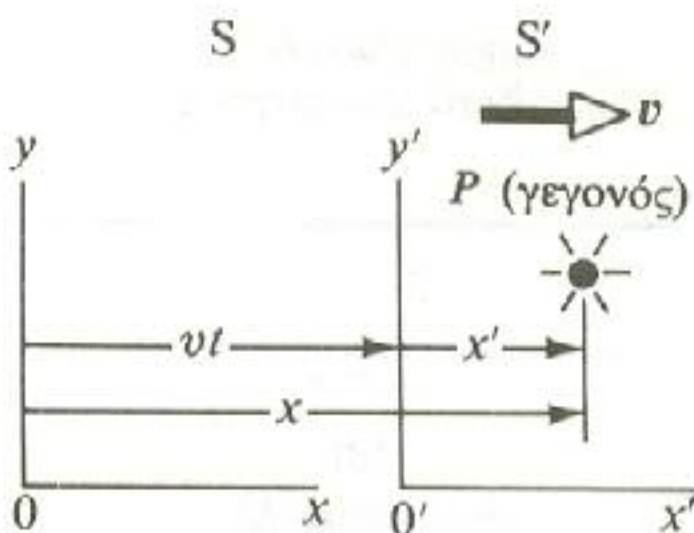


ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΟΣ

ΑΞΙΩΜΑΤΑ (Einstein 1905):

- 1. Οι νόμοι της Φυσικής είναι ίδιοι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς (δηλ. όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς είναι ισοδύναμα).**
- 2. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι η ίδια για όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$**



ΓΕΓΟΝΟΣ: είναι κάθε φυσικό φαινόμενο με συντεταγμένες (x, y, z, t)

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΓΑΛΙΛΑΙΟΥ:

αν ισχύει για $t=0$ έχουμε $0=0'$, τότε

$$x' = x - ut$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

Απόρροια μετασχηματισμών Γαλιλαίου:

$$u'_x = u_x - v, \quad u'_y = u_y, \quad u'_z = u_z$$

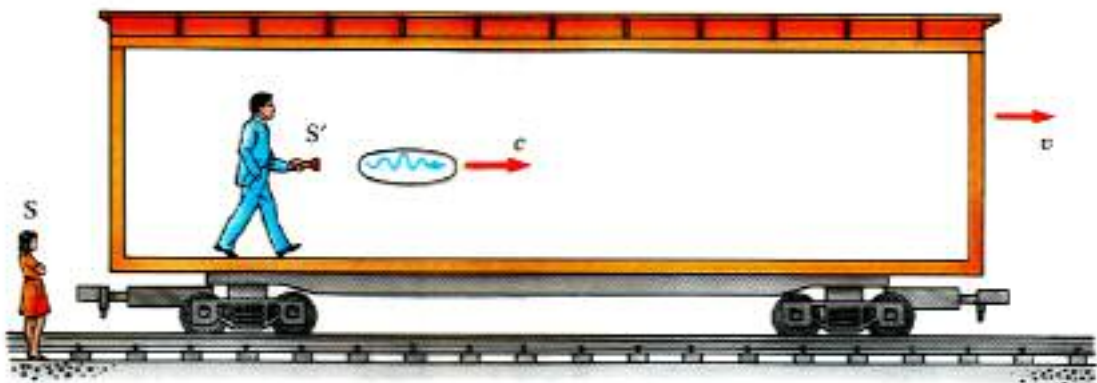
όπου

$u'_x = dx'/dt$: η ταχύτης στο S' -σύστημα

$u_x = dx/dt$: η ταχύτης στο S -σύστημα

κλπ.....

Αντίφαση: η ταχύτητα του φωτός $c = \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ εξαρτάται από το αδρανειακό σύστημα αναφοράς!



ΥΠΟΘΕΣΗ ΤΟΥ ΑΙΘΕΡΑ (19^{ος} αιών):

(διάδοση μηχανικών κυμάτων) “αβαρές και άκαμπτο μέσον το οποίο πληροί το σύμπαν”

