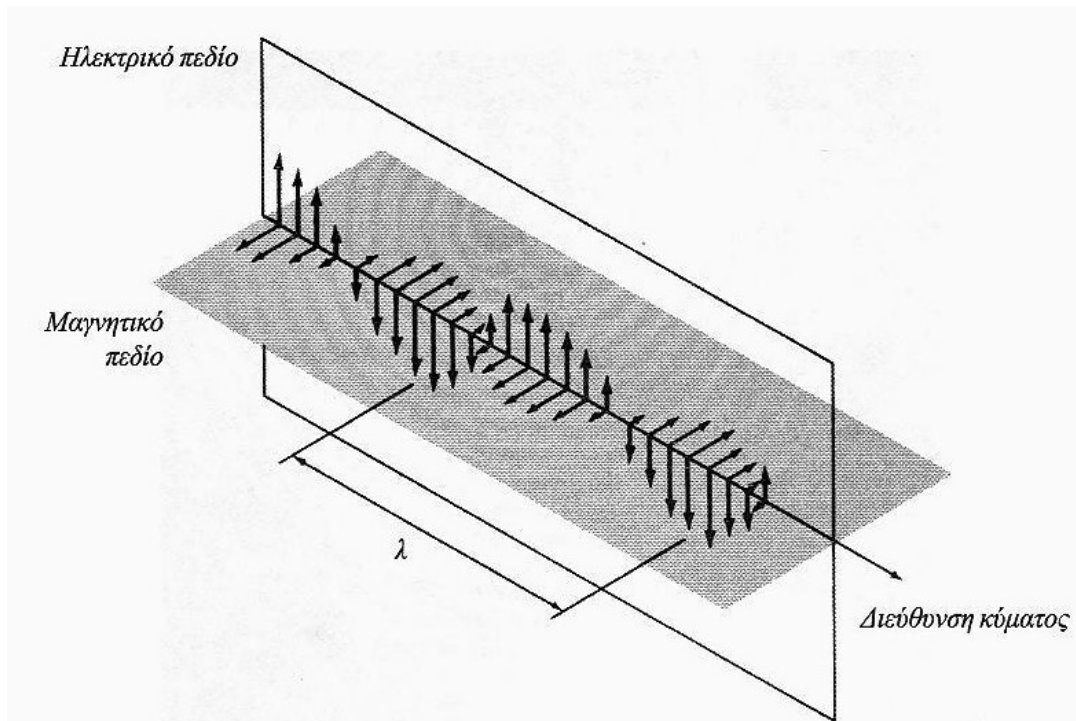


# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Συζευγμένα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία κινούνται με την ταχύτητα του φωτός και παρουσιάζουν τυπική κυματική συμπεριφορά

Αν τα φορτία ταλαντώνονται περιοδικά οι διαταραχές αυτές είναι κύματα, των οποίων οι ηλεκτρικές και μαγνητικές συνιστώσες είναι κάθετες η μία στην άλλη και κάθετες επίσης προς τη διεύθυνση διάδοσης.



**ΣΧΗΜΑ 2.1** Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετα μεταξύ τους καθώς και στη διεύθυνση του κύματος.

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Faraday:

Μεταβολές ενός μαγνητικού πεδίου μπορούν να δημιουργήσουν ρεύμα σε μια συρμάτινη σπείρα

Maxwell:(συμμετρία)

Ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο συνδέεται με ένα μαγνητικό πεδίο

Maxwell απέδειξε

Ότι η ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε κενό χώρο δίνεται ως

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

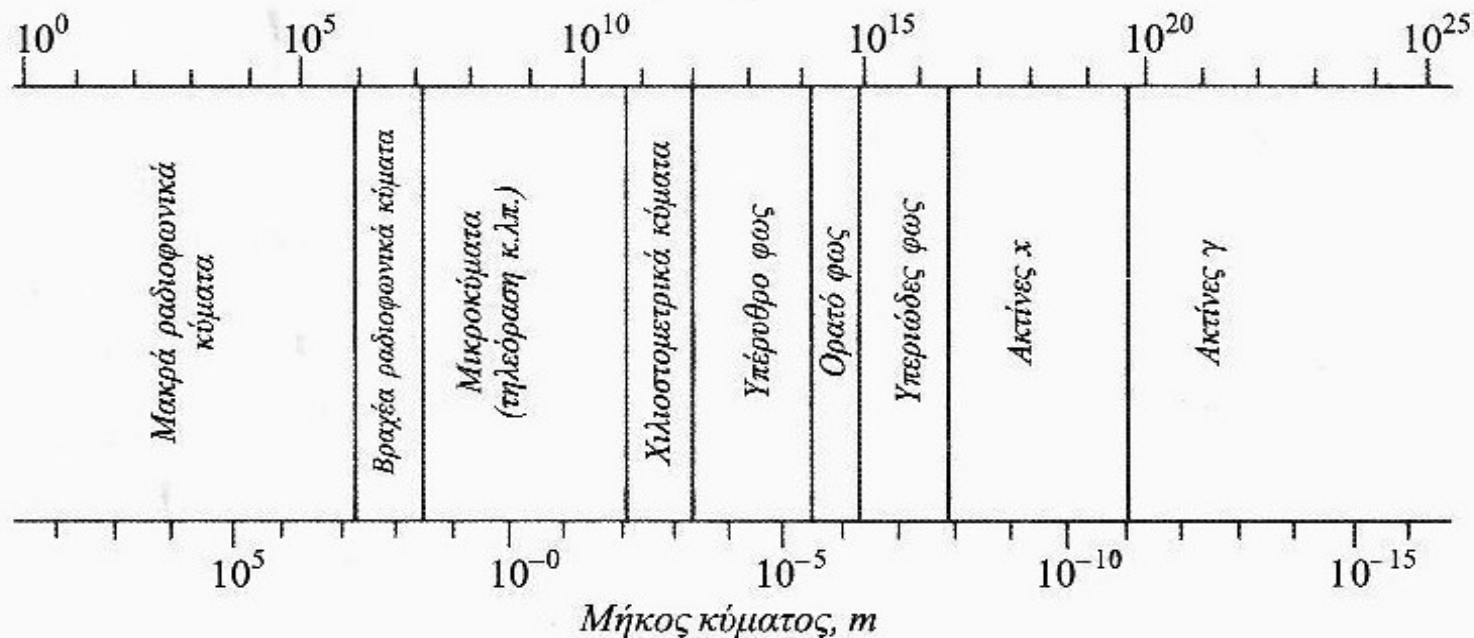
**Το φως αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα.**

Το μάτι ανταποκρίνεται σε ένα μικρό διάστημα συχνοτήτων από  $4.3 \times 10^{14}$  Hz για το ερυθρό φως μέχρι  $7.5 \times 10^{14}$  Hz για το ιώδες.

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

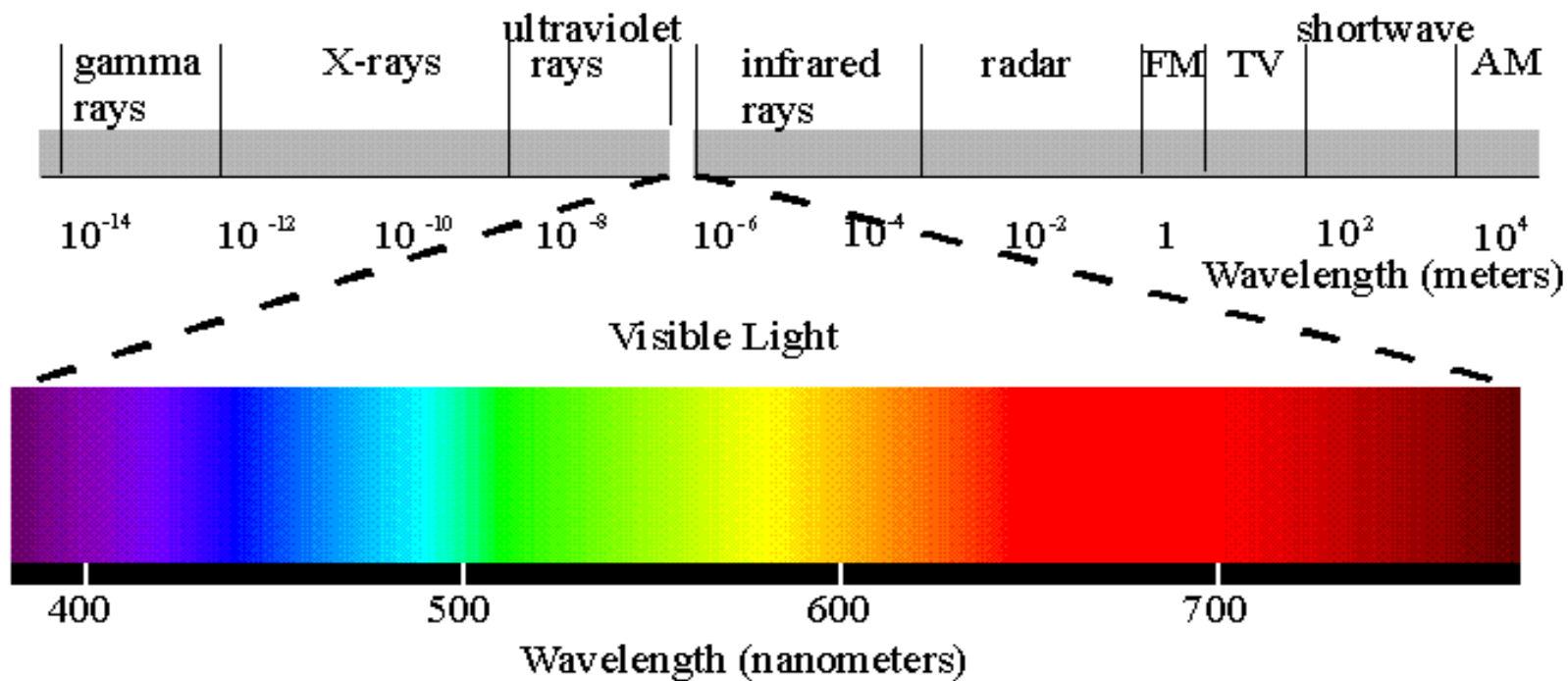
## Το φάσμα ΗΜ κυμάτων

Συχνότητα, Hz



Το φως δεν είναι το μόνο παράδειγμα ΗΜ κυμάτων.

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ



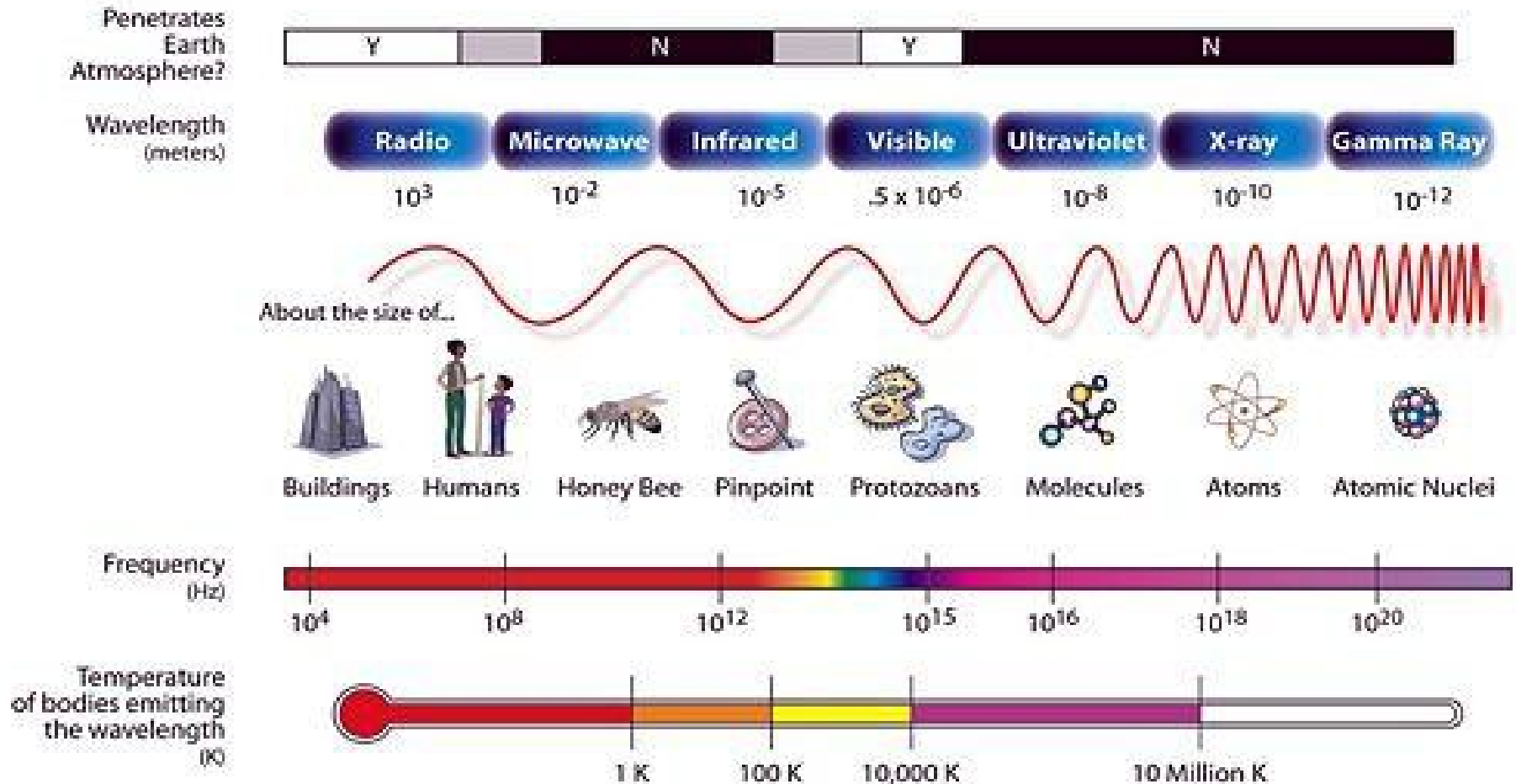
[Table of Contents](#)

[Visual Stimulus](#)

Το μάτι ανταποκρίνεται σε ένα μικρό διάστημα συχνοτήτων από  $4.3 \times 10^{14}$  Hz για το ερυθρό φως μέχρι  $7.5 \times 10^{14}$  Hz για το ιώδες.

