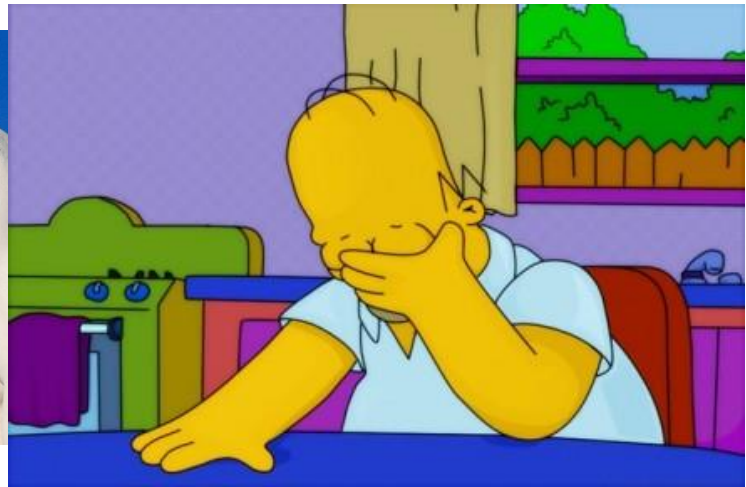
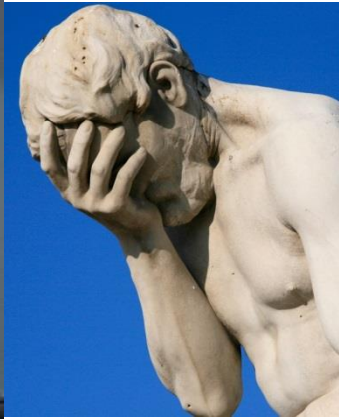
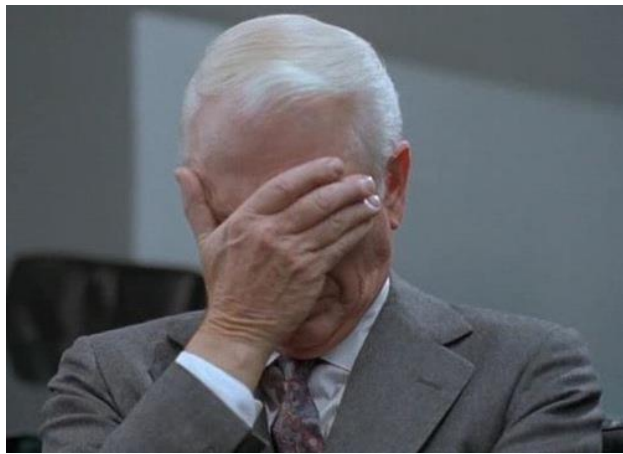


A black and white photograph of a chalkboard with the equation $E = mc^2$ written in white chalk. The chalkboard has a dark, textured background with some horizontal streaks. The equation is centered and written in a clear, slightly cursive hand.
$$E = mc^2$$

Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

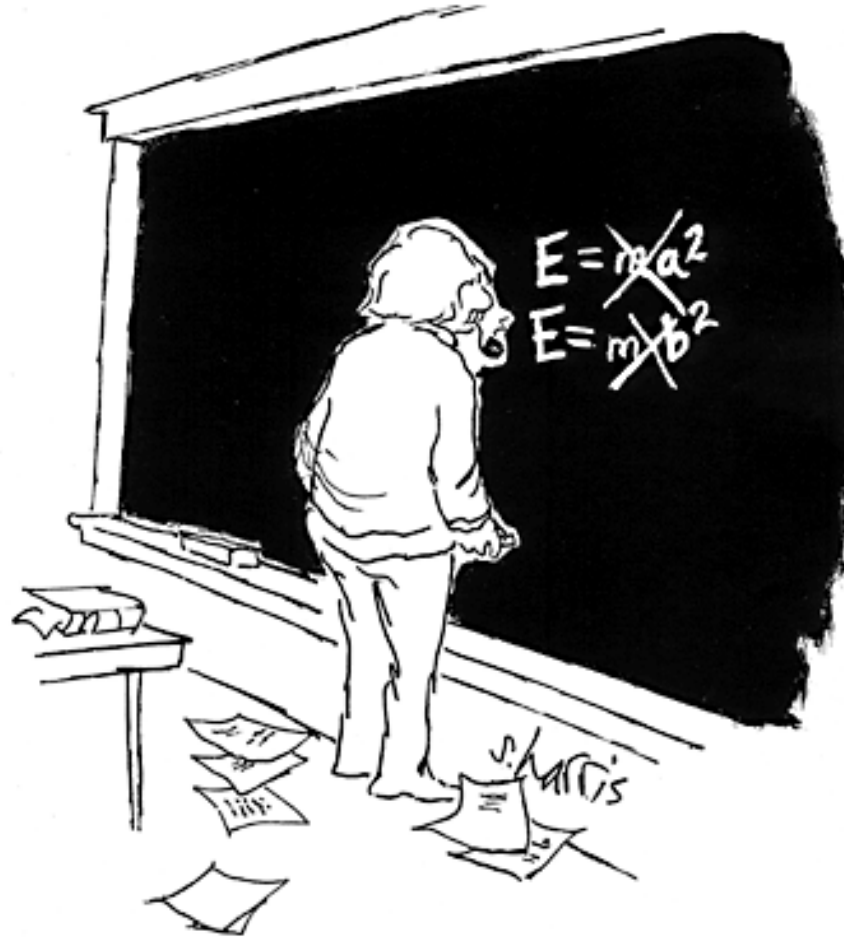
Ε. Χανιωτάκης
Ελληνογερμανική Αγωγή



« Όπως λέει κι ο Αϊνστάιν, όλα είναι Σχετικά! »



*Αν ΔΕΝ είπε ότι όλα είναι σχετικά,
τότε τι είπε ο Αϊνστάιν ;;*

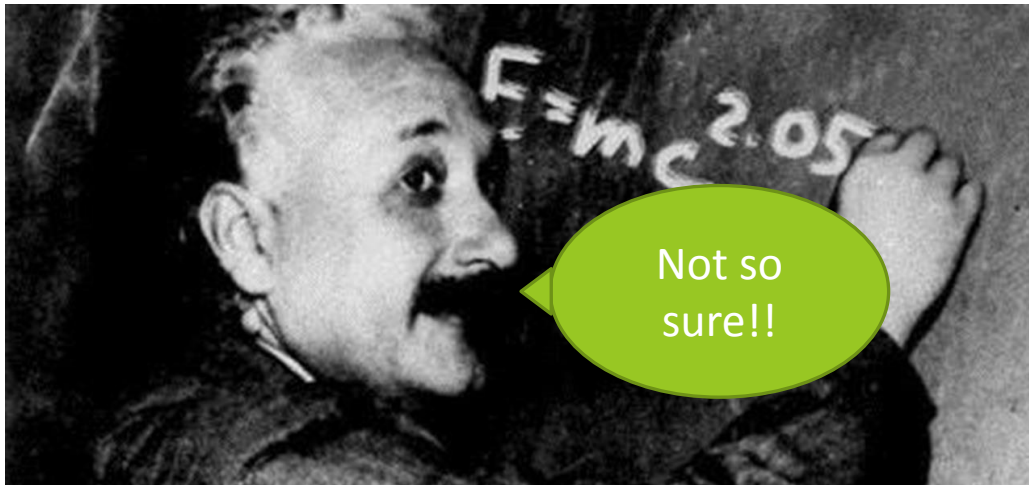


Ας γυρίσουμε λίγο πίσω να δούμε τι γινόταν πριν τον Αϊνστάιν

Μερικές έννοιες:

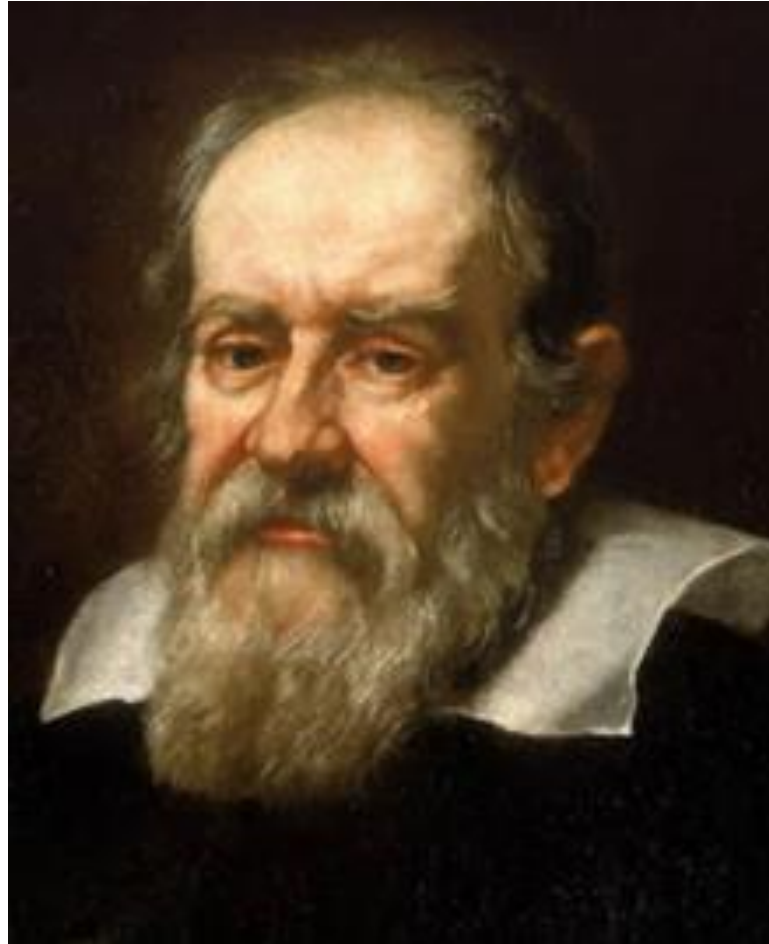
Οι παρακάτω έννοιες αποτελούν τον κορμό της Κλασικής Φυσικής και ήταν οι πρώτες οι οποίες καταρρίφθηκαν και άλλαξαν μετά την επιστημονική επανάσταση του 20^{ου} αιώνα.

- Ο χώρος ορίζεται ως το «κενό», το «διάστημα» μέσα στο οποίο βρίσκεται η ύλη.
- Ο χρόνος είναι το μέγεθος που μετρούν τα ρολόγια μας. Έχει καθορισμένη πορεία και είναι αναλλοίωτος ανάμεσα σε διαφορετικούς παρατηρητές.



