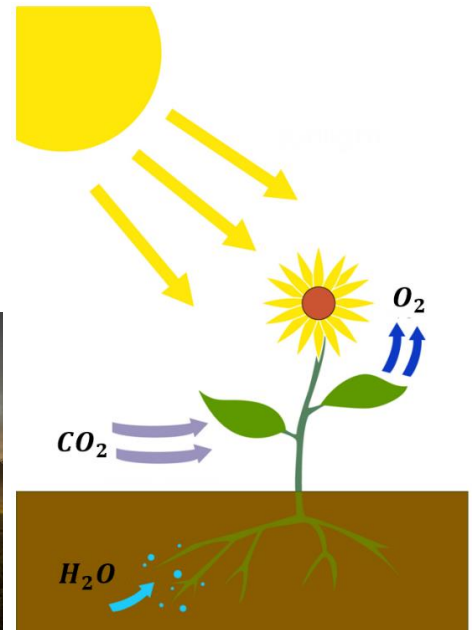


Φ11 (3.1) Η φύση του φωτός

11.1. Εισαγωγή

Το φως ήταν και είναι μια βασική αιτία της ύπαρξης ζωής στον πλανήτη μας.

Τα φυτά, με τη **φωτοσύνθεση**, μετατρέπουν την ενέργεια που παρέχει το **φως του Ήλιου** σε **χημική ενέργεια**, την οποία χρησιμοποιούν στη συνέχεια για την ανάπτυξή τους.



Το φως είναι αυτό που κάνει **ορατά τα αντικείμενα** που βρίσκονται στον πλανήτη μας, τη Γη, και στο Σύμπαν.

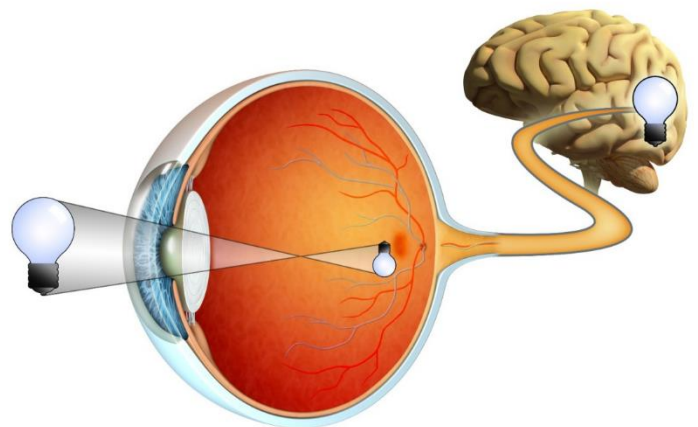
Με τη βοήθεια του φωτός «επικοινωνούμε» με τα άστρα και τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος αντλώντας χιλιάδες πληροφορίες για τη σύστασή τους (**φασματοσκοπική μέθοδος**).



11.2. Τι είναι το φως, σωματίδιο ή κύμα;

Πρώτοι οι αρχαίοι Έλληνες είχαν αντιληφθεί και διατυπώσει αυτό που εμείς σήμερα ονομάζουμε «**σωματιδιακή φύση**» του φωτός.

Πίστευαν δηλαδή ότι το φως που εκπέμπει ο Ήλιος, αλλά και κάθε φωτοβολούσα πηγή, αποτελείται από **μικρά σωματίδια** που κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα και όταν πέφτουν στο μάτι του παρατηρητή, διεγείρουν το αισθητήριο όργανο της όρασης.



Στη **σωματιδιακή φύση του φωτός**, που είχαν υποστηρίξει οι Αρχαίοι Έλληνες στηρίχτηκε, πολύ μεταγενέστερα, ο **Newton** (Νεύτωνας), για να διατυπώσει, την **Σωματιδιακή Θεωρία του Φωτός**.

