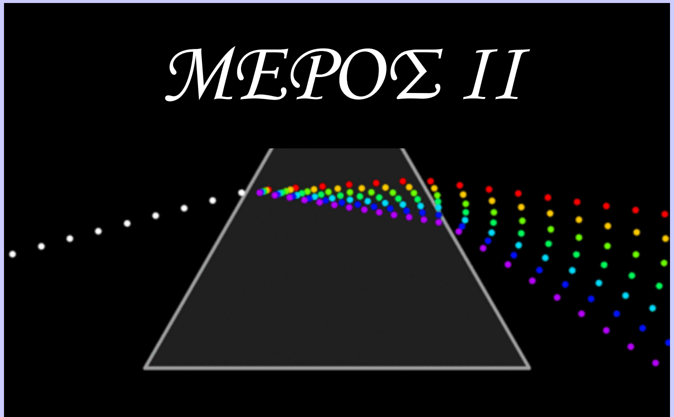
Η ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΚΑΙ
Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΟΜΑΔΟΣ
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟΥ



Κ. ΕΥΤΑΞΙΑΣ

ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ

Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΜ-ΚΥΜΑΤΟΣ
ΣΤΟ ΠΛΑΣΜΑ ΤΗΣ ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑΣ
ΔΙΕΠΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΣΧΕΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ:

$$\omega^2 = {\omega_0}^2 + c^2 k^2$$

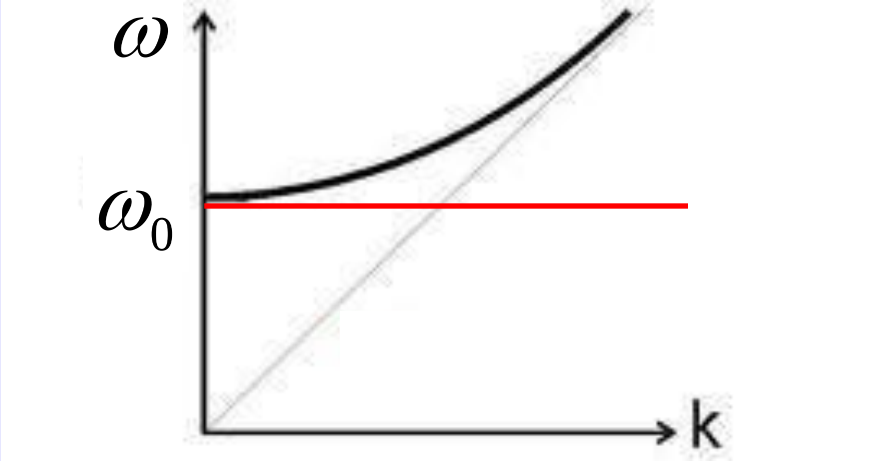
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{n_0 e^2}{m \varepsilon_0}}$$

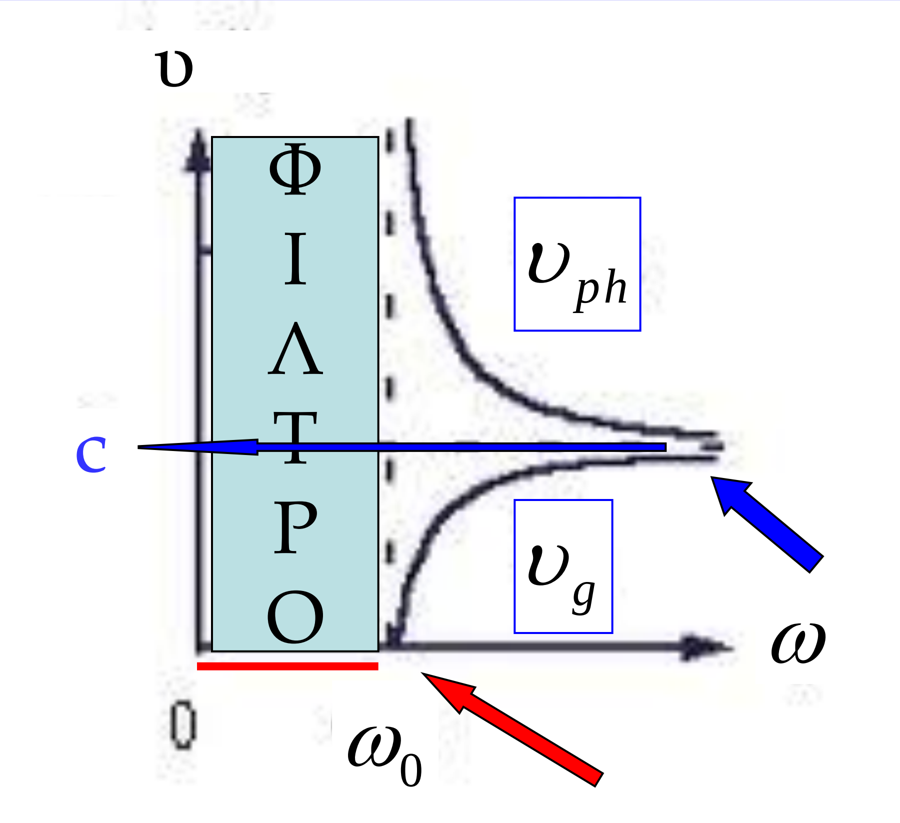
$$\omega^2 = \omega_0^{\ 2} + c^2 k^2$$

$$\upsilon_{ph} = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{\omega_0^{\ 2}}{\omega^2}}} \geq c$$

$$\upsilon_g = c\sqrt{1 - \frac{\omega_0^{\ 2}}{\omega^2}} \leq c$$

$$\upsilon_{ph}\upsilon_g = c^2$$





$$\upsilon_{ph} = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{\omega_0^{\;2}}{\omega^2}}} \geq c$$

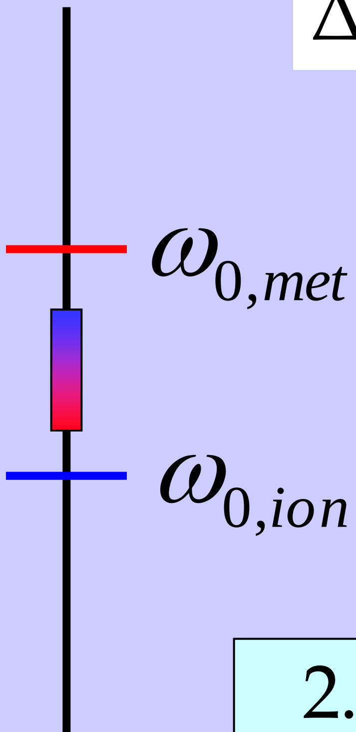
$$\upsilon_g = c\sqrt{1 - \frac{\omega_0^{\;2}}{\omega^2}} \leq c$$

ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ
ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ
ΕΙΝΑΙ:

$$\upsilon_{ph} = \upsilon_g = c$$

ΓΙΑΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΑΥΤΟ;

1. ΓΙΑΤΙ ΤΟ ΦΩΣ ΔΕΝ ΔΙΑΔΙΔΕΤΑΙ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ;



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{n_0 e^2}{m\varepsilon_0}}$$

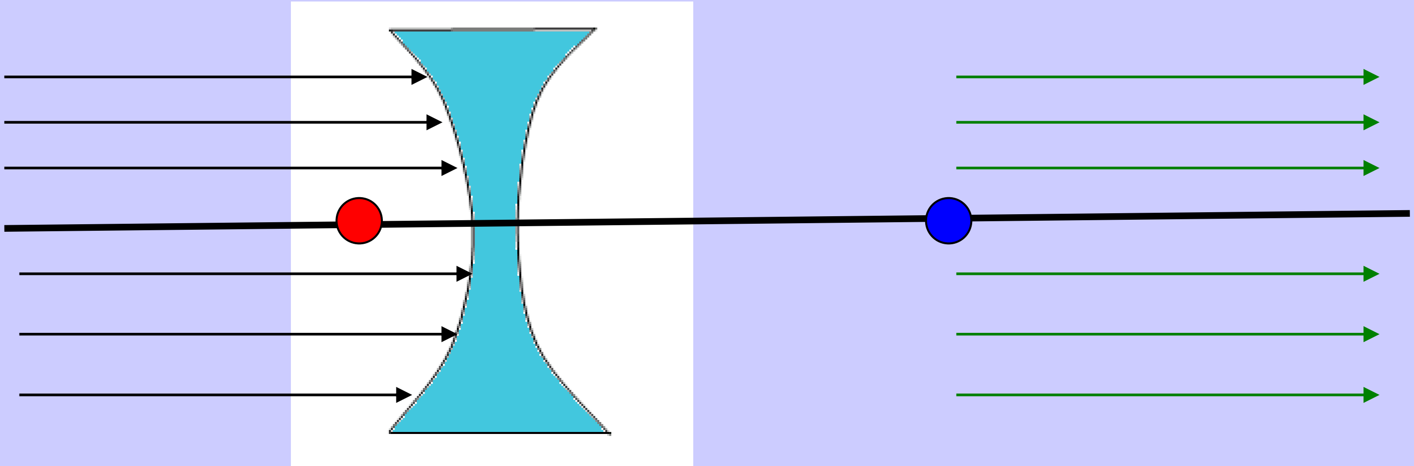
ΟΡΑΤΟ ΦΩΣ: 400-800 THz

2. ΣΥΜΒΑΛΛΕΙ Η ΤΙΜΗ ΤΗΣ

$$n_0$$

ΣΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΖΩΗΣ ΣΤΗ ΓΗ;

ΑΣΚΗΣΗ



ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΧΕΙ ΕΓΚΛΩΒΙΣΤΕΙ ΠΛΑΣΜΑ ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΝΤΑΣ ΕΝΑΝ ΑΜΦΙΚΟΙΛΟ ΦΑΚΟ ΑΚΤΙΝΩΝ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ R, R.

Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΩΝ ΗΜ ΚΥΜΑΤΩΝ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΤΗ ΣΧΕΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ:

$$\boxed{\omega^2 = \omega_0{}^2 + c^2 k^2}$$

ΣΥΝΕΧΕΙΑ

ΔΥΟ ΔΕΣΜΕΣ
ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΚΥΡΙΟ ΑΞΟΝΑ ΤΟΥ ΦΑΚΟΥ
ΜΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

$$\omega_1, \omega_2$$

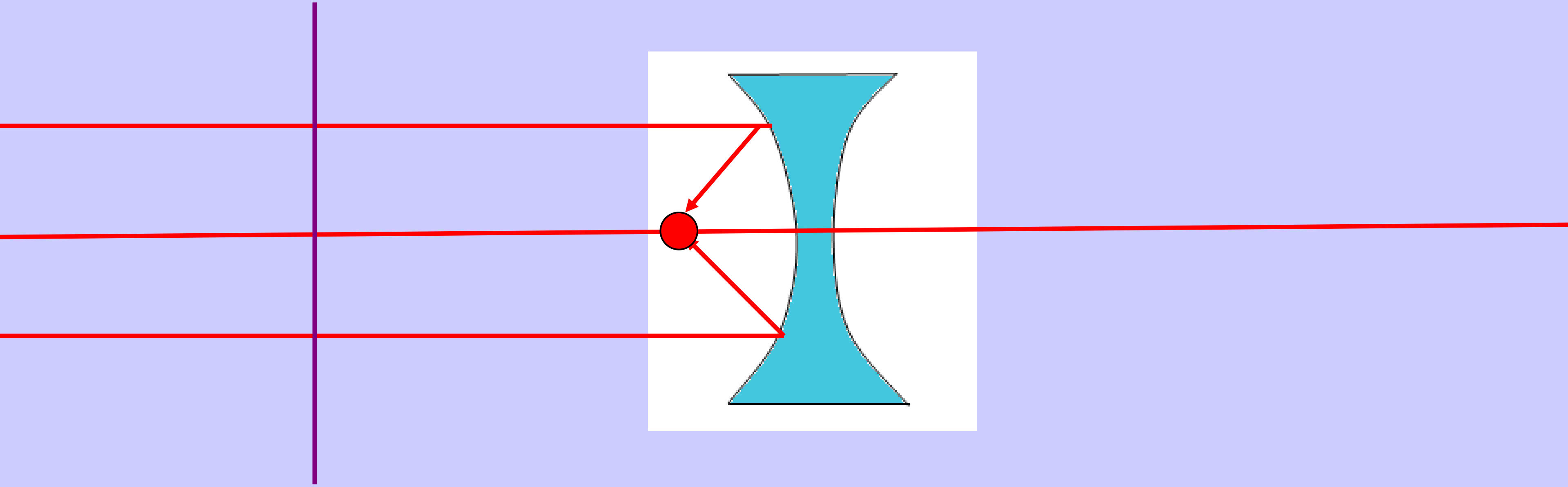
ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΥΝ
ΤΟ ΚΟΚΚΙΝΟ ΕΙΔΩΛΟ
ΤΟ ΜΠΛΕ ΕΙΔΩΛΟ
ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

ΜΙΑ ΤΡΙΤΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΔΕΣΜΗ ΜΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

$$\omega_3$$

ΔΕΝ ΕΚΤΡΕΠΕΤΑΙ, ΣΧΗΜΑΤΙΖΕΙ ΕΙΔΩΛΟ ΣΤΟ ΑΠΕΙΡΟ.

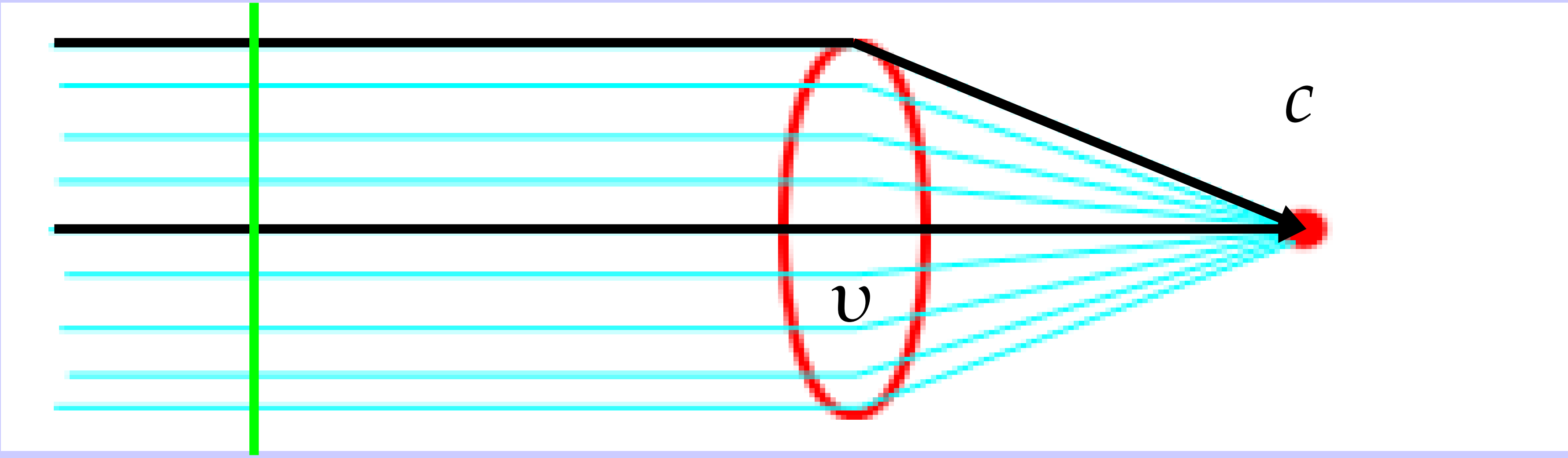
ΝΑ ΕΞΗΓΗΘΕΙ Ο ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΕΙΔΩΛΩΝ.



$$\omega_1 < \omega_0$$

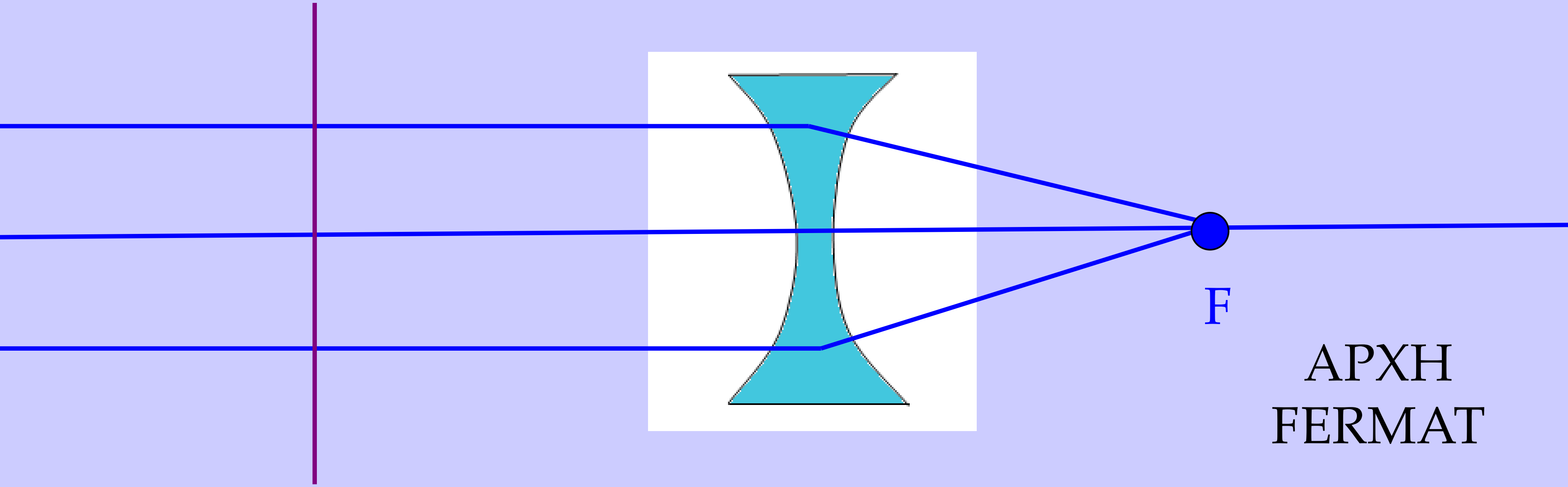
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

ΚΟΙΛΟΥ ΚΑΤΟΠΤΡΟΥ



$$\boxed{\upsilon < c}$$

$$\boxed{n = \frac{c}{\upsilon} > 1}$$



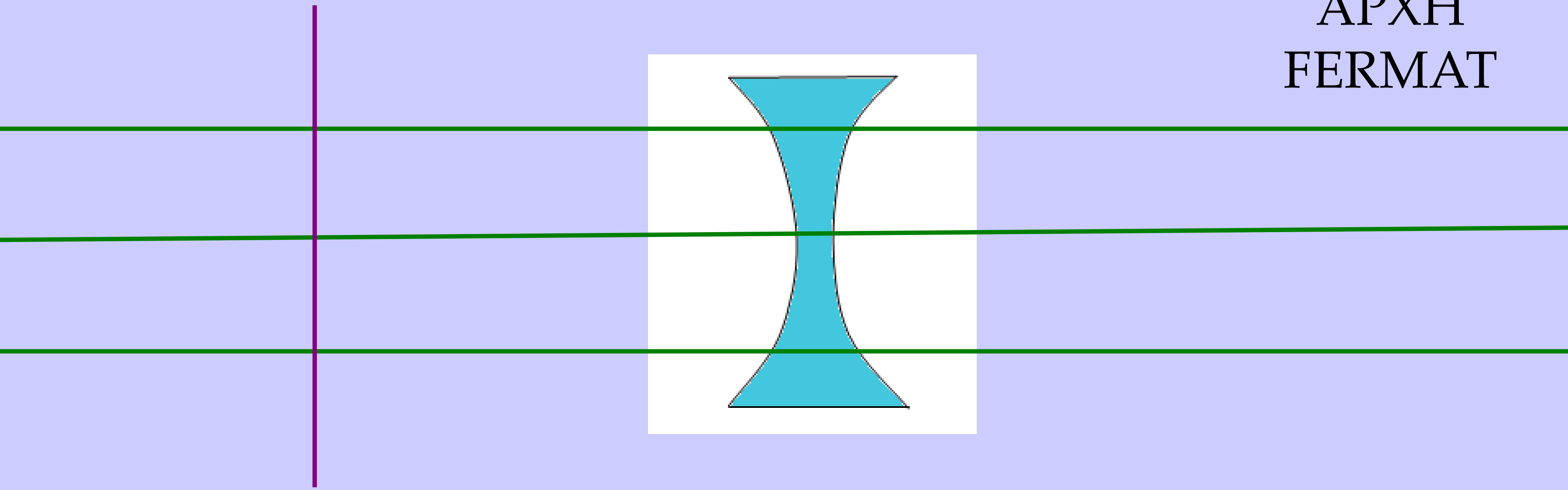
$$\omega_2 > \omega_0$$

Ο ΑΜΦΙΚΟΙΛΟΣ ΦΑΚΟΣ ΕΙΝΑΙ ΣΥΓΚΛΙΝΩΝ

$$\upsilon_{ph} = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{\omega_0{}^2}{\omega^2}}} \geq c$$

ΟΣΟ Η ω ΜΕΓΑΛΩΝΕΙ
Η ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΜΕΓΑΛΩΝΕΙ.

ΑΡΧΗ FERMAT



$$\omega_3 \to \infty$$

$$\boxed{\upsilon_{ph} = \frac{c}{\sqrt{1-\frac{\omega_0^{\ 2}}{\omega^2}}} \geq c}$$

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

ΑΣΚΗΣΗ

ΔΙΔΕΤΑΙ Η ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ ΟΤΙ
Η ΔΙΑΔΟΣΗ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ
ΣΤΗΝ ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ
ΔΙΕΠΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΣΧΕΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ:

$$\omega^2 = c^2 k^2 - \omega_0^{\ 2}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{n_0 e^2}{m \varepsilon_0}}$$

ΑΞΙΟΛΟΓΕΙΣΤΕ ΤΗΝ ΟΡΘΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ.

ΦΥΣΙΚΗ

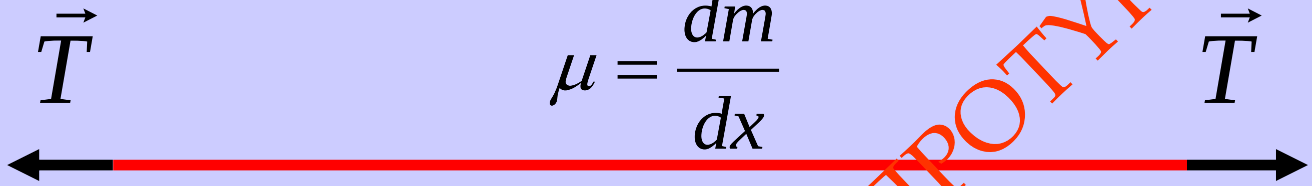
ΣΤΕΡΕΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΙΔΑΝΙΚΗ

ΤΕΝΤΩΜΕΝΗ ΧΟΡΔΗ ΑΠΕΙΡΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

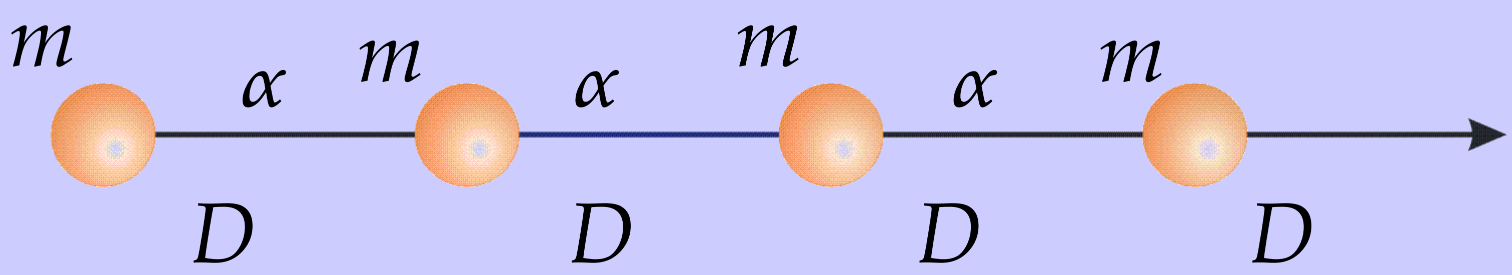
ΠΡΟΤΥΠΟ

$$\mu = \frac{dm}{dx}$$



T ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ μ ΑΔΡΑΝΕΙΑ

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ
ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ



ΙΔΑΝΙΚΗ

ΤΕΝΤΩΜΕΝΗ ΧΟΡΔΗ ΑΠΕΙΡΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

ΠΡΟΤΥΠΟ

$\vec{T}$ $$\mu = \frac{dm}{dx}$$ $\vec{T}$

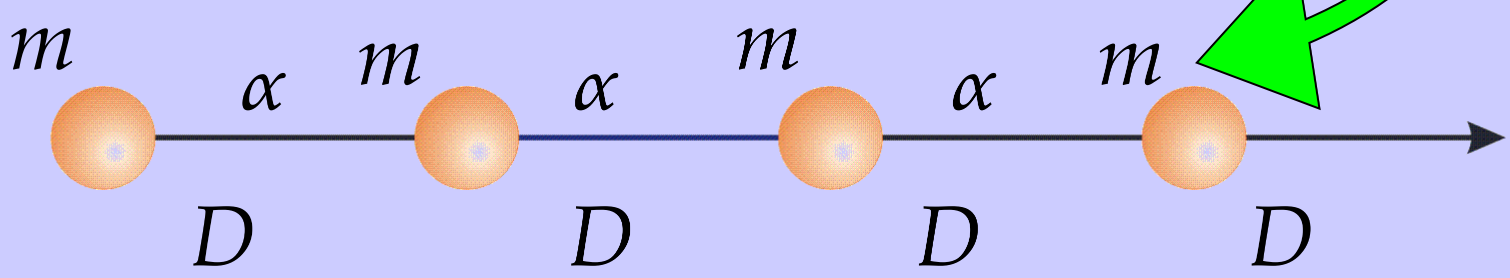
T ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

μ ΑΔΡΑΝΕΙΑ

$$\omega = \sqrt{\frac{\mathrm{T}}{\mu}}k$$

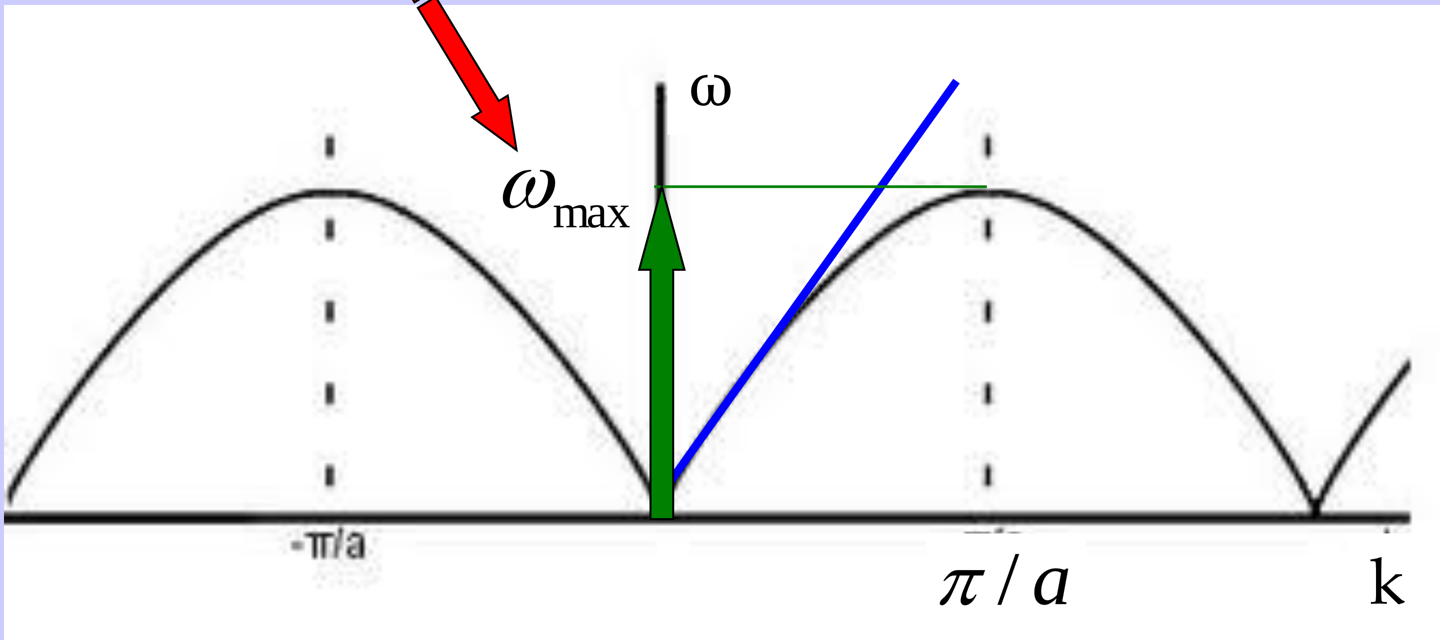
ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑ.

ΥΠΑΡΧΕΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑ;



ΑΔΡΑΝΕΙΑ!

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$



ΤΟ ΠΛΕΓΜΑ
ΔΡΑ
ΣΑΝ ΦΙΛΤΡΟ!

$$\omega = \omega_{max} \left| \sin\left(\frac{1}{2}\right)\alpha k \right|$$

$$\omega_{max} = \sqrt{\frac{4D}{m}}$$

$$\omega = \omega_{\max} \sin\left(\frac{1}{2}\right)\alpha k$$

ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ
ΑΠΟ
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΧΟΡΔΗ.

$$\upsilon_{ph} = \frac{\omega}{k} = \omega_{\max} \frac{\left|\sin(\frac{1}{2}\alpha k)\right|}{k}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{\mathrm{T}}{\mu}}k$$

$$\upsilon_{g} = \frac{d\omega}{dk} = \alpha\sqrt{\frac{D}{m}}\cos(\frac{1}{2}ak)$$

ΑΔΡΑΝΕΙΑ!

ΣΥΖΗΤΑΜΕ

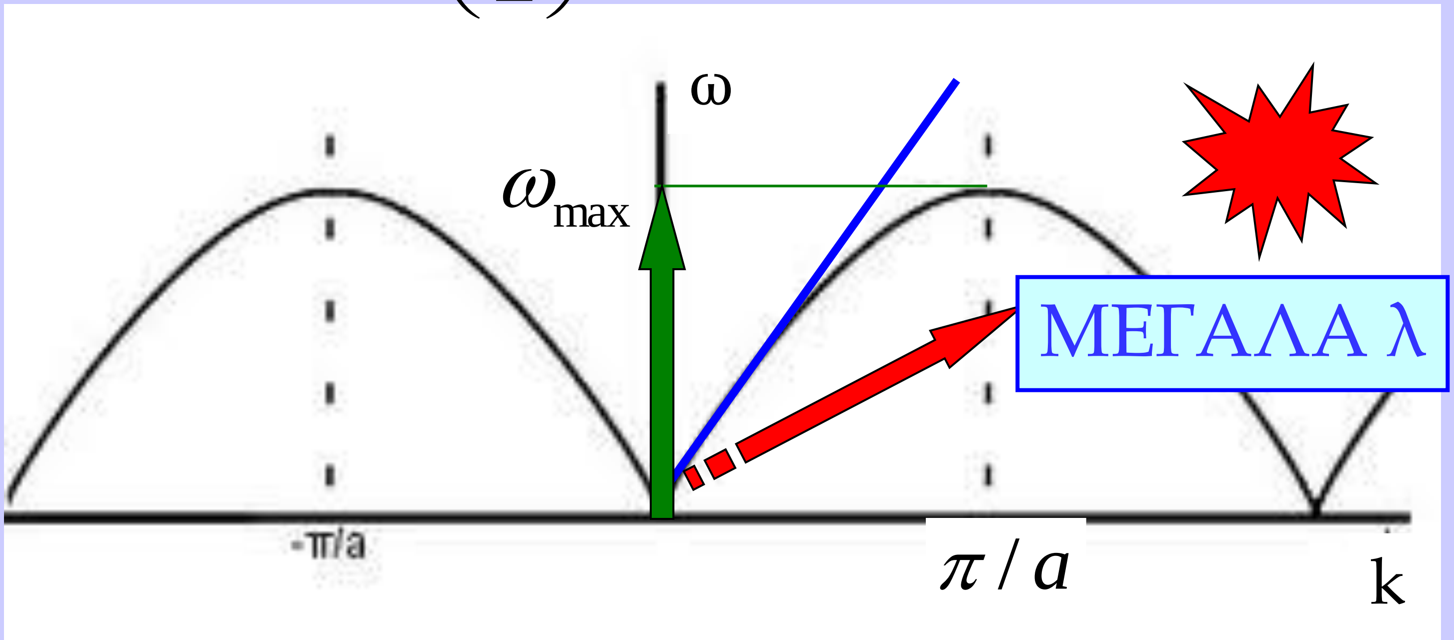
ΜΕ

ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ!

ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΓΙΑ

ΜΕΓΑΛΑ ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ;

$$\omega = \omega_{\max} \sin\left(\frac{1}{2}\right)\alpha k \qquad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

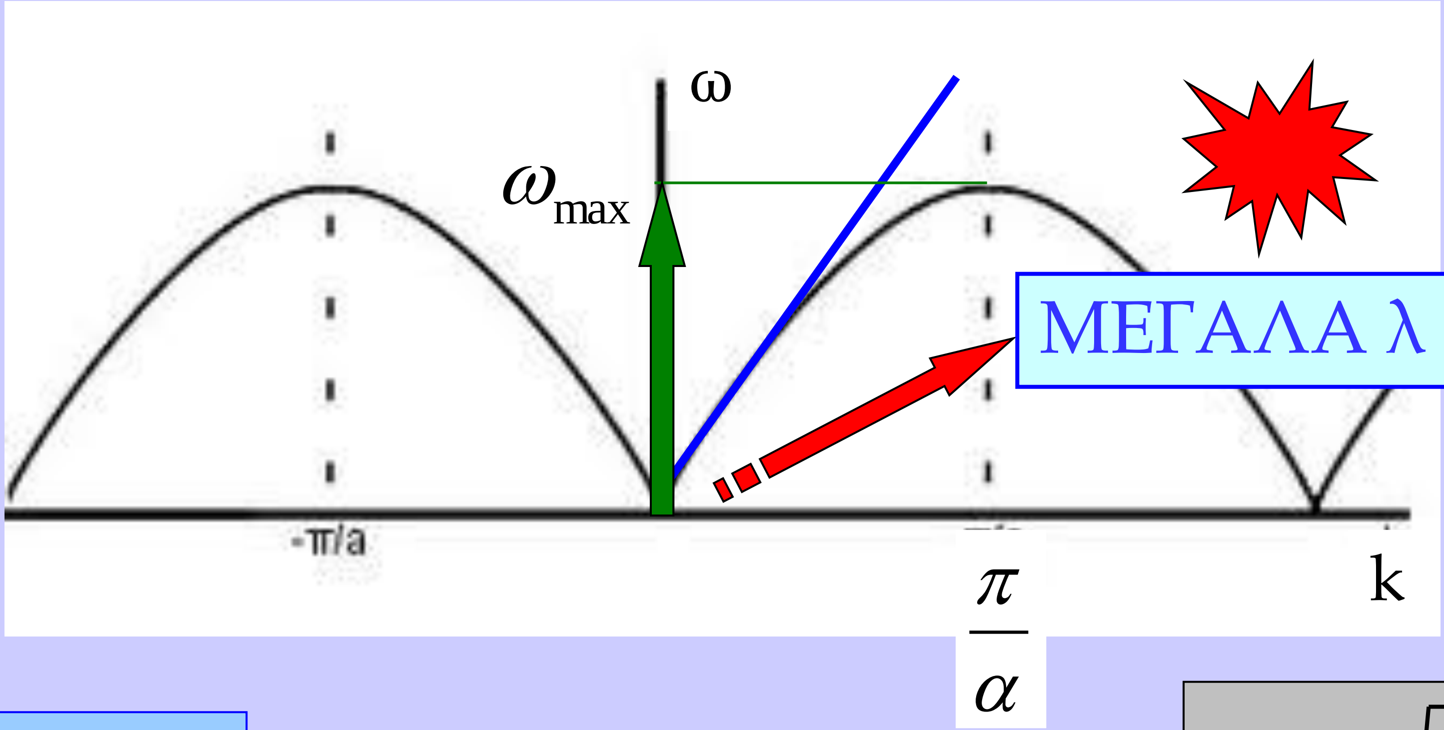


$$k \to 0, \sin\frac{1}{2}\alpha k \approx \frac{1}{2}\alpha k \qquad \omega = \frac{\omega_{\max} a}{2} k = (const)k$$

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΜΕΣΟΥ

ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΑ λ

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΜΕΣΟΥ



$$\omega_{max} = \sqrt{\frac{4D}{m}}$$

$$\omega = \frac{\omega_{max} a}{2} k = (const) k$$

$$\omega = \sqrt{\frac{T}{\mu}} k$$

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΧΟΡΔΗΣ

ΣΥΖΗΤΑΜΕ

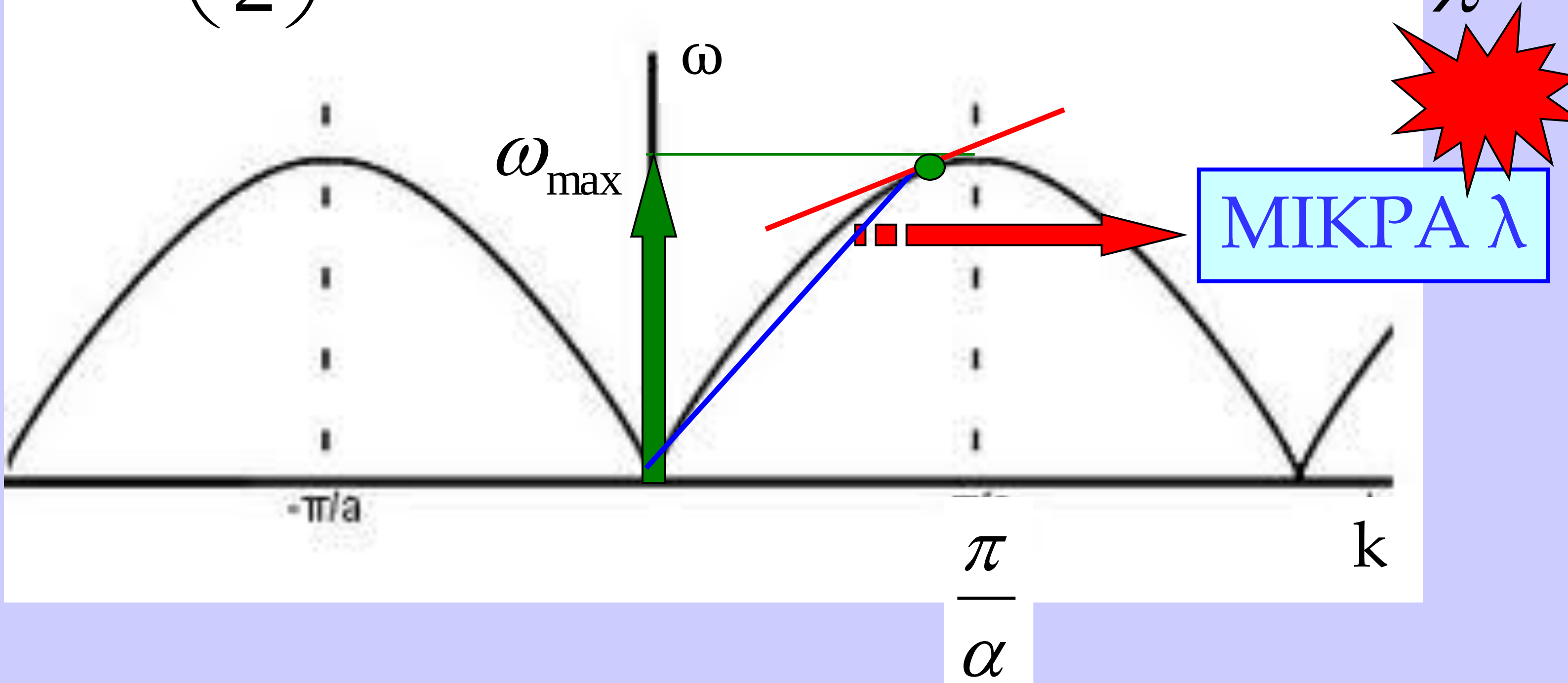
ΜΕ

ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ!

ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΓΙΑ

ΜΙΚΡΑ ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ;

$$\omega = \omega_{\max} \sin\left(\frac{1}{2}\right)\alpha k \qquad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$



ΥΠΑΡΧΕΙ ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΙΚΡΑ λ

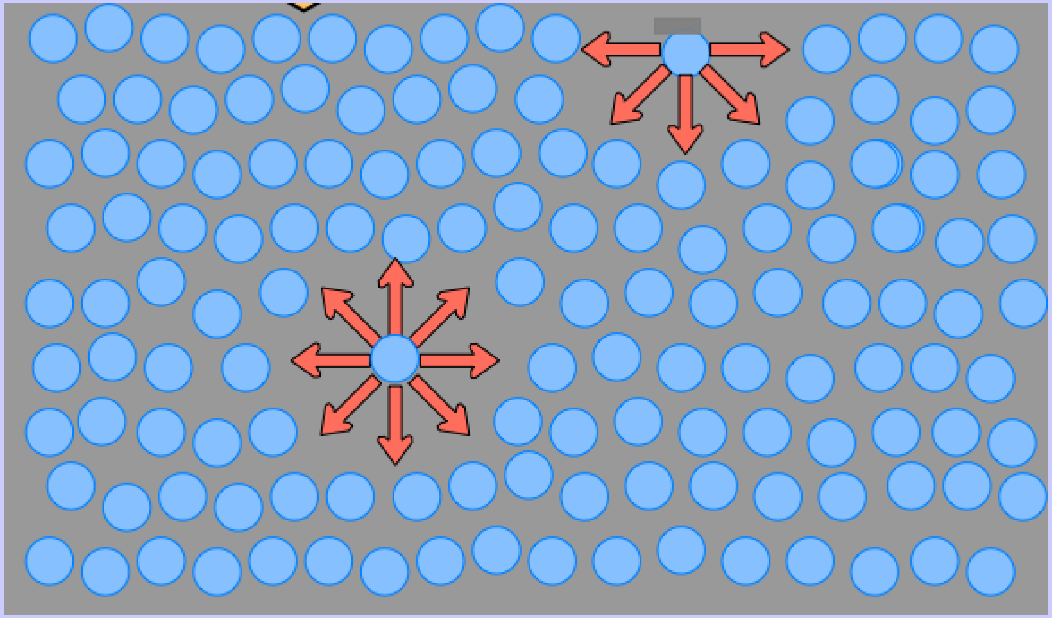
Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΟΜΑΔΑΣ < ΦΑΣΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

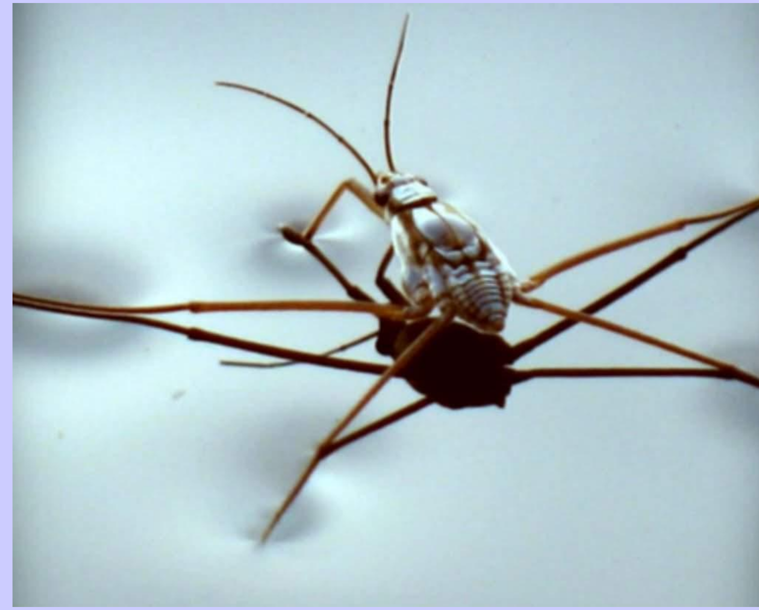
ΠΟΙΑ Η ΤΙΜΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΓΙΑ k = π / α;

Η ΣΧΕΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ

ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΓΡΟΥ.





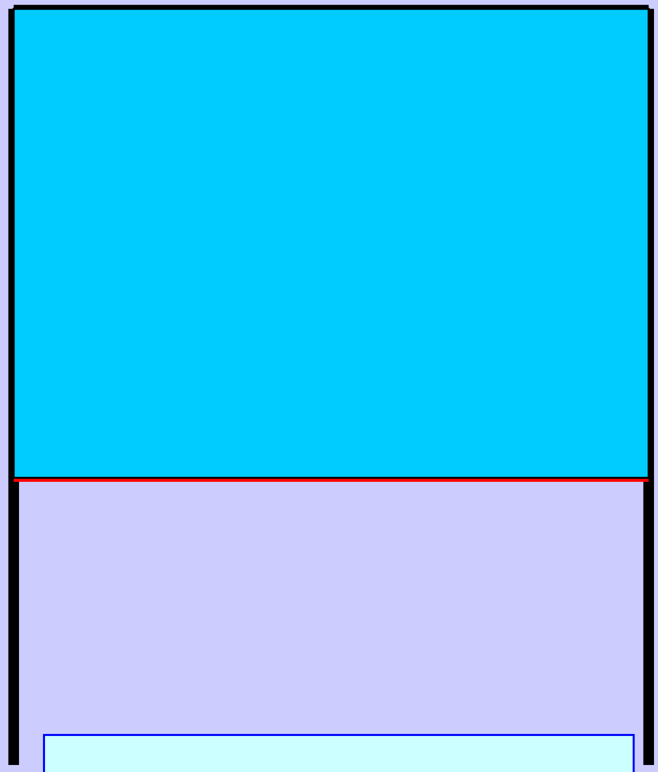
ΓΙΑΤΙ
ΟΙ ΜΙΚΡΕΣ ΣΤΑΓΟΝΕΣ ΕΙΝΑΙ ΣΦΑΙΡΙΚΕΣ;

ΔΥΟ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΑΣΗ

Η ΒΑΡΥΤΗΤΑ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΑΣΗΣ



$$\alpha = \frac{dW}{dS}$$

Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΓΡΟΥ

ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΒΑΘΟΥΣ (h>>λ)

ΥΠΑΚΟΥΕΙ ΣΤΗ ΣΧΕΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ:

$$\upsilon_{ph} = \left[\frac{g}{k} + \frac{\alpha k}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (1)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ΣΥΖΗΤΩΝΤΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ. . .

$$\upsilon_{ph} = \left[\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\alpha}{\rho\lambda} \right]^{\frac{1}{2}}$$

ΕΜΠΛΟΚΗ
ΔΥΟ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

$$\left[\frac{g\lambda}{2\pi} = \frac{2\pi\alpha}{\rho\lambda} \right]$$

«ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ»

$$\lambda_c = 2\pi\sqrt{\frac{\alpha}{\rho g}}$$

ΣΥΖΗΤΩΝΤΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ. . .

$$\upsilon_{ph} = \left[\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\alpha}{\rho\lambda}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\lambda_c = 2\pi\sqrt{\frac{\alpha}{\rho g}}$$

$$\lambda_c << \lambda << h$$

GRAVITY WAVES
IN DEEP LIQUID

$$\upsilon_{ph} = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{g}{k}}$$

$$\upsilon_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{1}{2}\upsilon_{ph}$$

$$\omega = \sqrt{2\pi g / \lambda}$$

ΣΥΖΗΤΩΝΤΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ. . .

$$\upsilon_{ph} = \left[\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\alpha}{\rho\lambda}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\lambda_c = 2\pi\sqrt{\frac{\alpha}{\rho g}}$$

$$\lambda << \lambda_c, \boldsymbol{h}$$

SHORT RIPPLES IN DEEP LIQUID

$$\upsilon_{ph} = \sqrt{\frac{2\pi\alpha}{\lambda\rho}}$$

$$\upsilon_g = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{2\pi a}{\lambda\rho}} = \frac{3}{2}\upsilon_{ph}$$