Η αναγκαιότητα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας

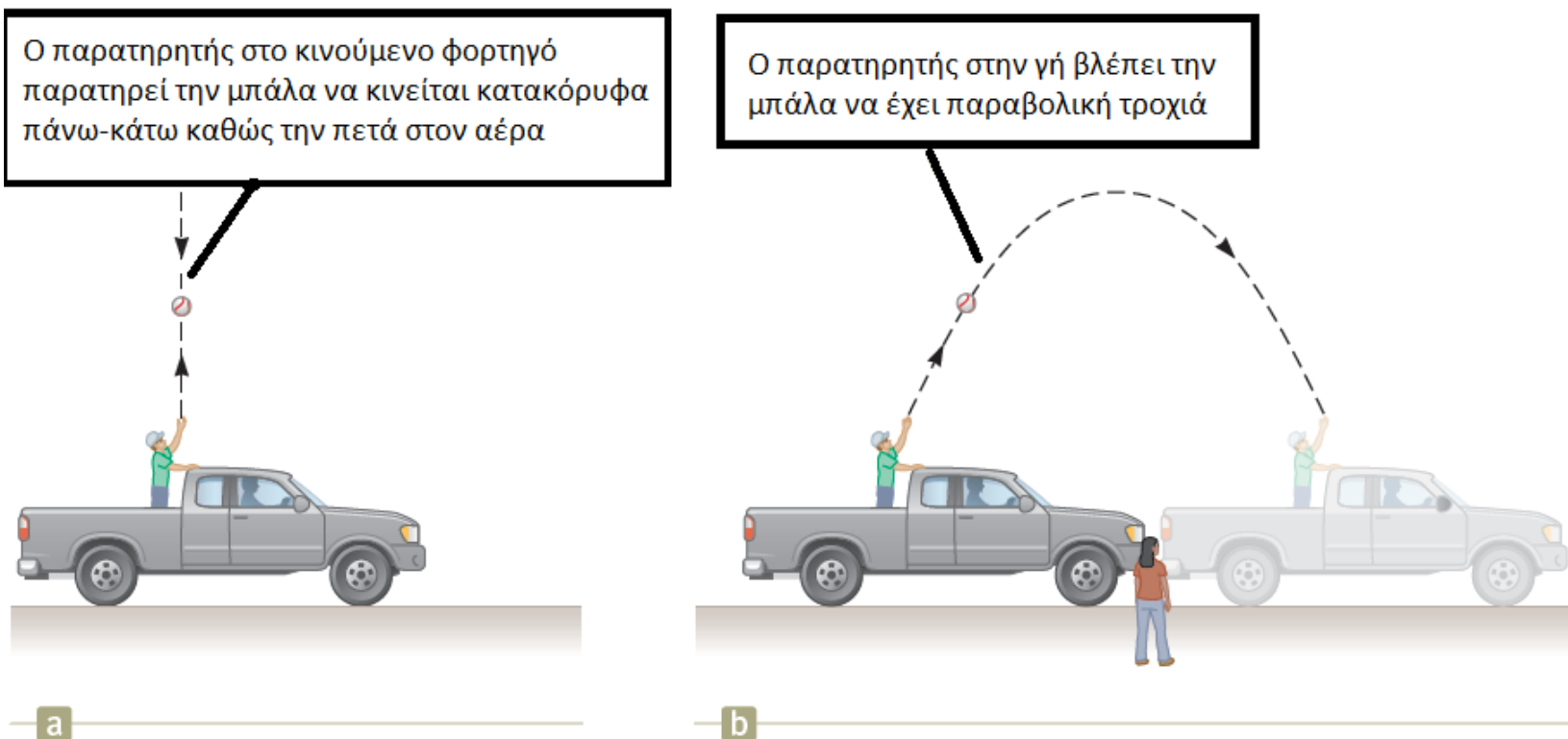
Η «ανεπάρκεια» της Γαλιλαϊκής Σχετικότητας



Γαλιλαίος (1564-1642): Ο πατέρας της πειραματικής Φυσικής

Αρχή της σχετικότητας κατά τον Γαλιλαίο:

Δύο παρατηρητές που κινούνται με σταθερή ταχύτητα ο ένας ως προς τον άλλο θα παρατηρούν τους ίδιους νόμους κίνησης των σωμάτων.

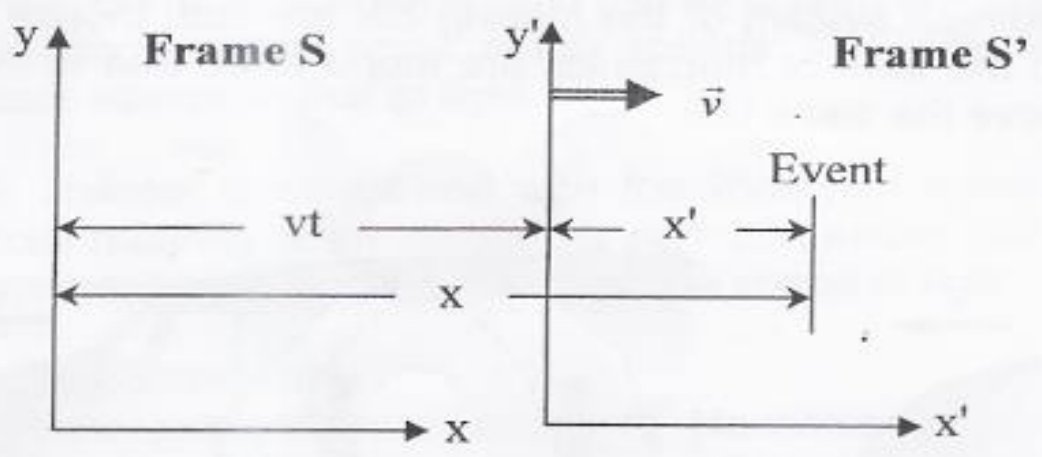


Και για τους δύο παρατηρητές, ισχύει η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας!!

Ο Γαλιλαίος εισήγαγε τους ομώνυμους «Μετασχηματισμούς Γαλιλαίου» για να μπορεί να μετασχηματίσει τις μετρούμενες αποστάσεις και ταχύτητες από έναν αδρανειακό παρατηρητή σε έναν άλλο αδρανειακό παρατηρητή

Μετασχηματισμοί Γαλιλαίου:

Μετασχηματισμοί συντεταγμένων και ταχυτήτων ανάμεσα σε δύο αδρανειακούς παρατηρητές που κινούνται ο ένας σε σχέση με τον άλλο



$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

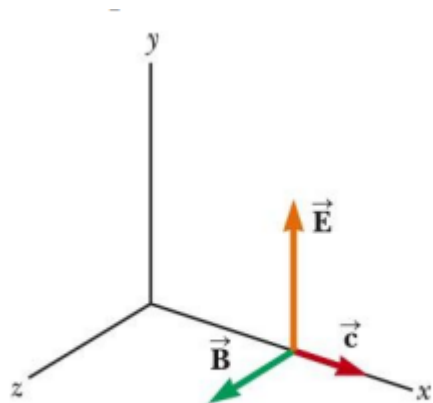
$$t' = t$$

→ Πρόβλημα:

Οι νόμοι της μηχανικής υπακούουν τον μετασχηματισμό Γαλιλαίου. Τι συμβαίνει όμως με τους νόμους του Ηλεκτρομαγνητισμού;

Με βάση την σχετικότητα του Γαλιλαίου, οι νόμοι του Ηλεκτρομαγνητισμού θα πρέπει να είναι ίδιοι ανάμεσα σε αδρανειακούς παρατηρητές.

Οι εξισώσεις του Ηλεκτρομαγνητισμού (Maxwell) αν συνδυαστούν, προβλέπουν την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων!

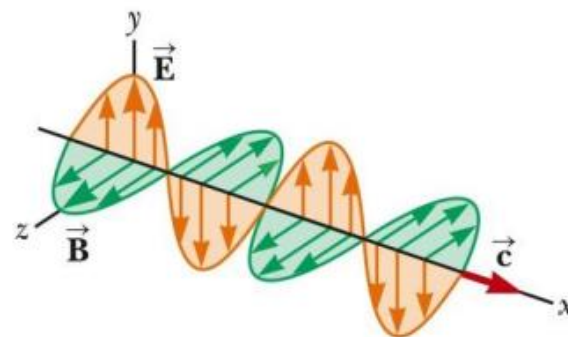


$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

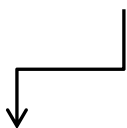
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$



Γενική εξίσωση κύματος

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$



Ταχύτητα διάδοσης κύματος

Η/Μ κύματα

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \longrightarrow E(x, t) = E_{\max} \cos(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} \longrightarrow B(x, t) = B_{\max} \cos(kx - \omega t)$$

Ταχύτητα διάδοσης Η/Μ κύματος στο κενό

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 2.997 \times 10^8 \text{ m/s}$$

18/5/2017

Αν ο μετασχηματισμός Γαλιλαίου εφαρμοστεί στην κυματική εξίσωση , τότε η εξίσωση ΔΕΝ παραμένει αναλλοίωτη → οι νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού δεν υπακούουν τον μετασχηματισμό Γαλιλαίου.

Χρειαζόμαστε νέους μετασχηματισμούς συντεταγμένων:

Μετασχηματισμοί Γαλιλαίου

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$



Μετασχηματισμοί Lorentz-Voigt

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y \quad z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Οι νέοι μετασχηματισμοί :

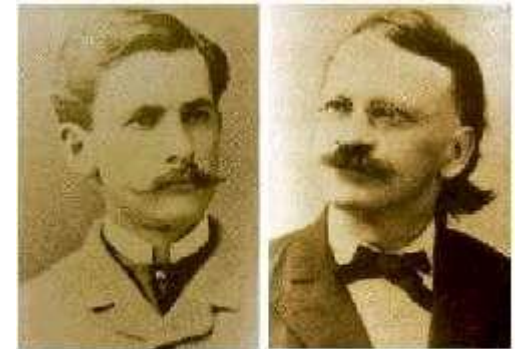
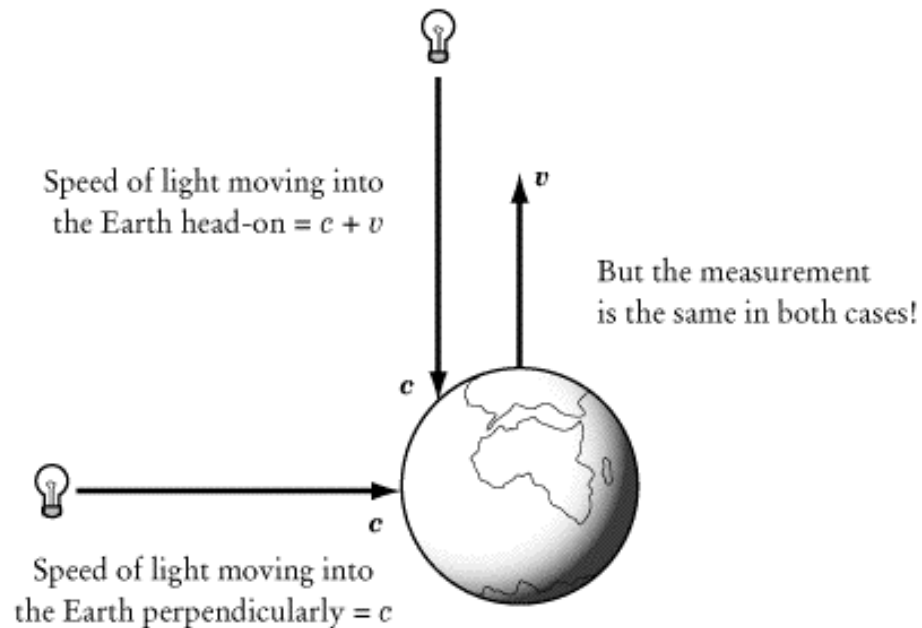
- 1) Αφήνουν αναλλοίωτη την κυματική εξίσωση ανάμεσα σε δύο αδρανειακούς παρατηρητές.
- 2) Ο χρόνος μετριέται διαφορετικά από δύο αδρανειακούς παρατηρητές
- 3) Η ταχύτητα των Ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ταχύτητα του φωτός) είναι η ίδια για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές

Ο Voigt ο οποίος εισήγαγε τους νέους μετασχηματισμούς για καθαρά μαθηματικούς λόγους το 1887 πίστευε στην ύπαρξη του αιθέρα, ενός μέσου το οποίο διέπει όλο το σύμπαν και δι' αυτού διαδίδεται το φώς.

