

**L.LANDAU**

**Y.RUMER**

**ΤΙ  
ΕΙΝΑΙ  
Η ΘΕΩΡΙΑ  
ΤΗΣ  
ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

**Γ.Α. ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ  
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ & ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ**

## ΟΙ ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

### Λέφ Λαντάου

Σοβιετικός Ἀκαδημαϊκός παγκόσμια γνωστός γιά τίς ἔρευνές του στίς πύο διαφορετικές περιοχές τῆς Θεωρητικῆς Φυσικῆς.

Τό 1962 τιμήθηκε μέ τό βραβεῖο Νόμπελ καθώς καί μέ τό βραβεῖο Λένιν τοῦ Σοβιετικοῦ κράτους. Περίφημες εἶναι οἱ ἐργασίες του γύρω ἀπό τήν ὑπεραγωγιμότητα, τήν ὑπερευστότητα τοῦ ὑγροῦ ἡλίου, τήν προέλευση τῶν κατακλινοισμῶν τῶν κοσμικῶν ἀκτίνων, τή μετάβαση τῶν στερεῶν ἀπό μιά κατάσταση σ' ἄλλη, γύρω ἀπό τίς διαδικασίες πού λαβαίνουν χώρα στό πλάσμα κ.λ.π.

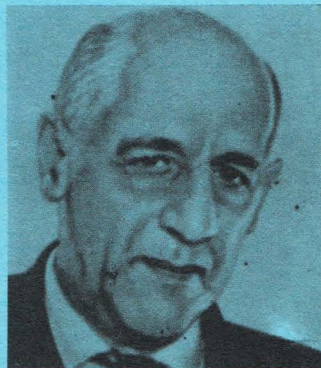
Ἵπῆρξε μέλος πολλῶν Ἀκαδημιῶν τῆς Εὐρώπης (Ἀγγλίας, Δανίας, Κάτω Χωρῶν) καί τῆς Ἀμερικῆς. Πέθανε τό 1966.



### Γιούρι Ροῦμερ

Δρ. Φυσικῆς καί Μαθηματικῶν, εἶναι διευθυντής τοῦ Ἰνστιτοῦτου Ραδιοφυσικῆς καί Ἡλεκτρονικῆς τῆς Ἀκαδημίας τῆς Ε.Σ.Σ.Δ. στή Σιβηρία. Εἶναι πλατιά γνωστός γιά τίς ἔρευνές του στή ραδιοφυσική καί τίς κοσμικές ἀκτίνες.

Μαζί μέ τόν Λαντάου στό βιβλίο «Τί εἶναι ἡ θεωρία τῆς σχετικότητας», μ' ἀπλή ἐπιστημονική γλώσσα καί παραδείγματα, εἰσάγουν τόν ἀναγνώστη στή γνωστή θεωρία τῆς σχετικότητας τοῦ Ἀϊνστάϊν.



**Λ. ΛΑΝΤΑΟΥ**

**Γ. ΡΟΥΜΕΡ**

**ΤΙ  
ΕΙΝΑΙ  
Η ΘΕΩΡΙΑ  
ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

**ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ**

**ΝΙΚΟΣ ΚΙΑΟΣ**

**ΑΝΤΩΝΗΣ ΜΑΡΓΑΡΙΤΗΣ**



**MIR PUBLISHERS**

Copyright ©

**ΕΚΔΟΣΕΙΣ Γ.Α. ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΥ**

**ΝΟΤΑΡΑ 52**

**☎ 823 2 823 - 82 24 708**

**106 83 ΑΘΗΝΑ**



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦ. 1

ΤΙ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ Η ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑ	Σελ.
Μπορεί κάθε ισχυρισμός νά ἔχει ἔννοια ;	1
Δεξιὰ ἢ Ἀριστερά ;	2
Τώρα εἶναι μέρα ἢ νύχτα ;	3
Ποῖός εἶναι ὁ μεγαλύτερος ;	3
Τό σχετικό φαίνεται ἀπόλυτο	5
Τό Ἀπόλυτο φαίνεται Σχετικό	5
Ἡ «κοινή λογική» διαμαρτύρεται	7

### ΚΕΦ. 2

#### Ο ΧΩΡΟΣ ΕΙΝΑΙ ΣΧΕΤΙΚΟΣ

Μιά καί ἡ ἴδια θέση ἢ ὄχι ;	9
Πότε ἓνα σῶμα κινεῖται πραγματικά	11
Εἶναι ὅλες οἱ ἀπόψεις ἰσοδύναμες ;	12
Βρέθηκε ἡ κατάσταση ἡρεμίας !	14
Σύστημα ἀδράνειας	14
Κινεῖται τό τραῖνο ;	15
Ἡ κατάσταση ἡρεμίας δέν ὑπάρχει	17
Ἄ νόμος τῆς ἀδράνειας	18
Ἡ ταχύτητα εἶναι ἐπίσης σχετική	20

### ΚΕΦ. 3

#### Η ΤΡΑΓΩΔΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Τό φῶς δέν διαδίδεται ἀκαριαῖα	21
--------------------------------	----

Μπορεί ν' αλλάξει ή ταχύτητα του Φωτός ;	22
Ήχος και Φῶς	23
Ή ἀρχή τῆς σχετικότητας τῆς κινήσεως φαίνεται νά κλονίζεται	24
Ὁ αἰθέρας τοῦ χώρου	26
Δύσκολη κατάσταση	28
Τό πείραμα θ' ἀποφάσιζε	29
Ή ἀρχή τῆς σχετικότητας θριαμβεύει	30
Ἐξω ἀπό τό τηγάνι, μέσα στή φωτιά	31

#### **ΚΕΦ. 4**

##### **Ο ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΝΑΙ ΣΧΕΤΙΚΟΣ**

Ἐπάρχει πραγματικά ἀντίφαση ;	34
Πηγαίνοντας μ' ἓνα τραῖνο	36
Ἀντίθετα στήν κοινή λογική	37
Ὁ χρόνος συμμερίζεται τή μοῖρα τοῦ χώρου	39
Ἡ ἐπιστήμη θριαμβεύει	42
Ἡ ταχύτητα ἔχει τά ὅριά της	43
Νωρύτερα κι ἀργότερα	46

#### **ΚΕΦ. 5**

##### **ΙΔΙΟΤΡΟΠΑ ΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΕΣ**

Ἀνεβαίνουμε ξανά στό τραῖνο	48
Ὁρολογιακό παράδοξο	51
Χρονομηχανή	54
Ταξίδι σ' ἓνα ἄστρο	55
Συστολή τοῦ μήκους	58
Ἰδιότροπες ταχύτητες	61

#### **ΚΕΦ. 6**

##### **ΜΑΖΑ**

Μάζα	66
Αὐξανόμενη μάζα	67
Ποιά εἶναι ή τιμή ἑνός γραμμαρίου φωτός ;	69
<b>ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΝΟΥΜΕ</b>	72



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

# ΤΙ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ Η ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑ

---

### **Μπορεί κάθε ισχυρισμός νά έχει έννοια ;**

Προφανώς όχι. Ακόμη κι αν πάρουμε μερικές λέξεις και τις συνδέσουμε ακριβώς σύμφωνα με τούς κανόνες τής γραμματικής, τό αποτέλεσμα μπορεί νά είναι έντελώς παράλογο. Ο ισχυρισμός π.χ. ότι "τό νερό είναι τριγωνικό", δέν έχει καμιά λογική έννοια. Ωστόσο, όλοι οί παραλογισμοί δέν είναι προφανείς.

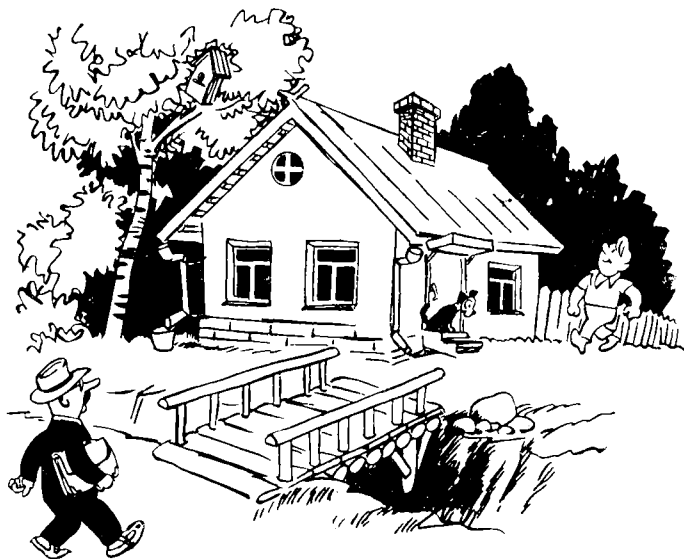
Ακόμη πολύ συχνά, ένας ισχυρισμός πού μέ πρώτη ματιά φαίνεται έντελώς λογικός, ύστερα από μιά πολύ λεπτομερή εξέταση, γίνεται παράλογος.

## Δεξιά ή 'Αριστερά ;

Σέ ποιιά πλευρά τοῦ δρόμου – δεξιά ἢ ἀριστερά – εἶναι τό σπίτι ; Δέν μπορούμε ν' ἀπαντήσουμε πρόχειρα στήν ἐρώτηση αὐτή.

Ἄν, γιά παράδειγμα, πηγαίνουμε ἀπό τή γέφυρα πρὸς τό δάσος, θά εἶναι ἀριστερά μας κι ἂν πηγαίνουμε πρὸς τήν ἀντίθετη διεύθυνση, δεξιά μας. Μιλώντας λοιπόν γιά τήν ἀριστερή ἢ δεξιά πλευρά ἑνὸς δρόμου, πρέπει νά σημειώνουμε τή σχετική διεύθυνση. (Σχ. 1)

Ὅταν λέμε “ἡ δεξιά ὄχθη ἑνὸς ποταμοῦ”, αὐτό ἔχει ἔννοια, ἐπειδὴ τό ρεῦμα του καθορίζει τή σχετική διεύθυνση. Μπορούμε ὁμοια νά ποῦμε ὅτι ἓνα αὐτοκίνητο κινιέται στή δεξιά πλευρά τοῦ δρόμου, ἐπειδὴ τό ρεῦμα τῆς κυκλοφορίας ὑποδείχνει τή σχετική διεύθυνση.



Σχ. 1



Μετά απ' αυτό οι έννοιες "δεξιά" και "αριστερά" είναι σχετικές και έχουν νόημα, μόνον όταν δίνεται μια διεύθυνση για να μās κατευθύνει.

### Τώρα είναι μέρα ή νύχτα ;

Η απάντηση εξαρτιέται από την τοποθεσία. Όταν στη Μόσχα είναι μέρα, στο Βλαδιβοστόκ είναι νύχτα.

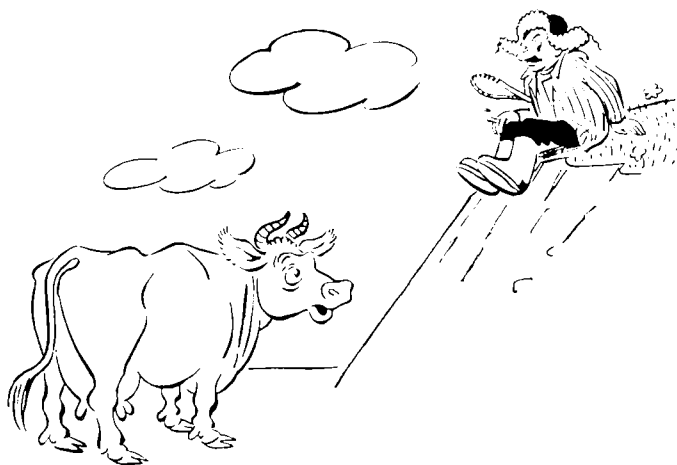
Δέν υπάρχει τίποτε τό παράδοξο σ' αυτό. 'Απλώς, "μέρα" και "νύχτα" είναι δύο έννοιες σχετικές και δέν μπορούμε ν' απαντήσουμε χωρίς ν' αναφερθοῦμε στη γεωγραφική θέση ενός τόπου.

### Ποιός είναι ό μεγαλύτερος ;

Στό σχ. 2 ό βοσκός είναι προφανώς μεγαλύτερος από την αγελάδα. Στό σχ. 3, αντίθετα, ή αγελάδα είναι



Σχ. 2



Σχ. 3

μεγαλύτερη από τό βοσκό. Δέν είναι ἄτοπο, οὔτε τό ἕνα οὔτε τό ἄλλο. Οἱ δύο εἰκόνες σχεδιάστηκαν ἀπό δύο διαφορετικά σημεία – τό ἕνα πλησιέστερο στήν ἀγελάδα, τό ἄλλο πλησιέστερο στό βοσκό. Κατά τήν ἀπεικόνιση ἑνός ἀντικείμενου, δέν παίζουν οὐσιαστικό ρόλο οἱ πραγματικές του διαστάσεις, ἀλλά ἡ γωνία ἀπό τήν ὁποία αὐτές φαίνονται. Καί αὐτές οἱ γωνιακές ἀποστάσεις τῶν ἀντικειμένων εἶναι προφανῶς ἐντελῶς σχετικές.

Εἶναι παράλογο νά μιλάμε γιά γωνιακές ἀποστάσεις ἀντικειμένων, δίχως νά τά προσδιορίσουμε στό χῶρο. Γιά παράδειγμα, δέν ἔχει ἔννοια νά λέμε ὅτι ἕνας πύργος φαίνεται μέ γωνία  $45^\circ$ . Εἶναι ὁμως ἐντελῶς λογικό νά λέμε, ὅτι ἕνας πύργος, σέ ἀπόσταση 15 μέτρων ἀπό τόν παρατηρητή, φαίνεται μέ γωνία  $45^\circ$ . Ἀπ' αὐτό ἐξ ἄλλου προκύπτει ὅτι ὁ πύργος ἔχει ὕψος 15 μέτρα.

## Τό σχετικό φαίνεται απόλυτο.

Ἄν μετακινήσουμε αισθητά τό σημεῖο παρατηρήσεώς μας, θά ἀλλάξουν ἐπίσης αισθητά καί οἱ γωνιακές ἀποστάσεις. Νά γιά ποιό λόγο στήν ἀστρονομία χρησιμοποιοῦνται συχνά γωνιακές μετρήσεις. Ἀστρικοί χάρτες εἶναι ἐφοδιασμένοι μέ γωνιακές ἀποστάσεις μεταξύ τῶν ἀστρῶν, δηλαδή, γωνίες μέ τίς ὁποῖες οἱ ἀποστάσεις τῶν ἀστρῶν φαίνονται ἀπό τή Γῆ.

Τ' ἀστρα θά τά βλέπουμε πάντοτε σέ μιά καί τήν ἴδια ἀπόσταση τό ἓνα ἀπό τ' ἄλλο, ἀνεξάρτητα ἀπό τίς μετακινήσεις μας πάνω στή Γῆ ἀπό τό σημεῖο παρατηρήσεώς μας. Αὐτό ὀφείλεται στίς καταπληκτικές, ἀσύλληπτα μεγάλες ἀποστάσεις πού μᾶς χωρίζουν ἀπό τ' ἀστρα. Σέ σύγκριση μ' αὐτές, ἡ κίνησή μας πάνω στή Γῆ, ἀπό τόν ἓνα τόπο στόν ἄλλο εἶναι τόσο ἀσήμαντη, πού μπορούμε εὐκολά νά τήν παραβλέψουμε. Γι' αὐτό, σ' αὐτή τήν περίπτωση, οἱ γωνιακές ἀποστάσεις γίνονται ἀποδεκτές σάν ἀπόλυτες ἀποστάσεις.

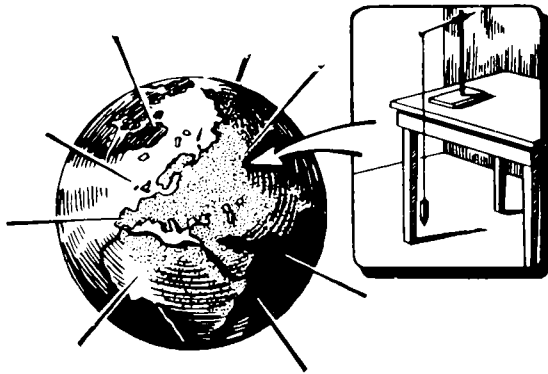
Ἄν λάβουμε ὑπ' ὄψη μας τήν περιστροφή τῆς Γῆς γύρω ἀπό τόν Ἥλιο, ἡ ἀλλαγὴ τῆς γωνιακῆς μετρήσεως εἶναι μικρή, ἀλλ' ὅπωςδήποτε ἀξιοπαρατήρητη. Ὡστόσο, ἡ εἰκόνα θά ἄλλαζε ριζικά, ἂν μετακινούσαμε τό σημεῖο παρατηρήσεώς μας σέ κάποιο ἄλλο ἀστρο, τό Σείριο γιά παράδειγμα. Ὅλες οἱ γωνιακές μετρήσεις θά ἦσαν διαφορετικές καί τ' ἀστρα πού εἶναι πολύ μακριά στόν οὐρανό μας θά τά βρῖσκαμε πολύ κοντά μεταξύ τους, ἀντίστροφα.

## Τό Ἀπόλυτο γίνεται Σχετικό.

Συχνά λέμε "πάνω" καί "κάτω". Αὐτές οἱ ἔννοιες εἶναι ἀπόλυτες ἢ σχετικές ;

Σέ περασμένους καιρούς, ὁ κόσμος ἔδινε διαφορετικές ἀπαντήσεις σ' αὐτό τό ἐρώτημα. "Όταν οἱ ἄνθρωποι δέν ἤξεραν ὅτι ἡ Γῆ μας εἶναι σφαιρική, ἀλλά τή φαντάζονταν ἐπίπεδη σάν πίττα, τήν κατακόρυφη διεύθυνση τή θεωροῦσαν σάν ἀπόλυτη ἔννοια. Ὑπέθεταν ὅτι ἡ κατακόρυφη διεύθυνση ἦταν ἡ ἴδια σ' ὅλα τά σημεία τῆς Γῆς, ἄρα ἦταν ἐντελῶς φυσικό νά μιλοῦν γιά ἀπόλυτο "πάνω" καί ἀπόλυτο "κάτω". "Όταν ἀποκαλύφτηκε ὅτι ἡ Γῆ εἶναι σφαιρική, ἡ θεωρία περί "κατακόρυφης" κατέρρευσε. Πράγματι, ἀφοῦ ἡ Γῆ εἶναι σφαιρική, ἡ διεύθυνση τῆς κατακόρυφης εὐθείας ἐξαρτιέται ἀποκλειστικά ἀπό τή θέση τοῦ σημείου στήν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς ἀπό τό ὁποῖο περνάει αὐτή ἡ εὐθεία (Σχ. 4).

Σέ διαφορετικά σημεία τῆς γήινης σφαίρας, ἡ κατακόρυφη διεύθυνση εἶναι πράγματι διαφορετική. Ἀπό τότε οἱ ἔννοιες "πάνω" καί "κάτω" δέν ἔχουν νόημα, ἐκτός ἂν τό ἀκριβές σημείο τῆς ἐπιφάνειας τῆς Γῆς,



Σχ. 4

είναι έντελῶς καθορισμένο, ὁπότε τό ἀπόλυτο ἔγινε σχετικό.

Δέν ὑπάρχει μόνο μία κατακόρυφη διεύθυνση στό Σύμπαν. Ἐπομένως, γιά κάθε διεύθυνση στό χῶρο, ὀφείλουμε νά καθορίζουμε τό σημεῖο στήν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς, στό ὁποῖο ἡ διεύθυνση αὐτή εἶναι κατακόρυφη.

### Ἡ “κοινή λογική” διαμαρτύρεται.

“Ὅλα αὐτά σήμερα μᾶς φαίνονται προφανή καί δέν ἀμφιβάλλουμε καθόλου γι’ αὐτά. “Ὅμως ξέρουμε ἀπό τήν ἱστορία, ὅτι δέν ἦταν εὐκόλο στόν ἄνθρωπο νά ἐννοήσει τή σχετικότητα τοῦ “πάνω” καί “κάτω”. Ὁ κόσμος εἶχε τήν τάση νά θεωρεῖ ἀπόλυτες τίς ἔννοιες, ἐφ’ ὅσον ἡ σχετικότητά τους δέν ἦταν προφανῆς ἀπό τήν καθημερινή πείρα (ὅπως στήν περίπτωση τοῦ “δεξιά” καί “ἀριστερά”).

“Ἀς ξαναθυμηθοῦμε τήν παράλογη ἀντίρρηση στό γεγονός ὅτι ἡ Γῆ εἶναι σφαιρική, πού ἔφτασε σέ μᾶς ἀπό τόν Μεσαίωνα : πῶς μπορεῖ ὁ κόσμος νά περπατάει ἀνάποδα ;

Αὐτό τό ἐπιχείρημα εἶναι λαθεμένο ἐπειδή παραβλέπει τή σχετικότητα τῆς κατακόρυφης διευθύνσεως κι ἀντικρούεται ἀπό τό γεγονός ὅτι ἡ Γῆ εἶναι σφαιρική.

“Ἄν παραγνωρίζαμε τή σχετικότητα τῆς κατακόρυφης διευθύνσεως καί τή δεχόμεστε σάν ἀπόλυτη π.χ. στή Μόσχα, τότε φυσικά ὁ κόσμος στή Νέα Ζηλανδία θά περπατοῦσε ἀνάποδα !

Ἄλλά καί γιά τούς Νεοζηλανδούς, οἱ Μοσχοβίτες θά περπατοῦσαν ἐπίσης ἀνάποδα.

Σ’ αὐτό δέν ὑπάρχει καμιά ἀντίφαση, γιατί ἡ κατακόρυφη διεύθυνση δέν εἶναι πραγματικά μία ἀπόλυτη

---

έννοια, αλλά σχετική. Έμεις αρχίζουμε νά αντιλαμβανόμαστε τήν ἀληθινή σημασία τῆς σχετικότητας τῶν κατακόρυφων διευθύνσεων μόνον ὅταν θεωροῦμε δύο σημεία πού ἀπέχουν πολύ μεταξύ τους πάνω στήν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς, ὅπως στό προηγούμενο παράδειγμα. Ἄν πάρουμε ὅμως δύο σημεία πού εἶναι πολύ κοντά τό ἓνα στό ἄλλο, π.χ. δύο σπίτια στή Μόσχα, εἴμαστε δικαιολογημένοι στό νά θεωροῦμε ὅλες τίς κατακόρυφες σ' αὐτά σάν πρακτικά παράλληλες, πράγμα πού εἶναι ἀπόλυτο.

Τό νά προσπαθοῦμε νά χρησιμοποιήσουμε τήν ἀπόλυτη κατακόρυφη ὁδηγεῖ σέ ἄτοπα κι ἀντιφάσεις, μόνον ὅταν ἔχουμε νά κάνουμε μέ ἐκτάσεις τοῦ μεγέθους τῆς ἐπιφάνειας τῆς Γῆς.

