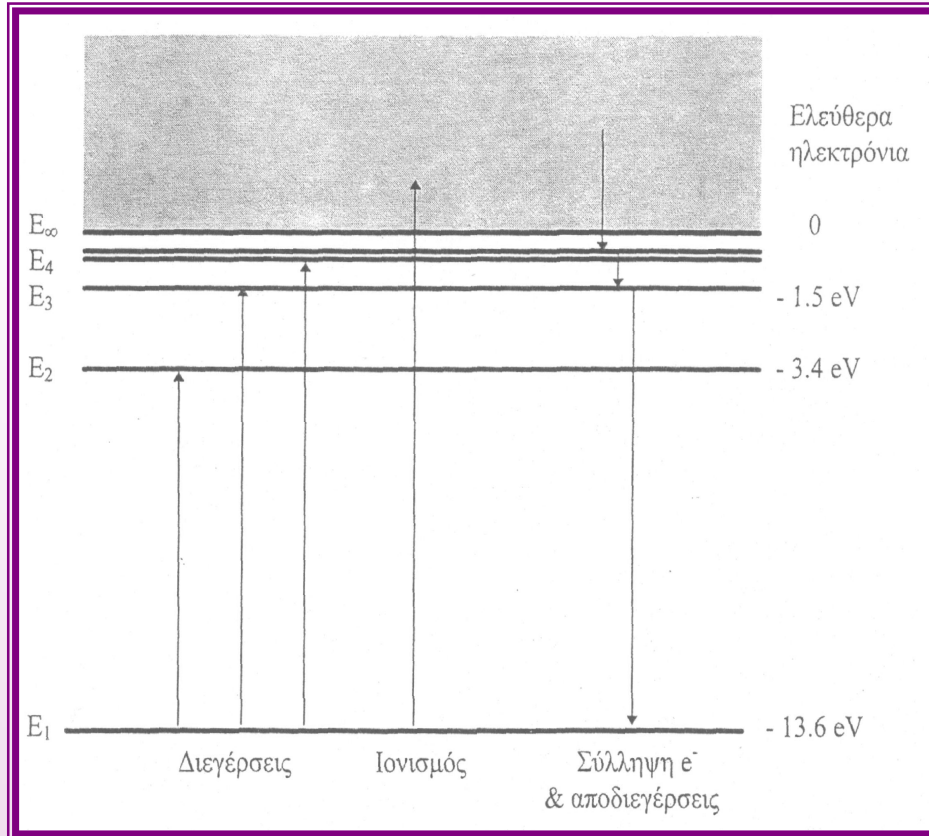


ΔΙΕΓΕΡΣΗ – ΑΠΟΔΙΕΓΕΡΣΗ ΑΤΟΜΟΥ Η



$$E_{\text{τελ}} > E_{\text{αρχ}} \rightarrow \underline{\text{ΔΙΕΓΕΡΣΗ}}$$

$$E_{\text{τελ}} > 0 \rightarrow \text{ΙΟΝΙΣΜΟΣ}$$

$$E_{\text{τελ}} < E_{\text{αρχ}} \rightarrow \underline{\text{ΑΠΟΔΙΕΓΕΡΣΗ}}$$

- $E_e > 0$: Το e^- κινείται ελεύθερα έξω από το πεδίο του πυρήνα

Μη Δέσιμο e^-

- $E_e = 0$: Το e^- είναι έτοιμο να διαφύγει από το πεδίο του πυρήνα

Κβαντικός αριθμός $n = \infty$

- $E_e < 0$: Το e^- έχει εγκλωβιστεί εντός του πεδίου του πυρήνα

Δέσιμο e^- $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$

- $E_1 \rightarrow$ Το e^- έχει τη μεγαλύτερη ενέργεια σύνδεσης και το άτομο βρίσκεται στη στάθμη ηρεμίας

Βασική Στάθμη του Ατόμου

- $E_{2,3,\dots} \rightarrow$ Το e^- έχει μικρότερη ενέργεια σύνδεσης και το άτομο βρίσκεται σε κατάσταση διέγερσης

Διεγερμένες Στάθμες του Ατόμου

Μηχανισμοί Διέγερσης – Αποδιέγερσης Ατόμου

Ένα άτομο ΔΙΕΓΕΙΡΕΤΑΙ όταν προσλάβει τόση ενέργεια ΔE (μερικά eV) όση απαιτείται για να μεταβεί από τη βασική του στάθμη σε οποιαδήποτε από τις διεγερμένες του.

Κατά την διέγερση του ατόμου κάποιο-α ατομικά e^- μεταπηδούν σε ενεργειακά υψηλότερες στοιβάδες

- **ΜΗ ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΚΡΟΥΣΕΙΣ** μεταξύ ατόμων ή ατόμων με σωματίδια
- **ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΦΩΤΟΝΙΟΥ** (ή και φωτονίων) όταν $\Delta E = h\nu$ (απορρόφηση συντονισμού)

Ένα διεγερμένο άτομο μετά από ένα μέσο χρόνο 10^{-8}sec ΑΠΟΔΙΕΓΕΙΡΕΤΑΙ αυθόρμητα επανερχόμενο στη βασική του στάθμη.

Κατά την αποδιέγερση του ατόμου το-α ατομικά e^- μεταπηδούν σε ενεργειακά χαμηλότερες στοιβάδες

- **ΕΚΟΜΠΗ ΦΩΤΟΝΙΟΥ**

με ενέργεια $h\nu = \Delta E$

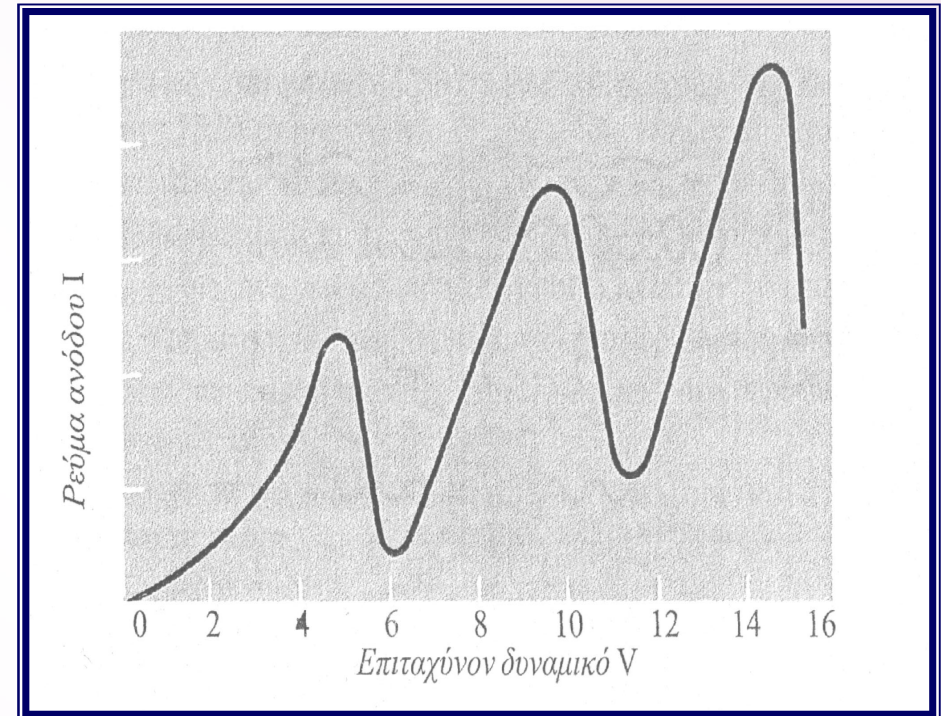
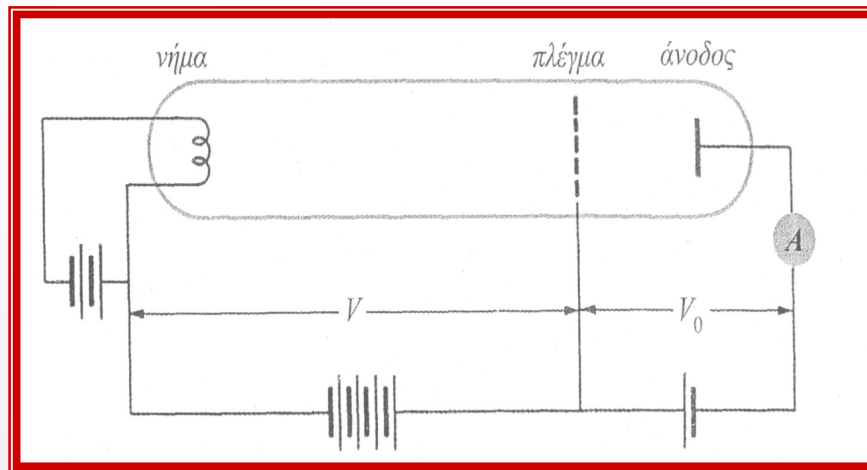
(κύριος μηχανισμός αποδιέγερσης)

Εκπομπή ατομικού e^- με ενέργεια $\Delta E - E_{\text{Σύδεσης-}e}$ (Ηλεκτρόνια Auger)

Μη ελαστικές κρούσεις με άλλα άτομα δίνοντας στα e^- αυτών των ατόμων την ενέργειά του.

Πείραμα Franck – Hertz [1913]

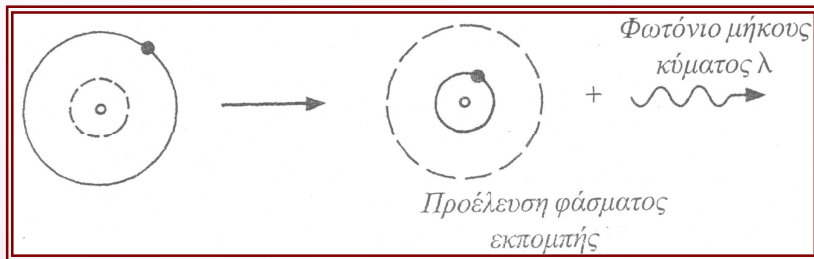
[Μελέτη της διέγερσης ατόμων μέσω μη ελαστικών συγκρούσεων με ηλεκτρόνια]



- Υπολογίστηκαν τα δυναμικά επιτάχυνσης των e^- για τα οποία παρατηρήθηκε μετάβαση του ατόμου από τη βασική στην χαμηλότερη διεγερμένη στάθμη του
- **Το πείραμα αυτό αποτελεί μια ανεξάρτητη επιβεβαίωση της θεωρίας του Bohr**