Ωστόσο η σταθερότητα της ταχύτητας του φωτός στο κενό και η ανεξαρτησία της από το σύστημα αναφοράς του παρατηρητή έρχεται να αποδείξει το αντίθετο.

Ο πρώτος που το συνέλαβε αυτό ήταν ο Αϊνστάιν μετά από την κατάρριψη της ύπαρξης του αιθέρα από το πείραμα των Michelson-Moreley.

Το πείραμα των Michelson-Moreley και η κατάρριψη της υπόθεσης του αιθέρα



A.A. Michelson
1852 - 1931

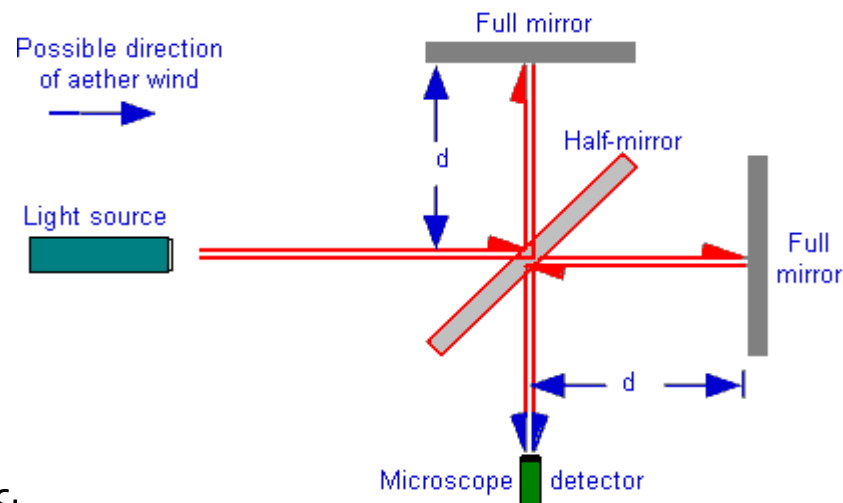
E.W. Morley
1838 - 1923

Οι Michelson & Moreley χρησιμοποίησαν ένα φασματόμετρο με δύο κάθετους βραχίονες ίσου μήκους για να μετρήσουν την κίνηση του φωτός δια μέσω του αιθέρα.

Η αρχή λειτουργίας του πειράματος λέει ότι :

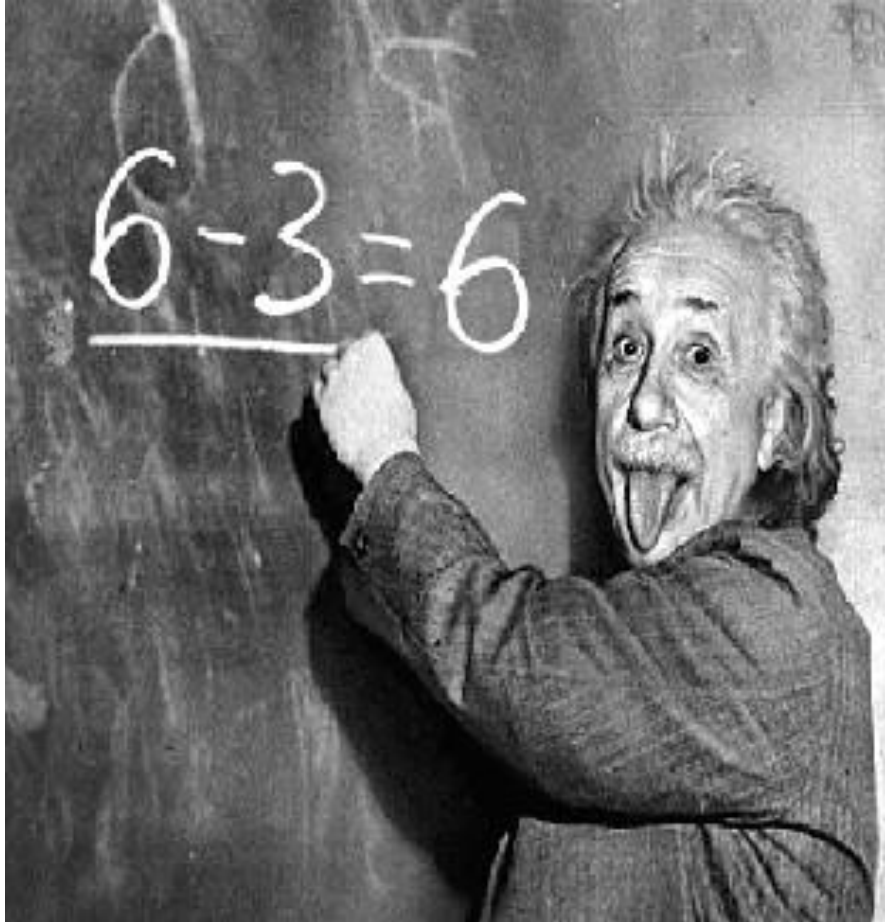
Αν η γή κινείται παράλληλα με τον αιθέρα με ταχύτητα u ως προς αυτόν, τότε αν το φώς έρχεται προς αυτήν με ομοπαράλληλα με την κίνηση της γής ως προς τον αιθέρα, η ταχύτητα που θα μετράει ο γήινος παρατηρητής θα διαφέρει από ότι αν το φώς ερχόταν κάθετα.

Η φωτεινή δέσμη διαχωρίζεται στο ημιεπαργυρωμένο κάτοπτρο στο μέσον της διάταξης και η μισή της ένταση διαδίδεται προς τα δεξιά... (ομόρροπα με την κατεύθυνση κίνησης του αιθέρα), ενώ η άλλη μισή ανακλάται και οδεύει προς τα πάνω.



Αντίθετα, αν υπάρχει αιθέρας και κινείται προς την διεύθυνση του δεξιού σχήματος, τότε το φως διανύει διαφορετική απόσταση στην οριζόντια κίνησή του παρά στην κάθετη. Η συμβολή των φωτεινών ακτίνων δεν είναι ενισχυτική λόγω διαφοράς φάσης.

Αν δεν υπάρχει αιθέρας, οι αποστάσεις στην οριζόντια και την κάθετη διεύθυνση είναι ίσες. Οι δύο ακτίνες φωτός συναντώνται στον ανιχνευτή όπου και συμβάλλουν ενισχυτικά. **Αυτό ήταν και το τελικό αποτέλεσμα του πειράματος καταρρίπτοντας έτσι την ύπαρξη αιθέρα ως μέσου διάδοσης του φωτός που διατρέχει το σύμπαν.**

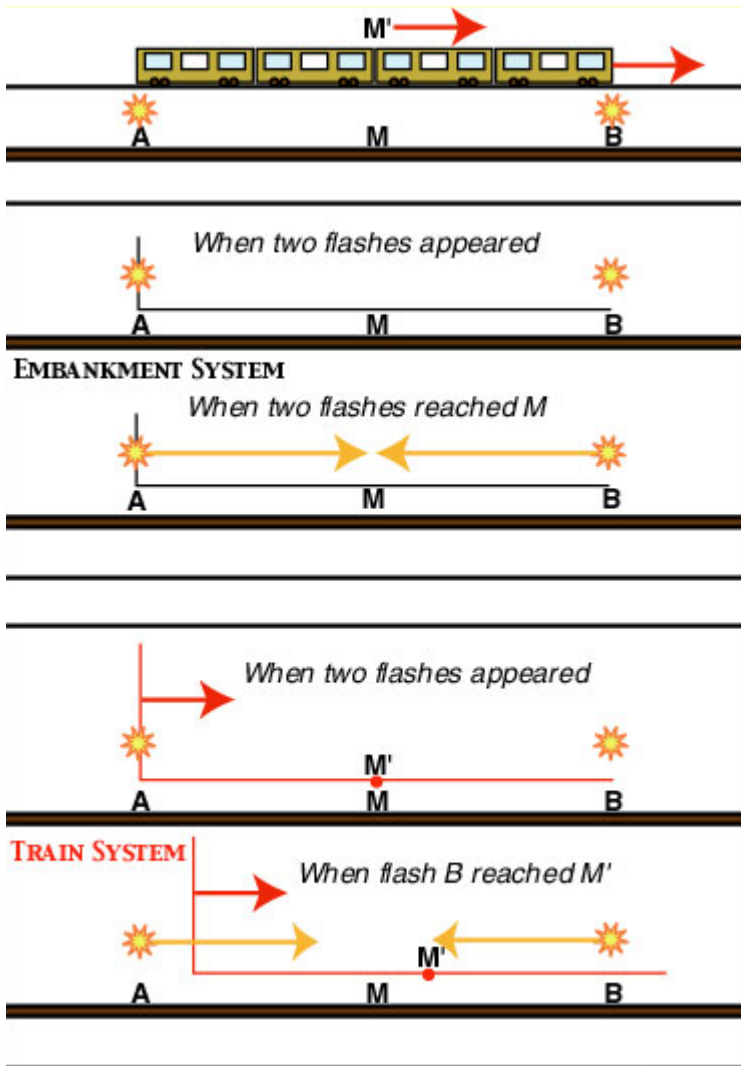


Η Ειδική Θεωρία της
Σχετικότητας του
Αϊνστάιν (1905)

Αξιώματα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας:

- Αξίωμα 1^ο :
Οι νόμοι της φύσης είναι οι ίδιοι για δύο παρατηρητές που κινούνται με σταθερή ταχύτητα ο ένας ως προς τον άλλο.
- Αξίωμα 2^ο :
Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι η ίδια για όλα τα συστήματα αναφοράς ανεξαρτήτως της ταχύτητας του παρατηρητή και της πηγής του φωτός.

Η σχετικότητα του ταυτοχρόνου

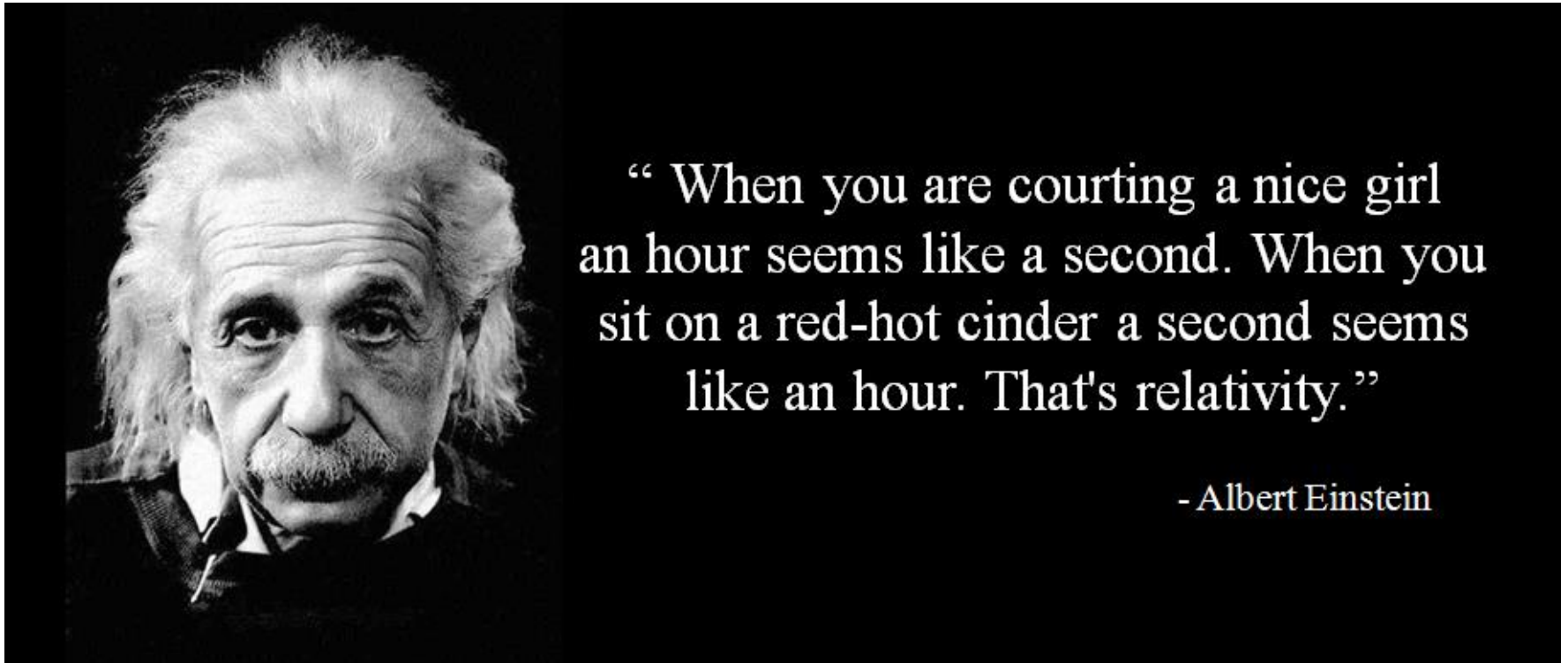


© Soshichi Uchii

Αν δύο γεγονότα ΔΕΝ συνδέονται με σχέση αιτίου-αιτιατού, τότε διαφορετικοί παρατηρητές θα τα παρατηρούν με διαφορετική χρονική σειρά.

Αν ένας παρατηρητής βλέπει δύο γεγονότα να συμβαίνουν ταυτόχρονα, τότε ένας άλλος παρατηρητής που κινείται με σταθερή ταχύτητα ως προς τον πρώτο θα τα δει να απέχουν χρονικά.

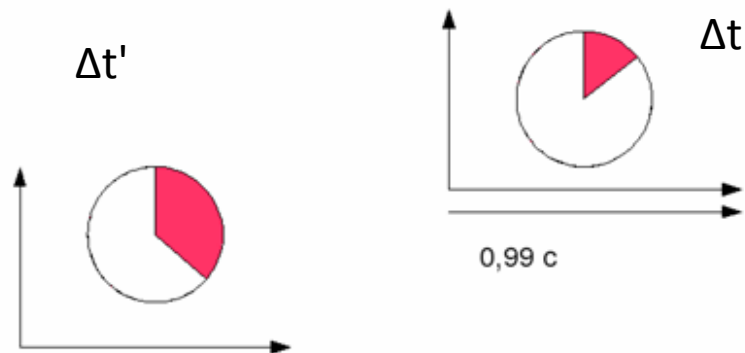
Διαστολή του χρόνου



“ When you are courting a nice girl an hour seems like a second. When you sit on a red-hot cinder a second seems like an hour. That's relativity.”

- Albert Einstein

Μια από τις πιο φημισμένες συνέπειες της ειδικής σχετικότητας είναι η λεγόμενη: "Διαστολή του χρόνου": Ο χρόνος κυλάει πιο αργά όσο πλησιάζουμε την ταχύτητα του φωτός.



Άς υποθέσουμε ότι έχουμε δύο συστήματα αναφοράς. Ένα τρένο (O') και την πλατφόρμα (O).

Το τρένο κινείται με ταχύτητα κοντά στην ταχύτητα του φωτός ως προς την πλατφόρμα.

Έστω τώρα ότι ο O' χτυπάει δύο παλαμάκια.

Ως προς τον O' , ο χρόνος ανάμεσα στα παλαμάκια ήταν $\Delta t'$, ενώ τα δύο συμβάντα συνέβησαν στην ίδια θέση ως προς τον O' .

Ως προς τον O , ο χρόνος ανάμεσα στα παλαμάκια ήταν Δt , και τα δύο συμβάντα συνέβησαν σε δύο διαφορετικές διαδοχικές θέσεις: x_1 και x_2 με απόσταση Δx .

Με βάση την ειδική θεωρία της σχετικότητας:

" Ο χρόνος ανάμεσα σε δύο συμβάντα τα οποία λαμβάνουν χώρα στην ΙΔΙΑ θέση ως προς ένα σύστημα αναφοράς λέγεται ιδιοχρόνος, και είναι μικρότερος από τον χρόνο που μετρά ένα σύστημα αναφοράς ως προς το οποίο τα γεγονότα συμβαίνουν σε διαφορετικές θέσεις. Το φαινόμενο αυτό λέγεται διαστολή του χρόνου"

Η σχέση που συνδέει τους δύο χρόνους είναι:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Εφαρμογή:

Ένα εκκρεμές με ιδιο-περίοδο $T = 1 \text{ sec}$ έχει αναρτηθεί στο ταβάνι ενός τρένου.

Το τρένο κινείται με ταχύτητα $v = 0,8c$.

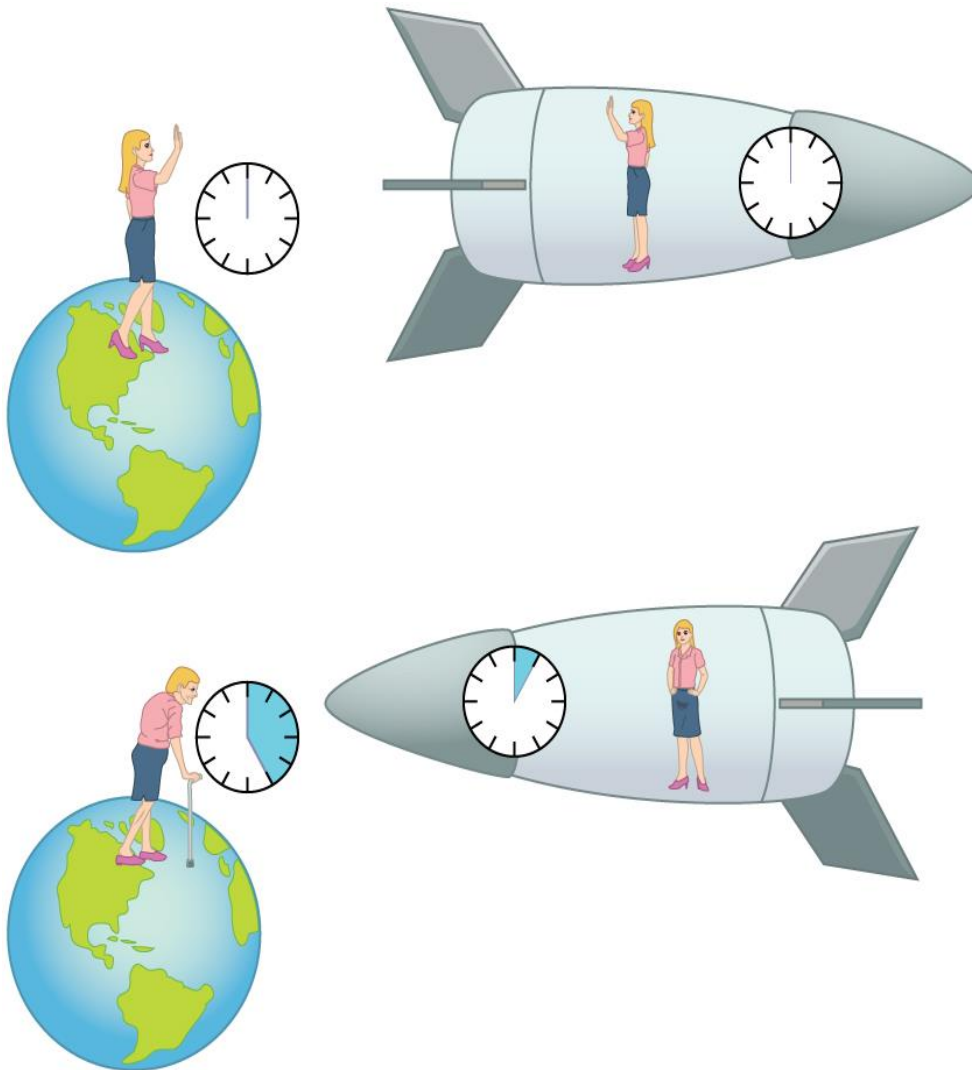
Ποια είναι η περίοδος του εκκρεμούς για έναν παρατηρητή ο οποίος βρίσκεται έξω από το τρένο και είναι ακίνητος ως προς την γή;

$$T' = \gamma T \rightarrow T' = \frac{T}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow$$

$$T' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} \rightarrow$$

$$T' = \frac{1}{\sqrt{0,36}} \rightarrow T' = 1,667 \text{ sec}$$

Το παράδοξο των διδύμων



Με βάση την διαστολή του χρόνου μπορεί να εξηγηθεί το "παράδοξο των διδύμων".