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

## THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



# ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Μήκος Κύματος

Φάση

Επαλληλία

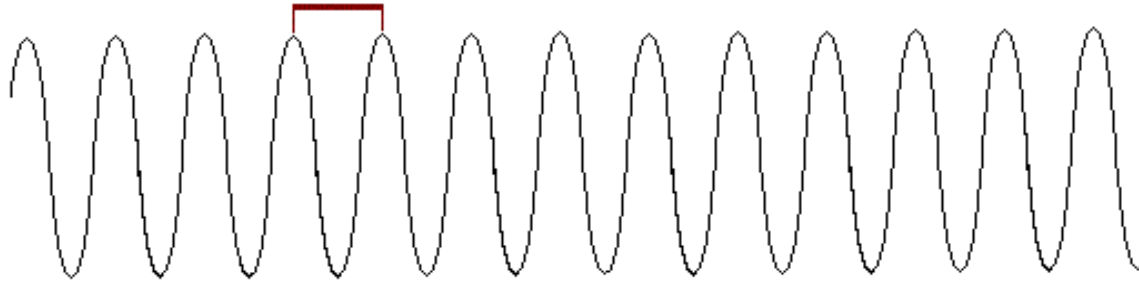
Συμβολή (δημιουργική και καταστρεπτική)

Περίθλαση και Συμβολή

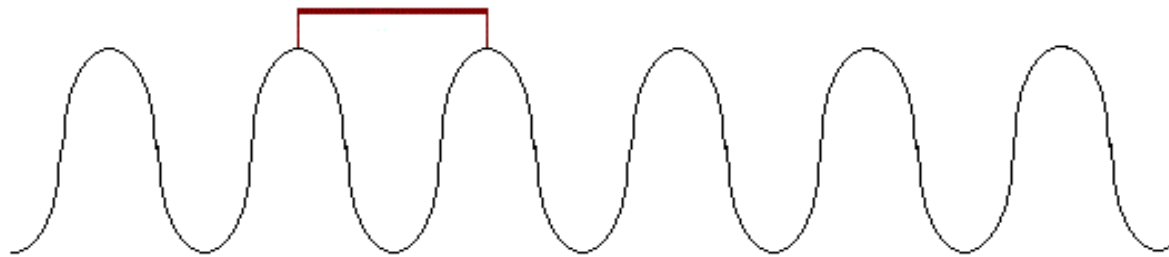
Πείραμα του Young

# ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

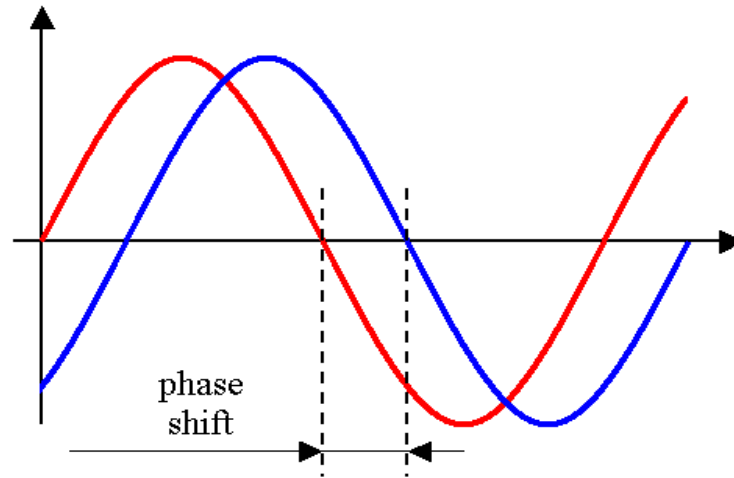
**Shorter Wavelength**



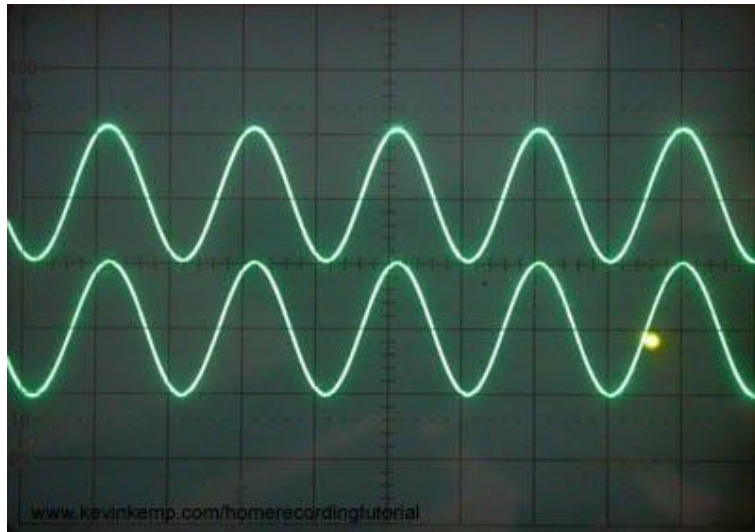
**Longer Wavelength**



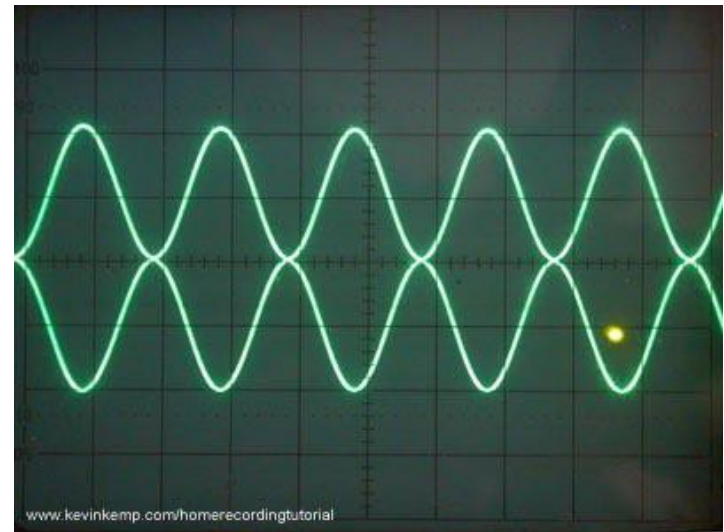
# ΦΑΣΗ



Εν φάσει..

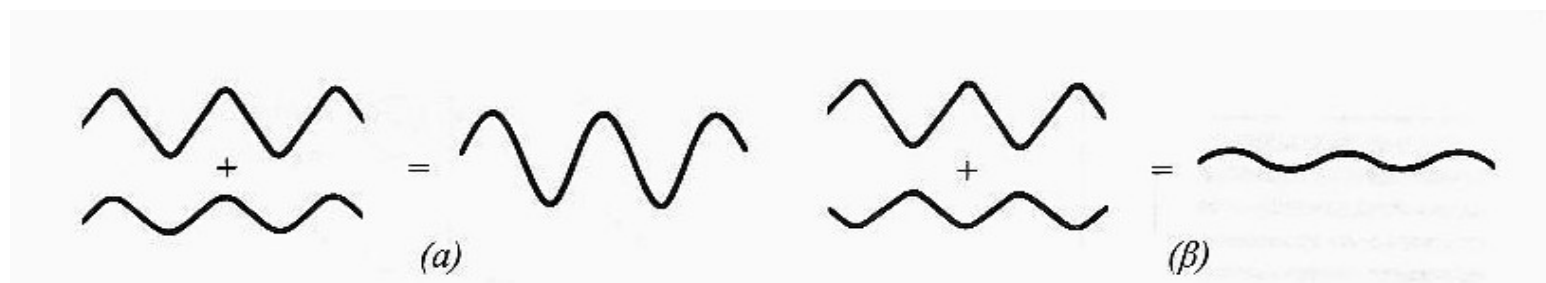
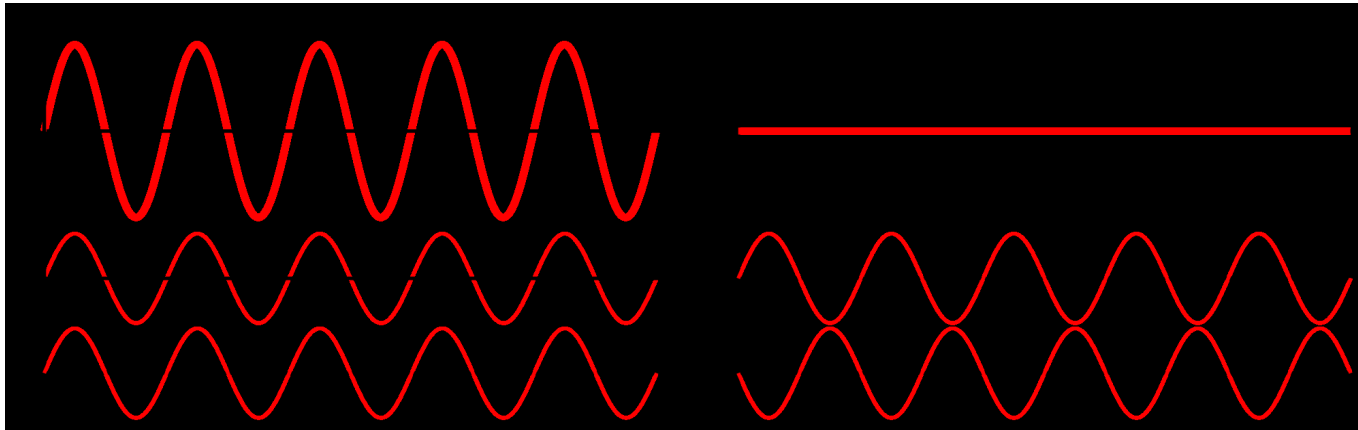


Εκτός φάσεως...