ΝΑ ΔΕΙΧΤΕΙ ΟΤΙ
Η ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΙΝΑΙ:

$$\upsilon_{ph,\min} = \left(\frac{4\alpha g}{\rho}\right)^{\frac{1}{4}}$$

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΣΑ ΣΕ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ:

$$\lambda_{\min} = 2\pi\left[\frac{\alpha}{\rho g}\right]^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \lambda_c = 2\pi\sqrt{\frac{\alpha}{\rho g}}$$

ΑΝΕΜΟΣ ΑΠΟΤΥΓΧΑΝΕΙ ΝΑ ΠΡΟΚΑΛΕΣΕΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟ
ΕΑΝ ΕΧΕΙ ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ!
ΣΥΜΦΩΝΕΙΤΕ;

ΣΥΖΗΤΩΝΤΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ. . .

$$\upsilon_{ph} = \left[\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\alpha}{\rho\lambda}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\lambda_c = 2\pi\sqrt{\frac{\alpha}{\rho g}}$$

$$\lambda_c, h << \lambda$$

GRAVITY WAVES
IN SHALLOW LIQUID

$$\upsilon = \sqrt{gh}$$

ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ
ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟΣ

ΑΣΚΗΣΗ

TSUNAMI!

$$\upsilon = \sqrt{gh}$$

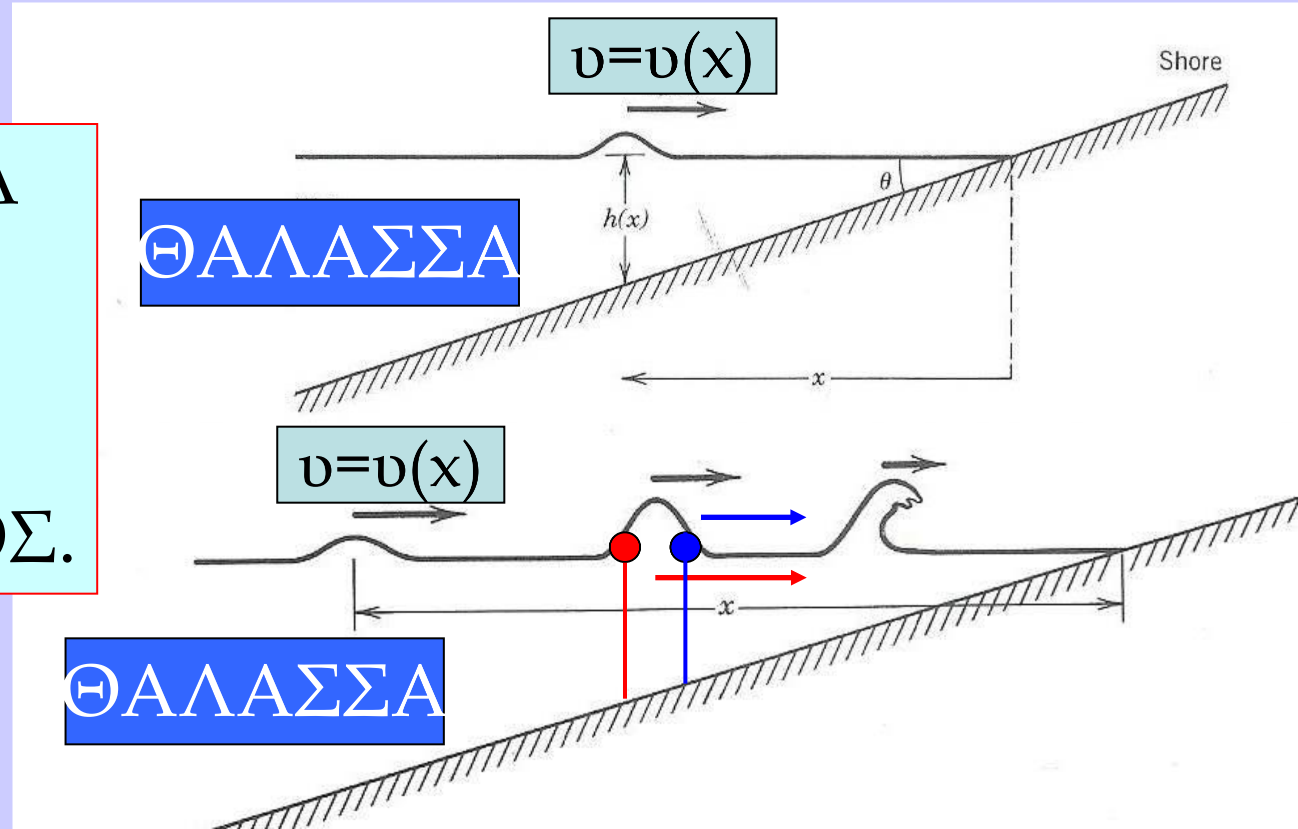
$$h = x(\tan\theta)$$

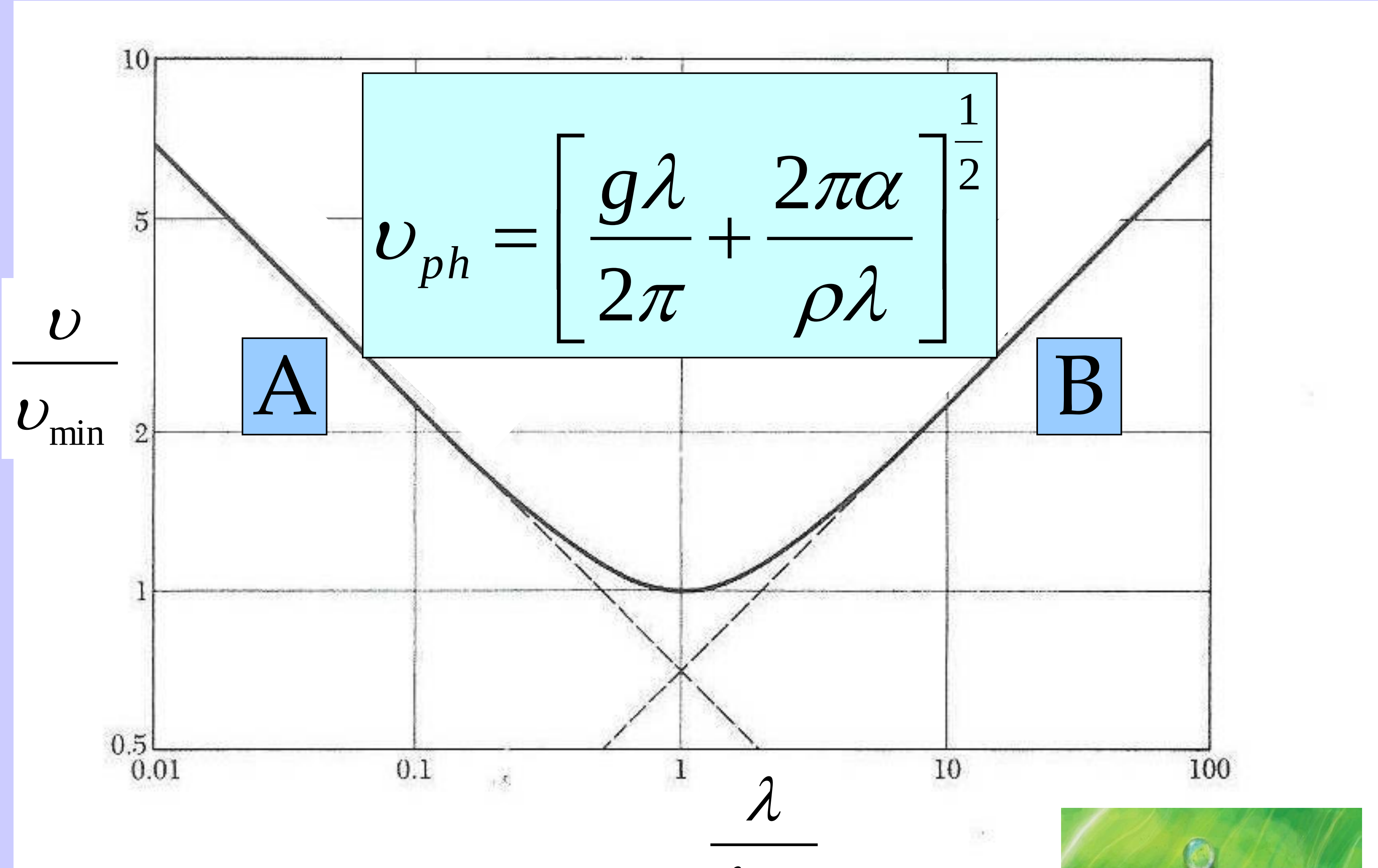
$$\upsilon = \sqrt{g(\tan\theta)x}$$

Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ

ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ

ΑΠΟ ΤΟ ΒΑΘΟΣ.





$$\upsilon_{ph} = \left[\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\alpha}{\rho\lambda} \right]^{\frac{1}{2}}$$

ΣΕ ΠΟΙΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΚΛΑΔΟΥΣ Α, Β ΚΥΡΙΑΡΧΕΙ Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΑΣΗ - Η ΒΑΡΥΤΗΤΑ;

ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΗ!

ΔΥΟ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟΣ

ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΑΙΡΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ!

Τα ΣΟΛΙΤΟΝΙΑ

είναι μονήρεις παλμοί

που διαδίδονται χωρίς παραμόρφωση.

Η ευστάθειά τους

είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης

μιας λεπτής ανταγωνιστικής ισορροπίας

μεταξύ δύο φαινόμενων

που το καθένα από αυτά από μόνο του οδηγεί

στην αστάθεια-παραμόρφωση του παλμού:

ΤΟΥ ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟΥ

ΤΗΣ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

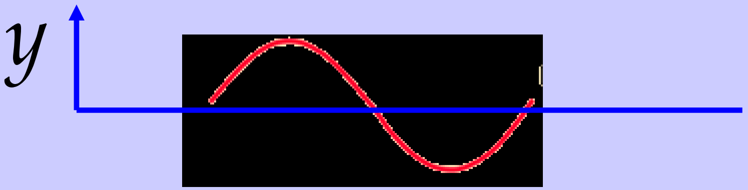
Η ΔΙΑΣΠΟΡΑ

ΤΕΙΝΕΙ

ΝΑ «ΑΠΛΩΣΕΙ»

ΕΝΑΝ ΚΥΜΑΤΟΣΥΡΜΟ.

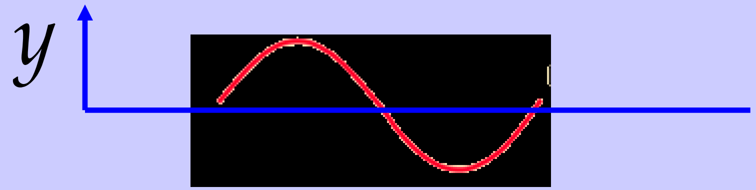
ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑ



ΕΣΤΩ ΟΤΙ Ο ΜΟΝΗΡΗΣ ΠΑΛΜΟΣ ΔΙΑΔΙΔΕΤΑΙ ΣΕ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΜΕΣΟ ΟΠΟΥ Η ΦΑΣΙΚΗ ΤΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΥΠΟ:

$$\upsilon_{ph} = \frac{\omega}{k} = \upsilon_0 \left(1 + ay\right), a > 0$$

ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑ

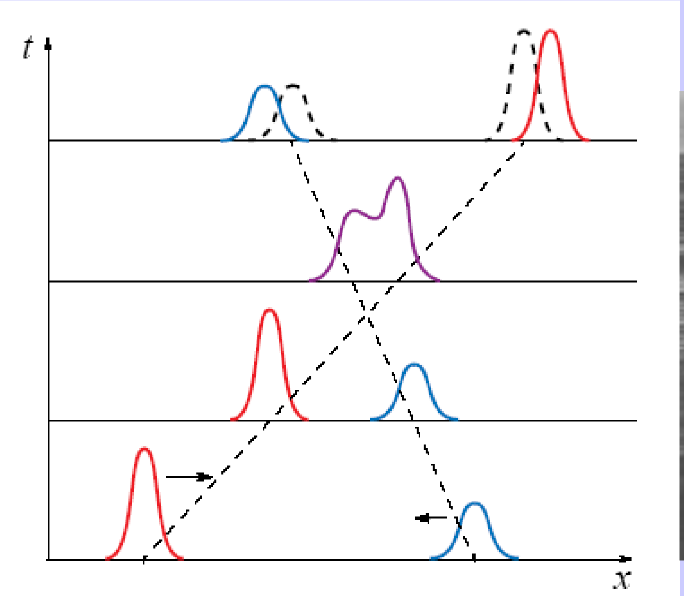


$$\upsilon_{ph} = \frac{\omega}{k} = \upsilon_0 (1 + ay), a > 0$$

Ο ΜΟΝΗΡΗΣ ΠΑΛΜΟΣ ΘΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ
ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ
ΕΠΕΙΔΗ ΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΕ
y>0 ,y<0
ΔΙΑΔΙΔΟΝΤΑΙ ΜΕ ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ, ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΑΠΟ ΤΗ υ_0

Η ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΕΙΝΕΙ ΝΑ **ΣΥΡΙΚΝΩΣΕΙ** ΤΟΝ ΠΑΛΜΟ.

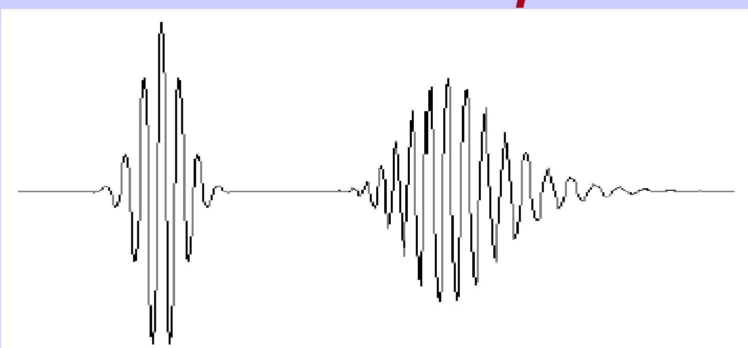
ΠΡΟΝΟΜΙΑΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ
ΤΩΝ ΣΟΛΙΤΟΝΙΩΝ
ΕΙΝΑΙ Η
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ
ΔΕΝ ΙΣΧΥΕΙ Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑΣ.
ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ
ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗ ΤΟΥΣ
ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΠΛΑΤΩΝ ΤΟΥΣ.