Αν έχουμε δύο δίδυμες αδερφές και η μία μπει σε ένα διαστημόπλοιο το οποίο κινείται με ταχύτητα κοντά στην ταχύτητα του φωτός, τότε μετά από μία ημέρα όπως πέρασε για την αδερφή στο διαστημόπλοιο, όταν γυρίσει πίσω θα βρεί την αδερφή της να έχει πλέον γεράσει

Συστολή του μήκους

Car Length at Rest



122,760 mi/sec
The car travels 4.95 times around the Earth in a second



161,820 mi/sec
The car travels 6.53 times around the Earth in a second



180,420 mi/sec
The car travels 7.28 times around the Earth in a second

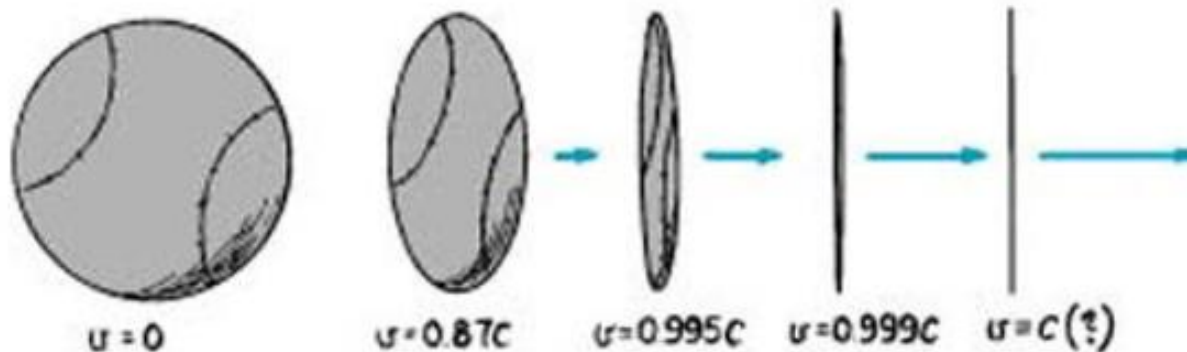


185,068 mi/sec
The car travels 7.47 times around the Earth in a second

Μία ακόμη συνέπεια της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας είναι ότι το μετρούμενο μέγεθος ενός αντικειμένου ελαττώνεται κατά την διεύθυνση της κίνησής του, όταν η ταχύτητά του είναι κοντά στην ταχύτητα του φωτός.

Το μήκος που μετράει το σύστημα αναφοράς που είναι ακίνητο ως προς το αντικείμενο λέγεται ιδιομήκος (l_0), και η σχέση που συνδέει τα δύο μήκη είναι:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$



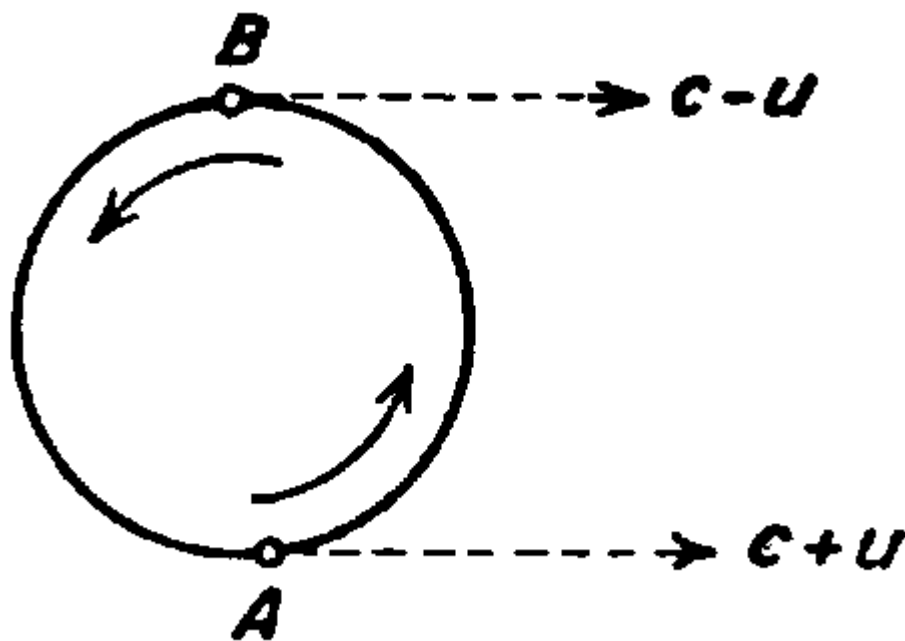
Σταθερότητα της ταχύτητας του φωτός



Η εμπειρία μας μας λέει ότι όταν τρέχουμε με το αυτοκίνητό μας ,
ένα αυτοκίνητο που έρχεται από το αντίθετο ρεύμα το βλέπουμε να τρέχει με ταχύτητα ίση
με το αλγεβρικό άθροισμα των ταχυτήτων μας.

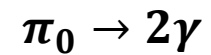
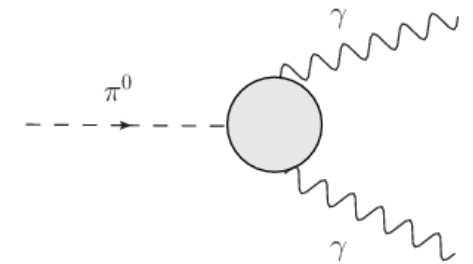
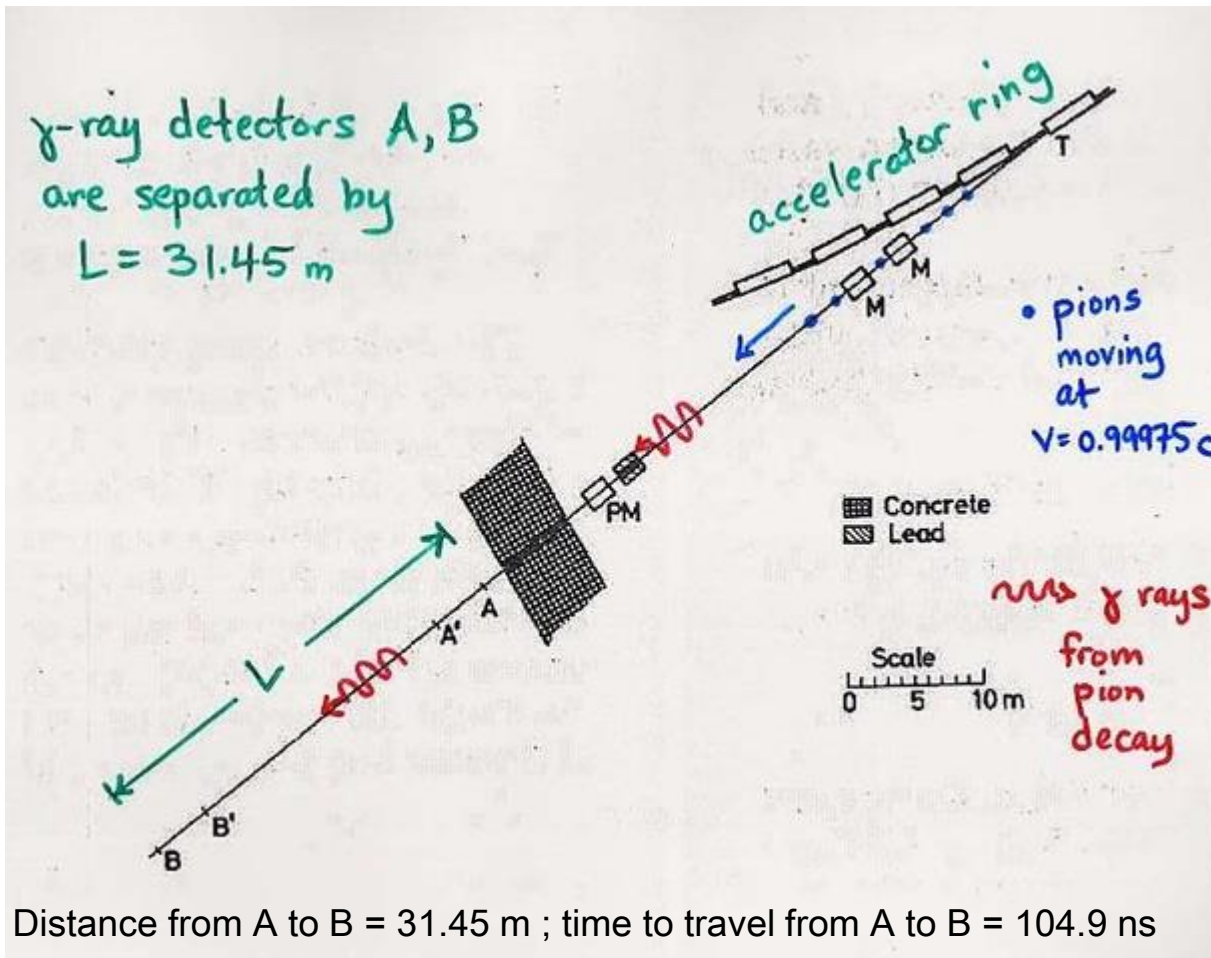
Αντίθετα, αν βρισκόμαστε στο ίδιο ρεύμα, το άλλο αυτοκίνητο βλέπουμε ότι κινείται με
ταχύτητα ίση με την διαφορά των ταχυτήτων μας.

Ισχύει το ίδιο για το φώς;



Το πείραμα του De-Sitter με την
παρατήρηση του φωτός που έρχεται
από έναν διπλό
αστέρα, επιβεβαιώνει ότι η
ταχύτητα του φωτός είναι ανεξάρτητη
από την ταχύτητα της πηγής που το
παράγει:

Το φώς από το άστρο A θα έπρεπε να
καταφθάνει πιο γρήγορα στον γήινο
παρατηρητή
απ'ότι το φώς απ' το άστρο B.
Εν τούτοις, οι δύο ακτίνες φωτός
μετρήθηκαν να καταφθάνουν
ταυτόχρονα

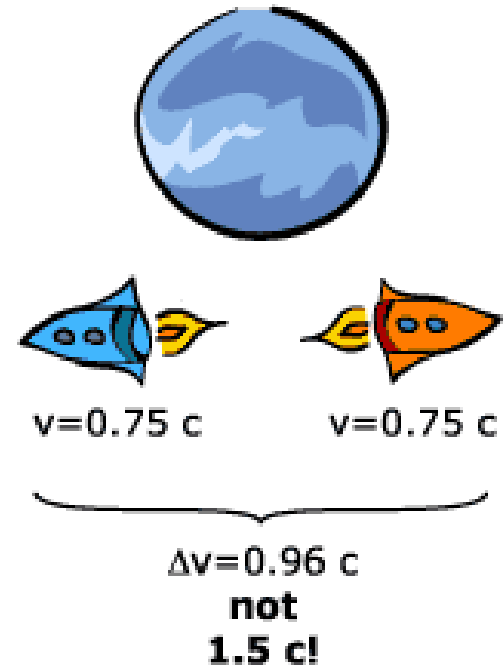


Διάσπαση ουδέτερου
πιονίου σε δύο ακτίνες γ

Το 1964 μετρήθηκε
στο CERN από τους Alvager et. al. ότι τα φωτόνια που παράγονται από
την διάσπαση ουδέτερων πιονίων με ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα
του φωτός, έχουν ταχύτητα ίση με c ανεξαρτήτως της ταχύτητας της πηγής τους.

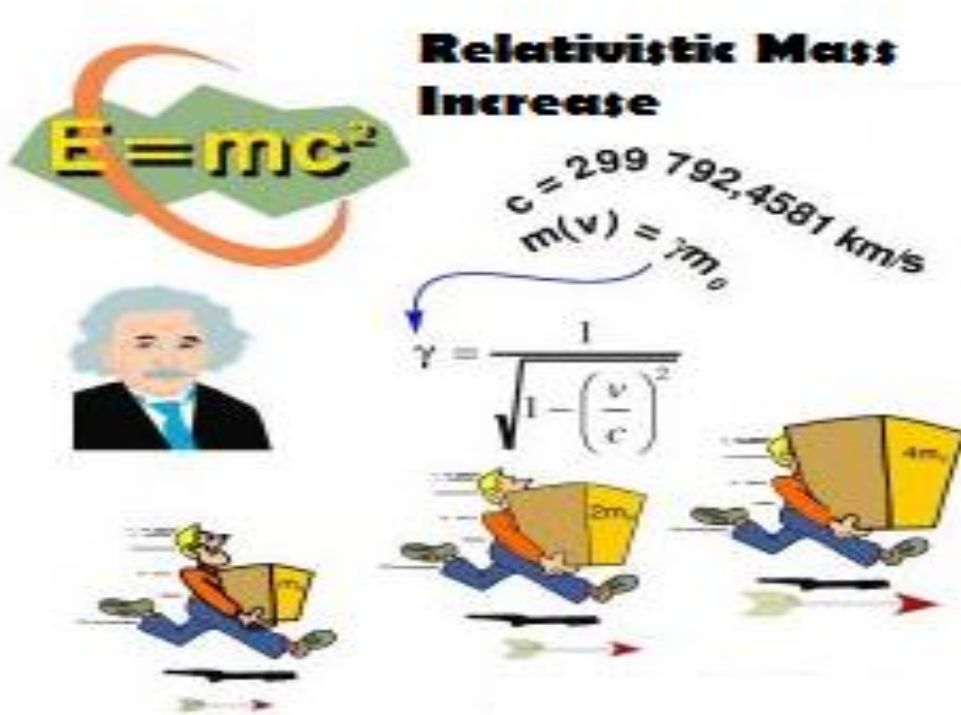
Ο νόμος της πρόσθεσης ταχυτήτων σε ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός γίνεται:

$$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}}$$



Μπορείτε να επαληθεύσετε αυτήν την σχέση με τα νούμερα που δίδονται παραπάνω;

«Μεταβολή» της μάζας με την ταχύτητα



Σε ένα σώμα που κινείται με ταχύτητα u , η μάζα του μεταβάλλεται συναρτήσει της ταχύτητάς του. Με βάση την σχέση:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

↑ Μάζα ηρεμίας ($u=0$)

↓ Σχετικιστική μάζα

«Διαισθητικά», η σχέση αυτή μας λέει ότι όσο $u \rightarrow c$ ένα σώμα «βαραίνει». Για $u=c$, η μάζα απειρίζεται, άρα ένα σώμα δεν μπορεί να αποκτήσει μεγαλύτερη ταχύτητα λόγω «αδράνειας».

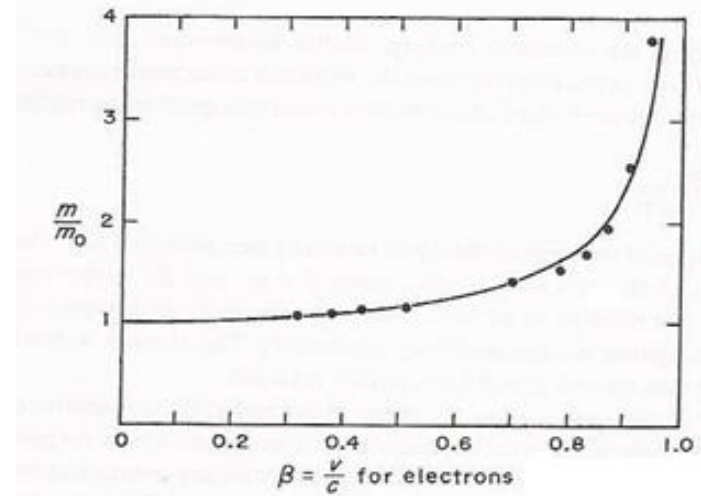
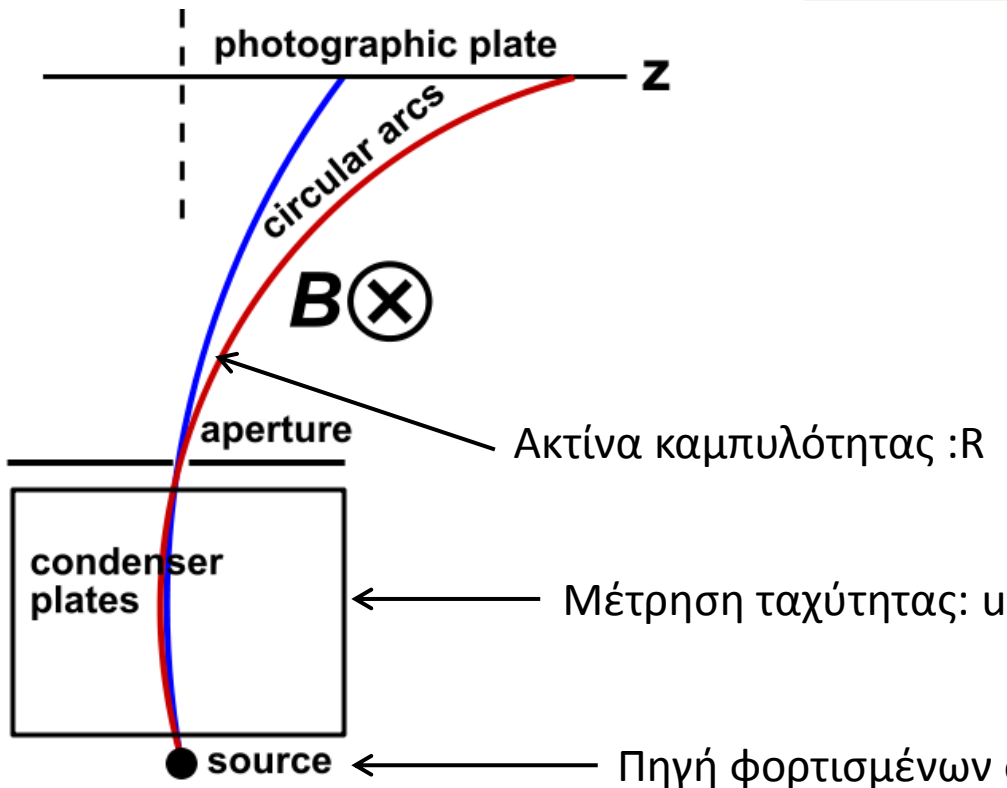
Πώς το ξέρουμε;;



Ο πιο απλός τρόπος να μετρήσουμε την μάζα (m) ενός φορτισμένου σωματιδίου, για διάφορες τιμές ταχύτητας γνωρίζοντας ήδη την ταχύτητά του (u) είναι μέσω του φασματογράφου μάζας. Σε αυτόν, ένα φορτισμένο σωματίο με φορτίο q εισέρχεται σε μία περιοχή που υπάρχει μαγνητικό πεδίο (B).

Η τροχιά του σωματιδίου καμπυλώνεται, και εμείς μετράμε την ακτίνα καμπυλότητάς του (R). Από αυτήν και τις υπόλοιπες πληροφορίες μπορούμε να εξάγουμε την μάζα του σωματιδίου από την σχέση :

$$R = \frac{mu}{qB}$$



(Bucherer, Kaufmann, Neumann, 1901- 1905)

Δηλαδή τα σωματίδια όταν τρέχουν με ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός, φουσκώνουν; Χοντραίνουν;



Τότε τι συμβαίνει;

Σε ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός, η μηχανική του σύμπαντος αλλάζει. Πλέον, ούτε η ενέργεια, ούτε η ορμή ορίζονται με βάση την κλασική φυσική.

Ως μάζα ενός σώματος, ορίζουμε την μάζα ηρεμίας m_0 :

Δηλαδή την μάζα που μετρά ένας παρατηρητής ακίνητος ως προς το μετρούμενο σωματίδιο.

Στην πραγματικότητα, όσο ένα σώμα κερδίζει ταχύτητα, τόσο η σχέση που συνδέει την ενέργεια με την ταχύτητα αλλάζει. Για να επιτύχουμε μια μικρή μεταβολή της ταχύτητας πρέπει να μεταβάλουμε την προσφερόμενη ενέργεια κατά μεγάλο βαθμό, που αυξάνει όσο $v \rightarrow c$.

Αυτή η μεταβολή παρουσιάζεται σαν αύξηση της αδράνειας του σώματος, άρα και της μάζας του.

Εξαρτάται η αδράνεια ενός σώματος από το ενεργειακό του περιεχόμενο;

Θα ακολουθήσουμε την απόδειξη που έδωσε ο Αϊνστάιν το 1905 :

Έστω ένα ακίνητο σώμα με μάζα M . Το σώμα αυτό εκπέμπει δύο φωτεινές ακτίνες με ίσες ενέργειες σε αντίθετες κατευθύνσεις .

Η ενέργεια του σώματος πριν την εκπομπή των δύο ακτίνων ήταν E_0 και μετά την εκπομπή των ακτίνων ίση με E_1 . Ωστόσο, το σώμα παραμένει ακίνητο μετά την εκπομπή των ακτίνων.

Η κάθε ακτίνα έχει ενέργεια ίση με $\frac{L}{2}$.

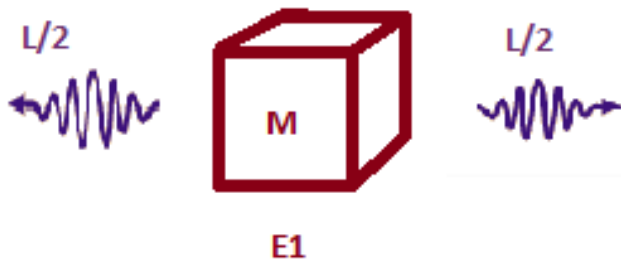
Πρίν



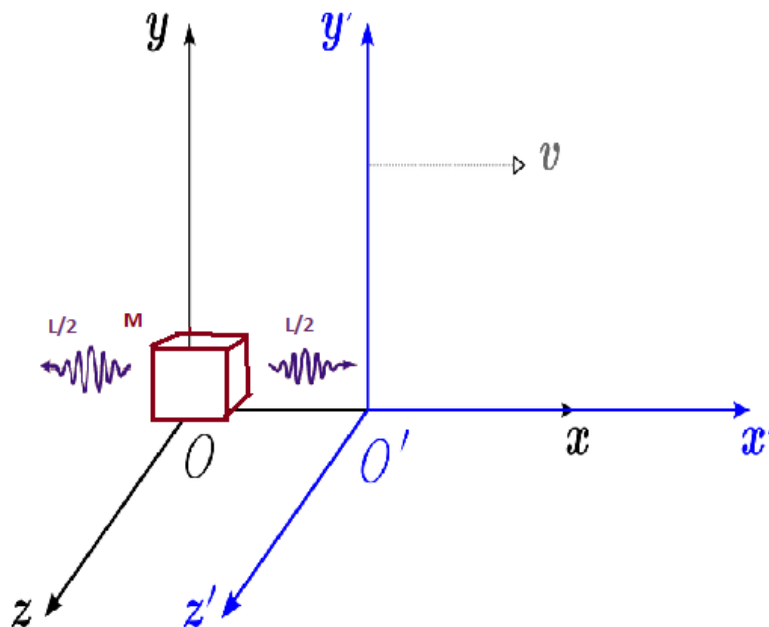
Ισχύει:

$$E_0 = E_1 + \frac{L}{2} + \frac{L}{2} \quad (1)$$

Μετά



Ένα άλλο σύστημα αναφοράς (x', y', z') κινείται με ταχύτητα u ως προς το σώμα, παράλληλα με τις ακτίνες φωτός.



