ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΗΠΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

ΣΕ ΤΕΝΤΩΜΕΝΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΧΟΡΔΗ

ΔΙΑΔΙΔΕΤΑΙ ΩΣ ΚΥΜΑ;

Κ. ΕΥΤΑΞΙΑΣ

Η ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ

ΚΑΘΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ

$$y(x,t) = f(x - \upsilon t)$$

$\rightarrow$

$\leftarrow$

$$y(x,t) = g(x + \upsilon t)$$

ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΜΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ
ΠΟΥ ΟΔΕΥΕΙ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ / ΑΡΙΣΤΕΡΑ
ΑΝΑΛΛΟΙΩΤΗ
ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ υ

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

ΜΙΑ ΔΙΠΛΑ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΙΜΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΟΥ ΤΟ ΟΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΖΕΙ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΜΕ ΤΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ

$y(x,t) = f(x-\upsilon t)$

ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΥΣΑ ΔΙΑΔΟΣΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΠΟΥ ΔΙΑΔΙΔΕΤΑΙ ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ υ ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙ ΤΗ

ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

ΘΕΩΡΟΥΜΕ ΙΔΑΝΙΚΗ

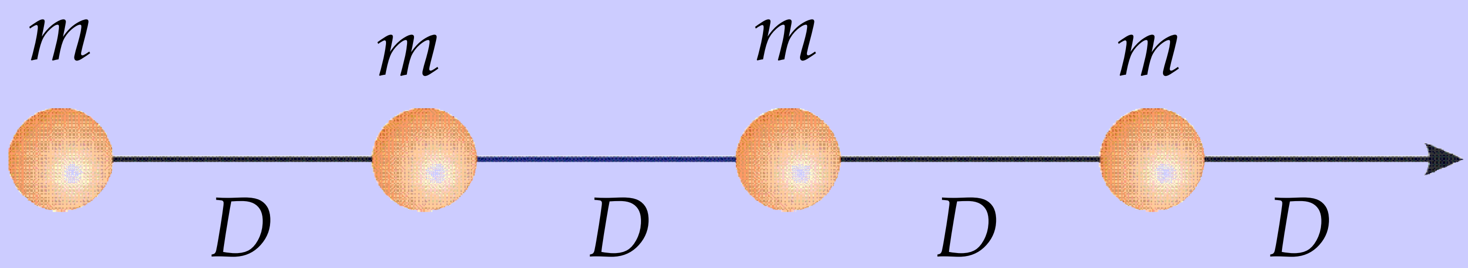
ΤΕΝΤΩΜΕΝΗ ΧΟΡΔΗ ΑΠΕΙΡΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

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

T ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ μ ΑΔΡΑΝΕΙΑ

ΠΡΟΤΥΠΟ

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ
ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ



ΙΔΑΝΙΚΗ

ΤΕΝΤΩΜΕΝΗ ΧΟΡΔΗ ΑΠΕΙΡΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

$\vec{T}$ $\qquad \mu = \dfrac{dm}{dx} \qquad$ $\vec{T}$

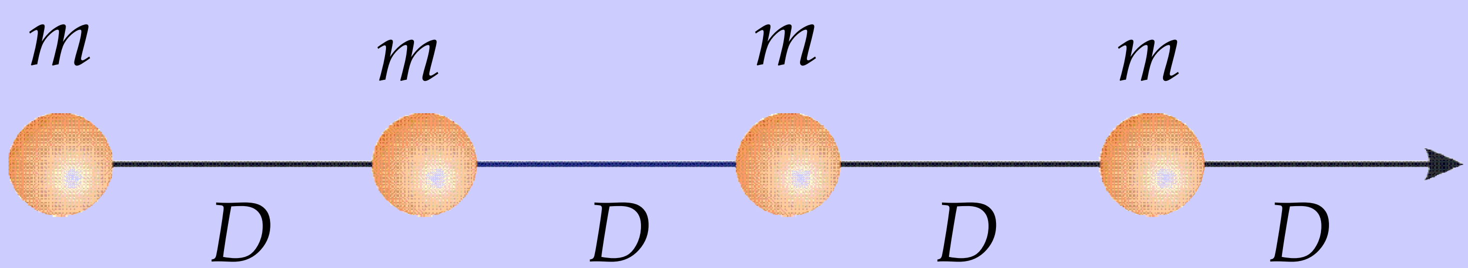
ΠΡΟΤΥΠΟ:

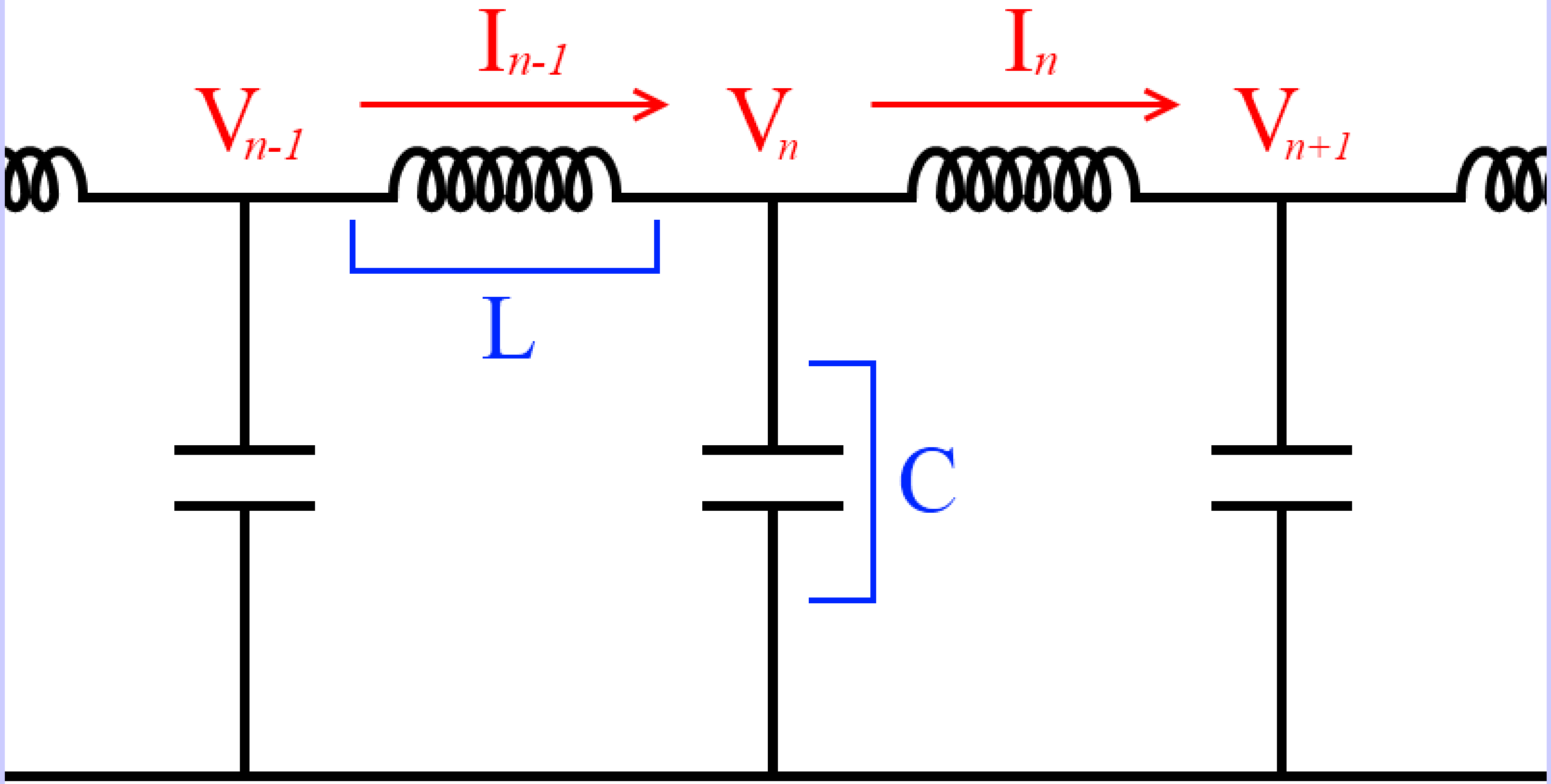
ΣΥΝΕΧΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ

ΔΕΝ ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΤΗΝ ΕΠΑΦΗ
ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ!

Η ΦΥΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΝΤΗΡΙΤΙΚΗ!





ΣΤΗ ΧΟΡΔΗ

ΒΛΕΠΟΥΜΕ ΜΟΝΟ ΤΗ ΧΟΡΔΗ;

$D \longrightarrow 1/C$

$m \longrightarrow L$

$$\Delta.E = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} \qquad \Delta.E = \frac{1}{2}D(\Delta x)^2$$

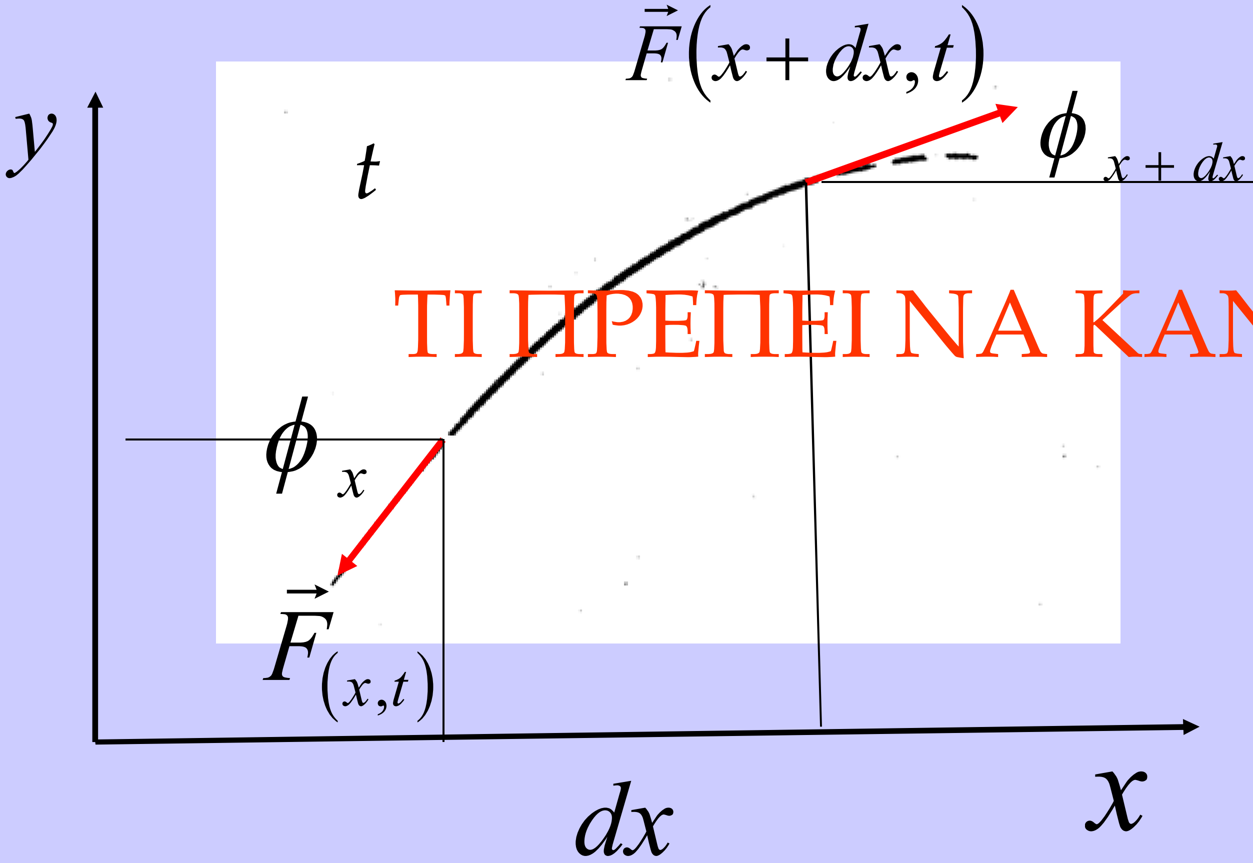
ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ:

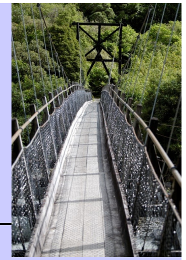
ΕΑΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΕΙ
ΜΙΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ
ΣΤΗΝ ΙΔΑΝΙΚΗ ΧΟΡΔΗ
Η ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ ΘΑ ΔΙΑΔΟΘΕΙ
ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ
ΜΕ ΜΙΑ ΚΑΛΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗ
ΦΑΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ;

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΝΟΥΜΕ;
ΝΑ ΠΑΡΟΥΜΕ ΕΝΑ
ΤΥΧΑΙΟ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΣ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΧΟΡΔΗΣ
ΣΕ ΕΝΑ ΤΥΧΑΙΟ
ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ
ΚΑΙ ΝΑ ΑΠΟΔΕΙΞΟΥΜΕ ΟΤΙ
ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙ ΤΗΝ
ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΝΟΥΜΕ;





$\vec{T}$ $\qquad\qquad$ $\mu = \dfrac{dm}{dx}$ $\qquad\qquad$ $\vec{T}$

ΠΡΟΤΥΠΟ


ΠΡΟΤΥΠΑ!
ΗΠΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ
ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΕΡΙΓΡΑΨΟΥΜΕ ΣΑΦΩΣ
ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΟΥ ΘΑ ΜΕΛΕΤΗΣΟΥΜΕ

ΠΡΟΤΥΠΟ!

1. Η χορδή έχει άπειρο μήκος.

2. Έχουμε συνεχή κατανομή μάζας και αδράνειας

3. Οι T, μ είναι τέτοιες ώστε να μπορεί να αγνοηθεί το βάρος της χορδής μήκους dx.

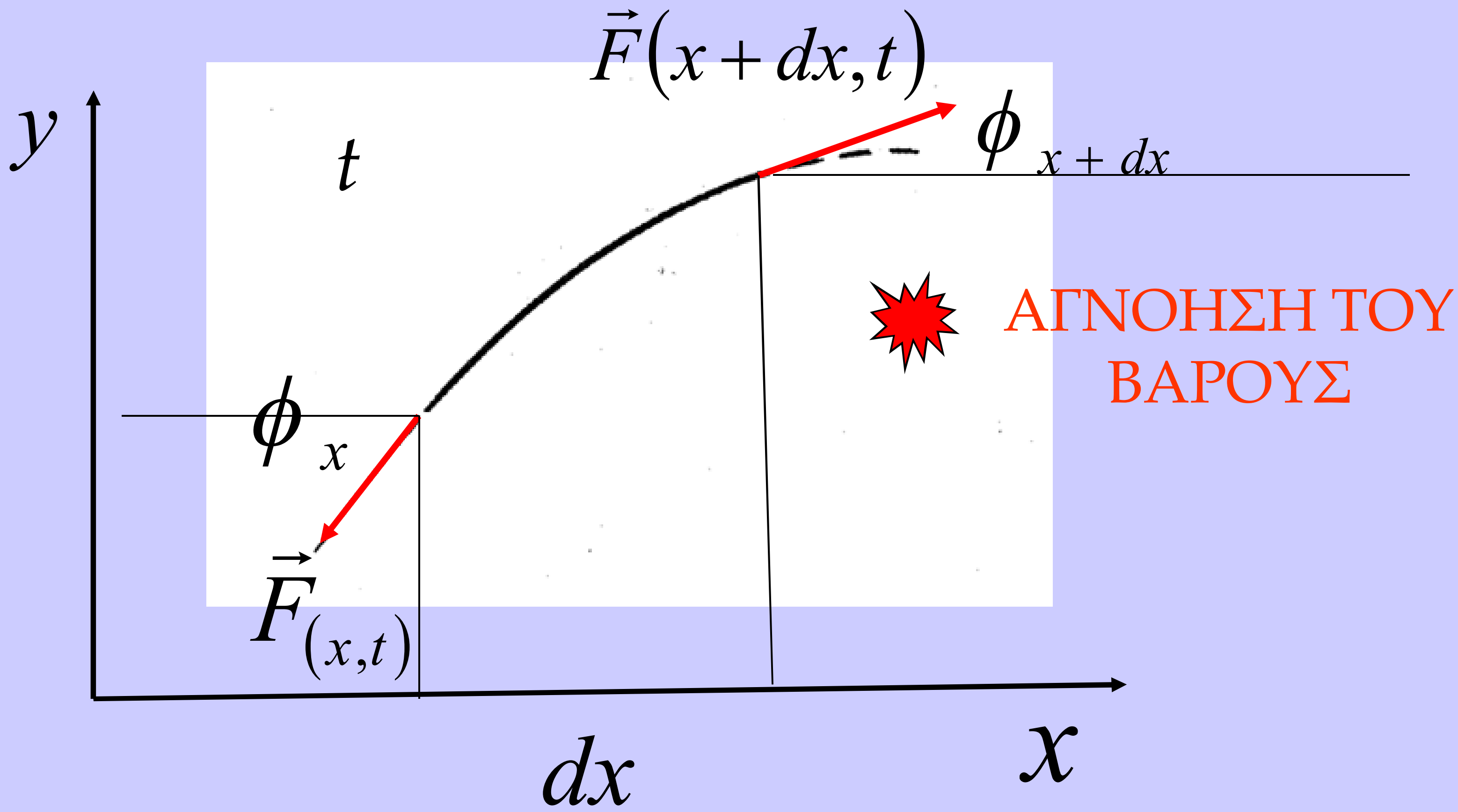
4. Αν και στην κατάσταση της παραμόρφωσης το τμήμα dx έχει επιμηκυνθεί οι δύναμεις με τις οποίες έλκεται το τμήμα από τη χορδή που εκτείνεται αριστερά και δεξιά απο αυτό έχουν μέτρο T.

5. Το στοιχειώδες τμήμα dx κινείται αποκλειστικά εγκάρσια, μόνον παράλληλα προς τον άξονα y κατα τη διέλευση της διαταραχής.

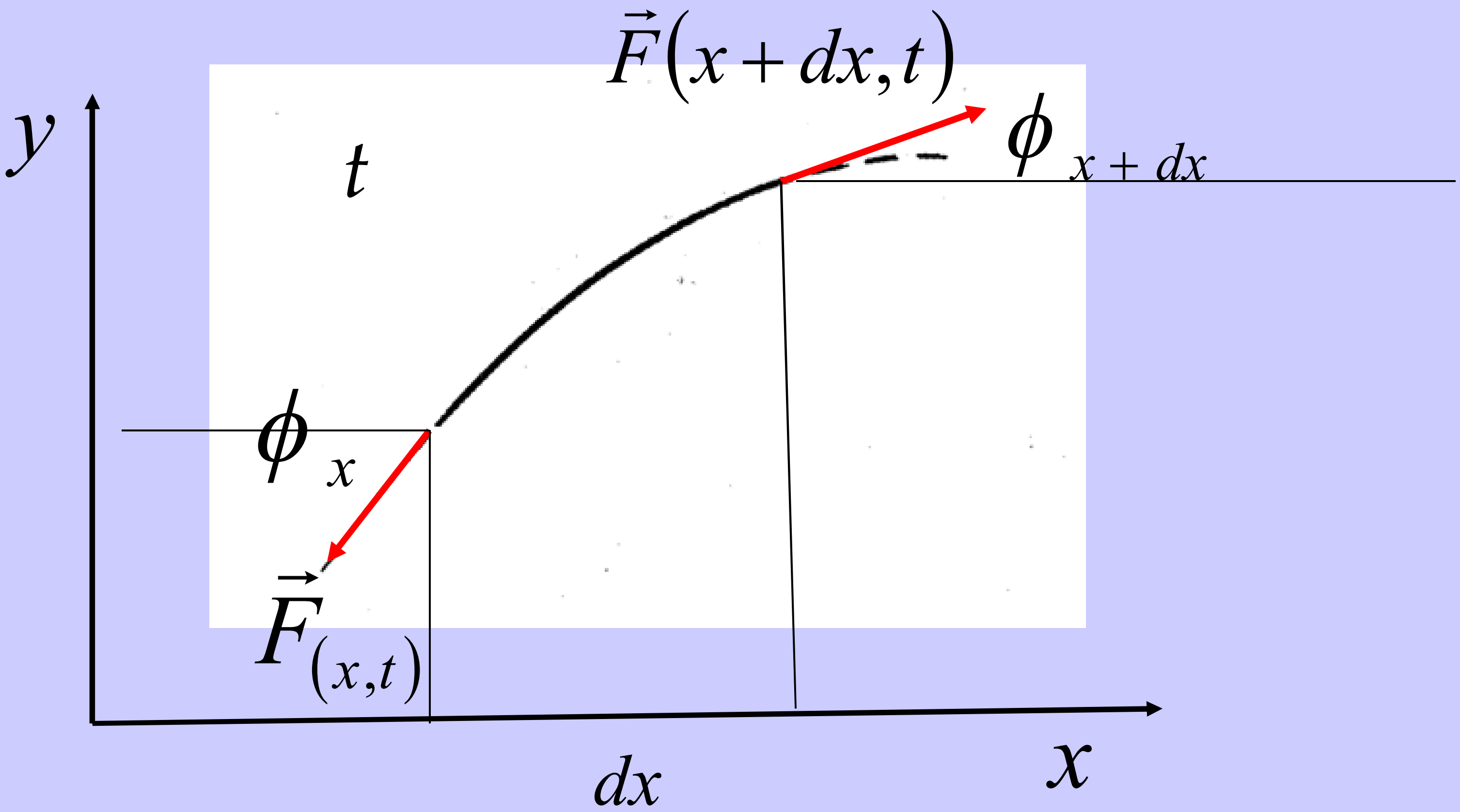
6. Οι κλίσεις σε όλες τις θέσεις της χορδής ως προς τον οριζόντιον άξονα είναι μικρές.

7. Δεν υπάρχουν τριβές με το περιβάλλον.

ΗΠΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

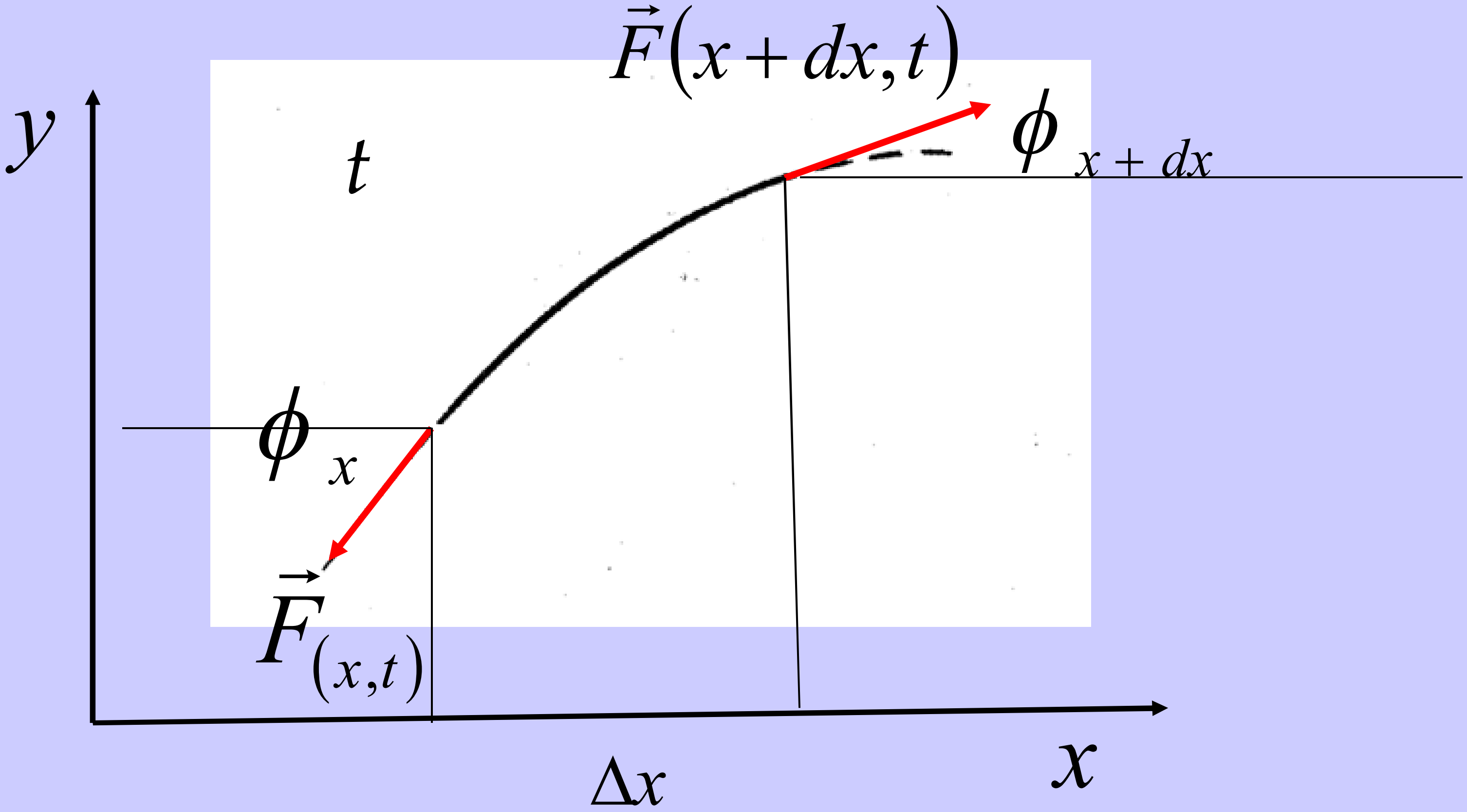


$$F(x+dx,t)y - F_{(x,t)}y = (\mu dx)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$



$$F(x+dx,t)y \;-\; F_{(x,t)}y \;=\; (\mu dx)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

$$T\sin\phi(x+dx,t) - T\sin(x,t) = (\mu dx)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$



$$T\sin\phi(x+dx,t)-T\sin(x,t)=(\mu dx)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

$$T\{\tan\phi(x+dx,t)-\tan(x,t)\}=(\mu dx)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

$$T\{\tan\phi(x+dx,t)-\tan(x,t)\} = \ (\mu dx)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

$$T\{\frac{\partial y(x+dx,t)}{\partial x}-\frac{\partial(x,t)}{\partial x}\} = \ (\mu dx)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

$$T\{\frac{\partial^2(x,t)}{\partial x^2}dx\} = \ (\mu dx)\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\frac{\mathrm{T}}{\mu}} \ \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

ΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΣ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΧΟΡΔΗΣ ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙ ΤΗ Δ.Ε:

$$\frac{\partial^2(x,t)}{\partial x^2}=\frac{1}{\frac{\mathrm{T}}{\mu}}\,\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 y\left(x,t\right)}{\partial x^2}=\frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 y\left(x,t\right)}{\partial t^2}$$

$$\upsilon=\sqrt{\frac{\mathrm{T}}{\mu}}$$

ΣΥΝΕΠΩΣ

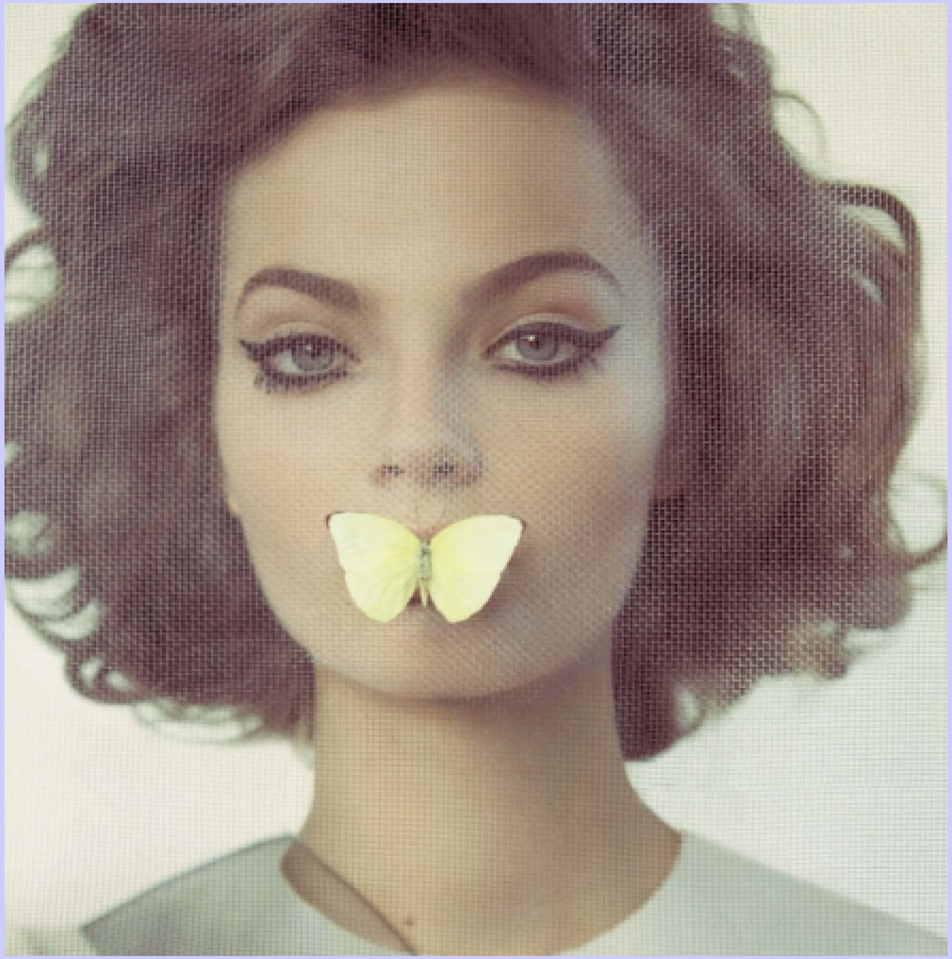
Η ΗΠΙΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

ΔΙΑΔΙΔΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΙΔΑΝΙΚΗ ΧΟΡΔΗ

ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΜΕ ΜΙΑ ΚΑΛΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗ

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ.



ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ

«ΑΝΑΚΡΙΝΟΥΜΕ»

ΤΟΥΣ

ΤΥΠΟΥΣ ΦΥΣΙΚΗΣ!

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\mathrm{T}}{\mu}}$$

T ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

μ ΑΔΡΑΝΕΙΑ

ΜΙΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΟΝΤΟΤΗΤΑ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ

ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΟΝΤΟΤΗΤΕΣ

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

Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ
ΔΕΝ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ
ΑΠΟ ΤΗ
ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ.
ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ
ΑΠΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ
ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.

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

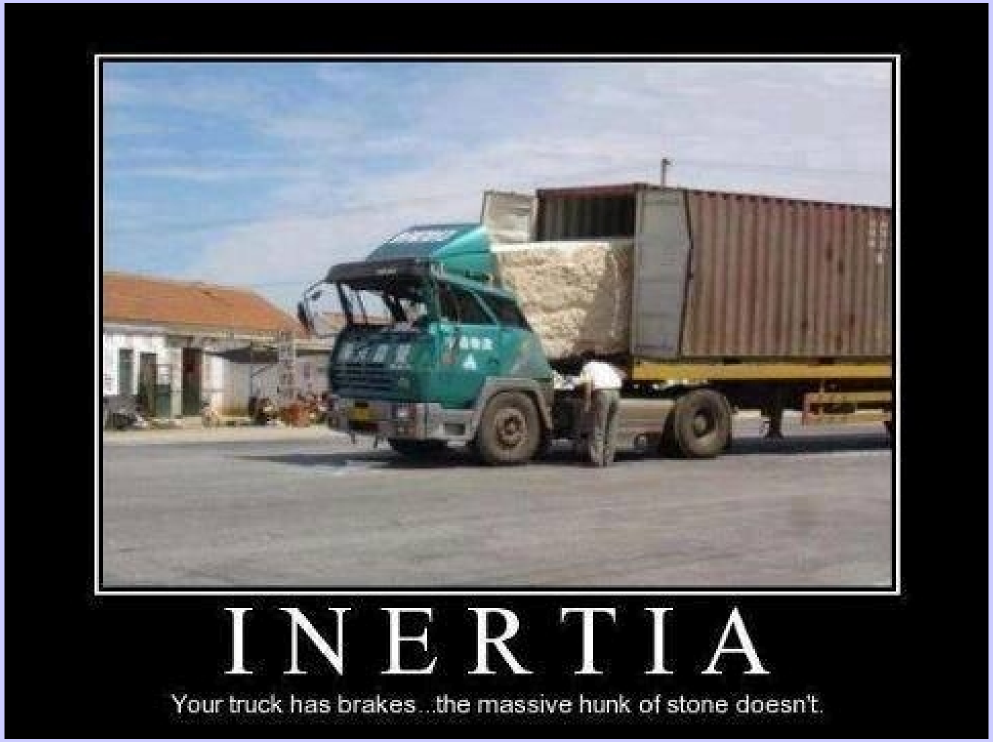
ΓΙΑΤΙ Η T ΕΙΝΑΙ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΗΤΗ;

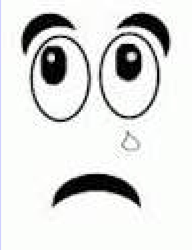
ΓΙΑΤΙ Η μ ΕΙΝΑΙ ΣΤΟΝ ΠΑΡΟΝΟΜΑΣΤΗ;

ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ!

T ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

μ ΑΔΡΑΝΕΙΑ





ΑΣΚΗΣΗ

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

Η ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ ΕΙΝΑΙ ΟΤΙ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΧΟΡΔΗ (Τ,μ) ΔΙΑΔΙΔΕΤΑΙ Η ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

$$y(x,t) = f(x-\upsilon t) + g(x+\upsilon t)$$

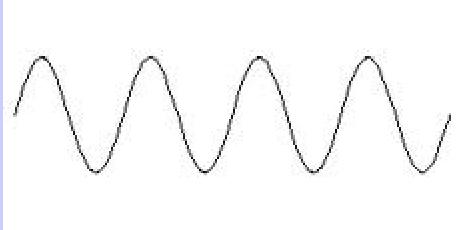
όπου

$$f(x,t) = x^2 - 2\upsilon xt + \upsilon^2 t^2$$

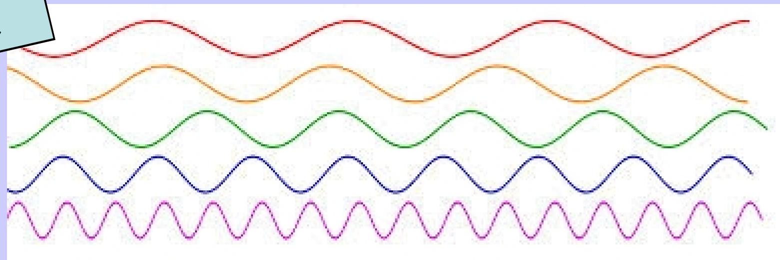
$$g(x,t) = x^2 + 4\upsilon xt + 4\upsilon^2 t^2)$$

ΝΑ ΔΙΚΑΙΟΛΟΓΗΘΕΙ ΓΙΑΤΙ Η ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ ΕΙΝΑΙ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ.

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



FOURIER



ΠΡΟΣΟΧΗ!

ΔΕΝ ΕΧΟΥΜΕ ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

ΔΕΝ ΕΧΟΥΜΕ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΥ

ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ.

Η ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

ΔΙΑΤΗΡΕΙ ΤΗ ΜΝΗΜΗ ΤΗΣ.

ΔΕΝ ΕΧΟΥΜΕ ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟ-ΔΙΑΣΠΟΡΑ

ΓΝΩΡΙΖΕΤΑΙ ΚΑΠΟΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΠΟΥ Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ;

ΣΥΝΟΨΗ

$$\boxed{\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}}$$

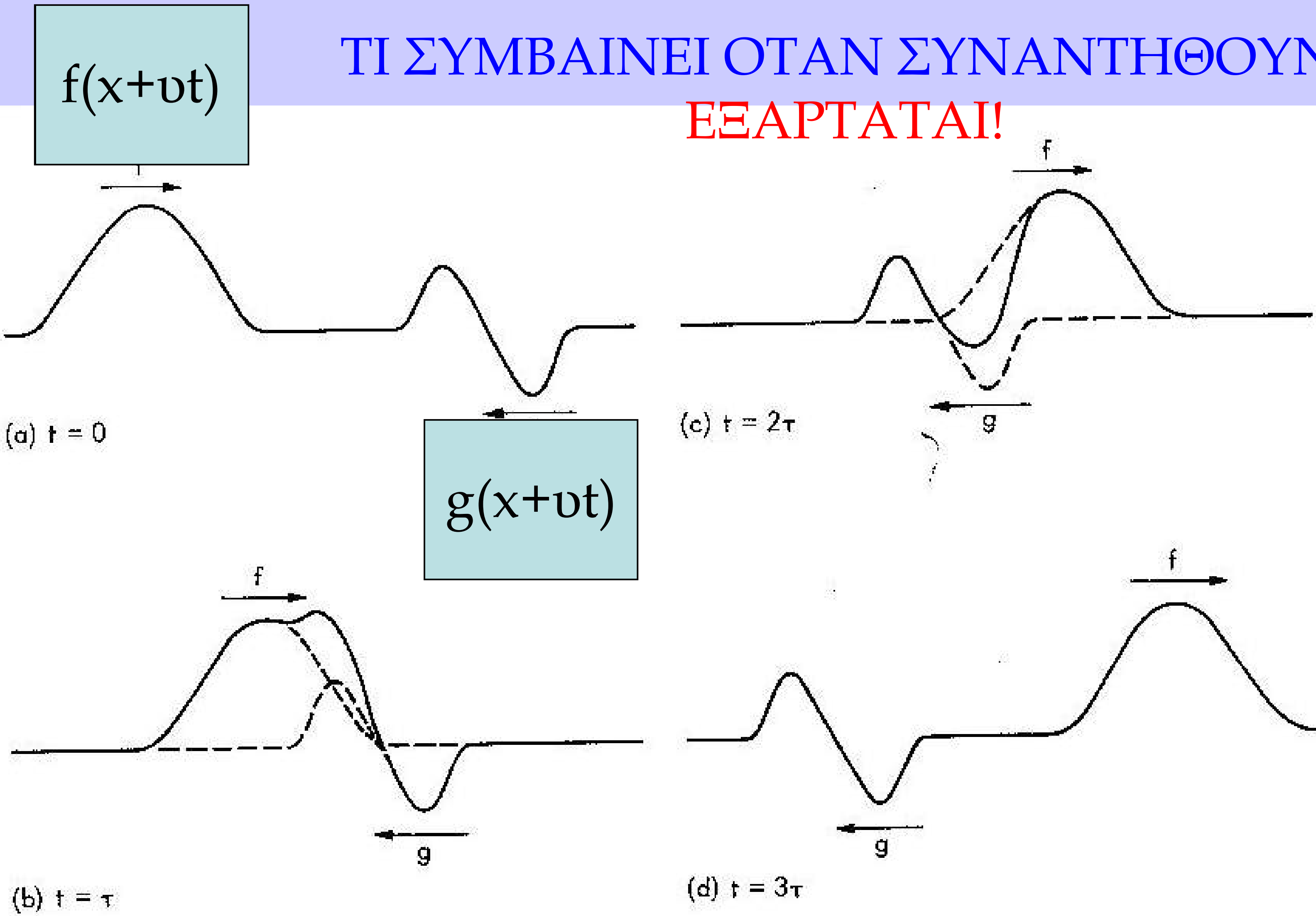
ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ
ΔΕΥΤΕΡΑΣ ΤΑΞΕΩΣ.
ΣΤΑΘΕΡΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ.
ΕΝΑΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΛΥΣΕΩΝ ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΣΗΣ
ΛΥΣΗ.
Η ΓΕΝΙΚΗ ΛΥΣΗ ΕΙΝΑΙ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ

$$y(x,t) = f(x-\upsilon t) + g(x+\upsilon t)$$

ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑΣ

ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΟΤΑΝ ΣΥΝΑΝΤΗΘΟΥΝ;

ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ!

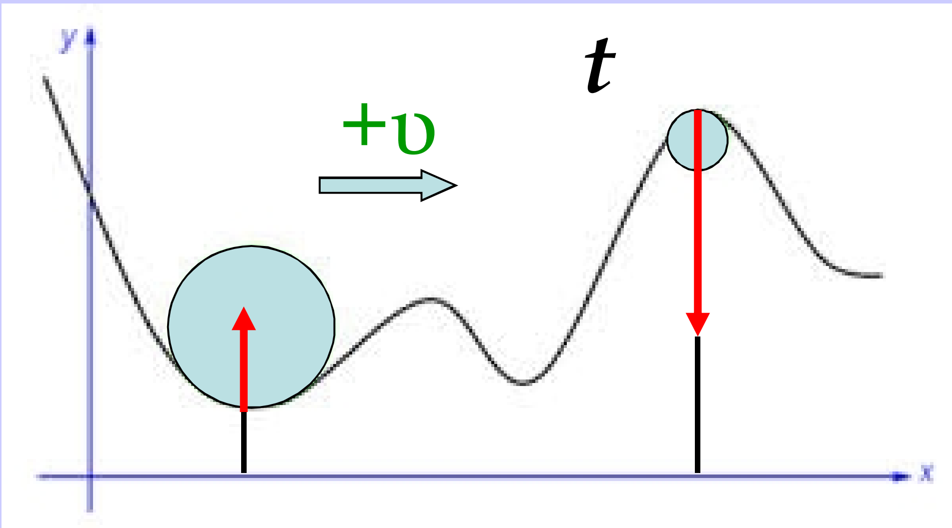


ΟΤΑΝ ΔΕΝ ΕΧΟΥΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ

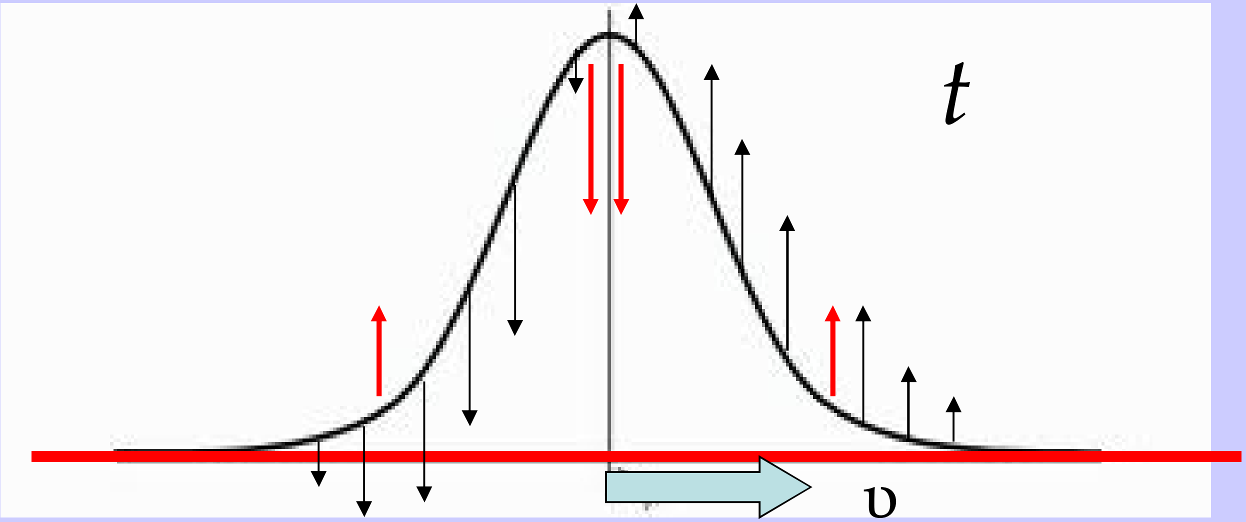
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ



x_1 x_2

$$\kappa = \frac{\dfrac{\partial^2 y}{\partial x^2}}{\left[1+\left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)^2\right]^{3/2}}$$

$$R = \frac{1}{\kappa}$$



Η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ
ΕΧΕΙ ΦΟΡΑ
ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΑΝΩ
ΟΠΟΥ
Η ΚΑΜΠΥΛΗ
ΣΤΡΕΦΕΙ
ΤΑ ΚΟΙΛΑ
ΠΡΟΣ ΠΑΝΩ

$$\frac{\partial y(x,t)}{\partial t} = -\upsilon \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}$$

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2} \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial y(x,t)}{\partial t} = -\upsilon \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}$$

$$\left|\frac{\partial y(x,t)}{\partial x}\right| << 1$$

ΣΥΝΕΠΩΣ

u << υ

Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ

u

ΕΙΝΑΙ ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΤΗΣ

''ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ''

υ

ΗΤΑΝ ΑΥΤΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ;

ΕΧΟΥΜΕ ΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΧΙ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ

ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ – ΤΥΠΟΣ

ΕΑΝ

Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΜΙΑΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ

ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙ ΤΟΥΣ

7 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ

ΠΟΥ ΟΡΙΣΑΜΕ

ΤΟΤΕ

Η ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

ΟΔΕΥΕΙ

ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\mathrm{T}}{\mu}}$$

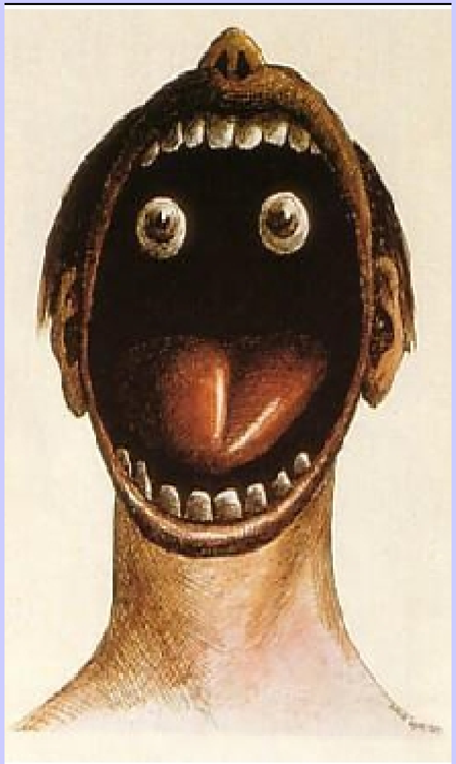
ΕΧΟΥΜΕ

ΕΠΙΣΗΜΑΝΕΙ:

Η ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

ΕΧΕΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ!

1. Η σταθερότητα του μέτρου της Τ,
ενώ περαιτέρω παραμορφώνονται τα τμήματα της χορδής απο τα οποια διέρχεται η διαταραχή,
σημαίνει ότι το
μέτρο ελαστικότητας του Young
είναι μηδέν!



ΥΠΟΘΕΣΗ

2. Κάθε στοιχειώδες τμήμα dx κινείται αποκλειστικά Εγκάρσια,

μόνον παράλληλα προς τον άξονα y,

κατά τη διέλευση της διαταραχής.

ΕΝΑ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΚΥΜΑ

ΠΩΣ ΔΙΑΔΙΔΕΙ ΟΡΜΗ

ΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ

ΥΠΟΘΕΣΗ

ΟΠΟΥ Η ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

ΕΙΝΑΙ ΜΗΔΕΝ;

Στην πραγματικότητα

αναπτύσσονται

Εγκάρσιες και Διαμήκεις Διαταραχές-Δυνάμεις.

Η σύζευξή τους περιγράφεται από

ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ ΟΡΟΥΣ ΣΤΗ Δ.Ε.Κ.

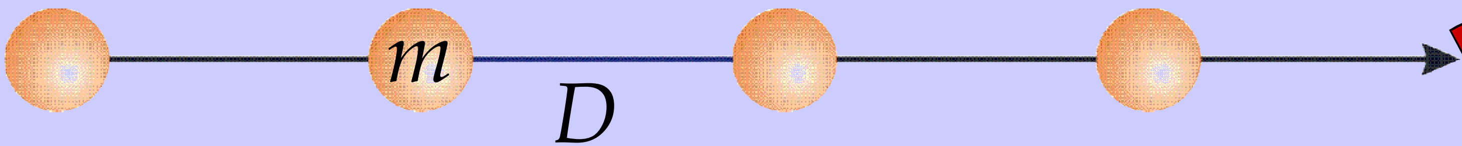
ΠΟΥ ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΧΟΥΝ ΑΓΝΟΗΘΕΙ.

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\mathrm{T}}{\mu}}$$

$\vec{T}$ $\qquad \mu = \dfrac{dm}{dx} \qquad$ $\vec{T}$

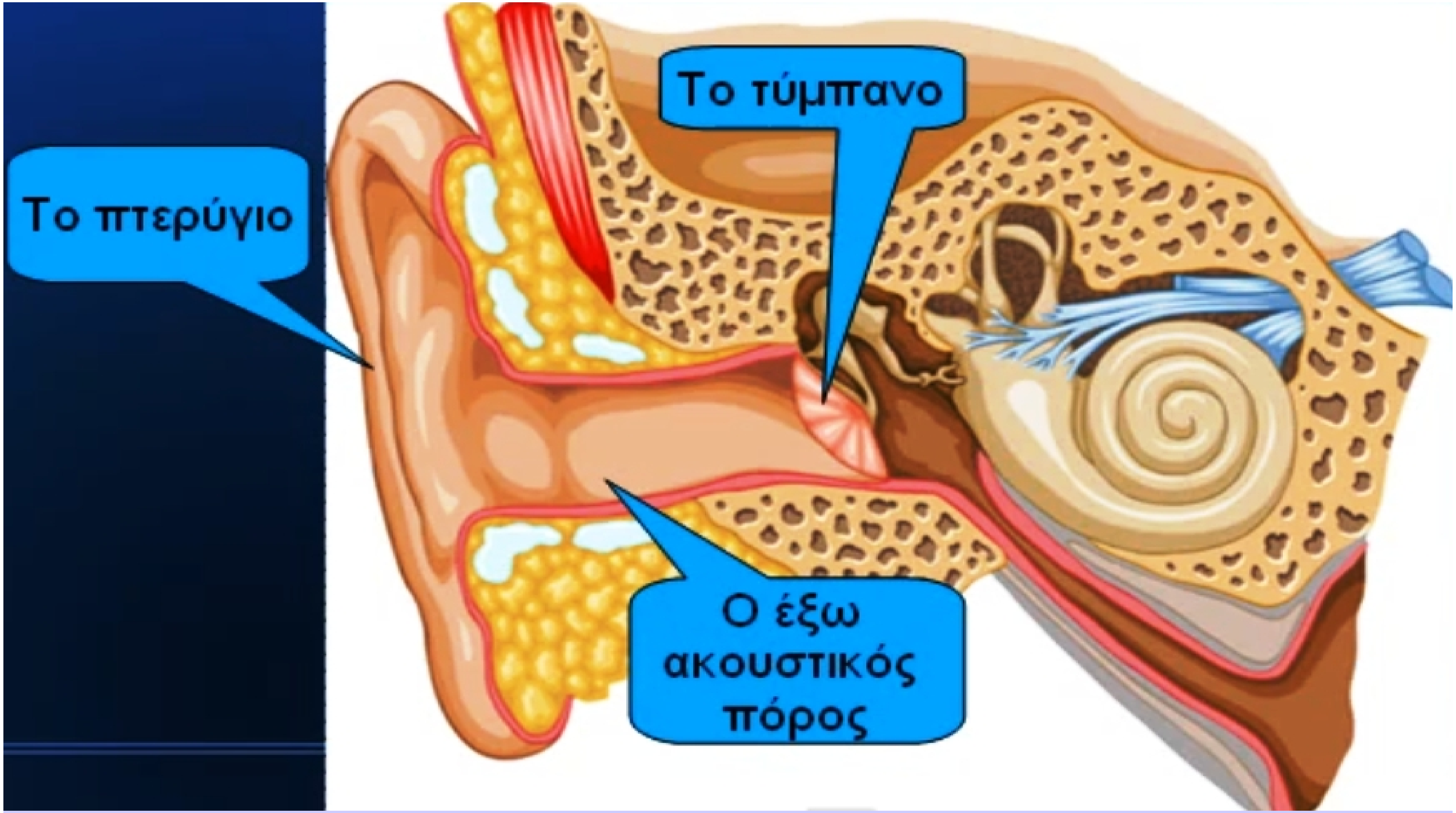
ΠΡΟΣΟΧΗ!

3. Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ.



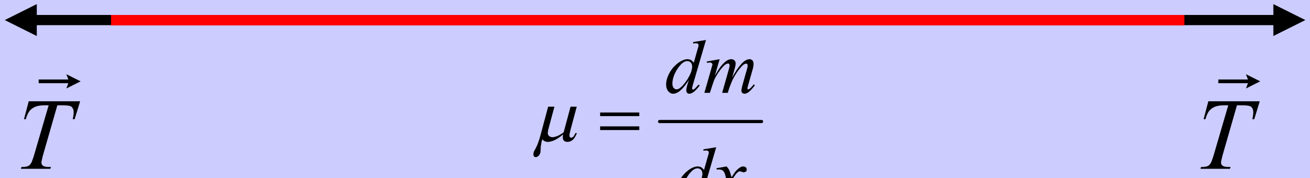
$$\omega_{\max} = \sqrt{\frac{4D}{m}}$$

Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ.



Η ΑΔΡΑΝΕΙΑ
ΔΡΑ ΩΣ ΦΙΛΤΡΟ
ΠΟΥ ΚΟΒΕΙ ΤΙΣ ΥΨΗΛΕΣ
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ.

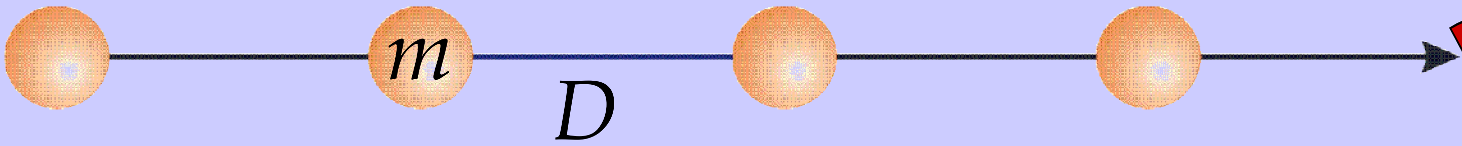
$$\upsilon = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$



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

ΠΡΟΣΟΧΗ!

Η ΑΔΡΑΝΕΙΑ
ΤΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ dx
ΤΕΙΝΕΙ ΣΤΟ ΜΗΔΕΝ.



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

Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ
ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ
ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ.

ΤΟ ΑΥΤΙ ΜΑΣ ΕΙΝΑΙ ΑΤΕΛΕΣ
ΔΕΝ ΔΙΕΓΕΙΡΕΤΑΙ
ΑΠΟ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ.
ΘΑ ΜΙΛΗΣΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΙΣ
«ΑΤΕΛΕΙΕΣ».

ΕΧΟΥΜΕ ΜΕΛΕΤΗΣΕΙ
ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ
ΗΠΙΩΝ
ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ ΣΕ
ΙΔΑΝΙΚΗ ΧΟΡΔΗ.

ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ
ΜΕ ΕΛΛΑΤΤΩΜΕΝΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ
ΣΤΙΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΧΟΡΔΕΣ.

ΟΛΑ ΓΙΝΟΝΤΑΙ

ΑΠΟ ΛΟΓΟ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΗ

ΛΕΥΚΙΠΠΟΣ

ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΙΜΑΣΤΕ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ!
ΝΑ ΚΟΥΒΕΝΤΙΑΖΟΥΜΕ ΜΕ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ!
ΕΙΝΑΙ ΤΥΠΟΙ!
ΝΑ ΤΟΥΣ ΦΕΡΝΟΥΜΕ
ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥΣ!
ΚΑΤΑΝΟΟΥΜΕ
ΚΑΛΥΤΕΡΑ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.
ΕΛΕΓΧΟΥΜΕ
ΕΑΝ ΕΝΑΣ ΤΥΠΟΣ ΕΙΝΑΙ
ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΟΣ.
ΚΑΤΑΛΑΒΑΙΝΟΥΜΕ
ΟΤΙ ΚΑΠΟΙΑ ΥΠΟΘΕΣΗ
ΜΑΣ ΕΧΕΙ ΔΙΑΦΥΓΕΙ!

