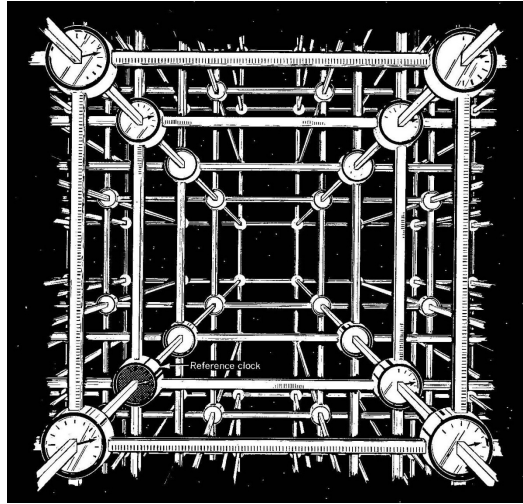


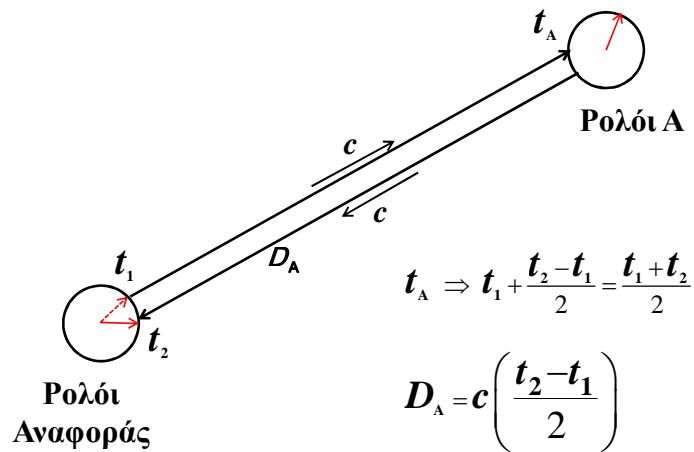
## 2. ΠΡΟΛΕΓΟΜΕΝΑ

### Συστήματα Αναφοράς



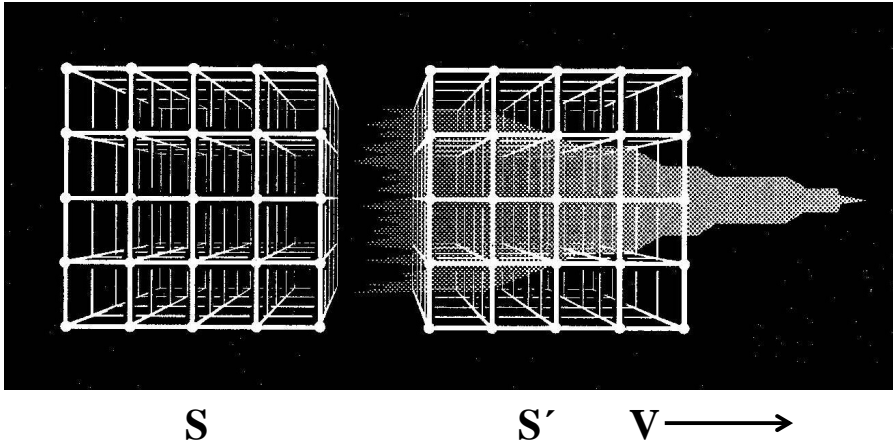
Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

### Συγχρονισμός των Ρολογιών Ενός Συστήματος Αναφοράς



Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

## Δύο Αδρανειακά Συστήματα Αναφοράς σε Σχετική Μεταξύ τους Κίνηση



Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

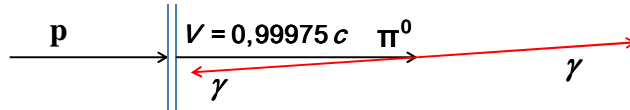
### Οι Βασικές Υποθέσεις της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας

Το 1905, ο Άινσταϊν διετύπωσε την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας, την οποία θεμελίωσε πάνω σε δύο υποθέσεις:

- (α) Οι νόμοι της Φυσικής είναι οι ίδιοι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς, και
- (β) Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι αναλλοίωτη σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς, ανεξαρτήτως της κίνησης της πηγής ή του παρατηρητή.

Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

## Ένα Σύγχρονο Πείραμα για τον Έλεγχο της Ανεξαρτησίας της Ταχύτητας του Φωτός στο Κενό από την Κίνηση της Πηγής



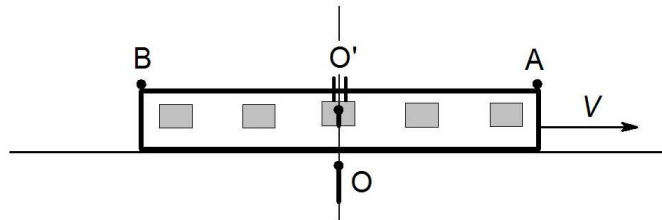
Το 1964 οι Alväger, Farley, Kjellman και Wallin βομβάρδισαν στόχο με πρωτόνια μεγάλης ενέργειας, παράγοντας έτσι σωματίδια  $\pi^0$ . Αυτά διασπώνται, με μέση διάρκεια ζωής  $\tau = 0,9 \times 10^{-16}$  s, εκπέμποντας δύο φωτόνια ( $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ ).

Παραγόμενα φωτόνια με ενέργειες  $\geq 6$  GeV, που κινούνται στην ίδια κατεύθυνση με τα  $\pi^0$ , βρέθηκαν να κινούνται με ταχύτητα

$$v = (2,9977 \pm 0,0004) \times 10^8 \text{ m/s} = (0,99997 \pm 0,00013) c$$

Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

## Μια Συνέπεια του Αναλλοίωτου της Ταχύτητας $c$ . Η Κατάρρευση του Ταυτοχρονισμού

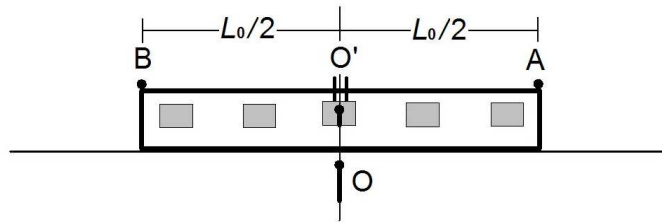


Ένα τρένο κινείται με ταχύτητα  $V$  ως προς έναν παρατηρητή  $O$ . Ένας άλλος παρατηρητής, ο  $O'$ , βρίσκεται στο μέσο του τρένου. Τη χρονική στιγμή  $t = t' = 0$  οι δύο παρατηρητές «συμπίπτουν».

Ακριβώς εκείνη τη στιγμή φτάνουν στους δύο παρατηρητές, ταυτόχρονα, δύο παλμοί φωτός, που εκπέμφθηκαν από τα δύο άκρα του τρένου. (The plot thickens!  $\Rightarrow$  )

Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

## Συλλογισμός του O'

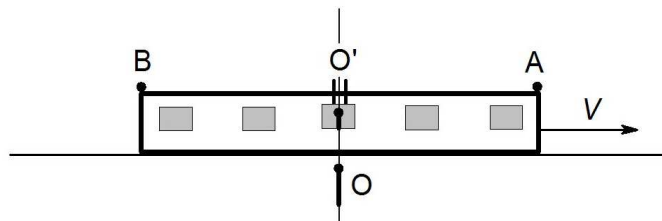


«Εγώ βρίσκομαι σε ίσες αποστάσεις από τα δύο άκρα του τρένου. Οι δύο παλμοί φωτός έφτασαν σ' εμένα ταυτόχρονα, ταξιδεύοντας και στις δύο κατευθύνσεις με ταχύτητα  $c$ .

Άρα, θα πρέπει να εκπέμφθηκαν από τα σημεία A και B ταυτόχρονα.»

