

Κατά τόν 'Αριστοτέλη, τόσο ὁ χώρος, ὅσο καί ὁ χρόνος, εἶναι (δυνάμει) ἄπειρα διαιρετοί. Ἡ παρούσα στιγμή (τό νῦν) εἶναι συνέχεια χρόνου: «Συνέχει γάρ τόν χρόνον τόν παρελθόντα καί ἐσόμενον καί πέρας χρόνου ἐστίν· ἐστὶ γάρ τοῦ μὲν ἀρχή τοῦ δέ τελευτή». Τό κινητό εἶναι λοιπόν στό σημεῖο  $x$  κατά τή χρονική στιγμή  $t$ , μέ τήν ἔννοια ὅτι κατά τή στιγμή  $t_0$ - βρίσκεται στό σημεῖο  $x_0$ - καί τείνει νά φτάσει στό σημεῖο  $x_0$ + στό χρόνο  $t_0$ +. Ἐδῶ δηλαδή ἐπεμβαίνει ἡ ἔννοια τῆς συνέχειας, τοῦ ἀπειροστοῦ καί τοῦ ὄριου, πού εἶναι ἔννοιες δυναμικές, ἐνῶ στό τρίτο παράδοξο ὁ Ζήνων παίρνει πεπερασμένα διαστήματα καί διάκριτες χρονικές στιγμές, πού κάνουν πραγματικά ἀδιανόητη τήν κίνηση.

Ὁ χώρος εἶναι συνεχής, ἄρα ἄπειρα διαιρετός. Ὁ χρόνος εἶναι συνεχής, ἄρα ἄπειρα διαιρετός. Ἡ ταχύτητα εἶναι ὄριο ὅπου ὁ λόγος δύο ἀπειροστώδων δίδει ἓνα πεπερασμένο μέγεθος. Τό βέλος ἀντίστοιχα θά φτάσει στό στόχο του διανύοντας τό διάστημα  $AB$ , σά συνέπεια τῆς ὀλοκλήρωσης ἑνός ἀπειρου ἀριθμοῦ ἀπειροστώδων διαστημάτων, πού διανύονται σέ ἀπειροστούς χρόνους. Γιά τόν ἴδιο λόγο ὁ Ἀχιλλέας θά φτάσει τή χελώνα. Ἐπίσης ἡ κίνηση ἔχει ἀρχή καί τό πεπερασμένο διάστημα  $AB$  διανύεται σέ πεπερασμένο χρόνο. (Ἐνα ἄπειρο πλῆθος διανυσμάτων ἀμελητέου μέτρου μπορεῖ νά ἔχει μέτρο πεπερασμένο)<sup>16</sup>.

Τά παράδοξα τοῦ Ζήωνα μᾶς θέτουν μπροστά στά μεγάλα προβλήματα τῆς συνέχειας, τοῦ ἀπειροστοῦ καί τοῦ ἀπείρου, πού θά διεγείρουν πάντοτε τόν ἐπιστημονικό καί τό φιλοσοφικό στοχασμό.<sup>17</sup>

## 6.6. Τό βέλος τοῦ χρόνου

Συχνά χρησιμοποιεῖται ἡ ἔκφραση, βέλος τοῦ χρόνου, γιά νά ἀπεικονισθεῖ ἡ μονοσήμαντη κατεύθυνση τῆς ροῆς τοῦ χρόνου στό σύμπαν τῆς σχετικότητας. Ἀλλά τό βέλος τοῦ χρόνου δέν ἔχει νόημα, παρά μόνο σέ σχέση μέ τή μή ἀντίστρεψιμότητα.

Ἡ ἔννοια τοῦ χρόνου εἶναι ἀναπόσπαστη ἀπό τήν ἔννοια τῆς κίνησης: ὁ χρόνος μετριέται μέ τήν κίνηση, καί ἡ διάρκεια μιᾶς διαδικασίας δέν εἶναι παρά ὁ χρόνος ὁ ἀναγκαῖος γιά τήν πραγματοποιήσῃ της. Ἡ κοσμική ἐξέλιξη, τά γεωλογικά φαινόμενα, τά

16. Μιά ἐνδιαφέρουσα ἀνάλυση τῶν παραδόξεων σέ σχέση μέ τή συνέχεια τοῦ χώρου θά βρεῖ κανεῖς στό: E. Marquit, *Dialectics of Continuous and Discrete Spaces*, Univ. of Minnesota, Preprint, 1977.

17. Εἶναι προφανές ὅτι ἂν οἱ προηγούμενες σκέψεις ἔχουν κάποια ἀξία, αὐτή ἀφορᾷ τό μή κβαντικό ἐπίπεδο τῆς κίνησης. Στήν κβαντομηχανική παρουσιάζονται, ὅπως σημειώσαμε, εἰδικά προβλήματα.

φυσικοχημικά και τά βιολογικά, τό σύνολο τῶν μεταβολῶν πού παρατηροῦμε, μελετοῦμε και ἐκμεταλλευόμαστε, συνιστοῦν τό ὑλικό ὑπόβαθρο τοῦ χρόνου: τή βάση τῆς ἀντικειμενικότητάς του.

Ἡ αἰωνιότητα τῆς κίνησης εἶναι τό βασικό ἐπιχείρημα ὑπέρ τῆς αἰωνιότητας τοῦ χρόνου (Ἀριστοτέλης). Ὡστόσο στή νεώτερη κοσμολογία λέγεται συχνά ὅτι τό βέλος τοῦ χρόνου καθορίστηκε ἀπό τήν ἀρχική κατάσταση τοῦ σύμπαντος. Ὁ ἰσχυρισμός αὐτός ἔχει νόημα γιά πεπερασμένα συστήματα, στά ὁποῖα μπορεί νά ὀρισθεῖ ἕνας ἀρχικός χρόνος  $t_0$ . Ἀλλά τί νόημα μπορεί νά ἔχει γιά τήν «ὀλότητα» τοῦ σύμπαντος; Μιά καταφατική ἀπάντηση θά σήμαινε ὅτι τό σύμπαν ἔχει κάποια ἀρχή, πού δέν θά ἦταν ἄλλο ἀπό τό big-bang τῆς θεωρίας τῆς διαστολῆς. Ἀλλά καθὼς εἶδαμε, πέρα ἀπό ὁποιοσδήποτε φιλοσοφικές ἀντιρρήσεις, τό πρότυπο τοῦ διαστελλόμενου σύμπαντος ἀμφισβητεῖται και στό ἐπίπεδο τῆς κοσμολογίας. Ὅπωςδήποτε ἡ ὑπόθεση αὐτή - ἰδεολογική γενίκευση παρατηρησιακῶν δεδομένων πού ἡ αἰτία τους δέν εἶναι δεδομένη - δέ μπορεί νά ἀποτελέσει βάση γιά τήν ἀνάλυση τῆς ἔννοιας τοῦ χρόνου<sup>18</sup>.

Ὁ χρόνος μπορεί νά θεωρηθεῖ ἄπειρος, γιατί εἶναι ἀναπόσπαστος ἀπό τήν κίνηση. Ἡ φιλοσοφική αὐτή θέση δέν κλονίστηκε ἀπό τίς νεώτερες ἐπιστήμες, πού προσφέρουν ἀδιάκοπα ὑλικό ὑπέρ αὐτῆς. Τό σύμπαν τοῦ Minkowski συγκεκριμενοποίησε τή μὴ ἀντιστρεψιμότητα τοῦ χρόνου. Ἡ μονοσήμαντη κατεύθυνση καθορίζεται ἀπό τήν ἐξέλιξη τῆς ὕλης: Τά φαινόμενα γίνονται στό χρόνο και τόν ὑλοποιοῦν: ὑλοποιοῦν τή διάρκεια και τήν παρούσα στιγμή. Ὅπως γράφει ὁ Layzer, τό παρόν ἐμφανίζεται σάν τό μέτωπο ἑνός κύματος πού μεταμορφώνει τή δυναμικότητα σέ πραγματικότητα<sup>19</sup>. Τό βέλος τοῦ χρόνου στό σύμπαν τῆς σχετικότητας δέν παρουσιάζει ἀσυνέχειες.

Οἱ διαδικασίες πού πραγματώνουν τό χρόνο εἶναι αἰτιακές και καθορισμένες. Ἄν ὁ καθορισμός ἦταν στιγμιαίος και ἄν ὁ παγκόσμιος χρόνος εἶχε νόημα, τότε θά ἦταν πραγματικά δύσκολο νά συλλάβουμε τό χρόνο σά συνεχές μέγεθος (τή στιγμή, σάν ὄριο τοῦ χρόνου) και προπαντός νά ὑπάρξει τοπικός χρόνος. Ὁ σχετικιστικός χρόνος ἀντίστροφα συνδέεται μέ τόν καθυστερημένο και τοπικό καθορισμό.

18. Ἀκόμα και ἄν θά ὑπῆρξε κάποια ἔκρηξη στό μακρινό ἀλλά πεπερασμένο παρελθόν, πού θά ἀκολουθήθηκε ἀπό διαστολή, και πάλι τό φαινόμενο αὐτό δέ θά ἀφοροῦσε παρά ἕνα πεπερασμένο τμήμα τοῦ σύμπαντος, σέ μία συγκεκριμένη φάση τῆς ἐξέλιξής του. Τό φαινόμενο αὐτό θά ἦταν ἡ συνέχεια ἄλλων και ἐνδεχόμενα ἀντίστροφων φαινομένων, κ.ο.κ.

19. D. Layzer, The Arrow of Time, Scient. American, Dec 1975.

Τά φυσικά φαινόμενα είναι συνθετικές ή αποικοδομητικές διαδικασίες, όπου κάθε σύνθεση κάποιας μορφής είναι αποικοδόμηση άλλων μορφών και κάθε αποικοδόμηση καταλήγει σε άλλες μορφές. Η έντροπία, μέτρο της άταξίας του συστήματος, μπορεί να αυξάνει ή να μειώνεται στη διάρκεια ενός φαινομένου. Αλλά καθώς δεν υπάρχουν στιγμιαίες μεταβολές, ο χρόνος ρέει προς μιά και μοναδική κατεύθυνση.

