

ΓΙΑ ΝΑ ΕΙΣΑΙ ΣΕ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ

ΚΙΝΕΙΣΑΙ!

ΚΥΜΑΤΙΚΗ

1. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Κωνσταντίνος Ευταξίας, Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής Ε.Κ.Π.Α

<http://users.uoa.gr/~ceftax/>

ceftax@phys.uoa.gr

Η ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ

ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΤΗ

ΤΗ ΓΝΩΣΗ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΜΕ ΝΑ ΔΙΔΑΧΤΟΥΜΕ

ΚΑΙ ΠΑΡΟΝΟΜΑΣΤΗ

ΤΗ ΓΝΩΣΗ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΕΙ

ΣΥΝΕΧΩΣ ΜΙΚΡΑΙΝΕΙ!

Προσδοκία
αυτής της σειράς των διαλέξεων είναι
να υποδείξει
έναν οδηγό μελέτης
για την προσέγγιση των
κυματικών φαινομένων.

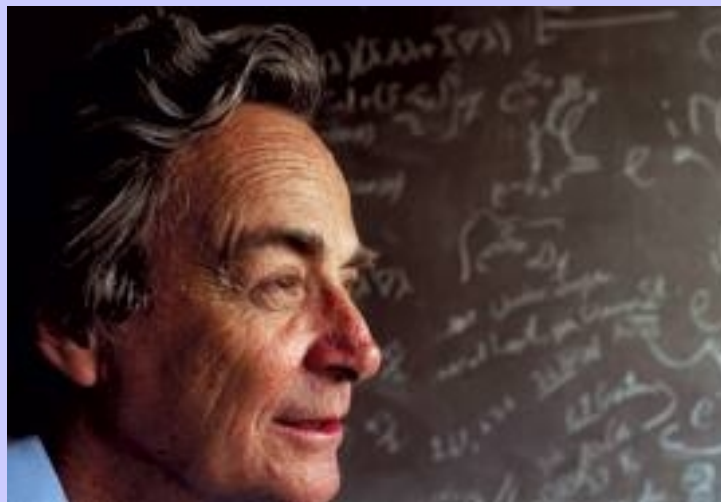
Η πρώτη διάλεξη προσπαθεί να
προσεγγίσει την έννοια του
ΚΥΜΑΤΟΣ.

Θα προσπαθήσουμε η μικρή διαδρομή μας να
είναι εννοιολογικά μια
ΑΥΤΟ-ΟΜΟΙΑ ΣΜΙΚΡΥΝΣΗ
της μεγάλης πορείας που ακολούθησε η Φυσική.

Θα προσπαθήσουμε να χρησιμοποιήσουμε τα
βασικά εργαλεία που χρησιμοποιεί η Φυσική
για την χαρτογράφηση άγνωστων περιοχών:

ΤΗΝ ΑΜΦΙΣΒΗΤΗΣΗ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ
ΕΙΝΑΙ
Η ΠΙΣΤΗ
ΣΤΗΝ ΑΓΝΟΙΑ ΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΩΝ»



Richard Feynman

ΤΟΝ ΕΡΩΤΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΑΡΑΔΟΞΟ

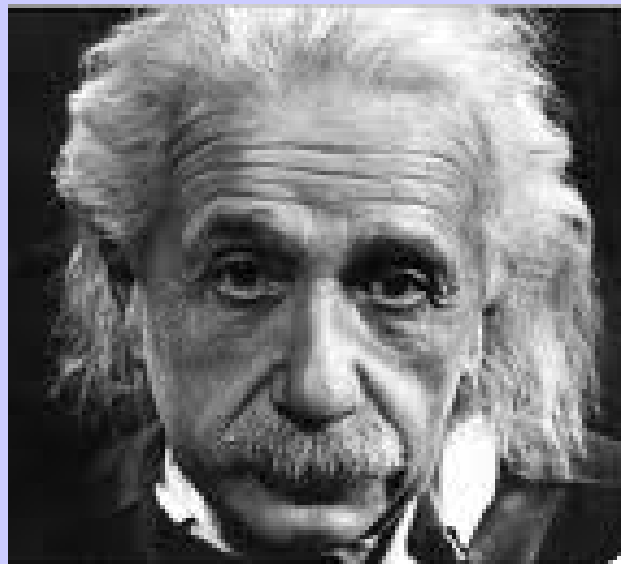
Τι ευτυχία
που συναντήθηκαμε με το παράδοξο!
Τώρα υπάρχει ελπίδα
ότι θα προχωρήσουμε μπροστά.



Niels Bohr

ΤΗ ΜΗ ΑΠΟΡΙΨΗ ΤΗΣ ΕΞΩΦΡΕΝΙΚΗΣ ΠΡΟΤΑΣΗΣ

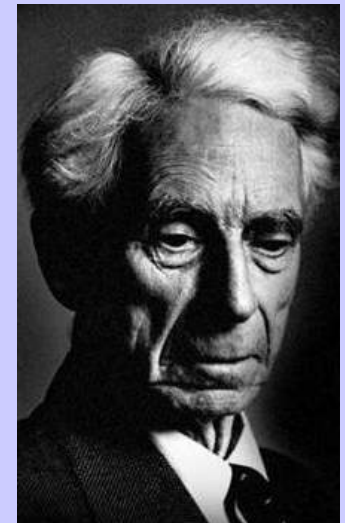
Όποια ιδέα δεν ακουγεται από την αρχή
εξωφρενική
είναι καταδικασμένη.



ΤΗΝ ΑΜΦΙΒΟΛΙΑ

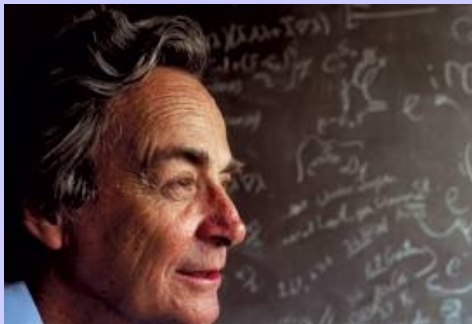
«ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΙΝΑΙ ΟΤΙ
ΑΝΟΗΤΟΙ ΚΑΙ ΦΑΝΑΤΙΚΟΙ
ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΤΑ ΒΕΒΑΙΟΙ ΜΕ ΤΟΝ ΕΑΥΤΟ ΤΟΥΣ
ΕΝΩ ΣΟΦΟΙ ΑΝΘΡΩΠΟΙ
ΕΙΝΑΙ ΓΕΜΑΤΟΙ ΑΠΟ ΑΜΦΙΒΟΛΙΕΣ»

B. Russel



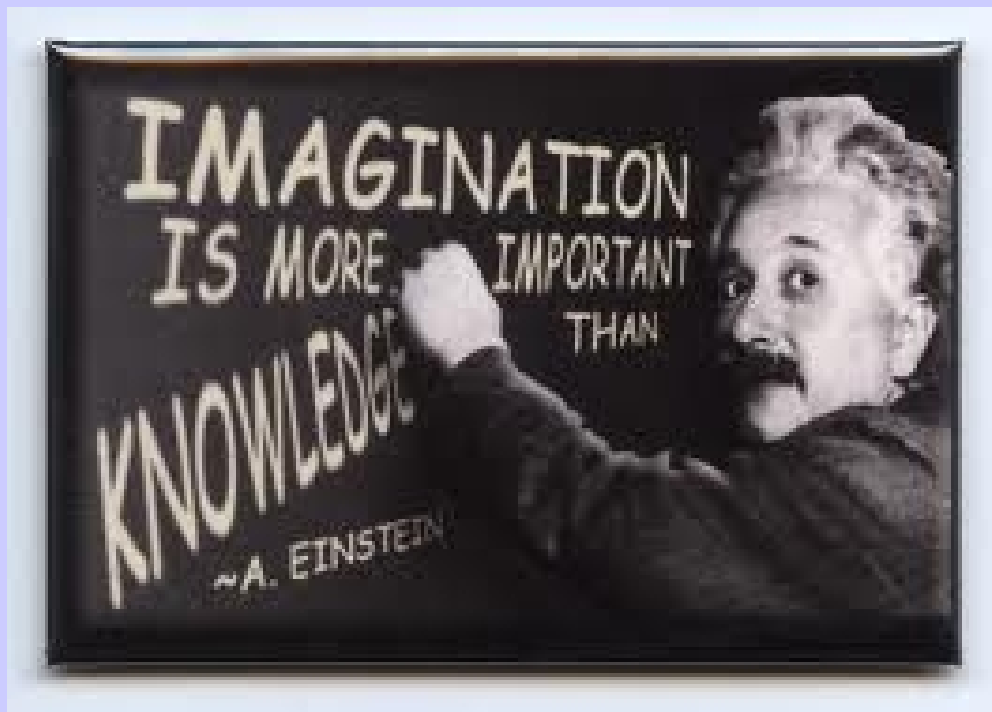
ΤΗΝ ΑΜΦΙΒΟΛΙΑ

«Έχουμε ευθύνη να διδάξουμε τον τρόπο
με τον οποίο
η αμφιβολία θα πάψει να προκαλεί φόβο,
αλλά να είναι
καλοδεχούμενη και αντικείμενο συζήτησης»



Richard Feynman

ΤΗ ΦΑΝΤΑΣΙΑ



Η ΣΤΙΓΜΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ ΜΕ
ΤΗΝ ΑΜΦΙΣΒΗΤΗΣΗ
ΤΗΝ ΑΜΦΙΒΟΛΙΑ
ΤΟ ΕΞΩΦΡΕΝΙΚΟ
ΜΑΣ ΩΘΕΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ
ΟΤΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΑΜΕ ΤΗΝ ΓΝΩΣΗ ΜΑΣ
ΚΑΙ ΟΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΡΑΜΦΙΣΟΥΜΕ
ΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΠΟΥ ΜΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΕΙ
ΓΙΑ ΝΑ ΓΝΩΡΙΣΟΥΜΕ ΝΕΟΥΣ ΚΟΣΜΟΥΣ.



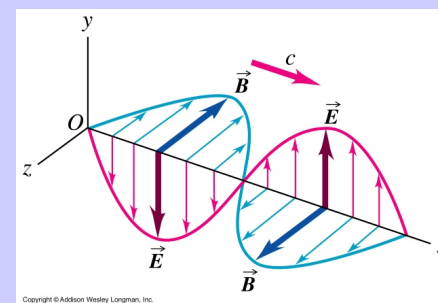
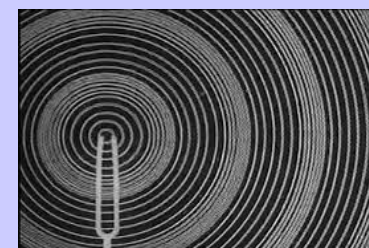
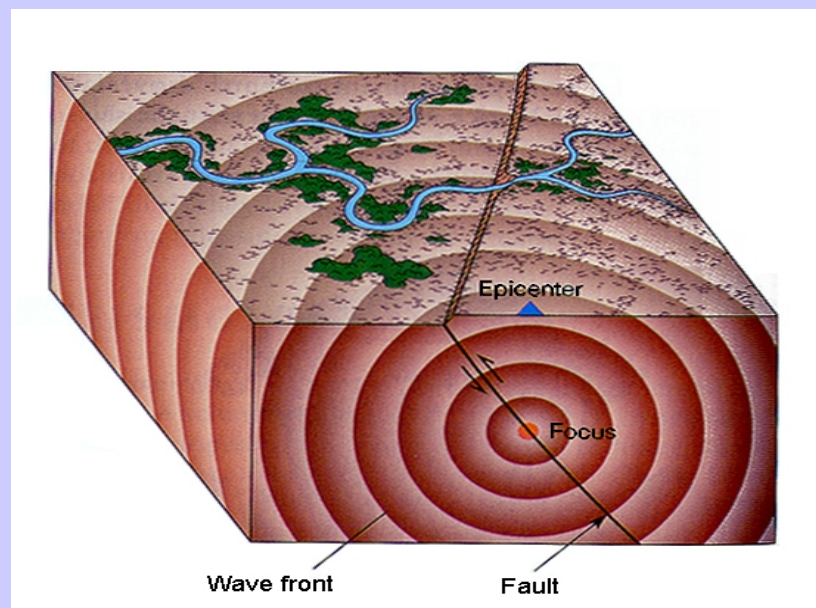
Η ΠΡΟΣΔΟΚΙΑ ΕΙΝΑΙ
ΟΧΙ ΝΑ ΠΕΡΙΓΡΑΨΟΥΜΕ
ΤΑ ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ
ΑΛΛΑ
ΝΑ ΤΑ ΑΝΑΚΑΛΥΨΟΥΜΕ
ΝΑ ΚΑΤΑΝΟΗΣΟΥΜΕ
ΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥΣ
ΚΑΙ ΤΙΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ
ΠΟΥ ΘΑ ΠΡΟΕΚΥΠΤΑΝ
ΑΝ Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥΣ
ΗΤΑΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ.

Κύματα λοιπόν!

Η φυσική είναι πλημμυρισμένη από κύματα!