Ως προς το κινούμενο σύστημα αναφοράς, το σώμα θα έχει ενέργεια H_0 και θα κινείται πριν την εκπομπή και ενέργεια H_1 μετά την εκπομπή των ακτίνων.

Οι ακτίνες τώρα, εφόσον ισχύουν οι μετασχηματισμοί Lorentz, θα έχουν ενέργειες ως προς το κινούμενο σύστημα :

$$\frac{L}{2} \frac{1 - \frac{u}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}}$$

(η ακτίνα που πλησιάζει) και

$$\frac{L}{2} \frac{1 + \frac{u}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}}$$

(η ακτίνα που απομακρύνεται)

Στο κινούμενο σύστημα αναφοράς επομένως, η διατήρηση της ενέργειας δίνει:

$$H_o = H_1 + \frac{L}{2} \frac{1 - \frac{u}{c}}{\sqrt{1 - (\frac{u}{c})^2}} + \frac{L}{2} \frac{1 + \frac{u}{c}}{\sqrt{1 - (\frac{u}{c})^2}} \rightarrow$$

$$H_o = H_1 + \frac{L}{\sqrt{1 - (\frac{u}{c})^2}} \quad (2)$$

Αν αφαιρέσουμε τη σχέση (1) από την σχέση (2):

$$H_o - E_o = H_1 - E_1 + \frac{L}{\sqrt{1 - (\frac{u}{c})^2}} - L$$

Κινητική
ενέργεια K_o του
σώματος πριν την εκπομπή
ως προς τον O' .

Κινητική
ενέργεια K_1 του
σώματος μετά την εκπομπή
ως προς τον O' .

Μετά από μερικές πράξεις (ανάπτυγμα Taylor):

$$K_0 = K_1 + \frac{1}{2} \left(\frac{L}{c^2} \right) v^2$$

Η κινητική ενέργεια δίδεται από την σχέση: $K = \frac{1}{2} m v^2$

Η ταχύτητα του σώματος δεν αλλάζει μετά την εκπομπή.

Άρα η μεταβολή στην κινητική ενέργεια πρέπει να οφείλεται σε μεταβολή στην μάζα του:

$$\frac{1}{2} m_0 v^2 = \frac{1}{2} m_1 v^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{L}{c^2} \right) v^2$$

Απαλείφοντας τις ταχύτητες και το $\frac{1}{2}$:

$$m_0 = m_1 + \frac{L}{c^2} \rightarrow \boxed{L = (m_0 - m_1) c^2}$$

Η ολική ενέργεια E που εκπέμπεται υπο την μορφή ακτινοβολίας οδηγεί το σύστημα σε ελάττωση της μάζας του με βάση τη σχέση:

$$\boxed{E = m c^2}$$

Τι σημαίνει το
 $E = mc^2$
στην πράξη;

Ερμηνεία 1^η :

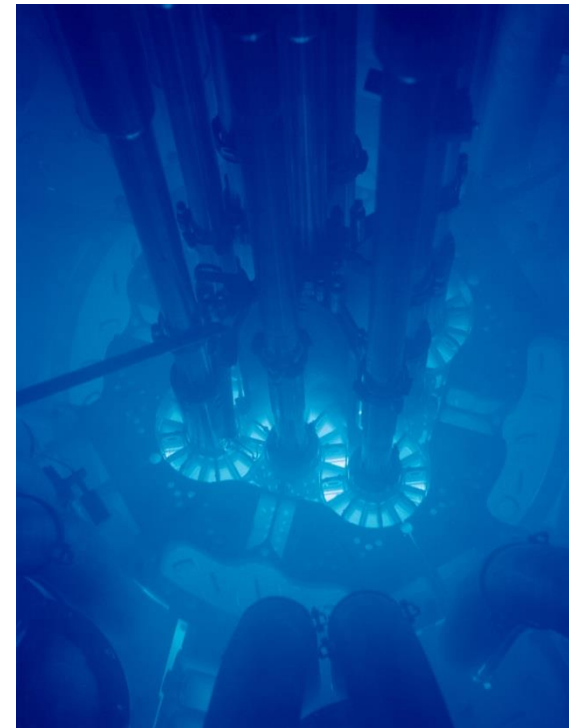
Όταν σε ένα σύστημα συμβαίνει μια διαδικασία κατά την οποία εκπέμπεται ενέργεια, η μάζα του συστήματος μεταβάλλεται κατά:

$$\Delta M = \frac{E}{c^2}$$

Πυρηνικοί αντιδραστήρες! →

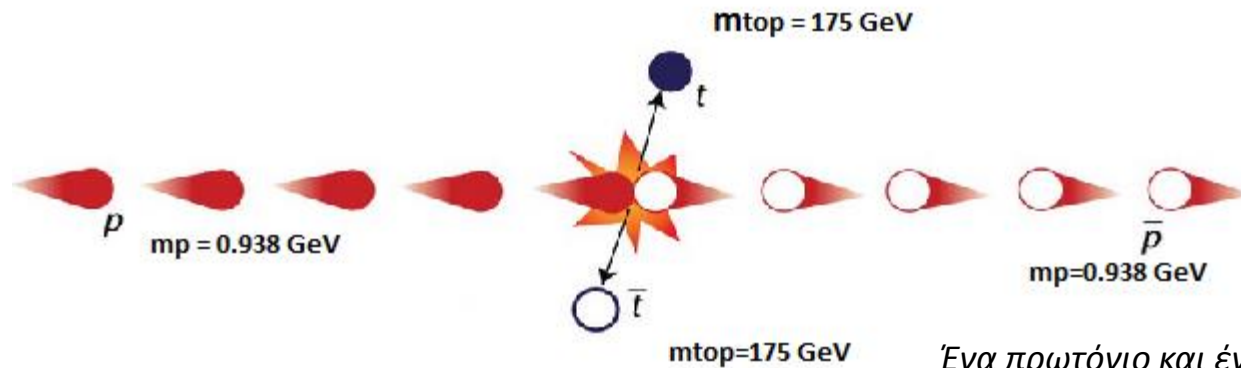
Κατά την πυρηνική σχάση, μέρος της μάζας του σχάσιμου πυρήνα μετατρέπεται σε ενέργεια μετά την σχάση!

*Οι τάξεις μεγέθους είναι τεράστιες:
Αν κάθε μήνα χρησιμοποιείτε ένα βαρέλι βενζίνη για να γεμίσετε το αυτοκίνητό σας, χρησιμοποιώντας ένα βαρέλι από σχάσιμο U-235 δεν θα χρειαζόταν να ξαναγεμίσετε το αμάξι σας για τα ερχόμενα 19000 χρόνια!!!!!!!*

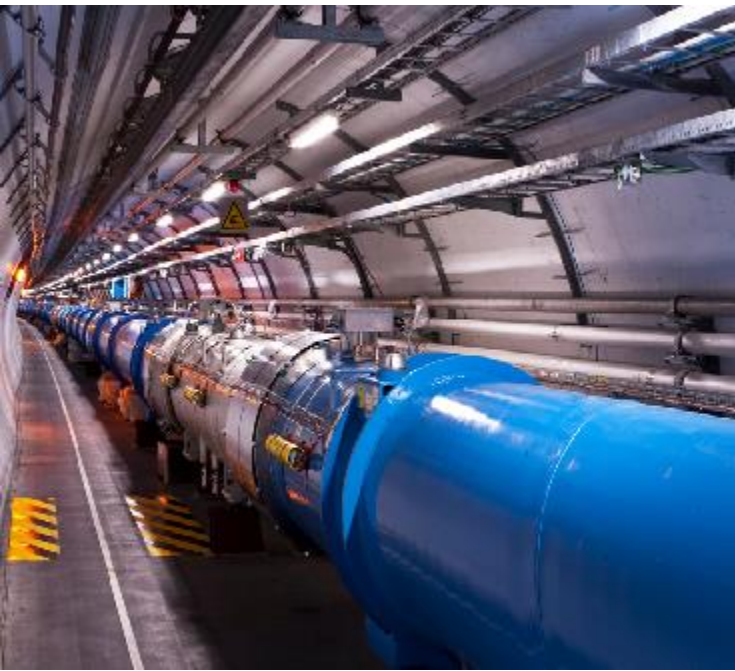


Ερμηνεία 2^η :

Αν η ενέργεια που παράγεται κατά μία κατάλληλη αλληλεπίδραση είναι μεγαλύτερη ή ίση από την μάζα ενός στοιχειώδους σωματιδίου, τότε αυτό το στοιχειώδες σωματίο θα παραχθεί ενώ πριν δεν υπήρχε:

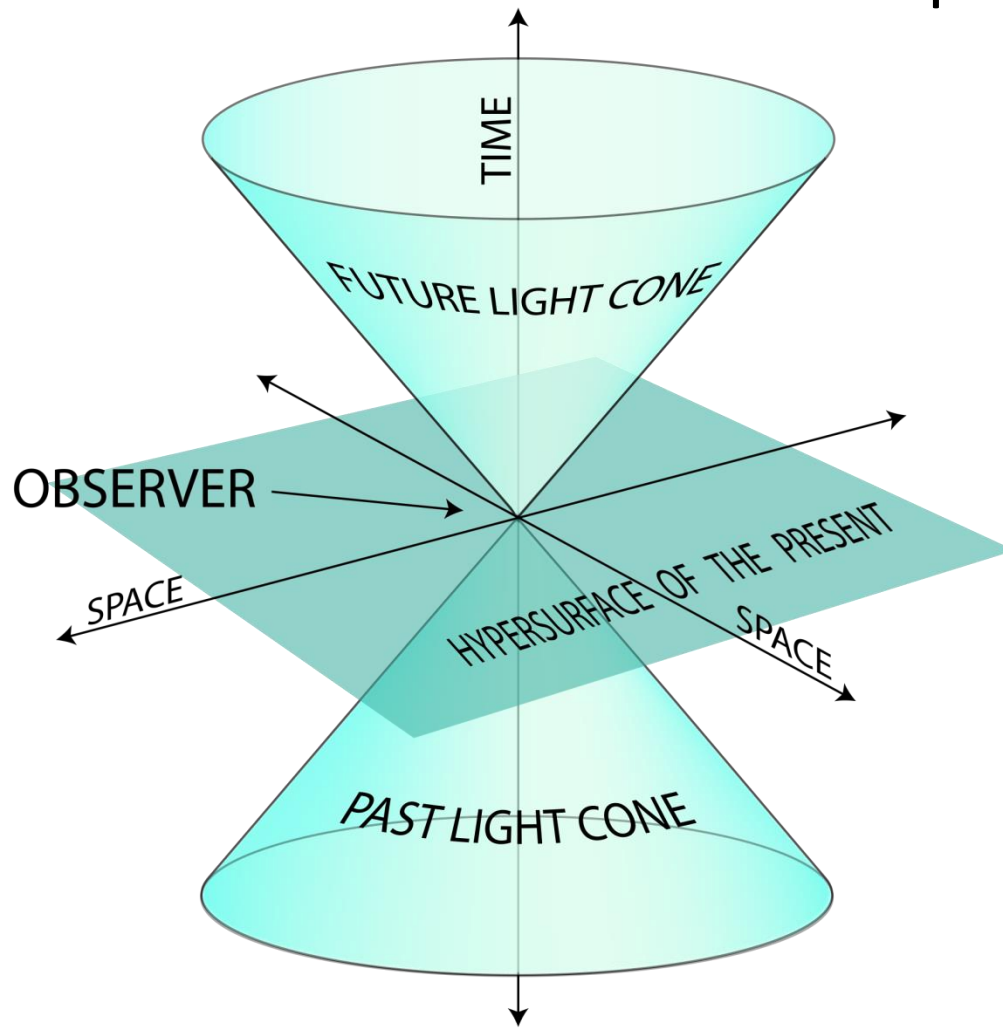


Ένα πρωτόνιο και ένα αντιπρωτόνιο συγκρούονται για να παράξουν ένα top και ένα anti-top κουαρκ



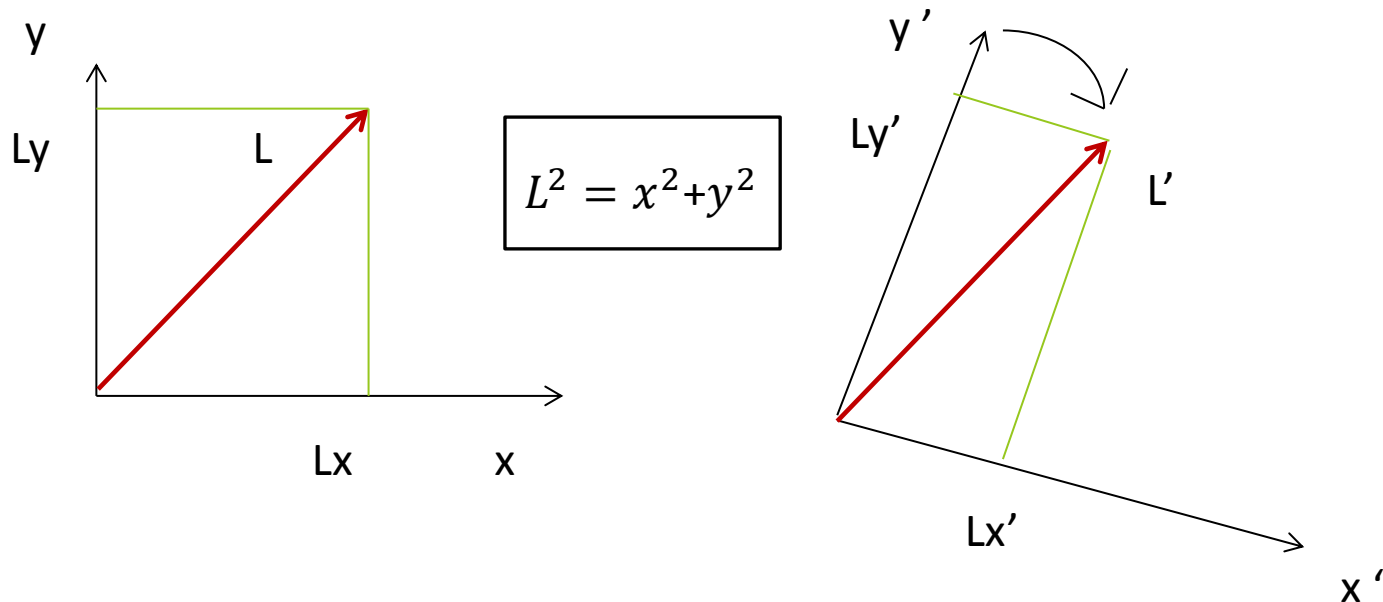
Αυτήν την διαδικασία την αξιοποιούμε στους επιταχυντές σωματιδίων. Σε αυτούς συγκρούουμε σωματίδια όπως πρωτόνια, ηλεκτρόνια, βαρέα ιόντα μεταξύ τους σε αρκετή ενέργεια ώστε να παράξουμε νέα βαρύτερα σωματίδια !

Τι παραμένει αναλλοίωτο για
διαφορετικούς αδρανειακούς
παρατηρητές;



Όπως είδαμε, δύο διαφορετικοί παρατηρητές θα μετρήσουν διαφορετικές τιμές για το μήκος ενός αντικειμένου, ή για την χρονική διάρκεια ενός γεγονότος ανάλογα με την ταχύτητά τους.

Επομένως τί παραμένει σταθερό ανάμεσα σε δύο παρατηρητές;

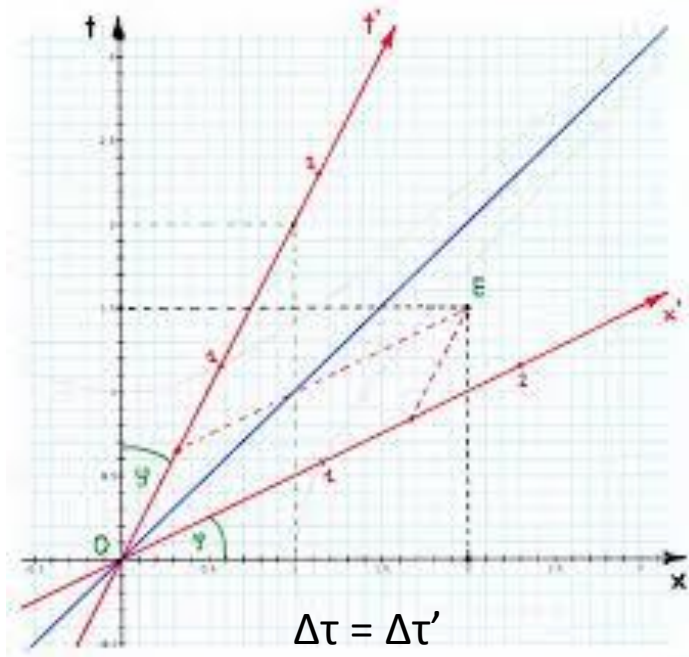


Ένα διάνυσμα L έχει προβολές L_x και L_y στους άξονες x , y .
Αν στρίψω το σύστημα αξόνων, οι προβολές αλλάζουν. Αλλά το μήκος του διανύσματος, L , παραμένει σταθερό : $L = L'$.

Με το ίδιο σκεπτικό, παρατηρώντας την μεταβολή των μετρήσεων χρόνου και αποστάσεων ανάμεσα σε αδρανειακούς παρατηρητές, καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει αναλογία με το προηγούμενο παράδειγμα.

Η μέτρηση χρόνου και θέσης διαφέρει για κάθε παρατηρητή διότι χρόνος και θέση είναι συντεταγμένες. Όμως η «χωροχρονική απόσταση», $\Delta\tau$, το μήκος ενός διανύσματος στον χώρο των 4 διαστάσεων, παραμένει αναλλοίωτο ανάμεσα σε διαφορετικούς αδρανειακούς παρατηρητές.

$$\Delta\tau^2 = c\Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2$$



Πλέον δεν έχουμε 3 συντεταγμένες χώρου (x,y,z), αλλά 4 συντεταγμένες (x,y,z,t) που περιγράφουν ένα γεγονός στον χωροχρόνο!

Όμοια με τις χωρικές και χρονικές συντεταγμένες, έτσι και οι μετρήσεις ενέργειας και ορμής είναι διαφορετικές ανάμεσα σε δύο αδρανειακούς παρατηρητές και μετασχηματίζονται με βάση τους μετασχηματισμούς Lorentz.

Η τετραορμή τους, το «αντίστοιχο» της χωροχρονικής απόστασης, παραμένει σταθερή:

$$s = E^2 - (pc)^2$$

Η ποσότητα αυτή είναι αναλλοίωτη σε μετασχηματισμούς ανάμεσα σε αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

Αποδεικνύεται ότι η τιμή του s ισούται με $s = (mc^2)^2$ με m την μάζα ηρεμίας του υπο μελέτη συστήματος. Άρα η μάζα ηρεμίας παραμένει αναλλοίωτη ανάμεσα σε διαφορετικούς παρατηρητές!!!

Πλέον και η ολική ενέργεια ενός σώματος με ορμή p και μάζα m , αλλάζει μορφή και γίνεται:

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$$



Επίλογος

- Η αντίληψη του χώρου και του χρόνου είναι σχετική ανάμεσα σε αδρανειακούς παρατηρητές. Όμως αυτό συμβαίνει διότι ο χώρος και ο χρόνος είναι απλές προβολές του 4-διάστατου χωροχρόνου.
- Η μηχανική του σύμπαντος αλλάζει στις υψηλές ταχύτητες. Όσο πλησιάζουμε την ταχύτητα του φωτός, πλέον η κλασική φυσική δεν ισχύει, και την θέση της παίρνει η ειδική θεωρία της σχετικότητας. Η κλασική φυσική είναι η προσέγγιση της σχετικότητας στις χαμηλές ταχύτητες.
- Η μάζα κι η ενέργεια συνδέονται με την περίφημη σχέση του Αϊνστάιν:
$$E = mc^2$$
Πλέον η εκπομπή ενέργειας από ένα σύστημα συνοδεύεται με μεταβολή της μάζας του και τ' ανάπαλιν. Η προσφερόμενη ενέργεια σε ένα σύστημα υπο τις κατάλληλες συνθήκες μπορεί να παράξει μάζα.
- Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας άλλαξε την εικόνα μας για το σύμπαν δείχνοντάς μας τι συμβαίνει στις υψηλές ταχύτητες. Αυτή ήταν η πρώτη από τις 2 μεγάλες επιστημονικές επαναστάσεις του 20ού αιώνα. Η δεύτερη μεγάλη επανάσταση, οδήγησε στην κατανόηση της φύσης στις πολύ μικρές κλίμακες και στην ανάπτυξη της Κβαντικής Θεωρίας.