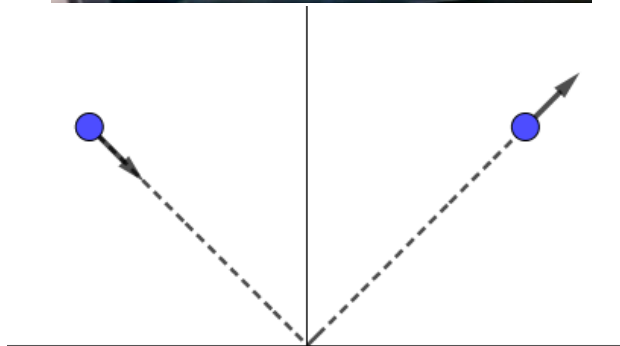
Ο **Newton** (Νεύτωνας) διατύπωσε τον **νόμο της ανάκλασης του φωτός**:

γωνία πρόσπτωσης της φωτεινής ακτίνας (π) = γωνία ανάκλασης της φωτεινής ακτίνας (α)

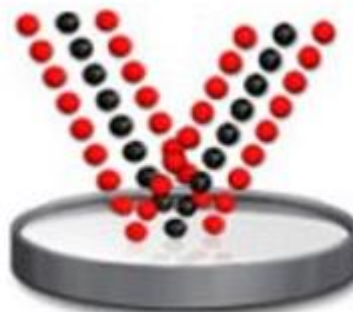
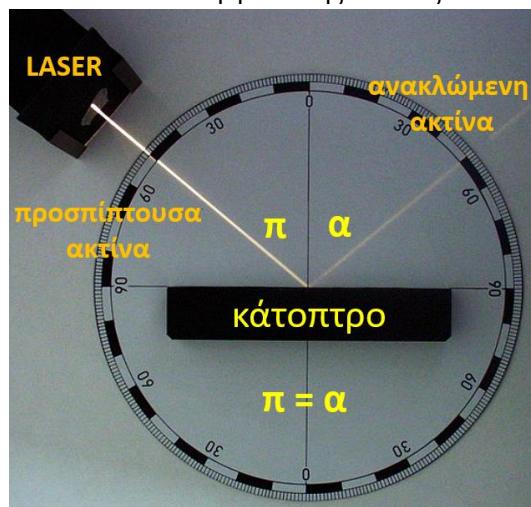


Βασιζόμενος στον τρόπο που συμπεριφέρονται τα υλικά σώματα όταν συγκρούονται ελαστικά υπό γωνία με ένα σταθερό επίπεδο εμπόδιο, συμπέρανε ότι το **φως πρέπει να είναι σωματίδια**:

Ελαστική κρούση υπό γωνία ενός υλικού σώματος:



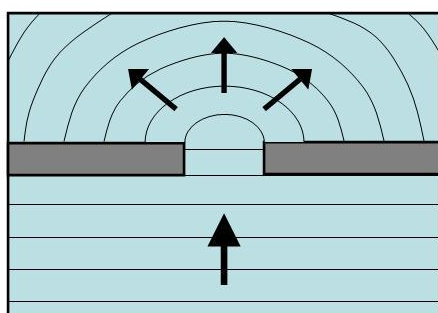
Ανάκλαση φωτεινής ακτίνας:



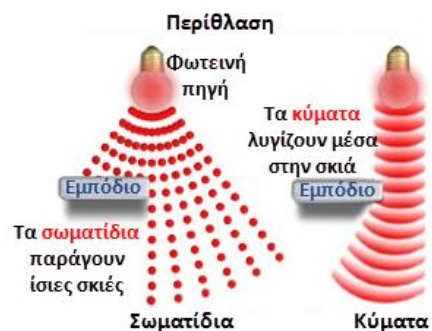
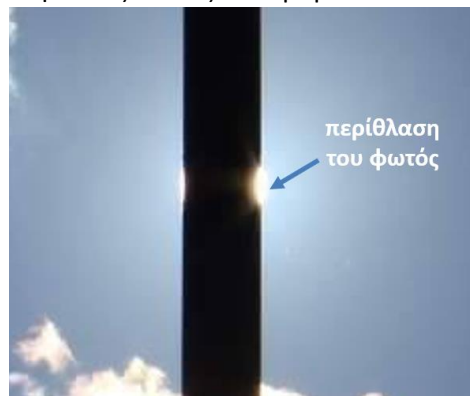
11.3. Κυματική φύση του φωτός