Τά παραδείγματα πού ἀναφέραμε παραπάνω, δείχνουν ὅτι πολλές ἀπό τίς ἀντιλήψεις τῆς καθημερινῆς μας ζωῆς εἶναι σχετικές καί ὅτι ἔχουν έννοια μόνον ὅταν καθορίζουμε τίς συνθήκες παρατηρήσεως.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# Ο ΧΩΡΟΣ ΕΙΝΑΙ ΣΧΕΤΙΚΟΣ

---

### **Μιά και ή ίδια θέση ή όχι ;**

Συχνά λέμε ότι δυό γεγονότα συνέβησαν σέ μιά και τήν ίδια θέση κι έχουμε τήν τάση ν' αποδίνουμε απόλυτη σημασία στόν ισχυρισμό μας. "Όμως στήν πραγματικότητα αυτό δέν σημαίνει τίποτα. Συνηθίζουμε νά λέμε : "τώρα ή ώρα είναι πέντε" χωρίς νά καθορίζουμε πού, στό Σικάγο ή στή Μόσχα.

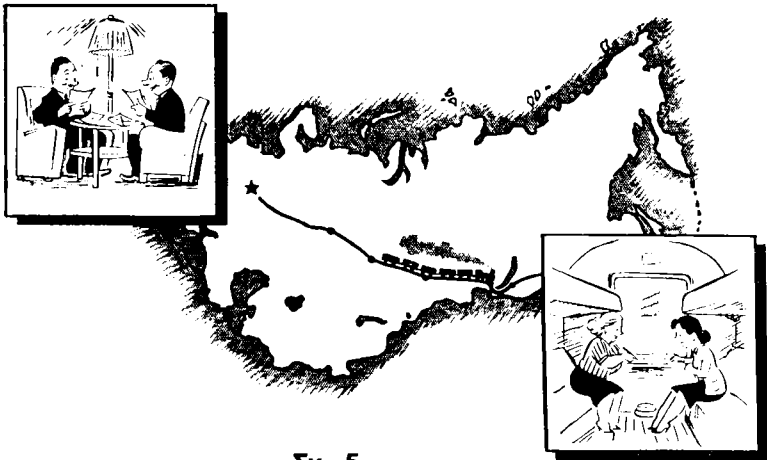
Γιά νά τό καταλάβουμε αυτό, ἄς φανταστοῦμε ότι δυό ταξιδιώτισες κανόνισαν νά συναντιοῦνται κάθε μέρα στό ἴδιο διαμέρισμα τοῦ ἐξπρές Μόσχας – Βλαδι-



βοστόκ καί νά γράφουν γράμματα στούς άντρες τους. Δύσκολα θά συμφωνούσαν αὐτοί ἄν τούς λέγαμε, ὅτι οἱ γυναῖκες τους συναντιόνταν στό ἴδιο σημεῖο τοῦ χώρου. Θά ἔλεγαν, κι ὄχι χωρίς λόγο, ὅτι αὐτό τό σημεῖο ἀπέιχε ἑκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά, ἐφ' ὅσον πῆραν τά γράμματα ἀπό διαφορετικές πόλεις – Γιαροσλάβ, Πέρμ, Σθερντλόφσκ, Τοῦμεν, Όμσκ καί Χάμπαροφσκ – διαδοχικά.

Αὐτά τά δυό γεγονότα, τό γράψιμο τῶν γραμμάτων κατά τήν πρώτη καί δεύτερη μέρα τοῦ ταξιδιοῦ, συνέβαιναν στήν ἴδια θέση κατά τήν ἀποψη τῶν γυναικῶν, ἐνῶ κατά τήν ἀποψη τῶν ἀντρῶν τους σέ θέσεις ἀπομακρυσμένες μεταξύ τους κατά ἑκατοντάδες χιλιόμετρα (Σχ. 5).

Ποιός εἶχε δίκη, οἱ γυναῖκες ἢ οἱ άντρες τους ; Δέν παίρνομε τό μέρος οὔτε τῶν μέν οὔτε τῶν δέ. Γιατί εἶναι ἐντελῶς φανερό, ὅτι ἡ ἀντίληψη "στό ἴδιο σημεῖο τοῦ χώρου" εἶναι σχετική.



Σχ. 5

Πιο απλά, ο Ισχυρισμός ότι δυό άστέρα στον ούρανό συμπέφτουν, έχει έννοια μόνον αν καθορίζεται ότι αυτά παρατηρήθηκαν από τή Γῆ.

Δυό γεγονότα λέμε ότι συμπέφτουν στό χῶρο, τότε μόνον, όταν αναφέρουμε τά σώματα σέ σχέση μέ τά όποια έντοπίστηκαν τά γεγονότα.

"Αρα ή αντίληψη γιά τή θέση στό χῶρο εἶναι επίσης σχετική. "Όταν μιλάμε γιά τή θέση ενός σώματος στό χῶρο έννοοῦμε πάντα τή θέση του, σχετικά μ' άλλα σώματα.

"Αν σέ μιά ἐρώτηση πού άφορά τή θέση ενός δοσμένου σώματος δέν αναφέρουμε άλλα σώματα στήν άπάντησή μας, ή ἐρώτηση δέν έχει έννοια.

### **Πότε ἕνα σῶμα κινεῖται πραγματικά.**

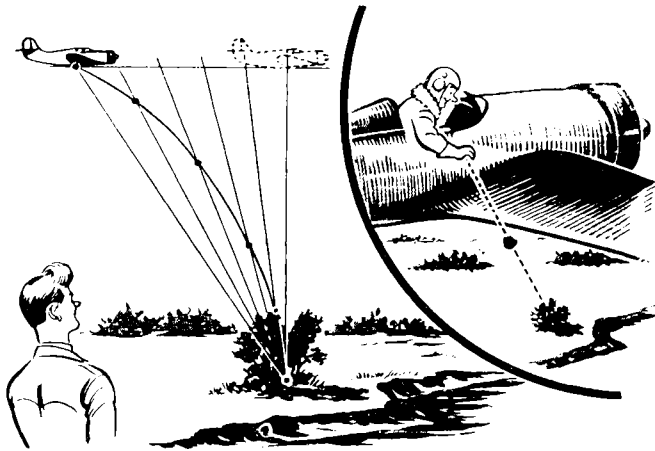
Άπό τά παραπάνω προκύπτει, ότι ή αντίληψη τῆς "μετατοπίσεως ενός σώματος στό χῶρο" εἶναι επίσης σχετική. "Όταν λέμε ότι ἕνα σῶμα μετατοπίστηκε στό χῶρο, έννοοῦμε άπλῶς, ότι άλλαξε ή θέση του σέ σχέση μ' άλλα σώματα.

"Αν παρατηροῦμε τήν κίνηση ενός σώματος από διάφορα σημεία πού οί σχετικές θέσεις τους αλλάζουν, θά δοῦμε ότι ή κίνησή του μεταβάλλεται.

"Όταν μιά πέτρα ρίχνεται από ἕνα άεροπλάνο τότε, σέ σχέση μέ αυτό, πέφτει κατά μιά εὐθεία, σέ σχέση όμως μέ τή Γῆ, διαγράφει μιά καμπύλη, γνωστή σαν παραβολή (Σχ. 6).

Ποιά εἶναι ή πραγματική τροχιά τῆς πέτρας ;

Αὐτή ή ἐρώτηση έχει τόσο λίγο νόημα όσο κι ή ἐρώτηση γιά τή γωνία μέ τήν όποία φαίνεται πραγματικά ή Σελήνη αν παρατηρεῖται από τόν "Ἡλιο ή από τή Γῆ.



Σχ. 6

Τό είδος τής καμπύλης κατά μήκος τής οποίας κινείται ένα σώμα είναι ακριβώς τόσο σχετικό όσο κι η φωτογραφία ενός κτιρίου.

Όπως έχουμε διαφορετικές φωτογραφίες όταν φωτογραφίζουμε τό κτίριο από έμπρός ή από πίσω, έτσι ακριβώς παίρνουμε καί διαφορετικές καμπύλες, παρακολουθώντας τήν πτώση μιās πέτρας από διαφορετικά σημεία.

### Είναι όλες οι απόψεις ισοδύναμες ;

Αν, παρατηρώντας τήν κίνηση ενός σώματος στό χώρο, περιορίζαμε τό ενδιαφέρον μας στή μελέτη τής τροχιάς (τής καμπύλης κατά μήκος τής οποίας κινείται ένα σώμα), θά έκλέγαμε γιά θέση παρατηρήσεώς μας τήν πιό βολική κι άπλή γιά τό σκοπό αυτό. Όταν ένας καλός φωτογράφος διαλέγει τό σημείο όπου θά έγκαταστήσει τή φωτογραφική του μηχανή, ενδιαφέρε-

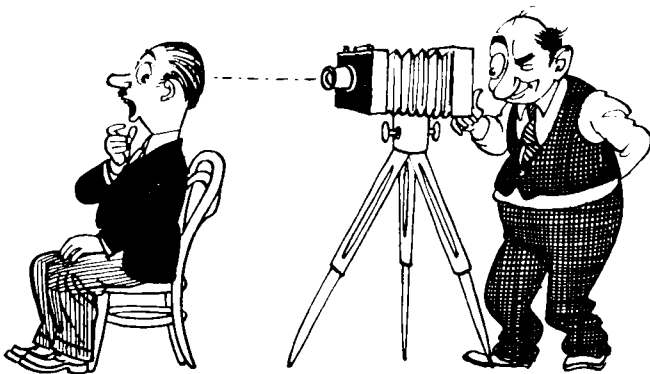
ται ανάμεσα στ' άλλα και για την αισθητική πλευρά της εικόνας του, τη σύνθεσή της.

Στή μελέτη όμως της κινήσεως των σωμάτων στο χώρο, τό ενδιαφέρον μας είναι πλατύτερο. Πράγματι, όχι μόνο θέλουμε νά γνωρίζουμε την τροχιά, αλλά άκόμα και νά προβλέπουμε τό δρόμο ενός σώματος μέσα στις δοσμένες συνθήκες.

Μ' άλλα λόγια, θέλουμε νά γνωρίζουμε τούς νόμους της κινήσεως του και τούς νόμους πού έπηραάζουν τά σώματα ώστε νά κινου̑νται μέ τόν ένα ή τόν άλλο τρόπο.

"Όταν έξετάζουμε τή σχετικότητα της κινήσεως άπ' αυτή τήν άποψη, βρίσκουμε ότι δέν είναι ισοδύναμες όλες οι θέσεις στό χώρο.

"Αν ζητήσουμε άπό τό φωτογράφο μιά φωτογραφία ταυτότητας, θέλουμε νά φωτογραφήσει τό πρόσωπο και όχι τό πίσω μέρος του κεφαλιου̑ μας, πράγμα πού καθορίζει και τή θέση στό χώρο άπό τήν όποία θά μās φωτογραφήσει. Δέν ύπάρχει άλλη θέση κατάλληλη γι' αυτό τό σκοπό (Σχ. 7).



Σχ. 7

## Βρέθηκε ἡ κατάσταση ἡρεμίας !

Στὴν κίνηση τῶν σωμάτων ἐπιδρουῖν ἐξωτερικὲς δυνάμεις. Μιά λεπτομερὴς ἐξέταση αὐτῆς τῆς ἐπιδράσεως θὰ μᾶς φέρει πιό κοντά στό πρόβλημα τῆς κινήσεως.

Ἄς ὑποθέσουμε ὅτι ἔχουμε στή διάθεσή μας ἓνα σῶμα, πάνω στό ὁποῖο δέν ἐπιδρᾷ καμιὰ ἐξωτερικὴ δύναμη.

Ἀνάλογα μέ τό σημεῖο παρατηρήσεώς μας, τό σῶμα αὐτό θὰ κινιέται διαφορετικά, περισσότερο ἢ λιγότερο ἰδιότροπα. Ἄλλὰ εἶναι φανερό ὅτι ἡ φυσικότερη θέση γιὰ τόν παρατηρητὴ θὰ εἶναι ἐκείνη στήν ὁποία τό σῶμα βρίσκεται σέ κατάσταση ἡρεμίας. Ἐπομένως μπορούμε νά δώσουμε ἓνα νέο πλήρη ὄρισμό τῆς καταστάσεως ἡρεμίας ἄσχετα ἀπό τὴν κίνηση τοῦ δοσμένου σώματος ὡς πρὸς ἄλλα σώματα. Ἐνα σῶμα, λοιπόν, ἐλεύθερο ἀπό τὴν ἐπίδραση ἐξωτερικῶν δυνάμεων, θρῖσκεται σέ κατάσταση ἡρεμίας.

## Σύστημα ἀδράνειας.

Πῶς μπορούμε νά φέρουμε ἓνα σῶμα σέ κατάσταση ἡρεμίας ; Πότε μπορούμε νά εἴμαστε θέβαιοι ὅτι ἓνα σῶμα δέ θρῖσκεται κάτω ἀπό τὴν ἐπίδραση καμιᾶς ἐξωτερικῆς δυνάμεως ;

Γιὰ τό σκοπό αὐτό, πρέπει νά πάρουμε τό σῶμα ὅσο μπορούμε μακρύτερα ἀπ' ὅλα τ' ἄλλα σώματα, πού θὰ μπορούσαν νά ἐπιδράσουν πάνω του. Θὰ μπορούσαμε νά κατασκευάσουμε στή φαντασία μας, ἓνα ἐργαστήριο – ἓνα σύστημα – τέτοιων ἀδρανῶν σωμάτων καί νά περιγράψουμε τίς ἰδιότητες τῆς κινήσεως, παρατηρώντας τό σῶμα, ἀπ' αὐτό τό σύστημα, πού θὰ τό θεωρήσουμε στήν κατάσταση ἡρεμίας.

Ἄν οἱ ιδιότητες τῆς κινήσεως ὅπως παρατηροῦνται μέσα σέ κάποιο ἄλλο ἐργαστήριο, διαφέρανε ἀπό τίς ιδιότητες τῆς κινήσεως πού παρατηροῦνται μέσα στό δικό μας, θά εἶχαμε τό δικαίωμα νά ποῦμε ὅτι τό πρῶτο ἐργαστήριο κινεῖται.

## **Κινεῖται τό τραῖνο ;**

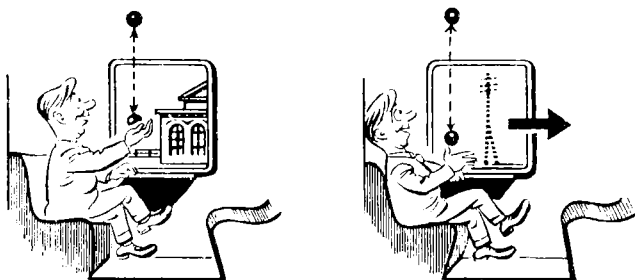
Ἄφοῦ ἀποδειχτεῖ ὅτι ἡ κίνηση σ' ἓνα κινούμενο σύστημα (ἐργαστήριο) διέπεται ἀπό νόμους διαφορετικούς ἀπό ἐκείνους πού ἐπικρατοῦν σ' ἓνα ἄλλο πού ἀδρανεῖ, φαίνεται ὅτι ἡ ἔννοια τῆς κινήσεως ἔχασε τό σχετικό της χαρακτήρα. Θά εἶχαμε τότε νά ἐπιβάλλουμε τήν κίνηση τῆς σχετικῆς ἀδράνειας καί νά ἀναφερόμαστε σ' αὐτή σάν ἀπόλυτη.

Ἀλλάζουν, ὅμως, οἱ νόμοι πού ἐπικρατοῦν σ' ἓνα σύστημα ἀδράνειας σέ κάθε περίπτωση πού τό σύστημα κινεῖται ;

Ἄς ἀνεβοῦμε σ' ἓνα τραῖνο πού κινεῖται εὐθύγραμμα καί ὁμαλά κι ἄς παρατηρήσουμε τή συμπεριφορά τῶν σωμάτων μέσα σ' αὐτό, σέ σύγκριση μ' ἓνα ἀκίνητο τραῖνο.

Ἡ καθημερινή πείρα μᾶς λέει ὅτι ἡ κίνηση τῶν σωμάτων μέσα σ' ἓνα τραῖνο πού τρέχει μέ σταθερή ταχύτητα πάνω σέ εὐθεία εἶναι ἡ ἴδια ὅπως μέσα σ' ἓνα ἀκίνητο τραῖνο. Ἄν ρίξουμε μιά σφαῖρα κατακόρυφα πρὸς τά πάνω μέσα σ' ἓνα κινούμενο τραῖνο, μᾶλλον θά γυρίσει στά χέρια μας ἀντί νά διαγράψει καμπύλη, ὅπως φαίνεται στό σχ. 8.

Ἄν ἐξαιρέσουμε τό τίναγμα πού γιά τεχνικούς λόγους εἶναι ἀναπόφευκτο, τό κάθε τι μέσα σ' ἓνα κινούμενο τραῖνο συμπεριφέρεται σά νά βρισκόταν τό τραῖνο σέ ἠρεμία.



Σχ. 8

Τά πράγματα αλλάζουν όταν ένα τραίνο ελαττώνει ή αύξάνει την ταχύτητά του. Στην πρώτη περίπτωση γνωρίζουμε από πείρα ότι νοιώθουμε ένα τίναγμα πρὸς τὰ ἔμπρὸς καὶ στή δεύτερη περίπτωση πρὸς τὰ πίσω, ἐντελῶς διαφορετικά ἀπὸ τὴν κατάσταση ἡρεμίας (Σχ. 9).



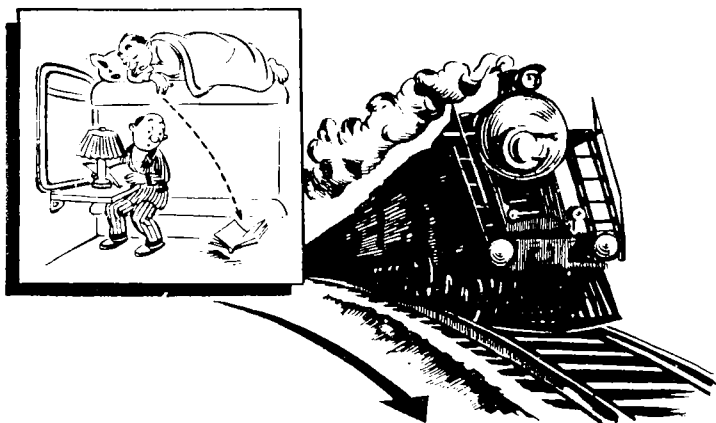
Σχ. 9

Ἄν ἓνα τραίνο κινούμενο μέ ὀμαλή ταχύτητα ἀλλάξει τὴ διεύθυνσή του, τό καταλαβαίνουμε ἀμέσως. Σέ μία ἀπότομη στροφή πρὸς τὰ δεξιὰ, θά πιεστοῦμε στήν



άντιθετη, τήν άριστερή πλευρά του βαγονιου κι αντί-στροφα σε μία στροφή προς τά άριστερά.

Καταλήγοντας, φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι, όσο ένα σύστημα κινείται ως προς ένα άλλο πού βρίσκεται σε κατάσταση ήρεμίας, όμαλά και εύθύγραμμα, είναι αδύνατο νά παρατηρήσουμε σ' αυτό έκτροπές από τή συμπεριφορά των σωμάτων μέσα στο τελευταίο σύστημα. Μόλις όμως ή κίνηση του κινούμενου συστήματος αλλάξει (έπιτάχυνση, επιβράδυνση, αλλαγή διεύθυνσεως), τό αποτέλεσμα στή συμπεριφορά των σωμάτων μέσα σ' αυτό, γίνεται άκαριαία αισθητό (Σχ. 10).



Σχ. 10

**Ή κατάσταση ήρεμίας δέν υπάρχει.**

Τό έκπληκτικό γεγονός, ότι ένα έργαστήριο κινούμενο εύθύγραμμα και όμαλά δέν επιδρά στή συμπεριφορά

τῶν σωμάτων πού βρίσκονται μέσα σ' αὐτό, μᾶς ἀναγκάζει ν' ἀναθεωρήσουμε τήν ἀντίληψη γιά τήν κατάσταση ἡρεμίας. Γίνεται φανερό ὅτι ἡ κατάσταση ἡρεμίας καί ἡ κατάσταση ὁμαλῆς καί εὐθύγραμμης κινήσεως δέν διαφέρουν. Ἐνα ἐργαστήριο πού κινιέται εὐθύγραμμα καί ὁμαλά ὡς πρὸς ἓνα ἄλλο πού θρῖσκεται σέ κατάσταση ἡρεμίας, μπορεῖ καί τό ἴδιο νά θεωρηθεῖ σέ κατάσταση ἡρεμίας. Αὐτό σημαίνει πῶς δέν ὑπάρχει μόνο μιὰ τέτοια κατάσταση ἀλλά ἓνα ἀναρίθμητο πλῆθος ποικίλων "καταστάσεων ἡρεμίας".

Ἐπάρχει λοιπόν ἓνα ἀναρίθμητο πλῆθος συστημάτων "σέ κατάσταση ἡρεμίας" πού ὅλα κινιοῦνται **εὐθύγραμμα καί ὁμαλά** τό ἓνα ὡς πρὸς τό ἄλλο, μέ ποικίλες ταχύτητες.

Ἐφοῦ ἡ κατάσταση ἡρεμίας εἶναι σχετική κι ὄχι ἀπόλυτη, ὀφείλουμε κάθε φορά, ν' ἀναφέρουμε σέ σχέση μέ ποιό ἀπό τά ἀναρίθμητα συστήματα πού κινιοῦνται εὐθύγραμμα καί ὁμαλά τό ἓνα ὡς πρὸς τά ἄλλα, παρατηροῦμε τή δοσμένη κίνηση.

Ἐτσι κάνουμε λάθος ὅταν θεωροῦμε τήν κίνηση ἀπόλυτη.

Τό ἐρώτημα, σέ σχέση μέ ποιὰ "κατάσταση ἡρεμίας" παρατηροῦμε τήν κίνηση, παραμένει πάντα ἀνοιχτό. Μέ τόν τρόπο αὐτό, φτάσαμε στό σπουδαιότερο νόμο τῆς φύσεως πού συνήθως λέγεται ἀρχή τῆς σχετικῆς κινήσεως. Σύμφωνα μ' αὐτήν, ἡ κίνηση τῶν σωμάτων μέσα σέ συστήματα πού κινιοῦνται εὐθύγραμμα καί ὁμαλά, τό ἓνα ὡς πρὸς τό ἄλλο, διέπεται ἀπό τούς ἴδιους νόμους.