Κύματα διαδίδονται σε όλες τις καταστάσεις της ύλης.

Κύματα διαδίδονται ακόμη και στο κενό.

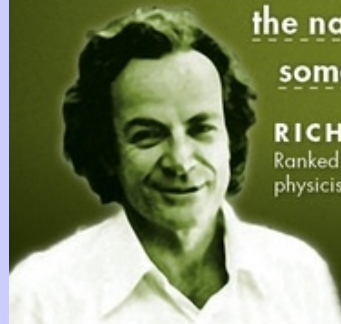


ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;

✱ Θα πρέπει να μάθουμε να ζούμε
και χωρίς πρόωρους ορισμούς!



»YOU CAN KNOW the name
of a bird in all the languages of the world,
but when you're finished, you'll know
absolutely nothing whatever about the bird.
So let's look at the bird and see what it's
doing — that's what counts. I learned very
early the difference between knowing
the name of something and knowing
something.«



RICHARD P. FEYNMAN

Ranked as one of the ten greatest
physicists of all time

1. ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΔΙΝΟΥΜΕ ΟΝΟΜΑΤΑ

σε πράγματα που καταλαβαίνουμε
αλλά και σε πράγματα που δεν καταλαβαίνουμε!

Ένας από τους στόχους μας πρέπει να είναι
να αυξήσουμε την ικανότητά μας
να διακρίνουμε
μεταξύ αυτών που ονοματίζουμε
ποια καταλαβαίνουμε και ποια δεν καταλαβαίνουμε.

2. ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΕΝΝΟΙΕΣ ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ ΚΑΤΑΝΟΗΣΕΙ ΓΙΑΤΙ ΤΙΣ ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΚΑΙ ΓΙΑΤΙ ΔΕΝ ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ!

ΓΙΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ...

Διαβάζουμε συχνά ότι διακρίνουμε τις δυνάμεις
που ασκούνται σε ένα σώμα σε
ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ και σε **ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΠΑΦΗΣ**.
Αισθησιακές έννοιες, όπως **επαφή**,
δεν έχουν νόημα στη Φυσική.

Οι δυνάμεις είναι αλληλεπιδράσεις
και αυτές γίνονται πάντα από μακριά.

ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΠΑΦΗΣ!

Η ΦΥΣΙΚΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΤΙΚΗ!

Διαβάζουμε συχνά προτάσεις σαν τις ακόλουθες:

Η χημική ενέργεια
που είναι αποταμιευμένη σε μια μπαταρία μετατρέπεται
σε
ηλεκτρική ενέργεια.

Το δυναμό ενός ποδηλάτου μετατρέπει
την κινητική ενέργεια
σε
ηλεκτρική ενέργεια.

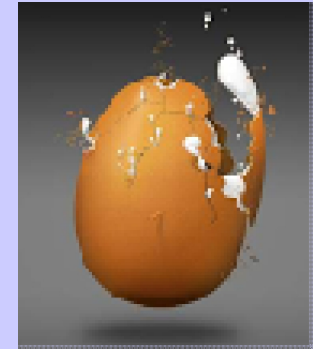
Ποιός είναι ο ορισμός της ηλεκτρικής ενέργειας;

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΜΗ;

Ορίζεται ότι είναι το αίτιο που προκαλεί
μεταβολή στην κινητική κατάσταση των σωμάτων
ή τα παραμορφώνει!



Κάτι δεν πάει καλά!
Δεν μιλάμε για το τι είναι
αλλά για τα αποτελέσματα του είναι!



ΑΥΤΟΙ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ!

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ;

Με την ίδια λογική του ορισμού της δύναμης,
ΗΜ κύμα είναι το αίτιο
που όταν πέφτει στην τηλεόραση και στο ραδιόφωνο
τα κάνει να παίζουν!

Είναι το αίτιο που όταν πέσει στο μάτι μου βλέπω!

ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΕΝΝΟΙΕΣ
ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ
ΚΑΤΑΝΟΗΣΕΙ
ΓΙΑΤΙ ΤΙΣ ΟΡΙΖΟΥΜΕ
ΚΑΙ ΓΙΑΤΙ ΔΕΝ ΟΡΙΖΟΥΜΕ
ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ!

ΓΙΑΤΙ ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ:

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΚΑΙ

ΟΡΜΗ;

Έχετε κατανοήσει γιατί
έγινε η διδασκαλία τους;

Γιατί δεν ρωτήσατε;

ΓΙΑΤΙ ΔΕΝ ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΚΑΙ ΑΛΛΑ;

Γιατί δεν ρωτήσατε;

Πως είναι δυνατό να κατανοηθεί κάτι
χωρίς την κανόηση γιατί ορίστηκε;

ΓΙΑΤΙ ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΤΗΝ ΟΡΜΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ;

ΥΠΟΨΙΑ!

ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΞΕΛΙΣΣΟΝΤΑΙ
ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΚΑΙ ΤΟ ΧΡΟΝΟ.

ΑΝΑΛΟΓΑ ΠΟΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗ ΓΝΩΡΙΖΩ
ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΩ ΤΟ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ
ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΟΥ Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΘΑ
ΦΑΝΕΡΩΣΕΙ ΕΜΜΕΣΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥΣ.

$$\Delta \vec{P} = \int_0^t \vec{F}(t) dt \quad \text{ΧΡΟΝΟΣ}$$

$$\Delta K = \int_c \vec{F}(\vec{r}) d\vec{r} \quad \text{ΧΩΡΟΣ}$$

ΔΕΝ ΘΑ ΕΞΕΚΙΝΗΣΟΥΜΕ ΜΕ ΤΟΝ
ΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ.
ΘΑ ΤΟΝ ΚΤΙΖΟΥΜΕ ΣΙΓΑ ΣΙΓΑ.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ; ΜΑΚΡΟΚΟΣΜΟΣ

Δεν θα υπήρχε ίσως δυσκολία ορισμού
εάν περιορίζαμε την έννοια του κύματος
στον μακρόκοσμο και στην κλασσική φυσική.

Στον ΜΑΚΡΟΚΟΣΜΟ

η έννοια του κύματος περιέχει
ως μέρος της εσωτερικής της δομής
διαισθητικά και εμπειρικά
χαρακτηριστικά
που βοηθούν τη διατύπωση ορισμού.

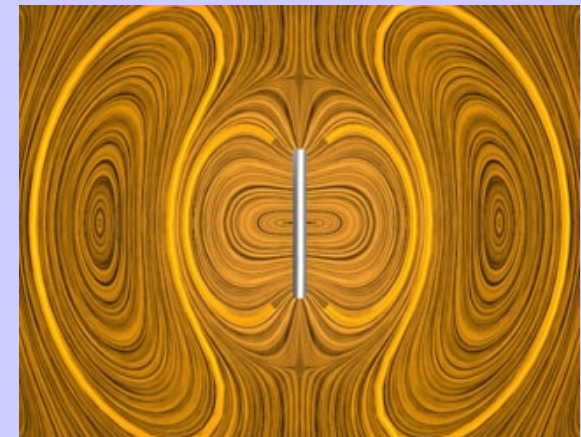
ΜΠΟΡΟΥΜΕ ΝΑ ΔΙΑΚΡΙΝΟΥΜΕ
ΚΟΙΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΣΕ ΟΤΙ ΑΠΟΚΑΛΟΥΜΕ ΚΥΜΑΤΑ
ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ
ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥΣ;

ΝΑΙ!

1^ον ΥΠΑΡΕΧ ΕΣΤΙΑΣ
ΠΟΥ ΔΙΑΤΑΡΑΣΣΕΙ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
(ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΟΡΜΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ)

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;

2^ον ΥΠΑΡΕΧ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΩΝ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ
ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ
(ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ)
ΠΟΥ ΔΕΝ ΣΥΝΟΔΕΥΕΤΑΙ ΑΠΟ
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΛΗΣ.



Η ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΚΑΙ Η ΔΙΑΙΣΘΗΣΗ ΟΔΗΓΕΙ

σε αναγνώριση αυτής της κοινής
εννοιολογικής μήτρας που επάγει
όλα τα κύματα στον μακρόκοσμο.

Σε όλα τα κύματα διακρίνουμε
την ύπαρξη των δύο κοινών αυτών
χαρακτηριστικών:

ΤΑ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;

ΠΡΟΣΦΟΡΑ
ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΤΑΓΟΝΕΣ
ΔΙΑΔΟΣΗ
ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ

ΠΡΟΣΦΟΡΑ
ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΑΠΟ ΤΑ
ΕΠΙΤΑΓΧΥΝΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ
ΣΤΟ ΔΙΠΟΛΟ
ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ

ΠΩΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΤΑΙ Η ΔΙΑΔΟΜΕΝΗ
ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ;
ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ
ΦΥΣΙΚΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ Φ
ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΤΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ
ΚΑΙ ΤΗ ΓΝΩΣΗ ΤΟΥ Φ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΗΜΕΙΟΥ ΤΟΥ
ΧΩΡΟΥ ΚΑΘΕ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ.

Πρέπει να γνωρίζουμε την εξίσωση του κύματος:

$$\Phi (x, y, z, t)$$

όπου

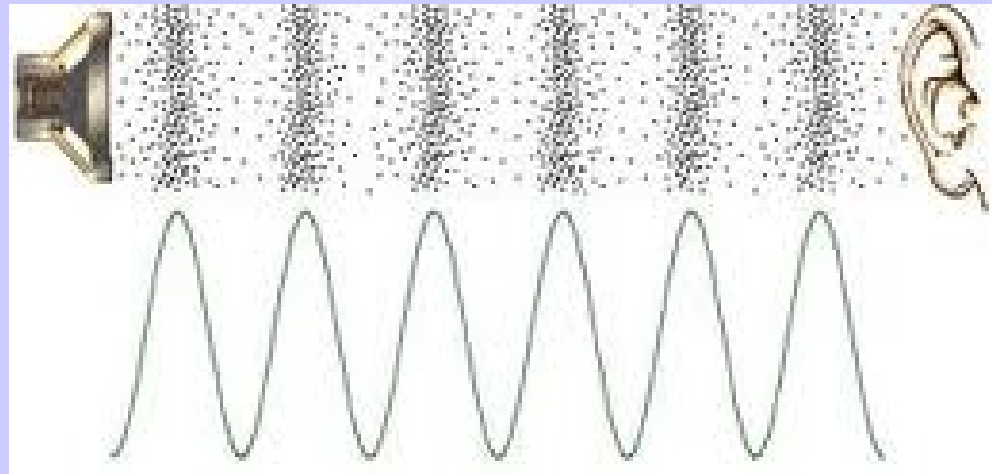
$$\Phi (x, y, z, t_{\text{πριν απο τη διαταραχή}}) = \Phi_0 = \text{const.}$$

ΠΩΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΤΑΙ Η ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ;



Η κατακόρυφη απομάκρυνση $H(x, y, t)$ του νερού
σε κάθε σημείο (x, y) της επιφάνειας της λίμνης
κάθε χρονική στιγμή t
προσφέρει μια κατάλληλη
περιγραφή της διαταραχής.
Πριν από τη διαταραχή είναι
 $H(x, y, t_{\text{πριν από τη διαταραχή}}) = 0$

ΠΩΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΤΑΙ Η ΔΙΑΔΟΜΕΝΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ;



Πρίν από την εκπομπή του ηχείου,
η πίεση ήταν σε όλα τα σημεία σταθερή,
ίση με την ατμοσφαιρική $P_{ατμ}$.
Μετά την εκπομπή, έχουμε σημεία όπου
η πίεση είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη της $P_{ατμ}$.
Το φυσικό μέγεθος

$$\Delta P(x, y, z, t) = P(x, y, z, t) - P_{ατμ}$$

είναι ένα κατάλληλο μέγεθος
για την περιγραφή της διαταραχής που έχει προκληθεί.



ΤΙ ΘΕΛΟΥΜΕ
ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ;
ΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ
ΑΚΡΙΒΟΥΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ!

ΕΝΑΣ ΦΥΣΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ
ΤΗΣ ΚΛΑΣΣΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΜΙΑ ΑΚΡΙΒΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ
ΤΟΥ ΤΙ ΘΑ ΣΥΜΒΕΙ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ.

ΑΝΑΖΗΤΟΥΜΕ ΤΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΣΧΕΣΗ
ΠΟΥ ΘΑ ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΤΗ
ΓΝΩΣΗ-ΠΡΟΒΛΕΨΗ
ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ
ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΤΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ
 $\Phi(x, y, z, t)$

(ΕΞΙΣΩΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ)
ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ
ΚΑΘΕ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ
ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ
ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ.



**ΙΣΩΣ ΝΑ ΔΙΑΙΣΘΑΝΕΣΤΕ
ΟΤΙ ΚΑΤΙ ΛΕΙΠΕΙ ΣΤΟΝ ΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ!**

ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΤΑ ΕΦΙΚΤΗ Η ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ;
Η ΔΙΑΙΣΘΗΣΗ ΜΑΣ ΛΕΕΙ ΟΧΙ!

Η διαίσθηση μας λέει ότι δεν θα μπορέσουμε να διαμορφώσουμε τη σχέση $H(x, y, t)$ που θα δίνει τη κατακόρυφη απομάκρυνση κάθε σημείου της θάλασσας κάθε χρονική στιγμή στην περίπτωση διάδοσης του βίαιου “κύματος” που απεικονίζει η εικόνα.



ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΤΑ ΕΦΙΚΤΗ Η ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ;
Η ΔΙΑΙΣΘΗΣΗ ΜΑΣ ΛΕΕΙ ΟΧΙ!



ΟΙ ΒΙΑΙΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ
ΚΑΙ
ΟΙ ΕΠΑΓΩΜΕΝΕΣ ΒΙΑΙΕΣ ΔΙΑΔΟΣΕΙΣ
ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ!

ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΤΑ ΕΦΙΚΤΗ
Η ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ;
Η ΔΙΑΙΣΘΗΣΗ ΜΑΣ ΛΕΕΙ ΟΧΙ!

Αν σκάσει μια βόμβα, η διαίσθηση μας λέει
ότι δεν θα μπορέσουμε να διατυπώσουμε τη σχέση
$$\Delta P(x, y, z, t) = P(x, y, z, t) - P_{\text{ατμ}}$$

που περιγράφει τη διάδοση της διαταραχής,
του ηχητικού “κύματος”.



**ΟΙ ΒΙΑΙΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ
ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΑΓΩΜΕΝΕΣ ΒΙΑΙΕΣ ΔΙΑΔΟΣΕΙΣ
ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ!**

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ
ΕΙΝΑΙ ΟΙ **ΗΠΙΕΣ** ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ!

ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΤΑ ΕΦΙΚΤΗ
Η ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ
ΗΠΙΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ
Η ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ
 $\Phi(x, y, z, t);$

ΚΑΙ ΑΥΤΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΒΕΒΑΙΟ!

ΓΙΑ ΝΑ ΠΕΤΥΧΟΥΜΕ ΤΗΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΚΑΙ ΤΩΝ ΗΠΙΩΝ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΠΡΟΣΔΙΔΟΥΜΕ ΣΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΧΕΙ.

**ΑΝΑΦΕΡΟΜΑΣΤΕ ΣΕ
ΠΡΟΤΥΠΑ
ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ!**

«ΑΝ ΔΕΝ ΘΗΤΕΥΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΥΤΟΠΙΑ
ΔΕΝ ΜΠΟΡΕΙΣ ΝΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΕΙΣ ΤΗΝ
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ»

Η ΦΥΣΗ ΟΜΩΣ ΔΕΝ ΧΑΡΙΖΕΤΑΙ!

**ΕΧΕΙ ΤΙΜΗΜΑ
Η ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ!**

ΕΧΕΙ ΤΙΜΗΜΑ
Η ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ!

ΕΙΝΑΙ ΑΝΑΓΚΗ ΝΑ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΜΕ
ΜΕ ΣΑΦΗΝΕΙΑ
ΠΟΙΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΜΕΛΕΤΗ
ΠΟΙΕΣ «ΕΞΩΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ» ΤΟΥ ΔΙΝΟΥΜΕ.

ΕΙΝΑΙ ΑΝΑΓΚΗ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΟΥΜΕ
ΟΤΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ.

ΚΑΜΙΑ ΦΟΡΑ ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΑΜΕ
ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ ΝΑ ΥΠΑΡΧΟΥΝ
ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ!

ΤΟΤΕ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΠΑΡΑΔΟΞΑ!
ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΚΑΘΟΛΟΥ ΠΑΡΑΔΟΞΑ!



ΓΙΑΤΙ ΚΑΤΑΦΕΥΓΟΥΜΕ
ΣΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ;

ΔΕΝ ΘΑ ΑΠΟΦΑΣΙΖΑΜΕ
ΝΑ ΠΕΡΑΣΟΥΜΕ
ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΕΦΥΡΑ
ΑΝ ΔΕΝ ΕΙΧΕ ΤΑ
ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ
ΣΤΙΣ ΑΚΡΕΣ ΤΗΣ.
ΟΤΑΝ ΥΠΑΡΧΟΥΝ
ΤΗ ΔΙΑΣΧΙΖΟΥΜΕ
ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΚΡΑΤΙΟΜΑΣΤΕ
ΑΠΟ ΤΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ.
ΣΚΕΦΤΕΙΤΕ ΤΟ.



ΕΛΠΙΖΟΥΜΕ
ΟΤΙ ΘΑ
ΥΠΑΡΕΟΥΝ ΓΕΦΥΡΕΣ
ΠΟΥ ΘΑ ΜΑΣ
ΜΕΤΑΦΕΡΟΥΝ
ΑΠΟ ΤΗΝ
ΟΥΤΟΠΙΑ
(ΠΡΟΤΥΠΑ)
ΣΤΗΝ
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ή
Η ΜΕΛΕΤΗ
ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ
ΘΑ ΕΙΝΑΙ Η ΓΕΦΥΡΑ.

ΗΠΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΜΩΣ ΗΠΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ;

Αν κάτι

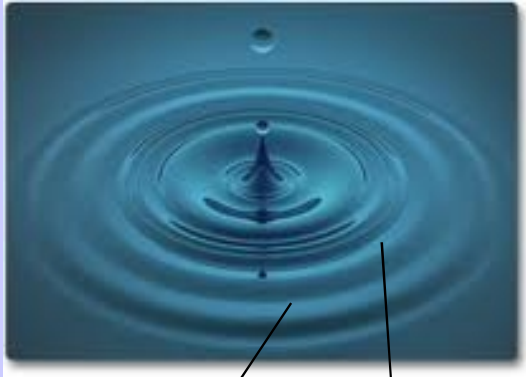
δεν μπορεί να περιγραφεί

με μαθηματικούς όρους

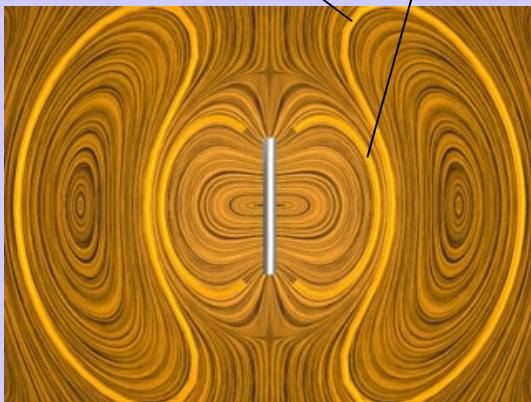
δεν υπάρχει.



ΗΠΙΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ



ΙΣΟΦΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ



ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΗΠΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ;

Μια διαταραχή λογίζεται ως ήπια όταν:

1^{ον}



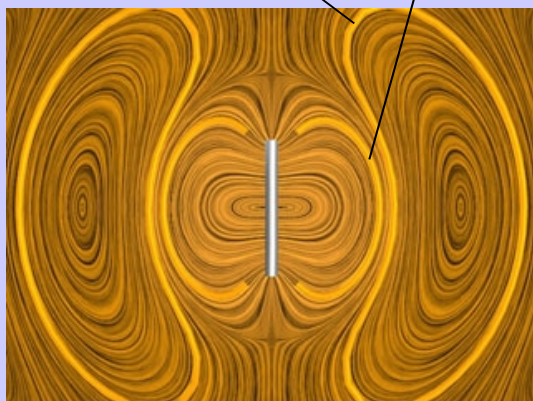
Μπορούμε να διακρίνουμε
ΙΣΟΦΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ:
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΟΜΑΛΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ,
 S ,
που συνιστούν
γεωμετρικό τόπο σημείων του χώρου,
όπου το φυσικό μέγεθος, Φ ,
που περιγράφει τη διαταραχή
έχει την ίδια τιμή
μια δεδομένη χρονική στιγμή t .
 $\Phi_s(x, y, z, t) = \text{const.}$



ΗΠΙΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ



ΙΣΟΦΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ



ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΗΠΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ;



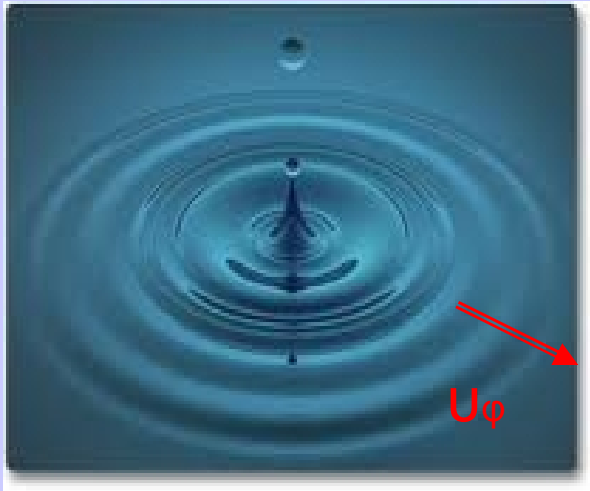
2^{ον}

Μπορούμε να ορίσουμε
«ΤΑΧΥΤΗΤΑ» διάδοσης
των νοητών ισοφασικών επιφανειών,
ΤΗ «ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ»

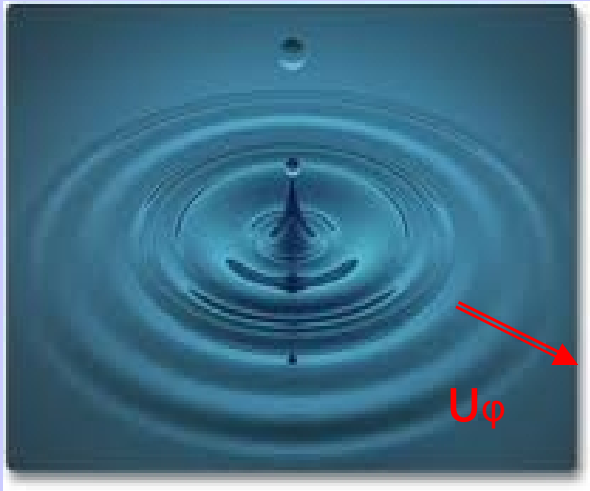
v_ϕ ,
διάδοσης του κύματος.



ΟΙ ΙΣΟΦΑΣΙΚΕΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ
διαδίδονται
με τη
φασική ταχύτητα.



Η δυνατότητα διάκρισης ισοφασικών επιφανειών
και ορισμού της ταχύτητας διάδοσής τους
είναι αυτή που καθιστά όχι μόνο
ΔΥΝΑΤΗ αλλά και **ΕΠΩΦΕΛΗ**
τη γνώση της διαταραχής $\Phi(x, y, z, t)$
σε κάθε σημείο του χώρου κάθε χρονική στιγμή.
Έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα
Η διάκριση ισοφασικών επιφανειών:
ΟΜΑΔΟΠΟΙΕΙ ΤΑ ΑΠΕΙΡΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ.



Εάν η διαταραχή ήταν διαφορετική από σημείο σε σημείο,
τότε και αν ακόμη ήταν δυνατή η γνώση της $\Phi(x, y, z, t)$,
δεν θα ήταν δυνατή

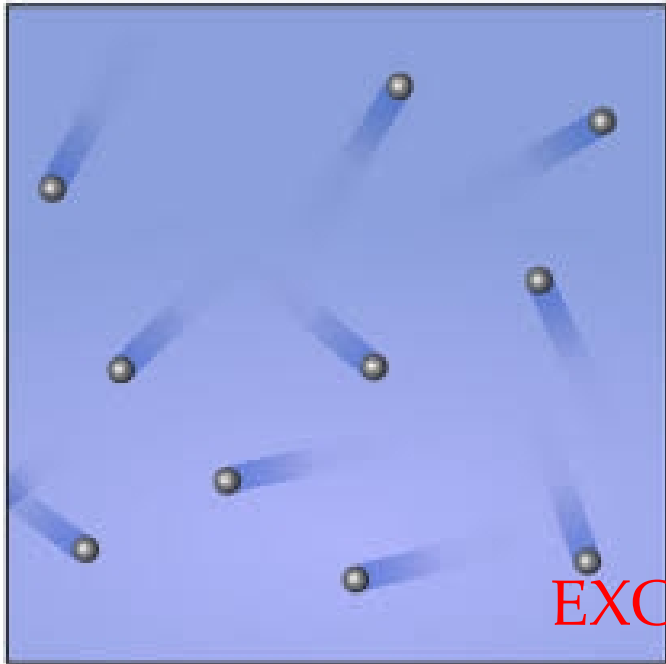
η συγκράτηση στο μυαλό μας μιας «εικόνας»
που συνεχώς μεταβάλλεται με το χρόνο σε άπειρα σημεία.

Η ύπαρξη ισοφασικών επιφανειών

ΟΜΑΔΟΠΟΙΕΙ

τα άπειρα σημεία του χώρου
ενώ η ύπαρξη και φασικής ταχύτητας
κάνει δυνατή την εύρεση και κατανόηση της $\Phi(x, y, z, t)$.

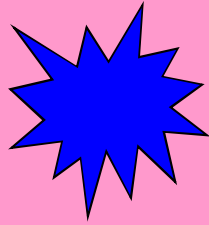
!



ΕΧΟΥΜΕ ΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΑΔΥΝΑΜΙΩΝ ΜΑΣ!

Στη φυσική δεν επιδιώκουμε πολλές φορές το ιδανικό!
Το ιδανικό στη γνώση της κατάστασης του αερίου
θα ήταν να γνωρίζουμε
την ταχύτητα κάθε μορίου κάθε χρονική στιγμή!
ΔΕΝ ΕΠΙΔΙΩΚΟΥΜΕ
αυτή τη γνώση, θα ήταν άχρηστη ακόμη και αν
μπορούσαμε να την κατακτήσουμε!

Η ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ



ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ

ΠΑΡΑΞΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ!

ΟΙ ΙΣΟΦΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ
ΕΙΝΑΙ
ΝΟΗΤΕΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ!
Η ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΣΥΝΕΠΩΣ
ΜΙΑ «ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ»,
Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΕΝΟΣ
ΥΛΙΚΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ.
ΕΙΝΑΙ ΜΙΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΟΝΤΟΤΗΤΑ
ΠΟΥ ΕΧΕΙ
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ!
ΔΕΝ ΘΑ ΤΗ ΔΕΙΤΕ ΠΟΤΕ ΣΑΝ ΑΝΥΣΜΑ.

Η ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΣΩΜΑΤΙΟΥ.
ΕΙΝΑΙ Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ
ΕΝΟΣ ΝΟΗΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ
ΤΩΝ ΝΟΗΤΩΝ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΙΣΟΦΑΣΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.

ΕΤΣΙ, Η ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΔΕΝ ΥΠΟΚΕΙΤΑΙ
ΣΤΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ
ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.

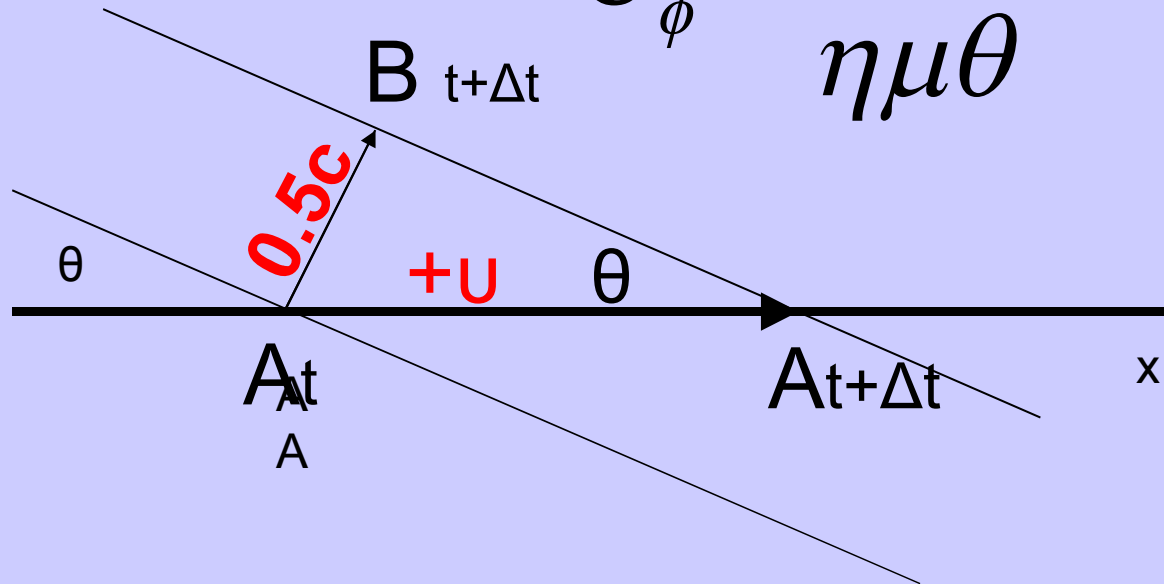
ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ
ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ.
ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΑΠΕΙΡΗ!

Μία ράβδος κινείται,
παραμένοντας παράλληλη προς εαυτήν,
σχηματίζοντας γωνία θ
με την επιφάνεια λίμνης.
Η ταχύτητα της είναι $0.5c$,
όπου c η ταχύτητα του φωτός.
Το σημείο A τομής της ράβδου
με την επιφάνεια της λίμνης
μπορεί να κινείται
ανάλογα με το πια είναι η γωνία θ
με ταχύτητα
μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός.

$$\eta\mu\theta = \frac{A_t B_{t+\Delta t}}{A_t A_{t+\Delta t}} \rightarrow \eta\mu\theta = \frac{0.5c}{U_\phi}$$

$$U_\phi = \frac{0.5c}{\eta\mu\theta}$$

ΤΟ ΝΟΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ Α
ΚΙΝΕΙΤΑΙ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ
ΓΙΑ ΜΙΚΡΕΣ ΓΩΝΙΕΣ θ !
ΠΕΙΡΑΖΕΙ;



Μπορούμε να φανταστούμε διευθετήσεις όπου
νοητά σημεία
κινούνται με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός στο κενό.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ



Η πηγή ακτίνας laser στρέφεται με μεγάλη ω . Το σημείο, που τέμνει η ακτίνα την επιφάνεια νοητής σφαίρας μεγάλης ακτίνας R , κινείται με ταχύτητα $v = \omega R$ που μπορεί να υπερβαίνει την c για μεγάλες τιμές ω και R .

ΓΙΑΤΙ
ΟΡΙΖΟΥΜΕ
ΕΝΝΟΙΕΣ
ΠΟΥ ΔΕΝ
ΕΧΟΥΝ
ΦΥΣΙΚΗ
ΟΝΤΟΤΗΤΑ;

Η ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΕΙΝΑΙ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΔΟΜΗΣΗΣ
ΤΗΣ

ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΟΜΑΔΑΣ

ΜΕ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΔΙΑΔΙΔΕΤΑΙ
Η ΟΡΜΗ
Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ
Η ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ.

ΘΥΜΗΘΕΙΤΕ
ΤΙΣ
«ΓΕΦΥΡΕΣ»

ΓΙΑΤΙ

Η ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΧΕΙ ΟΝΟΜΑΣΤΕΙ ΕΤΣΙ;

ΓΙΑΤΙ ΟΡΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΦΑΣΗ ΤΟΥ
ΑΡΜΟΝΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ.



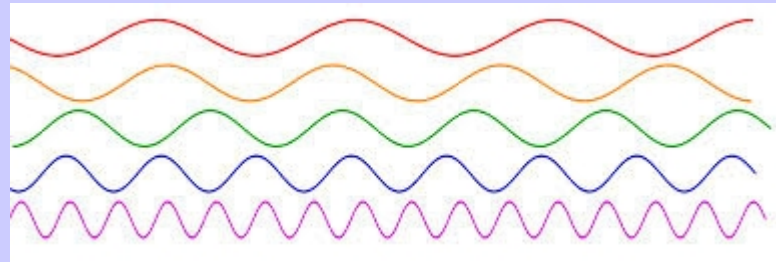
ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΤΟ ΑΡΜΟΝΙΚΟ ΚΥΜΑ

ΕΙΝΑΙ ΜΙΑ ΟΥΤΟΠΙΚΗ ΕΝΝΟΙΑ!



ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΡΜΟΝΙΚΟ ΚΥΜΑ;

$$y(x, t) = A \eta \mu(\omega t - kx)$$



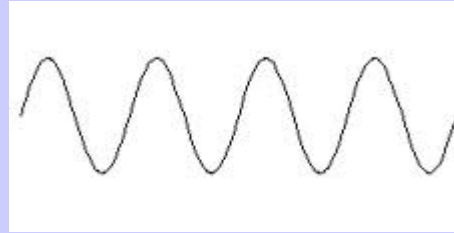
Ένα αρμονικό κύμα συχνότητας ν είναι περιοδικό με περίοδο $T = 1/\nu$.



Μια συνάρτηση είναι περιοδική αν είναι $f(t) = f(t+T)$ για ΚΑΘΕ t .

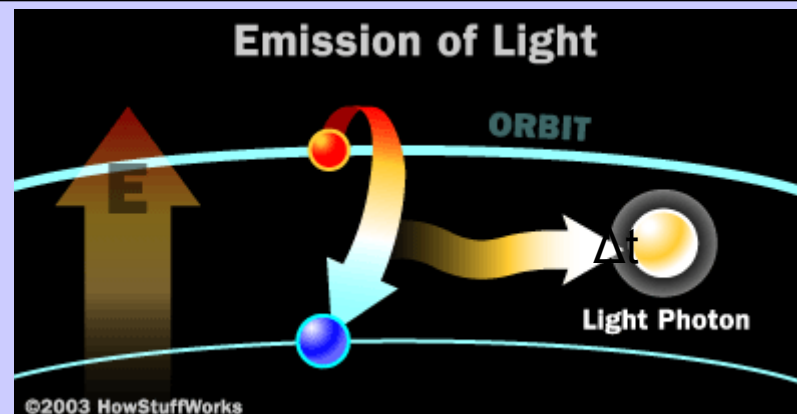
Το αρμονικό κύμα έχει συνεπώς
άπειρη χρονική διάρκεια
και απλώνεται σε άπειρη χωρική έκταση!

Τα αρμονικά κύματα είναι μαθηματικές οντότητες.
Στη φυσική πραγματικότητα
δεν υπάρχουν αρμονικά κύματα!



Δt

Στη φυσική πραγματικότητα τα κύματα έχουν πεπερασμένη χρονική διάρκεια και ο κυματοσυρμός κατά τη διάδοσή του καλύπτει περιορισμένη χωρική έκταση. Μπορούν να έχουν τοπική περιορισμένη χρονικά «αρμονική» εμφάνιση, και τότε όμως δεν είναι αρμονικά, δεν είναι περιοδικά, δεν χαρακτηρίζονται από μια συχνότητα!



ΓΙΑΤΙ
ΟΡΙΖΟΥΜΕ
ΤΑ ΑΝΥΠΑΡΚΤΑ
ΣΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΑΡΜΟΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ;

ΓΙΑΤΙ
ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΟΜΑΛΗ
ΚΑΙ
ΤΗΝ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΟΜΑΛΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ
ΜΕΛΕΤΑΜΕ ΤΙΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ;

ΟΥΤΟΠΙΑ  ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΟΥ FOURIER  ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ



ΓΙΑΤΙ
ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΓΕΦΥΡΕΣ
ΠΟΥ ΜΑΣ ΜΕΤΑΦΕΡΟΥΝ
ΑΠΟ ΤΗΝ
ΟΥΤΟΠΙΑ
ΣΤΗΝ
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.
Η ΓΕΦΥΡΑ ΕΔΩ ΕΙΝΑΙ
ΤΟ ΘΕΩΡΗΜΑ FOURIER.

Fourier

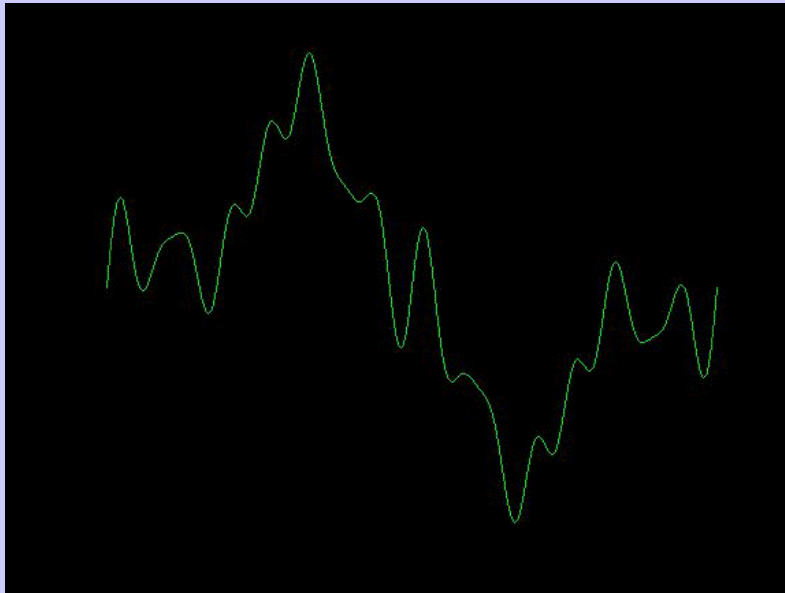
ΓΙΑΤΙ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ
«ΟΥΤΟΠΙΚΑ»
ΑΡΜΟΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ;

ΚΑΘΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ
ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟ ΝΑ ΠΑΡΑΧΘΕΙ ΩΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ
ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΠΕΙΡΩΝ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ.
ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ
ΜΕ ΤΟ ΘΕΩΡΗΜΑ FOURIER
ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟ ΝΑ ΒΡΟΥΜΕ
ΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ, ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ.

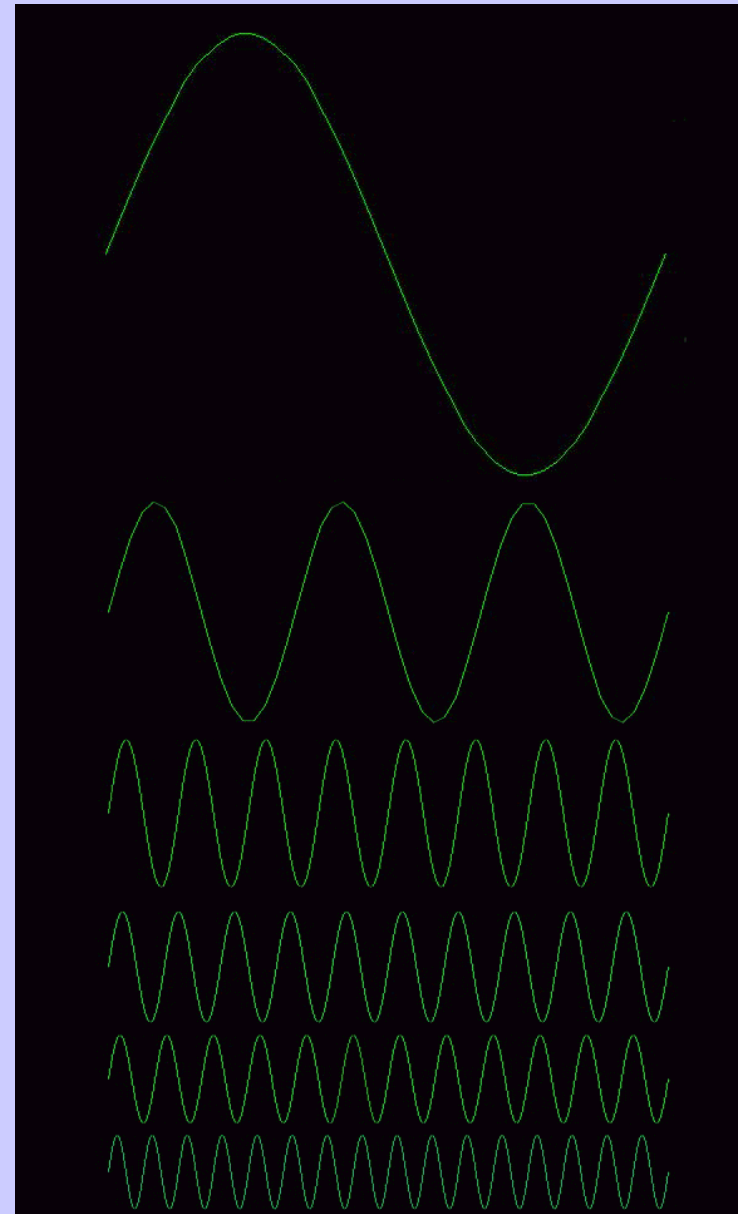


ΚΑΘΕ ΞΕΧΩΡΙΣΤΗ ΑΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ
ΕΧΕΙ ΤΗ ΞΕΧΩΡΙΣΤΗ ΔΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΣΕ ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ!
Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ
ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΔΑΚΤΥΛΙΚΟ ΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ!

Fourier



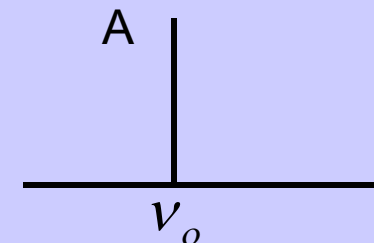
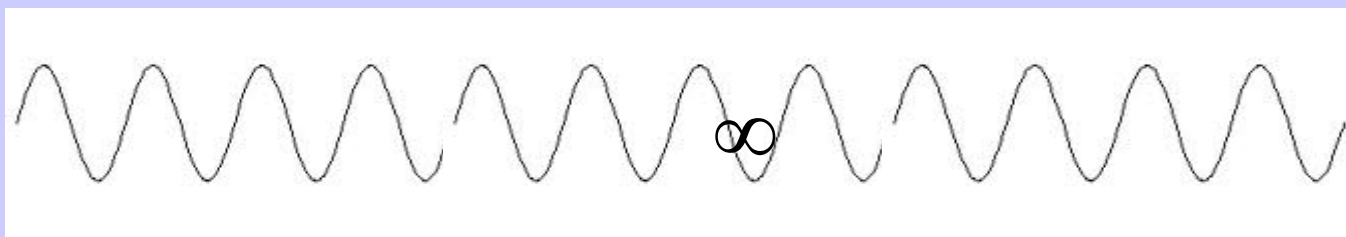
=



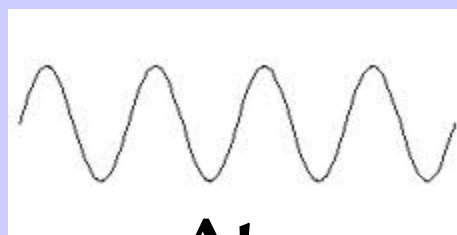
ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ
ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΚΦΡΑΣΤΕΙ
ΩΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ
ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ.
ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΚΑΘΕ ΜΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ
ΔΗΛΑΔΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ!



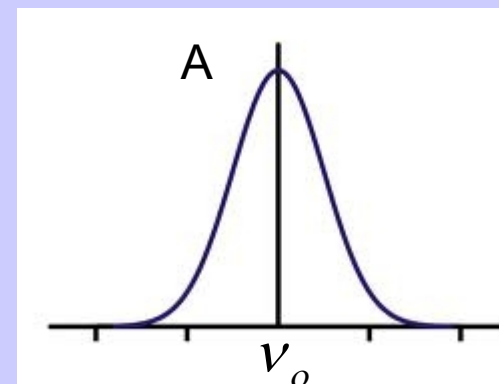
ΤΟ ΑΡΜΟΝΙΚΟ ΚΥΜΑ ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΠΡΟΤΥΠΟ - ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΦΥΣΙΚΗ!



ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ
ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΙΚΟ ΦΩΣ!

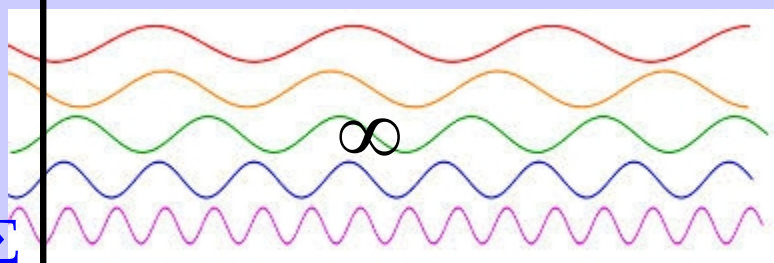


Δt



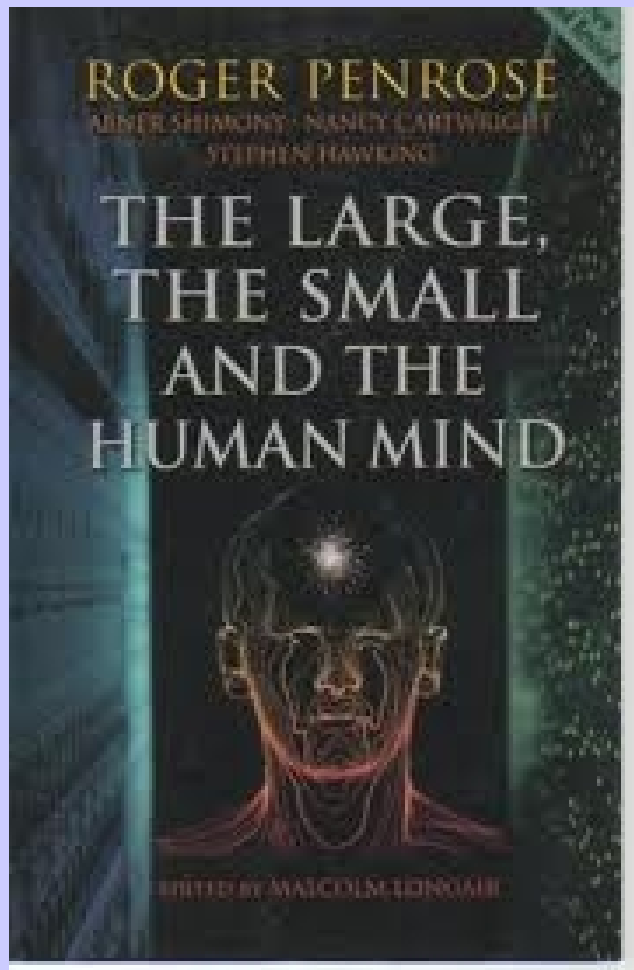
Δv

Η
ΣΥΓΧΡΟΝΗ
ΑΡΧΗ
ΤΗΣ
ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ
ΗΤΑΝ
ΠΟΛΥ
ΚΛΑΣΙΚΗ!



$$\Delta v \approx \frac{1}{\Delta t}$$

Κύρια συμβολή από
τα αρμονικά
κύματα που έχουν
συχνότητα
γειτονική της v_o



ROGER PENROSE

THE LARGE
THE SMALL
AND THE
HUMAN MIND

Η ΣΧΕΣΗ
ΤΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΜΕ ΤΗ ΦΥΣΙΚΗ

ΤΑ ΠΑΡΑΞΕΝΑ!

Αν και η φασική ταχύτητα
είναι μια μαθηματική
και όχι φυσική οντότητα
διαμορφώνεται

ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ
απο δύο φυσικές παραμέτρους του μέσου διάδοσης
από δύο πραγματικές παραμέτρους
του ίδιου εννοιολογικού υποβάθρου.

Φύσις κρύπτεσθαι φιλεί
Ηράκλειτος
ΝΑΙ! ΑΛΛΑ ΔΕΝ ΣΥΝΟΜΩΤΕΙ!

1. Απο μια παράμετρο ελαστικότητας
που απεικονίζει
πόσο ισχυρές είναι οι δυνάμεις που επαναφέρουν
γρήγορα το διαταραγμένο σύστημα
στη θέση ισορροπίας του.

ΟΙΚΟΥΜΕΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ!

2. Απο μια παράμετρο αδράνειας.
που απεικονίζει πόσο “ εϋστροφο” είναι το σύστημα
στη γρήγορη επάνοδό του
στην αδιατάρακτη κατάσταση.

Η ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΚΑΙ
ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ
ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ
ΕΙΝΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΤΙΚΗ
ΣΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΥΜΑΤΟΣ.

ΓΙΑΤΙ;

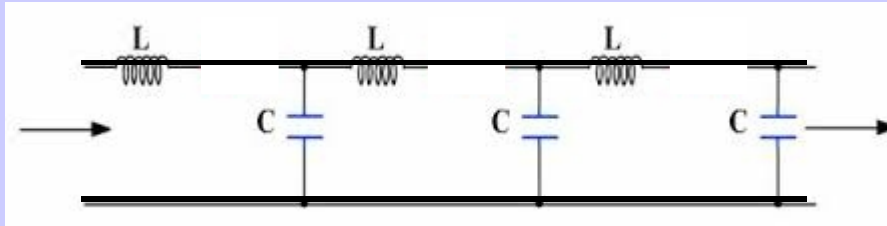
$$v = \sqrt{\frac{\text{ελαστικότητα}}{\text{αδράνεια}}}$$

Σε μια ελαστική χορδή που έχει
γραμμική πυκνότητα μάζας
 μ (**ΑΔΡΑΝΕΙΑ**)
και τείνεται με δύναμη
 T (**ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ**)
η φασική ταχύτητα διάδοσης μιας
εγκάρσιας διαταραχής είναι:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Σε μια στερεά ράβδο που έχει
γραμμική πυκνότητα
 ρ (**ΑΔΡΑΝΕΙΑ**)
και μέτρο ελαστικότητας
 Y (**ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ**)
η φασική ταχύτητα διάδοσης μιας
διαμήκου διαταραχής είναι:

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$



$$v = \sqrt{\frac{1}{\frac{C}{L}}}$$

Η ΤΕΝΤΩΜΕΝΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΧΟΡΔΗ
ΚΑΙ
ΓΡΑΜΜΗ L, C
ΕΙΝΑΙ ΙΔΙΑ ΜΕΣΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ:
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ
ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΥΝΕΧΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ
ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ (μ , L)
ΚΑΙ
ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (T, 1/C).

