

ΤΟ ΦΩΤΟΝΙΟ ΩΣ ΔΥΑΔΙΚΟ ΣΩΜΑΤΙΟ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ MAXWELL ΑΠΛΗ ΚΑΙ ΔΙΠΛΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΡΑΣΗΣ

Του Αλέκου Χαραλαμπίδου

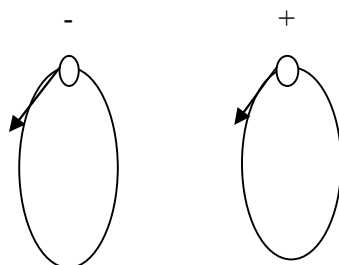
Η φύση από τα ελάχιστα σωματίδια της ύλης και για τα άτομα και για τα φωτόνια, ξεκινά με το απλόν τρόπο που θα υποδείξουμε. Με τις σωστές εξισώσεις Maxwell για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (και τα φωτόνια), όπως θα διορθώσουμε, θα εξηγήσουμε την δομή αυτή, αφού οι εξισώσεις αυτές αποκαλύπτουν μηχανισμούς του μικρόκοσμου.

Τα φωτόνια-ηλεκτρομαγνητικά κύματα, σχηματίζουν συμβολή όταν είναι πυκνά, όπως στην φωτεινή ροή του ήλιου, ή της λάμπας, όπου τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά τους και μαγνητικά τους πεδία αλληλεπιδρούν.

Η συχνότητα της συμβολής διεγείρει τα κύτταρα τα υποδοκτικά φωτός στον αμφιβληστροειδή του οφθαλμού και διαδίδεται ως ηλεκτρική ταλάντωση στο κυτταροσκελετό αρχικά και μετά στα γάγγλια κύτταρα του εγκεφάλου, ως κυκλώματα Thompson.

ΤΟ ΦΩΤΟΝΙΟ ΩΣ ΔΥΟ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΔΑΚΤΥΛΙΟΙ

Θεωρούμε δύο στοιχειώδη αντίθετα ηλεκτρικά φορτία, που περιφέρονται αντιμέτωπα σε κυκλικούς δακτυλίους, σχηματίζουν δηλαδή κυκλικούς βρόχους ρεύματος. Τα σωματίδια που έχουν τα φορτία, περιφέρονται με ταχύτητα c' .



Τα δύο σωματίδια - φορτίου και +, που σχηματίζουν κυκλικούς βρόχους ρεύματος

Τα δύο αυτά σωματίδια, οι κυκλικοί βρόχοι, πλησιάζουν και απομακρύνονται μεταξύ τους, ενδεικτική είναι η εξίσωση που απέχουν, $x=x_0+x_m\cos(\omega t+\phi)$. Ταυτόχρονα θα κινούνται και κάθετα στο μεταξύ των δακτυλίων άξονα, όπως $y=y_m\cos(\omega t+\phi)$.

Ας πάμε στις εξισώσεις Maxwell για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Αυτή είναι, $\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = 0$

Αυτή είναι η σωστή εξίσωση.

Μία σφαίρα ακτίνας r σχετικά μεγάλης ως προς τους δακτυλίους, θα έχει $E4\pi r^2=0$, επειδή τα δύο πεδία E_1 του θετικού και E_2 του αρνητικού φορτίου, είναι ίσα και αντίθετα. Άρα η δομή του φωτονίου που προτείνουμε, εξηγεί την 1^η εξίσωση και εξηγείται από αυτή. Σε μικρότερη της r ακτίνας, υπάρχει εναλλασσόμενο πεδίο.

2^η ΕΞΙΣΩΣΗ

Αυτή είναι, $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$

Για τον ίδιο λόγο όπως προηγουμένως, η σφαίρα ακτίνας μεγάλης ακτίνας r , θα έχει μηδενικό μαγνητικό πεδίο να την διαρρέει, αφού τα δύο μαγνητικά πεδία B_1 και B_2 του θετικού βρόχου που σχηματίζει το φορτίο με του αρνητικού είναι ίσα και αντίθετα. Η 2^η εξίσωση εξηγεί την δομή που προτείνουμε και εξηγείται από αυτή. Πάλι σε ακτίνα μικρότερη της r , υπάρχει εναλλασσόμενο πεδίο.