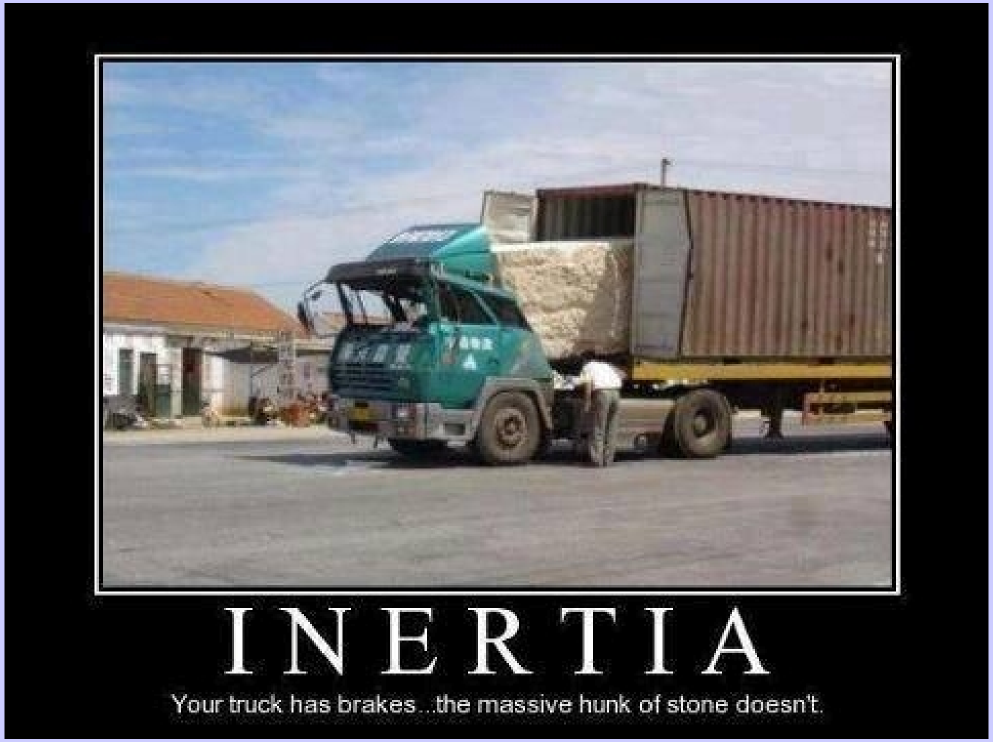
$$\upsilon = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

ΓΙΑΤΙ Η Τ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΗΤΗ;
ΓΙΑΤΙ Η μ ΣΤΟΝ ΠΑΡΟΝΟΜΑΣΤΗ;

ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ!

T ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

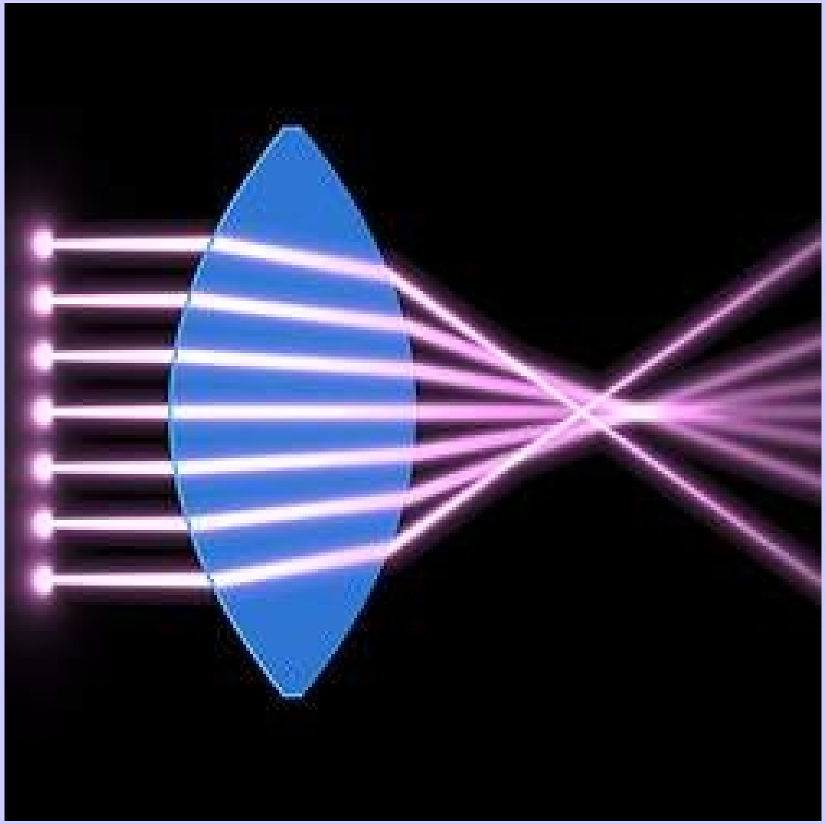
μ ΑΔΡΑΝΕΙΑ



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

$$n = \frac{c}{\upsilon}$$

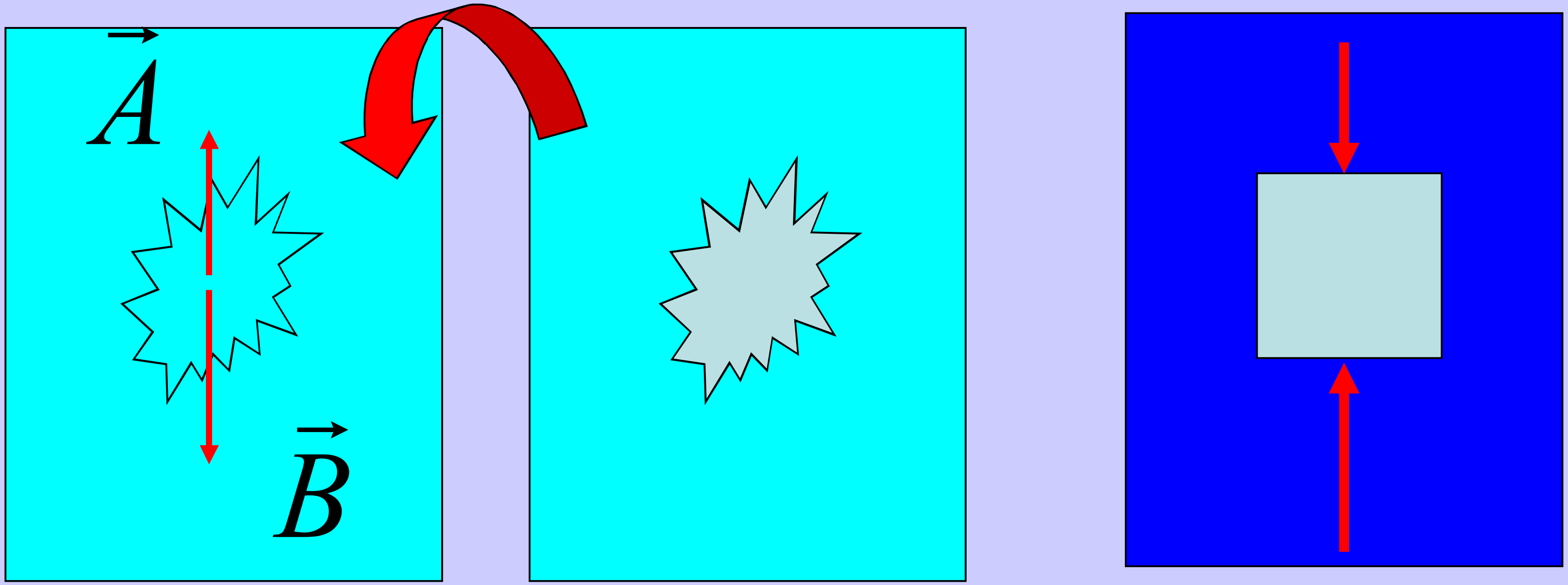
ΓΙΑΤΙ ΗΤΑΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟ ΣΤΟΝ ΤΥΠΟ Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΟΥ (n-1);
ΑΝ ΕΔΙΔΕΤΟ Η ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ ΟΤΙ ΣΤΟΝ ΤΥΠΟ ΥΠΑΡΧΕΙ ΤΟ (n+1)
ΓΙΑΤΙ ΘΑ ΤΗ ΘΕΩΡΟΥΣΑΜΕ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ;



ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

$$A = \varepsilon V$$

ΠΩΣ ΑΠΟΔΕΙΚΝΥΕΤΑΙ Ο ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΑΝΩΣΗΣ



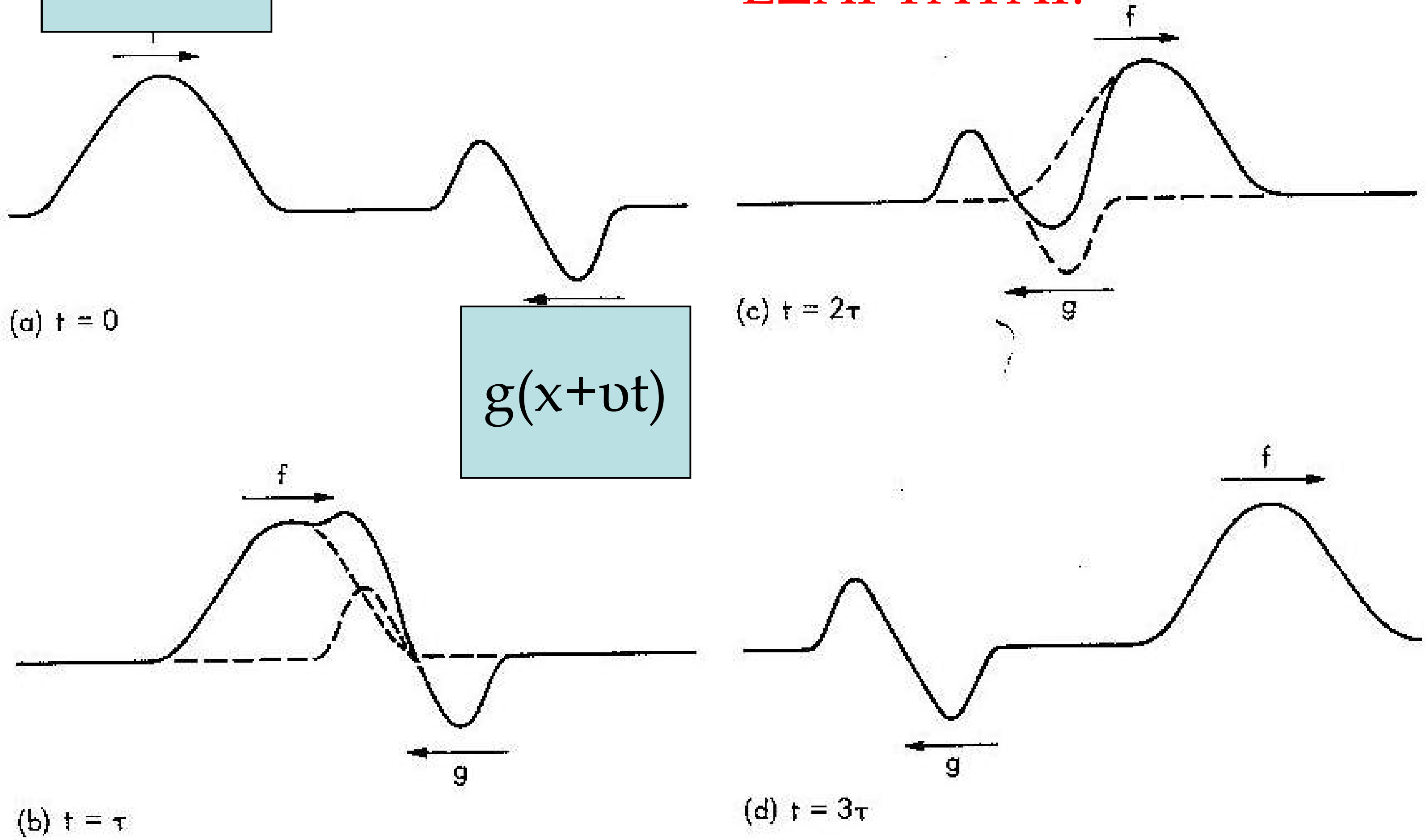
ΟΤΑΝ ΤΟ ΣΩΜΑ ΕΧΕΙ ΤΥΧΑΙΟ ΣΧΗΜΑ;

ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΟΤΑΝ ΣΥΝΑΝΤΗΘΟΥΝ;

ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ!

$f(x+\upsilon t)$

$g(x+\upsilon t)$



ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

ΡΑΒΔΟΣ ΘΕΡΜΑΙΝΕΤΑΙ ΚΑΤΑ ΔΤ
ΚΑΙ ΣΤΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΨΥΧΕΤΑΙ ΚΑΤΑ ΔΤ.
ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΡΑΒΔΟΥ ΜΙΚΡΑΙΝΕΙ!
ΚΑΤΙ ΔΕΝ ΠΑΕΙ ΚΑΛΑ!

$$l_0$$

$$\Delta l_{\Delta \mathrm{T}} = \alpha l_0 \Delta \mathrm{T}$$

$$l_0 + \Delta l_{\Delta \mathrm{T}}$$

$$l_0 + \Delta l_{\Delta \mathrm{T}}$$

$$l_{\mathrm{ΤΕΛΙΚΟ}}$$

$$\Delta l_{(-\Delta \mathrm{T})} = \alpha (l_0 + \Delta l_{\Delta \mathrm{T}})(-\Delta \mathrm{T})$$

ΣΥΝΟΨΗ

Η ΧΡΥΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ:
ΕΙΝΑΙ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ
ΓΙΑ ΤΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΚΟΣΜΟΥ.

ΕΙΝΑΙ ΧΡΗΣΙΜΗ
ΓΙΑΤΙ ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΝΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΟΥΜΕ
ΣΕ ΠΟΙΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ
ΤΟΥ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΥ ΚΟΣΜΟΥ
ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ
ΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
ΠΟΥ ΔΙΕΠΟΥΝ
ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ.

ΕΧΟΥΜΕ ΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΧΙ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ

ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ – ΤΥΠΟΣ

ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΙΜΑΣΤΕ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ!
ΝΑ ΚΟΥΒΕΝΤΙΑΖΟΥΜΕ ΜΕ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ!
ΕΙΝΑΙ ΤΥΠΟΙ!
ΝΑ ΤΟΥΣ ΦΕΡΝΟΥΜΕ
ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥΣ!
ΚΑΤΑΝΟΟΥΜΕ
ΚΑΛΥΤΕΡΑ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.
ΕΛΕΓΧΟΥΜΕ
ΕΑΝ ΕΝΑΣ ΤΥΠΟΣ ΕΙΝΑΙ
ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΟΣ.
ΚΑΤΑΛΑΒΑΙΝΟΥΜΕ
ΟΤΙ ΚΑΠΟΙΑ ΥΠΟΘΕΣΗ
ΜΑΣ ΕΧΕΙ ΔΙΑΦΥΓΕΙ!

$$\boxed{\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}}$$

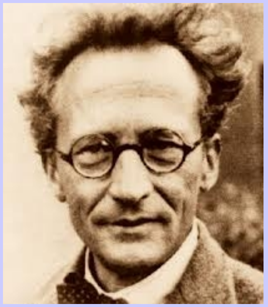
ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
ΟΤΙ Η Δ.Ε.Κ
ΕΧΕΙ
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ;

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$$

ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΗ Η ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ;

$$i\hbar\frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2}$$

ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΞΙΣΩΣΗ SCHRODINGER



$$\boxed{\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}}$$

ΕΧΕΙ ΜΟΝΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ
ΕΠΟΜΕΝΩΣ ΔΕΧΕΤΑΙ ΚΑΘΑΡΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ.
Η y(x,t)
περιγράφει μια μετρήσιμη φυσική διαταραχή.

$$\boxed{i\hbar\frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2}}$$

Η Ψ(x,t)
ΕΙΝΑΙ **ΜΙΓΑΔΙΚΗ.**
ΔΕΝ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ
ΜΙΑ ΜΕΤΡΗΣΙΜΗ ΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ

Η ΚΥΜΑΤΟΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

$\Psi(x,t)$

ΔΕΝ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΕΙ ΕΝΑ

ΚΛΑΣΣΙΚΟ ΦΥΣΙΚΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΙΜΟ ΚΥΜΑ

ΑΛΛΑ ΕΝΑ

ΚΥΜΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ.

ΤΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ

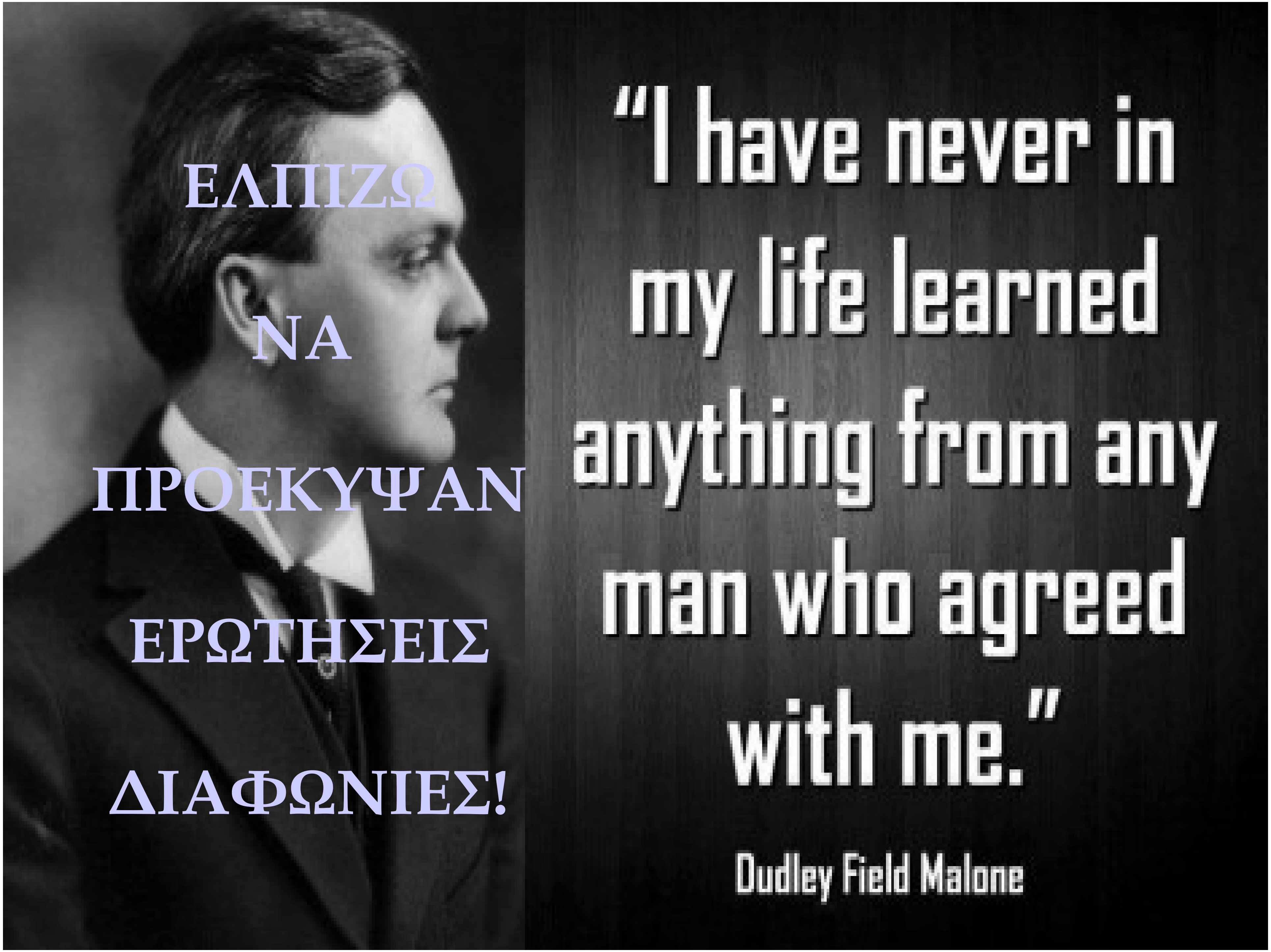
ΤΗΣ ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ $\Psi(x,t)$

ΔΙΝΕΙ ΤΗΝ

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ

ΝΑ ΒΡΟΥΜΕ ΤΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ

ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ.


ΕΛΠΙΖΩ
ΝΑ
ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ
ΔΙΑΦΩΝΙΕΣ!
"I have never in my life learned anything from any man who agreed with me."
Dudley Field Malone