Κ. Χριστοδουλίδης; Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

## Συλλογισμός του O



«Το φως χρειάστηκε κάποιο χρόνο για να φτάσει σ' εμένα, άρα οι δύο παλμοί εκπέμφθηκαν σε χρόνους πριν από τη στιγμή  $t = 0$  (που δείχνει το σχήμα). Όμως, γι' αυτούς τους χρόνους το τρένο βρισκόταν πιο πίσω πάνω στην ευθεία κίνησής του. Συνεπώς το σημείο A βρισκόταν τότε πιο κοντά σ' εμένα από το σημείο B...»

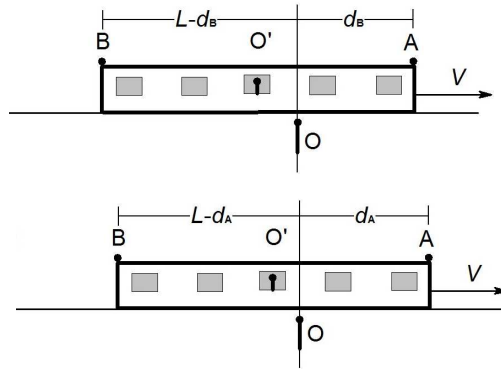
Κ. Χριστοδουλίδης; Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

## Συλλογισμός του O

«Αφού το φως ταξιδεύει προς τις δύο κατευθύνσεις με την ίδια ταχύτητα, για να φτάσουν οι δύο παλμοί ταυτόχρονα σ'εμένα, θα πρέπει...

... ο παλμός από το άκρο B, που είχε να ταξιδέψει μεγαλύτερη απόσταση, να εκπέμφθηκε νωρίτερα...

... από τον παλμό από το άκρο A. »



Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

## Συμπέρασμα

Δύο συμβάντα που στο σύστημα αναφοράς του  $O'$  είναι ταυτόχρονα, δεν είναι ταυτόχρονα σε ένα άλλο σύστημα, του  $O$ , που βρίσκεται σε σχετική κίνηση ως προς το πρώτο!

Αυτό είναι συνέπεια του γεγονότος ότι η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι η ίδια για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές.

**Παρατήρηση:** Αν υποθέσουμε ότι οι δύο παλμοί φωτός εκπέμπονται από δύο πηγές που βρίσκονται πάνω στην αποβάθρα, σε ίσες αποστάσεις από τον  $O$ , και αν τα δύο σήματα είναι ταυτόχρονα στο σύστημα του  $O$ , δεν θα είναι ταυτόχρονα στο σύστημα του τρένου,  $O'$ .

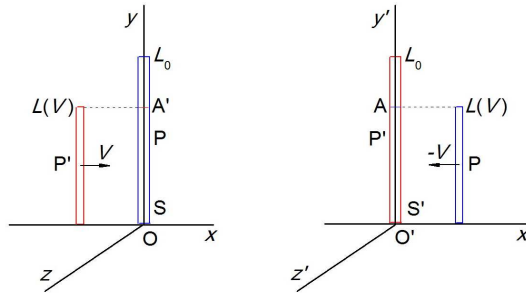
Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

# Η Σχετικότητα του Χρόνου και του Μήκους

## 1. Οι εγκάρσιες διαστάσεις ενός κινούμενου σώματος δεν αλλάζουν.

Εξετάζουμε δύο ράβδους του ίδιου μήκους, σε σχετική κίνηση μεταξύ τους, με ταχύτητα κάθετη στο μήκος των ράβδων.

Έστω ότι στο σύστημα S της ράβδου P, η ράβδος P', που κινείται με ταχύτητα V, συρρικνώνεται.

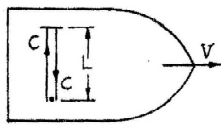


Καθώς περνά δίπλα από την P, θα τη χαράξει στο σημείο A'.

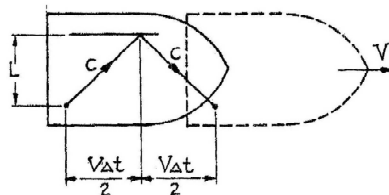
Στο σύστημα S' της ράβδου P' όμως, η ράβδος P, που κινείται με ταχύτητα -V, θα φαίνεται συρρικνωμένη και θα χαράξει την P' στο σημείο A. Επειδή δεν μπορούν να συμβούν και τα δύο, οι εγκάρσιες διαστάσεις των ράβδων πρέπει να παραμένουν αναλλοίωτες.

Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

## 2. Η σχετικότητα του χρόνου. Διαστολή του χρόνου.



Εσωτερικός Παρατηρητής



Εξωτερικός Παρατηρητής

Παλμός φωτός ταξιδεύει ανάμεσα σε δύο κάτοπτρα μέσα σε ένα κινούμενο διαστημόπλοιο, σε κατεύθυνση εγκάρσια της ταχύτητάς του, V.

Για έναν εσωτερικό παρατηρητή, ο χρόνος που απαιτείται για να πάει το φως από το ένα κάτοπτρο στο άλλο και να γυρίσει, είναι  $\Delta t_0 = 2L/c$ .

Αν για έναν εξωτερικό παρατηρητή η διάρκεια αυτού του ταξιδιού είναι  $\Delta t$ , το διαστημόπλοιο θα μετακινηθεί κατά απόσταση  $V\Delta t$  και το μήκος της διαδρομής του φωτός θα είναι  $c\Delta t = 2\sqrt{L^2 + (V\Delta t/2)^2}$ .

Έτσι,  $\Delta t = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - V^2}}$  και επομένως είναι:  $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$ , ( $\Delta t \geq \Delta t_0$ ).

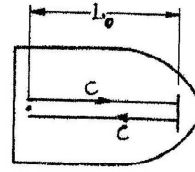
(διαστολή του χρόνου)

Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

### 3. Η σχετικότητα του μήκους. Η συστολή του μήκους.

Παλμός φωτός ταξιδεύει κατά μήκος ενός διστημοπλοίου, ανάμεσα σε δύο κάτοπτρα που στο σύστημα του διαστημοπλοίου απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $L_0$ .

Για έναν εσωτερικό παρατηρητή, ο χρόνος που απαιτείται για να πάει το φως από το ένα κάτοπτρο και να γυρίσει πίσω είναι  $\Delta t_0 = 2L_0 / c$ .



Εσωτερικός Παρατηρητής

Έχουμε ήδη αποδείξει ότι για έναν εξωτερικό παρατηρητή αυτός ο χρόνος

θα είναι ίσος με  $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$ ,

λόγω της διαστολής του χρόνου.

Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

Για τον εξωτερικό παρατηρητή, ο χρόνος κατά τον οποίο ο παλμός φωτός κινείται ανάμεσα στα δύο κάτοπτρα προς την κατεύθυνση της  $V$  είναι:

$$\Delta t_+ = \frac{L+a}{c} = \frac{a}{V} \Rightarrow a = \frac{LV}{c-V} \Rightarrow \Delta t_+ = \frac{L}{c-V}$$

Ο χρόνος κατά τον οποίο ο παλμός φωτός κινείται ανάμεσα στα δύο κάτοπτρα προς την κατεύθυνση της  $-V$  είναι:

$$\Delta t_- = \frac{L-b}{c} = \frac{b}{V} \Rightarrow b = \frac{LV}{c+V} \Rightarrow \Delta t_- = \frac{L}{c+V}$$

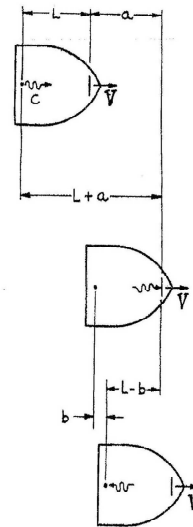
Ο συνολικός χρόνος είναι:

$$\Delta t = \Delta t_+ + \Delta t_- = \frac{L}{c-V} + \frac{L}{c+V} = \frac{2Lc}{c^2 - V^2}$$

Συγκρίνοντας με τον χρόνο που βρέθηκε από τον  $\Delta t_0$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \Rightarrow \frac{2Lc}{c^2 - V^2} = \frac{2L_0/c}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \text{ και}$$

$$L = L_0 \sqrt{1 - V^2/c^2} \quad (\text{συστολή του μήκους}).$$



Εξωτερικός Παρατηρητής

Κ. Χριστοδουλίδης: Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας