

Paul Davies
ΧΡΟΝΟΜΗΧΑΝΕΣ



PAUL DAVIES

ΧΡΟΝΟΜΗΧΑΝΕΣ

 ΤΡΑΥΛΟΣ
ΕΚΔΟΤΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ

Τίτλος πρωτοτύπου: *How to build a time machine*
Copyright © 2002, Paul Davies

Για την ελληνική γλώσσα:
Copyright © Εκδοτικός Οίκος ΤΡΑΥΛΟΣ
ISBN: 960-7990-86-2
Πρώτη έκδοση: 2004

Μετάφραση: Θεοφάνης Γραμμένος, Δρ. Μαθημ. Φυσικός
Επιμέλεια - διόρθωση δοκιμίων: Νέστορας Χούνος
Σελιδοποίηση: Εκδοτικός Οίκος ΤΡΑΥΛΟΣ
Films- Μοντάζ: Γιώργος Κεραμιάς
Εκτύπωση: Μάκης Αργυρόπουλος
Βιβλιοδεσία: Γιάννης Βαρδίκος

Κεντρική διάθεση

Εκδοτικός Οίκος ΤΡΑΥΛΟΣ
Καλλιδρομίου 54Α, 11473 ΑΘΗΝΑ
Τηλ.: 210 38 14 410 - 210 38 13 591, Fax: 210 38 28 174
Διεύθυνση στο διαδίκτυο: www.travlos.gr e-mail: travl@acci.gr

Ευχαριστίες

Είμαι ευγνώμων σε πολλούς ανθρώπους που με βοήθησαν με αυτό το βιβλίο. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στους συναδέλφους Gerard Milburn, Lee Smolin, Peter Szekeres, Andrew White και David Wiltshire, καθώς επίσης στον πράκτορά μου John Brockman και στον εκδότη μου Stefan McGrath.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες

7

Κατάλογος σχημάτων

11

Το χρονικό των ιαζιδικών στο χρόνο

13

Πρόλογος

15

1. Πώς να επισκεφθείτε το μέλλον

21

2. Πώς να επισκεφθείτε το παρελθόν

51

3. Πώς να κατασκευάσετε μια χρονομηχανή

91

4. Πώς να βγάλετε νόημα από όλα αυτά

117

Βιβλιογραφία

153

Ενδεήριο

159

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σερ Ισαάκ Νεύτων

18

Άλμπερτ Αϊνστάιν

23

Το πείραμα Χάφελε-Κίτινγκ (Hafele-Keating)

25

Διάγραμμα του φαινομένου διαστολής του χρόνου

27

Ο χρόνος ρέει ταχύτερα στο διάστημα

33

Η βαρύτητα επιβραδύνει το χρόνο

35

Βαρυτική παραμόρφωση του χρόνου

37

Το Νεφέλωμα του Καρκίνου

38

Η ενέργεια διαθέτει μάζα

41

Τι ώρα είναι τώρα;

47

Κουρτ Γκέντελ (Kurt Goedel)

52

Τζον Γουίλερ (John Wheeler)

57

Γεωμετρία πάνω σε καμπυλωμένη επιφάνεια

63

Ένας δακτύλιος Αϊνστάιν

65

Παραμόρφωση του χώρου γύρω από μια μαύρη τρύπα

67

Γέφυρα Αϊνστάιν-Ρόζεν	69
Ένα χωροχρονικό διάγραμμα	71
Καιμπυλωμένος χωρόχρονος	73
Οι κίνδυνοι από την είσοδο σε μια μαύρη τρύπα	77
Σερ Ρότζερ Πένροουζ (Roger Penrose)	78
Καρλ Σαγκάν (Carl Sagan)	80
Κιπ Θόρν (Kip Thorne)	81
Μια σκουληκότρυπα	87
Χρησιμοποιώντας μια σκουληκότρυπα ως χρονομηχανή	89
Ένα εργοστάσιο παρασκευής χρονομηχανών	93
Μεταβολή της τοπολογίας	95
Χέντρικ Κάσιμιρ (Hendrik Casimir)	103
Αρνητική ενέργεια από κινούμενο κάτοπτρο	107
Στίβεν Χόκινγκ (Stephen Hawking)	110
Χ. Τζ. Γουέλς (H. G. Wells)	115
Διαδοχικά άλματα στο παρελθόν	127
Ελεύθερη πληροφορία	129
Κβαντική απροσδιοριστία	133
Πολλά σύμπαντα	137
Διπλά είδωλα κβάζαρ	143

ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΤΩΝ ΤΑΞΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ

- 1895 Ο Χ. Τζ. Γουέλς εκδίδει το «Η μηχανή του χρόνου»
- 1905 Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν δημοσιεύει τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας. Πρόβλεψη της διαστολής του χρόνου
- 1908 Ο Αϊνστάιν εικάζει ότι η βαρύτητα επιβραδύνει το χρόνο
- 1915 Δημοσίευση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας από τον Αϊνστάιν
- 1916 Ο Καρλ Σβάρτσιλντ παρουσιάζει την πρώτη λύση μαύρης τρύπας/σκυληκότρυπας της γενικής σχετικότητας
- 1916 Ο Λούντβιχ Φλάμ (Ludwig Flamm) ανακαλύπτει το χαρακτηριστικό σκυληκότρυπας της λύσης του Σβάρτσιλντ
- 1917 Ο Αϊνστάιν προτείνει μια δύναμη ουμμαντικής άπωσης – η πρώτη εικασία για την «αντιβαρύτητα»
- 1934 Πρόβλεψη δημιουργίας μαύρης τρύπας από την καιάθρευσή αστέρων
- 1935 Μελέτη της γέφυρας Αϊνστάιν-Ρόζεν (σκυληκότρυπας)
- 1937 Ο Β. Γ. βαν Στόκουμ (W. J. van Stockum) ανακαλύπτει την πρώτη λύση των εξισώσεων του Αϊνστάιν που περιέχει χρονικούς βρόχους
- 1948 Διαπιστώνεται ότι το περιστρεφόμενο σύμπαν του Κουρτ Γκέντελ εμπεριέχει ταξίδια στο χρόνο
- 1948 Ανακάλυψη του φαινομένου Κάσιμιρ: πρώτη μελέτη κβαντικών καταστάσεων με ασηθητική ενέργεια

- 1957 Ο Τζον Γουίλερ εικάζει την ύπαρξη της σκονληκότρυπας
- 1957 Ο Χιου Έβερετ III (Hugh Everett III) προτείνει για την κβαντομηχανική την ερμηνεία πολλών συμπάντων ή παράλληλων πραγματικοτήτων
- 1963 Αρχίζει στο BBC το τηλεοπτικό πρόγραμμα «Doctor Who»
- 1963 Ο Ρόι Κερ (Roy Kerr) ανακαλύπτει ότι οι περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες μπορούν να περιέχουν χρονικούς βρόχους
- 1974 Ανακαλύπτεται από δορυφόρο ακτίνων X το αντικείμενο Cygnus X-1, ο πρώτος σοβαρός υποψήφιος για το ρόλο της μαύρης τρύπας
- 1976 Ο Φρανκ Τίπλερ (Frank Tipler) δείχνει ότι το ταξίδι στο χρόνο είναι δυνατό κοντά σε απείρως μήκους περιστρεφόμενους κυλίνδρους
- 1977 Εξετάζονται οι περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες ως πύλες προς άλλα σύμπαντα
- 1985 Προβολή της κινηματογραφικής ταινίας «Επιστροφή στο μέλλον»
- 1985 Ο Καρλ Σαγκάν γράφει το βιβλίο «Επαφή»
- 1989 Ο Κιπ Θορν εγκαινιάζει τη μελέτη χρονομηχανών μέσω σκονληκότρυπας
- 1990 Ο Στίβεν Χόκινγκ προτείνει την εικασία για την «προστασία της χρονολογίας»
- 1991 Ο Τζ. Ρίτσαρντ Γκοτ III (J. Richard Gott III) προτείνει μια χρονομηχανή μέσω κοσμικών χορδών
- 1999 Εκδίδεται το βιβλίο του Μάικλ Κράιτον «Timeline»



Αραγε, τι θα συνέβαινε αν ήταν εφικτή η κατασκευή μιας μηχανής που θα μπορούσε να μεταφέρει έναν επιβάτη στο χρόνο; Ποιος πιστεύει κάτι τέτοιο;

Πριν από εκατό χρόνια, ελάχιστοι πίστευαν ότι ο άνθρωπος μπορεί να ταξιδέψει στο διάστημα. Τόσο το ταξίδι στο χρόνο, όσο και το ταξίδι στο διάστημα, ανήκαν στη σφαίρα της επιστημονικής φαντασίας, όμως σήμερα, οι διαστημικές πτήσεις είναι σχεδόν καθημερινότητα. Αραγε, μήπως κάποια ημέρα γίνει καθημερινότητα και το ταξίδι στο χρόνο;

Εύκολα μπορούμε να φαντασθούμε ένα ταξίδι στο χρόνο. Μπαίνουμε στη χρονομηχανή, πατάμε κάποια κουμπιά κι ύστερα από μερικά λεπτά βγαίνουμε από τη μηχανή, όχι απλώς κάπου αλλού, αλλά σε κάποια άλλη χρονική στιγμή, σε μια άλλη εποχή. Ήδη από το 1895, όταν ο Χ. Τζ. Γουέλς άνοιξε το

δρόμο με το περίφημο μυθιστόρημά του *Η μηχανή του χρόνου*, οι συγγραφείς επιστημονικής φαντασίας αξιοποίησαν αυτό το θέμα πολλές φορές. Το αναγνωστικό κοινό συναρπάζεται από τις περιπέτειες του άρχοντα του χρόνου Doctor Who και των ελκυστικών θηλυκών συνεργών του. Χολιγουντιανές παραγωγές όπως το *Επιστροφή στο Μέλλον* και βιβλία σαν το *Timeline*, κάνουν το ταξίδι στο χρόνο να μοιάζει με παιχνίδι.

Δηλαδή, μπορεί πράγματι να γίνει; Είναι επιστημονικά εφικτό ένα ταξίδι στο χρόνο;

Ένας σύντομος προβληματισμός αποκαλύπτει ορισμένα διο-

Το ταξίδι στο χρόνο είναι αδιανόητο.

Κίνγκσλεϊ Έιμς

το μέλλον; Δίχως άλλο, το παρελθόν έχει εξαφανιστεί ανεπιστρεπτί, ενώ το μέλλον δεν έχει υλοποιηθεί ακόμη. Πώς μπορεί κάποιος να ταξιδέψει σ' έναν κόσμο που δεν υπάρχει; Κι αν παραβλέψουμε αυτό το πρόβλημα, τι γίνεται με τα αναπόφευκτα παράδοξα που προκύπτουν από την επίσκεψη στο παρελθόν και τη μετα-

βολή του; Ποια επίπτωση έχει κάτι τέτοιο στο παρόν; Κι αν το ταξίδι στο χρόνο είναι πραγματοποιήσιμο, πού βρίσκονται όλοι αυτοί οι τουρίστες, που έρχονται από το μέλλον και γυρίζουν στο παρελθόν, για να δουν, από περιέργεια, την κοινωνία του 21ου αιώνα;

Αναμφίβολα, το ταξίδι στο χρόνο θέτει ορισμένα σοβαρά προβλήματα, ακόμη και για τους φυσικούς που θεωρούν κάτι εντελώς καθημερινό την αναφορά σε εξωτικές έννοιες όπως «αντιύλη», «μαύρες τρύπες», «κβαντικός αφρός», κ.ά. Όμως, ί-

σως αυτό οφείλεται στο ότι θεωρούμε την έννοια του χρόνου με λάθος τρόπο. Άλλωστε, η άποψή μας για το χρόνο έχει αλλάξει θεαματικά στη διάρκεια των αιώνων. Στους αρχαίους πολιτισμούς συνδεόταν με την εξέλιξη και τη μεταβολή και ήταν εδραιωμένη στους κύκλους και τους ρυθμούς της φύσης. Αργότερα, ο σερ Ισαάκ Νεύτων διατύπωσε μια περισσότερο αφηρημένη και μηχανιστική άποψη: «Ο απόλυτος, πραγματικός και μαθηματικός χρόνος, ρέει αδιατάρακτα χωρίς αναφορά σε οποιονδήποτε εξωτερικό παράγοντα». Αυτή η δήλωση εξέφρασε την αντίληψη που αποδέχονταν όλοι οι επιστήμονες επί διακόσια χρόνια.

Όλοι συμφωνούσαν, δίχως αμφιβολία, ότι, ανεξάρτητα από τον προτιμώμενο ορισμό, ο χρόνος

είναι ίδιος παντού και για όλους. Με άλλα λόγια, είναι απόλυτος και παγκόσμιος. Πράγματι, ίσως αισθανόμαστε ότι ο χρόνος κυλά διαφορετικά, ανάλογα με τη διάθεσή μας, ωστόσο δεν παύει να είναι, απλώς, ο ίδιος χρόνος. Σκοπός του ρολογιού είναι να παρακάμπτει τις συναισθηματικές και νοητικές συνθήκες του καθενός και να καταγράφει, αντικειμενικά, το χρόνο. Αναπόσπαστα, αυτή η θεώρηση εμπεριέχει τη διαίρε-

Φοβούμαι ότι δεν
μπορώ να εκφράσω
τα παράξενα συναι-
σθήματα που γεννά
ένα ταξίδι στο χρόνο.
Είναι εξαιρετικά
δυσάρεστα.
Χ. Τζ. Γουέλς

ση του χρόνου σε τρία μέρη. Το παρόν –το τώρα– θεωρείται η φευγαλέα στιγμή της πραγματικότητας, με το παρελθόν εξορισμένο στην ιστορία –ομιχλώδεις αναμνήσεις– και το μέλλον ακόμη αόριστο και ασχημάτιστο. Και αυτό το τόσο σημαντικό *τώρα*, θεωρείται η ίδια συγκεκριμένη στιγμή σε ολόκληρο το σύμπαν: το δικό σας και το δικό μου *τώρα*, ταυτίζονται όπου κι αν βρισκόμαστε, ό,τι κι αν κάνουμε.

Αυτή είναι η καθιερωμένη αντίληψη για το χρόνο, αυτή που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή. Ελάχιστοι θεωρούν το χρόνο με διαφορετικό τρόπο, κι όμως η πλειονότητα κάνει λάθος, ένα βαρύ και σοβαρό λάθος.

Στις αρχές του 20ού αιώνα έγινε σαφές ότι αυτή η θεώρηση του χρόνου δεν μπορούσε να είναι σωστή. Η αποκάλυψη των αιελαίων στην κοινή αντίληψη περί χρόνου συνδέεται άμεσα με τον Άλμπερτ Αϊνστάιν και τη θεωρία της σχετικότητας. Μονομιάς, το έργο του Αϊνστάιν συνέτριψε τη θεώρηση του Νεύτωνα τόσο για το χώρο όσο και για το χρόνο, αφαίρεσε κάθε νόημα από την παγκόσμια διαίρεση του χρόνου σε παρελθόν,

παρόν και μέλλον, και έστρωσε το δρόμο για το ταξίδι στο χρόνο.

Η θεωρία της σχετικότητας έχει ηλικία σχεδόν εκατό ετών. Μετά τη δημοσίευσή της, στα 1905, η θεωρία της ειδικής σχετικότητας έγινε άμεσα αποδεκτή από τους φυσικούς, ενώ στις δεκαετίες που ακολούθησαν υπέστη εξαντλητικούς ελέγχους σε πληθώρα πειραμάτων.



Σήμερα, η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί ότι «ο χρόνος είναι σχετικός» και πως η κοινή αντίληψη περί απόλυτου χρόνου με ένα παγκόσμιο «τώρα», ανήκει στη σφαίρα της φαντασίας. Ωστόσο, ο απλός άνθρωπος υφίσταται κάτι σαν πνευματικό σοκ, μόλις βρεθεί αντιμέτωπος με την έννοια της σχετικότητας του χρόνου. Πολλοί δεν έχουν ακούει ποτέ γι' αυτήν, ενώ κάποιοι αρνούνται κατηγορηματικά να την πιστέψουν, παρά τις σαφείς πειραματικές ενδείξεις.

Η θεωρία της σχετικότητας υπόσχεται ότι μια περιορισμένη μορφή ταξιδιού στο χρόνο είναι οίγουρα εφικτή· επίσης, εκφράζει την ανάλογη βεβαιότητα ότι ένα χωρίς περιορισμούς ταξίδι στο χρόνο –σε οποιαδήποτε εποχή, παρελθόν ή μέλλον– είναι επίσης δυνατό. Αυτά ακριβώς τα θέματα θα «απολαύσουμε» στα κεφάλαια που ακολουθούν. Αν κάτι τέτοιο σας φαίνεται απίστευτο, θυμηθείτε την περίφημη φράση του Τζ. Μπ. Σ. Χάλντεϊν (J. B. S. Haldane)*: «Το ούμπαν δεν είναι απλώς πιο παράξενο απ' ό,τι νομίζουμε, είναι πιο παράξενο απ' ό,τι μπορούμε να φαντασθούμε».

* John Burdon Sanderson Haldane (1892-1964): Βραβευμένος Βρετανός μαρξιστής γενετιστής, διάσημος για την αοννήσιμη ικανότητα εκλαΐκευσης της επιστήμης και ιδιαιτέρα της φιλοσοφίας της βιολογίας. (Σ.Ι.Μ.)

ΠΩΣ ΝΑ ΕΠΙΣΚΕΦΘΕΙΤΕ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Κατά μια προφανή έννοια, είμαστε όλοι ταξιδιώτες στο χρόνο. Μην κάνετε τίποτα και θα μεταφερθείτε αναπόφευκτα στο μέλλον με τον επιβλητικό ρυθμό του ενός δευτερολέπτου ανά δευτερόλεπτο. Όμως, αυτό δεν φαίνεται και τόσο ενδιαφέρον. Εμείς θέλουμε έναν πραγματικό ταξιδιώτη, που θα πραγματοποιήσει ένα τεράστιο άλμα στο χρόνο και θα φτάσει θεαματικά στο μέλλον, νωρίτερα από οποιονδήποτε άλλο.

Μπορεί να γίνει αυτό;

Και βέβαια μπορεί. Οι επιστήμονες δεν έχουν καμιά αμφιβολία πως είναι δυνατή η κατασκευή μιας χρονομηχανής με αποκλειστικό σκοπό μια επίσκεψη στο μέλλον. Και μάλιστα, γνωρίζουν τη λύση σχεδόν εδώ κι εκατό χρόνια.

Ο Χρόνος και η Κίνηση

Στα 1905 ο Άλμπερτ Αϊνστάιν κατέδειξε πρώτος τη δυνατότητα ενός ταξιδιού στο χρόνο καιαρρίπτοντας, αρχικά, τη στερεότυπη εικόνα του χρόνου –σύμφωνα με τον Νεύτωνα– και αντικαθιστώντας την με τη δική του έννοια του *σχετικού* χρόνου.

Ο Αϊνστάιν δημοσίευσε τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας σε ηλικία είκοσι έξι ετών. Τότε δεν ήταν ακόμη εκείνος ο ατημέλητος διανοούμενος με τα αχιένισια μαλλιά και την πί-

πα στο στόμα (το μοντέλο της μισότρελης μεγαλοφυΐας), αλλά ένας μικροκαμωμένος κοστούμαρισμένος νεαρός που εργαζόταν στο ελβετικό Γραφείο Ευρεσιτεχνιών. Στον ελεύθερο χρόνο του, ο νεαρός Αϊνστάιν μελετούσε τον τρόπο κίνησης του φωτός. Έτσι, εντόπισε μια ασυνέπεια ανάμεσα στην κίνηση του φωτός και

Ο χρόνος
δεν ορίζεται
απόλυτα.

Άλμπερτ Αϊνστάιν

στην κίνηση των υλικών αντικειμένων. Χρησιμοποιώντας μόνο μαθηματικά του λυκείου έδειξε ότι, αν το φως συμπεριφέρεται με τον τρόπο που υποστήριζαν οι φυσικοί της εποχής, τότε η «αδιαμφισβήτητη» ιδέα του Νεύτωνα για το χρόνο... είχε πολλές ατέλειες.

Εδώ, δεν θα μας απασχολήσει ο τρόπος με τον οποίο έφτασε ο Αϊνστάιν σε αυτό το εκπληκτικό συμπέρασμα σχετικά με το χρόνο· άλλωστε, έχει αναλυθεί διεξοδικά σε πολλά άλλα βιβλία.

Αυτό που έχει σημασία για το σκοπό μας είναι ο κεντρικός

ισχυρισμός της θεωρίας της ειδικής σχετικότητας, σύμφωνα με τον οποίο,

ο χρόνος είναι ελαστικός.

Μπορεί να εκταθεί και να συρρικνωθεί.

Πώς; Μέσω της πολύ γρήγορης κίνησης.

Τι ακριβώς εννοώ με την «έκταση του χρόνου»; Επιτρέψτε μου να το διατυπώσω πιο προσεκτικά. Σύμφωνα με τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας, η ακριβής χρονική διάρκεια μεταξύ δύο καθορισμένων γεγονότων θα εξαρτάται από το πώς συμπεριφέρεται ο παρατηρητής. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο χτυπημάτων του ρολογιού μου ίσως είναι μία ώρα, αν κάθομαι ακίνητος στο σαλόνι μου, αλλά θα είναι μικρότερο από μια ώρα αν κινούμαι.



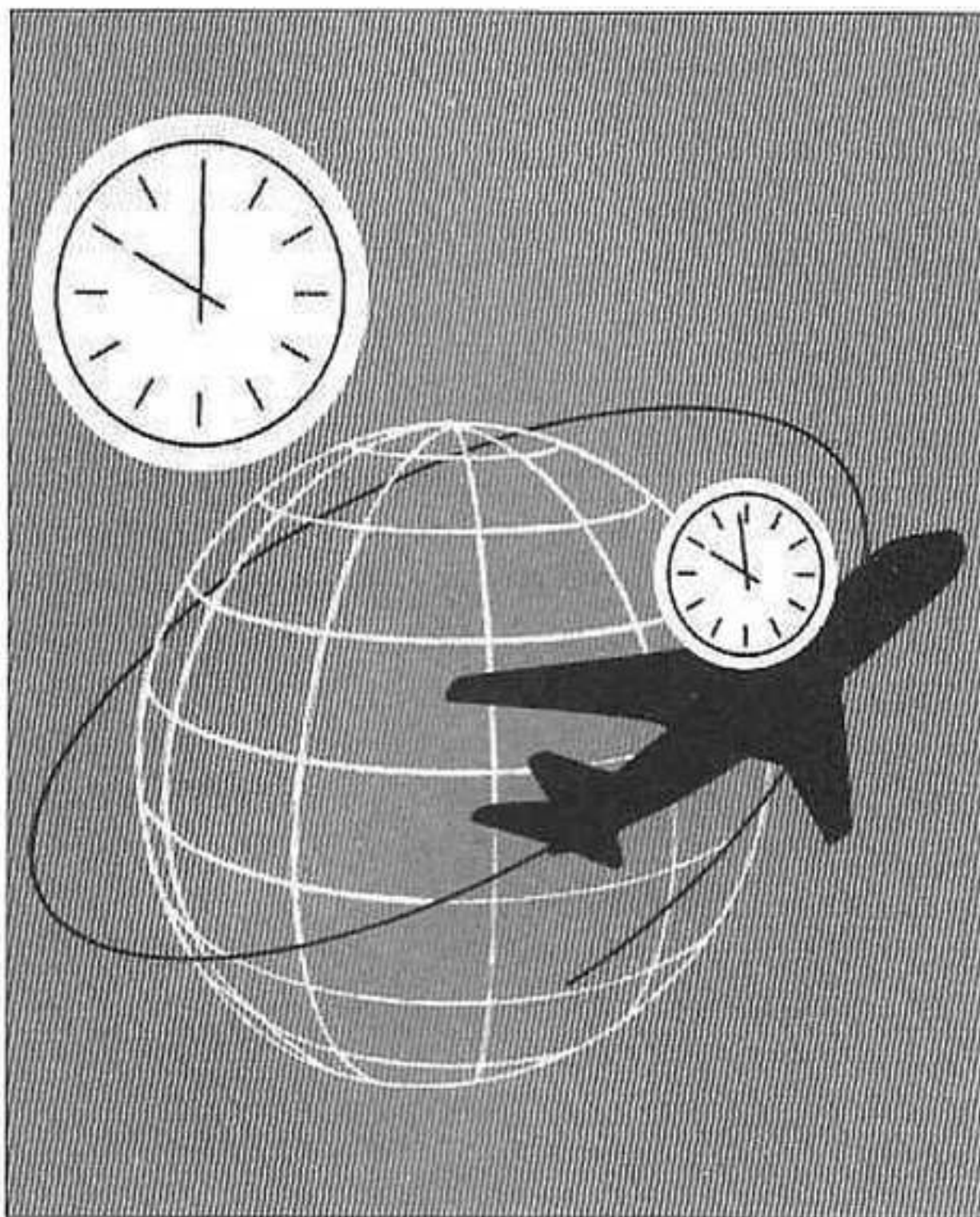
Προκειμένου να εκφράσω το ίδιο πράγμα με πιο πρακτικό τρόπο, ας υποθέσουμε ότι επιβιβάζομαι σε ένα αεροπλάνο στη Νέα Υόρκη, ταξιδεύω προς το Ρίο ντε Τζανέιρο και επιστρέφω, ενόσω εσείς περιμένετε υπομονετικά στο αεροδρόμιο Κένεντι. Σύμφωνα με το δικό μου ρολόι, η διάρκεια του ταξιδιού δεν είναι ίδια με τη διάρκεια που χρονομετράτε εσείς. Για την ακρίβεια, η ίδια διάρκεια, για μένα είναι κάπως μικρότερη.

Οφείλω να διευκρινίσω εξαρχής δύο σημεία. Πρώτον, δεν

αναφέρομαι στη φαινόμενη διάρκεια του ταξιδιού. Η εμπειρία της πτήξης στο αεροδρόμιο όπου οι ώρες διαρκούν αιώνια, ενώ εγώ απολαμβάνω την πτήση παρακολουθώντας κινηματογραφικές ταινίες μέσα στο αεροσκάφος, δεν είναι το φαινόμενο στο οποίο αναφέρομαι εδώ. Ο ψυχολογικός χρόνος αποτελεί ίσως ένα συναρπαστικό θέμα για την ψυχολογία, αλλά το ενδιαφέρον μου αφορά το φυσικό χρόνο, δηλαδή το είδος χρόνου που μετριέται από τα άψυχα ρολόγια. Το δεύτερο σημείο είναι πως η χρονική διαφορά στο παράδειγμα που έδωσα είναι απειροελάχιστη – μόλις λίγες εκατοντάδες εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου – πολύ μικρή ώστε να γίνει αντιληπτή από ένα ανθρώπινο πλάσμα. Ωστόσο, μπορεί να μετρηθεί από σύγχρονα ρολόγια.

Σε γενικές γραμμές, αυτό έπραξαν οι φυσικοί Τζόζεφ Χάφελ και Ρίτσαρντ Κήτινγκ στα 1971. Τοποθέτησαν υψηλής ακρίβειας ατομικά ρολόγια μέσα σε αεροπλάνα, τα οποία έκαναν το γύρο του κόσμου, και ακολούθως συνέκριναν τις ενδείξεις αυτών των ρολογιών με πανομοιότυπα ρολόγια στο έδαφος. Τα αποτελέσματα ήταν ολοφάνερα: ο χρόνος κύλησε πιο αργά μέσα στο αεροσκάφος απ' ό,τι στο εργαστήριο, έτσι ώστε μετά τη λήξη του πειράματος τα ρολόγια του αεροπλάνου πήγαιναν κατά 59 νανο-δευτερόλεπτα πίσω σε σχέση με τα επίγεια ρολόγια – ακριβώς όσο προέβλεπε η θεωρία του Αϊνστάιν.

Επειδή ο δικός σας και ο δικός μου χρόνος δεν συμβαδίζουν όταν κινούμαστε διαφορετικά, είναι προφανές ότι δεν μπορεί να υπάρχει παγκόσμιος, απόλυτος χρόνος, όπως υπέθεσε ο Νεύτων. Το να μιλάς για το χρόνο δεν έχει νόημα. Ο φυσικός είναι υποχρεωμένος να ρωτήσει: Σε ποιον χρόνο αναφερόμαστε; Στον δικό μου, στον δικό σας, ή στο χρόνο κάποιου τρίτου;

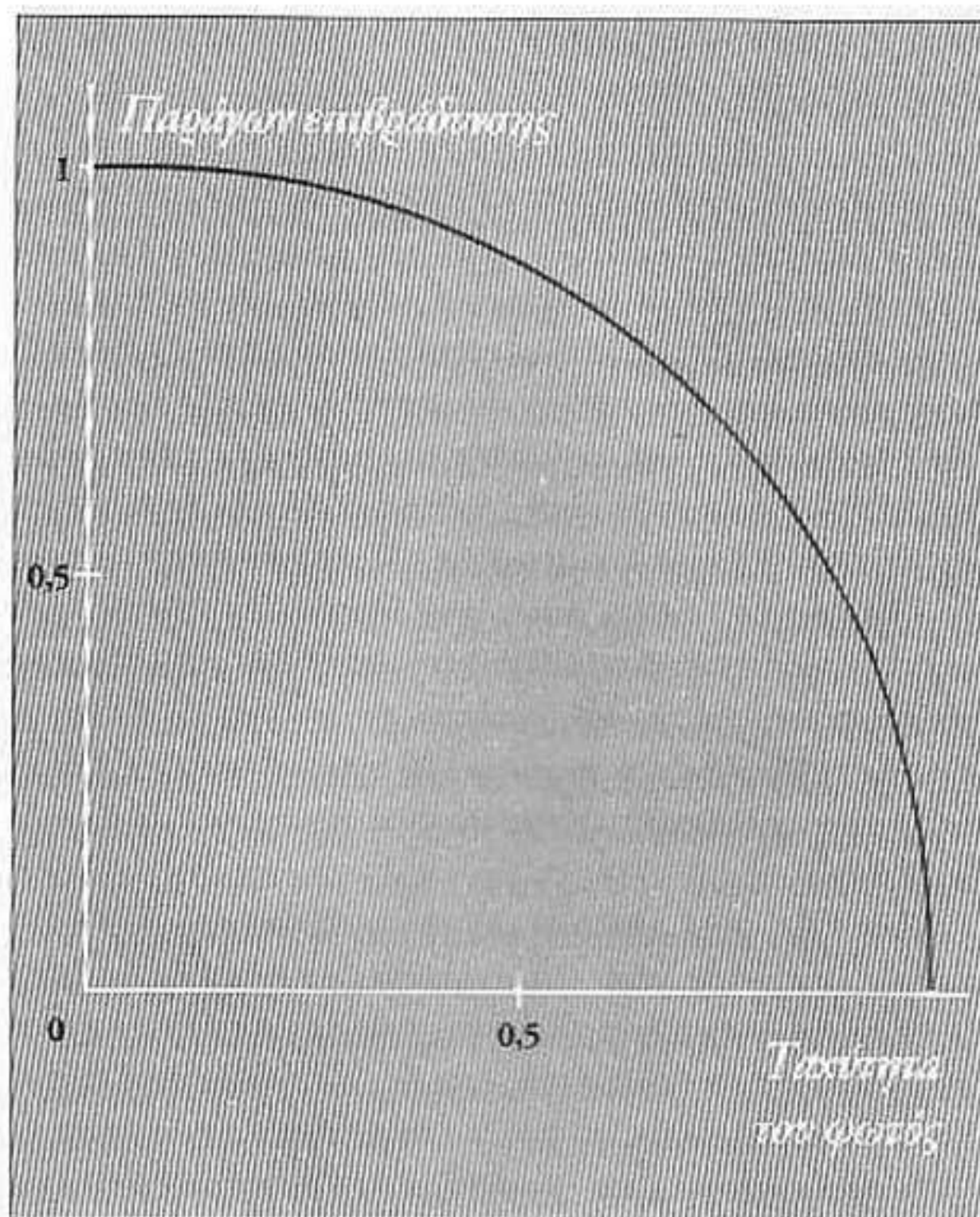


Ο χρόνος κύλησε πιο αργά
μέσα στο αεροσκάφος
απ' ό,τι στο εργαστήριο.

Το πείραμα των Χάφελε-Κήτινγκ έχει μεγάλη σημασία, τόσο από ιστορική όσο και από ουσιαστική άποψη: παρ' όλα αυτά, δεν αποτελεί το πλέον κατάλληλο υλικό για επιστημονική φαντασία: μια στρέβλωση του χρόνου διάρκειας 59 νανο-δευτερολέπτων δεν αρκεί για φαντασμαγορικές περιπέτειες. Για να έχετε ένα πραγματικά μεγάλο αποτέλεσμα πρέπει να κινηθείτε πολύ γρήγορα. Εδώ, το μέτρο σύγκρισης είναι η ταχύτητα του φωτός, ο ιλιγγιώδης ρυθμός των 300.000 χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο. Όσο πιο κοντά στην ταχύτητα του φωτός βρίσκεται η ταχύτητα με την οποία κινείστε, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η στρέβλωση του χρόνου.

Οι φυσικοί ονομάζουν την επιβράδυνση του χρόνου μέσω της κίνησης, φαινόμενο διαστολής του χρόνου. Θεωρήστε μια ταχύτητα x . Διαιρέστε την με την ταχύτητα του φωτός. Υψώστε το αποτέλεσμα στο τετράγωνο. Αφαιρέστε το 1. Υπολογίστε την τετραγωνική ρίζα. Η απάντηση είναι... ο παράγων διαστολής χρόνου του Αϊνστάιν! Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται γραφικά ο «παράγων επιβράδυνσης». Παρατηρήστε πώς το γράφημα παρουσιάζει τον παράγοντα επιβράδυνσης ως συνάρτηση της ταχύτητας. Αρχίζει αρκετά οριζόντια, αλλά μειώνεται απότομα καθώς η ταχύτητα πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός. Στο μισό της ταχύτητας του φωτός, ο χρόνος έχει επιβραδυνθεί περίπου κατά 13%. Στο 99% της ταχύτητας του φωτός, ο χρόνος είναι επτά φορές βραδύτερος, 1 λεπτό έχει ελαττωθεί σε περίπου 8,5 δευτερόλεπτα.

Από τεχνική άποψη, η στρέβλωση του χρόνου αγγίζει το άπειρο όταν κινηθούμε με την ταχύτητα του φωτός. Αυτό μάς υποδεικνύει ότι έχουμε πρόβλημα. Ουσιαστικά μας λέει ότι ένα συνηθισμένο υλικό σώμα δεν μπορεί να φτάσει την ταχύτητα του φωτός. Υπάρχει ένα «φράγμα φωτός» που δεν μπορεί ποτέ να παραβιαστεί. Ο κανόνας «όχι ταχύτερα από το



Ο παράγων
διαστολής χρόνου
του Αϊνστάιν.

φως» αποτελεί ένα αποφασιστικής σημασίας αποτέλεσμα της θεωρίας της σχετικότητας:

τίποτε δεν μπορεί να παραβιάσει το φράγμα φωτός.

Αυτό δεν ισχύει μόνο για υλικά σώματα, αλλά και για κύματα, διαταραχές του πεδίου, φυσικές επιδράσεις οποιουδήποτε είδους, και καταστρέφει ένα μεγάλο μέρος της επιστημονικής φαντασίας αφού, παρά την ταχύτητά του, το φως εξακολουθεί να χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα προκειμένου να καλύψει διαστρικές αποστάσεις. Το πλησιέστερο άστρο, για παράδειγμα, απέχει πάνω από τέσσερα έτη φωτός, που σημαίνει ότι το φως χρειάζεται περισσότερο από τέσσερα χρόνια για να φτάσει εκεί, προερχόμενο από τη Γη. Ο Γαλαξίας μας έχει διάμετρο περίπου 100.000 έτη φωτός. Η διοίκηση μιας γαλαξιακής αυτοκρατορίας πρέπει να είναι αργή διαδικασία.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχει κάποια αντιστάθμιση. Επειδή ο χρόνος εκτείνεται, λόγω της ταχύτητας, τα διαστρικά ταξίδια μοιάζουν να διαρκούν λιγότερο για τους αστροναύτες, απ' ό,τι για εκείνους που παραμένουν στη Γη, στην αίθουσα ελέγχου της αποστολής. Μέσα σ' ένα διαστημόπλοιο που κινείται με 99% της ταχύτητας του φωτός, ένα ταξίδι από το ένα άκρο του Γαλαξία στο άλλο θα ολοκληρωθεί σε διάστημα μόνο 14.000 ετών. Αν η ταχύτητα ισούται με το 99,99% εκείνης του φωτός, το όφελος είναι ακόμη πιο θεαματικό: το ταξίδι διαρκεί μόλις 1.400 χρόνια. Αν μπορούσατε να κινηθείτε με 99,999999% της ταχύτητας του φωτός, το ταξίδι σας θα ολοκληρωνόταν στη διάρκεια μιας ανθρώπινης ζωής.

Ταχύτητες αυτής της μορφής βρίσκονται πολύ πέρα από τις δυνατότητες της σύγχρονης διαστημικής τεχνολογίας (η

ταχύτητα του καλύτερου διαστημοπλοίου μας αγγίζει το πενήχρο 0,01 της ταχύτητας του φωτός). Ωστόσο, υπάρχουν αντικείμενα που κινούνται με ταχύτητες παραπλήσιες εκείνης του φωτός – εννοούμε υπο-ατομικά σωματίδια, όπως οι κοσμικές ακτίνες και τα θραύσματα ατόμων που εκπέμπονται σε ραδιενεργές διασπάσεις ή επιταχύνονται σκόπιμως στο εσωτερικό γιγαντιαίων επιταχυντών. Χρησιμοποιώντας τα σωματίδια αυτά ως απλά ρολόγια, μπορούμε να παρατηρήσουμε πολύ μεγάλες διαστολές χρόνου. Ο επιταχυντής σωματιδίων LEP [Large Electron - Positron (Μεγάλος Επιταχυντής Ηλεκτρονίων - Ποζιτρονίων)] στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Σωματιδιακής Φυσικής (CERN) κοντά στη Γενεύη, κατάφερε να προσδώσει σε ηλεκτρόνια ταχύτητα ίση με το 99,999999999% της ταχύτητας του φωτός. Η ταχύτητα αυτή, που ελάχιστα διαφέρει από εκείνη του φωτός, έδωσε παράγοντες στρέβλωσης του χρόνου που πλησιάζουν το ένα εκατομμύριο. Όμως, ακόμη κι αυτό το αποτέλεσμα ωχρία μπροστά σε παράγοντες στρέβλωσης του χρόνου ίσους με δισεκατομμύρια τους οποίους βιώνουν ορισμένες κοσμικές ακτίνες.

Σε μια σειρά προσεκτικά σχεδιασμένων και εκτελεσμένων πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο CERN το 1966, σωματίδια που ονομάζονται μόνια τέθηκαν σε κυκλική κίνηση στο εσωτερικό ενός μικρού επιταχυντή, με σκοπό να ελεγχθεί με υψηλή ακρίβεια η εξίσωση του Αϊνστάιν για τη διαστολή του χρόνου. Τα μόνια είναι ασταθή σωματίδια και διασπώνται με γνωστή διάρκεια ημι-ζωής. Η διάσπαση ενός μιονίου που βρίσκεται πάνω στο γραφείο σας θα απαιτούσε, κατά μέσο όρο, περίπου δύο εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου. Όμως, όταν τα μόνια κινήθηκαν στο εσωτερικό του επιταχυντή με 99,7% της ταχύτητας του φωτός, η μέση διάρκεια της ζωής τους αυξήθηκε κατά δώδεκα φορές.

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ

Η επίδραση της κίνησης στο χρόνο εξετάζεται συχνά με χρήση της παραβολής των διδύμων, η οποία έχει περίπου ως εξής: Η Σάλι και ο Σαμ αποφασίζουν να ελέγξουν τη θεωρία του Αϊνστάιν, οπότε η Σάλι επιβιβάζεται σε έναν πύραυλο το 2001 και εκτοξεύεται με 99% της ταχύτητας του φωτός προς ένα γειτονικό άστρο, που απέχει δέκα έτη φωτός. Ο Σαμ παραμένει στη Γη. Μόλις φθάνει στον προορισμό της, η Σάλι κάνει αμέσως στροφή και κατευθύνεται πάλι προς τη Γη με την ίδια ταχύτητα. Ο Σαμ διαπιστώνει ότι το ταξίδι της διαρκεί κάτι περισσότερο από είκοσι γήινα χρόνια. Όμως, η Σάλι βιώνει το χρόνο διαφορετικά. Γι' αυτήν, το ταξίδι διήρκεσε λιγότερο από τρία χρόνια. Φθάνοντας πίσω στη Γη ανακαλύπτει ότι ζουν στο έτος 2021 και ο Σαμ είναι τώρα κατά 17 χρόνια μεγαλύτερος από εκείνη. Η Σάλι και ο Σαμ δεν είναι πλέον δίδυμοι με την ίδια ηλικία. Ουσιαστικά, η Σάλι μεταφέρθηκε κατά 17 χρόνια στο μέλλον του Σαμ. Με μια αρκετά μεγάλη ταχύτητα θα μπορούσατε να κάνετε ένα «άλμα» σε οποιαδήποτε μελλοντική χρονολογία επιθυμείτε. Θα μπορούσατε να «επισκεφθείτε» το έτος 3000 ταξιδεύοντας λιγότερο από έξι μήνες, αρκεί η ταχύτητά σας να προσέγγιζε το 99,99999% της ταχύτητας του φωτός.

Το ταξίδι στο χρόνο λειτουργεί αντίθετα από το ταξίδι στο χώρο. Η συντομότερη απόσταση μεταξύ δύο σημείων είναι η ευθεία γραμμή, δηλαδή στην καθημερινή ζωή πηγαίνετε ταχύτερα από το σημείο Α στο σημείο Β ακολουθώντας μια ευθύγραμμη διαδρομή. Όμως, στο ταξίδι στο χρόνο, γερνά περισσότερο εκείνος που παραμένει ακίνητος, δηλαδή ο Σαμ, ο οποίος δεν έφυγε από το σπίτι. Με άλλα λόγια, απαιτείται

περισσότερος χρόνος μέχρι να «βιώσει» ο Σαμ το έτος 2021. Για να το εκφράσουμε διαφορετικά, η Σάλι μειώνει θεαματικά τη χρονική διαφορά μεταξύ των δύο καταστάσεων «Γη, έτος 2001» και «Γη, έτος 2021». Ουσιαστικά, όσο πιο γρήγορα κινείται, τόσο συρρικνώνεται η χρονική διαφορά μεταξύ αυτών των δύο χωροχρονικών καταστάσεων.

Κάποιοι θεωρούν το φαινόμενο των διδύμων παράδοξο, επειδή από την οπτική γωνία της Σάλι, εκείνη παραμένει ακίνητη στο εσωτερικό του πυραύλου, ενώ η Γη απομακρύνεται. Ωστόσο, δεν υπάρχει κανένα παράδοξο, καθώς η κατάσταση για τη Σάλι και τον Σαμ δεν είναι συμμετρική. Η Σάλι απομακρύνεται επιταχυνόμενη μέσω των κινητήρων του πυραύλου, κάνει στροφή γύρω από το άστρο και τελικά επιβραδύνεται για να προσεδαφιστεί στη Γη. Αυτές οι μεταβολές στην κίνηση, την διαφοροποιούν· είναι ο άνθρωπος που θα γεράσει λιγότερο.

Ας σημειωθεί ότι η Σάλι δεν μπορεί με αυτόν τον τρόπο να «επιστρέψει» στη Γη το έτος 2007 (έχοντας ταξιδέψει συνολικά έξι χρόνια), προκειμένου να εξισώσει ξανά την ηλικία της με εκείνη του Σαμ. Αν αναστρέψει την τροχιά της, το μόνο που θα καταφέρει είναι να κάνει άλλο ένα άλμα κατά 17 χρόνια στο μέλλον του Σαμ. Η κίνηση με μεγάλες ταχύτητες είναι ένα ταξίδι μονής κατεύθυνσης στο μέλλον.

Πώς να χρησιμοποιήσετε τη βαρύτητα για να ταξιδέψετε στο μέλλον

Η ταχύτητα είναι μία από τις μεθόδους στρέβλωσης του χρόνου. Μια άλλη είναι η βαρύτητα. Ήδη το 1908 ο Αϊνστάιν άρχισε να επεκτείνει τη θεωρία του για την ειδική σχε-

τικότητα ώστε να συμπεριλάβει την επίδραση της βαρύτητας. Χρησιμοποιώντας ένα άλλο εφευρετικό επιχείρημα αναφορικά με το φως, κατέληξε στο αξιοσημείωτο συμπέρασμα ότι:

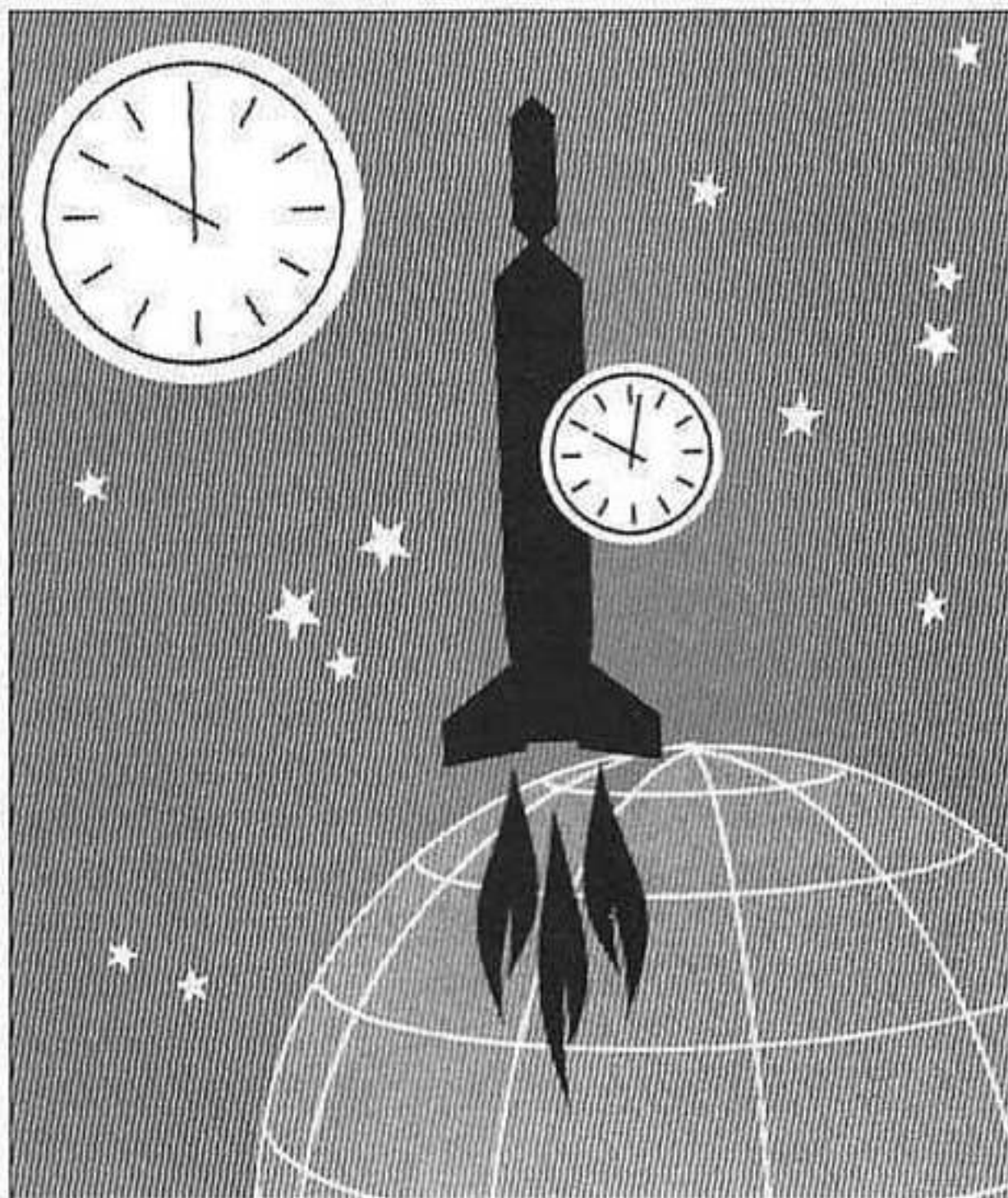
η βαρύτητα επιβραδύνει το χρόνο.

Ο Αϊνστάιν συνέχισε τις μελέτες του μέχρι το 1915, οπότε παρουσίασε τη λεγόμενη θεωρία της γενικής σχετικότητας. Το έργο αυτό αποτελούσε επέκταση της ειδικής σχετικότητας που είχε δημοσιεύσει το 1905, συμπεριλαμβάνοντας έτσι την επίδραση που ασκούν τα βαρυτικά πεδία τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο.

Με την εισαγωγή αριθμών στην εξίσωση του Αϊνστάιν προκύπτει ότι η βαρύτητα της Γης επηρεάζει τα ρολόγια ώστε να χάνουν ένα εκατομμυριοστό του δευτερολέπτου κάθε τριακόσια χρόνια. Αυτό οδηγεί στην παράξενη πρόβλεψη ότι:

ο χρόνος κυλά ταχύτερα στο διάστημα.

Όμως, όχι τόσο ταχύτερα ώστε να το αντιλαμβάνονται οι αστροναύτες (θα κερδίζατε απλώς δύο χιλιοστά του δευτερολέπτου παραμένοντας έξι μήνες στο εσωτερικό του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού ISS). Ωστόσο, οι φυσικοί μπορούν εύκολα να μετρήσουν το φαινόμενο χρησιμοποιώντας ρολόγια ακριβείας. Το 1976, στη Δυτική Βιρτζίνια, οι Ρομπέρ Βεσό (Robert Vessot) και Μάρτιν Λιβάιν (Martin Levine) εκτόξευσαν στο διάστημα με πύραυλο ένα ρολόι μείζερ ατομικού υδρογόνου και το παρακολούθησαν προσεκτικά από το έδαφος. Το ρολόι κέρδισε περίπου ένα δέκατο του χιλιοστού του δευτερολέπτου πριν συντριβεί στον Ατλαντικό Ωκεανό, λίγες ώρες αργότερα.

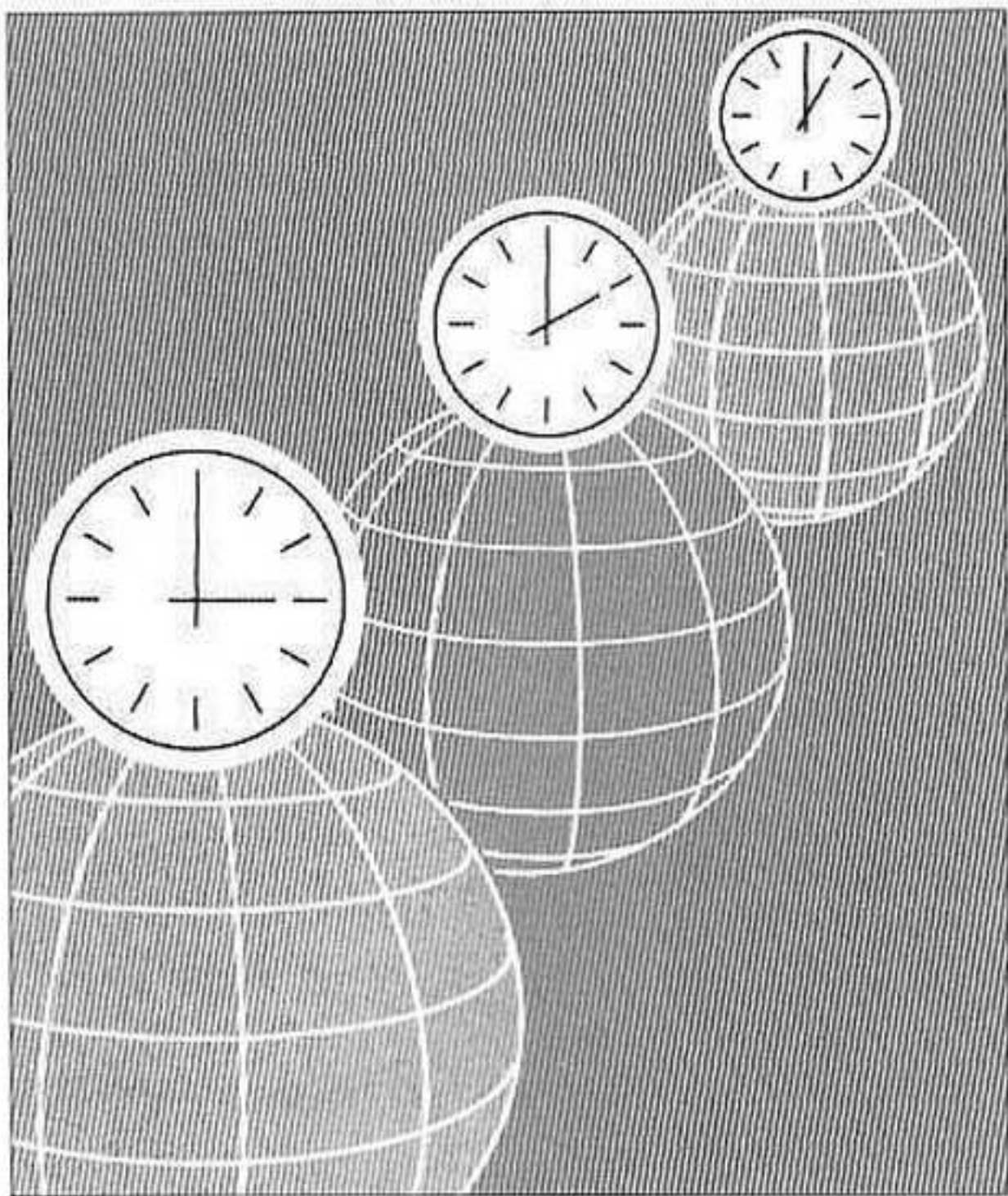


Το ρολόι κέρδισε περίπου ένα δέκατο του χιλιοστού του δευτερολέπτου πριν συντριβεί στον Ατλαντικό Ωκεανό, λίγες ώρες αργότερα.

Ακόμη και μεταξύ της βάσης και της κορυφής ενός κτιρίου υπάρχει μια μικροσκοπική χρονική διαφορά. Το 1959 πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ ένα πείραμα για τη μέτρηση του παράγοντα στρέβλωσης του χρόνου σε έναν ουρανοξύστη ύψους 22,5 μέτρων. Χρησιμοποιώντας μια εξαιρετικά ακριβή πυρηνική διεργασία, οι επιστήμονες κατέγραψαν επιβράδυνση του χρόνου κατά 0,0000000000000257%. Αν και αρκετά μικρή, η τιμή αυτή επιβεβαίωσε την πρόβλεψη του Αϊνστάιν. Στην πραγματικότητα ουδείς εξεπλάγη με το αποτέλεσμα αυτό, καθώς οι φυσικοί είχαν προ πολλού αποδεχτεί την επίδραση της βαρύτητας στο χρόνο.

Αν μπορούσατε με κάποιο μαγικό τρόπο να συμπίεσετε τη Γη στη μισή διάμετρό της (διατηρώντας τη συνολική μάζα της), η βαρύτητα στην επιφάνειά της καθώς και η στρέβλωση του χρόνου θα διπλασιάζονταν. Αν συνεχίσετε τη συμπίεση, τα αποτελέσματα αυτά θα ενιοχθούν. Μόλις η ακτίνα αποκτήσει την κρίσιμη τιμή των 0,9 εκατοστών, ο χρόνος «παγώνει». Τίποτε δεν μπορεί να διαφύγει! Το μεθεπόμενο γράφημα παρουσιάζει τον «παράγοντα επιβράδυνσης» για ένα ρολόι πάνω στην επιφάνεια της συστέλλομενης σφαίρας. Παρατηρήστε πώς απειρίζεται η στρέβλωση του χρόνου όταν η σφαίρα συρρικνωθεί περίπου στο μέγεθος ενός μπιζελιού.

Βεβαίως, η συμπίεση όλης αυτής της ύλης σε ένα κυβικό εκατοστό είναι μια πολύ ευφάνταστη έννοια. Όμως, τεράστιες συμπίεσεις συμβαίνουν πράγματι στην αστροφυσική. Για παράδειγμα, όταν εξαντληθούν τα καύσιμα ενός άστρου, αυτό συρρικνώνεται θεαματικά κάτω από το ίδιο του το βάρος, καταλήγοντας σε ένα μικροσκοπικό κλάσμα του αρχικού του μεγέθους. Μάλιστα, ορισμένα μεγάλα άστρα εκρήγνυνται προς το εσωτερικό τους, αρκετά αναπάντεχα, και σχηματίζουν περιστρεφόμενες σφαίρες όχι μεγαλύτερες από το Μαν-



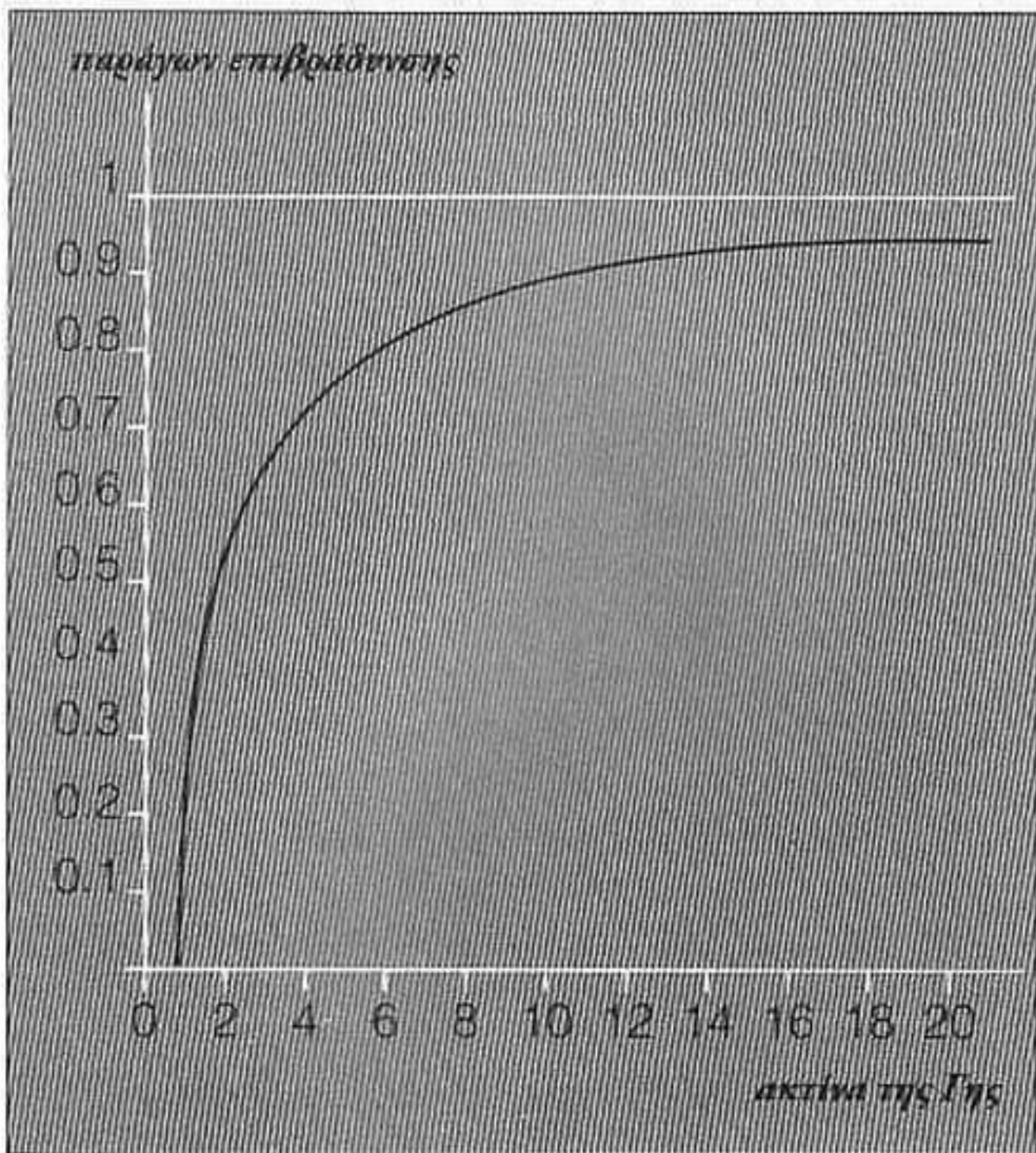
Μόλις η ακτίνα αποκτήσει την
κρίσιμη τιμή των 0,9 εκατοστών,
ο χρόνος «παγώνει».
Τίποτε δεν μπορεί να διαφύγει!

χάταν, οι οποίες, ωστόσο, περιέχουν μάζα μεγαλύτερη από εκείνη του Ήλιου (περίπου δύο χιλιάδες τρισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια τόνους). Η βαρύτητα αυτών των άστρων που έχουν καταρρεύσει είναι τόσο μεγάλη, ώστε ακόμη και τα άτομά τους συνθλίβονται σχηματίζοντας νετρονία. Τα άστρα αυτά είναι γνωστά ως «αστέρες νετρονίων». Ένα τέτοιο αντικείμενο βρίσκεται στον αστερισμό του Ταύρου, βαθιά στο εσωτερικό ενός κουρελιασμένου νέφους διαστελλόμενων αερίων που είναι γνωστό ως Νεφέλωμα του Καρκίνου. Το νεφέλωμα περιέχει τα κατακερματισμένα υπολείμματα ενός γιγαντιαίου άστρου, που η έκρηξή του παρατηρήθηκε από Κινέζους χρονικογράφους στα 1054.

Οι αστρονόμοι έχουν ανακαλύψει πολύ περισσότερα τέτοια αντικείμενα και έχουν συμπεράνει πως η βαρύτητα στην επιφάνειά τους είναι αρκετά μεγάλη ώστε να προκαλέσει σημαντική στρέβλωση του χρόνου. Ένα ρολόι πάνω σε έναν αντιπροσωπευτικό αστέρα νετρονίων θα χτυπούσε περίπου κατά 30% πιο αργά απ' ό,τι στη Γη. Επομένως, αν κατοικήσετε κοντά σε έναν αστέρα νετρονίων (ομολογουμένως όχι και τόσο πρακτική πρόταση), θα έχετε μια έτοιμη χρονομηχανή για να ταξιδέψετε στο μέλλον. Επιπλέον εκεί θα αντιστοιχούν σε δέκα χρόνια πάνω στη Γη.

Αν μπορούσατε να παρατηρήσετε τη Γη από την επιφάνεια ενός αστέρα νετρονίων, θα βλέπατε τα γήινα γεγονότα να εξελίσσονται σε επιτάχυνση, όπως σε μια βιντεοταινία που ξετυλίγεται γρήγορα προς τα εμπρός. Ωστόσο, τα γεγονότα γύρω σας θα φαίνονταν κανονικά. Δεν θα νιώθατε σαν να ζούσατε σε έναν κόσμο όπου τα πάντα εξελίσσονται με μεγάλη ταχύτητα, ή ότι ο ψυχολογικός χρόνος κυλά ανησυχητικά γρήγορα.

Αληθεύουν όλα αυτά; Ναι. Υπάρχει ένα ζεύγος αστέρων νετρονίων στον αστερισμό του Αετού, σε τροχιά ο ένας γύρω



Το γράφημα παρουσιάζει τον
«παράγοντα επιβράδυνσης»
για ένα ρολόι πάνω στην επιφάνεια
της συστελλόμενης σφαίρας.



Το Νεφέλωμα του Καρκίνου

από τον άλλο, που διακρίνεται από την εκπομπή κανονικών ραδιο-παλμών, μέσω των οποίων οι αστρονόμοι είναι σε θέση να επιβεβαιώσουν με μεγάλη ακρίβεια τα φαινόμενα στρέ-

βλώσης του χρόνου που προβλέπει η θεωρία του Αϊνστάιν για τη γενική σχετικότητα.

*Άραγε, αυτό που επιβραδύνεται
είναι πράγματι ο χρόνος;*

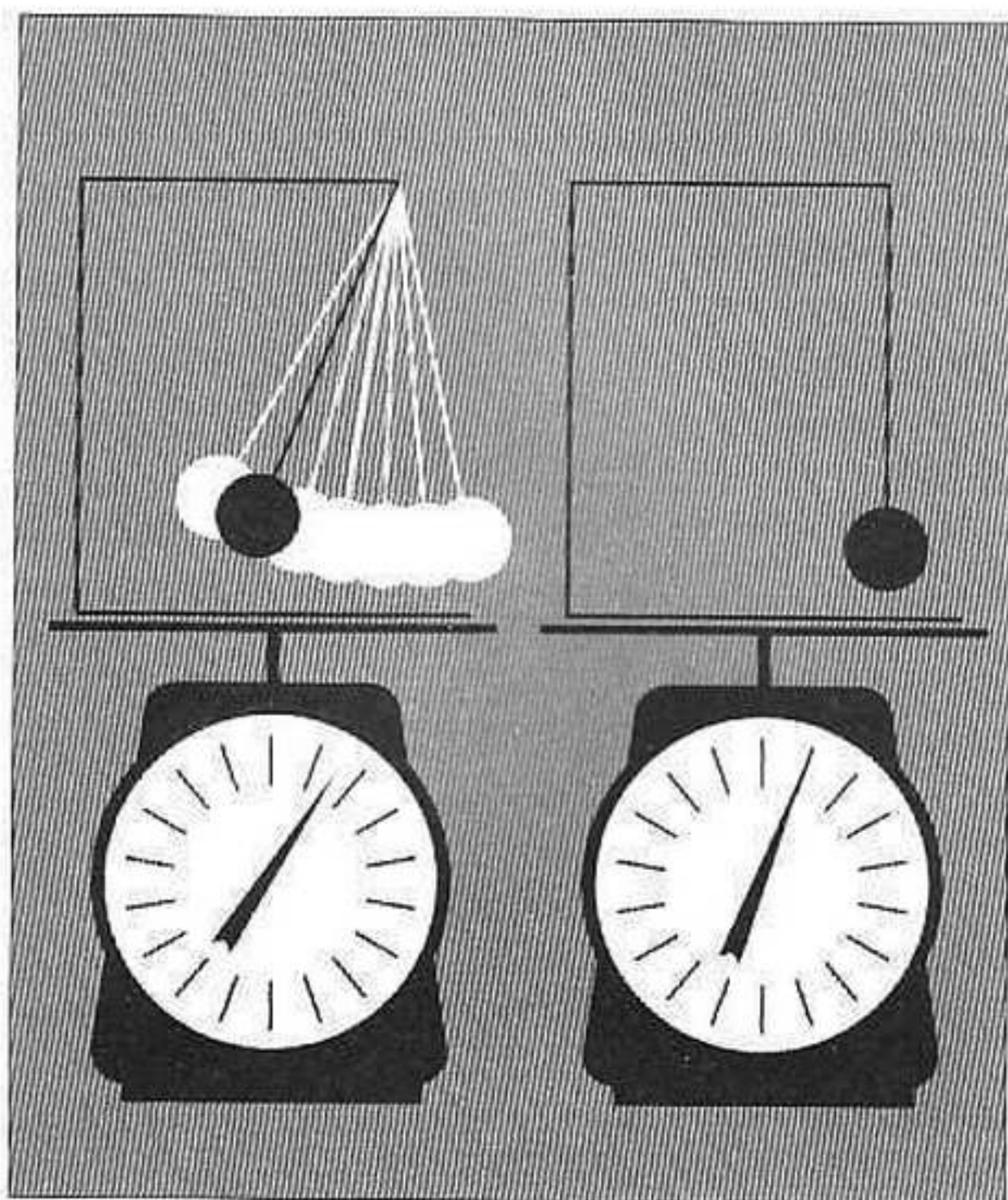
Κάποιοι προβάλλουν την ένσταση ότι η θεωρία της σχετικότητας απλώς και μόνο περιγράφει το πώς επηρεάζονται τα ρολόγια από την κίνηση και τη βαρύτητα, και όχι τον ίδιο το χρόνο. Πρόκειται για παρανόηση. Τα ρολόγια μετράνε το χρόνο. Αν όλα τα ρολόγια (συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπινου εγκεφάλου, που διέπει την προσωπική μας αντίληψη για το χρόνο) επιβραδύνονταν εξίσου, τότε θα μπορούσαμε σωστά να ισχυριστούμε ότι ο ίδιος ο χρόνος έχει επιβραδυνθεί, αφού δεν υπάρχει χρονική διάρκεια διαφορετική από εκείνη που μπορεί να μετρηθεί με ρολόγια (κάποιου είδους). Ομοίως, αν όλες οι αποστάσεις συρρικνώνονταν κατά τον ίδιο παράγοντα, θα ήταν σωστό να ισχυριστούμε ότι ο χώρος έχει συρρικνωθεί.

Προκειμένου να αποσαφηνίσω αυτό το σημείο, ας υποθέσουμε ότι έχω ένα παλαιό και κομψό ρολόι από τον παππού μου, το οποίο τοποθετώ σε ένα αεριοθούμενο για να ελέγξω το φαινόμενο της διαστολής του χρόνου. Αν το ρολόι θρυμματιστεί κατά την απογείωση, θα είναι λάθος να συμπεράνω ότι ο χρόνος παγώνει στο εσωτερικό του αεροσκάφους επειδή το ρολόι έπαψε να χτυπά. Για να έχει νόημα η διαστολή του χρόνου, πρέπει να αποκλειστεί η επίδραση της επιτάχυνσης στον ωρολογιακό μηχανισμό πριν καταλήξουμε σε οποιοδήποτε συμπέρασμα σχετικά με τον ίδιο το χρόνο. Η διαστολή του χρόνου είναι το αμυγώς χρονικό φαινόμενο που απομένει.

Ας σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια μιας ομαλής κίνησης, όπως η πτήση ενός αεροπλάνου με σταθερή ταχύτητα, ούτως ή άλλως δεν υπάρχουν μηχανικές επιδράσεις σε ρολόγια (Ο Γαλιλαίος μάς δίδαξε προ πολλού ότι η ομαλή κίνηση είναι μόνο σχετική). Η σταθερή ταχύτητα δεν προκαλεί καμιά δύναμη που θα μπορούσε να επηρεάσει ένα ρολόι, διαφορετικά θα έπρεπε να ανησυχούμε για το πώς εξαρτάται το ρολόι από την ταχύτητα της Γης στο διάστημα.

$E = mc^2$: η διάσημη εξίσωση του Αϊνστάιν

Ακόμη κι εκείνοι που δεν διαθέτουν επιστημονική εκπαίδευση, γνωρίζουν τη διάσημη εξίσωση του Αϊνστάιν: $E = mc^2$. Η εξίσωση αυτή θα διαδραματίσει αποφασιστικό ρόλο στην εξέταση του ταξιδιού στο χρόνο. Εδώ το E συμβολίζει την ενέργεια, το m τη μάζα, και το c την ταχύτητα του φωτός. Σύμφωνα με τη θεωρία, η μάζα συνδέεται με την ενέργεια, δηλαδή η ενέργεια έχει μάζα και η μάζα είναι μια μορφή ενέργειας. Στο επόμενο διάγραμμα, το εκκρεμές που ταλαντώνεται είναι ελάχιστα βαρύτερο από το ακίνητο, ενώ όλα τα υπόλοιπα μεγέθη είναι μεταξύ τους ίσα, επειδή η κινητική ενέργεια του εκκρεμούς έχει μάζα. Ο παράγων μετατροπής c^2 είναι ένας πολύ μεγάλος αριθμός, επειδή η ταχύτητα του φωτός είναι πολύ μεγάλη. Αυτό σημαίνει ότι μια μικρή ποσότητα μάζας έχει τεράστια αξία σε ενέργεια. Για παράδειγμα, ένα γραμμάριο ύλης, εάν μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια, μπορεί να ηλεκτροδοτήσει μια ολόκληρη πόλη για αρκετές ημέρες. Πυρηνικές αντιδράσεις του είδους που χρησιμοποιείται σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας μετατρέπουν σε ενέργεια περίπου 1% της μάζας του καυσίμου, με αποτέλεσμα μια πο-



Το εκκρεμές που ταλαντώνεται
είναι ελάχιστα βαρύτερο
από το ακίνητο.

λύ καλύτερη απόδοση από εκείνη των χημικών αντιδράσεων. Αντιστρόφως, συνήθεις ποσότητες ενέργειας δεν διαθέτουν μεγάλη μάζα. Η θερμική ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση του περιεχομένου μιας κατσαρόλας έχει μάζα μόλις πενήντα τρισεκατομμυριοστά του γραμμαρίου.

Η ενέργεια εισέρχεται στο σενάριο της χρονομηχανής μέσω της βαρύτητας. Η μάζα είναι μια πηγή βαρύτητας. Καθώς η ενέργεια έχει μάζα, πρέπει να ασκεί και βαρυτική δύναμη. Η θερμική ενέργεια στο εσωτερικό της Γης, για παράδειγμα, συμβάλλει κατά λίγα δισεκατομμυριοστά του γραμμαρίου στο βάρος του σώματός σας.

Ο Αϊνστάιν κατέληξε στην εξίσωσή του από τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας. Ένας τρόπος για να ρίξουμε φως στη σχέση τους είναι να μελετήσουμε το γεγονός ότι τα υλικά σώματα δεν μπορούν να κινηθούν ταχύτερα από το φως. Επομένως, τι θα συμβεί αν προσπαθήσετε να επιταχύνετε ένα σωματίδιο ύλης σε ταχύτητες μεγαλύτερες εκείνης του φωτός; Αυτό ακριβώς κάνουν οι φυσικοί που μελετούν υπο-ατομικά σωματίδια με τους γιγαντιαίους επιταχυντές τους. Το αποτέλεσμα είναι ότι καθώς η ταχύτητά του πλησιάζει εκείνη του φωτός, το σωματίδιο γίνεται βαρύτερο, δηλαδή, η μάζα του αυξάνεται (ένα ηλεκτρόνιο που περιφέρεται στο εσωτερικό του επιταχυντή LEP, για παράδειγμα, ζυγίζει περίπου 200.000 φορές περισσότερο από ένα ακίνητο ηλεκτρόνιο). Έτσι, η επιτάχυνσή του γίνεται διαρκώς πιο δύσκολη. Ολοένα και μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας καταναλώνεται για να γίνει το σωματίδιο βαρύτερο, ενώ αντιστοίχως ολοένα μικρότερο ποσοστό ενέργειας απαιτείται για την αύξηση της ταχύτητάς του. Η ταχύτητα του φωτός είναι το τελικό φράγμα: αν το σωματίδιο μπορούσε να την αποκτήσει, τότε η μάζα του θα απειριζόταν. Για να το κάνουμε να κινηθεί ταχύτε-

ρα, θα απαιτείτο μια άπειρη δύναμη, κάτι που είναι αδύνατον.

Το μέλλον βρίσκεται εκεί έξω

Παρότι έγραψε δέκα χρόνια πριν από τη θεωρία του Αϊνστάιν για την ειδική σχετικότητα, ο Χ. Τζ. Γουέλς συνειδητοποίησε πως ο χρόνος μπορούσε να θεωρηθεί ως η τέταρτη διάσταση. Υπέθεσε ότι, όπως ακριβώς μπορούμε να κινηθούμε στις τρεις διαστάσεις του χώρου, ίσως είναι δυνατή και η κίνηση στη χρονική διάσταση. Όμως, αυτή η διασκεδαστική ιδέα υποθέτει σιωπηρά ότι το παρελθόν και το μέλλον βρίσκονται κάπου «εκεί έξω», συνεπώς πραγματικό δεν είναι μόνο το παρόν. Πράγματι, οι φυσικοί θεωρούν ότι ολόκληρος ο χρόνος υπάρχει ισοδύναμα, αποτελώντας ένα εκτεταμένο «χρονικό τοπίο». Για την ακρίβεια, οι έννοιες παρελθόν, παρόν και μέλλον αποτελούν βολικές γλωσσολογικές επινοήσεις στο ανθρώπινο βασίλειο, χωρίς ωστόσο να ενέχουν απόλυτη φυσική σημασία. Ο ίδιος ο Αϊνστάιν εξέφρασε δίχως περιστροφές τα παραπάνω, σε μια επιστολή προς κάποιον φίλο του: «Η διάκριση μεταξύ παρελθόντος, παρόντος και μέλλοντος», έγραψε, «είναι απλώς μια, έστω επίμονη, ψευδαίσθηση».

Συχνά, το συμπέρασμα αυτό τρελαίνει τους φυσικούς. Πώς είναι δυνατόν να συνυπάρχουν, το παρελθόν και το μέλλον, μαζί με το παρόν; Σε ό,τι αφορά το γιατί δεν μπορούμε να κατατμήσουμε ομαλά το χρόνο σε παρελθόν, παρόν και μέλλον έτσι ώστε να συμφωνήσουν μεταξύ τους όλοι οι παρατηρητές, ο Αϊνστάιν επιχειρηματολόγησε ως εξής: Ας αρχίσουμε με ένα ερώτημα: Πώς ξέρουμε ότι το «τώρα» σε ένα

σημείο είναι ίδιο με το «τώρα» σε κάποιο άλλο σημείο; Για σκεφθείτε το. Ας υποθέσουμε ότι εκεί που βρίσκεσθε η ώρα είναι 6 μ.μ. Ποια γεγονότα συμβαίνουν την ίδια στιγμή στην άλλη πλευρά της υδρογείου; Ο Αϊνστάιν επέμεινε ότι σε ένα τόσο απλό ερώτημα δεν υπάρχει κατάλληλη απάντηση.

Γιατί; Θα αναρωτηθείτε. Άραγε, δεν μπορούμε απλώς να τηλεφωνήσουμε σε κάποιον και να κάνουμε μια λεπτομερή σύγκριση; Λοιπόν, το πρόβλημα είναι ότι η μετάδοση των τηλεφωνικών σημάτων απαιτεί χρόνο, ακόμη κι αν πραγματοποιείται με την ταχύτητα του φωτός. Μάλιστα, ένα φωνητικό σήμα χρειάζεται περίπου ένα επτακοσιοστό του δευτερολέπτου προκειμένου να διατρέξει την υδρογείο μέσω οπτικών ινών. (Η καθυστέρηση δεν είναι ιδιαίτερα αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί). Έτσι, τα νέα από την άλλη πλευρά της Γης φθάνουν πάντα κάπως καθυστερημένα. (Εντάξει, όχι πολύ καθυστερημένα, αλλά το αναφέρω ως παράδειγμα). Αν ο φίλος σας βρίσκεται στον Άρη, ίσως χρειασθεί να περιμένετε είκοσι λεπτά μέχρι να μάθετε τι συνέβη. Επειδή το γεγονός ότι κανένα σήμα δεν μπορεί να διαδοθεί ταχύτερα από το φως αποτελεί μια από τις θεμελιώδεις αρχές της φυσικής, κάποια καθυστέρηση είναι αναπόφευκτη.

Η καθυστέρηση, αυτή καθαυτή, δεν συνιστά πρόβλημα για τη θεμελίωση του ταυτόχρονου. Μπορείτε να την εξισορροπήσετε απλώς αφαιρώντας το χρονικό διάστημα που απαιτείται μέχρι την άφιξη του σήματος. Η πραγματική δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι παρατηρητές που κινούνται διαφορετικά, διαφωνούν ως προς την τιμή αυτού του εξισορροπητικού παράγοντα. Αυτό συμβαίνει επειδή τα ρολόγια τους δεν λειτουργούν με τον ίδιο ρυθμό, εξαιτίας του φαινομένου της διαστολής του χρόνου. Έτσι, ανάλογα με το ποιον ρωτάτε, οι γνώμες θα διίστανται αναφορικά με τη χρονική έκταση της

καθυστερήσης κατά τη διάδοση φωτεινών (ή ραδιοφωνικών) σημάτων από το σημείο Α έως το σημείο Β. Ένας αστροναύτης που κινείται στο διάστημα με τη μισή ταχύτητα του φωτός θα διαφωνεί σοβαρά με έναν επίγειο παρατηρητή ως προς την ακριβή έκταση της χρονικής καθυστέρησης ενός σήματος που κάνει το γύρο της Γης.

Ως αποτέλεσμα τέτοιων διαφωνιών, δεν υπάρχει μοναδικό γεγονός στην άλλη πλευρά της Γης, ή στον Άρη, ή γενικά σε οποιοδήποτε σημείο του διαστήματος, διαφορετικό από εκείνο στο οποίο βρίσκεσθε, που να συμβαίνει ακριβώς ταυτόχρονα με το δικό σας «τώρα». Θα υπάρχει ένα εύρος τέτοιων γεγονότων σε απομακρυσμένα μέρη. Το ποιο ειδικό γεγονός θα θεωρηθεί ως πραγματοποιούμενο την ίδια στιγμή με εκείνο που συμβαίνει στις «6 μ.μ. στο σπίτι», θα εξαρτηθεί από τον τρόπο κίνησης του παρατηρητή. Η διαφορά δεν είναι μεγάλη αν περιοριστεί στη Γη (μόλις ένα κλάσμα του δευτερολέπτου σε κάθε περίπτωση), αλλά το εύρος των ανταγωνιστικών «τώρα» αυξάνεται με την απόσταση. Στην περίπτωση του Άρη είναι λίγο λειψιά. Για ένα άστρο στην άλλη πλευρά του Γαλαξία, γεγονότα που συμβαίνουν την ίδια στιγμή με ένα γεγονός στη Γη σήμερα, ίσως απέχουν χρονικά μεταξύ τους 100.000 χρόνια.

Το συμπέρασμα είναι ότι δεν μπορεί να υπάρξει μια μοναδική στιγμή *τώρα*, που να είναι ίδια παντού και για όλους. Με άλλα λόγια:

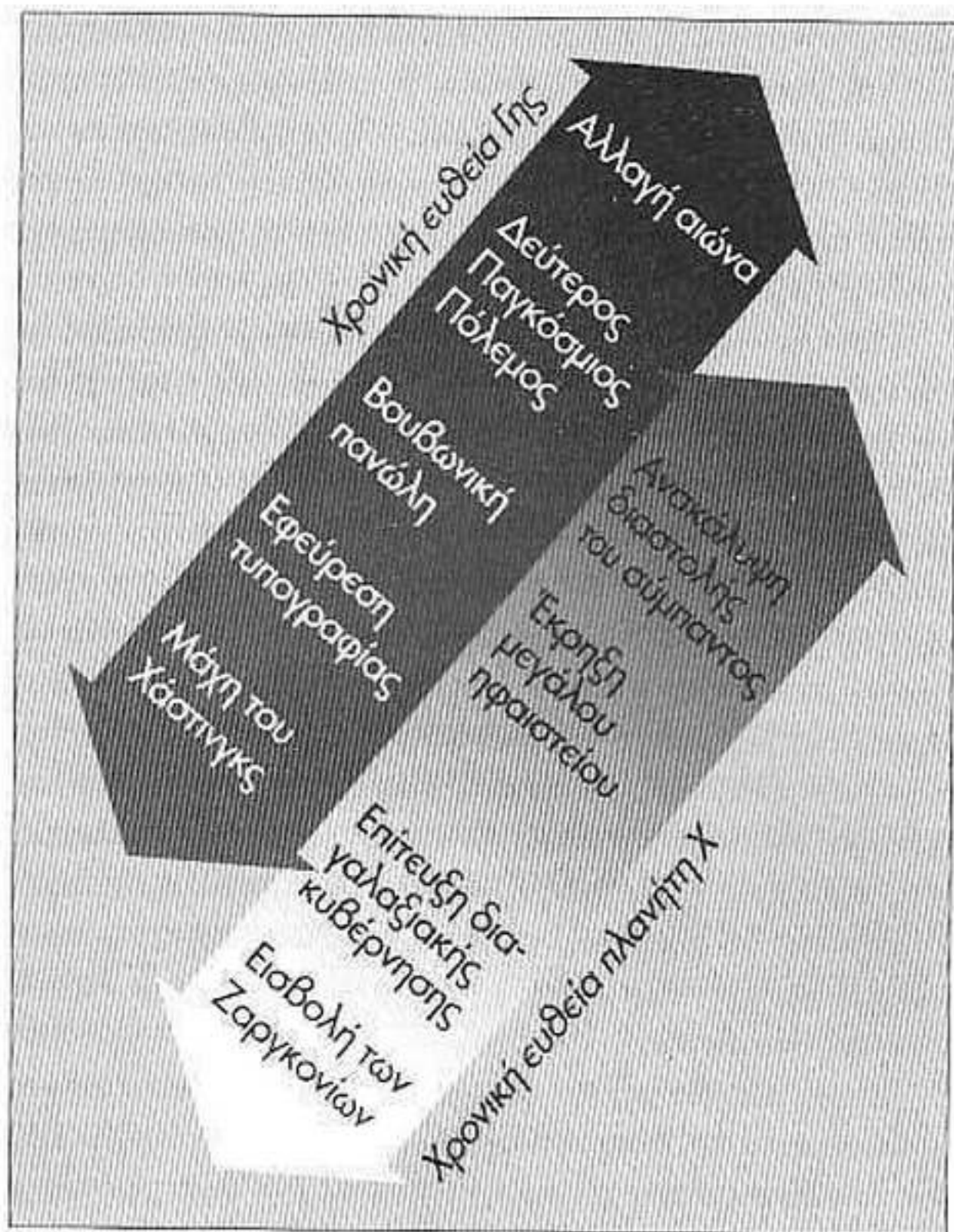
Δεν υπάρχει παγκόσμιο «τώρα».

Οφείλουμε να αποδεχθούμε ότι ο χρόνος σε ένα απομακρυσμένο μέρος πρέπει να εκτείνεται κάπως στο παρελθόν και στο μέλλον που αντιλαμβανόμαστε. Και λόγω συμμετρίας, οι

απομακρυσμένοι παρατηρητές θα θεωρούν ότι ο χρόνος στη Γη εκτείνεται στο δικό τους παρελθόν και μέλλον. Δεν υπάρχει άλλος τρόπος για να αποκτήσουν νόημα τα γεγονότα. Προφανώς, τότε, είναι λάθος να θεωρούμε μόνο το παρόν ως πραγματικό σε ολόκληρο το σύμπαν. Κάποια γεγονότα που εσείς κρίνετε ότι ανήκουν στο παρελθόν, θα θεωρούνται από κάποιον άλλον ως μελλοντικά ή παρόντα, και αντιστρόφως.

Για παράδειγμα, η Γη έχει μια συγκεκριμένη ιστορία, όπως και ένας υποθετικός πλανήτης Χ που απέχει 5.000 έτη φωτός. Κάθε απόπειρα να συγκρίνουμε δεδομένα ειδικών γεγονότων στους δύο πλανήτες είναι άσκοπη, καθώς η ευθυγράμμιση των αντίστοιχων χρονικών ευθειών είναι αμφίσημη σε ένα χρονικό διάστημα χιλιάδων ετών.

Αυτό δεν συνεπάγεται ότι η αλληλουχία αιτίου και αποτελέσματος μπορεί να αντιστραφεί απλώς μέσω της γρήγορης κίνησης. Επιτρέψτε μου να εξηγήσω γιατί. Τα γεγονότα διαθέτουν μια αμφίσημη χρονική αλληλουχία μόνο αν το φως δεν διαθέτει επαρκή χρόνο ώστε να διέλθει ανάμεσά τους. Για παράδειγμα, αν πυροβολήσω με ένα όπλο στη Γη και ένας αστροναύτης κάνει το ίδιο στον Άρη μετά από ένα δευτερόλεπτο (κατά την εκτίμησή μου), ένας παρατηρητής στο εσωτερικό ενός περαύλου που κινείται με μεγάλη ταχύτητα, μπορεί κάλλιστα να αποφανθεί ότι το όπλο στον Άρη εκπυροσκορήσε πρώτο. Αν, όμως, το όπλο στον Άρη εκπυροσκορήσει μια εβδομάδα μετά από το δικό μου, όλοι θα συμφωνήσουν ποιο εκπυροσκορήσε πρώτο, αφού μια εβδομάδα είναι αρκετό χρονικό διάστημα ώστε το φως να διασχίσει την απόσταση Γης-Άρη. Αν κανένα φυσικό φαινόμενο δεν μπορεί να κινηθεί ταχύτερα από το φως, γεγονότα με αμφίσημη χρονική αλληλουχία δεν μπορούν ποτέ να ετηρεάσουν το ένα το άλλο, οπότε η αιτιότητα δεν κινδυνεύει. Ωστόσο, ας οημειωθεί ότι,



Κάθε απόπειρα να συγκρίνουμε
δεδομένα ειδικών γεγονότων
στους δύο πλανήτες
είναι άσκοπη.

αν ο κανόνας για τη μη ύπαρξη ταχυτήτων μεγαλύτερων εκείνης του φωτός ήταν λάθος, η αιτιότητα θ' αντιμετώπιζε πρόβλημα και το παρελθόν και το μέλλον θα μπερδεύονταν μεταξύ τους. Όπως θα δούμε, αυτή η μικρή ένδειξη θα αποδειχθεί εξαιρετικά σημαντική για την κατασκευή μιας χρονομηχανής γενικής χρήσης.

Ποτέ δεν υπάρχει οποιαδήποτε αμφισημία σχετικά με τη χρονική αλληλουχία μιας σειράς γεγονότων που συμβαίνουν σε ένα σημείο. Κανείς δεν ισχυρίζεται ότι η μάχη του Χάστινγκς συνέβη μετά τη μάχη του Βατερλό. Η προσοχή επιβάλλεται μόνο όταν γεγονότα *εδώ και τώρα* συγκριθούν με γεγονότα *εκεί και τώρα*, όπου το «εκεί» βρίσκεται πολύ μακριά. Ακόμη και τότε, οι διαφορές είναι υπερβολικά μικρές για να γίνουν αντιληπτές στην ίδια τη Γη, ενμέρει επειδή το φως χρειάζεται πολύ μικρό χρονικό διάστημα για να διατρέξει την υδρόγειο, αλλά και διότι τα ανθρώπινα όντα κινούνται με ταχύτητες που ισοούνται μόλις με ένα απειροελάχιστο κλάσμα της ταχύτητας του φωτός. Ωστόσο, ακόμη κι αυτό αποτελεί σύμπτωση. Το σημαντικό είναι ότι δεν μπορούμε να αποδώσουμε απόλυτο νόημα στη φράση «την ίδια στιγμή» σε δύο διαφορετικά σημεία.

Επομένως, το μέλλον βρίσκεται πράγματι εκεί έξω και μπορούμε να το επισκεφθούμε. Το μόνο που χρειαζόμαστε ως αποτελεσματική χρονομηχανή είναι ένα διαστημόπλοιο που να μπορεί να κινηθεί με ταχύτητες παραπλήσιες εκείνης του φωτός, ή να αντέξει τις ολέθριες ουνθήκες που επικρατούν κοντά σε έναν αστέρα νετρονίων. Οι πολύ μεγάλες ταχύτητες δεν αποτελούν και αρχήν πρόβλημα, παρά απλώς και μόνο μια πρακτική δυσκολία που ενδέχεται κάποια μέρα να ξεπεραστεί. Το κύριο μειονέκτημα είναι το κόστος σε ενέργεια. Για να επιταχύνουμε ένα φορτίο βάρους δέκα τόνων

σε ταχύτητα ίση με το 99,9% εκείνης του φωτός, απαιτείται ενέργεια ίση με δέκα δισεκατομμύρια δισεκατομμυρίων Joule, που ισοδυναμεί με τη συνολική κατανάλωση ενέργειας ολόκληρης της ανθρωπότητας για διάστημα αρκετών μηνών. Και η ενέργεια που απαιτείται αυξάνεται ευθέως ανάλογα προς τον παράγοντα χρονικής στρέβλωσης: ο υποδιπλασιασμός του ρυθμού λειτουργίας ενός ρολογιού απαιτεί το διπλασιασμό της ενέργειας. Με αυτό το κόστος, κανείς δεν πρόκειται να πραγματοποιήσει ένα μεγάλο άλμα προς τα εμπρός στο χρόνο, χρησιμοποιώντας πυραυλική τεχνολογία. Αν βρεθεί κάποιος τρόπος για άντληση ενέργειας από φυσικές πηγές στο διάστημα, το ταξίδι με ταχύτητες παραπλήσιες εκείνης του φωτός ίσως μια μέρα να είναι εφικτό και τότε θα μπορούμε να συλλάβουμε το μέλλον.

Τι ισχύει για την επιστροφή από το μέλλον;

Το ταξίδι με μεγάλες ταχύτητες και η βαρυτική διαστολή του χρόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για να μεταβούμε εμπρός στο χρόνο. Όμως, όπως το μέλλον, έτσι και το παρελθόν βρίσκεται εκεί έξω και μας περιμένει να το επισκεφθούμε. Το ζήτημα είναι να επινοήσουμε έναν τρόπο για να φθάσουμε σε αυτό.

 ΠΩΣ ΝΑ ΕΠΙΣΚΕΦΘΕΙΤΕ ΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ

Η πρώτη ένδειξη ότι συγκεκριμένα βαρυτικά πεδία ενδέχεται να επιτρέπουν το ταξίδι πίσω όσο και εμπρός στο χρόνο δόθηκε στα 1937, με μια σχετικά άγνωστη εργασία του Β. Γ. βαν Στόκουμ που δημοσιεύθηκε σε ένα σκοτσέζικο επιστημονικό περιοδικό. Ο βαν Στόκουμ χρησιμοποίησε τη θεωρία του Αϊνστάιν για τη γενική σχετικότητα προκειμένου να προβλέψει τι θα συνέβαινε αν ένας παρατηρητής βρισκόταν σε τροχιά γύρω από έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο. Το συμπέρασμα ήταν πως, αν ο κύλινδρος περιστρεφόταν αρκετά γρήγορα, ο παρατηρητής επέστρεφε στο αφετηριακό του σημείο πριν ξεκινήσει. Με άλλα λόγια, ένας κλειστός βρόχος στο χώρο μετατρέποταν επίσης σε έναν κλειστό βρόχο στο χρόνο. Κανείς δεν αναστατώθηκε από το αποτέλεσμα αυτό επειδή, προκειμένου να αιολοποιήσει τα

μαθηματικά, ο βαν Στόκουμ είχε καταφύγει στη μη ρεαλιστική υπόθεση ότι ο κύλινδρος είχε άπειρο μήκος. Ωστόσο, το αποτέλεσμα αυτό χρησίμευσε για να δείξουμε ότι η θεωρία της γενικής σχετικότητας δεν απαγορεύει ρητά το ταξίδι στο παρελθόν. Χρειάστηκαν ακόμη πενήντα χρόνια μέχρι να βρουν οι φυσικοί έναν πιο ρεαλιστικό τρόπο κατασκευής μιας χρονομηχανής.

Πώς να ταξιδεύει πιο γρήγορα από το φως

Μια δεκαετία μετά τη δημοσίευση της εργασίας του βαν Στόκουμ, ο διαπρεπής Αυστριακός Κουρτ Γκέντελ, ειδικός στη μαθηματική λογική, παρήγαγε άλλη μια λύση των εξισώσεων Αϊνστάιν για τη γενική σχετικότητα, η οποία περιείχε χρονικούς βρόχους. Εκείνη την εποχή ο Γκέντελ εργαζόταν στο Ινστιτούτο Ανωτέρων Μελετών του Πρίνστον, κοντά στον Αϊνστάιν. Αυτό που ανακάλυψε ήταν ότι, αν ολόκληρο το σύμπαν περιστρεφόταν, θα μπορούσαμε να εντοπίσουμε



στο χώρο τροχιές, οι οποίες θα επέστρεφαν σπειροειδώς στο παρελθόν. Ο Γκέντελ έδειξε ότι σε ένα τέτοιο σύμπαν θα μπορούσατε να αναχωρήσετε από τη Γη και να ταξιδέψετε οπουδήποτε και οποτεδήποτε θέλατε.

Το μαθηματικό μοντέλο του Γκέντελ παρουσιάστηκε ως παραδοξότητα, χωρίς να

διεκδικεί τον τίτλο της σοβαρής πρότασης. Ακόμη και στη δεκαετία του 1940 οι αστρονόμοι είχαν σοβαρούς λόγους να αμφιβάλλουν ότι το ούμπαν περιστρεφόταν ως όλον, αν και μεμονωμένοι γαλαξίες περιστρέφονταν. Σήμερα, μετρήσεις της θερμικής ακτινοβολίας που έχει απομείνει από τη Μεγάλη Έκρηξη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό, με μεγάλη ακρίβεια, οποιασδήποτε συμπαντικής περιστροφής, αλλά τίποτε τέτοιο δεν έχει παρατηρηθεί. Παρά τον έκδηλα τεχνητό χαρακτήρα του, το συμπαντικό μοντέλο του Γκέιντελ θορύβησε σοβαρά τον Λίνστέιν, ο οποίος παραδέχθηκε ότι ανησυχούσε για το ταξίδι πίσω στο χρόνο από τότε που είχε διατυπώσει για πρώτη φορά τη θεωρία της γενικής σχετικότητας.

Μια μικρούλα καλλονή,
 που τη λέγανε Φανή,
 απ' το φως ακόμη πιο γοργή,
 ξεκίνησε ένα πρωινό
 με τρόπο άκρως σχετικό,
 και γύρισε αργά πολύ
 τη νύχτα την προχθεσινή.

Punch,
 19 Δεκεμβρίου 1923*

* *Punch*: αγγλικό χιουμοριστικό περιοδικό που κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1841. (Σ.τ.Μ.)

Ποιο είναι το μυστικό που επιτρέπει στην περιστροφή να ανοίξει μια πύλη στο παρελθόν; Μια υπόδειξη δίνει το περίφημο σατιρικό επτάστιχο της προηγούμενης σελίδας. Όπως εξήγησα στο κεφάλαιο 1, με δεδομένο τον κανόνα που «απαγορεύει» ταχύτερες μεγαλύτερες εκείνης του φωτός, η χρονική αλληλουχία γεγονότων που μπορούν να συνδεθούν μέσω φωτεινών σημάτων δεν αμφισβητείται ποτέ. Όμως, αν επιτρεπόταν κίνηση ταχύτερη από το φως, θα ακολουθούσε αιτιακό χάος. Θα μπορούσε να αντιστραφεί η σειρά μεταξύ αίτιου και αποτελέσματος ή, για να το θέσουμε διαφορετικά, θα ήταν δυνατή η κίνηση κατά τρόπο ώστε, για κάποια ζεύγη χωρικά διακριτών γεγονότων, να υπάρξει αντιστροφή της σειράς μεταξύ του «πριν» και του «μετά». Ουσιαστικά αυτή η αντιστροφή του χρόνου απέχει μόλις ένα μικρό βήμα από το ταξίδι στο παρελθόν. Με άλλα λόγια, «ταχύτερα από το φως» μπορεί να σημαίνει «πίσω στο χρόνο».

Όμως, υπάρχει μια δυσκολία. Η περιστροφή δεν επιτρέπει σε έναν αστροναύτη, ή έστω ένα σωματίδιο ύλης, να σπάσει το φράγμα του φωτός, επηρεάζει όμως την κίνηση του ίδιου του φωτός. Σύμφωνα με τη θεωρία της γενικής σχετικότητας, αν ένα σώμα (για παράδειγμα, ένας κύλινδρος, ή το σύμπαν) περιστρέφεται, θα λειτουργήσει ως δίνη στο χώρο συμπαρουσίας οποιαδήποτε διερχόμενη δέσμη φωτός. Κανονικά, αυτό το φαινόμενο της παράυρσης είναι απειροελάχιστο, αλλά αν το σώμα έχει αρκετά μεγάλη μάζα και περιστρέφεται αρκετά γρήγορα, το φως μπορεί να συλληφθεί από το συστραμμένο βαρυτικό πεδίο και να εγκλωβιστεί σε ένα βρόχο. Αν ένας ατρόμητος αστροναύτης αποτολμήσει να διέλθει από αυτή τη βαρυτική ρουφήχτρα, θα συμπαρουρηθεί και αυτός σε περιστροφική τροχιά. Ανά πάσα στιγμή, ο αστροναύτης κινείται γύρω από το περιστρεφόμενο σώμα πιο

αργά απ' ό,τι το φως κοντά του. Επειδή, όμως, το ίδιο το φως συμπαρασύρεται σε αυτή την περιστροφική κίνηση, ουσιαστικά ο αστροναύτης καταλήγει, ως προς έναν μακρινό παρατηρητή, στην κατάσταση της δεσποινίδας Φανής. Τοπικά, το φράγμα του φωτός δεν έχει παραβιαστεί, αλλά ολικά, θεωρώντας ολόκληρο το σύστημα, ο αστροναύτης έχει αποκτήσει υπερφωτεινή ταχύτητα. Στη δεκαετία του 1970, ο φυσικός Φρανκ Τίπλερ έδειξε ότι ένας υπέρπυκνος κύλινδρος περιστρεφόμενος γύρω από τον άξονά του με τη μισή ταχύτητα του φωτός θα μπορούσε να λειτουργήσει, υπό αυτή την έννοια, ως χρονομηχανή, αν και το σενάριο που σκιαγράφησε δεν ήταν ρεαλιστικό από φυσική άποψη.

Παρότι οι πρόσφατες ιδέες για τις χρονομηχανές δεν απαιτούν περιστροφή, περιλαμβάνουν και αυτές έναν τρόπο για να ξεπεραστεί ουσιαστικά η ταχύτητα του φωτός. Η πλέον δημοφιλής πρόταση είναι η «σκουληκότρυπα». Όπως θα δούμε, πρόκειται για μια γλυπτική στη δομή του χώρου, η οποία παρέχει μια αντιστροφή της διαδρομής μεταξύ δύο αρκετά απομακρυσμένων μεταξύ τους σημείων. Ταξιδεύοντας μέσα από μια σκουληκότρυπα, ένας αστροναύτης θα είναι σε θέση να μεταβεί από το σημείο Α στο σημείο Β πριν προλάβει το φως να φθάσει εκεί από τον κανονικό δρόμο, δηλαδή διασχίζοντας τον κανονικό χώρο.

Επομένως, τι ακριβώς είναι μια σκουληκότρυπα; Προκειμένου να εισαγάγω την έννοια, πρέπει πρώτα να εξηγήσω ένα αντικείμενο που γνωρίζουμε καλύτερα, τη μαύρη τρύπα.

Πώς να φτιάξετε μια μαύρη τρύπα

Ασφαλώς οι μαύρες τρύπες είναι κάτι αξιοπερίεργο, και οι

περισσότεροι άνθρωποι σήμερα γνωρίζουν τη βασική ιδέα: πυκνά, σκοτεινά σώματα στο διάστημα, που ρουφάνε τα πάντα γύρω τους. Μικρές μαύρες τρύπες διαμέτρου λίγων χιλιομέτρων σχηματίζονται όταν μεγάλα άστρα εξαντλήσουν τα καύσιμά τους και καταρρέουν κάτω από το ίδιο τους το βάρος. Κάποια γίνονται αστέρες νετρονίων, ενώ κάποια άλλα μαύρες τρύπες. Ο Ήλιος μας θα αποφύγει πιθανότατα οποιοδήποτε παρόμοιο πεπρωμένο, καθώς έχει αρκετά μέτρια μάζα, και ενδεχομένως να τελειώσει τις μέρες του ως λευκός νάνος. Ορισμένοι αστρονόμοι πιστεύουν ότι ο Γαλαξίας ίσως είναι πασπαλισμένος με μυριάδες μαύρες τρύπες, τα νεκρά υπολείμματα γιγαντιαίων άστρων που γεννήθηκαν δισεκατομμύρια χρόνια πριν από το ηλιακό σύστημα.

Πολύ μεγαλύτερες μαύρες τρύπες ελλοχεύουν στα κέντρα των γαλαξιών. Ο Γαλαξίας μας φαίνεται πως περιβάλλει ένα αντικείμενο που η μάζα του ισοδυναμεί με περίπου ένα εκατομμύριο ήλιους. Γνωρίζουμε και άλλους γαλαξίες, που περιέχουν κεντρικές μαύρες τρύπες ακόμη μεγαλύτερες κατά χίλιες φορές. Κατά καιρούς, η ύλη που εισέρχεται σπειροειδώς σε αυτά τα υπερμαζικά αντικείμενα, εκλύει τεράστιες ποσότητες ενέργειας δημιουργώντας βίαιες διαταραχές, στη διάρκεια των οποίων εκπέμπεται έντονη ακτινοβολία, ενώ πίδακες ύλης εκτινάσσονται με ταχύτητες παραισθήσιες εκείνης του φωτός.

Πώς προέκυψε ο όρος «μαύρη τρύπα»; Το όνομα επινοήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 από τον φυσικό Τζον Γουόλερ, ο οποίος το επέλεξε προσεκτικά ώστε να ενσωματώσει δύο καθοριστικές ιδιότητες: το μαύρο και το κενό. Ένας αστέρας νετρονίων περιέχει πιθανότατα την πλέον άκαμπτη ύλη στο σύμπαν, αλλά ακόμη κι αυτή δεν είναι τελείως ασυμπίεστη. Αν μπορούσε να συμπιεστεί περαιτέρω, η έλξη της

βαρύτητας θα γινόταν ακαταμάχητη και ο αστέρας θα κατέρρεε ολοκληρωτικά. Αυτό συμβαίνει στο εσωτερικό μεγάλων άστρων που εξαντλούν τα καύσιμά τους και δεν μπορούν πλέον να συντηρήσουν την εσωτερική τους πίεση. Ο πυρήνας υφίσταται ξαφνικά ενδόρρηξη, σε κλάσμα του δευτερολέπτου, αφήνοντας πίσω του μια περιοχή κενού χώρου, εξ ου και το όνομα «τρύπα». (Εντάξει, στην πραγματικότητα η γύρω περιοχή δεν είναι εντελώς κενή· είναι γεμάτη συντρίμια από το υπόλοιπο άστρο. Όμως, σύντομα και αυτή η ύλη είτε εκτινάσσεται στο διάστημα ή απορροφάται από τη μαύρη τρύπα).

Μυστήριο περιβάλλει τη μοίρα της ενδορρηγνυόμενης ύλης. Πού πηγαίνει; Προς το παρόν, θεωρήστε το άστρο σαν ένα τελείως σφαιρικό σώμα και φαντασθείτε το να συρρικνώνεται προσδευτικά, ενώ το σύνολο της ύλης του διατηρείται. Όπως εξηγήσαμε προηγουμένως, όσο μικρότερη γίνεται η σφαίρα, τόσο ισχυρότερη γίνεται η βαρύτητα στην επιφάνεια. Κάποια στιγμή η βαρύτητα θα είναι τόσο μεγάλη ώστε καμιά γνωστή μορφή ύλης δεν μπορεί να της αντισταθεί, οπότε η σφαίρα θα καταρρεύσει. Επειδή έχει τέλεια σφαιρικό σχήμα και τίποτε δεν διαταράσσει τη συμμετρία, η σφαίρα πρέπει να διατηρήσει το σχήμα της κατά την ενδόρρηξη. Με άλλα λόγια, το σύνολο της ύλης πρέπει να κινηθεί προς το γεωμετρικό κέντρο της. Όσο μικρότερη γίνεται η σφαίρα, τόσο ισχυρότερη



γίνεται η έλξη της βαρύτητας στο εσωτερικό της και τόσο πιο γρήγορα ουρρικνώνεται.

Πού καταλήγουν όλα αυτά; Κάτω από αυτές τις συνθήκες, όλα τελειώνουν όταν ολόκληρο το περιεχόμενο της σφαίρας θα έχει συσσωρευθεί σε ένα σημείο: στο κέντρο. Προφανώς, αυτή η κουκκίδα ύλης θα έχει άπειρη πυκνότητα, ενώ η βαρύτητα στο σημείο αυτό θα είναι άπειρη. Οι μαθηματικοί αναφέρονται συχνά σε μια τέτοια οντότητα αποκαλώντας την ιδιομορφία*. Όταν σε μια φυσική θεωρία ξεπροβάλλει απειλητικά το άπειρο, είναι ένα σήμα κινδύνου που υποδηλώνει πως κάτι πολύ σοβαρό συμβαίνει, αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση κανείς δεν είναι τόσο βέβαιος γι' αυτό. Σύντομα θα πούμε περισσότερα για τις ιδιομορφίες, αλλά προς το παρόν αρκεί να σημειώσουμε ότι οιοιαδήποτε κι αν είναι η έσχατη μοίρα της σφαίρας, δεν επηρεάζει το βαρυτικό πεδίο στο εξωτερικό της. Η βαρύτητα της σφαίρας δεν εξαφανίζεται απλώς επειδή η τελευταία υπέστη ενδόρρηξη. Όπως το αγνό χαμογέλο της γάτας του Τζέσαϊρ**, η αλλοτινή ύπαρξη της σφαίρας αφήνει ένα αποτύπωμα στο περιβάλλον σύμπαν, που παίρνει το σχήμα του θηριώδους βαρυτικού πεδίου της.

Ας επιστρέψουμε τώρα στην άλλη ιδιότητα που χαρακτηρίζει τις μαύρες τρύπες, το μαύρο.

* Στην ελληνική βιβλιογραφία απαντάται συχνά και ως *ανωμαλία*. (Σ.τ.Μ.)

** Κάτι που διακρίνεται στο σκοτάδι. Φράση που εμφανίζεται στο «Η Αλίκη στη χώρα των Θαυμάτων», κεφ. 6, και συνηθίζεται στην εποχή του Λιούις Κάρολ. Δεν γνωρίζουμε την ακριβή προέλευσή της, αλλά μια πιθανή εκδοχή είναι ότι οι τυροκόμοι της κομητείας του Τζέσαϊρ (απ' όπου καταγόταν ο Κάρολ), διαμόρφωναν τα κεφάλια τυριού στο σχήμα του κεφαλιού μιας γάτας που χαμογελά. (Σ.τ.Μ.)

Στο πρώτο κεφάλαιο εξηγήσαμε πώς επιβραδύνει η βαρύτητα το χρόνο: όσο ισχυρότερη η βαρύτητα, τόσο μεγαλύτερη η στρέβλωση του χρόνου. Φαντασθείτε τι θα συμβεί στο χρόνο στην επιφάνεια της σφαίρας, καθώς αυτή συρρικνώνεται. Ο παράγων επιβράδυνσης αυξάνει καθώς η ακτίνα της σφαίρας ελαττώνεται. Όταν η ακτίνα πλησιάσει σε μια συγκεκριμένη κρίσιμη τιμή, περίπου τρία χιλιόμετρα για ένα αντικείμενο μιας ηλιακής μάζας, η στρέβλωση του χρόνου γίνεται άπειρη, δηλαδή η ροή του χρόνου στην επιφάνεια της σφαίρας σταματά, π.χ. ως προς το γήινο χρόνο. Από μεγάλη απόσταση, οι δείκτες ενός ρολογιού στην επιφάνεια της σφαίρας θα φαίνονταν απολύτως ακίνητοι.

Φυσικά, κανένα ρολόι κατασκευασμένο από ανθρώπους δεν θα μπορούσε να αντέξει τις τεράστιες δυνάμεις που δρουν εδώ, αλλά τα κύματα φωτός μπορούν να θεωρηθούν ως ένα είδος ρολογιού: η κυματοειδής κίνησή τους μιμείται την ταλάντωση του εκκρεμούς. Έτσι, το φως ενός άστρου που βρίσκεται στη διαδικασία της συρρίκνωσης ελαττώνει βαθμιαία τη συχνότητά του, καθώς η κλιμακούμενη στρέβλωση του χρόνου επιβραδύνει τις ταλαντώσεις του. Αν το μεταφράσουμε σε χρώματα, το φως της σφαίρας η οποία συρρικνώνεται γίνεται ολοένα και πιο κόκκινο μέχρι που εξαφανίζεται τελείως, όπως συμβαίνει με τις στάχτες μιας φωτιάς που σβήνει. Στο τέλος, το άστρο εκπέμπει μια έσχατη ακτίνα φωτός κι ύστερα τα πάντα γίνονται μαύρα, με αποτέλεσμα η περιοχή του διαστήματος γύρω από το αντικείμενο που έχει καταρρεύσει να είναι τόσο μαύρη όσο και κενή, απ' όπου και το όνομα «μαύρη τρύπα».

Αυτός ο τρόπος περιγραφής κάνει την εξαφάνιση της σφαίρας όπως παρατηρείται από τη Γη, π.χ. από τη δίδυμη αδελφή μας, Σάλα, να μοιάζει με μια μάλλον αργή διεργασία.

Στην πραγματικότητα, για ένα άστρο μιας ηλιακής μάζας ο χρόνος εξαφάνισης διαρκεί λίγα εκατοστά του χιλιοστού του δευτερολέπτου. Η Σάλι θα έβλεπε τον πυρήνα του άστρου να εξαφανίζεται σε μια στιγμή (υποθέτοντας, βεβαίως, ότι θα μπορούσε να δει τον πυρήνα) ενώ η περιοχή του διαστήματος όπου υπήρχε η σφαίρα θα καταλαμβάνόταν από μια μαύρη σφαίρα χωρίς ιδιαίτερα γνωρίσματα, μια μαύρη τρύπα.

Ένας παρατηρητής, έστω ο Σαμ, που στέκεται στην επιφάνεια του συρρικνούμενου άστρου, και είναι αρκετά άτυχος ώστε να το συνοδεύει στην εξέλαξή του σε μαύρη τρύπα, θα βίωνε τα γεγονότα πολύ διαφορετικά. Γι' αυτόν δεν υπάρχει καμιά χρονική επιβράδυνση. Θυμηθείτε ότι ο χρόνος είναι σχετικός. Στην πραγματικότητα, σε αυτή την περίπτωση οι δυο θεωρήσεις (της Σάλι και του Σαμ) είναι απείρως διαφορετικές, λόγω της άπειρης στρέβλωσης του χρόνου. Η Σάλι βλέπει το άστρο να καταρρέει σε μια μαύρη τρύπα διαμέτρου τριών χιλιομέτρων και να «παγώνει» για πάντα, ενώ ο Σαμ βλέπει ολόκληρο το άστρο να συρρικνώνεται στο τίποτα σε χρόνο που διαρκεί όσο ένα τρεμοπαίξιμο των βλεφάρων. Σε ό,τι αφορά τον Σαμ, στο κλάσμα του δευτερολέπτου που χρειάζεται ώστε το άστρο να υποστεί την ενδόρρηξη και να χαθεί στο εσωτερικό της κρίσιμης ακτίνας, στο εξωτερικό σύμπαν θα έχει παρέλθει ολόκληρη η αιωνιότητα.

Ο σχηματισμός μιας άπειρης στρέβλωσης του χρόνου γύρω από μια σφαίρα ύλης σε ενδόρρηξη, οδηγεί σε ένα συγκλονιστικό συμπέρασμα:

Μια μαύρη τρύπα είναι ένα ταξίδι χωρίς επιστροφή
προς το πουθενά.

Δεν μπορείτε να πέσετε μέσα σε μια μαύρη τρύπα και να

ξαναβγείτε, διότι η περιοχή στο εσωτερικό της (σε σχέση με το εξωτερικό σύμπαν) βρίσκεται πέρα από το τέλος του χρόνου. Αν με κάποιον τρόπο καταφέρνατε να αναδυθείτε από μια μαύρη τρύπα, αυτό θα έπρεπε να γίνει προτού πέσετε μέσα – ένας άλλος τρόπος για να πούμε ότι ταξιδεύετε πίσω στο χρόνο.

Επομένως, εδώ έχουμε μια ένδειξη. Μια μαύρη τρύπα έχει είσοδο αλλά όχι έξοδο, είναι μια μονής κατεύθυνσης λωρίδα ταχείας κυκλοφορίας προς το τέλος του χρόνου.

Τι θα συνέβαινε αν υπήρχε κάτι σαν μαύρη τρύπα, αλλά τόσο με έξοδο όσο και με είσοδο, μια σκουληκότρυπα; Ίσως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να φθάσουμε στο παρελθόν.

Σκουληκότρυπες και καμπυλωμένος χώρος

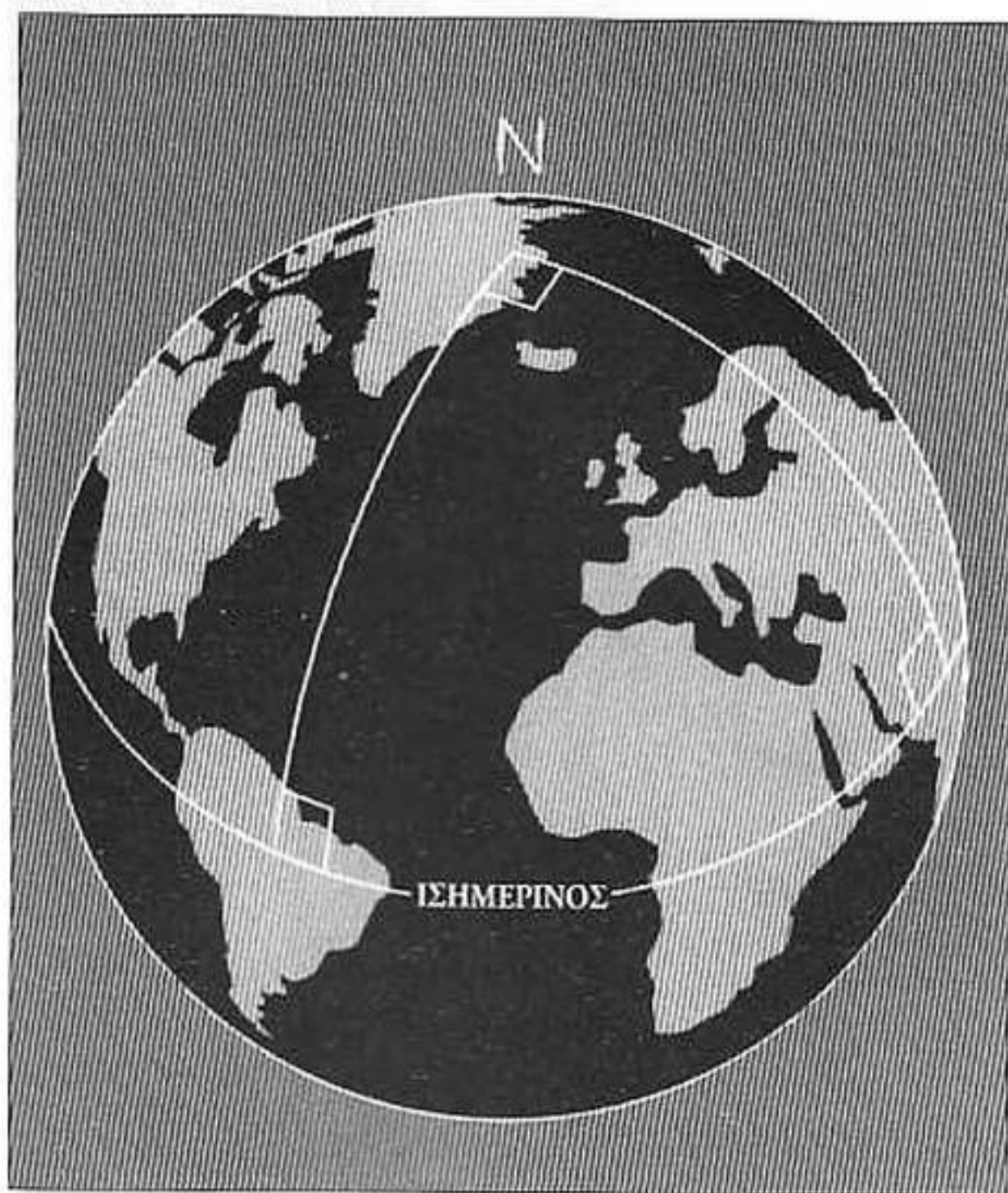
Για να εξηγήσουμε τι είναι μια σκουληκότρυπα, πρέπει πρώτα να περιγράψουμε πώς επηρεάζει η βαρύτητα το χώρο και το χρόνο. Η θεωρία της σχετικότητας απαιτεί να είναι ελαστικοί τόσο ο χώρος, όσο και ο χρόνος. Αυτό σημαίνει ότι και ο χώρος μπορεί να εκταθεί. Στην πραγματικότητα, η διαστολή του σύμπαντος είναι, λίγο-πολύ, ακριβώς αυτό το πράγμα. Ωστόσο, επειδή ο χώρος έχει τρεις διαστάσεις, η ελαστικότητά του μπορεί να δημιουργήσει ένα μεγαλύτερο εύρος παραμορφώσεων εκτός της απλής έκτασης και συρρίκνωσης: ο χώρος μπορεί επίσης να καμπυλωθεί.

Συνεπώς, τι σημαίνει καμπυλωμένος χώρος; Στο σχολείο μαθαίνουμε τους κανόνες της Ευκλείδειας γεωμετρίας. Για να δώσουμε ένα απλό παράδειγμα, το άθροισμα των γωνιών ενός τριγώνου ισούται με δύο ορθές (180 μοίρες). Οι Ευκλεί-

δειοί κανόνες εφαρμόζονται σε γεωμετρικά σχήματα πάνω σε επίπεδους μαυροπίνακες και σε επίπεδα τετράδια ασκήσεων. Όμως σε μια καμπυλωμένη επιφάνεια, οι κανόνες της γεωμετρίας είναι διαφορετικοί. Για παράδειγμα, σε μια σφαιρική επιφάνεια, όπως αυτή της Γης, είναι δυνατόν να σχεδιάσουμε ένα τρίγωνο με τρεις ορθές γωνίες (270 μοίρες). Η κορυφή του τριγώνου βρίσκεται στο Βόρειο Πόλο και οι απέναντι πλευρές κατά μήκος του ισημερινού. Οι πλοηγοί γνωρίζουν ότι πάνω στην επιφάνεια της Γης είναι απαραίτητοι διαφορετικοί γεωμετρικοί κανόνες. Παρόμοιοι κανόνες μπορούν να εφαρμοστούν στον τριδιάστατο χώρο, αν είναι κατάλληλα στρεβλωμένος.

Για να δώσουμε ένα παράδειγμα, φαντασθείτε ότι σχεδιάζετε ένα επίπεδο τρίγωνο γύρω από τον Ήλιο. Ποιο θα είναι το άθροισμα των γωνιών του; Οι περισσότεροι πιστεύουν 180 μοίρες. Σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας, όμως, η απάντηση πρέπει να δίνει κάτι περισσότερο από 180 μοίρες, επειδή η βαρύτητα του Ήλιου καμπυλώνει το χώρο γύρω του. Το αποτέλεσμα είναι πολύ μικρό, λίγα δευτερόλεπτα του τόξου για ένα τρίγωνο στο οποίο ο κύκλος του Ήλιου είναι ακριβώς εγγεγραμμένος, και ακόμη μικρότερο για ένα μεγαλύτερο τρίγωνο. Παρ' όλα αυτά, η παραμόρφωση μπορεί να μετρηθεί, βεβαίως όχι κυριολεκτικά, σχεδιάζοντας ένα τρίγωνο, αλλά μέσω της παρατήρησης ακτίνων φωτός ή σημείων ραντάρ που διέρχονται πολύ κοντά από τον Ήλιο. Ορισμένες φορές περιγράφουμε το φαινόμενο λέγοντας ότι η βαρύτητα του Ήλιου κάμπτε τις ακτίνες φωτός, αλλά είναι πιο ακριβές να θεωρήσουμε τον ίδιο το χώρο ως καμπυλωμένο, με το φως να ακολουθεί τη συντομότερη διαδρομή στην καμπυλωμένη γεωμετρία.

Η καμπυλότητα του χώρου γύρω από τον Ήλιο μόλις και



Σε μια σφαιρική επιφάνεια,
όπως της Γης,
είναι δυνατόν να σχεδιάσουμε
ένα τρίγωνο με τρεις ορθές γωνίες.

διακρίνεται. Μια πραγματικά μεγάλη στρέβλωση του χώρου απαιτεί ένα πολύ πιο ισχυρό βαρυτικό πεδίο, όπως εκείνο ενός ολόκληρου γαλαξία που περιέχει εκατοντάδες δισεκατομμύρια άστρα. Ορισμένες φορές, ένας γαλαξίας ευθυγραμμίζεται τυχαία ακριβώς μπροστά από έναν άλλο, όπως παρατηρούνται από τη Γη. Στην περίπτωση αυτή, το βαρυτικό πεδίο του παρεμβαλλόμενου γαλαξία λειτουργεί σαν ένα είδος φακού: καμπυλώνει το φως από τον πιο απομακρυσμένο γαλαξία και το εστιάζει, παράγοντας ένα φαινόμενο άλω, γνωστό ως «δακτύλιος του Αϊνστάιν». Στην επιφάνεια της μαύρης τρύπας μιας ηλιακής μάζας, η βαρύτητα είναι περίπου κατά εκατό δισεκατομμύρια φορές ισχυρότερη απ' ό,τι στην επιφάνεια του Ήλιου, και ο χώρος είναι θεαματικά καμπυλωμένος.

Ένας τρόπος για να απεικονίσουμε τον ελαστικό χώρο κοντά σε ένα αντικείμενο μεγάλης μάζας είναι η αναλογία με μια ελαστική επιφάνεια. «Απλώνουμε» την ελαστική, και στο κέντρο της τοποθετούμε μια βαριά σφαίρα, η οποία λόγω του βάρους της προκαλεί μια κοιλότητα και αναπαριστά, για παράδειγμα, τη στρέβλωση του χώρου από τον Ήλιο. Αφήνουμε να κυλήσει πάνω στην ελαστική επιφάνεια μια μικρότερη σφαίρα η οποία, διασχίζοντας τη στρεβλωμένη περιοχή, θα κινηθεί σε μια καμπυλωμένη τροχιά γύρω από την κοιλότητα, ακριβώς όπως η Γη κινείται σε καμπυλωμένη τροχιά γύρω από τον Ήλιο. Φυσικά, εδώ η ελαστική επιφάνεια αναπαριστά μόνο δύο διαστάσεις του χώρου. Στην πραγματικότητα, η βαρύτητα του Ήλιου καμπυλώνει το χώρο και στις τρεις διαστάσεις, αλλά αυτό δύσκολα απεικονίζεται σε ένα σχήμα (μιλώντας αυστηρά, η βαρύτητα στρεβλώνει και τις τέσσερις διαστάσεις του χωροχρόνου, βλέπε παρακάτω).

Φαντασθείτε τώρα μια μαύρη τρύπα στη θέση του Ήλιου: η ελαστική επιφάνεια καμπυλώνεται δραματικά σε μια, φαι-



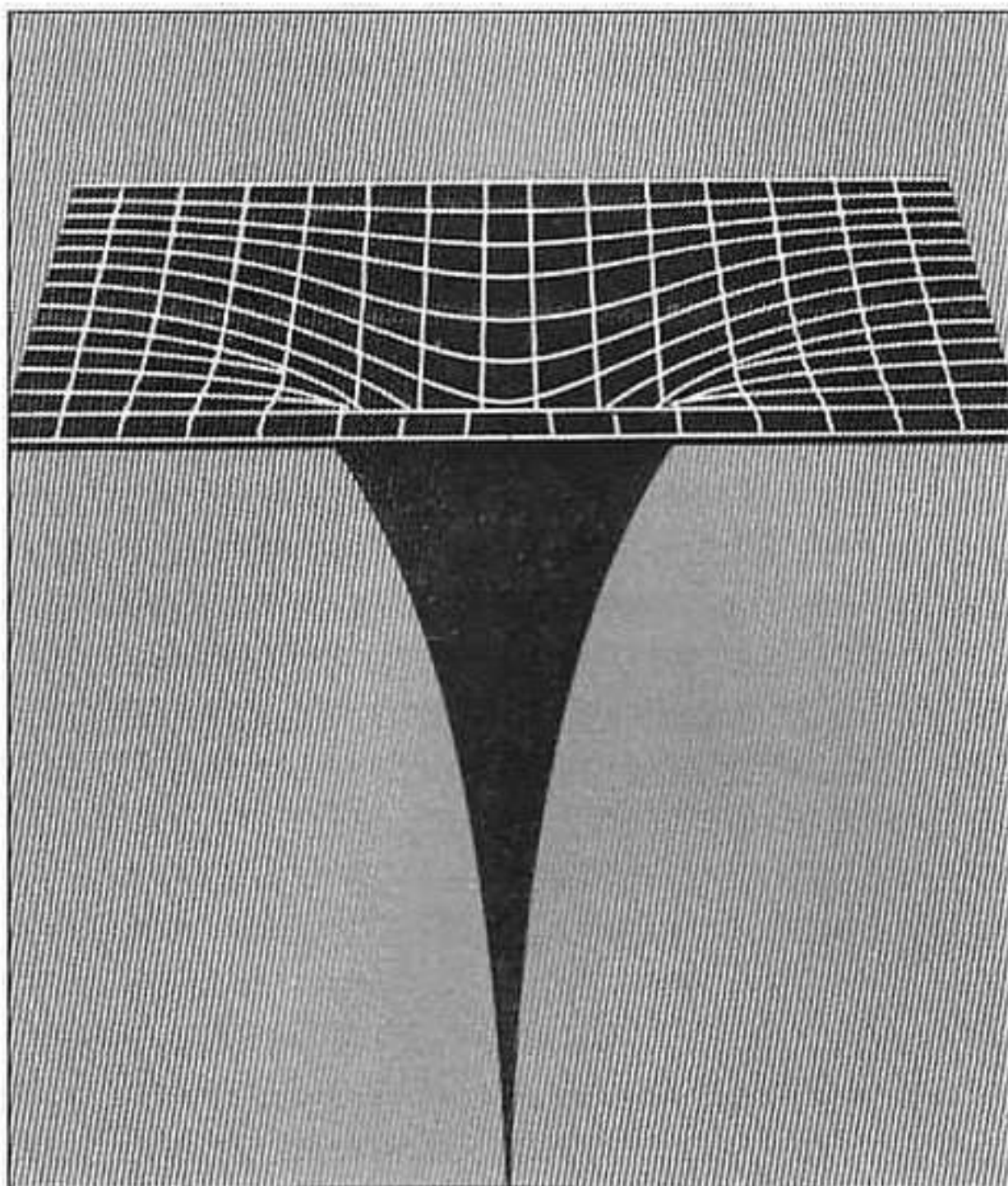
Ένα φαινόμενο άλω,
γνωστό ως «δακτύλιος του Αϊνστάιν».

νομενικά, απύθμενη κοιλότητα. Επικρατεί μεγάλος προβληματισμός αναφορικά με το τι υπάρχει στον πυθμένα της κοιλότητας, ή κατά πόσον υπάρχει πυθμένας. Ίσως εκεί να βρίσκεται μια λεγόμενη ιδιομορφία, ένα άκρο του χωροχρόνου. Ήδη στα 1916 ο Αυστριακός φυσικός Λούντβιχ Φλαμ μελέτησε τη γεωμετρία του χώρου στο εσωτερικό και γύρω από αυτό που σήμερα αποκαλούμε μαύρη τρύπα, αν και ο όρος αυτός δεν είχε εισαχθεί μέχρι το 1968.

Αργότερα, το 1935, ο Αϊνστάιν και ο συνεργάτης του Νάθαν Ρόζεν αναθεώρησαν αιτιό το ζήτημα, και το μεθεπόμενο σχήμα έγινε γνωστό ως γέφυρα Αϊνστάιν-Ρόζεν. Σήμερα, μια δομή αυτής της γενικής μορφής ονομάζεται σκουληκότρυπα και η σιενή περιοχή στο μέσον είναι ο «λαιμός». Σε μεγάλη απόσταση από τη μαύρη τρύπα η ελαστική επιφάνεια παραμένει σχεδόν επίπεδη, επειδή εκεί η βαρύτητα είναι ασθενής. Καθώς πλησιάζουμε στην τρύπα, η καμπυλότητα αυξάνεται και η ελαστική επιφάνεια σχηματίζει την κοιλότητα. Όμως, αντί να εξαφανιστεί εκεί για πάντα, η ελαστική επιφάνεια ξεδιπλώνεται κάτω από την τρύπα, σχηματίζοντας μια δεύτερη ελαστική επιφάνεια «κάπου αλλού».

Αυτό είναι απροσδόκητο. Τι θα κάνουμε με το κάτω τμήμα; Ποια είναι η σημασία της περιοχής του χώρου εκεί κάτω; Ο καλύτερος τρόπος για να περιγράψουμε την κάτω επιφάνεια είναι ως «ένα άλλο ούμπαν», αν και μια κατάλληλη κατανόηση αυτών των χαρακτηριστικών προέκυψε μόλις το 1960, με την εργασία του Γζορτζ Σεκέρες (George Szekeres) στην Αυστραλία και του Μάρτιν Κρούσκαλ (Martin Kruskal) στις ΗΠΑ.

Όσο αξιοπερίεργο κι αν είναι, αυτό το «άλλο ούμπαν» που συνδέεται με το δικό μας μέσω της σκουληκότρυπας δεν θα πρέπει να αντιμετωπιστεί και πολύ σοβαρά, καθώς προέρχε-

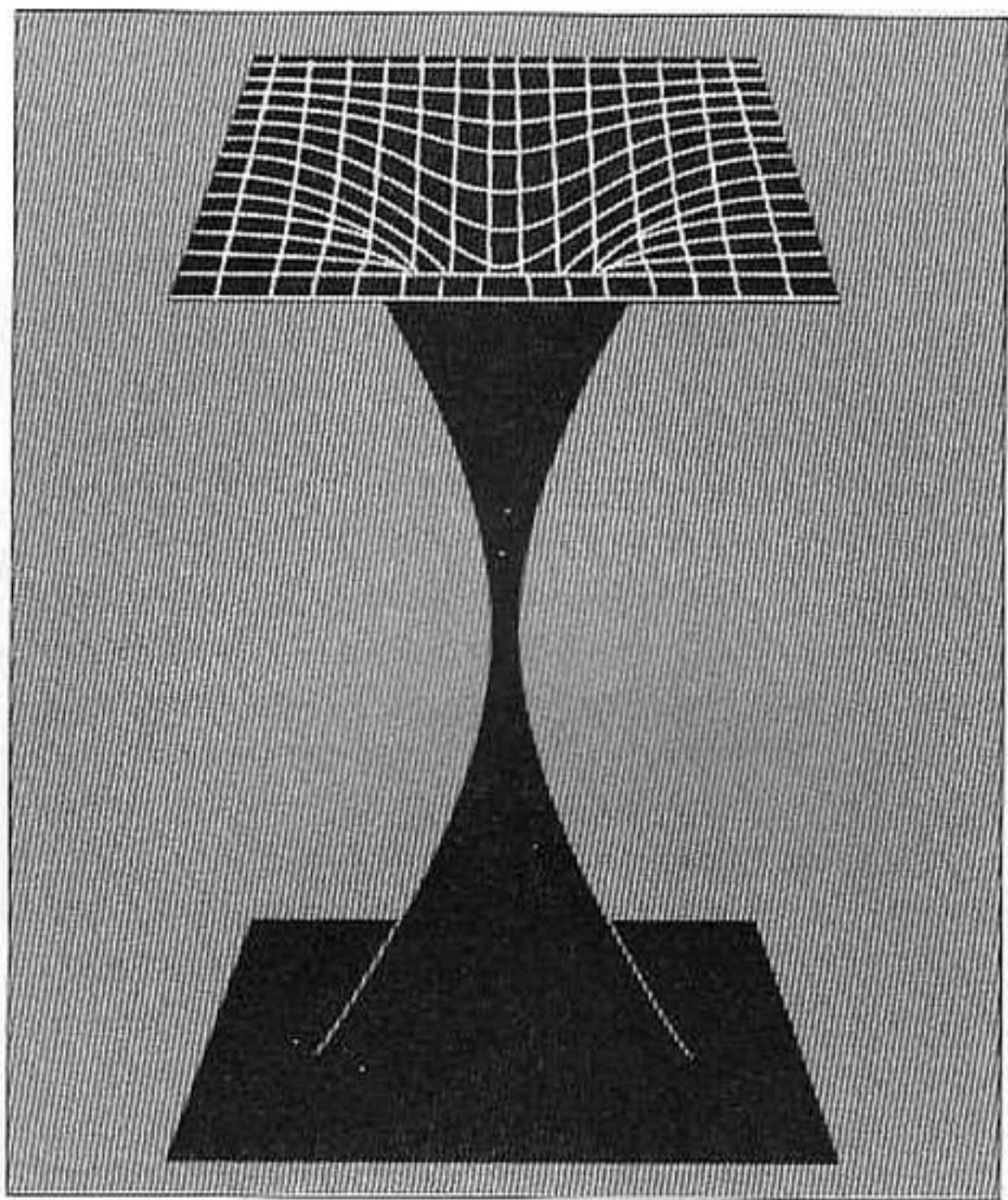


Επικρατεί μεγάλος προβληματισμός
αναφορικά με το τι υπάρχει
στον πυθμένα της κοιλότητας.

ται από ένα εξιδανικευμένο μαθηματικό μοντέλο που ανάγεται πίσω στα 1916, σε μια λύση των εξισώσεων του Αϊνστάιν από τον Καρλ Σβάρτσιλντ, η οποία αναπαριστά το βαρυτικό πεδίο στον κενό χώρο έξω από ένα άστρο. Η λύση δεν εφαρμόζεται στο εσωτερικό του άστρου. Αν αποπειραθείτε να συνδέσετε τη λύση του Σβάρτσιλντ με κάποια άλλη λύση, που περιγράφει τα σωθικά του άστρου, ο μισός πυθμένας της σκουληκότρυπας θα εξαφανιστεί. Ακόμη και αν επιτρέψετε στο άστρο να καταρρεύσει σε μια ιδιομορφία, δεν θα καταφέρετε να δημιουργήσετε την επιφάνεια του πυθμένα.

Υπάρχει μόνο ένας τρόπος για να αποκτήσει ολόκληρη η σκουληκότρυπα φυσικό νόημα: αν, με κάποιο τρόπο, το σύμπαν είναι φτιαγμένο έτσι, δηλαδή, με τη σκουληκότρυπα ενσωματωμένη σε αυτό – μια ευγενική παραχώρηση της Μητέρας Φύσης. Ωστόσο, ακόμη και τότε υπάρχει μια περιπλοκή, καθώς η σκουληκότρυπα δεν παραμένει αδρανής στη θέση της, αλλά μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Αρχικά, τα δύο σύμπαντα είναι αποσυνδεδεμένα. Στη συνέχεια, συνδέονται μεταξύ τους σε ένα σημείο, που αντιστοιχεί στη γνωστή μας «ιδιομορφία», και όπου η καμπυλότητα είναι άπειρη. Πρόκειται για μια ιδιομορφία ακριβώς ίδια με εκείνη που προκύπτει όταν μια σφαίρα καταλήξει (καταρρεύσει) σε ένα σημείο άπειρης πεκνότητας, μόνο που σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει σφαίρα σε κατάρρευση παρά μόνο ο κενός χώρος.

Με αφετηρία αυτό το σημείο της ιδιομορφίας, ο λαιμός της σκουληκότρυπας ανοίγει προς το «άλλο σύμπαν», αλλά μόνο για περιορισμένο χρόνο, με το πέρας του οποίου κλείνει και πάλι, αποσυνδέοντας τα δύο σύμπαντα. Αποφασιστικής σημασίας είναι το γεγονός ότι αυτή η διαδικασία συμβαίνει τόσο γρήγορα, ώστε τίποτα δεν μπορεί να διασχίσει τη σκου-



Μια δομή
αυτής της γενικής μορφής
ονομάζεται σκουληκότρυπα.

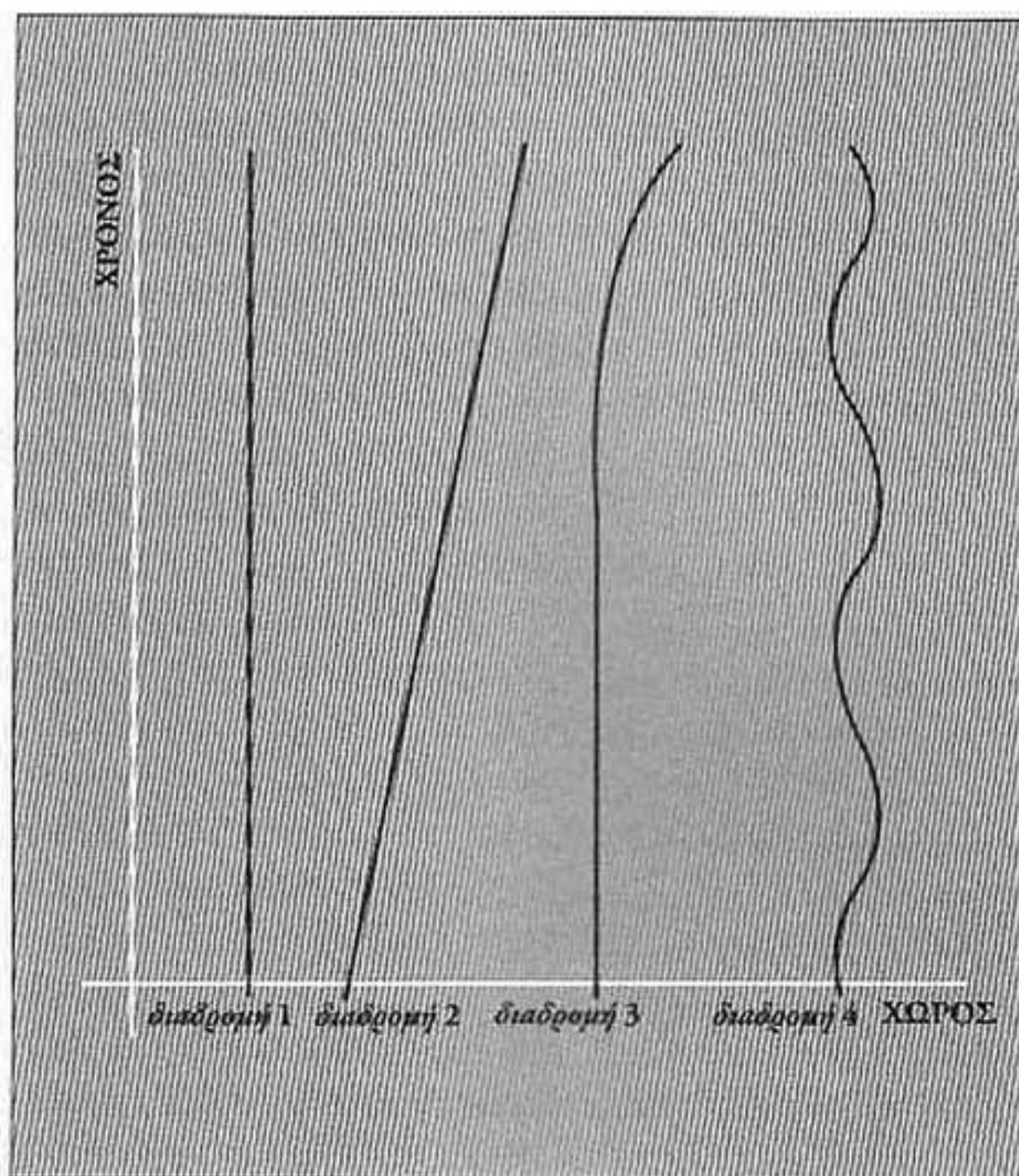
ληκότρυπα πριν κλείσει ο λαιμός. Ούτε καν το φως δεν μπορεί να διέλθει από το ένα σύμπαν στο άλλο, οπότε ένας παρατηρητής στο σύμπαν μας δεν θα ήταν καν σε θέση να δει το «άλλο σύμπαν», πόσο μάλλον να το επισκεφθεί. Έτσι, η ύπαρξη του «άλλου σύμπαντος» είναι μάλλον υποθετική αφού τα δύο σύμπαντα, οι άνω και κάτω επιφάνειες της σκουληκότρυπας, δεν μπορούν να επηρεάσουν η μια την άλλη με κανέναν τρόπο. Αν κάποιος αστροναύτης ήταν αρκετά ηλίθιος ώστε να πηδήξει μέσα στη μαύρη τρύπα, θα κατέληγε να προσκρούσει πάνω στην ιδιομορφία, στο κεντρικό σημείο, και να εξαλειφθεί ολοκληρωτικά.

Καμπυλωμένος χωρόχρονος

Περιγράψαμε τι σημαίνει η στρέβλωση του χώρου και του χρόνου ξεχωριστά από τη βαρύτητα, αλλά είναι πιο ακριβές να θεωρήσουμε μια ενοποιημένη περιγραφή τους, σύμφωνα με τη γνωστή έννοια του «χωροχρόνου».

Μπορούμε εύκολα να κατανοήσουμε την έννοια του χωροχρόνου· στο επόμενο διάγραμμα ο χρόνος έχει σχεδιαστεί στον κάθετο άξονα, ενώ ο χώρος στον οριζόντιο. Προκειμένου να διευκολύνουμε την αναπαράσταση, παρουσιάζουμε μόνο τη μία (από τις τρεις) διάσταση του χώρου. Οι μαύρες γραμμές απεικονίζουν διαδρομές φυσικών αντικειμένων στο χωροχρόνο. Η διαδρομή 1 δείχνει ένα σώμα που παραμένει ακίνητο στο χώρο. Η διαδρομή 2, ένα σώμα που κινείται με σταθερή ταχύτητα προς τα δεξιά. Η διαδρομή 3 ένα σώμα που επιταχύνεται προς τα δεξιά. Η κυματοειδής διαδρομή 4 αναφέρεται σε ένα σώμα που κινείται εμπρός-πίσω.

Τι μπορούμε να πούμε σχετικά με τη φυσική που διέπει

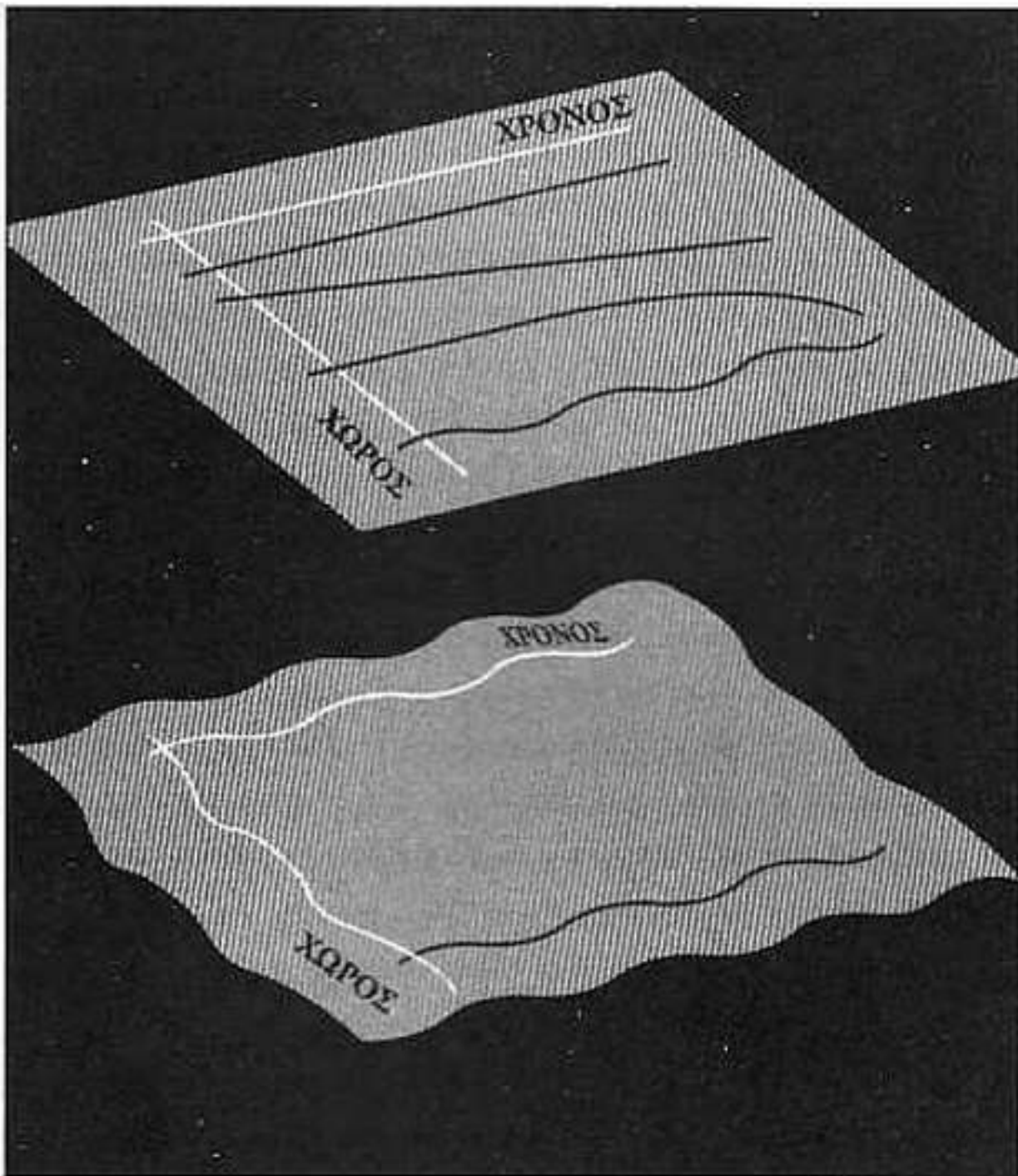


Οι μαύρες γραμμές
απεικονίζουν διαδρομές
φυσικών αντικειμένων
στο χωροχρόνο.

αυτές τις διαφορετικού σχήματος διαδρομές; Γνωρίζουμε, ήδη από την εποχή του Νεύτωνα, ότι ένα σώμα επιταχύνεται μόνον εφόσον δράσει πάνω του μια δύναμη, άρα καμπυλωμένες διαδρομές σε ένα χωροχρονικό διάγραμμα απαιτούν τη δράση φυσικών δυνάμεων. Η διαδρομή 4, για παράδειγμα, συνεπάγεται μια εναλλασσόμενη δύναμη ώθησης-έλξης η οποία αναγκάζει το σώμα να κανείται εμπρός-πίσω σε μια κυματοειδή πορεία.

Η βαρύτητα είναι μία από τις θεμελιώδεις φυσικές δυνάμεις. Η μεγάλη ενόραση του Αϊνστάιν έγκειται στη διαπίστωση της σπουδαιότητας του γεγονότος ότι η βαρύτητα διαφέρει από τις υπόλοιπες δυνάμεις σε μια πτυχή αποφασιστικής σημασίας: επηρεάζει εξίσου όλα τα σώματα. Υπάρχει μια διάσημη ιστορία με πρωταγωνιστή τον Γαλιλαίο, ο οποίος έριχνε βαριά και ελαφρά σώματα από τον κεκλιμένο Πύργο της Πίζας προκειμένου να πείσει τους σκεπτικιστές ότι όλα τα αντικείμενα θα προσέκρουαν στο έδαφος ταυτόχρονα. Μεταφρασμένο σε ένα χωροχρονικό διάγραμμα, αυτό σημαίνει πως όταν η δύναμη της επιτάχυνσης είναι η ίδια η βαρύτητα, τότε όλα τα σώματα (ελαφριά, βαριά, θερμά, ψυχρά, έμβια, άψυχα...) θα ακολουθήσουν την ίδια διαδρομή. Δεν ισχύει το ίδιο, π.χ., για ένα ηλεκτρικό πεδίο, που θα επιταχύνει φορτισμένα σωματίδια αλλά δεν θα επηρεάσει τα αφόρτιστα τα οποία θα ακολουθήσουν ευθύγραμμες χωροχρονικές διαδρομές.

Σύμφωνα με την επιχειρηματολογία του Αϊνστάιν, αν η επίδραση της βαρύτητας είναι ίδια για όλα τα κινούμενα σώματα, καλύτερα να αναπαριστάσουμε το βαρυνικό πεδίο όχι ως δύναμη, αλλά ως μια γεωμετρική ιδιότητα του χωροχρόνου. Αυτή η ιδέα ίσως ακούγεται παράξενη, αλλά είναι εύκολα κατανοητή. Στο επόμενο σχήμα, η δισδιάστατη επιφάνεια που περιέχει το χωροχρονικό διάγραμμα, δεν είναι πλέον επί-



Η αναπαράσταση του βαρυτικού πεδίου
όχι ως δύναμης,
αλλά ως γεωμετρικής ιδιότητας
του χωροχρόνου, είναι πιο ακριβής.

πεδη, αλλά καμπυλωμένη ή στρεβλωμένη. Θα πρέπει να είναι σαφές ότι η παραμόρφωση της επιφάνειας με τον τρόπο που δείχνει το σχήμα, μιμείται το αποτέλεσμα της καμπύλωσης των τροχιών. Με άλλα λόγια, οι κυματισμοί σε μια διαδρομή μπορούν να επιτευχθούν αν σχεδιάσουμε είτε μια κυματοειδή γραμμή σε μια επίπεδη επιφάνεια είτε μια «ευθεία» γραμμή σε μια καμπυλωμένη επιφάνεια. Ευθεία σημαίνει εδώ την «πιο ευθεία», δηλαδή τη συντομότερη διαδρομή μεταξύ δύο σημείων σε μια καμπυλωμένη επιφάνεια. Ο Αϊνστάιν πρότεινε ότι στην περίπτωση της βαρύτητας, καλύτερα να θεωρούμε το βαρυτικό πεδίο ως γεωμετρικό αντικείμενο, παρά ως μια δύναμη που δρα στον «επίπεδο» χωρόχρονο. Φυσικά, για να γίνει αυτό σωστά προϋποθέτει επέκταση της έννοιας της καμπυλότητας του χωροχρόνου από τη διδιάστατη επιφάνεια που απεικονίζεται εδώ, σε τέσσερις διαστάσεις (τρεις του χώρου και μία του χρόνου), αλλά αυτό επιτυγχάνεται ομαλά με μαθηματικό τρόπο.

Σκουληκότρυπες: πύλες προς ένα άλλο σύμπαν;

Για να λειτουργήσει ως χρονομηχανή, η σκουληκότρυπα πρέπει να είναι διαβατή: ο ταξιδιώτης του χρόνου πρέπει να καταφέρει να περάσει μέσα από αυτήν και να αναδυθεί σώος και αβλαβής. Αυτό είναι αδύνατον με τη σκουληκότρυπα Σβάρτσιλντ, καθώς αποσυνδέεται πριν οτιδήποτε καταφέρει να διέλθει μέσα από αυτήν. Ωστόσο, ολόκληρο αυτό το μοντέλο προϋποθέτει τον κενό χώρο και την τέλεια σφαιρική συμμετρία. Έστω ότι «χαλαρώνουμε» λίγο αυτές τις προϋποθέσεις.

Στη δεκαετία του 1960 οι φυσικοί και οι μαθηματικοί άρχισαν να μελετούν τις ιδιότητες που παρουσιάζουν οι περι-

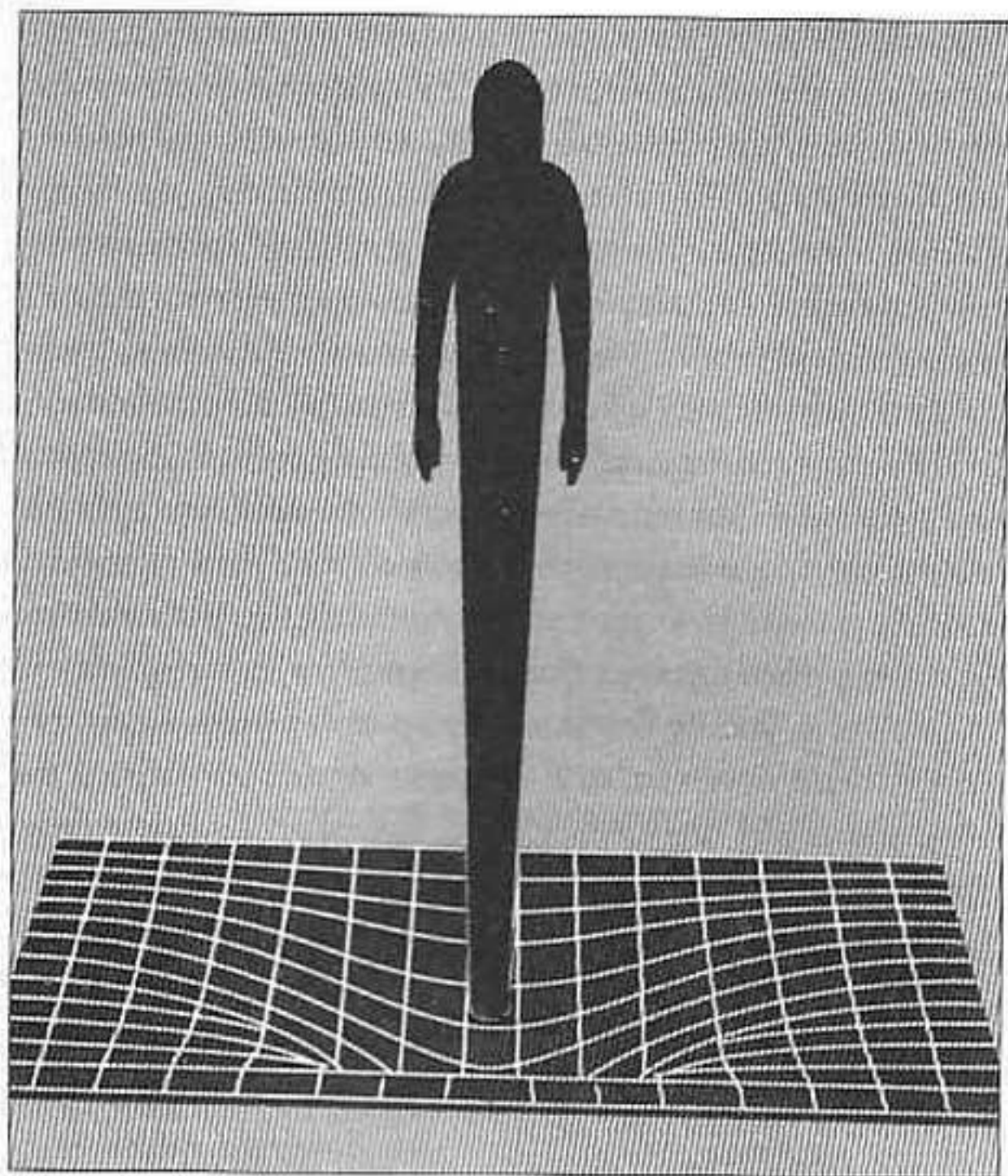
στρεφόμενες μαύρες τρύπες. Οι τελευταίες είναι διογκωμένες στη μέση, όπως ακριβώς οι περιστρεφόμενοι πλανήτες, λόγω της φυγόκεντρον δύναμης. Τώρα, η φυγόκεντρος δύναμη δρα έτσι ώστε να αντιτίθεται στη βαρύτητα. Ο λόγος που η σκουληκότρυπα Σβάρτσιλντ αποσυνδέεται τόσο γρήγορα είναι η ισχυρή βαρύτητα στο εσωτερικό της. Όταν υπάρχει περιστροφή, το φαινόμενο της αποσύνδεσης ελαχιστοποιείται και ο λαιμός της σκουληκότρυπας παραμένει ανοιχτός για αρκετό χρονικό διάστημα· τώρα, κάτι ή κάποιος, μπορεί να περάσει μέσα από αυτήν. Πριν από σαράντα χρόνια φαινόταν πως οι περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες θα παρείχαν διαβατές σκουληκότρυπες, τουλάχιστον στα εξιδανικευμένα μαθηματικά μοντέλα εκείνης της εποχής. Γίνονταν έντονες συζητήσεις σχετικά με την «τύχη» ενός αστροναύτη που θα έπεφτε μέσα σε μια περιστρεφόμενη μαύρη τρύπα, θα ταξίδευε μέσα από τη σκουληκότρυπα και θα αναδυόταν σε ένα άλλο σύμπαν.

Με πιο προσεκτική εξέταση, αποδείχτηκε πως το σενάριο αυτό παρουσίαζε αρκετά προβλήματα. Το πρώτο ήταν καθαρά πρακτικό: οποιοσδήποτε βουτήξει μέσα σε μια μαύρη τρύπα κινδυνεύει να διαμελιστεί από τις ισχυρές βαρυτικές δυνάμεις. Για να το καταλάβετε, φανταστείτε τον εαυτό σας να περδά (με τα πόδια προς τη Γη) από ένα αεροπλάνο που πετάει πολύ ψηλά. Επειδή η γήινη βαρύτητα ελαττώνεται με το ύψος, τα πόδια σας –που θα απέχουν λιγότερο από το έδαφος απ' όσο το κεφάλι σας– έλκονται από τη Γη ελαφρώς πιο έντονα, άρα το σώμα σας θα εκταθεί ελαφρώς προς το ύψος του. Την ίδια στιγμή, οι ώμοι σας τείνουν να πλησιάσουν ο ένας τον άλλον, επειδή κάθε ώμος έλκεται προς το κέντρο της Γης και, λόγω της γήινης καμπυλότητας, οι δύο ώμοι τείνουν να ακολουθήσουν συγκλίνουσες διαδρομές. Ουσιαστικά, τείνετε να μετατραπείτε σε σπαγκάτι.

Τέτοιες βαρυτικές δυνάμεις έκτασης και συμπίεσης διαμέλυσαν τον κομήτη Σουμέικερ-Λεβί 9 πριν από την πρόσκρουσή του στον Δία, το 1994. Κοντά σε μια μαύρη τρύπα μιας ηλιακής μάζας, τα φαινόμενα θα είναι τόσο έντονα ώστε θα «μετατρέψουν σε σπαγκέτι» έναν αστροναύτη σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Οι πιθανότητες μιας τέτοιας καταστροφής λαγοστεύουν αν η τρύπα είναι μεγαλύτερη. Αν πέφτατε στην επιφάνεια μιας μαύρης τρύπας δέκα χιλιάδων ηλιακών μαζών, ίσως και να επιβιώνετε. Μια μαύρη τρύπα τεράστιας μάζας, με διάμετρο ενός δισεκατομμυρίου χιλιομέτρων δεν αποτελεί πρόβλημα· αλλά, εάν υπήρχε τέτοιο αντικείμενο (με τόση μάζα) τότε θα επρόκειτο για έναν μικρό γαλαξία – μια όχι και τόσο πρακτική πρόταση για τη μετάβαση σε ένα άλλο σύμπαν.

Ένα σοβαρότερο πρόβλημα με τη διάβαση μιας περιστρεφόμενης μαύρης τρύπας αποτελεί το γεγονός ότι το εξιδανικευμένο μοντέλο που περιέχει τη σκουληκότρυπα, αγνοεί την επίδραση οποιασδήποτε ύλης ή ακτινοβολίας που ίσως υπάρχει στην περιοχή. Συνεπώς, εκτός από τον αστροναύτη, μέσα στη μαύρη τρύπα μπορεί να πέσει οτιδήποτε άλλο βρεθεί στο δρόμο της, όπως κοσμικές ακτίνες και αστρικό φως. Καθώς τα απορροφά, η ισχυρή βαρύτητα της τρύπας αυξάνει εξαιρετικά την ενέργειά τους, σχηματίζοντας ένα αδιαπέραστο τείχος από τη μια άκρη στην άλλη του λαιμού της σκουληκότρύπας. Πιθανότατα, η βαρύτητα του τείχους θα εξαναγκάσει τη σκουληκότρυπα σε κατάρρευση, σφραγίζοντάς την με μια ιδιομορφία.

Και όχι μόνο. Η φυγόκεντρος δύναμη μιας περιστρεφόμενης μαύρης τρύπας αντιστάσεται στην κεντρομόλο έλξη της βαρύτητας, όμως, όχι αρκετά ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση ιδιομορφίας. Στη σελίδα 57 εξετάσαμε πώς ένα τέλεια



Ουσιαστικά,
τείνετε να μετατραπείτε
σε σπαγκέτι.

σφαιρικό σώμα θα υποστεί ενδόρρηξη για να καταλήξει σε ένα σημείο άπειρης πυκνότητας. Ένα περιστρεφόμενο σώμα δεν έχει απόλυτα σφαιρικό σχήμα, καθώς είναι διογκωμένο στον ισημερινό. Έτσι, καταρρέει σχηματίζοντας μια δακτυλιοειδή ιδιομορφία στο εσωτερικό της τρύπας. Αν προς στιγμήν αγνοήσουμε τα προαναφερθέντα προβλήματα, ένας αστροναύτης θα μπορούσε να πέσει μέσα στην τρύπα, να ξεφύγει από την ιδιομορφία, και να βγει σε ένα άλλο σύμπαν.

Η ιδέα πως ένας αστροναύτης καταφέρνει να προσεγγίσει μια ιδιομορφία και να επιζήσει για να διηγηθεί την εμπειρία του, γεννά τρόμο στην καρδιά του φυσικού. Στην πραγματικότητα, η ιδιομορφία μιας μαύρης τρύπας είναι μια οντότητα με άπειρη πυκνότητα και άπειρη καμπυλότητα του χώρου. Ο χώρος και ο χρόνος δεν μπορούν να συνεχιστούν μέσα από αυτήν. Κατά συνέπεια, οι ιδιομορφίες αποτελούν άκρα ή σύνορα του χώρου ή/και του χρόνου. Κυριολεκτικά δεν υπάρχει τίποτε μετά από αυτές: είναι περιοχές όπου φυσικά αντικείμενα και επιδράσεις μπορούν είτε να εγκαταλείψουν το σύμπαν είτε (από κάπου αλλού) να εισέλθουν σ' αυτό. Όταν ένα



αντικείμενο κατευθύνεται προς την ιδιομορφία και στη συνέχεια παύει να υπάρχει, είναι κάτι αναμενόμενο: τι θα σκεφτόσασταν όμως, αν κάτι ξεπηδούσε από μια ιδιομορφία ξαφνικά μπροστά σας, βγαλμένο από το πουθενά;

Η ιδέα της ύπαρξης μιας περιοχής του χώρου από την οποία μπορεί να εξέλ-

θει οτιδήποτε δίχως αίτιο και προειδοποίηση, είναι αρκετά εντυπωσιακή. Δεν εκφράζει τίποτε λιγότερο από μια κατάρρευση της ορθολογικής τάξης του σύμπαντος. Γι' αυτό το λόγο, ο σερ Ρότζερ Πένροουζ πρότεινε ένα νόμο της φύσης προκειμένου να αποκλείσει τέτοιες ανεπιθύμητες εισβολές. Διατύπωσε την εικασία ότι οι ιδιομορφίες είναι τόσο άοεμνες ώστε παρουσιάζονται πάντοτε ντυμένες «ευπρεπώς» με μαύρες τρύπες. Και' αυτόν τον τρόπο, κανείς στο εξωτερικό σύμπαν δεν θα δει μια ιδιομορφία. Καμιά αναίτια φυσική επίδραση δεν μπορεί να αναδυθεί στο ευρύτερο σύμπαν και να σπείρει τον όλεθρο. Το άκρο του χωροχρόνου δεν θα εκτεθεί ποτέ στα βλέμματα του κόσμου.

Ο Πένροουζ ονόμασε αυτή την απαγορευτική αρχή, *υπόθεση της κοσμικής λογοκρισίας*.

Δεν υπάρχουν γυμνές ιδιομορφίες!

Κι εδώ έγκειται το πρόβλημα αναφορικά με τις περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες. Αν μπορούσατε να πέσετε μέσα σε μια από αυτές, να περάσετε ταχύτατα δίπλα από τη δακτυλιοειδή ιδιομορφία και να εξέλθειτε σε ένα «άλλο» σύμπαν, τότε όλα τα δαιμόνια από την ιδιομορφία θα έβγαιναν έξω μαζί σας. Η ιδιομορφία θα ήταν γυμνή για εκείνο, το «άλλο» σύμπαν, αψηφώντας την κοσμική λογοκρισία.

Βεβαίως, οφείλουμε να πούμε ότι δεν πρόκειται για ένα στεγανό θεώρημα που απαγορεύει τη διέλευση μέσα από περιστρεφόμενες μαύρες τρύπες. Κανείς δεν έχει αποδείξει την υπόθεση της κοσμικής λογοκρισίας, άρα ενδέχεται να είναι λάθος. Επίσης, μια ιδιομορφία θα μπορούσε να είναι αποκείμε της μαθηματικής φαντασίας: ίσως η θεωρία της γενικής σχετικότητας, ή ακόμη η έννοια του χωροχρόνου, να καταρ-

ρέει προτού σχηματιστεί μια ιδιομορφία. Όπως και να έχει, για όλους τους παραπάνω λόγους, η χρήση μιας περιστρεφόμενης μαύρης τρύπας ως πύλης προς ένα άλλο σύμπαν μοιάζει σαφώς έποπτη. Αν σκοπός μας είναι να βρούμε μια σκουληκότρυπα «ασφαλούς διέλευσης», χρειάζεται κάτι άλλο, κάτι που θα αντιμετωπίσει τη βαρύτητα με περισσότερο σφρίγος.

Πώς να φτιάξετε μια διαβατή σκουληκότρυπα

Η έννοια του ταξιδιού στο χρόνο άρχισε με ένα έργο επιστημονικής φαντασίας και μέχρι πρόσφατα, παρέμεινε σταθερά στο βασίλειο της φαντασίας. Το έναυσμα για το μετασχηματισμό του ταξιδιού στο χρόνο σε αντικείμενο σοβαρής επιστήμης έδωσε ένα άλλο έργο επιστημονικής φαντασίας. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, ο αστροφυσικός Καρλ Σαγκάν έγραψε το μυθιστόρημα *Επαφή*, το οποίο μεταφέρθηκε αργότερα στον κινηματογράφο με πρωταγωνίστρια την Τζόνι Φόστερ. Στην πραγματικότητα, η ιστορία δεν αναφέρεται

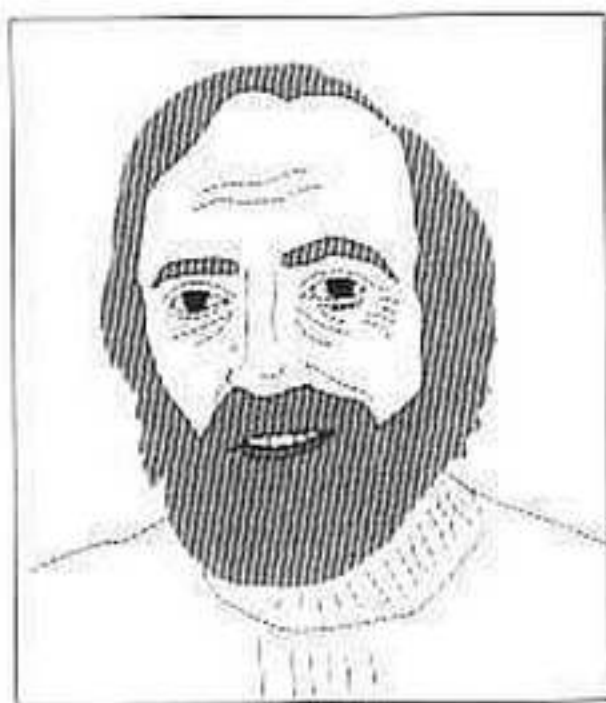


σε κάποιο ταξίδι στο χρόνο, αλλά σε ένα ραδιομήνυμα που λαμβάνεται από έναν προηγμένο εξωγήινο πολιτισμό. Το μήνυμα περιλαμβάνει το σχέδιο μιας μηχανής για τη δημιουργία μιας σκουληκότρυπας στο διάστημα, μεταξύ της Γης και του άστρου Βέγα, σε απόσταση 26 ετών φωτός. Στη συνέχεια, μια ομάδα ε-

ιστημιόνων χρησιμοποιεί τη σκουληκότρυπα προκειμένου να ταξιδέψει και να συναντήσει τους εξωγήινους. Ο Σαγκάν εκμεταλλεύτηκε την ιδέα της σκουληκότρυπας ως φανταστική διάταξη για να παρακάμψει αυτόν τον παλιό δαίμονα της επιστημονικής φαντασίας, την πεπερασμένη ταχύτητα του φωτός. Στην *Επαφή*, οι επιστήμονες φθάνουν στον Βέγα σε λίγα μόλις λεπτά.

Η σκουληκότρυπα του Σαγκάν διαφέρει κατά μια σημαντική λεπτομέρεια από εκείνες που εξετάσαμε προηγουμένως. Υποθέσαμε ότι η σκουληκότρυπα μιας μαύρης τρύπας είναι μια πύλη προς ένα άλλο σύμπαν. Η σκουληκότρυπα του Σαγκάν αποσιελεί μια σήραγγα που συνδέει δύο σημεία στο ίδιο σύμπαν. Ο συγγραφέας δεν μας έδωσε πολλές λεπτομέρειες σχετικά με το πώς θα μπορούσε να κατασκευαστεί μια τέτοια σκουληκότρυπα. Στην ταινία, η Τζόντι Φόστερ μπαίνει σε έναν θαλαμίοκο, ρίχνεται σε κάτι που μοιάζει με τεράστιο μίξερ, διέρχεται ταχύτατα από μια στενή σήραγγα και αναδύεται σε κάποιο σημείο του γαλαξία. Όλα μοιάζουν υπέροχα – είναι όμως εφικτά; Παρακατημένος από τη φαντασία του, ο Σαγκάν ήθελε να μάθει κατά πόσον η χρήση μιας σκουληκότρυπας ως σύντομης παράκαμψης (διαμέσου του διαστρικού χώρου) θα διέθετε οποιαδήποτε επιστημονική αξιοπιστία. Έτσι, προσέγγισε τον καλό φίλο του και θεωρητικό φυσικό Κιπ Θορν στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Καλιφόρνιας.

Ο Θορν και οι συνάδελ-



φοί του συμφώνησαν να ελέγξουν τι θα χρειαζόταν ώστε ο οραματισμός του Σαγκάν να γίνει πραγματικότητα. Για το σκοπό αυτό υιοθέτησαν ένα είδος αντίστροφης κατασκευαστικής προσέγγισης στη βαρυτική θεωρία. Συνήθως, ένας φυσικός μελετά ένα βαρυτικό αντικείμενο, π.χ. ένα άστρο, και χρησιμοποιεί τη θεωρία της γενικής σχετικότητας προκειμένου να προσδιορίσει το παραγόμενο βαρυτικό πεδίο, το οποίο με τη σειρά του καθορίζει πώς θα καμπυλωθεί ο χώρος κοντά στο αντικείμενο.

Στην περίπτωση αυτή, ο Θορν ξεκίνησε γράφοντας πρώτα την απάντηση. Γνώριζε τι είδους γεωμετρία του χώρου χρειαζόταν: κάτι σε σχήμα σκουληκότρυπας με δύο σφαιρικά στόμια. Όμως, έπρεπε να είναι μια *φιλική* σκουληκότρυπα, που όχι μόνο θα παρέμενε ανοιχτή για αρκετό διάστημα ώστε να επιτρέψει στην Τζόντι Φόστερ να διέλθει μέσα από αυτήν, αλλά και ταυτόχρονα, δεν θα την διαμέλιζε με τις βαρυτικές δυνάμεις ούτε θα την κατάκαιγε μέσω επιφανειών άπειρης ενέργειας. Προφανώς, το είδος σκουληκότρυπας που εξετάσαμε παραπάνω δεν θα ήταν κατάλληλο. Τότε ο Θορν αναρωτήθηκε ποια μορφή ύλης ήταν αναγκαία ώστε να παραχθεί αυτή η φιλική σκουληκότρυπα.

Σύντομα συνειδητοποίησε ότι αποκλείονταν οποιαδήποτε γνωστή μορφή ύλης (νερό, διαμάνι, αέριο υδρογόνο, φως, νετρίνα...). Όλα αυτά θα ανάγκαζαν το λαιμό της σκουληκότρυπας να καταρρεύσει προτού προλάβει να τη διασχίσει οτιδήποτε. Προφανώς, ήταν απαραίτητη κάποια εξωτική μορφή ύλης.

Δεν είναι δύσκολο να συμπεράνουμε ποια. Αν μια σκουληκότρυπα είναι διαβατή, πρέπει να διαθέτει τόσο έξοδο όσο και είσοδο. Στην περίπτωση αυτή, θα έπρεπε να είναι δυνατή η διέλευση του φωτός μέσα από αυτήν. Ο λόγος που μια μαύρη τρύπα δεν έχει έξοδο είναι ότι η βαρύτητα κάμπτει το φως

προς τα μέσα, το παγιδεύει και το εστιάζει στην ιδιομορφία. Αφού η σκουληκότρυπα επιτρέπει στο φως να εξέλθει από το άλλο άκρο, κάπου στο εσωτερικό της το φως θα πρέπει να εκτρέπεται, δηλαδή να κάμπιεται προς τα έξω.

Ο Θορν συμπέρανε ότι για να πετύχει κάτι τέτοιο έπρεπε να χρησιμοποιήσει κάποιο είδος αντιβαρύτητας. Αυτό δεν μας εκπλήσσει. Χρειάζεται κάτι ισχυρό για να ανυψηρίξει τη σκουληκότρυπα, να καταπολεμήσει την αδυσώπητη τάση της βαρύτητας να συνθλίψει τη σκουληκότρυπα και να τη σφραγίσει με μια ιδιομορφία. Η αντιβαρυτική ύλη είναι μια απάντηση. Όμως, τώρα προκύπτει ένα νέο ερώτημα: υπάρχει τέτοια ύλη;

Λοιπόν, υπάρχει, και μάλιστα εδώ και πολλούς αιώνες. Η ανύψωση στον αέρα είναι ένας αρχαίος μύθος και συναντάται σε πολλές θρησκείες και μυστικιστικές δοξασίες. Η αντιβαρύτητα συνεχίζει να θεωρείται από τους λάτρεις των UFO ως η πιο δημοφιλής μέθοδος για την πρόωση εξωγήινων διαστημολοίων. Επίσης, προσελκύει ποικιλία από ανεξάρτητους στοχαστές, τρελούς εφευρέτες και οραματιστές επιχειρηματίες, προσκολλημένους στο όνειρο για την εκμηδένιση της γήινης βαρύτητας και το πέταγμα στα άστρα δίχως την ανάγκη πυραύλων. Η ανυβαρύτητα εμφανίζεται ακόμη στην επιστημονική φαντασία: ο Χ. Τζ. Γουέλς οραματίστηκε ένα είδος βαρυτικής θωράκισης (που ονόμασε Καβορίδα) στο βιβλίο του *Οι πρώτοι άνθρωποι στη Σελήνη*.

Η πρώτη εμφάνιση της αντιβαρύτητας στην επιστήμη οφείλεται στον Αϊνστάιν. Το 1917 τροποποίησε τη θεωρία του για τη γενική σχετικότητα προκειμένου να ενσωματώσει σε αυτήν μια απωστική μορφή βαρύτητας, με απώτερο σκοπό να διατυπώσει ένα μοντέλο του σύμπαντος. Εκείνη την εποχή, κανείς δεν γνώριζε ότι το σύμπαν διαστέλλεται. Ο Αϊνστάιν

προβληματιζόταν (όπως και ο Νεύτων) σχετικά με το πώς μπορούσε το σύμπαν να είναι στατικό, όταν η μόνη πραγματικά συμπαντική δύναμη, η βαρύτητα, είναι ελκτική σε παγκόσμια κλίμακα. Έτσι πρόσθεσε έναν επιπλέον όρο στις εξισώσεις του για το βαρυτικό πεδίο, ώστε να περιγράψει ένα είδος αντιβαρύτητας. Από την εξισορρόπηση μεταξύ της ελκτικής δύναμης της συνηθούς βαρύτητας και της απωστικής δύναμης της αντιβαρύτητας μπορεί να προκύψει ένα στατικό σύμπαν.

Όταν ο Αϊνστάιν ανακάλυψε πως το σύμπαν δεν ήταν στατικό αλλά διαστελλόταν, εγκατέλειψε την απωστική δύναμη, αποκαλώντας την τη μεγαλύτερη γκάφα της ζωής του. Ακούγεται ίσως ειρωνικό, αλλά τελικά μπορεί να μην είχε κάνει λάθος. Αν και η αντιβαρύτητα, ενδεχομένως, δεν είναι πλέον αναγκαία για ένα στατικό σύμπαν, ίσως υπάρχει παρ' όλα αυτά – και σύμφωνα με πρόσφατες αστρονομικές ενδείξεις, μάλλον υπάρχει. Ωστόσο, στη διάχυτη κοσμική μορφή της, η αντιβαρύτητα του Αϊνστάιν είναι εξαιρετικά ασθενής ώστε να μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία μιας διαβατής σκουληκότρυπας.

Η αντιβαρύτητα εμφανίζεται και σε άλλους κλάδους της φυσικής, αν και μόνο κάτω από ασυνήθιστες συνθήκες. Εύκολα μπορούμε να κατανοήσουμε τη βασική ιδέα. Σε ό,τι αφορά τη συνήθη ύλη, τηγή της βαρύτητάς της αποτελεί η μάζα. Λόγω της σχέσης μεταξύ μάζας και ενέργειας ($E = mc^2$) όλες οι μορφές ενέργειας διαθέτουν βαρύτητα. Αν αυτό που θέλετε είναι η αντιβαρύτητα, μπορείτε να την παραγάγετε μέσω *αρνητικής ενέργειας*.

Η δετική ενέργεια διαδέτει βαρύτητα.

Η αρνητική ενέργεια διαδέτει αντιβαρύτητα.

Με μια πρώτη ματιά, η αρνητική ενέργεια μοιάζει τόσο παράξενη όσο ένα «αρνητικό» γεύμα. Ασφαλώς, είτε παίρνετε κάποιο γεύμα είτε όχι. Πώς είναι δυνατόν να πάρετε κάτι λιγότερο από ένα γεύμα που δεν παίρνετε;

Η απάντηση βρίσκεται στον ορισμό της μηδενικής ενέργειας. Επειδή η ενέργεια διαθέτει βαρύτητα, η μηδενική ενέργεια πρέπει να αντιστοιχεί σε μια κατάσταση χωρίς κανενός είδους βαρυτικό πεδίο. Στη θεωρία της γενικής σχετικότητας, η συνθήκη αυτή συνεπάγεται μηδενικές στρεβλώσεις του χώρου και του χρόνου: ο χωρόχρονος είναι απολύτως επίπεδος. Συνεπώς, αν είμαστε σε θέση να κατασκευάσουμε μια φυσική κατάσταση στην οποία η ενέργεια θα είναι λιγότερη από μια τέτοια κατάσταση μηδενικής ενέργειας, τότε η ενέργεια θα είναι αρνητική και η κατάσταση θα διαθέτει αντιβαρύτητα.

Φανταστείτε ένα κουτί φτιαγμένο από συνήθη ύλη και γεμάτο αρνητική ενέργεια, αρκετή ώστε το σύνολο μάζας και ενέργειας να είναι αρνητικό. Μήπως τότε το κουτί θα πετάξει προς τα πάνω αντί να πέσει προς τα κάτω; Δυστυχώς, όχι. Οποσδήποτε το κουτί θα δεχθεί μια βαρυτική δύναμη προς τα πάνω, αλλά επειδή η μάζα του είναι αρνητική ουσιαστικά θα κινηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή προς τα κάτω! Άρα, η αρνητική ενέργεια οδηγεί προς τα κάτω, όπως και η θετική ενέργεια. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μας εξακοντίσει στα άστρα.

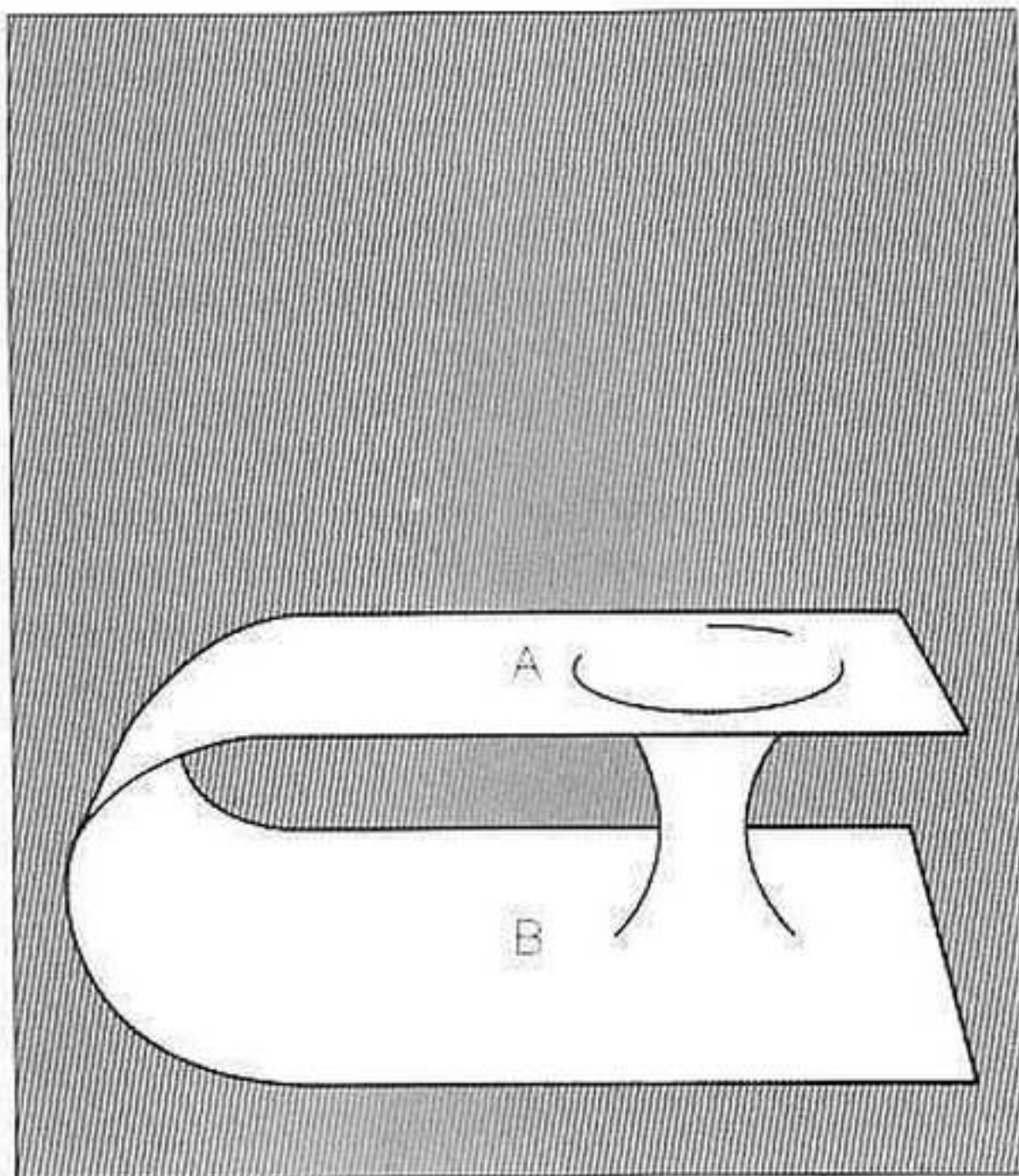
Ωστόσο, το πεδίο βαρύτητας που δημιουργεί η ίδια η αρνητική ενέργεια είναι ασφαλώς απωστικό. Αν τοποθετήσουμε κοντά στο κουτί μια σφαίρα φτιαγμένη από συνήθη ύλη, θα απομακρυνθεί από αυτό με επιτάχυνση. Αν η Γη ήταν φτιαγμένη από αρνητική ενέργεια, θα εκτοξευόμασταν όλοι στο διάστημα.

Στο κεφάλαιο 3 θα εξηγήσουμε πώς μπορούν να δημιουρ-

γηθούν καταστάσεις αρνητικής ενέργειας* προς το παρόν, όμως, ας υποθέσουμε ότι διαθέτουμε κάποια κατάλληλη εξωτερική ύλη, την οποία έχουμε στοιβάξει μέσα στο λαιμό της σκουληκότρυπας. Αν η αντιστατική της ύλης αυτής είναι αρκετά ισχυρή, θα εμποδίσει την κατάρρευση του λαιμού επιτρέποντας στο φως –ενδεχομένως ακόμη και στους αστροναύτες– να διέλθουν μέσα από τη σκουληκότρυπα. Τότε, η τελική μορφή της σκουληκότρυπας μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια ευέλικτη διαδιάστατη επιφάνεια, αλλά αυτή τη φορά η επιφάνεια έχει καμφθεί έτσι, ώστε τα δύο άκρα της να πλησιάσουν και ακολούθως να συνδεθούν μεταξύ τους μέσω της σκουληκότρυπας. Με αυτόν τον τρόπο, τα διαστημικά σημεία Α και Β, που απέχουν πολλά έτη φωτός μεταξύ τους, μπορούν να συνδεθούν από μια μικρού μήκους σκουληκότρυπα, ακριβώς όπως στην ταινία *Επαφή*.

Αν κάμψουμε την επιφάνεια με τον τρόπο που δείξαμε προηγουμένως, είναι σαν να καμπυλώνουμε δραστικά ένα μεγάλο τμήμα του σύμπαντος μέχρις ότου αυτό αναδιπλωθεί σχεδόν εντελώς – στόχος που θα εξαντλούσε ακόμη και έναν υπερ-πολετισμό. Στην πραγματικότητα, η αναπαραστάση είναι παραπλανητική ως προς αυτό το σημείο. Αναμφίβολα, η βαρύτητα καμπυλώνει το χώρο, αλλά η καμπυλότητα της αναδίπλωσης εδώ δεν συνιστά βαρυτική στρέβλωση του χώρου. Η αναδίπλωση της επιφάνειας, ή ακόμη και το τύλιγμά της μέχρι να σχηματιστεί ένας κύλινδρος, δεν επηρεάζει τις γεωμετρικές ιδιότητες στο εσωτερικό της ίδιας της επιφάνειας.

Για να το καταλάβετε, φαντασθείτε πάνω στην επιφάνεια γεωμετρικά σχήματα, έστω τρίγωνα και τετράγωνα. Όταν η επιφάνεια απλώς αναδιπλωθεί, δεν υπάρχει έκταση ή συρρίκνωση. Τίποτε δεν αλλάζει στο εσωτερικό της επιφάνειας: όλα τα τρίγωνα παραμένουν τα ίδια, τα τετράγωνα παραμέ-

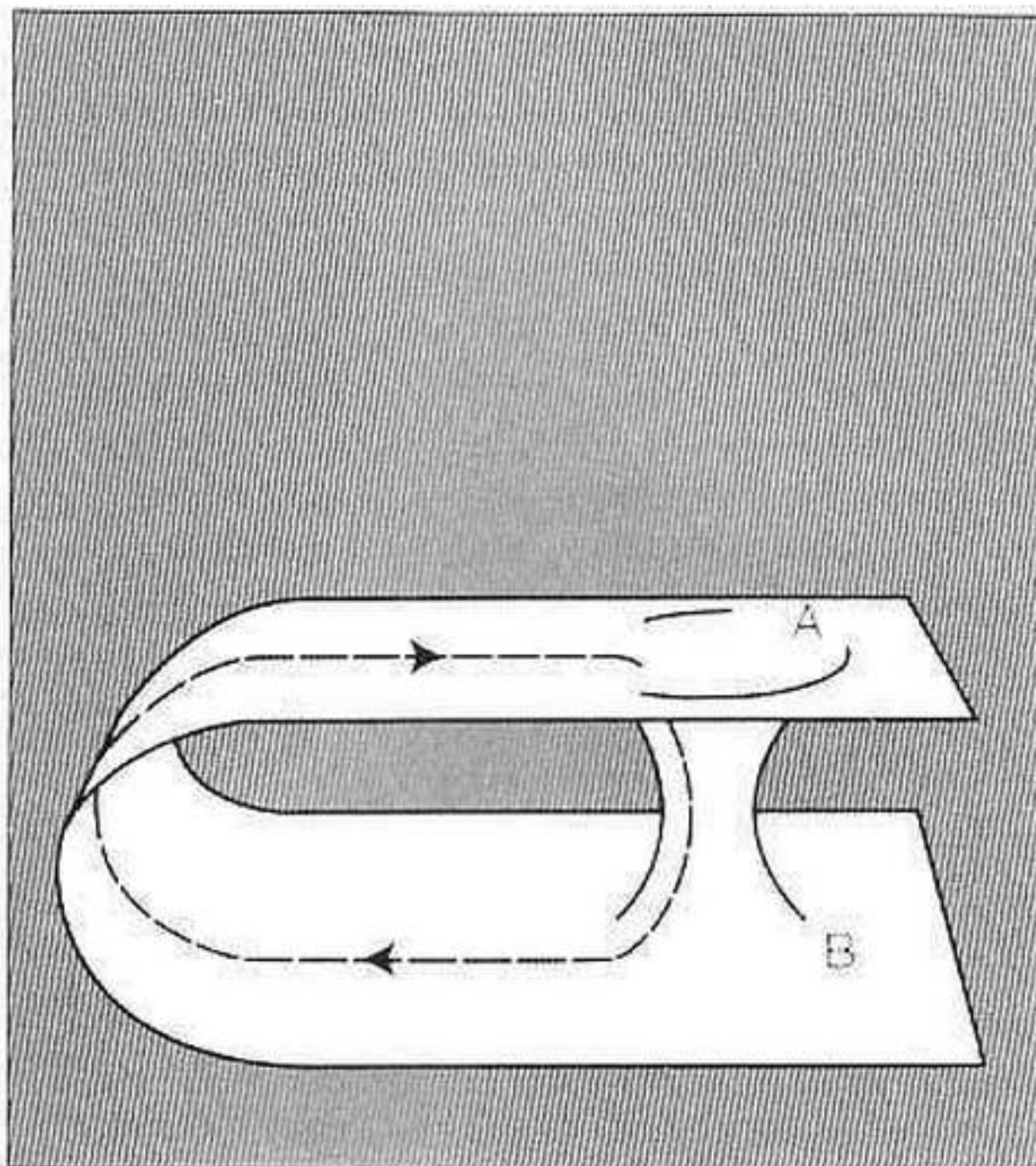


Τα δύο άκρα της
πλησιάζουν και ακολούθως
συνδέονται μεταξύ τους
μέσω της σκουληκότρυπας.

νουν τετράγωνα, κ.ο.κ. Για σύγκριση, προσπαθήστε τώρα να επικολλήσετε την επιφάνεια αυτή πάνω στην επιφάνεια μιας σφαίρας. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να τεντώσετε ή να ρυτιδώσετε την επιφάνεια, μεταβάλλοντας έτσι τις γωνίες, παραμορφώνοντας τα τετράγωνα, κ.ο.κ. (Ισχύει και το αντίστροφο. Απλώς φαντασθείτε τις παραμορφώσεις που σχετίζονται με την προβολή Μερκάτορ ενός χάρτη της Γης). Οι κυλινδρικές επιφάνειες, σε αντίθεση με τις σφαιρικές, δεν έχουν εσωτερική καμπυλότητα. Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν αναφορικά με τα τριοδιάστατα ισοδύναμά τους.

Όσον αφορά τη σκουληκότρυπα που απεικονίζεται στην προηγούμενη σελίδα, δεν υπάρχει εσωτερική καμπυλότητα στην περιοχή του συνήθους ή «εξωτερικού» χώρου, μεταξύ του Α και του Β. Παρά την αναδίπλωση, η γεωμετρία εκεί παραμένει ως είχε, δηλαδή λίγο ή πολύ επίπεδη, με τα σημεία στο χώρο να διατηρούν σταθερή τη μεταξύ τους απόσταση, τις γωνίες να παραμένουν αμετάβλητες, κ.ο.κ. Αν εξετάζατε τη γεωμετρία αυτής της συνήθους περιοχής, δεν θα διαπιστώνατε την ύπαρξη μιας σκουληκότρυπας η οποία συνδέει δύο περιοχές που απέχουν πολύ μεταξύ τους.

Η έρευνα του Θορν και των συναδέλφων του δεν αποκάλυψε κανένα θεμελιώδες λάθος στην ιδέα μιας διαβατής σκουληκότρυπας, εφόσον μπορούσε να αναπτυχθεί κάποια μορφή εξωτικής ύλης – και η ύλη που χρειαζόταν δεν ήταν και τόσο εξωτική. Πιστεύουμε ότι ορισμένα γνωστά φυσικά συστήματα περιέχουν αυτή την εξωτική ύλη, αν και σε μικροσκοπικές ποσότητες. Επρόκειτο, λοιπόν, για μια πολύ σπουδαία ανακάλυψη. Δεν απέδειξε ότι οι διαβατές σκουληκότρυπες μπορούν να υπάρξουν κατηγορηματικά, αλλά ούτε και τις απέκλεισε.



Είναι δυνατόν να μεταβούμε
πίσω στο χρόνο.

Όλα αυτά ήταν ήδη αρκετά συναρπαστικά. Όμως, θα ακολουθούσαν περισσότερα. Από τη στιγμή που οι ερευνητές «χώνεψαν» τη δυνατότητα ύπαρξης μιας σκουληκότρυπα στο διάστημα, αντιλήφθηκαν πως αν με κάποιον τρόπο κατασκεύαζαν μία, θα μπορούσε να χρησιμεύσει και ως χρονομηχανή. Όπως με μια μαύρη τρύπα, το βαρυτικό πεδίο μιας σκουληκότρυπας μπορεί να λειτουργήσει ως ένα μέσον για να φθάσουμε στο μέλλον. Όμως η σκουληκότρυπα μπορεί να πετύχει ακόμη περισσότερα: μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ένα ταξίδι στο παρελθόν. Διερχόμενοι μέσα από τη σκουληκότρυπα από το σημείο Α στο σημείο Β, είναι δυνατόν να μεταβούμε πίσω στο χρόνο. Κι αν επιστρέψουμε γρήγορα από το συνήθη χώρο, μπορούμε να φθάσουμε στο σημείο Α προτού ξεκινήσουμε. Επιτέλους οι φυσικοί είχαν βρει έναν εύλογο τρόπο για να ταξιδεύουν τόσο πίσω όσο κι εμπρός στο χρόνο. Όμως, πώς μπορεί να κατασκευασθεί μια σκουληκότρυπα-χρονομηχανή;

 ΠΩΣ ΝΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΕΤΕ ΜΙΑ ΧΡΟΝΟΜΗΧΑΝΗ

Kάποιοι επιστήμονες πιστεύουν ότι κατά τη Μεγάλη Έκρηξη σχηματίστηκαν σκουληκότρεπες με φυσικό τρόπο, και ότι, ενδεχομένως, ένας προηγμένος σε διαστημικά ταξίδια πολιτισμός ανακαλύψει μια από αυτές στο γαλαξία και την χρησιμοποιήσει ως χρονομηχανή. Ωστόσο, η τεχνητή παραγωγή θα ήταν προφανώς πιο βολική. Πώς μπορούμε να κατασκευάσουμε μια διαβειτή σκουληκότρεπα και να τη μετατρέψουμε σε χρονομηχανή; Στη σελίδα 93 βλέπουμε το πιθανό σχήμα ενός εργοστασίου παραγωγής. Η κατασκευή απαρτίζεται από τέσσερα στάδια (συνεργεία) τα οποία περιλαμβάνουν, αντιστοίχως, έναν επιταχυντή, μια διάταξη ενδόρρηξης, μια διάταξη πληθωρισμού και έναν διαφοροποιητή. Επιτρέψτε μου να εξηγήσω το σκοπό καθενός στοιχείου με τη σειρά.

Ο επιταχυντής

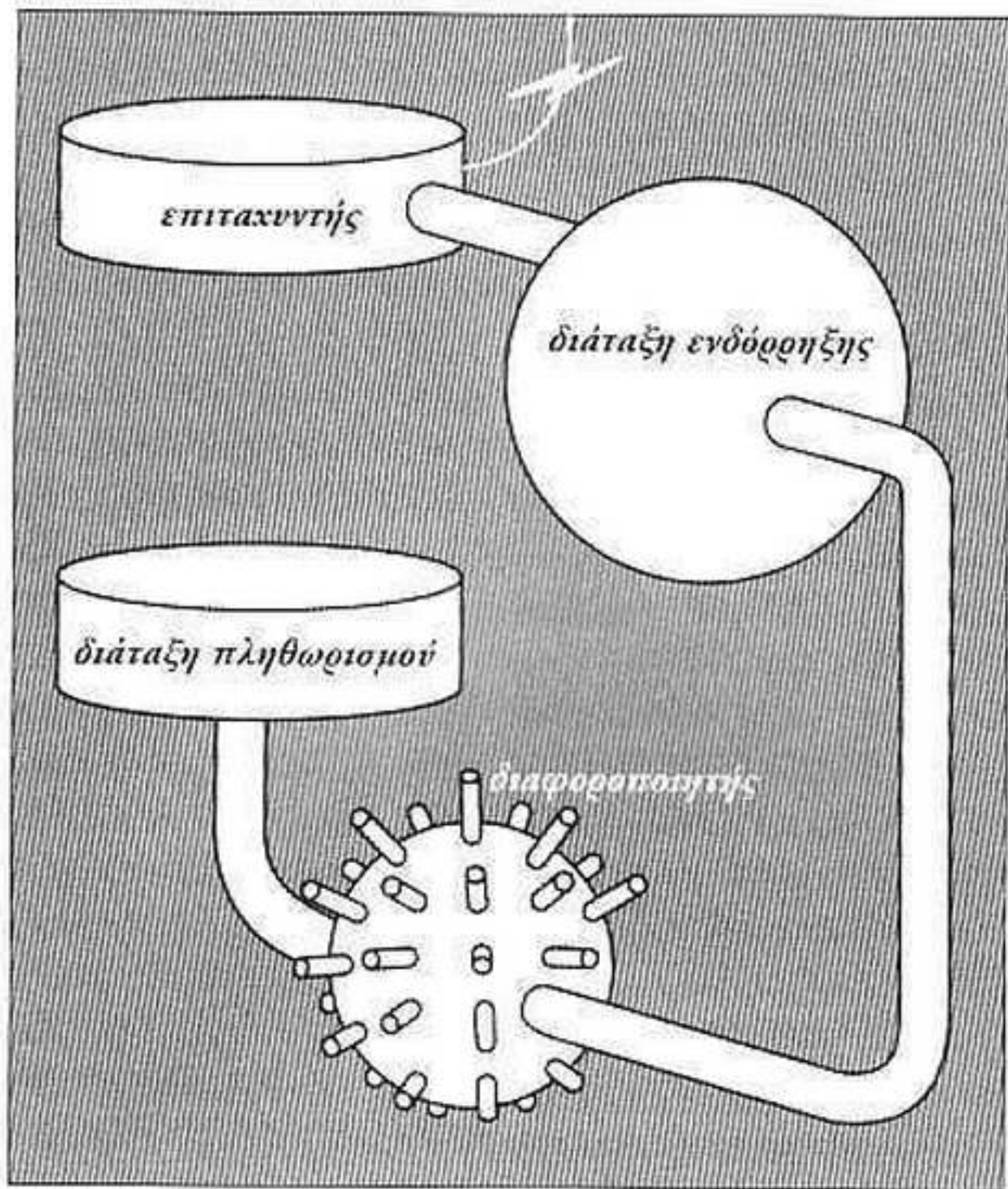
Ένα προφανές και μάλλον θεμελιώδες πρόβλημα εμποδίζει κάθε απόπειρά μας να φτιάξουμε μια σκουληκότρυπα σε μια συνήθη περιοχή του χωροχρόνου. Σκεφθείτε τι θα κάνατε για να δημιουργήσετε μια σκουληκότρυπα χρησιμοποιώντας ένα φύλλο χαρτιού. Αν και το φύλλο μπορεί να διπλωθεί μέχρι

να αγγίζει τον ε-
αυτό του, δεν υ-
πάρχει τρόπος να
συνδεθούν οι δύο
επιφάνειες ώστε
να σχηματίσετε
τη σκουληκότρυ-
πα, παρεκτός κι
αν κόψετε το χαρ-
τί και το κολλήσε-
τε ξανά. Όσο κι
αν το τυλίξετε ή
το διπλώσετε, όσο
κι αν το τραβήξε-
τε ή το τεντώσετε,
σε κάποιο στάδιο
της διεργασίας θα

Σήμερα οι
σκουληκότρυπες και
οι χρονομηχανές
θεωρούνται εξωφρενικές
από τους περισσότερους
φυσικούς.

Κιπ Θορν

χρειαστεί απαραίτητα μια τομή. Το πρόβλημα είναι ίδιο με το να πάρετε ένα κομμάτι στόκο και να τον πλάσετε σε σχήμα σαμπρέλας. Αναπόφευκτα θα τον κόψετε στο κέντρο για να φτιάξετε μια τρύπα. Η δυσκολία αυτή είναι ανεξάρτητη από τη λεπτομερή γεωμετρία του προβλήματος: είναι μια ιδιότητα της *τοπολογίας* του συστήματος.

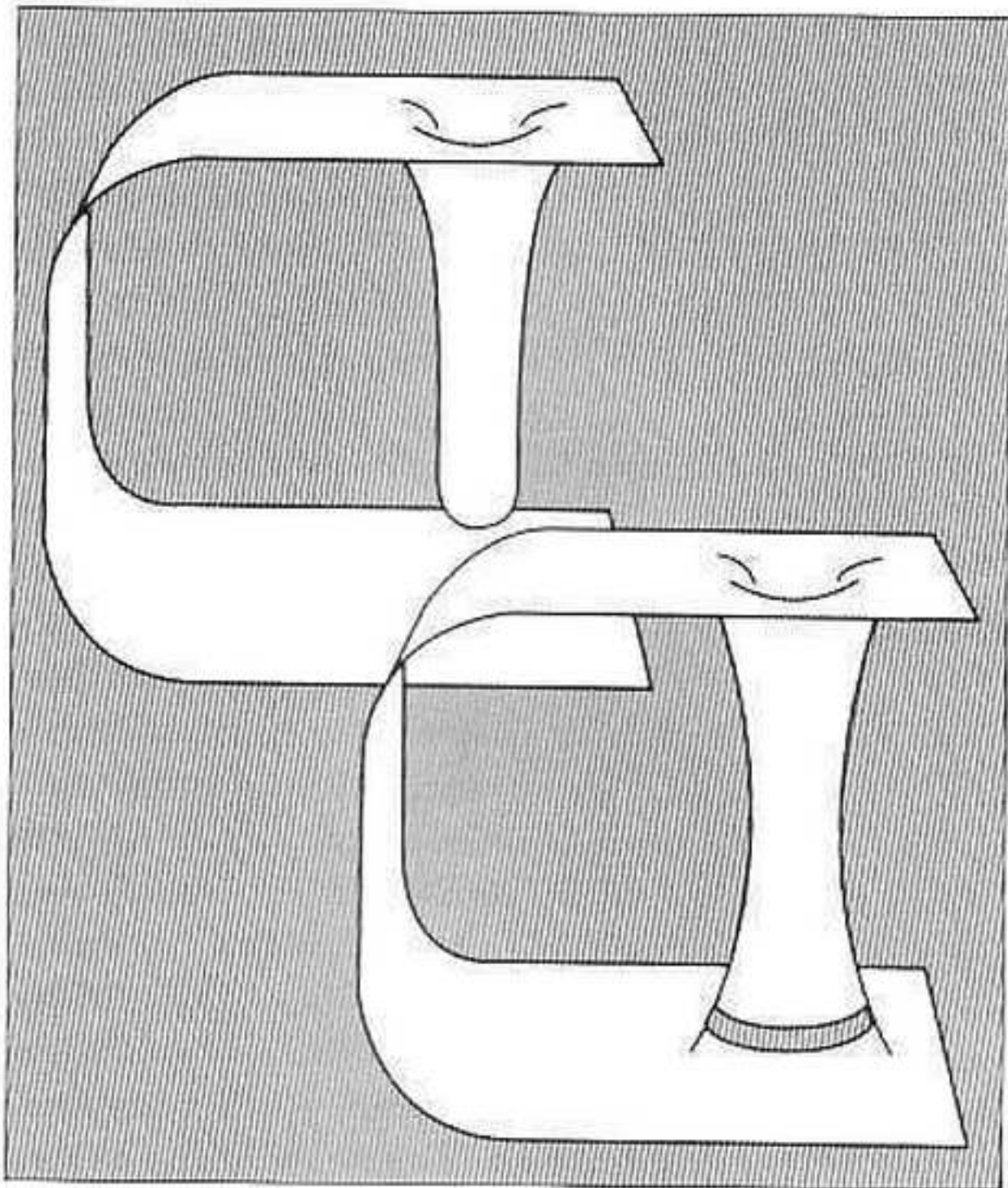


Πώς μπορούμε να κατασκευάσουμε
μια διαβατή σκουληκότρυπα
και να τη μετατρέψουμε
σε χρονομηχανή;

Στην περίπτωση μιας σκουληκότρυπας στο διάστημα, το «φύλλο» είναι ο ίδιος ο χώρος. Θα πρέπει να συνειδητοποιήσουμε ότι η σκουληκότρυπα δεν είναι μια τρύπα σε κάτι, ουσιαστικά αποτελεί κατασκευάσμα του χώρου.

Επομένως, πώς θα πραγματοποιήσετε μια χειρουργική επέμβαση στο χώρο; Κανείς δεν γνωρίζει πώς μπορεί να γίνει κάτι τέτοιο σε μεγάλη κλίμακα. Σκεφθείτε τι θα σήμαινε μια τομή στο διάστημα, κοντά στη Γη. Μέχρι να ξανακολλήσετε τα δύο κομμάτια, ένα γυμνό άκρο του χώρου θα παρέμενε εκτεθειμένο. Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2, είναι δυνατόν να υπάρχουν άκρα του χώρου, τα οποία ονομάζονται ιδιομορφίες και εγκυμονούν σοβαρούς κινδύνους. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε η σκουληκότρυπα Σβάρτσιλντ, σε μια ιδιομορφία με άπειρη πυκνότητα, αλλά θαμμένη στο εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας. Ένα τέτοιο εκτεθειμένο άκρο που θα χρειαζόμασταν για την κατασκευή μιας διαβατής σκουληκότρυπας, θα ήταν μια γυμνή ιδιομορφία. Κάτι τέτοιο μπορεί να σπείρει τον όλεθρο στη φύση. Σε κάθε περίπτωση, η κατασκευή μιας σκουληκότρυπας μέσω της δημιουργίας ιδιομορφιών του χωροχρόνου είναι υπερβολικά βίαιη. Προτιμούμε να πετύχουμε το στόχο μας με έναν πιο ελεγχόμενο τρόπο.

Μια καλύτερη μέθοδος, λοιπόν, είναι να χρησιμοποιήσουμε το κβαντικό κενό. Η κβαντομηχανική βασίζεται στην αρχή της απροσδιοριστίας που διατύπωσε ο Χάιζενμπεργκ, και η οποία προβλέπει ότι όλες οι φυσικές ποσότητες υφίστανται τυχαίες διακυμάνσεις. Σε ατομική κλίμακα, ιδιότητες όπως η ταχύτητα ή η ενέργεια ενός σωματιδίου μπορούν να είναι εξαιρετικά αβέβαιες. Γενικά, όσο μικρότερη είναι η κλίμακα, τόσο μεγαλύτερες οι διακυμάνσεις. Σε κάποιο μικροσκοπικό μέγεθος, η κβαντική απροσδιοριστία γίνεται τόσο μεγάλη, ώστε παράγει σημαντικά βαρυτικά αποτελέσματα. Μπορούμε



Δεν υπάρχει τρόπος να συνδεθούν
οι δύο επιφάνειες...
παρεκτός κι αν κόψετε το χαρτί
και το κολλήσετε ξανά.

να το δούμε καλύτερα αν θεωρήσουμε την ενέργεια. Σύμφωνα με την αρχή του Χάιζενμπεργκ για την απροοριστία, η τιμή της ενέργειας θα είναι αβέβαιη για σύντομα χρονικά διαστήματα, που σημαίνει ότι η τιμή αυτή μπορεί να μεταβάλλεται απρόβλεπτα. Ένας τρόπος για να το καταλάβουμε, είναι με όρους δανειομού. Ένα ηλεκτρόνιο, για παράδειγμα, μπορεί να δανείζεται ενέργεια από τη φύση, εφόσον την επιστρέφει σύντομα. Έτσι, σύμφωνα με την αρχή της απροοριστίας, όσο μεγαλύτερο το δάνειο, τόσο συντομότερος ο χρόνος αποπληρωμής.

Στη γλώσσα των αριθμών, θα διαπιστώσετε ότι για χρονικό διάστημα ίσο με 10^{-13} του δευτερολέπτου, γνωστό ως χρόνος Πλανκ (από τον Γερμανό φυσικό Μαξ Πλανκ, που θεμελίωσε την κβαντική θεωρία), μπορεί να δανειστεί κανείς τόση ενέργεια, ώστε η μάζα της να στρεβλώσει σοβαρά το χωρόχρονο, δημιουργώντας σε αυτόν περίπλοκες δομές. Δεν γνωρίζουμε ακριβώς ποια είναι η κατάληξη, αλλά ο Τζον Γουίλερ έχει ζωγραφίσει μια ζωντανή εικόνα ενός λαβυρίνθου από αγωγούς και σήραγγες, τον οποίο, πολύ λυρικά, αποκαλεί *χωροχρονικό αφρό*. Το μέγεθος αυτών των δομών είναι εξαιρετικά μικρό, περίπου 10^{-33} του εκατοστού (γνωστό ως μήκος Πλανκ), για την ακρίβεια είκοσι δυνάμεις του δέκα μικρότερο από έναν ατομικό πυρήνα.

Γώρα, οι κβαντικές σκουληκότρυπες στις οποίες αναφερόμαστε δεν είναι μονίμως εμφυτευμένες στο χώρο, επειδή ζουν με δανεικό χρόνο. Η ενέργεια που απαιτείται για την καμπύλωση του χώρου, ώστε να γίνει ένας περίπλοκος αφρός, είναι δανεική λόγω της αρχής της απροοριστίας του Χάιζενμπεργκ. Άρα, οι κβαντικές σκουληκότρυπες δεν διαρκούν. Έρχονται και φεύγουν με ένα φρενήρη ρυθμό.

Όμως, τι γίνεται με το κόψιμο και την επικόλληση που

αναφέραμε παραπάνω: Στο κβαντικό βασίλειο, η δυσκολία των ιδιομορφιών έχει παρακαμφθεί. Μεταβολές στην τοπολογία βυθίζονται μέσα στην ολική κβαντική ασάφεια των πάντων. Η απόπειρα να εξακριβώσουμε πού τέμνεται ο χώρος είναι εξίσου άσκοπη, όσο και η προσπάθεια να εντοπίσουμε την ακριβή θέση ενός ηλεκτρονίου σε μια ατομική τροχιά. Τέτοια πράγματα είναι ενδογενώς απροσδιόριστα στην κβαντική φυσική.

Προκειμένου να διακρίνουν τις προσωρινές, απόκοσμες κβαντικές σκουληκότρυπες από τις μεγάλες, μόνιμες και πραγματικές, οι φυσικοί αναφέρονται στις πρώτες αποκαλώντας τις «εικονικές». Μια εικονική σκουληκότρυπα υπάρχει φευγαλέα, ως ευγενική παραχώρηση της αρχής της απροσδιοριστίας του Χάιζενμπεργκ. Ο Κιπ Θορν έχει υποθέσει ότι ένας προηγμένος πολιτισμός ίσως αναπτύξει την τεχνολογία ώστε να συλλάβει τον χωροχρονικό αφρό, να ξεριζώσει μια εικονική σκουληκότρυπα και να την επεκτείνει σε μια μεγάλη και μόνιμη. Αυτό σημαίνει έλεγχο της φύσης σε μια κλίμακα περίπου δεκαπέντε δυνάμεων του δέκα μικρότερη από τις σημερινές μας δυνατότητες.

Μια απευθείας προσέγγιση φαντάζει μάταιη. Ωστόσο, ίσως υπάρχει ένας τρόπος να το πετύχουμε εμμέσως. Ένα πρόβλημα, αν αποφασίσουμε να συλλέξουμε εικονικές σκουληκότρυπες από τον χωροχρονικό αφρό, είναι ότι η αντιπροσωπευτική διάρκεια ζωής τους, μέχρι να εξαφανιστούν, είναι μόλις ένας χρόνος Πλανκ. Για να δημιουργήσουμε μια μόνιμη σκουληκότρυπα, πρέπει να εγχύσουμε τεχνητά ενέργεια στον χωροχρονικό αφρό ώστε να αποπληρώσουμε το δάνειο επί ονόματι της εικονικής σκουληκότρυπας και να την προαγάγουμε σε μεγάλη. Ακούγεται σαν σενάριο επιστημονικής φαντασίας, αλλά κάνουμε διαρκώς κάτι παρόμοιο στους ραδιομετα-

δότες. Ένα ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα νέφος από εικονικά φωτόνια που κινούνται γύρω από ένα φορτισμένο σωματίδιο, όπως το ηλεκτρόνιο. Αν στο σύστημα εισαχθεί ενέργεια, π.χ. μέσω της επιτάχυνσης του ηλεκτρονίου σε ένα σύρμα, τότε κάποια από τα εικονικά φωτόνια μετατρέπονται σε πραγματικά και απομακρύνονται από το σύρμα με τη μορφή ραδιοκυμάτων.

Η αρχή της απροσδιοριστίας του Χάιζενμπεργκ έχει επίσης σημαντικές επιπτώσεις στη φύση του κενού χώρου: σημαίνει ότι δεν υπάρχει απόλυτο κενό. Ακόμη κι αν αφαιρέσετε όλα τα σωματίδια ύλης και όλα τα φωτόνια, θα εξακολουθήσουν να υπάρχουν εικονικά φωτόνια (και εικονικές εκδόχες όλων των υπολοίπων ειδών σωματιδίων) που προσωρινά θα γίνονται πραγματικά. Τα εικονικά σωματίδια διαπερνούν ολόκληρο το χώρο προκαλώντας έναν αναβρασμό κβαντικής δραστηριότητας. Αυτό που με πρώτη ματιά μοιάζει ως απόλυτο κενό είναι, στην πραγματικότητα, ένα μελίσσι από διακυμαινόμενα φαντάσματα, που εμφανίζονται και εξαφανίζονται σε έναν μη προβλέψιμο χορό. Κι όλα αυτά δεν αποτελούν απλώς θεωρίες. Τα εικονικά φωτόνια εκδηλώνουν την ύπαρξή τους με ένα πλήθος φυσικών τρόπων. Για παράδειγμα, συνωθούνται με τα ηλεκτρόνια σε ατομικές τροχιές, παράγοντας μικρές αλλά μετρήσιμες μεταβολές στις ενεργειακές στάθμες. Επίσης, προκαλούν το λεγόμενο φαινόμενο Κάσιμρ, το οποίο θα εξετάσουμε στη μεθεπόμενη ενότητα.

Ο επιταχυντής είναι το πρώτο βήμα προς την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας στον χωροχρονικό αφρό. Περιλαμβάνει έναν επιταχυντή βαρέων ιόντων, σαν αυτόν που λειτουργεί στο Εθνικό Εργαστήριο Μπρουκχέιβεν, στο Λονγκ Άιλαντ, κοντά στη Νέα Υόρκη. Η μηχανή αυτή είναι σχεδιασμένη ώστε να επιταχύνει πυρήνες ατόμων, π.χ. χρυσού και

ουρανίου, σε κολλοειδείς ενέργειες και να τους οδηγεί στη συνέχεια, σε μετωπική σύγκρουση. Μαγνητικά πεδία συγκρατούν τους πυρήνες στο εσωτερικό ενός δακτυλιοειδούς αγωγού κενού, όπου επιταχύνονται με χρήση ηλεκτρικών παλμών και διατάσσονται έτσι, ώστε αντιθέτως περιστρεφόμενες δέσμες πυρήνων να συγκρούονται με μεγάλες ταχύτητες. Αυτές οι ελεγχόμενες συγκρούσεις είναι τόσο βίαιες, ώστε για ένα απειροελάχιστο διάστημα δημιουργούν τις συνθήκες που κυριαρχούσαν στο σύμπαν περίπου ένα εκατομμυριοστό του δευτερολέπτου μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους δέκα τριοεκατομμύρια βαθμούς.

Μετά το θρυμματισμό των πυρήνων λόγω της σύγκρουσής τους, τα πρωτόνια και τα νετρόνια στο εσωτερικό τους κοινιοτοποιούνται δημιουργώντας μια φυσαλίδα από θραύσματα μεγάλης ενέργειας, γνωστή ως πλάσμα κουάρκ-γλοιονίων. (Ορισμένες φορές χρησιμοποιείται η εντυπωσιακή φράση «τήξη του κβαντικού κενού»). Ουσιαστικά, οι συνιστώσες των πυρηνικών σωματιδίων, τα κουάρκ και τα γλοιόνια, διακόπτουν τις μεταξύ τους σχέσεις και στριφογυρίζουν στο εσωτερικό ενός άμορφου πολτού.

Αφού δημιουργηθεί η φυσαλίδα του πλάσματος κουάρκ-γλοιονίων, το επόμενο βήμα είναι να διοχετευθεί στη διάταξη ενδόρρηξης.

Η διάταξη ενδόρρηξης

Αν και –σύμφωνα με ανθρώπινα μέτρα– ένα πλάσμα κουάρκ-γλοιονίων έχει πολύ μεγάλη ενέργεια, απέχει ακόμη πολύ από τις σημερινές απαιτήσεις μας. Η τεράστια θερμοκρασία των δέκα τριοεκατομμυρίων βαθμών στο εσωτερικό της φυ-

σαλίδας συνεχίζει να είναι κατά περίπου δεκαεννέα δυνάμεις του δέκα πιο χαμηλή από όση απαιτείται για να επηρεασθεί ο χωροχρονικός αφρός. Για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία σε τιμές Πλανκ, είναι αναγκαίο να συμπίεσουμε τη φουσαλίδα κατά έναν παράγοντα 10^{18} . Αναπάντεχα, η ολική ενέργεια που εμπλέκεται στην επίτευξη αυτού του σκοπού είναι μέτρια, περίπου δέκα δισεκατομμύρια Joule, ισοδύναμη με την ολική απόδοση λίγων μόνο δευτερολέπτων ενός αντιπροσωπευτικού σταθμού παραγωγής ενέργειας. Άρα, σε αυτό το στάδιο, η ενέργεια δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Η πρόκληση είναι να συγκεντρώσουμε όλη αυτή την ενέργεια σε ένα τόσο μικρό αντικείμενο.

Δεν γνωρίζουμε ακόμη πώς μπορεί να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, αλλά η εκρηκτική μαγνητική σύσφιξη θα μπορούσε να είναι μια λύση. Μαγνητικά πεδία χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση συμβατικού πλάσματος χαμηλής ενέργειας, όπως τα ιονισμένα αέρια. Αν το πεδίο ενισχυθεί, το πλάσμα συμπίεζεται. Οι επιστήμονες άρχισαν να πειραματίζονται με αυτή την τεχνική, γνωστή ως σύσφιξη Z, στις αρχές της δεκαετίας του 1950, στο πλαίσιο του προγράμματος για την ανάπτυξη της ελεγχόμενης πυρηνικής σύντηξης. Ένα ισχυρό ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από αέριο δευτερίου στο εσωτερικό ενός θαλάμου, προκαλώντας τον γρήγορο ιονισμό του. Έστε-ρα, το μαγνητικό πεδίο του ρεύματος συσφίγγει βιαίως το πλάσμα που έχει προκύψει και το θερμαίνει σε θερμοκρασίες εκατομμυρίων βαθμών. Σήμερα, το πιο βελτιωμένο σύστημα σύσφιξης Z βρίσκεται στα Εθνικά Εργαστήρια της Σάντια, στο Νέο Μεξικό, όπου ηλεκτρικοί παλμοί ισχύος πενήντα τρισεκατομμυρίων Watt από μια συστοιχία φορτισμένων πυκνωτών συγκεντρώνονται πάνω σε υπέρλεπτα σύρματα βολφραμίου.

Το είδος συμπίεσης που χρειάζεται για την επίτευξη θερμοκρασιών Πλανκ απαιτεί πολύ μεγαλύτερη δύναμη από εκείνη που παρέχει το σύστημα της Σάντια. Ένα σύνολο από θερμοπυρηνικές βόμβες, διατεταγμένες σφαιρικά γύρω από το στόχο, ίσως είναι σε θέση να συγκεντρώσει ένα μαγνητικό πεδίο αρκετά ισχυρό ώστε να προκαλέσει την ενδόρρηξη της φουσαλίδας κουάρκ-γλοιονίων. Επαναλαμβάνουμε, η ολική ενέργεια που απαιτείται δεν είναι μεγάλη. Απλώς πρέπει να εστιασθεί στη φουσαλίδα-στόχο και να μη διαχυθεί στο περιβάλλον. Αν υποθέσουμε ότι το πρόβλημα της εστίασης μπορεί να επιλυθεί, το τελικό αποτέλεσμα θα είναι η δημιουργία μιας μικροσκοπικής σφαίρας με πυκνότητα περίπου δέκα τρισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο, ή κατά περίπου ογδόντα δυνάμεις του δέκα μεγαλύτερη από την πυκνότητα της πυρηνικής ύλης. Αυτή η πυκνότητα είναι αρκετή για να ανταγωνιστεί τις τεράστιες διακυμάνσεις ενέργειας που επιτρέπονται στο μήκος Πλανκ, το 10^{-33} του εκατοστού, δηλαδή την απόσταση που διανύει το φως σε διάστημα ίσο με το χρόνο Πλανκ. Το αποτέλεσμα, όπως ελπίζουμε, θα είναι ο σχηματισμός είτε μιας μικροσκοπικής μαύρης τρύπας ή μιας σκουληκότρυπας, που θα αποτελέσει τη μαγιά για την ανάπτυξη της χρονομηχανής.

Ωστόσο, εκτός από τις κατασκευαστικές προκλήσεις, η συμπίεση προϋποθέτει την αντιμετώπιση ορισμένων σοβαρών προβλημάτων βασικής φυσικής. Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία πεδίου, αν ένα μαγνητικό πεδίο γίνει πολύ ισχυρό, ίσως αρχίσει να δημιουργεί υπο-ατομικά σωματίδια, με αποτέλεσμα να διασκορπιστεί. Επίσης, η μαγνητική σύσφιξη είναι διαβόητα ασταθής. Αυτές οι δυσκολίες θα μπορούσαν πι-

θανώς να παρακαμφθούν με τη χρήση ενός εντελώς διαφορετικού είδους πεδίου, όπως το λεγόμενο πεδίο Χιγκς, το οποίο με τόση μανία αναζητούν οι φυσικοί των στοιχειωδών σωματιδίων.

Εναλλακτικά, αντί για τη διάταξη ενδόρρηξης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας επιταχυντής. Με συμβατική ηλεκτρομαγνητική τεχνολογία, ενέργειες Πλανκ μπορούν να επιτευχθούν μόνο με την κατασκευή ενός επιταχυντή στο μέγεθος του ηλιακού συστήματος, ωστόσο ριζικά νέες τεχνικές επιταχυντών ενδέχεται να πετύχουν πολύ υψηλές ενέργειες με πολύ πιο ουμπαγή εξοπλισμό. Επίσης, σύμφωνα με κάποιες θεωρίες, μάζονες μεταβολές στο χώρο και το χρόνο ενδεχομένως να εκδηλωθούν σε ενέργειες πολύ μικρότερες από την ενέργεια Πλανκ, και μάλιστα ίσως ανήκουν στο πλαίσιο δυνατοτήτων της προβλεπόμενης τεχνολογικής εξέλιξης. Αν καταφέρουμε να ελέγξουμε τη βαρύτητα σε μέτριες ενέργειες, ίσως οι σκουληκότρυπες να σχηματιστούν χωρίς να καταφύγουμε σε μια τόσο τεράστια συμπίεση ή επιτάχυνση.

Μόλις δημιουργηθεί μια πραγματική, έστω μικροσκοπική, σκουληκότρυπα, το επόμενο βήμα είναι να αυξήσουμε πληθωριστικά το μέγεθός της σε ελεγχόμενες διαστάσεις.

Η διάταξη πληθωρισμού

Αφού μια σκουληκότρυπα διαστάσεων Πλανκ είναι πρακτικά άχρηστη, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια μέθοδος για τη δραστική αύξηση του μεγέθους της. Όπως είδαμε, το αποφασιστικό στοιχείο στη σταθεροποίηση μιας διαβατής σκουληκότρυπας είναι κάποιο είδος εξωτικής ύλης με αντιβαρυτικές ιδιότητες. Έτσι, το επόμενο βήμα στη διεργασία πα-



ραγωγής είναι η τροφοδότηση της εκκολλαπτόμενης μικροσκοπικής σκουληκότρυπας με εξωτική ύλη. Ύστερα, η αντιστατική της θα ωθήσει το λαιμό της σκουληκότρυπας προς τα έξω, αυξάνοντας το μέγεθός της. Η διάταξη που προτείνουμε χρησιμοποιεί μια ουσιοχία από υψηλής ισχύος λέιζερ με υπερτα-

χέως περιστρεφόμενο σύστημα κατόπτρων.

Πριν γράψουμε οτιδήποτε σχετικά με τη διάταξη πληθωρισμού, είναι αναγκαίο να εξηγήσουμε κάπως περισσότερο την αντιστατική. Στο κεφάλαιο 2 εξετάσαμε πώς μπορεί να παραχθεί μέσω της αρνητικής ενέργειας. Επομένως, το ερώτημα είναι, πώς δημιουργούμε αρνητική ενέργεια; Μια απλή μέθοδος ανακαλύφθηκε από τον Ολλανδό φυσικό Χέντρικ Κάουμρ το 1948, και έχει ως εξής: Παίρνουμε δύο μεταλλικές πλάκες και τις τοποθετούμε αντικριστά, τη μια κοντά στην άλλη. Εξασφαλίζουμε την ακινησία τους. Στη συνέχεια, κλείνουμε ολόκληρο το σύστημα μέσα σε ένα μεγάλο, χοντρό μεταλλικό κουτί από το οποίο έχουμε αφαιρέσει κάθε άλλη μορφή ύλης (συμπεριλαμβανομένων αερίων και ηλεκτρικά φορτισμένων και ουδέτερων σωματιδίων), και το ψύχουμε μέχρι το απόλυτο μηδέν (-273 βαθμοί Κελσίου). Ο κενός χώρος μεταξύ των πλακών περιέχει πλέον αρνητική ενέργεια.

Η ΕΞΗΓΗΣΗ

Το φαινόμενο Κάσιμιρ ανήκει στη δικαιοδοσία του κβαντικού κενού. Μιλώντας αυστηρά, δεν πρέπει να το αναφέρουμε ως παράδειγμα εξωτικής ύλης, επειδή αφορά μια κατάσταση του κενού χώρου. Όμως, αυτή είναι μια σχολαστική παρατήρηση ορολογίας: οι διακρίσεις μεταξύ διεγέρσεων πεδίου, ύλης, και κενού είναι πολύ ασαφείς στην κβαντική φυσική.

Ας εξηγήσουμε γιατί προκύπτει η αρνητική ενέργεια Κάσιμιρ. Ο φαινομενικά κενός χώρος μεταξύ των πλακών δεν αποτελεί πλήρες κενό, αλλά «κατοικείται» από μια ποσότητα εικονικών φωτονίων. Όπως και τα πραγματικά ανάλογά τους, τα εικονικά φωτόνια αναπηδούν στις μεταλλικές πλάκες. Καθώς συμπίεζονται ανάμεσα στις πλάκες, αδυνατούν να κινηθούν προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, οπότε ο περιορισμός αυτός επηρεάζει την ποικιλία εικονικών φωτονίων που μπορούν να κατοικήσουν στην περιοχή ανάμεσα στις πλάκες, σε σύγκριση με το χώρο στο εξωτερικό των πλακών. Ουσιαστικά, η δυνατότητα ύπαρξης για ορισμένα είδη εικονικών φωτονίων εξαλείφεται από την παρουσία των πλακών. Ως αποτέλεσμα, η «δανεισμένη» ολική ενέργεια (μέσω της αρχής απροσδιοριστίας του Χάιζενμπεργκ) είναι κάπως μικρότερη στην περιοχή ανάμεσα στις πλάκες, απ' ό,τι θα ήταν αν δεν υπήρχαν οι πλάκες. Αν συμφωνήσουμε ότι, φαινομενικά, ο κενός χώρος χωρίς πλάκες έχει ακριβώς μηδενική ενέργεια, τότε η περιοχή ανάμεσα στις πλάκες πρέπει να έχει αρνητική ενέργεια, η οποία εκδηλώνεται με την εμφάνιση μιας μικροσκοπικής ελκτικής δύναμης μεταξύ των πλακών.

ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΓΙΝΕΙ;

Ναι! Έχει γίνει. Η δύναμη Κάσιμρ μετρήθηκε για πρώτη φορά στο εργαστήριο το 1958, και έκτοτε έχει μελετηθεί κατ' επανάληψη. Στα πειράματα αυτά δεν καταβλήθηκε καμιά προσπάθεια να αφαιρεθούν όλες οι (πολύ μεγαλύτερες και θετικές) υπόλοιπες πηγές ενέργειας που διαπερνούν το σύστημα, αφού σκοπός των πειραμάτων είναι ο έλεγχος της πρόβλεψης του Κάσιμρ, και όχι η δημιουργία μιας περιοχής αρνητικής ενέργειας. Τα πειράματα επιβεβαιώνουν τη θεωρία. Η ελκτική δύναμη μεταξύ δύο τέλεια ανακλαστικών πλακών, εμβαδού ενός τετραγωνικού μέτρου, που απέχουν μεταξύ τους ένα εκατοστό του χιλιοστού, ισοδυναμεί με το βάρος μόλις ενός εκατομμυριοστού του γραμμαρίου. Όμως, η δύναμη αυξάνεται όσο μειώνεται η απόσταση μεταξύ των πλακών. Με πραγματικές μεταλλικές επιφάνειες –που ποτέ δεν είναι απολύτως επίπεδες– το φαινόμενο περιπλέκεται από άλλους παράγοντες, πολύ πριν η δύναμη Κάσιμρ γίνει μεγάλη. Ωστόσο, αυτό δεν εμπόδισε ορισμένους ευφάνταστους θεωρητικούς φυσικούς να φλερτάρουν με την ιδέα χρησιμοποίησης του φαινομένου Κάσιμρ, και άλλων φαινομένων του κβαντικού κενού, ως βάσης για ένα σύστημα πρόωσης διαστημοπλοίων.

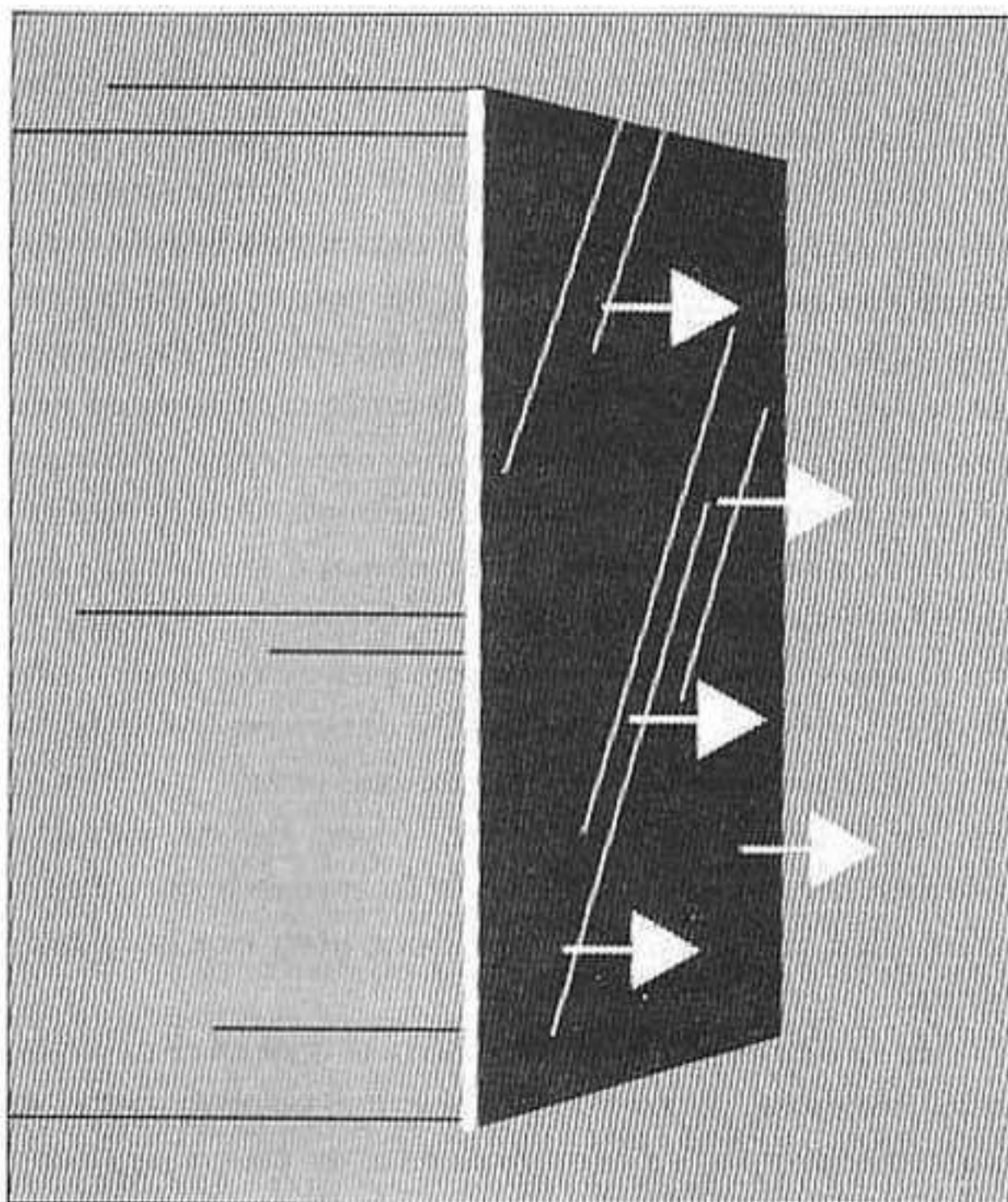
ΑΛΛΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΡΝΗΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το φαινόμενο Κάσιμρ είναι η διασημότερη και ευκολότερη μέθοδος παραγωγής αρνητικής ενέργειας μέσω της διαταραχής του κβαντικού κενού. Όμως, υπάρχουν και άλλοι τρόποι. Αρνητική ενέργεια κβαντικού κενού μπορεί να δημιουρ-

γήσει και μια ανακλαστική επιφάνεια (δηλαδή, ένα κάτοπτρο) αν κινηθεί έντονα. Σια μέσα της δεκαετίας του 1970 μελέτησα λεπτομερώς αυτό το «κινούμενο κάτοπτρο», με τον συνεργάτη μου, Στίβεν Φούλινγκ. Περιοριστήκαμε σε ένα απλό μονοδιάστατο μοντέλο, αλλά παρόμοια αποτελέσματα είναι πιθανόν να ισχύουν και στον πραγματικό τρισδιάστατο χώρο. Βρήκαμε ότι αν ένα κάτοπτρο κινηθεί με αυξανόμενη επιτάχυνση, μια ροή αρνητικής ενέργειας εκπέμπεται από την επιφάνειά του προς τον εξωτερικό χώρο μπροστά στο κάτοπτρο. Δυστυχώς, το φαινόμενο είναι εξαιρετικά μικρό, κι έτσι, δεν προσφέρει πρακτικό τρόπο παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων αρνητικής ενέργειας.

Ίσως η πλέον υποσχόμενη γεννήτρια αρνητικής ενέργειας είναι το λέιζερ, μια υψηλής ενέργειας πηγή πολύ καθαρού, σύμφωνου φωτός. Σε μια αντιπροσωπευτική διάταξη, μια δέσμη λέιζερ διέρχεται από έναν κυλινδρικό κρύσταλλο νιοβιούχου λιθίου, με στρογγυλεμένα επάργυρα άκρα ώστε να ανακλά το φως, αποτελώντας έτσι ένα είδος οπτικού αντιηχείου. Ο κρύσταλλος μπορεί να παράγει μια δευτερεύουσα δέσμη φωτός χαμηλότερης συχνότητας, στην οποία τα φωτόνια είναι αναδιατεταγμένα σε ζεύγη. Αυτό είναι γνωστό τεχνικά ως «συμπίεση» του φωτός. Με όρους ενέργειας, το συμπιεσμένο φως που προκύπτει περιέχει παλμούς αρνητικής ενέργειας, διάσπαρτους με παλμούς θετικής ενέργειας.

Οι κρύσταλλοι δεν είναι ο μόνος τρόπος συμπίεσης του φωτός. Αν μπορούσατε να κατασκευάσετε πολύ αξιόπιστους παλμούς φωτός που να περιέχουν ειδικότερα ένα, δύο, τρία... φωτόνια κάθε φορά, θα κατόρθωναν ίσως να συνδυαστούν μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούν συμπιεσμένες καταστάσεις κατά παραγγελία. Μέσω της υπέρθεσης πολλών τέτοιων καταστάσεων θα ήταν, θεωρητικώς, δυνατή



Αρνητική ενέργεια κβαντικού κενού
μπορεί να δημιουργηθεί
από μια ανακλαστική επιφάνεια.

η παραγωγή εκρήξεων ισχυρής αρνητικής ενέργειας.

Σε ό,τι αφορά τη χρήση λέιζερ, η κύρια δυσκολία έγκειται στη μικρή διάρκεια των παλμών αρνητικής ενέργειας. Συνήθως, ένας τέτοιος παλμός διαρκεί 10^{-18} του δευτερολέπτου, ενώ στη συνέχεια ακολουθείται από έναν παλμό θετικής ενέργειας παρόμοιας διάρκειας. Έτσι, θα πρέπει να βρεθεί κάποια μέθοδος για το διαχωρισμό του θετικού από τον αρνητικό παλμό της δέσμης λέιζερ. Η διάταξη πληθωρισμού που προτείνουμε χρησιμοποιεί ένα ούνολο από ταχέως περιστρεφόμενα κάτοπτρα, σε καθένα από τα οποία το φως προσπίπτει υπό πολύ μικρή γωνία. Η περιστροφή εξασφαλίζει την ανάκλαση της συνιστώσας αρνητικής ενέργειας της δέσμης υπό ελαφρώς διαφορετική γωνία από εκείνη της συνιστώσας θετικής ενέργειας. Σε αρκετά μεγάλη απόσταση από το κάτοπτρο θα έχουμε έναν μικρό διαχωρισμό μεταξύ της θετικής και της αρνητικής συνιστώσας της δέσμης, ενώ ένα επιπλέον σύστημα ανακλαστικών επιφανειών θα επιτρέπει την καθοδήγηση μόνο της αρνητικής συνιστώσας μέσα στη σκουληκότρυπα.

Με τη σημερινή τεχνολογία λέιζερ, οι αριθμοί είναι κάπως απογοητευτικοί. Ακόμη και αν η αρνητική ενέργεια μπορεί να κατευθυνθεί προς τη σκουληκότρυπα με έναν ελεγχόμενο τρόπο και παγιδευτεί κάπως στο εσωτερικό του λαιμού, θα απαιτηθεί τεράστιο χρονικό διάστημα μέχρι να συσσωρευθεί αρκετή ενέργεια που θα επιτρέψει τη δημιουργία μιας μακροσκοπικής σκουληκότρυπας. Ο θεωρητικός φυσικός Ματ Βίσερ (Matt Visser) υπολόγισε κατά προσέγγιση ότι μια σκουληκότρυπα με διάμετρο ενός μέτρου χρειάζεται αρνητική ενέργεια ισοδύναμη με τη μάζα του Δία. Ακόμη και αν ο διαχωρισμός μεταξύ θετικής και αρνητικής ενέργειας –από μια συστοιχία λέιζερ ισχύος Terawatt σε διαρκή λειτουργία και

στο μέγιστο της ισχύος τους— είναι τέλειος, ο απαιτούμενος χρόνος για τη συσώρευση τόσο μεγάλης αρνητικής ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερος από την ηλικία του σύμπαντος.

Άλλες διατάξεις πληθωρισμού

Η αρνητική ενέργεια του κβαντικού κενού εμφανίζεται επίσης ως παραπροϊόν συγκεκριμένων βαρυτικών πεδίων. Ένα απλό παράδειγμα βλέπουμε στο βαρυτικό πεδίο της Γης, το οποίο παράγει ένα νέφος αρνητικής ενέργειας γύρω του, παρασύροντας τα εικονικά φωτόνια προς τα κάτω. Στην περίπτωση της Γης, το φαινόμενο είναι εξαιρετικά μικρό. Όμως, καθώς το βαρυτικό πεδίο γίνεται ισχυρότερο, αυξάνεται και η ισχύς του νέφους αρνητικής ενέργειας. Κοντά στην επιφάνεια μιας μαύρης τρύπας είναι τεράστιο. Επειδή η τρύπα δεν διαθέτει υλική επιφάνεια, παρά μόνο τον κενό χώρο, αυτή η αρνητική ενέργεια ρέει μέσα στη μαύρη τρύπα με σταθερό ρυθμό. Ουσιαστικά, η μαύρη τρύπα δημιουργεί κενό στο κβαντικό κενό!

Μια μαύρη τρύπα ηλιακής μάζας με ακτίνα τριών χιλιομέτρων απορροφά αρνητική ενέργεια με ρυθμό 10^{-27} Joule ανά δευτερόλεπτο — ένας αρκετά ασθενής ρυθμός. Όμως όσο μικρότερη η μαύρη τρύπα, τόσο ισχυρότερη είναι η βαρύτητα στην επιφάνειά της, καθώς και η αρνητική ενέργεια που την περιβάλλει. Μια μαύρη τρύπα στο μέγεθος ενός ατομικού πυρήνα (και με μάζα ενός βουνού) θα απορροφούσε αρνητική ενέργεια με ρυθμό περίπου ένα δισεκατομμύριο Joule ανά δευτερόλεπτο, δημιουργώντας μια ενεργειακή καταβόθρα ισχύος ενός εκατομμυρίου Kilowatt.

Η ύπαρξη αρνητικής ενέργειας κοντά σε μαύρες τρύπες προτάθηκε από τον Στίβεν Χόκινγκ το 1974. Ο Χόκινγκ προ-

έβλαψε ότι μια μαύρη τρύπα θα λάμπει αμεδρά λόγω θερμικής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια πρέπει να προέρχεται από κάποιον, και καθώς τίποτε (ούτε η ενέργεια) δεν μπορεί να εξέλθει από μια μαύρη τρύπα, φάνηκε ότι η μοναδική εξήγηση έπρεπε να είναι η εισροή αρνητικής ενέργειας στην τρύπα. Το επόμενο έτος, ο Γουίλιαμ Οένρου (William Unruh), ο Σίβεν Φούλινγκ και εγώ επιβεβαιώσαμε αυτή την πρόβλεψη, υπολογίζοντας την ενέργεια κοντά σε μια μαύρη τρύπα με ένα απλοποιημένο διοδιάστατο μαθηματικό μοντέλο. Βρήκαμε ότι υπάρχει, πράγματι, μια εισροή αρνητικής ενέργειας στην τρύπα με ρυθμό που αντισταθμίζει ακριβώς την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία.

Η εγκατάσταση του εργοστασίου μας για την παραγωγή χρονομηχανών κοντά στην επιφάνεια μιας μαύρης τρύπας, ώστε να απορροφά την αρνητική ενέργεια, είναι δύσκολα εφικτή, αλλά η αρνητική κβαντική ενέργεια που δημιουργείται από βαρυτικά πεδία είναι εξαιρετικά σημαντική. Αφού η ίδια η σκουληκότρυπα θα έχει ισχυρό βαρυτικό πεδίο, ίσως δημιουργήσει την απαιτούμενη αρνητική ενέργεια από το δικό της

κβαντικό κενό. Κανείς δεν γνωρίζει ακόμη κατά πόσον αυτό είναι δυνατόν ή όχι. Αν είναι, τότε η σκουληκότρυπα ενδέχεται να εξαναγκαστεί σε αυτο-πληθωρισμό, με πολύ μικρή εισαγωγή εξωτικής ύλης. Το σύστημα λέιζερ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκκίνηση της διεργασίας και για να διαμορφω-



θεί η γεωμετρία της μικροσκοπικής σκουληκότρυπας στο κατάλληλο σχήμα – στη συνέχεια, η φύση θα αναλάμβανε τα υπόλοιπα, παρέχοντας δωρεάν μια μεγάλη σκουληκότρυπα. Η τελευταία θα πρόβαλλε από τον χωροχρονικό αφρό ως, τρόπος του λέγειν, ένα «δωρεάν γεύμα». Αν αυτό προκαλεί έκπληξη, θυμηθείτε ότι η αρνητική ενέργεια διαθέτει αρνητική μάζα, οπότε η ολική μάζα της σκουληκότρυπας ίσως τείνει στο μηδέν. Με άλλα λόγια, το ενεργειακό κόστος για την παραγωγή μιας σκουληκότρυπας μάλλον είναι μικρό ή μηδενικό: τα μήμια της αρνητικής ενέργειας πληρώνουν για τα τμήματα της θετικής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση, μια μεγάλη σκουληκότρυπα θα μπορούσε να δημιουργηθεί αυθόρμητως, με μια μικρή, λεπτή ρύθμιση από τους μηχανικούς του εργοστασίου παρασκευής διατάξεων πληθωρισμού.

Βασική απαίτηση στην κατασκευή μιας λειτουργικής χρονομηχανής είναι να διατηρείται ανοιχτός ο λαιμός της σκουληκότρυπας. Όμως, για να χρησιμοποιηθεί μια σκουληκότρυπα ως αποτελεσματικό μέσο μεταφοράς, απαιτείται να είναι κάτι περισσότερο από μια απλή πύλη προς άλλους χρόνους και τόπους. Ένα ανθρώπινο πλάσμα πρέπει να είναι σε θέση να οτριμώχεται στο εσωτερικό της και να βγαίνει από αυτήν χαμογελώντας. Για να αποφύγουμε τη μετατροπή των «επιβατών» σε σπαγκέτι, θα πρέπει το βαρυτικό πεδίο της σκουληκότρυπας να είναι ανάλαφρο. Επίσης, η διάρκεια του ταξιδιού πρέπει να βρίσκεται σε λογικά πλαίσια. Ένα ταξίδι στο παρελθόν, που η ολοκλήρωσή του διαρκεί εκατό χρόνια, δεν ακούγεται και τόσο ελκυστικό. Επομένως, οι μεγάλου μήκους σκουληκότρυπες αποκλείονται.

Αυτές οι δυο επιπρόσθετες απαιτήσεις επιβάλλουν περαιτέρω περιορισμούς στην εξωτερική ύλη στο εσωτερικό της σκουληκότρυπας. Οι γνώμες των ειδικών διίστανται σε πολλά

τεχνικά ερωτήματα: πόσο εξωτική πρέπει να είναι η εξωτική ύλη, κατά πόσον πρέπει να μένει περιορισμένη σε μια μικρή περιοχή του λαιμού της σκουληκότρυπας ή να μπορεί να αναδύει από τα στόμιά της, πώς μπορεί να περιοριστεί, κατά πόσον η ακτινοβολία που εκπέμπεται από το ένα στόμιο θα μπορούσε να εισέλθει στο άλλο και να διατηρήσει αενάως αυτή την κυκλοφορία...

Αν υποθέσουμε ότι όλες αυτές οι δυσκολίες μπορούν να ξεπεραστούν, και διαθέτουμε μια ασφαλή, μικρού μήκους σκουληκότρυπα στο χώρο αποθήκευσης του εργοστασίου διατάξεων πληθωρισμού, το τελικό βήμα είναι η μετατροπή της σε χρονομηχανή. Αυτή είναι η δουλειά του διαφοροποιητή.

Ο διαφοροποιητής

Για να μετατρέψουμε μια σκουληκότρυπα σε χρονομηχανή, πρέπει να εδραιώσουμε μια μόνιμη χρονική διαφορά μεταξύ των δύο άκρων. Η πιο απλή τεχνική είναι να χρησιμοποιήσουμε τη συνήθη διαστολή του χρόνου, (ή το φαινόμενο των διδύμων). Για το σκοπό αυτό, η σκουληκότρυπα φορτίζεται ηλεκτρικά (για παράδειγμα, εκτοξεύοντας στο εσωτερικό της ηλεκτρόνια) όταν είναι ακόμη αρκετά μικρή, λόγω χάρη, στο μέγεθος ενός υπο-ατομικού σωματιδίου. Ύστερα, το ένα στόμιο της σκουληκότρυπας εισάγεται σε έναν κοινό κυκλικό επιταχυντή σωματιδίων και στροβιλίζεται με ταχύτητα παραπλήσια εκείνης του φωτός, ενώ το άλλο διατηρείται ακίνητο. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια αυξανόμενη χρονική διαφορά μεταξύ των δύο στομίων της σκουληκότρυπας. Η διεργασία συνεχίζεται για, ας πούμε, δέκα χρόνια, οπότε το κινούμενο στόμιο ακινητοποιείται και πλησιάζει το άλλο στό-

μιο της σκουληκότρυπας. Τώρα, η τελευταία είναι ικανή να στείλει σωματίδια ύλης μέχρι και δέκα χρόνια στο παρελθόν. Στο τελικό στάδιο της διεργασίας, η σκουληκότρυπα επιστρέφει στο εργοστάσιο διατάξεων πληθωρισμού προκειμένου να επεκταθεί σε μέγεθος αρκετά μεγάλο, ας πούμε, με διάμετρο δέκα μέτρων, ώστε να μπορεί να τη διαβεί ένα ανθρώπινο πλάσμα. Στο μεταξύ, το μήκος της σκουληκότρυπας έχει διατηρηθεί όσο το δυνατόν πιο μικρό.

Ένας άλλος τρόπος για μετατροπή της σκουληκότρυπας σε χρονομηχανή, είναι να χρησιμοποιήσουμε ως διαφοροποιητή, αντί για έναν επιταχυντή, το βαρυτικό πεδίο ενός αστέρα νετρονίων. Ας δούμε πώς λειτουργεί αυτός ο τρόπος. Φαντασθείτε μια σκουληκότρυπα μάλλον μικρού μήκους, έστω δέκα μέτρων. Ρυμουλκήστε το ένα στόμιο, ας το πούμε Α, στην εγγύς περιοχή ενός αστέρα νετρονίων, σε απόσταση λίγων ετών φωτός, και αφήστε το άλλο άκρο, Β, ακίνητο στο ηλιακό μας σύστημα. Κρατήστε και τα δύο άκρα στη θέση αυτή έως ότου η βαρυτική στρέβλωση του χρόνου από τον αστέρα νετρονίων αποκτήσει την απαιτούμενη τιμή. Ύστερα ρυμουλκήστε το άκρο Α πίσω στο ηλιακό σύστημα και τοποθετήστε το δίπλα στο στόμιο Β. Η χρονομηχανή είναι πλέον έτοιμη για χρήση.

Για να δείτε γιατί λειτουργεί αυτή η διεργασία, φαντασθείτε δυο πανομοιότυπα ρολόγια, τοποθετημένα από ένα σε κάθε στόμιο της σκουληκότρυπας. Η βαρύτητα του αστέρα νετρονίων διαστέλλει το χρόνο στο στόμιο Α, οπότε το εκεί ρολόι θα λειτουργεί αργά. Τι γίνεται με το ρολόι στο στόμιο Β; Αφού απέχει λίγα έτη φωτός από τον αστέρα, ο ρυθμός λειτουργίας του δεν πρέπει να επηρεάζεται από τη βαρύτητα του αστέρα, άρα το ρολόι θα χτυπά αρκετά πιο γρήγορα από το ρολόι στο Α. Ωστόσο, υπάρχει ένα μειονέκτημα. Έστω ότι

κοιτάζουμε μέσα από τη σκουληκότρυπα από το στόμιο Α, κοντά στον αστέρα. Θα δούμε το ρολόι Β να απέχει λίγα μέτρα από εμάς. Επομένως, σε μια διαδρομή το ρολόι στο Β βρίσκεται πολύ μακριά από τον αστέρα νετρονίων, ενώ σε μια άλλη διαδρομή βρίσκεται πολύ κοντά. Αν θεωρήσουμε ότι βρίσκεται πολύ κοντά, τότε ο χρόνος στο Β θα πρέπει να επιβραδυνθεί από τη βαρύτητα του αστέρα. Η διαφορά ανάμεσα στους ρυθμούς των ρολογιών στα σημεία Α και Β, πρέπει να είναι πολύ μικρή. Συνεπώς, ποια θεώρηση είναι η σωστή; Η απάντηση είναι, και οι δύο. Σε τελική ανάλυση, ο χρόνος είναι σχετικός και αν κοιτάζουμε μέσα από τη σκουληκότρυπα, ο χρόνος είναι περίπου ο ίδιος και στα δύο άκρα. Όμως, αν κοιτάζουμε από τον «εξωτερικό» χώρο, η χρονική διαφορά μεταξύ Α και Β (το ρολόι Β πηγαίνει μπροστά ως προς το ρολόι Α) είναι σημαντική. Αν τώρα πηδήξουμε μέσα στη σκουληκότρυπα για να μεταβούμε από το Α στο Β, θα επιστρέψουμε κατά δέκα χρόνια στο παρελθόν. Επιστρέφοντας στο Α μέσω του «κανονικού» χώρου, θα μπορούσαμε να επιστρέψουμε στην αφετηρία μας πριν ξεκινήσουμε. Έτσι, για άλλη μια φορά, εκτελώντας έναν κλειστό βρόχο στο χώρο, πραγματοποιούμε και έναν κλειστό βρόχο στο χρόνο. Αυτή η χρονομηχανή είναι αμφίδρομη. Αν κινηθούμε μέσα στη σκουληκότρυπα από το Β στο Α, μπορούμε να μεταφερθούμε κατά δέκα χρόνια στο μέλλον.

Το ταξίδι στο χρόνο μέσω μιας σκουληκότρυπας διαφέρει κατά δύο σημαντικές πτυχές από την εκδοχή που παρουσιάζει ο Χ. Τζ. Γουέλς. Πρώτον, στο βιβλίο *Η μηχανή του χρόνου*, ο ατρόμητος ταξιδιώτης του χρόνου πηδίζει ένα λεβιέ και ουσιαστικά μεταφέρει το σύμπαν γρήγορα στο μέλλον, όπως συμβαίνει σε μια συσκευή βίντεο, όταν προχωρούμε γρήγορα την «κοσμική ταινία». Όταν φθάσει στον προορισμό που επι-

θυμεί, απλώς πατά το κουμπί διακοπής, ενώ επιστρέφει στο παρελθόν με την αντίστροφη διαδικασία. Η χρονομηχανή συμμετέχει στη χρονική μεταφορά, πηγαίνοντας πίσω και εμπρός στο χρόνο μαζί με τον οδηγό. Αυτό είναι εντελώς αντίθετο με ό,τι συμβαίνει στη χρονομηχανή της σκουληκότρυπας, η οποία δεν κινείται στο χρόνο, αλλά απλώς αποτελεί τμήμα της κοσμικής αρχιτεκτονικής.



Δεύτερον, στην ιστορία του Γουέλς, ο ταξιδιώτης του χρόνου δεν πηγαίνει οπουδήποτε στο χώρο. Όμως, αν το σκεφθούμε καλύτερα, θα συνειδητοποιήσουμε την αμυγδαλία αυτής της διεύθεσης, αφού στη διάρκεια των ταξιδιών του, η Γη θα έχει μετακινηθεί στο Γαλαξία κατά πολλά έτη φωτός, και ο Γαλαξίας κινείται ως προς άλλους γαλαξίες. Επειδή δεν υπάρχει απόλυτο σύστημα ηρεμίας, με βάση το οποίο να μετρήσουμε αυτές τις κινήσεις, η θέση της χρονομηχανής στο διάστημα μετά τη χρονική γυμναστική είναι τελείως ακαθόριστη. Η χρονομηχανή της σκουληκότρυπας λειτουργεί με αρκετά διαφορετικό τρόπο. Αντί να εξαναγκάσει το χρόνο να ρέει προς τα πίσω, ο χρονοταξιδιώτης ξεκινά ένα ταξίδι στο χώρο, το οποίο καταλήγει στο παρελθόν.

 ΠΩΣ ΝΑ ΒΓΑΛΕΤΕ ΝΟΗΜΑ ΑΠΟ ΟΛΑ ΑΥΤΑ

Με δεδομένο ότι κανείς ως τώρα δεν έχει διατυπώσει ένα οριστικό επιχείρημα που να αποκλείει το ταξίδι στο χρόνο –όσο αποκαρδιωτικές κι αν είναι οι πρακτικές δυσκολίες για την κατασκευή μιας χρονομηχανής– θα πρέπει να προβληματιστούμε όσον αφορά τις συνέπειες που θα είχε ένα ταξίδι στο παρελθόν. Οι συγγραφείς επιστημονικής φαντασίας γνωρίζουν όλα τα «παράξενα» έως και «παράδοξα» που θα μπορούσαν να προκύψουν αν οι άνθρωποι είχαν τη δυνατότητα να επισκέπτονται το παρελθόν. Άραγε, μπορεί να ενσωματωθεί στην πραγματική επιστήμη το αμφίδρομο ταξίδι στο χρόνο;

Πώς να αποφύγετε τους χρονοτουρίστες

Μια πολύ συχνή ένσταση αναφορικά με τη δυνατότητα ταξιδιών πίσω στο χρόνο, είναι ότι δεν συναντάμε κανέναν που να έχει έρθει από το μέλλον! Είναι πολύ λογικό, πως αν —μετά από χιλιάδες χρόνια— οι απόγονοί μας έχουν χρονομηχανές, σίγουρα θα μας επισκέπτονταν. Θα μας παρατηρούσαν, θα μας συστήνονταν και θα μας μιλούσαν γι' αυτούς και τις οικογένειές τους. Αν μπορούσαμε κι εμείς να επισκεφθούμε το παρελθόν, το ίδιο θα κάναμε. Στρατιές ανυπόμονων

μαρτύρων θα συνωστίζονταν σε βασικά ιστορικά γεγονότα, όπως, λόγου χάρη, στη Σταύρωση. Αν απορρίψουμε τις αναφορές για φαντάσματα, UFO και άλλα παρόμοια, η φαινομενική απουσία χρονοτουριστών παραμένει ένα πρόβλημα για τους

Το παρόν και το παρελθόν
 ίσως εμπεριέχονται
 και τα δύο στο μέλλον,
 και το μέλλον ίσως
 περιέχεται στο παρελθόν
T.Σ. Έλιοτ

ενθουσιώδεις υποστηρικτές των ταξιδιών στο χρόνο.

Ευτυχώς, η ένσταση αυτή αναιρείται εύκολα στην περίπτωση των χρονομηχανών τύπου σκουληκότρυπας. Αν και οι σκουληκότρυπες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ταξίδια πίσω κι εμπρός στο χρόνο, η χρήση τους δεν επιτρέπει την επίσκεψη μιας εποχής πριν από την κατασκευή της

σκουληκότρυπας. Έστω ότι κατασκευάζαμε μία τώρα, και εγκαθιστούσαμε μια χρονική διαφορά εκατό ετών ανάμεσα στα δύο άκρα, οπότε σε εκατό χρόνια (το 2104) κάποιος θα μπορούσε να επισκεφθεί το 2004. Ωστόσο, δεν θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τη σκουληκότρυπα για να ταξιδέψουμε στο παρελθόν και να δούμε τους δεινόσαυρους. Μόνο αν οι χρονομηχανές σκουληκότρυπας υπάρχουν ήδη στη φύση, ή έχουν κατασκευαστεί στο απώτερο παρελθόν από κάποιον εξωγήινο πολιτισμό, θα μπορούσαμε να επισκεφθούμε εποχές πριν από το παρόν. Επομένως, αν η πρώτη χρονομηχανή σκουληκότρυπας κατασκευαστεί το 3000, δεν μπορούν να υπάρχουν χρονοτουρίστες το έτος 2000.

Χρονικά παράδοξα

ΑΛΛΑΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ

Ίσως το πιο γνωστό από τα παράδοξα των ταξιδιών στο χρόνο είναι εκείνο στο οποίο ο ταξιδιώτης του χρόνου πηγαίνει πίσω στο χρόνο και δολοφονεί έναν από τους προγόνους του, για παράδειγμα, τη μητέρα του. Το πρόβλημα, τότε, είναι προφανές. Αν η μητέρα του πεθάνει προτού γεννήσει, τότε ο χρονοταξιδιώτης δεν θα έχει υπάρξει ποτέ. Όμως, στην περίπτωση αυτή, είναι αδύνατον να διαπράξει τη δολοφονία. Άρα, αν η γυναίκα ζήσει, στο μέλλον θα δολοφονηθεί, αλλά αν πεθάνει, στο μέλλον δεν θα δολοφονηθεί! Σε κάθε περίπτωση, έχουμε ως αποτέλεσμα αντιφατικές ανοησίες.

Σε πολλές ιστορίες με ταξίδια στο χρόνο καταβλήθηκε προσπάθεια να αντιμετωπιστεί αυτό το προφανές και ακαν-

θώδες πρόβλημα. Στην ταινία *Επιστροφή στο Μέλλον*, ο χρονοταξιδιώτης Μάρτι Μακφλάι δεν αποπειράται να σκοτώσει τη μητέρα του όταν εκείνη είναι σε νεαρή ηλικία. Ανυθέτως, επιλέκεται στην ερωτική ζωή της επιχειρώντας μια παρέμβαση στα σχέδια του γάμου της, με αποτέλεσμα να παραπαίει μεταξύ ύπαρξης και ανυπαρξίας. Φυσικά, ούτε η εξαφάνισή του θα έλυγε το παράδοξο, αφού σε μια τέτοια περίπτωση δεν θα μπορούσε να επισκεφθεί το παρελθόν ώστε να επέμβει στην ιστορική εξέλιξη.

Παράδοξα όπως αυτό προκύπτουν επειδή το παρελθόν συνδέεται αιτιακά με το παρόν. Δεν μπορούμε να αλλάξουμε το παρελθόν χωρίς να αλλάξουμε και το παρόν. Έτσι δημιουργείται ένας αιτιατός βρόχος. Επειδή αρκετά φυσικά συστήματα είναι πολύ ευαίσθητα σε μικρές μεταβολές, ακόμη και μια ήπια παρέμβαση στο παρελθόν μπορεί να οδηγήσει σε γενικές μεταβολές στο παρόν. Φαντασθείτε πόσο διαφορετικός θα ήταν ο κόσμος αν ο Αδόλφος Χίτλερ είχε δολοφονηθεί το 1939, ή αν η μικροσκοπική γενετική μετάλλαξη που παρήγαγε το πρώτο ανθρώπινο όν δεν είχε πραγματοποιηθεί ποτέ, επειδή το συγκεκριμένο ανθρωποειδές είχε πεισθεί να μετακινηθεί κατά ένα εκατοστό προς τα αριστερά, αποφεύγοντας έτσι την αποφασιστική κοσμική ακτίνα που προοριζόταν να επιφέρει τη γενετική μετάλλαξη. Στο διήγημα *A sound of thunder* του Ρέι Μπράντμπερι (Ray Bradbury), ένας χρονοταξιδιώτης που επιστρέφει στο παρελθόν για να δει τους δεινόσαυρους, σκοτώνει μια πεταλούδα, με αποτέλεσμα μια αλληλουχία γεγονότων τα οποία αλλάζουν τον ρου της ιστορίας.

Οι συνεπείς αιτιακοί βρόχοι δεν είναι ενδογενώς παράδοξοι. Το να αλλάξεις το παρελθόν είναι, προφανώς, κάτι παράδοξο. Σε τελική ανάλυση, το παρελθόν είναι παρελθόν. Όμως, το να επηρεάσεις το παρελθόν είναι από λογική άπο-

ψη αποδεκτό, και με αυτό εννοούμε ότι δεν υπάρχει κανένα λογικό κώλυμα στην πρόκληση κάποιων γεγονότων από μεταγενέστερα γεγονότα, ή από ένα συνδυασμό μεταγενέστερων και προγενέστερων γεγονότων. Για παράδειγμα, φαντασθείτε κάποιον πλούσιο επιχειρηματία, ο οποίος κληρονομεί μια τεράστια περιουσία προσερχόμενη από έναν μυστηριώδη δωρητή που υπήρξε φίλος της προ-προγιαγιάς του, πριν από έναν αιώνα. Ο επιχειρηματίας χρηματοδοτεί ένα πρόγραμμα ανάπτυξης μιας χρονομηχανής, την οποία στη συνέχεια χρησιμοποιεί προκειμένου να επιστρέψει στο παρελθόν και να ανακαλύψει την πηγή της ευημερίας του. Υποκύπτοντας στον πειρασμό να αποδείξει τα διαχρονικά διαπιστευτήριά του, παίρνει μαζί του μια εφημερίδα, την οποία παρουσιάζει στη νεαρή προ-προγιαγιά του. Η κυρία, που, συμπτωματικά, είναι επιχειρηματικό πνεύμα, διαβάσει τις τιμές των μετοχών στο χρηματιστήριο και, με τη βοήθεια των πληροφοριών που ήδη γνωρίζει, προχωρά σε κάποιες έξυπνες επενδύσεις. Οι τελευταίες αποτελούν, φυσικά, την πηγή τόσο της δικής της τεράστιας περιουσίας όσο και εκείνης του δισέγγονού της, οπότε ο μυστηριώδης δωρητής δεν είναι παρά ο ίδιος ο χρονοταξιδιώτης. Εδώ δεν προκύπτει κανένα παράδοξο, επειδή ο αιτιακός βρόχος είναι εσωτερικά αυτο-συνεπής και όλα ταιριάζουν απλά και συστηματικά.

Το παράδοξο ελλοχεύει μόνο όταν συνδυάσουμε αιτιακούς βρόχους με την αχαλίνωτη ελεύθερη βούληση. Όμως, αν ο χρονοταξιδιώτης διαπιστώσει ότι απλώς δεν είναι σε θέση ή δεν θέλει να πραγματοποιήσει τις επιζήμιες ενέργειες που παράγουν μη συνεπείς ιστορικές αλληλουχίες, όπως το να δολοφονήσει τη μητέρα του, τότε αυτό το ιδιαίτερο παράδοξο μπορεί να αποφευχθεί.

Γιατί πρέπει η ελεύθερη βούληση να είναι περιορισμένη;

Ίσως μπορείτε να επισκεφθείτε το παρελθόν, αλλά μόλις φθάσετε εκεί θα διαπιστώσετε ότι κάθε σας ενέργεια παρεμποδίζεται. Αν επιχειρήσετε να σκοτώσετε τη μητέρα σας, ενδεχομένως να πάθει εμπλοκή το όπλο, ή να συλληφθείτε για ύποπτη συμπεριφορά πριν πράξετε οτιδήποτε, κ.ο.κ. Ίσως οι επιθυμίες που καθορίζουν τις ενέργειές σας κατά τη διάρκεια της επίσκεψης στο παρελθόν απλώς να διαμορφώνονται από όσα είναι συνεπή με τον κόσμο του μέλλοντος από τον οποίο προέρχετε. Σε κάθε περίπτωση, η ελεύθερη βούληση αποτελεί μια ασαφή έννοια, η οποία δύσκολα συμφιλιάζεται με τους νόμους της φυσικής, ακόμη και χωρίς τα ταξίδια στο χρόνο. Πολλοί επιστήμονες και φιλόσοφοι την απορρίπτουν ως ψευδαίσθηση.

Για να προκληθούν παράδοξα αποτελέσματα, δεν χρειάζεται να ταξιδέψει κανείς στο παρελθόν. Ένα και μοναδικό σωματίδιο (ή οποιαδήποτε μικροσκοπική φυσική επίδραση) που θα σταλεί στο παρελθόν μπορεί, και' αρχήν, να επιφέρει την καταστροφή. Υποθέστε ότι μια ευαίσθητη διάταξη είναι προγραμματισμένη να εκραγεί εάν –και μόνον εάν– δεχθεί σήμα από έναν πομπό που απέχει μια ώρα στο μέλλον, για παράδειγμα, ένα φωτόνιο μιας ειδικής συχνότητας. Η διάταξη τοποθετείται δίπλα στον πομπό φωτονίων. Η εκπομπή ενός τέτοιου φωτονίου πίσω στο χρόνο θα διεγείρει τη διάταξη και θα καταστρέψει τον πομπό. Όμως, αν ο πομπός καταστραφεί, το φωτόνιο δεν πρόκειται να εκπεμφθεί ποτέ. Και πάλι, βρισκόμαστε μπροστά σε μια μη συνεπή κατάσταση.

Ακόμη και αν θεωρηθεί ανεφάρμοστη η κατασκευή μιας χρονομηχανής που θα μπορούσε να μεταφέρει ανθρώπους στο παρελθόν, ίσως είναι δυνατή η εκπομπή σημάτων πίσω στο χρόνο. Μια παλιά εικοτολογία αυτού του είδους βασίζεται σε υποθετικά σωματίδια, γνωστά ως ταχυόνια, τα οποία

μπορούν να κινηθούν ταχύτερα από το φως. Λέγεται συχνά ότι τίποτε δεν μπορεί να κινηθεί ταχύτερα από το φως, αλλά αυτό δεν είναι απολύτως σωστό. Όπως εξηγήσαμε στο κεφάλαιο 1 (σελίδα 28), η θεωρία της σχετικότητας εισάγει ένα αξιόπεραστο φράγμα φωτός. Ένα σωματίδιο συνηθισμένης ύλης δεν μπορεί ποτέ να επιταχυνθεί σε ταχύτητες μεγαλύτερες εκείνης του φωτός: αν το επιχειρήσετε, το σωματίδιο γίνεται ολοένα βαρύτερο και όχι ταχύτερο. Όμως, το φράγμα φωτός λειτουργεί αμφίδρομα: αν κάτι κινείται ταχύτερα από το φως, δεν μπορεί ποτέ να επιβραδυνθεί κάτω από την ταχύτητα του φωτός. Τα ταχυόνια είναι ακριβώς τέτοιου είδους οντότητες, καταδικασμένες να υπάρχουν στην άλλη πλευρά του φράγματος φωτός, υποχρεωμένες να κινούνται πάντοτε με υπερφωτεινές ταχύτητες.

Αν τα ταχυόνια υπάρχουν, και μπορούν να ελεγχθούν, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκπομπή ενός σήματος στο παρελθόν. Για το σκοπό αυτό, θα χρειαζόσασταν τη βοήθεια ενός συνενόχου. Πρώτα στέλνετε ένα σήμα σε κάποιον φίλο χρησιμοποιώντας μια δέσμη ταχυονίων με ταχύτητα, ως προς εσάς, έστω δεκαπλάσια εκείνης του φωτός. Ο φίλος σας επιστρέφει αμέσως το σήμα με ταχύτητα, ως προς τον εαυτό του, δεκαπλάσια εκείνης του φωτός. Αν ο φίλος σας κινείται προς εσάς με ταχύτητα παραπλήσια εκείνης του φωτός, το σήμα της επιστροφής θα φθάσει σε σας πριν από την εκπομπή του αρχικού σήματος.

Ποιες είναι οι προοπτικές να υπάρχουν, πράγματι, ταχυόνια; Η πλειονότητα των φυσικών εκφράζει πολλές αμφιβολίες. Εκτός από την απουσία πειραματικών ενδείξεων, τα ταχυόνια διαθέτουν κάποιες παράξενες ιδιότητες. Για παράδειγμα, έχουν φανταστική μάζα (με τη μαθηματική έννοια), γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερος ουμφιλίωτα με την κβαντική

μηχανική. Τίποτε δεν εγγυάται την αλληλεπίδρασή τους με τη συνηθισμένη ύλη, οπότε θα ήταν αδύνατον να χρησιμοποιηθούν για την εκπομπή σημάτων με οποιονδήποτε τρόπο.

Ακόμη και αν δεν υπάρχουν τα ταχύονια, για την εκπομπή σωματιδίων πίσω στο χρόνο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σκουληκότρυπες ή άλλες διατάξεις. Ας προσπαθήσουμε να φαντασθούμε μια εκδοχή του παραδόξου της μητέρας με μια μπάλα μπιλιάρδου. Ο Κιπ Θορν και οι συνεργάτες του μελέτησαν την ιδέα μπιλιάρδων σε χρονικούς βρόχους. Στο τροποποιημένο παιχνίδι, οι τρύπες στο τραπέζι του μπιλιάρδου παριστούν την είσοδο και έξοδο μιας χρονομηχανής σκουληκότρυπας. Φαντασθείτε, λοιπόν, μια μπάλα που κατευθύνεται προς μια ακριανή τρύπα: πέφτει μέσα σε αυτήν, και αναδύεται λίγο νωρίτερα από μια πλαϊνή τρύπα, έτοιμη ώστε να συγκρουστεί με τον πρωτότερο εαυτό της. Η σύγκρουση θα έχει ως αποτέλεσμα την εκτροπή της μπάλας από την αρχική τροχιά της, αποτρέποντας την είσοδό της στην ακριανή τρύπα. Δεν υπάρχει ελεύθερη βούληση για να περιπλέξει τα πράγματα, αλλά, όπως ακριβώς στο παράδοξο της «μητροκτονίας», η αλληλουχία που περιγράψαμε είναι μη συνεπής και επομένως δεν πρόκειται να συμβεί.

Ωστόσο, το παράδοξο μπορεί να λυθεί. Μπορούμε να φαντασθούμε μια ελαφρώς διαφορετική ιστορία. Εδώ η μπάλα κινείται αρχικά με τέτοιο τρόπο, ώστε μόλις να αποφύγει την ακριανή τρύπα. Όμως, χτυπιέται πλάγιομετωπικά από μια μπάλα που αναδύεται από μια πλαϊνή τρύπα. Η σύγκρουση έχει ως αποτέλεσμα την εκτροπή της μπάλας, έτοιμη ώστε τώρα να εισέλθει στην ακριανή τρύπα και να αναδυθεί από την πλαϊνή τρύπα λίγο νωρίτερα, ως η μπάλα που προκαλεί την πλάγιομετωπική σύγκρουση. Ο Θορν έδειξε ότι αυτή η αλληλουχία, μια μπάλα που συγκρούεται με τον προηγούμενο εαυ-

τό της έτοι ώστε να δημιουργηθεί ένας αυτο-συνεπής αιτιακός βρόχος, είναι απολύτως συνεπής με τους νόμους της φυσικής. Ωστόσο, κατέληξε επίσης στο αρκετά ενοχλητικό συμπέρασμα, ότι υπάρχουν περισσότερες από μία εσωτερικώς αυτο-συνεπείς αλληλουχίες γεγονότων. Όταν υπάρχουν αιτιακοί βρόχοι, οι νόμοι της Νευτώνειας μηχανικής παύουν να προβλέπουν μία και μοναδική πραγματικότητα.

ΠΩΣ ΝΑ ΚΕΡΔΙΣΕΤΕ ΧΡΗΜΑΤΑ

Το ταξίδι στο παρελθόν καταντά κάπως γελοίο όταν ο χρονοταξιδιώτης συναντήσει τον νεότερο εαυτό του, καθώς τότε υπάρχουν δύο αντίγραφα του. Σημειώστε ότι μια τέτοια συνάντηση με τον νεότερο εαυτό σας δεν θα σας προκαλούσε έκπληξη, αφού θα θυμόσασταν ήδη τη συνάντηση αυτή από την εποχή της νεότητάς σας.

Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει μεγάλη ηλικιακή διαφορά. Θα μπορούσε κατ' αρχήν να είναι, π.χ., μία ημέρα. Σε αυτή την περίπτωση θα υπήρχαν δύο δυνητικά πανομοιότυπα αντίγραφα του εαυτού σας, γεγονός πολύ παράξενο. Και δεν χρειάζεται να σταματήσουμε εδώ. Θα μπορούσατε να προκαλέσετε τον (ελαφρώς) νεότερο εαυτό σας σε ένα παρόμοιο ταξίδι στο παρελθόν, κατά μία ακόμη ημέρα, οπότε θα υπάρχουν τρία αντίγραφα σας. Έίποτε δεν εμποδίζει την αέναη επανάληψη αυτής της διεργασίας. Με την πραγματοποίηση διαδοχικών αλμάτων πίσω στο χρόνο, ο χρονοταξιδιώτης θα μπορούσε να συσσωρεύσει σε μια θέση πολλά αντίγραφα του εαυτού του.

Ένα τέτοιο σενάριο υποδεικνύει μια στρατηγική γρήγορου πλουτισμού. Πάρτε μαζί σας μια ράβδο χρυσού και δώστε την

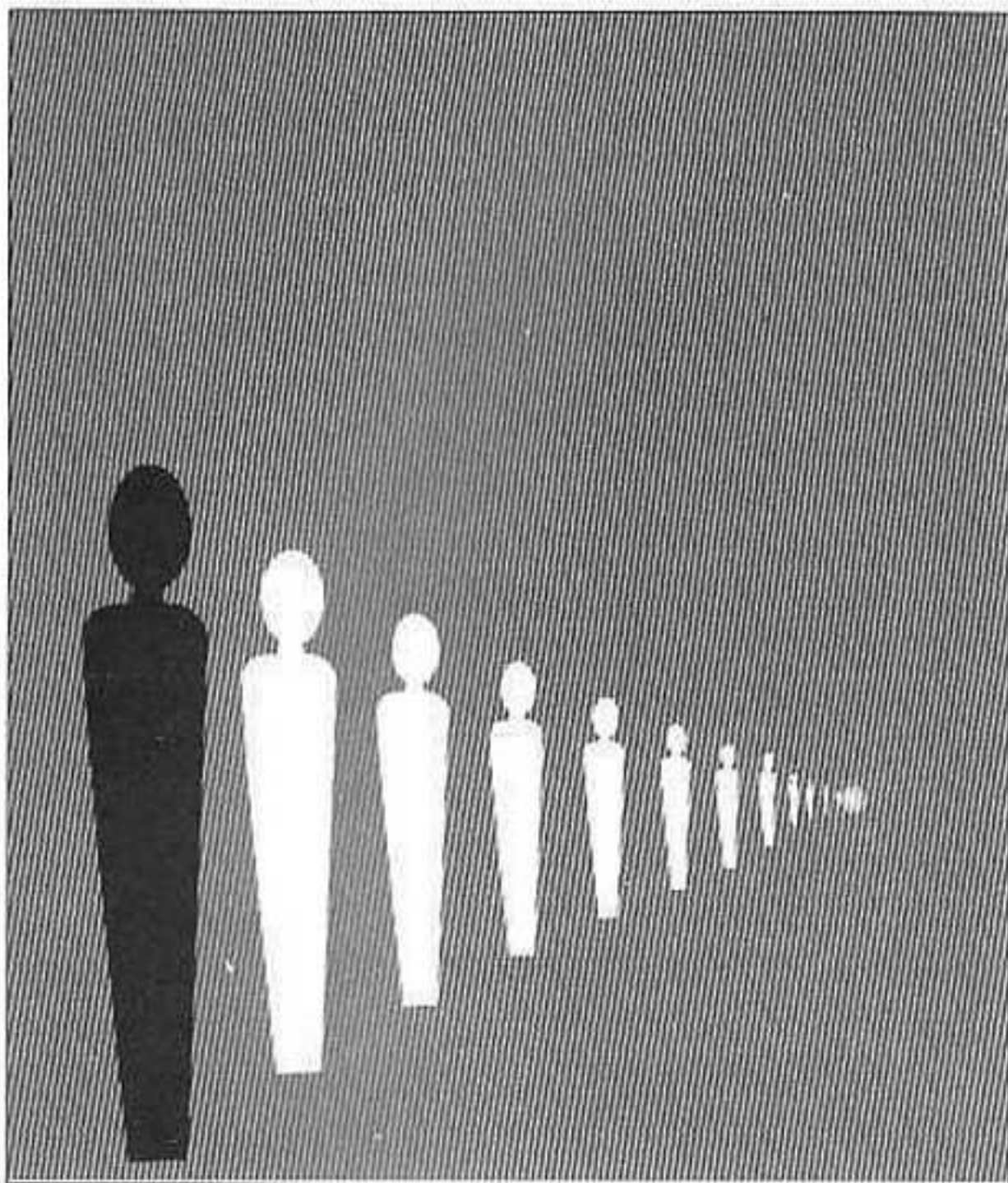
στον νεότερο εαυτό σας, για να την κρατήσει μέχρι να πραγματοποιήσει το ταξίδι στο χρόνο. Τότε θα υπάρξουν δύο χρυσές ράβδοι, που σημαίνει ότι θα έχετε διπλασιάσει χωρίς καμιά προσπάθεια την επένδυσή σας. Με αυτόν τον τρόπο ο διπλασιασμός ράβδων χρυσού γίνεται εξίσου εύκολος με το διπλασιασμό ανθρώπων.

Από την άποψη του φυσικού, ο διπλασιασμός οντοτήτων είναι πολύ ενοχλητικός, καθώς παραβιάζει όλα τα είδη των λεγόμενων νόμων διατήρησης. Έστω ότι η ράβδος χρυσού έχει αντικατασταθεί από ένα ηλεκτρικά φορτισμένο σωματίδιο. Τότε, από ένα ηλεκτρικό φορτίο θα εμφανιστούν δύο, γεγονός που παραβιάζει το νόμο διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου.

Και πάλι, το παράδοξο αποφεύγεται αν επιμείνουμε σε εσωτερικά αυτο-συνεπείς βρόχους. Για παράδειγμα, ένα θετικά φορτισμένο σωματίδιο που διασχίζει μια σκουληκότρυπα θα αφήσει το ηλεκτρικό του πεδίο να διαπεράσει την τρύπα, προσδίδοντας στη σκουληκότρυπα ένα ενεργό θετικό φορτίο στην είσοδο (στο μέλλον) και ένα αρνητικό φορτίο στην έξοδο (στο παρελθόν). Το αρνητικό φορτίο αντισταθμίζει ακριβώς το επιπρόσθετο θετικό φορτίο που δημιουργήσε το ταξίδι πίσω στο χρόνο.

ΠΩΣ ΝΑ ΑΠΟΚΤΗΣΕΤΕ ΓΝΩΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΤΙΠΟΤΕ

Το πιο αινιγματικό από όλα τα παράδοξα των ταξιδιών στο χρόνο διαφωτίζεται από την ακόλουθη παραβολή. Ένας καθηγητής κατασκευάζει το έτος 2005 μια χρονομηχανή και αποφασίζει να μεταβεί στο μέλλον (δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με αυτό), στο έτος 2010. Όταν φθάνει εκεί, καταφεύ-

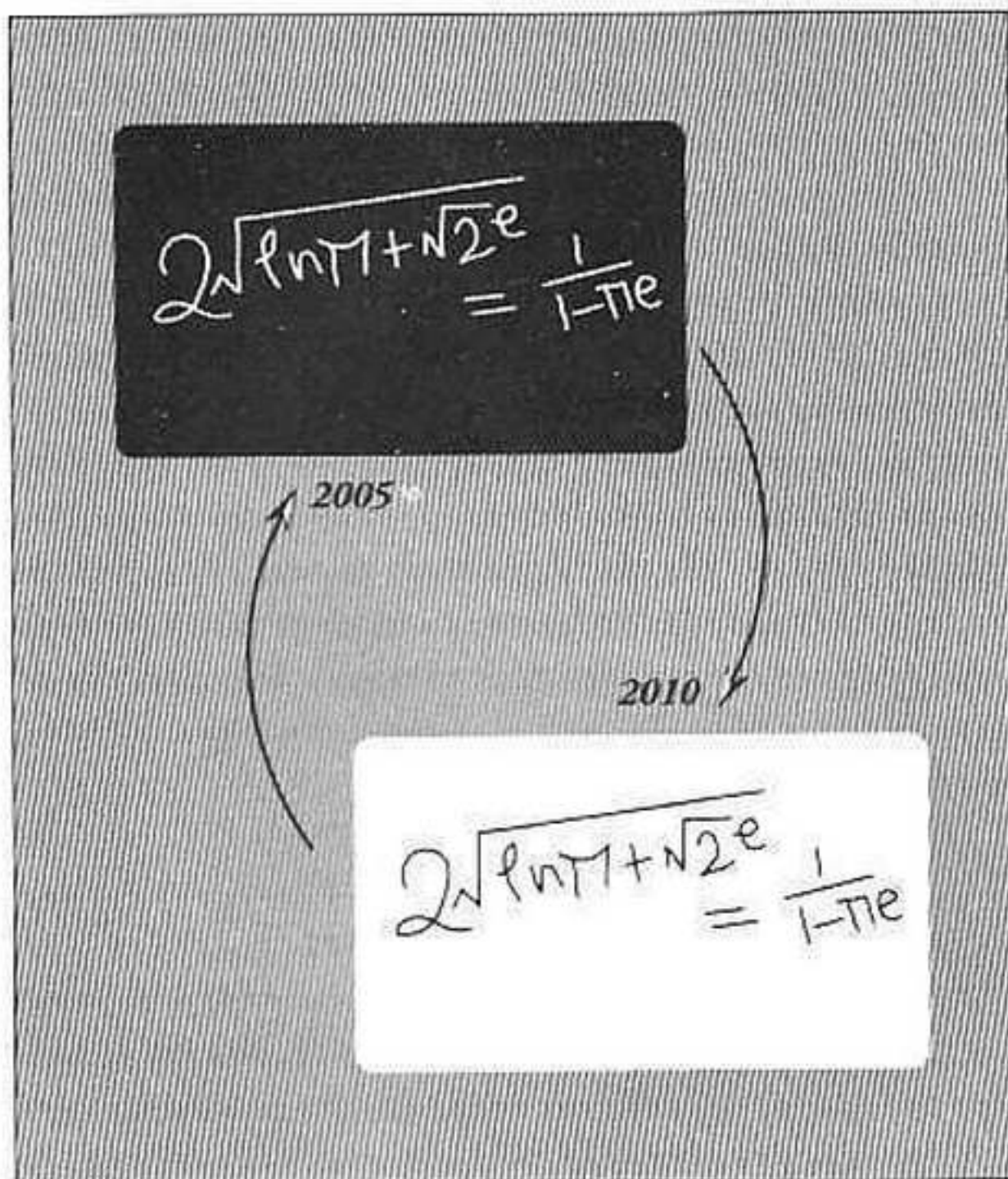


Τίποτε δεν εμποδίζει την
αέναη επανάληψη
αυτής της διεργασίας.

γει στην πανεπιστημιακή βιβλιοθήκη και ξεφυλλίζει τα τρέχοντα περιοδικά. Στον τομέα των μαθηματικών ανακαλύπτει ένα υπέροχο νέο θεώρημα και αντιγράφει τις λεπτομέρειες. Ύστερα επιστρέφει στο έτος 2005, καλεί έναν ευφυή φοιτητή και του σκιαγραφεί το θεώρημα. Ο φοιτητής φεύγει, συγκεντρώνει και διατυπώνει προσεκτικά την απόδειξη του θεωρήματος, γράφει μια εργασία και τη δημοσιεύει σε ένα περιοδικό μαθηματικών. Φυσικά, πρόκειται για το ίδιο περιοδικό στο οποίο ο καθηγητής διάβασε το θεώρημα το έτος 2010.

Για μια ακόμη φορά, δεν υπάρχει καμιά αντίφαση: η ιστορία περιέχει έναν εσωτερικώς αυτο-συνεπή αιτιακό βρόχο, επομένως, μιλώντας αυστηρά, δεν πρόκειται για παράδοξο αλλά απλώς για μια πολύ παράξενη κατάσταση πραγμάτων. Το πρόβλημα αφορά μάλλον την προέλευση της πληροφορίας. Από πού ακριβώς προήλθε το θεώρημα; Όχι από τον καθηγητή, αφού εκείνος απλώς το διάβασε σε ένα περιοδικό. Αλλά ούτε από τον φοιτητή, αφού εκείνος το αντέγραψε από τον καθηγητή. Μοιάζει λες και η πληροφορία σχετικά με το θεώρημα προέκυψε από το τίποτε.

Το παράδοξο αυτό δεν είναι άγνωστο. Αναζητώντας το αεικίνητο, διάφοροι εκκεντρικοί εφευρέτες έχουν χαράξει προ πολλού παρόμοιες στρατηγικές. Όλες οι μηχανές αυτού του είδους αποτυγχάνουν για λόγους που σχετίζονται με τον πρώτο και το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής σύμφωνα με τους οποίους, σε αδρές γραμμές, από ένα κλειστό σύστημα δεν μπορούμε ποτέ να πάρουμε περισσότερα από εκείνα με τα οποία το τροφοδοτούμε. Οι προτεινόμενες μηχανές του αεικινήτου παρουσιάζουν πάντα απώλειες θερμότητας λόγω τριβών και άλλων ατελειών, και τελικά η λειτουργία τους διακόπτεται. Η εντροπία (θερμική απώλεια) και η πληροφορία συνδέονται στενά (από τεχνική άποψη, η αύξηση της εντρο-



Δεν πρόκειται για παράδοξο αλλά
απλώς για μια πολύ παράξενη
κατάσταση πραγμάτων.

πίας είναι ταυτόσημη με τη μείωση της πληροφορίας). Επομένως, η δωρεάν απόκτηση πληροφορίας ισοδυναμεί, από την άποψη του φυσικού, με ροή θερμότητας προς τα πίσω, από το ψυχρό στο θερμό, κάτι που ασφαλώς πρέπει να θεωρήσουμε ως θαύμα.

Ο ειδικός στα ταξίδια στο χρόνο, Ντέιβιντ Ντόιτς (David Deutsch), πιστεύει ότι η πληροφορία που εισέρχεται στο σύμπαν από το πουθενά ισοδυναμεί με θαύμα και, επομένως, αποτελεί ένα χτύπημα στην καρδιά της ορθολογικά δομημένης φύσης. Γι' αυτό το λόγο πιστεύει ότι, πιθανότατα, το πιο ενοχλητικό από τα τρία παράδοξα είναι το τρίτο. Ίσως πρέπει να το τοποθετήσουμε δίπλα από το ακίνητο και την κοσμική λογοκρισία στον κατάλογο με τα παράδοξα, καθώς όλα αφορούν την αναίτια είσοδο πληροφορίας στο σύμπαν «από το πουθενά».

Πώς να φτιάξετε ένα άλλο σύμπαν

Στην καρδιά των παραδόξων που σχετίζονται με τα ταξίδια στο χρόνο, βρίσκεται το πρόβλημα της αιτιότητας: αυτό που συνέβη χθες επηρεάζει αυτό που συμβαίνει σήμερα. Αν μεταβείτε πίσω και προσπαθήσετε να αλλάξετε το χθες, υπάρχει κίνδυνος να αλλάξετε και το σήμερα, καθιστώντας τους αιτιακούς βρόχους ενδογενώς προβληματικούς. Όμως, ίσως υπάρχει μια έξοδος κινδύνου, περισσότερο κατανοητή από τον περιορισμό όλων των χρονικών βρόχων στη λεπτομερή εσωτερική αυτο-συνέπεια.

Η αιτιότητα δεν είναι ακριβώς ο σταθερός δεσμός που υποθέτουν οι περισσότεροι άνθρωποι. Οπωσδήποτε, στην καθημερινή ζωή, η σύνδεση μεταξύ αίτιου και αποτελέσματος

είναι αναπόδραστη. Ωστόσο, ο γνωστός κόσμος των τραπέζιών, των καθισμάτων και των ανθρώπινων όντων αποκρύπτει το σκιαώδες μικροβασίλειο της κβαντικής μηχανικής, στο οποίο η αιτιότητα παραμένει κάτι το ασαφές.

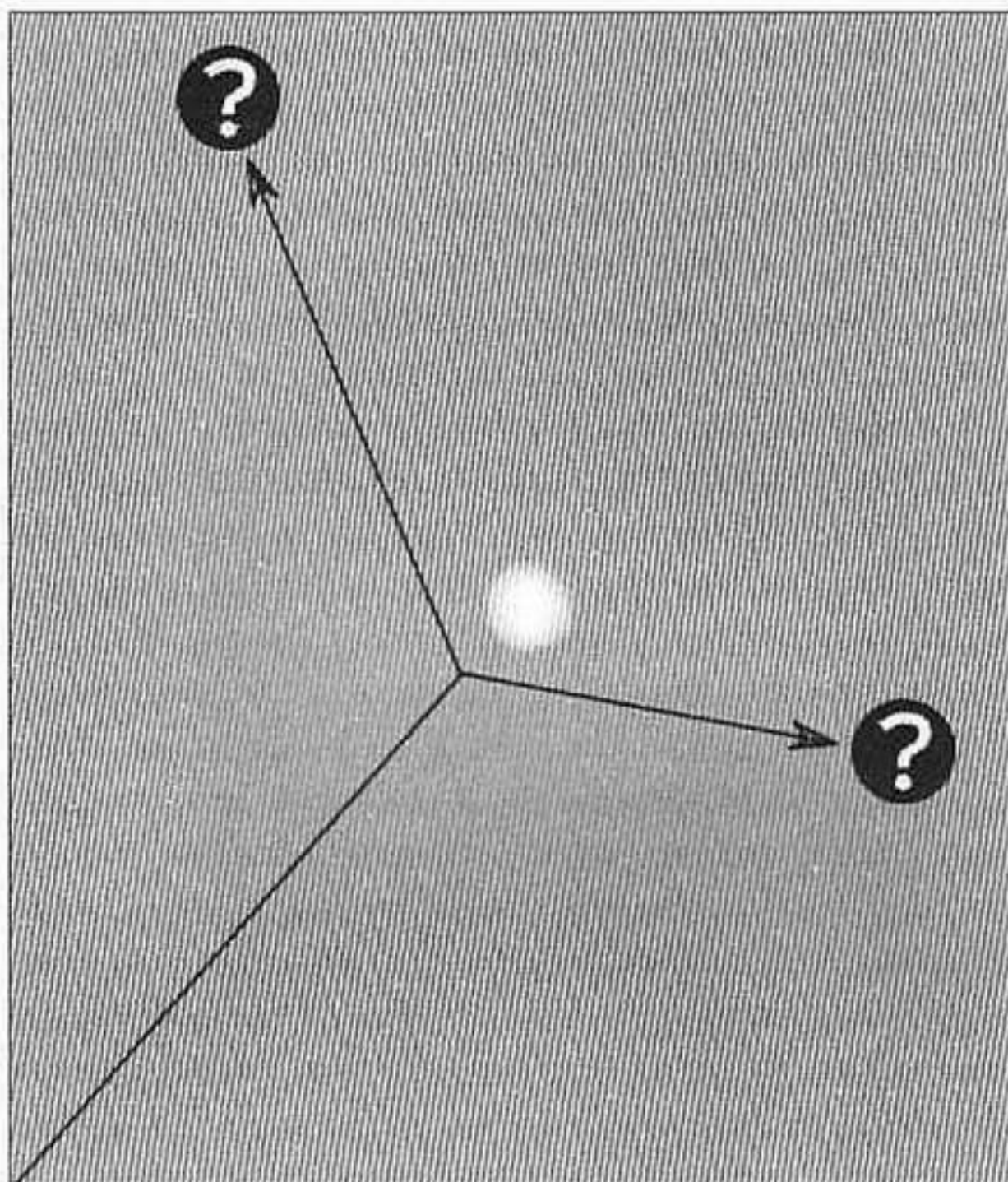
Το παιχνίδι του μπιλιάρδου παρέχει ένα καλό παράδειγμα για τον τρόπο που λειτουργεί η αιτιότητα της κοινής λογικής. Αν προσδώσουμε στην μπάλα του μπιλιάρδου μια συγκεκριμένη ταχύτητα, θα συγκρουστεί με κάποια άλλη μπάλα. Αν δεν υπάρχουν αιτιακοί βρόχοι, οι δυο μπάλες θα κινηθούν μετά τη σύγκρουση σε μια πορεία πλήρως καθορισμένη από την αρχική ταχύτητα και διεύθυνση της πρώτης μπάλας. Χρησιμοποιώντας τους νόμους του Νεύτωνα για την κίνηση, μπορείτε να προβλέψετε τι θα συμβεί μετά τη σύγκρουση, επειδή οι νόμοι αυτοί είναι αυστηρώς αιτιοκρατικοί: η αρχική κατάσταση επαρκεί για τον πλήρη καθορισμό της τελικής κατάστασης. Δηλαδή, αν το πείραμα επαναληφθεί σε ιδανικές συνθήκες, το αποτέλεσμα πρέπει να είναι ακριβώς το ίδιο. Αν η δεύτερη μπάλα πέσει μέσα σε μια ειδική τρύπα σήμερα, θα πράξει το ίδιο και αύριο, εφόσον όλοι οι υπόλοιποι παράγοντες διατηρηθούν ίδιοι. Έτσι εξασφαλίζεται η νομοτελειακή λειτουργία του μακρόκοσμου.

Ωστόσο, τα πράγματα αλλάζουν αν προσπαθήσετε να παίξετε μπιλιάρδο με άτομα, ή σωματίδια όπως τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια. Σήμερα, ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να συγκρουστεί με ένα πρωτόνιο και να αναπηδήσει προς τα αριστερά. Αύριο, σε πανομοιότυπες συνθήκες, ίσως αναπηδήσει προς τα δεξιά. Εδώ οι νόμοι του Νεύτωνα για την κίνηση δεν ισχύουν και πρέπει να τους αντικαταστήσουμε με τους κανόνες της κβαντικής μηχανικής, που είναι μη αιτιοκρατικοί. Με άλλα λόγια, η κατάσταση ενός φυσικού ουστήματος τη μια στιγμή συνήθως δεν επαρκεί για να καθορίσουμε τι θα συμβεί

την επόμενη στιγμή. Η αβεβαιότητα του μικροβασιλείου συμπεκνώνεται στην αρχή της απροσδιοριστίας του Χάιζενμπεργκ. Επομένως, η πρόβλεψη αποτελεί ένα παράπολο εγχείρημα στην ατομική θεωρία. Γενικά, το καλύτερο που μπορεί να γίνει είναι να δώσουμε τις πιθανότητες να συμβεί αυτό ή εκείνο το ενδεχόμενο. Ένα ηλεκτρόνιο που συγκρούεται με ένα πρωτόνιο ίσως αναπηδήσει σε μια από ένα πλήθος γωνιών, από τις οποίες κάποιες συγκεντρώνουν περισσότερες πιθανότητες από κάποιες άλλες. Η κβαντική μηχανική παρέχει μια ακριβή θεώρηση των πιθανοτήτων, αλλά συνήθως δεν μας λέει τι θα συμβεί σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη κατάσταση.

Οι φυσικοί είναι πεπεισμένοι ότι η κβαντική απροσδιοριστία είναι ενδογενής στη φύση, και όχι απλώς το αποτέλεσμα την ανθρώπινης άγνοιας σχετικά με τις εμπλεκόμενες διεργασίες. Με άλλα λόγια, ακόμη και το ηλεκτρόνιο δεν γνωρίζει προς ποια κατεύθυνση θα αναπηδήσει, έως ότου συμβεί πραγματικά η σύγκρουση. Έτσι, αν και αληθεύει, υπό μια γενική έννοια, ότι μια σύγκρουση με ένα πρωτόνιο θα προκαλέσει την εκτροπή του ηλεκτρονίου από την τροχιά του, η αιτιακή σύνδεση παραμένει μάλλον νεφελώδης επειδή η πραγματική τελική τροχιά του ηλεκτρονίου δεν μπορεί να καθοριστεί.

Στην ατομική φυσική δεν είναι απροσδιόριστοι μόνο οι απλές συγκρούσεις, αλλά όλες οι διεργασίες. Για παράδειγμα, ένας πυρήνας του ραδιενεργού στοιχείου ουρανίου ενδέχεται να διασπασθεί ή να μη διασπασθεί το επόμενο έτος. Ένα άτομο που προσκρούει σε ένα φράγμα ίσως αναπηδήσει προς τα πίσω, ή ίσως εμφανιστεί στην άλλη πλευρά του φράγματος, έχοντας μυστηριωδώς διανοίξει μια οπήραγα μέσα στο φράγμα, επειδή είναι αβέβαιο το πού ακριβώς πρέπει να βρίσκεται σε κάθε χρονική στιγμή.



Ωστόσο,
τα πράγματα αλλάζουν
αν προσπαθήσετε να παίξετε
μπιλιάρδο με άτομα.

Η κβαντική απροσδιοριστία είναι πολύ εμφανής στα άτομα και τα υπο-ατομικά σωματίδια. Ωστόσο, για μεγαλύτερα συστήματα η ασάφεια είναι λιγότερο αισθητή. Στα μεγάλα μόρια, τα κβαντικά φαινόμενα σπανίως έχουν μεγάλη σημασία. Όμως, η κβαντική απροσδιοριστία ποτέ δεν εξαφανίζεται εντελώς. Κατ' αρχήν, ισχύει ακόμη και για μπάλες μπιλιάρδου.

Αν τα γεγονότα στο μικρόκοσμο δεν καθορίζονται εντελώς από το αίτιο και το αιτιέλεομα, η όλη εικόνα των παραδόξων των αιτιακών βρόχων που συνδέεται με τα ταξίδια στο χρόνο, αλλάζει. Έναν τρόπο για να φαντασθούμε την κβαντική απροσδιοριστία μάς παρέχουν οι πιθανοί κόσμοι. Ένα ηλεκτρόνιο που συγκρούεται με ένα πρωτόνιο, ίσως αναπηδήσει είτε προς τα αριστερά είτε προς τα δεξιά. Επομένως υπάρχουν δύο πιθανοί κόσμοι: ένας με το ηλεκτρόνιο κινούμενο προς τα αριστερά, και ένας άλλος, με το ηλεκτρόνιο κινούμενο προς τα δεξιά. Γενικότερα, μια ατομική ή υπο-ατομική διεργασία θα έχει πολλές πιθανές εκβάσεις, ίσως και άπειρες, επομένως θα υπάρχουν πολλά υποψήφια εναλλακτικά σόμπαντα σχεδόν κάθε φορά που κάτι συμβαίνει σε ένα υπο-ατομικό σωματίδιο.

Συνεπώς, η αντιμετώπιση της κβαντικής απροσδιοριστίας είναι επιβεβλημένη, αν θέλουμε να θέσουμε το εξής ερώτημα σε οποιαδήποτε ειδική περίπτωση: ποιο από τα πολλά πιθανά σόμπαντα θα αντιστοιχεί στο πραγματικό σόμπαν; Δεν μπορούμε βεβαίως να γνωρίζουμε εκ των προτέρων, αφού αυτή είναι η φύση της κβαντικής απροσδιοριστίας, αλλά οι περισσότεροι άνθρωποι υποθέτουν ότι μπορεί να υπάρχει μόνο ένας πραγματικός κόσμος, ενώ όλοι οι υπόλοιποι παριστούν αποτυχημένους δυνητικούς κόσμους. Αν είναι έτσι, τότε υπάρχει σοβαρό πρόβλημα σχετικά με την ομαλή σύνδεση με-

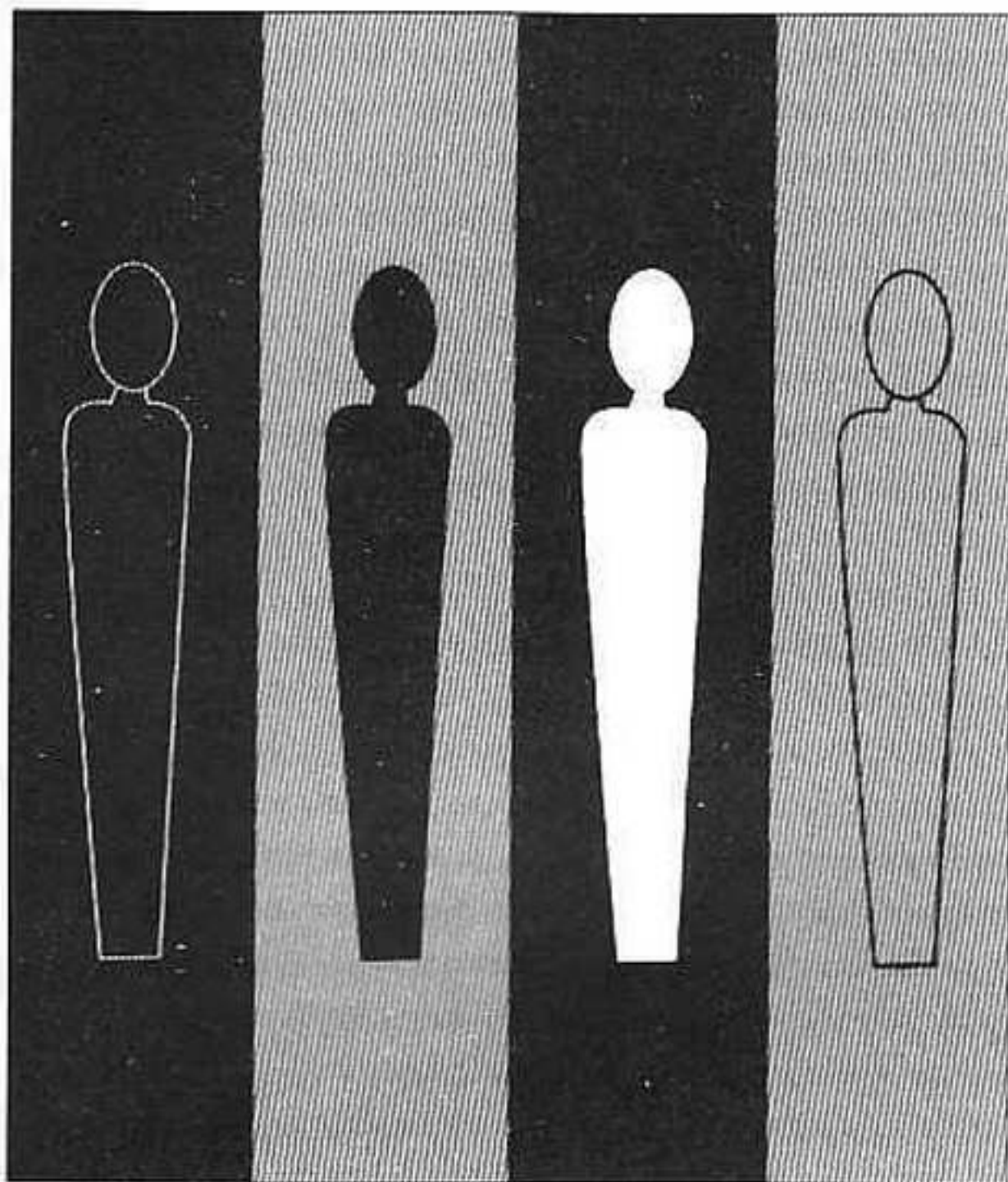
ταξύ του κβαντικού βασιλείου με τις πολλαπλές δυνητικές πραγματικότητες και του λεγόμενου κλασικού (ή καθημερινού) βασιλείου, της μιας και μοναδικής πραγματικότητας.

Ουσιαστικά, δεν υπάρχει συμφωνία ως προς τον τρόπο που πραγματοποιείται αυτή η σύνδεση, αλλά ολοένα και περισσότεροι φυσικοί πιστεύουν ότι ο καλύτερος τρόπος προσέγγισης του προβλήματος είναι να υποθέσουμε ότι καθένα από αυτά τα εναλλακτικά σύμπαντα είναι στο σύνολό του τόσο πραγματικό, όσο και τα υπόλοιπα. Με άλλα λόγια, δεν υπάρχει ανάγκη μετάβασης από τους πολλούς πιθανούς κόσμους σε έναν πραγματικό κόσμο, καθώς όλοι οι πιθανοί κβαντικοί κόσμοι υπάρχουν πραγματικά. Αυτή η ερμηνεία «πολλών ουμπάντων» της κβαντικής μηχανικής επιδέχεται μια απειρία από παράλληλα σύμπαντα, όπου καθεμία πιθανή κβαντική εναλλακτική λύση αναπαριστάνεται κάπου σε ένα σύμπαν. Θα υπάρχουν σύμπαντα στα οποία κάποια άτομα του σώματός σας βρίσκονται σε ελαφρώς διαφορετικές θέσεις, ένα σύμπαν στο οποίο ο Πρόεδρος Κένεντι δεν δολοφονήθηκε, άλλα που δεν θα περιέχουν τον πλανήτη Γη, κ.ο.κ. Κάθε πιθανό σύμπαν θα βρίσκεται κάπου εκεί έξω, μόνο που το «εκεί έξω» δεν σημαίνει έξω από το χώρο, αλλά υπό μια έννοια «κατά μήκος» του χώρου και του χρόνου μας (εξ ου και ο όρος «παράλληλα» σύμπαντα). Πάρα πολλά από αυτά τα άλλα σύμπαντα θα περιέχουν αντίγραφα του εαυτού σας, καθένα από τα οποία αισθάνεται μοναδικό και υποθέτει ότι κατοικεί στη μία, αληθινή πραγματικότητα.

Εδώ και πολλά χρόνια, οι συγγραφείς επιστημονικής φαντασίας επιλέγουν τα παράδοξα των ταξιδιών στο χρόνο με τη χρήση παράλληλων πραγματικοτήτων. Στηρίζονται στη βασική ιδέα πως όταν ο χρονοταξιδιώτης παρεμβαίνει στην ιστορία, το σύμπαν διακλαδώνεται σε δύο ή περισσότερα σκέλη.

Στους επιστήμονες που προτείνουν αυτή τη λύση ανήκει ο Νιέιβινι Ντόιτς, ο οποίος επισημαίνει ότι η ερμηνεία πολλών συμπάντιων της κβαντομηχανικής επιλύει με φυσικό τρόπο τα παράδοξα των ταξιδιών στο χρόνο. Θεωρήστε το παράδοξο της μητροκτονίας και υποθέστε ότι ο χρονοταξιδιώτης πηγαίνει πίσω στο χρόνο και πραγματοποιεί το φόνο. Αυτή τη φορά δεν γίνεται κανένα λάθος: η μητέρα είναι νεκρή. Αλλά ποια μητέρα; Ουμνηθείτε ότι στον τεράστιο αριθμό των παράλληλων πραγματικοτήτων, υπάρχει μια εξίσου τεράστια συλλογή από μητέρες. Στο πολυσύμπαν των παράλληλων κβαντικών κόσμων, θα μπορούσατε να αλλάξετε το παρελθόν ενός παράλληλου κόσμου, διατηρώντας τον δικό σας ανέγγιχτο. Ουσιαστικά, η πράξη του φόνου διαιρεί την πραγματικότητα σε δύο σύνολα, ένα με μια νεκρή μητέρα, κι ένα άλλο με μια ζωντανή μητέρα. Μέσα στην απεραντοσύνη του κβαντικού πολυσύμπαντος, και οι δύο πιθανότητες συνυπάρχουν, η μια δίπλα στην άλλη. Κάθε συγκεκριμένος «κλάδος» του πολυσύμπαντος (δηλαδή, κάθε ειδική παρατηρούμενη πραγματικότητα) είναι επιμελώς εσωτερικά αυτο-συνεπής, αλλά οι αιτιακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ κλάδων δεν χρειάζεται να σέβονται μια καθορισμένη χρονολογική σειρά. Στο πρότυπο του Ντόιτς μπορείτε να έχετε και τον σκύλο χοιριάτο και την πίτα ολόκληρη: όπως φαίνεται, επιτρέπονται τόσο το ταξίδι στο χρόνο όσο και η αχαλίνωτη ελεύθερη βούληση.

Οι γνώμες των επιστημόνων διίστανται σχετικά με το πόσο επιθυμητή είναι η χρήση του κβαντικού πολυσύμπαντος για την επίλυση των παραδόξων των ταξιδιών στο χρόνο. Κάποιοι πιστεύουν ότι οι παράλληλες πραγματικότητες είναι ακόμη πιο γελοίες από τους χρονικούς βρόχους και δεν επιθυμούν τίποτε από τα δύο. Όμως, είτε κάποιος πιστεύει την ερμηνεία πολλών συμπάντιων της κβαντικής μηχανικής είτε όχι,



Αντίγραφα του εαυτού σας,
καθένα από τα οποία αισδάνεται
μοναδικό και υποδέτει ότι κατοικεί
στη μία, αληδινή πραγματικότητα.

η φύση είναι κβαντομηχανική, και οποιαδήποτε τελική ανάλυση μιας φυσικής κατάστασης πρέπει να διεξάγεται στο κβαντικό επίπεδο. Φαίνεται πως οι αιτιακοί βρόχοι που προκύπτουν από τα ταξίδια στο χρόνο, έχουν ως αποτέλεσμα την ενίοχυση των κβαντικών φαινομένων που στο επίπεδο της καθημερινής ζωής, περιορίζονται συνήθως στο ατομικό βασίλειο. Επομένως, στον παράξενο χαρακτήρα των ταξιδιών στο χρόνο πρέπει αναγκαστικά να προσθέσουμε και την εξωτική υφή της κβαντικής πραγματικότητας.

Η προστασία της χρονολογίας

Οι λάτρεις της επιστημονικής φαντασίας θεωρούν τα ταξίδια στο χρόνο διασκεδαστικά, όμως η ιδέα προκαλεί τρόμο σε πολλούς φυσικούς. Το πρόβλημα έγκειται ενμέρει στην πληθώρα παραδόξων που θα απελευθερώσει ένα ταξίδι στο παρελθόν. Επιπλέον, η πιθανότητα επικείμενων αιτιακών βρόχων φαντάζει τόσο παθολογική από φυσική άποψη, ώστε να αναμένεται η εμφάνιση φυσικών φαινομένων με σοβαρές επιπτώσεις – τόσο σοβαρές, ώστε να εμποδίζουν οποιαδήποτε απόπειρα για πραγματική δημιουργία μιας χρονομηχανής. Μεταξύ των θεωρητικών που έχουν εκφράσει σοβαρές αμφιβολίες, κατά πόσον οι σκουληκότρυπες ή άλλες χρονομηχανές θα λειτουργήσουν σύμφωνα με τις εξαγγελίες, περιλαμβάνεται και ο Στίβεν Χόκινγκ, ο οποίος έχει προτείνει μια «εικασία για την προστασία της χρονολογίας». Η τελευταία, κάπως απλουστευτικά, λέει ότι η φύση εμφανίζει πάντα κάποιο εμπόδιο προκειμένου να αποτρέψει το ταξίδι πίσω στο χρόνο, «ώστε να καταστήσει το σύμπαν ασφαλές για τους ιστορικούς», ήταν τα λόγια του Χόκινγκ κατά τη διατύπωση της εικασίας του.

Επομένως, τι μπορεί να πάει στραβά αν ένας υπερ-πολιτισμός αποπειραθεί να κατασκευάσει μια χρονομηχανή σκουληκότρυπας; Μια πιθανότητα είναι ότι η αντιβαρύτητα αποτελεί ένα υπερβολικά ασταθές φαινόμενο για χρήση σε ρεαλιστικά σενάρια με σκουληκότρυπες. Η επίκληση του γεγονότος ότι η αρνητική ενέργεια είναι, από φυσική άποψη, δυνατή σε κάποιες ασυνήθιστες συνθήκες, διαφέρει τελείως από το να περιμένουμε ότι θα εμφανιστεί στο εσωτερικό μιας σκουληκότρυπας ή κάποιας άλλης χρονομηχανής, και θα έχει ένταση ικανή να οδηγήσει σε ένα ταξίδι στο χρόνο. Το ζήτημα αυτό δεν έχει κριθεί ακόμη. Σύμφωνα με μαθηματικές μελέτες, καταστάσεις αντιβαρύτητας σε κβαντικά πεδία εμφανίζονται σε ένα αρκετά μεγάλο φάσμα συνθηκών, αλλά προς το παρόν δεν υπάρχει γενικό θεώρημα που να υποδεικνύει ακριβώς τους περιορισμούς.

Ακόμη και αν θεωρήσουμε ως δεδομένο ότι η αντιβαρύτητα μπορεί να αναπτυχθεί με κάποιον κατάλληλο τρόπο (ή η αναγκαία εξωτική ύλη να τοποθετηθεί εκεί από την ίδια τη φύση), ελλοχεύουν άλλα προβλήματα. Η εξωτική ύλη που διαπερνά το λαιμό της σκουληκότρυπας ενδέχεται να αλληλεπιδράσει με οποιαδήποτε συνηθισμένη ύλη αποπειραθεί να διασχίσει τη σκουληκότρυπα, με αποτέλεσμα η πρώτη να εμποδίσει ή ακόμη και να καταστρέψει τη δεύτερη.

Μια άλλη δυσκολία αφορά τη συμπεριφορά του κβαντικού κενού στην περιοχή μιας σκουληκότρυπας, ή οποιουδήποτε άλλου είδους χρονομηχανής. Το πρόβλημα επικεντρώνεται στο τι συμβαίνει στη συναρμογή μεταξύ της περιοχής του χωροχρόνου που επιτρέπει χρονικούς βρόχους και τον «συνηθισμένου» χωροχρόνου, όπου το παρελθόν και το μέλλον δεν αναμιγνύονται. Η επιφάνεια σύνδεσης των δύο περιοχών ονομάζεται *ορίζοντας χρονολογίας*. Η διέλευσή του συνεπάγεται

την είσοδο σε μια περιοχή του χωροχρόνου όπου τα σωματίδια μπορούν να περιφέρονται σε αέναους αιτιακούς βρόχους, συμπεριλαμβανομένων των εικονικών φωτονίων της κατάστασης του κβαντικού κενού. Σε γενικές γραμμές, κάθε φορά που ένα εικονικό φωτόνιο διαγράφει μια κλειστή τροχιά στο χρόνο, διπλασιάζει τη (δανεική) ενέργειά του. Σύμφωνα με υπολογισμούς, καθώς πλησιάζουν τον ορίζοντα, τα εικονικά φωτόνια διαγράφουν σχεδόν κλειστούς αιτιακούς βρόχους. Μάλιστα, όσο περισσότερο πλησιάζουν τον ορίζοντα, τόσο αυξάνεται ο κίνδυνος να κλείσουν οι βρόχοι. Με δεδομένες τις ενδογενείς αβεβαιότητες στη συμπεριφορά κβαντικών σωματιδίων όπως τα φωτόνια, ο ορίζοντας δεν δρα ως κάποιο σαφώς ορισμένο όριο. Και μόνο η απλή απειλή του επικείμενου αιτιακού κλεισίματος αρκεί για να αποκτήσουν τα εικονικά φωτόνια απεριόριστη ώθηση, αποθηκεύοντας ολοένα και περισσότερη ενέργεια καθώς πλησιάζουν τον ορίζοντα. Αυτή η κλιμάκωση της ενέργειας απομάκρυνσης πιθανότατα θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός τεράστιου βαρυτικού πεδίου, που θα στρεβλώσει τον χωρόχρονο και θα καταστρέψει τη χρονομηχανή. Λέμε «πιθανότατα», επειδή δεν διαθέτουμε ακόμη μια αρκετά καλή θεωρία κβαντικής βαρύτητας ώστε να ελέγξουμε τι πραγματικά πρόκειται να συμβεί σε αυτές τις ακραίες συνθήκες. Επομένως, το επιχείρημα για την καταστροφή του κβαντικού κενού είναι ενδεικτικό, αλλά μέχρι τώρα όχι μοιραίο. Όταν γραφόταν αυτό το βιβλίο, η ελπίδα για την προστασία της χρονολογίας παρέμενε μεταξύ φθοράς και αφθαρσίας, ελπίδα για μερικούς και αιτία θλίψης για κάποιους άλλους.

Εναλλακτικά μονιέλα χρονομηχανών

Η σκουληκότρυπα συνεχίζει να αποτελεί το αγαπημένο σχέδιο για χρονομηχανές, αλλά σε καμιά περίπτωση δεν είναι το μοναδικό. Αναφέραμε ήδη τις πρώιμες εργασίες των βαν Στόκουμ και Γκέντελ αναφορικά με την περιστρεφόμενη ύλη. Μια αρκετά διαφορετική πρόταση για χρονομηχανή παρουσιάσθηκε από τον Τζ. Ρίτσαρντ Γκοτ III και βασίζεται στη χρήση υποθετικών οντοτήτων που ονομάζονται *κοσμικές χορδές*. Μια κοσμική χορδή είναι ένα αστρονομικού μήκους νήμα που περιέχει τεράστια ποσότητα μάζας: κάθε χιλιόμετρο κοσμικής χορδής ζυγίζει περίπου όσο η Γη. Ορισμένοι κοσμολόγοι πιστεύουν ότι οι κοσμικές χορδές ίσως σχηματίσθηκαν κατά τη θερμή Μεγάλη Έκρηξη, όταν η ισχυρή αρχέγονη ενέργεια που διαπερνούσε το διάστημα παγιδεύτηκε στο εσωτερικό λεπτών σωληνών και διατηρήθηκε εκεί για το μέλλον.

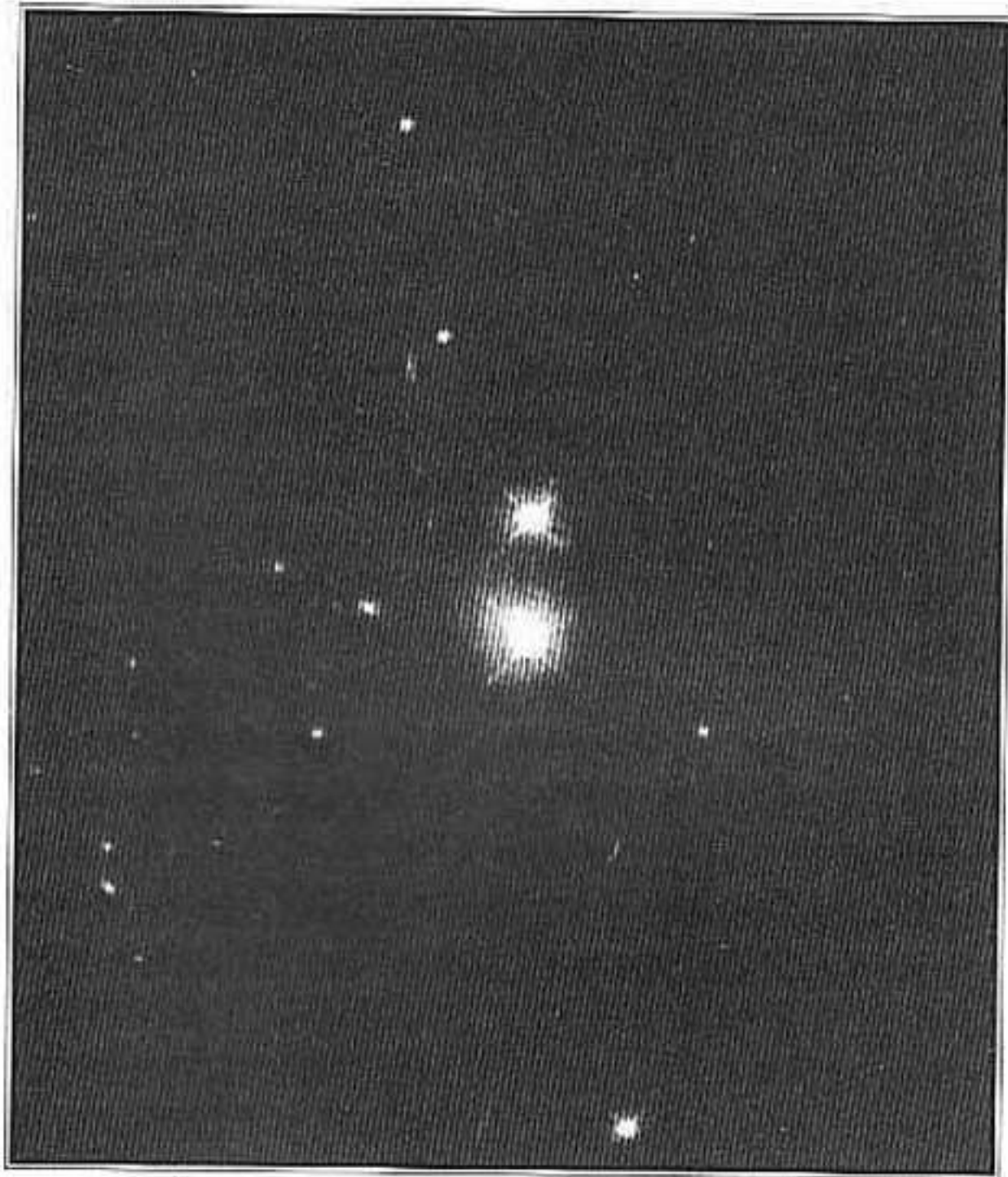
Οι κοσμικές χορδές αποτελούνται μάλλον από εξωτική ύλη – αλλά σε μια τέτοια περίπτωση, αυτό που καθιστά εξωτική την ύλη της χορδής δεν αφορά την ενέργεια αλλά την πίεση. Συνήθως δεν αντιλαμβανόμαστε την πίεση ως πηγή βαρύτητας, όμως, σύμφωνα με τη γενική θεωρία του Αϊνστάιν για τη σχετικότητα, η πίεση δημιουργεί επίσης ένα βαρυτικό πεδίο. Αν η πίεση είναι πραγματικά τεράστια, μπορεί να ανταγωνισθεί την ενέργεια ως προς τη βαρυτική της ισχύ. Αποδεικνύεται ότι η πίεση στο εσωτερικό μιας κοσμικής χορδής είναι τεράστια και αρνητική· με άλλα λόγια, η χορδή είναι τεντωμένη. Επειδή η πίεση δημιουργεί βαρύτητα, η τάση (αρνητική πίεση) δημιουργεί αντιβαρύτητα. Στην περίπτωση ενός ευθύγραμμου τμήματος μιας χορδής, η αντιβαρύτητα της τάσης ανισορροπίζει ακριβώς τη βαρύτητα της μάζας-ενέργειας, με αποτέλεσμα η χορδή, παρά την κολοσσιαία μάζα της,

να μην ασκεί βαρυτική δύναμη σε γειτονικά σώματα.

Παρ' όλα αυτά, η χορδή μεταβάλλει τη γεωμετρία του χώρου στην περιοχή της, με έναν μάλλον διακριτό τρόπο, που μοιάζει με το μαγιάτικο γαϊτανάκι. Όταν ένας χορευτής διαγράφει κύκλο γύρω από τον στύλο, περιστρέφεται ακριβώς κατά 360 μοίρες. Αν ο στύλος ήταν κοσμική χορδή, ο χορευτής θα διαπίστωνε ότι είχε επιστρέψει στο αφετηριακό του σημείο μετά από περιστροφή μικρότερη των 360 μοιρών. Ένας κύκλος γύρω από μια κοσμική χορδή δεν περιέχει τέσσερις ορθές γωνίες, όπως ο γνωστός κύκλος στο επίπεδο.

Το γωνιακό έλλειμμα που προκαλεί μια κοσμική χορδή δεν προβλέπεται να ξεπερνά τα λίγα δευτερόλεπτα του τόξου, όμως, παρ' όλα αυτά, οδηγεί σε κάποια διακριτά φαινόμενα. Για παράδειγμα, δύο παράλληλες μεταξύ τους ευθείες που θα διασχίσουν τη χορδή, τελικά θα συγκλίνουν. Αν οι ευθείες αναπαριστούν ακτίνες φωτός προερχόμενες, για παράδειγμα, από έναν κβάζαρ ή έναν απομακρυσμένο γαλαξία, ένας παρατηρητής θα δει δύο αντίγραφα του αντικειμένου, εφόσον η χορδή παρεμβάλλεται μεταξύ του σώματος και του παρατηρητή. Διπλά είδωλα αυτού του είδους είναι ήδη γνωστά στους αστρονόμους, αλλά μπορούν να παραχθούν και με άλλους τρόπους, και δεν υπάρχουν πειστικές ενδείξεις υπέρ της πραγματικής ύπαρξης κοσμικών χορδών.

Παρ' όλα αυτά, οι κοσμικές χορδές έχουν μελετηθεί κατά κόρον. Ο Γκοτ έχει επισημάνει ότι φωτόνια προερχόμενα από μια απομακρυσμένη πηγή, τα οποία διασχίζουν τη χορδή και συγκλίνουν, δεν θα συναντηθούν απαραίτητως την ίδια χρονική στιγμή εφόσον η χορδή, η πηγή και ο παρατηρητής δεν είναι επακριβώς ευθυγραμμισμένοι ή βρίσκονται σε σχετική κίνηση, με αποτέλεσμα ένας αστροναύτης που κανέται γύρω από τη μια πλευρά της χορδής με ταχύτητα παραισθήσια



Τέτοιου είδους
διπλά είδωλα κβάζαρ
είναι ήδη γνωστά.

εκείνης του φωτός, να φθάσει στο σημείο σύγκλισης ενδεχομένως πριν από το φωτόνιο που έρχεται από την άλλη πλευρά. Ουσιαστικά, ο αστροναύτης θα έχει ξεπεράσει τον αργό φωτεινό παλμό επιλέγοντας μια εναλλακτική διαδρομή στο χώρο, ακριβώς όπως στην περίπτωση της σκουληκότρυπας. Αυτό το φυσικό επιχείρημα υποδεικνύει ότι το ταξίδι στο χρόνο ίσως είναι δυνατόν με τη χρήση κοσμικών χορδών. Ο Γκοτ απέδειξε με μαθηματικό τρόπο ότι αν δύο παράλληλες κοσμικές χορδές απομακρύνονται μεταξύ τους με ταχύτητες παρόμοιες εκείνης του φωτός, θα υπάρχει μια περιοχή στην οποία ένας αστροναύτης θα μπορεί να ταξιδέψει πίσω στο χρόνο διαγράφοντας ένα βρόχο γύρω από τις χορδές.

Η πρόταση του Γκοτ δεν είναι διόλου πρακτική και αντιμετωπίζει πλήθος ενστάσεων από την άποψη της φυσικής. Για παράδειγμα, δεν υπάρχουν ευθύγραμμες χορδές απείρου μήκους, ενώ οι βρόχοι χορδών πεπερασμένου μήκους κινδυνεύουν να καταρρεύσουν βαρυτικά πριν μετατραπούν σε χρονομηχανές, σχηματίζοντας μαύρες τρύπες. Όμως, η πρόταση θεμελιώνει το γεγονός ότι το ταξίδι στο χρόνο είναι ένα ενδογενές χαρακτηριστικό της θεωρίας του Αϊνστάιν για τη γενική σχετικότητα και όχι απλώς ένα ευφάνταστο σενάριο.

Ο Γκοτ υποστηρίζει με τόσο ενθουσιασμό τις χρονομηχανές, ώστε φθάνει στο σημείο να προτείνει ότι ολόκληρο το σύμπαν ίσως είναι μια τέτοια μηχανή, επισημαίνοντας πως στην περίπτωση αυτή το σύμπαν θα ήταν σε θέση να αυτοδημιουργηθεί. Ακριβώς όπως ένας χρονοταξιδιώτης θα μπορούσε, κατ' αρχήν, να μεταβεί πίσω στο χρόνο και να γίνει ο πατέρας του (ή η μητέρα της), έτσι και το σύμπαν θα μπορούσε να επιστρέψει πίσω στο χρόνο και να δημιουργηθεί σε μια Μεγάλη Έκρηξη δίχως την ανάγκη οποιασδήποτε προηγουμένης προέλευσης από το τίποτε. Με αυτόν τον τρόπο το

σύμπαν, υπό μια έννοια, θα υπήρχε ανέκαθεν παρότι ο ίδιος ο χρόνος παραμένει πεπερασμένος στο παρελθόν.

Αυτό το βιβλίο δεν περιγράφει σε καμία περίπτωση το σύνολο των δυνατοτήτων στο πεδίο κατασκευής χρονομηχανών. Οι περισσότερες προτάσεις περιλαμβάνουν κάποια εργασία του είδους «αποκοπή και επικόλληση» πάνω στο χωρόχρονο, σαν κάποιο υπερ-ον που χειρίζεται επιδέξια τεράστια ψαλίδια, να ανοίγει τρύπες στο χώρο, να τεντώνει και να συστρέφει τα άκρα και, στη συνέχεια, να τα κολλά και πάλι οχηματίζοντας ένα διαφορετικό σχέδιο. Μολονότι αυτά τα πρότυπα είναι πολύ τεχνητά, περιγράφουν στο σύνολό τους δυνατούς χωροχρόνους και χρησιμεύουν ως εργαστήρια δοκιμών για την εξερεύνηση των εκπληκτικών φυσικών συνεπειών του ταξιδιού στο χρόνο.

Αναστρέφοντας το χρόνο

Το ταξίδι στο χρόνο δεν πρέπει να συγχέεται με το εξίσου συναρπαστικό (και εξίσου υποθετικό) ζήτημα της αναστροφής του χρόνου. Φιλόσοφοι και επιστήμονες στοχάζονται, τουλάχιστον από την εποχή του Πλάτωνα, σχετικά με το πρόβλημα της ροής του χρόνου «προς τα πίσω». Στην πραγματικότητα πρόκειται για λανθασμένο όρο, αφού ο ίδιος ο χρόνος δεν πηγαίνει πουθενά. Είναι πιο ακριβές να αναφερόμαστε σε φυσικά συστήματα που κινούνται προς τα πίσω στο χρόνο, όπως μια κινηματογραφική ταινία που παίζεται ανάποδα. Μπορεί να συμβεί κάτι τέτοιο; Μπορεί η ροή του νερού να πραγματοποιηθεί από κάτω προς τα πάνω ή τα σπασμένα αυγά να επανασυγκολληθούν από μόνα τους;

Για να πάρετε μια ιδέα του φαινομένου, φαντασθείτε ένα

δοχείο με στερεά τοιχώματα στο οποίο έχουν εγκλεισθεί καμιά δεκαριά μόρια αερίου που κινούνται χαλαρά, συγκρουόμενα μεταξύ τους και με τα τοιχώματα του δοχείου. Υποθέστε ότι σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, όλα τα μόρια βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μια γωνία. Η διάταξη αυτή δεν θα διαρκέσει πολύ, καθώς τα ταχεία μόρια αναπηδούν και σκεδάζονται μεταξύ τους στο διαθέσιμο χώρο. Η μετάβαση από την κατάσταση «συγκεντρωμένα» στην κατάσταση «κατανεμημένα» παρέχει ένα «βέλος του χρόνου» που χρησιμεύει για τη διάκριση μεταξύ παρελθόντος και μέλλοντος. Η ύπαρξη πολλών τέτοιων μεταβάσεων στον κόσμο γύρω μας, δίνει την εντύπωση ότι ο χρόνος έχει μια καθορισμένη κατεύθυνση. Επομένως, η αναστροφή του χρόνου θα περιλαμβάνει γεγονότα όπως η συγκέντρωση μορίων αερίου σε μια γωνία ενός δοχείου. Άραγε, είναι αξιόπιστο ένα τέτοιο συμπέρασμα; Ασφαλώς. Αναμένουμε ότι, μετά από αρκετό χρονικό διάστημα, καμιά δεκαριά τυχαία κινούμενα μόρια ίσως εμφανισθούν, ως αποτέλεσμα καθαρής τύχης, και πάλι σε κάποια γωνία του δοχείου. Στην πραγματικότητα, μπορεί να αποδειχθεί με μαθηματικό τρόπο ότι τέτοιες επανεμφανίσεις πρέπει να συμβαίνουν κατ' επανάληψη.

Βεβαίως, το γεγονός της «μετάβασης πίσω στο χρόνο» μερικών μορίων είναι αρκετά διαφορετικό από την αντιστροφή της συνηθισμένης συμπεριφοράς ολόκληρου του σύμπαντος. Η αναμονή που απαιτείται μέχρι να επιστρέψουν τα πράγματα στην αρετηριακή διάταξή τους αυξάνεται γρήγορα με την προσθήκη κάθε επιπλέον σωματιδίου. Ένα αντιπροσωπευτικό δωμάτιο περιέχει περισσότερα από ένα τρισεκατομμύριο τρισεκατομμύρια μόρια αέρα, με αποτέλεσμα να απαιτείται χρόνος πολύ μεγαλύτερος από την ηλικία του σύμπαντος μέχρι να συγκεντρωθούν τα μόρια αυτά αυθόρμητως σε μια γω-

νία του δωματίου. Συνεπώς, δεν χρειάζεται να ανησυχούμε μήπως κάποια στιγμή βρεθούμε σε κατάσταση ασφυξίας λόγω έλλειψης αέρα. Αυτό που εννοούμε είναι ότι, ενώ κατ' αρχήν ο κόσμος θα μπορούσε να επιστρέψει στην κατάσταση που είχε, π.χ., το 1900, είναι εξαιρετικά απίθανο να συμβεί κάτι τέτοιο στη διάρκεια της ζωής μας, εκτός κι αν μεταξύ των αναρίθμητων σωματιδίων ενυπάρχει κάποια κοσμική συνωμοσία.

Κάποιοι φυσικοί έχουν διατυπώσει την εικασία ότι ακριβώς μια τέτοια συνωμοσία ίσως είναι προγραμματισμένη στις αρχικές συνθήκες του σύμπαντος, γεγονός που τελικά θα υποχρεώσει ολόκληρο το σύμπαν να επισκεφθεί εκ νέου την αρχική του κατάσταση στη Μεγάλη Έκρηξη. Πιθανότατα δεν θα μάθουμε ποτέ αν όλα τα σωματίδια στο σύμπαν είναι προγραμματισμένα με τέτοιο ευφυή τρόπο ώστε μια μέρα να επιστρέψουν στην αφετηρία τους, δημιουργώντας έτσι εκ νέου μια παρελθοντική κατάσταση. Αν αυτή η παράξενη αντιστροφή πραγματοποιηθεί, θα διαφέρει θεμελιωδώς από ένα ταξίδι στο χρόνο της μορφής που εξετάσαμε σε αυτό το βιβλίο. Η αναστροφή του χρόνου σημαίνει την επαναδημιουργία του παρελθόντος, όχι την εκ νέου επίσκεψή του. Αν το σύμπαν πήγαινε προς τα πίσω, το ίδιο θα συνέβαινε και με τη δραστηριότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου. Δεν θα βλέπαμε τη μεγάλη κοσμική κινηματογραφική ταινία να παίζει προς τα πίσω, με τα άστρα να απορροφούν φως και τις μαύρες τρύπες να ξερνούν αέρια, καθώς ο νους και οι αισθήσεις μας θα λειτουργούσαν επίσης με την όποθεν. Με λίγα λόγια, η ζωή σε ένα σύμπαν όπου «ο χρόνος κυλά προς τα πίσω» δεν θα διέφερε από τη ζωή στο σύμπαν που παρατηρούμε σήμερα.

Γιατί χρειάζεται η μελέτη του ταξιδιού στο χρόνο;

Το θέμα έχει προσφέρει γόνιμο έδαφος στους διηγηματογράφους του τελευταίου αιώνα, καθώς εμφανίζεται κατ' επανάληψη τόσο στην κλασική λογοτεχνία όσο και στην επιστημονική φαντασία. Επίσης, έχει προκαλέσει εκτεταμένη (και μάλλον υπερδεμένη) διαμάχη μεταξύ των φιλοσόφων σχετικά με τη φύση του χρόνου και τις λογικές αντιφάσεις που φαίνεται να προκύπτουν κατά τη θεώρηση του ταξιδιού στο παρελθόν. Ωστόσο, μέχρι προσφάτως, οι επαγγελματίες επιστήμονες ουσιαστικά είχαν θέσει το ζήτημα στο περιθώριο. Σήμερα, η έρευνα των ταξιδιών στο χρόνο μοιάζει με βιοτεχνία φαιδρών στην κοινότητα της θεωρητικής φυσικής. Κάποιοι εκπλήσσονται από αυτή την εξέλιξη. Είδαμε πόσο ευφάνταστα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από εξαιρετικά θεωρητικές ιδέες όπως οι σκουληκότρυπες, η συμπαντική τεχνολογία, και οι εξωτικές μορφές ύλης. Πώς δικαιολογούν οι επαγγελματίες επιστήμονες την ανάλωση πολύτιμου χρόνου και κονδυλίων έρευνας σε ένα τόσο αλλοπρόσωπο θέμα;

Βεβαίως, η μελέτη αυτών των θεμάτων είναι δίχως άλλο διασκεδαστική και ορισμένοι επιστήμονες την αντιμετωπίζουν ως πνευματικό παιχνίδι. Όμως, υπάρχει και μια σοβαρή πλευρά του ζητήματος. Το «νοητικό πείραμα» αποτελεί ένα ιστορικά αναγνωρισμένο μέρος της επιστημονικής διαδικασίας. Η λειτουργία του βασίζεται στη φαντασία του επιστήμονα ο οποίος διατυπώνει ένα σενάριο που, αρχικά, μοιάζει αποκύημα της φαντασίας, με σκοπό την προώθηση σύγχρονων θεωριών στα απώτερα όριά τους με στόχο την αποκάλυψη σιωπωνδής ποτε λογικών οφθαλμάτων ή ασυνεπειών μιας θεωρίας. Με τη βοήθεια νοητικών πειραμάτων ο Γαλιλαίος κατόρθωσε να διατυπώσει με αποκλειστικά θεωρητικό τρόπο το νόμο για

την πτώση των σωματίων. Νοητικά πειράματα οδήγησαν τον Αϊνστάιν στη σωστή πρόβλεψη του φαινομένου της διαστολής του χρόνου. Στη δεκαετία του 1930, νοητικά πειράματα, όπως εκείνο που συνδέεται με το περίφημο παράδοξο της γάτας του Σρέντινγκερ, έπαιξαν σπουδαίο ρόλο στην αποσαφήνιση του νοήματος της κβαντικής μηχανικής. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η σημερινή πρόοδος στην τεχνολογία πρόσφερε τη δυνατότητα για πραγματική διεξαγωγή πολλών νοητικών πειραμάτων.

Το γεγονός πως το ταξίδι στο χρόνο μοιάζει σήμερα αμιγώς βολο, ή ακόμη και αδύνατον, δεν σημαίνει ότι μπορούμε να αγνοήσουμε τις επιπτώσεις του. Ίσως ανακαλυφθούν ευκολότεροι τρόποι κατασκευής χρονομηχανών, τρόποι που δεν θα απαιτούν τους πόρους ενός υπερ-πολιτισμού. Όμως, η ίδια η δυνατότητα της επίσκεψης στο παρελθόν ή της επικοινωνίας με αυτό συνιστά μια σοβαρή πρόκληση για την κατανόηση της φυσικής, ανεξαρτήτως του αν το ταξίδι στο χρόνο θα αποτελέσει κάποια πρακτική πρόταση. Οι ερευνητές θεωρούν βέβαιο πως οποιαδήποτε απόπειρα κατασκευής μιας χρονομηχανής θα προκαλέσει δραματικά φαινόμενα κβαντικού κενού, οι συνέπειες των οποίων δεν μπορούν να αναλυθούν πλήρως δίχως μια εύχρηστη και αξιόπιστη θεωρία της κβαντικής βαρύτητας. Επειδή η διατύπωση μιας τέτοιας θεωρίας αποτελεί σήμερα προτεραιότητα για τους θεωρητικούς φυσικούς, μπορούμε να πούμε ότι η μελέτη των χρονικών βρόχων και η αποσαφήνιση της ενδελεχούς αιτιακής δομής του σύμπαντος που προκύπτει από αυτήν, είναι πολύ επίκαιρες.

Μέρος της γοητείας που ασκούν τα ταξίδια στο χρόνο οφείλεται στα άκαμπτα παράδοξα που εμφανίζονται όταν εξετάζουμε το ταξίδι στο παρελθόν. Σκοπός της επιστήμης είναι

να παρέχει μια εσωτερικά συνεπή εικόνα της πραγματικότητας: επομένως, αν μια επιστημονική θεωρία παράγει ενδογενώς παράδοξες (και όχι απλώς παράξενες ή αντι-διαισθητικές) προβλέψεις, αυτό αρκεί για να την απορρίψουμε. Όπως είδαμε, το ταξίδι στο χρόνο ξεχειλίζει από παράδοξα. Προς το παρόν, οι απόψεις διίστανται σημαντικά αναφορικά με τον τρόπο αντιμετώπισης αυτών των παραδόξων. Ίσως οι αιτιακοί βρόχοι να μπορούν να καταστούν εσωτερικά αυτο-συνεπείς. Ίσως η πραγματικότητα να αποτελείται από πολλαπλά σύμπαντα. Ή ίσως η περιγραφή που διαθέτουμε για τη φύση να χρειάζεται ριζική αναθεώρηση. Από την άλλη, ίσως δεν υπάρχει τρόπος να αποφύγουμε επιδέξια την παράδοξη φύση του ταξιδιού στο χρόνο, οπότε είμαστε αναγκασμένοι να επικαλεσθούμε την εικασία του Χόκινγκ για την προστασία της χρονολογίας και να απορρίψουμε όλες τις θεωρίες που επιτρέπουν το ταξίδι στο παρελθόν.

Οι περισσότερες σύγχρονες απόπειρες για μια κβαντική περιγραφή της βαρύτητας έχουν διατυπωθεί στο ευρύτερο πλαίσιο μιας πλήρως ενοποιημένης θεωρίας της φυσικής, όπου όλα τα σωματίδια και όλες οι δυνάμεις της φύσης, μαζί με το χώρο και το χρόνο, βρίσκονται συγχωνευμένα σε ένα κοινό μαθηματικό μοντέλο. Μεταξύ αυτών των «θεωριών του παντός» είναι της μόδας οι υπερχορδές και το πιο περιεκτικό μοντέλο που φέρει την κρυπτογραφημένη ονομασία «θεωρία Μ».

Είναι συναρπαστικό να μπορούμε να εικάσουμε ότι η προστασία της χρονολογίας ίσως αποτελεί μια καθολική αρχή της φύσης ισοδύναμη, π.χ., με τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής. Ενδεχομένως να συντάξουμε ακόμη και έναν κατάλογο με σημαντικά ταμπού, όπως:

Δεν υπάρχουν χρονομηχανές!
Δεν υπάρχουν αεικίνητα!
Δεν υπάρχουν γυμνές ιδιομορφίες! κ.λπ.

και να τον χρησιμοποιήσουμε ως φίλτρο για φυσικές θεωρίες. Οποιαδήποτε θεωρία δεν θα οέβεται όλα τα ταμπού του καταλόγου, θα πρέπει να απορρίπτεται. Αυτό θα ήταν ένας έξοχος τρόπος για απόρριψη ανταγωνιστικών θεωριών. Αν ο κατάλογος είναι αρκετά μακρύς, ίσως μόνο μια «θεωρία του παντός» να περάσει επιτυχώς τον έλεγχο του φίλτρου. Τότε θα γνωρίζουμε την απάντηση στο έσχατο επιστημονικό ερώτημα: Γιατί το σύμπαν είναι αυτό και όχι κάποιο άλλο;

Al-Khalili, Jim: *Σκουληκότρυπες, μαύρες τρύπες και χρονομηχανές (Black Holes, Wormholes & Time Machines)* Bristol U.K., Institute of Physics Publishing, 1999.

Εξαιρετικά καλή, κατανοητή εισαγωγή στη σχετικότητα, την κοσμολογία και τη βαρύτητα. Περιέχει μια μεγάλη ενότητα σχετικά με το ταξίδι στο χρόνο. (Κυκλοφορεί στα ελληνικά από τις Εκδόσεις Π. Τραυλός).

Berry, Adrian: *The Iron Sun*, London, Jonathan Cape, 1997.

Πρώιμη εικονολογία σχετικά με τη διάσχιση του σύμπαντος μέσω μιας μαύρης τρύπας/σκουληκότρυπας.

Davies, Paul: *About Time*, London, Penguin, 1995.

Εμβριθής επισκόπηση της έννοιας του χρόνου και των πολλών πτυχών του.

Deutsch, David: *The Fabric of Reality*, London, Penguin, 1997.

Παρουσίαση της ερμηνείας των πολλών συμπάντων της κβαντομηχανικής και της σημασίας της για το ταξίδι στο χρόνο.

Gott, J. Richard III: *Time Travel in Einstein's Universe*, Boston, Houghton-Mifflin, 2001.

Καλή τεχνική σύνοψη του ταξιδιού στο χρόνο, με ιδιαίτερη έμφαση στο μοντέλο των κοσμικών χορδών.

Greene, Brian: *The Elegant Universe*, New York, Norton, 1999.

Γλαφυρή περιγραφή των πρόσφατων προσπαθειών για ενοποίηση των θεμελιωδών δυνάμεων και σωματιδίων της φύσης.

Nahin, Paul J.: *Time Machines*, Woodbury, N.Y., AIP Press, 1993.

Συναρπαστική επισκόπηση του ταξιδιού στο χρόνο στην επιστημονική φαντασία και την επιστήμη. Περιέχει μεγάλο αριθμό αναφορών.

Novikov, Igor D.: *Το ποτάμι του χρόνου (The River of Time)*, Cambridge University Press, 1998.

Πολύ κατανοητή παρουσίαση της σχετικότητας. Περιέχει μια ενότητα σχετικά με το ταξίδι στο χρόνο. (Κυκλοφορεί στα ελληνικά από τις Εκδόσεις Π. Τρανλός).

Pickover, Clifford: *Time: A Traveller's Guide*, Oxford University Press, 1999.

Κατανοητή επισκόπηση.

Thorne, Kip S.: *Black Holes and Timewarps*, New York, Norton, 1994.

Εκτεταμένη και λεπτομερής παρουσίαση της θεωρίας της γενικής σχετικότητας, αλλά και θεμάτων που αφορούν τις μαύρες τρύπες, και τις σκουληκότρυπες, από έναν από τους καλύτερους συντελεστές της έρευνας στα πεδία αυτά. Περιλαμβάνει πολλές αναφορές σε επιστημονικές δημοσιεύσεις. (Κυκλοφορεί στα ελληνικά από τις Εκδόσεις Κάτοπτρο).

Wheeler, John A.: *A Journey into Gravity and Spacetime*, New York, Scientific American Library, 1990.

Γραμμένο από τον άνθρωπο που εισήγαγε τους όρους «μαύρη τρύπα», «σκουληκότρυπα», «χωροχρονικός αφρός», και πολλούς άλλους.

Will, Clifford: *Was Einstein Right?*, New York, Basic Books, 1986.

Εξαιρετική εισαγωγή στη θεωρία της σχετικότητας και τους πειραματικούς ελέγχους της. (Κυκλοφορεί στα ελληνικά από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης).

Benford, Gregory: *Timescape*, New York, Simon & Schuster, 1980. Επανεκδ. New York, Spectra, 1996.

Βραβευμένο μυθιστόρημα γραμμένο από έναν επαγγελματία φυσικό. Συμπεριλαμβάνει τον συγγραφέα στους χαρακτήρες του!

Benford, Gregory: *Cosm*, New York, Avon Eos, 1998.

Μυθιστόρημα σκληρής επιστημονικής φαντασίας σχετικά με τη δημιουργία ενός ούμπαντος-βρέφους στο εργαστήριο, ως αποτέλεσμα μιας σύγκρουσης μεταξύ βαρέων ιόντων στο Εθνικό Εργαστήριο Μπρουκχέιβεν.

Bradbury, Ray: «A Sound of Thunder», περιλαμβάνεται στο *The Stories of Ray Bradbury*, New York, Knopf, 1980.

Σύντομο διήγημα που περιγράφει τον τρόπο λεπτής εξάρτησης του μέλλοντος από μικρές λεπτομέρειες παρελθοντικών καταστάσεων.

Crichton, Michael: *Timeline*, New York, Random House, 1999.

Βασιζόμενος σε ιδέες από τις κβαντικές σκουληκότρυπες, ο συγγραφέας υφαίνει μια γεμάτη δράση περιπέτεια ενός ταξιδιού στο χρόνο, σε μια απόπειρα συγγραφής αυτο-συνεπούς ιστορίας. (Κυκλοφορεί στα ελληνικά από τις Εκδόσεις Bell).

Sagan, Carl: *Contact*, New York, Simon & Schuster, 1985.

(Κυκλοφορεί στα ελληνικά από τις Εκδόσεις Ωρόρα).

Wells, H. G.: *The Time Machine and Other Stories*, London, Penguin, 1946.

Το κλασικό, θεμελιώδες μυθιστόρημα από τον ίδιο τον δάσκαλο. (Κυκλοφορεί στα ελληνικά από τις Εκδόσεις Ψυχογιός).

Goedel, K.: «An Example of a New Type of Cosmological Solution of Einstein's Field Equations of Gravitation», *Reviews of Modern Physics*, 21 (1949) 447-50.

Hawking, S. W.: «The Chronology Protection Conjecture», *Physical Review*, D46 (1992) 603-11.

Morris, M. S. και Thorne, K. S.: «Wormholes in Spacetime and Their Use for Interstellar Travel: A Tool for Teaching General Relativity», *American Journal of Physics*, 56 (1988) 395-412.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Roman, T. A.: «Inflating Lorentzian Wormholes», *Physical Review*, D47 (1993) 1370-81.

Tipler, F. J.: «Rotating Cylinders and the Possibility of Global Causality Violation», *Physical Review*, D9 (1974) 2203-6.

Visser, Matt.: *Lorentzian Wormholes: From Einstein to Hawking*, Woodbury, N.Y.: AIP Press, 1995.

- Αἰνσιάιν, Άλμπερτ,
 —και ταξίδι στο παρελθόν,
 18, 24, 26, 144
 —και έννοιες περί απαιτηλής
 φύσης του χρόνου, 22, 43
 —και θεωρία γενικής σχετι-
 κότητας, 31, 32, 39, 52,
 144
 —και θεωρία ειδικής σχετι-
 κότητας, 18, 22, 42
 Αιτιακοί βρόχοι,
 —και ορίζοντας χρονολο-
 γίας, 139
 —και παχίδοξο, 120, 121, 126
 —αυτο-συνέπεια, 130
 —και μιλιάρδο, 124, 131
 Ακτινοβολία και μαύρες τρύ-
 πες, 56, 76, 110
 Αναστροφή χρόνου,
 —και Μεγάλη Έκρηξη, 147
 Ανυβαρύτητα,
 —στη θεωρία της γενικής
 σχετικότητας, 83, 84
 —και αρνητική ενέργεια, 84,
 85, 103
 —και αρνητική πίεση, 141
 —και διαβατές σκουληκό-
 τρυπες, 83, 84, 86

Ανύψωση, 83
 Αρνητική ενέργεια,
 —και αντιβαρύτητα, 84, 85
 —και μαύρες τρύπες, 109
 —και γήινο βαρυτικό πεδίο,
 85, 109
 —και φαινόμενο Κάσιμυρ,
 103
 —και λείζερ, 108
 —και κινούμενα κάτοπτρα,
 106
 Αρνητική πίεση, κοσμικές
 χορδές, 141
 Αρχή απροσδιοριστίας, 94,
 96, 98, 132
 Αστέρες νετρονίων,
 —και μαύρες τρύπες, 56
 —και διαφοροποιητές, 113
 —και βαρυτική δύναμη, 56
 —και στρέβλωση του χωρο-
 χρόνου, 36
 —και χρονομηχανές, 48,
 113

Βαν Στόκουμ, Β.Γ., 51, 52,
 141
 Βαρυτική δύναμη,
 —στις μαύρες τρύπες, 54,
 58, 64, 75-77, 82

—και φυγόκεντρος δύναμη,
 75, 76
 —αντιβαρύτητα, 83, 141
 —Γης, 42, 85
 —στη γενική σχετικότητα,
 82
 —και αρνητική ενέργεια, 84,
 85
 —αστέρων νετρονίων, 36
 —πίεσης, 57, 141
 —στα χωρόχρονο, 113
 —του Ήλιου, 36, 62, 64
 Βαρυτική θωράκιση, 83
 Βέγας, 80, 81
 Βεσό, Ρομπέρ, 32
 Βίσερ, Ματ, 108

Γαλαξίας
 —και μαύρες τρύπες, 56
 —και αποστάσεις, 28, 45,
 115
 Γαλιλαίος, 40, 72, 148
 Γενική σχετικότητα,
 —αναβαρύτητα, 83, 84
 —βαρυτική δύναμη, 82
 —στρέβλωση χωροχρόνου,
 38-39
 Γέφυρα Αϊνστάιν-Ρόζεν, 66
 Γη, βαρυτική δύναμη, 42

Γκέντελ, Κουρτ, 52, 53, 141

Γκοτ. Τζ. Ρίτσαρντ, 141,

142, 144

Γουέλς, Χ.Τζ., 15, 43, 83,

114, 115

Γουίλερ, Τζον, 56, 96

Δακτυλιοειδής ιδιομορφία,
78, 79

Δακτύλιος του Αϊνστάιν, 64,
65

—και διαστολή χρόνου, 112

Δίας, 76, 108

Διάταξη πληθωρισμού,

—και βαρυτικά πεδία, 111

—και αρνητική ενέργεια,
103, 108

Διαφοροποιητές,

—και αστέρες νετρονίων,
113

Doctor Who, 16

Εβερει, Χιου, 14

Εθνικά Εργαστήρια Σάντια,
100, 101

Εθνικό Εργαστήριο Μπρουκ-
χέιβεν, 98

Εικονικές σκουληκότρυπες,
97

Εικασία για την προστασία
της χρονολογίας, 138,
140, 150

Ελεύθερη βούληση, 121,
122, 124, 126

Ενδόρρηξη, 57, 58, 60, 78,
91, 99, 101, 103

Εντροπία, 128

Εξωτική ύλη, 82, 86, 88,
102, 103, 104, 110, 111,
112, 139

Επιστροφή στο Μέλλον, 16,
120

Επιαχυντές,

—και χωροχρονικός αφρός,
100

Επαφή, 80, 81, 86

Εγκλείδεια γεωμετρία, 61, 62

Ευρωπαϊκό Κέντρο Σωματι-
διακής Φυσικής (CERN),
29

$E=mc^2$, 40

Ηλιος, 56

—και βαρυτική δύναμή του,
56

«Θεωρία του παντός», 151
 Θορν, Κιπ, 81-83, 88, 97,
 124
 Θεωρία ειδικής σχετικότη-
 τας,
 —και ταχύτητα του φωτός,
 42
 —και χρόνος και κίνηση, 23
 Θεωρία Μ, 150

Ιδιομορφίες,
 —και υπόθεση κοσμικής λο-
 γοκρισίας, 79
 —και ανάδυση από, 78, 79
 —και σχηματισμός τους, 58,
 66, 68, 78
 —γυμνές, 79, 94, 151
 —και κατασκευή σκουληκό-
 τρυπας, 83, 94
 Ινστιτούτο Ανωτέρων Μελε-
 τών, 52

Καβορίτιδα, 83
 Κάσιμρ, Χέντρικ, 103
 Κάσιμρ, φαινόμενο, 98, 104,
 105

Κβαντική μηχανική,
 —και αιτιότητα, 130-132
 —και πολυσύμπαντα, 136
 Κβαντικό κενό, 94, 109, 110
 Κβαντικές σκουληκότρυπες,
 96, 97
 Κβαντική απροσδιοριστία,
 94, 132, 134
 Κβαντική θεωρία πεδίου,
 101
 Κβάζαρ, 142
 Κερ, Ρόι, 14
 Κήτινγκ, Ρίτσαρντ, 24
 Κρούκαλ, Μάρτιν, 66
 Κοσμικές χορδές,
 —περιγραφή, 141, 142
 —αρνητική πίεση, 141
 —χρονομηχανές, 141, 142,
 144
 Κύλινδροι, περιστρεφόμενοι,
 51, 55

Λέιζερ, 103, 106, 108, 110
 Λιβάν, Μάρτιν, 32

Μαγνητική σύσφιξη, 100,
 101

Μαύρες τρύπες,
 —πυθμένας, 66
 —σχηματισμός, 60, 101
 —βαρυτική δύναμη, 54, 58,
 64, 75-77, 82
 —ονομασία, 56, 57, 59
 —αρνητική ενέργεια, 84, 85,
 103
 —περιστροφή, 54, 75, 108
 —ιδιομορφίες, 58, 66, 68,
 70, 76, 78, 79, 83, 94,
 151
 —χρονομηχανές, 90, 101
 Μεγάλη Έκρηξη,
 —και αναστροφή χρόνου, 147
 Μέλλον,
 —χρονοτουρίστες, 118, 119
 —ταξίδι στο, 21
 Μιόνια, 29
 Μεγάλος Επιταχυντής Ηλε-
 κτρονίων-Ποζιτρονίων
 (LEP), 29
Μηχανή του χρόνου, Η (Γουέλς),
 16, 114
 Μηχανές αεικίνητου, 128,
 130
 Μιράντιπερι, Ρέι, 120

Nεύτων, Ισαάκ,

—και χρόνος, 17, 18, 22, 24,
 72
 Νεφέλωμα του Καρκίνου, 36
 Ντόιτς, Ντέιβιντ, 130, 136
 Νόμοι Νεύτωνα, 131
 Νοητικά πειράματα, 149

Oύνρου, Γουίλιαμ, 110

Παράδοξο γάτας του
 Σρέντινγκερ, 149
 Πένρουζ, Ρότζερ, 79
 Πλανκ, Μαξ, 96, 100, 101,
 102
 Πλανκ, μήκος, 96, 102
 Πλανκ, χρόνος, 96, 97, 101
 Πλάτων, 145
 Πλάσμα κουάρκ-γλοσιονίων,
 99
 Πληροφορία, 128, 130
 Περιστροφή,
 —και μαύρες τρύπες, 54, 75,
 108
 —και κύλινδροι, 51, 55
 —και σόμπαν, 53
 —και σκουληκότρυπες, 75
Πρώτοι άνθρωποι στη Σελήνη,

Οι (Γουέλς), 83
 Πολυνόμπανια, 136
 Προβολή Μερκάτορ, 88

Ρολόγια,
 —ατομικά, 24
 —και φαινόμενο διαστολής
 χρόνου, 26
 Ρόζεν, Νάθαν, 66

Σαγκάν, Καρλ, 80, 81
 Σβάρτσιλντ, Καρλ, 68
 Σκουληκότρυπα Σβάρτσιλντ,
 74, 75, 94
 Σουμέικερ-Λεβί 9, κομήτης,
 76
 Στρέβλωση χωροχρόνου,
 —και μαύρες τρύπες, 59, 60
 —και βαρυτικό πεδίο Γης,
 34, 59
 —και γενική σχετικότητα,
 31, 32
 —και υποθετικά συμπιεσμέ-
 νη Γη, 34
 —και αστέρες νετρονίων, 36
 —και ανάλογο ελαστικής επι-
 φάνειας/βαριάς σφαίρας, 64

Σεκέρες, Τζορτζ, 66
 Στρέβλωση χρόνου, 26, 29,
 31, 34, 49, 59, 64, 70
 Σύμπαν,
 —και διαστολή, 61
 —παράλληλο, 136
 —και περιστροφή, 53
 Σύσφιξη Z, 100
 Σταθεροποίηση, 102
 Συμπίεση φωτός, 106
 Σκουληκότρυπες,
 —και αντιβαρύτητα, 83, 84,
 86, 139
 —και πεθμέναι, 68
 —στην *Επαφή*, 81, 86
 —και καμπυλωμένος χώρος,
 61, 62
 —κβαντικές, 96, 97
 —και περιστροφή, 75
 —Σβάρτσιλντ, 74, 75, 94
 —δομή, 55, 66
 —και χρονομηχανές, 55,
 119, 138, 141
 —διαβατές, 75, 88
 —εικονικές, 97
 —και επιταχυντές, 92, 112
 —και διαφοροποιητής, 113
 —δωρεάν, 111
 —και πληθωρισμός, 102,
 111
 —και κβαντική θεωρία, 110

—και ιδιομορφίες, 94
Sound of thunder, 120

Ταχύτητα φωτός, 26, 28,
 29, 30, 40, 42, 44, 48, 55,
 123

Ταχυνία, σε σήματα προς
 το παρελθόν, 122-124

Timeline, 16

Ταχύτητα,

—και φαινόμενα της ειδικής
 σχετικότητας, 30, 31, 42

—και φως, 26, 29, 36, 42

Ταξίδι στο χρόνο,

—σύντομη ιστορία, 13-14

—στην *Επαφή*, 80

—στην επιστημονική φαντα-
 σία, 26, 148

—στο μέλλον, 31, 36, 45,
 114

—και γενική σχετικότητα,
 39, 51, 144

—και ειδική σχετικότητα,
 31, 43

—στο παρελθόν, 51

—και αιτιακοί βρόχοι, 120,
 131, 138

—και ελεύθερη πληροφορία,
 128-130

—και ελεύθερη βούληση,
 121, 122, 136

—και σενάριο μητροκτονίας,
 124, 136

—και παράλληλες πραγματι-
 κότητες, 136

—και απροσδιοριστία, 96,
 97

—και στρατηγικές ευημε-
 ρίας, 125, 128

Τίπλερ, Φρανκ, 55

Τήξη κβαντικού κενού, 99

Υπόθεση κοσμικής λογοκρι-
 σίας, 79

Υπερχορδές, 150

Φαινόμενο των διδύμων,
 31, 112

Φράγμα φωτός,

—και επιταχυνόμενα σωμα-
 τίδια, 123

—και αιτιότητα, 46, 48

—στην ειδική σχετικότητα,
 28, 123

Φυγόκεντρος δύναμη και βα-
 ρύτητα, 75, 76

Φλαμ, Λούντβιχ, 66
 Φόστερ, Τζόντι, 80, 81, 82
 Φούλινγκ, Στίβεν, 106, 110

Χ
 Χάφελε, Τζόε, 24, 26
 Χαλντέιν, Τζ.Μπ.Σ., 19
 Χόκινγκ, Στίβεν, 109, 138, 150
 Χιγκς, πεδίο, 102
 Χρονολογίας ορίζοντας, 139
 Χρόνος,
 —και διαφορετικές έννοιές του, 17, 19, 22
 —ως τέταρτη διάσταση, 43
 —και επίδραση βαρύτητας στο χώρο, 32
 —και επίδραση της κίνησης, 30
 —και ρολόγια, 29, 44, 113
 —και πείραμα Χάφελε-Κήτινγκ, 26
 —και διάρκεια ζωής μιονίου, 29
 —και ειδική σχετικότητα, 31, 43
 —και παράδοξο διδύμων, 30

—και διαστολή χρόνου, 29, 32, 39, 44, 112
 —και έννοια του «χώρου», 70, 74
 Χρονικοί βρόχοι, (βλ. επίσης αιτιακοί βρόχοι) 120, 125, 140, 150
 Χρονομηχανές,
 —και μαύρες τρύπες, 75, 144, 147
 —και κοσμικές χορδές, 141, 142, 144
 —και αστέρες νετρονίων, 113
 —και περιστρεφόμενοι κύλινδροι, 51, 55
 —και ταχύτητα, 55
 —και σύμπαν, 66, 68, 81, 114, 144
 —και σκουληκότρυπες, 74-80, 90, 91
 Χωροχρονικός αφρός,
 —και διάστασή του, 96
 —και σκουληκότρυπες, 96, 97, 111
 Χωρόχρονος,
 —και περιγραφή του, 70
 —και ειδική σχετικότητα, 22, 42

Είναι εφικτό το ταξίδι στο χρόνο;

Πρόκειται για ένα θέμα που προβληματίζει την ανθρωπότητα εδώ και αιώνες.

«Η απάντηση είναι οπωσδήποτε καταφατική», δηλώνει ο διακεκριμένος θεωρητικός φυσικός Πολ Ντέιβις.

Με επιστημονική ακρίβεια και πηγασίο χιούμορ, συνεχίζει: «Για να επισκεφθούμε το μέλλον, το μόνο που χρειαζόμαστε είναι μια μικρή βοήθεια από τη βαρύτητα κι ένα διαστημόπλοιο που να μπορεί να ταξιδέψει με ταχύτητα λίγο μικρότερη από εκείνη του φωτός. Όσο για την επιστροφή στο παρελθόν, ο καλύτερος τρόπος είναι να βρούμε μια γειτονική μαύρη τρύπα εξοπλισμένη με μια διοβατή σκουληκότρυπα».

Όμως, το ταξίδι στο χρόνο, ξεχειλίζει από «παράδοξα», στην καρδιά των οποίων βρίσκεται το πρόβλημα της αιτιότητας: αυτό που συνέβη χτες επηρεάζει αυτό που συμβαίνει σήμερα. Το πιο γνωστό από τα παράδοξα των ταξιδιών στο χρόνο είναι εκείνο όπου ο ταξιδιώτης επιστρέφει στο παρελθόν και δολοφονεί τη μητέρα του...

Εξαιρετικά ευρηματικό και θεωρητικά τεκμηριωμένο, το έργο *Χρονομηχανές* είναι «η δημιουργική επιστήμη στις καλύτερες στιγμές της». Το βιβλίο διαφωτίζει, διασκεδάζει και προκαλεί τη σκέψη.