Διάδοση παλμών ή οπτικών δεσμών

$$i\frac{\partial \psi}{\partial z}+\frac{s}{2}\frac{\partial^2 \psi}{\partial \eta^2}+\sigma|\psi|^2\psi=0$$

ΜΟΝΟΝ *διασπορά*

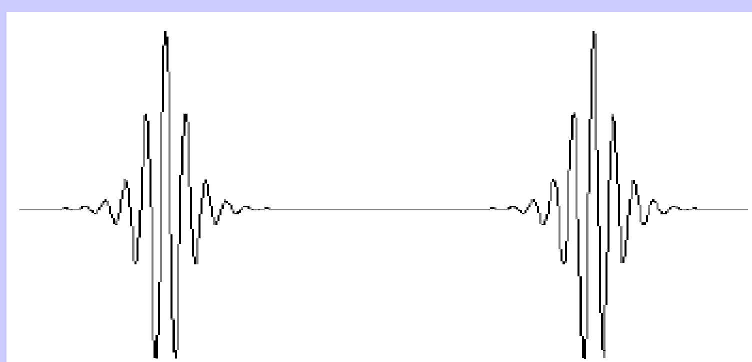


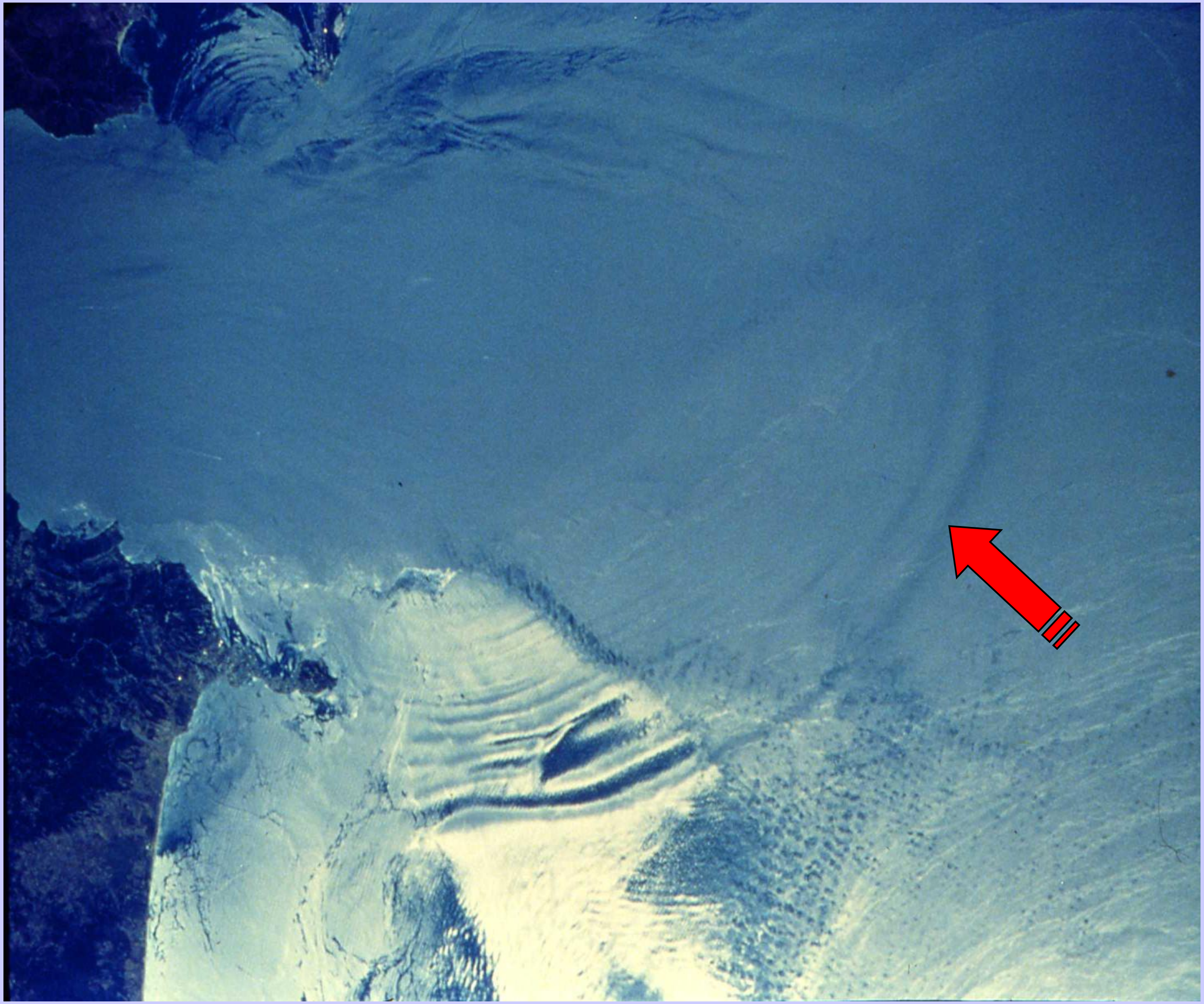
Διεύρυνση περιβάλλουσας και chirp

ΜΟΝΟΝ *μη γραμμικότητα*

Μη παραμόρφωση περιβάλλουσας και SPM

Διασπορά και μη γραμμικότητα: Σολιτόνιο

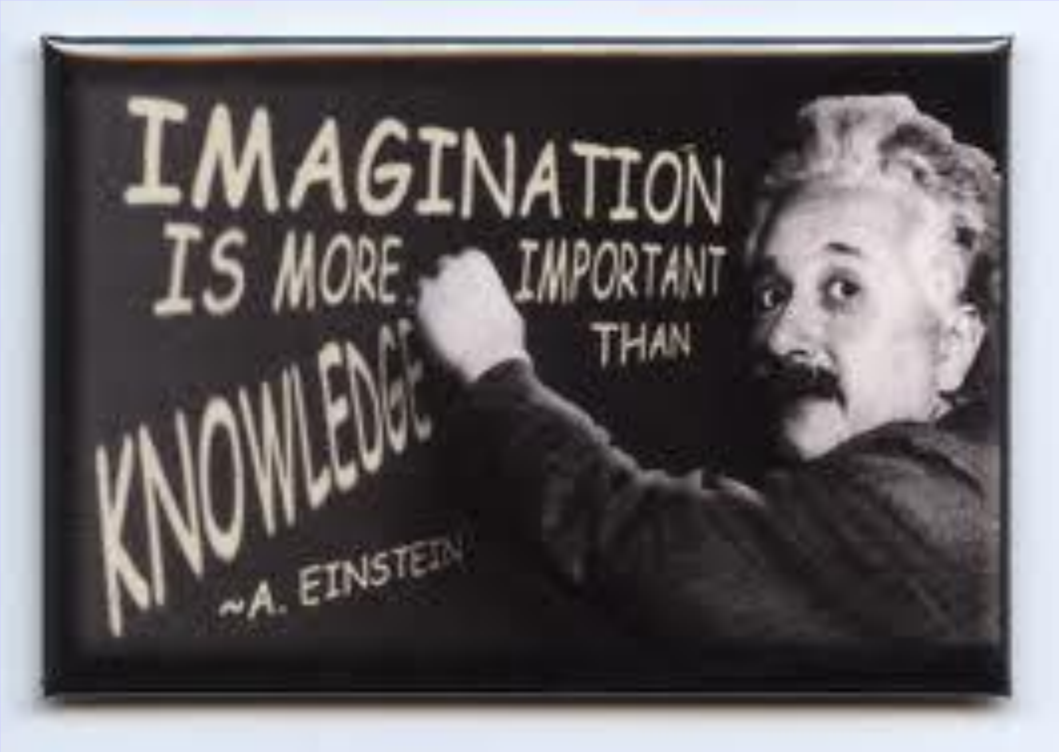




Στενό του Γιβραλτάρ, φωτογραφίες από δορυφόρο

Η πρώτη οπτική ζεύξη με σολιτόνια (2003)

Μήκος: ~ 3000 km
WDM: 160 channels x 10 Gbit/s
Οπτικοί ενισχυτές: κάθε 90 km



METAMATERIALS

ΝΕΑ ΦΥΣΙΚΗ!

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:
Dr EINSTEIN,
ΤΑ ΘΕΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑΤΟΣ
ΗΤΑΝ ΙΔΙΑ ΜΕ ΤΑ ΠΕΡΣΙΝΑ.

EINSTEIN:
ΣΩΣΤΑ!
ΑΛΛΑ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΙΔΙΕΣ ΟΙ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ!

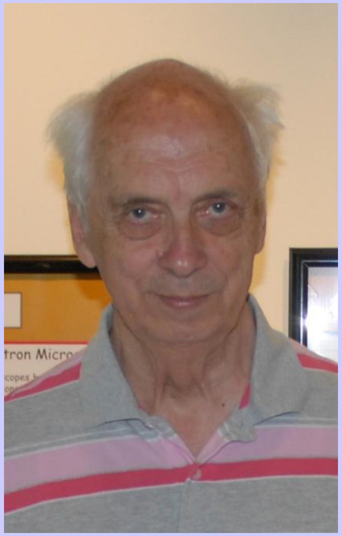
ΤΑ METAMATERIALS
ΕΙΝΑΙ ΤΕΧΝΗΤΑ ΥΛΙΚΑ
ΠΟΥ ΟΙ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
ΕΔΡΑΖΟΝΤΑΙ
ΣΤΙΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥΣ
ΠΟΥ ΕΜΠΙΠΤΕΙ ΣΤΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΩΝ nano.

Metamaterials
move beyond nature's limits

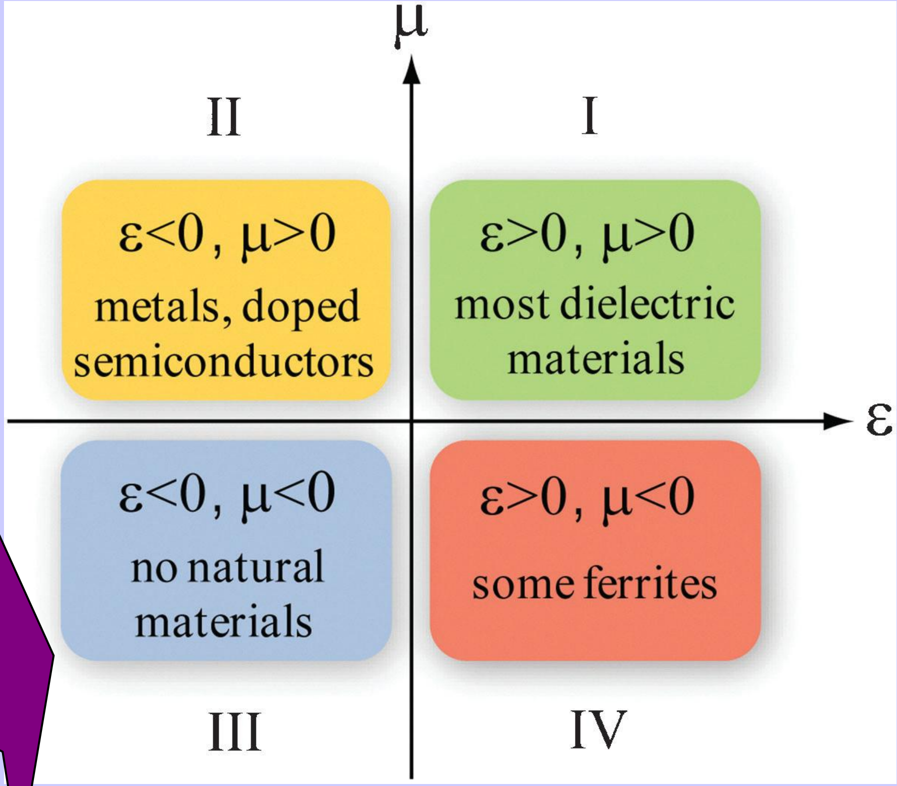
SOVIET PHYSICS USPEKHI
VOLUME 10, NUMBER 4 JANUARY-FEBRUARY 1968

THE ELECTRODYNAMICS OF SUBSTANCES WITH SIMULTANEOUSLY NEGATIVE VALUES OF ε AND μ

V. G. VESELAGO



$$n = \pm\sqrt{\varepsilon\mu}$$



$$n = \sqrt{(-\varepsilon)(-\mu)} < 0$$

ΕΑΝ ΥΠΗΡΧΑΝ ΥΛΙΚΑ ΜΕ

$\varepsilon<0$ και $\mu<0$

(METAMATERIALS)

ΘΑ ΕΙΧΑΝ ΕΞΩΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ!

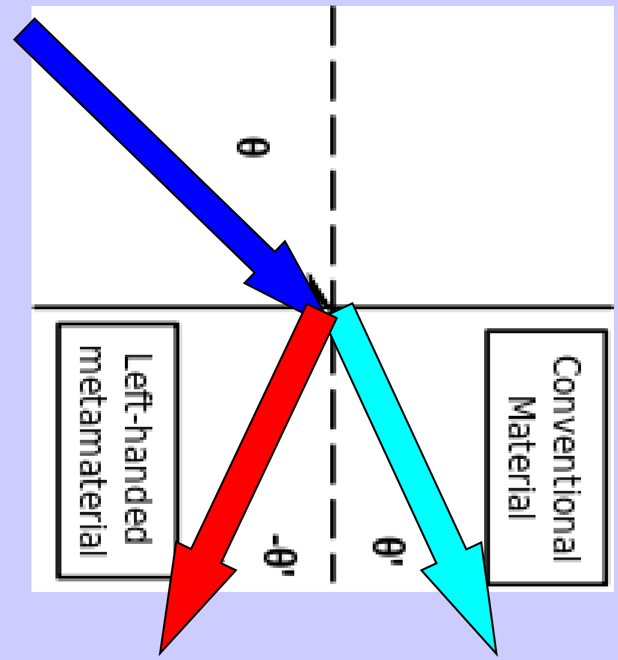
ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΕΝΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ Ο VESELAGO ΠΕΡΙΦΡΑΦΕΙ ΤΙΣ ΕΞΩΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΝΥΠΑΡΚΤΩΝ ΑΥΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.

Αντιστροφή του νόμου του Snell

ΑΡΝΗΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

Επειδή

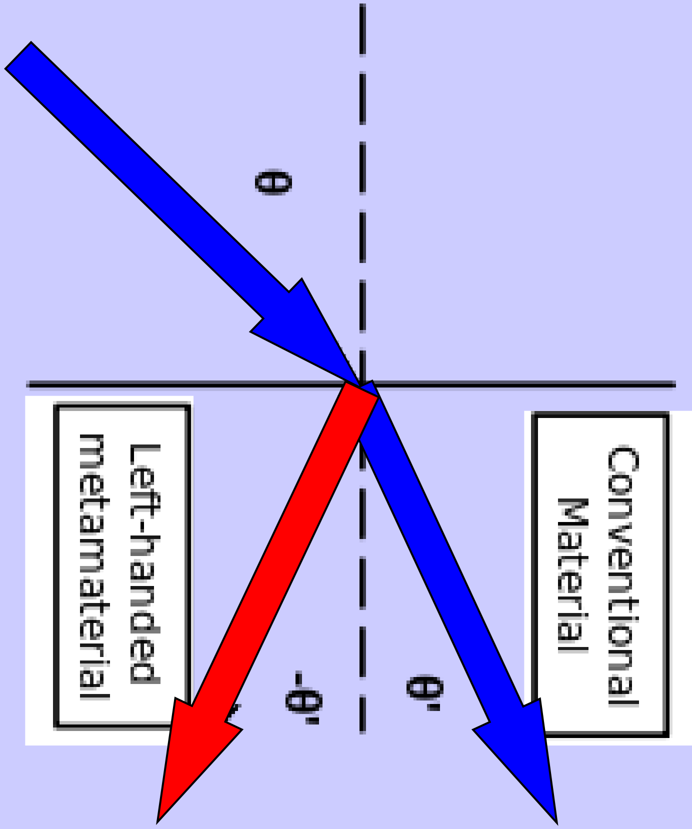


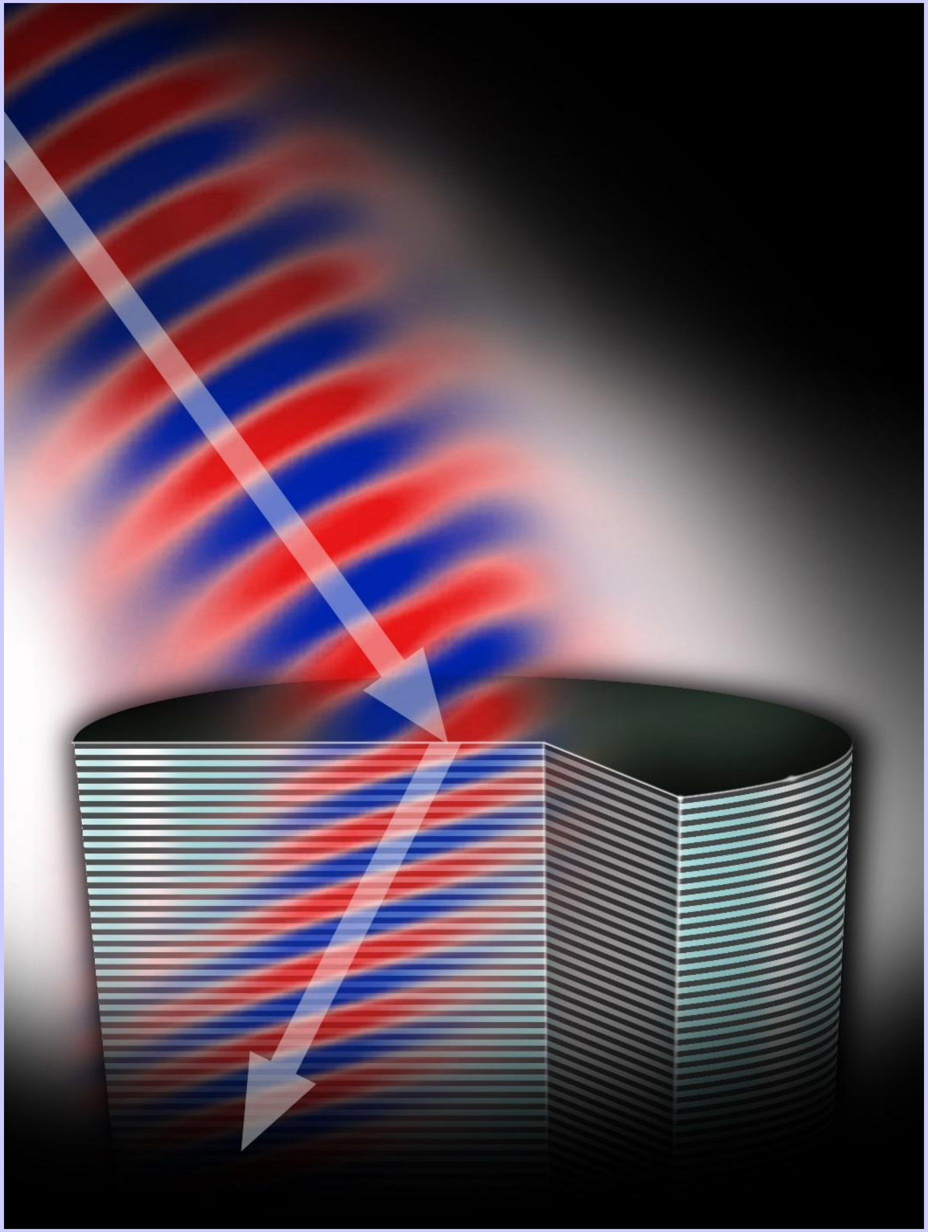
$$n_2 < 0$$

πρέπει να είναι

$$\theta_2 < 0$$

Η διάθλαση πραγματοποιείται
κατά την αντίθετη κατεύθυνση από ό,τι συνήθως.



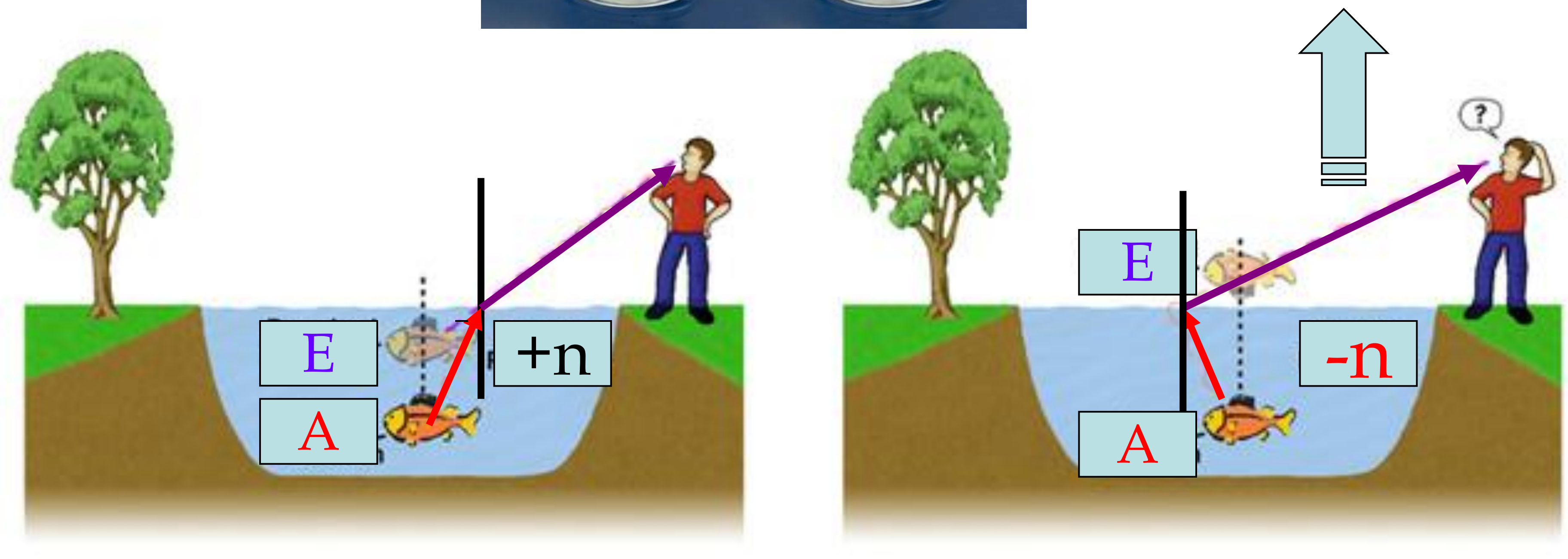


ΣΥΝΗΘΗ ΥΛΙΚΑ

ΜΕΤΑΥΛΙΚΑ

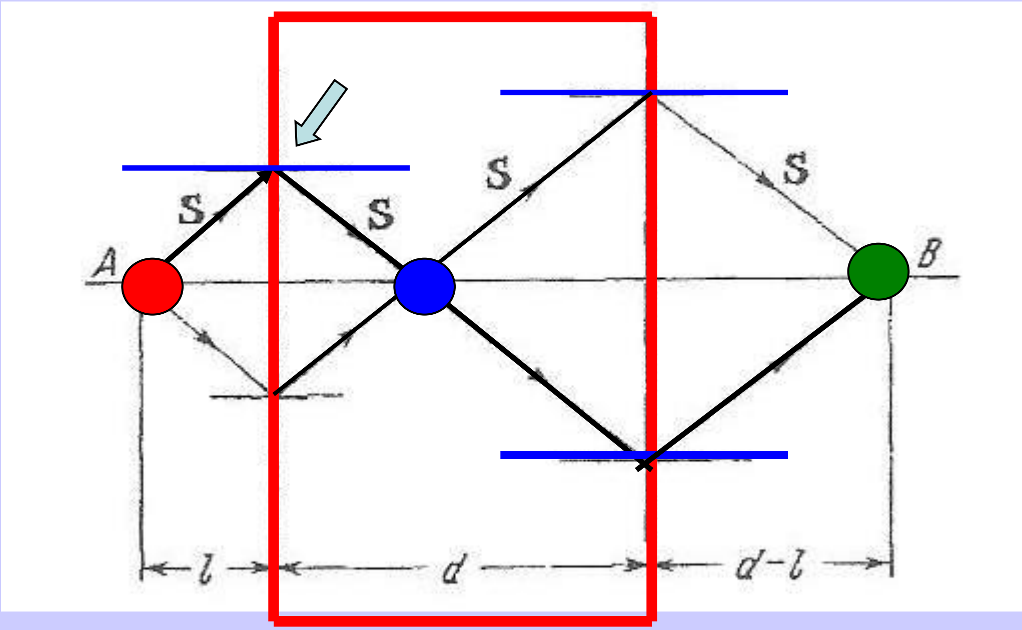
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

ΘΑ ΒΛΕΠΑΜΕ
ΤΑ ΨΑΡΙΑ
ΝΑ ΠΕΤΟΥΝ
ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ!

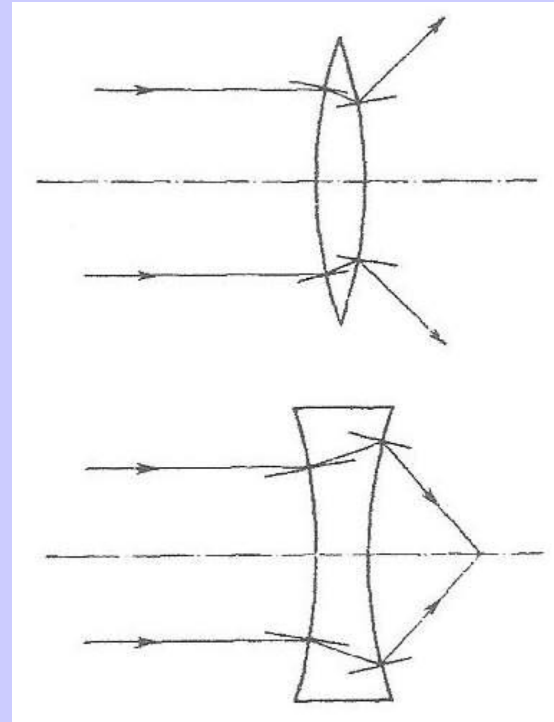


ΑΡΝΗΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ!

ΑΡΝΗΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

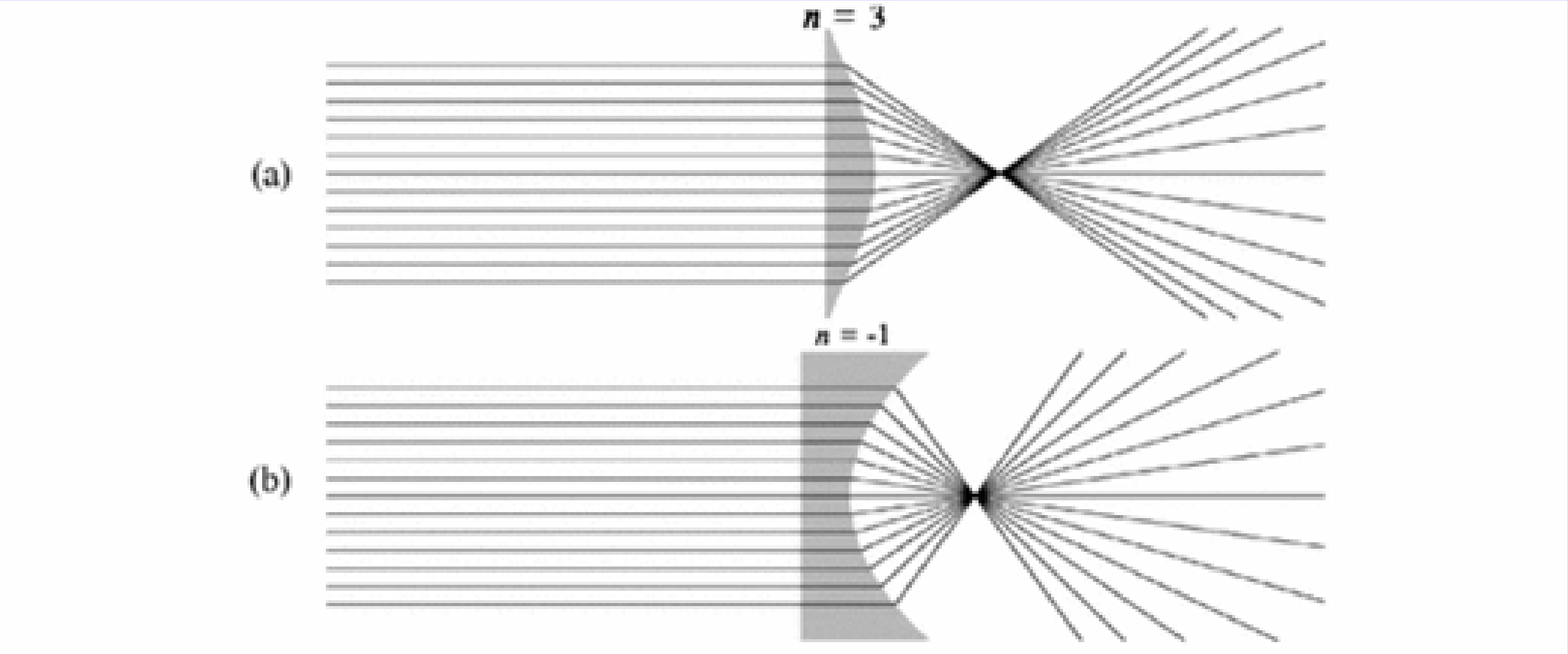


ΕΣΤΙΑΣΗ
ΑΠΟ
ΠΛΑΚΑ!



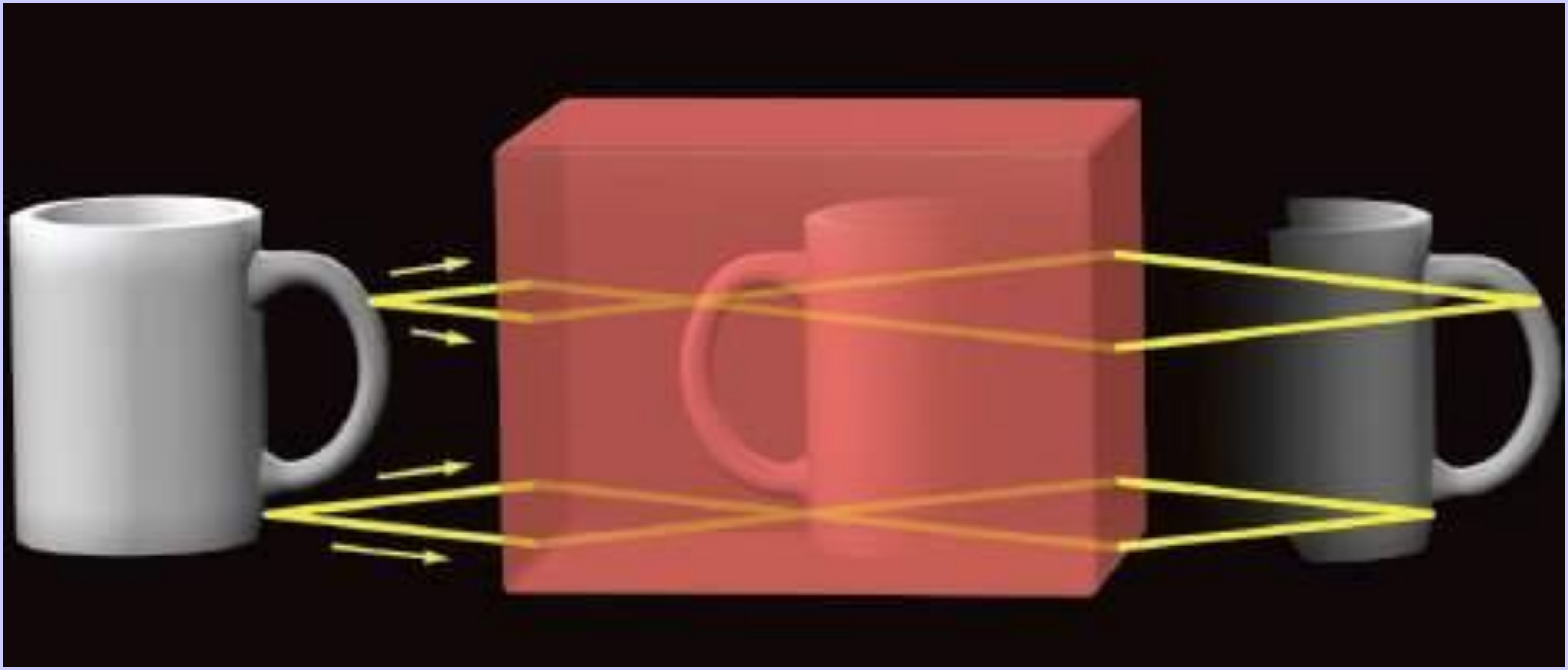
ΟΙ ΑΜΦΙΚΥΡΤΟΙ
ΕΙΝΑΙ ΑΠΟΚΛΙΝΟΝΤΕΣ
ΟΙ ΑΜΦΙΚΟΙΛΟΙ
ΣΥΓΚΛΙΝΟΝΤΕΣ

ΣΥΝΗΘΕΣ ΥΛΙΚΟ



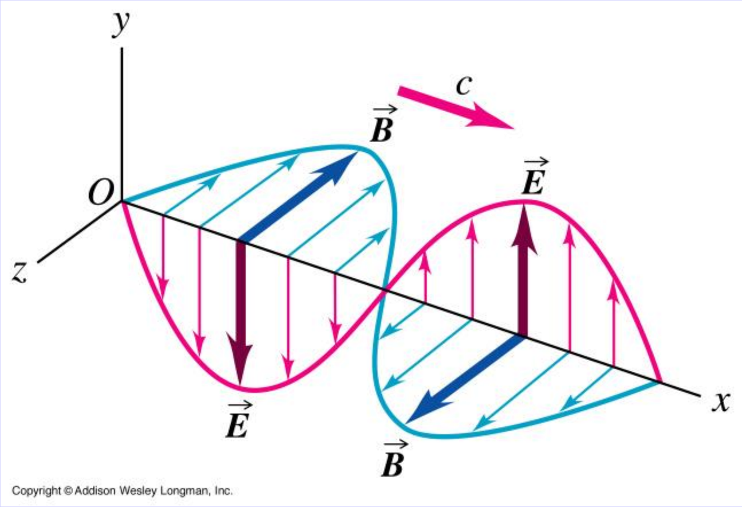
ΜΕΤΑΥΛΙΚΟ

ΥΠΕΡΦΑΚΟΙ



ΤΟ ΕΙΔΩΛΟ ΣΧΗΜΑΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ «ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ» ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΟ ΟΤΙ ΣΤΟΥΣ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΦΑΚΟΥΣ.

ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΓΙΑ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

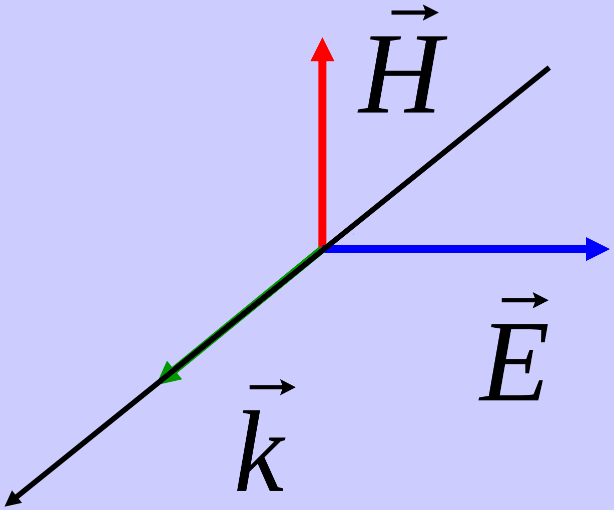


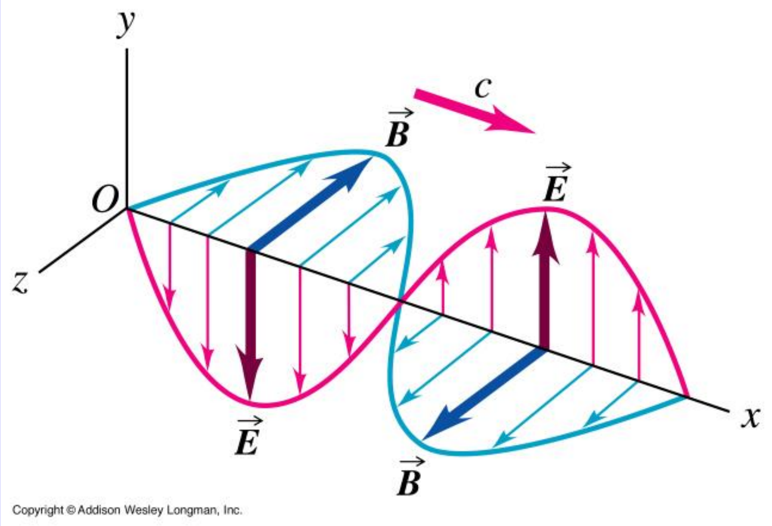
$\varepsilon > 0 \qquad \mu > 0$

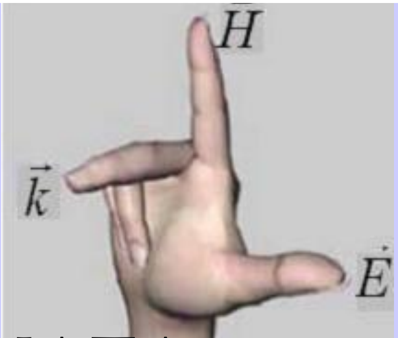
Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΡΕΕΙ ΠΡΟΣ ΤΗ ΦΟΡΑ ΠΟΥ ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΕΙ Η ΦΟΡΑ ΤΗΣ ΦΑΣΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.

ΔΕΞΙΟΣΤΡΟΦΑ ΥΛΙΚΑ

ε>0 μ>0





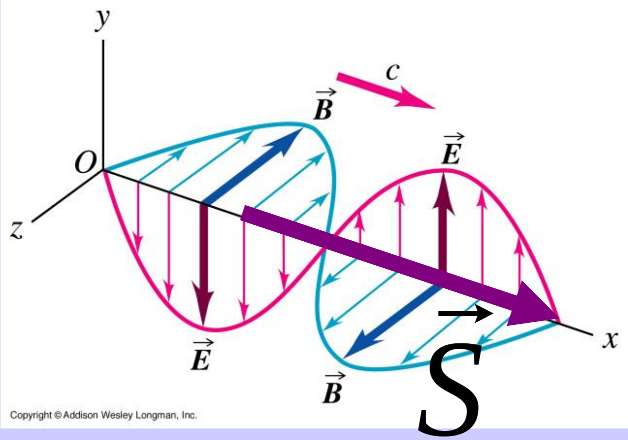


ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΑ ΑΝΥΣΜΑΤΑ

$$\vec{E}, \vec{H}, \vec{k}$$

ΣΥΝΙΣΤΟΥΝ ΜΙΑ ΔΕΞΙΟΣΤΡΟΦΗ ΤΡΙΠΛΕΤΑ ΑΝΥΣΜΑΤΩΝ

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$



Η ΦΟΡΑ
ΤΟΥ ΑΝΥΣΜΑΤΟΣ POYNTING

$$\vec{S}$$

ΕΙΝΑΙ Η ΦΟΡΑ
ΔΙΑΔΟΣΗΣ
ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

ΤΑ

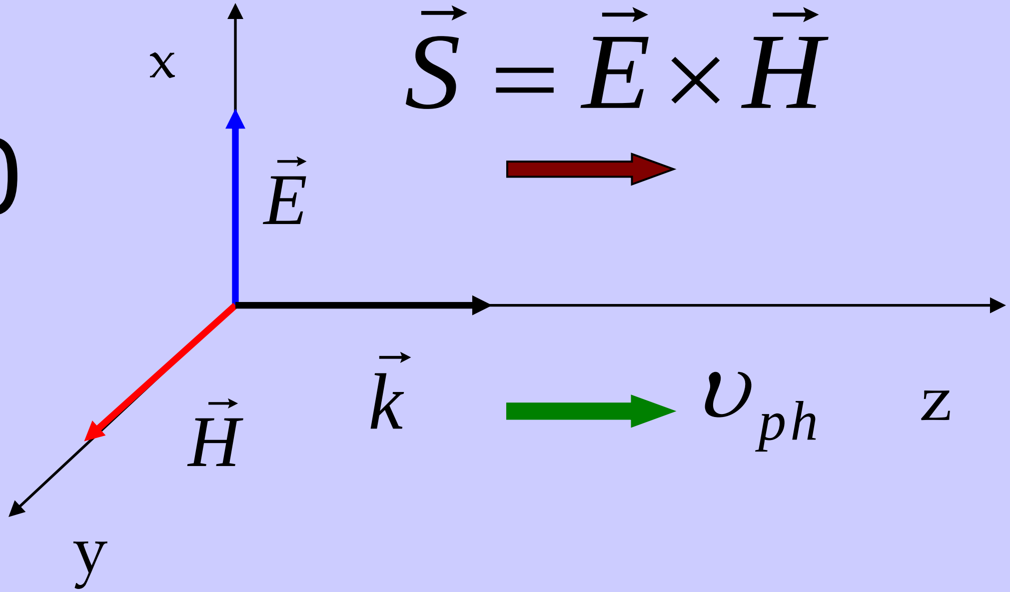
$$\vec{E}, \vec{H}, \vec{S}$$

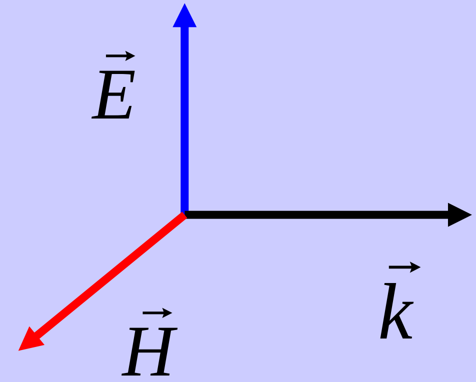
ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΥΝ ΠΑΝΤΑ
ΜΙΑ ΔΕΞΙΟΣΤΡΟΦΗ
ΤΡΙΠΛΕΤΑ ΑΝΥΣΜΑΤΩΝ

ε>0

μ>0

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$





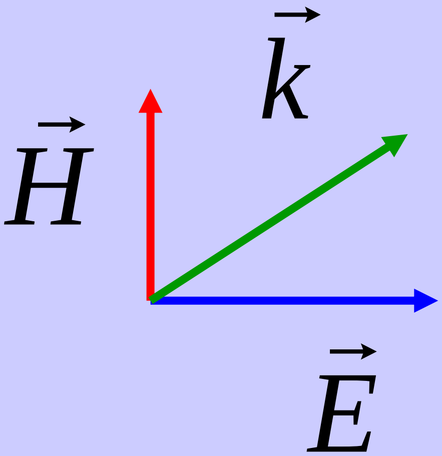
Η ΦΟΡΑ ΤΟΥ ΑΝΥΣΜΑΤΟΣ POYNTING

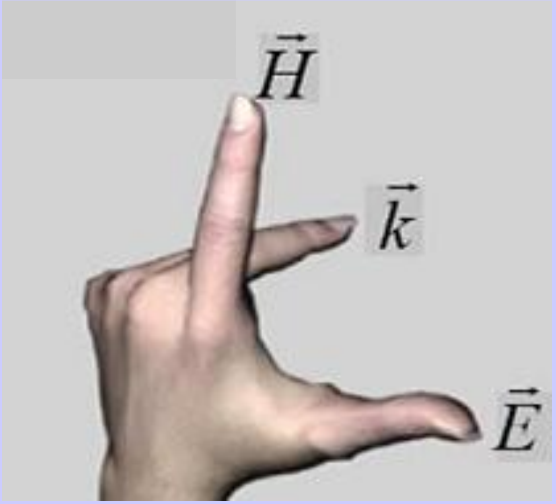
ΤΑΥΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΕΚΕΙΝΗ ΤΟΥ $\vec{k}$

ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΑΣΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

ΑΡΙΣΤΕΡΟΣΤΡΟΦΑ ΥΛΙΚΑ

$\varepsilon<0 \quad \mu<0$

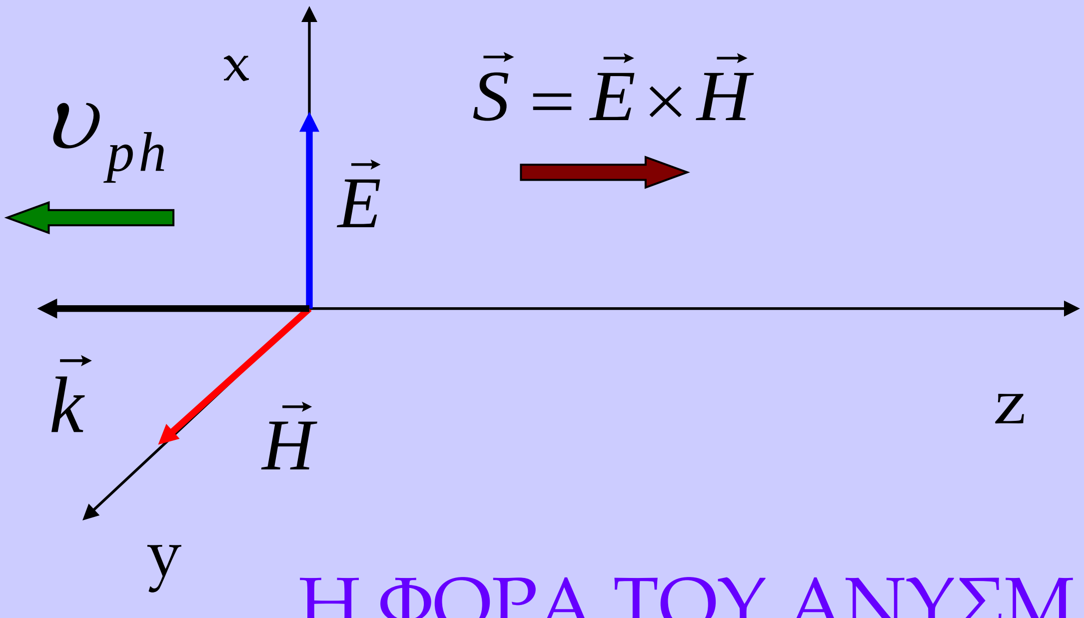




ΣΤΑ METAMATERIALS ΤΑ ΑΝΥΣΜΑΤΑ

$$\vec{E}, \vec{H}, \vec{k}$$

ΣΥΝΙΣΤΟΥΝ ΜΙΑ ΑΡΙΣΤΕΡΟΣΤΡΟΦΗ ΤΡΙΠΛΕΤΑ ΑΝΥΣΜΑΤΩΝ



$\varepsilon<0$

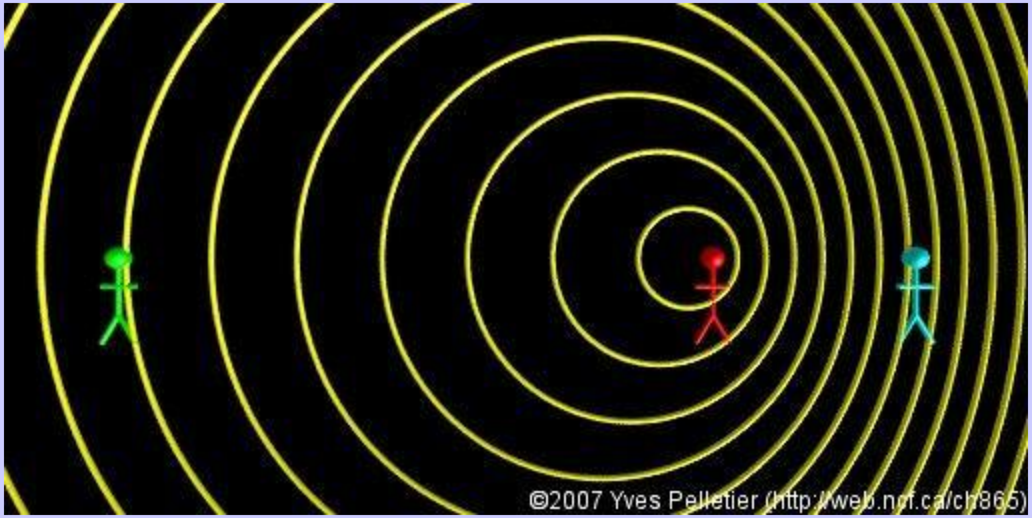
$\mu<0$

Η ΦΟΡΑ ΤΟΥ ΑΝΥΣΜΑΤΟΣ POYNTING

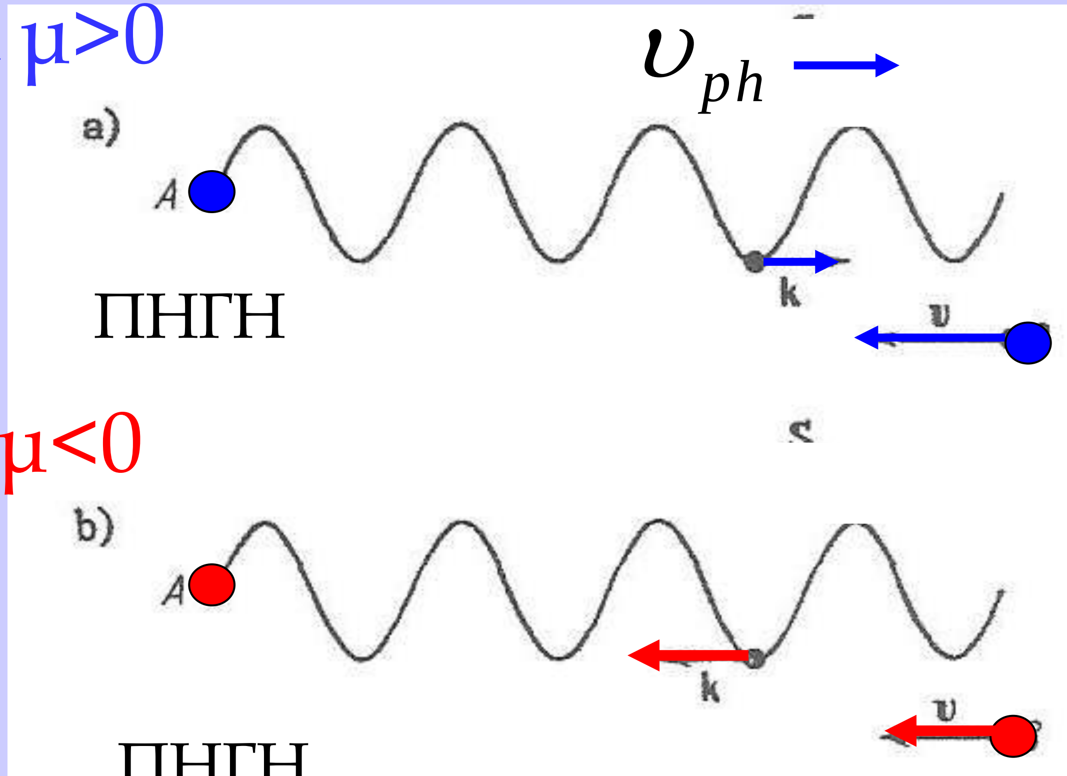
ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΘΕΤΗ ΜΕ ΕΚΕΙΝΗ ΤΟΥ $\vec{k}$

ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΑΣΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ!

Αντιστροφή του φαινομένου Doppler



$\varepsilon>0$ και $\mu>0$



$\upsilon_{ph} \rightarrow$

ΠΗΓΗ

$\Delta\nu>0$

ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ

$\varepsilon<0$ και $\mu<0$

$\Delta\nu<0$

ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ

ΠΗΓΗ

$\upsilon_{ph} \leftarrow$

ΤΟ ΚΥΜΑΤΑΝΥΣΜΑ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΕΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΗΓΗ!

Είναι δυνατό η
φασική ταχύτητα
και η
ταχύτητα ομάδος
να είναι ταυτόχρονα αρνητικές,
να έχουν δηλαδή φορά
προς την πηγή
εκπομπής;

Science
312, 892 (2006)

Simultaneous Negative Phase and Group Velocity of Light in a Metamaterial

Gunnar Dolling, Christian Enkrich, Martin Wegener, Costas M. Soukoulis , Stefan Linden

We investigated the propagation of femtosecond laser pulses through a metamaterial that has a negative index of refraction for wavelengths around 1.5 micrometers.

In a spectral region,
phase and group velocity are negative
simultaneously.

This means that both the carrier wave and the pulse envelope peak of the output pulse appear at the rear side of the sample before their input pulse counterparts have entered the front side of the sample.

ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟ
Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΟΜΑΔΟΣ
ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ
ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΣΤΟ ΚΕΝΟ;

Η ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΤΟΥ EINSTEIN
ΚΑΙ
Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΙΤΙΟΤΗΤΑΣ
ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ
Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΕΝΟΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ
ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΜΗΝ ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ
ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΣΤΟ ΚΕΝΟ.

NATURE

2000 Jul 20;406(6793):277-9.

Gain-assisted superluminal light propagation

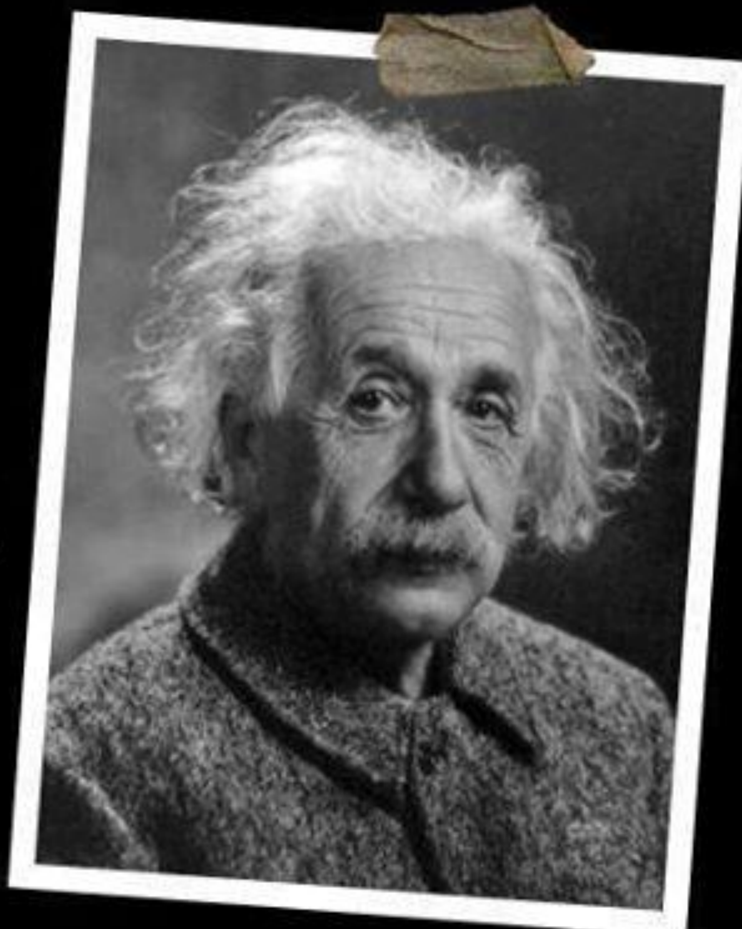
Wang LJ, Kuzmich A, Dogariu A.

Einstein's theory of special relativity and the principle of causality imply that the speed of any moving object cannot exceed that of light in a vacuum. Nevertheless, there exist various proposals for observing faster-than-c propagation of light pulses, using anomalous dispersion near an absorption line, nonlinear and linear gain lines, or tunnelling barriers. Here we use gain-assisted linear anomalous dispersion to demonstrate superluminal light propagation in atomic caesium gas.

The **group velocity** of a laser pulse in this region **exceeds c** and **can even become negative**, while the shape of the pulse is preserved. A light pulse propagating through the atomic vapour cell appears at the exit side so much earlier than if it had propagated the same distance in a vacuum that the peak of the pulse appears to leave the cell before entering it. The observed superluminal light pulse propagation is not at odds with **causality**, being a direct consequence of classical interference between its different frequency components in an anomalous dispersion region.

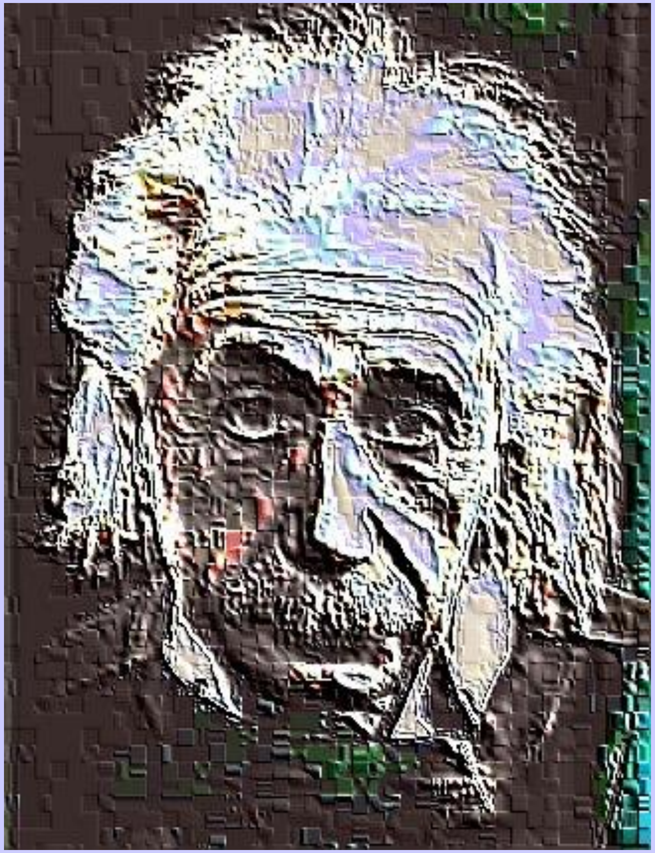
"Education is not the learning of facts, but the training of the mind to think."

-Albert Einstein

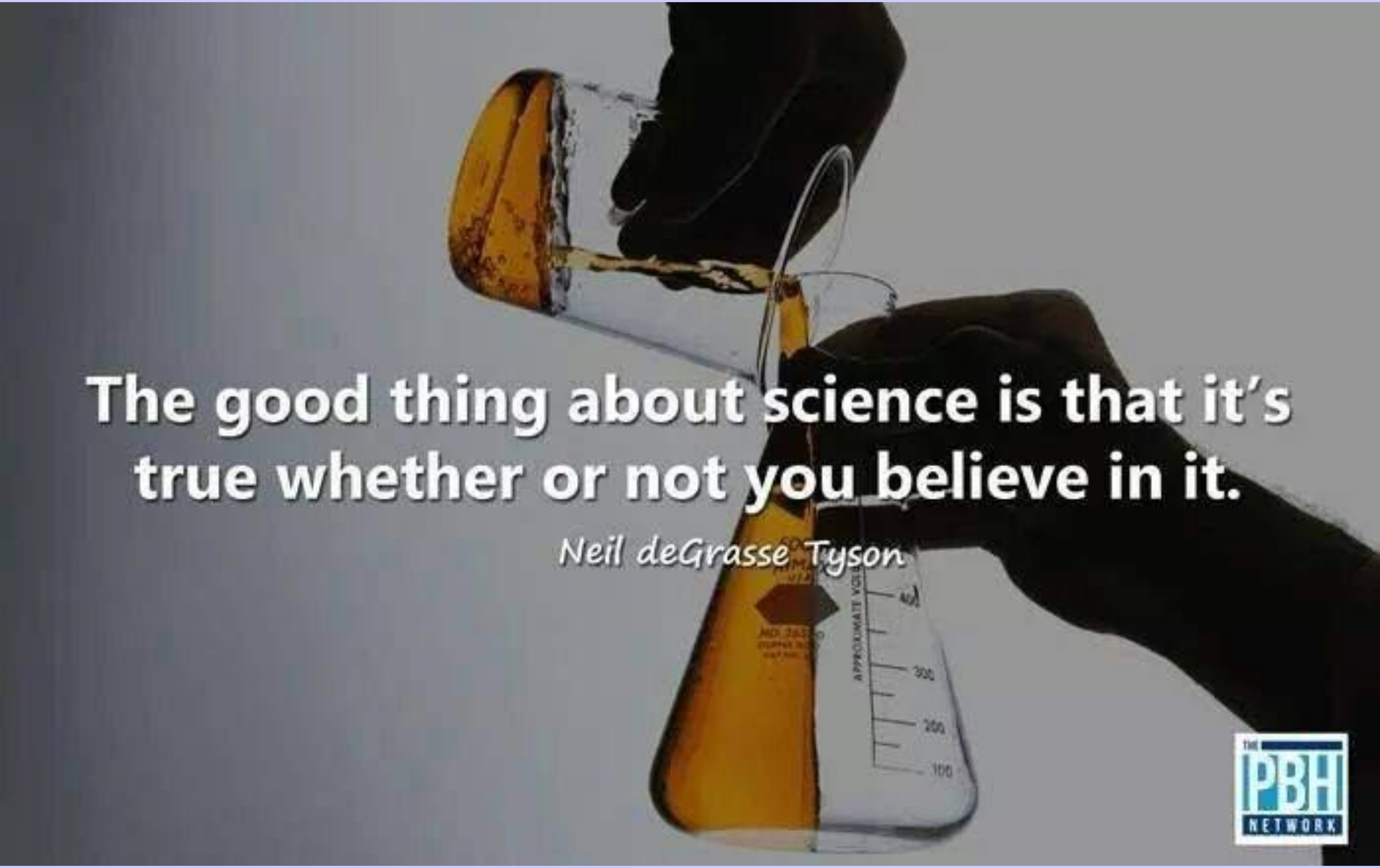


ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ!

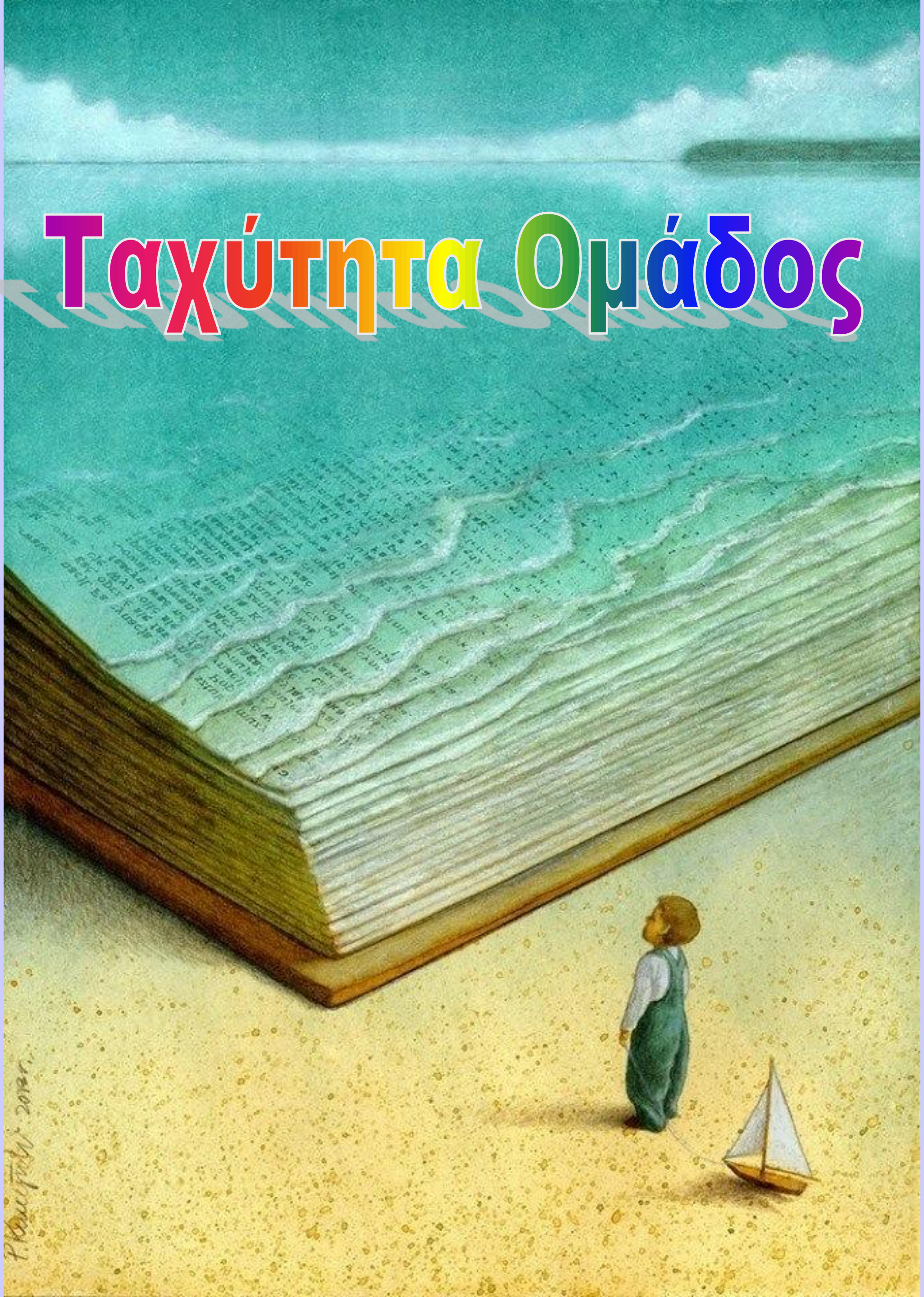
"Σαχ και ματ
κάνει πάντα η
Πραγματικότητα",
έτσι όπως το΄γραψε ο
Ν.Καρούζος.



$$\text{ΕΓΩ} = \frac{1}{\text{ΓΝΩΣΗ}}$$


The good thing about science is that it's
true whether or not you believe in it.
Neil deGrasse Tyson
THE PBH NETWORK

Ταχύτητα Ομάδος



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών, Κωνσταντίνος Ευταξίας 2015. «Εισαγωγή στην Κυματική. Ομαδική ταχύτητα». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: http://opencourses.uoa.gr/courses/PHYS11/

Σημείωμα Αδειοδότησης

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Οι Εικόνες, τα Σχήματα, τα Διαγράμματα και οι Φωτογραφίες που χρησιμοποιούνται στο παρόν έργο αποτελούν αντικείμενο πνευματικής ιδιοκτησίας (copyright)