Ο **Huygens** το 1670 παρατήρησε ότι το φως εμφανίζει συμπεριφορά παρόμοια με αυτή που εμφανίζουν τα κύματα, όπως για παράδειγμα το κυματικό φαινόμενο της **περίθλασης**:

Το φαινόμενο της **περίθλασης** στα κύματα:



Ο ηλιακός δίσκος δεν κρύβεται τελείως:

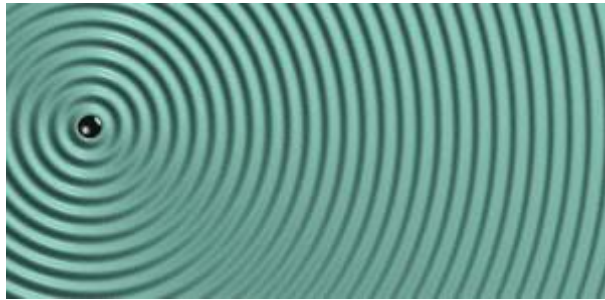


Τα κύματα εμφανίζουν το φαινόμενο της **συμβολής**:

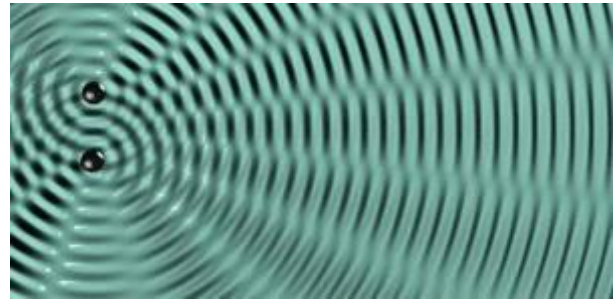
Σε μερικά σημεία τα πλάτη των δύο κυμάτων προστίθενται και σε άλλα σημεία αλληλοεξουδετερώνονται δημιουργώντας τους λεγόμενους **κροσσούς συμβολής**.



Τα κύματα από **μία πηγή** πάνω στην ήρεμη επιφάνεια μιας λίμνης διαδίδονται σε ομόκεντρους κύκλους.

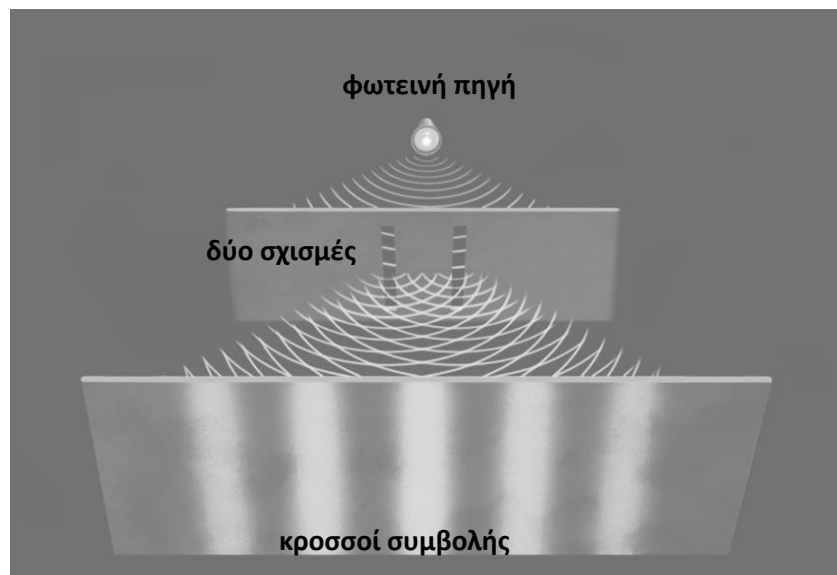
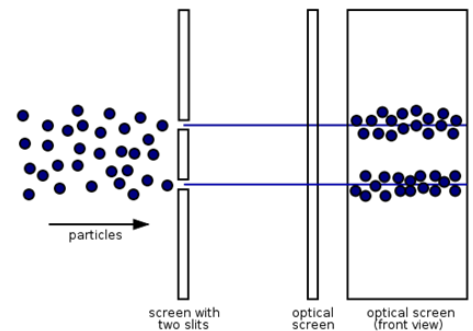


Τα κύματα από **δύο πηγές** που βρίσκονται κοντά εμφανίζουν το φαινόμενο της **συμβολής**. Στην εικόνα κάτω εμφανίζονται **κροσσοί συμβολής**.

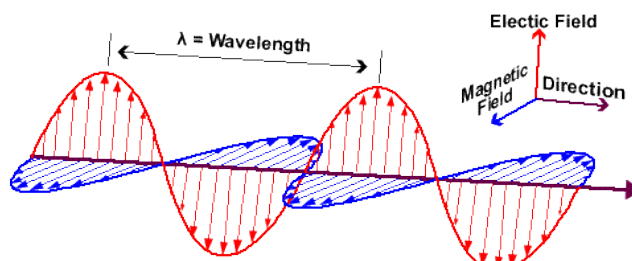


Το 1803 ο **Young** απέδειξε πειραματικά ότι το φως που διέρχεται από **δύο πολύ λεπτές σχισμές** που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους δεν εμφανίζει στο πέτασμα δύο φωτεινές γραμμές όπως θα ήταν αναμενόμενο εάν το φως είχε **σωματιδιακή φύση** (εικόνα δεξιά).

Αντίθετα στο πείραμα των δύο σχισμών του **Young** επιβεβαιώθηκε η **συμβολή του φωτός** με την εμφάνιση στο πέτασμα **κροσσών συμβολής**. Επομένως συμπεράνε ότι το φως έχει **κυματική φύση**.



Το 1865, ο **Maxwell** (Μάξγουελ), αναπτύσσοντας την θεωρία του για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, απέδειξε ότι το **φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα**.

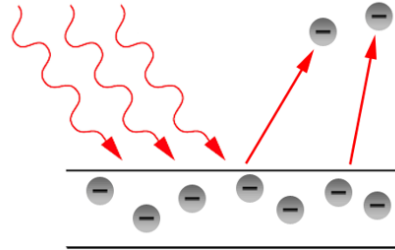


11.4. Σωματιδιακή φύση του φωτός

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ο **Max Planck** (Μαξ Πλανκ), χρησιμοποίησε τη **σωματιδιακή φύση του φωτός**, για να ερμηνεύσει την ακτινοβολία που εκπέμπουν τα θερμά σώματα.

Το 1905 ο **Einstein** (Αϊνστάιν) χρησιμοποιώντας τη **σωματιδιακή φύση του φωτός** ερμηνεύει το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο**.

Το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο** είναι η εκπομπή ηλεκτρονίων από μέταλλα, όταν πάνω σ' αυτά προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.



11.5. Τι πιστεύουμε σήμερα για την φύση του φωτός

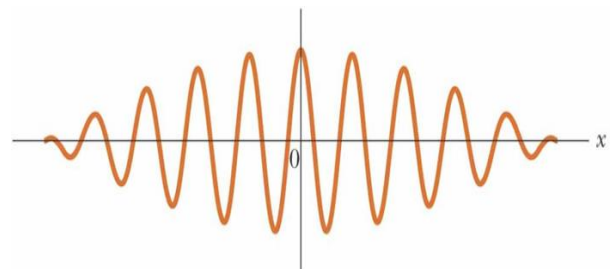
Σήμερα πιστεύουμε στη **διπλή φύση του φωτός**, δηλαδή ότι το φως συμπεριφέρεται **και ως κύμα και ως σωματίδιο** που ονομάζεται **φωτόνιο**:

Σε φαινόμενα όπως η **συμβολή**, η **περίθλαση** και η **πόλωση** εκδηλώνεται η **κυματική φύση** του φωτός (**ηλεκτρομαγνητικό κύμα**).

Σε φαινόμενα που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη (**απορρόφηση - εκπομπή**), όπως το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο**, εκδηλώνεται η **σωματιδιακή φύση** του φωτός.

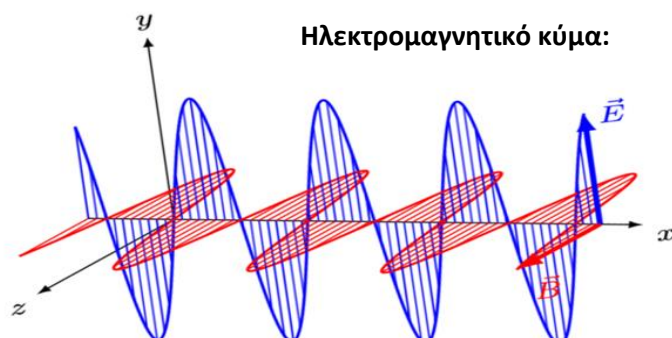
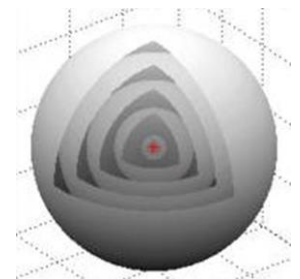
Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι εάν ένα φωτόνιο **μετρηθεί σαν σωματίδιο**, φαίνεται να συμπεριφέρεται σαν σωματίδιο και εάν **μετρηθεί σαν κύμα**, φαίνεται να συμπεριφέρεται σαν κύμα.

Το κύμα που περιγράφει το **φωτόνιο** έχει την μορφή του **κυματοπακέτου**:



11.6. Κυματική φύση του φωτός - Ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell

Ο **Maxwell**, το **1873** διατύπωσε τη **θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας**. Σύμφωνα με αυτή, το φως είναι **εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα**, που ξεκινούν από τη φωτεινή πηγή και διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις.



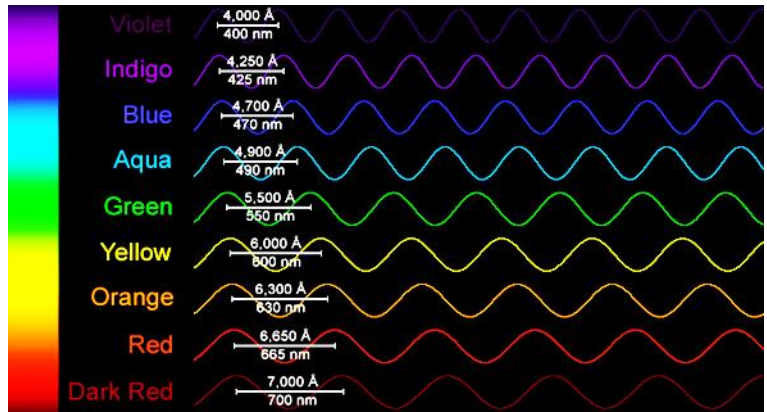
Ηλεκτρομαγνητικό κύμα:

Κατεύθυνση
διάδοσης του
κύματος

E: ένταση του
ηλεκτρικού πεδίου
B: ένταση του
μαγνητικού πεδίου

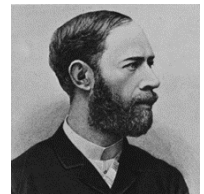
Οι συνηθισμένες πηγές ορατού φωτός δίνουν τέτοιες **συχνότητες** (ή **μήκη κύματος**) ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ώστε να γίνονται αντιληπτά από το μάτι.

Το **μήκος κύματος** των κυμάτων αυτών κυμαίνεται από **400nm** έως και **700nm** περίπου.



