

Μηχανισμοί παραγωγής φωτός

Μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτός- ύλης

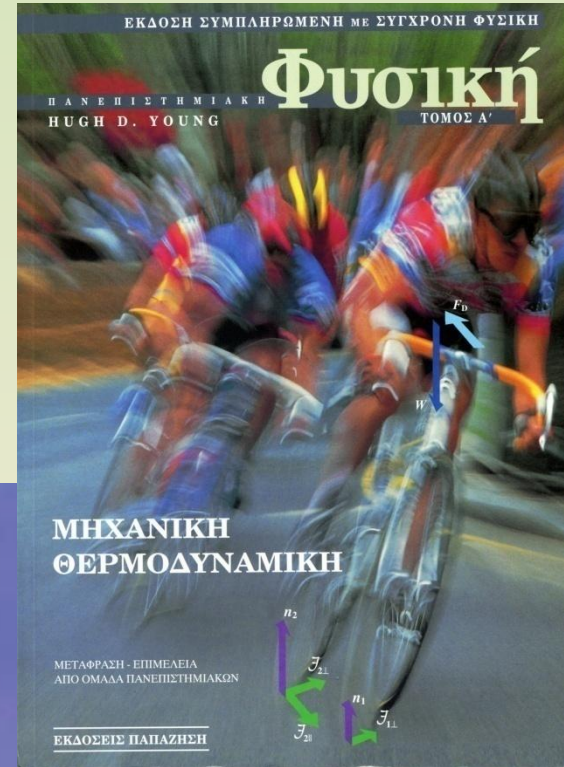
ΑΕΑΑ 2021-2022

Βιβλιογραφία



Το σύγγραμμα αυτό διατίθεται και μπορείτε να το «κατεβάσετε»
ΔΩΡΕΑΝ στο ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟ: www.kallipos.gr

Βιβλιογραφία



<https://slideplayer.gr/slide/13939507/>

φως

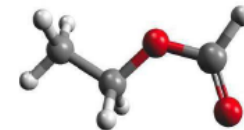


Πηγή
φωτός

Γιατί βλέπουμε τα αντικείμενα

10-9-2021

Βιβλιογραφία



Βασικά στοιχεία αλληλεπίδρασης ακτινοβολίας και ύλης

https://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY248/2011/notes/2011/lecture_2.pdf



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ

Ενότητα 3: Αλληλεπίδραση Ύλης -
Ακτινοβολίας

Όνομα Καθηγητή: Χριστόφορος Κροντηράς
Τμήμα Φυσικής

Διάλεξη 2^η

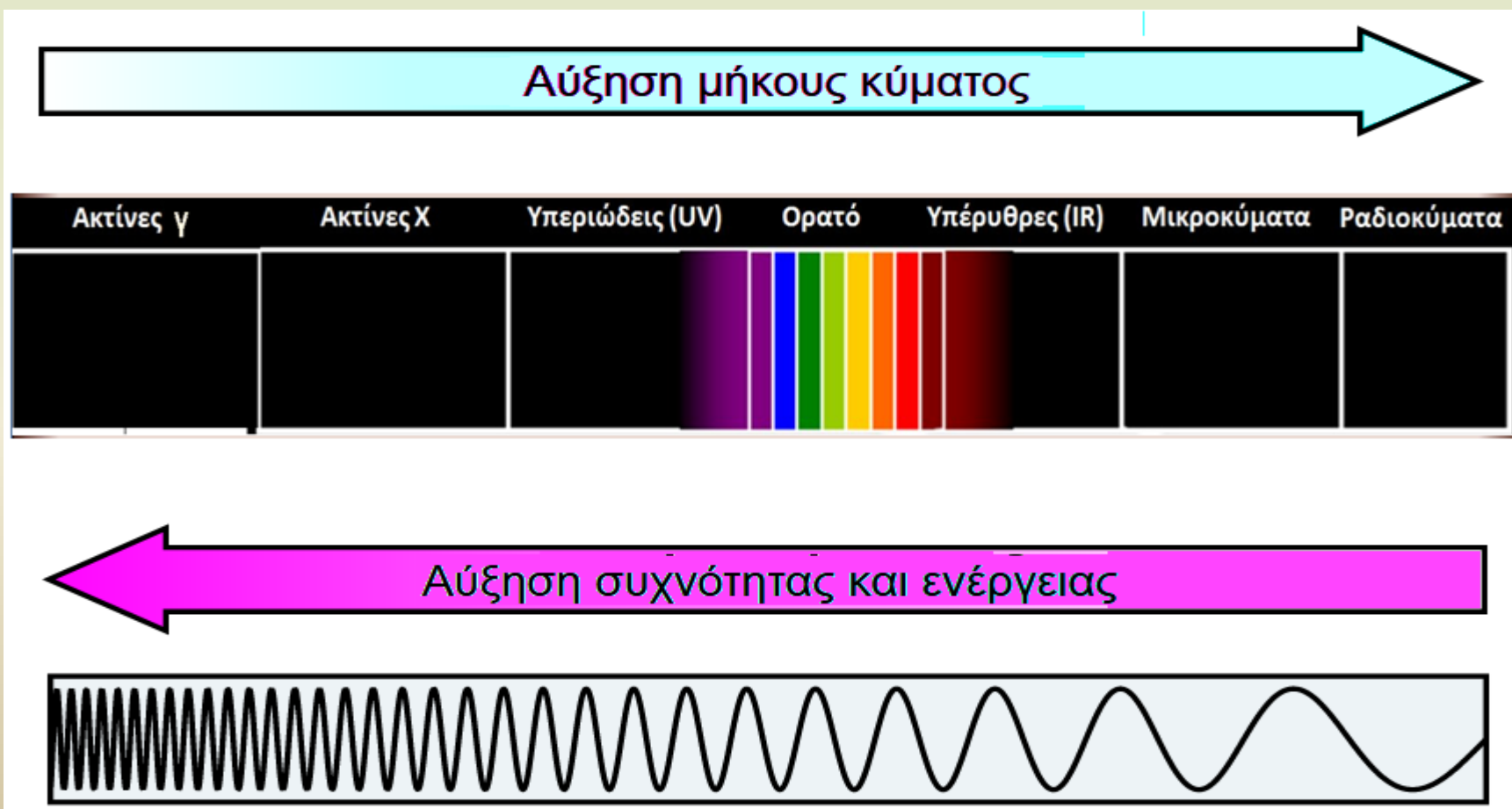
Στην παρούσα διάλεξη θα συζητηθούν:

- **Μηχανισμοί παραγωγής φωτός**
- **Μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτός-ύλης**

• **Μηχανισμοί παραγωγής φωτός**

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Όταν αναφέρουμε τον όρο «φως» δεν εννοούμε το ορατό φως αλλά όλες τις περιοχές συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ακτίνες γ , x , υπεριώδεις, ορατές, υπέρυθρες, μικροκύματα, ραδιοκύματα)



Μηχανισμοί παραγωγής φωτός (όχι μόνο ορατού)

Φως παράγεται κυρίως με τις παρακάτω βασικές κατηγορίες μηχανισμών (ενδεχομένως υπάρχουν κι άλλοι):

- 1. Μεταβολή κίνησης κινούμενων φορτίων:** Όταν κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο μεταβάλλει την κίνησή-ταχύτητα του (μέσω επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης), δηλαδή όταν δεν κινείται ευθύγραμμα κι ομαλά, αλλά επιταχυνόμενα ή επιβραδυνόμενα, τότε παράγει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Όταν το ηλεκτρικό φορτίο κινείται ευθύγραμμα και ομαλά, δεν παράγει φως*.
- 2. Αποδιέγερση κβαντικών συστημάτων:** Όταν διεγερμένο υλικό κβαντικό σύστημα ευρισκόμενο σε στάθμη υψηλής ενέργειας αποδιεγείρεται και μεταπίπτει σε κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας από την αρχική του, το πλεόνασμα της ενέργειας εκπέμπεται ως φωτόνιο ορισμένης συχνότητας (=ενέργειας). Παραδείγματα κβαντικών συστημάτων που παράγουν φως με την αποδιέγερσή τους από διεγερμένη κατάσταση μπορεί να είναι πυρήνες ατόμων, ηλεκτρόνια σε άτομα ή και μόρια, ελεύθερα ή σε υγρούς ή στερεούς κρυστάλλους, ταλαντώσεις των ατόμων ενός μορίου, περιστροφές ολόκληρου μορίου κ.ά.
- 3. Εξαϋλωση ύλης-αντιύλης:** Όταν ύλη εξαϋλώνεται λόγω σύγκρουσης με την αντίστοιχη αντιύλη, όλη η μάζα μετατρέπεται σε φωτόνια.

4. κ.ά.



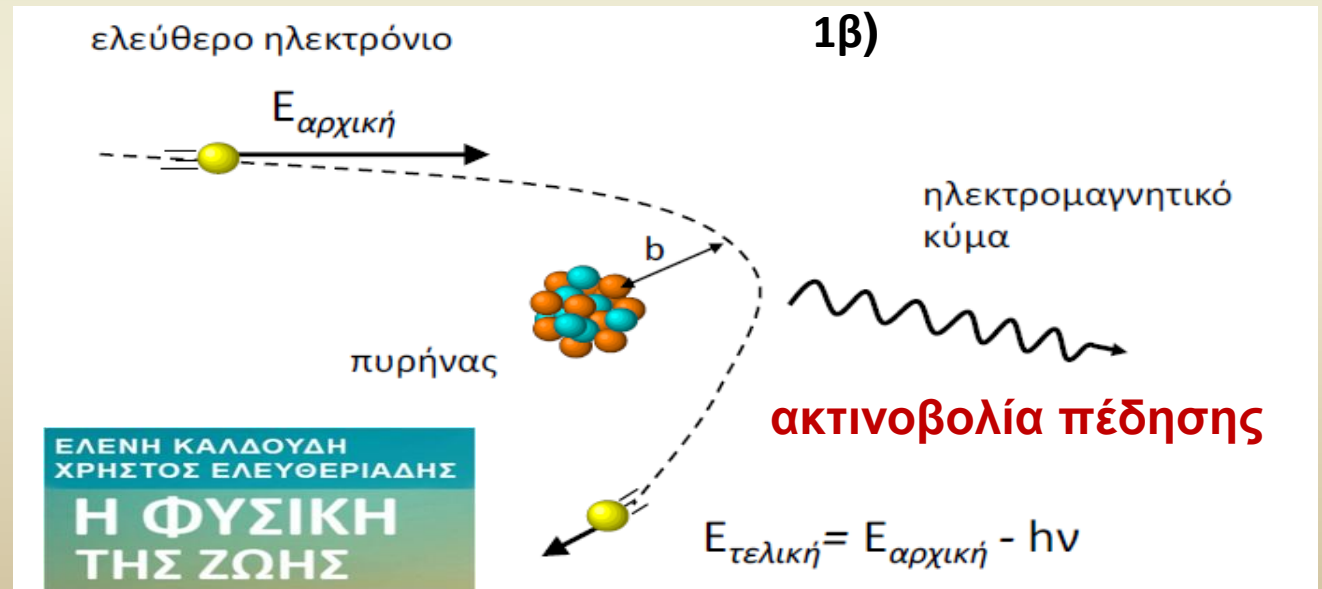
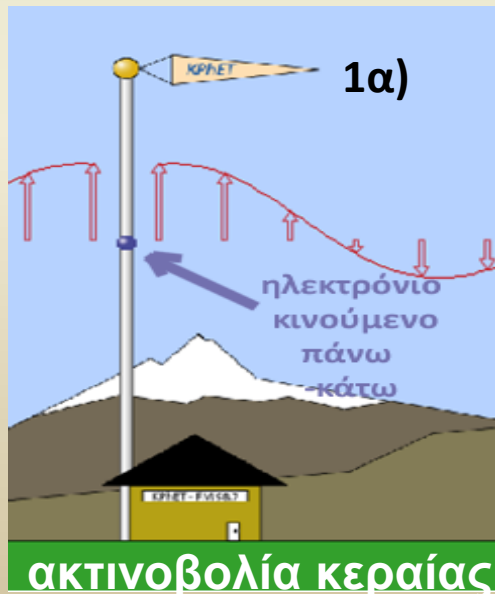
* (Στην ευθύγραμμη ομαλή κίνηση αλλάζει η θέση ενός αντικειμένου, η ταχύτητα του μένει σταθερή και δεν υπάρχει επιτάχυνση ή επιβράδυνση).