# Επαλληλία - Συμβολή



α) Η υπέρθεση κυμάτων σε φάση ενισχύει τα κύματα

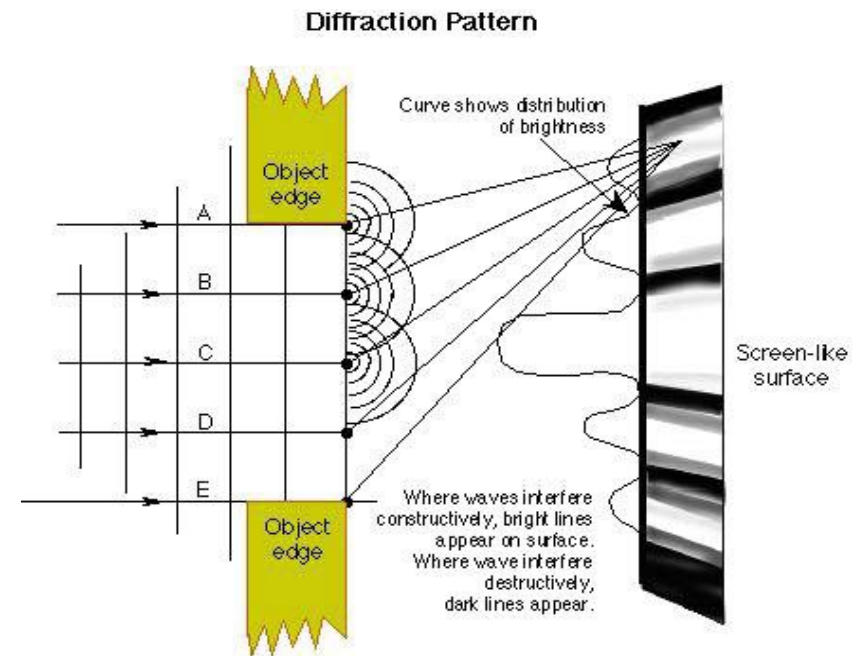
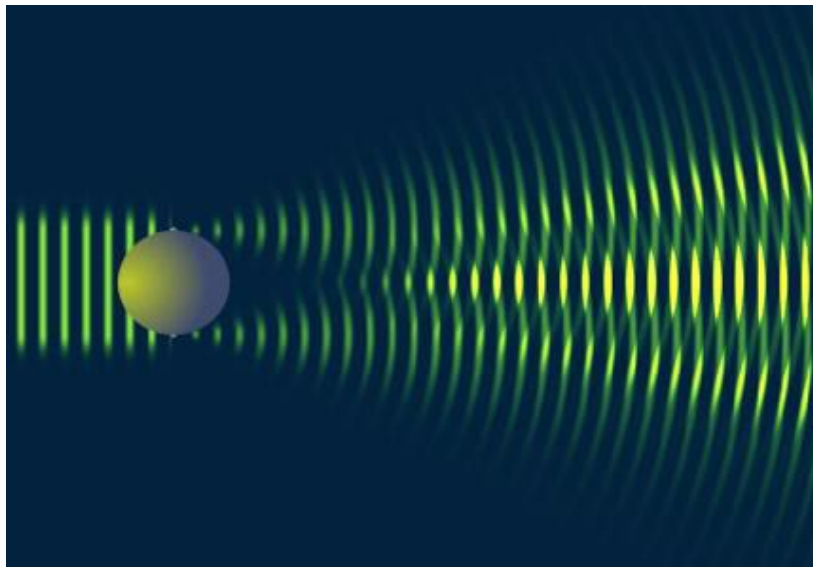
β) στην καταστρεπτική συμβολή κύματα εν μέρει ή και καθόλου σε φάση αναιρούν το ένα το άλλο

# ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ - ΠΕΙΡΑΜΑ YOUNG

Το πείραμα του Young με διπλές σχισμές έδειξε ότι **το φως αποτελείται από κύματα**.

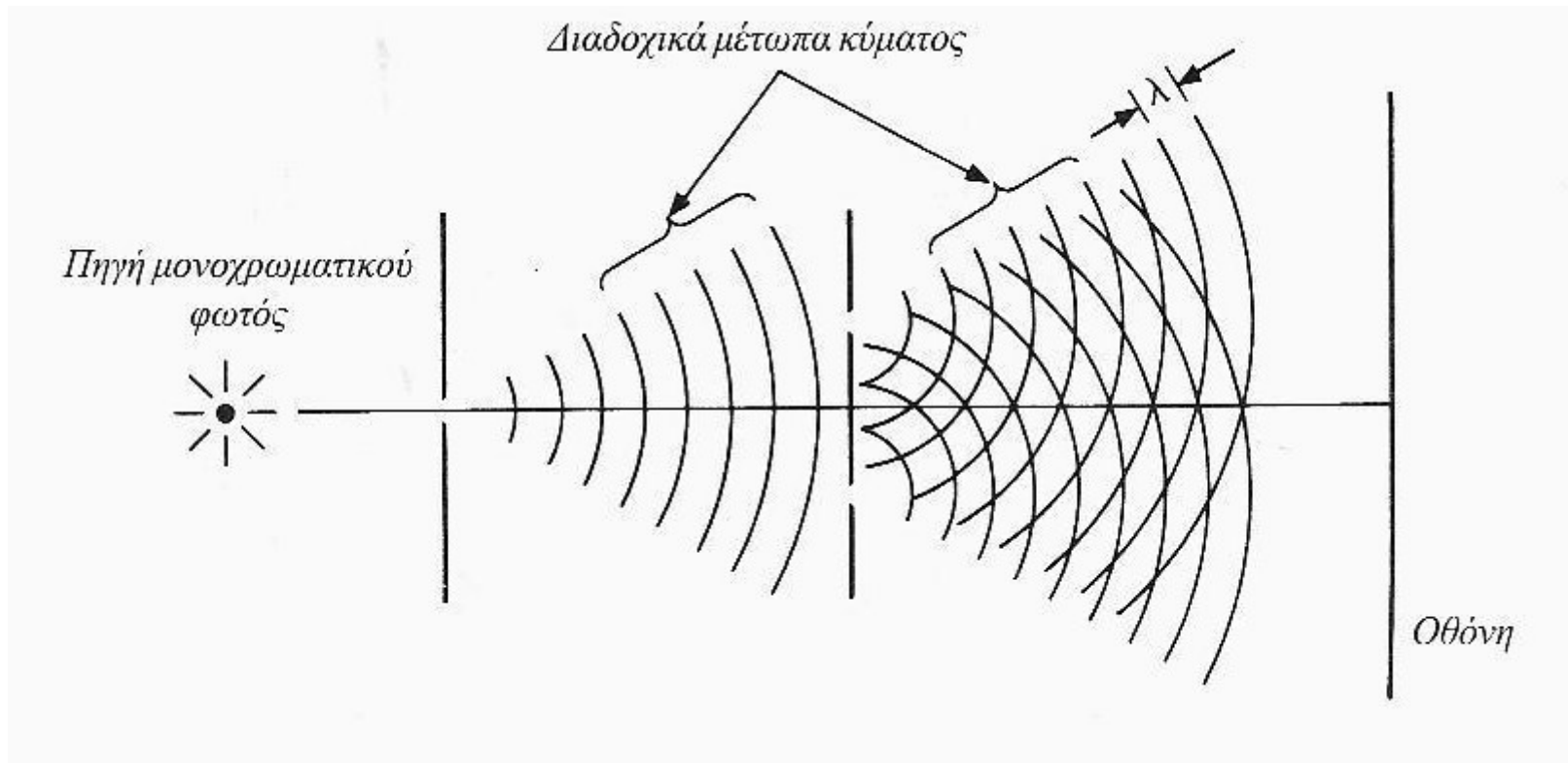
Φωτίζοντας ένα ζεύγος σχισμών με μονοχρωματικό φως, παρατήρησε τη δημιουργία δευτερογενών κυμάτων μετά από κάθε σχισμή. Αυτό είναι ένα παράδειγμα περίθλασης.

Λόγω της συμβολής, η οθόνη δεν είναι ομοιόμορφα φωτισμένη αλλά παρουσιάζει μια εικόνα εναλλασσόμενων λαμπρών και σκοτεινών γραμμών.



# ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ - ΠΕΙΡΑΜΑ YOUNG

Το μέτωπο κύματος είναι μια υποθετική επιφάνεια που ενώνει τα σημεία όπου όλα τα κύματα έχουν την ίδια φάση. Η εξάπλωση των δευτερογενών κυμάτων από τις δύο σχισμές δημιουργεί το χαρακτηριστικό φαινόμενο των κυμάτων που ονομάζεται περίθλαση. Δημιουργική συμβολή συμβαίνει όταν τα μέτωπα των κυμάτων από τις σχισμές συναντώνται. Συγκεκριμένα δημιουργική συμβολή συμβαίνει όταν οι δρόμοι είναι ίσοι ή διαφέρουν κατά πολλαπλάσια μηκών κύματος ( $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$ ).



# ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Το πείραμα του Young με διπλές σχισμές αποδεικνύει ότι **το φως αποτελείται από κύματα.**

Η θεωρία του Maxwell χαρακτηρίζει το είδος των κυμάτων, ότι είναι ηλεκτρομαγνητικά.

# ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Η ιδέα ότι το φως αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν είναι συμβατή με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

## **Planck:**

Η ακτινοβολία εκπέμπεται σε ξεχωριστά “κβάντα”

Ενέργεια κβάντωσης είναι ανάλογη της συχνότητας  $E=hn$

$$h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$h=4.14 \times 10^{-15} \text{ eV s}$$

Η ενέργεια του φωτός μεταδίδεται σε κβάντα, το φως διαδίδεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

## **Einstein:**

Αν το φως εκπέμπεται ως ξεχωριστά κβάντα τότε θα απορροφάται και ως ξεχωριστά κβάντα ή φωτόνια

# ΤΟ ΦΩΣ ΕΧΕΙ ΔΥΑΔΙΚΗ ΥΠΟΣΤΑΣΗ

Einstein: Το φως ταξιδεύει ως ξεχωριστά κβάντα

Το φως έχει ταυτόχρονα και κυματικές και σωματιδιακές ιδιότητες

Το φως δεν παρουσιάζει ταυτόχρονα την κυματική και τη σωματιδιακή του φύση

Η κυματική και κβαντική θεωρία του φωτός είναι συμπληρωματικές

# ΤΟ ΦΩΣ ΕΧΕΙ ΔΥΑΔΙΚΗ ΥΠΟΣΤΑΣΗ

Η κυματική θεωρία εξηγεί την περίθλαση και τη συμβολή, πράγμα που δεν μπορεί να κάνει η κβαντική θεωρία

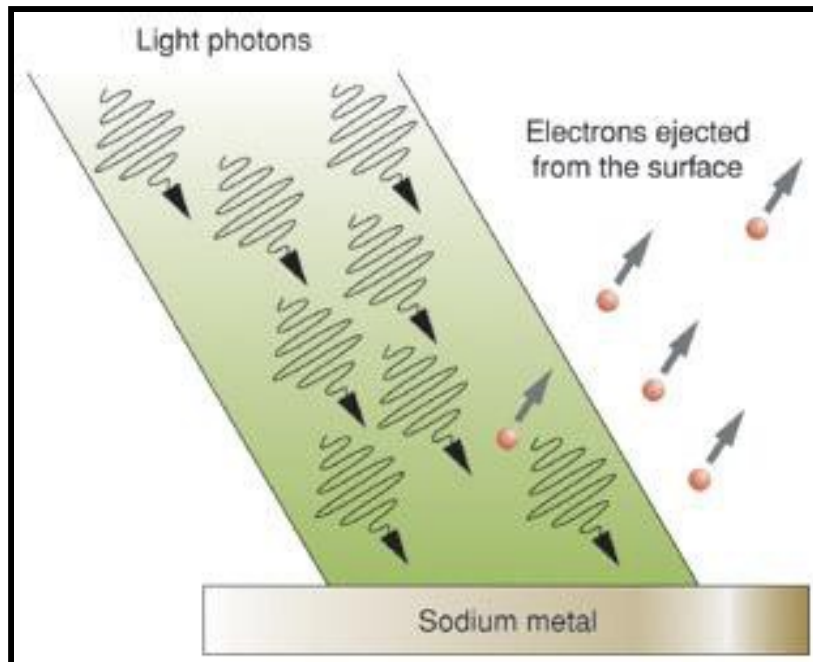
Η κβαντική θεωρία εξηγεί το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο το οποίο όμως δεν μπορεί να εξηγήσει η κυματική θεωρία

# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΩΤΟΝΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ( $h\nu = K_{\max} + h\nu_0$ )

Compton

Δίδυμη γέννεση



**Einstein**

**Ερμηνεία φωτοηλεκτρικού**

Αν το φως εκπέμπεται ως ξεχωριστά κβάντα τότε θα απορροφάται και ως ξεχωριστά κβάντα ή φωτόνια

$$h\nu = K_{\max} + h\nu_0$$



# ΑΚΤΙΝΕΣ x

**Η παραγωγή των ακτίνων x είναι το αντίστροφο του φωτοηλεκτρικού φαινομένου**

**Δηλαδή είναι δυνατόν μέρος ή όλη η κινητική ενέργεια ενός κινούμενου ηλεκτρονίου να μετατραπεί σε φωτόνιο.**

## **Ανακάλυψη των ακτίνων x, 1895 Roentgen.**

Διαδίδονται σε ευθείες γραμμές ακόμη και διαμέσου ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων

Περνούν διαμέσου αδιαφανών σωμάτων

Κάνουν φωσφορούχες ουσίες να λάμπουν

Όσα ταχύτερα τα αρχικά ηλεκτρόνια τόσο πιο διεισδύουσα είναι η παραγόμενη ακτινοβολία

Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των ηλεκτρονίων τόσο μεγαλύτερη η ένταση της δέσμης των ακτίνων x

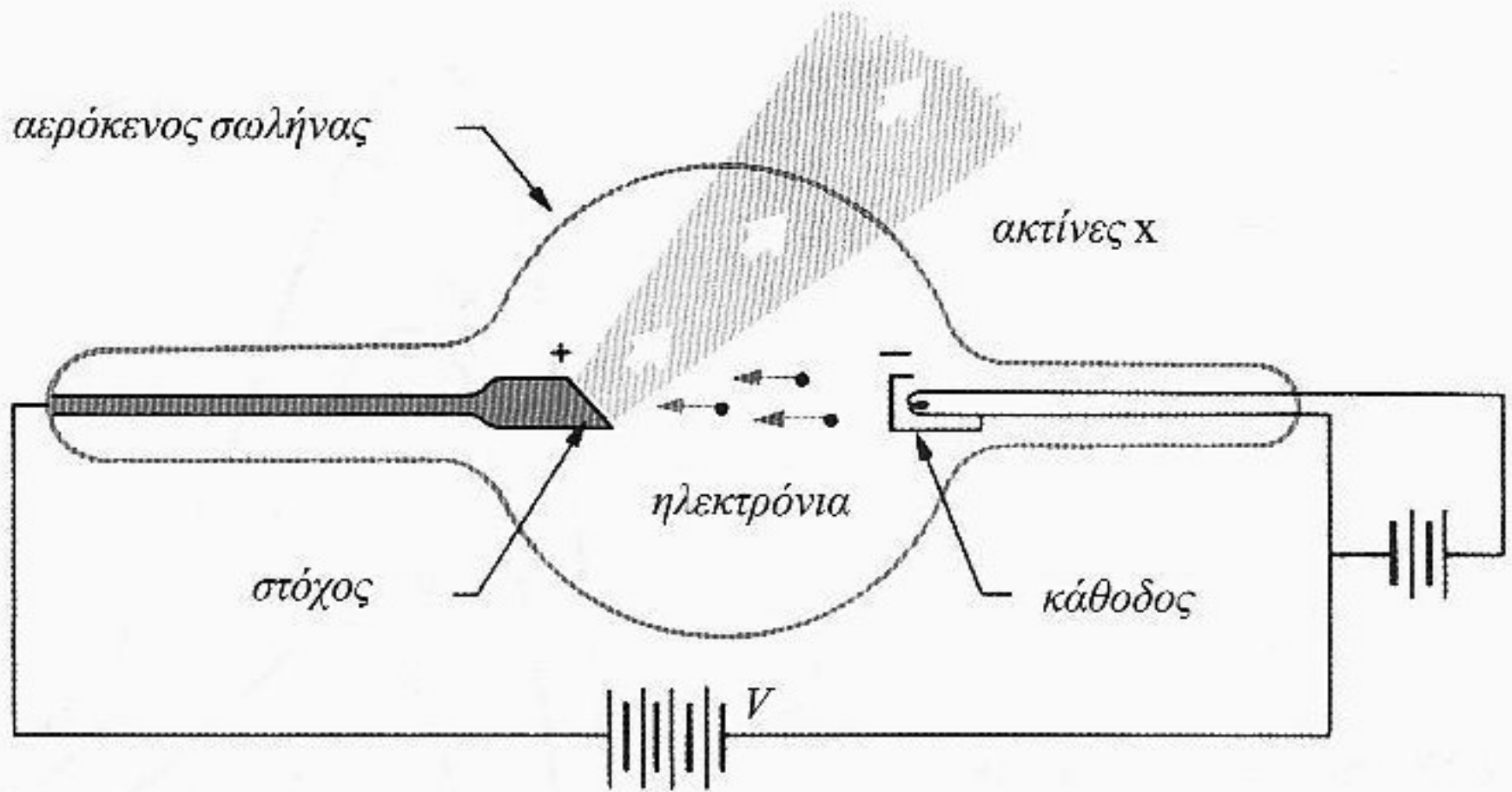
# ΑΚΤΙΝΕΣ x

**Οι ακτίνες x είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα.**

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από 0.01 10 nm ανήκει στην κατηγορία των ακτίνων x.

Το μικρότερο μήκος κύματος επικαλύπτει τις ακτίνες γ ενώ το μεγαλύτερο μήκος κύματος επικαλύπτει το υπεριώδες.

# ΚΑΘΟΔΙΚΟΣ ΣΩΛΗΝΑΣ



Όσο υψηλότερο είναι το δυναμικό επιτάχυνσης τόσο ταχύτερα τα ηλεκτρόνια και με μικρότερο μήκος κύματος (μεγαλύτερη συχνότητα) οι ακτίνες X.

# ΑΚΤΙΝΕΣ Χ

Το μήκος κύματος των ακτίνων χ που παράγονται σε ένα συγκεκριμένο δυναμικό επιτάχυνσης  $V$  ποικίλλει, και είναι μεγαλύτερο από μια συγκεκριμένη ελάχιστη τιμή  $\lambda_{\min}$ .

Τα ηλεκτρόνια χάνουν το μεγαλύτερο μέρος ή και όλη την κινητική τους ενέργεια σε απλές συγκρούσεις με τα άτομα του στόχου.

Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων μετατρέπεται σε ενέργεια φωτονίων. Επειδή το έργο εξόδου των υλικών είναι μερικά eV, ενώ το δυναμικό επιτάχυνσης στους σωλήνες ακτίνων χ είναι δεκάδες και εκατοντάδες Volts, μπορούμε να αγνοήσουμε το έργο εξόδου και να θεωρήσουμε ότι όλη η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου  $E=eV$  δίνεται σε ένα φωτόνιο ενέργειας  $h\nu_{\max}$

$$\text{Επομένως } eV = h\nu_{\max} = hc/\lambda_{\min} \text{ ---} \rightarrow \lambda_{\min} = hc/eV$$

# ΑΚΤΙΝΕΣ x

## Άσκηση

Υπολογίστε το μικρότερο μήκος κύματος που είναι παρόν στην ακτινοβολία μίας συσκευής παραγωγής ακτίνων x της οποίας το δυναμικό επιτάχυνσης είναι 50000 V.

## Λύση

Από την εξίσωση (2.6) έχουμε

$$\lambda_{\min} = \frac{1.24 \times 10^{-6} \text{ V} \cdot \text{m}}{5 \times 10^4 \text{ V}} = 2.5 \times 10^{-11} \text{ m} = 0.025 \text{ nm}$$

Αυτό το μήκος κύματος αντιστοιχεί σε συχνότητα

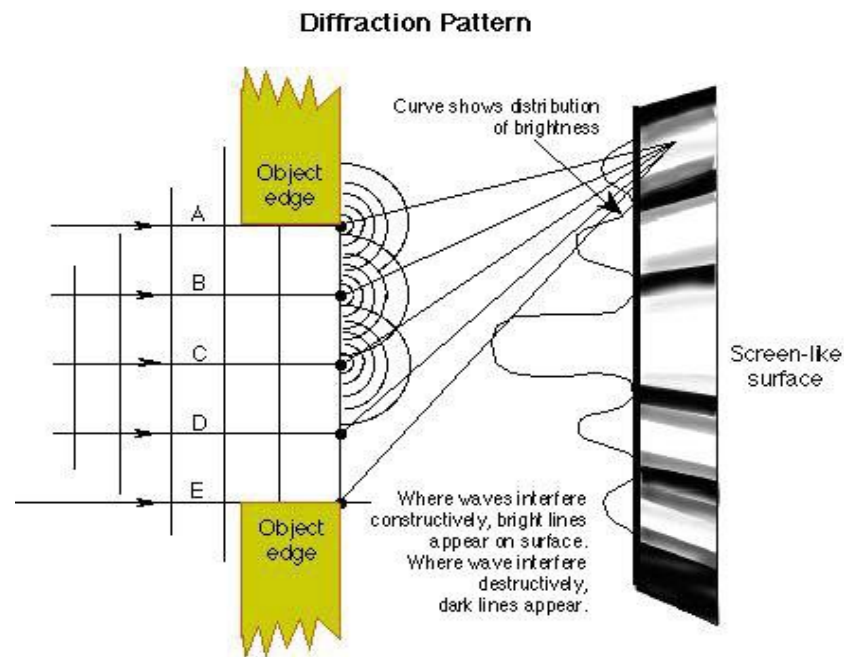
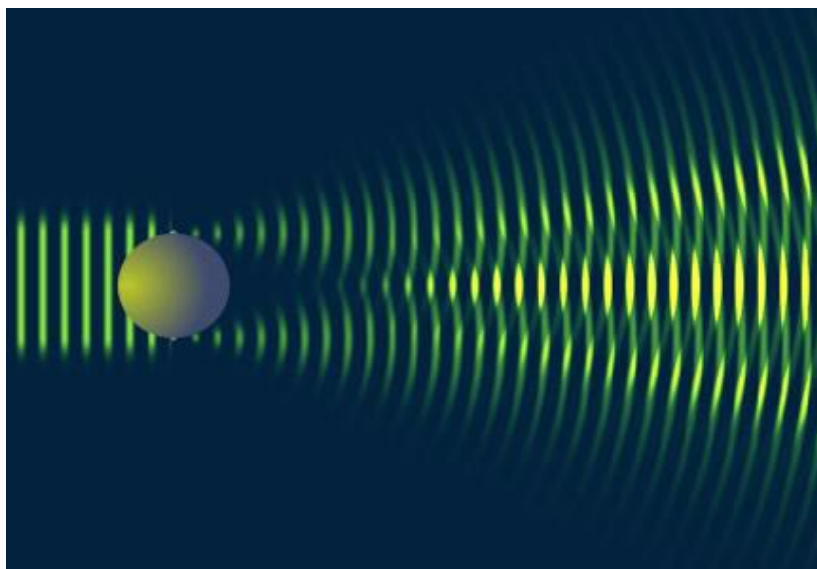
$$\nu_{\max} = \frac{c}{\lambda_{\min}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.5 \times 10^{-11} \text{ m}} = 1.2 \times 10^{19} \text{ Hz}$$

# ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Το πείραμα του Young με διπλές σχισμές έδειξε ότι **το φως αποτελείται από κύματα**.

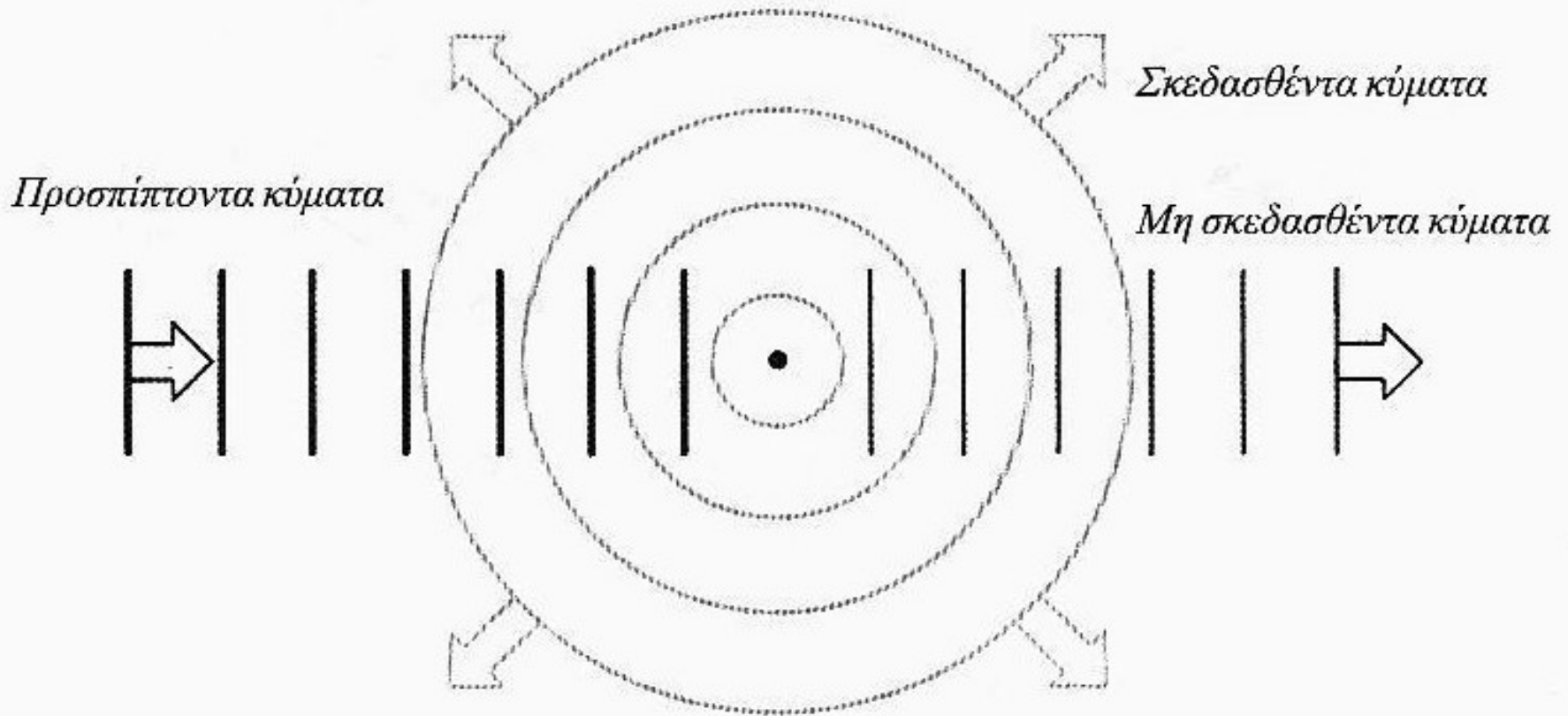
Φωτίζοντας ένα ζεύγος σχισμών με μονοχρωματικό φως, παρατήρησε τη δημιουργία δευτερογενών κυμάτων μετά από κάθε σχισμή. Αυτό είναι ένα παράδειγμα περίθλασης.

Λόγω της συμβολής, η οθόνη δεν είναι ομοιόμορφα φωτισμένη αλλά παρουσιάζει μια εικόνα εναλλασσόμενων λαμπρών και σκοτεινών γραμμών.



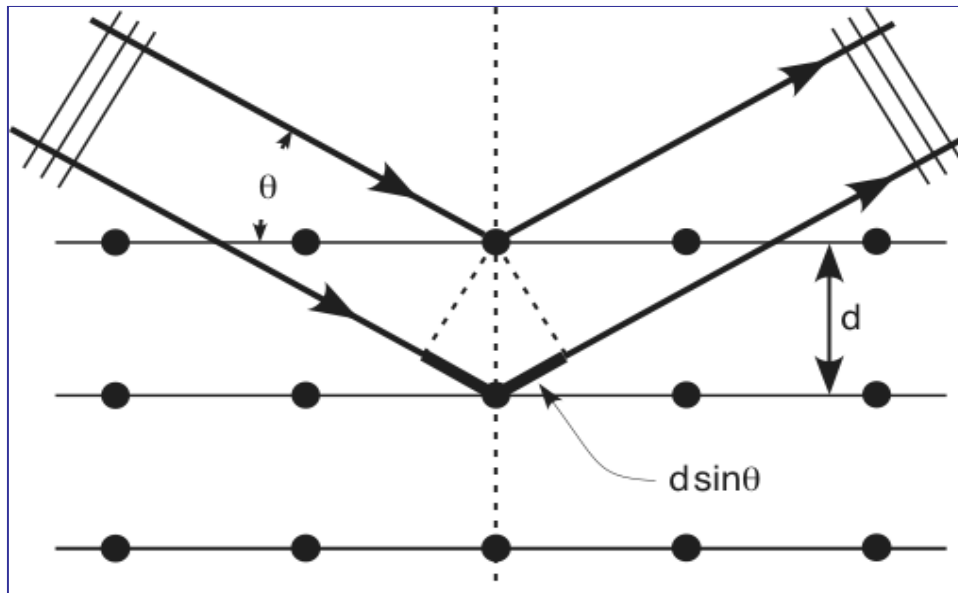
# ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ x

Όταν ακτίνες X προσπίπτουν σε ένα άτομο, το άτομο ταλαντώνεται σε φάση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Από την ταλάντωση εκπέμπεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ίδιου μήκους κύματος με την προσπίπτουσα και σε φάση με αυτήν.



Σκέδαση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ομάδα ατόμων. Τα προσπίπτοντα επίπεδα κύματα επανεκπέμπονται ως σφαιρικά κύματα.

# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ Bragg



Γωνία ανάκλασης = γωνία πρόσπτωσης

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

# Φράγμα Περίθλασης

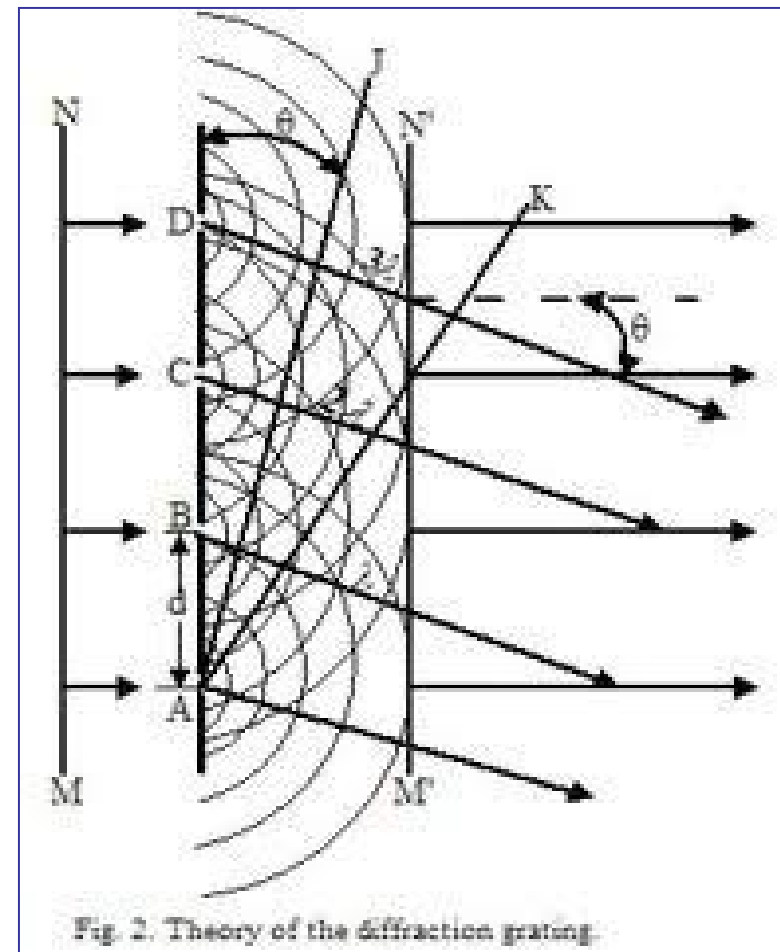


Fig. 2. Theory of the diffraction grating.



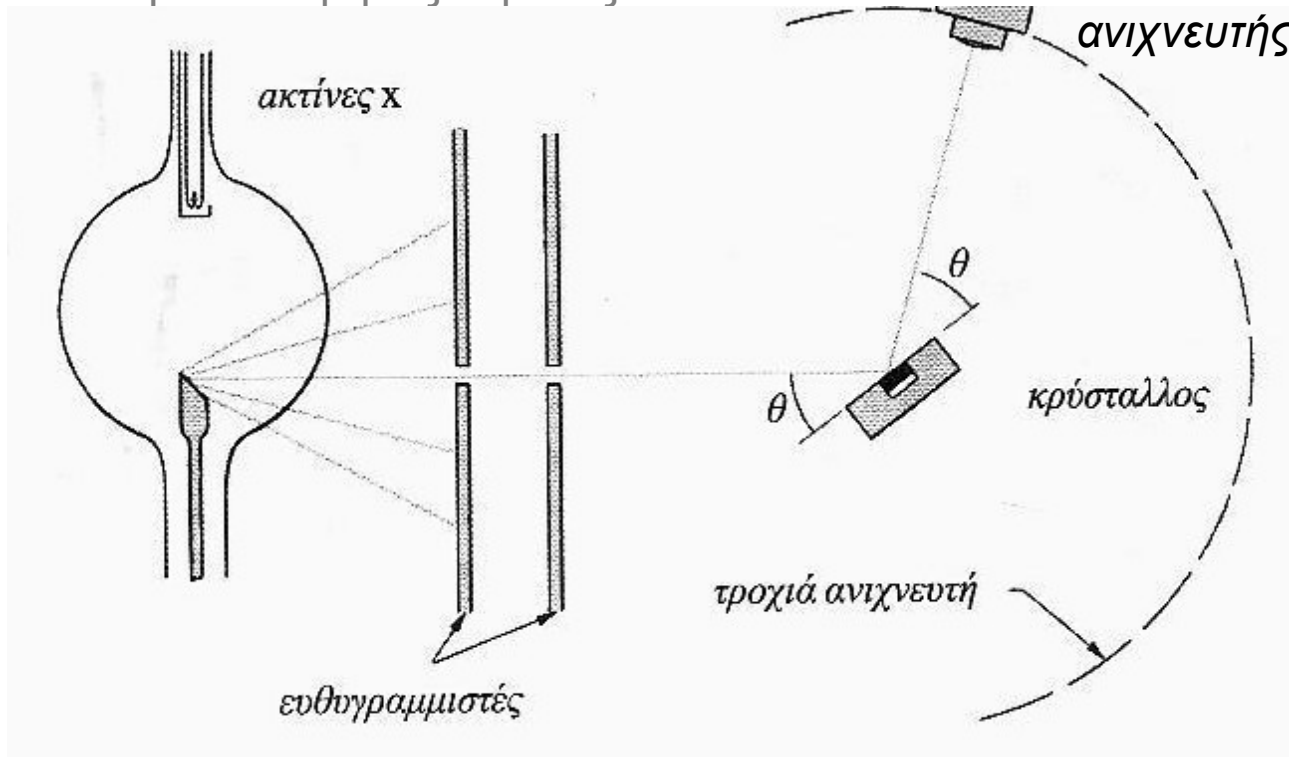
# ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΟ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Μια καλά συγκεντρωμένη δέσμη ακτίνων Χ προσπίπτει πάνω σε έναν κρύσταλλο υπό γωνία  $\theta$  και ένας ανιχνευτής τοποθετείται έτσι ώστε να ανιχνεύει τις σκεδαζόμενες ακτίνες υπό γωνία  $\theta$ .

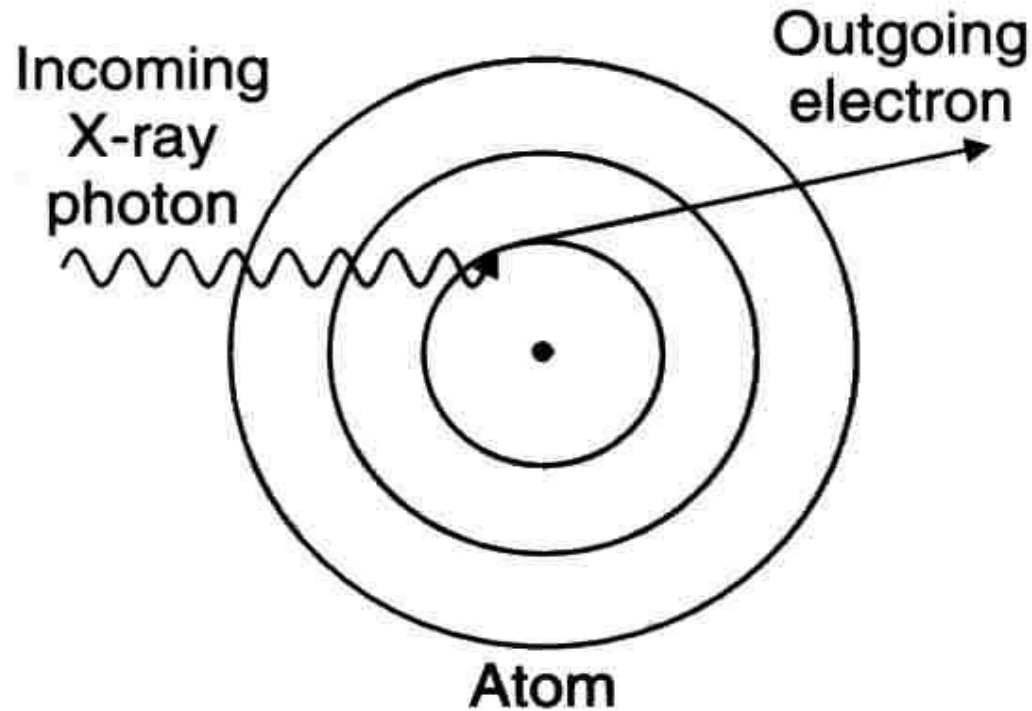
Κάθε ακτίνα που φθάνει στον ανιχνευτή υπακούει την πρώτη συνθήκη του Bragg.

Καθώς η εξίσωση μεταβάλλεται ο ανιχνευτής καταγράφει κορυφές έντασης σύμφωνα με την εξίσωση  $2d\sin\theta = n\lambda$ .

Αν είναι γνωστή η απόσταση  $d$  μεταξύ των δικτυωτών επιπέδων στον κρύσταλλο, μπορεί να υπολογιστεί το μήκος κύματος  $\lambda$ .



# ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

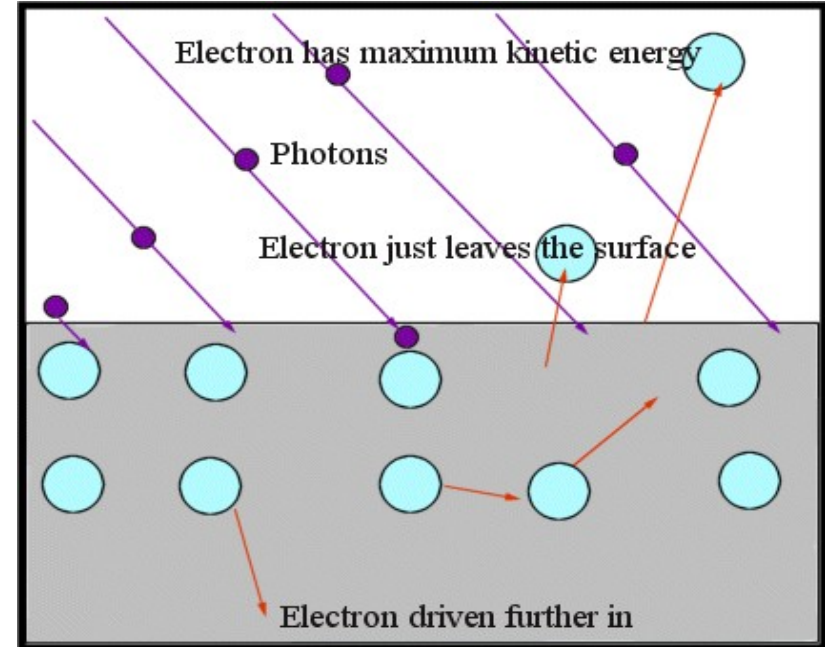
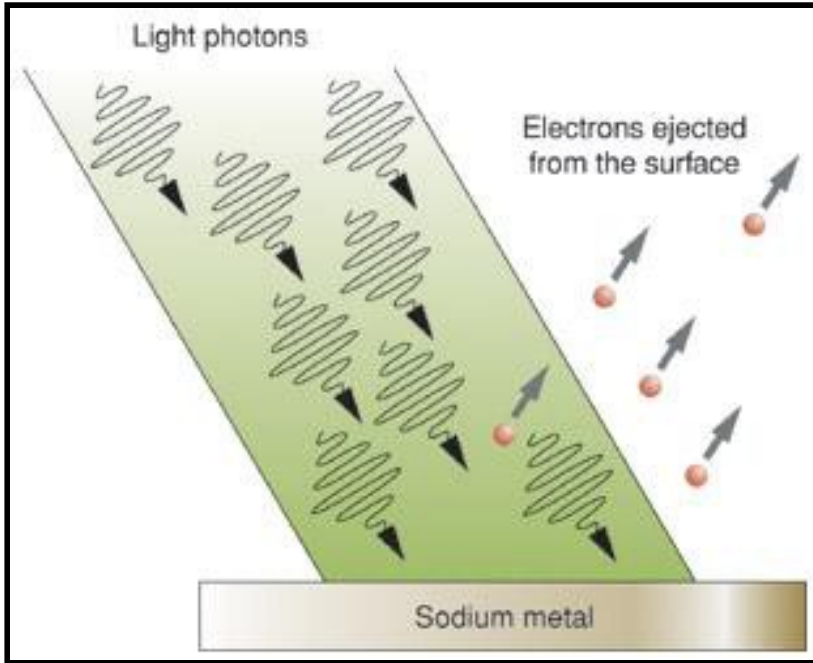


$$K_{\max} = h\nu - h\nu_0$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV s}$$

# ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ



Αρχή διατήρησης ορμής και ενέργειας:

Αν ήταν ελεύθερα τα ηλεκτρόνια τότε

$$h\nu + m_0c^2 = m_0c^2\gamma$$

$$h\nu/c = m_0u\gamma$$

Αν απαλείψω το  $h\nu$  τελικά

$u=c$ ....άτοπο

Ή

$$h\nu + m_0c^2 = E$$

$$h\nu/c = p$$

Αντικαθιστούμε στην

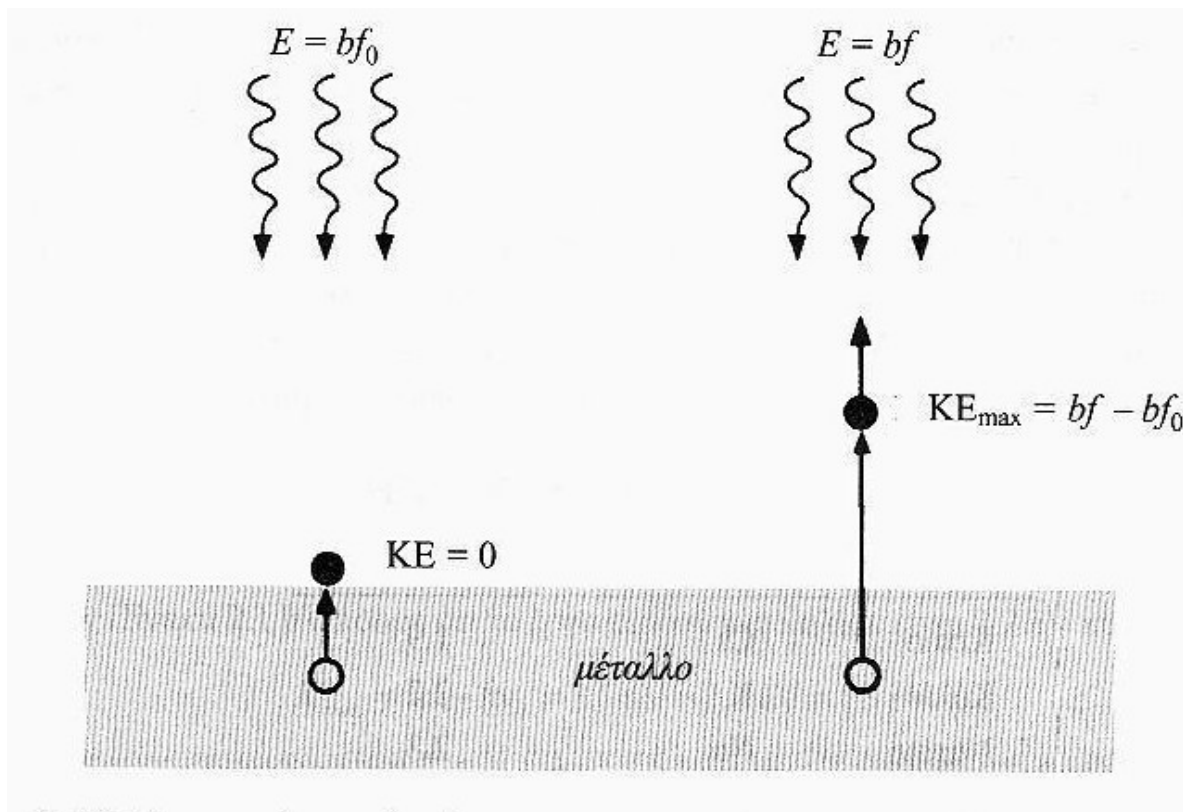
$$E^2 = p^2c^2 + (m_0c^2)^2 \dots \text{άτοπο}$$

$$T_{\max} = h\nu - \phi$$

# ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

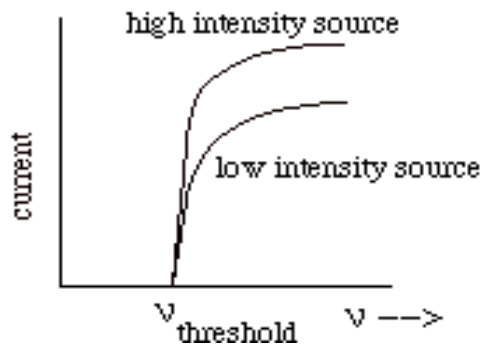
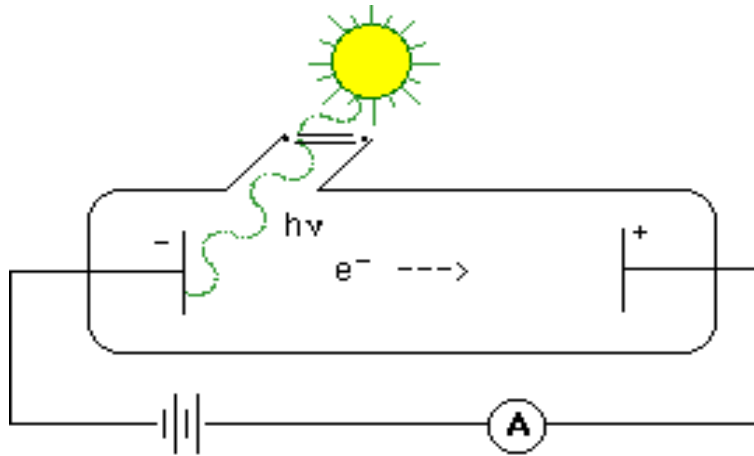
Θα πρέπει να υπάρχει μια ελάχιστη ενέργεια η οποία απαιτείται ώστε ένα ηλεκτρόνιο να αποσπασθεί από την επιφάνεια ενός μετάλλου, διαφορετικά τα ηλεκτρόνια θα διέφευγαν από τα μέταλλα ακόμη και στην απουσία φωτός.

Η ελάχιστη αυτή ενέργεια,  $h\nu_0$ , η οποία είναι χαρακτηριστική για μια ορισμένη επιφάνεια ονομάζεται έργο εξόδου,  $\phi$ . Άρα  $K_{\max} = h\nu - h\nu_0$ .



# ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ



Δεν υπάρχει χρονική καθυστέρηση μεταξύ άφιξης του φωτός στη μεταλλική επιφάνεια και την εκπομπή των φωτοηλεκτρονίων.

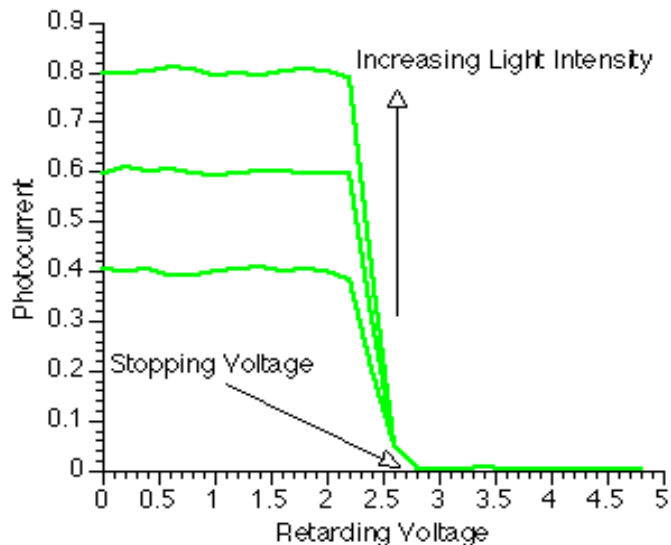
Υπάρχει μια χαρακτηριστική συχνότητα κατωφλίου,  $\nu_0$ , κάτω από την οποία δεν λαμβάνει χώρα το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

# ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Ο αριθμός των φωτοηλεκτρονίων που εκπέμπονται είναι ανάλογος της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

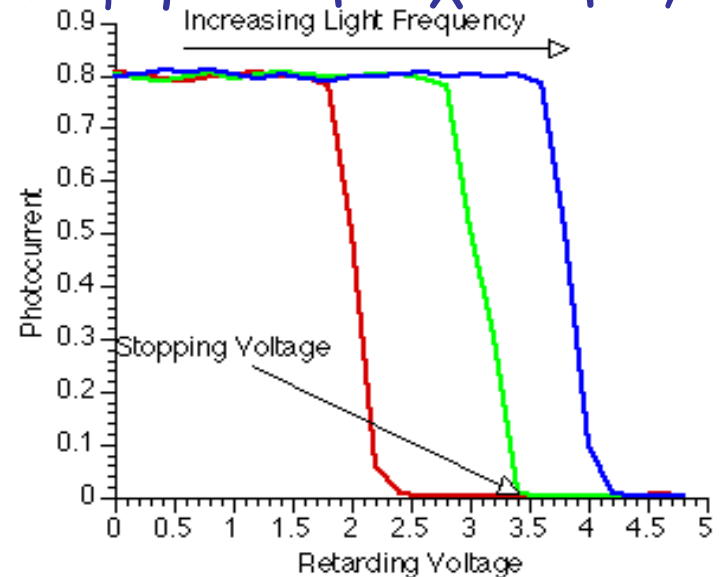
Η κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων είναι ανεξάρτητη της έντασης της φωτεινής δέσμης και αυξάνεται γραμμικά με τη συχνότητα της ακτινοβολίας.

## Διαφορετική ένταση φωτός



$$T_{\max} = h\nu - \phi$$

## Διαφορετική συχνότητα, $\nu$



# ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

## Άσκηση

Υπεριώδες φως με μήκος κύματος 350 nm και ένταση  $1 \text{ W/m}^2$  διευθύνεται σε επιφάνεια καλίου. (α) Υπολογίστε τη μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων. (β) Πόσα φωτοηλεκτρόνια/s εκπέμπονται εάν η επιφάνεια καλίου έχει εμβαδόν  $1 \text{ cm}^2$  και εάν τα 0.5% από τα ηλεκτρόνια που πέφτουν στην επιφάνεια αυτή παράγουν φωτοηλεκτρόνια;

## Λύση

(α) Το κβάντο ενέργειας των φωτονίων είναι

$$E = \frac{1.24 \times 10^{-6} \text{ eV} \cdot \text{m}}{(350 \text{ nm})(10^{-9} \text{ m/nm})} = 3.5 \text{ eV}$$

Από τον Πίνακα 2.1 βλέπουμε ότι το έργο εξόδου του καλίου είναι 2.2 eV και άρα

$$K_{\text{max}} = h\nu - h\nu_0 = 3.5 \text{ eV} - 2.2 \text{ eV} = 1.3 \text{ eV}$$

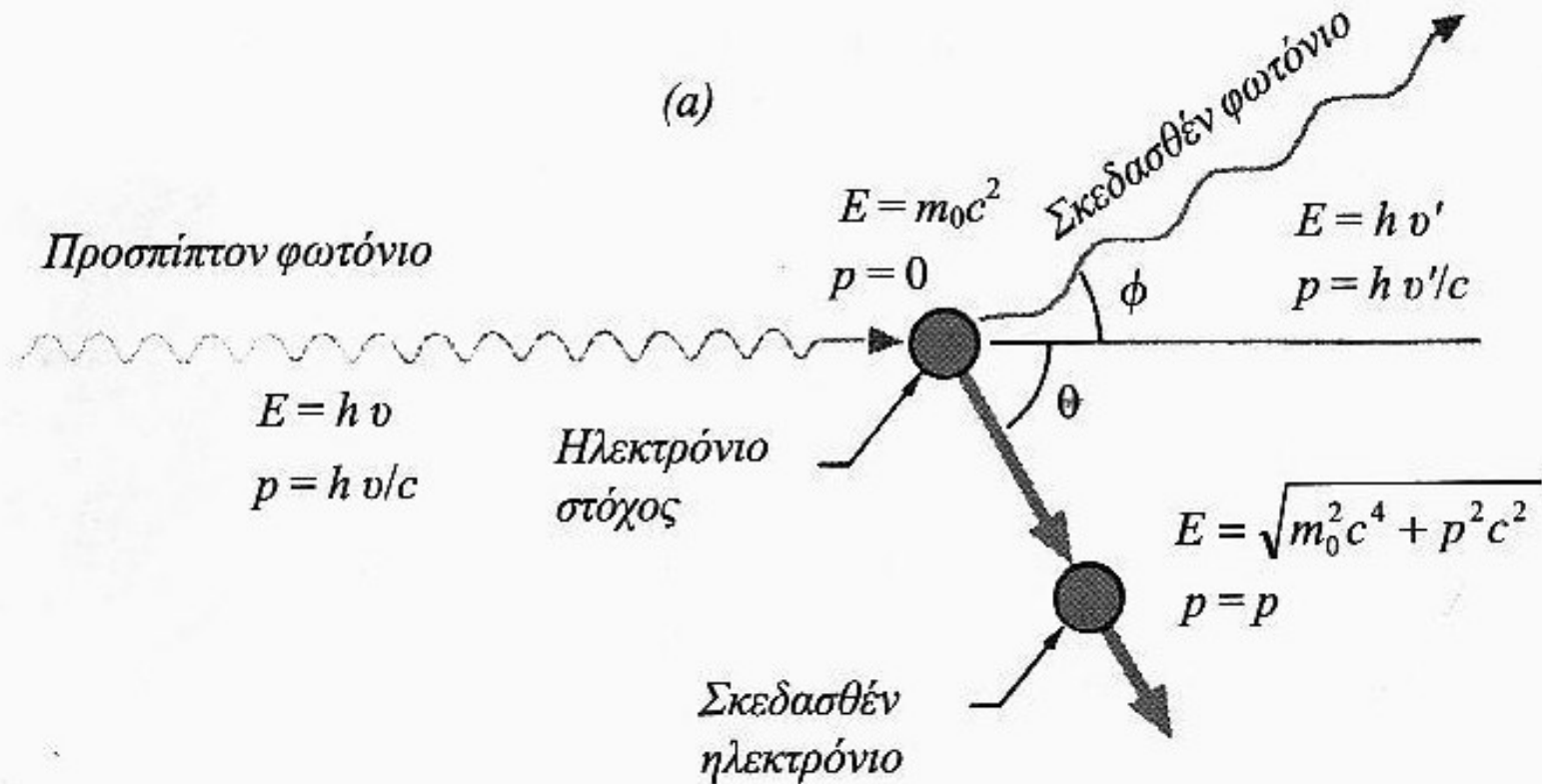
(β) Η ενέργεια φωτονίων είναι  $E_p = h\nu = hc/\lambda = 5.68 \times 10^{-19} \text{ J}$ . Επομένως ο αριθμός φωτονίων που φθάνουν στην επιφάνεια ανά δευτερόλεπτο είναι

$$\begin{aligned} n_p &= \frac{E/t}{E_p} = \frac{(P/A) (A)}{hc/\lambda} = \frac{(1 \text{ W/m}^2) (10^{-4} \text{ m}^2)}{5.68 \times 10^{-19} \text{ J/photon}} = 1.76 \times 10^{14} \frac{\text{J/s}}{\text{J/photon}} \\ &= 1.76 \times 10^{14} \text{ photons/s} \end{aligned}$$

Άρα ο αριθμός εκπεμπομένων φωτοηλεκτρονίων ανά δευτερόλεπτο θα είναι

$$n_e = (0.005) n_p = 8.8 \times 10^{11} \text{ φωτοηλεκτρόνια/s}$$

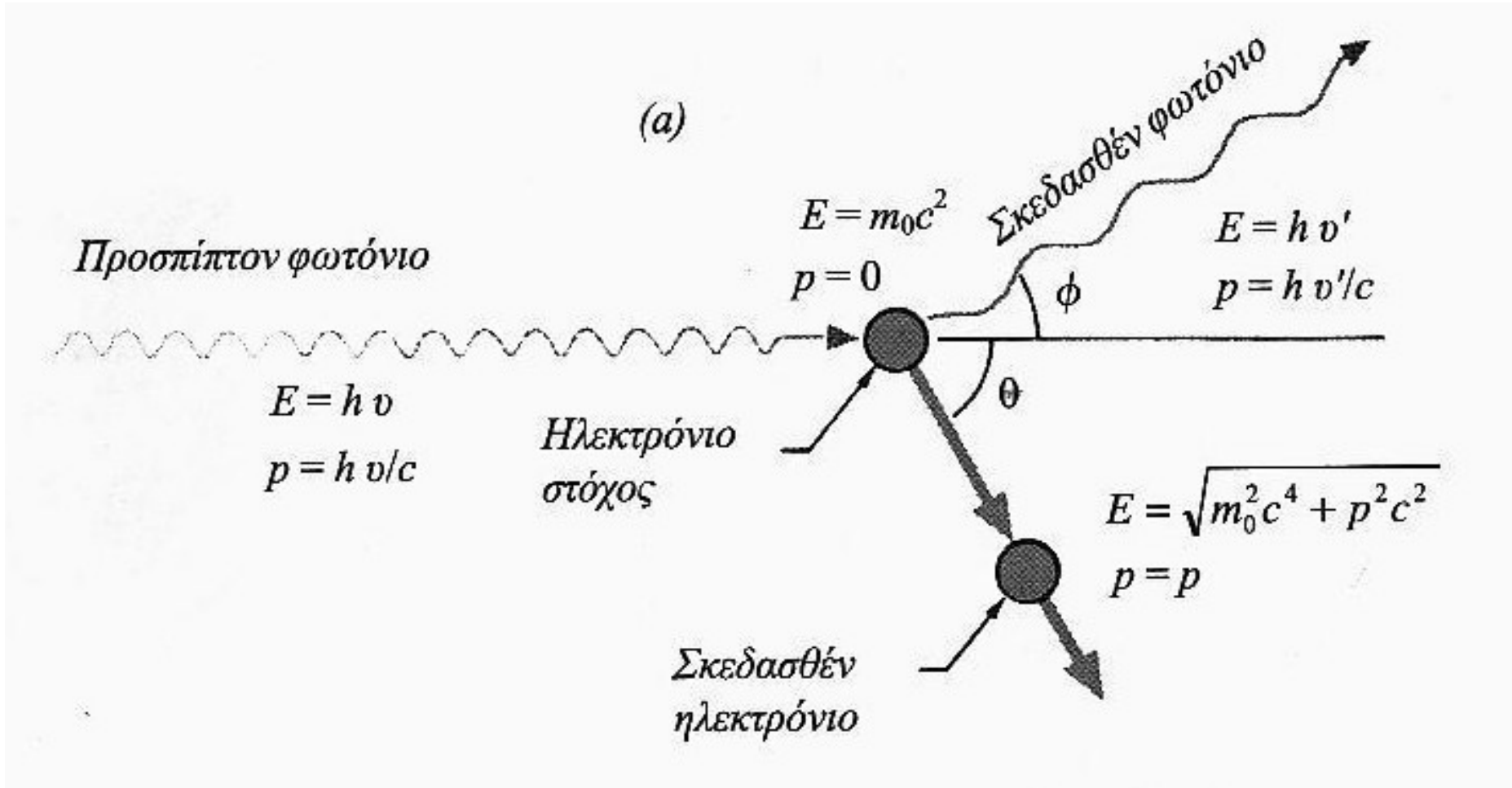
# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON



Το φαινόμενο Compton είναι η αλληλεπίδραση φωτονίου με ελεύθερο ηλεκτρόνιο και κατά την οποία αλληλεπίδραση μέρος της αρχικής ενέργειας του φωτονίου δίνεται στο ηλεκτρόνιο το οποίο ανακρούεται, το δε φωτόνιο σκεδάζεται κατά δεδομένη γωνία. Το φωτόνιο από τη σκέδαση έχει ενέργεια μικρότερη του αρχικού. Η ενέργεια του ανακρουόμενου ηλεκτρονίου Compton, είναι το συμπλήρωμα της ενέργειας του σκεδαζόμενου φωτονίου Compton.



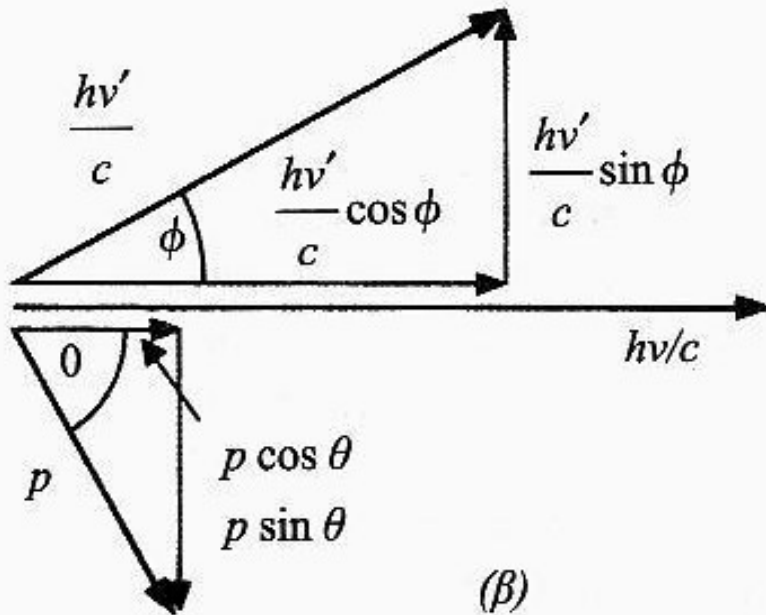
# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON



Το φαινόμενο Compton παρέχει ακλόνητη μαρτυρία πως, όταν το φως αλληλεπιδρά με την ύλη, συμπεριφέρεται σαν να απαρτίζεται από σωματρία με ενέργεια  $h\nu$  και ορμή  $h/\lambda$ .

# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON

**Αρχή διατήρησης ορμής στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση**  
**Ορμή διανυσματικό μέγεθος**



$$\frac{h\nu}{c} + 0 = \frac{h\nu'}{c} \cos \phi + p \cos \theta$$

$$0 = \frac{h\nu'}{c} \sin \phi - p \sin \theta$$

Πολλαπλασιάζουμε κατά μέλη με  $c$

$$pc \cos \theta = h\nu - h\nu' \cos \phi$$

$$pc \sin \theta = h\nu' \sin \phi$$

Υψώνουμε στο τετράγωνο και τις 2 εξισώσεις και προσθέτουμε κατά μέλη

$$p^2 c^2 = (h\nu)^2 - 2 (h\nu) (h\nu') \cos \phi + (h\nu')^2$$

# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON

**Αρχή διατήρησης ενέργειας  
Ενέργεια μη διανυσματικό μέγεθος**

Εξισώνουμε τις δύο εκφράσεις για την ολική ενέργειας

$$E = K + m_0 c^2$$

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}$$

$$(K + m_0 c^2)^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

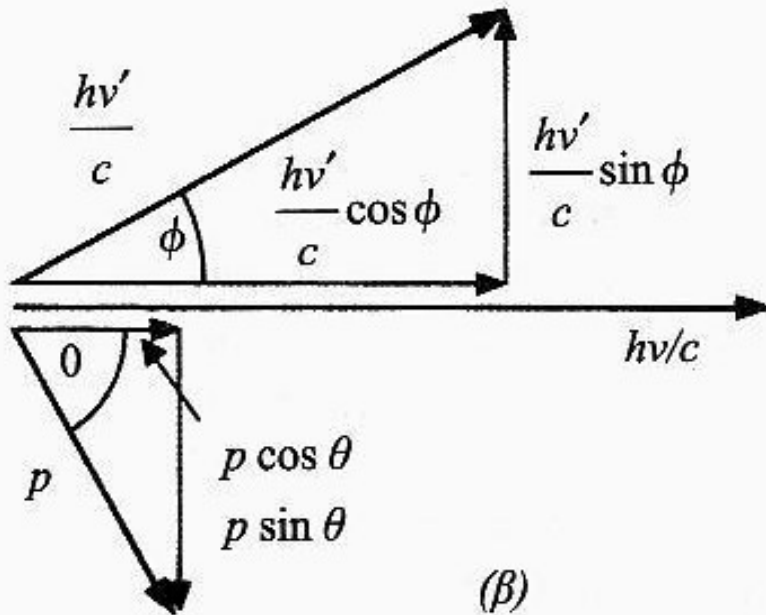
$$p^2 c^2 = K^2 + 2 m_0 c^2 K$$

όπου

$$K = h\nu - h\nu'$$

Και παίρνουμε

$$p^2 c^2 = (h\nu)^2 - 2(h\nu)(h\nu') + (h\nu')^2 + 2m_0 c^2 (h\nu - h\nu')$$



# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON

Αρχή διατήρησης ορμής στην  
οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση  
Ορμή διανυσματικό μέγεθος

$$p^2 c^2 = (h\nu)^2 - 2 (h\nu) (h\nu') \cos \phi + (h\nu')^2$$

Αρχή διατήρησης ενέργειας  
Ενέργεια μη διανυσματικό μέγεθος

$$p^2 c^2 = (h\nu)^2 - 2(h\nu) (h\nu') + (h\nu')^2 + 2m_0 c^2 (h\nu - h\nu')$$

Εξισώνοντας τις δύο εκφράσεις, παίρνουμε

$$2m_0 c^2 (h\nu - h\nu') = 2(h\nu) (h\nu') (1 - \cos \phi)$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi)$$

# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON

**Φαινόμενο Compton**

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi)$$

Η εξίσωση δίνει την αλλαγή στο μήκος κύματος για ένα φωτόνιο που σκεδάζεται υπό γωνία  $\phi$  από ένα σωματίο σε ηρεμία με μάζα  $m_0$ .

Η μεταβολή αυτή είναι ανεξάρτητη από το μήκος κύματος  $\lambda$  του προσπίπτοντος φωτονίου.

**Μήκος κύματος  
Compton**

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c}$$

$$\lambda_c = 2.426 \times 10^{-12} \text{ m}$$

**Φαινόμενο  
Compton**

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \phi)$$

Η μέγιστη δυνατή αλλαγή αντιστοιχεί σε γωνία  $180^\circ$  και είναι δυο φορές το μήκος κύματος Compton.

# ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON

## Άσκηση

Ακτίνες  $x$  με μήκος κύματος  $10.0 \text{ pm}$  σκεδάζονται από ένα στόχο. (α) Υπολογίστε το μήκος κύματος ακτίνων  $x$  που σκεδάζονται κατά  $45^\circ$ . (β) Υπολογίστε το μέγιστο μήκος κύματος που είναι παρόν στις σκεδαζόμενες ακτίνες  $x$ . (γ) Υπολογίστε τη μέγιστη κινητική ενέργεια των σκεδαζομένων ηλεκτρονίων.

## Λύση

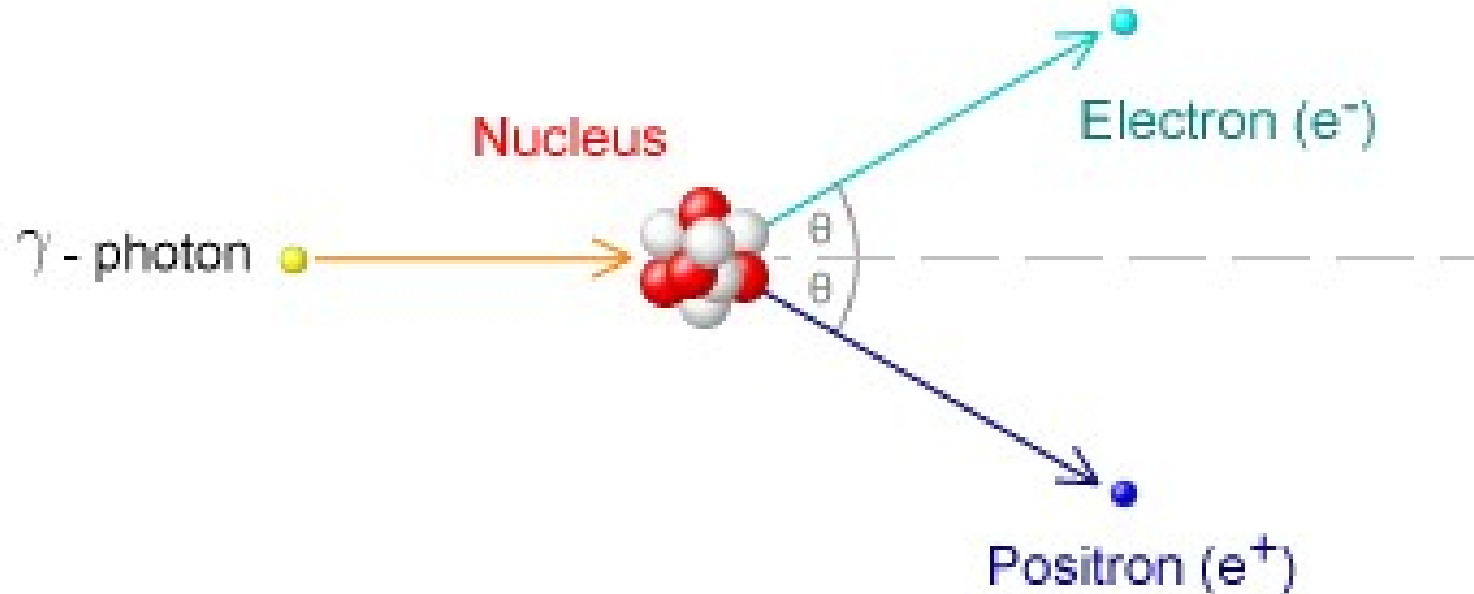
(α) Από την εξίσωση (2.19)  $\lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \cos \phi)$  και άρα

$$\begin{aligned}\lambda' &= \lambda + \lambda_c(1 - \cos 45^\circ) \\ &= 10.0 \text{ pm} + 0.293 \lambda_c \\ &= 10.7 \text{ pm}\end{aligned}$$

(β) Η διαφορά  $\lambda' - \lambda$  γίνεται μέγιστη όταν  $(1 - \cos \phi) = 2$  οπότε

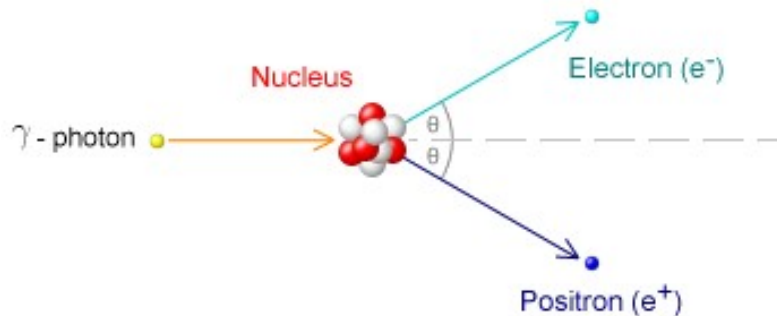
$$\lambda' = \lambda + 2\lambda_c = 10.0 \text{ pm} + 4.9 \text{ pm} = 14.9 \text{ pm}$$

# ΔΙΔΥΜΗ ΓΕΝΝΕΣΗ



$E_0 > 2m_0c^2$ , where  $m_0$  is  
the electron rest mass

# ΔΙΔΥΜΗ ΓΕΝΝΕΣΗ



$E_o > 2m_0c^2$ , where  $m_0$  is the electron rest mass

Η δίδυμη γένεση είναι το φαινόμενο της παραγωγής ενός ζεύγους ενός σωματιδίου και του αντισωματιδίου του. Το φαινόμενο αυτό γίνεται από ένα φωτόνιο υψηλής ενέργειας (π.χ. ακτίνες γάμμα), όταν διέρχεται μέσα από ένα ισχυρό Ηλεκτρικό Πεδίο (πχ το ηλεκτρικό πεδίο που σχηματίζεται κοντά στον πυρήνα ενός ατόμου).

Καμία αρχή διατήρησης δεν παραβιάζεται.

Το άθροισμα των φορτίων  $e^-$ ,  $e^+$ , είναι μηδέν, όπως του φωτονίου

$$E_{\text{αρχ}} = E_{\text{τελ}}$$

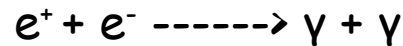
Διατήρηση ορμής

Ενέργεια  $> 1.02 \text{ MeV}$



# ΕΞΑΪΛΩΣΗ ΠΟΖΙΤΡΟΝΙΟΥ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ

Εξαύλωση είναι το αντίστροφο φαινόμενο της δίδυμης γένεσης, και συμβαίνει όταν ένα ποζιτρόνιο βρίσκεται στη γειτονιά ενός ηλεκτρονίου και πλησιάζουν λόγω της επίδρασης των αντίθετων φορτίων τους. Τα δύο σωματρία εξαφανίζονται συγχρόνως, η δε εξαΰλωμένη μάζα τους γίνεται ενέργεια με τη μορφή δύο φωτονίων ακτίνων  $\gamma$



Η ολική μάζα του ποζιτρονίου και ηλεκτρονίου είναι ισοδύναμη με 1.02 MeV και κάθε φωτόνιο έχει μια ενέργεια  $h\nu=0.51\text{MeV}$  συν το μισό από την κινητική ενέργεια των σωματίων, σχετικά με το κέντρο μάζας τους.

Η διαδικασία αυτή ικανοποιεί

- 1. Την διατήρηση του φορτίου. Το καθαρό φορτίο πριν και μετά είναι μηδέν.
- 2. Τη διατήρηση της ορμής και της ολικής ενέργειας. Αυτή η αρχή απαγορεύει την δημιουργία μιας ακτίνας γάμμα. Ενώ κάθε **φωτόνιο** θα έχει ενέργεια ίση με την ενέργεια ηρεμίας του ηλεκτρονίου 511 keV.
3. Την διατήρηση της στροφορμής