## Ἐ νόμος τῆς ἀδράνειας.

Ἐ ἀρχή τῆς σχετικότητας τῆς κινήσεως δηλώνει ὅτι, ἓνα σῶμα στό ὀποιο δέν ἐπιδρᾶ ἐξωτερική δύναμη, ἡ

θά βρίσκεται σέ κατάσταση ήρεμίας ἢ θά κινιέται εὐθύγραμμα καί ὁμαλά – μιά συνθήκη πού οἱ φυσικοί τή λένε νόμο τῆς ἀδράνειας.

Ὡστόσο στήν καθημερινή ζωή, ἡ ἐφαρμογή αὐτοῦ τοῦ νόμου συγκαλύπτεται καί δέν ἐκδηλώνεται ἀπ' εὐθείας μόνη τῆς. Σύμφωνα μέ τό νόμο τῆς ἀδράνειας, ἕνα σῶμα σέ κατάσταση ὁμαλῆς καί εὐθύγραμμης κινήσεως, θά διατηρήσει τήν κίνησή του γιά πάντα ἂν δέν ἐπιδράσουν πάνω του ἐξωτερικές δυνάμεις.

Ἄλλά οἱ παρατηρήσεις μᾶς δείχνουν ὅτι κι ἂν ἀκόμα δέν ἐφαρμοστεῖ μιά δύναμη σ' ἕνα σῶμα, αὐτό τελικά θά σταματήσει.

Τό κλειδί γιά τή λύση τοῦ αἰνίγματος βρίσκεται στό γεγονός ὅτι ὅλα τά σῶματα πού βλέπουμε, βρίσκονται κάτω ἀπό τήν ἐπίδραση ὀρισμένων ἐξωτερικῶν δυνάμεων, τῶν δυνάμεων τριβῆς. Οἱ συνθήκες πού ἀπαιτοῦνται γιά νά παρατηρήσουμε τό νόμο τῆς ἀδράνειας – χωρίς τήν ἐπίδραση ἐξωτερικῶν δυνάμεων πάνω στό σῶμα – δέν βρίσκονται στή φύση. Βελτιώνοντας ὡστόσο, τίς συνθήκες τοῦ πειράματος, δηλ. ἐλαττώνοντας τίς δυνάμεις τριβῆς, μπορούμε νά πλησιάσουμε τήν ἰδανική συνθήκη πού ἀπαιτεῖται γιά τήν παρατήρηση τοῦ νόμου τῆς ἀδράνειας κι ἔτσι νά ἀποδείξουμε ὅτι ὁ νόμος αὐτός ἰσχύει ἐπίσης γιά κινήσεις πού παρατηροῦνται στήν καθημερινή ζωή. Ἡ ἀνακάλυψη τῆς ἀρχῆς τῆς σχετικότητας τῆς κινήσεως, εἶναι μιά ἀπό τίς μεγαλύτερες ἀνακαλύψεις τοῦ ἀνθρώπου. Ἡ Φυσική δέ θά μπορούσε ποτέ ν' ἀναπτυχθεῖ χωρίς αὐτήν. Τήν ἀνακάλυψη αὐτή τήν ὀφείλουμε στή μεγαλοφυΐα τοῦ Γαλιλαίου, πού ἀντιτάχθηκε τολμηρά στή διδασκαλία τοῦ Ἀριστοτέλη πού ἐπικρατοῦσε κατά τήν ἐποχή του καί ὑποστηριζόταν πολύ κι ἀπό τήν Καθολική ἐκκλησία.

Σύμφωνα μέ τόν Ἀριστοτέλη, κίνηση εἶναι δυνατή

μόνον ἂν ἐφαρμόζεται δύναμη καί παύει ἀναπόφευκτα χωρίς αὐτήν. Ὁ Γαλιλαῖος ἀπέδειξε τό ἐντελῶς ἀντίθετο\* μέ μιὰ σειρά λαμπρῶν πειραμάτων. Αὐτός ἔδειξε ὅτι ἡ τριβή ἦταν ἐκείνη πού σταματοῦσε τά κινούμενα σώματα κι ὅτι ἂν ἓνα σῶμα ἔμπαινε σέ κίνηση, θά ἐξακολουθοῦσε νά κινεῖται γιά πάντα ἂν δέν ὑπῆρχε τριβή.

### Ἡ ταχύτητα εἶναι ἐπίσης σχετική.

Ἀπό τήν ἀρχή τῆς σχετικότητας τῆς κινήσεως προκύπτει ὅτι, ἡ εὐθύγραμμη καί ὁμαλή κίνηση ἑνός σώματος μέ ὀρισμένη ταχύτητα, δέν ἔχει νόημα ἂν δέν καθορίζεται ὡς πρός ποιό σύστημα ἀδράνειας μετρίεται αὐτή ἡ ὀρισμένη ταχύτητα. Τό ἴδιο θά μπορούσε νά εἰπωθεῖ γιά τό γεωγραφικό μήκος, ἂν δέν καθοριζόταν ἀπό ποιό μεσημβρινό μετρίεται.

Ἔτσι θρῖσκουμε ὅτι ἡ ταχύτητα εἶναι ἐπίσης μιὰ σχετική ἔννοια. Ἄν προσδιορίσουμε τήν ταχύτητα ἑνός καί τοῦ αὐτοῦ σώματος πού κινεῖται ὡς πρός διαφορετικά συστήματα ἀδράνειας, θά πάρουμε διαφορετικά ἀποτελέσματα.

Ὅμως, κάθε ἀλλαγὴ τῆς ταχύτητας ὡς πρός τήν ἐπιτάχυνση, τήν ἐπιβράδυνση, ἢ τήν ἀλλαγὴ τῆς διευθύνσεως, ἔχει ἀπόλυτη ἔννοια καί δέν ἐξαρτιέται ἀπό τή θέση τοῦ συστήματος ὡς πρός τό ὅποιο τήν παρατηροῦμε.

---

\* Σ.τ.μ. Νομίζουμε ὅτι ἡ ἔκφραση "τό ἐντελῶς ἀντίθετο" δέν ἀποδίδει τήν ἱστορική πραγματικότητα. Ὁ Ἀριστοτέλης πέτυχε μιὰ "πρῶτη προσέγγιση" στό νόμο τῆς ἀδράνειας, διαπιστώνοντας τόν οὐσιαστικό ρόλο τῆς δυνάμεως στήν κίνηση, ἔστω καί πλεοναστικά. Ἔτσι, δημιουργήθηκε τό πλαίσιο ὅπου ὁ Γαλιλαῖος μπόρεσε νά κάνει τό σωστό ἐντοπισμό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# Η ΤΡΑΓΩΔΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

---

### **Τό φῶς δέν διαδίδεται άκαριαία.**

Έχουμε ήδη πειστεί γιά τήν άρχή τής σχετικότητας τής κινήσεως και τήν ύπαρξη άναρίθμητων συστημάτων "άδράνειας". Σ' αυτά, οι νόμοι πού διέπουν τήν κίνηση τών σωμάτων είναι ίδιοι.

Όστόσο ύπάρχει ένα είδος κινήσεως, τό όποιο σέ πρώτη ματιά, αντιφάσκει μέ τήν άρχή πού έξετάσαμε παραπάνω. Πρόκειται γιά τή διάδοση του φωτός.

Τό φῶς δέν διαδίδεται άκαριαία, άν και ή ταχύτητα του είναι τρομακτική – 300.000 km/sec !

Αυτή ή κολοσιαία ταχύτητα είναι δύσκολο νά γίνει αντιληπτή, έπειδή στίς καθημερινές έμπειρίες μας έχουμε νά κάνουμε συνήθως μέ πολύ μικρότερες ταχύτητες. Ή ταχύτητα του τελευταίου σοβιετικού πυραύλου π.χ. είναι μόνο 12 km/sec. Από όλα τά σώματα μέ τά όποια έρχόμαστε σέ έπαφή, τό πιό γρήγορο είναι ή Γη στήν περιστροφή της γύρω από τόν "Ήλιο. Άλλά άκόμα κι αυτή ή ταχύτητα (τής Γης) είναι μόνο 30 km/sec.

### **Μπορεί ν' αλλάξει ή ταχύτητα του φωτός ;**

Ή κολοσιαία ταχύτητα πού έχει ή διάδοση του φωτός είναι κάτι πολύ άσυνήθιστο. Άκόμη καταπληκτικότερο, είναι τό γεγονός ότι αυτή ή ταχύτητα είναι άπόλυτα σταθερή.

Μπορούμε πάντα νά έπιταχύνουμε ή νά επιβραδύνουμε τήν κίνηση ενός τεχνητού σώματος. Άκόμη και ενός βλήματος. Φτάνει νά τοποθετήσουμε ένα κουτί μέ άμμο στήν πορεία του. Περνώνας μέσα από τό κουτί, τό βλήμα θά χάσει τήν ταχύτητά του.

Μέ τό φώς αλλάζουν τά πράγματα. Ή ταχύτητα ενός βλήματος έξαρτιέται κατά πολύ από τό σχήμα του ντουφεκιού πού τό ρίχνει κι από τίς ιδιότητες της πυρίτιδας, ενώ ή ταχύτητα του φωτός είναι πάντα ή ίδια ανεξάρτητα από τήν πηγή του.

Άς τοποθετήσουμε ένα γυάλινο πιάτο στήν πορεία μιās δέσμης φωτός. Ήπειδή ή ταχύτητα του φωτός στό γυαλί είναι μικρότερη άπ' ότι στό κενό, ή δέσμη θά τρέχει βραδύτερα. Όμως άφου περάσει μέσα από τό γυαλί, ξαναπαίρνει τήν ταχύτητα των 300.000 km/sec !

Ή διάδοση του φωτός στό κενό, τόσο ξεχωριστή άπ' όλα τ' άλλα είδη κινήσεως έχει μιά πολύ σπουδαία

ιδιότητα – δέν μπορεί οὔτε νά ἐπιταχυνθεῖ οὔτε νά ἐπιβραδυνθεῖ. Ὅποιοσδήποτε ἀλλαγές κι ἂν ὑφίσταται ἡ δέσμη τοῦ φωτός ἀπό τό ὑλικό, ξαναβρίσκει τήν ἴδια τήν ἀρχική (τῆ σταθερή) ταχύτητα, μόλις ξαναβρεθεῖ στό κενό.

## Ἦχος καί φῶς.

Σύμφωνα μ' αὐτά, ἡ διάδοση τοῦ φωτός μᾶς θυμίζει περισσότερο τῆ διάδοση τοῦ ἤχου παρά τῆ συνηθισμένη κίνηση τῶν σωμάτων.

Ἦχος εἶναι ἡ δόνηση τοῦ μέσου, μέσα στό ὁποῖο διαδίδεται. Ὡστόσο, ἡ ταχύτητα τοῦ ἤχου ἐξαρτιέται ἀπό τίς ιδιότητες τοῦ μέσου κι ὄχι ἀπό τίς ιδιότητες τοῦ σώματος πού παράγει τόν ἤχο καί ἡ ταχύτητά του δέν μπορεί ν' αὐξηθεῖ ἢ νά ἐλαττωθεῖ ὅπως κι ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός, ἀκόμα κι ἂν ὁ ἤχος περάσει μέσα ἀπό ἄλλα σώματα. Ἄν στήν πορεία του, τοποθετήσουμε ἓνα μεταλλικό φράγμα, ἡ ταχύτητα τοῦ ἤχου θά ἀλλάξει μέσα σ' αὐτό, ἀλλά μόλις βρεθεῖ πάλι στό ἀρχικό μέσο θά ξαναπάρει τήν ἀρχική του ταχύτητα.

Ἄς τοποθετήσουμε μιά ἠλεκτρική λάμπα κι ἓνα ἠλεκτρικό κουδούνι κάτω ἀπό τό γυάλινο σκέπασμα (κώδωνα) μιᾶς ἀεραντλίας κι ἄς ἀρχίσουμε νά θγάζουμε τόν ἀέρα ἀπ' αὐτό. Ὁ ἤχος τοῦ κουδουνιοῦ θά γίνεται ὀλοένα καί πιο ἀδύνατος ὥσπου δέν θά ἀκούγεται καθόλου. Ἀντίθετα, ἡ λάμπα θά ἀκτινοβολεῖ φῶς ὡς συνήθως. Τό πείραμα αὐτό ἀποδείχνει ὅτι ὁ ἤχος διαδίδεται σέ ὑλικό μέσο, ἐνῶ τό φῶς διαδίδεται ἀκόμα καί στό κενό. Αὐτό ἀποτελεῖ τήν οὐσιαστική τους διαφορά.



## Ἡ ἀρχή τῆς σχετικότητας τῆς κινήσεως φαίνεται νά κλονίζεται.

Ἡ κολοσιαία ἀλλά ὄχι ἄπειρη ταχύτητα τοῦ φωτός στό κενό μᾶς φέρνει σέ σύγκρουση μέ τήν ἀρχή τῆς σχετικότητας τῆς κινήσεως.

Ἄς φανταστοῦμε ὅτι ἓνα τραῖνο κινιέται μέ τήν τρομακτική ταχύτητα τῶν 240.000 km/sec. Βρισκόμαστε μέσα στό πρῶτο βαγόνι καί μιᾶ ἠλεκτρική λάμπα ἀνάβει στό τελευταῖο. Ἄς δοῦμε ποιᾶ ἀποτελέσματα θά εἶχαμε ἂν μετρούσαμε τό χρόνο πού ἀπαιτεῖται γιά νά ἔρθει τό φῶς ἀπό τό ἓνα ἄκρο τοῦ τραίνου στό ἄλλο. Θά νόμιζε κανεῖς ὅτι ὁ χρόνος αὐτός θά διέφερε ἀπό τό χρόνο πού θά εἶχαμε ἂν τό τραῖνο βρισκόταν σέ ἠρεμία. Πράγματι, ὡς πρός τό τραῖνο πού κινιέται μέ 240.000 km/sec τό φῶς θά ἔτρεχε μόνο μέ ταχύτητα  $300.000 - 240.000 = 60.000$  km/sec. Θά ἦταν σάν νά ἔτρεχε τό φῶς νά προλάβει τό πρῶτο βαγόνι.

Ἄν τώρα τοποθετήσουμε τή λάμπα στό πρῶτο βαγόνι τοῦ τραίνου καί μετρήσουμε τό χρόνο πού χρειάζεται γιά νά φτάσει τό φῶς στό τελευταῖο βαγόνι, θά φαινόταν ὅτι ἡ ταχύτητά του κατά τήν ἀντίθετη διεύθυνση τῆς κινήσεως τοῦ τραίνου θά ἦταν  $240.000 + 300.000 = 540.000$  km/sec. Τό φῶς καί τό τελευταῖο βαγόνι κινιοῦνται ἀντίθετα τό ἓνα ὡς πρός τό ἄλλο. Ἔτσι φαίνεται ὅτι σ' ἓνα κινούμενο τραῖνο τό φῶς διαδίδεται μέ διαφορετική ταχύτητα κατά τίς διάφορες διευθύνσεις, ἐνῶ σ' ἓνα σταματημένο τραῖνο ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός εἶναι ἡ ἴδια σ' ὅλες τίς διευθύνσεις (Σχ. 11).

Τελείως διαφορετικά συμβαίνει σέ ἓνα βλήμα. Ἄν ρίχνεται κατά τή διεύθυνση τοῦ κινούμενου τραίνου ἢ ἀντίθετα ἀπ' αὐτό, ἡ ταχύτητα τοῦ βλήματος ὡς πρός τά τοιχώματα ἑνός βαγονιοῦ θά εἶναι ἡ ἴδια – ἴση μέ τήν ταχύτητα τοῦ βλήματος σ' ἓνα ἀκίνητο τραῖνο.



Σχ. 11

Τό γεγονός εἶναι ὅτι ἡ ταχύτητα τοῦ βλήματος ἐξαρτιέται ἀπό τήν ταχύτητα τοῦ ὄπλου, ἐνώ ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός ὅπως ἔχουμε ἤδη πει δέν ἀλλάζει ὅταν μεταβάλλεται ἡ ταχύτητα μέ τήν ὁποία ἡ λάμπα κινιέται. Τό ἐπιχείρημά μας φαίνεται ν' ἀποδείχνει ὅτι ἡ διάδοση τοῦ φωτός ἀντιτίθεται στήν ἀρχή τῆς σχετικότητας τῆς κινήσεως.

Μιά σφαῖρα κινιέται μέ μιά καί τήν ἴδια ταχύτητα ὡς πρὸς ἓνα τραῖνο πού κινιέται ὡς πρὸς ἓνα ἄλλο πού ἠρεμεῖ, ἐνώ σ' ἓνα τραῖνο πού κινιέται μέ 240.000 km/sec, τό φῶς διαδίδεται φαινομενικά (πέντε) φορές βραδύτερα κατὰ τή μιά διεύθυνση καί 1,8 φορές ταχύτερα κατὰ τήν ἀντίθετη διεύθυνση ἀπό ὅτι σ' ἓνα ἀκίνητο τραῖνο.

Θά φαινόταν ὅτι μελετώντας τή διάδοση τοῦ φωτός

θά μπορούσαμε νά καθορίσουμε τήν απόλυτη ταχύτητα ενός κινούμενου τραίνου.

Ἐπίσης ἔλπιδα ὅτι θά μπορούσαμε νά καθορίσουμε τήν ἀντίληψη τῆς ἀπόλυτης καταστάσεως ἡρεμίας μέ τό φαινόμενο τῆς διαδόσεως τοῦ φωτός.

Τό σύστημα στό ὁποῖο τό φῶς διαδίδεται μέ τήν ἴδια σταθερή ταχύτητα τῶν 300.000 km/sec πρὸς ὅλες τίς διευθύνσεις, μπορούμε νά ποῦμε ὅτι εἶναι σέ κατάσταση ἀπόλυτης ἡρεμίας. Σέ τυχόν ἄλλο σύστημα πού κινιέται εὐθύγραμμα καί ὁμαλά ὡς πρὸς τό πρῶτο, ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός θά εἶναι διαφορετική κατά τίς διάφορες διευθύνσεις. Στήν περίπτωση αὐτή, σχετικότητα κινήσεως, σχετικότητα ταχύτητας καί σχετικότητα τῆς καταστάσεως ἡρεμίας ὅπως καθορίσαμε παραπάνω, δέν ὑπάρχουν.

## Ἄνεμος τοῦ χώρου.

Πῶς γίνεται ἀντιληπτός ; Κάποτε οἱ φυσικοὶ χρησιμοποίησαν τήν ἀναλογία ἀνάμεσα στά φαινόμενα τῆς διαδόσεως τοῦ ἤχου καί τοῦ φωτός, γιά νά εἰσάγουν ἓνα εἰδικό μέσο πού τόν ὀνόμασαν αἰθέρα, μέσα στό ὁποῖο τό φῶς διαδίδεται μέ τόν ἴδιο τρόπο πού ὁ ἤχος διαδίδεται στόν ἀέρα. Ἐπίσης, ὅτι σώματα πού κινιούνται διά μέσου τοῦ αἰθέρα, δέν προωθοῦνται περισσότερο ἀπ' ὅσο προωθείται ἓνα σανιδένιο κουτί πού ἐπιπλέει στό νερό.

Ἄν τό τραῖνο μας εἶναι ἀκίνητο ὡς πρὸς τόν αἰθέρα, τότε τό φῶς θά διαδίδεται πρὸς ὅλες τίς διευθύνσεις μέ τήν ἴδια ταχύτητα. Ἡ κίνηση τοῦ τραίνου ὡς πρὸς τόν αἰθέρα θά φανερώσει ἀπό μόνη της, ὅτι ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός θά εἶναι διαφορετική γιά διάφορες κατευθύνσεις.

Ὡστόσο, αὐτὴ ἡ εἰσαγωγή τοῦ αἰθέρα, ἑνὸς μέσου τοῦ ὁποῖου τὴ δόνηση παρατηροῦμε μέ τὴ μορφὴ τοῦ φωτός, δημιουργεῖ πληθὸς σημαντικῶν προβλημάτων. Κατ' ἀρχὴν ἡ ἴδια ἡ ὑπόθεσή του εἶναι προφανῶς τεχνική. Πράγματι, μπορούμε νά μελετήσουμε τίς ιδιότητες τοῦ ἀέρα ὄχι μόνο παρατηρώντας τὴ διάδοση τοῦ ἤχου μέσα σ' αὐτόν, ἀλλὰ ἐπίσης κι ἀπὸ ποικίλες φυσικὲς καὶ χημικὲς μέθοδοις ἔρευνας. Στό μεταξύ, χάρις σέ κάποια μυστηριώδη αἰτία, ὁ αἰθέρας δέν παίρνει μέρος σέ πολλά ἀπὸ τὰ φαινόμενα. Ἡ πυκνότητα κι ἡ πίεση τοῦ ἀέρα μετριοῦνται εὐκόλα μέ τίς πιό ἀπλές μέθοδοις. Ὅμως οἱ προσπάθειες γιὰ νά μάθουμε κάτι γύρω ἀπὸ τὴν πυκνότητα καὶ τὴν πίεση τοῦ αἰθέρα, δέν ἀπέδωσαν τίποτε. Ἡ θέση εἶναι μᾶλλον γελοία.

Ὅλα τὰ φαινόμενα τῆς φύσεως μπορούν βέβαια νά "ἐξηγηθοῦν" εἰσάγοντας μερικά εἰδικὰ ρευστά πού ἔχουν τίς ἐπιθυμητές ιδιότητες. Ἀλλὰ ἡ διαφορὰ ἀνάμεσα στὴ γνήσια θεωρία ἑνὸς φαινομένου καὶ σέ μιὰ ἀπλή παράφραση μέ ἐπιστημονικούς ὄρους, πολὺ γνωστῶν γεγονότων, βρίσκεται ἀκριθῶς στό γεγονός ὅτι πολὺ περισσότερα συμπεράσματα βγαίνουν ἀπὸ τὴ θεωρία παρά ἀπὸ τὰ γεγονότα σὰ ὅποια αὐτὴ στηρίζεται. Ἄς πάρουμε γιὰ παράδειγμα τὴν ἔννοια τοῦ ἀτόμου. Αὐτὴ μπῆκε στὴν ἐπιστῆμη χάρις στὴ χημεία, ἀλλὰ ἡ γνώση μας γύρω ἀπὸ τὰ ἄτομα μᾶς ἔκανε ικανούς νά ἐξηγήσουμε καὶ νά προβλέψουμε πληθὸς φαινομένων πού δέν ἔχουν σχέση μέ τὴ χημεία.

Ἡ ἀντίληψη γιὰ τὸν αἰθέρα θά μπορούσε δικαίως νά παρομοιαστεῖ μέ τὴν ἐξήγηση πού ἓνας ἄγριος θά ἔδινε στό γραμμόφωνο, ὅτι δηλ. ἓνα εἰδικό "γραμμοφωνικό πνεῦμα" εἶναι φυλακισμένο μέσα στό μυστηριώδες κουτί.

Τέτοιες "ἐρμηνεῖες" δέν ἐξηγοῦν τίποτε.