Ανάλυση των μηχανισμών παραγωγής φωτός-ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (όχι μόνο ορατού)

1) **Μεταβολή κίνησης κινούμενων φορτίων:** Όταν κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο μεταβάλλει την κίνησή του με επιτάχυνση-επιβράδυνση παράγεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Μπορεί το κινούμενο φορτίο να είναι π.χ. ηλεκτρόνιο σε αγωγό που υποβάλλεται σε εναλλασσόμενη τάση ή ταχέως κινούμενο ηλεκτρόνιο που βομβαρδίζει ύλη και χάνει απότομα την κινητική του ενέργεια λόγω φρεναρίσματος, ταχέως κινούμενα ιόντα που με κάποιον τρόπο μεταβάλλουν την κίνησή τους (συνήθως με κυκλική κίνηση*) και άλλες περιπτώσεις. Ας δούμε πιο συγκεκριμένα παραδείγματα αυτής του μηχανισμού:

1α) τα ηλεκτρόνια που κινούνται παλινδρομικά πάνω-κάτω στην κεραία ενός πομπού-ακτινοβολία κεραίας (<https://phet.colorado.edu/el/simulations/radio-waves>),

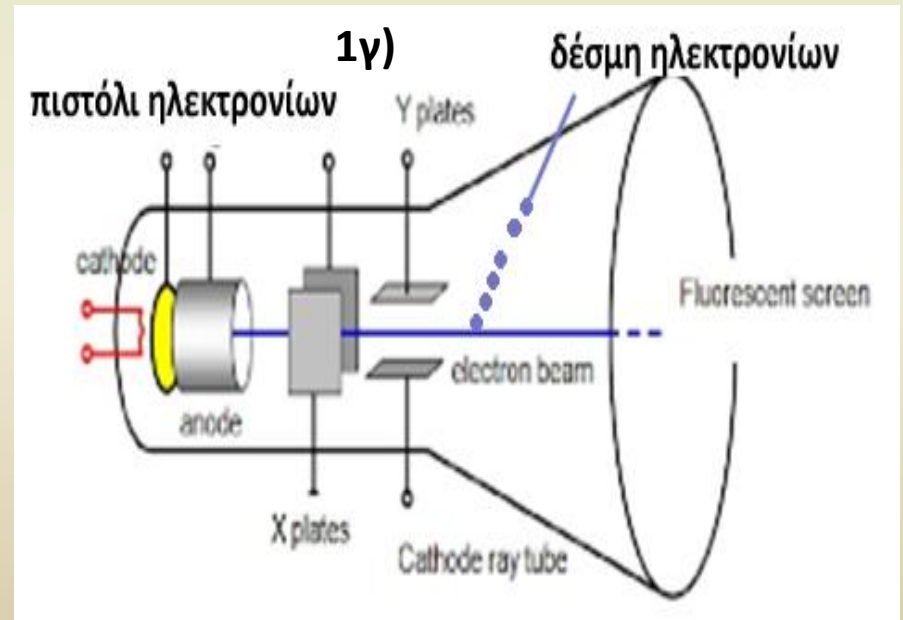
* εδώ να επισημανθεί πώς το δέσμιο ηλεκτρόνιο γύρω από τον πυρήνα παρότι κάνει κίνηση μεταβαλλόμενη, δεν χάνει ενέργεια και δεν ακτινοβολεί. Αυτό είναι ακατανόητο κι αποτελεί ένα από τα ΑΝΕΞΗΓΗΤΑ ΤΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ, αλλά ας μην το σχολιάσουμε περαιτέρω.



Ανάλυση των μηχανισμών παραγωγής φωτός-ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (όχι μόνο ορατού)

1β) Το ελεύθερο κινούμενο ηλεκτρόνιο εξαιτίας έλξης από έναν πυρήνα από του οποίου τη γειτονιά τυχαίνει να περνά, χάνει μέρος της κινητικής του ενέργειας το οποίο εκπέμπεται ως ακτινοβολία-το φως αυτό ονομάζεται **ακτινοβολία πέδησης-φρεναρίσματος *Bremmstrahlung*** (βλέπε σχήμα 1β).

1γ) Η εκπομπή ακτινοβολίας από κινούμενο ηλεκτρόνιο όταν αυτό αλλάζει την πορεία της κίνησής του εξαιτίας αλληλεπίδρασής του με εξωτερικό ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο (στους μεγάλους επιταχυντές π.χ. Cern και στις τηλεοράσεις παλαιού τύπου CRT κ.ά.-δες σχετική διαφάνεια).

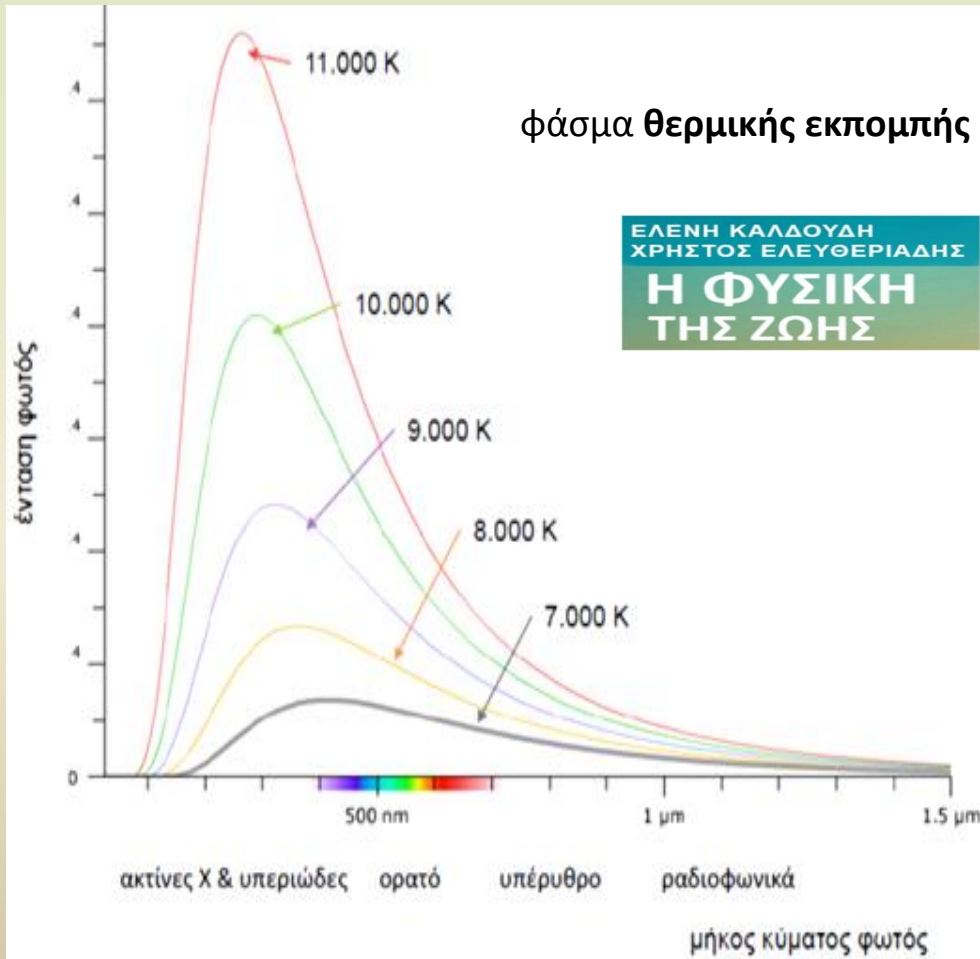


Εξωτερική όψη τηλεόρασης παλαιού τύπου CRT (cathode ray tube) και μηχανισμός

Ανάλυση των μηχανισμών παραγωγής φωτός (όχι μόνο ορατού)

1δ) Η θερμική ακτινοβολία ή ακτινοβολία μέλανος σώματος.

Τα άτομα και τα μόρια στην ύλη κινούνται συνεχώς λόγω της θερμοκρασίας που βρίσκεται η ύλη. Η μεταβολή αυτή της κίνησης των ατόμων ή μορίων δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το φάσμα που προκύπτει αποτελεί το φάσμα **θερμικής εκπομπής** ή τη λεγόμενη **ακτινοβολία μέλανος σώματος**



Πιο συγκεκριμένα η εκπομπή φωτονίων στη **θερμική ακτινοβολία** δεν προέρχεται από αποδιέγερση μεταξύ συγκεκριμένων καταστάσεων στα μόρια ή στα άτομα, άρα δεν εξαρτάται από το είδος των ατόμων ή μορίων. Αλλά προέρχεται από την τυχαία θερμική κίνηση των ατόμων ή μορίων και πιο συγκεκριμένα του ηλεκτρικού φορτίου που τα άτομα ή τα μόρια εμφανίζουν στιγμιαία ή μόνιμα. Όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία, τόσο πιο έντονη η κίνηση και τόσο μεγαλύτερη η εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία.

Το φάσμα θερμικής ακτινοβολίας έχει συνεχή κατανομή, που εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία βλέπε διπλανό σχήμα και

<https://phet.colorado.edu/el/simulations/blackbody-spectrum>.

Ανάλυση των μηχανισμών παραγωγής φωτός (όχι μόνο ορατού)

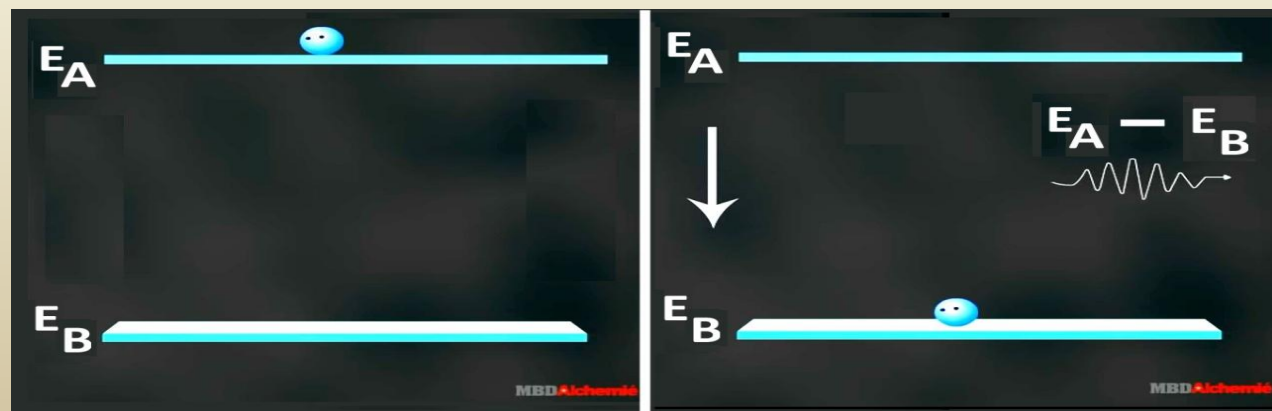
2) **Αποδιέγερση κβαντικών συστημάτων:** Οι πυρήνες ατόμων, τα ηλεκτρόνια σε άτομα, σε μόρια, ελεύθερα ή σε υγρούς ή στερεούς κρυστάλλους κ.ά. αποτελούν κβαντικά συστήματα. Τα κβαντικά συστήματα χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο **διακριτών επιτρεπτών ενεργειακών καταστάσεων** δηλαδή μπορούν να παίρνουν μόνο ορισμένες διάκριτες-συγκεκριμένες τιμές ενέργειας κι όχι οποιαδήποτε τιμή. Επιπλέον μπορούν να μεταβαίνουν από μία επιτρεπτή ενεργειακή κατάσταση σε άλλη.

Η μετάβαση του συστήματος από μια επιτρεπτή ενεργειακή κατάσταση E_A σε άλλη E_B , μπορεί να συνοδευτεί, μεταξύ άλλων, με εκπομπή ή απορρόφηση ενός φωτονίου με τόση ενέργεια όση ακριβώς η διαφορά της ενέργειας μεταξύ των δύο ενεργειακών σταθμών E_A και E_B δηλαδή $E_{\text{φωτονίου}} = |E_A - E_B|$.

Συγκεκριμένα, όταν ένα διεγερμένο υλικό κβαντικό σύστημα αποδιεγείρεται και μεταπίπτει σε κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας από την αρχική, το πλεόνασμα της ενέργειας διατίθεται για την εκπομπή φωτονίου ορισμένης συχνότητας (=ενέργειας). Μερικές ενδιαφέρουσες περιπτώσεις παραγωγής φωτός με αποδιέγερση κβαντικού συστήματος περιγράφονται παρακάτω (ακολουθεί η παρουσίαση τεσσάρων από αυτές παρότι μπορεί να υπάρχουν κι άλλες).

ΕΛΕΝΗ ΚΑΛΔΟΥΔΗ
ΧΡΗΣΤΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ

Η ΦΥΣΙΚΗ
ΤΗΣ ΖΩΗΣ



Ανάλυση των μηχανισμών παραγωγής φωτός (όχι μόνο ορατού)

2α) Αποδιέγερση πυρήνων ατόμων: Οι ατομικοί πυρήνες μπορεί να βρεθούν σε διεγερμένη κατάσταση ως αποτέλεσμα πυρηνικών αντιδράσεων, αυθόρμητης ραδιενεργούς διάσπασης ή άλλης διέγερσης. Γενικά, παρουσιάζουν καλά διαχωρισμένες ενεργειακές καταστάσεις με μεγάλη ενεργειακή απόσταση μεταξύ των διαφορετικών ενεργειακών καταστάσεων. Επομένως κατά την αποδιέγερσή τους έχουμε εκπομπή φωτονίων μεγάλης ενέργειας (γνωστά και ως ακτίνες- γ) με συχνότητες χαρακτηριστικές για κάθε είδος πυρήνα.

2β) Αποδιέγερση ηλεκτρονίων σε ελεύθερα άτομα: Ελεύθερα άτομα (τα οποία συναντούμε στα μονοατομικά αέρια) που έχουν ηλεκτρόνιά τους σε διεγερμένη κατάσταση παρουσιάζουν καλά διαχωρισμένες ενεργειακές καταστάσεις. Αποδιεγέρσεις αυτών των συστημάτων δίνουν φωτόνια χαρακτηριστικής συχνότητας, δηλαδή γραμμικό φάσμα, με συχνότητες που αντιστοιχούν συνήθως στην περιοχή του ορατού & υπεριώδους τμήματος του φάσματος φωτός (βλέπε παρακάτω γραμμικό φάσμα).

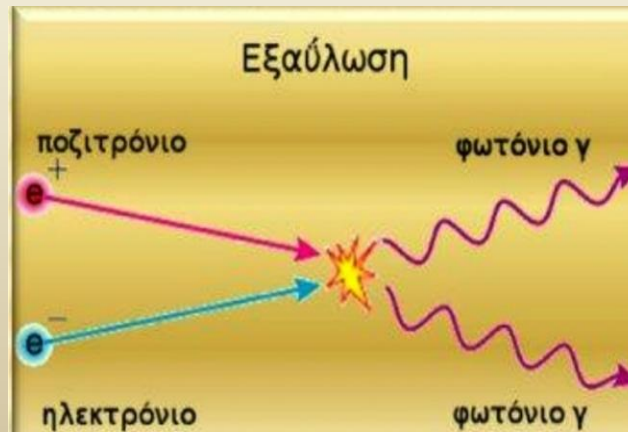


2γ) Αποδιέγερση ηλεκτρονίων σε ελεύθερα μόρια : Ελεύθερα μόρια (τα οποία συναντώνται σε αέρια-δηλαδή ομάδες ίδιων ή διαφορετικών ατόμων όπως το αέριο χλώριο με διατομικά μόρια Cl_2) που έχουν ηλεκτρόνιά τους σε διεγερμένη κατάσταση παρουσιάζουν καλά διαχωρισμένες επιτρεπτές ενεργειακές καταστάσεις αλλά πολύ περισσότερες σε αριθμό σε σχέση με αέρια μεμονωμένων ατόμων. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αποδιέγερση δίνει ταινιωτά φάσματα με συχνότητες στην περιοχή του ορατού και υπεριώθρου.

Ανάλυση των μηχανισμών παραγωγής φωτός (όχι μόνο ορατού)

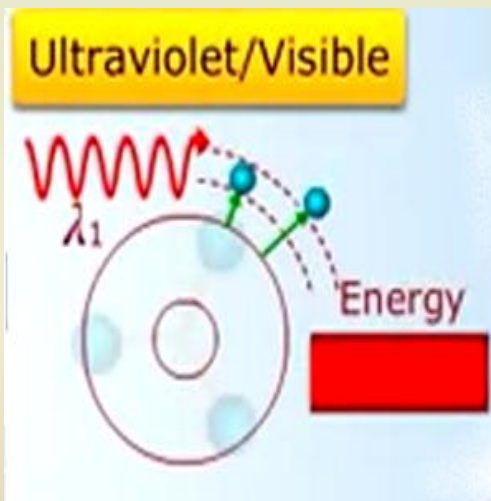
2δ) Αποδιέγερση των μορίων σε στερεά και υγρά και των ηλεκτρονίων στα μόρια στερεών και υγρών: **Μόρια** σε στερεά και υγρά, λόγω μεταβολών της ενεργειακής κατάστασης εξαιτίας **περιστροφής και δόνησης**, παρουσιάζουν πολλές επιτρεπτές ενεργειακές καταστάσεις με μικρές μεταξύ τους ενεργειακές αποστάσεις. Αποδιέγερση αυτών των συστημάτων δίνει φωτόνια μικρής σχετικά ενέργειας, με συχνότητες συνήθως στην περιοχή του υπέρυθρου και των μικροκυμάτων. Σε αυτές προστίθενται και **οι αποδιεγέρσεις ηλεκτρονίων από τα δεσμευμένα άτομα που απαρτίζουν τα μόρια στα στερεά και στα υγρά** παρέχοντας φωτόνια στην περιοχή του ορατού και του υπεριώδους.

3) **Εξαύλωση ύλης-αντιύλης**: Όταν ένα σωματίο (π.χ. ηλεκτρόνιο) και το αντισωματίό του (ποζιτρόνιο) συναντηθούν τότε εξαυλώνονται με ταυτόχρονη μετατροπή της μάζας τους σε φωτόνιο. Για τη διατήρηση ενέργειας πριν και μετά το φαινόμενο, η διαθέσιμη ενέργεια για μετατροπή σε φωτόνιο είναι ίση με το άθροισμα της μάζας των δύο σωματιδίων (σωμάτιο και αντισωματίο έχουν ίση μάζα, m): $E_{\text{φωτονίου}} = 2mc^2$

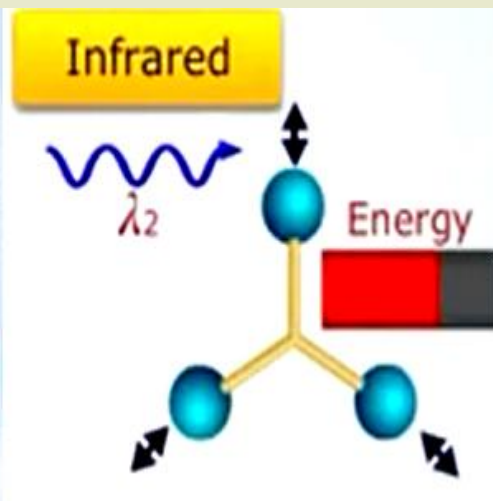


ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ σε ΜΟΡΙΑ

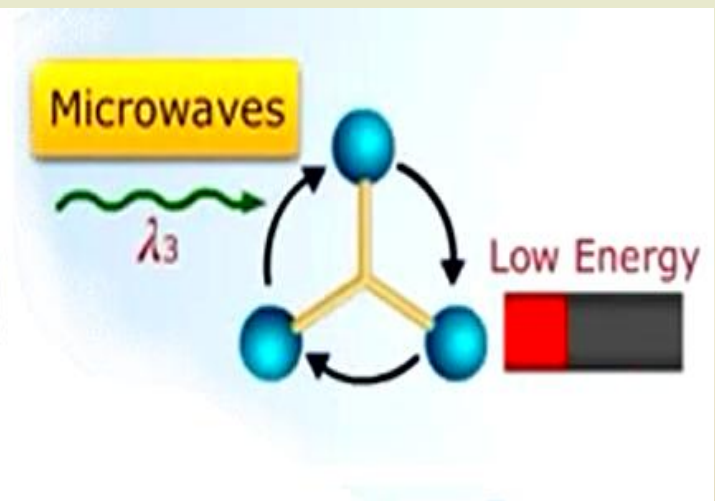
Ηλεκτρονικές κινήσεις
σε μόρια



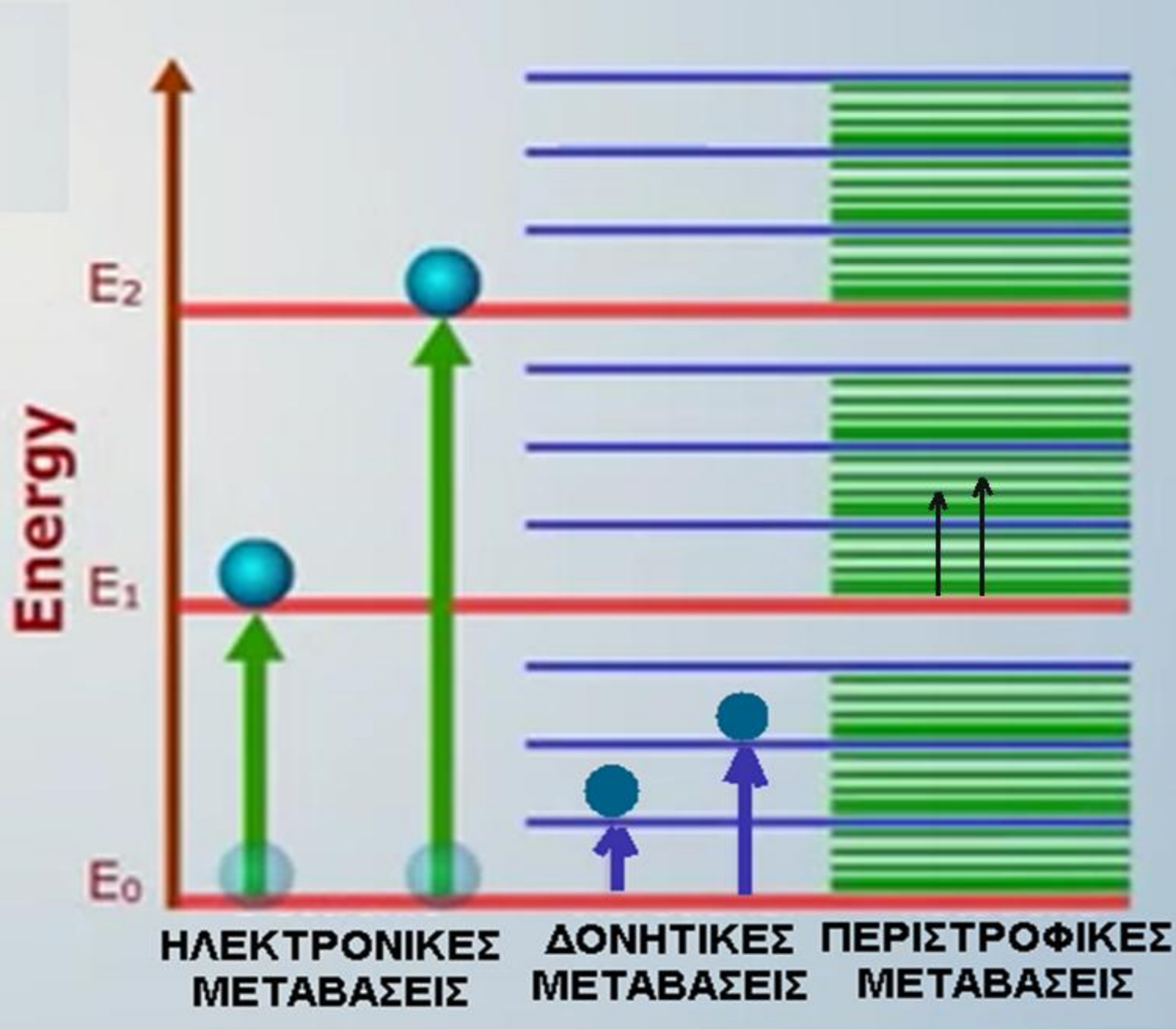
Δονητικές κινήσεις
σε μόρια



Περιστροφικές κινήσεις
σε μόρια



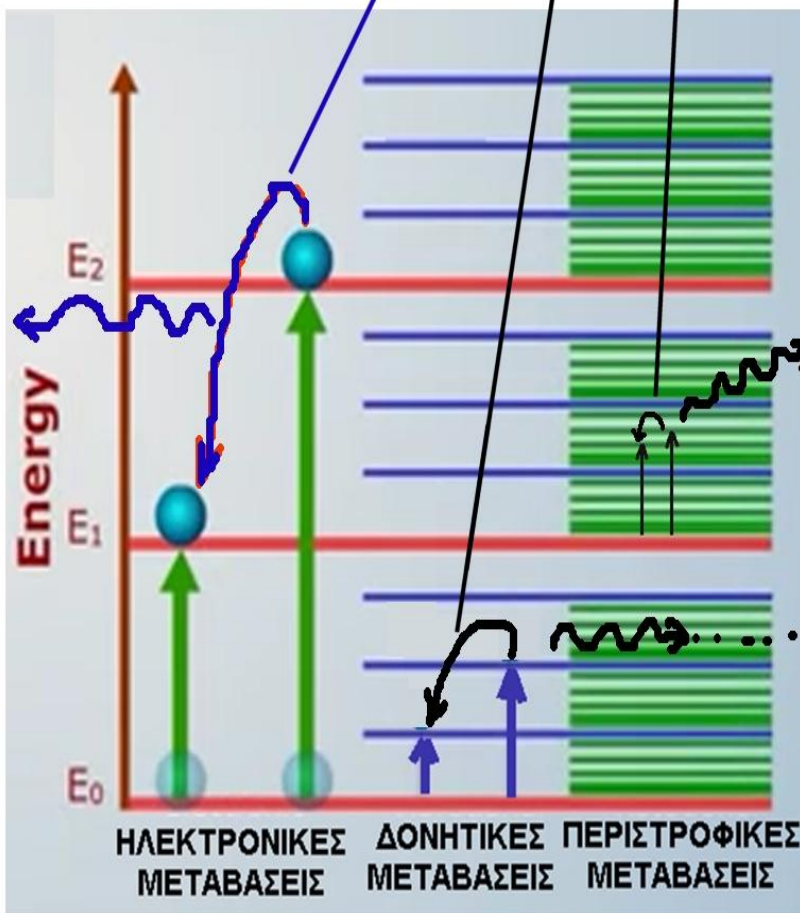
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΕΝΑ ΣΤΕΡΕΟ Η ΥΓΡΟ ΜΕ ΜΟΡΙΑ



ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΕΝΑ ΣΤΕΡΕΟ Η ΥΓΡΟ ΜΕ ΜΟΡΙΑ



π.χ. Ενέργεια φωτονίου από μετάπτωση ηλεκτρονίου από την ηλεκτρονική στάθμη E_2 στην E_1 $h\nu = E_2 - E_1$



π.χ. Ενέργεια φωτονίου από μετάπτωση μορίου από μια περιστροφική στάθμη υψηλότερης σε μία χαμηλότερης ενέργειας $h\nu$ στην περιοχή των μικροκυμάτων

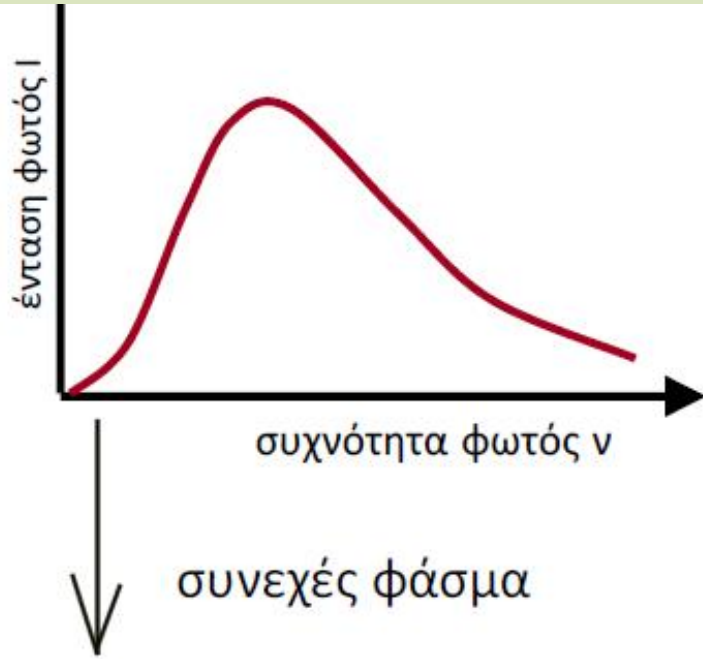
π.χ. Ενέργεια φωτονίου από μετάπτωση μορίου από μια δονητική στάθμη υψηλότερης σε μία χαμηλότερης ενέργειας $h\nu$ στην περιοχή του υπέρυθρου

Γραμμικά και συνεχή φάσματα

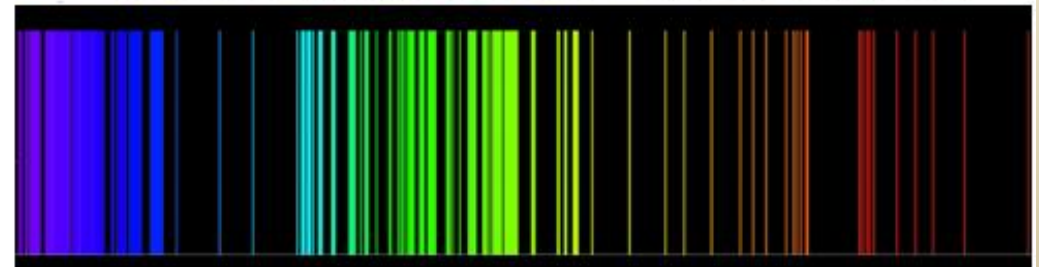
Όταν παράγονται φωτόνια με κάποιο από τους προηγούμενους μηχανισμούς, τα φωτόνια αυτά όπως ειπώθηκε μπορεί να εμφανίζουν διάφορες συχνότητες (στο ορατό, υπεριώδες, υπέρυθρο κ.ά.). **Η κατανομή της έντασης του παραγόμενου φωτός ως προς τη συχνότητα αποτελεί το φάσμα εκπομπής της πηγής του φωτός.**

Μπορούμε να διακρίνουμε δύο μεγάλες κατηγορίες φασμάτων, τα **συνεχή** και τα **γραμμικά**. **Συνεχές φάσμα** είναι αυτό που παρουσιάζει μη μηδενική ένταση φωτός για όλες τις συχνότητες (ή μη μηδενική ένταση σε μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων). Αντίθετα, **γραμμικό φάσμα** είναι αυτό που παρουσιάζει μη μηδενική ένταση σε συγκεκριμένες μόνο συχνότητες (κορυφές ή γραμμές) ενώ παρουσιάζει μηδενική ένταση σε όλες τις υπόλοιπες συχνότητες. Θεωρητικά οι γραμμές αυτές θα περίμενε κανείς να αντιστοιχούν σε μια μόνο τιμή της συχνότητας, ωστόσο στην πράξη οι γραμμές συνήθως έχουν κάποιο εύρος συχνοτήτων. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις το εύρος αυτό καλύπτει μια σημαντική περιοχή συχνοτήτων ώστε σε αυτή την περίπτωση να αναφερόμαστε σε **ταινιωτά** (αντί για γραμμικά) φάσματα. Το είδος του φάσματος (αν θα είναι συνεχές ή γραμμικό) εξαρτάται από το είδος του φαινομένου/μηχανισμού που παρήγαμε το φωτόνιο. Σε πολλές περιπτώσεις ταυτόχρονα συνυπάρχουν δύο ή περισσότερα διαφορετικά φαινόμενα παραγωγής, με αποτέλεσμα να έχουμε υπέρθεση γραμμικού φάσματος σε συνεχές

Γραμμικά , συνεχή και ταινιωτά φάσματα



ταινιωτό φάσμα (αερίου - ατμών σιδήρου)



• Μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτός-ύλης

Αλληλεπίδραση φωτός-ύλης (όχι μόνο ορατού)

Θα μπορούσε κανείς να πει ότι τα πιο σημαντικά φαινόμενα του κόσμου μας συμβαίνουν όταν **αλληλεπιδρά το φως με την ύλη**.

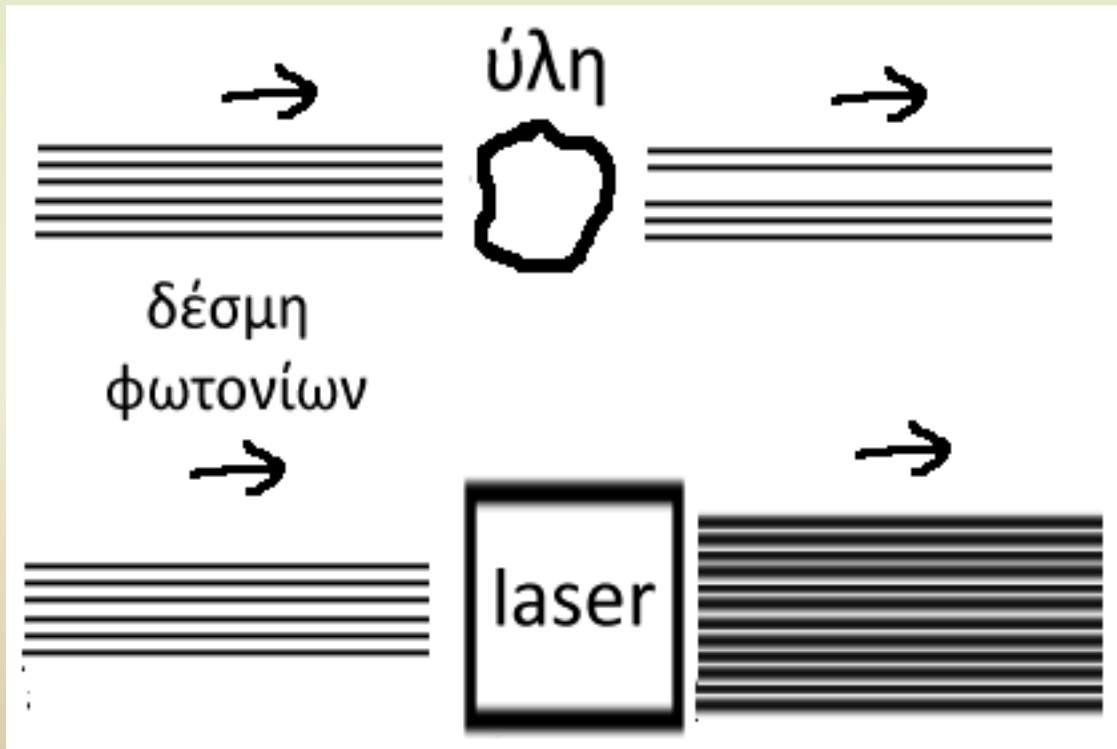
Όταν τα φωτόνια εισχωρήσουν από τον κενό χώρο μέσα στην ύλη και βρεθούν στη 'γειτονιά' κάποιου φορτίου ελεύθερου (π.χ. όπως συμβαίνει στα μέταλλα) είτε φορτίου δεσμευμένου σε ένα σύστημα (ηλεκτρονίου, πρωτονίου στον πυρήνα, σε άτομο ή σε μόριο) τότε μπορεί υπό προϋποθέσεις να συμβεί αλληλεπίδραση φωτονίου και φορτίου, η οποία τελικά οδηγεί σε διέγερση του φορτίου σε υψηλότερες επιτρεπτές ενεργειακές καταστάσεις.

Η **πιθανότητα** να συμβεί ένα φαινόμενο αλληλεπίδρασης φωτονίου και σωματιδίου (ηλεκτρονίου, πυρήνα, ατόμου, μορίου, κλπ.) ορίζεται ως η **επιφάνεια (σε μονάδες εμβαδού) γύρω από το σωματίδιο στον οποίο αν βρεθεί το φωτόνιο θα υπάρξει αλληλεπίδραση**.

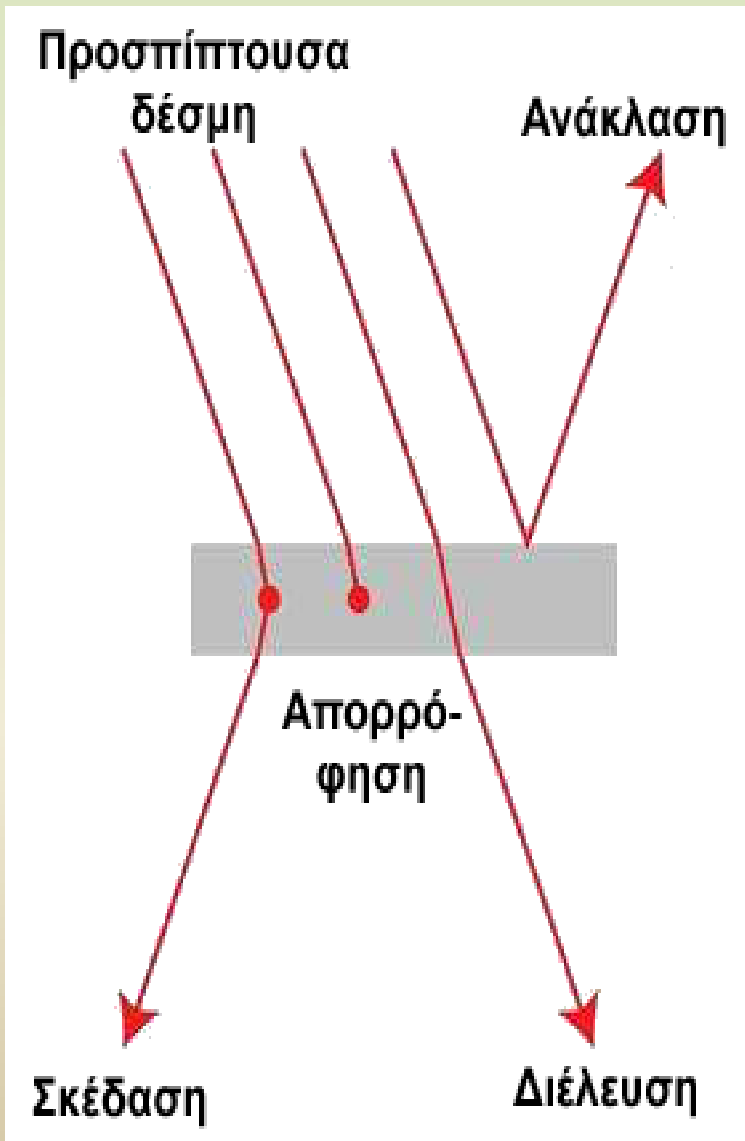
Ο χώρος αυτός ονομάζεται **ενεργός διατομή (σ)** και εκφράζεται ως εμβαδό (επιφάνεια) ανά σωματίδιο.

Αλληλεπίδραση φωτός-ύλης (όχι μόνο ορατού)

Η αλληλεπίδραση φωτονίων με τα φορτία της ύλης έχει γενικά, αλλά όχι πάντα, ως αποτέλεσμα την απομάκρυνσή των αλληλεπιδρώντων φωτονίων από την αρχική δέσμη φωτός (βλέπε παρακάτω εικόνα). Υπάρχουν βέβαια κι εξαιρέσεις, όπως στην περίπτωση του φωτός LASER (εξαναγκασμένης αποδιέγερσης), όπου το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης είναι η δημιουργία ενός ακόμα φωτονίου πανομοιότυπου με το αρχικό που προστίθεται στην αρχική δέσμη.



Η πορεία του φωτός μέσα στην ύλη-ή αλληλεπίδραση φωτός ύλης (απλουστευμένη περιγραφή)



Στη γενική περίπτωση που κάποια φωτόνια προσπίπτουν σε ένα υλικό μπορεί να συμβούν κάποια από τα ακόλουθα:

- Να **ανακλαστούν** στην εξωτερική επιφάνεια του υλικού. Πιο συγκεκριμένα τα φωτόνια ανακλώνται γιατί αλληλεπιδρούν με τα επιφανειακά μόρια-άτομα-ηλεκτρόνια του υλικού επανεκπεμπόμενα προς τα πίσω χωρίς να εισέλθουν στα ενδότερα στρώματά του.
- Να εισέλθουν στο υλικό και όλη η ενέργεια τους να **απορροφηθεί πλήρως** από την ύλη. Η ενέργεια των φωτονίων διατίθεται σε διάφορους μηχανισμούς εντός του υλικού (π.χ. θέρμανση, ανακατανομή της τοπικής δομής κ.ά.).
- Να **απορροφηθούν στιγμιαία** για πολύ μικρό χρονικό διάστημα κι ακολούθως να παραχθούν νέα φωτόνια από το υλικό. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να λάβει χώρα παραγωγή νέων φωτονίων με διαφορετική διεύθυνση ή/και συχνότητα και στον παρατηρητή φαίνεται ως να έγινε **αλλαγή της συχνότητας ή/και της διεύθυνσης** των αρχικών φωτονίων (αυτό αποκαλείται **διέλευση ή σκέδαση** στο διπλανό σχήμα).
- Να **διέλθουν** στην ίδια διεύθυνση και στην ίδια συχνότητα, είτε γιατί το υλικό δεν είχε χαρακτηριστικά τέτοια ώστε να λάβει χώρα αλληλεπίδραση ή γιατί αλληλεπίδρασε και το αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης ήταν η παραγωγή φωτονίου με ίδια διεύθυνση και συχνότητα με το αρχικό.

Μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτός με την ύλη (όχι μόνο ορατού)

Αναλύοντας περισσότερο την γενική αναφορά της προηγούμενης σελίδας μπορούμε να διακρίνουμε **τρεις τύπους** αλληλεπιδράσεων του φωτός με την ύλη:

- 1) **αλληλεπιδράσεις συντονισμού**, όταν τυχαίνει το προσπίπτον φωτόνιο να έχει την κατάλληλη ενέργεια που αντιστοιχεί ακριβώς σε διαφορά ενεργειακών καταστάσεων του υλικού. Τότε το φωτόνιο μπορεί να απορροφηθεί από το σύστημα και να το διεγείρει σε μεγαλύτερης ενέργειας κατάσταση.
- 2) **Ιονισμός**, όπου το φωτόνιο έχει αρκετή ενέργεια ώστε να εκδιώξει ένα ηλεκτρόνιο από το άτομο προκαλώντας τον ιονισμό του.
- 3) **Σκέδαση**, όπου το φωτόνιο δεν έχει την κατάλληλη ενέργεια για να προκαλέσει φαινόμενο συντονισμού ούτε αρκετή ενέργεια για να προκαλέσει ιονισμό – αλλά αλληλεπιδρά σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα με το υλικό σύστημα κι ακολούθως επανεκπέμπεται **χωρίς αλλαγή συχνότητας αλλά με αλλαγή κατεύθυνσης-ελαστική σκέδαση** (π.χ. ελαστική σκέδαση Rayleigh) και σε ορισμένες περιπτώσεις με **αλλαγή συχνότητας (ενέργειας)-ανελαστική σκέδαση** (π.χ. ανελαστική σκέδαση Raman).

Μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτός με την ύλη (όχι μόνο ορατού)

Αν θέλουμε να είμαστε ακριβείς, τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης φωτός με την ύλη είναι πολλά σε αριθμό. Αυτά που αναφέραμε γενικόλογα στις προηγούμενες σελίδες αλλά και ο ακόλουθος πίνακας είναι ορισμένα ενδεικτικά από τα πιο ενδιαφέροντα φαινόμενα καθώς και περιοχές συχνοτήτων στις οποίες εμφανίζονται τα αυτά.

Πίνακας 8-1. Αλληλεπίδραση φωτονίων με την ύλη για τις διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

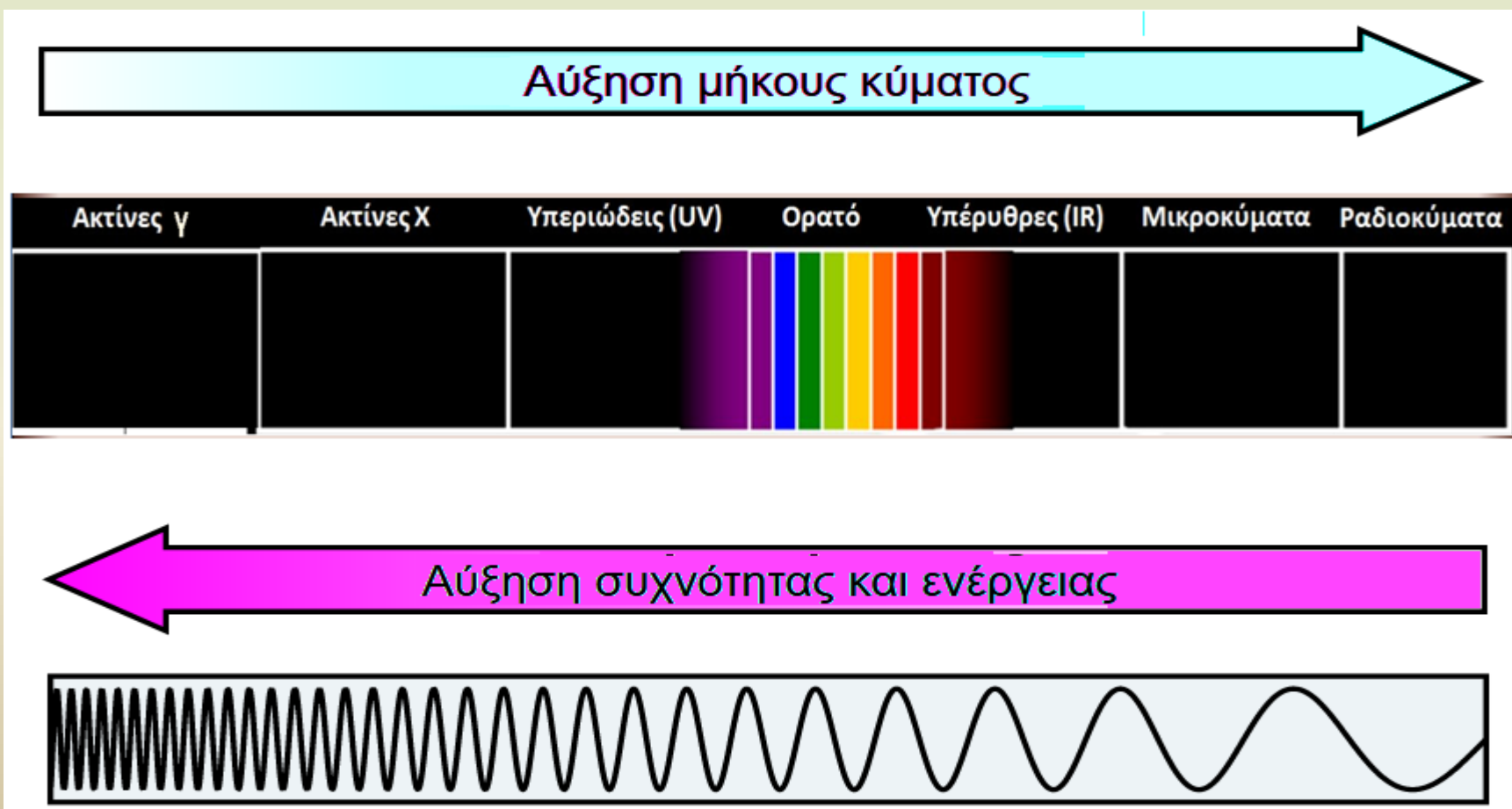
είδος ακτινοβολίας	μήκος κύματος	είδος αλληλεπίδρασης
ακτίνες γ	$< 1 \text{ pm}$	πυρηνικά φαινόμενα – εκδίωξη ηλεκτρονίων
ακτίνες X	$1 \text{ nm} - 1 \text{ pm}$	πυρηνικά φαινόμενα – εκδίωξη ηλεκτρονίων
υπεριώδης	$400 \text{ nm} - 1 \text{ nm}$	εκδίωξη ηλεκτρονίων – διέγερση ηλεκτρονίων
ορατό	$750 \text{ nm} - 400 \text{ nm}$	διέγερση ηλεκτρονίων
υπέρυθρη	$750 \text{ nm} - 25 \text{ }\mu\text{m}$	μοριακή δόνηση
μικροκύματα	$25 \text{ }\mu\text{m} - 1 \text{ mm}$	μοριακή στρέψη & περιστροφή μαγνητικός συντονισμός ηλεκτρονίου
ραδιοκύματα	$> 1 \text{ mm}$	ταλάντωση φορτίων σε αγωγούς πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός

ΕΛΕΝΗ ΚΑΛΔΟΥΔΗ
ΧΡΗΣΤΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ

**Η ΦΥΣΙΚΗ
ΤΗΣ ΖΩΗΣ**

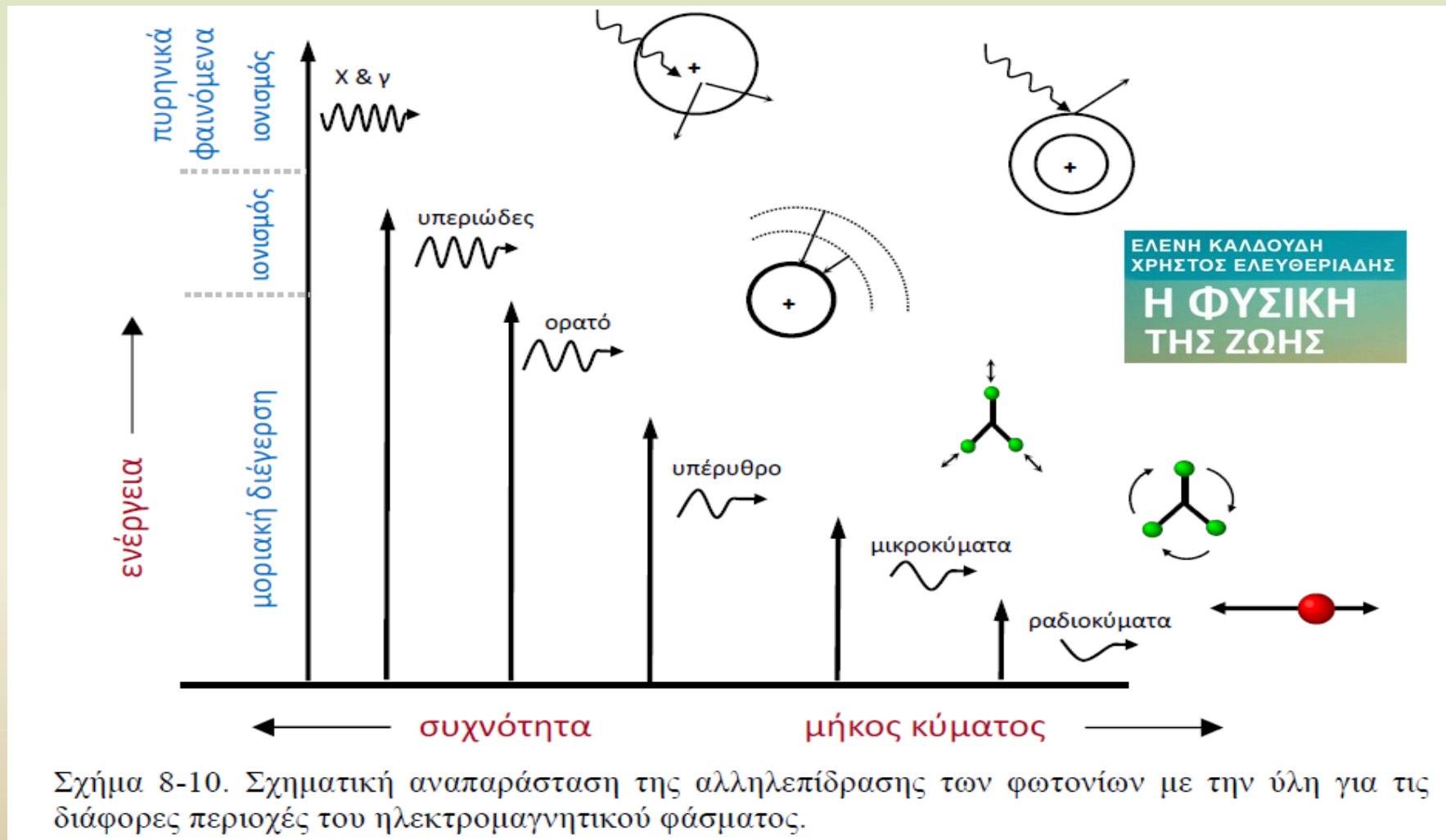
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Όταν αναφέρουμε τον όρο «φως» δεν εννοούμε το ορατό φως αλλά όλες τις περιοχές συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ακτίνες γ , x , υπεριώδεις, ορατές, υπέρυθρες, μικροκύματα, ραδιοκύματα)



Μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτός με την ύλη (όχι μόνο ορατού)

Η ακόλουθη σχηματική αναπαράσταση αποτελεί την «οπτικοποίηση» του προηγούμενου Πίνακα 8-1.



Επισκεφτείτε τον σύνδεσμο <https://phet.colorado.edu/el/simulations/molecules-and-light> όπου μπορείτε να πειραματιστείτε εικονικά με διάφορα μόρια και διάφορες περιοχές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτός με την ύλη (όχι μόνο ορατού)

Διευκρινήσεις στον Πίνακα 8-1 και στο Σχήμα 8-10:

- Σε **μικρές συχνότητες (ραδιοκύματα)** τα φαινόμενα που παρατηρούνται είναι κυρίως αλληλεπίδραση με ελεύθερα φορτία και ταλάντωσή τους σε αγωγούς π.χ. η ταλάντωση ηλεκτρονίων σε μία κεραία εκπομπής κινητού τηλεφώνου, wifi, κεραίας σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας, κεραίας ραδιοφωνικού σταθμού κ.ά. Σε αυτή την περιοχή του φάσματος μπορεί να συναντήσουμε κι άλλα φαινόμενα, όπως **το φαινόμενο του μαγνητικού συντονισμού πυρήνων** (βλέπε Μαγνητική τομογραφία) αλλά για αυτό δεν θα γίνει λόγος εδώ.
- Στην περιοχή **μικροκυμάτων**, η αλληλεπίδραση σχετίζεται κυρίως με **στρέψη και περιστροφή του μορίου** (κι επομένως με αύξηση της θερμικής ενέργειας-θυμηθείτε το ζέσταμα τροφής στο φούρνο μικροκυμάτων). Υπάρχουν κι άλλοι μηχανισμοί που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μικροκυμάτων (όπως το **φαινόμενο μαγνητικού συντονισμού ηλεκτρονίων** κ.ά. τα οποία δεν θα αναφέρουμε).
- Στην περιοχή των **υπερύθρων**, η αλληλεπίδραση προκαλεί μεταβολές της **δόνησης των μορίων**. Στις δύο περιοχές μικροκυμάτων και υπερύθρων έχουμε τις περισσότερες **τεχνικές μοριακής φασματοσκοπίας**.
- Στην περιοχή **του ορατού**, το κύριο φαινόμενο αλληλεπίδρασης είναι η **διέγερση ατομικών ηλεκτρονίων**. Εδώ είναι η περιοχή της φωτοχημείας, δηλαδή των χημικών αντιδράσεων που υποβοηθούνται με τη διέγερση των ηλεκτρονίων.
- Τέλος στις πιο υψηλές συχνότητες, **ακτίνες x και γ**, οι βασικοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης έχουν ως αποτέλεσμα **ιονισμό των ατόμων** και επίσης μπορεί να παρατηρηθεί και **αλληλεπίδραση με τον πυρήνα**.

Προτρέπεσθε σθεναρά να επισκεφτείτε τον σύνδεσμο <https://phet.colorado.edu/el/simulations/molecules-and-light> όπου μπορείτε να πειραματιστείτε εικονικά με διάφορα μόρια και διάφορες περιοχές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

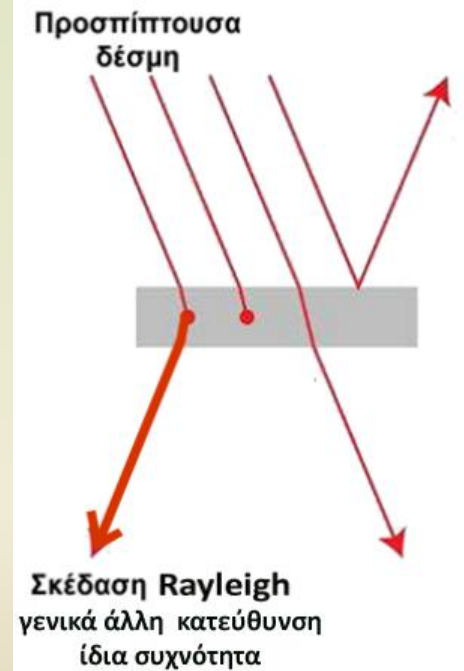
Στις επόμενες παραγράφους αναλύονται περισσότερο μερικοί βασικοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτονίων-ύλης που αναφέρθηκαν ονομαστικά στις προηγούμενες σελίδες.

Ελαστική σκέδαση Rayleigh

Είναι η ελαστική σκέδαση ενός φωτονίου από όλο το άτομο (το προσπίπτον φωτόνιο προκαλεί συντονισμένη ταλάντωση ταυτόχρονα όλων των ηλεκτρονίων του ατόμου). Αυτό το φαινόμενο συνεισφέρει αρκετά στην απορρόφηση των φωτονίων μέσα στην ύλη, ιδίως για ύλη με μεγάλο ατομικό αριθμό και για σχετικά μικρές ενέργειες φωτονίων, όπου η ενέργεια του φωτονίου δεν είναι αρκετή για να διεγείρει ηλεκτρόνιο σε υψηλότερης στάθμης ενεργειακή κατάσταση. Το φωτόνιο αλληλεπιδρά στιγμιαία με όλο το ηλεκτρονικό νέφος του μορίου ή τους ατόμου, αλλά δεν έχει την κατάλληλη ενέργεια για να διεγείρει το σύστημα σε κάποια επιτρεπτή ενεργειακή κατάσταση ούτε την απαραίτητη ενέργεια για να ιονίσει το άτομο. **Στην ελαστική σκέδαση, επανεκπέμπεται άμεσα με ίδια συχνότητα και γενικά διαφορετική κατεύθυνση.** Η σκέδαση γίνεται προς όλες τις διευθύνσεις (κι άρα πολύ μικρό ποσοστό εκπέμπεται και στην αρχική κατεύθυνση).

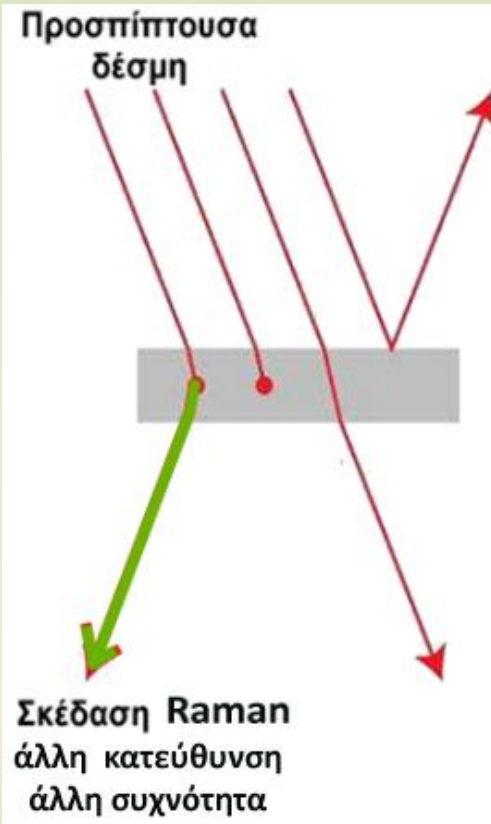
Σε αυτή την σκέδαση οφείλεται το γαλάζιο χρώμα του ουρανού. Αυτή αναφέρεται και ως σύμφωνη σκέδαση, μιας και το σκεδαζόμενο φωτόνιο έχει απλώς διαφορετική κατεύθυνση από το αρχικό ενώ διατηρεί την ίδια συχνότητα.

