

Η αρχή της σχετικότητας και η φύση του χρόνου*

1. Mach και ο απόλυτος χρόνος του Νεύτωνα

Σύμφωνα με το Νεύτωνα, ο χρόνος είναι θεμελιακά απόλυτος, δηλαδή είναι προικισμένος με ύπαρξη ανεξάρτητη απ' όλα τα αντικείμενα και τα φυσικά συμβάντα:

«Ο απόλυτος, αληθινός, και μαθηματικός χρόνος, αφ' εαυτόν και από την ίδια του τη φύση, ρέει ομοιόμορφα χωρίς σχέση με οτιδήποτε εξωτερικό, και καλείται αλλιώς διάρκεια: ο σχετικός, φαινομενικός και κοινός χρόνος είναι κάποιο αισθητό και εξωτερικό (είτε ακριβές είτε άνιστο) μέτρο της διάρκειας με τη βοήθεια της κίνησης, που συνήθως χρησιμοποιείται αντί για τον αληθινό χρόνο, όπως είναι η ώρα, η μέρα, ο μήνας, το έτος»¹.

Παρ' όλο που προσπάθησε να προβάλλει μια ουδέτερη εικόνα, ο Νεύτωνας ήταν ένας φλογερός θεϊστής και η ετερόδοξη θεολογία του έπαιξε σημαντικό ρόλο στην αντίληψή του για το φυσικό κόσμο. Γι' αυτόν, ο απόλυτος χρόνος και ο απόλυτος χώρος ήταν επακόλουθα των θεϊκών ιδιοτήτων της αιωνιότητας και της πανταχού παρουσίας. Στο *Γενικό Σχόλιο*, το οποίο προσέθεσε στα *Principia* το 1713 (2η έκδοση), έγραφε:

«Αυτός είναι αιώνιος και άπειρος...· δηλαδή, η δική του διάρκεια απλώνεται από την αιωνιότητα στην αιωνιότητα· η παρουσία του από το άπειρο στο άπειρο... Δεν είναι το αιώνιο και το άπειρο, αλλά αιώνιος και άπειρος· δεν είναι διάρκεια είτε χώρος, αλλά διαρκεί και υπάρχει. Διαρκεί για πάντα και είναι πανταχού παρών· και με το να υπάρχει πάντα και παντού, συνιστά διάρκεια και χώρο. Αφού κάθε μέρος του χώρου υπάρχει αιώνια, και κάθε αδιαίρετη στιγμή της διάρκειας υπάρχει παντού, τότε σίγουρα, ο Δημιουργός και Κύριος όλων των πραγμάτων δεν μπορεί να υπάρχει ποτέ και πουθενά». Και ο Νεύτων προσθέτει: «Είναι πανταχού παρών, όχι μόνο ως δυνατότητα, αλλά και ως ουσία· επειδή η δυνατότητα δεν μπορεί να υφίσταται χωρίς την ουσία»².

Ο Νευτώνειος χώρος και χρόνος εξαρτιόταν επομένως από την ύπαρξη του Θεού, συνιστά τις αληθινές πλευρές, ιδιότητες, σχεδόν συστατικά της θεότητας.

Ένας πασίγνωστος κριτικός των Νευτώνειων αντιλήψεων ήταν ο αυστριακός φυσικός-φιλόσοφος Ernst Mach. Ο Mach πίστευε ότι όλες οι φυσικές μας αρχές συνίστανται από πειραματικές γνώσεις που αφορούν τις θέσεις και κινήσεις των σωμάτων. Κατά τη γνώμη

Ο F. Selleri είναι καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Bari. Η Συντακτική Επιτροπή τον ευχαριστεί για την παραχώρηση της μελέτης του στην *Ουτοπία*.

* Το παρόν κείμενο είναι βελτιωμένη έκδοση ενός άρθρου που θα δημοσιευτεί στα ιταλικά²⁷.

του, κανείς δεν θα ήταν εξασφαλισμένος να επεκτείνει αυτές τις αρχές πέρα από τα σύνορα της εμπειρίας: μια τέτοια επέκταση θα ήταν άσκοπη καθώς κανείς δεν θα μπορούσε να κατέχει την απαιτούμενη γνώση για να την χρησιμοποιήσει. Η πραγματικότητα του Mach περιοριζόταν, μ' αυτόν τον τρόπο, στην πράξη της μέτρησης. Ο απόλυτος χώρος και χρόνος του Νεύτωνα, υπερβαίνοντας όλους τους λειτουργικούς ορισμούς, θεωρήθηκαν, απ' αυτόν, καθαρά προϊόντα φαντασίας. Διάσημο είναι το επιχείρημά του που ανασκευάζει την ύπαρξη του απόλυτου χώρου.

«Όλες οι μάζες, “όλες” οι ταχύτητες, επομένως “όλες” οι δυνάμεις είναι σχετικές. Δεν υφίσταται καμιά διαφορά μεταξύ σχετικού και απόλυτου την οποία να αντιληφθούμε με τις αισθήσεις μας. Από την άλλη δεν υπάρχει λόγος για τον οποίο θα έπρεπε να αποδεχτούμε αυτή τη διαφορά, δεδομένου ότι μια τέτοια αποδοχή δεν μας προσφέρει κανένα πλεονέκτημα, ούτε θεωρητικό ούτε κανενός άλλου είδους. Εκείνοι οι σύγχρονοι συγγραφείς που έχουν πειστεί από το νευτώνειο επιχείρημα του κάδου με νερό για να διακρίνουν ανάμεσα στην απόλυτη κίνηση και τη σχετική, δεν συνειδητοποιούν ότι το σύστημα του κόσμου μας δίνεται “μόνο εφάπαξ”... Προσπάθησε να κρατήσεις ακίνητο τον Νευτώνειο κάδο και κάνε τον ουρανό και τους απλανείς να περιστρέφονται, και επαλήθευσε την απουσία των φυγόκεντρων δυνάμεων»³.

Η απόφαση αυτή περιέχει την ιδέα ότι η αιτία των πλασματικών δυνάμεων που εμφανίζονται στα μη αδρανειακά συστήματα αναφοράς μπορεί να βρίσκεται στον «ουρανό των απλανών αστέρων» (σήμερα με μια πιο σύγχρονη γλώσσα θα λέγαμε στην κατανομή των γαλαξιών στο σύμπαν). Περιέχει, επομένως, όχι μόνο την άρνηση ενός απόλυτου χώρου με υπερβατική φύση, αλλά επιπλέον και την ιδέα ότι η τοπική διάκριση μεταξύ αδρανειακών και επιταχυνόμενων συστημάτων μπορεί, κατά κάποιο τρόπο, να ανάγεται στο συγκεκριμένο σύμπαν στο οποίο ζούμε. Αυτή είναι μια μεγάλη φυσική ιδέα, που σήμερα καλείται «Αρχή του Mach», και η οποία, καλύτερα εξειδικευμένη στην «αρχή της ισοδυναμίας» χρησιμοποιήθηκε αργότερα από τον Αϊνστάιν ως βάση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας⁴. Υπάρχει, συνεπώς, μια θεμελιακή θετική πλευρά στις απόψεις του Mach και δεν είναι τυχαίο που εξακολουθούμε να τον αναφέρουμε έναν αιώνα αργότερα: εντούτοις, η φιλοσοφία του περιέχει και μια σκοτεινή πλευρά, εμφανή στην άρνηση του ατομισμού, και στη μακρά του μάχη εναντίον του βιενέζου φυσικού Ludwig Boltzmann. Ο Mach δήλωνε ότι είναι «μεταφυσικές», δηλαδή ό,τι δεν είναι εμπειρικά επαληθεύσιμες, όχι μόνο οι θεολογικές απόψεις του Newton, αλλά και όλες οι εικασίες για τη φύση της υλικής πραγματικότητας που στερούνται άμεσα δεδομένων εμπειρικών αποδείξεων. Η ιστορία της φυσικής, και ειδικότερα η μεγάλη ανάπτυξη του ατομισμού, έδειξε ότι η αντιρεαλιστική του άποψη είχε σαθρά θεμέλια: ο αριθμός Avogadro έχει μετρηθεί περίπου με 15 ανεξάρτητες μεθόδους και πάντοτε βρέθηκε να έχει την ίδια αριθμητική τιμή⁵. Ως συνέπεια τούτου, η φιλοσοφία του Mach έχασε πολύ από την απήχυσή της, σε σημείο τέτοιο που σήμερα είναι δύσκολο να βρεθεί κανείς που να υποστηρίξει ανοιχτά το θετικισμό. Η κατάσταση ήταν πολύ διαφορετική στις αρχές του 20ού αιώνα: είναι πασίγνωστο ότι οι εργασίες του Mach άσκησαν έντονη επιρροή στο νεαρό Αϊνστάιν και ότι η θεωρία της Σχετικότητας διατυπώθηκε λαμβάνοντας υπόψη προσεκτικά τις επιστημολογικές απαιτήσεις του βιενέζου φιλόσοφου.

2. Η επιβράδυνση των κινούμενων ρολογιών

Το 1881 ο Albert Michelson (1852-1931) δημοσίευσε την πρώτη του απόπειρα να παρατηρήσει κάποια μετατόπιση στην εικόνα συμβολής εξαιτίας της απόλυτης κίνησης της γης. Δεν είδε κανένα αποτέλεσμα και συμπέρανε ότι ο αιθέρας παρασύρεται ολοκληρωτικά από τον πλανήτη μας. Εντούτοις, η θεωρητική μετατόπιση (που εξάγεται από την κλασική φυσική) με την οποία αυτός συνέκρινε τα αποτελέσματά του αποδείχθηκε ότι ήταν ανακριβής κατά έναν παράγοντα ίσο με δύο. Ο Lorentz απέδειξε την ύπαρξη του σφάλματος και η μαρτυρία του πειράματος έγινε πολύ λιγότερο αποφασιστική μετά τη διόρθωση. Το 1887 ο ίδιος ο Michelson και ο Eduard Morley πραγματοποίησαν εκ νέου το πείραμα συμβολής με διπλάσια ακρίβεια, επιβεβαιώνοντας την απουσία φαινομένων οφειλόμενων στην κίνηση της γης. Το συμβολόμετρο τους ήταν τοποθετημένο πάνω σε μια μεγάλη λίθινη πλάκα επιπλέονσα σε μια λεκάνη υδραγύρου⁶.

Για να εξηγήσει αυτά τα αποτελέσματα ο Georg Fitzgerald⁷, και ανεξάρτητα ο Hendrick Lorentz⁸, υπέθεσαν ότι η κίνηση μέσα στον αιθέρα με ταχύτητα V δημιουργούσε σε κάθε σώμα μια ορισμένη μείωση Δl του μήκους του l στη διεύθυνση της κίνησης.

Αυτή η υπόθεση μπορούσε να εξηγήσει το αρνητικό αποτέλεσμα του πειράματος Michelson-Morley. Η ιδέα μιας συστολής εξαιτίας της κίνησης δεν είχε ακόμη αναπτυχθεί σε όλο της το μεγαλείο. Χρησιμοποιώντας την κλασική φυσική ο Lorentz μπόρεσε να αποδείξει ότι η κίνηση ενός ηλεκτρικού φορτίου διαμέσου του αιθέρα τροποποιεί το ηλεκτρικό πεδίο που το περιβάλλει συμπιέζοντάς το προς ένα επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση της κίνησης, και ότι ο βαθμός συμπίεσης αυξάνεται με την ταχύτητα του φορτίου. Απ' αυτό συνάγεται ότι ένα ηλεκτρόνιο δεσμευμένο από ένα κινούμενο πρωτόνιο δεν αποτελεί πλέον ένα συνηθισμένο άτομο υδρογόνου, αλλά ένα άτομο του οποίου η εσωτερική κίνηση γίνεται σε μια συμπιεσμένη τροχιά όμοια με το πεδίο. Επιπλέον, η περίοδος της κίνησης του ηλεκτρονίου τροποποιείται και αυξάνεται για τον παρατηρητή που βλέπει το άτομο να κινείται. Επομένως, θα έπρεπε να αναμένει κανείς ότι κάθε αντικείμενο (αποτελούμενο από άτομα) συστέλλεται κατά τη διάσταση την παράλληλη της κίνησης, και ότι σε κάθε κινούμενο ρολόι ο ρυθμός κίνησης των δεικτών του θα επιβραδύνεται. Το 1895 ο Lorentz δημοσίευσε την περίφημη «θεωρία των ηλεκτρονίων»⁹ βασισμένη στην ιδέα ότι ο αιθέρας παραμένει διαρκώς ακίνητος και ανεπηρέαστος από την κίνηση των υλικών σωμάτων. Σ' αυτό το άρθρο απέδειξε ότι η άποψη για μια παγκόσμια συστολή όλων των κινούμενων σωμάτων κατά έναν παράγοντα $(1 - v^2/c^2)$, αν η V είναι πολύ μικρότερη από την C , ήταν ήδη πολύ εύλογη στα πλαίσια της κλασικής φυσικής. Κατά μια έννοια, θα μπορούσε να δώσει μια πραγματική εξήγηση στο αρνητικό αποτέλεσμα του πειράματος M-M. Η επιτυχία της θεωρίας του Lorentz ώθησε στην ανανέωση του ενδιαφέροντος για τον αιθέρα και τις ιδιότητές του μέσα στην επιστημονική κοινότητα.

Ο πρώτος ο οποίος συμπέρανε ότι ένα «φυσικό» ρολόι θα πρέπει ν' αλλάξει το ρυθμό του όταν κινείται, ήταν ο Voigt σ' ένα του άρθρο το 1881¹⁰. Το συμπέρασμα ήταν ότι η περίοδος T_0 του ρολογιού πρέπει να αυξάνει σύμφωνα μ' έναν απλό μαθηματικό τύπο. Ο τύπος του Voigt είναι διαφορετικός από το σχετικιστικό στον οποίο ο παρονομαστής εμφανίζεται σε τετραγωνική ρίζα.

Ο νέος αιώνας αρχίζει όταν ο Joseph Larmor¹¹ μελέτησε ένα σύστημα «αποτελούμενο από δύο ηλεκτρόνια αντίθετου φορτίου» (σήμερα θα λέγαμε: αποτελούμενο από ζεύγος ηλεκτρονίου-πολιτρονίου) αγνόησε την ακτινοβολία, και υπέθεσε για τα δύο σωμάτια κυκλικές τροχιές γύρω από το κοινό τους κέντρο μάζας. Θεωρώντας, ακόμη, ότι το όλο σύστημα κινείται διά μέσου του αιθέρα, απέδειξε ότι η εξαρτώμενη από την ταχύτητα παραμόρφωση των ηλεκτρονικών πεδίων, η οποία εξαρτάται από την ταχύτητα, όπως προβλέπεται από την κλασική φυσική, προκαλούσε στο δέσμιο σύστημα ακριβώς αυτή τη συστολή που προβλεπόταν από τους Fitzgerald και Lorentz. Επιπλέον, ο Larmor βρήκε ότι η τροχιακή περίοδος T των δύο φορτίων ήταν αναγκαστικά αυξημένη. Μπορούμε να πούμε ότι αυτή ήταν η πρώτη σωστή θεμελίωση της άποψης μιας εξαρτώμενης από την ταχύτητα διαστολής χρονικών διαστημάτων. Τα αποτελέσματα του Larmor δείχνουν ότι τα απαραίτητα συστατικά για την εξήγηση του αρνητικού αποτελέσματος των πειραμάτων που έγιναν για να εντοπίσουν τον αιθέρα ήταν ήδη διαθέσιμα στην προσχετικιστική φυσική. Στην πραγματικότητα, η συστολή $L-F$ από μόνη της δεν θα ήταν επαρκής για να εξηγήσει τα επίσης αρνητικά αποτελέσματα τα οποία επέτυχαν αργότερα οι Kennedy-Thorndike¹² και οι Ives-Stillwell¹³, ενώ μια τέτοια συστολή σε συνδυασμό με την επιβράδυνση του ρυθμού των κινούμενων ρολογιών μπορεί να εξηγήσει όλα τα γνωστά σχετικιστικά πειράματα.

Σήμερα, η επιβράδυνση του ρυθμού των κινούμενων ρολογιών είναι καλά θεμελιωμένη πειραματικά, σε σημείο ώστε μπορούμε με σιγουριά να συμπεράνουμε ότι έχουμε να κάνουμε μ' ένα φαινόμενο της φύσης, παρά με μια παράξενη θεωρητική πρόβλεψη. Ένα από τα πιο ακριβή και πειστικά πειράματα πραγματοποιήθηκε το 1977, όπου οι χρόνοι ζωής θετικών και αρνητικών μυονίων μετρήθηκαν με τη βοήθεια μιας πολύ ειδικής συσκευής, τον δακτύλιο μυονικής συσσώρευσης του CERN¹⁴. Μυόνια με ταχύτητα ίση με $0,9994c$, που αντιστοιχούν σ' ένα συντελεστή γ ίσο με 29.33, κινούνταν κυκλικά σ' ένα δακτύλιο με διάμετρο 14m έχοντας κεντρομόλο επιτάχυνση ίση με $10^{18}g$. Τα αποτελέσματα βρέθηκαν να συμφωνούν θαυμάσια με το σχετικιστικό τύπο.

Το γενικό δίδαγμα που εξάγουμε από αυτό το πείραμα σχετίζεται με το μετασχηματισμό του χρόνου όπως δίνεται από το σχετικό τύπο: το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο συμβάντων που πραγματοποιούνται στην ίδια θέση του κινούμενου συστήματος (η είσοδος και η διάσπαση του μυονίου, στο υπό συζήτηση παράδειγμα) στο εργαστήριο, διαστέλλεται κατά το συνήθη σχετικιστικό παράγοντα εάν συγκριθεί με το αντίστοιχο χρονικό διάστημα μετρούμενο από τον παρατηρητή του κινούμενου συστήματος.

Εκτός αυτού του πειράματος, υπάρχει πληθώρα ενδείξεων άλλου είδους, αλλά με το ίδιο νόημα: μετρήσεις που έγιναν με ευθύγραμμες δέσμες ασταθών σωματιδίων έδειξαν ότι ο μέσος χρόνος ζωής (πριν την αυθόρμητη διάσπαση) εξαρτάται από την ταχύτητα, όπως ακριβώς αναμένεται σύμφωνα με τη σχετική εξίσωση. Τα πειράματα αυτά έχουν επαναληφθεί τόσες φορές, και με τέτοια ακρίβεια, ώστε δεν παραμένει καμιά λογική αμφιβολία για το συμπέρασμα ότι η επιβράδυνση του ρυθμού των κινούμενων ρολογιών είναι μια αληθινή ιδιότητα της φύσης και όχι ένα εξωτικό προϊόν της φαντασίας των φυσικών.

3. Οι δίδυμοι του Langevin

Ας επαναλάβουμε το περίφημο «παράδοξο των διδύμων» το οποίο διατυπώθηκε από τον Langevin για να καταδείξει τις ιδιόμορφες ιδιότητες του χρόνου που προβλέπονται από την ειδική σχετικότητα. Θα πρέπει πάντα να έχουμε υπόψη μας ότι, πέρα από ένα παράδοξο, έχουμε στην πράξη να κάνουμε μ' ένα δεδομένο της φύσης εξακριβωμένο πέρα από κάθε αμφιβολία. Υπάρχουν δυο δίδυμοι, ο F και ο G, και ο πρώτος αποφασίζει να γίνει ταξιδιώτης του διαστήματος πραγματοποιώντας ένα διαστρικό ταξίδι, ενώ ο δεύτερος παραμένει στη Γη αναμένοντας την επιστροφή του. Η αναχώρηση λαμβάνει χώρα όταν οι δίδυμοι είναι είκοσι ετών. Το διαστημόπλοιο του F επιταχύνεται γοργά έως ότου φτάσει μια ταχύτητα 99% της ταχύτητας του φωτός, έπειτα ταξιδεύει μέχρι να πλησιάσει το Mira Ceti, ένα διάσημο μεταβλητό αστέρι που απέχει από μας 32 έτη φωτός. Φτάνοντας εκεί σταματάει, τραβάει γρήγορα μερικές φωτογραφίες αυτού του αστρικού συστήματος, έπειτα επιταχύνεται προς την Γη, φτάνοντας πάλι σύντομα τη σταθερή ταχύτητα 0,99C. Πόσα χρόνια θα έχουν περάσει όταν αυτός θα έχει επιστρέψει; Ο υπολογισμός είναι εύκολος για τον δίδυμο G; περνάνε περίπου 64,6 χρόνια (αγνοούμε το σύντομο χρονικό διάστημα της επιτάχυνσης και του φρεναρίσματος). Η κατάσταση είναι διαφορετική για τον F, ο οποίος υφίσταται από κοινού τεχνολογικά και βιολογικά την επιβράδυνση του ρυθμού όλων των φυσικών διαδικασιών. Κατά την κίνηση του διαστημόπλοιου τα πάντα λειτουργούν βραδύτερα, από τα ρολόγια ως τα computers και ως τους χτύπους της καρδιάς των ταξιδιωτών. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο ίδιος ο χρόνος επιβραδύνεται κατά έναν παράγοντα περίπου 0,141. Έτσι, για το δίδυμο F το ταξίδι διαρκεί στην πράξη $64,6 \times 0,141 = 9$ χρόνια. Όταν στο τέλος του ταξιδιού ο F ξανασυναντά τον G, ο ίδιος εξακολουθεί να είναι νέος (29 χρονών), ενώ ο G είναι ογδοντάχρονος.

Το επιχείρημα αυτό είναι παράδοξο στο βαθμό που στην καθημερινή μας εμπειρία δεν αντιμετωπίζουμε κάτι τέτοιο, αλλά αυτό είναι φυσικό εφόσον οι μέγιστες ταχύτητες που κατάφερε να αναπτύξει ο άνθρωπος είναι φοβερά μικρές συγκρινόμενες με την ταχύτητα του φωτός. Παρ' όλα αυτά, ένα αληθινό πείραμα χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα «ανθρώπινα» ταξίδια έχει πραγματοποιηθεί το 1972 από τους Hafele και Keating¹⁵, που χρησιμοποίησαν μερικά ευαίσθητα ατομικά ρολόγια καισίου. Αφού όλα τα ρολόγια συγχρονίστηκαν προσεκτικά, έπειτα κάποια απ' αυτά τοποθετήθηκαν σε συνηθισμένα εμπορικά αεροπλάνα τζετ που τα μετέφεραν σ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής γύρω από τον πλανήτη. Η μια πτήση ήταν ανατολικής κατεύθυνσης, η άλλη δυτικής. Ύστερα από κάθε πτήση γινόταν η σύγκριση αυτών των ρολογιών μ' αυτά που είχαν παραμείνει στο έδαφος, στο εργαστήριο των δυο φυσικών. Παρατηρήθηκε ότι, αναφορικά με τα τελευταία ρολόγια το ταξίδι δυτικής κατεύθυνσης δημιούργησε καθυστέρηση 59 ± 10 nanoseconds, ενώ το ανατολικής κατεύθυνσης μια πρόοδο 273 ± 7 nanoseconds. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τις προβλέψεις της θεωρίας της Σχετικότητας. Η χρονική διαφορά μεταξύ των δυο πτήσεων αποδόθηκε κυρίως στη θεμελιακή ασυμμετρία των δυο φυσικών καταστάσεων: για την πτήση ανατολικής κατεύθυνσης η ταχύτητα του τζετ έπρεπε να προστεθεί στην περιστροφική ταχύτητα της γης, ενώ για την άλλη να αφαιρεθεί. Επομένως, σε σχέση με το κέντρο της Γης η μια πτήση ήταν πολύ ταχύτερη από την άλλη.

Υπάρχουν πολλές εργασίες που ασχολούνται με το παράδοξο των διδύμων, και μπορούν να διαιρεθούν σε δυο ομάδες:

α. αυτές που αναγνωρίζουν στην ταχύτητα του ταξιδεύοντος διδύμου (F) την αιτία της επιβράδυνσης του ρυθμού των βιολογικών του διαδικασιών,

β. αυτές που, αντίθετα, προσπαθούν να αποδώσουν το ίδιο αποτέλεσμα στην επιτάχυνση που υφίσταται ο F κατά την αναχώρηση, την άφιξη και τη στιγμή της αντιστροφής της κατεύθυνσης της ταχύτητας.

Προφανώς, αυτοί που ακολουθούν το δεύτερο τρόπο σκέψης προσπαθούν να σώσουν την τέλεια συμμετρία μεταξύ των διάφορων ευθύγραμμων ομαλών κινήσεων κατά την απαίτηση της αρχής της σχετικότητας, αλλά ο ισχυρισμός είναι πραγματικά δύσκολο να διασωθεί, όπως αποδείχτηκε από τον Builder¹⁶. Το επιχείρημά του είναι πολύ απλό: στη φυσική μπορεί κανείς να αναγνωρίσει την αιτία ενός φαινομένου μεταβάλλοντάς το, και πιστοποιώντας την ύπαρξη των αντίστοιχων μεταβολών από το αποτέλεσμα. Εν συντομία, στην περίπτωση των διδύμων, εάν ο F διπλασιάζει το μήκος των διαδρομών που διαγράφονται με ευθύγραμμη ομαλή κίνηση, αφήνοντας αμετάβλητους τους χρόνους της επιτάχυνσης, θα διαπιστώσει ότι η ηλικία του διαφορά από τον G διπλασιάζεται επίσης. Επομένως η ταχύτητα και όχι η επιτάχυνση είναι υπεύθυνη για την ασύμμετρη ενηλικίωση.

Ο Herbert Dingle, καθηγητής της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας της Επιστήμης στο Λονδίνο, στη δεκαετία του '50 και στις αρχές του '60 διεξήγαγε επιική μάχη ενάντια σε κάποια συμπεράσματα της θεωρίας της Σχετικότητας και ειδικότερα, ενάντια στην ασύμμετρη ενηλικίωση όπως παρουσιάζεται στο παράδοξο των διδύμων. Πίστευε ότι η επιβράδυνση του ρυθμού των κινούμενων ρολογιών είναι καθαρή φαντασίωση. Η άποψη αυτή βεβαίως ανατράπηκε από τα άμεσα πειραματικά δεδομένα που συνελέγησαν αργότερα. Παρ' όλα αυτά, η εργασία του μας κληρονομεί ένα σπάνιο κόσμημα, ένα συλλογισμό που φέρει το όνομά του. Δεδομένου ότι ο συλλογισμός αυτός είναι ένα τεχνικό πρότυπο τέλειου απαγωγικού συμπερασμού, οι συνέπειές του είναι απόλυτα αναγκαίες.

Ο συλλογισμός του Dingle στην πρωτότυπη διατύπωσή του έχει ως εξής¹⁷:

1. (Κύρια προκείμενη). Σύμφωνα με την αρχή της σχετικότητας, εάν δυο σώματα (για παράδειγμα δυο πανομοιότυπα ρολόγια) χωριστούν και επανενωθούν, δεν υπάρχει κανένα παρατηρήσιμο φαινόμενο που θα δείξει με απόλυτη έννοια ότι το ένα και όχι το άλλο έχει κινηθεί.

2. (Δευτερεύουσα προκείμενη). Εάν κατά την επανένωση το ένα ρολόι θα είχε καθυστερήσει κατά κάποια ποσότητα εξαρτώμενη από τη σχετική τους κίνηση, και το άλλο δεν θα είχε, αυτό το φαινόμενο θα έδειχνε ότι το πρώτο είχε κινηθεί και όχι το δεύτερο.

3. (Συμπέρασμα). Άρα, εάν η αρχή της σχετικότητας είναι αληθής, τα ρολόγια πρέπει να παρουσιάσουν είτε την ίδια καθυστέρηση είτε καθόλου: και στις δυο περιπτώσεις, οι ενδείξεις τους θα συνέπιπταν κατά την επανένωση εάν συνέπιπταν κατά το χωρισμό.

Σήμερα μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η ασύμμετρη συμπεριφορά των δυο ρολογιών είναι εμπειρικά επιβεβαιωμένη (μυόνια των κοσμικών ακτίνων, πείραμα με το δακτύλιο μυονίων του CERN, πειράματα με γραμμικές δέσμες ασταθών σωματιδίων, πείραμα των Hafele-Keating). Επομένως, ως συνέπεια του σημείου 3, η αρχή της σχετικότητας πρέπει με κάποιο τρόπο να απορριφθεί. Πράγματι, τον τελευταίο καιρό φαίνεται να κερδίζει έδαφος

στο επιστημονικό περιβάλλον η άποψη ότι «Η θεωρία της Σχετικότητας» είναι μόνο ένα όνομα που δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται και πολύ κυριολεκτικά.

Ο ολικός σχετικισμός που η θεωρία θα φαινόταν ότι προσυπογράφει, δεν είναι παρά μια πλάνη. Συμπερασματικά, όλα όσα αναφέρονται στη θεωρία της Σχετικότητας δεν είναι σχετικά: αυτή περιλαμβάνει επίσης και κάτι που δεν μπορεί να είναι σχετικό, κάτι που είναι απόλυτο! Όπως έγραψε ο Dingle:

«Θα έπρεπε να είναι εμφανές ότι εάν υπάρχει ένα απόλυτο φαινόμενο, που είναι συνάρτηση της ταχύτητας, τότε η ταχύτητα πρέπει να είναι απόλυτο μέγεθος. Κανένας χειρισμός των τύπων ή επινόηση ευφυνών πειραμάτων δεν μπορεί να αλλάξει αυτό το απλό γεγονός»¹⁷.

4. Lorentz και οι επιδράσεις του αιθέρα

Ο Einstein ήταν ο πρώτος που κατέληξε στο συμπέρασμα ότι *όλα τα κινούμενα ρολόγια* πρέπει να επιβραδύνουν το ρυθμό τους σύμφωνα με τη γνωστή μας εξίσωση: αυτή ήταν μια από τις συνέπειες της δικής του ειδικής θεωρίας της Σχετικότητας. Η άποψή του το 1905 ήταν περίπου η εξής: ο αιθέρας δεν υπάρχει, επομένως δεν έχει νόημα να θεωρούμε την κίνηση σχετικά μ' αυτό που δεν υπάρχει. Έχει νόημα μόνο να την περιγράψουμε σχετικά με συγκεκριμένα αντικείμενα. Η συστολή των ράβδων και η επιβράδυνση του ρυθμού των ρολογιών συμβαίνουν πάντοτε σχετικά με τους παρατηρητές που τους βλέπουν σε κίνηση και υπάρχει μια συμμετρία (φυσική και φιλοσοφική) μεταξύ των συμπερασμάτων των διάφορων αδρανειακών παρατηρητών. Θεωρώντας μια ράβδο σε κίνηση σχετικά με τους διάφορους αδρανειακούς παρατηρητές $O_1, O_2, \dots, O_n$, που τη βλέπουν να κινείται με αντίστοιχες ταχύτητες $V_1, V_2, \dots, V_n$, το μήκος της προκύπτει να μικραίνει κατά τους παράγοντες:

$$\sqrt{1 - \frac{V_1^2}{c^2}}, \sqrt{1 - \frac{V_2^2}{c^2}}, \dots, \sqrt{1 - \frac{V_n^2}{c^2}}$$

Μια λογική ερώτηση φαίνεται να είναι η ακόλουθη: «Τι συμβαίνει πραγματικά στη ράβδο, ποιο είναι το αληθινό της μήκος;» Η σχετικιστική απάντηση είναι ότι η ίδια η ερώτηση δεν έχει νόημα, και ότι όλες οι απόψεις των διάφορων παρατηρητών είναι εξίσου, έστω και εν μέρει, έγκυρες. Μ' αυτόν τον τρόπο η φιλοσοφία του σχετικισμού και του υποκειμενισμού γίνεται κυρίαρχη στη φυσική για τις παρατηρήσεις των αδρανειακών παρατηρητών.

Ο Paul Ehrenfest, αισθάνθηκε έντονα την ύπαρξη τέτοιων προβλημάτων. Η ειδική θεωρία της σχετικότητας θεμελιωμένη στην άρνηση του αιθέρα απαιτεί μια πλήρη ισοδυναμία των παρατηρητών που βρίσκονται σε ομαλή σχετική κίνηση, αφού δεν υφίσταται κανένας λόγος για τον οποίο θα έπρεπε να μην είναι ισοδύναμα, δεδομένου ότι κινούνται σχετικά με κάτι ανύπαρκτο. Παρ' όλα αυτά, εάν κανείς υιοθετήσει την αρχή της ισοδυναμίας την οποία διατύπωσε ο Einstein το 1916, η αδράνεια πηγάζει από τις βαρυτικές επιδράσεις απόμακρων μαζών, επιδράσεις που μεταφέρονται με τα φυσικά πεδία που υπάρχουν στον κενό χώρο. Όμως η λέξη «αιθέρας» και η λέξη «πεδίο» λένε πάνω κάτω το ίδιο πράγμα, ένα

κενό προικισμένο με φυσικές ιδιότητες. Αυτή η αντίφαση ανησύχησε τον Ehrenfest, που το 1919 έγραψε στον Einstein: «Τώρα πια κανείς δεν μπορεί να πει ότι κινούνται σχετικά με κάτι ανύπαρκτο, καθώς τώρα κινούνται σχετικά με κάτι πελώριο. Einstein, το ανακατεμένο μου στομάχι μισεί τη θεωρία σου — σχεδόν μισεί εσένα τον ίδιο! Πώς μπορώ να διασφαλίσω τους μαθητές μου; Τι μπορώ να απαντήσω στους φιλόσοφους;»¹⁸.

Μπορεί βέβαια να συμφωνήσει κανείς με τον Ehrenfest ότι η επιβράδυνση του ρυθμού των κινούμενων ρολογιών είναι εντελώς ακατανόητη (εκτός από ένα καθαρά φαινομενικό, αλλά κατ' ουσία, μη πραγματικό φαινόμενο — αλλά στο πείραμα με τα μυνόνια είναι παρόν για να δείξει ότι δεν είναι έτσι) εάν δεν υπάρχει συγκεκριμένο μέσο που να δημιουργεί την ίδια την επιβράδυνση.

Είναι βέβαιο ότι αρχικά η θεωρία της Σχετικότητας είχε πείσει πολύ λίγους ότι ο αιθέρας έπρεπε να εγκαταλειφθεί. Έχουμε ήδη αναφέρει ότι ο ίδιος ο Einstein άλλαξε την άποψή του ύστερα από το 1920, ενδεχομένως κάτω από την επιρροή του Ehrenfest. Επιπλέον από την επίδραση που είχε η δική του θεμελίωση της αρχής της ισοδυναμίας. Ταυτόχρονα, ο Poincaré εξακολούθησε να γράφει περί αιθέρα, για παράδειγμα σε μια διάλεξη της French Physical Society το 1912 με τίτλο «Les rapports de la matière et de l'éther»¹⁹.

Ακόμη, ο Lorentz συνέχισε να εργάζεται σε μια γραμμή σκέψης με προτίμηση προς τον αιθέρα. Το 1909 δημοσίευσε ένα βιβλίο στο οποίο αναπτύχθηκε η δική του διαφορετική θεμελίωση της σχετικιστικής θεωρίας. Για άλλη μια φορά, η ιδέα ήταν να αρχίσει από κάποιες σημαντικές αλλά ειδικές συνέπειες της κλασικής φυσικής και να υποθέσει στη γενική του εγκυρότητα. Ο Lorentz έκανε τρεις παραδοχές:

1. Κάθε ράβδος που βρίσκεται σε κίνηση ως προς τον αιθέρα με ταχύτητα V παράλληλη προς το μήκος της, συστέλλεται κατά έναν παράγοντα $\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$.

2. Κάθε ρολόι που βρίσκεται σε κίνηση ως προς τον αιθέρα με ταχύτητα V , υφίσταται επιβράδυνση του ρυθμού των δεικτών του κατά έναν παράγοντα $\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$.

3. Η σύμβαση του Einstein για το συγχρονισμό των ρολογιών είναι έγκυρη, δηλαδή η ταχύτητα του φωτός μπορεί να θεωρηθεί ίση με C σ' όλες τις κατευθύνσεις και σ' όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

Θα πρέπει να έχουμε ακόμη υπόψη μας, ότι ο Lorentz αντιλαμβάνοταν μάλλον ασύμμετρα τη συστολή των κινούμενων σωμάτων (την οποία θεωρούσε ως πραγματικό φυσικό φαινόμενο) και την επιβράδυνση των κινούμενων ρολογιών (την οποία θεωρούσε ως χρησιμη σύμβαση). Αποκαλούσε το χρόνο των μετασχηματισμών του, «τοπικό χρόνο», αλλά μόνο για να διευκολύνεται ο τρόπος που εκφραζόμαστε.

Οι προηγούμενες τρεις υποθέσεις του επέτρεψαν να αναπτύξει μια θεωρία τυπικά ισοδύναμη με τη θεωρία της Σχετικότητας, αλλά βασισμένη στην υποτιθέμενη ύπαρξη του αιθέρα: η φιλοσοφική διαφορά ήταν μάλλον σημαντική, ακόμη και αν το προνομιακό σύστημα αναφοράς, θεωρούμενο ως υφιστάμενο εξαρχής, έχασε όλη την ιδιαιτερότητα στο θεωρητικό φορμαλισμό με το να κρύβεται, τρόπος του λέγειν, στο σύνολο των άλλων αδρανειακών συστημάτων αναφοράς. Ιδού ο τρόπος με τον οποίο ο Lorentz περιγράφει την κατάσταση:

«Τα δικά του (του Einstein) αποτελέσματα σχετικά με τα ηλεκτρομαγνητικά και τα οπτικά φαινόμενα... συμφωνούν γενικά με εκείνα τα οποία έχουμε επιτύχει στις προηγούμενες σελίδες. Η κύρια διαφορά είναι ότι ο Einstein απλά θέτει ως αξίωμα αυτό που εμείς έχουμε εξαγάγει, με κάποια δυσκολία και όχι ολότελα ικανοποιητικά, από τις θεμελιώδεις εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Για το λόγο αυτό θα μπορούσε βεβαίως να επαινεθεί, επειδή μας έκανε να δούμε στα αρνητικά αποτελέσματα των πειραμάτων, όπως εκείνα του Michelson, Rayleigh και Brace, όχι μια συμπτωματική εξουδετέρωση των αντιτιθέμενων φαινομένων αλλά την αποκάλυψη μιας γενικής και θεμελιώδους αρχής.

Εντούτοις, νομίζω, ότι θα μπορούσαμε να προβάλλουμε κάτι υπέρ της μορφής με την οποία έχω εκθέσει τη θεωρία. Δεν μπορώ παρά να θεωρήσω τον αιθέρα, που μπορεί να είναι η έδρα ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με την ενέργειά του και τις διακυμάνσεις του, προικισμένο μ' ένα συγκεκριμένο βαθμό ουσιαστικότητας, όσο διαφορετικά και αν μπορεί να είναι αυτή από όλη τη συνηθισμένη ύλη. Μ' αυτή τη γραμμή σκέψης, φαίνεται φυσικό να μην υποθέτουμε εξ αρχής ότι δεν μπορεί ποτέ να βρεθεί μια διαφορά για το εάν ένα σώμα κινείται διαμέσου του αιθέρα ή όχι, και να μετράμε τις αποστάσεις και τα χρονικά μήκη με τις ράβδους και τα ρολόγια έχοντας μια ακίνητη θέση ως προς τον αιθέρα»²⁰.

Δεδομένου ότι ήταν αδύνατο να διακρίνει κανείς πειραματικά τη διατύπωση του Lorentz από αυτή του Einstein, οι εννοιολογικές διαφορές φαίνονταν μεταφυσικές. Κατ' αρχήν, κάθε φυσικός θα μπορούσε να επιλέξει τη θεωρία που του άρεσε περισσότερο. Στην πράξη, όμως, η τεράστια εξάπλωση των αρνητικών ιδεολογιών στην ευρωπαϊκή κουλτούρα κατά τις δεκαετίες του '20 και '30 ευνόησε σε μεγάλο βαθμό την αποδοχή του σχετικισμού του Einstein. Από την άλλη μεριά, η ίδια η δομή της θεωρίας του Lorentz αποτέλεσε αντικείμενο εύκολης κριτικής από φυσικούς που είχαν αντιρεαλιστικές τάσεις. Όπως έγραψε ο Mersenberg:

«Αφού όλα τα συστήματα αναφοράς, που βρίσκονται σε ομαλή σχετική μεταφορική κίνηση είναι ισοδύναμα για την περιγραφή της φύσης, δεν υπάρχει νόημα στην απόφαση ότι υπάρχει μια ουσία, ο αιθέρας, ο οποίος βρίσκεται σε ηρεμία μόνο σ' ένα από αυτά τα συστήματα»²¹.

Ουσιαστικά ήταν η εξάπλωση της ερμηνείας της κβαντικής μηχανικής από τη σχολή της Copenhagen, ύστερα από τα μέσα της δεκαετίας του '20, που επέφερε μια φιλοσοφική ενοποίηση σε ιδεαλιστική βάση της πλειονότητας των φυσικών. Και μέσα σ' ένα τέτοιο πλαίσιο η εγκατάλειψη του αιθέρα και η αποδοχή του υποκειμενικού σχετικισμού έγιναν η μεγάλη και σταθερή μόδα του 20ού αιώνα.

5. Συγχρονισμός των ρολογιών στη σχετικότητα

«Ακόμη και εάν φαινόταν ότι ο κόσμος των ιδεών δεν μπορεί να εξαχθεί από την εμπειρία με τα μέσα της λογικής αλλά ότι είναι, κατά κάποιο τρόπο, δημιούργημα του ανθρώπινου μυαλού, χωρίς το οποίο καμιά επιστήμη δεν είναι δυνατή, ακόμα και τότε αυτός ο κόσμος των ιδεών είναι τόσο ελάχιστα ανεξάρτητος από τη φύση της δικής μας εμπειρίας όσο τα ρούχα από τη μορφή του ανθρώπινου σώματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα αληθινό στην πε-

ρίπτωση των εννοιών μας για το χρόνο και το χώρο, τις οποίες οι φυσικοί έχουν υποχρεωθεί από τα γεγονότα να κατεβάσουν από τον Όλυμπο των *a priori* εννοιών για να τις προσαρμόσουν και να τις θέσουν σε μια εύχρηστη μορφή»²².

Μπορούμε να συμμεριστούμε ολοκληρωτικά αυτή την παρουσίαση από τον Einstein της μάχης ενάντια στον απόλυτο χώρο και το χρόνο της Νευτώνειας φυσικής. Εντούτοις, ο χρόνος της σχετικότητας δεν αντιπροσωπεύει την ολοκληρωμένη υλοποίηση αυτής της ευρείας αντίληψης, αλλά θα λέγαμε μόνο μια πολύ ειδική περίπτωση. Πράγματι, το κεντρικό σημείο της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας του 1905 ήταν η άρνηση του αιθέρα, υπό την καλά τεκμηριωμένη επιρροή του Mach. Πρόσφατα επίσης ανακαλύφθηκε ότι ο Einstein άλλαξε την άποψή του και διακήρυξε ότι εννοεί ένα χώρο προικισμένο με φυσικές ιδιότητες, τον οποίο αρκετές φορές αποκάλεσε εκ νέου «αιθέρα»²³. Παρ' όλα, αυτά η αρχική του τοποθέτηση έγινε πλατιά γνωστή, χάρη και στην υποστήριξη που παρείχαν οι εκφραστές των σχολών της Copenhagen και Göttingen σ' όλες τις σημαντικές αντιρεαλιστικές έννοιες της σύγχρονης φυσικής. Γι' αυτό το λόγο η πλειοψηφία των ενεργών φυσικών πιστεύει σήμερα ότι με τη θεωρία της Σχετικότητας η φυσική έχει διαλύσει εντελώς την ιδέα ότι το κενό είναι γεμάτο μ' έναν αιθέρα φορέα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, η απουσία του αιθέρα έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στη δυνατότητά μας να κατανοήσουμε ορθολογικά το φυσικό κόσμο, για παράδειγμα όσον αφορά τη φύση του χρόνου.

Κατά τον Giddons, η θεωρία της Σχετικότητας απλώς μετατόπισε το επίκεντρο του χωροχρόνου από το όργανο (*sensum*) του θεού του Νεύτωνα στο όργανο του αφηρημένου νοητικο-πειραματιστή του Einstein, επιτυγχάνοντας μ' αυτόν τον τρόπο την πλήρη εκκοσμίκευση της φυσικής²⁴. Και πράγματι, με την αποκλειστική χρήση άμεσα λειτουργικών εννοιών, ο Einstein ανήγαγε το χρόνο και χώρο στις δικές μας διαδικασίες μέτρησης με ρολόγια και ράβδους²⁵. Ο χρόνος της σχετικότητας έχει φτιαχτεί ώστε να εξαρτάται από τη νέα αντίληψη του ταυτόχρονου. Γι' αυτό και η αναφορά στη χρονική τάξη δυο συμβάντων χωρίς τη διευκρίνιση για το σύστημα αναφοράς στο οποίο γίνεται η μέτρηση των χρονικών τους συντεταγμένων θεωρείται ότι στερείται νόημα.

Η περιφνημη μέθοδος για το συγχρονισμό των ρολογιών που πρότεινε ο Einstein (βασισμένη στην υποτιθέμενη σταθερότητα της ταχύτητας του φωτός) είναι όχι μόνο συμβατή με την αρχή της σχετικότητας, αλλά μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο άμεση συνέπειά της. Και αυτό επειδή οι εξισώσεις του Maxwell, έξω από τα ηλεκτρικά φορτία συνεπάγονται την ισχύ της εξίσωσης d'Alembert για τα πεδία, μιας εξίσωσης που περιγράφει τη διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που έχει σταθερή ταχύτητα *C* ανεξάρτητη από την κινητική κατάσταση της πηγής. Εάν οι εξισώσεις του Maxwell ισχύουν σε κάθε αδρανειακό σύστημα αναφοράς, όπως απαιτείται από την αρχή της σχετικότητας, τότε και η αριθμητική τιμή της ταχύτητας του φωτός πρέπει να παραμένει η ίδια. Παρόλα αυτά, ο Einstein θεώρησε αναγκαίο να θέσει ως ανεξάρτητο αξίωμα το αναλλοίωτο της ταχύτητας του φωτός, διότι το 1905 η εργασία του για την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του είχε πείσει για την ύπαρξη σωματιδίων στο φως, και επομένως για την περιορισμένη ισχύ των εξισώσεων Maxwell που περιγράφουν μόνο συνεχείς διαδόσεις. Από την άλλη μεριά, ο ίδιος έδειξε σε διάφορες περιπτώσεις, ότι η συμβατική φύση της αρχής του αναλλοίωτου

ήταν εντελώς ξεκάθαρη στο νου του όπως, για παράδειγμα το 1916 όταν έγραφε για το μέσο σημείο M μιας γραμμής AB τα άκρα της οποίας χτυπιόνταν «ταυτόχρονα» από δυο αστραπές:

«Το ότι το φως απαιτεί τον ίδιο χρόνο για να διανύσει την απόσταση AM... όπως και την BM (όπου M είναι το μέσον της γραμμής AB) δεν είναι, στην πραγματικότητα, ούτε μια οπτασία ούτε μια υπόθεση για τη φύση του φωτός, αλλά μια συμφωνία (stipulation) την οποία συνάπτω με την ίδια τη δική μου ελεύθερη βούληση»²⁶.

Απ' την άλλη, αρκετά πριν από τη διατύπωση της θεωρίας της Σχετικότητας (το 1888) ο Poincare, διαπραγματεύτηκε την ανεξαρτησία της ταχύτητας του φωτός από τη διεύθυνση διάδοσής της και δήλωσε:

«Αυτή είναι μια αρχή (postulate) χωρίς την οποία θα ήταν αδύνατο να ξεκινήσουμε οποιαδήποτε μέτρηση αυτής της ταχύτητας. Θα είναι πάντοτε αδύνατο να επαληθεύσουμε πειραματικά την εν λόγω αρχή»²⁷.

Η σχετικιστική ταυτοχρονία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαδικασία συγχρονισμού των ρολογιών, η οποία θεωρείται αυθαίρετη. Έστω οι χωρικές συνεταγμένες x, y, z και ο χρόνος t σ' ένα αδρανειακό σύστημα S . Ο λειτουργικός ορισμός του ταυτόχρονου δυο απόμακρων ρολογιών που βρίσκονται σε ηρεμία στο ίδιο αδρανειακό σύστημα, θα έπρεπε να περιέχει τεράστιο βαθμό αυθαιρεσίας, μιλώντας από τη γενικά αποδεκτή σκοπιά. Η μέθοδος που αυθόρμητα έρχεται στο νου του καθενός δεν ισχύει: συγχρόνισε τα ρολόγια όταν είναι κοντά και μετέφερέ τα στα ζητούμενα σημεία. Αυτό δεν ισχύει επειδή ως τώρα είναι ξεκάθαρο ότι η μετακίνηση, δηλαδή το ίδιο το γεγονός της κατοχής μιας ταχύτητας, τροποποιεί την κίνηση των δεικτών του ρολογιού, όπως τροποποιεί και οποιαδήποτε άλλη περιοδική κίνηση την οποία κανείς μπορεί να σκεφτεί να χρησιμοποιήσει με σκοπό να μετρήσει το χρόνο. Η μετακίνηση ενός ρολογιού μπορεί να γίνει σ' ένα σύντομο χρονικό διάστημα με υψηλή ταχύτητα, είτε σε μεγάλο χρονικό διάστημα με πολύ μικρή ταχύτητα, όμως πάντοτε υπάρχει μια αναπόφευκτη πεπερασμένη καθυστέρηση προκύπτουσα από την κίνηση του ρολογιού.

Πολλοί έχουν καταλήξει στην άποψη ότι, δεδομένης της κατάστασης, «ο συγχρονισμός» μπορεί να γίνει αυθαίρετα, ακολουθώντας κριτήρια οποιουδήποτε τύπου αρκεί αυτά να οδηγούν στην αναμφίβολη ταυτοποίηση των συμβάντων. Εν γένει, μπορεί κανείς να θεωρεί ότι ο χρόνος είναι διαφορετικός σε δυο αδρανειακά συστήματα αναφοράς $S(x, y, z, t)$ και $S'(x', y', z', t')$ και ότι η «καθυστέρηση» $t'-t$ η οποία a priori μπορεί να είναι θετική, μηδενική ή αρνητική, εξαρτάται όχι μόνον από το χρόνο t , αλλά ακόμη και από το γεωμετρικό σημείο στο οποίο μετριέται ο χρόνος t' .

Επομένως γράφουμε:

$$t' = n(x', y', z', t) \quad (1)$$

Με άλλα λόγια, ο χρόνος t' που δείχνει ένα ρολόι T' του συστήματος S' μπορεί να διαφέρει από το χρόνο t του ρολογιού T του συστήματος S , το οποίο περνάει κοντά του, κατά μια ποσότητα εξαρτώμενη όχι μόνο από τον t αλλά επιπλέον και από τη θέση στην οποία βρίσκεται το T' . Πράγματι η συνάρτηση n (που είναι «συνάρτηση συγχρονισμού») πληροφορεί με ποιον τρόπο ο t' εξαρτάται τόσο από τον t όσο και από το σημείο (x', y', z') του ίδιου συστήματος S' στο οποίο και ο χρόνος t' αναφέρεται. Δεδομένης μιας συ-

νάρτησης πολλών μεταβλητών αρκεί εν γένει να αλλάξουν μερικές απ' αυτές για να αλλάξει η τιμή της. Επομένως, θεωρώντας δυο γεγονότα ταυτόχρονα στο S (έχουν το ίδιο t) αλλά που λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικά σημεία (διαφορετικά x', y', z'), από την εξίσωση (1) συνεπάγεται ότι στη γενική περίπτωση αυτά τα γεγονότα δεν είναι πλέον ταυτόχρονα στο S' . Αυτό και τίποτα άλλο δεν είναι η σχετικότητα του ταυτόχρονου!

Σύμφωνα με τους συγγραφείς που πιστεύουν στο συμβατικό χαρακτήρα του ταυτόχρονου, υπάρχει μια σημαντική αυθαιρεσία στην επιλογή της συνάρτησης n . Σ' όλες τις περιπτώσεις η n δεν μπορεί να είναι πλήρως συμβατική, δεδομένου ότι η εξάρτησή της από τον t' οδηγεί στα φαινόμενα καθυστέρησης των κινούμενων ρολογιών¹².

Ο Reichenbach στο βιβλίο του, *The Philosophy of Space & Time*, ασχολήθηκε με την εξής περίπτωση: σ' ένα αδρανειακό σύστημα S , ένα φωτεινό σήμα αναχωρεί από το σημείο A τη χρονική στιγμή t_1 , ανακλάται πίσω στο σημείο B τη στιγμή t_2 και επιστρέφει στο A τη στιγμή t_3 . Το πρόβλημα είναι πώς να συγχρονιστεί ένα ρολόι πλησίον του B με αυτό πλησίον του A . Στη θεωρία της Σχετικότητας θεωρείται δεδομένο ότι η μονόδρομη ταχύτητα του φωτός έχει την ίδια τιμή τόσο από το A στο B , όσο και από το B στο A , ώστε $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$, επομένως ο χρόνος t_2 του ρολογιού B , μπορεί να γραφτεί με όρους του ρολογιού A , t_3 και t_1 ως εξής:

$$t_2 = t_1 + 1/2(t_3 - t_1) \quad (2)$$

Ο Reichenbach σχολιάζει:

«Αυτός ο ορισμός είναι ουσιώδης για την ειδική θεωρία της σχετικότητας, αλλά δεν είναι επιστημολογικά αναγκαίος. Εάν ακολουθούσαμε έναν αυθαίρετο κανόνα περιορισμένο μόνο στη μορφή

$$t_2 = t_1 + \epsilon(t_3 - t_1) \quad 0 < \epsilon < 1$$

αυτός παρομοίως θα ήταν επαρκής και δεν θα μπορούσε να θεωρηθεί λανθασμένος. Εάν η ειδική θεωρία της σχετικότητας προτιμάει τον πρώτο ορισμό, δηλαδή θέτει $\epsilon = 1/2$, το κάνει υπό το πρίσμα ότι αυτός ο ορισμός οδηγεί σε απλούστερες σχέσεις»²⁹.

Το 1979 ο Jammer, πραγματευόμενος τον συντελεστή ϵ του Reichenbach, τόνισε ότι:

«Μια από τις θεμελιώδεις ιδέες που βρίσκονται στη βάση του εννοιολογικού οικοδομηματος της σχετικότητας, όπως επανειλημμένως τονίστηκε από τους Hans Reichenbach και Adolf Grünbaum, είναι το συμβατικό στοιχείο του ενδοσυστημικού ταυτόχρονου απομακρυσμένου συμβάντων». Και αργότερα πρόσθεσε:

«Η "θέση του συμβατικού χαρακτήρα του ενδοσυστημικού ταυτόχρονου απομακρυσμένων συμβάντων" ή σύντομα "θέση συμβατικότητας" συνίσταται στην πρόταση ότι η αριθμητική τιμή του ϵ δεν είναι απαραίτητο να είναι $1/2$, αλλά δύναται να είναι οποιοσδήποτε αριθμός στο ανοιχτό διάστημα ανάμεσα στο 0 και το $1/2$, δηλ. $0 < \epsilon < 1/2$, χωρίς αυτό να οδηγεί σε καμιά σύγκρουση με την εμπειρία»³⁰.

Διάφορες τιμές του ϵ θα αντιστοιχούν ξεκάθαρα σε διαφορετικές τιμές της μονόδρομης ταχύτητας του φωτός (η αμφίδρομη ταχύτητα μπορεί να μετρηθεί μ' ένα μόνο ρολόι και δεν ανακύπτει το πρόβλημα του συγχρονισμού). Επομένως, η ελευθερία της επιλογής της παραμέτρου ϵ θα συνεπαγόταν μια αντίστοιχη ελευθερία για την ταχύτητα του φωτός!

Ως απάντηση όλων αυτών μπορεί κανείς να πει ότι εάν μια επιστημονική πρόταση είναι αληθής τότε δεν μπορεί να ανατραπεί, αλλά εάν είναι μόνο συμβατική γίνεται άμεσα

ενδιαφέρουσα η αναζήτηση των εναλλακτικών προτάσεων, οι οποίες θα βασίζονται σε συμβάσεις διαφορετικές από αυτήν που συνήθως αποδεχόμαστε. Ιδιαίτερα, εάν η σταθερότητα της ταχύτητας του φωτός είναι συμβατική, είναι προφανώς νόμιμο να μελετήσουμε τις θεωρίες στις οποίες αυτή η σταθερότητα δεν είναι αληθής. Αλλά μ' αυτόν τον τρόπο θα παρβασιζόταν και η αρχή της σχετικότητας. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει απλώς ότι η αρχή της σχετικότητας δεν είναι παρὰ μια ανθρώπινη σύμβαση και όχι ένα πραγματικό γεγονός της φύσης: μια συμβατική «αλήθεια», όπως το αναλλοίωτο της ταχύτητας του φωτός, δεν μπορεί να αποτελεί ένα αναγκαίο επακόλουθο της αρχής της σχετικότητας, εάν αυτή είναι μια αντικειμενική αλήθεια! Αντικειμενικές προκείμενες μπορούν να οδηγήσουν μόνο σε ομοίως αντικειμενικά επακόλουθα...

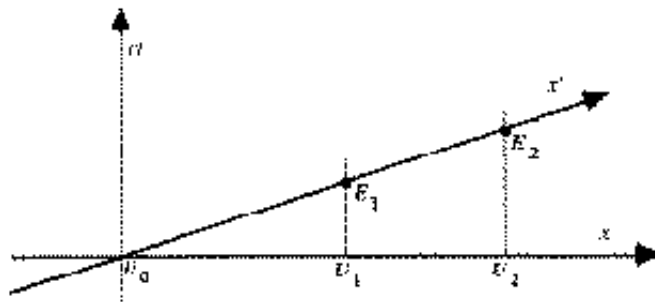
6. Einstein — Παρμενίδης και η πραγματικότητα του μέλλοντος

Η θεωρία της Σχετικότητας οδηγεί σε παράξενα αποτελέσματα αν τη χρησιμοποιήσουμε για να κατανοήσουμε πώς πρέπει να περιγράφεται η αντικειμενική πραγματικότητα. Για να αρχίσουμε, αυτό που κάποιος βλέπει δεν μπορεί να θεωρηθεί πραγματικό στην παρούσα στιγμή, επειδή κοιτώντας απόμακρα αντικείμενα, δεν τα βλέπει κανείς όπως είναι τώρα, αλλά όπως ήταν όταν το φως που τώρα εισέρχεται στα όργανά μας τα εγκατέλειπε. Επίσης, δεν είναι λογικό να αποδίδουμε πραγματικότητα στο μέλλον, διότι η κοινή λογική μας λέει ότι αυτό ακόμη δεν υφίσταται και ότι είναι εν μέρει τουλάχιστον απροσδιόριστο. Γι' αυτούς τους λόγους ένας λογικός ορισμός της πραγματικότητας φαίνεται να είναι ο ακόλουθος: όλα όσα υπάρχουν τώρα, εδώ και οπουδήποτε αλλού. Μια διαφορετική επιλογή θα όριζε ως πραγματικά είτε τα πράγματα που δεν υπάρχουν πλέον, είτε τα πράγματα που δεν υπήρξαν ακόμη. Το φως από ένα γαλαξία μπορεί να χρειαστεί εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια για να φτάσει στα όργανά μας, και σ' αυτό το μακρύ χρονικό διάστημα το αντικείμενο που το εξέπεμψε μπορεί να έχει διαλυθεί, να έχει συγκρουστεί μ' άλλο κοσμικό αντικείμενο, ή να έχει εκραγεί (υπάρχουν εικόνες των γαλαξιών που καταστράφηκαν με πελώριες εκρήξεις). Οποσδήποτε, θα έχουν εξελιχθεί, και θα μπορούσαν τώρα να διαφέρουν σημαντικά απ' αυτό που παρατηρείται.

Ας υιοθετήσουμε τη σχετικιστική περιγραφή, μ' ένα διάγραμμα Minkowski που έχει στον άξονα των τετμημένων χωρική διάσταση (μόνο μια για γραφικούς λόγους) και το χρόνο στην τεταγμένη. Τη χρονική στιγμή $t = 0$ ένας παρατηρητής που βρίσκεται στην αρχή ενός αδρανειακού συστήματος S πρέπει να θεωρεί ως αντικειμενικά πραγματικά μέχρι την τελευταία λεπτομέρεια όλα τα συμβάντα στο χώρο. Σ' αυτό το διάγραμμα ο χώρος αναπαριστάται στον x άξονα, η εξίσωση του οποίου είναι $t = 0$, και που συνεπώς περιέχει όλα τα συμβάντα που είναι ταυτόχρονα με τη στιγμιαία παρουσία του παρατηρητή στην αρχή, κατά τη χρονική στιγμή $t = 0$.

Αν θεωρήσουμε ένα άλλο αδρανειακό σύστημα S' , οι άξονές του x' και t' αναπαρίστανται στο διάγραμμα Minkowski ως ευθείες γραμμές στο επίπεδο (x, ct) εξαιτίας της γραμμικότητας των μετασχηματισμών Lorentz. Ο παρατηρητής, ακίνητος στο S' , πρέπει να προσδώσει πραγματικότητα σε όλα τα συμβάντα που πραγματοποιούνται κατά τη δική

του παρούσα στιγμή $t' = 0$. Τα συμβάντα αυτά είναι βέβαια διαφορετικά από αυτό που συνιστούν την πραγματικότητα του πρώτου παρατηρητή. Σύμφωνα με την αρχή της σχετικότητας, η ερώτηση για το ποιος από τους δυο παρατηρητές έχει δίκιο στερείται νοήματος. Δεδομένης της πλήρους συμμετρίας ανάμεσα στα αδρανειακά συστήματα, έχουν και οι δυο δίκιο. Έτσι, όλα τα συμβάντα του άξονα X' , του οποίου η εξίσωση είναι $t' = 0$ και η κλίση εξαρτάται από την σχετική ταχύτητα του S' ως προς το S , μπορούν να θεωρηθούν το ίδιο πραγματικά όσο και τα συμβάντα του άξονα X . Η γραμμή πραγματικότητας του δεύτερου παρατηρητή έχει μια κλίση με το χρόνο σχετικά μ' αυτή του πρώτου και επιπλέον διέρχεται από την αρχή του διαγράμματος Minkowski (σχ. 1). Προφανώς, ο δεύτερος παρατηρητής θα προσδώσει πραγματικότητα σε συμβάντα του μέλλοντος του πρώτου, δηλαδή τα δικά του πραγματικά συμβάντα ανήκουν στο μέλλον του U_0 , τα οποία επομένως δεν είναι μέρος της πραγματικότητας αυτού του παρατηρητή. Στο προηγούμενο παράδειγμα, όμως, αυτά τα μελλοντικά συμβάντα βρίσκονται αλλού και δεν ανήκουν στο προσωπικό μέλλον του πρώτου παρατηρητή, που θεωρείται ακίνητος στην αρχή $X = 0$.



Σχ. 1. Σε ένα διάγραμμα Minkowski η γραμμή πραγματικότητας ενός κινούμενου παρατηρητή είναι ο άξονας X' , ο οποίος συμπεριλαμβάνει τα συμβάντα όπως $E_1, E_2, \dots$ που ανήκουν στο μέλλον των παρατηρητών $U_1, U_2, \dots$ οι οποίοι βρίσκονται στον άξονα X του «ακίνητου» παρατηρητή U_0 .

Το νόημα αυτού του επιχειρήματος μπορεί εύκολα να φανεί, αν θεωρήσουμε ότι στο σύστημα S υπάρχουν διαφορετικοί παρατηρητές ευρισκόμενοι σε διαφορετικά σημεία $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$ τον άξονα X , εφοδιασμένοι όλοι με ρολόγια συγχρονισμένα κατά τη διαδικασία που προτείνεται από τον Einstein. Αυτοί οι παρατηρητές είναι όλοι ισοδύναμοι όσον αφορά την περιγραφή της πραγματικότητας, αφού ο χρόνος $t = 0$ είναι ίδιος για όλους τους, και η πραγματικότητα συνίσταται στα συμβάντα του άξονα X , φυσικά είναι ισοδύναμοι και με τον προαναφερθέντα παρατηρητή στη θέση $x=0$. Είναι τώρα ξεκάθαρο ότι η γραμμή πραγματικότητας του δεύτερου παρατηρητή διέρχεται από το προσωπικό μέλλον κάποιων παρατηρητών ακίνητων στο σύστημα S [αυτών που βρίσκονται στο θετικό (αρνητικό) ημίαξονα X , εάν το S' κινείται με ταχύτητα στην κατεύθυνση $+x$ ($-x$)]. Όλο αυτό προσδίδει πραγματικότητα στο προσωπικό μέλλον κάποιων μεμονωμένων παρατηρητών του συστήματος S .

Μέχρι στιγμής έχει αποδοθεί πραγματικότητα σε μια μεμονωμένη στιγμή της μελλοντικής πραγματικότητας αλλά το επιχείρημα μπορεί εύκολα να γενικευτεί. Πράγματι, από κάθε σημείο πάνω από τον άξονα X του διαγράμματος (ct, x) διέρχονται άπειρο πλήθος γραμμών πραγματικότητας, με κάθε μια απ' αυτές τις γραμμές να αντιπροσωπεύουν την

(σχετικιστική) πραγματικότητα κάποιου νόμιμου αδρανειακού παρατηρητή. Ο μόνος περιορισμός είναι ότι η κλίση αυτών των γραμμών πραγματικότητας στο διάγραμμα (ct, x) δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 45° , αφού όλες οι ταχύτητες είναι υποφωτεινές. Παρ' όλα αυτά, το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον είναι εντελώς πραγματικά, δηλαδή προ-καθορισμένα ως την παραμικρή λεπτομέρεια. Μεταβαίνοντας από δύο σε τέσσερις διαστάσεις μπορούμε να συνάγουμε ότι όλος ο χωρόχρονος (ct, x, y, z) είναι πραγματικός, παρ' όλο που μιν διαφέρει απόψεις που έχουν οι άνθρωποι γι' αυτό. Μ' άλλα λόγια, το δικό μου μέλλον θα έπρεπε να είναι πραγματικό, δηλαδή καθορισμένο με κάθε λεπτομέρεια, παρ' όλο που μιν φαίνεται σε μεγάλο βαθμό απροσδιόριστο, ασχημάτιστο, προς το παρόν μη πραγματικό.

Έτσι, η σχετικότητα οδηγεί σε μια πολύ παράξενη εικόνα για το σύμπαν, στο οποίο μια μοναδική πραγματικότητα πληροί ομοιόμορφα το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον: στο δικό μου παρόν άλλοι παρατηρητές, όχι λιγότερο νόμιμοι από μένα, θεωρούν το προσωπικό μου μέλλον ως δεδομένο σε όλες τις λεπτομέρειες. Σύμφωνα μ' αυτούς, δεν υπάρχει η παραμικρή ελευθερία στην οποία να βασιστώ ώστε να επηρεάσω τη ροή των γεγονότων. Η εντύπωση που έχεις για μια πραγματικότητα εξελισσόμενη συνήθως με έναν αιτιακό (όχι αιτιοκρατημένο) τρόπο, θα ήταν επομένως εντελώς υποκειμενική, ένας περιορισμός (εξαιτίας των φτωχικών μου μέσων παρατήρησης) σ' ένα σταθερό χρονικό τμήμα της ολόκληρης τετραδιάστατης πραγματικότητας. Η πραγματικότητα, επομένως, οδηγεί στο να δεχτούμε ένα υπερκαθορισμένο σύμπαν, στο οποίο ολόκληρο το μέλλον είναι εντελώς προ-καθορισμένο στις μικρότερες του λεπτομέρειες και στο οποίο όλες οι εντυπώσεις της ατομικής ελευθερίας (ακόμη και αυτές που περιορίζονται σε πολύ απλά συμβάντα, όπως η επιλογή να κρατήσουμε ή να αφήσουμε μια πέτρα να πέσει) είναι καθαρές πλάνες.

Το προηγούμενο επιχείρημα βασίζεται στην ιδέα ότι κάθε παρατηρητής έχει δικίο να θεωρεί ως πραγματικά όλα όσα υφίστανται γύρω του και αλλού κατά το δικό του παρόντα χρόνο. Υπάρχει, βέβαια, και μια άλλη δυνατότητα συμβατή με το σχετικισμό, βασισμένη στην ιδέα ότι όλοι οι παρατηρητές σφάλλουν και ότι δεν υφίσταται καμιά άλλη πραγματικότητα έξω του νοούντος υποκειμένου. Σε μια τέτοια περίπτωση, το επίπεδο (ct, x) θα γινόταν «*tabula rasa*» στο οποίο δεν υπάρχει τίποτα και η αντίστοιχη φιλοσοφία θα ήταν ο πιο καθαρός ιδεαλισμός. Μια τέτοια «λύση» είναι προφανώς ακόμη λιγότερο ενδιαφέρουσα από την προηγούμενη. Φαίνεται αδύνατο να ξεφύγουμε από τον φαύλο κύκλο (υπερ-προσδιορισμός, ιδεαλισμός) χωρίς να εγκαταλείψουμε την αρχή της σχετικότητας.

Ο Karl Popper, στην αυτοβιογραφία του, ασκεί κριτική στον προσδιορισμό. Θυμάμαι μια συζήτηση που είχε με τον Einstein στο Princeton (1950).

«Προσπάθησα να τον πείσω να εγκαταλείψει την αιτιοκρατία του, η οποία ισοδυναμούσε με την άποψη ότι ο κόσμος ήταν ένα τετραδιάστατο Παρμενίδιο συμπαγές σύμπαν στο οποίο η αλλαγή ήταν μια ανθρώπινη πλάνη, ή κάτι πλησίον αυτής. (Ο Einstein συμφώνησε ότι αυτή ήταν η άποψή του, και καθώς συζητούσαμε τον αποκάλεσα «Παρμενίδη»)»³¹.

Ο χαρακτηρισμός του Popper είναι δικαιολογημένος, καθώς και για τους δυο, Einstein και Παρμενίδη, η υποκειμενική εντύπωση της εξέλιξης είναι καθαρά φαινομενική. Ο Popper βρίσκει αυτή την περιγραφή της πραγματικότητας απαράδεκτη, και είναι δύσκολο να διαφωνήσουμε μαζί του. Είναι ξεκάθαρο τι θα πρέπει να εγκαταλείψουμε για να ξεφορτωθούμε το υπεραιτιοκρατημένο σύμπαν: την αρχή της σχετικότητας.

7. Το βέλος του χρόνου

Μια σοβαρή επίθεση ενάντια στην πλήρως φυσική φύση του χρόνου έγινε από τον Minkowski. Σ' ένα συνέδριο, στην Κολωνία το 1908, είπε:

«Οι απόψεις για το χώρο και χρόνο τις οποίες επιθυμώ να σας εκθέσω ενώπιόν σας έχουν ξεπηδήσει από το έδαφος της πειραματικής φυσικής, και σ' αυτό έγκειται η δύναμή τους. Είναι πρωταρχικές. Στο εξής ο χώρος αφ' εαυτού και ο χρόνος αφ' εαυτού, είναι καταδικασμένοι να σβήσουν σε απλές σκιές, και μονάχα ένα είδος ένωσης των δύο θα διατηρεί μια ανεξάρτητη πραγματικότητα»³².

Εκτός από το τετραδιάστατο χωρο-χρονικό συνεχές, ο Minkowski ακόμη εισήγαγε μια νέα χρονική σχέση με το παρόν συμβάν, επιπρόσθετα από την κλασική «παρελθόν» και «μέλλον», εισάγοντας το «αλλού» (elsewhere), δηλαδή το σύνολο όλων των συμβάντων που δεν είναι αιτιακά συνδεδεμένα με το παρόν συμβάν, επειδή είναι εξωτερικά από τον κώνο του φωτός. Η αναγκαιότητα αυτής της νέας και αναμφίβολα χρήσιμης έννοιας αναδύεται από τη φύση του αξεπέραστου ορίου της ταχύτητας του φωτός. Παρ' όλα αυτά, η αναγωγή του χρόνου σε έναν Καρτεσιανό άξονα σ' ένα τετραδιάστατο χώρο, υποδηλώνει ισχυρά και την αντιστοιχειμότητα του (δεδομένου ότι σε κάθε χωρικό άξονα η «θετική» κατεύθυνση είναι καθαρά συμβατική), μια πιθανή ακύρωση της διάκρισης μεταξύ παρελθόντος και μέλλοντος, μια άποψη την οποία αρχετοί ανέπτυξαν κατά τις τελευταίες δεκαετίες, μέχρι τα «delayed-choice experiments» του Wheeler³³. Ένα από τα επιχειρήματα που χρησιμοποιούνται ακόμη σήμερα υπέρ της συμμετρίας ανάμεσα στο παρελθόν και το μέλλον είναι η άποψη του Feynman ότι τα αντισωματίδια «πρέπει» να θεωρούνται ως σνήθη σωματίδια διαδιδόμενα πίσω στο χρόνο³⁴. Έτσι ένα ποζιτρόνιο θα ήταν ένα ηλεκτρόνιο που ταξιδεύει από το μέλλον στο παρελθόν. Αυτή η άποψη μπορεί να υποστηριχτεί μόνο αν αγνοήσουμε τις συγκεκριμένες συνθήκες υπό τις οποίες έγινε η ανακάλυψη του ποζιτρονίου. Ο Alvarez μας αφηγείται αυτή την ιστορία με θαυμαστή σαφήνεια:

«Ας ανακαλέσουμε το μόνο ουσιαστικό συστατικό της ανακάλυψης του ποζιτρονίου. Πάρα πολλοί φυσικοί θα λέγανε ότι η ανακάλυψη του ποζιτρονίου περιείχε την παρατήρηση ότι μια τροχιά τύπου-ηλεκτρονίου σ' ένα μαγνητικό θάλαμο νέφωσης καμπυλώθηκε σε λάθος κατεύθυνση. Αλλά αυτό δεν θα ήταν σωστό, διότι άλλοι είχαν προηγουμένως δει τροχίες τύπου-ηλεκτρονίου καμπυλωμένες με λανθασμένο τρόπο σε θαλάμους νέφωσης· το φαινόμενο πάντα αποδιδόταν σε ηλεκτρόνια κινούμενα σε αντίθετη κατεύθυνση. Πράγματι ο Skobel'tzyn (ο πρώτος που κατασκεύασε ένα θάλαμο νέφωσης) σχολίασε μια παράξενη συμπεριφορά των ηλεκτρονίων —αυτά περιστασιακά σκεδάζονταν σχεδόν σε ακριβώς 180°! (Εκ των υστέρων, αναγνωρίζουμε ότι αυτός παρατηρούσε μια δίδυμη γέννηση, όμως θεωρούσε ότι το ποζιτρόνιο ήταν ένα ηλεκτρόνιο που ταξίδευε προς την άλλη κατεύθυνση. Η μεγάλη ανακάλυψη του ποζιτρονίου από τον Anderson στηρίχτηκε ολοκληρωτικά στο γεγονός ότι αυτός γνώριζε την κατεύθυνση που κινούνταν το ποζιτρόνιο· έτσι τοποθέτησε μια μολύβδινη πλάκα στο δικό του θάλαμο νέφωσης και είδε το σωματίδιο να χάνει ενέργεια και να “καμπυλώνει” ύστερα από την έξοδό του απ' αυτήν. Πολλοί παρατηρητές είχαν δει σωματίδια που ήταν *συμβατά* με την υπόθεση του ποζιτρονίου, αλλά ο Anderson ήταν ο πρώτος που ήταν σε θέση να *απορρίψει* τις άλλες εναλλακτικές λύσεις. Για τον λόγο αυτό τον αναγνωρίζουμε ως τον άνθρωπο που ανακάλυψε το ποζιτρόνιο»³⁵.

Έτσι ένα ποζιτρόνιο δεν είναι ένα κανονικό ηλεκτρόνιο που ταξιδεύει προς το παρελθόν. Εάν ήταν, τότε το πείραμα του Anderson θα μας πληροφορούσε ότι αυτό κερδίζει ενέργεια όταν διασχίζει μια πλάκα μολύβδου (αντί να τη χάνει, όπως συμβαίνει με όλα τα γνωστά σωμάτια). Δεδομένης, όμως, της πολυποπλοκότητας των αλληλεπιδράσεων με πάρα πολλά άτομα που γίνονται μέσα στην πλάκα, η πιθανότητα τέτοιας αύξησης της ενέργειας είναι παντελώς μικρή και η συστηματική της παρατήρηση αντιφάσκει με τους γνωστούς στατιστικούς και θερμοδυναμικούς νόμους. Αφού ξεπεράσουμε αυτό το στοιχείο της σύγχυσης, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κάθε γνωστό φαινόμενο συνεπάγεται τη διάδοση της ύλης και/είτε της ενέργειας από το παρελθόν προς το μέλλον, και ποτέ σε αντίθετη χρονική κατεύθυνση. Μ' αυτή την έννοια μόνο μπορεί κανείς να πει ότι το βέλος του χρόνου υφίσταται στη φύση.

Το συμπέρασμα αυτού του μέρους είναι ότι χρόνος της φύσης κυλάει πάντοτε από το παρελθόν προς το μέλλον. Η φαινομενική αντιστρεψιμότητά του είναι μόνο μια θεωρητική απλοποίηση. Ο χρόνος δεν μοιάζει με έναν καρτεσιανό άξονα συντεταγμένων, αλλά είναι ποιοτικά διαφορετικός. Ως συνέπεια, το να μιλάμε για χωρόχρονο έχει νόημα ως μια χρήσιμη πρακτική απλοποίηση, που όμως δεν περιέχει καμιά βαθιά αλήθεια. Μάλλον θα μπορούσε να συγκαλύπτει μια αλήθεια.

8. Σχετικός χρόνος και απόλυτο ταυτόχρονο

Η υποθετική αδιαφορία της φυσικής πραγματικότητας σε σχέση με το συγχρονισμό των ρολογιών υφίσταται μόνον όσο κανείς αγνοεί τις επιταχύνσεις. Στην πράξη, όταν ένα σώμα επιταχύνεται, μπορούμε να το θεωρήσουμε σε ηρεμία σε διάφορα αδρανειακά συστήματα κατά τη διάρκεια απείρως μικρών χρονικών διαστημάτων. Συνεπώς, είναι αδύνατο να υιοθετήσουμε σ' αυτά τα συστήματα μια διαδικασία, τύπου Einstein, που απαιτεί έναν πεπερασμένο χρόνο για να συγχρονιστούν τα ρολόγια ευρισκόμενα σε διαφορετικά σημεία. Παρ' όλα αυτά, τα φυσικά συμβάντα λαμβάνουν χώρα και ο συγχρονισμός πρέπει να αποκαθίσταται, κατά κάποιον τρόπο, από την ίδια τη φύση. Θα δούμε πώς αυτό γίνεται³⁶.

Δυο όμοια διαστημόπλοια A και B βρίσκονται αρχικά σε ηρεμία στον άξονα X_0 του (προνομιακού) συστήματος αναφοράς S_0 και η μεταξύ τους απόσταση είναι d_0 . Τα ρολόγια τους είναι συγχρονισμένα με εκείνα του S_0 . Σε μια χρονική στιγμή $t_0 = 0$, τα ρολόγια αρχίζουν να επιταχύνονται προς τη θετική κατεύθυνση $+X_0$, και το πραγματοποιούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, ώστε να έχουν την ίδια ταχύτητα $U(t_0)$ σε κάθε χρονική στιγμή t_0 του συστήματος S_0 , έως ότου σε μια κοινή χρονική στιγμή $t_0 = \bar{t}_0$ του συστήματος S_0 αποκτούν μια προκαθορισμένη ταχύτητα $U = U(\bar{t}_0)$ παράλληλη προς τον άξονα $+X_0$. Για όλες τις χρονικές στιγμές $t_0 > \bar{t}_0$ τα διαστημόπλοια θεωρούνται ότι είναι σε ηρεμία σ' ένα διαφορετικό σύστημα S κινούμενο με ταχύτητα U , το οποίο αυτό, ως στερεό, συναποτελούν.

Είναι εύκολο να αποδείξει κανείς, ότι οι μετασχηματισμοί που συσχετίζουν τα συστήματα S_0 και S δεν μπορεί να είναι μετασχηματισμοί Lorentz, εάν δεν γίνει συγχρονισμός των ρολογιών ώστε να διορθωθεί αυτό που η ίδια η φύση δημιουργεί στη διάρκεια της επιτάχυνσης των διαστημοπλοίων. Αφού A και B επιταχυνθούν με τον ίδιο ακριβώς

τρόπο, τα ρολόγια τους θα συσσωρεύσουν την ίδια κατεύθυνση ως προς τα ρολόγια που βρίσκονται σε ηρεμία στο S_0 : η κίνηση είναι η ίδια για το $\underline{A}$ και το $\underline{B}$ και όλα τα αποτελέσματα της κίνησης αναγκαστικά θα συμπίπτουν, ειδικότερα η χρονική καθυστέρηση. Επομένως δύο συμβάντα ταυτόχρονα στο S_0 , θα είναι ταυτόχρονα και στο S , ακόμη και αν λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικά σημεία του χώρου (ένα στο $\underline{A}$ και ένα στο $\underline{B}$). Προφανώς έχουμε μια περίπτωση “απόλυτου” ταυτοχρονισμού, που δεν μπορεί να υπάρξει όταν εφαρμόζονται οι μετασχηματισμοί Lorentz. Οι νέοι μετασχηματισμοί που προκύπτουν μ’ αυτόν τον τρόπο ονομάστηκαν (στο [36]) «αδρανειακοί».

Ο απόλυτος συγχρονισμός όχι μόνο πραγματοποιείται συγκεκριμένα στο κινούμενο πλαίσιο των δύο διαστημοπλοίων, αλλά μπορεί να βρεθούν και πειστικά επιχειρήματα που να δείχνουν ότι δίνει την πιο φυσική περιγραφή της φυσικής πραγματικότητας. Θα υποθέσουμε ότι τα διαστημόπλοιά μας έχουν δίδυμους επιβάτες P_A και P_B . Βέβαια, κατ’ αρχήν τίποτε δεν μπορεί να τους εμποδίσει να ξανα-συγχρονίσουν τα ρολόγια τους μόλις έχει ολοκληρωθεί η επιτάχυνση και τα δύο διαστημόπλοια βρίσκονται σε ηρεμία στο σύστημα S . Εάν το κάνουν, όμως, θα ανακαλύψουν εν γένει ότι έχουν διαφορετικές βιολογικές ηλικίες την ίδια (ανα-συγχρονισμένη) στιγμή στο S , ακόμη και αν ξεκίνησαν το ταξίδι τους την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή στο S_0 και με την ίδια ταχύτητα, όπως συνομολογήθηκε παραπάνω. Όλα είναι πράγματι κανονικά, εάν αυτοί δεν εφαρμόσουν κάποια ασύμμετρη τροποποίηση του χρόνου που δείχνουν τα ρολόγια τους.

Είδαμε ότι τα ρολόγια των A και B καθυστερούν με τον ίδιο τρόπο και ότι οι μετασχηματισμοί S - S_0 δεν μπορεί να είναι αυτοί του Lorentz. Κανονικά και η γήρανση των δίδυμων στα A και B πρέπει να είναι η ίδια, δεδομένου ότι υφίστανται ταυτόσημες φυσικές επιδράσεις (ταχύτητες, επιταχύνσεις). Επομένως, οι δίδυμοι έχουν την ίδια βιολογική ηλικία όταν οι χρονικές ενδείξεις των ρολογιών τους είναι ίδιες, εάν τα ρολόγια ήταν συγχρονισμένα στο S_0 πριν την αναχώρηση και ποτέ δεν ανα-συγχρονίστηκαν έκτοτε. Βέβαια, μπορούν να πληροφορούν ο ένας τον άλλο για τις ηλικίες τους ανταλλάσσοντας φωτογραφίες (π.χ. μέσω *telefax*, ή άλλο παρόμοιο τρόπο) στις οποίες να είναι καταγεγραμμένος ο χρόνος: παραλήπτης δίδυμος θα ελέγξει στα δικά του αρχεία ότι κατά τον χρόνο που αναγράφεται στη φωτογραφία του αδερφού του ο ίδιος έμοιαζε ακριβώς ο ίδιος, και επομένως ότι είχε την ίδια βιολογική ηλικία.

Κανονικά οι δίδυμοι P_A και P_B μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα άλλον τρόπο να συγχρονίσουν τα ρολόγια τους εάν επιθυμούν, για παράδειγμα το συγχρονισμό Einstein, που οδηγεί στην ισχύ των μετασχηματισμών Lorentz ανάμεσα στα συστήματα S και S_0 . Για να γίνει αυτό πρέπει να στείλουν ένα φωτεινό σήμα, για παράδειγμα από το $\underline{A}$ στο $\underline{B}$, και πρέπει να ρυθμίσουν τουλάχιστον ένα από τα ρολόγια. Μπορούμε ακόμη να υποθέσουμε ότι ο κάθε δίδυμος έχει δυο ρολόγια και κρατάει στο ένα τον απόλυτο χρόνο, ενώ ρυθμίζει το δεύτερο να δείχνει το χρόνο Lorentz. Ακριβέστερα υποθέτουμε ότι:

P_A έχει ένα πρώτο ρολόι T_A που δείχνει το φυσικό χρόνο t_A

P_A έχει ένα δεύτερο ρολόι $\hat{T}_A$ που δείχνει το χρόνο Einstein $\hat{t}_A$

P_B έχει ένα πρώτο ρολόι T_B που δείχνει το φυσικό χρόνο $\hat{t}_B$

P_B έχει ένα δεύτερο ρολόι $\hat{T}_B$ που δείχνει το χρόνο Einstein $\hat{t}_B$

Ύστερα από ένα συγκεκριμένο αρχικό χρονικό διάστημα στο οποίο $t_A = \hat{t}_A = t_B = \hat{t}_B$, κάποιος ανα-συνχρονίζει το $\hat{T}_B$ ακολουθώντας: σ' ένα προκαθορισμένο χρόνο εκπέμπεται ένα φωτεινό σήμα από το A στο B. Η σύμβαση ότι η ταχύτητα του φωτός στο S έχει την ίδια τιμή C σε όλες τις διευθύνσεις («συνχρονισμός του Einstein») αναγκάζει τον παρατηρητή στο B να ρυθμίσει τους δείκτες του ρολογιού του $\hat{T}_B$ με τέτοιο τρόπο ώστε ο χρόνος που απαιτείται από το φως για να καλύψει την απόσταση $\underline{A} - \underline{B}$ ($d = x_B - x_A$) να είναι d/c .

Προφανώς έχουν τους συγχρονιστές στον ίδιο χρόνο t_0 στο S_0 , θα έχουμε:

$$t_B - t_A = 0 \quad (8)$$

$$\text{ενώ} \quad \hat{t}_B - \hat{t}_A = - \frac{(x_B - x_A) \beta}{C} \quad (9)$$

Το ταυτόχρονο των ρολογιών $\hat{T}_A$ και $\hat{T}_B$ είναι ξεκάθαρα διαφορετικό από αυτό των T_A και T_B ! Εάν ο P_A και P_B ανταλλάξουν φωτογραφίες στις οποίες να αναγράφεται ο χρόνος και των δύο ρολογιών T και $\hat{T}$, θα ανακαλύψουν ότι είχαν την ίδια ηλικία στον ίδιο χρόνο t , αλλά διαφορετική ηλικία κατά τον ίδιο χρόνο $\hat{t}$. Το γεγονός αυτό παρέχει ξεκάθαρη προ-τίμηση στους αδρανειακούς (και όχι του Lorentz) μετασχηματισμούς. Η ίδια η φύση φαίνεται για μια ακόμη φορά να επιλέγει τους αδρανειακούς μετασχηματισμούς για την περιγραφή των φυσικών ιδιοτήτων των συγκεκριμένα δημιουργηθέντων αδρανειακών συστημάτων. Επίσης, υφίστανται και άλλα φαινόμενα που παρέχουν ενδείξεις του ιδίου τύπου (π.χ. το φαινόμενο Sagnac), στα οποία δεν μπορούμε να επεκταθούμε για λόγους χώρου.

Οι συλλογισμοί αυτοί μας δείχνουν καθαρά το σημείο στο οποίο καταλήγουμε: μια νέα θεωρία στην οποία η επιβράδυνση του ρυθμού των κινούμενων ρολογιών δεν θα είναι πια σχετική, αλλά θα εξαρτάται μόνο από την ταχύτητα ως προς ένα προνομιακό πλαίσιο αναφοράς. Μ' αυτόν τον τρόπο, όλα τα παράδοξα του σχετικισμού θα εξαφανιστούν. Ο απόλυτος συγχρονισμός θα ισχύει πάλι, όπως ίσχυε στη Γαλιλαϊκή φυσική, και αυτό εξαφανίζει επιπλέον το παράδοξο του πραγματικού μέλλοντος που συζητήθηκε παραπάνω: όλοι οι αδρανειακοί παρατηρητές έχουν το ίδιο παρόν και συνεπώς την ίδια πραγματικότητα. Τέλος, η ύπαρξη ενός κενού (vacuum) προικισμένους με συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες γίνεται εντελώς αποδεκτή. Φυσικά, η πειραματική επιβεβαίωση αυτής της θεωρίας συνιστά ακόμη ένα πρόβλημα, αλλά κατά μια έννοια αυτό έχει ήδη γίνει από την ίδια τη φύση, τουλάχιστον στην περίπτωση του φαινομένου Sagnac³⁶.

Μετάφραση: Κώστας Γαλάνης

Βιβλιογραφία

1. Isaak Newton, Sir Issak Newton's «Mathematical Principles of Natural Philosophy» and his «Sistem of thw World», trans. Andrew Motte, rev. with an Appendix by Florian Cajori, 2 bols. (Los Angeles: University of California Press, 1966), I, 6.
2. See [1], Η παραπομπή είναι στο II, 545.

3. Παρατίθεται από L. Geymonat, *Storia del Pensiero filosofico e Scientifico*, vol. V (Garzanti, Milano, 1973), at p. 237.
4. A. Einstein, *Ann. der Physik*, 49, 769, 1916.
5. Βλ. π.χ. G. Mana and G. Zosi, *Riv. Nuovo Cim.*, 18, 1, 1995.
6. A.A. Michelson and E.W. Morley, *Amer. Jour. of Science*, 34, 333, 1887.
7. Η υπόθεση Fitzgerald αναφέρεται από O. Lodge, *London Transac.*, A 184, 727, 1893.
8. H.A. Lorentz, *Amst. Verh. Akad.*, 1, 74, 1892.
9. H.A. Lorentz, *Versuch Einer Theorie der Elektrischen und Optischen Erscheinungen*, E.J. Brill, London, 1895.
10. W. Voigt, *Nachr. K.G.W. Göttingen*, 2, 41, 1887.
11. J. Larmor, *Aether and Matter*, Univ. Press, Cambridge, 1900.
12. R.J. Kennedy and E.M. Thorndike, *Phys. Rev.*, 42, 400, 1932.
13. H.E. Ives and G.R. Stillwell, *Jour. Opt. Soc. Am.* 28, 215, 1938, *ibid.*, 31, 369, 1941.
14. J. Bailey, K. Borer, F. Combley, H. Drumm, F. Krienien, F. Lange, E. Picasso, W. von Ruden, F.J.M. Farley, J.H. Field, W. Flegel and P.M. Hetttersley, *Nature*, 268, 301, 1977.
15. J.C. Hefeale and R.E. Keating, *Science*, 177, 166, 1972.
16. G. Builder, *Austral. Jour. Phys.*, 11, 279, 1958, *ibid.*, 11, 457, 1958.
17. H. Dingle, *Nature*, 179, 866 and 1242, 1957, H. Dingle, *Introduction*, in, Henri Bergson, *Duration and Simultaneity*, pp. xv-xlii, The Library of Liberal Arts, Indianapolis, 1965.
18. M. Klein, Paul Ehrenfest, North-Holland, Amsterdam, 1970, p. 315.
19. H. Poincaré, *Jour. Phys. Théor. Appl.*, 5^e série, 2, 347, 1912.
20. H.A. Lorentz, *The Theory of Electrons and its Applications to the Phenomena of Light and Radiant heat*, Columbia U.P., New York, 1909, Dover, New York, 1952, Η παραπομπή στις 229-230 of the Dover reprint.
21. W. Heisenberg, *Physics and Philosophy*, Harper, New York 1962, p. 114.
22. A. Einstein, *The Meaning of Relativity*, 6th ed., 1922, rep. ed.: London, Chapman and Hall, 1967, p. 2.
23. L. Kostro, *An Outline of the History of Einstein's Relativistic Ether Concept*, in, *Studies in the History of General Relativity*, J. Eisenstaedt and A.J. Kox, eds., 3, 260, 1992.
24. G. Holton, «On the Origins of the Special Theory of Relativity», in G. Holton, *Thematic Origins of Scientific Thought, Kepler to Einstein*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1973, p. 171.
25. A. Einstein, *Ann. Physik*, 17, 891, 1905.
26. A. Einstein, *Relativity, The Special, The General Theory*, Chicago, 1951. Η παραπομπή στη σελ. 18.
27. H. Poincaré, *Rev. Metaphys. Morale*, 6, 1, 1898.
28. F. Selleri, *Physics Essays*, 8, 342, 1995.
29. H. Reichenbach, *The Philosophy of Spece and Time*, Dover Publ., New York, 1958. Η παραπομπή στη σελ. 17.
30. M. Jammer, *Some fundamental problems in the special theory of relativity*, in *Problems in the Foundations of Physics*, G. Toraldo di Francia, ed., pp. 202-236, Società Italiana di Fisica, Bologna, and North Holland, Amsterdam, 1979.
31. K. Popper, *Unended Quest, an Intellectual Biography*, Fontana/Collins, Glasgow, 1976, p. 129.
32. H. Minkowski, Address delivered at thw 80th Assembly of German Natural Scientists and Physicians, Cologne, 21 september, 1908. English translation in, H.A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski and H. Weyl, *The Principle of Relativity*, Dover, New York, 1952.
33. J.A. Wheeler, *Delayed-Choice Experiments and the Bohr-Einstein Dialog*, Paper presentad at the joint meeting of the American Philosophical Society and of thw Royal Society, London, June 5, 1980.
34. R. Feynman, *Phys. Rev.*, 76, 749, 1949.
35. L.W. Alvarez, in *Proc. 1975 Int. Symp. Lepton and Photon Interactions at High Energies*, Stanford, 1975, p. 967.
36. F. Selleri, *Found. Phys.*, 26, 641, 1996, *Found. Phys. Letters*, 9, 43, 1996.
37. F. Selleti, *Il principio di relatività e la natura del tempo*, in print on, *Il Giornale di fisica* of the Italian Physical Society, 1997.