Οἱ φυσικοὶ ἔχουν μιά ἀτυχή ἐμπειρία ἀπὸ αὐτὸ τὸ εἶδος τῶν ἐρμηνειῶν, πρὶν κιάλας ἀπὸ τὸν αἰθέρα. Κάποτε “ἐξηγοῦσαν” τὸ φαινόμενο τῆς καύσεως μὲ τίς ιδιότητες ἐνός εἰδικοῦ ρευστοῦ, πού τὸ ὀνόμαζαν φλογιστό (flogiston) καὶ τὸ φαινόμενο τῆς θερμότητος μὲ τίς ιδιότητες ἐνός ἄλλου ρευστοῦ – heterode. Αὐτὰ τὰ ρευστὰ δὲν ἦσαν – μιά καὶ γίνεται λόγος – λιγότερο ἀπατηλά ἀπὸ τὸν αἰθέρα.

### **Δύσκολη κατάσταση.**

Ἡ κυριότερη δυσκολία, ὅμως, βρίσκεται στό γεγονός ὅτι ἡ παραβίαση τῆς ἀρχῆς τῆς σχετικότητος τῆς κινήσεως ἀπὸ τὴ διάδοση τοῦ φωτός, θά ὀδηγοῦσε ἀναπόφευκτα στήν παραβίαση τῆς ἴδιας ἀρχῆς ἀπὸ ὅλα τ’ ἄλλα σώματα.

Ἐπί πλέον, κάθε μέσο ἀντιδρᾶ στήν κίνηση τῶν σωμάτων. Ἐπομένως, ἡ μετατόπιση τῶν σωμάτων στὸν αἰθέρα θά εἶχε ἐπίσης σά συνέπεια τὴν τριβή. Ἡ κίνηση ἐνός σώματος θά ἐλαττωνόταν καὶ θά ἔφτανε τέλος στήν κατάσταση ἡρεμίας. Συγχρόνως ἡ Γῆ περιστρέφεται ἀπὸ πολλὰ δισεκατομμύρια χρόνια γύρω ἀπὸ τὸν Ἥλιο (σύμφωνα μὲ πορίσματα τῆς γεωλογίας) καὶ δὲν δείχνει ὅτι πρόκειται νά σταματήσει ἐξ αἰτίας τῆς τριβῆς.

Προσπαθώντας ἔτσι νά ἐξηγήσουμε μὲ τὸν αἰθέρα τὴν παράξενη συμπεριφορὰ τοῦ φωτός σ’ ἓνα κινούμενο τραῖνο φτάσαμε σ’ ἀδιέξοδο. Ἡ ἔννοια τοῦ αἰθέρα δὲν ἐξαλείφει τὴν ἀντίφαση ἀνάμεσα στήν παραβίαση τῆς ἀρχῆς τῆς σχετικότητος ἀπὸ τὸ φῶς καὶ τὴν τήρησή της ἀπὸ ὅλα τ’ ἄλλα σώματα.

## Τό πείραμα θ' αποφάσιζε.

Τί πρόκειται νά γίνει μ' αὐτή τήν αντίφαση ; Πρίν μιλήσουμε γι' αὐτό, ἄς δοῦμε τήν παρακάτω περίπτωση. Ἡ αντίφαση ἀνάμεσα στή διάδοση τοῦ φωτός καί τή σχετικότητα τῆς κινήσεως εἶναι ἀποκλειστικά ἓνα διανοητικό κατασκευάσμα. Εἶναι ἀλήθεια, τό ξαναλέμε, ὅτι αὐτό τό κατασκευάσμα ἦταν πολύ πειστικό. Ἄν περιοριστοῦμε μόνο στή λογική μας, θά μοιάζουμε μέ ἀρχαῖο φιλόσοφο πού προσπαθοῦσε νά βγάξει τούς νόμους τῆς φύσεως ἀπό τό κεφάλι του. Προκύπτει τότε ὁ ἀναπόφευκτος κίνδυνος νά πλάσουμε ἓναν κόσμο πού ν' ἀποκαλυφτεῖ μιά μέρα πολύ διαφορετικός ἀπό τόν πραγματικό.

Τό πείραμα εἶναι ὁ ὑπέρτατος κριτής κάθε φυσικῆς θεωρίας. Γι' αὐτό δέν θά περιοριστοῦμε σ' ἐπιχειρήματα γιά τό πῶς διαδίδεται τό φῶς σ' ἓνα κινούμενο τραῖνο καί θά στραφοῦμε σέ πειράματα πού δείχνουν πῶς πραγματικά διαδίδεται σέ τέτοιες συνθήκες.

Τό πείραμά μας διευκολύνεται ἀπό τό γεγονός, ὅτι ζοῦμε πάνω σ' ἓνα κινούμενο σῶμα. Ἡ Γῆ κατά τήν περιστροφή της γύρω ἀπό τόν Ἡλιο δέν κινεῖται πάνω σ' εὐθεία καί ἐπομένως δέν μπορεῖ νά θρῖσκει σέ διαρκή κατάσταση ἡρεμίας ὡς πρὸς τυχόν ἄλλο σύστημα. Ἀκόμα κι ἂν δεχτοῦμε ἓνα σύστημα ὡς πρὸς τό ὁποῖο ἡ Γῆ εἶναι ἀκίνητη, π.χ. τό Γενάρη, εἶναι βέβαιο ὅτι τόν Ἰούλιο θά κινιέται ἐπειδὴ ἡ διεύθυνση τῆς περιφορᾶς της γύρω ἀπό τόν Ἡλιο ἀλλάζει. Μελετώντας λοιπόν τή διάδοση τοῦ φωτός πάνω στή Γῆ, στήν πραγματικότητα μελετᾶμε αὐτή μέσα σ' ἓνα σύστημα πού κινιέται μέ ταχύτητα 30 km/sec, πράγμα πού εἶναι ἐντελῶς φυσικό στίς συνθήκες μας. Ἡ περιστροφή τῆς Γῆς γύρω ἀπό τόν ἄξονά της, μέ ταχύτητα τῆς τάξεως τῶν 0,5 km/sec κατά προσέγγιση, μπορεῖ νά παραλειφτεῖ.

Ὡστόσο ἀκριβολογοῦμε ὅταν παρομοιάζουμε τὴν Ὑδρογείο μέ τό κινούμενο τραῖνο πού περιγράψαμε παραπάνω καί πού μᾶς ὀδήγησε σέ ἀδιέξοδο ; Τό τραῖνο κινιέται σ' εὐθεία μέ ὁμαλή ταχύτητα, ἐνῶ ἡ κίνηση τῆς Γῆς εἶναι περιστροφική. Ναί, ἀκριβολογοῦμε. Ἡ Γῆ μπορεῖ κάλλιστα νά θεωρηθεῖ ὅτι κινιέται εὐθύγραμμα καί ὁμαλά στό ἀπειροστό κλάσμα τοῦ δευτερόλεπτου πού χρειάζεται τό φῶς γιά νά διέλθει ἀπό τά σημεῖα παρατηρήσεως. Τά περιθώρια λάθους εἶναι τόσο ἀσήμαντα πού δέν μπορούμε νά τό διαπιστώσουμε.

Ἄφου, ὅμως, παρομοιάσαμε τό τραῖνο μέ τή Γῆ, θά ἦταν φυσικό νά περιμένουμε ὅτι τό φῶς πάνω στή Γῆ θά συμπεριφερόταν τόσο παράξενα ὅσο καί μέσα στό τραῖνο, ὅτι δηλαδή σέ διαφορετικές διευθύνσεις θά διαδιδόταν μέ διαφορετικές ταχύτητες.

### **Ἡ ἀρχή τῆς σχετικότητας θριαμβεῦει.**

Τό 1881 ὁ Albert Michelson, ἕνας ἀπό τούς μεγαλύτερους πειραματιστές τοῦ 19ου αἰῶνα μέ σχετικό πείραμά του, μέτρησε μέ μεγάλη ἀκρίβεια τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός σέ διάφορες κατευθύνσεις. Γιά ν' ἀποκαλύψει τίς ἀναμενόμενες ἐλαφρές διαφορές τῆς ταχύτητας, ὁ Michelson χρησιμοποίησε πολύ ἀκριθὴ κι ἐξαιρετικά πειραματικά μέσα. Ἡ ἀκρίβεια τοῦ πειράματός του ἦταν τόσο μεγάλη πού θά μπορούσε ν' ἀποκαλύψει πολύ μικρότερες διαφορές τῆς ταχύτητας ἀπό τίς προβλεπόμενες.

Τό πείραμα τοῦ Michelson ἐπαναλήφθηκε ἀργότερα κάτω ἀπὸ διαφορετικές συνθηκὲς κι ὀδήγησε σέ ἐντελῶς ἀπρόβλεπτα ἀποτελέσματα. Τό φῶς διαδιδόταν σ' ἕνα κινούμενο τραῖνο ἐντελῶς διαφορετικά ἀπ' ὅτι εἶχαμε συμπεράνει. Ὁ Michelson ἀνακάλυψε, ὅτι πάνω στὴν περιστρεφόμενη Γῆ τό φῶς διαδίδεται πρὸς ὅλες τίς



διευθύνσεις μέ την ίδια σταθερή ταχύτητα. Κάτω απ' αυτή την άποψη, ή διάδοση του φωτός μās θυμίζει τή βολή ενός βλήματος : είναι ανεξάρτητη από τήν κίνηση του συστήματος και ή ταχύτητά του ως προς τά τοιχώματα του συστήματος είναι ή ίδια προς όλες τίς διευθύνσεις.

Τό πείραμα του Michelson απόδειξε έτσι ότι **αντίθετα από τό συμπέρασμά μας**, τό φαινόμενο τής διαδόσεως του φωτός, πέρα από αντιφάσεις, συμφωνεί πλήρως μέ τήν άρχή τής σχετικότητας τής κινήσεως. Μ' άλλα λόγια, όλες οι άλλες αιτιολογίες μας πού αναφέρθηκαν σέ προηγούμενες σελίδες είναι λαθεμένες.

### **Έξω από τό τηγάνι, μέσα στή φωτιά.**

Ήδη άπαλλαχτήκαμε από τήν επικίνδυνη αντίφαση ανάμεσα στους νόμους τής διαδόσεως του φωτός και τής άρχής τής σχετικότητας τής κινήσεως. Ή αντίφαση ήταν μόνο φαινομενική και όφειλόταν σέ λαθεμένες αιτιολογίες. Για ποió λόγο όμως κάναμε λάθος ;

Γιά ένα τέταρτο σχεδόν του αιώνα, από τό 1881 ως τό 1905, οι φυσικοί βασάνισαν τό μυαλό τους μ' αυτό τό πρόβλημα. Κι όμως, όλες οι εξηγήσεις τους όδήγησαν αναπόφευκτα σέ νέες αντιφάσεις ανάμεσα στή θεωρία και τήν πρακτική.

Ήν ή πηγή του ήχου και ό παρατηρητής κινιούνται μέσα σ' ένα κλουβί από λεπτές ράβδους, ό παρατηρητής θά αισθάνεται ένα ισχυρό άνεμο.

Μετρώντας τήν ταχύτητα του ήχου ως προς τό κλουβί θά τή βρούμε μικρότερη κατά τή διεύθυνση τής κινήσεως του κλουβιού, απ' ότι στήν αντίθετη διεύθυνση. Τώρα άς υποθέσουμε ότι θέτουμε τήν πηγή του

ήχου μέσα σ' ένα θαγόني του οποίου όλα τά παράθυρα κι οί πόρτες είναι έντελώς κλειστά καί μετράμε τήν ταχύτητα. Θά ανακαλύψουμε ότι, επειδή ό άέρας μέσα στό θαγόني δέν επηρεάζεται από τήν κίνηση αυτού, ή ταχύτητα του ήχου μέσα στό θαγόني θά είναι ή ίδια πρós όλες τίς διευθύνσεις.

"Αν αντί του ήχου θεωρήσουμε τό φώς, θά έπρεπε νά κάνουμε τήν ακόλουθη υπόθεση για νά εξηγήσουμε τό πείραμα του Michelson. 'Η Γη δέν αφήνει άτάραχο τόν αϊθέρα όπως καί τό κλουβί κατά τήν κίνησή της στό χώρο. 'Αντίθετα, ας υποθέσουμε ότι ή Γη μεταφέρει τόν αϊθέρα μαζί της καί κατά τήν κίνησή της άποτελεί ένα ενιαίο σύνολο μ' αυτόν. Στην περίπτωση αυτή, τό αποτέλεσμα του πειράματος του Michelson θά είναι έντελώς κατανοητό.

"Όμως αυτή ή υπόθεση συγκρούεται μέ ένα πλήθος άλλων πειραμάτων, όπως π.χ. ή διάδοση του φωτός στό νερό πού ρέει μέσα σ' ένα σωλήνα. 'Εφ' όσον ή υπόθεσή μας για τόν αϊθέρα πού μεταφέρεται μέ τή Γη ήταν σωστή, μετρώντας κατόπιν τήν ταχύτητα του φωτός κατά τή διεύθυνση τής ροής, θά παίρναμε μία ταχύτητα ίση μέ τήν ταχύτητα του φωτός σέ ακίνητο νερό σύν τήν ταχύτητα τής ροής του νερού.

'Αλλά σάν αποτέλεσμα των μετρήσεων παίρνουμε μία ταχύτητα μικρότερη άπ' αυτή πού θά είχαμε, αν ή υπόθεσή μας ήταν σωστή. "Εχουμε ήδη αντιληφτεί τό έντελώς παράδοξο φαινόμενο των σωμάτων πού δέν ύφίστανται καμιά τριβή για τήν όποία νά μπορούμε νά μιλήσουμε, όταν περνούν μέσα από τόν αϊθέρα. "Όταν όμως αυτά, όχι μόνο περνούν μέσα από τόν αϊθέρα αλλά καί τόν μεταφέρουν μαζί τους, ή τριβή θά έπρεπε νά είναι μεγαλύτερη.

"Ετσι, όλες οί προσπάθειες νά ξεπεράσουμε τήν αντίφαση πού προέκυψε από τό άναμενόμενο αποτέ-

---

λεσμα του πειράματος του Michelson απέτυχαν.

Καί καταλήγουμε.

Τό πείραμα του Michelson επιβεβαιώνει τις αρχές της σχετικότητας της κινήσεως, όχι μόνο για τά συνηθισμένα σώματα αλλά ακόμη και για τή διάδοση του φωτός κι επομένως για όλα τά φυσικά φαινόμενα.

Καθώς είδαμε παραπάνω, ή σχετικότητα της ταχύτητας προκύπτει άμεσα από τήν αρχή της σχετικότητας της κινήσεως. Διαφορετικά συστήματα κινούμενα τά μέν ως πρός τά δέ, θά είχαν διαφορετικές ταχύτητες. Άπό τήν άλλη όμως, ή ταχύτητα του φωτός 300.000 km/sec είναι ή ίδια για όλα τά συστήματα. Έπομένως, είναι απόλυτη και όχι σχετική!

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

# Ο ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΝΑΙ ΣΧΕΤΙΚΟΣ

---

### **Υπάρχει πραγματικά αντίφαση ;**

Από πρώτη άποψη φαίνεται ότι έχουμε νά κάνουμε μέ μία καθαρά λογική αντίφαση. Ή σταθερότητα τής ταχύτητας τής διαδόσεως του φωτός προς όλες τīs διευθύνσεις αποτελεί έπαρκή απόδειξη για τήν άρχή τής σχετικότητας· καί συγχρόνως ή ίδια ή ταχύτητα είναι απόλυτη.

Άς θυμηθοῦμε ώστόσο, πώς αντιμετώπιζε ό άνθρωπος του μεσαιώνα τό γεγονός ότι ή Γη είναι σφαι-

ρική. Ἡ σφαιρικότητα τῆς Γῆς (γι' αὐτόν) ἐρχόταν σέ σύγκρουση μέ τή δύναμη τῆς βαρύτητας, ἐπειδὴ νόμιζε ὅτι ὅλα τὰ ἀντικείμενα ὄφειλαν νά κυλήσουν "ἔξω" ἀπό τήν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς. Ἐμεῖς, ὅμως, ξέρουμε πολύ καλά ὅτι δέν ὑπάρχει καθόλου λογική σύγκρουση. Ἀπλῶς ἡ ἀντίληψη γιά τό "πάνω" καί τό "κάτω" εἶναι σχετική κι ὄχι ἀπόλυτη (Σχ. 12).



Σχ. 12

Τό ἴδιο ἰσχύει καί γιά τή διάδοση τοῦ φωτός. Θά ἦταν μάταιο ν' ἀναζητήσουμε μιά λογική ἀντίφαση ἀνάμεσα στήν ἀρχή τῆς σχετικότητας τῆς κινήσεως καί τό ἀπόλυτο τῆς ταχύτητας τοῦ φωτός.

Ἡ ἀντίφαση φαίνεται, ὅταν εἰσάγουμε ἄλλες ὑποθέσεις κι ἀκόμα περισσότερο, στόν τρόπο πού οἱ ἄνθρωποι τοῦ μεσαίωνα χρησιμοποιοῦσαν τήν ἀπόλυτη ἀντί-

ληψη του "πάνω" και "κάτω" για ν' ανασκευάσουν τό ότι ή Γη είναι σφαιρική. 'Η παράλογη αυτή πίστη τους προερχόταν από μιά ανεπαρκή εμπειρία : ό κόσμος ταξίδευε πολύ λίγο τήν εποχή εκείνη κι εγνώριζε μικρές μόνο έκτάσεις τής επιφάνειας τής Γης. Προφανώς κάτι τέτοιο συνέβη και σέ μās : ή ανεπαρκής εμπειρία μās έκανε νά πιστεύουμε σάν απόλυτο κάτι τό σχετικό. Τί ;

Γιά νά έπισημάνουμε τό λάθος μας θά πρέπει από τώρα και στό έξής, νά μήν αποδεχόμαστε παρά προτάσεις βασισμένες στό πείραμα.

### **Πηγαίνοντας μ' ένα τραίνο.**

"Ας φανταστούμε ένα τραίνο μήκους 5.400.000 km πού κινιέται μέ όμαλή ταχύτητα 240.000 km/sec κατά μήκος μιās ευθείας. "Ας υποθέσουμε ότι σέ μιά δοσμένη χρονική στιγμή άναψε μιά λάμπα κάπου στή μέση του τραίνου κι άς υποθέσουμε ακόμα ότι οι αυτόματες πόρτες στό πρώτο και στό τελευταίο θαγόني άνοίγουν κατά τή στιγμή πού τό φως φτάνει σ' αυτές. Τί θά δει ό κόσμος πού βρίσκεται μέσα στό τραίνο και τί αυτοί πού στέκονται στό σταθμό ; 'Απαντώντας σ' αυτό τό έρώτημα θά πρέπει, όπως συμφωνήσαμε, νά σταθούμε στά πειραματικά δοσμένα.

'Ο κόσμος στό μέσο του τραίνου θά δει τά παρακάτω : επειδή, σύμφωνα μέ τό πείραμα του Michelson, τό φως διαδίδεται μέ τήν ίδια ταχύτητα προς όλες τις διευθύνσεις - 300.000 km/sec - θά φτάσει ταυτόχρονα στό τελευταίο και στό πρώτο θαγόني, κατά 9 δευτερόλεπτα (2.700.000 : 300.000) άργότερα κι οι δυό πόρτες θ' άνοίξουν επίσης ταυτόχρονα.

'Ως προς τό σταθμό, τό φως κινιέται επίσης μέ ταχύτητα 300.000 km/sec αλλά τό τελευταίο θαγόني κι-

νιέται για να συναντήσει τη φωτεινή δέσμη. Έτσι, η φωτεινή δέσμη θα φτάσει στο τελευταίο θαγόني μετά  $2.700.000/(300.000 + 240.000) = 5 \text{ sec}$ . Η φωτεινή δέσμη πρέπει να συναντήσει το πρώτο θαγόني κι αυτό θα γίνει σε  $2.700.000/(300.000 - 240.000) = 45 \text{ sec}$  αργότερα.

Στόν κόσμο του σταθμού θα φανεϊ ότι οι πόρτες ανοίγουν σε διαφορετικούς χρόνους, πρώτα η πίσω πόρτα και η μπροστινή  $45 - 5 = 40 \text{ sec}$  αργότερα.

Έτσι δυό απόλυτα ταυτόσημα γεγονότα – τό άνοιγμα της μπροστινής και της πίσω πόρτας του τραίνου – θα συμβούν ταυτόχρονα για τόν κόσμο πού έπιθαίνει στό τραϊνο και σε χρονικό διάστημα  $40 \text{ sec}$  για κείνους πού βρίσκονται στό σταθμό.

### **Άντίθετα στην κοινή λογική ;**

Ύπάρχει καμιά αντίφαση σ' αυτό ; Ίσως τό γεγονός πού ανακαλύψαμε να είναι τόσο παράλογο, όσο τό να πούμε ότι ένας κροκόδειλος της Ν. Άφρικής είναι δυό μέτρα από τό κεφάλι μέχρι τήν ούρά κι ένα μέτρο από τήν ούρά μέχρι τό κεφάλι.

Άς προσπαθήσουμε να δοῦμε γιατί τό αποτέλεσμα πού πήραμε φαίνεται παράλογο, ενώ αντίθετα συμφωνεί με τά πειράματα. Όσο πολύ κι αν σκεφτούμε ποτέ δεν θα βρούμε μιά λογική αντίφαση στό γεγονός ότι τά δυό φαινόμενα πού συνέβησαν ταυτόχρονα για τόν κόσμο μέσα στό τραϊνο, είχαν διαφορά  $40 \text{ sec}$  για τόν κόσμο του σταθμού.

Τό μόνο πού μπορούμε να πούμε για να παρηγορηθούμε είναι ότι τά συμπεράσματά μας είναι μιά κραυγαλέα αντίθεση στην “κοινή λογική”.

Όμως ως θυμηθούμε πώς η “κοινή λογική” του

άνθρώπου του μεσαίωνα έπαναστατοϋσε στο γεγονός ότι η Γη περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο. Πράγματι, η έμπειρία του ανθρώπου της εποχής αναμφίβολα έλεγε ότι η Γη ήταν ακίνητη κι ότι ο Ήλιος γύριζε γύρω απ' αυτή. Καί έπομένως, όφείλουμε νά εύχαριστήσουμε εκείνη την "κοινή λογική" για τίς γελοίες αποδείξεις που μās πρόσφερε ότι η Γη δέν είναι σφαιρική. Ή σύγκρουση της "κοινής λογικής" μέ ένα πραγματικό γεγονός, γελοιοποιήθηκε μέ τό ανέκδοτο του κάου-μπου που αναφώνησε "δέν είναι δυνατό", όταν είδε μιά καμηλοπάραλη στο ζωολογικό κήπο (Σχ. 13).