3^η ΕΞΙΣΩΣΗ

Αυτή είναι, $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$

Παραλείψαμε το ϵ_0 , γιατί όπως ήδη έχουμε υποδείξει είναι λάθος, η ανωτέρω είναι η σωστή εξίσωση.

Προσέξτε εδώ τώρα, πως η μεταβαλλόμενη ηλεκτρική ροή, σχηματίζει κυκλικό μαγνητικό πεδίο B . Υποδείχτηκε αρχικά, ότι τα δύο ηλεκτρικά φορτία και οι δακτύλιοι που σχηματίζουν, ταλαντώνονται με πλάτος ταλάντωσης x_m . Όταν δηλαδή το θετικό φορτίο κινείται δεξιά, τότε το αρνητικό κινείται αριστερά. Τότε έχουμε δύο ίδιας φοράς ρεύματα και τα δύο σχηματίζουν λόγω της ταχύτητας που έχουν (και σχηματίζουν ρεύμα I), μαγνητικό πεδίο B ($B2\pi$ στην ανωτέρω εξίσωση). Αλλά όμως τα δύο ηλεκτρικά φορτία, έχουν ηλεκτρική ροή Φ_E συνολικά, η οποία μεταβάλλεται λόγω της ταλάντωσης γύρω από το x_m , αλλά ιδίως λόγω της ταλάντωσης γύρω από το y_m . Αυτές οι ταλαντώσεις προκαλούν το B .

Η 3^η εξίσωση, εξηγείται και εξηγεί την δομή που προτείνουμε.

Σημειώνουμε ότι επειδή τα δύο φορτία ή αλληλοπλησιάζουν ή αλληλοαπομακρύνονται, τότε η εξίσωση γίνεται, $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = \mu_0 \cdot dI$

4^η ΕΞΙΣΩΣΗ

Αυτή είναι,
$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Επειδή οι δακτύλιοι έχουν σταθερή ακτίνα R, τότε το πρώτο μέλος της εξίσωσης γίνεται $E2\pi R$. Έχουμε κυκλικό βρόχο ρεύματος ακτίνας R στο ένα σωματίο, τον οποίο προκαλεί το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο B του άλλου (μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή, λόγω ταλάντωσης). Το πεδίο E στο ένα σωματίο είναι κυκλικό, όπως είναι σε κυκλικό αγωγό ρεύματος. Η μεταβολή της μαγνητικής ροής που προκαλείται από την ταλάντωση του δευτέρου σωματίου-βρόχου, προκαλεί στο πρώτο κυκλικό βρόχο, το κυκλικό ηλεκτρικό πεδίο.

Η 4^η εξίσωση εξηγεί και εξηγείται από τον μηχανισμό και δομή που προτείνουμε.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΩΝΤΑΣ ΤΗΝ 5^η ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Τα δύο ηλεκτρικά φορτία έλκονται επειδή είναι ετερόνυμα και απωθούνται επειδή τα κυκλικά ρεύματα που δημιουργούν, είναι αντίθετης φοράς (τα προ την ίδια κατεύθυνση κινούμενα αντίθετα φορτία, απωθούνται). Έτσι θα έχουμε την ηλεκτρική έλξη και την μαγνητική άπωση.

Επί κυκλικής κινήσεως, ισχύει η κεντρομόλος δύναμη,

$$F = m\omega^2 r = \frac{m(\omega r^2)(\omega r^2)}{r^3} = \frac{kMm}{r^3}$$

Άρα και στον ηλεκτρισμό, τα φορτία που κινούνται κυκλικά ή καμπύλα, είναι ανάλογα του αντίστροφου κύβου της ακτίνας. Έτσι λοιπόν και επειδή τα δύο παράλληλα ρεύματα απωθούνται με τον νόμο των παραλλήλων αγωγών, θα έχουμε,

$$F = \frac{ke^2}{d^3} = \frac{\mu_0 I^2 2\pi R}{2\pi d}$$

Αυτή είναι η 5^η εξίσωση.

d=η απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτρικών δακτυλίων, R=η ακτίνα των δακτυλίων και e= το ηλεκτρικό φορτίο κάθε ετερόνυμου σωματίου, που είναι διαφορετικό σε διαφορετικά ηλεκτρομαγνητικά κύματα και τα οποία τα απαρτίζουν.

