



ΦΥΣΙΚΗ Γ.Π. Β' ΛΥΚΕΙΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΤΟΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

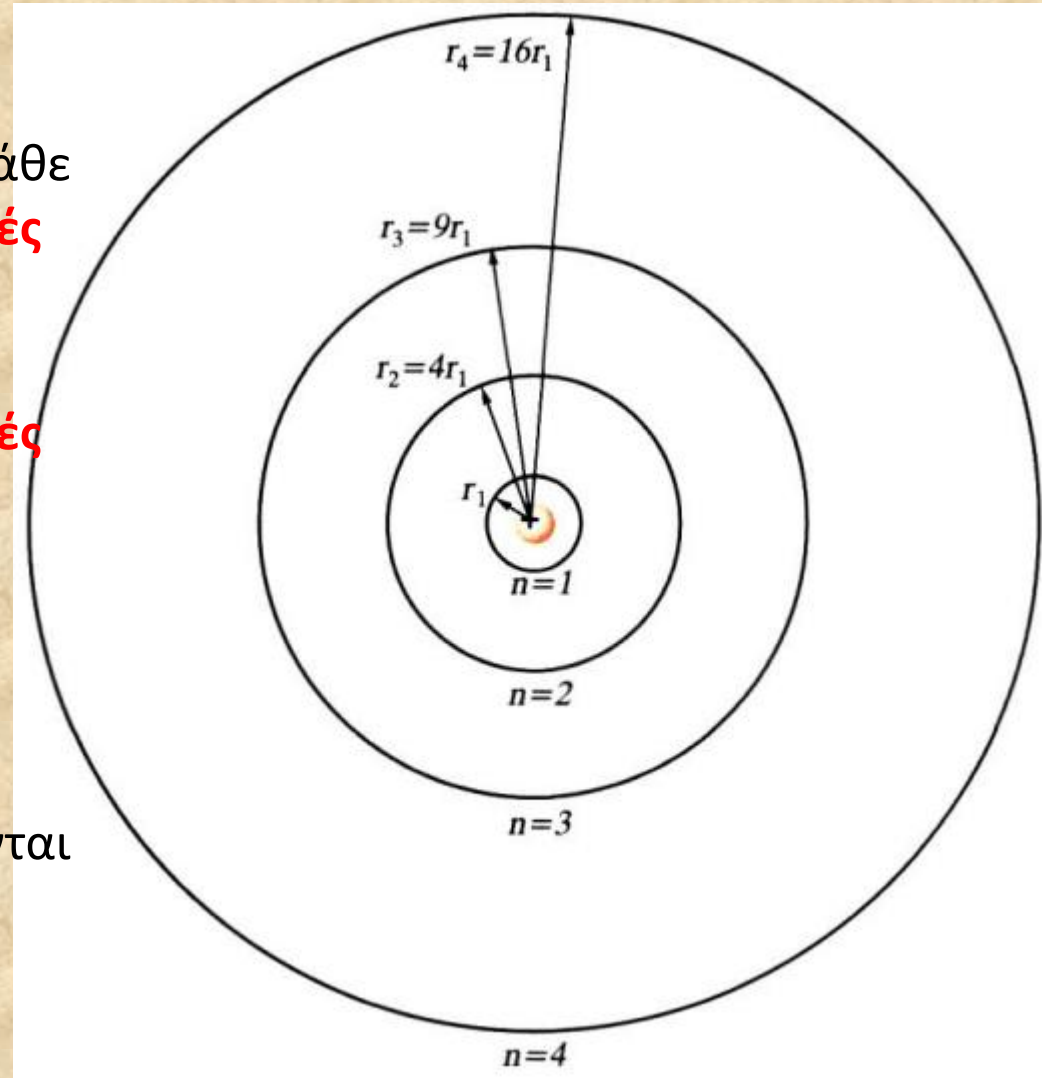
4.2 Διακριτές ενεργειακές στάθμες

4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

4.2 Διακριτές ενεργειακές στάθμες

Ενεργειακές στάθμες

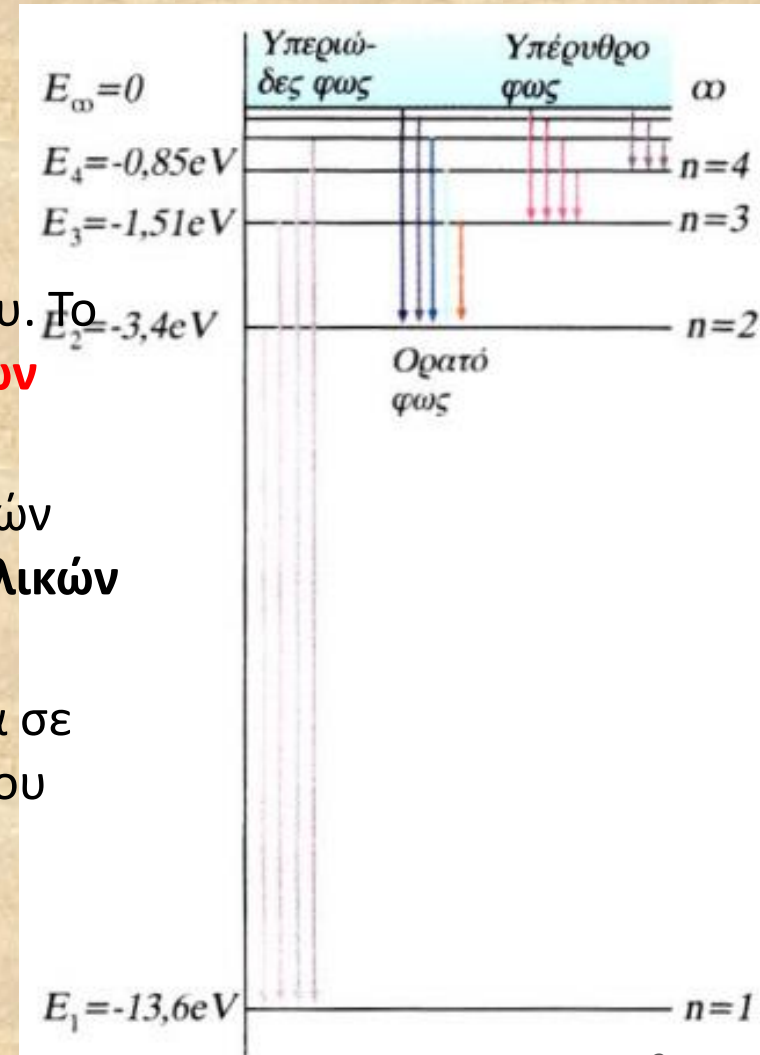
- Οι επιτρεπόμενες τιμές της **ενέργειας** του υδρογόνου και κάθε ατόμου ονομάζονται **ενεργειακές στάθμες**.
- Οι αντίστοιχες καταστάσεις του ατόμου ονομάζονται **ενεργειακές καταστάσεις**.
- Η κατάσταση με τη **χαμηλότερη ενέργεια** E_1 ονομάζεται **θεμελιώδης κατάσταση**.
- Όλες οι άλλες ενεργειακές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



4.2 Διακριτές ενεργειακές στάθμες

Διάγραμμα ενεργειακών σταθμών

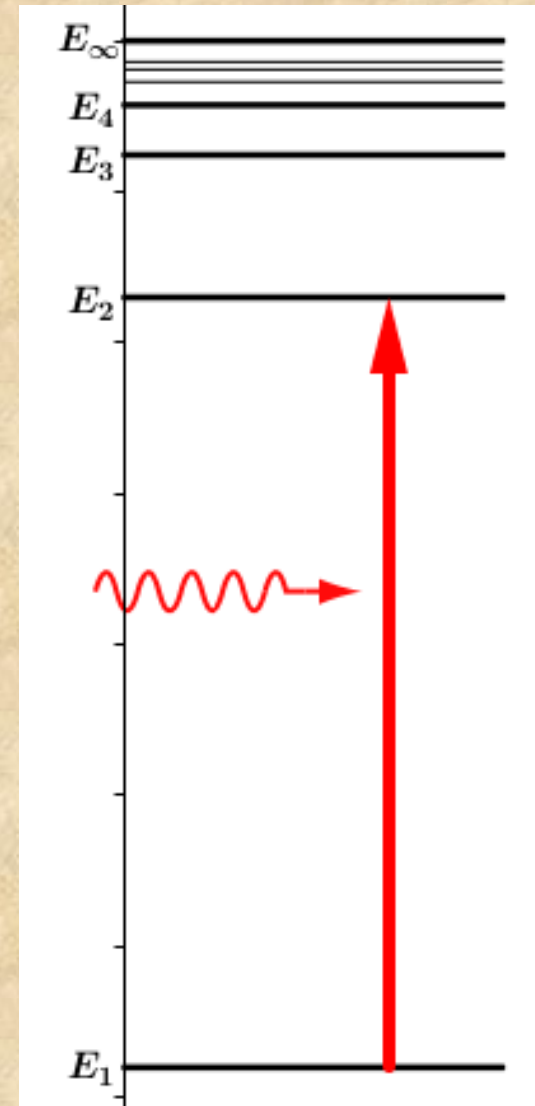
- Σε κατακόρυφο άξονα βαθμολογημένο σε τιμές ενέργειας, σχεδιάζουμε **οριζόντιες ευθείες γραμμές** στις θέσεις που αντιστοιχούν στις **επιτρεπόμενες τιμές ενέργειας $E_1, E_2, E_3 \dots$** του ηλεκτρονίου. Το σχήμα που προκύπτει είναι **το διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών**.
- Η απόσταση μεταξύ δύο ενεργειακών σταθμών αντιστοιχεί στη **διαφορά των αντίστοιχων ολικών ενεργειών του ηλεκτρονίου**.
- Η **μετάβαση** του ηλεκτρονίου από μία τροχιά σε άλλη συμβολίζεται με **κατακόρυφο βέλος**, που έχει **αρχή την αρχική στάθμη και τέλος την τελική στάθμη**.