Σχ. 13



Ἡ λεγόμενη ἔτσι “κοινή λογική”, δέν εἶναι τίποτε ἄλλο παρά τό ἄθροισμα τῶν ἀντιλήψεων καί συνηθειῶν τῆς καθημερινῆς ζωῆς. Αὐτή παρασταίνει ἓνα ὀρισμένο ἐπίπεδο ἀντιλήψεως πού ἀντανεκλά τήν ἔκταση τῆς ἐμπειρίας μας. Ἡ δυσκολία νά διακρίνουμε καί νά κατανοήσουμε ὅτι τά δύο γεγονότα πού συμβαίνουν ταυτόχρονα στό τραῖνο ἀπέχουν χρονικά κατά 40 sec ὅταν παρατηροῦνται ἀπό τό σταθμό, μοιάζει πάρα πολύ μέ τή δυσκολία τοῦ κάου-μπόου ὅταν εἶδε τήν καμηλοπάρδαλη. “Ὅπως δέν εἶχε ξαναδεῖ ποτέ αὐτό τό ζῶο, ἔτσι καί μεῖς ποτέ δέν ἔχουμε ταξιδέψει μέ ταχύτητες πού κατά κάποιον τρόπο νά πλησίαζουν τή φανταστική ταχύτητα τῶν 240.000 km/sec. Δέν εἶναι ἐκπληκτικό ὅτι οἱ φυσικοὶ συναντοῦν τέτοιες φανταστικές ταχύτητες ἐφόσον παρατηροῦν γεγονότα πού διαφέρουν οὐσιαστικά ἀπό τά συνηθισμένα πράγματα τῆς καθημερινῆς μας ζωῆς.

Τό ἀπροσδόκητο ἀποτέλεσμα τοῦ πειράματος τοῦ Michelson ἐφοδίασε τούς φυσικοὺς μέ νέα γεγονότα καί τούς ὑποχρέωσε νά ξαναεξετάσουν – προκαλώντας τήν “κοινή λογική” – , ὅπως θά φανεῖ, τέτοιες προφανεῖς καί κοινότυπες ἀντιλήψεις σάν τό ταυτόχρονο τῶν δύο γεγονότων.

Θά ἦταν βέβαια ἀπλούστερο ν’ ἀρνηθοῦμε μέ τήν “κοινή λογική” τά νέα φαινόμενα, ἀλλά ἂν τό κάναμε, θά μοιάζαμε μέ τόν κάου-μπόου πού δέν πίστεψε στό μάτια του ὅταν εἶδε τήν καμηλοπάρδαλη.

**Ὁ χρόνος συμμερίζεται τή μοῖρα τοῦ χώρου.**

Ἡ ἐπιστήμη δέ διστάζει νά ἔρθει σέ σύγκρουση μέ τή λεγόμενη “κοινή λογική”. Αὐτό πού ἡ ἐπιστήμη φοβᾶται περισσότερο ἀπ’ ὅλα εἶναι ἡ ἀσυμφωνία ἀνάμεσα

στις υπάρχουσες έννοιες και νέα πειραματικά δοσμένα κι αν ποτέ συμβεί αυτό συντριβεί τίς υπάρχουσες αντίληψεις κι άνεβάζει τή γνώση μας σέ ψηλότερο επίπεδο.

Θεωρούσαμε, ότι, δυό ταυτόχρονα γεγονότα θά παράμεναν ταυτόχρονα μέσα σ' ένα οποιοδήποτε σύστημα. Τό πείραμά μας, ώστόσο, άπόδειξε ότι κάναμε λάθος. Αυτό πού νομίζαμε ίσχυε μόνο στην περίπτωση πού τά συστήματα βρίσκονταν σέ κατάσταση ήρεμίας τό ένα ως προς τό άλλο. Έξ άλλου, αν δυό συστήματα βρίσκονταν σέ κίνηση τό ένα ως προς τό άλλο, τά γεγονότα πού συνέβαιναν ταυτόχρονα στό ένα σύστημα, θά έπρεπε νά θεωροῦνται ότι στό άλλο συνέβαιναν σέ διαφορετικούς χρόνους. Η έννοια του ταυτόχρονου γίνεται σχετική κι έχει νόημα, μόνο όταν καθορίζουμε τήν κίνηση του συστήματος μέσα στό όποιο παρατηροῦνται τά φαινόμενα. "Ας θυμηθοῦμε τό παράδειγμα τής σχετικότητας των γωνιακών αποστάσεων των σχημάτων 2, 3. "Ας είναι μηδενική ή γωνιακή απόσταση δυό άστρων πού παρατηροῦμε από τή Γη, έπειδή έτοι παρατηρούμενα, βρίσκονται σέ εὐθεία γραμμή. Στην καθημερινή μας ζωή δέν θά έρθουμε ποτέ σέ σύγκρουση μέ τήν υπόθεση ότι αυτή είναι μιά απόλυτη αλήθεια. Είναι διαφορετικά αν πάμε έξω από τό ήλιακό μας σύστημα και παρατηρήσουμε τά ίδια άστρα από κάποιο άλλο σημείο του διαστήματος. Θά βροῦμε τή γωνιακή απόσταση διαφορετική από τό μηδέν.

Τό γεγονός ότι δυό άστρα πού βρίσκονται σέ εὐθεία γραμμή όταν παρατηροῦνται από τή Γη μπορεί νά μή βρίσκονται σέ εὐθεία γραμμή όταν παρατηροῦνται από άλλα σημεία του διαστήματος, πράγμα πού είναι έντελώς φανερό για τούς συγχρόνους μας, θά φαινόταν παράλογο στόν άνθρωπο του μεσαιώνα πού έβλεπε τόν οὐρανό σαν ένα θόλο ραντισμένο μέ άστρα.

“Ας υποθέσουμε ότι ζητάμε να βρούμε αν τα δύο φαινόμενα συμβαίνουν ταυτόχρονα, ανεξάρτητα απ’ όλα τα είδη τῶν συστημάτων.

Δυστυχῶς, αυτό τό πρόβλημα δέν ἔχει περισσότερη λογική ἀπό τό αν τα δύο ἄστρα βρίσκονται πραγματικά σέ εὐθεία γραμμὴ ἄσχετα απ’ όλα τα σημεῖα παρατηρήσεως. Τό γεγονός εἶναι ὅτι τό ταυτόχρονο δέν ἐξαρτιέται μόνο ἀπό τα δύο φαινόμενα ἀλλά κι ἀπό τό σύστημα ἀπό τό ὁποῖο τα παρατηροῦμε, ὅπως ἀκριβῶς ἡ εὐθυγράμμιση τῶν ἄστρων δέν ἐξαρτιέται μόνο ἀπό τή θέση τους ἀλλά κι ἀπό τό σημεῖο ἀπό τό ὁποῖο παρατηροῦνται. “Ὅσο ὁ ἄνθρωπος σχετιζόταν μέ ταχύτητες πού ἦταν ἀσήμαντες σέ σχέση μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός, ἡ σχετικότητα τῆς ἀντιλήψεως τοῦ ταυτόχρονου τοῦ ἦταν ἄγνωστη. Μόνον ὅταν ἐξετάσαμε τήν κίνηση μέ ταχύτητες πού μπορούσαν να συγκριθοῦν μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός ἀναγκαστήκαμε να ἐπανεξετάσουμε τήν ἀντίληψή μας γιά τό ταυτόχρονο.

Μέ τόν ἴδιο τρόπο, ὁ ἄνθρωπος ὄφειλε ν’ ἀναθεωρήσει τήν ἀντίληψή του, γιά τό “πάνω” καί “κάτω” ὅταν ἄρχισε να ταξιδεύει σέ ἀποστάσεις πού συγκρίνονταν μέ τίς ἀποστάσεις τῆς Γῆς. Πρὶν απ’ αυτό, ἡ ἀντίληψη ὅτι ἡ Γῆ εἶναι ἐπίπεδη, δέν ἐρχόταν θέβαια σέ σύγκρουση μέ τήν ἐμπειρία.

Εἶναι ἀλήθεια ὅτι δέν μπορούμε να ταξιδέψουμε μέ ταχύτητες πού να πλησιάζουν τήν ταχύτητα τοῦ φωτός καί να παρατηρήσουμε τα φαινόμενα πού περιγράψαμε καί τα ὁποῖα σύμφωνα μέ τίς παλιές ἀντιλήψεις μας εἶναι παράδοξα. Χάρις ὅμως στίς νεώτερες πειραματικές τεχνικές, εἴμαστε ἱκανοί ν’ ἀποκαλύψουμε αυτά τα γεγονότα, σ’ ἓνα πλῆθος φυσικῶν φαινομένων, κατά τρόπο πού να ὀδηγεῖ σέ ἀποφασιστικά συμπεράσματα.

“Ἐτσι ὁ χρόνος συμμερίζεται τή μοῖρα τοῦ χώρου.

Οι λέξεις “κατά τόν ίδιο καί τόν αυτό χρόνο” είναι τόσο χωρίς σημασία όσο και οι λέξεις “στην ίδια καί τήν αυτή θέση”. Τό χρονικό διάστημα ανάμεσα στά δύο γεγονότα, όπως κι ή απόστασή τους στό χώρο, πρέπει νά συμπληρωθεί μέ μιά αναφορά στό σύστημα ως προς τό όποιο όρίζεται.

### ‘Η έπιστήμη θριαμβεύει.

‘Η ανακάλυψη ότι ό χρόνος είναι σχετικός, άλλαξε ριζικά τίς ιδέες του ανθρώπου γιά τή Φύση. Αντιπροσωπεύει μιά από τίς μεγαλύτερες νίκες τής ανθρώπινης λογικής πάνω σέ παλαικές αντιλήψεις, από αιώνες καθιερωμένες. Συγκρίνεται μόνο μέ τήν επαναστατική αλλαγή πού προξενήθηκε στην ανθρώπινη γνώση, μέ τήν ανακάλυψη ότι ή Γη είναι σφαιρική.

‘Η ανακάλυψη τής σχετικότητας του χρόνου, πού έγινε τό 1905 από τό μεγαλύτερο φυσικό του 20ου αιώνα, τόν Albert Einstein (1880–1955), τόν τοποθέτησε, συτόν τόν είκοσιπεντάχρονο νέο άνθρωπο, ανάμεσα στους γίγαντες τής ανθρώπινης σκέψης – τόν Κοπέρνικο\*, τόν Νεύτωνα κι άλλους άστραφερούς ίχνηλάτες τής έπιστήμης.

‘Ο Λένιν έλεγε γιά τόν Albert Einstein : “ένas από τούς μεγάλους μεταμορφωτές τής φυσικής έπιστήμης”.

---

\* Σ.τ.μ. Οί συγγραφείς προβάλλουν τήν ανακάλυψη του Κοπέρνικου. Σήμερα, όμως, ξέρουμε ότι ό ίδιος ό Κοπέρνικος πήρε τό ‘Ηλιοκεντρικό σύστημα, γενικά, από τόν ‘Αρίσταρχο τό Σάμιο. Μάλιστα πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι οί αρχαίοι ‘Ελληνες τό ήξεραν πολύ πριν κι από τόν ‘Αρίσταρχο.

Γενικά γιά τή συμβολή των αρχαίων ‘Ελλήνων στις θετικές έπιστήμες, παραπέμπουμε τόν αναγνώστη στις εργασίες του καθηγητή κ. Ε. Σταμάτη, ενώ γιά τό ειδικό θέμα του ‘Ηλιοκεντρικού Συστήματος, στη διδακτορία του άστρονόμου κ. Κ. Χασάπη.

Ἡ θεωρία τῆς σχετικότητας τοῦ χρόνου καί τὰ πορίσματα τῆς, εἶναι συνήθως γνωστή σάν εἰδική θεωρία τῆς σχετικότητας. Δέν πρέπει νά συγχέεται μέ τήν ἀρχή τῆς σχετικότητας τῆς κινήσεως.

### **Ἡ ταχύτητα ἔχει τὰ ὅριά της.**

Πρὶν ἀπό τὸ Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, ἡ ταχύτητα τοῦ ἀεροπλάνου ἦταν πολύ μικρότερη ἀπὸ τήν ταχύτητα τοῦ ἤχου. Σήμερα ἔχουμε ὑπερηχητικά ἀεροπλάνα, τὰ ραδιοκύματα διαδίδονται μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός. Θά μπορούσαμε νά δημιουργήσουμε τηλεγραφο "ὑπερφωτός" πού νά στέλνει σήματα, μέ ταχύτητες μεγαλύτερες ἀπὸ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός ; "Ὁχι, εἶναι ἀδύνατο.

Ἄν μπορούσαμε πράγματι νά μεταδώσουμε σήματα μέ ἄπειρες ταχύτητες, θά μπορούσαμε νά ὀρίσουμε τὸ ταυτόχρονο δυὸ τυχόντων γεγονότων, συνώνυμα καί γιὰ τὰ δυό. Θά λέγαμε ὅτι αὐτὰ τὰ δυὸ γεγονότα συνέβησαν ταυτόχρονα, ἂν τὸ ἄπειρα ταχύ σήμα γιὰ τὸ πρῶτο γεγονός, ἔφτανε τήν ἴδια στιγμή μέ τὸ σήμα γιὰ τὸ δεύτερο. Ἔτσι, τὸ ταυτόχρονο τῶν δύο γεγονότων θά ἀποκτοῦσε ἀπόλυτο χαρακτήρα, ἀνεξάρτητο τῆς κινήσεως τοῦ συστήματος στό ὁποῖο ἐφαρμόζεται αὐτός ὁ ἰσχυρισμός.

Ἐπειδὴ ὁμως τὸ πείραμα διαψεύδει τήν ἀπόλυτη φύση τοῦ χρόνου, συμπεραίνουμε ὅτι ἡ μετάδοση τοῦ σήματος, δέν μπορεῖ νά γίνει ἀκαριαία. Ἡ ταχύτητα τῆς μεταδόσεως ἀπὸ ἓνα σημεῖο τοῦ χώρου σέ ἄλλο, δέν μπορεῖ νά εἶναι ἄπειρη μ' ἄλλα λόγια, δέν μπορεῖ νά εἶναι μεγαλύτερη ἀπὸ κάποια πεπερασμένη τιμὴ πού ὀνομάζεται ὀριακὴ ταχύτητα.

Αὐτὴ ἡ ὀριακὴ ταχύτητα συμπέφτει μέ τήν ταχύτητα

του φωτός. Πράγματι, σύμφωνα με την αρχή της σχετικότητας της κινήσεως, οι νόμοι της Φύσεως θά είναι οι ίδιοι για όλα τα συστήματα αναφορᾶς πού κινιούνται τό ἕνα πρὸς τό ἄλλο (εὐθύγραμμα καί ὁμαλά). Ὁ ἰσχυρισμός ὅτι καμιά ταχύτητα δέν μπορεί νά εἶναι μεγαλύτερη ἀπό τό δοσμένο ὄριο εἶναι ἐπίσης νόμος τῆς Φύσεως. Κι ἐπομένως, ἡ τιμὴ τῆς ὀριακῆς ταχύτητας θά εἶναι ἀκριβῶς ὅμοια σέ διαφορετικά συστήματα αναφορᾶς. Ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός, ὅπως ξέρουμε, ἔχει τίς ἴδιες ιδιότητες. Ἔτσι, ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός δέν εἶναι ἀπλῶς ἡ ταχύτητα τῆς διαδόσεως ἑνός φυσικοῦ φαινομένου. Παίζει τό σπουδαῖο ρόλο τῆς ὀριακῆς ταχύτητας.

Ἡ ἀνακάλυψη τῆς υπάρξεως τῆς ὀριακῆς ταχύτητας στό Σύμπαν εἶναι ἕνας ἀπό τούς μεγαλύτερους θριάμβους τοῦ ἀνθρώπινου πνεύματος καί τῆς πειραματικῆς ἱκανότητάς τοῦ ἀνθρώπου.

Στό 19ο αἰῶνα, οἱ φυσικοὶ ἦσαν ἀνίκανοι νά διακρίνουν ὅτι ὑπῆρχε ἡ ὀριακὴ ταχύτητα κι ὅτι μπορούσε ν' ἀποδειχτεῖ ἡ ὑπαρξή της. Ἐπιπλέον, ἂν αὐτοὶ στά πειράματά τους σκόνταφταν κατὰ τύχη πάνω σ' αὐτή, δέν θά ἦσαν βέθαιοι πῶς ἐπρόκειτο γιά νόμο τῆς Φύσεως κι ὄχι ἀπλῶς γιά τό ἀποτέλεσμα τῆς περιορισμένης πειραματικῆς ἱκανότητάς τους.

Ἡ ἀρχὴ τῆς σχετικότητος ἀποκαλύπτει, ὅτι ἡ ὑπαρξη τῆς ὀριακῆς ταχύτητας βρίσκεται μέσα στή φύση τῶν πραγμάτων. Τό νά ὑποθέσουμε ὅτι ἡ τεχνολογική ἀνάπτυξη θά μᾶς κάνει ἱκανούς νά πετύχουμε ταχύτητες μεγαλύτερες ἀπό τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός, εἶναι τόσο γελοῖο ὅσο τό νά ποῦμε ὅτι ἡ ἀπουσία σημείων πού ἀπέχουν περισσότερο ἀπό 20.000 km πάνω στήν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς δέν εἶναι γεωγραφικός νόμος ἀλλά ἀπόρροια τῆς περιορισμένης γνώσεως καί νά ἐλπίζουμε

ὅτι κάποια μέρα, ὅταν ἡ γεωγραφία προοδεύσει ἀρκετά θά μπορέσουμε νά βροῦμε σημεῖα πάνω στή Γῆ πού νά ἀπέχουν ἀκόμα περισσότερο.

Ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός παίζει ἕναν τέτοιο ἐξαιρετικό ρόλο στή Φύση, ἀκριβῶς ἐπειδὴ εἶναι ἡ ὀριακὴ ταχύτητα, μέ τὴν ὁποία μπορεῖ νά διαδοθεῖ ὅ,τιδήποτε. Τό φῶς, εἴτε ξεπερνάει ὅλα τ' ἄλλα φαινόμενα, εἴτε τουλάχιστον φτάνει ταυτόχρονα μ' αὐτά.

Ἄν ὁ Ἥλιος σκιστεῖ σέ δύο κομμάτια καί σχηματιστοῦν δύο ἄστρα, ἡ κίνηση τῆς Γῆς θά ὑποστεῖ, φυσικά, ἐπίσης μιά ἀλλαγὴ.

Ὁ φυσικός τοῦ 19ου αἰώνα, πού δέ γνώριζε ὅτι ὑπάρχει αὐτὴ ἡ ὀριακὴ ταχύτητα στή Φύση, θά ὑπέθετε, χωρίς ἀμφιβολία, ὅτι ἡ Γῆ μέ τό σκίσιμο τοῦ Ἥλιου στά δύο θά ἄλλαζε ἀκαριαία τὴν κίνησή της.

Ἀντίθετα, τό φῶς θά χρειαζόταν ὀχτῶ πρῶτα λεπτά γιὰ νά καλύψει τὴν ἀπόσταση ἀπὸ τόν Ἥλιο μέχρι τὴ Γῆ, μετὰ τὴ διάσπασή του.

Ἡ ἀλλαγὴ στὴν περιστροφικὴ κίνηση τῆς Γῆς, θά ἄρχιζε ὀχτῶ λεπτά μετὰ τὴν πλήρη διάσπαση τοῦ Ἥλιου. Μέχρι ἐκείνη τὴ στιγμή, ἡ Γῆ θά συνέχιζε νά κινιέται, σά νά μὴν εἶχε χωριστεῖ ὁ Ἥλιος. Ὅτιδήποτε κι ἂν συμβεῖ μέ τόν Ἥλιο ἢ ἐπάνω στόν Ἥλιο δέν θά ἐπηρεάσει τὴ Γῆ ἢ τὴν κίνησή της ὡσπου νά περάσουν ὀχτῶ λεπτά.

Ἡ ὀριακὴ ταχύτητα τῆς διαδόσεως τοῦ σήματος δέν μᾶς στερεῖ φυσικά ἀπὸ τὴ δυνατότητα νά ὀρίσουμε τό ταυτόχρονο τῶν δύο γεγονότων. Ἐκεῖνο πού ἔχουμε νά κάνουμε, εἶναι νά σημειώσουμε τὴ χρονικὴ καθυστέρηση τοῦ σήματος. Αὐτὴ εἶναι ἡ συνηθισμένη πρακτικὴ.

Αὐτὴ ἡ μέθοδος ὀρισμοῦ τοῦ ταυτόχρονου τῆς δρᾶ-

σεως, είναι έντελως σύμφωνη με τή σχετικότητα αυτής τής έννοιας. Πράγματι, γιά νά βροῦμε τή διαφορά τοῦ χρόνου, πρέπει νά διαιρέσουμε τήν απόσταση τῶν δύο σημείων ὅπου συμβαίνουν τά γεγονότα, μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτεινοῦ σήματος. Ἐπό τήν ἄλλη μεριά, ὅταν περιγράψαμε πιό πρίν τήν ἀποστολή τῶν γραμμάτων ἀπό τό ἐξπρές Μόσχας–Βλαδιβοστόκ (σελ. 10), εἶδαμε ὅτι ἡ θέση ἑνός σημείου στό χῶρο εἶναι ἐπίσης έντελως σχετική.

### **Νωρίτερα κι ἀργότερα.**

Ἄς υποθέσουμε ὅτι στό τραῖνο μας μέ τή λάμπα, πού θά τό ὀνομάσουμε τραῖνο τοῦ Einstein, τό αὐτόματο μηχανήμα ἔκανε λάθος καί ὁ κόσμος μέσα στό τραῖνο ἀντιλήφθηκε ὅτι ἡ μπροστινή πόρτα ἄνοιξε 15 δευτερόλεπτα νωρίτερα ἀπό τήν πίσω.

Ὁ κόσμος στό σταθμό θά παρατηρήσει ὅτι ἡ πίσω πόρτα ἄνοιξε  $40 - 15 = 25$  δευτερόλεπτα νωρίτερα. Ἐνα γεγονός πού συνέβει νωρίτερα στό ἕνα σύστημα, θά συμβεῖ ἀργότερα στό ἄλλο. Θά μπορούσαμε νά σκεφτοῦμε, ὅτι αὐτή ἡ σχετικότητα τῶν έννοιῶν “νωρίτερα” καί “ἀργότερα” ἔχει τά ὅριά της. Δέν εἶναι πιθανό μ’ ὄλα αὐτά (γιά ἕνα τυχόν σύστημα), ἡ γέννηση ἑνός μωροῦ νά γίνει πρίν ἀπό τή γέννηση τῆς μητέρας του.