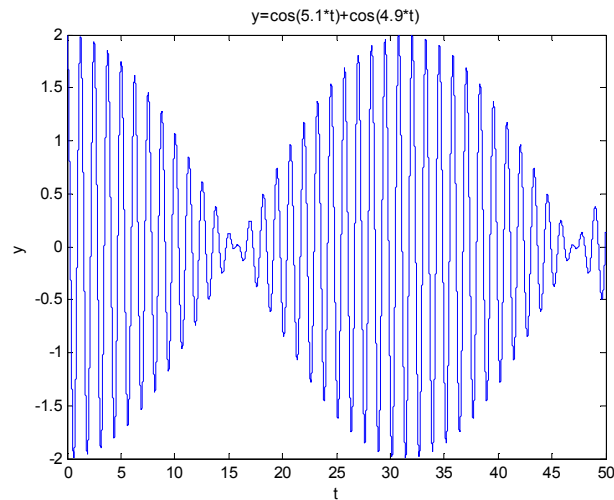
Επειδή $I=e/T$ και $T=$ η περίοδος περιφοράς του σωματίου= $2\pi/\omega$ και $c'=2\pi R/T$, τότε,

$$F = \frac{ke^2}{d^3} = \frac{\mu_0 e^2 c' \omega}{4(\pi^2)d}$$

Και
$$d^2 = k4\pi^2 / \mu_0 c' \omega$$

ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Με είχε προβληματίσει πριν 15 περίπου χρόνια (1998 ή 1999), ποια συχνότητα ισχύει, η $E=hn$ για το φως, ή η ω ($I=I_0 (\cos(\omega_1 t)+\cos(\omega_2 t))$). Εάν ισχύει η ν , τότε γιατί να μην ισχύει $E=E_1+E_2=h(\nu_1+\nu_2)$, πράγμα που δεν παρατηρήθηκε. Και η $y= \cos(\omega_1 t)+\cos(\omega_2 t)$ είναι μία συμπαντική εξίσωση και την αποδίδει καλά το μαθηματικό πρόγραμμα, όπως το Matlab στο σχήμα που παραθέτω;



$$y= \cos(5.1 *t)+\cos(4.9*t)=\cos((5.1-4.9)*t)/2)\cos((5.1+4.9)/2)*t$$

η $\omega=0.1$ c/sec είναι η αργή συχνότητα με το μεγάλο κύμα, μέσα στην οποία διεξάγεται η μεγάλη συχνότητα με το μικρό κύμα $\omega=5$ c/sec.

Για να διαπιστώσω εάν είναι μία συμπαντική διαδικασία όπως την περιγράφει η μαθηματική ανάλυση (τριγωνομετρία), πραγματοποίησα με τον Γιώργο (ηλεκτρονικός) το εξής πείραμα. Με μία λυχνία klystron παράγαμε δύο κοντινές συχνότητες μικροκυμάτων, τις οδηγούσαμε και τις δύο σε ένα αγωγό για να παράγουμε τα παραπάνω. Είχαμε παλμογράφο στο laptop και με διαίρετη συχνοτήτων, παράγαμε το φαινόμενο στον παλμογράφο, ο οποίος έφθανε τα 200 Mhz. Πολλές φορές πήραμε στον παλμογράφο την εξίσωση πρόσθεσης των συνημιτόνων και το πείραμα απόδειξε την συμπαντική ισχύ της τριγωνομετρικής συνάρτησης.

ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΜΥΜΑΤΑ ΕΙΝΑΙ ΡΕΥΜΑ

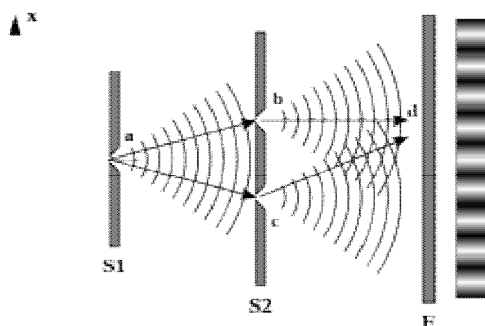
Έχουμε έναν ταλαντωτή π.χ. ραδιοφωνικών κυμάτων, οδηγούμε το σήμα στον ενισχυτή και το πάμε στην κεραία, όπου έχουμε εκπομπή ραδιοφωνικών κυμάτων.

Αλλά, αν αντί να πάτε το σήμα του ενισχυτή στην κεραία, να το δώσετε σε ένα αμπερόμετρο, θα διαπιστώσετε ότι καταγράφει εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Και επειδή

όταν εκπέμπει σήμα η κεραία υπάρχει ρεύμα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται, είναι απειροστικά ρεύματα, που προέρχονται από το ρεύμα του ταλαντωτή και του ενισχυτή. Υπάρχει δηλαδή συνέχεια ρεύματος και στον αέρα, όπου τα κύματα δημιουργούν ταλάντωση ηλεκτρονίων των μορίων, αν συναντήσουν. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι απειροστικά εναλλασσόμενα ρεύματα.

Και αφού και το φως είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα, είναι απειροστικά ρεύματα και ισχύει $I=I_0\cos(\omega t+\varphi)$.

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ



Στο σχήμα βλέπετε το πείραμα της συμβολής του φωτός, με τις δύο σχισμές (b,c) του Young. Δεξιά είναι η φωτογραφία από το φιλμ του πειράματος.

Τώρα με την ανάλυση που έγινε, είναι φανερό ότι οι φωτεινοί κροσσοί, αποτελούνται από πλήθος μικροτέρων κυμάτων μεγάλης συχνότητας $(\omega_1+\omega_2)/2$ και η απόσταση δύο φωτεινών κροσσών, είναι το $\omega_1-\omega_2$. Οι φωτεινοί κροσσοί είναι η συμβολή των δύο κυμάτων και η καταμετρημένη συχνότητα κύματος π.χ. 532nm φωτός, είναι το $(\omega_1-\omega_2)/2$. Δηλαδή η συχνότητα του φωτός είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που μετρήσαμε.

ΠΩΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΟΙ ΚΡΟΣΣΟΙ

Όταν το φως πέσει στην σχισμή του πειράματος, δέχεται ανάκλαση από το λεπτό τοίχωμα της σχισμής. Αποτέλεσμα οι κροσσοί συμβολής, να είναι η διαφορά $\cos((\omega_1-\omega_2)/2)$, των δύο κοντινών συχνοτήτων που εκπέμπονται. Γίνεται παραδοχή δηλαδή, ότι το σχεδόν μονοχρωματικό φως ιδίως και του laser, εκπέμπεται σε δύο κύριες και κοντινές συχνοότητες.

ΑΠΛΗ ΚΑΙ ΔΙΠΛΗ ΣΥΜΒΟΛΗ

Όταν το φως είναι έντονο, τα φωτόνια-ηλεκτρομαγνητικά κύματα (όπως τα περιγράψαμε), βρίσκονται σε κοντινή απόσταση και σχηματίζουν ανά δύο την απλή συμβολή. Νομίζω όμως ότι η πυκνή παρουσία τους, ενώνει δύο απλές συμβολές σε διπλή, υπό τον όρο ο μέσος όρος των συχνοτήτων, να είναι ο ίδιος στις δύο απλές συμβολές, ήτοι,

$$y_1 = A(\cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)) = 2A \cos\left\{\frac{(\omega_1 + \omega_2)t}{2}\right\} \cos\left\{\frac{(\omega_1 - \omega_2)t}{2}\right\}$$

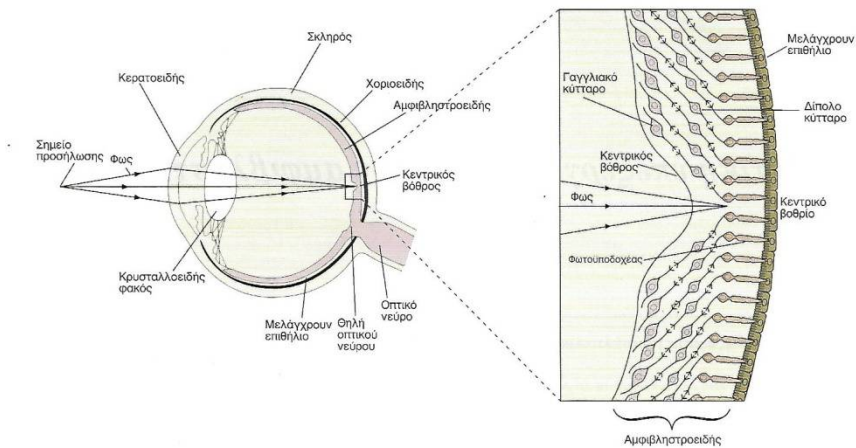
$$y_2 = A(\cos(\omega_3 t) + \cos(\omega_4 t)) = 2A \cos\left\{\frac{(\omega_3 + \omega_4)t}{2}\right\} \cos\left\{\frac{(\omega_3 - \omega_4)t}{2}\right\}$$

Αν $\frac{(\omega_1 + \omega_2)t}{2} = \frac{(\omega_3 + \omega_4)t}{2}$, τότε,

$$y_1 + y_2 = 4A \cos\left\{\frac{(\omega_1 + \omega_2)t}{2}\right\} \cos\left\{\frac{(\omega_1 + \omega_3 - \omega_2 - \omega_4)t}{4}\right\} \cos\left\{\frac{(\omega_1 + \omega_4 - \omega_2 - \omega_3)t}{4}\right\}$$

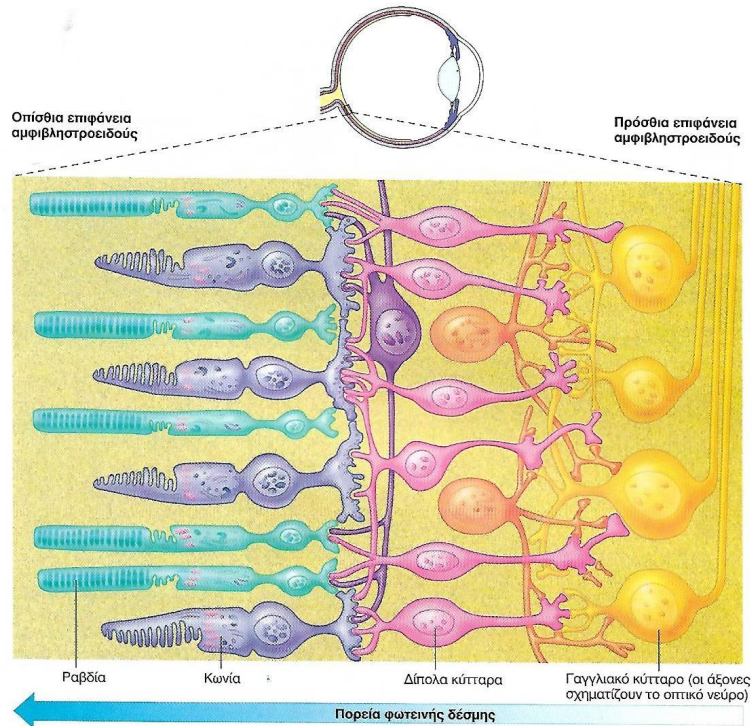
Αυτή είναι η διπλή συμβολή υπό τον περιορισμό της ισότητας των μέσων όρων.

Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΟΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

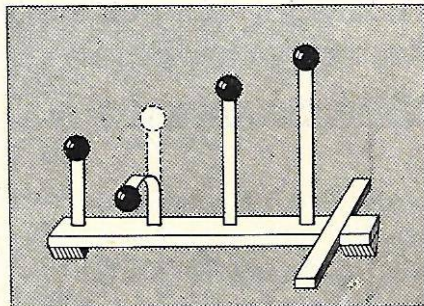


Στο σχήμα, φαίνεται ακτίνες φωτός να πέφτουν στον οφθαλμό και να καταλήγουν στον κεντρικό βόθρο της ωχράς κηλίδας. Φαίνονται και τα κύτταρα του αμφιβληστροειδούς χιτώνα, όπου πέφτει η ακτίνα. Στην ωχρά κηλίδα τα κωνία-κύτταρα της έγχρωμης όρασης είναι πυκνά και όπως υποστηρίζεται τριών ειδών για το κόκκινο, το πράσινο και το μπλέ χρώμα ή συχνότητες. Νομίζω ότι τα βασικά χρώματα είναι πέντε, το μωβ, το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο που παράγουν τα laser και το κίτρινο που παράγει η λάμπα Νατρίου χαμηλής πίεσεως. Έτσι και τα κωνία.

Όπως και να έχει το πράγμα, τα κωνία δέχονται το έγχρωμο φάσμα όταν είναι ισχυρές οι ακτίνες, όπως του ήλιου ή της λάμπας και τα ευαίσθητα ραβδία για το αδύναμο φως. Τα ραβδία βρίσκονται σε όλο τον αμφιβληστροειδή, όπως και αραιά κωνία. Και σας δίνουμε το σχήμα των φωτοδεκτικών αυτών κυττάρων,



Δείτε τώρα. Τα ραβδία υποδέχονται συχνότητες φωτονίων έως 12 Hz. Τα κωνία από 12-55 Hz. Η ζώνη συχνοτήτων των κωνίων είναι μεγάλη και εδώ σας δίνουμε σχήμα των πρώτων συχνοτόμετρων,

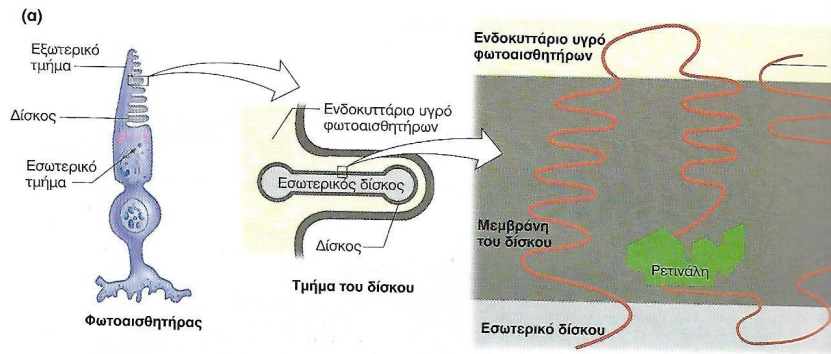


Σχ. 53. Ἀναλόγως τῆς συχνότητος ταλαντώσεως τῆς βάσεως συντονίζεται πρὸς αὐτὴν ἐκάστοτε ἓν στέλεχος.

Το υποδεκτικό τμήμα των κωνίων έχει δίσκους όπως είναι και τα ελάσματα του συχνοτόμετρου και συλλαμβάνουν όλα τα Hz του εύρους, όπου συντονίζονται.

Σας δίνουμε σχήμα κωνίου με τον υποδεκτικό της συχνότητας δίσκο (παρακάτω) και την ροδοψίνη, την πρωτεΐνη του δίσκου που συλλαμβάνει το φως. Η συχνότητα από 12-55 Hz, οφείλεται στην συμβολή δύο ή περισσότερων φωτονίων, είναι $\nu = \omega / 2\pi = (\omega_1 - \omega_2) 2\pi$ ή $\nu = (\omega_1 + \omega_4 - \omega_2 - \omega_3) / 4\pi$, όπως αναλύσαμε στην απλή ή διπλή συμβολή.

Στα ραβδία που υποδέχονται χαμηλό φωτισμό, δεν συμβάλλουν τα φωτόνια και είναι απλά αυτά.



Όταν ένας δίσκος του κωνίου συλλαμβεί συμβολή, γίνεται με την ρετινάλη της ροδοψίνης και την ταλάντωση του φωτός που βρίσκεται στα 10^{14} Hz την υποδέχεται η πρωτεΐνη και ταλαντώνονται τα άτομα της και την μεταδίδουν στις πρωτεΐνες του κυτταροσκελετού. Ακολούθως προκαλείται ταλάντωση ιόντων που μεταδίδουν την δόνηση μέσω του ηλεκτρικού νευροδιαβιβαστή γλουταμινικού οξέως των συνάψεων, στα δίπολα κύτταρα και τον κυτταρικό σκελετό τους. Στην συνέχεια φθάνουν στα γάγγλια κύτταρα που μεταδίδουν την δόνηση στο εσωτερικό του εγκεφάλου με κυκλώματα Thompson (Δες Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ, Physics News τεύχος 26, ή www.omas-e.gr κατηγορία φυσιολογία-ιατρική).

Στον αμφιβληστροειδή όπως στην φωτογραφική μηχανή, το είδωλο της εικόνας είναι ανεστραμμένο. Στην αναστροφή η φάση του κύματος αναστρέφεται λόγω διάθλασης κατά π . Και το σήμα που δίνει στο άτομο της ροδοψίνης τότε, δεν θα έχει την φάση π και δεν θα είναι ανεστραμμένη εικόνα που φθάνει στον εγκέφαλο.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Θεωρώντας ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και τα φωτόνια αποτελούνται από δύο κυκλικούς δακτυλίους ηλεκτρικούς, που σχηματίζουν δύο ετερόσημα φορτία ελάχιστα, τότε οι τέσσερις εξισώσεις Maxwell τα εξηγούν και εξηγούνται από αυτά και σχηματίζεται η πέμπτη εξίσωση, με παλμό των σωματίων κατά μήκος και κάθετα της d . Επειδή η ηλεκτρική δύναμη είναι αντίστροφη του κύβου της απόστασης d , ενώ η δύναμη μεταξύ των παράλληλων αγωγών-βρόχων αντίστροφη της πρώτης δύναμης της απόστασης d , η ταλάντωση των βρόχων στην διεύθυνση x , δεν είναι ακριβώς ανάλογη του $\cos(\omega t + \varphi)$, αλλά επειδή το x_m είναι εξαιρετικά μικρό σε σχέση με το x_0 , θεωρούμε ως καλή προσέγγιση το $x = x_0 + x_m \cos(\omega t + \varphi)$.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι δυαδικά σωματίια με συχνότητες και είναι απειροστικά ηλεκτρικά ρεύματα. Συνήθως είναι συμβολή δύο ή τεσσάρων φωτονίων (απλή ή διπλή), όταν είναι πυκνή η φωτεινή ροή (όχι το βράδυ).

Το φως πύπτει στα κωνία και τα ραβδία με την συχνότητα 12-55 Hz που προκύπτει από την συμβολή των φωτονίων για τα κωνία. Προκαλεί ταλάντωση των ηλεκτρονίων και των πρωτονίων της ροδοψίνης, που μεταδίδει την ταλάντωση στο κυτταροσκελετό και μέσω ταλάντωσης ιόντων στα δίπολα κύτταρα και ακολούθως στα γάγγλια σχηματίζουν κυκλώματα Thompson και διαδίδονται στον εγκέφαλο.

ΣΧΕΤΙΚΑ

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ R. Serway , ΠΕΚ, Ηράκλειο 2000.

ΦΥΣΙΚΗ R. Serway, Κορφιάτης, Αθήνα 1990.

ΦΥΣΙΚΗ D. Halliday-R. Resnick, Γ. Πνευματικός, Αθήνα 1976.

ΦΥΣΙΚΗ H. Ohanian, τόμος II, Α. Φύλλιας, Αθήνα 1991.

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ, J. Kraus, Α. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 1993.

ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ, M. Gussow, ΕΣΠΙ, Αθήνα 1993.

ΓΕΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ Κ. Αλεξόπουλος-Δ. Μαρίνος, Παπαζήση, Αθήνα 1993.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΗΣ, Κουγιουμζέλη-Περιστεράκη, Κοκοτσάκη, Αθήνα 1969.

ΦΥΣΙΚΗ Αλκίνου Μάζη,

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ, Vander, Sherman, Luciano, Τσακόπουλος, Πασχαλίδη Αθήνα 2001

ΑΡΧΕΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ , Berne, Levy, ΠΕΚ, Ηράκλειο 2003

ΝΕΥΡΟΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ, Kandel, Schwartz, Jessell, ΠΕΚ, Ηράκλειο 2005

ΒΑΣΙΚΗ ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΑ, Berson, Πασχαλίδης, Αθήνα 2001

ΔΙΑΘΛΑΣΗ, Δαμανάκης, Πασχαλίδης, Αθήνα 2011