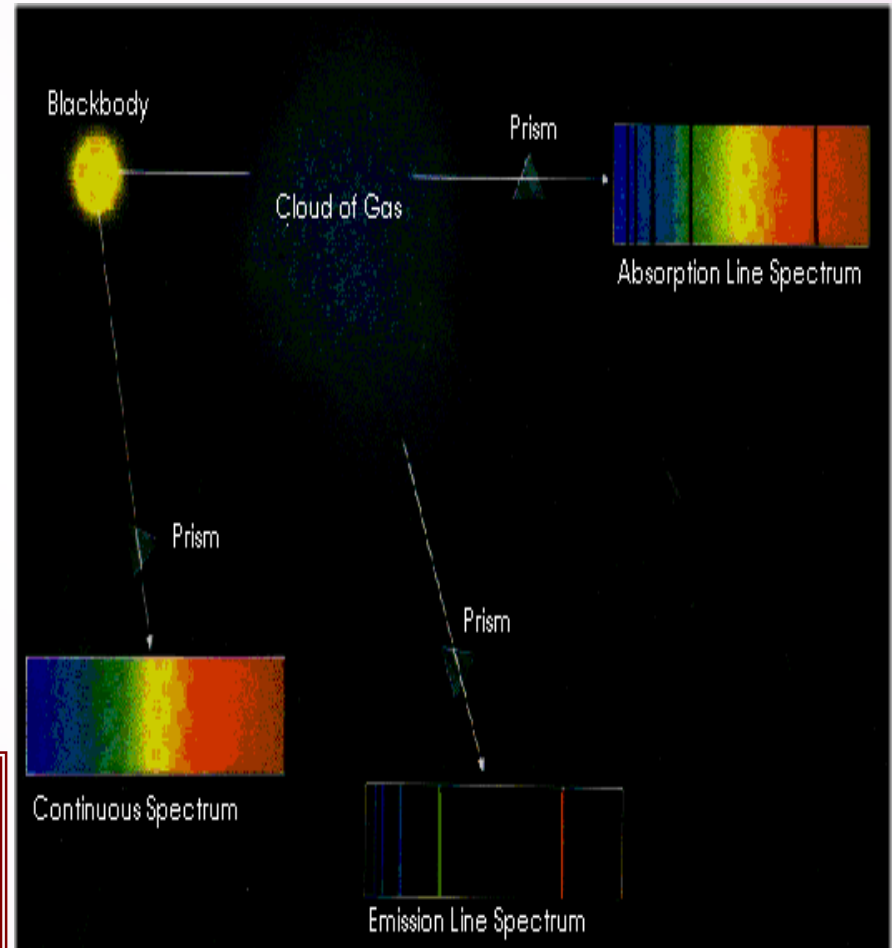
Ατομικά Φάσματα

[Μελέτη της διέγερσης ατόμων μέσω απορρόφησης φωτονίων]

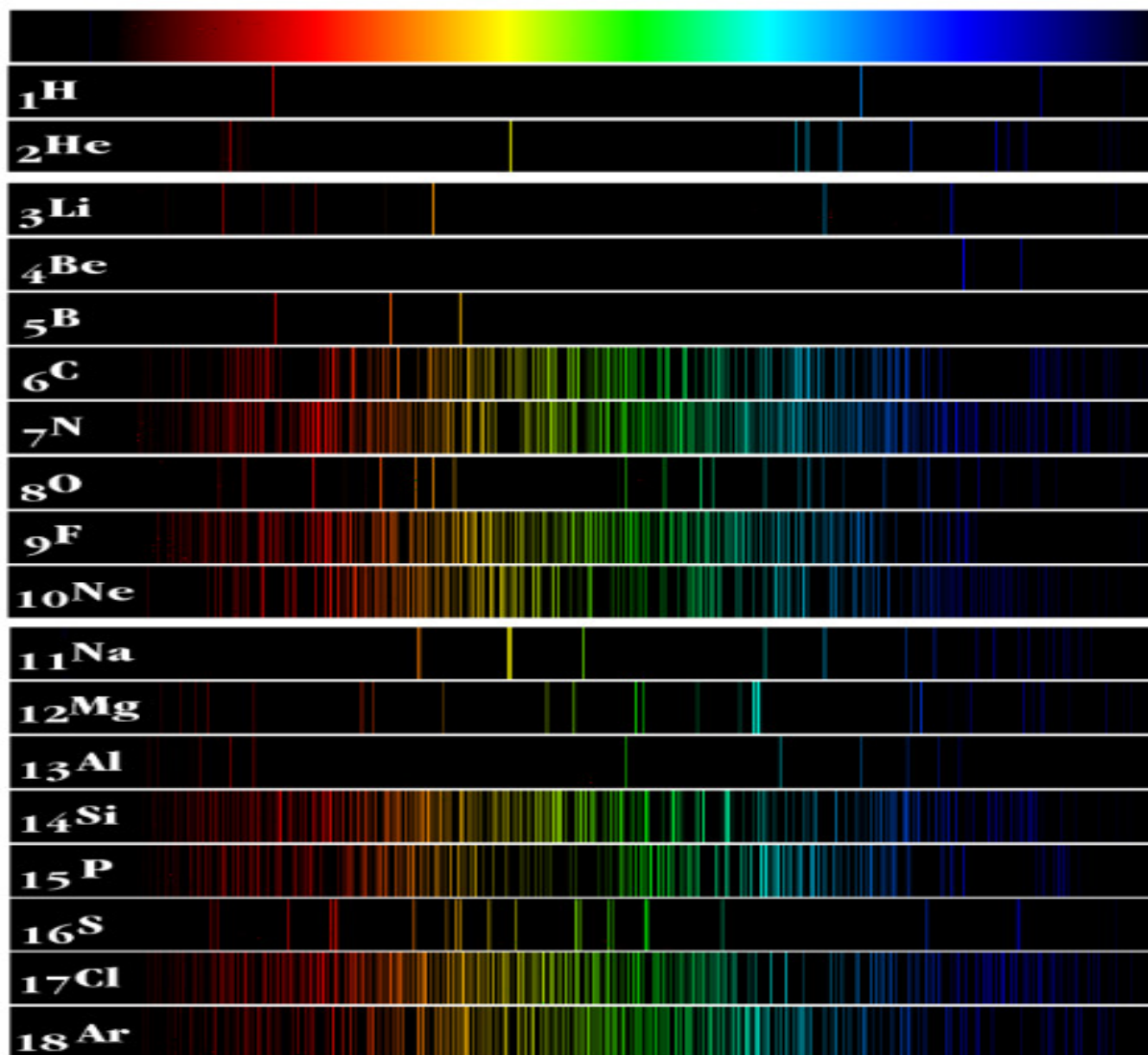


$$k = \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n > m \quad \text{Rydberg (1889)}$$

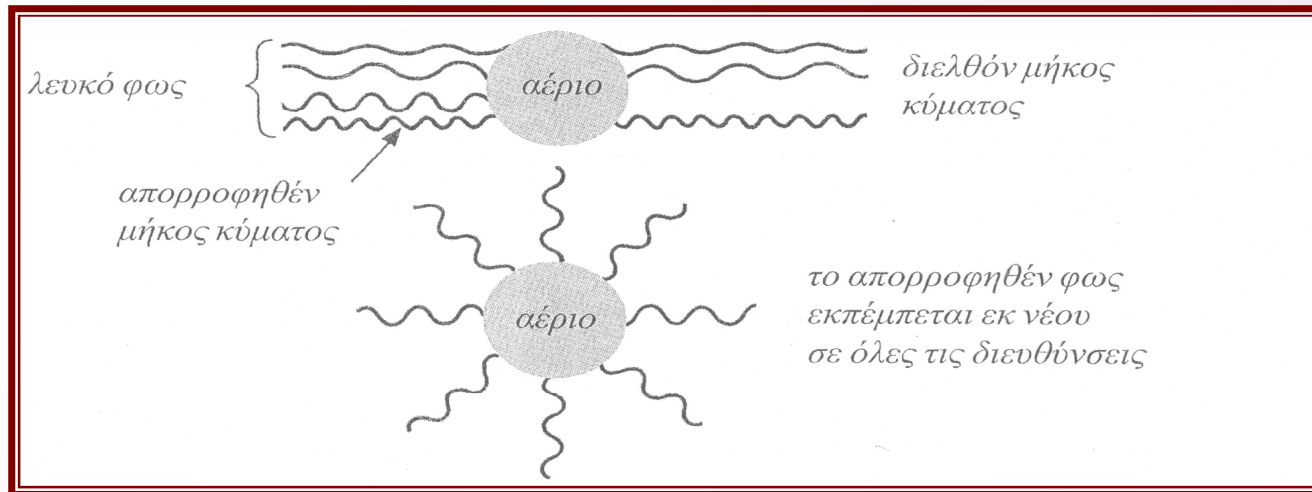
$$k = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{ch^3} \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$



Φάσματα Εκπομπής Ατόμων



Φθορισμός - Φωσφορισμός



- **Φθορισμός** καλείται το φαινόμενο κατά το οποίο ένα διεγερμένο άτομο εκπέμπει φως σχεδόν ταυτόχρονα με την διέγερσή του. Το φως αυτό οφείλεται σε ατομικά e^- που μεταπηδούν σε διεγερμένες ενεργειακές στάθμες του ατόμου με 10^{-8} sec τυπικό χρόνο παραμονής των e^- σε αυτές.
- **Φωσφορισμός** καλείται το φαινόμενο κατά το οποίο ένα διεγερμένο άτομο εκπέμπει φως ακόμη και μετά από αρκετό χρόνο από την διέγερσή του. Το φως αυτό οφείλεται σε ατομικά e^- που μεταπηδούν σε διεγερμένες ενεργειακές στάθμες του ατόμου με $\gg 10^{-8}$ sec χρόνο παραμονής των e^- σε αυτές. Οι διεγερμένες αυτές ατομικές στάθμες χαρακτηρίζονται ως «μετασταθείς»

Φθορισμός Συντονισμού

Φθορισμός συντονισμού ή απορρόφηση συντονισμού καλείται το φαινόμενο όπου ένα αέριο-στόχος διεγείρεται από μία φωτεινή πηγή η οποία αποτελείται από ένα ίδιο υπέρθερμο αέριο. **Ατμοί Hg φθορίζουν όταν ακτινοβολούνται με το φως μιάς λυχνίας Hg.**

Λυχνία Hg εκπέμπει φωτόνια που προέρχονται από διέγερση των ατόμων Hg μεταξύ δύο ενεργειακών σταθμών E_α και E_τ , οπότε τα εν λόγω φωτόνια έχουν ενέργεια $\Delta E = E_\tau - E_\alpha = h\nu_0$ και ορμή $p_\phi = h\nu_0 / c = \Delta E / c$

Τα φωτόνια αυτά απορροφούνται από τους ατμούς Hg του στόχου και προκαλούν ανάκρουση των ατόμων λόγω αρχής διατήρησης της ορμής [$p_A = p_\phi$]. Η ενέργεια ανάκρουσης των ατόμων Hg του στόχου θα ισούται με $E_R = p_A^2 / 2m_A = (\Delta E)^2 / 2m_A c^2$

Στην περίπτωση της εκπομπής φωτονίου από την λυχνία (αποδιέγερση ατόμων) η ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου είναι $E_{\text{εκπ}} = h\nu_{\text{εκπ}} = \Delta E - E_R$

Στην περίπτωση της απορρόφησης φωτονίου από το αέριο-στόχο (διέγερση ατόμων) η ενέργεια του απορροφούμενου φωτονίου θα πρέπει να είναι $E_{\text{απ}} = h\nu_{\text{απ}} = \Delta E + E_R$

Επομένως τα φωτόνια της λυχνίας Hg υπολείπονται κατά πόσο $2E_R$ από το απαιτούμενο ποσό ενέργειας που δύναται να προκαλέσει διέγερση των ατόμων Hg του στόχου

- **ΑΔΥΝΑΤΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ο Φθορισμός Συντονισμού ???? !!!!!**

Γιατί συμβαίνει ο Φθορισμός Συντονισμού

$$E_R = p_A^2 / 2m_A = (\Delta E)^2 / 2m_A c^2$$

$$\text{Άτομα H} : E_R = (10\text{eV})^2 / 2\text{GeV} \approx 10^{-8} \text{ eV}$$

$$\text{Ατμούς Hg} : E_R = (100\text{keV})^2 / 400\text{GeV} \approx 10^{-2} \text{ eV}$$

Ο φθορισμός συντονισμού συμβαίνει διότι οι φασματικές γραμμές εμφανίζουν μη μηδενικό ενεργειακό πλάτος

(α) φασματική γραμμή με μηδενικό πλάτος

(β) πλάτος φασματική γραμμής λόγω της αρχής απροσδιοριστίας : $\tau \cdot \Delta E_{\text{Heis}} \geq \hbar/2$

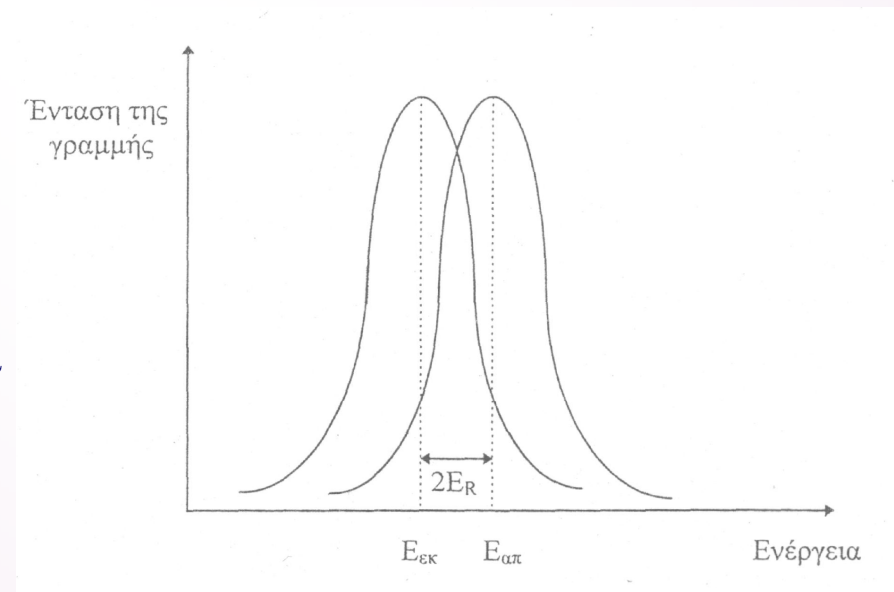
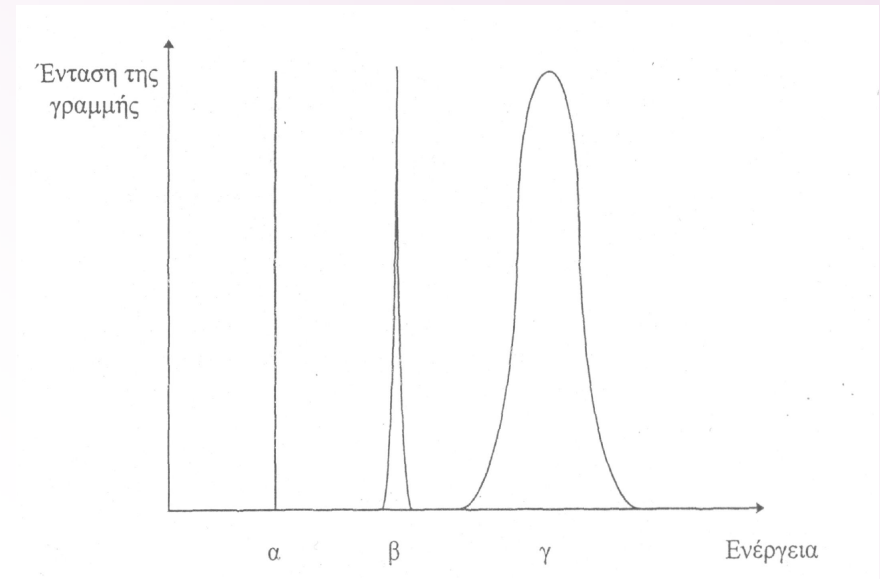
$$\tau \cdot \Delta E_{\text{Heis}} \geq \hbar/2 \rightarrow \Delta E_{\text{Heis}} \geq \hbar/2\tau \approx 10^{-7} \text{ eV}$$

(γ) πλάτος φασματικής γραμμής λόγω του φαινομένου Doppler: $\Delta E_{\text{Doppler}} \approx (v/c)\Delta E$

Λόγω θερμικής κίνησης των ατόμων η ταχύτητα τους είναι $v = (2kT/m_A)^{1/2}$ όπου $kT = 0.025\text{eV}$

$$v_H = 10^{-5}c \rightarrow \Delta E_{\text{Doppler}} \approx (v/c)\Delta E \approx 10^{-4} \text{ eV}$$

$$v_{\text{Hg}} = 10^{-6}c \rightarrow \Delta E_{\text{Doppler}} \approx (v/c)\Delta E \approx 10^{-1} \text{ eV}$$



LASER – MASER

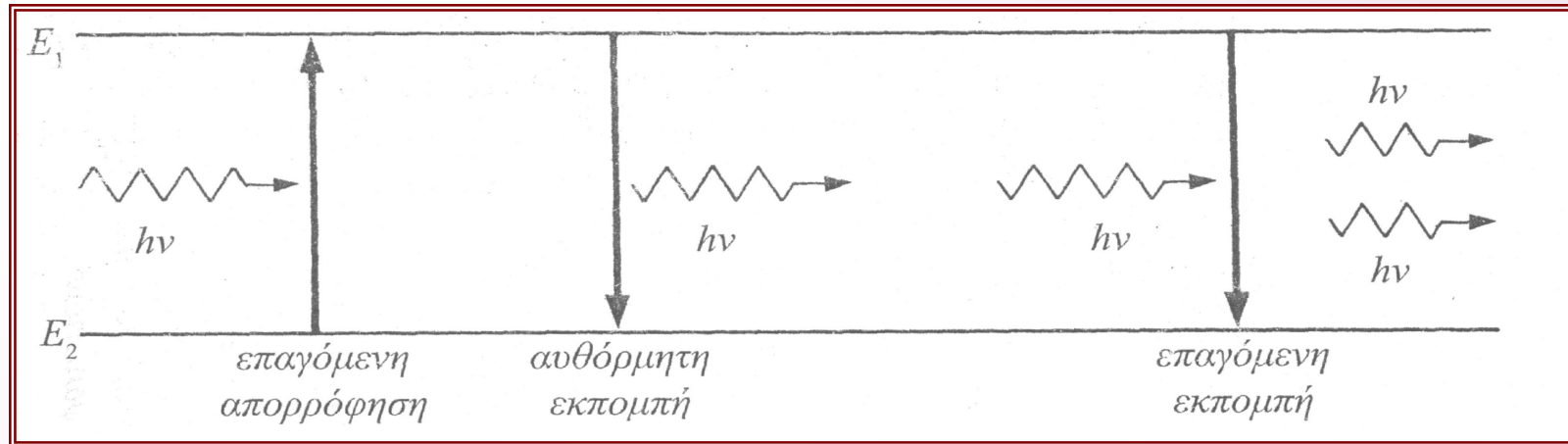
Light (Microwave) Amplification by Stimulated Emission of Radiation

- Παραγωγή λεπτής φωτεινής σχεδόν μονοχρωματικής δέσμης λόγω συντονισμένης εκπομπής απόλυτα σύμφωνων φωτονίων από πολλά άτομα
- Μια δέσμη laser δεν αποκλίνει σχεδόν καθόλου ακόμη και για αποστάσεις $\sim 10^6$ km
- Η ένταση της δέσμης είναι πάρα πολύ μεγάλη και αντιστοιχεί σε ένταση φωτός που παράγεται από μέλαν σώμα με $T = 10^{30}$ K

Κλειδιά για την παραγωγή laser είναι :

- (α) η πλειοψηφία των ατόμων του υλικού να βρίσκεται σε «μετασταθή» διεγερμένη στάθμη ($\geq 10^{-3}$ sec). Το φαινόμενο αυτό καλείται **αναστροφή πληθυσμού** και δεν συμβαίνει σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας όπου η πλειονότητα των ατόμων βρίσκεται στη βασική κατάσταση. Αναστροφή πληθυσμού επιτυγχάνεται μέσω απορρόφησης εξωτερικών φωτονίων [**οπτική άντληση**] ή μέσω μη ελαστικών συγκρούσεων με άτομα ή σωματίδια [**άντληση κρούσης**]
- (β) η αποδιέγερση του εκάστοτε ατόμου από τη «μετασταθή» του στάθμη να συμβάνει όχι μέσω αυθόρμητης αποδιέγερσής του αλλά μέσω του μηχανισμού της «**εξαναγκασμένης εκπομπής**» από φωτόνιο αποδιέγερσης γειτονικού του ατόμου-φθορισμός συντονισμού

Μηχανισμός «Εξαναγκασμένης Εκπομπής»



Εξαναγκασμένη Εκπομπή

- Επαγόμενη Απορρόφηση



- Αυθόρμητη Εκπομπή



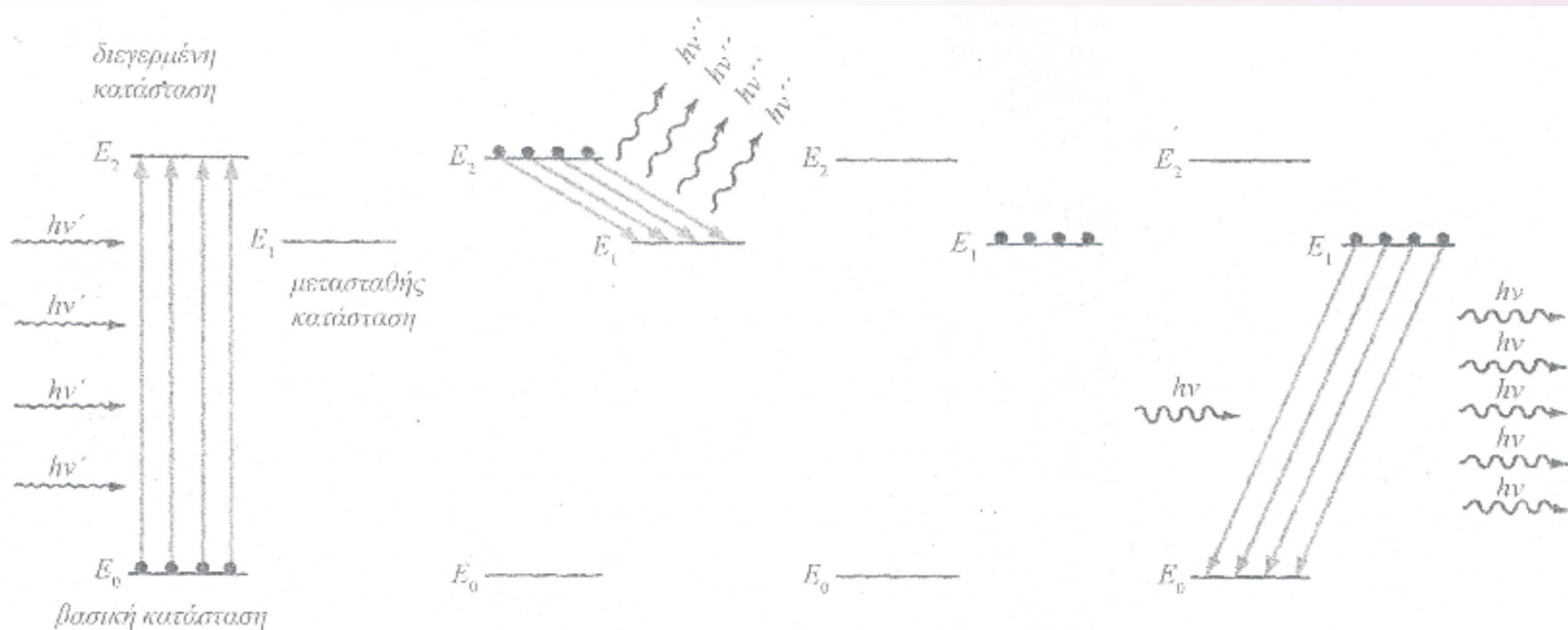
Τα φωτόνια εκπέμπονται τυχαία προς όλες τις κατευθύνσεις στο χώρο

Το άτομο εξαναγκάζεται μέσω διαδικασίας συντονισμού να μεταπηδήσει στην βασική του στάθμη απορροφώντας ένα φωτόνιο κατάλληλης ενέργειας π.χ. από γειτονικό του άτομο που αποδιεγείρεται αυθόρμητα



Τα δύο φωτόνια που εκπέμπονται είναι ταυτόσημα του αρχικού φωτονίου (light amplification) και αναδύονται μαζί ως συμφωνη ακτινοβολία

Αρχή Λειτουργίας του LASER



Άτομα στη βασική κατάσταση μεταφέρονται στην κατάσταση E_2 με φωτόνια ενέργειας $h\nu' = E_2 - E_0$ (ή με συγκρούσεις)

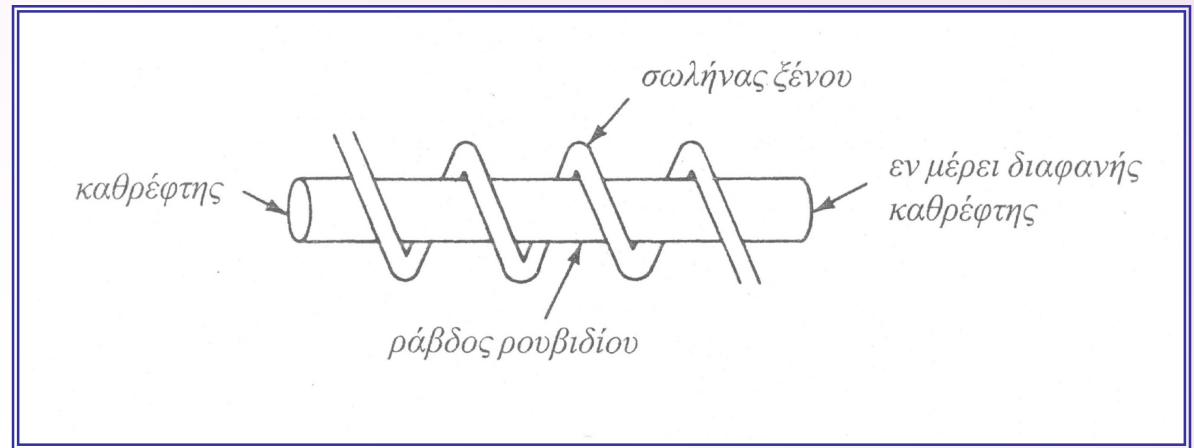
Ταχεία μετάπτωση στη μετασταθή κατάσταση E_1 με αυθόρμητη εκπομπή φωτονίων ενέργειας $h\nu' = E_2 - E_0$ (ή με άλλο τρόπο)

Μετασταθείς καταστάσεις κατειλημμένες σε πολλά άτομα

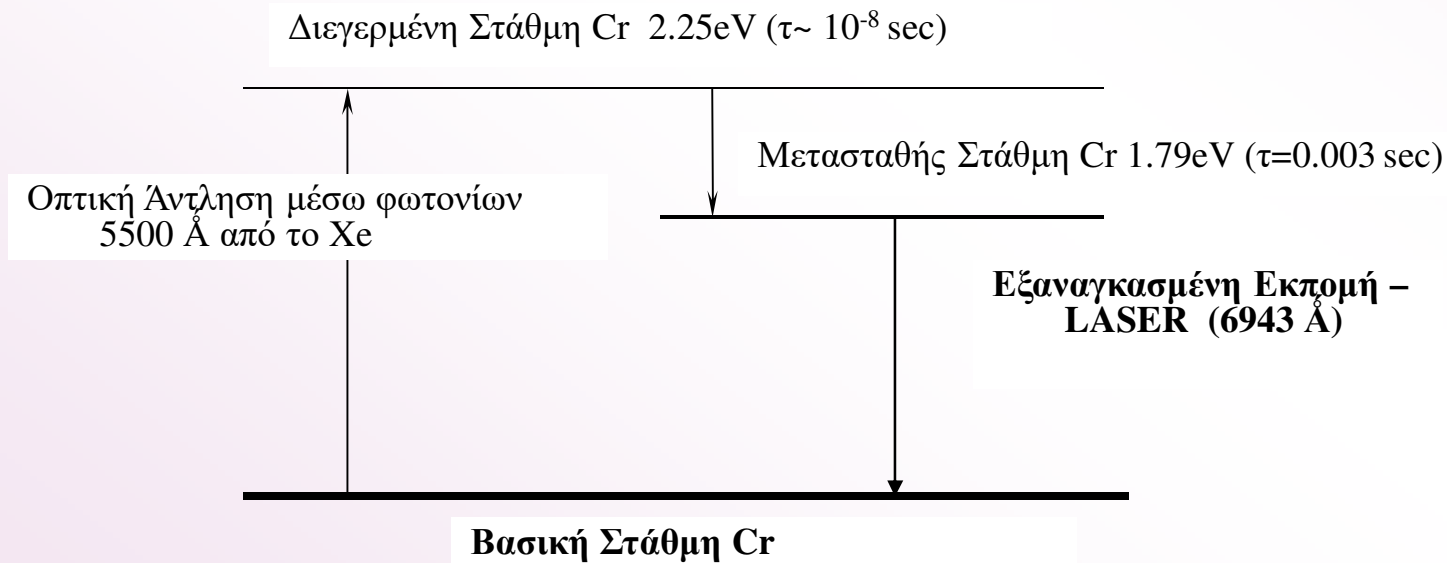
Επαγόμενη εκπομπή συμβαίνει όταν προσπίπτουν φωτόνια ενέργειας $h\nu' = E_1 - E_0$ ενώ τα δευτερογενή φωτόνια επάγουν περαιτέρω μεταπτώσεις ώστε τελικά να παραχθεί μια χιονοστιβάδα σύμφωνων φωτονίων

LASER Ρουμπινιού

[Τριών Σταθμών]



- Το ρουμπίνι – ρουβίδιο είναι κρύσταλλος Al_2O_3 με προσμείξεις Cr_2O_3 στις οποίες οφείλεται και το όλο φαινόμενο
- Το RUBY-laser ήταν το πρώτο επιτυχές laser και χαρακτηρίζεται ως laser τριών σταθμών



LASER He – Ne

[Τεσσάρων Σταθμών]