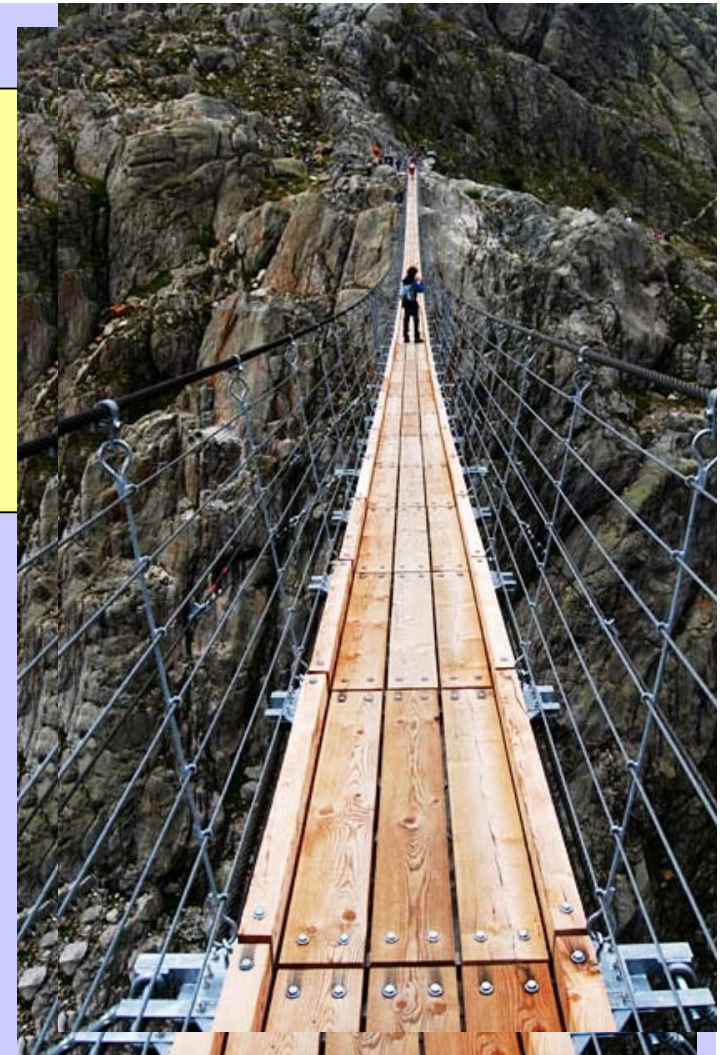
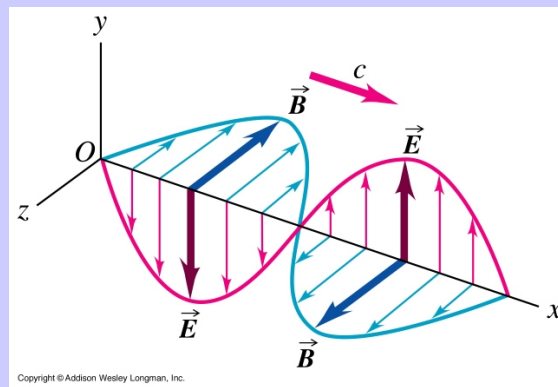
$$v = \sqrt{\frac{\text{ελαστικότητα}}{\text{αδράνεια}}}$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

T, μ

$$v = \sqrt{\frac{\text{ελαστικότητα}}{\text{αδράνεια}}}$$

ΑΙΘΕΡΑΣ!



Ψαρεύοντας έρχεται η θάλασσα.

Οδυσσεάς Ελύτης

Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΣΤΟ ΚΕΝΟ ΕΙΝΑΙ:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\frac{\epsilon}{\mu}}}$$

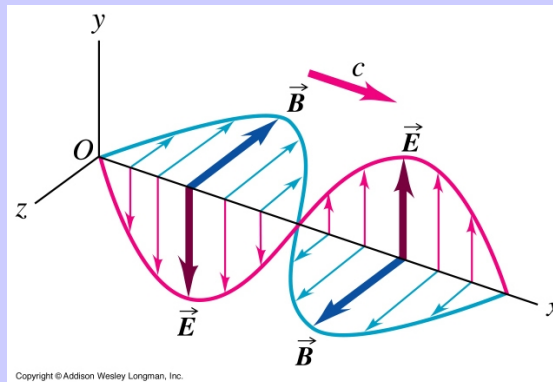
ΑΚΟΜΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΚΕΝΟ
ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΝΑ ΕΙΝΑΙ:

$$c = \sqrt{\frac{\text{ελαστικότητα}}{\text{αδράνεια}}}$$

Το «κενό» είναι «τίποτα»;
Υπάρχουν δημιουργικές διαδικασίες στο κενό;
Το «κενό» δεν είναι τίποτα!

$$v = \sqrt{\frac{\text{ελαστικότητα}}{\text{αδράνεια}}}$$

$$c = \sqrt{\frac{1}{\frac{\epsilon}{\mu}}}$$



$$c = \sqrt{\frac{1}{\frac{C}{L}}}$$

ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΔΙΑΚΡΙΝΟΥΜΕ ΜΕΤΑΞΥ

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ –
ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

ΠΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΝΑ ΜΑΣ ΒΟΗΘΟΥΝ

ΝΑ ΟΡΙΣΟΥΜΕ

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΟΝΤΟΤΗΤΕΣ.

ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΤΑΛΑΒΑΙΝΟΥΜΕ

ΓΙΑΤΙ ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΟΥΤΟΠΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.

ΑΣ ΕΠΑΝΕΛΘΟΥΜΕ.
ΚΥΡΙΟΣ ΣΤΟΧΟΣ ΜΑΣ
ΕΙΝΑΙ Η ΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ
ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΗΜΕΙΟ ΚΑΘΕ ΣΤΙΓΜΗ.

Πρέπει να γνωρίζουμε την εξίσωση του κύματος:

$$\Phi (x, y, z, t)$$

όπου

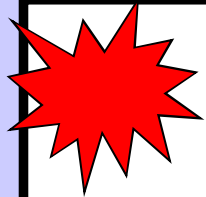
$$\Phi (x, y, z, t_{\text{πριν απο τη διαταραχή}}) = \Phi_0 = \text{const}$$

ΕΝΑ ΒΑΣΙΚΟ
ΕΡΩΤΗΜΑ.

ΚΑΘΕ ΠΕΔΙΟ

$$\Phi(x, y, z, t)$$

περιγράφει ένα ΚΥΜΑ;



Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ

ΕΙΝΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ

ΠΟΥ ΓΕΦΥΡΩΝΕΙ

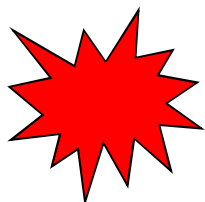
ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΜΕ ΤΟ ΧΩΡΟ!



Η ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΓΕΦΥΡΩΝΕΙ
ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΜΕ ΤΟ ΧΩΡΟ!

Η ΓΕΦΥΡΩΣΗ ΧΡΟΝΟΥ-ΧΩΡΟΥ ΣΤΟ ΚΥΜΑ

ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΕΙ

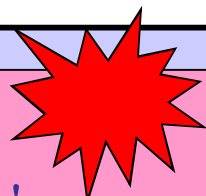


ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

$\Phi(x, y, z, t)$

ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΕΝΑ ΚΥΜΑ!

ΣΥΜΦΩΝΕΙΤΕ;



$\Phi(x, y, z, t)$

πρέπει να έχει σε πεπλεγμένη μορφή τις x, y, z και t
στο όρισμά της.



Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η σχέση

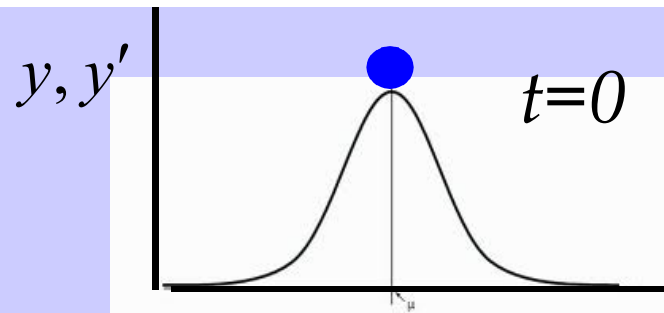
$$H(x, y, t) = (3x^2y)(3t),$$

όπου H η κατακόρυφη απομάκρυνση του νερού στη θέση (x, y) τη στιγμή t , μπορεί να περιγράφει το κύμα που διαδίδεται στην επιφάνεια της λίμνης;

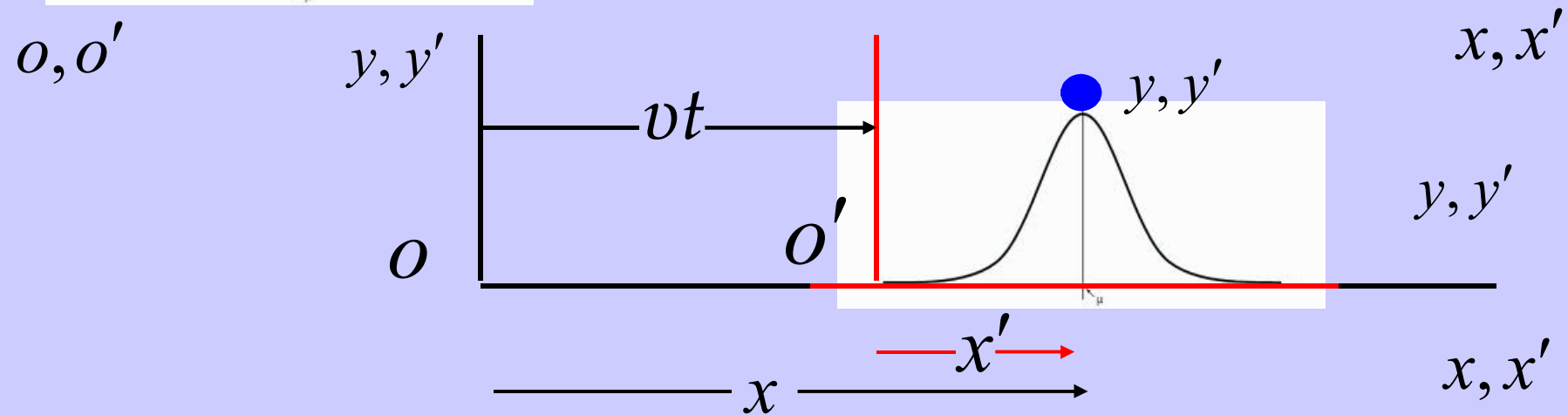
ΟΧΙ! ΓΙΑΤΙ;

Υπάρχουν αρκετά φυσικά επιχειρήματα
γι' αυτό!

Διατυπώστε μερικά απο αυτά.



Η ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ



ΘΑ ΔΟΥΜΕ ΣΤΟ ΕΠΟΜΕΝΟ ΜΑΘΗΜΑ ΟΤΙ
Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΕΝΟΣ ΕΓΚΑΡΣΙΟΥ ΠΑΛΜΟΥ
ΣΕ ΧΟΡΔΗ
ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ
$$y(x,t) = y(x-vt)$$

Η διαταραχή $y(x,t)$ διαμορφώνεται από το όρισμα
 $(x-vt)$



H

$$y(x,t) = A \sin(\omega t - kx)$$

μπορεί να περιγράφει
τη διάδοση ενός κύματος;

ΝΑΙ!

ΓΙΑΤΙ;

ΑΣ ΕΠΑΝΕΛΘΟΥΜΕ ΣΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ:

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;

ΔΕΝ ΘΑ ΥΠΗΡΧΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

ΕΑΝ ΠΕΡΙΟΡΙΖΟΜΑΣΤΕ ΣΤΟΝ ΜΑΚΡΟΚΟΣΜΟ.

Υπάρχει όμως και ο

ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟΣ!

Η καθημερινή μας εμπειρία

και η διαίσθησή μας

δεν διαμορφώνουν

μυστήριο, ασάφεια, «παραδοξότητα»

όταν αναφέρεται στις έννοιες

του σωματιδίου και του κύματος

ΣΤΟΝ ΜΑΚΡΟΚΟΣΜΟ.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;

ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΤΟ ΙΔΙΟ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ;

ΣΤΟΝ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ

ΜΙΑ ΘΕΩΡΙΑ - ΕΝΝΟΙΑ ΠΕΡΙΕΧΕΙ
ΩΣ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ
ΑΚΡΩΣ ΜΗ ΔΙΑΙΣΘΗΤΙΚΑ - ΕΜΠΕΙΡΙΚΑ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΧΟΥΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ
ΣΤΗΝ ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ.

ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΝΑ
ΥΠΕΧΟΥΝ

ΜΥΣΤΗΡΙΟ, ΑΣΑΦΕΙΑ, «ΕΞΩΦΡΕΝΕΙΑ»
ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ.

Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΥΝΟΔΕΥΕΤΑΙ ΑΠΟ
ΜΥΣΤΗΡΙΟ, ΑΣΑΦΕΙΑ, «ΠΑΡΑΔΟΞΟΤΗΤΑ»
ΣΤΟΝ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ;

Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ
ΣΥΝΟΔΕΥΕΤΑΙ ΑΠΟ
ΜΥΣΤΗΡΙΟ, ΑΣΑΦΕΙΑ,
«ΠΑΡΑΔΟΞΟΤΗΤΑ»
ΣΤΟΝ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ;

ΝΑΙ!

Η «φυσική πραγματικότητα»
όπως τη διαμορφώνουν
οι αισθήσεις μας και οι καθημερινές μας εμπειρίες
αντιλαμβάνεται
τα **ΣΩΜΑΤΑ** και τα **ΚΥΜΑΤΑ**
σαν ξεχωριστές συνιστώσες της πραγματικότητας.
Η κλασσική φυσική προσεγγίζει τη φύση με όρους
«**ΚΑΘΑΡΑ ΣΩΜΑΤΑ**» «**ΚΑΘΑΡΑ ΚΥΜΑΤΑ**»

ΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ ΕΧΕΙ
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ
ΣΑΦΗ ΟΡΙΑ
ΣΑΦΕΙΣ ΤΡΟΧΙΕΣ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ
ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΤΗΤΑ.
ΔΕΝ ΤΟΥ ΑΠΟΔΙΔΕΤΑΙ
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ.

ΤΟ ΚΥΜΑ
ΕΚΤΕΙΝΕΤΑΙ ΣΤΟ ΧΩΡΟ.
Η ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΤΗΤΑ
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
ΕΙΝΑΙ ΕΝΔΟΓΕΝΕΣ ΤΟΥ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ.

Στο ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ

δεν υπάρχουν

ΟΥΤΕ ΚΑΘΑΡΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

ΟΥΤΕ ΚΑΘΑΡΑ ΚΥΜΑΤΑ

όπως στον μακρόκοσμο!

ΑΣ ΚΡΑΤΗΣΟΥΜΕ^ΑΟΜΩΣ ΚΑΤΙ ΣΤΟ ΜΥΑΛΟ ΜΑΣ!
Σ

Όταν ένα ΣΩΜΑ πέφτει στην επιφάνεια μιας λίμνης
ένα ΚΥΜΑ αρχίζει να εκπορεύεται.

Έχουν κάτι κοινό!

Το σώμα που πέφτει και το κύμα που διαδίδεται
μεταφέρουν ενέργεια και ορμή!



ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;



ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;

Η Πολιτεία του Πλάτωνα περιλαμβάνει την Αλληγορία του σπηλαίου..

Άνθρωποι από παιδιά είναι αλυσοδεμένοι στον τοίχο μιας σπηλιάς. Έτσι μπορούν να διακρίνουν μόνο τις σκιές των αντικειμένων που περνούν έξω από τον τοίχο και έχουν ύψος μεγαλύτερο απ' αυτόν. Ταυτίζουν την πραγματικότητα με τις σκιές. Αν αυτοί που μεταφέρουν τα αντικείμενα μιλούν, οι αλυσοδεμένοι νομίζουν ότι μιλούν οι σκιές!

**ΕΙΜΑΣΤΕ ΑΛΥΣΟΔΕΜΕΝΟΙ ΣΕ ΕΝΑ ΣΠΗΛΑΙΟ;
ΒΛΕΠΟΥΜΕ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ;**



ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;

Η φυσική πραγματικότητα,
όπως αυτή την προσλαμβάνουμε με τις αισθήσεις μας
στον μακρόκοσμο, έχει τις ρίζες της
στο μικρόκοσμο των ατόμων και των μορίων,
των ηλεκτρονίων και των πυρήνων.

ΒΛΕΠΟΥΜΕ

ΣΚΙΕΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΠΟΥ ΕΞΕΛΙΣΣΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΥΤΟΝ!

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΙΝΑΙ ΝΑ ΡΙΞΕΙ ΤΟΝ ΤΟΙΧΟ!

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΜΗ;

Είναι το αίτιο που προκαλεί ...

ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΔΡΑΖΟΝΤΑΙ
ΣΕ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΙΚΟΣΜΟΥ.

Τα αποτελέσματα στον μακρόκοσμο,

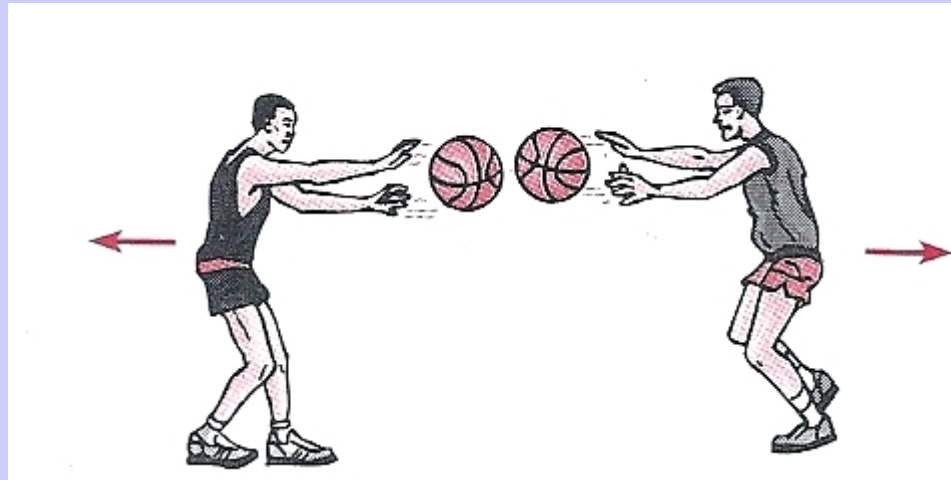
η παραμόρφωση,

η αλλαγή της κινητικής κατάστασης

είναι ΣΚΙΕΣ

διεργασιών που συμβαίνουν στον μικρόκοσμο

και δεν βλέπουμε.

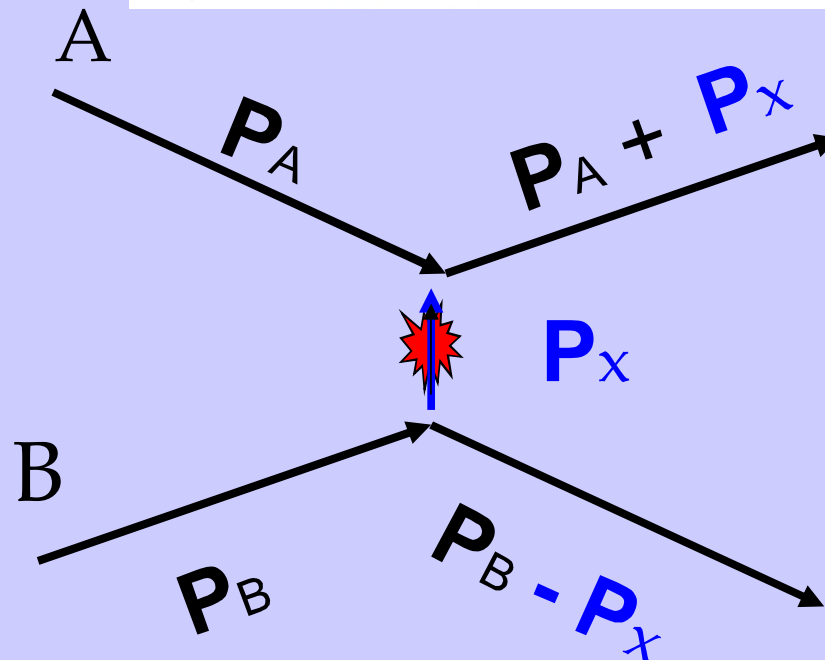
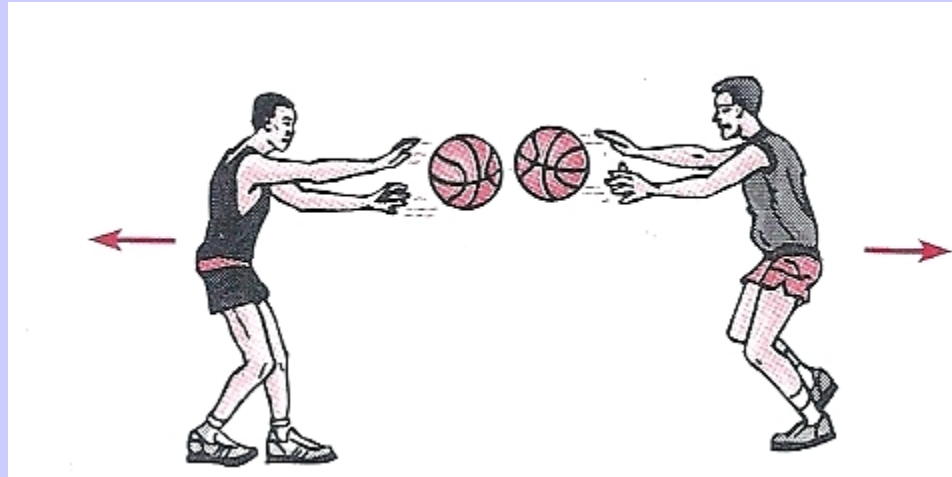


Η ΔΥΝΑΜΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΕΙ ΜΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ
ΠΟΥ ΔΙΕΚΠΕΡΑΙΩΝΕΤΑΙ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.



ΕΤΣΙ ΓΙΝΕΤΑΙ Η ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ
ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

Τι είναι φορτίο;



Mediating Particle
Field Quantum
A particle of Field



**ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΤΟΝ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ
ΜΕ ΟΡΟΥΣ ΚΟΙΝΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ
ΕΙΝΑΙ ΕΞΩΦΡΕΝΙΚΟΙ !**

**ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;
ΤΙ ΕΙΔΑΜΕ
ΟΤΑΝ
ΑΝΟΙΞΑΜΕ
ΤΡΥΠΑ
ΣΤΟΝ
ΤΟΙΧΟ;**



**ΕΙΔΑΜΕ
ΠΟΛΛΑ!
ΚΑΙ
ΑΡΝΗΘΗΚΑΜΕ
ΤΗ ΛΟΓΙΚΗ
ΜΑΣ!**

Στο ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ
δεν υπάρχουν
ΟΥΤΕ ΚΑΘΑΡΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ
ΟΥΤΕ ΚΑΘΑΡΑ ΚΥΜΑΤΑ!!
όπως στον μακρόκοσμο.



ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟΣ

ΤΑ ΣΩΜΑΤΙΑ

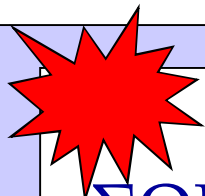
συμπεριφέρονται ως να
έχουν κυματικές ιδιότητες.

ΤΑ ΚΥΜΑΤΑ

συμπεριφέρονται ως να συνίστανται
από δέσμη σωματιδίων.

ΤΟ ΦΩΣ

ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΕΡΕΤΑΙ ΩΣ ΚΥΜΑ
ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΩΣ ΔΕΣΜΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ!



ΔΥΙΣΜΟΣ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ-ΚΥΜΑΤΟΣ



ΣΧΙΖΟΦΡΕΝΕΙΑ!



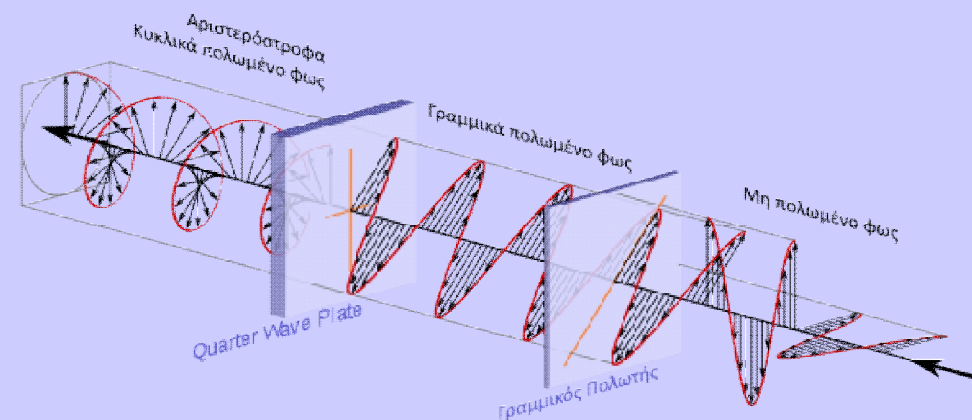
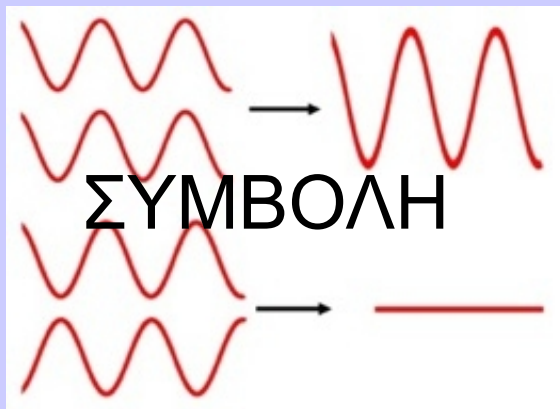
Vlatko Vedral,
LIVING IN A QUANTUM WORLD
Scientific American, June 2011

ΖΟΥΜΕ ΣΕ ΕΝΑΝ
ΚΒΑΝΤΙΚΟ ΚΟΣΜΟ!

Η
ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ
είναι η θεωρία του
ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟΥ.

ΠΕΡΙΟΡΙΖΕΤΑΙ
στον
ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ;

Θεωρούμε το ΦΩΣ ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα, γιατί κάτω από κατάλληλες περιστάσεις, αυτό υπακούει στα χαρακτηριστικά κυματικά φαινόμενα της **συμβολής**, της **περίθλασης** και της **πόλωσης**



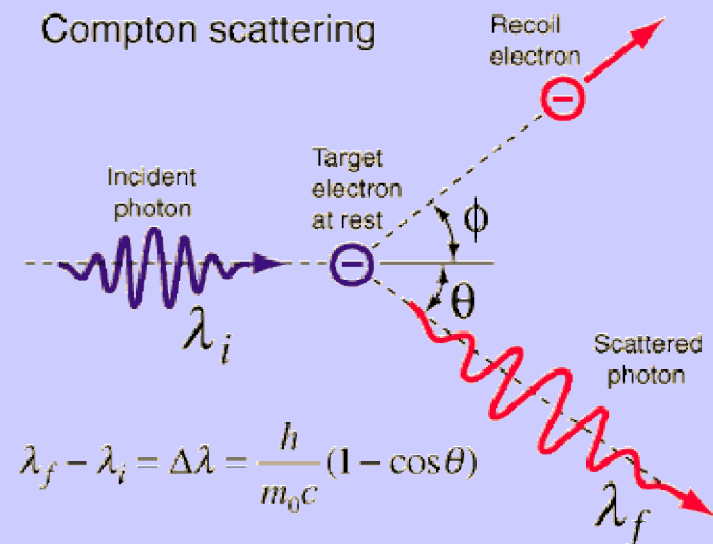
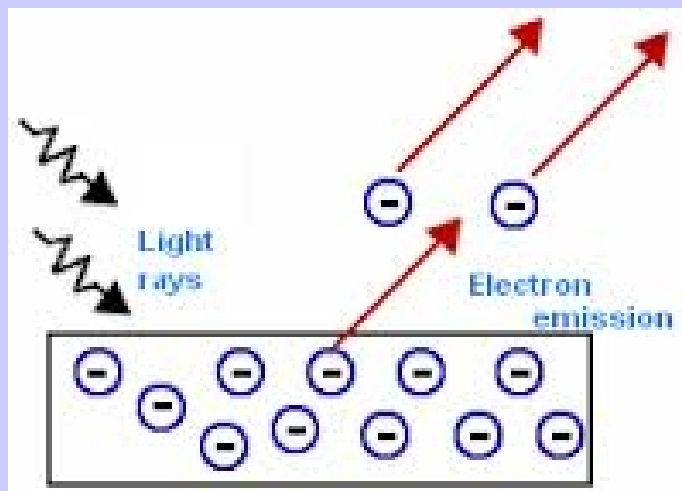
Κάτω από κατάλληλες περιστάσεις ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ COMPTON

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ
συμπεριφέρεται σαν δέσμη από σωματίδια

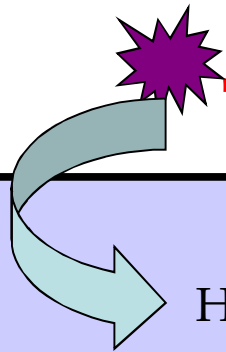
-φωτόνια-

που έχουν ενέργεια και ορμή

$$E = h\nu \quad p = h/\lambda$$

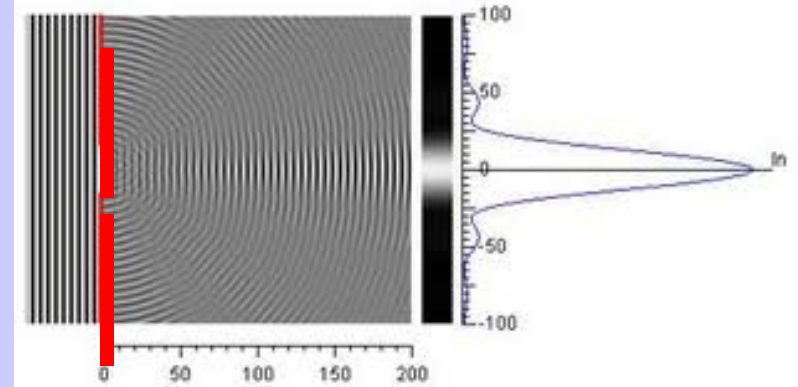
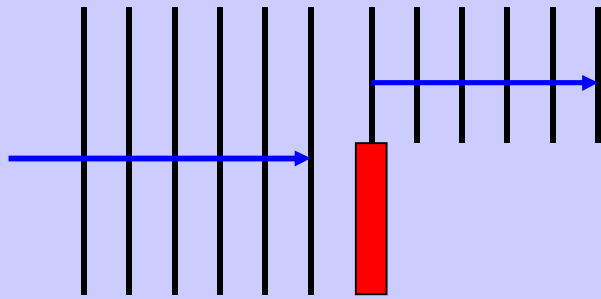


Παρά τη σωματιδιακή φύση που εμφανίζει το
ΦΩΣ
η κβαντική θεωρία χρειάζεται
τη **συχνότητα** και το **μήκος κύματος**
για την περιγραφή της ενέργειας και της ορμής
των φωτονίων του.



Τι είναι όμως αυτό που πάλεται;

Η ΑΥΘΟΡΜΗΤΗ ΕΡΩΤΗΣΗ.



ΣΚΕΦΘΕΙΤΕ:

ΚΑΙ στον ΜΑΚΡΟΚΟΣΜΟ

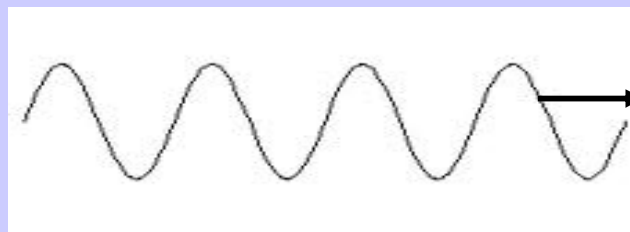
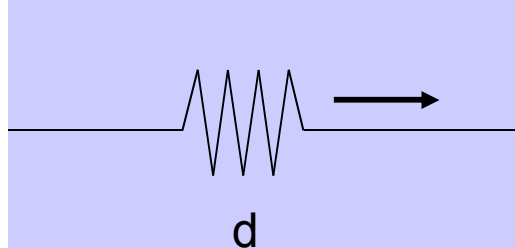
το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ενός αντικειμένου με εμπόδια εξαρτάται από τη σύγκριση της διάστασης του σώματος με τη διάσταση του εμποδίου.

Αν πατήσει κάποιος τη σχάρα με το αθλητικό παπούτσι δεν καταλαβαίνει ότι στο δρόμο του έχει παρεμβληθεί μια σχάρα. Αν όμως την πατήσει κάποια με λεπτό τακούνι θα το καταλάβει, ίσως επώδυνα!



ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;

ΣΚΕΦΘΕΙΤΕ:



Αν η βάρκα πέσει σε
«κυματισμό»
με μήκος κύματος d
μικρότερο από το μήκος της
βάρκας ο βαρκάρης θα
θεωρήσει ότι έπεσε σε ένα
«σώμα».

Αν η βάρκα πέσει σε κυματισμό
με μήκος κύματος
μεγαλύτερο από το μήκος της
θα αρχίζει να ανεβοκατεβένει.
Ο βαρκάρης θεωρεί ότι έπεσε
σε διαταραχή-κύμα.

ΑΣ ΕΠΑΝΕΛΘΟΥΜΕ ΣΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ:

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΥΜΑ;

ΑΝ ΚΑΤΑΛΑΒΟΥΜΕ
ΤΟΝ ΔΥΙΣΜΟ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ – ΚΥΜΑΤΟΣ
ΘΑ ΕΧΟΥΜΕ ΜΙΑ ΠΛΗΡΗ ΓΝΩΣΗ ΤΟΥ
ΚΥΜΑΤΟΣ.

ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΜΑΘΟΥΜΕ ΝΑ ΖΟΥΜΕ
ΧΩΡΙΣ ΠΡΩΙΜΟΥΣ ΟΡΙΣΜΟΥΣ.

ΠΩΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ
Η ΑΛΗΘΕΙΑ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ:
ΠΩΣ ΡΩΤΑΜΕ ΤΗ ΦΥΣΗ;
ΠΩΣ ΜΑΣ ΑΠΑΝΤΑ;
ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΚΑΙ Η ΘΕΩΡΙΑ.

ΔΕΝ ΑΡΚΕΙ ΝΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΥΜΕ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.
ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΤΑΝΟΟΥΜΕ ΓΙΑΤΙ
ΟΙ ΦΥΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ
ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΕ ΑΥΤΗΝ ΤΗΝ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.
ΑΝ ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΗΤΑΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ
ΘΑ ΕΛΕΙΠΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΕΞΗ
EARTH ΤΟ (ART)!

ΠΩΣ ΑΛΛΑΖΕΙ
Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΝΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ
ΕΑΝ ΜΙΚΡΑΙΝΕΙ Η ΦΥΛΑΚΗ ΤΟΥ;
Η ΑΛΛΑΓΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΕΧΕΙ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΖΩΗΣ;

Το Τραγούδι του Φυσικού είναι η ΕΡΩΤΗΣΗ



Το πουλί δεν κελαηδάει
επειδή έχει μια απάντηση. . .

Maya Angelou



ΕΧΕΙ ΝΟΗΜΑ Η ΕΡΩΤΗΣΗ

ΤΟ ΚΑΤΑΛΑΒΕΣ!



Η ΗΤΤΑ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ!

Η ΝΙΚΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΗ

ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΗΣ ΗΤΤΑΣ!

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

ΚΑΙ

ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ.

Ο τύπος που δίνει τη

χωρητικότητα πυκνωτή είναι λάθος!

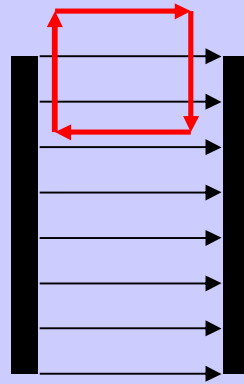
Ας αναφερθούμε στη προσπάθεια της εύρεσης του τύπου που δίνει την χωρητικότητα πυκνωτή.
Η προσπάθεια εδράζεται στην εφαρμογή του τύπου-ορισμού

$$C = Q / U$$

Για τον υπολογισμό υποθέτουμε την αποκατάσταση στο χώρο ενός πεδίου που είναι ΟΜΟΓΕΝΕΣ μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή και ΜΗΔΕΝΙΚΟ έξω από τον πυκνωτή.

Βρίσκουμε ότι:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$



Ένα τέτοιο πεδίο είναι ανέφικτο με όρους φυσικής.
ΕΙΝΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟ.

Το έργο υπό την επίδραση των δυνάμεων του πεδίου
στη κλειστή διαδρομή που υποδεικνύεται
είναι διάφορο του μηδενός.

Συνεπώς, το πεδίο αυτό δεν έχει δυναμικό!

Ο τύπος λοιπόν

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

“ισχύει” για ένα ΠΡΟΤΥΠΟ διευθέτισης πεδίου που αντιβαίνει τους νόμους της φυσικής!

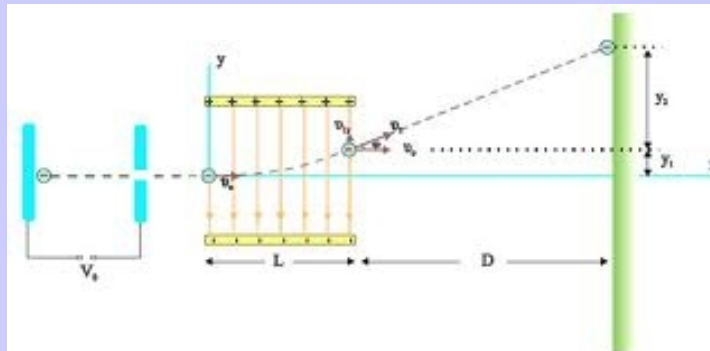
Ο ΤΥΠΟΣ

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ ΣΕ ΕΝΑ ΠΡΟΤΥΠΟ
ΠΟΥ ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ ΝΑ ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΙΚΗ!

Η ΦΥΣΗ ΔΕΝ ΧΑΡΙΖΕΤΑΙ!
ΕΧΕΙ ΤΙΜΗΜΑ Η ΧΡΗΣΗ ΕΝΟΣ
ΠΡΟΤΥΠΟΥ!
ΑΣ ΔΟΥΜΕ ΤΟ ΤΙΜΗΜΑ

Το ηλεκτρόνιο
στην έξοδό του απο τον πυκνωτή έχει κινητική ενέργεια
μεγαλύτερη απο εκείνη που είχε κατά την είσοδό του.
ΠΑΡΑΒΙΑΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ!
Η ΦΥΣΗ ΔΕΝ ΧΑΡΙΖΕΤΑΙ!
ΕΧΕΙ ΤΙΜΗΜΑ Η ΧΡΗΣΗ ΕΝΟΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ!



ΜΙΑ ΑΠΑΝΤΗΣΗ!

ΕΙΝΑΙ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ.

Δεν υπάρχει παραβίαση!

ΘΥΜΗΘΕΙΤΑΙ ΟΤΙ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΠΥΚΝΩΤΗ ΕΙΝΑΙ

Το ηλεκτρόνιο πήρε ενέργεια
απο την ενέργεια του πυκνωτή.

$$E = \frac{Q^2}{2C}$$

ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ;

ΣΥΝΗΘΩΣ ΟΙ ΤΥΠΟΙ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ
ΕΙΝΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΑΡΑΔΟΧΩΝ.

ΕΑΝ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΑΥΤΟ...
(ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ)

ΤΟΤΕ ΕΙΝΑΙ...
(ΤΥΠΟΣ)

ΕΧΟΥΜΕ
ΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΟΧΙ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ



Σας ευχαριστώ!