

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΝΕΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΙΠΤΣΙΟΣ

ΠΕΜΠΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΧΕΤΙΚΙΣΤΙΚΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟΣ*

*Ήταν λουλούδια άορατα πολλές φορές
λουλούδια θαμμένα
κι' άλλες φορές φωτίσανε τά πέταλά τους σάν πλανήτες
Π. Νερούντα*

Στά προηγούμενα κεφάλαια μελετήσαμε τις δύο θεωρίες του Einstein και τις σχέσεις τους με τά φαινόμενα του ήλεκτρομαγνητισμοῦ και τῆς βαρύτητας, καθώς και με τή νεώτερη κοσμολογία. Προσπαθήσαμε μέσα άπ' αυτή τήν έκθεση νά συλλάβουμε όρισμένες όψεις τῆς ένότητας του μικρόκοσμου με τό μέγάκοσμο, μιᾶς ένότητας πού λειτουργεῖ μέσα στην ποιοτική διαφορά και στις άσύλληπτες ποσοτικές διαφορές. Θα επιχειρήσουμε τώρα νά σκιαγραφήσουμε όρισμένα προβλήματα όπου επεμβαίνουν συνήθως και ο ήλεκτρομαγνητισμός και ή βαρύτητα, αναδεικνύοντας κατά τό δυνατό, τις σχέσεις ανάμεσα στό μικρό και στό μέγα. Από τό πλήθος τῶν σχετικῶν φαινομένων επιλέξαμε εκείνα πού κατά τήν εκτίμησή μας παρουσιάζουν έντονότερο επιστημολογικό και φιλοσοφικό ενδιαφέρον.

5.1. 'Η καθολικότητα τῆς βαρύτητας'

Από πρώτη όψη, ή θεωρία τῆς βαρύτητας του Einstein είναι μιᾶ θεωρία του μακρόκοσμου και προπαντός του μέγάκοσμου. Η θεωρία αυτή άλλωστε, αναζήτησε τήν επαλήθευσή της στην άπεραντοςύνη τῶν κοσμικῶν χώρων. Αλλά ή επέκταση τῶν γνώσεων στό χώρο τῆς μικροφυσικῆς τῆς ἔδωσε νέο περιεχόμενο και ἔθεσε πολλά συναρπαστικά προβλήματα. Ἐτσι τό πεδίο της εκτείνεται τώρα από τά κοσμικά φαινόμενα, μέχρι τά 10^{-13} cm. Και στις δύο κατηγορίες φαινομένων, τά

* Δημοσιεύθηκε στό επιστημολογικό περιοδικό SCIENTIA, 111, 401 (1976). Στο αρχικό κείμενο έγιναν όρισμένες βελτιώσεις.

προβλήματα τής βαρύτητας σχετίζονται με άλλα που προκύπτουν από την ειδική θεωρία και τον ηλεκτρομαγνητισμό. Στο άρθρο αυτό θα επιχειρήσουμε να αναλύσουμε όρισμένα προβλήματα που συνδέονται με τις σχετικιστικές θεωρίες, και προπαντός με την περιοχή του μικρόκοσμου.

Η θεωρία τής βαρύτητας, του Einstein, είναι από πρώτη ματιά μία θεωρία του μακρόκοσμου, και προπαντός του μεγάκοσμου. Αλλά η όλο και πιο λεπτή γνώση των μικροφυσικών φαινομένων έδωσε νέο περιεχόμενο σ' αυτή τή θεωρία και έθεσε - καθώς είδαμε - συναρπαστικά προβλήματα.

Η βαρύτητα είναι καθολική αλληλεπίδραση. Κανένα είδος σωματίων δεν τής διαφεύγει: δεν γνωρίζουμε μορφές ύλης που να μην έλκονται, όση και να είναι η απόσταση, ή η ποσότητά τους. Η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση αντίθετα, ασκείται μόνον ανάμεσα σε φορτισμένα σώματα, και μπορεί να είναι έλξη ή άπωση. Επίσης τά αντίθετα φορτία εξουδετερώνονται. Τέλος οι ισχυρές αλληλεπιδράσεις αφορούν μία μόνο οικογένεια - τά αδρόνια - ενώ οι ασθενείς εκδηλώνονται μόνο σε μία κατηγορία μετασχηματισμών. Τά υλικά σώματα αντίθετα έλκονται πάντα με τό διάμεσο τής βαρύτητας, και οι βαρυτικές μάζες δεν εξουδετερώνονται ποτέ.

Όστόσο, η βαρυτική αλληλεπίδραση είναι εξαιρετικά ασθενής. Έτσι η βαρυτική έλξη ανάμεσα σε δύο πρωτόνια είναι $0,8 \times 10^{-36}$ φορές ασθενέστερη από την ηλεκτροστατική τους άπωση και φυσικά είναι πολύ πιο ασθενής σε σχέση με τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις. Εντελώς νόμιμα αγνοείται λοιπόν στή φυσική των στοιχειωδών σωματίων¹.

Αλλά καθώς έχουμε σημειώσει, οι ισχυρές και οι ασθενείς αλληλεπιδράσεις έχουν πολύ μικρή ακτίνα δράσεως. Συνεπώς σε μεγάλες αποστάσεις η βαρυτική αλληλεπίδραση δεσπόζει στις δύο άλλες. Και οι ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση έχει, θεωρητικά, άπειρη ακτίνα δράσεως. Αλλά καθώς τά μακροσκοπικά σώματα είναι λίγο πολύ ουδέτερα, η βαρυτική αλληλεπίδραση κυριαρχεί σε μεγάλη κλίμακα, πάνω στην ηλεκτρομαγνητική. Τά ηλεκτρικά φορτία εξουδετερώνονται άμοιβαία, και τά μακροσκοπικά σώματα, γενικά, δεν

1. Η σχέση ανάμεσα στή βαρυτική έλξη και την ηλεκτρομαγνητική άπωση δύο

πρωτονίων είναι $G \cdot \frac{m_p^2}{r} = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{e^2}{r}$ όπου G είναι η σταθερά τής βαρύτητας

m_p η μάζα του πρωτονίου, e τό φορτίο του πρωτονίου και r η απόσταση ανάμεσα στα δύο σώματα. Αν πάρουμε τή σταθερά τής λεπτής δομής $\alpha = 10^{-2}$ όρίζουμε

μιά σταθερά βαρυτικής λεπτής δομής ίση με $\alpha_G = \frac{1}{2} \times 10^{-38}$

ἀσκοῦν μεταξύ τους ἀξιόλογες ἠλεκτροστατικές δυνάμεις. Ἐν τῷ φαινόμενῳ τῆς βαρύτητας ἀθροίζεται γιὰ ἓνα σύνολο σωματίων, γιὰ τὸ βαρυτικό φορτίο εἶναι πάντα μονοσήμαντο. Ἐτσι ἡ «δύναμη» αὐτή, παρά τὴν ἀσθενή ἰσχύ της, γίνεται, ὑπὸ ὁρισμένες συνθήκες, κυριαρχική.

Γιὰ μεγάλες μᾶζες, ὅπως οἱ μᾶζες ὁρισμένων ἀστέρων, ἡ βαρύτητα ὄχι μόνο κυριαρχεῖ, ἀλλὰ καὶ προκαλεῖ νέα, ἐξαιρετικά ἐνδιαφέροντα φαινόμενα². Ἐτσι, ἓνα σωματίο πού βρίσκεται - ἢ πού θά πέσει - στό ἐσωτερικό τέτοιων ἀστέρων δέν μπορεῖ νά διαφύγει στό γύρω χῶρο. Ἀκόμα καὶ τὰ φωτόνια, πού ἡ μᾶζα τους εἶναι ἀμελητέα, δέν μποροῦν νά ἐξέλθουν ἀπὸ ἓνα τέτοιο ἀστὲρα, πού γίνεται ἔτσι μαύρη ὄπη. (Μιά μαύρη ὄπη μπορεῖ νά ἀκτινοβολεῖ: ἡ ὕλη πού πέφτει πάνω της θερμαίνεται καὶ ἀκτινοβολεῖ μόνις ὅμως περάσει τὸν «ὀρίζοντα γεγονότων» καταπίνεται ἀπὸ τὴ μαύρη ὄπη, χωρὶς οὔτε αὐτή, οὔτε ἡ ἀκτινοβολία της νά μποροῦν νά διαφύγουν). Φωτόνια πού περνοῦν ἀπὸ τὴ γειτονία μεγάλων ἀστέρων «ἐλκονται» ἀπὸ τὸ βαρυτικό πεδίο τους, καὶ οἱ τροχιές καὶ οἱ ταχύτητές τους μεταβάλλονται.