Απόλυτο σύστημα αναφοράς: εκείνο στο οποίο ο αιθέρας είναι ακίνητος

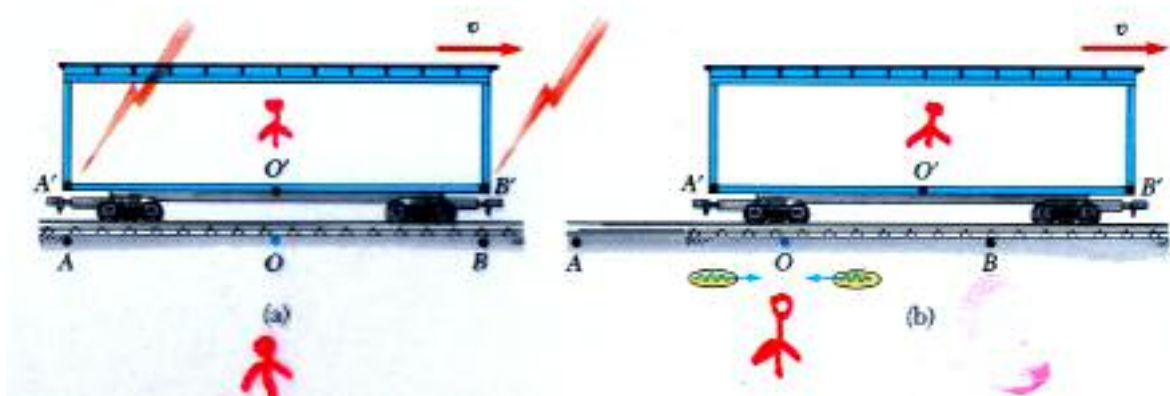
Πείραμα των Michelson - Morley (1887):
δεν ανίχνευσε την ύπαρξη του αιθέρα

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΡΟΛΟΓΙΩΝ:

που βρίσκονται στο ίδιο αδρανειακό σύστημα αναφοράς

ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΟΥ:

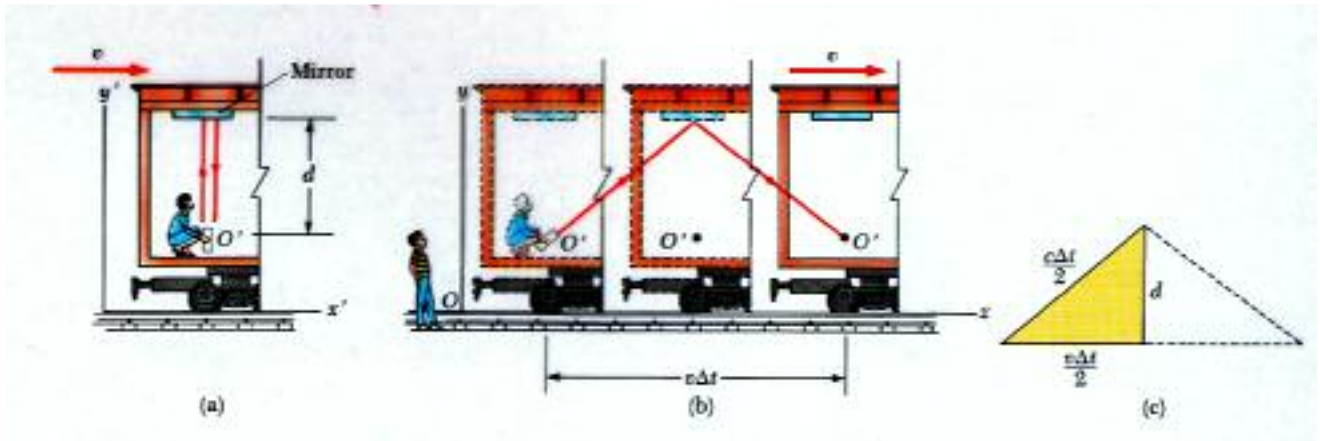
Δύο γεγονότα που μπορεί να είναι ταυτόχρονα σε κάποιο σύστημα αναφοράς, δεν είναι κατ' ανάγκην ταυτόχρονα και σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα αναφοράς.



ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΧΡΟΝΟΥ:

$$\Delta t = \gamma \Delta t'$$

$$\text{όπου } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$



Απόδειξη:

ακίνητος παρατηρητής στο S': $\Delta t' = \frac{2d}{c}$

παρατηρητής στο S: $\left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 = \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2 + d^2$

άρα $\Delta t = \gamma \frac{2d}{c} = \gamma \Delta t'$

ΚΥΡΙΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (proper time): ο χρόνος που μετρείται από ένα ρολόϊ που μένει ακίνητο στο σύστημα αναφοράς του.