Διαπιστώνουμε εύκολα ότι **το φως μεταφέρει ενέργεια** (π.χ. ένα οποιοδήποτε σώμα, όταν εκτεθεί σε ηλιακή ακτινοβολία, θερμαίνεται). Η ενέργεια αυτή είναι ενέργεια του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, η οποία παράγεται από τις πηγές και μεταφέρεται ως **ηλεκτρομαγνητικό κύμα**.

Την ορθότητα της θεωρίας του Maxwell **απέδειξε πειραματικά ο Hertz** (Χερτς) το **1887**, που παρήγαγε, μέσω ταχέων ηλεκτρικών ταλαντώσεων, κύματα της ίδιας φύσης με αυτήν του φωτός αλλά με μικρότερη συχνότητα.



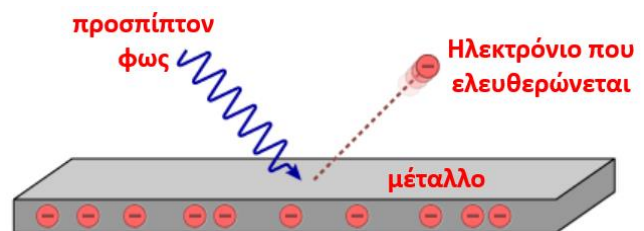
Η **ταχύτητα διάδοσης** του ηλεκτρομαγνητικού κύματος (c), η **συχνότητα** (f) και το **μήκος κύματος** (λ) συνδέονται με την παρακάτω σχέση που ονομάζεται **θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής**:

$$c = \lambda \cdot f$$

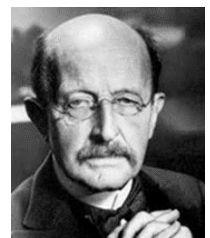
11.7. Σωματιδιακή φύση του φωτός - Θεωρία των κβάντα

Η **κλασική θεωρία** (πριν από το 1922) του **ηλεκτρομαγνητισμού** ερμήνευσε ορισμένα φαινόμενα του φωτός, όπως η **συμβολή**, η **περίθλαση**, η **πόλωση** κ.ά. Δεν κατόρθωσε όμως να ερμηνεύσει κάποια άλλα φαινόμενα που σχετίζονται με την **αλληλεπίδραση της φωτεινής ακτινοβολίας με την ύλη**.

Το πιο σημαντικό από τα πειράματα που δεν μπορούσαν να ερμηνευτούν με την παραδοχή ότι **το φως είναι μόνο κύμα** ήταν εκείνο της μελέτης του **φωτοηλεκτρικού φαινομένου**.



Το **1900** ο **Planck**, για να ερμηνεύσει την ακτινοβολία που παράγει ένα θερμαινόμενο σώμα, εισήγαγε τη θεωρία των **κβάντα φωτός**, την οποία εφάρμοσε αργότερα ο **Einstein**, για να ερμηνεύσει το **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο**.



Σύμφωνα με την **κβαντική θεωρία του Planck**, το **φως** (και γενικότερα κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) **εκπέμπεται και απορροφάται** από τα άτομα της ύλης **όχι κατά συνεχή τρόπο αλλά ασυνεχώς**. (Δηλαδή σε συγκεκριμένες πολύ μικρές ποσότητες ενέργειας που ονομάστηκαν **κβάντα**.)

Κάθε άτομο **εκπέμπει** ή **απορροφά** στοιχειώδη ποσά ενέργειας, που ονομάζονται **κβάντα φωτός** ή **φωτόνια**.

Από το άτομο λοιπόν δεν **εκπέμπονται συνεχώς** κύματα αλλά **φωτόνια**, καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από **συγκεκριμένη συχνότητα** και έχει **συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας E**.