Ἄς υποθέσουμε ὅτι σχηματίζεται μιὰ κηλίδα στόν Ἥλιο. Αὐτή γίνεται ἀντιληπτή ὀχτώ λεπτά ἀργότερα ἀπό ἕναν ἀστρονόμο πού παρατηρεῖ τόν Ἥλιο μέ τηλεσκόπιο. Ὁ,τιδήποτε παρατηρήσει ὁ ἀστρονόμος μετά ἀπ’ αὐτό, θά εἶναι ἀπόλυτα ἀργότερα ἀπό τήν ἐμφάνιση τῆς κηλίδας – “ἀργότερα” ὡς πρὸς τυχόν σύστημα ἀπό τό ὁποῖο παρατηροῦνται ὁ Ἥλιος καί ὁ ἀστρονό-



μος. Ἀντίθετα, ὅ,τιδήποτε παρατηρήσει ὁ ἀστρονόμος ὀχτώ λεπτά νωρίτερα, πρὶν ἀπὸ τὴν ἐμφάνιση τῆς κηλίδας (τὸ φωτεινὸ σῆμα αὐτοῦ τοῦ γεγονότος φτάνει στὴ Γῆ πρὶν ἀπὸ τὴν ἐμφάνιση τῆς κηλίδας), συμβαίνει ἀπόλυτα νωρίτερα. Ἄν γιὰ παράδειγμα, ὁ ἀστρονόμος σέ κάποια χρονικὴ στιγμή ἀνάμεσα σέ τούτα τὰ δύο ὄρια φορέσει τὰ γυαλιά του, ἡ χρονικὴ σχέση ἀνάμεσα στὴν ἐμφάνιση τῆς κηλίδας καὶ τὴν πράξη του αὐτῆ (φόρεμα τῶν γυαλιῶν) δέν θά εἶναι πιά ἀπόλυτη.

Μποροῦμε νά κινιόμαστε ὡς πρὸς τὸν ἀστρονόμο καὶ τὴν κηλίδα τοῦ Ἥλιου μέ τέτοιο τρόπο, πού νά παρατηροῦμε τὸν ἀστρονόμο νά θάζει τὰ γυαλιά του, νωρίτερα, ἀργότερα, ἢ κατὰ τὸν ἴδιο χρόνο μέ τὴν ἐμφάνιση τῆς κηλίδας, πράγμα πού ἐξαρτιέται ἀπὸ τὴν ταχύτητα καὶ τὴ διεύθυνση τῆς κινήσεώς μας.

Ἔτσι, ἡ ἀρχὴ τῆς σχετικότητας δείχνει ὅτι ὑπάρχουν τρεῖς τύποι χρονικῶν σχέσεων ἀνάμεσα στά γεγονότα – ἀπόλυτα νωρίτερο, ἀπόλυτα ἀργότερο καὶ οὔτε νωρίτερο οὔτε ἀργότερο, ἢ, γιὰ νά εἶμαστε περισσότερο ἀκριβεῖς – , νωρίτερα ἢ ἀργότερα, σχέσεις πού ἐξαρτιόνται ἀπὸ τὸ σύστημα ἀναφορᾶς ἀπὸ τὸ ὁποῖο παρατηροῦνται τὰ γεγονότα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

# ΙΔΙΟΤΡΟΠΑ ΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΕΣ

---

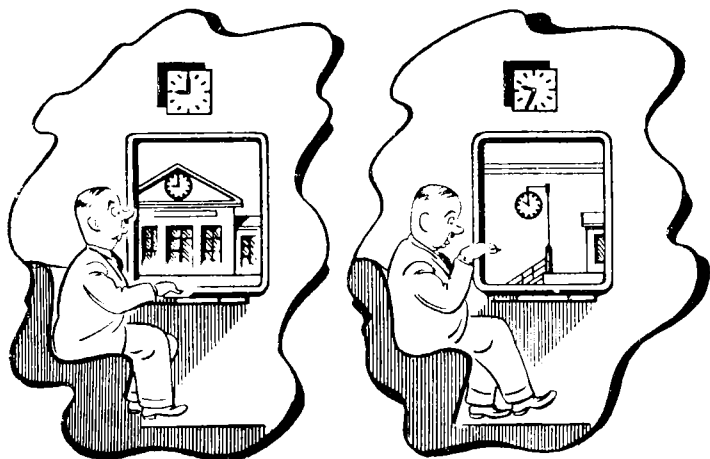
### **Άνεβαίνουμε ξανά στο τραίνο.**

Ταξιδεύουμε μέ τό τραίνο του Einstein πάνω σέ μία άπέραντη σιδηροδρομική γραμμή. Ή άπόσταση δύο σταθμών είναι 864.000.000 km. Τό τραίνο, ταξιδεύοντας μέ 240.000 km/sec, θά καλύψει σέ μία ώρα αύτή τήν άπόσταση. Καί στους δύο σταθμούς ύπάρχουν ρολόγια. Ένας ταξιδιώτης του τραίνου στόν πρώτο σταθμό συγχρονίζει τό ρολόι του μέ τό ρολόι του σταθμού. Φτάνοντας όμως στό δεύτερο σταθμό διαπιστώνει έκπλη-

κτος, ὅτι τό ρολόι του πάει πίσω, ἐνῶ ἦταν σίγουρος ὅτι δούλευε καλά (Σχ. 14).

Τί συνέβει ;

Γιά νά τό καταλάβουμε, ἄς ὑποθέσουμε ὅτι ὁ ταξιδιώτης στέλνει μιά δέσμη φωτός στό ταβάνι ἀπό ἕναν ἠλεκτρικό φακό πού βρίσκεται στό πάτωμα τοῦ βαγο-

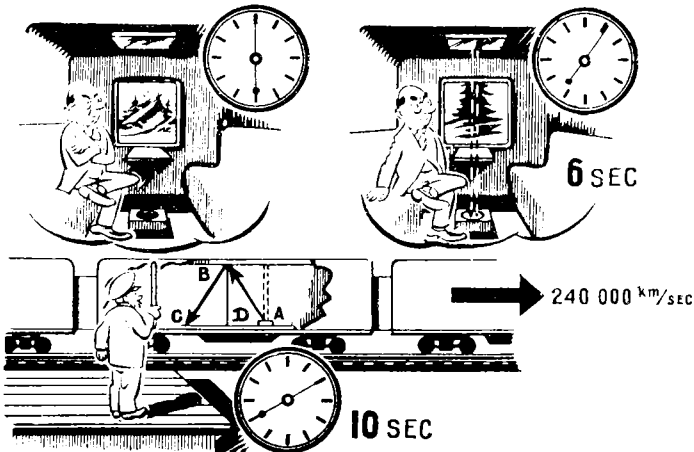


Σχ. 14

νιου. Ἐνας καθρέφτης στό ταβάνι ἀντανεκλᾷ τή δέσμη πίσω στό φακό.

Ἡ πορεία τῆς δέσμης, ὅπως τή βλέπει ὁ ταξιδιώτης, φαίνεται στό ἐπάνω μέρος τοῦ σχήματος 15. Ἐντελῶς διαφορετική εἶναι γιά τόν παρατηρητή τοῦ σταθμοῦ. Στή διάρκεια τοῦ χρόνου τῆς πορείας τῆς δέσμης ἀπό τό φακό στόν καθρέφτη, ὁ καθρέφτης θά μετακινηθεῖ, ἐξ αἰτίας τῆς κινήσεως τοῦ τραινου. Κατά τή διάρκεια τοῦ χρόνου τῆς ἐπιστροφῆς τῆς δέσμης στό φακό, αὐτός θά μετακινηθεῖ κατά τήν ἴδια ἀπόσταση.

Βλέπουμε ότι για τούς παρατηρητές στο σταθμό ή δέσμη διάνυσε σαφώς μεγαλύτερη απόσταση, απ' ότι για τούς έπιβάτες μέσα στο τραίνο. Γνωρίζουμε από την άλλη μεριά ότι η ταχύτητα του φωτός είναι απόλυτη και είναι η ίδια για όσους ταξιδεύουν με τό τραίνο και για όσους τό παρατηρούν από τό σταθμό. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι περνάει μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ανάμεσα στην αναχώρηση και την επιστροφή της δέσμης ως προς τό σταθμό, απ' ότι μέσα στο τραίνο. Ή σχέση είναι εύκολο νά υπολογιστεί. "Ας υποθέσουμε ότι ο παρατηρητής του σταθμού βεβαιώνεται ότι περνούν 10 sec από την αναχώρηση ως την επιστροφή της δέσμης του φωτός. Κατά τή διάρκεια αυτών των 10 sec ή δέσμη διάνυσε  $300.000 \times 10 = 3.000.000$  km. "Επεται ότι οί πλευρές AB και BC του ίσοσκελούς τριγώνου ABC (Σχ. 15) είναι 1.500.000 km καθεμιά. Ή AC είναι προφανώς ίση μέ την απόσταση πού διανύει τό τραίνο σέ 10 sec, δηλ.  $240.000 \times 10 = 2.400.000$  km.



Σχ. 15

Τώρα είναι εύκολο νά βρούμε τό ύψος τοῦ θαγο-  
 νιοῦ πού εἶναι ἴσο μέ τό ύψος BD τοῦ τριγώνου ABC,  
 ἀρκεῖ νά θυμηθοῦμε ὅτι : σ' ἓνα ὀρθογώνιο τρίγωνο τό  
 τετράγωνο τῆς ὑποτείνουσας AB εἶναι ἴσο μέ τό ἄθροι-  
 σμα τῶν τετραγώνων τῶν καθέτων πλευρῶν AD καί BD.  
 Ἡ ἐξίσωση  $AB^2 = AD^2 + BD^2$  μᾶς βοηθάει νά βρούμε  
 τό ύψος τοῦ θαγονιοῦ :

$$BD = \sqrt{AB^2 - AD^2} = \sqrt{1.500.000^2 - 1.200.000^2} =$$

$$= 900.000 \text{ km.}$$

Ἄρκετά μεγάλο ύψος παρόλο πού δέν εἶναι ἐξαιρετι-  
 κά ἐκπληκτικό, γιά τίς ἀστρονομικές διαστάσεις τοῦ  
 τραίνου τοῦ Einstein.

Ὡς πρός τόν ταξιδιώτη, ἡ πορεία τῆς δέσμης ἀπό τό  
 πάτωμα στό ταβάνι καί ἀντίστροφα εἶναι προφανῶς δι-  
 πλάσια τοῦ ύψους, δηλ.  $2 \times 900.000 = 1.800.000$  km. Ἡ  
 δέσμη ἐπομένως θά κάνει :  $1.800.000 : 300.000 = 6$  sec,  
 γιά νά διανύσει τήν ἀπόσταση αὐτή.

### Ὁρολογιακό παράδοξο.

Ἐνῶ στό σταθμό περνοῦν 10 δευτερόλεπτα, πάνω  
 στό τραῖνο περνοῦν μόνον 6 δευτερόλεπτα. Αὐτό ση-  
 μαίνει ὅτι, ἂν τό τραῖνο ἔφτανε μιά ὥρα μετά τήν ἀνα-  
 χώρησή του μέ τό ρολόι τοῦ σταθμοῦ, μέ τό ρολόι  
 τοῦ ταξιδιώτη θά ἔκανε μόνον  $60 \times 6/10 = 36$  πρῶτα  
 λεπτά. Μ' ἄλλα λόγια, τό ρολόι τοῦ ταξιδιώτη σέ μιά ὥρα  
 πηγαίνει 24 λεπτά τῆς ὥρας πίσω ἀπό τό ρολόι τοῦ  
 σταθμοῦ.

Φαίνεται εὐκόλα ὅτι ὅσο μεγαλύτερη εἶναι ἡ ταχύ-  
 τητα τοῦ τραίνου, τόσο μεγαλύτερη εἶναι ἡ ἐπιβράδυνση  
 τοῦ χρόνου.

Πράγματι, όσο περισσότερο ή ταχύτητα του τραίνου πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός, τόσο περισσότερο ή κάθετη πλευρά AD πού δείχνει την πορεία του τραίνου πλησιάζει την ύποτείνουσα AB, πού δείχνει την πορεία πού διανύει ή δέσμη στόν ίδιο χρόνο.

Άντίστοιχα, ελαττώνεται ή αναλογία της πλευράς BD πρός την ύποτείνουσα. Έπιπλέον, ή ίδια αναλογία ίσχύει γιά τή χρονική σχέση ανάμεσα στό τραίνο καί τό σταθμό. Αύξάνοντας την ταχύτητα του τραίνου, ώστε νά πλησιάσει την ταχύτητα του φωτός, μπορούμε νά ελαττώσουμε στό ελάχιστο τή διαφορά ανά ώρα ανάμεσα στό χρόνο μέσα στό τραίνο καί στό σταθμό.

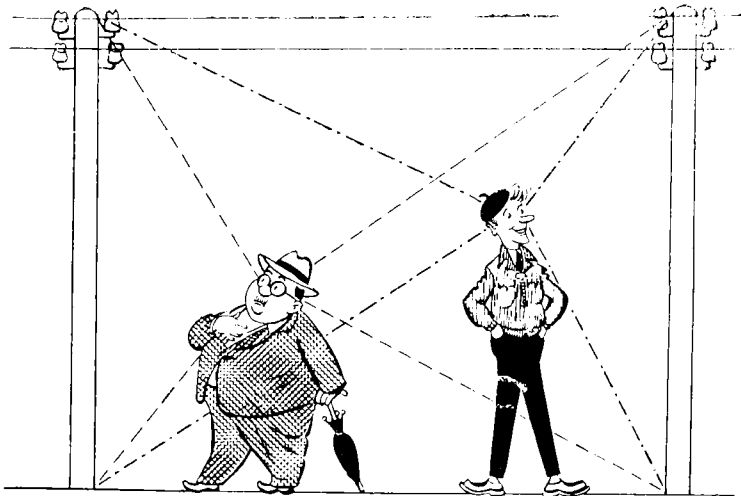
**Παράδειγμα :** Γιά ταχύτητα ίση μέ 0,9999 τής ταχύτητας του φωτός σέ μιά ώρα του σταθμού θά περνά μόνο ένα πρώτο λεπτό μέσα στό τραίνο. Κατά συνέπεια όλα τά ρολόγια πού ταξιδεύουν θά πηγαίνουν πίσω, σέ σχέση μέ τά ρολόγια πού βρίσκονται σέ κατάσταση ήρεμίας. Άντιφάσκει αυτό μέ την αρχή τής σχετικότητας από την όποία ξεκίνησε ο συλλογισμός μας ; Μήπως αυτό σημαίνει ότι τό ρολόι πού πηγαίνει μπροστά άπ' όλα τ' άλλα ρολόγια θρίσκειται σέ κατάσταση άπόλυτης ήρεμίας ; Όχι, γιατί ή σύγκριση ανάμεσα στό ρολόι του τραίνου καί τό ρολόι του ταξιδιώτη έγινε κάτω από άπόλυτα άνισες συνθήκες. Στην πραγματικότητα υπήρχαν τρία κι όχι δυό ρολόγια. Ό ταξιδιώτης έλεγξε την ώρα του από δυό διαφορετικά ρολόγια, σέ δυό διαφορετικούς σταθμούς. Κι αντίστροφα, αν υπήρχαν ρολόγια στό πρώτο καί τό τελευταίο θαγόνι του τραίνου, ο παρατηρητής, συγκρίνοντας τά ρολόγια του σταθμού καί του τραίνου τή στιγμή πού περνούσε από κεί, θά ανακάλυπτε ότι τό ρολόι του σταθμού πήγαινε πάντα πίσω.

Δοσμένου ότι τό τραίνο κινιέται εϋθύγραμμα καί

όμαλά ως προς τό σταθμό, είμαστε δικαιολογημένοι νά τό θεωροῦμε σταματημένο καί τό σταθμό νά κινιέται. Οί νόμοι τῆς Φύσεως θά εἶναι οἱ ἴδιοι καί σ' αὐτή τήν περίπτωση.

Κάθε παρατηρητής πού μένει ἀκίνητος ως προς τό ρολόι του θά παρατηρήσει ὅτι ὑπάρχουν ἄλλα ρολόγια κινούμενα ως προς αὐτόν, πού πηγαίνουν μπροστά καί μάλιστα τόσο περισσότερο ὅσο μεγαλώνει ἡ ταχύτητα τῆς κινήσεως.

Αὐτό μοιάζει μέ δύο παρατηρητές πού στέκονται δίπλα σέ δύο διαφορετικούς τηλεγραφικούς στύλους καί πού ὁ καθένας ἰσχυρίζεται ὅτι ὁ στύλος κοντά στόν ὁποῖο στέκεται, φαίνεται ὑπό μεγαλύτερη γωνία ἀπ' ὅτι τοῦ ἄλλου (Σχ. 16).



Σχ. 16

## Χρονομηχανή

“Ας υποθέσουμε τώρα ότι τό τραίνο του Einstein ταξιδεύει πάνω σέ κυκλική σιδηροδρομική γραμμή κι ὄχι σέ εὐθεία.

Αὐτό λοιπόν ὕστερα ἀπό ὀρισμένο χρόνο θά ἐπιστρέψει στό σημεῖο ἀναχωρήσεώς του. Ὅπως ἔχουμε ἤδη καθορίσει, ὁ ταξιδιώτης θά ἀνακαλύψει ὅτι τό ρολόι του πηγαίνει πίσω καί μάλιστα τόσο περισσότερο ὅσο γρηγορότερα πηγαίνει τό τραίνο. Αὐξάνοντας τήν ταχύτητα τοῦ τραίνου μπορούμε νά φτάσουμε σ’ ἓνα σημεῖο ὅπου γιά τόν ταξιδιώτη περνάει μόνο μιά μέρα, ἐνῶ γιά τό σταθμάρχη χρόνια ὀλόκληρα. Μπορεῖ μάλιστα νά περάσουν τόσο πολλά χρόνια πού ἐπιστρέφοντας σπίτι του ὕστερα ἀπό ταξίδι μιᾶς μέρας (σύμφωνα μέ τό ρολόι του), ὁ ταξιδιώτης μας νά μάθει ὅτι ὄλοι οἱ συγγενεῖς καί οἱ φίλοι του ἔχουν πεθάνει ἀπό καιρό.

Κατά τή διάρκεια αὐτοῦ τοῦ ταξιδιοῦ στήν κυκλική σιδηροδρομική γραμμή, συγκρίνεται μόνο ὁ χρόνος δύο ρολογιῶν – μέσα στό τραίνο καί στό σταθμό ἀναχωρήσεως.

Ἐπάρχει τίποτε σ’ αὐτό πού ν’ ἀντιφάσκει μέ τήν ἀρχή τῆς σχετικότητας ; Μποροῦμε νά θεωρήσουμε ὅτι ὁ ταξιδιώτης βρίσκεται σέ κατάσταση ἠρεμίας κι ὅτι ὁ σταθμός ἀναχωρήσεως κινιέται κυκλικά μέ τήν ταχύτητα τοῦ τραίνου τοῦ Einstein ; Θά φτάναμε τότε στό συμπέρασμα ὅτι περνάει μόνο μιά μέρα γιά τούς ἀνθρώπους στό σταθμό, ἐνῶ γιά τούς ἐπιβάτες τοῦ τραίνου πολλά χρόνια. Αὐτό θά ἦταν ἓνα λαθεμένο συμπέρασμα. Καί νά γιατί.

Παραπάνω καθορίσαμε ὅτι ἓνα σῶμα μπορεῖ νά θεωρεῖται ἀκίνητο μόνον ὅταν δέν ἐπιδρᾷ πάνω του καμιά ἐξωτερική δύναμη. Εἶναι ἀλήθεια ὅτι ὑπάρχουν



περισσότερες από μία καταστάσεις ήρεμίας. Υπάρχουν αναρίθμητες τέτοιες καταστάσεις κι όπως ξέρουμε δυό ακίνητα σώματα μπορούν να κινιούνται ευθύγραμμα και με σταθερή ταχύτητα τό ένα ως πρός τό άλλο. Άλλά τό ρολόι μέσα στό τραίνο του Einstein, πού κινιέται πάνω στην κυκλική σιδηροδρομική γραμμή, δέχεται την επίδραση της φυγόκεντρης δυνάμεως και γι' αυτό δέν μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκεται σε κατάσταση ήρεμίας. Η διαφορά ανάμεσα στους χρόνους πού δείχνουν τά ρολόγια του σταθμού και του τρένου είναι απόλυτη.

Άν δυό άνθρωποι πού τά ρολόγια τους δείχνουν την ίδια ώρα χωρίσουν και ξανασυναντηθούν αργότερα, τό ρολόι εκείνου πού βρισκόταν σε κατάσταση ήρεμίας ή κινιόταν ευθύγραμμα και ομαλά, θά πηγαίνει μπροστά επειδή αυτό δέν δέχτηκε την επίδραση καμιάς δυνάμεως. Ένα ταξίδι πάνω στην κυκλική σιδηροδρομική γραμμή με ταχύτητα πού πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός, μς επιτρέπει να φανταστούμε τή χρονομηχανή του Wells σύμφωνα με την όποια, αν πρόκειται μόνο για περιορισμένη έκταση, επιστρέφοντας στο σταθμό αναχωρήσεως και βγαίνοντας από τό βαγόκι θά ζούσαμε πολύ μακριά στο μέλλον. Έμεις μπορούμε να πάμε με τό τραίνο στο μέλλον αλλά δέν μπορούμε να επιστρέψουμε στο παρελθόν. Σ' αυτό βρίσκεται η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στο τραίνο του Einstein και τή χρονομηχανή του Wells.

Δέν πρέπει να ελπίζουμε ότι θά μπορέσουμε ποτέ να ταξιδέψουμε στο παρελθόν, όσο κι αν προχωρήσει η επιστήμη. Άν αληθεύει τό αντίστροφο, θά αναγκαστούμε να δεχτούμε κατ' αρχήν, ότι είναι δυνατές πραγματικά άτοπες καταστάσεις. Άκριβώς σά να φανταζόμαστε ότι πηγαίνουμε στο παρελθόν και βρισκόμαστε στην απόλυτα παράλογη κατάσταση ενός προσώπου, πού οι γονείς του δέ γεννήθηκαν ακόμη. Ένα ταξίδι στο μέλ-

λον δέν συνεπάγεται τίποτε περισσότερο από φαινομενικές αντιφάσεις.

## Ταξίδι σ' ένα άστρο.

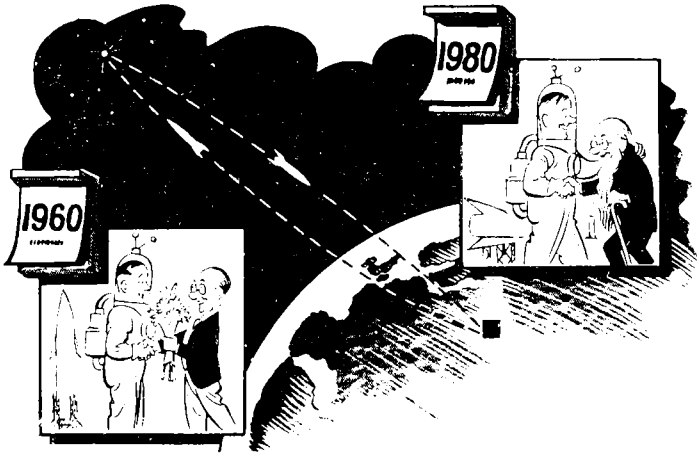
Στόν ούρανό υπάρχουν άστρα τόσο πολύ μακριά από μᾶς, πού μιά δέσμη φωτός κάνει 40 χρόνια νά τά φτάσει. Έπειδή γνωρίζουμε ήδη ότι είναι αδύνατο νά ταξιδέψουμε γρηγορότερα από τήν ταχύτητα τοῦ φωτός, μπορούμε κάλλιστα νά βγάλουμε τό συμπέρασμα, ότι δέν μπορούμε νά φτάσουμε στό άστρο σέ λιγότερο από 40 χρόνια. Ὡστόσο τό συμπέρασμα αὐτό εἶναι λαθεμένο, ἐπειδή δέν πήραμε ὑπ' ὄψη τή συστολή τοῦ χρόνου πού συνεπάγεται ἡ κίνηση.

Ἄς υποθέσουμε ότι πετᾶμε πρὸς τό άστρο μέ ἕναν πύραυλο τοῦ Einstein μέ ταχύτητα 240.000 km/sec. Γιά τοὺς ἀνθρώπους τῆς Γῆς, θά φτάσουμε στό άστρο σέ  $300.000 \times 40/240.000 = 50$  χρόνια.

Ἄλλά γιά μᾶς πού ταξιδεύουμε μέ τόν πύραυλο, ὁ χρόνος τῆς πτήσεως μέ τήν παραπάνω ταχύτητα θά ἐλαττωθεῖ κατά τό λόγο 10 πρὸς 6. Ἄρα, θά φτάσουμε στό άστρο σέ  $6 \times 50/10 = 30$  χρόνια καί ὄχι σέ 50

Μποροῦμε νά ἐλαττώσουμε ἀπεριόριστα αὐτόν τόν χρόνο πτήσεως, αὐξάνοντας τήν ταχύτητα τοῦ πυραύλου τοῦ Einstein μέχρι νά φτάσει τήν ταχύτητα τοῦ φωτός. Θεωρητικά, ταξιδεύοντας μέ ἀρκετά μεγάλη ταχύτητα, μπορούμε νά φτάσουμε στό άστρο καί νά ἐπιστρέψουμε στή Γῆ μέσα σ' ἕνα πρῶτο λεπτό. Ἄλλά πάνω στή Γῆ θά ἔχουν περάσει γιά τό ἴδιο γεγονός 80 χρόνια. (Σχ. 17).

Ὅλα δείχνουν ότι ἔχουμε ἔτσι ἕναν τρόπο ἐπιμηκύνσεως τῆς ἀνθρώπινης ζωῆς, κατά μιά ἀποψη, ἐπειδή ὁ ἄνθρωπος γερνάει σύμφωνα μέ τό "δικό του" χρόνο.



Σχ. 17

"Αν εξετάσουμε ώστόσο βαθύτερα τά πράγματα, θά δούμε μέ λύπη μας, ότι αυτή ή προσδοκία είναι άπατηλή.

Πρώτα-πρώτα, τό ανθρώπινο σώμα δέν είναι προσαρμοσμένο σέ κατάσταση παρατεταμένης έπιταχύνσεως πού νά υπερβαίνει αισθητά τήν έπιτάχυνση τής βαρύτητας τής Γης. Θά χρειαστεί άρκετός χρόνος γιά νά έπιταχυνθούμε σέ ταχύτητες πού πλησιάζουν τήν ταχύτητα του φωτός. Οι ύπολογισμοί δείχνουν ότι σέ ταξίδι διάρκειας 6 μηνών μέ έπιτάχυνση ίση μέ τήν έπιτάχυνση τής βαρύτητας τό κέρδος θά είναι μόνο 6 βδομάδες. "Αν πυραυλίσουμε τό ταξίδι μας, τό κέρδος σέ χρόνο θά αύξηθει. Δώδεκα μήνες πτήσεως του πυραύλου θά άποφέρουν πρόσθετο κέρδος 18 μήνες, ταξίδι δυό χρόνων θά δώσει κέρδος 28 χρόνια κι άν τό διαπλανητικό μας ταξίδι διαρκέσει 3 χρόνια θά κερδίσουμε περισσότερα άπό 360 χρόνια! "Ωραία πράγματα, δέν νομίζετε ;

Τό πράγμα είναι λιγότερο φαιδρό όταν έρθουμε στη δαπάνη ενέργειας.

Ένας πύραυλος πού ζυγίζει μόνο ένα τόνο και πετάει μέ ταχύτητα 260.000 km/sec (τήν ταχύτητα πού χρειάζεται για νά "διπλασιάσει" τό χρόνο, δηλ. ένας χρόνος στόν πύραυλο νά ισοδυναμεί μέ δυό πάνω στή Γῆ) καταναλώνει 250.000.000.000.000 κιλοβατῶρες, ένα ποσό πού χρειάζεται αρκετούς μήνες για νά τό παράγει ὁ κόσμος.

Ὡστόσο, αὐτό τό ποσό καταναλώνει ὁ πύραυλος μόνο κατά τήν πτήση. Πρέπει ἀκόμα νά λογαριάσουμε ποιά ἰσχύς ἀπαιτεῖται για νά ἐπιταχυνθεῖ τό ὄχημά μας στήν ταχύτητα τῶν 260.000 km/sec. Ἐπιπλέον, στό τέλος τῆς πτήσεως τό διαστημόπλοιο ὀφείλει νά ἐπιβραδυνθεῖ για νά προσεδαφιστεῖ μέ ἀσφάλεια. Ποιά ἰσχύς θά χρειαστεῖ γι' αὐτό ;

Κι ἂν ἀκόμα διαθέταμε ἀρκετά καύσιμα για νά παράγουν μιά ὥση πού νά δώσει τή μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα – τήν ταχύτητα τοῦ φωτός – θά χρειαζόμαστε 200 φορές περισσότερο ἀπό τό ποσό πού ἀναφέραμε πιό πάνω. Μ' ἄλλα λόγια, θά ἔπρεπε νά καταναλώσουμε ένα ποσό ἰσχύος πού ὁ κόσμος τό παράγει σέ ἀρκετές δεκάδες χρόνια. Στήν πραγματικότητα, ἡ ταχύτητα τῆς ὥσεως εἶναι ἑκατοντάδες φορές μικρότερη ἀπό τήν ταχύτητα τοῦ φωτός, πράγμα πού κάνει τήν ἀπαιτούμενη δαπάνη ἰσχύος για τήν φανταστική πτήση μας μυθικά μεγάλη.

## **Συστολή τοῦ μήκους.**

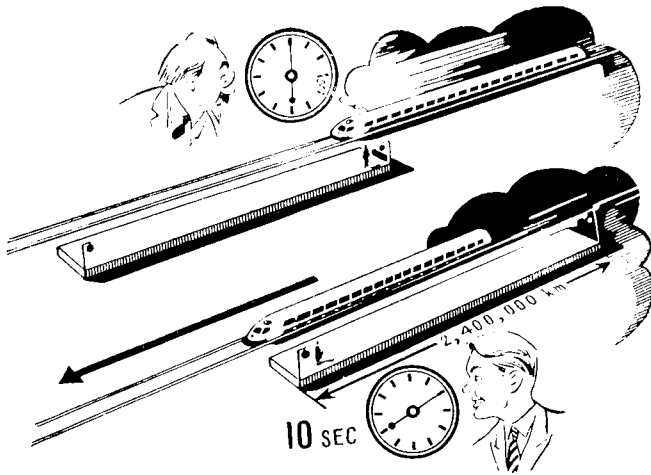
Ὁ χρόνος, ὅπως ἀκριθῶς εἶδαμε, δέν εἶναι πραγματικά μιά ἀπόλυτη ἔννοια. Εἶναι σχετικός κι ἀπαιτεῖ ἀκριθῆ ἀναφορά τοῦ συστήματος ἀπό τό ὁποῖο γίνονται οἱ παρατηρήσεις.

“Ας επιστρέψουμε τώρα στο χώρο. Προηγουμένως, όταν μιλήσαμε για το πείραμα του Michelson, είδαμε ότι ο χώρος είναι σχετικός. Κι όμως, παρά τη σχετικότητα του χώρου, αποδώσαμε στις διαστάσεις των σωμάτων απόλυτο χαρακτήρα. Μ’ άλλα λόγια, τις θεωρήσαμε σαν ιδιότητες του σώματος που δεν εξαρτιόνται από το σύστημα από το οποίο έγιναν οι παρατηρήσεις μας. Ωστόσο, η θεωρία της σχετικότητας μας υποχρεώνει περισσότερο να εγκαταλείψουμε κι αυτή την πεποίθηση. Όπως κι η αντίληψή μας για το απόλυτο του χρόνου, είναι κι αυτό μία προκατάληψη, που αναπτύχθηκε επειδή πάντα έχουμε να κάνουμε με ταχύτητες απείρως μικρότερες από την ταχύτητα του φωτός.

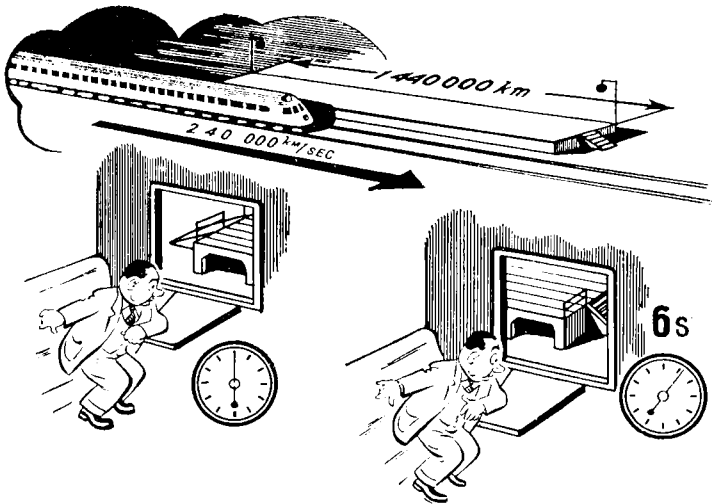
“Ας φανταστούμε ότι το τραίνο του Einstein ορμάει στην αποβάθρα ενός σταθμού μήκους 2.400.000 km. Το τραίνο από το ένα άκρο της αποβάθρας ως το άλλο, κάνει  $2.400.000/240.000 = 10$  sec με το ρολόι του σταθμού (Σχ. 18). Αλλά με τα ρολόγια των επιβατών θα κάνει μόνο 6 sec.

Οι επιβάτες έντελως δικαιολογημένα τότε θα συμπεράνουν ότι η αποβάθρα δεν έχει μήκος 2.400.000 km, αλλά  $240.000 \times 6 = 1.440.000$  km (Σχ. 19). Το μήκος της αποβάθρας, όπως βλέπουμε, είναι μεγαλύτερο ως προς το σύστημα που είναι ακίνητο σε σχέση με αυτή, απ’ ότι ως προς το σύστημα σε σχέση με το οποίο η αποβάθρα κινιέται. Όλα τα κινούμενα σώματα συστέλλονται κατά τη διεύθυνση της κινήσεώς τους.

Ωστόσο, αυτή η συστολή δεν αποδειχνει καθόλου ότι η κίνηση είναι απόλυτη· το σώμα αποκτά τις πραγματικές του διαστάσεις όταν το βλέπουμε από ένα σύστημα που είναι ακίνητο ως προς αυτό. Όμοιως, οι επιβάτες θα νομίσουν ότι η αποβάθρα έχει συσταλεί ενώ ο κόσμος πάνω σ’ αυτή θα νομίσει ότι το τραίνο του Einstein έγινε κοντότερο (κατά λόγο 6 προς 10).



Σχ. 18



Σχ. 19

Αυτό όμως δεν είναι οπτική απάτη. "Όλα τα όργανα που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση του μήκους ενός σώματος θα το δείξουν κι αυτά. Μετά απ' αυτή την ανακάλυψη θα πρέπει να διορθώσουμε τα συμπεράσματα που βγάλαμε στην παράγραφο "'Εξω απ' τό τηγάνι, μέσα στή φωτιά'" για τό χρόνο που απαιτείται για ν' ανοίξουν οι πόρτες στό τραίνο του Einstein. "Όταν υπολογίζαμε τό χρόνο που άνοιγαν οι πόρτες, ως προς τόν παρατηρητή τής αποβάθρας, υποθέσαμε ότι τό μήκος ενός κινούμενου τραίνου είναι τό ίδιο μ' ενός άλλου ακίνητου. Άκόμα, τό τραίνο ήταν μικρότερου μήκους για τόν κόσμο τής αποβάθρας. Έπομένως τό χρονικό διάστημα για ν' ανοίξουν οι πόρτες, σύμφωνα μέ τό ρολόι του σταθμού, θα μετρηθεί στην πραγματικότητα μόνο σέ  $6 \times 40/10 = 24$  sec κι όχι 40 sec. Φυσικά αυτή ή διόρθωση δεν είναι ουσιαστική για τά συμπεράσματα που βγάλαμε προηγουμένως.

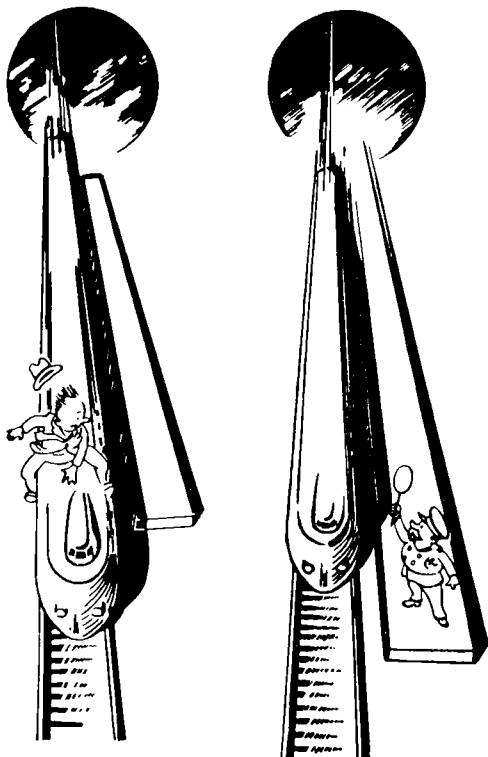
Τά σχήματα 20, δείχνουν τό τραίνο του Einstein και τήν αποβάθρα, όπως φαίνονται από τούς παρατηρητές του σταθμού και του τραίνου.

Στό δεξιό σχήμα βλέπουμε ότι ή αποβάθρα είναι μακρύτερη από τό τραίνο και στό άριστερό, ότι τό τραίνο είναι μακρύτερο από τήν αποβάθρα. Ποιά από τά δυό αυτά σχήματα ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα ; 'Η έρώτηση δεν έχει έννοια, ακριβώς όπως κι ή έρώτηση για τό βοσκό και τήν αγελάδα στά σχ. 2, 3.

Αυτά τά δυό φαινόμενα είναι "στιγμιότυπα" μιās και τής ίδιας πραγματικότητας που λαβαίνονται από διαφορετικά σημεία.

### **Ίδιότροπες ταχύτητες.**

Ποιά είναι ή ταχύτητα ενός ταξιδιώτη ως προς τίς σιδηροδρομικές γραμμές, αν αυτός περπατάει μέ 5



Σχ. 20

km/sec πρὸς τὸ ἐμπρὸς μέρος ἑνὸς τραίνου πού ταξιδεύει μέ 50 km/h ;

Προφανῶς, θά εἶναι  $50 + 5 = 55$  km/h. Ἡ ἀπάντησή μας στηρίζεται στήν προσθετική ιδιότητα τῶν ταχυτήτων καί δέν ἔχουμε καμιά ἀμφιβολία ὅτι εἶναι σωστή. Πράγματι, τὸ τραῖνο ταξιδεύει μέ 50 km/h κι ὁ ἄνθρωπος μέσα σ' αὐτό μέ 5 km ἐπιπροσθέτως, ἀπ' ὅπου καί ἡ ὀλική ταχύτητα 55 km/h.

Εἶναι φανερό, ὅτι ἡ ὕπαρξη μιᾶς ὀριακῆς ταχύτητας κάνει τήν προσθετική ιδιότητα τῶν ταχυτήτων ὄχι κα-

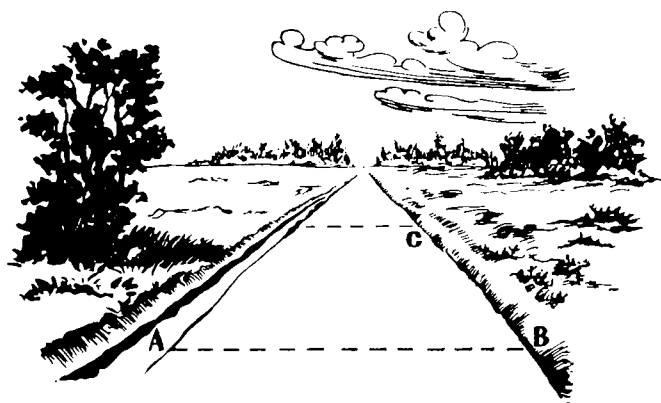


θολικά έφαρμόσιμη γιά μικρές καί μεγάλες ταχύτητες. "Αν ό ταξιδιώτης κινιόταν στό τραίνο του Einstein μέ ταχύτητα, ἄς πούμε, 100.000 km/sec, ή ταχύτητά του ώς πρός τίς σιδηροδρομικές γραμμές θά έπρεπε νά εἶναι  $240.000 + 100.000 = 340.000$  km/sec. "Όμως δέν υπάρχει καμιά τέτοια ταχύτητα, έφ' ὅσον ὑπερβαίνει τήν ταχύτητα του φωτός.

Κατά συνέπεια, ή προσθετική ιδιότητα τῶν ταχυτήτων, πού χρησιμοποιοῦμε στήν καθημερινή μας ζωή, δέν εἶναι έντελῶς ἀκριβής.

Έφαρμόζεται μόνο γιά ταχύτητες πολύ μικρότερες ἀπό τήν ταχύτητα του φωτός.

Ό ἀναγνώστης, πού εἶναι πιά συνηθισμένος μέ ὅλα τά εἶδη τῶν παραδόξων πού βρίσκονται σέ σχέση μέ τή θεωρία τῆς σχετικότητας, εὔκολα θά ἀντιληφτεῖ γιατί ή φαινομενικά προφανής αἰτιολόγηση μέ τήν ὁποία συμπεράναμε ἀκριθῶς τήν προσθετική ἀρχή τῶν ταχυτήτων εἶναι ἀνεφάρμοστη. Προσθέσαμε τήν ἀπόσταση πού διάνυσε τό τραίνο σέ μιά ὥρα καί τήν ἀπόσταση πού κάλυψε ό ταξιδιώτης μέσα σ' αὐτό. Ὡστόσο, ή θεωρία τῆς σχετικότητας μᾶς ἔδειξε ὅτι τέτοιες ἀποστάσεις δέν μποροῦν νά προστεθοῦν. Αὐτό εἶναι τόσο ἄτοπο ὅσο κι ὅταν πολλαπλασιάζουμε τό AB μέ τό BC γιά νά βροῦμε τό ἐμβαδόν του τμήματος του δρόμου πού δείχνει τό σχῆμα 21, ξεχνώντας ὅτι τό τελευταῖο διαστρέφεται στό σχῆμα ἀπό τήν προοπτική. Ὁμοίως, γιά νά βροῦμε τήν ταχύτητα του ταξιδιώτη ώς πρός τό σταθμό, πρέπει νά βροῦμε τήν ἀπόσταση πού κάνει σέ μιά ὥρα μέ τό ρολόι του σταθμοῦ, ἐνῶ γιά νά βροῦμε τήν ταχύτητά του μέσα στό τραίνο, χρησιμοποιήσαμε τό ρολόι του τραινοῦ. "Όπως ἤδη ξέρουμε ὁμως, τά ρολόγια διαφέρουν κατά πολύ.



Σχ. 21

Έτσι, φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι ταχύτητες από τις οποίες τουλάχιστον μία είναι συγκρίσιμη με την ταχύτητα του φωτός, προσθέτονται μ' έναν έντελως διαφορετικό τρόπο απ' ότι είμαστε συνηθισμένοι. Μπορούμε να παρατηρήσουμε αυτή την παράδοξη πρόσθεση των ταχυτήτων πειραματικά, όταν π.χ. μετράμε τη διάδοση του φωτός μέσα σε τρεχούμενο νερό (τό περιγράψαμε προηγουμένως). Το γεγονός ότι η ταχύτητα της διαδόσεως του φωτός σε τρεχούμενο νερό είναι μικρότερη κι όχι ίση με το άθροισμα της ταχύτητας του φωτός μέσα σε ακίνητο νερό και της ταχύτητας της ροής του νερού, είναι μία άμεση συνέπεια της θεωρίας της σχετικότητας.

Υπάρχουν ταχύτητες που προσθέτονται μ' έναν πολύ ιδιόρρυθμο τρόπο, αν μία απ' αυτές είναι ακριβώς 300.000 km/sec. Αυτή η ταχύτητα, όπως ξέρουμε, έχει την ιδιότητα να παραμένει αμετάβλητη, άσχετα από την κίνηση του συστήματος από τό όποιο την παρατηρούμε. Μ' άλλα λόγια, αδιάφορο ποιιά ταχύτητα προσθέτεται

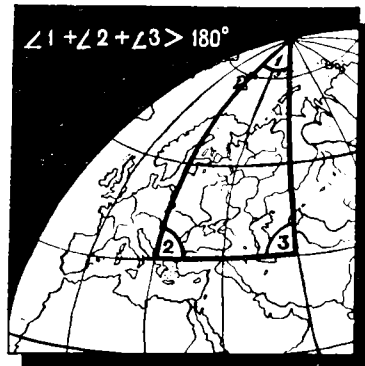
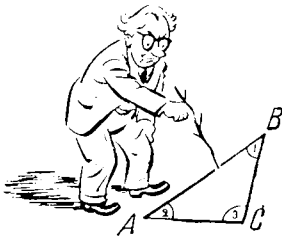
στά 300.000 km/sec, θά πάρουμε πάλι τήν ἴδια τῶν 300.000 km/sec.

Μποροῦμε νά κάνουμε ἕναν ἀπλό παραλληλισμό, ἀναφορικά μέ τή συνήθη ἀρχή τῆς προσθέσεως τῶν ταχυτήτων πού ἐδῶ εἶναι ἀνεφάρμοστη. Ὅπως ξέροουμε, τό ἄθροισμα τῶν γωνιῶν A, B καί C ἑνός ἐπίπεδου τριγώνου (βλέπε ἀριστερά στό σχ. 22) εἶναι ἴσο μέ δύο ὀρθές γωνίες.