ΕΛΕΝΗ ΚΑΛΔΟΥΔΗ
ΧΡΗΣΤΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ
**Η ΦΥΣΙΚΗ
ΤΗΣ ΖΩΗΣ**



Ανελαστική σκέδαση Raman

Ανακαλύφθηκε το 1928 από τον Raman, απ' όπου πήρε και το όνομα της. Πρόκειται για αλληλεπίδραση φωτονίου με μόριο αλλά όχι μόνο. Κατά τη διάρκεια του φαινομένου το μόριο αλλάζει την ενεργειακή του κατάσταση (περιστροφική ή δονητική) και η διαφορά ενέργειας παρουσιάζεται ως αλλαγή της ενέργειας E του φωτονίου δηλαδή **αλλαγή της συχνότητας f , ν** (αφού $E=h\nu$) και ταυτόχρονα **αλλάζει και η διεύθυνση διάδοσης**. Η διαφορά της ενέργειας του εκπεμπόμενου φωτονίου με την ενέργεια του αρχικού φωτονίου είναι χαρακτηριστική της μοριακής δομής ή γενικά της οντότητας μέσα στην ύλη που την προκάλεσε και το φαινόμενο χρησιμοποιείται ως βάση μιας σημαντικής φασματοσκοπικής μεθόδου για την ανάλυση μοριακής δομής (φασματοσκοπία Raman) κ.ά.



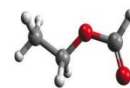
Διέγερση ηλεκτρονίων

Φως στην περιοχή του ορατού (και γύρω από αυτό, δηλαδή εγγύς υπέρυθρο και εγγύς υπεριώδες) αντιστοιχεί σε ενέργειες διέγερσης των ηλεκτρονίων που βρίσκονται σε άτομα. Σε αυτή προκαλείται διέγερση του ηλεκτρονίου σε υψηλότερη επιτρεπτή ενεργειακή στιβάδα.

Ακολούθως απεδιγειρόμενο το ηλεκτρόνιο εκπέμπει με τη σειρά του ένα δευτερογενές φωτόνιο.

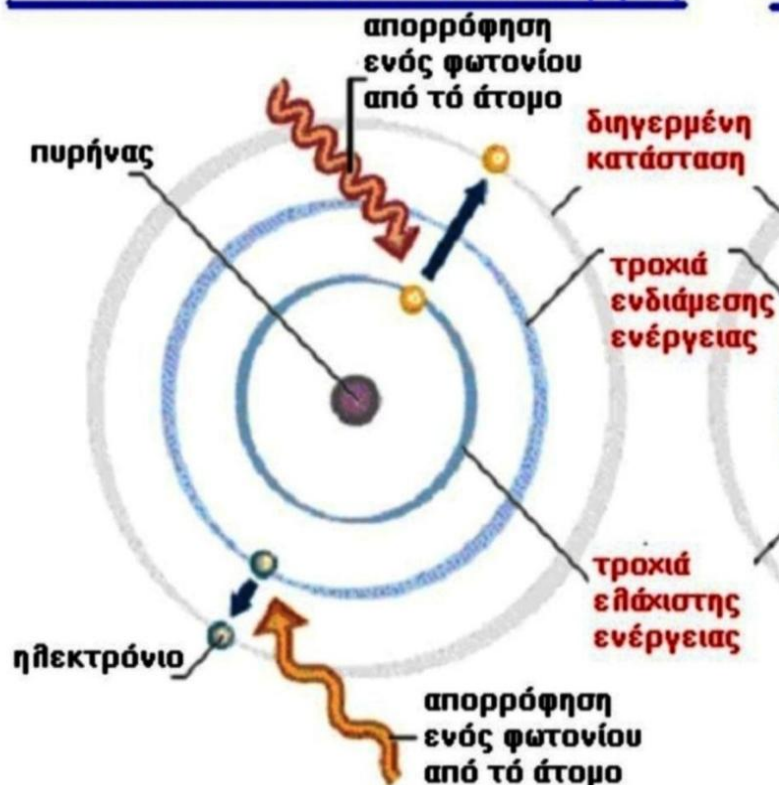


Από την παρουσίαση του
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ
Βασικά στοιχεία

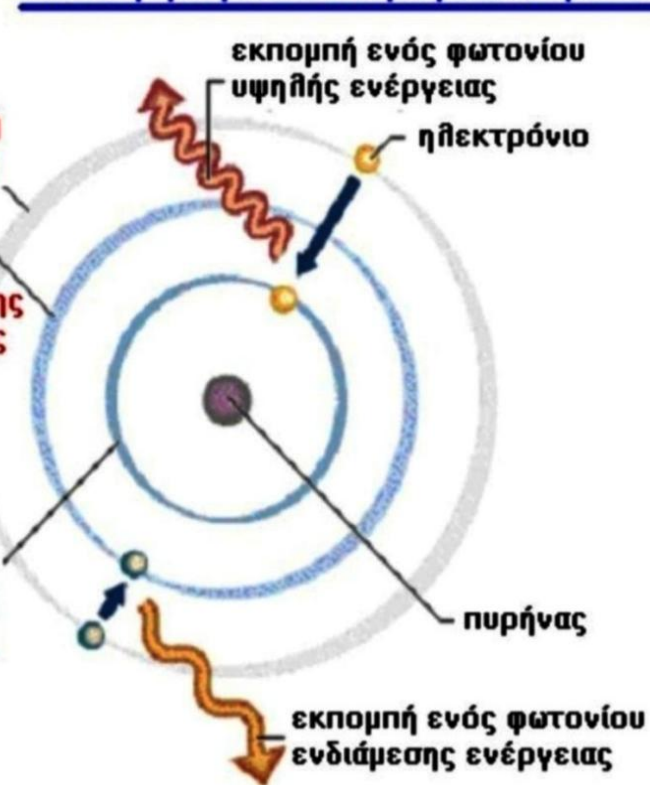


αλληλεπίδρασης ακτινοβολίας
και ύλης

απορρόφηση ακτινοβολίας και διέγερση

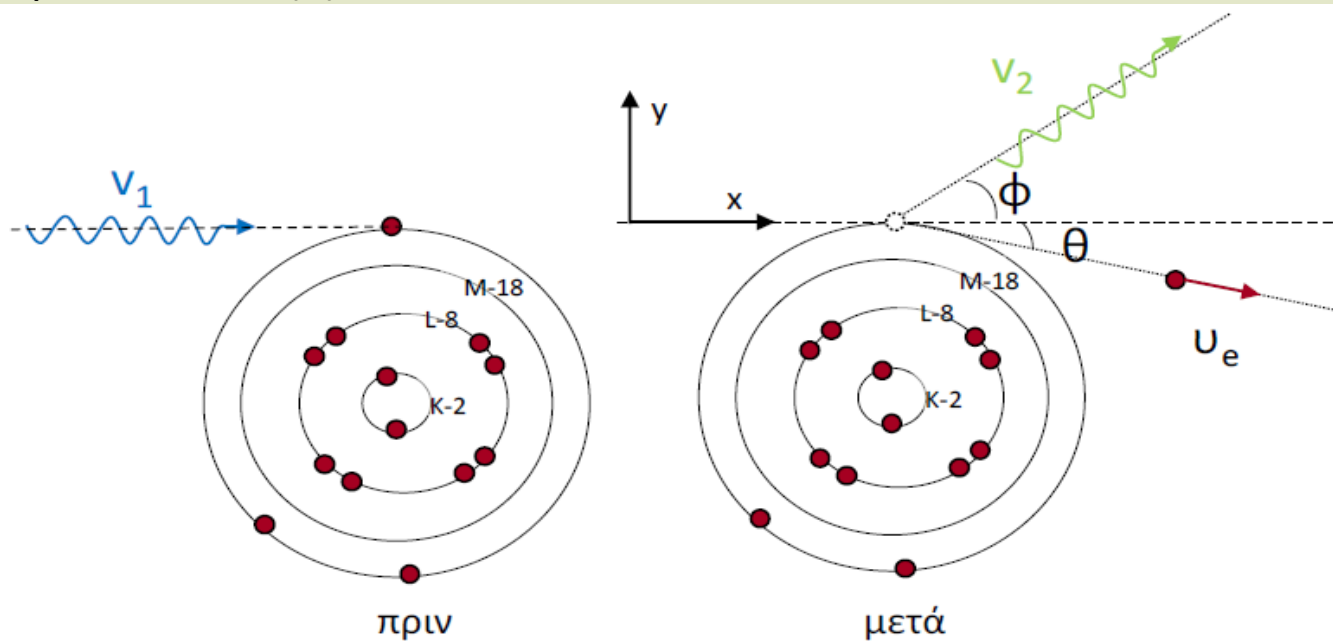


αποδιέγερση και εκπομπή ακτινοβολίας



Φαινόμενο Compton

Στην αλληλεπίδραση Compton, ένα φωτόνιο αλληλεπιδρά με ένα ελεύθερο ή σχεδόν ελεύθερο ηλεκτρόνιο (δηλ. της εξωτερικής στοιβάδας ενός ατόμου) ανταλλάσσοντας ορμή και ενέργεια παρόμοια με ένα κλασικό φαινόμενο κρούσης. Αφορά κυρίως φωτόνια με συχνότητες ακτίνων-x. Η ενέργεια του φωτονίου μετά την αλληλεπίδραση Compton είναι μικρότερη της ενέργειας του προσπίπτοντος φωτονίου.



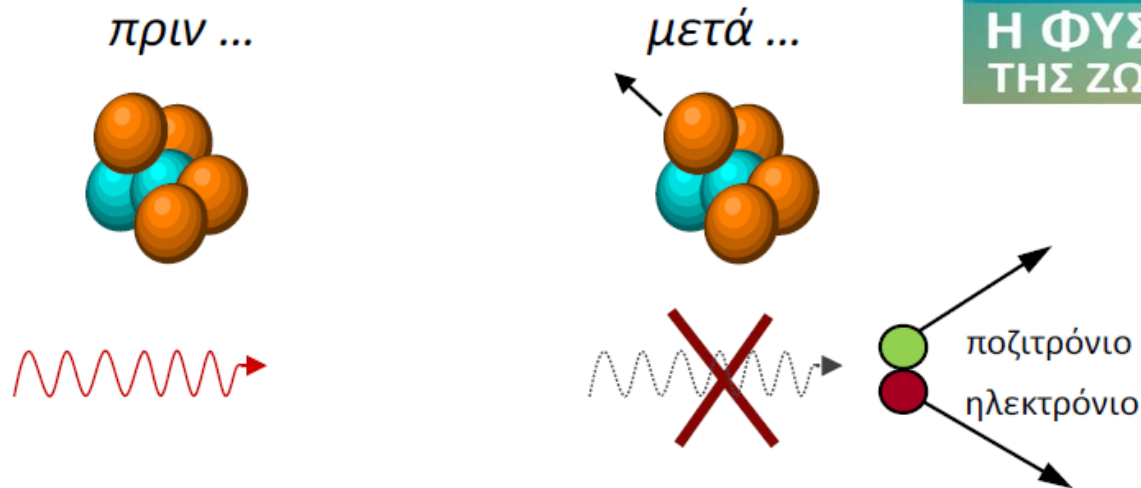
Σχήμα 8-17. Στην αλληλεπίδραση Compton, ένα φωτόνιο αλληλεπιδρά με ένα ελεύθερο ή σχεδόν ελεύθερο ηλεκτρόνιο (δηλ. της εξωτερικής στοιβάδας) ανταλλάσσοντας ορμή και ενέργεια παρόμοια με ένα κλασικό φαινόμενο κρούσης. Το φωτόνιο δίνει μέρος της ενέργειας στο ηλεκτρόνιο, με αποτέλεσμα να μειωθεί η αρχική του ενέργεια άρα και η συχνότητα. Το ηλεκτρόνιο, αποκτά κινητική ενέργεια, δηλαδή ταχύτητα, που το απομακρύνει από την αρχική του θέση. Για να διατηρηθεί η ορμή, το αρχικό φωτόνιο αναγκάζεται να αλλάξει την αρχική του πορεία.

ΕΛΕΝΗ ΚΑΛΔΟΥΔΗ
ΧΡΗΣΤΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ

Η ΦΥΣΙΚΗ
ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Δίδυμη γένεση

Το φαινόμενο της δίδυμης γένεσης βασίζεται στην εξαφάνιση ενός φωτονίου και τη δημιουργία ενός ζεύγους σωματιδίων, δηλαδή ενός ηλεκτρονίου κι ενός ποζιτρονίου-το ποζιτρόνιο είναι ένα σωματίδιο που έχει ίδια μάζα με το ηλεκτρόνιο, αλλά θετικό φορτίο ίσης απόλυτης τιμής με του ηλεκτρονίου (Σχήμα 8-18). Χρησιμοποιούμε τον όρο 'εξαφάνιση του φωτονίου' γιατί το φωτόνιο δε συγκρούεται με κάποιο σωματίο, αλλά μετατρέπεται αυτόματα στο ζεύγος ηλεκτρόνιο – ποζιτρόνιο. Ωστόσο, αυτή η μετατροπή συμβαίνει μόνο παρουσία του ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου, που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το πεδίο του ατομικού πυρήνα.

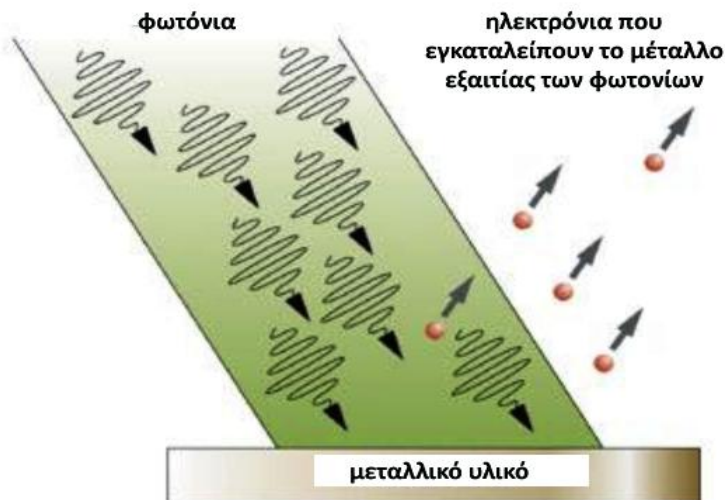


Σχήμα 8-18. Δίδυμη γένεση ζεύγους ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου από φωτόνιο, παρουσία πυρήνα.

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο** είναι το φαινόμενο κατά το οποίο μια μεταλλική επιφάνεια απελευθερώνει ηλεκτρόνια στο περιβάλλον όταν πάνω της προσπίπτει φως.

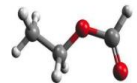
- Κατά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, όλη η ενέργεια του προσπίπτοντος φωτονίου μεταφέρεται σε ηλεκτρόνιο.
- Όταν η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη ή ίση μιας ορισμένης συχνότητας, τότε από το μέταλλο εξέρχονται τα ηλεκτρόνια που δέχτηκαν το φωτόνιο.
- Εκπομπή φωτοηλεκτρονίων έχουμε μόνο όταν η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη ή ίση μιας ορισμένης συχνότητας, η οποία είναι χαρακτηριστική για το μέταλλο. Αυτή η οριακή συχνότητα ονομάζεται **συχνότητα κατωφλίου** (f_0).
- Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο λαμβάνει χώρα κυρίως σε υλικά με μεγάλο ατομικό αριθμό.



Από την παρουσίαση του
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

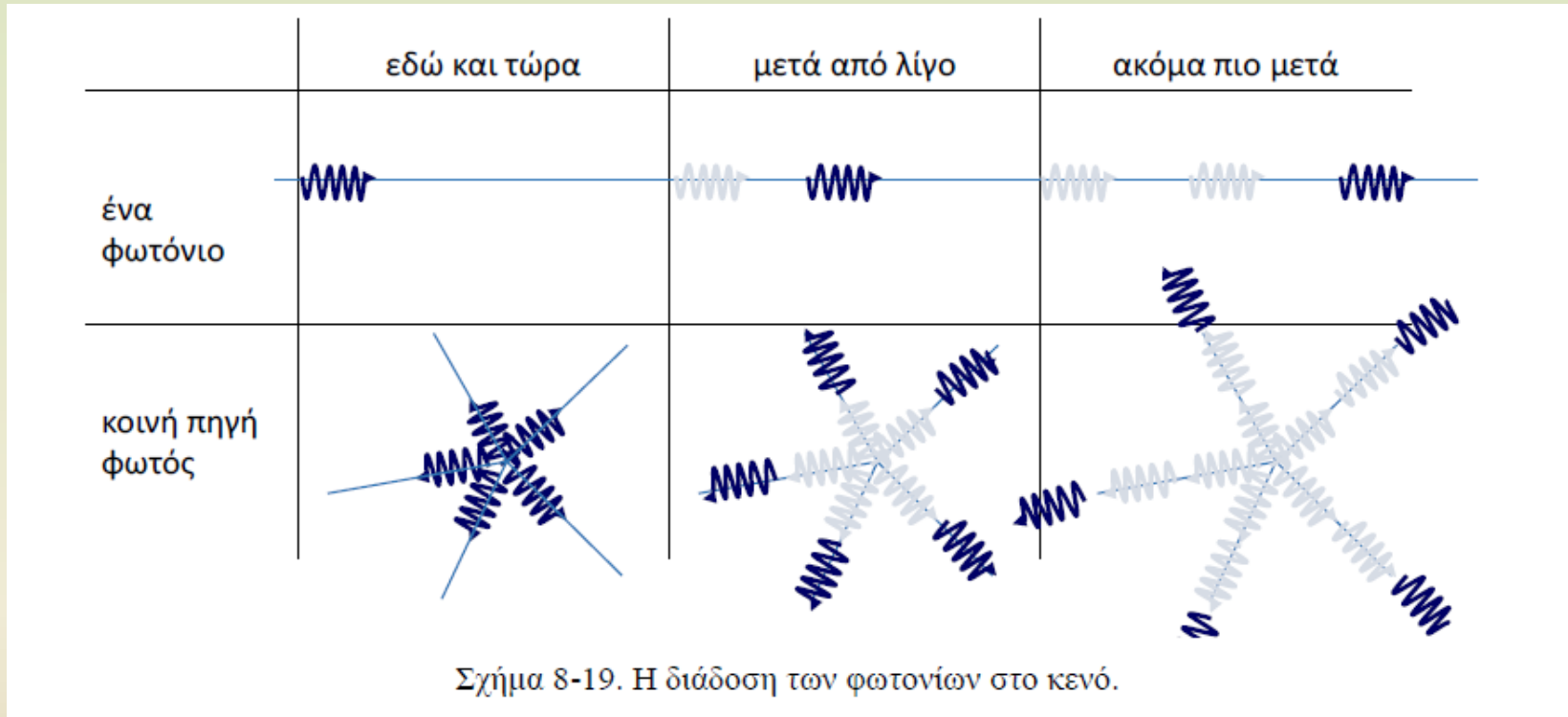
Βασικά στοιχεία

**αλληλεπίδρασης ακτινοβολίας
και ύλης**



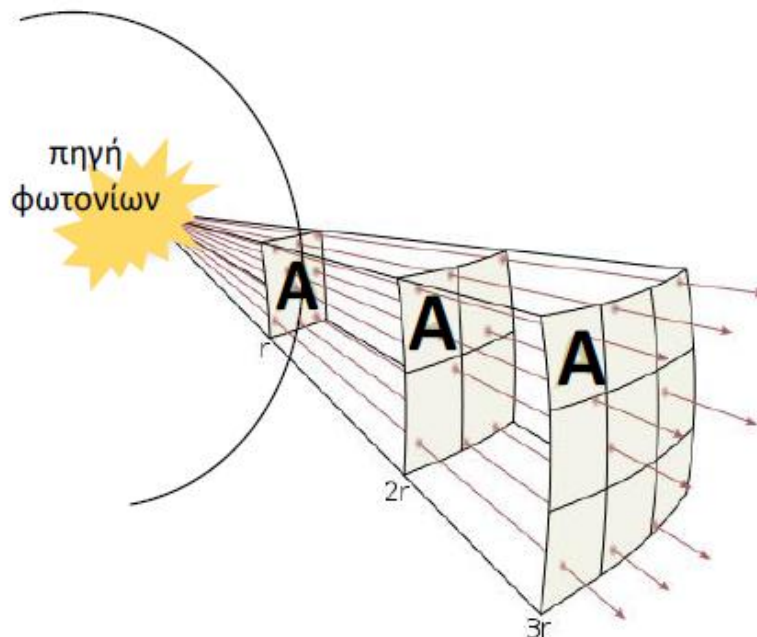
Διάδοση του φωτός στο κενό

Τα **φωτόνια στο κενό** (δηλαδή σε χώρο που δεν έχει ύλη ούτε κάποιο άλλο πεδίο δυνάμεων και σε διαστάσεις συγκρίσιμες με τον πλανήτη μας) διαδίδονται ευθύγραμμα και συνεχώς.



Διάδοση του φωτός στο κενό και στην ύλη

Στην περίπτωση μιας συνήθους φωτεινής πηγής που εκπέμπει φωτόνια σφαιρικά και ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις, η ένταση του φωτός μειώνεται με την απόσταση από την πηγή σύμφωνα με το νόμο του αντίστροφου τετραγώνου της απόστασης. Ο νόμος και πώς προκύπτει εξηγούνται στο Σχήμα 8-20.



Σχήμα 8-20. Διάδοση φωτονίων και εξάρτηση της έντασης της δέσμης αντίστροφα ανάλογα από το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή.

Διάδοση του φωτός στην ύλη

Όταν τα φωτόνια διαδίδονται σε ένα υλικό μέσο, έχουν πιθανότητες να συναντήσουν ύλη κι επομένως να αλληλεπιδράσουν παράγοβτας ένα ή περισσότερα από τα φαινόμενα που είδαμε προηγουμένως.

Για κάθε επιμέρους φωτόνιο της δέσμης που διαδίδεται μέσα στην ύλη υπάρχει συγκεκριμένη πιθανότητα αλληλεπίδρασης για κάθε ένα από τα φαινόμενα που αναφέραμε παραπάνω.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω φαινόμενα αλληλεπίδρασης, μπορούμε να πούμε ότι γενικά η πιθανότητα να συμβεί αλληλεπίδραση κι επομένως η εξασθένιση της έντασης της δέσμης, εξαρτάται:

α) από τη **συχνότητα του φωτονίου**, καθώς αυτή πρέπει να είναι κατάλληλη για να αλληλεπιδράσει με τη συγκεκριμένη ύλη.

β) Τον **συνολικό αριθμό φωτονίων ανά μονάδα επιφάνειας** – όσο πιο πυκνή η δέσμη φωτονίων τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα να προκαλέσει φαινόμενο αλληλεπίδρασης.

γ) Από το **είδος της ύλης**, δηλαδή τον **ατομικό και μαζικό αριθμό**, καθώς και τη **μοριακή δομή**, καθώς αυτό το σύστημα είναι που καθορίζει για παράδειγμα τις επιτρεπτές ενεργειακές καταστάσεις της ύλης και την **πυκνότητα της ύλης** – όσο πιο πυκνή η ύλη τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα φωτόνιο να συναντήσει σωματίο ύλης.

δ) Από την **απόσταση που θα διανύσει το φωτόνιο μέσα στην ύλη** – μεγαλύτερη απόσταση αυξάνει την πιθανότητα να συναντήσει σωματίο της ύλης και να αλληλεπιδράσει.