Η μή αντιστρεψιμότητα γίνεται δεκτή για τό μακρόκοσμο. Έχουμε όμως δικαίωμα να ισχυριστούμε τό ίδιο και για τό μικρόκοσμο; Γιατί είναι γνωστό ότι οι εξισώσεις κίνησης των μικροφυσικών συστημάτων είναι συμμετρικές ως προς τήν αντιστροφή του χρόνου. Ωστόσο ή αντιστροφή είναι τυπική και θά ίσχυε θεωρητικά για ένα σύστημα πού σε απόλυτη απομόνωση θά «έξελισσόταν» σύμφωνα μέ τήν εξίσωση του Schrödinger. Ωστόσο μιά φυσική διαταραχή (πεδίο, όργανο, μέτρησης) μπορεί να προκαλέσει τόν ποιοτικό μετασχηματισμό του συστήματος και τό φαινόμενο αυτό δεν είναι αντιστρεπτό. Η μικροφυσική χειρίζεται γενικά, στατιστικά σύνολα μικροσυστημάτων. Αλλά στά σύνολα αυτά υπακούουν σε αυστηρούς πιθανοκρατικούς νόμους. Άρα σε ένα χρόνο  $\Delta t$ , θά μεταβληθούν ποιοτικά  $\Delta N$  μικροσυστήματα. Οι μεταβολές αυτές καθορίζουν τή ροή του χρόνου (και τή μεταβολή της έντροπίας) και όχι ή τυπική αντιστρεψιμότητα. Τά πραγματικά φαινόμενα δεν είναι αντιστρεπτά. Ένα πρωτόνιο και ένα αντιπρωτόνιο, π.χ., συγχωνεύονται και δίδουν έναν αριθμό  $\pi$  - μεσόνια. Τό αντίστροφο φαινόμενο δεν πραγματοποιείται.

Φυσικά τό πέραςμα από τή μικρο- στη μακρο- μή αντιστρεψιμότητα δεν είναι διόλου προφανές. Αλλά τό γεγονός είναι ότι στό γνωστό τμήμα του σύμπαντος ή έντροπία αυξάνει αδιάκοπα, άρα αυξάνει διαρκώς ή άταξία. Άρα, έρωτούν οι όπαδοί του πεπερασμένου σύμπαντος, τό σύμπαν αρχικά χαρακτηριζόταν από μεγάλη τάξη; Και κάποτε χαρακτηριζόταν από απόλυτη τάξη;

Τό έρώτημα προϋποθέτει μιά αποδοχή πού δεν είναι υποχρεωτικά θεμητή: τή γενίκευση δεδομένων ενός πεπερασμένου μέρους του σύμπαντος, σε «όλόκληρο» τό σύμπαν. Αλλά και τό πρόβλημα αυτό πρέπει να αντιμετωπισθεί μέ βάση τίς έννοιες της ιστορικότητας και της τοπικότητας. Άκόμα και στό γνωστό μας κόσμο υπάρχουν φαινόμενα όπου αναβαθμίζεται ή έντροπία. (Φυσικά τό σύστημα πού άντλεί άρνητική έντροπία από τό περιβάλλον, αποβάλλει ταυτόχρονα θετική έντροπία). Ωστόσο και γι' αυτά τά φαινόμενα δεν έχουμε λόγο να δεχτούμε ότι ο χρόνος ρέει αντίστροφα. Και γιατί να αποκλείσουμε τό ένδεχόμενο μιās περιόδου όπου στό σύμπαν μας θά μειωνόταν ή έντροπία, καθώς και τήν υπόθεση ότι σε άλλα τμήματα του σύμπαντος ή έντροπία μπορεί να μειώνεται; Αλλά και στά τμήματα αυτά ο χρόνος θά

ρέει προς μία κατεύθυνση, γιατί και η αναβάθμιση της ενέργειας γίνεται στο χρόνο.

Και αν τό σύμπαν μας υπακούει σ' ένα παλλόμενο πρότυπο; Για ένα παλλόμενο σύμπαν - γράφει ο P. Migman - ή έντροπία είναι κυκλική συνάρτηση του χρόνου. Και διερωτάται: Τό σύμπαν παραβιάζει τό δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής σέ μεγάλη κλίμακα, κινούμενο από περισσότερο, σέ λιγότερο πιθανές καταστάσεις; Δέν μπορούμε νά υποθέσουμε - καταλήγει - ότι είναι άπίθανη ή κυκλική μεταβολή της έντροπίας.<sup>20</sup> Και στην περίπτωση αυτή ώστόσο ο χρόνος ρέει, και ρέει προς μία κατεύθυνση: από τό παρελθόν προς τό μέλλον. Οί τυχόν κυκλικές μεταβολές δέν συνεπάγονται τήν «κυκλικότητα» του χρόνου. Τό σύμπαν του Minkowski είναι άσυμβίβαστο μέ μία τέτοια ύπόθεση.

Τό βέλος του χρόνου δέν είναι νοητική κατασκευή: δέν έχει νόημα παρά σέ σχέση μ' αυτά πού συμβαίνουν στη φύση. 'Επίσης δέν ύπάρχει τρόπος νά αντιστρέψουμε τή φορά του: ή χρονολογική τάξη δύο φαινομένων πού συνδέονται αίτιακά είναι - όπως έχουμε τονίσει - άπόλυτη (καμμιά άλλαγή του συστήματος αναφοράς δέ μπορεί νά τήν άγτιστρέψει). 'Η αίτία είναι πάντα προγενέστερη από τό αποτέλεσμα και τό χρονικό διάστημα πού χωρίζει τέτοια γεγονότα δέ μπορεί νά μηδενιστεί ή νά γίνει άρνητικό, μέ οποιαδήποτε άλλαγή του συστήματος αναφοράς.

'Αλλά - τονίζεται πάλι - οί κυματικές εξισώσεις των ήλεκτρομαγνητικων και των βαρυτικων κυμάτων είναι άμετάβλητες σέ σχέση μέ τήν άντιστροφή του χρόνου. 'Ωστόσο και αυτός ο μετασχηματισμός είναι τυπικός, και δέν άφορά τήν πραγματική έκπομπή και άπορρόφιση της άκτινοβολίας. Τά καθυστερημένα δυναμικά, π.χ., μετασχηματίζονται σέ προωθημένα, μέ τήν τυπική άντιστροφή του χρόνου. 'Αλλά ή έκπομπή και ή άπορρόφιση των ήλεκτρομαγνητικων κυμάτων είναι διαδικασία αίτιοκρατική και κανένα κύμα δέν θά θέσει σέ λειτουργία τό δείκτη προτου έκπεμφθει από τόν πομπό του. "Αν μπορούσε νά αντιστραφεί ο χρόνος, τότε και ή αίτιακή, γεννετική σχέση, θά έπρεπε νά αντιστραφεί. 'Η αίτία θά γινόταν άποτέλεσμα και άντίστροφα, και στη φύση θά συνέβαιναν οί πιο παράδοξες καταστάσεις.

### 6.7. Χρόνος και εξέλιξη

'Η θεωρία της βαρύτητας του Einstein προβλέπει, καθώς είναι γνωστό, κύματα βαρύτητας, ανάλογα μέ τά ήλεκτρομαγνητικά. Πρόκειται

20. F. Mirman, Found. of Physics, 5, 491 (1975)

για εγκάρσια κύματα που μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός. Στα κύματα αυτά αποδίδουν μηδενική μάζα ήρεμίας. Άρα ο τόπος της διάδοσης είναι και για αυτά η επιφάνεια του χαρακτηριστικού κώνου, και τα φαινόμενα που προκαλούν έχουν τη χρονική τάξη που χαρακτηρίζει και τα ηλεκτρομαγνητικά. Άκόμα οι ειδικοί υποθέτουν ότι στα κύματα αυτά πρέπει να αντιστοιχεί ένα κβάντο, τό βαρυτόνιο.

Τά κύματα βαρύτητας δέν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί. Η κύρια αιτία είναι ίσως η ασθενέστατη σύζευξή τους με την ύλη. Παρ' όλα αυτά, τά αποτελέσματα της υπαρξής τους είναι άπτά. Ένα άστρο, λ.χ., μπορεί να χάσει 5% άπ' τή μάζα του κατά τή βαρυτική κατάρρευση, με μορφή κυμάτων βαρύτητας που ακτινοβολεί. Επίσης, οι Choquet - Bruhat, Lichnerowicz, Παπαπέτρου και Zerilli μπόρεσαν να προβλέψουν δύο νέα φυσικά φαινόμενα: ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προκαλείται από βαρυτική ακτινοβολία και αντίστροφα. Έτσι κατανοείται η δυνατότητα μετατροπής της μιās μορφής στην άλλη μέσα στο πεδίο βαρύτητας ενός πυκνού σώματος. Σε μία περίπτωση ή απόδοση μπορεί να φτάσει τό 100%<sup>21</sup>.

Οι δύο άλλες μορφές φυσικῶν ἀλληλεπιδράσεων, ή ισχυρή και ή ασθενής, είναι μικρής ακτίνας δράσεως (της τάξης τῶν 10<sup>-13</sup> cm). Δέν μπορούν λοιπόν να παίξουν ρόλο στα κοσμολογικά φαινόμενα, που άφορούν μεγάλες αποστάσεις.

Ωστόσο ή σημασία τους για τήν κατανόηση πλῆθους κοσμολογικῶν φαινομένων είναι βασική, εξαιτίας του ρόλου που παίζουν στη φυσική τῶν στοιχειωδῶν σωματίων. Καθώς γράφει ο Thirring, όταν εξετάζει κανείς τή θεωρία της βαρύτητας από τήν άποψη τῶν στοιχειωδῶν σωματίων, τότε ή θεωρία αυτή γίνεται κάτι περισσότερο από μία άσκηση ρημάνιας γεωμετρίας: γίνεται γήϊνη επιστήμη<sup>22</sup>.

Ανάλογα με τά φαινόμενα και τίς φυσικές ἀλληλεπιδράσεις, μπορούμε να διακρίνουμε διάφορα «βέλη» χρόνου: τό θερμοδυναμικό, τό ιστορικό, τό κοσμολογικό, τό μικροσκοπικό.<sup>23</sup> Θα εξετάσουμε στη συνέχεια μερικές ὄψεις του προβλήματος. Θα θέλαμε ώστόσο να τονίσουμε ότι, καθώς μπορεί να δεί κανείς, τά διάφορα αυτά «βέλη» δέν είναι παρά διαφορετικές εκφράσεις συγκεκριμένων και διαφορετικῶν φυσικῶν διαδικασιῶν, μέσα από τίς ὁποῖες πραγματώνεται ὁ φυσικός τοπικός χρόνος. Πρέπει επίσης να τονιστεῖ ότι οι δυσκολίες για

21. R. Ruffini, La Recherche, 8, 908 (1975)

22. W. Thirring, Gravitation, CERN, 69 - 19

23. D. Layrer, The Astr. jour., 206, 559 (1976)

συγκεκριμένη κατανόηση τῶν σχετικῶν προβλημάτων εἶναι τεράστιες. Καί συχνά οἱ δυσκολίες καί οἱ μονόπλευρες θεωρήσεις ὀδηγοῦν σέ παράδοξα συμπεράσματα. Κατά τό δεύτερο θερμό δυναμικό ἀξίωμα, οἱ πιό πιθανές διαδικασίες γιά ἕνα ἀπομονωμένο σύστημα εἶναι αὐτές κατά τίς ὁποῖες ἡ ἐντροπία αὐξάνει, ἢ παραμένει σταθερή. Ἔτσι τό δεύτερο θερμοδυναμικό ἀξίωμα ὀρίζει μιά προνομιούχα κατεύθυνση τοῦ χρόνου, ἀπό τό παρελθόν πρός τό μέλλον.

Ἄλλά ἕνα μακροσκοπικό σύστημα ἀποτελεῖται ἀπό ἕνα τεράστιο πλῆθος μικροσυστημάτων, πού περιγράφονται ἀπό ἐξισώσεις ἀμετάβλητες ὡς πρός τήν ἀντιστροφή τοῦ χρόνου. Πῶς συμβιβάζεται λοιπόν ἡ (τυπική) μικροσκοπική ἀντιστρεψιμότητα, μέ τή μακροσκοπική μή ἀντιστρεψιμότητα; Ἐδῶ ἡ φυσική βρίσκεται ὅπως σημειώσαμε, μπροστά σέ μιά πραγματική δυσκολία.

Ἡ ἀρχή τῆς ἐντροπίας προκύπτει ἀπό τή στατιστική μελέτη τῶν κινήσεων στό μοριακό ἐπίπεδο. Ἄλλά οἱ νόμοι αὐτῶν τῶν κινήσεων εἶναι τυπικά ἀντιστρεπτοί ὡς πρός τήν κατεύθυνση τοῦ χρόνου. Ἡ μή ἀντιστρεψιμότητα στό μακροσκοπικό ἐπίπεδο δέν μπορεῖ νά ἐξηγηθεῖ ἀπό τήν τυπική ἀντιστρεψιμότητα στό μικροσκοπικό.

Ἄλλά ἡ μοναδική κατεύθυνση στό μακροσκοπικό ἐπίπεδο ἐκφράζεται μέ βάση τήν κατανομή τῶν πιθανοτήτων γιά τίς διάφορες καταστάσεις. Οἱ προβλέψεις αὐτές συμφωνοῦν μέ τή φυσική πραγματικότητα, ὅπου λ.χ. ἡ ἐκπομπή καί ἡ ἀπορρόφηση ἡλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας δέν μποροῦν νά ἀντιμετατεθοῦν χρονικά<sup>24</sup>.

Κατά μιά ἄποψη, ἡ κατεύθυνση τοῦ θερμοδυναμικοῦ βέλους εἶναι συνέπεια τῆς διαστολῆς τοῦ σύμπαντος. Ἔτσι ἡ κατεύθυνση τοῦ χρόνου κατά τήν ὁποία αὐξάνει ἡ ἐντροπία, συμπίπτει μέ τήν κατεύθυνση κατά τήν ὁποία τό σύμπαν διαστελλεται. Εἶδαμε τίς ἀντιρρήσεις πού ὑπάρχουν ἐναντίον τῆς ὑπόθεσης τῆς διαστολῆς. Ἄς δεχτοῦμε ὡστόσο φαινόμενα τοπικῆς διαστολῆς, ὅπως καί φαινόμενα τοπικῆς συστολῆς. Συστολή καί μείωση τῆς ἐντροπίας δέν θά σήμαινε τότε ἀντιστροφή τοῦ βέλους τοῦ χρόνου. Καί στή δεύτερη αὐτή περίπτωση ἡ συστολή θά εἶναι ἕνα ἐξελικτικό φαινόμενο πού γίνεται μέσα στό χρόνο, καί γίνεται ἀπό τό παρόν πρός τό μέλλον. Συνεπῶς ἡ ἐνδεχόμενη μείωση τῆς ἐντροπίας δέν θά σήμαινε ἀντιστροφή τοῦ χρόνου, ὅπως συχνά γίνεται δεκτό.

Ἡ ὑποβάθμιση τῆς ἐνέργειας δέν εἶναι ἡ μοναδική διαδικασία πού χαρακτηρίζει τό ἀέναο μεταβαλλόμενο σύμπαν (πού σ' αὐτή τήν περίπτωση θά προχωροῦσε ἀνέκκλητα πρός τό θερμικό θάνατο). Ἦδη

24. Βλ. σχετικά: H. Weyl, *Philosophy of Mathem. and Natural Science*, Princeton Un. Press, 1949.

από τὰ τέλη τοῦ περασμένου αἰώνα, ὁ Boltzmann παρατήρησε ὅτι ἡ ἀρχὴ τοῦ Γαμοί, στατιστικοῦ χαρακτήρα, ἰσχύει γιὰ φαινόμενα τῆς δικῆς μας κλίμακας, ἀλλὰ ὄχι σὲ κλίμακα μοριακῆ. Ὁ Poincaré σὲ συνέχεια ἀμφισβήτησε τὴν ἰσχύ αὐτῆς τῆς ἀρχῆς στὴν κλίμακα τῶν οὐρανίων σωμάτων καὶ ὁ B. Brunhes τόνιζε ὅτι πρέπει νὰ ἀποφεύγουμε νὰ μιλάμε γιὰ ἔντροπία τοῦ σύμπαντος, «πράγμα πού δὲν ἐμπόδισε ἕνα πλῆθος συγγραφεῖς νὰ πῆσουν στὴν παγίδα»<sup>25</sup>.

Στὴ φύση πραγματοποιοῦνται διαδικασίες μὲ αὐξηση ἔντροπίας. Ὡστόσο ἄλλες διαδικασίες (βαρυτικὴ κατάρρευση, σύγκρουση γαλαξιών, κοσμικὴ ἀκτινοβολία, κλπ.) ἀναβαθμίζουν τὴν ἐνέργεια. Τὸ σύμπαν λοιπὸν δὲν «γερνᾷ» κατὰ μία ἀναπόδραστη ἀναγκαιότητα. Ἀλλὰ ἡ ὑπαρξὴ ἀντιστρεπτῶν ἢ ἡμι-ἀντιστρεπτῶν διαδικασιῶν δὲν σημαίνει ἀντιστροφή τοῦ θερμοδυναμικοῦ βέλους τοῦ χρόνου. Ἡ ποικιλία μορφῶν καὶ διαδικασιῶν πραγματοποιεῖται στό χρόνο. Ἡ αὐξηση ἢ ἡ μείωση κάποιου φυσικοῦ μεγέθους, συνδεόμενου μάλιστα μὲ ὀρισμένες καταστάσεις τῆς ὕλης, δὲ σημαίνει ἀντιστροφή τῆς ροῆς τοῦ χρόνου, πράγμα ἀδιανόητο τόσο ἀπὸ τὴν ἄποψη τῆς κοινῆς ἐμπειρίας, ὅσο καὶ ἀπὸ αὐστηρὰ φυσικὴ ἄποψη.

Φαινόμενα μὲ μείωση τῆς ἔντροπίας εἶναι δυνατὰ καὶ στό μικρόκοσμο, ὅπως καὶ στοὺς ζωντανούς ὀργανισμούς. Ἀλλὰ καὶ σ' αὐτές τίς περιπτώσεις δὲν σημαίνει ὅτι ἔχουμε ἀντιστροφή τῆς κατεύθυνσης τοῦ χρόνου. «Ἡ ἔντροπία γράφει ὁ Melukhin, εἶναι εἰδικὴ φυσικὴ ιδιότητα πού χαρακτηρίζει τὴ θερμικὴ μορφή κίνησης. Δὲν ἐκφράζει τὸ περιεχόμενο τῆς βαρυτικῆς ἀλληλεπίδρασης, ἢ τῶν ἐνδοπυρηνικῶν, ἠλεκτρομαγνητικῶν καὶ ἀσθενῶν ἀλληλεπιδράσεων. Ἀντίθετα ὁ χρόνος εἶναι καθολικὴ μορφή ὑπαρξῆς τῆς ὕλης, πού ἐκφράζει τὴ διάρκειά καὶ τὴ διαδοχὴ ὄλων τῶν μεταβολῶν καὶ ὄλων τῶν εἰδῶν ἀλληλεπίδρασης»<sup>26</sup>.

Ἡ μὴ ἀντιστρεψιμότητα, ἡ αὐξηση τῆς ἔντροπίας, ὁ αἰτιακός καθορισμός καὶ ἡ κατεύθυνση τοῦ χρόνου στό μικρόκοσμο, συνδέονται μὲ τὸν τρόπο πού σκιαγραφήσαμε. Πολλοὶ θεωροῦν τὴν ἀρχὴ τῆς αἰτιότητας στό μακρόκοσμο σὰ συνέπεια τοῦ δευτέρου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος. Ἀλλὰ οἱ κυματικὲς ἐξισώσεις εἶναι ἀμετάβλητες ὡς πρὸς τὴν ἀντιστροφή τοῦ χρόνου καὶ γενικά στό μικρόκοσμο οἱ δύο κατευθύνσεις τοῦ χρόνου εἶναι τυπικὰ ἰσοδύναμες. Ἀπὸ αὐτὴ τὴν τυπικὴ δυνατότητα, ὀρισμένοι καταλήγουν νὰ μὴ θεωροῦν τὴν ἀρχὴ τῆς

25. A. Dauvillier, *Revue de Synthèse*, 83-84, 191 (1976)

26. Συλλογὴ: *Philos. Probl. of Elem. Principles Physics*, Moscow, 1963.

αιτιότητας σαν γενικό φυσικό νόμο: «'Από την άποψη της μικροσκοπικής αντιστρεψιμότητας των στοιχειωδών φαινομένων, δεν υπάρχει έδαφος για να θεωρήσουμε την αρχή της αιτιότητας σαν απόλυτο φυσικό νόμο και μπορούμε να την αντικαταστήσουμε με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής (ή να τη θεωρήσουμε συνέπεια αυτού του νόμου)» (Terletski)<sup>27</sup>.

'Αλλά δεν είναι δύσκολο να δει κανείς ότι πραγματική σχέση είναι ακριβώς ή αντίθετη: οι αλληλεπιδράσεις και οι αίτιακοί καθορισμοί προσδιορίζουν την πορεία των γεγονότων, τό μή αντιστρεπτό χαρακτήρα τους, την ισχύ του 2ου θερμοδυναμικού αξιώματος, και την κατεύθυνση του χρόνου. 'Η αντιστροφή του χρόνου είναι καθαρά τυπική.

Τά πραγματικά γεγονότα διαδραματίζονται πρός μία και μοναδική χρονική κατεύθυνση. Σ' όρισμένες περιπτώσεις μπορεί να έχουμε μείωση της έντροπίας. Αυτό δεν σημαίνει ότι ή ροή του χρόνου αντιστρέφεται, καθώς και ή αιτιακή σχέση πού είναι πάντα καθορισμένη.

Λέγεται συχνά ότι ή περιοδική κίνηση είναι τό μέτρο του χρόνου. Αυτό είναι αλήθεια από πρακτική άποψη, τόσο για τό ήλιακό ρολόϊ και τό σεληνιακό μήνα, όσο και για τό μηχανικό ή τό άτομικό ρολόϊ. 'Αλλά - κατ' αρχήν - κάθε περιοδική κίνηση έμπεριέχει την ίδια την άρνησή της: κάθε περίοδος σημαίνει και ένα βήμα πρός τά εμπρός, πρός τή φορά του χρονικού βέλους (ή φάση του περιοδικού συστήματος αυξάνει σε κάθε περίοδο). 'Εξάλλου ο χρόνος συνδέεται γενικά με την κίνηση - άρα με τή μεταβολή, την εξέλιξη, την υποβάθμιση, την ποσοτική ή την ποιοτική αλλαγή - και τά φαινόμενα δεν είναι συνήθως περιοδικά. 'Αλλά τό κυριώτερο, ο χρόνος συνδέεται γενικά με τή μή αντιστρεπτή ροή των φαινομένων<sup>28</sup>.

Σύμφωνα με ένα κατάλοιπο της τελολογικής και ειδικά της έγεγανθής αντίληψης, σχηματίζουμε συχνά μία αποκλειστικά αϊσιόδοξη αντίληψη για την αλλαγή: ή αλλαγή ταυτίζεται με την εξέλιξη, με τό πέρασμα σε όλο και πίο σύνθετες μορφές, τό πέρασμα από τό κατώτερο στο άνωτερο, κλπ. Αυτός ο τύπος ανάπτυξης υπάρχει και εκδηλώνεται παντού. 'Ωστόσο υπάρχουν και άλλοι τύποι μεταβολών: υποβάθμιση,

27. Ibid. 'Επίσης Y. Terletski, the Paradoxes in Relativity, Plenum Press, 1968.

28. Για τό πρόβλημα της αντιστρεψιμότητας, βλ. ανάμεσα στα άλλα: 1) P.C.W. Davies, The Physics of Time Asymmetry, Univ. of California Press, 1974, 2) F. Fer, L'irréversibilité, Gauthier - Villars, 1977, 3) I. Prigogine, Introd. à la Thermodyn. des processus irréversibles, Dunod, 1968.



ἀποικοδόμηση, κλπ. Ὁ ἰσχυρισμός ὅτι τό σύμπαν ἐξελίσσεται σέ ὄλο καί πιά σύνθετες μορφές καί ὅτι ὁ χρόνος μετρά αὐτή τήν ἐξέλιξη, ἀποτελεῖ αὐθαίρετη γενίκευση τῆς δεσπόζουσας τάσης αὐτοῦ πού ζοῦμε σέ μιά εἰδική φάση τῆς ἐξέλιξης τοῦ πλανήτη μας. Στό σύμπαν ὑπάρχουν κλάδοι ἀνερχόμενοι καί ἄλλοι ὅπου κυριαρχεῖ ἡ ἀποικοδόμηση. Λέγεται ὅτι ὑπάρχουν «κύκλοι» φαινομένων, ἐνῶ στήν πραγματικότητα πρόκειται γιά μιά ἐλικοειδή κίνηση πού πορεύεται μέ τό ρεῦμα τοῦ χρόνου. Ἡ ὕλη μεταμορφώνεται ἀδιάκοπα, τόσο στή μικροσκοπική κλίμακα, ὅσο καί στήν κλίμακα τῶν γαλαξιδῶν καί τῶν γαλαξιακῶν συστημάτων. Οἱ κινήσεις αὐτές ὑπερβαίνουν στό σύνολό τους τίς παρατηρησιακές μας ἱκανότητες καί τά ἐννοιολογικά μας συστήματα.

Τά φαινόμενα προκύπτουν ἀπό τίς ἀλληλεπιδράσεις καί τούς ἀμοιβαίους καθορισμούς τῶν φυσικῶν συστημάτων. Ὁ χρόνος δέν εἶναι τό καθολικό ἀφηρημένο, ἀλλά τό συγκεκριμένο πού συνδέεται μέ τά φαινόμενα καί πραγματώνεται μέσα ἀπό αὐτά.

Μέ βάση τήν τυπική ἀντιστρεψιμότητα τῶν μικροφαινομένων, ὑποστηρίζεται ὅτι ἡ ἀρχή τῆς αἰτιότητας δέν εἶναι καθολική, καί ὅτι θά μποροῦσε νά ἀντικατασταθεῖ ἀπό τό δεύτερο νόμο τῆς θερμοδυναμικῆς. Ἀλλά: 1) Καθώς σημειώσαμε, ἡ ἀντιστρεψιμότητα εἶναι τυπική καί δέν ἀφορᾷ τῆς αἰτιοκρατημένες πραγματικές μεταβολές καί 2) ἡ ἀρχή τῆς αἰτιότητας εἶναι ἀρχή γενετική καί ἐλέγχεται καί βεβαιώνεται σέ κάθε εἰδική περίπτωση.

Τό ἐνδεχόμενο, τέλος, νά ὑπάρχουν ὑπερφωτεινές ἀλληλεπιδράσεις (ταχύτερες ἀπό τίς ἠλεκτρομαγνητικές) δέν ἀντιφάσκει μέ τή θέση κατά τήν ὁποία τά φαινόμενα γίνονται στό χρόνο, ἄρα ὅτι ὁ χρόνος μετρά τή διάρκειά τους, ἄρα ὅτι ὁ χρόνος ρέει πάντα, ἀπό στιγμή σέ στιγμή, πρὸς τό μέλλον.

Ἡ μείωση τῆς ἐντροπίας - ὅπως σημειώσαμε - δέν συνεπάγεται τήν ἀντιστροφή τῆς κατεύθυνσης τοῦ χρόνου: ἡ ἐντροπία χαρακτηρίζει μιά ὀρισμένη φυσική ἀταξία, ἐνῶ ὁ χρόνος μπορεῖ νά θεωρηθεῖ γενική μορφή τοῦ εἶναι. Ἀντίστοιχα καί ἡ ἀρχή τῆς αἰτιότητας, ἀκόμα καί στό μικρόκοσμο, δέν μπορεῖ νά ὑποκατασταθεῖ ἀπό τό δεύτερο θερμοδυναμικό ἀξίωμα: ἡ ἀρχή αὐτή ἀφορᾷ συγκεκριμένες γενετικές σχέσεις σ' αὐτό τό ἐπίπεδο, μέ συγκεκριμένο φυσικό περιεχόμενο. Ἡ ποικιλία τῶν μικροφαινομένων, τόσο ἀπό φυσική, ὅσο καί ἀπό θερμοδυναμική ἄποψη, ἑναρμονίζεται μέ τήν μή ἀντιστρεψιμότητα τοῦ χρόνου<sup>29</sup>.

29. Γιά ὀρισμένες ἀπόψεις ἀντίθετες ἀπό αὐτές πού ὑποστηρίζονται σ' αὐτό τό κείμενο, βλ. Y. Terletski, *Paradoxes in the Theory of Relativity*, Plenum Press, 1968. Ἐπίσης βλ. τή συλλογή: *Philos. Problems of Elementary Particles Physics*, *op. cit.*