Εἶναι γνωστό ὅτι ἡ κλασικὴ φυσικὴ γνωρίζει καταστάσεις τέλει ἀκίνησις. Ἐν τῷ κβαντικῇ μηχανικῇ, μιά τέτοια κατάσταση εἶναι ἀνέφικτη: ἡ κίνηση εἶναι ἐνδογενὴς καὶ ἀναπαλλοτρίωτη ἰδιότητα κάθε φυσικοῦ συστήματος. Ἀκόμα καὶ ἡ χαμηλότερη ἐνεργειακὴ στάθμη διατηρεῖ, σύμφωνα μὲ τὴν ἀνισότητες τοῦ Heisenberg, μιά ὁρισμένη ποσότητα κίνησης³.

Ἡ βαρυτικὴ ἔλξη στό ἐσωτερικό τῶν ἀστέρων ἀντισταθμίζεται ἀπὸ τὴ θερμοκρασία καὶ τὴν «ἐνέργεια μηδενικοῦ σημείου» τοῦ ἠλεκτρονικοῦ νέφους. Στὰ συνήθη ἄστρα οἱ ἀντιθετικὲς δυνάμεις ἀντισταθμίζονται. Ὡστόσο ἓνα ἄστρο μπορεῖ νά χάσει τὴ σταθερότητά του. Πράγματι, ἂν ὁ ἀριθμὸς τῶν σωματίων πού τὸ ἀποτελοῦν ὑπερβεῖ μιά

2. Ἡ μᾶζα τέτοιων ἀστέρων εἶναι τῆς τάξεως τῶν 10^{33} - 10^{34} γραμμάρια, ἄρα ὁ ἀριθμὸς τῶν νουκλεονίων τους εἶναι τῆς τάξεως τῶν 10^{57} - 10^{58} . Ἡ βαρυτικὴ ἐνέργεια τοῦ

$$\text{ἀστέρα εἶναι } E_G = \alpha_G \cdot \frac{N^2}{r}$$

3. Εἶναι γνωστό ὅτι ἡ ἐνέργεια τοῦ κλασικοῦ ἁρμονικοῦ ταλαντωτῆ: $E = \frac{1}{2} m \cdot \omega^2 \cdot r^2$

δέχεται ἓνα κατώτερο ἐπίπεδο ($E=0$) ὅπου τὰ $\langle p \rangle^2$ καὶ $\langle q \rangle^2$ μηδενίζονται.

Ἀλλὰ στὴν κβαντικὴ μηχανικὴ ἔχουμε γιὰ τοὺς τελεστές τῆς ὀρμῆς (p) καὶ τῆς

$$\text{θέσης (q): } [p, q] = i\hbar \text{ καὶ γιὰ τὴν ἐνέργεια } E = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega \quad . \text{ Ἐτσι, ἀκόμα}$$

καὶ γιὰ τὸ χαμηλότερο ἐπίπεδο ἡ ἐνέργεια δέν εἶναι μηδενικὴ καὶ οἱ μέσες τιμές τῶν p^2 καὶ q^2 δέν εἶναι μηδέν. Ἄρα, ἀκόμα καὶ στό χαμηλότερο ἐπίπεδο ὑπάρχει μιά ὁρισμένη κίνηση καὶ μιά ἀντίστοιχη ἐνέργεια.

κρίσιμη τιμή, τῆς τάξης τῶν 10^{57} , τό ἄστρο ὑφίσταται *βαρυτική κατάρρευση*. Σά συνέπεια ἐκλύεται μιά τρομερή ἐνέργεια, τῆς τάξεως τῶν 100 Men κατά σωματίο ($1 \text{ Men} = 10^6$ ἠλεκτρονιοβόλτ), ἡ κατάρρευση γίνεται ὄλο καί πιά ἔντονη καί ἡ φωτεινότητα τοῦ ἀστέρα μπορεῖ νά φτάσει τῆ φωτεινότητα ἐνός ὀλόκληρου γαλαξία! Πυκνά ἄστρα, ὅπως οἱ λευκοί νάνοι καί τὰ νετρονικά ἄστρα⁴, μέ μάζα μεγαλύτερη ἀπό 3 ἠλιακές μάζες καταρρέουν ὄλο καί περισσότερο καί καταλαμβάνουν ὄλο καί πιά λίγο χῶρο. Ἐτσι ἡ καμπυλότητα τοῦ χῶρου αὐξάνει στήν περιοχὴ τους τόσο ὥστε τὸ φῶς, πού κινεῖται σέ γεωδесικές γραμμές, νά μὴν μπορεῖ νά ξεφύγει στό γύρω χῶρο. Ἐνα τέτοιο ἄστρο εἶναι μιά μαύρη ὀπή. (Στὸ ραδιογαλαξία Παρθένος A, ἀνακαλύφθηκε μαύρη ὀπή μέ μάζα 5 δισεκ. ἠλιακές μάζες).

Τὰ προηγούμενα φαινόμενα εἶναι ἀπό τὰ πιά θεαματικά πού ὀφείλονται στή βαρύτητα. Αὐτὴ ἡ ἐξαιρετικὰ ἀσθενὴς ἀλληλεπίδραση μπορεῖ νά προκαλέσει γιγαντιαῖα φαινόμενα. Τέτοια φαινόμενα συγκεκριμενοποιοῦν τὴ σχέση ποσότητα - ποιότητα: ἂν ξεπεραστεῖ ἕνα ὄριο μάζας, τό οὐράνιο σῶμα μεταμορφώνεται ποιοτικά καί γίνεται πηγὴ νέων φαινομένων. Στὰ φαινόμενα αὐτὰ ἔχουμε ἐπίσης μιά συγκεκριμένη ἐκδήλωση τῆς ἐνότητας μικροσκοπικοῦ καί μακροσκοπικοῦ: τό τελευταῖο ἐκδηλώνεται μέσα ἀπὸ ἕνα τεράστιο ἀριθμὸ τυχαίων μικροσκοπικῶν διαδικασιῶν, πού τό συνολικὸ τους ἀποτέλεσμα εἶναι μιά νέα ποιότητα μέ δικούς της νόμους. Κάτω ἀπὸ τὸν αὐστηρὸ μακροσκοπικὸ καθορισμὸ λειτουργοῦν οἱ νόμοι τοῦ τυχαίου, πού μέ τὴ σειρά τους ἐπικαλύπτουν ἄλλες διαδικασίες δυναμικοῦ χαρακτήρα καί ἄλλα τυχαῖα φαινόμενα.

Ἡ μελέτη τῶν στοιχειωδῶν σωματίων ὀδήγησε τοὺς φυσικοὺς νά διερωτηθοῦν μήπως ὑπάρχουν στή φύση ἀπωθητικὲς βαρυτικὲς δυνάμεις, δηλαδή ἂν ὑπάρχει ἀντιβαρύτητα.

Εἶναι γνωστὸ ὅτι ὑπάρχει ἕνα εἶδος διχοτομίας τῆς ὕλης στό μικροφυσικὸ ἐπίπεδο: Τό σύνολο τῶν σωματίων χωρίζεται σέ δύο ἀντιθετικὰ ὑποσύνολα, τὰ σωματῖα καί τὰ ἀντισωματῖα. Ἐνα σωματίο καί τό ἀντισωματίο του ἔχουν τὴν ἴδια μάζα, τὸν ἴδιο χρόνο ζωῆς, τό ἴδιο

4. *Λευκοὶ νάνοι*: Ἐξαιρετικὰ πυκνά ἄστρα, τελικὸ στάδιο τῆς ἐξέλιξης ἀστέρων μικρῆς μάζας (λιγότερο ἀπὸ 5 ἠλιακές μάζες). Ἡ ὕλη τους ἀποτελεῖται ἀπὸ πυρῆνες καί ἠλεκτρόνια.

Νετρονικά ἄστρα: Πολύ πυκνά ἄστρα (μιά μάζα ἴση μέ τοῦ ἡλίου ἔχει ἀκτῖνα 10χιλιομ.), μέ ὕλη ἐκφυλισμένη, πού ἀποτελεῖται κυρίως ἀπὸ νετρόνια. Οἱ πάλσαρς καί ὀρισμένες πηγές ἀκτίνων X εἶναι πιθανόν νετρονικά ἄστρα, κατάλοιπα ἀπὸ ἐκρήξεις ὑπερκαινοφανῶν ἀστέρων.

σπίν, αλλά αντίθετο φορτίο, λεπτονικό ή βαρυονικό αριθμό και αντίθετη παραδοξότητα. Κάθε σωματίο έχει τό αντισωματίό του. (Τρία σωματρία: τό φωτόνιο, τό ουδέτερο π-μεσόνιο και τό η-μεσόνιο, ταυτίζονται μέ τά αντισωματρία τους. Τά τρία αυτά σωματρία έχουν μηδενικό φορτίο και μηδενική παραδοξότητα).⁵

Περνάμε από τό σωματίο στο αντισωματίο, μέ τή βοήθεια του τελεστή «συζυγία φορτίου». Η πράξη αυτή συνίσταται στην όλική αντιστροφή της ηλεκτρικής δομής του σωματίου και των ιδιοτήτων που προκύπτουν απ' αυτήν. Ωστόσο άλλα μεγέθη, όπως ή μάζα, διατηρούνται. Η ύλη του κόσμου μας αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από σωματρία. Ονομάστηκε αντί-ύλη, ή ύλη που αποτελείται από αντισωματρία, και αντι-κόσμος, ένας κόσμος που θά σχηματιζόταν από αντι-ύλη. Η ιδεολογική προέλευση αυτών των έννοιων είναι προφανής, και ή έπιστημονική φαντασία τίς έκμεταλλεύθηκε άρκετά⁶. Αλλά τό θέμα μας είναι άλλο.

Διατυπώθηκε ή υπόθεση ότι σ' ένα κόσμο που θά αποτελείται από αντισωματρία, ή βαρύτητα θά μπορούσε νά είναι άπωστική. Έγινε λοιπόν ή υπόθεση, σε αναλογία μέ τά ηλεκτρικά φορτία, αλλά μέ αντίθετη κατεύθυνση, ότι τά αντισωματρία θά είχαν ίσως βαρυτικό φορτίο αντίθετο από τό φορτίο των σωματίων: ένα αντιπρωτόνιο, π.χ., θά μπορούσε νά ύφίσταται άπωση σ' ένα συνηθισμένο βαρυτικό πεδίο. Ωστόσο ή βαρύτητα κάνει σύζευξη μέ τήν όρμή - ένέργεια, και επειδή τό τετραδιάνυσμα αυτό δέν αλλάζει μέ τήν πράξη «συζυγία φορτίου», συνάγεται ότι ή σύζευξη είναι ή ίδια μέ τά σωματρία και τά αντισωματρία. Η υπόθεση λοιπόν πρέπει νά απορριφθεί. Η αντιβαρύτητα δέν ύπάρχει και τό αποτέλεσμα αυτό αποτελεί συμπληρωματικό έπιχείρημα υπέρ της καθολικότητας της βαρύτητας.

Πειραματικά δεδομένα στηρίζουν τό θεωρητικό αυτό έπιχείρημα: "Αν ή βαρυτική σύζευξη άλλαζε σημείο μέ τή συζυγία φορτίου, τότε τό φωτόνιο, που ταυτίζεται μέ τό αντισωματίό του, δέν θά έπρεπε νά άλληλεπιδρά μέ τό βαρυτικό πεδίο. Αλλά καθώς σημειώσαμε, ή άλληλεπίδραση αυτή πραγματοποιείται και οι φωτεινές ακτίνες καμπυλώνονται από βαρυτικά πεδία άρκετά ίσχυρά (τό φαινόμενο αυτό

5. Η ιστορία των αντισωματίων είναι άρκετά παλαιά. Ο Dirac, μέ βάση τή ρελατιβιστική έξίσωση του ηλεκτρονίου πρόβλεψε τό 1927 τήν ύπαρξη του αντισωματίου του, του ποζιτρονίου, που ανακαλύφθηκε πέντε χρόνια άργότερα, από τον Anderson. Έκτοτε οι φυσικοί ανακάλυψαν ένα μεγάλο αριθμό μικροσωματίων.

6. Βλ. Ε. Μπιτσάκη, *Διαλεκτική και Νεώτερη Φυσική*, Ήριδανός, Κεφ. 3 και 7.

άλλωστε αποτέλεσε τήν πρώτη πειραματική έπαλήθευση τής γενικής θεωρίας τής σχετικότητας).

Άπό τήν προηγούμενη ανάλυση προκύπτει ότι παρά τίς διαφορές πρέπει νά υπάρχει μιά βαθειά αναλογία ανάμεσα στίς δύο θεμελιώδεις άλληλεπιδράσεις μακρᾶς άκτίνας δράσεως: τήν ήλεκτρομαγνητική καί τή βαρυτική. 'Ο Einstein, ὅπως καί άλλοι, δέν μπόρεσαν νά τίς ένοποιήσουν. 'Ωστόσο σήμερα υπάρχουν πρόσθετα γεγονότα υπέρ τής συγγένειας τους.

'Η θεωρία τής βαρύτητας τοῦ Einstein δίδει σέ πρώτη προσέγγιση, καί γιά άσθενή πεδία, τά ίδια άποτελέσματα μέ τή θεωρία τοῦ Νεύτωνα. 'Αλλά σέ δεύτερη προσέγγιση, ή θεωρία τοῦ Einstein αποκλίνει άπό τήν κλασική. 'Επίσης προβλέπει νέα φαινόμενα, ὅπως ή καμπύλωση τοῦ φωτός, ή έρυθρή μετατόπιση τής φωτεινῆς άκτινοβολίας από πεδίο βαρύτητας (βαρυτική μετατόπιση) καί τά κύματα βαρύτητας, πού προκύπτουν άπό τήν επιτάχυνση τῶν μαζῶν, ὅπως τά ήλεκτρομαγνητικά προκύπτουν άπό τήν επιτάχυνση τῶν φορτίων.

Οί εξισώσεις τοῦ βαρυτικοῦ πεδίου εἶναι τύπου υπερβολικοῦ. "Ὅπως λοιπόν καί στίς εξισώσεις τοῦ Maxwell, πρέπει νά ἔχουμε καί ἐδῶ βαρυτική άκτινοβολία. 'Αλλά οί εξισώσεις τοῦ Einstein εἶναι *μη γραμμικές*, αντίθετα μέ τίς περισσότερες πεδιακές εξισώσεις τής φυσικῆς. Τό πρόβλημα συνεπῶς ἐδῶ εἶναι πιά δύσκολο καί πολλοί φυσικοί διερωτῶνται ἄν πράγματι υπάρχουν κύματα βαρύτητας καί ἄν ἔχει νόημα νά μιλάμε γιά κβάντα βαρυτικῆς άκτινοβολίας. 'Επίσης ή μή γραμμικότητα τῶν εξισώσεων τής βαρύτητας συνεπάγεται ὅτι ή αρχή τής αντιστοιχίας δέν ισχύει σ' αὐτή τήν περιοχή, καί ὅτι συνεπῶς ή ὕλη δέν αποτελεί ακριβῶς τό ανάλογο τοῦ φορτίου καί τοῦ ρεύματος⁷.

Πάντως οί αναλογίες εἶναι ἐκδηλες καί ή ὕπαρξη κυμάτων βαρύτητας καί κυμάτων κρούσης, γίνεται γενικά δεκτή. 'Η τυπική αναλογία μέ τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα εἶναι τέλεια: ή ταχύτητα τῶν κυμάτων βαρύτητας εἶναι ή ἴδια μέ τῶν ήλεκτρομαγνητικῶν, τά βαρυτικά κύματα ἔπίσης εἶναι ἐγκάρσια, καί μποροῦν νά πολωθοῦν ὅπως καί τά ήλεκτρομαγνητικά. 'Επίσης, παρά τίς δυσκολίες τής κβάντωσης τοῦ βαρυτικοῦ πεδίου, προβλέπεται ή ὕπαρξη κβάντων βαρύτητας (βαρυτονίων) μέ μηδαμινή μάζα ήρεμίας καί σπίν ἴσο μέ 2.

Γνωρίζουμε καί χρησιμοποιοῦμε τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα. 'Η ανίχνευση τῶν βαρυτικῶν κυμάτων, αντίθετα, εἶναι ἐξαιρετικά δύσκολη, ἐξαιτίας τής σχετικά μικρῆς ισχύος τους καί τής άσθενέστατης σύζευξής

7. Βλ. π.χ. Mercier, Treder, Yourgrau, On General Relativity, Akademie Verlag, 1979, σελ. 16, 67, 89, 91 καί ἄλλοῦ.

τους μέ την ύλη. Ἄλλά καθώς ἡ τεχνική βελτιώνεται, οἱ εἰδικοί ἐλπίζουν ὅτι θά μπορέσουν νά συλλάβουν τά βαρυτικά κύματα στό προσεχές μέλλον. Ἄλλά τό οὐσιαστικό δέν εἶναι αὐτό. Ἔχουμε πράγματι στή διάθεσή μας μιά θεωρία ἐκπομπῆς αὐτῶν τῶν κυμάτων, καί γνωρίζουμε τίς πηγές, τίς ιδιότητες καί ἕνα ἀριθμό ἀπό φαινόμενα πού ὀφείλονται στή δράση τους. Γνωρίζουμε ἐπίσης, καί αὐτό εἶναι ἐξαιρετικά σημαντικό γιά τό θέμα μας, φαινόμενα ἀλληλεπίδρασης καί ἀμοιβαίου μετασχηματισμοῦ τῶν δύο αὐτῶν ἀλληλεπιδράσεων. Μάλιστα, ὅπως ἔχουμε ἀναφέρει, χάρις σέ ἕνα φορμαλισμό πού διαμορφώθηκε ἀπό τούς Choquet-Bruhat, Lichnerowicz, Παπαπέτρου καί Zerilli, μπόρεσαν νά ἐπισημανθοῦν δύο νέα φαινόμενα: ἠλεκτρομαγνητική ἀκρινοβολία πού ἐπάγεται ἀπό βαρυτική καί ἀντίστροφα. «Μ' αὐτό τόν τρόπο κατανοεῖται, γράφει ὁ Ruffini, ἡ δυνατότητα μετατροπῆς τῆς μιᾶς στήν ἄλλη, στό βαρυτικό πεδίο ἑνός πυκνοῦ σώματος. Μπόρεσε μάλιστα νά δοθεῖ ἕνα παράδειγμα, ὅπου ἡ ἀπόδοση τῆς μετατροπῆς μπορεῖ νά φτάσει τό 100%»⁸.

Στόν ἠλεκτρομαγνητισμό, στήν ἀτομική καί στήν πυρηνική φυσική, ἀγνοεῖται ἡ βαρυτική ἀλληλεπίδραση, ἐξαιτίας τῆς μηδαμινῆς τιμῆς τῆς σταθερᾶς τῆς βαρύτητας. Ἄλλά τά ἠλεκτρομαγνητικά κύματα ἐπηρεάζονται ἀπό τά βαρυτικά πεδία. Ἐπίσης, ὅπως γράφει ὁ Janossy, ἂν εἰσαγάγουμε στήν ἐξίσωση τοῦ Schrödinger τίς παραμέτρους πού χαρακτηρίζουν τό βαρυτικό πεδίο, μπορούμε νά δοῦμε τήν ἐπίδραση τους στά ἄτομα, καί ιδιαίτερα στίς συχνότητες ἐκπομπῆς τους⁹.

Ὅλα αὐτά εἶναι δείγματα ἐνότητας, πού δέν ἀναιροῦν τίς διαφορές ἀνάμεσα στίς δύο ἀλληλεπιδράσεις. Ἐνα ἄλλο χαρακτηριστικό τῆς θεωρίας τοῦ Einstein, εἶναι ὁ δυναμικός - αἰτιοκρατικός χαρακτήρας της, πού βρίσκεται σέ ἀντίθεση μέ τόν πιθανοκρατικό χαρακτήρα τῆς μικροφυσικῆς.

Ἐπάρχουν λοιπόν ἐκδηλώσεις ἐνότητας μέσα στή διαφορότητα. Ἡ ἐνότητα αὐτή θά ρίξει νέο φῶς στό φαινόμενο τῆς καθολικότητας τῆς βαρύτητας, γιά τήν ὁποῖαν πρόσφερε νέες μαρτυρίες ὁ κόσμος τῆς μικροφυσικῆς. Ἡ καθολικότητα ἐκδηλώνεται, ἐκτός ἀπό τά ἄλλα, καί ἀπό τό γεγονός ὅτι ἡ τροχιά ἑνός σωματίου εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπό τή μάζα του καί ἐξαρτᾶται μόνον ἀπό τίς συνθήκες. Ὁ Γαλιλαῖος εἶχε ἤδη ἐπισημάνει αὐτό τό νόμο. Παρόλους τούς αἰῶνες πού κύλησαν ἀπό τότε καί τίς προόδους πού πραγματοποιήθηκαν, ἡ καθολικότητα παραμένει ἕνα ἀπό τά μεγάλα αἰνίγματα τῆς φυσικῆς.

8. R. Ruffini, La Recherche, Νοέμβριος 1975

9. L. Janossy, Theory of Relativity based on Physical Reality, Akademiae Kiado, Budapest, 1971.

5.2. Για την έννοια της μάζας ήρεμίας του φωτονίου και του βαρυτονίου

Χρησιμοποιούμε συνεχώς τις έννοιες: μάζα, αδρανής μάζα, βαρεία μάζα, μάζα ήρεμίας. Είναι τώρα καιρός να επιχειρήσουμε μια πιο λεπτομερειακή ανάλυση αυτών των εννοιών. Αλλά το ερώτημα αυτό μας οδηγεί ξανά στις περιοχές της ηλεκτρομαγνητικής και της βαρυτικής αλληλεπίδρασης, γιατί οι έννοιες αυτές δεν είναι δυνατόν να οριστούν έξω από την κίνηση και την αλληλεπίδραση.

Είναι γνωστό ότι προτάθηκαν τρεις πειραματικές δοκιμές για τη θεωρία της βαρύτητας του Einstein: 1) Η καμπύλωση της τροχιάς των φωτεινών ακτίνων, στη γειτονία μεγάλων μαζών. 2) Η βαρυτική μετατόπιση προς το ερυθρό, του φωτός που εκπέμπεται από μεγάλα άστρα. 3) Η μετατόπιση του περιηλίου του Έρμη. Τα πειράματα και οι θεωρητικές αναπτύξεις που άφορούν αυτό το πρόβλημα, πέρα από την κοσμολογική σημασία τους, συγκλίνουν προς ένα θεμελιώδες πρόβλημα: *τό πρόβλημα της μάζας ήρεμίας των φωτονίων και των άλλων σωματίων που θεωρείται ότι έχουν «μηδενική» μάζα ήρεμίας (νετρίνο, βαρυτόνιο).*

Η απόκλιση των φωτεινών ακτίνων στη γειτονία μεγάλων μαζών είναι πειραματικό δεδομένο. Επιβεβαιώθηκε τό 1919, στη διάρκεια μιας όλικης έκλειψης του ήλιου. Ωστόσο, τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν εκτοτε, δεν συμφωνούν ικανοποιητικά ούτε μεταξύ τους, ούτε με τη θεωρία του Einstein¹⁰.

Μιά δυνατή έρμηνεία θά ήταν να αποδοθεί στο φωτόνιο μιά μάζα ήρεμίας μή μηδενική. (Η ειδική σχετικότητα του αποδίδει μηδενική μάζα). Στην περίπτωση αυτή ή απόκλιση του φωτονίου θά πρέπει να αυξάνει: Αλλά για να επιτευχθούν οι παρατηρούμενες αποκλίσεις, θά έπρεπε να αποδοθεί στο φωτόνιο μιά μάζα ήρεμίας ίση με $m_0 = 0,6 \cdot h\nu/c^2$ δηλαδή, για τό όρατό φως, περίπου 4×10^{-34} γραμ. Αλλά με τέτοια μάζα θά έδινε στο φως ταχύτητα ίση με $0,8c$, τιμή απαράδεκτη.

Ωστόσο άλλες θεωρητικές σκέψεις και άλλες παρατηρήσεις, συνηγορούν για μιά μή μηδενική μάζα για τό φωτόνιο. Η υπόθεση αυτή αντιφάσκει με την ειδική θεωρία της σχετικότητας, σύμφωνα με την όποια, αν ή μάζα ενός σώματος είναι μή μηδενική, τότε ή μέγιστη δυνατή ταχύτητά του είναι κατώτερη από τη c . Όταν ή $m_0 \rightarrow 0$, ή $v \rightarrow c$. Αν λοιπόν ή μάζα ήρεμίας του φωτονίου είναι άστηρά μηδενική, τότε ή ταχύτητά του είναι ακριβώς ίση με c . Στην αντίθετη περίπτωση, θά ήταν

10. Η θεωρητική τιμή για τό ήλιακό πεδίο είναι τό πολύ ίση με 1,75 δεύτερα λεπτά της μοίρας. Κατά την έκλειψη του 1929, παρατηρήθηκε μιά απόκλιση ίση με $2,10 \pm 0,15$

κατώτερη από c . 'Αλλά τότε ένα μέρος από τό έννοιολογικό οίκοδόμημα τής είδικής σχετικότητας θά έπρεπε νά τροποποιηθεί.

'Από μιά αντίθετη άποψη, τέθηκε επίσης τό έρώτημα, άν υπάρχουν σωμάτια μέ ταχύτητα *άνώτερη* από τήν ταχύτητα του φωτός. Τά υποθετικά αυτά σωματίδια όνομάστηκαν *ταχυόνια*, γιά νά διακρίνονται από τά συνήθη σωμάτια, τά *βραδυόνια*. Θα δοϋμε παρακάτω αυτό τό πρόβλημα, πού δέν ανήκει στό χϋρο τής έπιστημονικής φαντασίας.

'Υπάρχουν ωστόσο όρισμένα δεδομένα πού υποβάλλουν τήν ιδέα ότι τό φωτόνιο έχει μάζα (όχι υποχρεωτικά, μάζα ήρεμίας): τό φωτόνιο έχει έπρεπε τότε νά είναι ίση μέ $h\nu/c^2$. 'Ο τελευταίος τύπος συμφωνεί άλλωστε μέ τό γενικό τύπο του Einstein, $m = E/c^2$. 'Επίσης κατά τό μετασχηματισμό του φωτονίου σέ ζευγος ήλεκτρονίου και ποζιτρονίου, ένα σωματίο «χωρίς μάζα» μετατρέπεται σέ δύο μαζικά σωμάτια. Θα μπορούσαμε συνεπώς νά θεωρήσουμε πάλι, ότι τό φωτόνιο έχει μιά «δυνάμει» μάζα $m = E/c^2$, ίση μέ τό άθροισμα των μαζών των σωματίων¹¹.

'Η καμπύλωση του φωτός από τά βαρυτικά πεδία υποδηλώνει, εξάλλου, τήν ύπαρξη βαρυτικής, άρα και αδρανούς μάζας γιά τό φωτόνιο.

'Αλλά ένϋ ή βαρυτική μάζα είναι μηδαμινή, ή αδρανειακή πρέπει νά είναι άπειρη, άν $v = c$. Τό συμπέρασμα αυτό έρχεται σέ αντίθεση μέ τήν αρχή τής ισότητας τής αδρανούς και τής βαρείας μάζας.

'Αλλά τί σημαίνει ή έννοια *μάζα*, γιά τό φωτόνιο. Θα μπορούσαμε ίσως νά τή θεωρήσουμε σά *δυνάμει μάζα*, ή όποία πραγματώνεται κατά τό μετασχηματισμό του φωτονίου σέ μαζικά σωμάτια. 'Αλλά, πάλι, τί θά σήμαινε μάζα $m = h\nu/c^2$ γιά τό φωτόνιο, σέ σχέση μέ τήν αρχή τής αδράνειας; 'Η αδρανειακή μάζα του φωτονίου θά έπρεπε, όπως είπαμε, νά θεωρηθεί άπειρη, γιατί τό σωματίο αυτό δέν μπορεί νά επιταχυνθεί. Θα μπορούσαμε και σ' αυτή τήν περίπτωση νά αποφύγουμε τήν αντίφαση, άν θεωρήσουμε ότι ή ταχύτητα $v = c$ συνιστά ένα όριο γιά τήν αρχή τής αδράνειας, πού στά πλαίσια τής σχετικότητας θά ίσχυε μόνο γιά τιμές κατώτερες από τήν c .

Οί προηγούμενες σκέψεις δέν είναι αϋστηρά ρελατιβιστικές: δέν ένσωματώνονται στό χωροχρονικό πλαίσιο τής σχετικότητας. 'Η πραγματικά ρελατιβιστική σχέση ανάμεσα στη μάζα και τήν ένέργεια, δίδεται από τό τετραδιάνυσμα όρμης - ένέργειας. 'Εχουμε λοιπόν στη σχετικότητα: $E = \sqrt{(m_0c)^2 + c^2 p^2}$ (1) (E = ένέργεια, m_0 = μάζα ήρεμίας, p = όρμη).

'Αλλά ό τύπος (1) οδηγεί στον τύπο: $p = \sqrt{E^2 - (m_0c)^2}/c$ πού σημαίνει ότι μπορούμε νά έχουμε σωμάτια μέ μηδενική μάζα ήρεμίας, πού ωστόσο

11. 'Εχουμε: $h\nu = e^- + e^+$ και $E/c^2 = m_{e^-} + m_{e^+}$

έχουν όρμή ($p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$, για τό φωτόνιο). Από τήν άποψη αυτή συνεπώς δέν ύπάρχει αντίφαση ανάμεσα στό γεγονός ότι τό φωτόνιο έχει όρμή, αλλά ένδεχομένως δέν έχει μάζα ήρεμίας. Επίσης ό τύπος (I) γράφεται καί μέ τή μορφή: $m_0c^2 = \sqrt{E^2 - p^2c^2}$ πού σημαίνει ότι ένα σωμάτιο μπορεί νά έχει ένέργεια καί όρμή, χωρίς νά έχει μάζα ήρεμίας.

Φαίνεται λοιπόν ότι μπορούμε νά αποφύγουμε όρισμένες από τίς αντίφάσεις πού σημειώσαμε, άν τοποθετηθούμε στό πραγματικά ρελατιβιστικό πλαίσιο. Αλλά τό πρόβλημα παρουσιάζει καί άλλες δύσκολες όψεις.

* Ας δεχτούμε ότι τά φωτόνια, όπως καί τά νετρίνο καί τά βαρυτόνια (άν ύπάρχουν) έχουν μηδενική μάζα ήρεμίας. Ο νόμος διατήρησης τής μάζας φαίνεται τότε νά παραβιάζεται σέ όρισμένους μετασχηματισμούς. Γίνεται τότε λόγος για μετατροπή τής μάζας σέ ένέργεια καί αντίστροφα.

* Ας πάρουμε πάλι τό μετασχηματισμό του φωτονίου σέ θετικό καί άρνητικό ήλεκτρόνιο. Λέγεται σ' αυτή τήν περίπτωση ότι ή ένέργεια μετατρέπεται σέ μάζα καί ότι ή άρχή τής διατήρησης τής μάζας ήρεμίας παραβιάζεται¹². Η αντίφαση ανακύπτει καί έδω, από μιά προλεταβιστική συλλογιστική. Θα μπορούσαμε νά πούμε, στήν περίπτωση αυτή, ότι τό φωτόνιο έχει μιά δυνάμει μάζα ήρεμίας ($m_0 = E/c^2$), ή όποία πραγματώνεται κατά τό μετασχηματισμό. Η μάζα δέν μετατρέπεται συνεπώς σέ ένέργεια, ή αντίστροφα (ή μάζα δέν είναι ή ύλη). Κατά τή διάρκεια αυτών των μετασχηματισμών έχουμε πέρασμα τής ύλης από μιά μορφή (φωτόνια) σέ διαφορετικές μορφές (ήλεκτρόνια) πού πραγματώνουν τή δυνάμει μάζα του φωτονίου, καί μετατρέπουν τήν ένέργειά του σέ λανθάνουσα μορφή. Τά αντίθετα θα λέγαμε για τήν περίπτωση τής «άφυλοποίησης» του ζεύγους ήλεκτρονίου - ποζιτρονίου. Η συνολική μάζα (δυνάμει καί ένεργεία), καθώς καί ή συνολική ένέργεια, διατηρούνται στίς περιπτώσεις αυτές.

Η μηδενική τιμή τής μάζας ήρεμίας του φωτονίου δέν είναι κάτι προφανές, ούτε θεωρητικά, ούτε πειραματικά. Αλλά τί σημαίνει τελικά ό όρος, «πεπερασμένη μάζα ήρεμίας» για τό φωτόνιο; Πράγματι, ένα σύστημα άναφοράς συνδεόμενο μέ τό φωτόνιο, δέν είναι άδιανόητο, είναι όμως άπραγματοποίητο. Πώς νά μιλήσουμε για μάζα ήρεμίας ενός σωματίου, πού μετατοπίζεται πάντα μέ τή μέγιστη ταχύτητα πού δέχεται ή σχετικότητα; Καί τί σημαίνει μάζα $m = E/c^2$ για τό φωτόνιο, σέ σχέση μέ κάποιο σύστημα άδρανείας, όταν ή μάζα αυτή δέν ίκανοποιεί τό θεμελιώδη νόμο τής δυναμικής; Θα θέσουμε λοιπόν ένα όριο σ' αυτό τό

12. Βλ. π.χ. B. Levitch Theoretical Physics, I., North Holland Publ. Comp.

νόμο, θά τροποποιήσουμε τό έννοιολογικό μας σύστημα, θά βάλουμε χωριστά τά σωμάτια «χωρίς μάζα», ή θά αναζητήσουμε νέες ιδέες γιά τά θεμελειώδη αὐτά προβλήματα; Ἔτσι τό κβάντο τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀλληλεπίδρασης, καί μαζί του τά σωμάτια πού συνδέονται μέ τήν ἀσθενή καί τή βαρυτική ἀλληλεπίδραση, βρίσκονται στό κέντρο λεπτῶν ἐρωτημάτων καί ἀναζητήσεων.

Τί εἶναι τελικά ἡ ἀδράνεια; Εἶναι ιδιότητα τοῦ σώματος «καθεαυτοῦ» ἢ μήπως εἶναι συνάρτηση τοῦ φυσικοῦ περιβάλλοντος; Κατά τήν ἀρχή τοῦ E.Mach, ἡ ἀδράνεια ἐνός σώματος καθορίζεται ἀπό ἓνα εἶδος συνολικῆς ἀλληλεπίδρασης τοῦ σώματος μέ ὁλόκληρο τό σύμπαν. Ἡ ἀρχή αὐτή ἀφορᾷ τά θεμέλια τῆς φυσικῆς. Ἐπίσης συνδέθηκε μέ τό κοσμολογικό πρόβλημα, κι ἔτσι ἀποτελεῖ σημεῖο λεπτῶν ἀναζητήσεων.

Ἡ ἀρχή αὐτή ἐπαιξε σπουδαῖο ρόλο στή διαμόρφωση τῆς γενικῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας. Ὡστόσο οὔτε τό φυσικό της περιεχόμενο, οὔτε τά ὅρια τῆς πρακτικῆς ἐφαρμογῆς της εἶναι καθορισμένα μέ σαφήνεια. Ἔτσι, π.χ., ὁ W. Thirring γράφει: «Αὐτό πού ἀκριβῶς ἐννοεῖ ὁ Mach δέν εἶναι σαφές ἀλλά ἡ ἐρμηνεία πού δίδεται σήμερα εἶναι ὅτι ἡ ἀδράνεια εἶναι συνέπεια τῆς παρουσίας ἄλλων σωμάτων στό σύμπαν (ἂν ὑπῆρχε ἓνα μόνο σῶμα, οὔτε ἡ ἐπιτάχυνση οὔτε ἡ ἀδράνεια θά εἶχαν νόημα). Ὁ Einstein βεβαίωνε ὅτι ἡ θεωρία του περιλάμβανε τήν ἀρχή τοῦ Mach, γιατί σέ ἓνα πεδίο βαρύτητας ἡ πραγματική μάζα γίνεται μεγαλύτερη ἀπό τή γυμνή. Ἔτσι ἡ ἀδράνεια θά μεγάλωνε ἐξαιτίας τῆς παρουσίας τοῦ σώματος πού θά δημιουργοῦσε τό πεδίο βαρύτητας»¹³.

Ἄν ἡ ἀρχή τοῦ Mach εἶναι ὀρθή, γράφει ὁ Bondi, ἡ ἀδρανειακή ἐπίδραση τῆς ὕλης δημιουργεῖ μιά πρόσθετη σύνδεση ἀνάμεσα σέ μᾶς καί τά βάθη τοῦ σύμπαντος, ἀπ' ὅπου μπορούμε νά ἀποκτήσουμε πρόσθετες πληροφορίες. «Τό γεγονός ὅτι - καταλήγει ὁ Bondi - ἡ ἀδράνεια εἶναι ἡ ἴδια πρὸς ὅλες τίς κατευθύνσεις, ὑποβάλλει ἔντονα τήν ἀποψη ὅτι τό σύμπαν εἶναι ισότροπο σέ μεγάλη κλίμακα»¹⁴.

Ἐδῶ ἀνοίγεται ἓνας εὐρύς χῶρος προβληματικῆς. Γιά τή μικροφυσική, τά στοιχειώδη σωμάτια εἶναι γενικά «ντυμένα»: ἡ μάζα, ἄρα καί ἡ ἀδρανειά τους, εἶναι συνάρτηση τῶν ἀλληλεπιδράσεων μέ τό περιβάλλον τους. Ἄν γενικεύσουμε αὐτό τόν ἀλληλοκαθορισμό, περιλαμβάνοντας καί τή βαρύτητα, θά ἔχουμε ἓνα πρόσθετο ἐπιχείρημα ἐναντίον τῆς μεταφυσικῆς τοῦ «πράγματος καθεαυτοῦ» καί τῶν ἀπελύτων ιδιοτήτων του.

13. W. Thirring, Gravitation, CERN, 1969

14. H. Bondi, Cosmology, Cambridge Un. Press, 1968, σελ. 28-9

Ἡ μάζα ὀρίζεται σά μέτρο τῆς ἀδράνειας. Ὁ ὀρισμός ἰσχύει γιά τά «μαζικά» σωμάτια. Εἶναι ὠστόσο φανερό ὅτι δέν ἔχει νόημα γιά τά φωτόνια καί τά ἄλλα σωμάτια «μηδενικῆς μάζας». Θά ἦταν δυνατόν νά ἀποφευχθοῦν οἱ ἀντιφάσεις καί νά ἀποκατασταθεῖ μιά ἐννοιακή συνεκτικότητα, ἂν ἀποδίδαμε στά σωμάτια αὐτά μιά μή μηδενική μάζα ἠρεμίας. Οἱ σχετικιστικοί τύποι θά ἰσχυαν τότε καί ἡ μάζα θά μπορούσε νά ἀποτελεῖ σέ ὅλες τίς περιπτώσεις, μέτρο τῆς ἀδράνειας. Ἀλλά ἡ ταχύτητα c θά ἦταν τότε ἕνα ὄριο καί ἡ χαρακτηριστική ἐπιφάνεια στό σύμπαν τοῦ Minkowski θά ἦταν μιά ἐξιδανίκευση: Τά πραγματικά γεγονότα θά συνέβαιναν πάντα στό ἐσωτερικό τοῦ χαρακτηριστικοῦ κώνου καί δέν θά ὑπῆρχαν ἰσότροπα διανύσματα (μηδενικά), συνδεόμενα μέ τίς κινήσεις πραγματικῶν σωματίων. Τό πέρασμα αὐτό στό ὄριο εἶναι πύ φυσικό ἀπό τήν ἀποδοχή τῆς c , πού ἐμφανίζεται σάν αὐθαίρετο φράγμα καί πού δημιουργεῖ μιά τομή ἀνάμεσα στό φωτόνιο καί στά ἄλλα στοιχειώδη σωμάτια. (Ἡ τομή αὐτή δέν ἀφορᾷ ὀρισμένες ιδιότητες, ὅπως ὁ μετασχηματισμός τοῦ φωτονίου σέ μαζικά σωμάτια καί ἀντίστροφα, πού δηλώνουν τήν ὄντική ταυτότητα τοῦ φωτονίου καί μέ τήν ὑπόλοιπη ὕλη).

Οἱ ἐργασίες αὐτές, καθώς καί ἄλλες πού ἀφοροῦν τόν ἴδιο κύκλο προβλημάτων, ἐκτός ἀπό τό κοσμολογικό ἐνδιαφέρον τους, ἀνοίγουν ἐνδεχόμενα νέες προοπτικές γιά τήν κατανόηση τῆς φύσης τοῦ φωτονίου καί τῆς πολλαπλότητας τῶν ιδιοτήτων καί τῶν ἀλληλεπιδράσεων του.

5.3 Τά ταχύονια καί τό σύμπαν τοῦ Minkowski

Τό φῶς λοιπόν κινεῖται ἴσως μέ ταχύτητα κατώτερη ἀπό c . Ἄς φανταστοῦμε τώρα τήν ἀντίθετη δυνατότητα: τήν ὕπαρξη ταχυτήτων ἀνώτερων ἀπό c . Τά σωμάτια πού θά εἶχαν τέτοιες ταχύτητες, ὀνομάζονται, καθώς σημειώσαμε, ταχύονια.

Ἡ ἐνδεχόμενη ὕπαρξη τέτοιων σωματίων παρουσιάζει ἕνα προφανές ἐνδιαφέρον.

Ὅλα τά σωμάτια μέ θετική μάζα ἠρεμίας κινοῦνται στό χῶρο, μέ ταχύτητες κατώτερες ἀπό τήν ταχύτητα τοῦ φωτός. Τά σωμάτια μέ μηδενική μάζα ἠρεμίας, ἐφόσον ὑπάρχουν, κινοῦνται μέ ταχύτητα ἴση μέ c , σέ ὀποιοδήποτε σύστημα ἀναφορᾶς: ὁ τόπος τῶν τροχιῶν τους εἶναι ἡ ἐπιφάνεια τοῦ χαρακτηριστικοῦ κώνου. Γιά τή σχετικότητα, ὅπως εἶναι σήμερα, δέν ὑπάρχουν ταχύτητες $v > c$ γιά τά συνηθῆ σωμάτια, ἢ γιά τά σήματα (σωμάτια πού μεταφέρουν ἐνέργεια). Τέτοιες κινήσεις θά πραγματοποιοῦνταν ἔξω ἀπό τόν κῶνο τοῦ φωτός. Τά διαστήματα πού θά χώριζαν τά γεγονότα αὐτά θά ἦταν χωρικοῦ τύπου, ἄρα θά ἦταν πάντα

δυνατόν νά ἀντιστρέψουμε τή χρονική τους τάξη, μέ κατάλληλη μεταβολή τοῦ συστήματος ἀναφορᾶς.