Πειραματική επαλήθευση της διαστολής χρόνου (ανίχνευση μιονίων στην επιφάνεια της Γης):

(τα μίονια είναι ασταθή σωματίδια που παράγονται από την κοσμική ακτινοβολία πάνω στα μόρια του αέρος στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας)

Απόδειξη:

χρόνος ζωής μιονίων (στο σύστημα ισορροπίας του):
 $\tau' = 2.2 \mu\text{s}$

ταχύτης μιονίων $u = 0.99c$,

$$\text{\acute{a}\rho\alpha } \gamma = 1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2} = 1 / \sqrt{1 - 0.99^2} = 7.1$$

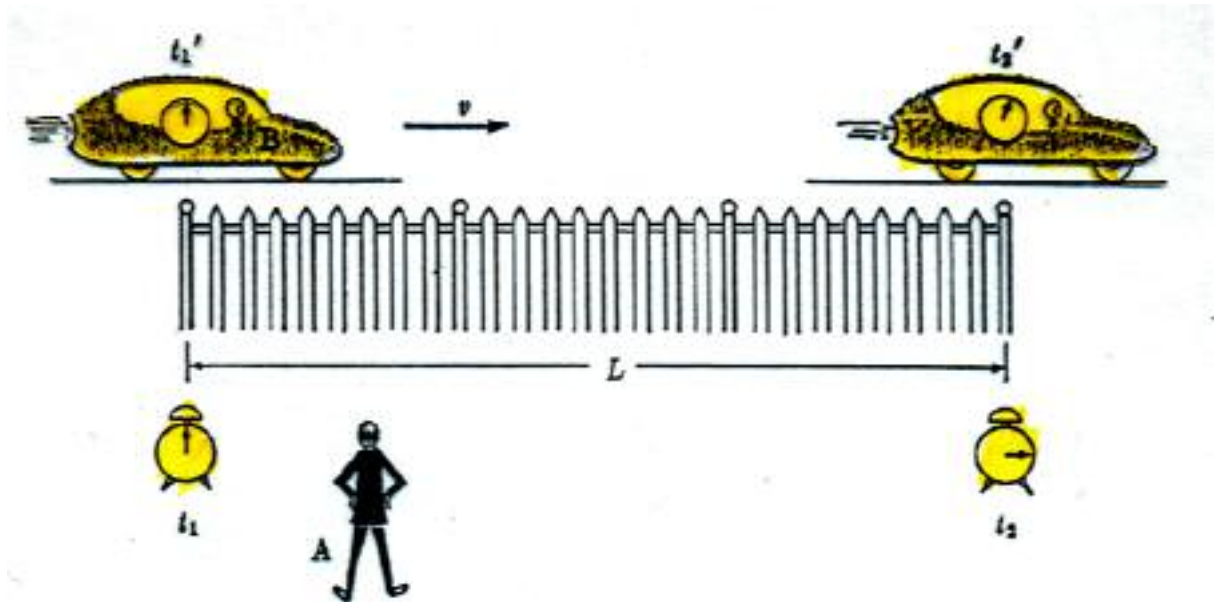
Διανυόμενο απόσταση στο σύστημα του μιονίου:
 $s' = u\tau' = 660\text{m}$

Για παρατηρητή πάνω στην επιφάνεια της Γης:
 $\tau = \gamma\tau' = 15.6 \mu\text{s}$

συνεπώς διανυόμενη απόσταση: $s = u\tau = 4800\text{m}$.

ΣΥΣΤΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ:

$$L' = L/\gamma$$



Απόδειξη:

παρατηρητής B στο S' : $L' = u \Delta t'$

παρατηρητής A στο S : $L = u \Delta t$

άρα $L'/L = \Delta t'/\Delta t = 1/\gamma$

ΚΥΡΙΟ ΜΗΚΟΣ (proper length): το μήκος ενός αντικειμένου που μετρείται στο σύστημα αναφοράς στο οποίο ηρεμεί.

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΟΥ LORENTZ:

Μετασχηματισμός των συντεταγμένων (x, y, z, t) και (x', y', z', t') του ίδιου γεγονότος ως προς δύο αδρανειακά συστήματα αναφοράς

$$\begin{aligned}x &= \gamma(x' + ut') \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \gamma\left(t' + \frac{v}{c^2}x'\right)\end{aligned}$$

ή
ο αντίστροφος

$$\begin{aligned}x' &= \gamma(x - ut) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)\end{aligned}$$

όπου $\gamma = 1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$

Μετασχηματισμοί σχετικιστικών ταχυτήτων:

$$u'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx - vdt}{dt - \frac{v}{c^2}dx} = \frac{u_x - v}{1 - \frac{v}{c^2}u_x}$$

$$u'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{u_y}{\gamma\left(1 - \frac{v}{c^2}u_x\right)}$$

$$u'_z = \frac{dz'}{dt'} = \frac{u_z}{\gamma\left(1 - \frac{v}{c^2}u_x\right)}$$

Για $v \ll c$ έχουμε: $(1-x)^{-1} \cong 1 + \dots$, $\gamma \cong 1$, οπότε $u'_x = u_x - v$ (δηλ. οι μετασχηματισμοί Γαλιλαίου)

ΣΧΕΤΙΚΙΣΤΙΚΗ ΟΡΜΗ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ:

Σχετικιστική ορμή σώματος: $\vec{p} = \frac{m\vec{u}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \gamma m\vec{u}$

με ***m=σταθερά*** και $\gamma = 1 / \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$

Σχετικιστική (ολική) ενέργεια σώματος:

$$E = \sqrt{(cp)^2 + (mc^2)^2}$$

ή

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

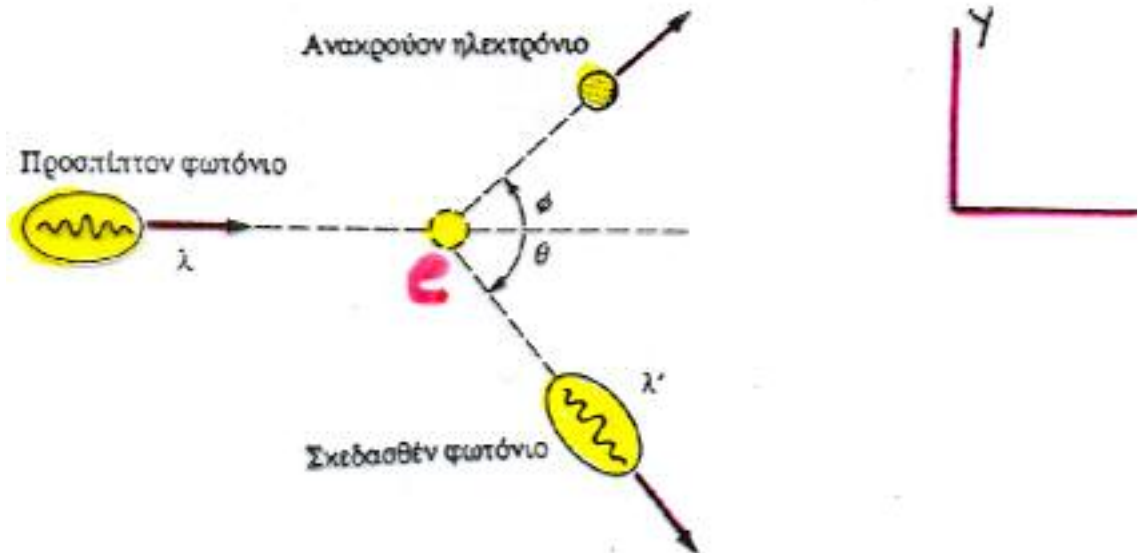
η ποσότης $E_0 = mc^2$ καλείται **ενέργεια ηρεμίας**

Κινητική ενέργεια: $K \equiv E - mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - mc^2$

Για $v \ll c$ έχουμε: $(1 - x)^{-1/2} = 1 + \frac{1}{2}x + \dots$, οπότε $K = \frac{1}{2}mu^2$!!

Πρόβλημα (Φαινόμενο Compton): Δέσμη φωτονίων (δηλ. φως) προσπίπτει πάνω σε νέφος ηλεκτρονίων (δηλ. συγκρούεται ελαστικά με ηλεκτρόνια) τα οποία

ηρεμούν! Να αποδειχθεί ότι το μήκος κύματος του σκεδαζομένου φωτός ισούται με $\lambda' = \lambda + \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$, όπου λ είναι το μήκος κύματος του προσπίπτουσας δέσμης.



Υπόδειξη: Το πρόβλημα επιλύεται εφαρμόζοντας τους νόμους διατήρησης της ενέργειας και της ορμής στη σχετικιστική τους μορφή, λαμβάνοντας υπόψιν ότι:

η ορμή ενός φωτονίου είναι: $p = \frac{h}{\lambda}$,

η ενέργεια του φωτονίου: $h\nu$ όπου η συχνότητα $\nu = 1/\lambda$, και η μάζα του φωτονίου $m=0$,

(άρα η ενέργεια ηρεμίας του φωτονίου είναι $E_0 = mc^2 = 0$)