4.2 Διακριτές ενεργειακές στάθμες

Διέγερση του ατόμου

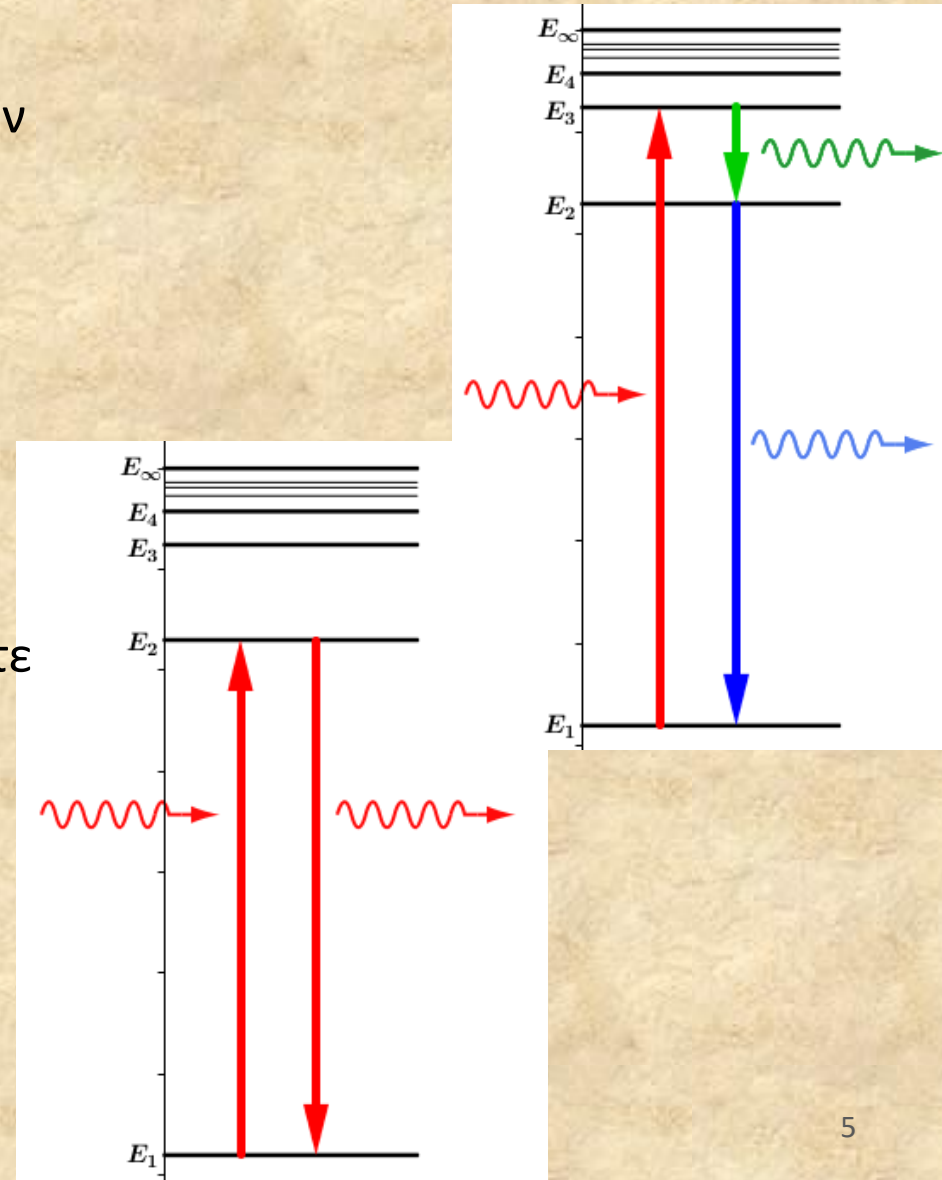
- Αν το άτομο του υδρογόνου που βρίσκεται στη **θεμελιώδη κατάσταση απορροφάει ενέργεια**, τότε το ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταπηδήσει σε άλλη επιτρεπόμενη τροχιά **υψηλότερης ενέργειας**.
- Η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου του ατόμου από μία τροχιά **χαμηλής** ενέργειας σε άλλη **υψηλότερης** ενέργειας ονομάζεται **διέγερση του ατόμου**.
- Η ενέργεια που απαιτείται για τη **διέγερση** του ατόμου ονομάζεται **ενέργεια διέγερσης**.



4.2 Διακριτές ενεργειακές στάθμες

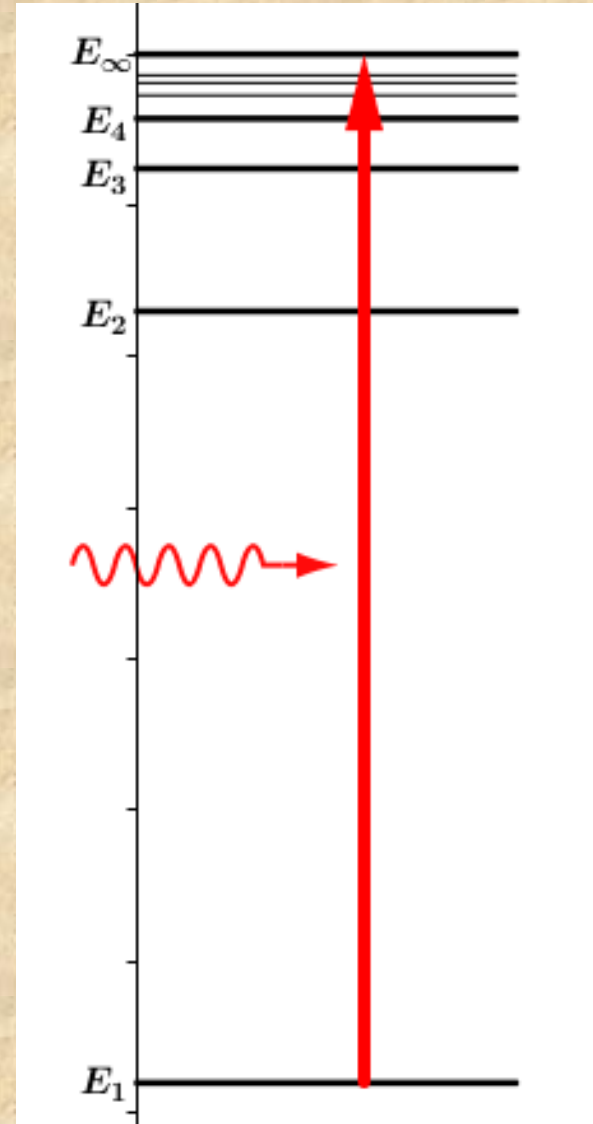
Διέγερση του ατόμου

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



4.2 Διακριτές ενεργειακές στάθμες Ιονισμός του ατόμου

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



4.2 Διακριτές ενεργειακές στάθμες

Ιονισμός του ατόμου

- Η **ελάχιστη ενέργεια** που απαιτείται, για να απομακρυνθεί το ηλεκτρόνιο του ατόμου από τη θεμελιώδη τροχιά σε περιοχή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα, ονομάζεται **ενέργεια ιονισμού**.

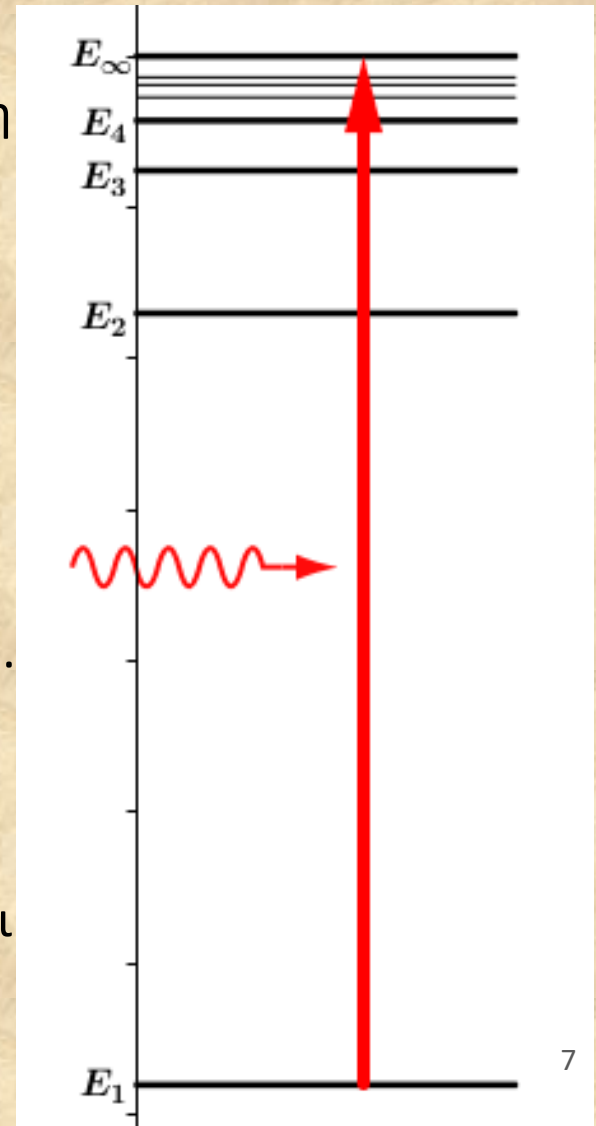
- Η ενέργεια ιονισμού είναι ίση με:

$$E_{\text{ιον}} = E_{\infty} - E_1$$

όπου $E_{\infty} = 0$ είναι η ενέργεια του ατόμου που αντιστοιχεί σε κατάσταση με $n \rightarrow \infty$ και E_1 η ενέργειά του στη θεμελιώδη κατάσταση. Επομένως:

$$E_{\text{ιον}} = -E_1$$

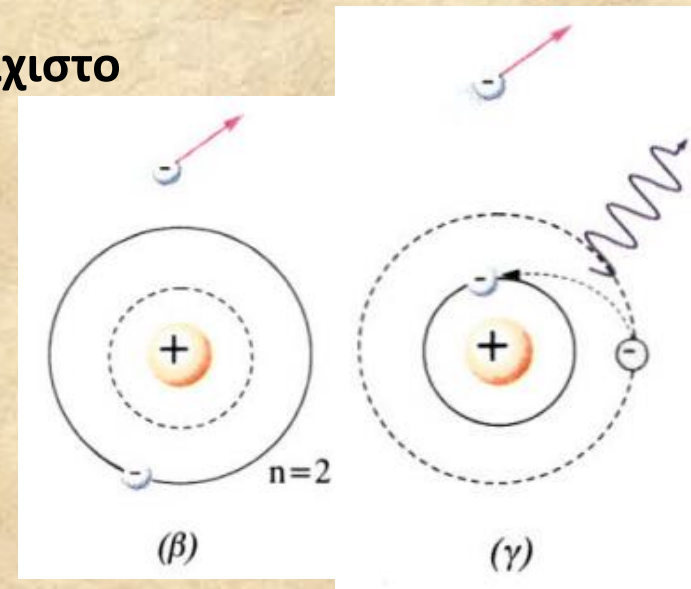
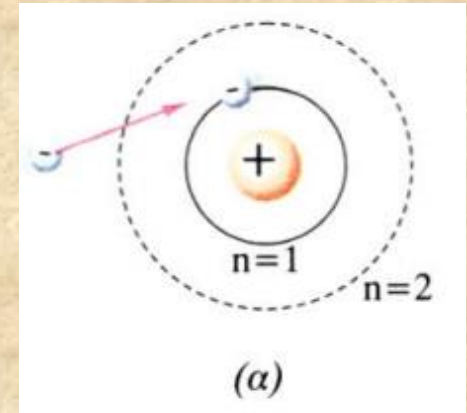
- Για το άτομο του **υδρογόνου** είναι $E_1 = -13,6\text{eV}$, οπότε η ενέργεια ιονισμού είναι $E_{\text{ιον}} = 13,6\text{eV}$.



4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

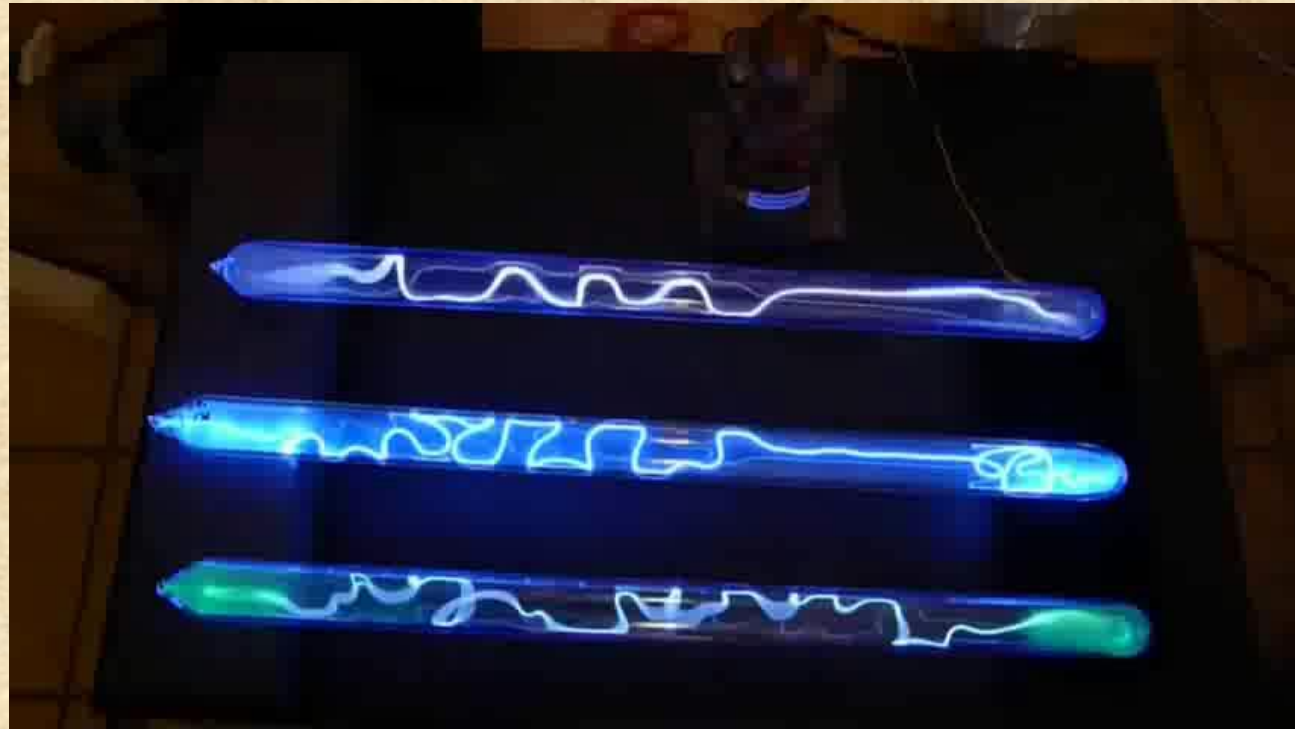
Διέγερση με κρούση

- Όταν ένα **σωματίδιο** (π.χ. ηλεκτρόνιο, ιόν ή άτομο) συγκρουστεί με ένα **άτομο υδρογόνου**, που βρίσκεται, λόγου χάρη, στη **θεμελιώδη κατάσταση**, τότε το ηλεκτρόνιο του ατόμου μπορεί να απορροφήσει ικανή ποσότητα ενέργειας και **να μεταπηδήσει σε τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας**, με αποτέλεσμα το άτομο να διεγερθεί.
- Το διεγερμένο άτομο **επανέρχεται** μετά από **ελάχιστο χρόνο** στη **θεμελιώδη κατάσταση**.
- Η επάνοδος μπορεί να γίνει **είτε με ένα άλμα κατευθείαν** στη θεμελιώδη κατάσταση, με ταυτόχρονη **εκπομπή ενός φωτονίου**, είτε με **περισσότερα ενδιάμεσα άλματα** από τροχιά σε τροχιά, με ταυτόχρονη **εκπομπή περισσότερων φωτονίων**.



4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων Διέγερση με κρούση

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

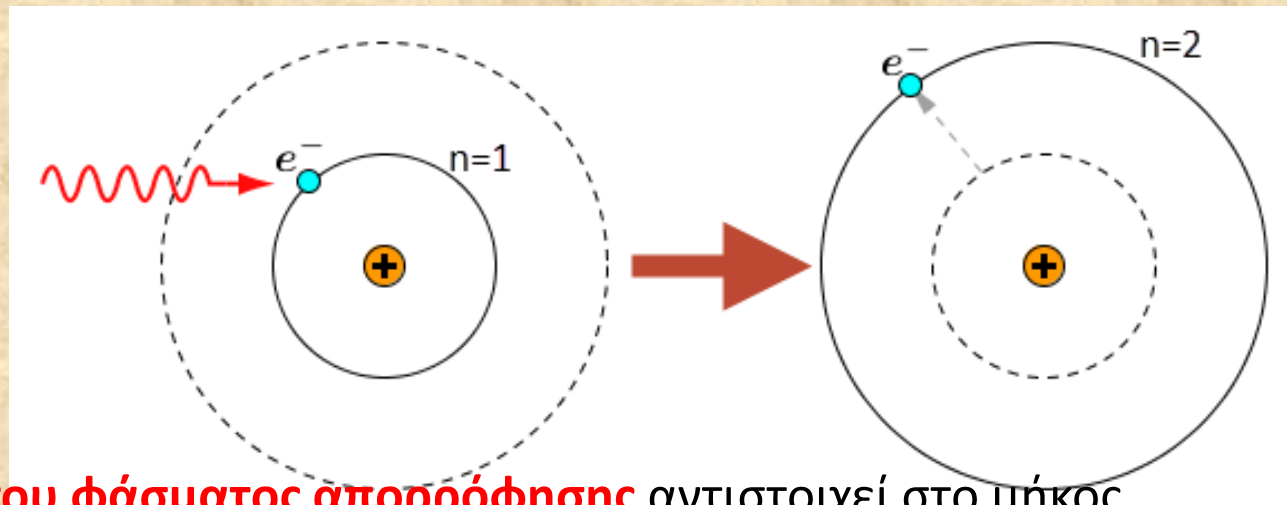


gas discharge tubes.wmv

4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

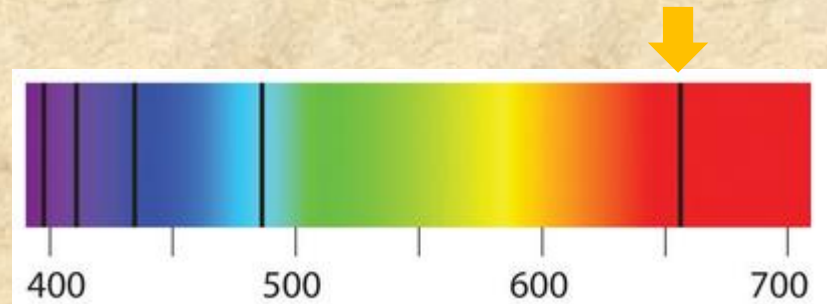
Διέγερση με απορρόφηση ακτινοβολίας

- Ας θεωρήσουμε ότι ένα άτομο υδρογόνου βρίσκεται στη **θεμελιώδη κατάσταση** ($n = 1$) και **απορροφά ένα φωτόνιο**, που έχει τόση ενέργεια όση ακριβώς απαιτείται, για να **μεταπηδήσει** το ηλεκτρόνιο από τη θεμελιώδη κατάσταση στην κατάσταση που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό $n = 2$.



- Η **σκοτεινή γραμμή του φάσματος απορρόφησης** αντιστοιχεί στο μήκος κύματος του **φωτονίου που απορροφήθηκε**.

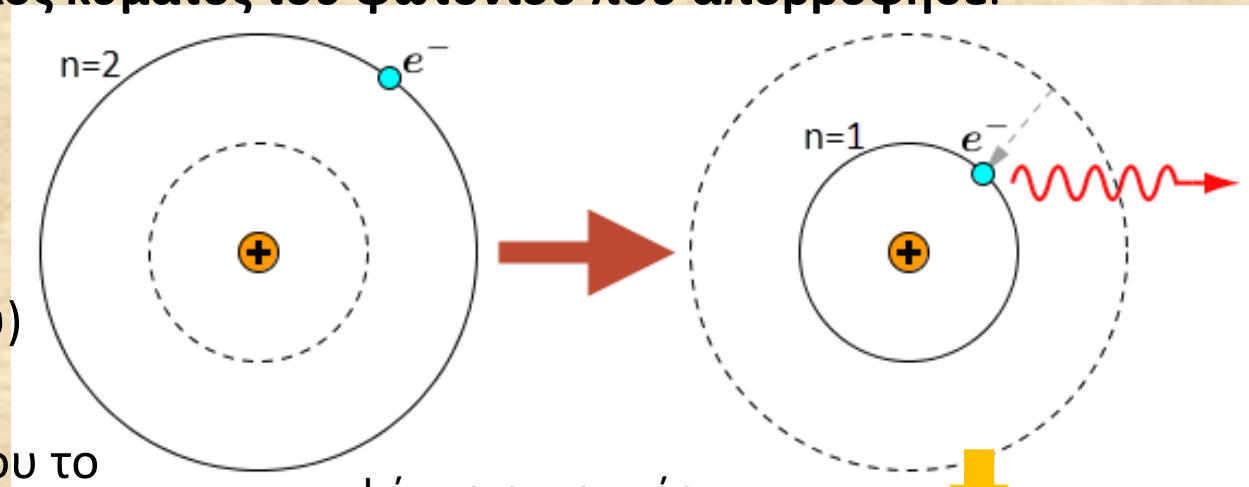
φάσμα απορρόφησης:



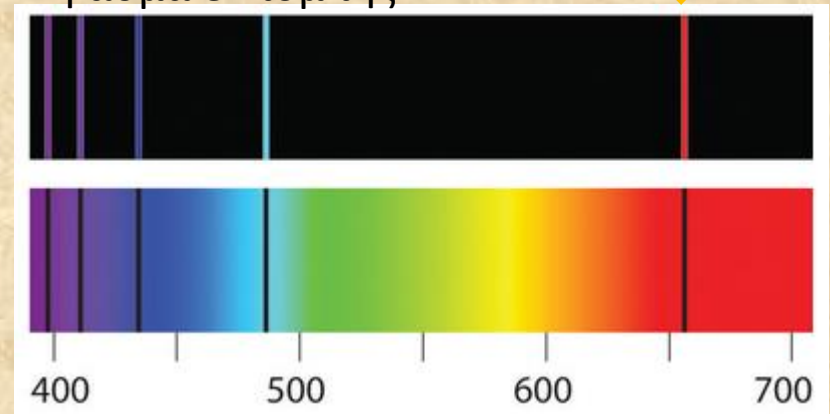
4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

Διέγερση με απορρόφηση ακτινοβολίας

- Μετά από ελάχιστο χρονικό διάστημα το διεγερμένο άτομο επανέρχεται στην κατάσταση $n = 1$ **εκπέμποντας ένα φωτόνιο**, που έχει μήκος κύματος **ίσο με το μήκος κύματος του φωτονίου που απορρόφησε**.
- Επομένως και οι **ενέργειες** των δύο φωτονίων (του απορροφούμενου και του εκπεμπόμενου) είναι **ίσες**.
- Αυτός είναι ο λόγος που το **φάσμα εκπομπής** παρουσιάζει μία **φωτεινή γραμμή** στη θέση της **σκοτεινής γραμμής** του φάσματος απορρόφησης.



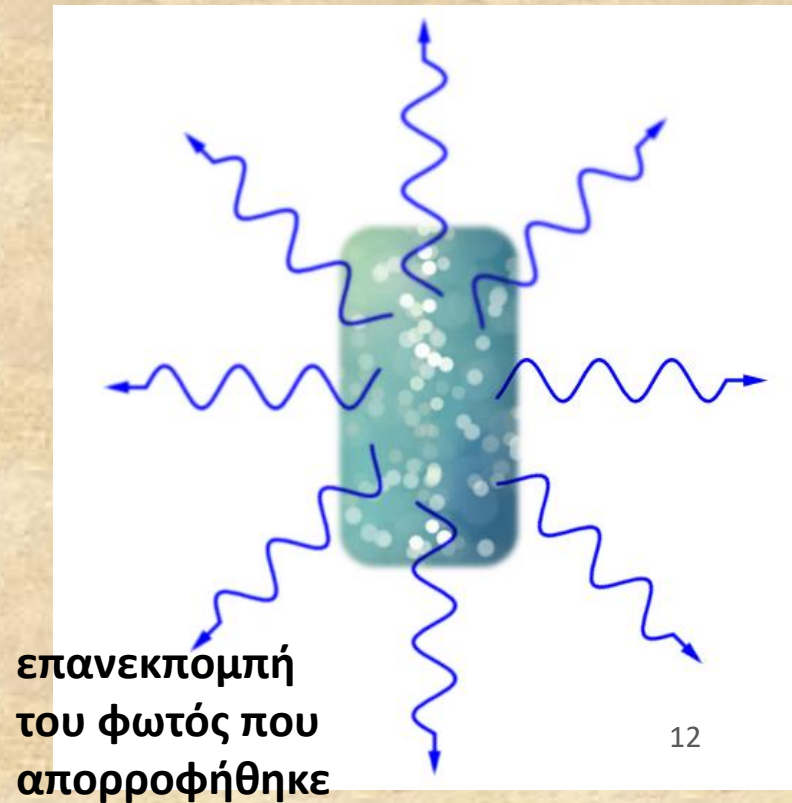
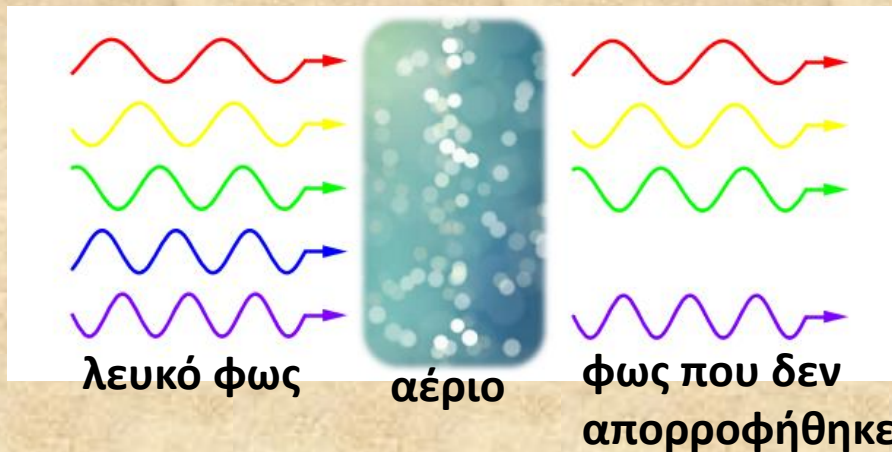
φάσμα εκπομπής:



4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

Διέγερση με απορρόφηση ακτινοβολίας

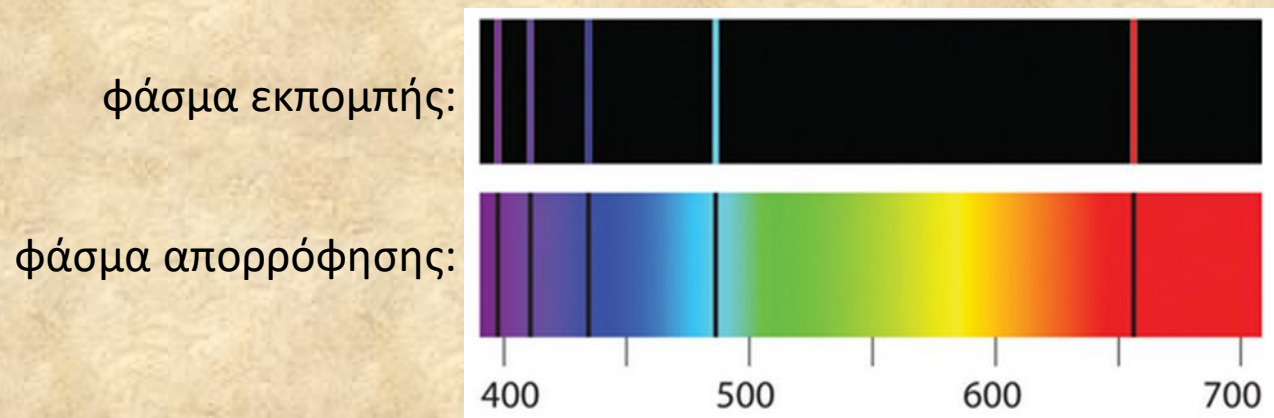
- Όταν **λευκό φως**, το οποίο, όπως γνωρίζουμε, **περιέχει όλα τα μήκη κύματος**, διέρχεται μέσα από **αέριο υδρογόνο**, τότε το αέριο **απορροφά μόνο εκείνα τα φωτόνια** τα οποία έχουν μήκη κύματος που αντιστοιχούν σε **μεταβάσεις μεταξύ των επιτρεπόμενων τιμών ενέργειας** του ατόμου του υδρογόνου.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



4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

Διέγερση με απορρόφηση ακτινοβολίας - Συμπέρασμα

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



4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

Η επιτυχία και η αποτυχία του προτύπου του Bohr

- Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, όταν το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου μεταβεί από **αρχική τροχιά**, με κβαντικό αριθμό n_a , σε **τελική τροχιά** μικρότερης ενέργειας, με κβαντικό αριθμό n_τ , τότε εκπέμπεται ένα φωτόνιο συχνότητας f , και ισχύει:

$$E_a - E_\tau = h \cdot f \implies f = \frac{E_a - E_\tau}{h}$$

- Το μήκος κύματος του **εκπεμπόμενου φωτονίου** υπολογίζεται από την εξίσωση: $c = \lambda \cdot f$
- Οι τιμές του μήκους κύματος που υπολογίζονται από την παραπάνω εξίσωση **συμφωνούν με τις πειραματικές τιμές**. Δηλαδή το πρότυπο του Bohr περιγράφει τα **γραμμικά φάσματα του υδρογόνου**.

4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

Η επιτυχία και η αποτυχία του προτύπου του Bohr

- Το **πρότυπο του Bohr** μπορεί να επεκταθεί και σε **ιόντα** που έχουν **μόνο ένα ηλεκτρόνιο**, όπως το (He^+), το (Li^{2+}) κ.λπ. τα οποία ονομάζονται **υδρογονοειδή**.
- Το **πρότυπο του Bohr** δεν μπορεί να ερμηνεύσει τα γραμμικά φάσματα των ατόμων που έχουν **δύο ή περισσότερα ηλεκτρόνια**.
- Κατά το **1920** αναπτύχθηκε μια νέα θεωρία, η **κβαντομηχανική**, η οποία **περιγράφει με επιτυχία** τα φαινόμενα που αναφέρονται στα **σωματίδια του μικρόκοσμου** και στο **φως**.

4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

Παραδείγματα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 - 2

Να υπολογιστεί το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει το άτομο του υδρογόνου, όταν μεταπηδά από την κατάσταση με $n=6$ στην κατάσταση με $n=2$. Η ενέργεια του ατόμου του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση είναι $E_1 = -13,6\text{eV}$ ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$)

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

$E_6 - E_2 = hf$. Αντικαθιστώντας $f = \frac{c}{\lambda}$, βρίσκουμε:

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

Οι ενέργειες E_2 και E_6 υπολογίζονται από τις εξισώσεις:

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

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

Αντικαθιστώντας στην (1) τις παραπάνω τιμές, βρίσκουμε:

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

4.3 Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

Παραδείγματα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 - 3

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

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

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

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

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

Αντικαθιστώντας $E_{\infty} = 0$ και $E_1 = -13,6\text{eV}$, βρίσκουμε:

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

Η ενέργεια E που απαιτείται, για να ιονιστεί το άτομο, εί-

ναι ίση με την ενέργεια hf του φωτονίου, που προκαλεί τον ιονισμό. Άρα: $E = hf$.

Αντικαθιστώντας $f = c/\lambda$, βρίσκουμε: $E = h \frac{c}{\lambda}$, οπότε

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 0,91 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

(β) Η ενέργεια που απαιτείται, για να ιονιστεί το άτομο, είναι ίση με την κινητική ενέργεια $\frac{1}{2}mv^2$ του ηλεκτρονίου:

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

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 2,19 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$