Ἐπὶ τῆς φύσεως «ταχύτητες» ἀνώτερες ἀπὸ c , ὅπως ἡ ταχύτητα φάσης τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων, ἢ τῶν «σωματίων - κυμάτων» τῆς κυματομηχανικῆς. Ἀλλά τέτοιες ταχύτητες δέν ἀφοροῦν πραγματικά σήματα: δέ συνδέονται μέ μεταφορά μάζας ἢ ἐνέργειας. Ἐνα ἐπίπεδο ἠλεκτρομαγνητικό κύμα εἶναι στήν πραγματικότητα ἐξιδανίκευση. Αὐτό πού ἀποκαλεῖται κυματοδέσμη, καί πού ὑποτίθεται ὅτι ἔχει φυσική ὕπαρξη, χαρακτηρίζεται ἐπίσης ἀπὸ ταχύτητα φάσης ἀνώτερη ἀπὸ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός. Ἀλλά ἡ πραγματική ταχύτητα τῆς «κυματοδέσμης» εἶναι ἡ ταχύτητα ὁμάδας, πού στό κενό εἶναι κατώτερη, ἢ τό πολύ, ἴση μέ c .

Ὁ φορμαλισμός τῆς σχετικότητος, καί εἰδικότερα ἡ ἀρχή τῆς αἰτιότητος, ἀπαγορεύουν συνεπῶς ταχύτητες πού θά ὑπέρβαιναν τήν ταχύτητα τοῦ φωτός. Διατυπώθηκε ἡ ἰδέα ὅτι θά μπορούσαν νά ὑπάρχουν ταχύτητες $v > c$, στό ἐσωτερικό τῶν λεγόμενων στοιχειωδῶν σωματίων. Πράγματι στό ἐσωτερικό αὐτῶν τῶν σωματίων πραγματοποιοῦνται φυσικές διαδικασίες καί θά μπορούσε νά διατυπωθεῖ ἡ ὑπόθεση ὅτι στήν κλίμακα αὐτή ὑπάρχουν ἀλληλεπιδράσεις μέ ὑπερφωτεινές ταχύτητες. Στήν περίπτωση αὐτή, ὡστόσο, θά ἔπρεπε νά γίνει δεκτὴ ἡ παραβίαση τῆς μικροαιτιότητος. Ἡ ἐπιχειρηματολογία ὑπὲρ μιᾶς τέτοιας ὑπόθεσης δέν εἶναι πειστική ¹⁵.

Ἀπὸ τήν περίοδο τῆς δεκαετίας τοῦ '60 δημοσιεύθηκαν πολλές ἐργασίες πού θέλουν νά συμβιβάσουν τήν ὕπαρξη ταχυονίων μέ τήν αἰτιότητα. Τά σωμάτια αὐτά ὀφείλουν τελικά νά σέβονται τήν ἀρχή τῆς σχετικότητος, ἀπ' ὅπου προκύπτουν ἄλλες ἀρχές: οἱ νόμοι κίνησης τέτοιων σωματίων πρέπει νά εἶναι ἀμετάβλητοι ὡς πρός τοὺς μετασχηματισμούς Lorentz, τά σωμάτια πρέπει νά μεταφέρουν θετική ἐνέργεια καί νά σέβονται τήν ἀρχή τῆς καθυστερημένης αἰτιότητος (causalité retardée).

Ὁρισμένοι συγγραφεῖς ὀδηγήθηκαν, μέ βάση τό φορμαλισμό τῆς σχετικότητος, νά ἀποδώσουν στά σωμάτια αὐτά ἀρνητική μάζα. Ἀλλά στή συνέχεια ἦταν ὑποχρεωμένοι νά κάνουν τεχνητές ὑποθέσεις γιά νά ἱκανοποιήσουν τήν ἀρχή τῆς αἰτιότητος καί τήν ἀρχή τῆς ἰσοδυναμίας. Ἄλλοι ἀπέδωσαν στά ταχυόνια φανταστικές μάζες, ἀναγκαῖες (ἀπό μιᾶ ἀποψη) γιά νά γίνουν σεβαστοί οἱ μετασχηματισμοί Lorentz. Ἄλλες ὑποθέσεις τέλος, ἔπρεπε νά διατυπωθοῦν, γιά νά ἀποφευχθεῖ ἡ διάδοση

15. Βλ. π.χ., Y. Terletski, Paradoxes in Relativity, Plenum Press, 1968, σελ. 78-82.

των ταχυονίων από τό μέλλον προς τό παρελθόν! Θα μπορούσαμε τέλος νά αποφύγουμε τίς φανταστικές μάζες και άλλες δυσκολίες, αν παίρναμε για τούς μετασχηματισμούς του Lorentz, όχι τήν ποσότητα $1 - \frac{v^2}{c^2}$ πού είναι αρνητική για $v > c$ και οδηγεί σε φανταστικές ποσότητες, αλλά τήν απόλυτη τιμή της. Ωστόσο τό εύρημα αυτό είναι τυπικό και δέν οδηγεί σε συνέπειες ικανοποιητικές από φυσική άποψη¹⁶.

Αν θέλουμε νά δημιουργήσουμε ένα χωροχρονικό πλαίσιο πρόσφορο για τά ταχυόνια, θα έπρεπε ίσως, σύμφωνα μέ τά διδάγματα τής ιστορίας τής φυσικής, νά αποβλέψουμε όχι στη διασκευή του παρόντος πλαισίου, αλλά στην αλλαγή του.

Μπορούμε πράγματι νά δούμε ευρύτερα τούς μετασχηματισμούς Lorentz, θεωρώντας ότι ή σταθερά c δέν είναι υποχρεωτικά ίση μέ 3×10^8 m/sec, αλλά μία σταθερά πού ή τιμή της καθορίζεται από τή συγκεκριμένη φυσική αλληλεπίδραση. Για c ίση μέ τήν ταχύτητα του φωτός, έχουμε τό συνηθισμένο σύμπαν του Minkowski. Αν τώρα πάρουμε $v > 3 \times 10^8$ m/sec, τότε τό σύμπαν του Minkowski θα διαιρείται πάντα σε τρεις περιοχές απόλυτου χαρακτήρα, θα υπάρχουν πάντα διαστήματα απόλυτου χαρακτήρα, κλπ. Αλλά ο χαρακτηριστικός κώνος των νέων αλληλεπιδράσεων θα έχει γωνία μεγαλύτερη από 45° .

Για τό δικό μας σύστημα αναφοράς, τά ταχυόνια θα κινούνται συνεπώς στο έξωτερικό του κώνου του φωτός και θα μάς είναι αδύνατο νά βεβαιώσουμε τήν ύπαρξη αιτιακών σχέσεων ανάμεσά τους. Αλλά για τό δικό τους σύμπαν, τά πράγματα θα είναι διαφορετικά. Εκεί θα υπάρχει μία ανώτερη ταχύτητα $c' > v > c$, πού θα είναι ίσως ή ταχύτητα των δικών τους «μή μαζικών» σωματίων. Τά «μαζικά» τους σωματία θα κινούνται μέ ταχύτητα $v \leq c'$. Άρα κι εδώ θα υπάρχει ένας χαρακτηριστικός κώνος μέ $\theta = 45^\circ$, τά φαινόμενα μέ αιτιακή συσχέτιση θα πραγματοποιούνται στο έσωτερικό του, κλπ. Αλλά ενω για τό δικό μας σύμπαν τό θ' θα είναι μεγαλύτερο από 45° , για τό σύμπαν των ταχυονίων $\theta' = 45^\circ$, διότι αν $v' = c' > c$ τότε $c'^2 dt^2 + 2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2$ και τά σωματία αυτά θα κινούνται στη χαρακτηριστική επιφάνεια του νέου κώνου.

Η διαφορετική θ για τά δύο διαφορετικά συστήματα αναφοράς, εκφράζει τό άλλο γεγονός: Καθώς ή ταχύτητα στο νέο σύμπαν είναι μεγαλύτερη από τή c , θα υπάρχει μία αδυναμία επικοινωνίας μέ τή βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, γιατί για τό σύμπαν μας τά

16. Βλ. σχετικά, τά ακόλουθα κείμενα, πού δέν είναι πολύ τεχνικά: 1) S. Weber, General relativity and Gravitational Waves, Interscience, 1961. 2) Y. Terletski, Paradoxes in the Theory of Relativity, op.-cit. 3) E. Sudersan, Physics of complex Mass Particles, CPT, 41, Un. of Texas (Preprint) 4) E. Recami, Tachyons and Causality, Scienia, 109, 721 (1974) 5) Regami, Mignani, Riv. N. Cim. 4, 209 (1974).

ταχύονια θά κινούνται στό χῶρο πού βρίσκεται ανάμεσα στους δύο χαρακτηριστικούς κώνους (ὁ ταχυονικός περιβάλλει τό δικό μας). Τέτοια σωμάτια δέν θά συνδέονταν μέ τό σύμπαν μας, γιατί θά ξέφευγαν ἀπό τή βαρυτική ἀλληλεπίδραση. Τά σώματα αὐτά θά ἐπικοινωνοῦσαν μεταξύ τους μέ τή βοήθεια ἀλληλεπιδράσεων πού ἡ ταχύτητά τους θά ἦταν $c' > c$ καί θά συνιστοῦσαν κατά κάποιο τρόπο ἕνα δικό τους κόσμο. Τό σύμπαν τους θά ἦταν πάλι ἕνα σύμπαν Minkowski, μέ χαρακτηριστικό κῶνο (γιά μᾶς) γωνίας $\theta > 45^\circ$. Ἀλλά στήν περίπτωση αὐτή, πῶς θά μπορούσαμε νά ἐπικοινωνοῦμε μαζί τους καί νά διαπιστώνουμε τήν παρουσία τους;

Οἱ προηγούμενες σκέψεις φαίνονται ἐλάχιστα ρεαλιστικές. Ὡστόσο εἶναι λιγότερο τεχνητές ἀπό τίς ὑποθέσεις πού καταλήγουν σέ φανταστικές μάζες, ἢ ἀπό ἐκεῖνες πού ἐπικαλύπτουν τό φυσικό πρόβλημα μέ μιᾶ τυπική πράξη (πού σημαίνει ὅτι παίρνουμε τήν ἀπόλυτη τιμή τοῦ $1 - v^2/c^2$ γιά νά ἀποφύγουμε τίς φανταστικές τιμές).

Ἡ σταθερά c δέν εἶναι λοιπόν, ἴσως, ἡ ταχύτητα τῶν φωτονίων στό κενό. Δέν θά ἦταν ἐπίσης, τό ἀνώτερο δυνατό ὄριο ταχυτήτων στό σύμπαν. (Θά ἦταν πράγματι ἀπίθανο νά ὑπάρχει ἕνα ἀπόλυτο ὄριο ταχυτήτων, πού θά συνδεόταν μέ μιᾶ ἀλληλεπίδραση, ὅσο προνομιούχα καί νά ἦταν αὐτή). Κι ἀκόμα: ἡ «σταθερά» αὐτή, μεταβάλλεται ἴσως μέ τό χρόνο. Ἦδη τό 1938 ὁ Dirac μιλοῦσε γιά μεταβολή τῶν παγκοσμίων σταθερῶν μέ τήν ἡλικία τοῦ σύμπαντος. Ὑπέβαλε ἐπίσης τήν ἰδέα νά θεωρηθεῖ ἡ σταθερά τῆς βαρύτητας σά μεταβλητή, πού χαρακτηρίζει τήν τωρινή κατάσταση τοῦ σύμπαντος. Ἄλλοι δέχονται ὅτι ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός, καθώς καί ἡ μονάδα τοῦ χρόνου, μεταβλήθηκαν στήν πορεία τῆς ἐξέλιξης τοῦ σύμπαντος καί ἄλλοι ἔφεραν ἐπιχειρήματα ἐναντίον τῆς μεταβολῆς τῶν παγκόσμιων σταθερῶν¹⁷.

Ἡ σταθερά c εἶναι μιᾶ ἐξιδανίκευση: Θά ἦταν ἴση μέ 3×10^8 m/sec ἂν ἡ μάζα τοῦ φωτόνιου ἦταν αὐστηρά μηδενική. Ἄν τό φωτόνιο ἔχει κάποια μάζα ἡρεμίας, τότε ἡ ταχύτητά του στό κενό θά εἶναι κατώτερη ἀπό 3×10^8 m/sec. Κι ἂν ἐπί πλέον, ἡ μάζα τοῦ φωτόνιου εἶναι συνάρτηση τῆς περιβάλλουσας ὕλης, τότε ἡ ταχύτητα αὐτή θά μεταβαλλόταν μέ τίς ἐξελικτικές φάσεις τοῦ σύμπαντος, καί ἡ σταθερά c θά εἶχε μιᾶ ἱστορία μέσα στό χρόνο.

Ἡ ἀνακάλυψη τῶν φυσικῶν νόμων εἶναι μιᾶ ἱστορική διαδικασία. Ὑπάρχει λοιπόν μιᾶ ἱστορικότητα αὐτῶν τῶν νόμων, ἀπό γνωσιολογική ἀποψη. Ὑπάρχει, ἐπί πλέον, μιᾶ *ὄντολογική ἱστορικότητα*, πού ἀφορᾶ τίς

17. Βλ. σχετικά: 1) Agnesse καί Watagchin, Lettere el Nuovo Cimento, I, 21 (1971) 2) G. Gamov, Sciences, 53 (1968) 3) E. Teller, Phys. Rev., 73, 801 (1948).

φάσεις τῆς ἐξέλιξης τοῦ σύμπαντος: τίς δομές καί τούς εἰδικούς νόμους πού τίς χαρακτηρίζουν. Ἡ μεταβολή καί ἡ ἐξέλιξη θά εἰσχωρήσουν ἴσως στήν περιοχή πού θεωρήθηκε ἀνέκαθεν σάν τό σημεῖο τῆς αἰωνιότητας στήν ἐπιστήμη: στίς «παγκόσμιες σταθερές».

5.4 Γιά τίς ἔννοιες τῆς μάζας καί τῆς ἐνέργειας

Οἱ προηγούμενες σκέψεις μᾶς ὀδηγοῦν νά ἀντιμετωπίσουμε ἕνα ἐρώτημα παλαιό, ἀλλά ἀνοιχτό πάντοτε: τό πρόβλημα τοῦ ὀρισμοῦ τῆς μάζας καί τῆς ἐνέργειας καί μέσα ἀπό κεῖ, τό μή νόμιμο ἴσως ἐρώτημα, γιά τό μέτρο τῆς ὕλης.

Ἄλλο Νεύτωνας ταύτιζε τή μάζα καί τήν ὕλη, ἀνοίγοντας ἔτσι τό δρόμο στή διχοτομία μάζα-ὕλη, ἐνέργεια καί σέ μιά στατική ἀντίληψη γιά τή μάζα.

Ἄλλο Νεύτωνας κάνει αὐτή τήν ταύτιση στήν ἀρχή τῶν Principia, ὅπου καθορίζει ἐπίσης ὅτι ἡ ποσότητα τῆς ὕλης μετρίεται ἀπό τήν πυκνότητα καί τόν ὄγκο¹⁸.

Ἄλλο ὀρισμός αὐτός προϋποθέτει τήν ταύτιση μιᾶς ἐπιστημονικῆς ἔννοιας, τῆς μάζας, μέτρου τῆς ἀδράνειας ἑνός σώματος, μέ τή φιλοσοφική κατηγορία τῆς ὕλης, γιά τήν ὁποία θά ἦταν δύσκολο νά βρεθεῖ κάποιο μέτρο, ἂν ὑποθέσουμε ὅτι ἡ ἐρώτηση ἡ ἴδια εἶναι νόμιμη.

Ἄλλο ὀρισμός τοῦ Νεύτωνα δέν εἶναι ἱκανοποιητικός, οὔτε ἀπό φυσική ἄποψη. Ἄλλο Mach τόν ἐπέκρινε μέ αὐστηρότητα, ἀνοίγοντας ἔτσι τό δρόμο γιά τή σχετικότητα. Ἐγραφε λοιπόν στή *Μηχανική* του: «Ἄλλο ὀρισμός I, δέν εἶναι παρά κατ' ἐπίφαση ὀρισμός. Ἡ ἔννοια τῆς μάζας δέν εἶναι σαφέστερη, ἐπειδή τήν ὀρίζει κανείς σά γινόμενο τοῦ ὄγκου ἐπί τήν πυκνότητα, γιατί ἡ πυκνότητα ἡ ἴδια δέν ἀντιπροσωπεύει παρά τή μάζα τῆς μονάδας τοῦ ὄγκου. Ἄλλο πραγματικός ὀρισμός τῆς μάζας δέν μπορεῖ νά προκύψει παρά ἀπό τίς δυναμικές σχέσεις τῶν πραγμάτων»¹⁹.

Ἄλλο μάζα, κατά τόν Νεύτωνα, εἶναι ἀμετάβλητο μέγεθος. Ἄλλο ἀδράνεια εἶναι κατά συνέπειαν ἐνδογενῆς καί ἀμετάβλητη ιδιότητα. Ἄλλο ὅσο ὁ τύπος τῆς σχετικότητας ἐκφράζει τή μεταβλητότητα τῆς ἀδράνειας μέ τήν ταχύτητα. Ἄλλο ἐπιπλέον δεχτοῦμε ὅτι ἡ ἀδράνεια ἑνός σώματος εἶναι συνάρτηση τῶν μαζῶν πού βρίσκονται στήν περιοχή της (ἢ στή γλώσσα τῆς γενικῆς σχετικότητας, ὅτι καθορίζεται ἀπό τήν καμπυλότητα τοῦ γύρω χώρου), τότε τό μέγεθος αὐτό χάνει τόν ἀπόλυτο χαρακτήρα του, καί γίνεται μέγεθος *δυναμικό* καί *σχετικό*.

18. Newton, Principia, op. cit. Ἄλλο ὀρισμός I

19. E. Mach, Mécanique, Hermann, Paris . 1904