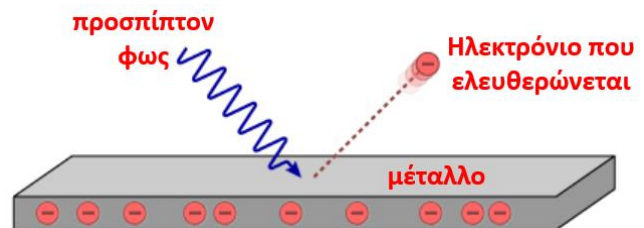
Όταν το φως προσπίπτει πάνω στην ύλη, τα άτομα της ύλης **απορροφούν** την ακτινοβολία **ασυνεχώς**, που σημαίνει ότι κάθε άτομο **απορροφά μεμονωμένα φωτόνια**. Κάθε φωτόνιο μιας ακτινοβολίας έχει **ενέργεια** που δίνεται από τη σχέση:

$$E = h \cdot f$$

Το ***h*** είναι μια σταθερά, που ονομάζεται **σταθερά του Planck**, και έχει τιμή $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ και το ***f*** είναι η συχνότητα.

Ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου:

Όταν προσπίπτει φως πάνω στα μέταλλα, τότε μεταφέρεται ενέργεια από ένα **φωτόνιο** σε ένα από τα **ηλεκτρόνια** του μετάλλου και το ηλεκτρόνιο ελευθερώνεται. Δηλαδή το **ηλεκτρόνιο** αλληλοεπιδρά με ένα από τα **φωτόνια** του φωτός **σαν να είναι το φωτόνιο σωματίδιο**.



Η θεωρία των κβάντα **δεν αναιρεί την κυματική φύση του φωτός**.

Το φωτόνιο έχει **και κυματικές ιδιότητες**, για παράδειγμα η **ενέργειά** του εξαρτάται από τη **συχνότητά** του ($E = h \cdot f$), που είναι κατ' εξοχήν **κυματική ιδιότητα**.

11.8. Η εξέλιξη των απόψεων των επιστημόνων για την φύση του φωτός

Έτος	Φυσικός	Τι πίστευε για την φύση του φωτός:	Πείραμα, φαινόμενο ή θεωρία που το επιβεβαιώνει:	
1670	Huygens	Κύμα	Περίθλαση του φωτός	
1704	Newton (Νεύτων)	Σωματίδιο	Ανάκλαση του φωτός	

1803	Young	Κύμα	Συμβολή του φωτός – Πείραμα των δύο σχισμών: εμφάνιση κροσσών συμβολής	
1865	Maxwell (Μάξγουελ)	Κύμα	Θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού: Το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα	
1900	Planck	Σωματίδιο	Ακτινοβολία που εκπέμπουν τα θερμά σώματα	
1905	Einstein (Αϊνστάιν)	Σωματίδιο	Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	
Σήμερα		Και κύμα και σωματίδιο	Εάν ένα φωτόνιο μετρηθεί σαν σωματίδιο, φαίνεται να συμπεριφέρεται σαν σωματίδιο και εάν μετρηθεί σαν κύμα, φαίνεται να συμπεριφέρεται σαν κύμα	

ΑΣΚΗΣΗ Φ11.Α1. Ο Σείριος είναι ένας αστέρας που βρίσκεται σε απόσταση 8,57 έτη φωτός μακριά από την Γη και είναι ένα από τα κοντινότερα σε μας αστέρια. Η εικόνα του που μπορούμε να παρατηρήσουμε σήμερα με ένα τηλεσκόπιο:

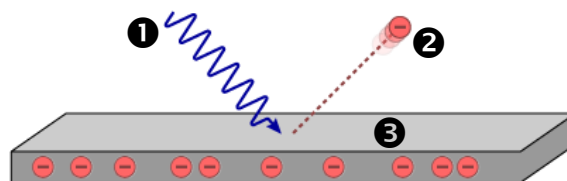
- ☐ Α. Δείχνει την εικόνα του όπως ακριβώς είναι τώρα.
- ☐ Β. Δείχνει την εικόνα του 8,57 έτη φωτός παλιά.
- ☐ Γ. Δείχνει μια εικόνα του όπως θα φαίνεται στο μέλλον σε 8,57 έτη.
- ☐ Δ. Δείχνει μια εικόνα του από το παρελθόν πριν 8,57 έτη.

Δικαιολογείστε την απάντησή σας:

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ11.Α2. Η εικόνα δεξιά σχηματοποιεί:

- ☐ Α. Την κβαντική θεωρία του Planck.
- ☐ Β. Τον νόμο της ανάκλασης του Newton.
- ☐ Γ. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο του Einstein.
- ☐ Δ. Την θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Maxwell.



Να συμπληρώσετε τα κενά παρακάτω όπου ονομάζονται αυτά που απεικονίζονται στην εικόνα δεξιά στις αντίστοιχες θέσεις: ❶ _____ ❷ _____ ❸ _____

Να περιγράψετε συνοπτικά τι απεικονίζει η εικόνα:

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ11.A3. Ποια φαινόμενα ή πειράματα ή θεωρίες στηρίζουν την άποψη ότι το φως είναι σωματίδιο (σωματιδιακή φύση του φωτός) και ποια ότι το φως είναι κύμα (κυματική φύση του φωτός); Να συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας:

Φαινόμενο / πείραμα / θεωρία	Το φως είναι σωματίδιο ή κύμα;		
Συμβολή του φωτός	☐ σωματίδιο	☐ κύμα	☐ και τα δύο
Περιθλαση του φωτός	☐ σωματίδιο	☐ κύμα	☐ και τα δύο
Πείραμα των δύο σχισμών (Young)	☐ σωματίδιο	☐ κύμα	☐ και τα δύο
Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (Einstein)	☐ σωματίδιο	☐ κύμα	☐ και τα δύο
Ηλεκτρομαγνητική θεωρία (Maxwell)	☐ σωματίδιο	☐ κύμα	☐ και τα δύο
Θεωρία του Newton για το φως	☐ σωματίδιο	☐ κύμα	☐ και τα δύο
Θεωρία των κβάντα του Planck	☐ σωματίδιο	☐ κύμα	☐ και τα δύο
Σύγχρονη αντίληψη για το φως	☐ σωματίδιο	☐ κύμα	☐ και τα δύο

ΑΣΚΗΣΗ Φ11.A4. Να υπολογίσετε την συχνότητα f_M ακτίνας μπλε μονοχρωματικού φωτός ($\lambda_M = 470nm$) και την συχνότητα f_K ακτίνας κίτρινου μονοχρωματικού φωτός ($\lambda_K = 570nm$) που διαδίδονται στο κενό. Δίνεται ότι $1nm$ (νανόμετρο) είναι $10^{-9}m$ και η ταχύτητα του φωτός στο κενό $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$:

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Για τις συχνότητες ισχύει:



$f_M > f_K$



$f_M < f_K$



$f_M = f_K$

ΑΣΚΗΣΗ Φ11.A5. Να συγκρίνετε την ενέργεια E_M ενός φωτονίου μπλε μονοχρωματικού φωτός ($\lambda_M = 470nm$) με την ενέργεια E_K ενός φωτονίου κίτρινου μονοχρωματικού φωτός ($\lambda_K = 570nm$). Θεωρείστε ότι και τα 2 φωτόνια διαδίδονται στο κενό. Δίνεται η σταθερά Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$
Για τις ενέργειες ισχύει: ☐ $E_M < E_K$ ☐ $E_M > E_K$ ☐ $E_M = E_K$

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ11.A6. Η απόσταση Γης – Ηλίου ονομάζεται αστρονομική μονάδα (AU) και είναι βασικό αστρονομικό μέγεθος. Να υπολογιστεί σε km η αστρονομική μονάδα όταν είναι γνωστό ότι το ηλιακό φως χρειάζεται περίπου $8min$ για να φτάσει στον πλανήτη μας. Δίνεται η ταχύτητα του φωτός στο κενό $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: