το γεγονός ότι από τα αρχέγονα αδιαίρετα άτομα μπορούν να αποσπαστεί μάζα (ηλεκτρόνια) ώστε αυτά να φορτιστούν, φανερώνει ότι αυτά είναι σύνθετα και μπορούν να διαραγούν

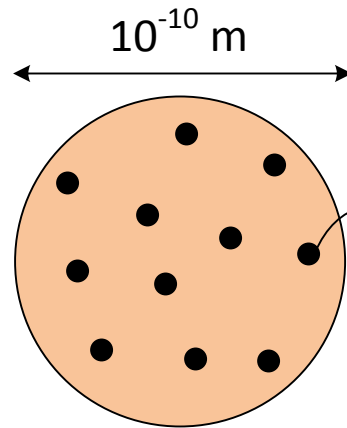
Αυτή η άποψη ενισχύθηκε από το γεγονός ότι τα άτομα παρουσιάζουν ραδιενέργεια εκπέμποντας υποατομικά σωματίδια.

Έτσι παρουσιάστηκε η ανάγκη για την ανάπτυξη του μοντέλου της δομής του ατόμου

## ΑΡΧΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΤΟΜΟΥ του Thomson

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο :

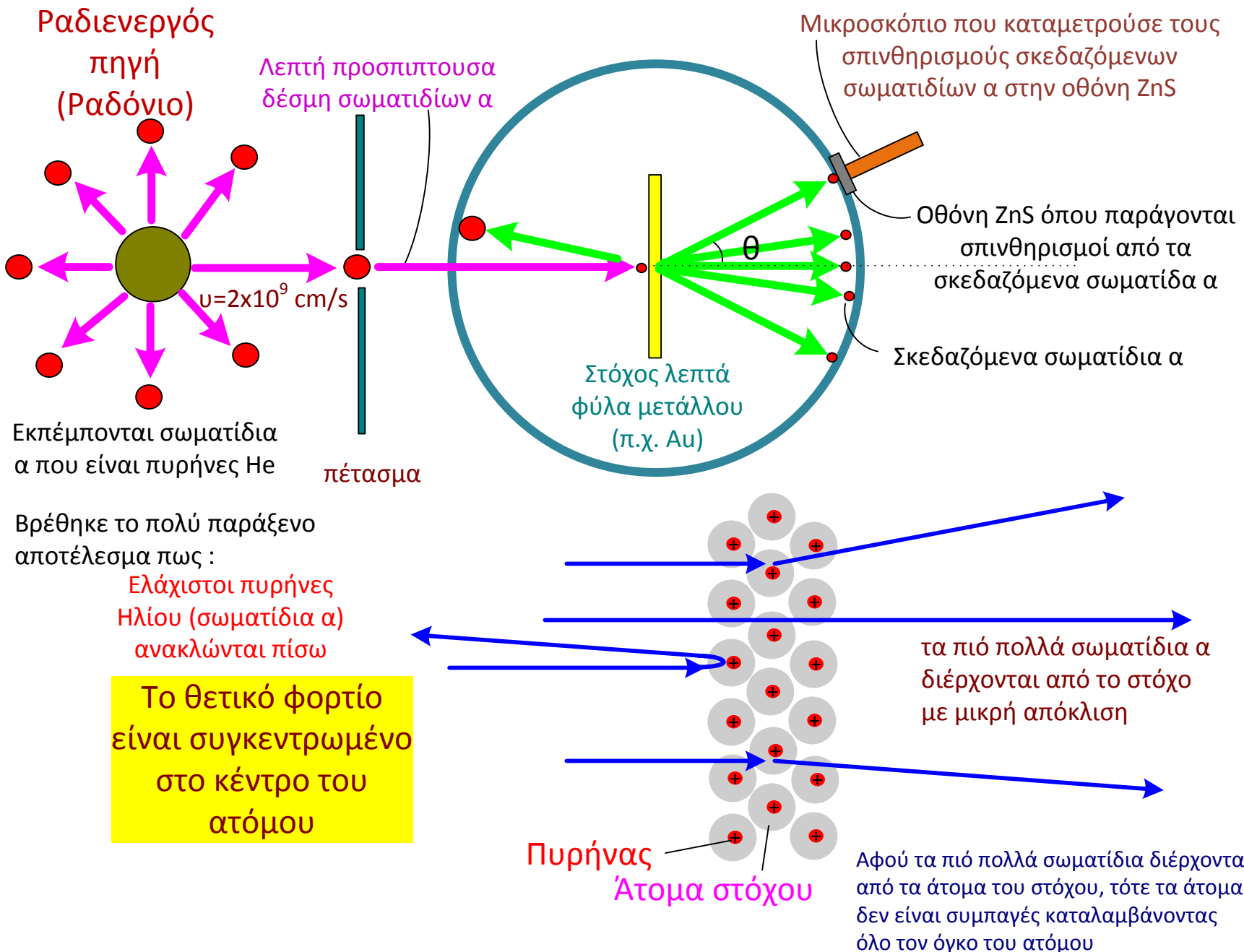
Η μάζα του ατόμου και θετικό φορτίο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε σφαίρα διαμέτρου της τάξεως του  $10^{-10}$  m αυτής του ατόμου



Μέσα στο άτομο ήταν διάσπαρτα σαν (τις σταφίδες σε σταφιδόψωμο) τα αρνητικού φορτίου ηλεκτρόνια

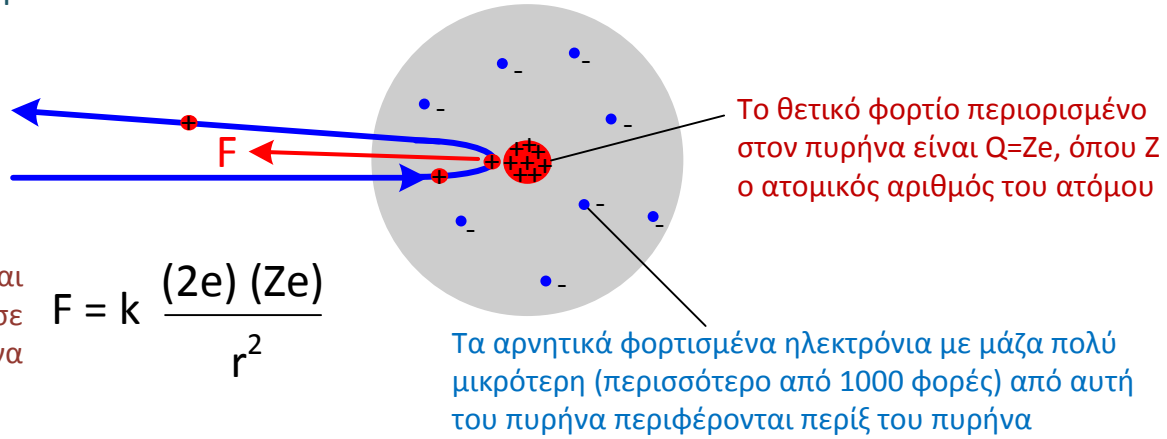
Όμως το μοντέλο αυτό δεν μπορούσε να εξηγήσει τα πειράματα σκέδασης του Rutherford

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΤΟΜΟΥ πειράματα σκέδασης Rutherford



Το γεγονός ότι τα σωματίδια σποραδικά εκτρέπονται προς τα πίσω μπορεί να ερμηνευτεί θεωρώντας ότι όλη η θετικά φορτισμένη μάζα του πυρήνα είναι συγκεντρωμένη σε πολύ μικρή ακτίνα στο κέντρο του ατόμου.

...έτσι τα σωματίδια α όταν προσκρούουν κεντρικά με τον πυρήνα ανακλώνται προς τα πίσω λόγω της πολύ μεγάλης ηλεκτρικής δύναμης  $F$  άπωσης



Η ηλεκτρική δύναμη  $F$  που δέχεται από τον πυρήνα το σωματίδιο  $\alpha$  σε απόσταση  $r$  από τον πυρήνα

$$F = k \frac{(2e)(Ze)}{r^2}$$

## Πως υπολογίστηκε η διάμετρος του πυρήνα

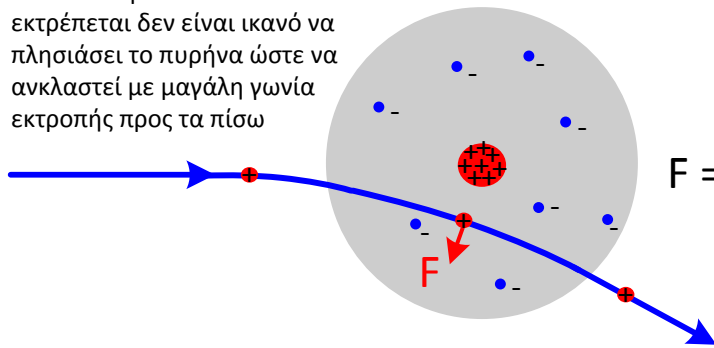
Καθώς το σωματίδιο  $\alpha$  οδεύει για να προσκρουσθεί κεντρικά με τον πυρήνα με κινητική ενέργεια  $K_\alpha$  αποκρούεται με την επίδραση της ηλεκτρικής δύναμης...

...τότε η κινητική ενέργεια του σωματιδίου  $\alpha$  μετασχηματίζεται σε δυναμική ενέργεια του συστήματος ακίνητος πυρήνας-σωμάτιο  $\alpha$

Για να πλησιάσει το σωματίδιο  $\alpha$  στα όρια της ακτίνας  $r_0$  του πυρήνα και να ανακλασθεί θα πρέπει η κινητική του ενέργεια  $K_\alpha(\max)$  να γίνει ίση δυναμική ενέργεια  $U(r_0)$  του συστήματος σωματιδίου  $\alpha$ -πυρήνα

Αν  $K_\alpha(\max) < U(r_0)$

Τότε το σωματίδιο  $\alpha$  απλά εκτρέπεται δεν είναι ικανό να πλησιάσει το πυρήνα ώστε να ανακλασθεί με μεγάλη γωνία εκτροπής προς τα πίσω

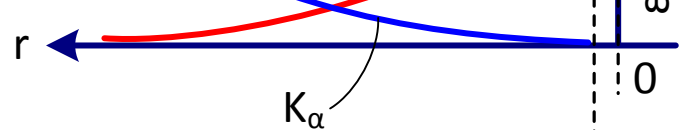


$$F = k \frac{(2e)(Ze)}{r^2}$$

$$K_\alpha(\max) = U(r_0)$$

$$U(r) = k \frac{(2e)(Ze)}{r}$$

$$K_\alpha(\max)$$



κινητική ενέργεια του σωματιδίου ισούται με δυναμική ενέργεια  $U(r_0)$  του συστήματος σωματιδίου  $\alpha$ -πυρήνα

$$K_\alpha = k \frac{(2e)(Ze)}{r_0} \quad r_0 = k \frac{(2e)(Ze)}{K_\alpha}$$

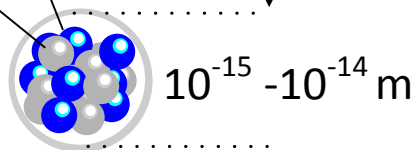
$$K_\alpha(\max) = U(r_0)$$

Με  $K_\alpha = 7,7 \text{ MeV}$  Και για άτομα αλουμινίου με  $Z=13$  βρίσκεται

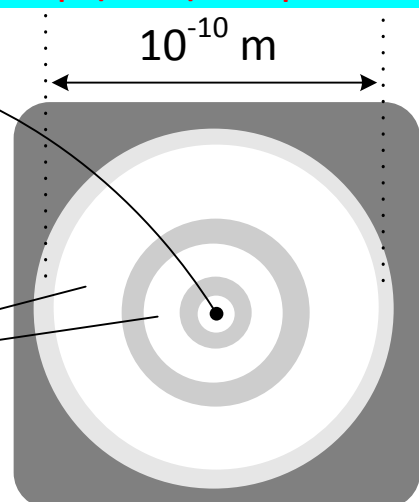
$$r_0 = 4,9 \times 10^{-15} \text{ m}$$

**Τεράστια η απόσταση μεταξύ πυρήνα-ηλεκτρονίων**

Πρωτόνιο  
Νετρόνιο  
Πυρήνας



ηλεκτρονικό νέφος



Αν τον πυρήνα τον παρασίσουμε με 2 mm, τότε η ακτίνα του ατόμου πρέπει να τη σχεδιάσουμε σε απόσταση  $1 \text{ mm} \times 10^5 = 100 \text{ m} !!!$



# ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΤΟΜΟΥ ΑΤΟΜΟΥ

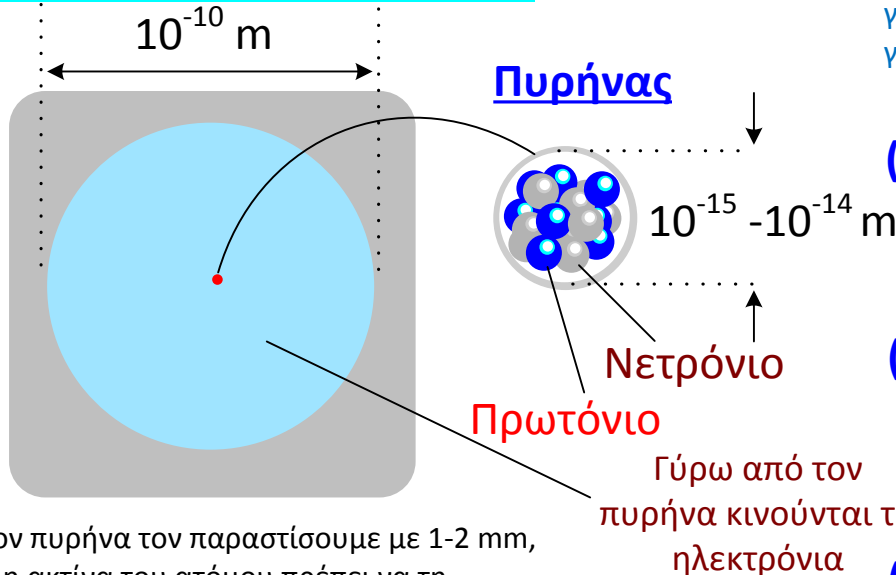
## μετά τα πειράματα σκέδασης Rutherford

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο :

Η μάζα του ατόμου μαζί με όλο το θετικό φορτίο είναι συγκεντρωμένη σε μια πολύ μικρή περιοχή σφαίρα διαμέτρου της τάξεως του  $10^{-15} - 10^{-14}$  m που αποτελεί τον πυρήνα του ατόμου

Όλο το θετικό φορτίο του πυρήνα είναι  $Q=Ze$ , όπου  $Z$  είναι ο ατομικός αριθμός ο οποίος είναι το μισό του ατομικού βάρους του ατόμου

Τεράστια η απόσταση μεταξύ πυρήνα-ηλεκτρονίων



Αν τον πυρήνα τον παραστίσουμε με 1-2 mm, τότε η ακτίνα του ατόμου πρέπει να τη σχεδιάσουμε σε απόσταση  $mm \times 10^5 = 100$  m !!!

Στα 2 πρώτα ερωτήματα δώθηκε πολύ αργότερα το 1921 με τη ανακάλυψη του νετρονίου από τον Chadwick.

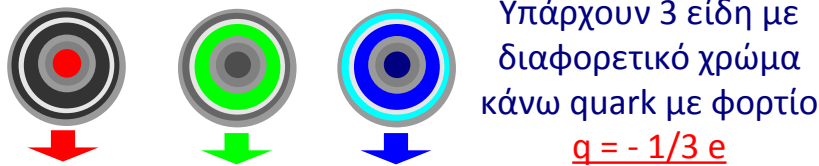
Ανακαλύφθηκε πως τα σωματίδια του πυρήνα συγκρατούνται μέσω ενός νέου πεδίου πολύ ισχυρών δυνάμεων.

Σήμερα γνωρίζουμε πως ο πυρήνας αποτελείται από τα θετικού φορτίου  $+e$  πρωτόνια και τα ηλεκτρ. ουδέτερα νετρόνια.

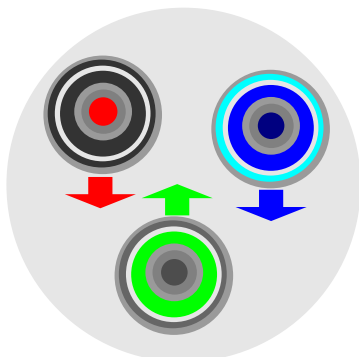
Τα δε πρωτόνια και ηλεκτρόνια αποτελούνται από τα quarks Τα οποία δεν μπορούν να βρεθούν ελεύθερα στη φύση και φέρουν φορτίο που είναι κλασματικό του φορτίου του ηλεκτρονίου.



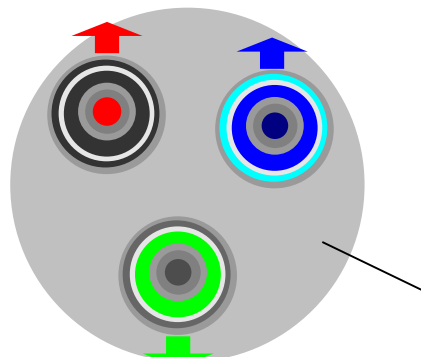
Υπάρχουν 3 είδη με διαφορετικό χρώμα πάνω quark με φορτίο  $q = +2/3 e$



Υπάρχουν 3 είδη με διαφορετικό χρώμα κάτω quark με φορτίο  $q = -1/3 e$



Νετρόνιο αποτελείται από 1πάνω 2κάτω quark διαφορετικού χρώματος :  $q = +2/3e - 1/3e - 1/3e = 0$



Το Πρωτόνιο αποτελείται από 2 πάνω 1 κάτω quark διαφορετικού χρώματος  $q = +2/3e + 2/3e - 1/3e = +e$  2πάνω + 1κάτω quark

Μετά από αυτή την ανακάλυψη όπως συνήθως γίνεται μετά πο μεγάλες ανακαλύψεις γεννήθηκαν άλλα μεγαλύτερα ερωτήματα όπως:

- (1) Αφού υπήρχαν  $Z$  θετικά φορτία όπως αυτά του υδρογόνου, τα λεγόμενα πρωτόνια, από τι τότε αποτελείται το άλλο μισό ατομικό βάρος?
- (2) Πως αντισταθμίζεται η τεράστια άπωση μεταξύ των  $Z$  θετικών σωματιδίων (πρωτονίων) μέσα στο τόσο μικρό χώρο του πυρήνα?
- (3) Πως κινούνται τα ηλεκτρόνια και πως εξηγούνται τα χαρακτηριστικά φάσματα εκπομπής και απορρόφησης των αερίων ?
- (4) Πως διατηρείται η ταυτότητα των ατόμων κατά την διάρκεια των αλληλεπιδράσεων όπου ανταλλάσσουν ενέργεια?

Πρώτα (1913) όμως δόθηκε απάντηση στο 3ο και 4ο ερώτημα από τον Niels Bohr ο οποίος διατύπωσε την νέα πολύ επαναστατική κβαντική θεωρία.

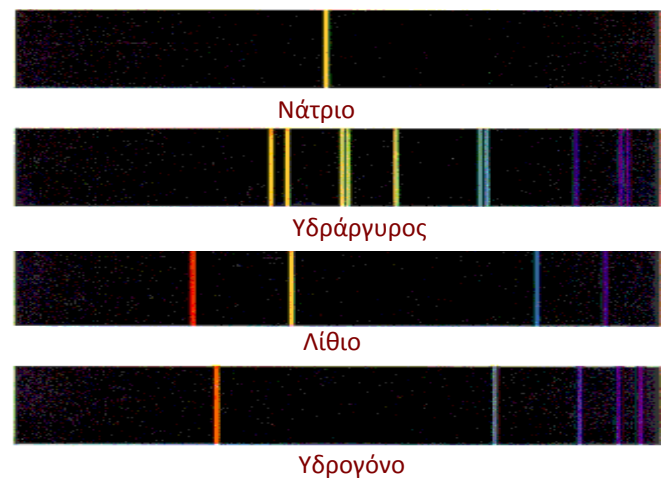
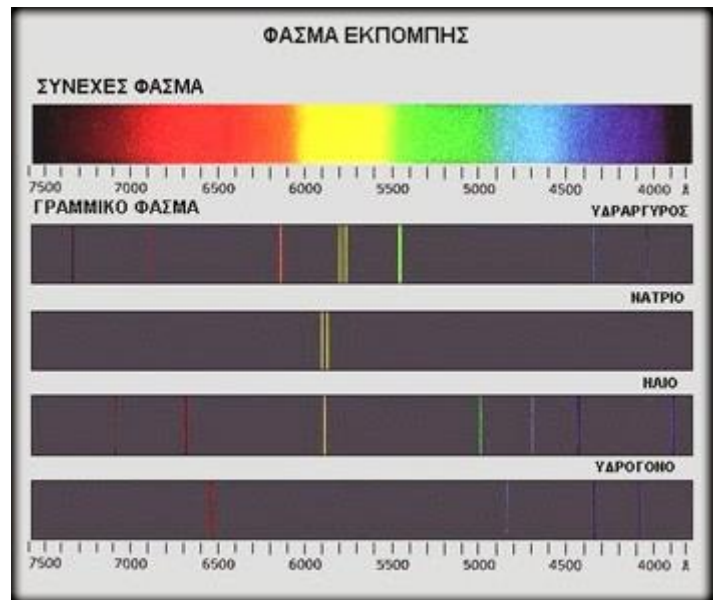
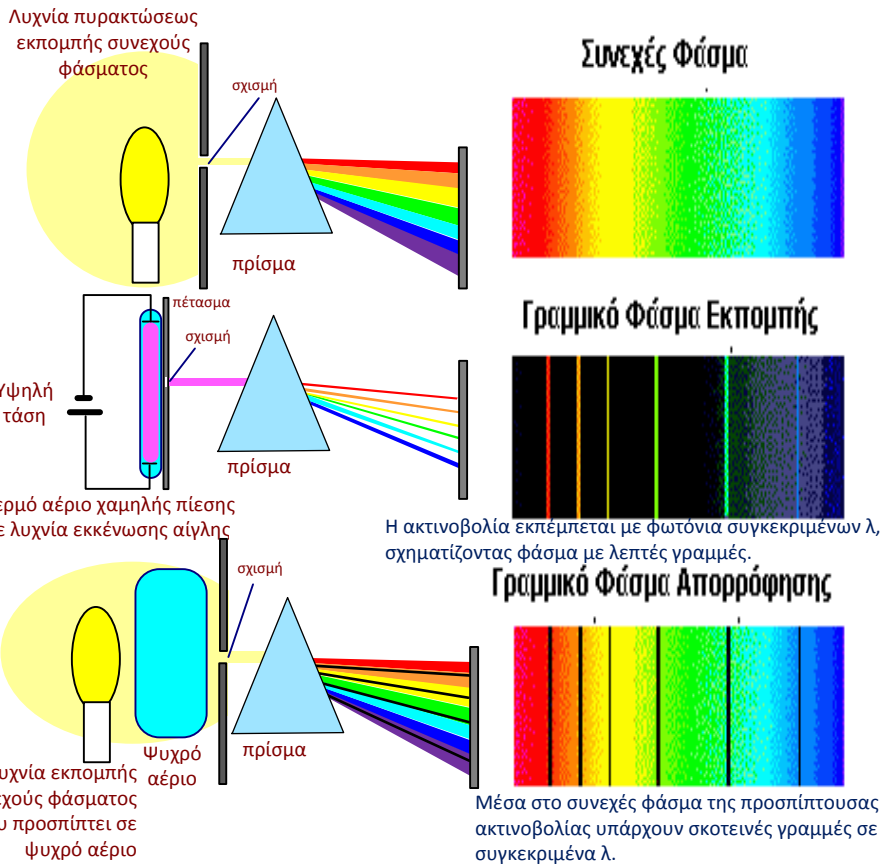
Με βάση τη κβαντική θεωρία του Bohr ερμηνεύτηκαν με πολύ μεγάλη επιτυχία τα πολύ περίεργα γραμμικά φάσματα των αερίων (υδρογόνου και απλά ιοντισμένου ηλίου)

..και επίσης πως διατηρείται η ταυτότητα των ατόμων κατά την διάρκεια των αλληλεπιδράσεων όπου ανταλλάσσουν ενέργεια.

Το χρώμα των Quark δεν αναφέρεται σε πραγματικό χρώμα αλλά σε κάποια ιδιότητα που αποκαλέστηκε χρώμα γιατί τα πρωτόνια και νετρόνια έχουν 3 Quark των διαφορετικών χρωμάτων σαν να αντιστοιχούσαν στα 3 βασικά κόκκινο, πράσινο και μπλέ χρώματα ώστε μαζί να κάνουν το λευκό χρώμα.

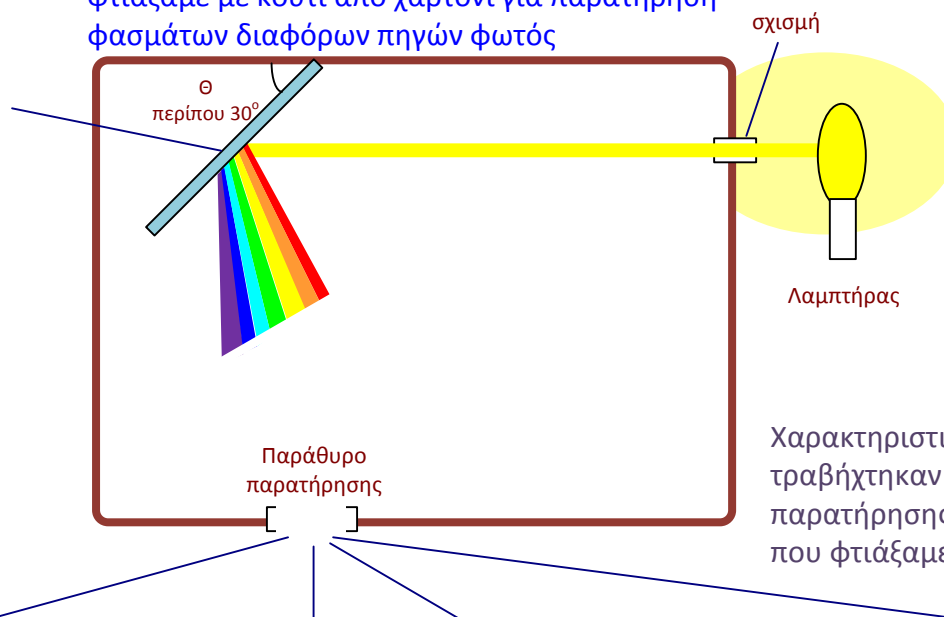
# Χαρακτηριστικά φάσματα διαφόρων πηγών φωτός

Με τη βοήθεια πετάσματος με σχισμή και πρίσματος μπορούμε να αναλύσουμε το φάσμα που εκπέμπεται από διάφορες χαρακτηριστικές πηγές φωτός



## Homemade φασματοσκόπιο φράγματος που φτιάξαμε με κουτί από χαρτόνι για παρατήρηση φασμάτων διαφόρων πηγών φωτός

Για φράγμα που αναλύει το φως χρησιμοποιήθηκαν τα αυλάκια (grooves) ενός CD



Χαρακτηριστικές φωτογραφίες που τραβήχτηκαν από το παράθυρο παρατήρησης του φασματοσκοπίου που φτιάξαμε.



Συνεχές φάσμα φυσικού φωτός του ήλιου.

Συνεχές φάσμα λαμπτήρα αλογόνου λευκού φωτός. Αποτελείται από όλα τα μήκη κύματος του ορατού φωτός και ταιριάζει πολύ καλά στο φυσικό φως του ήλιου.

Γραμμικό Φάσμα λαμπτήρα φθορισμού λευκού φωτός, αυτό αποτελείται από πολλές χαρακτηριστικές γραμμές σε όλα σχεδόν τα χρώματα του ορατού φάσματος

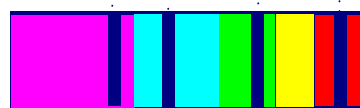
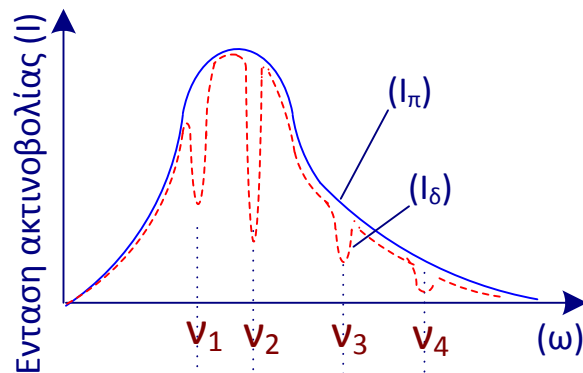
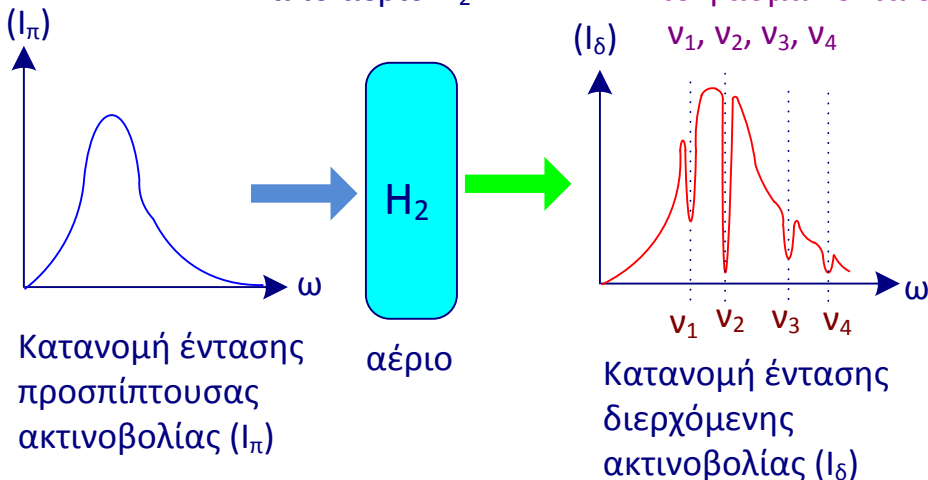
Φάσμα λάμπας LED Λευκού φωτός, καθώς και της οθόνης Laptop και της τηλεόρασης. Αυτό αποτελείται από τα 3 βασικά χρώματα Red Green Blue

Οι τροχιές των ηλεκτρονίων περιμένουμε να αλλάζουν συνεχώς μετά τις συγκρούσεις των ατόμων μεταξύ τους. Πως όμως διατηρούνται σταθερές?

### Πείραμα

H/M κύμα με συνεχές φάσμα διέρχεται μέσα από αέριο H<sub>2</sub>

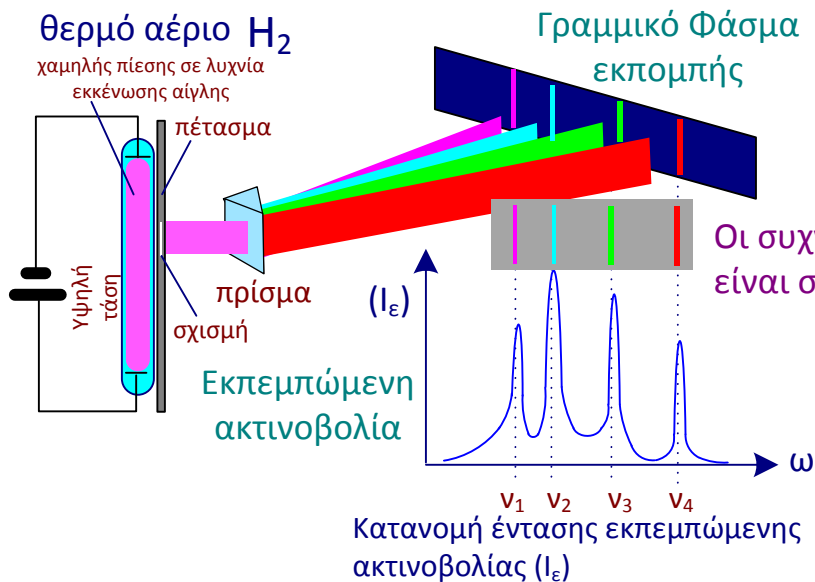
από το διερχόμενο κύμα λείπει λόγω απορρόφησης το φάσμα κοντά σε συγκεκριμένες συχνότητες



Γραμμικό Φάσμα απορρόφησης σκοτεινές γραμμές στις συχνότητες  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4$

### Πείραμα

H/M κύμα με γραμμικό φάσμα εκπέμπεται από θερμό αέριο H<sub>2</sub>



Οι συχνότητες εκπομπής & απορρόφησης  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4$  είναι σταθερές

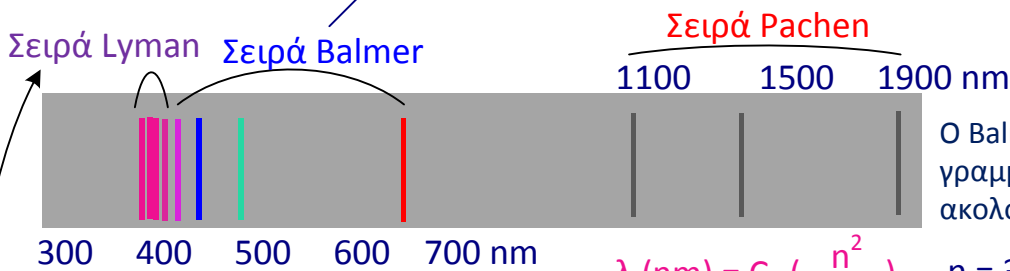
δεν εξηγούνται με τη κλασική φυσική

Οι  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots$  χαρακτηρίζουν τα διάφορα άτομα των στοιχείων είναι η υπογραφή τους ακόμα και στα πιο απομακρυσμένα άστρα

Το εκπεμπόμενο κύμα έχει μέγιστα στις συχνότητες  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4$  που απορροφάει.

Από τις  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4$  βρίσκεται η σύσταση των απομακρυσμένων αστέρων.

Αργότερα βρέθηκαν και άλλες γραμμές στο υπεριώδες Οι 4 πρώτες γραμμές στα 656.3 nm (κόκκινο), 486.1 nm (πράσινο), 434.2 nm (μπλέ), 410.2 nm (ιώδες) μετρήθηκαν με ακρίβεια από τον Angstrom.



Γραμμικό φάσμα εκπομπής υδρογόνου

$$\lambda \text{ (nm)} = C_2 \left( \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots$$

όπου  $C_2 = 364.6 \text{ nm}$  είναι το μήκος κύματος που συγκλίνει η σειρά

Ο Balmer πρόβλεψε και άλλες σειρές

με εμπειρικούς τύπους της μορφής :

$$\lambda \text{ (nm)} = C_3 \left( \frac{n^2}{n^2 - 3^2} \right) \quad n = 4, 5, 6, \dots$$

$$\lambda \text{ (nm)} = C_4 \left( \frac{n^2}{n^2 - 4^2} \right) \quad n = 5, 6, 7, \dots$$

Οι σειρές αυτές (Lyman και Paschen) αποδείχτηκε αργότερα πως πράγματι υπάρχουν

Όλες αυτές οι σειρές είναι γνωστό σήμερα πως δίνονται από μια μόνο σχέση :  $1/\lambda = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$

Όπου  $n_f$  και  $n_i$  είναι ακέραιοι με  $n_i = n_f + 1, n_f + 2, \dots$

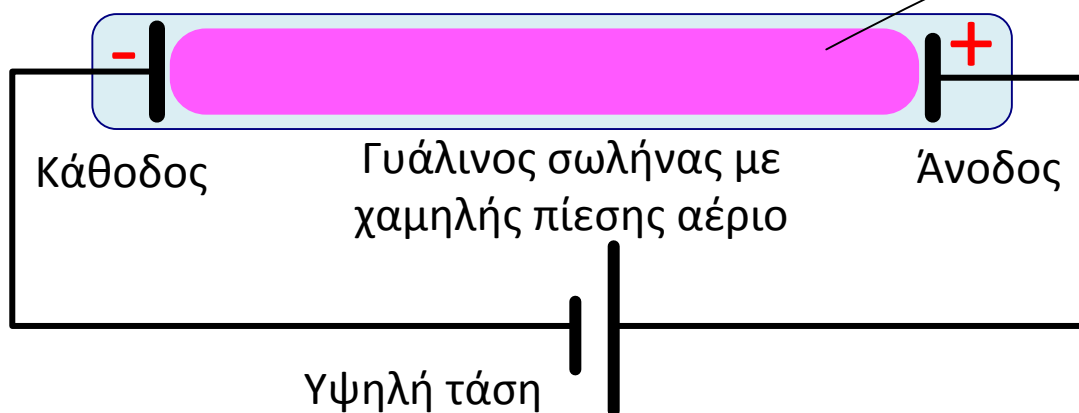
$$R = 1.0973732 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$



# Λαμπτήρας εκκένωσης αίγλης

Αρχή λειτουργίας

Εκπέμπει φως χαρακτηριστικό του αερίου που περιέχει.



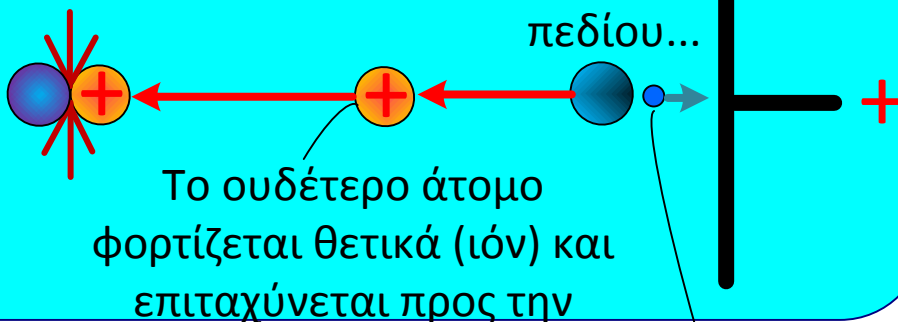
Κάθοδος

Υψηλή τάση

Άνοδος

Το θετικό ιόν συγκρούεται με ένα ουδέτερο άτομο του αερίου

Κοντά στην άνοδο λόγω του υψηλού ηλεκτρικού πεδίου...



Το ουδέτερο άτομο φορτίζεται θετικά (ιόν) και επιταχύνεται προς την

κάθοδο

...ένα ηλεκτρόνιο αποσπάται από ένα ουδέτερο άτομο του αερίου και έλκεται προς την άνοδο

Το ουδέτερο άτομο φορτίζεται θετικά (ιόν) και επιταχύνεται προς την κάθοδο.

Ένα ηλεκτρόνιο από το ουδέτερο άτομο μεταφέρεται στο θετικό ιόν του αερίου το οποίο μεταφέρεται σε μια διεγερμένη ενεργειακά κατάσταση.

Το διεγερμένο άτομο αποδιεγείρεται εκπέμποντας ένα φωτόνιο του χαρακτηριστικού γραμμικού φάσματος εκπομπής του αερίου του σωλήνα.

Το θετικό ιόν συγκρούεται με ένα ουδέτερο άτομο του αερίου και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

Σύμφωνα με το μοντέλο του Rutherford :

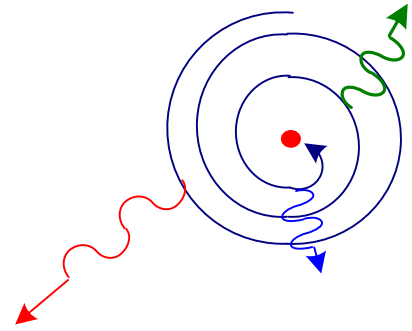
Η μάζα του ατόμου μαζί με όλο το θετικό φορτίο είναι συγκεντρωμένη σε μια πολύ μικρή περιοχή σφαίρα διαμέτρου της τάξεως του  $10^{-15} - 10^{-14}$  m που αποτελεί τον πυρήνα του ατόμου ενώ γύρω σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις της τάξεως  $10^{-10}$  m της διαμέτρου του ατόμου από τον πυρήνα περιστρέφονται τα ηλεκτρόνια.

## Όμως με αυτό το μοντέλο δημιουργείται το εξής πρόβλημα

Η κλασική φυσική

προβλέπει πως καθώς το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται γύρω από το πυρήνα εκπέμπει Η/Μ κύματα έτσι χάνει ενέργεια και τελικά πέφτει στο πυρήνα

Έτσι τα άτομα θα έπρεπε να έχουν τη μορφή ουδέτερων σωματιών μεγέθους του πυρήνα ανίκανα να κάνουν χημικούς δεσμούς



Για να εξηγήσει τη σταθερότητα του ατόμου του υδρογόνου και των συχνοτήτων  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots$  των γραμμικών φασμάτων εκπομπής & απορρόφησης ο Bohr πρότεινε το εξής πρότυπο :

## Πρότυπο Bohr Βασίζεται στις εξής ιδέες (αρχές) :

(1) το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται γύρω από το πυρήνα μόνο σε ορισμένες σταθερές αποστάσεις  $r$  από τον πυρήνα όπου δεν ακτινοβολεί...

οι υπόλοιπες αποστάσεις  $r$  απαγορεύονται

Έτσι το ηλεκτρόνιο έχει μόνο ορισμένες ενέργειες  $E_0 < E_1 < E_2 < \dots$

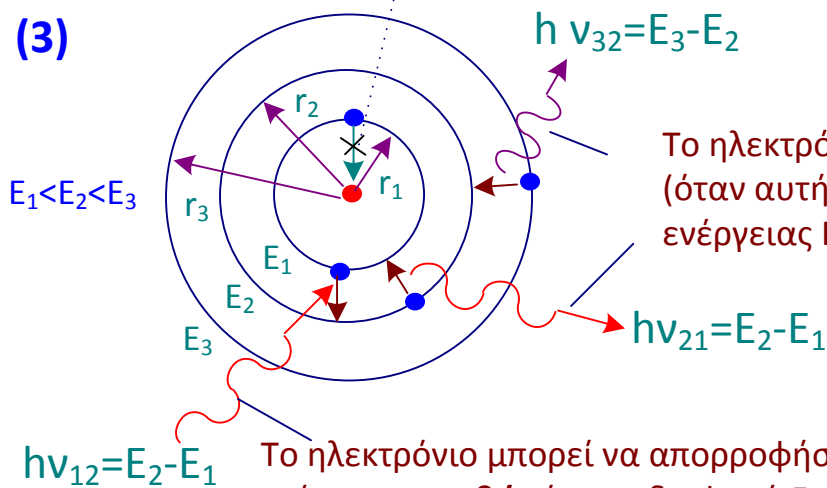
(2) Η τροχιακή στροφορμή του ηλεκτρονίου  $l = mvr$

είναι κβαντισμένη :  $l = mvr = n\hbar$   $\hbar = h/2\pi$   $n = 1, 2, 3, \dots$   
λέγεται: h bar

φαίνεται αυθαίρετη αλλά εξηγεί εξαιρετικά τη σταθερότητα των ατόμων και τα φάσματα εκπομπής & απορρόφησης

Έτσι το ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να φθάσει σε  $E$  μικρότερη  $E < E_0$  την ελάχιστη επιτρεπόμενη ενέργεια και έτσι δεν πέφτει στον πυρήνα

(3)



Το ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταπηδήσει σε χαμηλότερη στάθμη (όταν αυτή είναι κενή) εκπέμποντας **ακριβώς** τη διαφορά ενέργειας  $E_i - E_j$  σαν Η/Μ κύμα (φωτόνιο  $h\nu_{ij}$ )

$h\nu_{12} = E_2 - E_1$  Το ηλεκτρόνιο μπορεί να απορροφήσει ενέργεια **ακριβώς** ίση τη διαφορά  $E_1 - E_0$  και να μεταπηδήσει στη πρώτη υψηλότερη (διεγερμένη) στάθμη

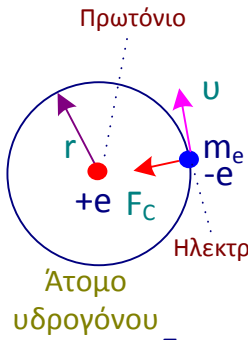
Αν η ενέργεια δεν είναι ακριβώς ίση με τη διαφορά ενέργειας 2 σταθμών δεν απορροφάται και καμία μετάβαση σε διεγερμένη κατάσταση δεν γίνεται.

Οι συχνότητες  $\nu_{21}, \nu_{32}, \dots$  των φωτονίων είναι συγκεκριμένες αυτές που εμφανίζονται στα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης.

Να βρεθούν οι επιτρεπτές ενέργειες  $E_i$  του ατόμου του Υδρογόνου που προκύπτουν από τη συνθήκη του Bohr

$$l = mur = n\hbar \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$E_{\text{κιν}} = \frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r}$$



$$F_c = k \frac{e^2}{r^2} \quad \text{Δύναμη Coulomb}$$

$$F_k = \frac{m u^2}{r} \quad \text{Κεντρομόλος επιτάχυνση}$$

$$E_{\text{δυν}} = +V(-e) = (+ke/r)(-e) = -ke^2/r$$

$$F_c = m \gamma_k$$

$$m \frac{u^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2} \quad (mur)u = ke^2 \quad \rightarrow u = \frac{ke^2}{n\hbar}$$

$$l = mur = n\hbar \quad m \frac{ke^2}{n\hbar} r = n\hbar \quad \rightarrow r = n^2 \frac{\hbar^2}{mke^2}$$

η στροφορμή του ηλεκτρονίου

με  $n=1$  παίρνουμε την μικρότερη **ακτίνα Bohr**  $\alpha_0 = 1^2 \frac{\hbar^2}{mke^2} = 0.529 \text{ \AA} = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$

Η ακτίνα του υδρογόνου

Ολική ενέργεια

$$E = E_{\text{κιν}} + E_{\text{δυν}}$$

$$E = \frac{1}{2} m u^2 - k \frac{e^2}{r} \quad E_n = \frac{1}{2} m k \frac{e^4}{(n\hbar)^2} - k \frac{e^4 m}{(n\hbar)^2} \quad E_n = - \frac{1}{n^2} \frac{e^4 m k}{(2\hbar)^2} = - \frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$$

Για  $n=1$

Η χαμηλότερη στάσιμη θεμελιώδης κατάσταση του υδρογόνου

$$E_1 = \frac{e^4 m k}{(2\hbar)^2} = -13.6 \text{ eV}$$

Για  $n=2$

Η πρώτη διεγερμένη κατάσταση του υδρογόνου

$$E_2 = \frac{-13.6 \text{ eV}}{(2)^2} = -3.4 \text{ eV}$$

Για  $n=3$

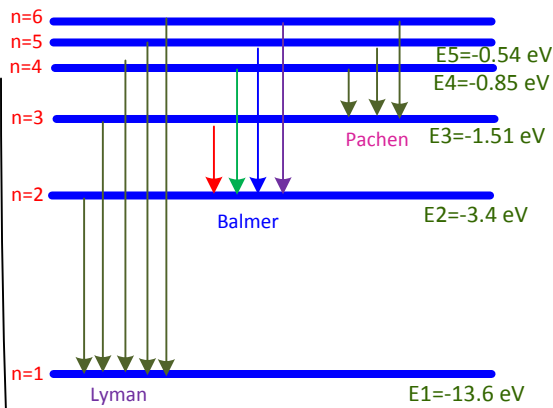
Η δεύτερη διεγερμένη κατάσταση του υδρογόνου

$$E_3 = -1.51 \text{ eV} \quad E_4 = -0.85 \text{ eV} \quad E_5 = -0.54 \text{ eV}$$

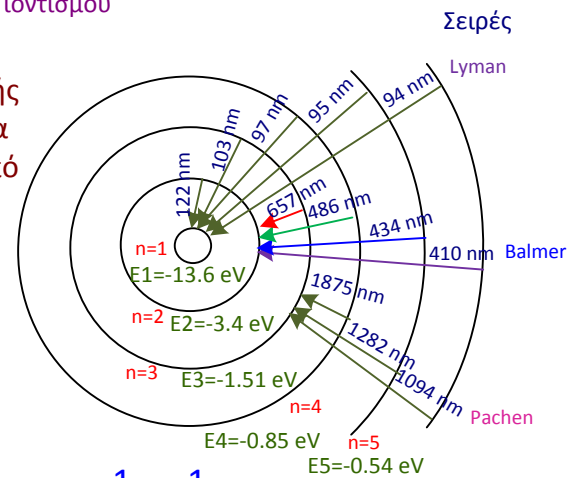
Ανάλογα για  $n = 4, 5, 6, \dots$

Είναι η ενέργεια ionτισμού του υδρογόνου δηλ. η ενέργεια για να ελευθερωθεί το ηλεκτρόνιο που συμπίπτει με αυτή που μετράται και πειραματικά

Εδώ έγκειται η τεράστια επιτυχία του μοντέλου Bohr συμφωνεί η θεωρητική πρόβλεψη από πρώτες αρχές χωρίς κάποια προσαρμογή των παραμέτρων με τη μετρούμενη ενέργεια ionτισμού



Οι  $E_n$  συμφωνούν με τις ενέργειες εκπομπής φωτονίων  $E_i - E_f = h\nu_{if}$  από τη φασματοσκοπία εκπομπής με τη μετάβαση ηλεκτρονίων από ανώτερες διεγερμένες καταστάσεις στη 1η στάθμη  $E_1$  (σειρά Lyman), στη 2η στάθμη  $E_2$  (σειρά Balmer) και 3η στάθμη  $E_3$  (σειρά Paschen)



$$\nu_{if} = \frac{E_i - E_f}{h} = \frac{ke^2}{2\alpha_0 h} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{if}} = \frac{\nu_{if}}{c} = \underbrace{\frac{ke^2}{2\alpha_0 hc}}_R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$1/\lambda_{if} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$R = 1.0973732 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

### Αρχή της αντιστοιχίας ή όριο των μεγάλων αριθμών Το κλασικό όριο της θεωρίας του Bohr

Παρατηρείστε πως για  $n=4, 5, 6, \dots$  οι αντίστοιχες κβαντισμένες στάθμες ενέργειες  $E_n$  πλησιάζουν μεταξύ τους και για μεγάλα  $n$  τείνουν να γίνουν ένα συνεχές φάσμα ενεργειών που παρατηρείται στο μακρόκοσμο και έτσι έχουμε την ομαλή μετάβαση στο μακροσκοπικό κόσμο που περιγράφεται στη κλασική φυσική

Στο όριο  $n \rightarrow \infty$  (μεγάλοι κβαντικοί αριθμοί) η θεωρία του Bohr πρέπει να αναπαράγει τις αντίστοιχες κλασικές προβλέψεις.

Για μεγάλα  $n$  οι ακτίνες των επιτρεπομένων τροχιών  $r_n = n^2 a_0$  γίνονται μακροσκοπικά μεγάλες και θα πρέπει να παράγουν τους ισχύοντες νόμους του Maxwell.

Η κινητική ενέργεια κατά τη μετάβαση αυτή δεν αλλάζει πρακτικά

...και επομένως η ενέργεια του εκπεμπομένου φωτονίου  $h\nu$  προέρχεται από το έργο της κεντρομόλου δύναμης  $F_k$

$$h\nu = F_k \Delta r = \frac{m u^2}{r} \Delta r = m (4\pi^2 \nu^2 r) \Delta r$$

$$\hbar = m \underbrace{2\pi \nu r}_{u} \Delta r = m u \Delta r$$

$$\Delta(mur) = m u \Delta r \quad \Delta m, \Delta u = 0$$

$$\Delta(mur) = \hbar \quad \text{Δηλ. η ελάχιστη μεταβολή της στροφορμής είναι } \hbar$$

$$mur = n\hbar \quad n=1,2,3,\dots$$

Επομένως η στροφορμή του ηλεκτρονίου που περιφέρεται στα άτομα θα πρέπει να είναι κβαντισμένη...

...και αυτό το συμπέρασμα υιοθετήθηκε από τον Bohr σαν μια βασική υπόθεση του μοντέλου του για το άτομο του υδρογόνου, δηλ. ότι η στροφορμή είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του  $\hbar$ .

Διαδοχικές τροχιακές συχνότητες περιφοράς ηλεκτρονίου

Εκπεμπόμενη ακτινοβολία  $h\nu$

Κατά τη τη μετάβαση του ηλεκτρονίου από τη ακτίνα  $r_n$  στη  $r_{n-1}$

Επειδή

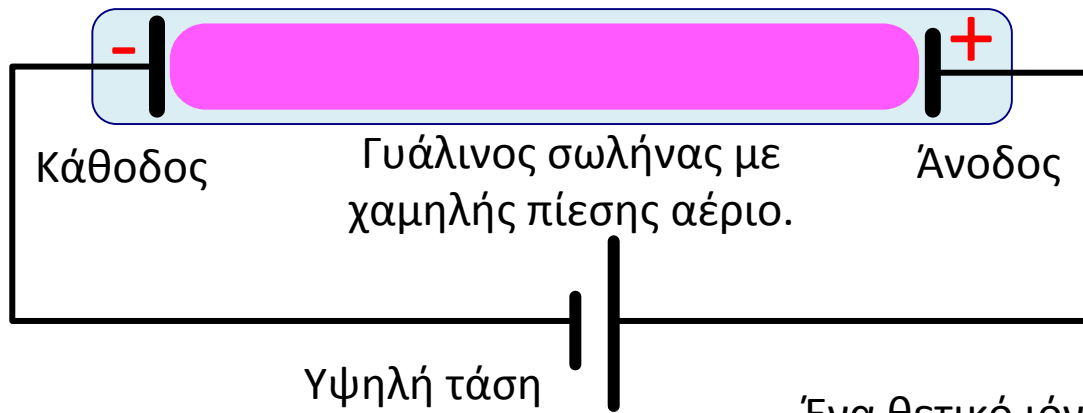
$r_n \cong r_{n-1}$   
Συχνότητα περιφοράς ηλεκτρονίου είναι πρακτικά σταθερή

$\nu_n \cong \nu_{n-1} \cong \nu$   
και η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι η συχνότητα περιφοράς

πυρήνας

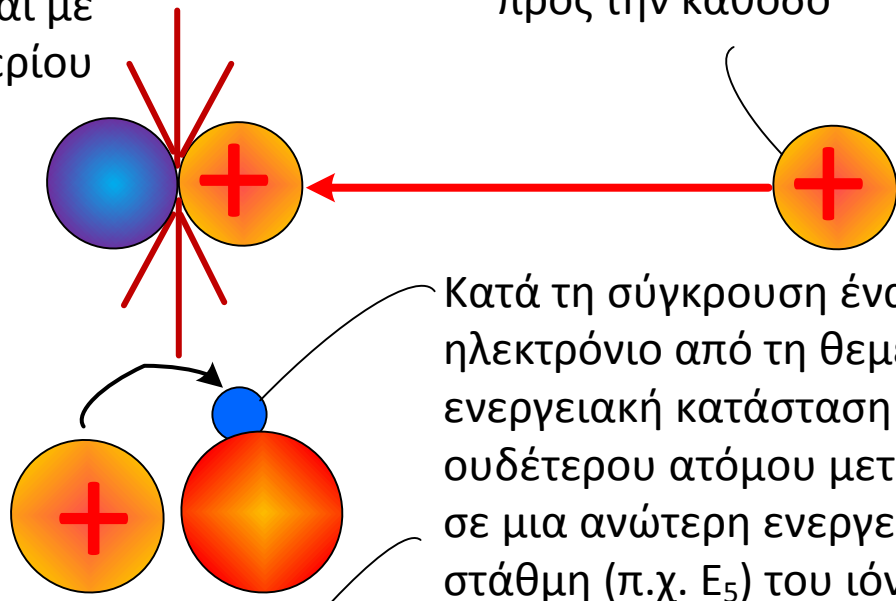
Μακρινές διαδοχικές κβαντικές τροχιές ηλεκτρονίων

# Εξήγηση της διέγερσης και αποδιέγερσης των ατόμων στο λαμπτήρα εκκένωσης αίγλης

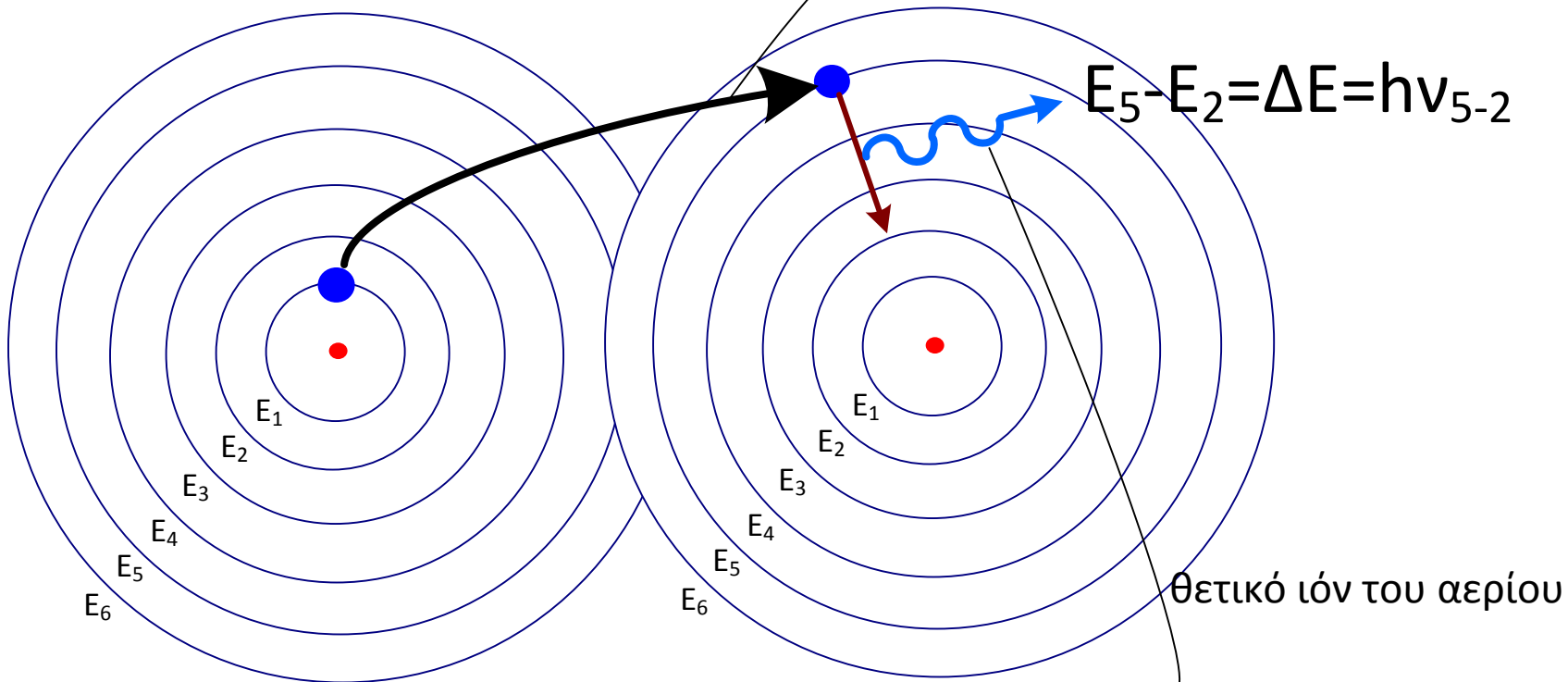


Το θετικό ιόν συγκρούεται με ένα ουδέτερο άτομο του αερίου

Ένα θετικό ιόν επιταχύνεται προς την κάθοδο



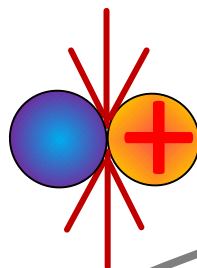
Κατά τη σύγκρουση ένα ηλεκτρόνιο από τη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση ( $E_1$ ) του ουδέτερου ατόμου μεταφέρεται σε μια ανώτερη ενεργειακή στάθμη (π.χ.  $E_5$ ) του ιόντος.



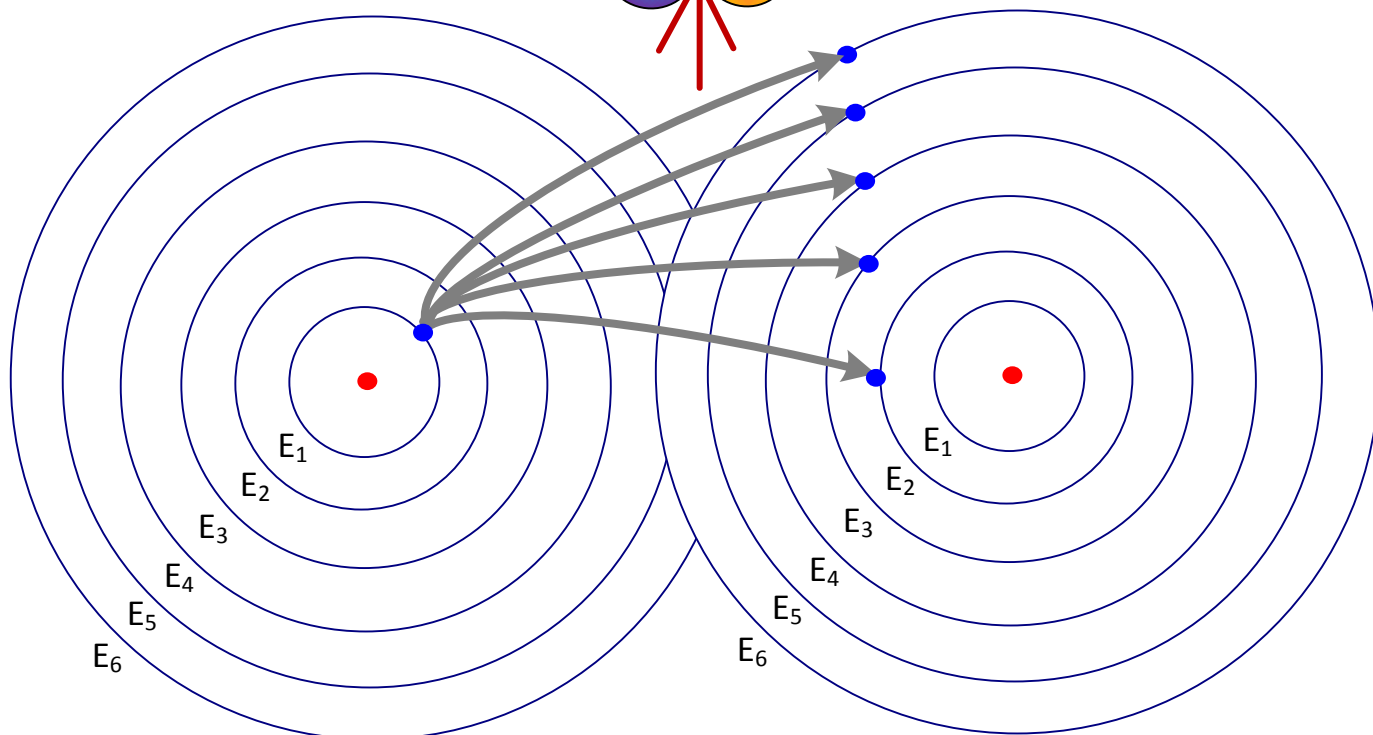
ουδέτερο άτομο του αερίου

Το διεγερμένο άτομο αποδιεγείρεται με άλμα του ηλεκτρονίου από την ανώτερη ενεργειακά στάθμη (π.χ.  $E_5$ ) σε μια οποιαδήποτε κατώτερη στάθμη (π.χ.  $E_2$ ), εκπέμποντας τη διαφορά ενέργειας:  $\Delta E = E_5 - E_2$  με ένα φωτόνιο  $h\nu_{5-2}$  που ανήκει στο χαρακτηριστικό γραμμικό φάσμα εκπομπής του αερίου του σωλήνα.

ουδέτερο άτομο του αερίου

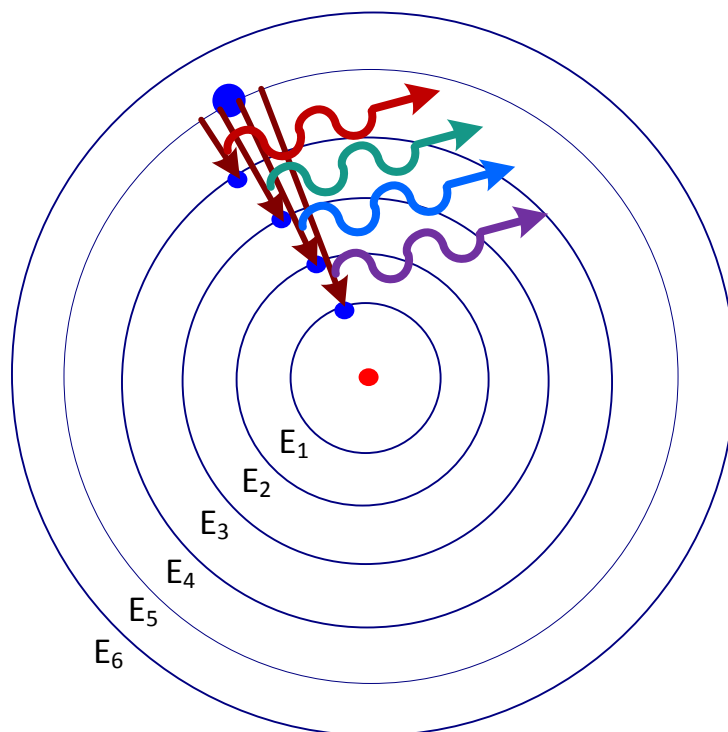


θετικό ιόν του αερίου



Κατά τη σύγκρουση το ηλεκτρόνιο του ουδέτερου ατόμου από τη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση  $E_1$  μπορεί να μεταβεί σε οποιαδήποτε από τις ανώτερες κενές ενεργειακές  $E > E_1$  στάθμες του ιόντος.

Το ηλεκτρόνιο στο διεγερμένο άτομο που προκύπτει από την σύγκρουση αποδιεγείρεται με άλμα του ηλεκτρονίου από την ανώτερη ενεργειακά στάθμη που θα βρίσκεται (π.χ.  $E_5$ ) σε οποιαδήποτε από τις άδειες κατώτερες ενεργειακές στάθμες ( $E_4, E_3, E_2, E_1$ ) εκπέμποντας τη διαφορά ενέργειας  $\Delta E$  με ένα φωτόνιο  $\Delta E = h\nu$  του χαρακτηριστικού γραμμικού φάσματος εκπομπής του αερίου του σωλήνα .



διεγερμένο άτομο του αερίου



## Ερωτήσεις στη σωματιδιακή φύση της ύλης

1. Τι είναι οι καθοδικές ακτίνες και πως παράγονται.
2. Από τι βρέθηκε πως επηρεάζονται οι καθοδικές ακτίνες;
3. Πως μπορούμε να εξουδετερώσουμε την εκτροπή των καθοδικών ακτίνων από ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο καθοδικό σωλήνα;
4. Πως καταλάβαμε πως οι καθοδικές είναι αρνητικά φορτισμένα σωματίδια και πως μετρήθηκε ο λόγος του φορτίου των προς τη μάζα των; Ο λόγος αυτός εξαρτάται από το είδος του αερίου του καθοδικού σωλήνα; Με ποιών άλλων σωματίων βρέθηκε ίσος ο παραπάνω λόγος;
5. Περιγράψτε συνοπτικά τη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρησης το φορτίου των σωματιδίων των καθοδικών ακτίνων;
6. Πως μετρήθηκε το φορτίο των καθοδικών ακτίνων και πως συμπεράνανε ότι αυτό είναι κβαντισμένο;
8. Πως περιγράφει ότι είναι το άτομο στο μοντέλο που προτάθηκε από τον Thomson;
9. Αν το μοντέλο που προτάθηκε από τον Thomson ήταν σωστό, τότε τι έπρεπε να παρατηρηθεί στα πειράματα σκέδασης που έκανε ο Rutherford;
10. Ποιο ήταν εκείνο το χαρακτηριστικό που ήταν το πολύ παράξενο και το οποίο παρατήρησε ο Rutherford στα πειράματα σκέδασης που πραγματοποίησε;
11. Ποιο ήταν το βασικό συμπέρασμα που κατέληξε με τα πειράματα σκέδασης ο Rutherford;
12. Πως ο Rutherford μέτρησε την ακτίνα των ατόμων;
13. Γιατί δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί η ακτίνα των ατόμων με μικρής σχετικά κινητικής ενέργειας σωματίδια  $\alpha$ ; Πόση πρέπει να είναι τουλάχιστον η κινητική των σωματιδίων  $\alpha$  ώστε να μετρηθεί η ακτίνα των ατόμων ενός δεδομένου στόχου από συγκεκριμένα άτομα; Από τι εξαρτάται η κινητική ενέργεια των σωματιδίων  $\alpha$  που χρειάζεται για να μετρηθεί η ακτίνα των ατόμων ενός στόχου;
14. Ποια είναι η ακτίνα του ατόμου και ποια του πυρήνα;
15. Μετά τα πειράματα σκέδασης του Rutherford ποια νέα ερωτήματα γεννήθηκαν που αφορούσαν τα άτομα; Σε ποια από αυτά απάντησε ο Bohr;
16. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά των φασμάτων εκπομπής και απορρόφησης των αερίων με ποια πειράματα μελετήθηκαν και με ποια όργανα καταγράφηκαν;
17. Περιγράψτε το χαρακτηριστικό φάσμα εκπομπής του υδρογόνου, από ποιες γραμμές αποτελείται και σε ποιες περιοχές του φάσματος εμφανίζονται αυτές (όχι αριθμούς των  $\lambda$ ).
18. Τι ανακάλυψε ο Balmer;
19. Ποιο πρόβλημα εμφανίστηκε με τη περιγραφή του προτύπου του ατόμου κατά το Rutherford;
20. Περιγράψτε και εξηγήστε συνοπτικά τις αρχές που υπέθεσε ο Bohr για το άτομο.
21. Να υπολογίσετε τις κβαντισμένες ακτίνες και ενέργειες των ηλεκτρονίων σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr.
22. Πως εξήγησε ο Bohr τα γραμμικά φάσματα απορρόφησης και εκπομπής των αερίων;
23. Μεταξύ ποιών ενεργειακών σταθμών είναι οι μεταβάσεις των ηλεκτρονίων στη σειρά Paschen (υπέρυθρο), Balmer (ορατό) και Lyman (υπεριώδες);
23. Περιγράψτε την αρχή της αντιστοιχίας;