Ἄς φανταστοῦμε τώρα ἕνα τρίγωνο πάνω στήν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς (βλέπε δεξιά στό σχ. 22). Τό ἄθροισμα τῶν γωνιῶν αὐτοῦ τοῦ τριγώνου θά εἶναι μεγαλύτερο ἀπό δύο ὀρθές γωνίες, πράγμα πού ὀφείλεται στή σφαιρικότητα τῆς Γῆς. Αὐτή ἡ διαφορά γίνεται ἀξιοσημείωτη, μόνον ὅταν τό μέγεθος τοῦ τριγώνου εἶναι συγκρίσιμο μέ τό μέγεθος τῆς Γῆς.

Μποροῦμε νά χρησιμοποιήσουμε τό συνήθη κανόνα τῆς προσθέσεως τῶν ταχυτήτων ὅταν ἔχουμε νά κάνουμε μέ μικρές ταχύτητες, ἀκριβῶς ὅπως εἶναι δυνατό νά ἐφαρμόσουμε τούς κανόνες τῆς ἐπιπεδομετρίας στή μέτρηση ἐμβαδῶν στήν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς.

$$\angle 1 + \angle 2 + \angle 3 = 180^\circ$$



Σχ. 22

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

# ΜΑΖΑ

---

### Μάζα

“Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε νά κινηθεῖ μέ ὀρισμένη ταχύτητα ἓνα ἀδρανές σῶμα. Θά πρέπει νά ἐφαρμόσουμε πάνω του μιά ὀρισμένη δύναμη. Τό σῶμα θά τεθεῖ σέ κίνηση καί στή συνέχεια μπορεῖ νά ἐπιταχυνθεῖ σ’ ὅποιαδήποτε ἐπιθυμητή ταχύτητα ἐφ’ ὅσον δέν δέχεται ἐπίδραση ἐξωτερικῶν δυνάμεων ὅπως τῆς τριβῆς.

Βρίσκουμε ὅτι ἀπαιτοῦνται διάφορα χρονικά διαστήματα, γιά νά ἐπιταχυνθοῦν διάφορα σώματα στήν ἐπιθυμητή ταχύτητα μέ τή βοήθεια μιᾶς δοσμένης δυνάμεως.

Χωρίς νά πάρουμε υπ' ὄψη τή δύναμη τῆς τριβῆς, ἄς φανταστοῦμε δύο σφαῖρες μέ τό ἴδιο ἀκριβῶς μέγεθος στό χῶρο, τή μιά ἀπό μολύβι καί τήν ἄλλη ἀπό ξύλο. Ἄς ἐφαρμόσουμε τήν ἴδια δύναμη στήν καθεμιά μέχρι πού νά ἐπιταχυνθοῦν στήν ταχύτητα, ἔστω, τῶν 10 km/h.

Προφανῶς, θά πρέπει νά ἐφαρμόσουμε τή δύναμη αὐτή περισσότερο χρόνο στή μολυβένια σφαῖρα ἀπ' ὅτι στήν ξύλινη· γιατί ἡ μολυβένια σφαῖρα ἔχει μεγαλύτερη μάζα ἀπό τήν ξύλινη. Ἐπειδή, μέ τή δρᾶση μιᾶς σταθερῆς δυνάμεως, ἡ ταχύτητα αὐξάνεται ἀνάλογα μέ τό χρόνο, ἡ μάζα ἐκφράζει τή σχέση τοῦ χρόνου πού ἀπαιτεῖται γιά νά ἐπιταχυνθεῖ ἓνα ἀδρανές σῶμα στήν ταχύτητα αὐτή. Ἡ μάζα εἶναι ἀνάλογη μ' αὐτή τή σχέση ὅταν ὁ συντελεστής εἶναι ἀνεξάρτητος ἀπό τήν ἐπιταχύνουσα δύναμη.

## **Αὐξανόμενη μάζα.**

Ἡ μάζα εἶναι μιά ἀπό τίς σπουδαιότερες ιδιότητες κάθε σώματος. Συνηθίζουμε νά λέμε ὅτι ἡ μάζα τῶν σωμάτων εἶναι σταθερή, δέν ἐξαρτιέται ἀπό τήν ταχύτητα. Ἀπό τά προηγούμενα ἔπεται, ὅτι κάτω ἀπό τή συνεχή ἐφαρμογή μιᾶς σταθερῆς δυνάμεως, ἡ ταχύτητα αὐξάνεται ἀνάλογα μέ τό χρόνο ἐφαρμογῆς τῆς.

Αὐτό στηρίζεται στήν ἀρχή τῆς προσθέσεως τῶν ταχυτήτων. Ὡστόσο, ἔχουμε ἤδη ἀποδείξει ὅτι αὐτή ἡ ἀρχή δέν μπορεῖ νά ἐφαρμόζεται σ' ὅλες τίς περιπτώσεις.

Τί πρέπει νά κάνουμε γιά νά θροῦμε τήν ταχύτητα, ἀφοῦ ἐφαρμόσουμε μιά δύναμη γιά δύο, ἄς ποῦμε, δευτερόλεπτα; Συμφωνοῦμε μέ τό συνήθη κανόνα τῆς προσθέσεως τῶν ταχυτήτων καί προσθέτουμε τήν ταχύτητα τοῦ σώματος στό τέλος τοῦ πρώτου δευτερο-

λεπτου, μέ τήν ταχύτητα πού άπόκτησε στή διάρκεια του έπόμενου.

Αυτό μπορούμε νά τό κάνουμε μέχρις ότου οί ταχύτητες φτάσουν τήν ταχύτητα του φωτός. Στην περίπτωση αυτή ό παλιός κανόνας γίνεται άνεφάρμοστος. Προσθέτοντας ταχύτητες σύμφωνα μέ τόν κανόνα τής θεωρίας τής σχετικότητας θά πάρουμε άποτελέσματα μικρότερα κατά τι άπό κείνα πού θά παίρναμε μέ τόν παλιό κανόνα προσθέσεως, έντελώς άχρηστο σ' αυτή τήν περίπτωση. Αυτό σημαίνει ότι μιά πολύ μεγάλη ταχύτητα δέν αύξάνεται άνάλογα μέ τό χρόνο έφαρμογής μιās δυνάμεως, αλλά κάπως θραδύτερα. Αυτό είναι έντελώς φυσικό, έπειδή ύπάρχει όριακή ταχύτητα.

Όταν δοθει μιά σταθερή δύναμη, ή ταχύτητα ενός σώματος αύξάνεται όλοένα και περισσότερο, μέχρι νά πλησιάσει τήν ταχύτητα του φωτός, χωρίς ποτέ νά ξεπεράσει αυτή τήν όριακή ταχύτητα.

Η μάζα ενός σώματος μπορεί νά θεωρηθει άνεξάρτητη άπό τήν ταχύτητά του, όπως ακριβώς λέμε, ότι ή ταχύτητα του σώματος αύξάνεται άνάλογα μέ τό χρόνο έφαρμογής μιās δυνάμεως. Άλλά μόλις ή ταχύτητα ενός σώματος πλησιάσει τήν ταχύτητα του φωτός, ή άναλογία άνάμεσα σέ χρόνο και ταχύτητα έξαφανίζεται κι ή μάζα έξαρτιέται άπό τήν ταχύτητα. Έπειδή ό χρόνος τής έπιταχύνσεως αύξάνεται άπεριορίστα κι ή ταχύτητα δέν μπορεί νά ύπερθει τό άνώτατο όριο, παρατηρούμε ότι ή μάζα αύξάνεται μέ τήν ταχύτητα και γίνεται άπειρη όταν ή ταχύτητα του σώματος φτάσει τήν ταχύτητα του φωτός.

Υπολογισμοί δείχνουν ότι ή μάζα ενός κινούμενου σώματος αύξάνεται τόσο, όσο τό μήκος του έλαττώνεται. Έτσι, ή μάζα του τραίνου του Einstein, πού κινιέται μέ 240.000 km/sec, είναι 10/6 φορές μεγαλύτερη άπό ή

μάζα του ίδιου τραίνου στην κατάσταση ήρεμίας.

Είναι έντελως φυσικό τό ότι όταν έχουμε νά κάνουμε μέ συμβατικές ταχύτητες, άσήμαντες σέ σύγκριση μέ τήν ταχύτητα του φωτός, μπορούμε νά παραλείψουμε τή μεταβολή τής μάζας άκριθώς όπως παραβλέπουμε τή σχέση ανάμεσα στίς διαστάσεις καί τήν ταχύτητα ενός σώματος ή τήν εξάρτηση του χρονικού διαστήματος ανάμεσα σέ δύο γεγονότα καί τίς ταχύτητες μέ τίς όποιες κινιούνται οί παρατηρητές αυτών των δύο γεγονότων.

Μπορούμε νά ελέγξουμε τή σχέση ανάμεσα στή μάζα καί τήν ταχύτητα, ή όποία άντικρούεται από τή θεωρία τής σχετικότητας, μέ τήν παρατήρηση τής κινήσεως ταχέων ήλεκτρονίων.

Σέ σύγχρονα πειραματικά μηχανήματα είναι έντελως κοινότυπο τό ότι ένα ήλεκτρόνιο κινιέται μέ ταχύτητα παραπλήσια τής ταχύτητας του φωτός. Μέ ειδικές μηχανές, τά ήλεκτρόνια έπιταχύνονται σέ ταχύτητες κατώτερες μόνο κατά 30 km/sec από τήν ταχύτητα του φωτός.

Προκύπτει ότι ή σύγχρονη φυσική είναι ικανή νά συγκρίνει τή μάζα των κινούμενων μέ μεγάλη ταχύτητα ήλεκτρονίων μέ τή μάζα των άκίνητων. Πειράματα έχουν έπιβεβαιώσει πλήρως τήν εξάρτηση τής μάζας από τήν ταχύτητα, ένα πόρισμα τής άρχής τής σχετικότητας.

## **Ποιά είναι ή τιμή ενός γραμμαρίου φωτός ;**

Ή αύξηση τής μάζας του σώματος, είναι στενά συνδεμένη μέ τό έργο πού προσφέρεται σ' αυτό· είναι ανάλογη μέ τή δύναμη πού απαιτείται γιά νά θέσει σέ κίνηση τό σώμα. Δέν ύπάρχει καθόλου ανάγκη νά δαπανήσουμε έργο άπλώς καί μόνο γιά νά θέσουμε τό

σῶμα σέ κίνηση. Κάθε δύναμη πού ἐφαρμοζόμενη στό σῶμα προκαλεῖ ὅποιαδήποτε αὐξηση τῆς ἐνέργειάς του αὐξάνει τή μάζα του. Γι' αὐτό ἀκριβῶς τό λόγο, ἔνα σῶμα ἔχει μεγαλύτερη μάζα ὅταν θερμαίνεται καθώς κι ἔνα ἐλατήριο ὅταν συμπιέζεται. Εἶναι θέβαια ἀλήθεια, ὅτι ὁ συντελεστής ἀναλογίας ἀνάμεσα στή μεταβολή τῆς μάζας καί τή μεταβολή τῆς ἐνέργειας εἶναι ἀσήμαντος : γιά ν' αὐξήσουμε τή μάζα ἐνός σώματος κατά ἕνα γραμμάριο, πρέπει νά προσφέρουμε ἐνέργεια 250.000.000 kwh.

Γι' αὐτό ἡ μεταβολή τῆς μάζας τοῦ σώματος στίς συνήθεις συνθήκες εἶναι πολύ ἀσήμαντη καί διαφεύγει κι ἀπό τίς πιό ἀκριβεῖς μετρήσεις. Ἔτσι, ἂν θερμάνουμε ἕνα τόνο νεροῦ ἀπό τούς 0° C στό σημεῖο βρασμοῦ, ἡ μάζα του θά αὐξηθεῖ κατά πέντε ἑκατομμυριοστά τοῦ γραμμαρίου περίπου. Ἄν κάψουμε ἕνα τόνο ἄνθρακα, μέσα σ' ἕνα ἀπομονωμένο κλίβανο, τά προϊόντα τῆς καύσεως θά ἔχουν μάζα 1/3.000 τοῦ γραμμαρίου λιγότερη ἀπό τόν ἀρχικό ἄνθρακα κι ὀξυγόνο. Αὐτή ἡ μάζα πού λείπει ἀπομακρύνεται μέ τή θερμότητα πού γεννήθηκε κατά τήν πορεία τῆς καύσεως.

Ὡστόσο, στή σύγχρονη φυσική παρατηροῦμε ἐπίσης φαινόμενα, ὅπου ἡ μεταβολή τῆς μάζας παίζει ἕναν ἐντελῶς ξεχωριστό ρόλο.

Ἄς πάρουμε τό φαινόμενο τοῦ βομβαρδισμοῦ ἐνός ἀτομικοῦ πυρήνα καί τοῦ σχηματισμοῦ ἐνός νέου πυρήνα. Ὄταν, γιά παράδειγμα, ἕνα ἄτομο λιθίου συγκρούεται μ' ἕνα ἄτομο ὑδρογόνου καί παράγονται δύο ἄτομα ἡλίου, ἡ μάζα μεταβάλλεται κατά 1/400 τῆς ἀρχικῆς τῆς τιμῆς.

Ἐχουμε ἤδη πεῖ ὅτι γιά ν' αὐξηθεῖ ἡ μάζα ἐνός σώματος κατά ἕνα γραμμάριο, πρέπει νά προσφέρουμε περίπου 25.000.000 kwh.



Έπομένως, για να μετατραπεί ένα γραμμάριο λιθίου και ύδρογόνου σε ήλιο, απαιτείται 400 φορές λιγότερη ενέργεια :  $25.000.000/400 = 60.000$  kwh !

“Ας προσπαθήσουμε τώρα να απαντήσουμε στην παρακάτω ερώτηση :

Ποιά είναι η πιο δαπανηρή ουσία (από άποψη θάρους) που υπάρχει στη Φύση ; Τό ράδιο θεωρείται σαν τό πιο δαπανηρό. Μέχρι τελευταία λεγόταν ότι ένα γραμμάριο ραδίου άξιζε περίπου 6.750.000 δρχ.

“Αλλά τί γίνεται μέ την τιμή του φωτός ;

“Από έναν ήλεκτρικό λαμπτήρα παίρνουμε υπό τύπο φωτός μόλις τό ένα είκοστό της δαπανόμενης ενέργειας. Έπομένως ένα γραμμάριο φωτός, ισοδυναμεί μέ τό 20πλάσιο του έργου των 25.000.000 kwh, δηλ. 500.000.000 kwh. “Αν υποθέσουμε ότι ένα κιλοβαττώριο κοστίζει 0,3 δρχ., ή προηγούμενη ενέργεια στοιχίζει 150.000.000 δρχ. “Επεται λοιπόν, ότι ένα γραμμάριο φωτός κοστίζει 20 φορές περισσότερο από ένα γραμμάριο ραδίου.

# ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΝΟΥΜΕ

---

Άκριβη και πολύ πειστικά πειράματα, μᾶς ἐνθαρρύνουν ν' ἀποδεχτοῦμε τό κύρος τῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας, πού μᾶς ἀποκαλύπτει ἐκπληκτικά χαρακτηριστικά τοῦ γύρω μας κόσμου, τά ὁποῖα μᾶς διαφεύγουν ἀπό μιὰ πρώτη πρόχειρη ματιά.

Εἶδαμε τίς εὐρεῖες καί ριζικές ἀλλαγές πού εισηγήγαγε ἡ θεωρία τῆς σχετικότητας στίς βασικές ἔννοιες πού σχημάτισε ὁ ἄνθρωπος μέσα ἀπό τήν καθημερινή ἐμπειρία αἰώνων.

Μήπως αυτό σημαίνει ότι η φυσική, πού αναπτύχθηκε πολύ πριν από την εμφάνιση της θεωρίας της σχετικότητας, πρέπει να πεταχτεί σαν ένα παλιό και άχρηστο παπούτσι ;

"Αν αυτό ήταν σωστό, δέν θά μάς τραβοῦσε ἡ ένασχόληση μέ ἐπιστημονικές ἔρευνες. Θά ἦταν θέβαιο ὅτι κάποια νέα θεωρία θά ἐμφανιζόταν καί θά συνέτριβε τήν παλιά. "Ας φανταστοῦμε τόν ἐπιβάτη ἑνός συνηθισμένου τραίνου νά διορθώνει τό ρολόι του, ἐπειδή σύμφωνα μέ τή θεωρία τῆς σχετικότητας, αὐτό θά πηγαίνει πίσω ἀπό τό ρολόι τοῦ σιδηροδρομικοῦ σταθμοῦ. "Όλοι θά γελάσουν μαζί του. "Ακόμα καί μ' ἕνα ρολόι καταπληκτικῆς ἀκρίβειας, ἄς ποῦμε, δέν μπορούμε νά σημειώσουμε τή διαφορά τῶν δύο ρολογιῶν τοῦ προβλήματός μας, πού εἶναι τῆς τάξεως ἑνός κλάσματος τοῦ δευτερόλεπτου.

"Ο χημικός μηχανισμός πού ἀμφιβάλλει ἄν τό νερό διατηρεῖ τή μάζα του ὅταν θερμαίνεται, σίγουρα εἶναι τρελλός. Κι ἀντίστροφα, ὁ φυσικός πού στίς πυρηνικές ἀντιδράσεις δέν παίρνει ὑπ' ὄψη του τήν ἀλλαγῆ τῶν ἀτομικῶν βαρῶν θά διωχνόταν ἀπό τό ἐργαστήριό σαν ἀνίδεος. Οἱ σχεδιαστές σχεδιάζουν καί θά συνεχίσουν νά σχεδιάζουν τίς μηχανές τους σύμφωνα μέ τούς νόμους τῆς φυσικῆς, γιατί, ἄν ἔκαναν διορθώσεις μέ βάση τή θεωρία τῆς σχετικότητας, αὐτές δέν θά ἔφερναν οὐσιαστικά κανένα ἀποτέλεσμα στίς μηχανές τους κουνούπι στό κέρατο βοδιοῦ.

Οἱ φυσικοί πού πειραματίζονται μέ ταχέα ἠλεκτρονία, πρέπει νά λαβαίνουν ὑπ' ὄψη, ὅτι ἡ μάζα τους ἀλλάζει μέ τήν ταχύτητα.

"Η θεωρία τῆς σχετικότητας δέν ἀρνιέται τίς παλιότερες ἔννοιες καί γνώσεις, ἀλλά τίς ἐπεκτείνει καί καθορίζει τά ὅρια μέσα στά ὁποῖα αὐτές οἱ παλιές ἔννοιες

μποροῦν νά ἐφαρμοστοῦν χωρίς νά φέρουν τόν κίνδυνο λάθους. Οἱ νόμοι τῆς Φύσεως πού ἀνακαλύφθηκαν ἀπό τοὺς φυσικοὺς πρὶν γεννηθεῖ ἡ θεωρία τῆς σχετικότητας δέν ἀποκηρύσσονται καθόλου, μόνο πού τό πεδίο ἐφαρμογῆς τους εἶναι τώρα πιό καλά καθορισμένο.

Ἡ σχέση ἀνάμεσα στή φυσική πού στηρίζεται στή θεωρία τῆς σχετικότητας, γνωστή σά ρελατιβιστική φυσική, καί στή φυσική τῆς παλιᾶς σχολῆς, γνωστή σάν κλασσική, εἶναι περίπου ἡ ἴδια ὅπως κι ἀνάμεσα στήν ἀνώτερη γεωδαισία, πού λαβαίνει ὑπ' ὄψη τῆ σφαιρικότητα τῆς Γῆς καί στή βασική γεωδαισία πού τήν ἀγνοεῖ.

Ἡ ἀνώτερη γεωδαισία ξεκινάει ἀπό τῆ σχετικότητα τῆς κατακόρυφης καί ἡ ρελατιβιστική φυσική κάνει χρήση τῆς σχετικότητας τῶν σωμάτων καί τοῦ χρονικοῦ διαστήματος ἀνάμεσα σέ δύο τυχόντα γεγονότα, ἐνῶ ἡ κλασσική φυσική δέν γνωρίζει τίποτε ἀπό τήν ἔννοια τῆς σχετικότητας.

Ἄκριβῶς ὅπως ἡ ἀνώτερη γεωδαισία ἀναπτύχθηκε ἀπό τῆ βασική γεωδαισία, ἔτσι κι ἡ ρελατιβιστική φυσική ἀναπτύχθηκε ἀπό τήν κλασσική φυσική.

Ἀπό τοὺς τύπους τῆς σφαιρικῆς γεωμετρίας, τῆς γεωμετρίας τῶν σφαιρικῶν ἐπιφανειῶν, μποροῦμε νά φτάσουμε στοὺς τύπους τῆς ἐπιπεδομετρίας ἂν ὑποθέσουμε ὅτι ἡ ἀκτίνα τῆς Γῆς ἔχει ἄπειρο μῆκος.

Ἡ Γῆ τότε δέν θά εἶναι πιά μιά σφαῖρα, ἀλλά ἓνα ἄπειρο ἐπίπεδο, ἡ κατακόρυφη θά εἶναι ἀπόλυτη καί τό ἄθροισμα τῶν γωνιῶν ἐνός τριγώνου θά εἶναι ἀκριβῶς ἴσο μέ δύο ὀρθές γωνίες.

Μιά παρόμοια μεταφορά μπορεῖ νά γίνει στή ρελατιβιστική φυσική ἂν ὑποθέσουμε ὅτι ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός εἶναι ἄπειρη, δηλ. ἡ διάδοση τοῦ φωτός γίνεται ἀκριαία.

Πράγματι, αν τό φῶς διαδίδεται άκαριαία, ή αντίληψη τοῦ ταυτόχρονου, ὅπως ἔχουμε δεῖ, γίνεται άπόλυτη. Τά χρονικά διαστήματα ανάμεσα στά γεγονότα κι οἱ διαστάσεις τῶν σωμάτων γίνονται επίσης άπόλυτα, ανεξάρτητα άπό τά συστήματα άπό τά ὁποῖα παρατηροῦνται.

Κατά συνέπεια, μπορούμε νά κρατήσουμε ὅλες τίς κλασσικές αντίληψεις, αν θεωρήσουμε άπειρη τήν ταχύτητα τοῦ φωτός. Ὡστόσο, ή άπόπειρα νά συνδυάσουμε τήν ὀριακή ταχύτητα τοῦ φωτός μέ τίς παλιές αντίληψεις γιά τό χῶρο καί τό χρόνο, μᾶς φέρνει στήν παράλογη θέση ενός ατόμου πού γνωρίζει ὅτι ή Γῆ εἶναι σφαιρική αλλά επιμένει ὅτι ή κατακόρυφη τῆς πόλεως τους εἶναι άπόλυτα κατακόρυφη καί δέν βγαίνει ἔξω άπό τήν πόλη άπό φόβο μήν πέσει (Σχ. 23) στόν ἔξωτερικό χῶρο.



Σχ. 23

