

## Ύλη, μάζα και ενέργεια: Μια σχετικιστική προσέγγιση\*

### 1. Τα κίνητρα

Το όνομα του J.S. Bell συνδέεται με τη μακρά παράδοση της φυσικής, η οποία αποσκοπεί να δώσει μια αντικειμενική και αιτιοκρατική περιγραφή των φαινομένων. Υπ' αυτό το πρίσμα οδηγήθηκε να εξετάσει τις σχέσεις ανάμεσα στο υποκείμενο και το αντικείμενο στη φυσική. Έτσι ο J.S. Bell δημιούργησε την έννοια του *beable*, η οποία, όπως γράφει, εντάσσεται σε μια γενικότερη, αντικειμενική και αιτιοκρατική περιγραφή του κόσμου της φυσικής<sup>1</sup>. Ερευνώντας τα ασθενή σημεία των εννοιολογικών θεμελίων της κβαντικής μηχανικής και αποβλέποντας στην αποκατάσταση της αιτιοκρατικής αντίληψης της φύσης, ο J.S. Bell έγραφε για τα *beables* του: «Ειδικότερα θα αποκλείσουμε την έννοια του παρατηρήσιμου (*observable*) υπέρ της έννοιας του *beable*». Τα *beables* της θεωρίας είναι τα στοιχεία εκείνα τα οποία είναι δυνατόν να αντιστοιχούν σε στοιχεία πραγματικότητας —σ' αυτό το οποίο υπάρχει. Η ύπαρξή τους δεν εξαρτάται από την «παρατήρηση». Η παρατήρηση και οι παρατηρητές πρέπει να εκδιωχθούν από τη φυσική<sup>2</sup>.

Είναι γνωστό ότι η μικροφυσική ανέτρεψε την παραδοσιακή αντίληψη για την ύλη. Ο ρεαλισμός, ο θετικισμός και ο ιδεαλισμός ήταν οι πρωταγωνιστές στη διαμάχη για την ύλη. Οι μικροφυσικές οντότητες ανάχθηκαν από πολλούς σε απλές *δυναμικότητες* ή, ακόμα, σε *καθαρές μορφές*. Κατά τον Heisenberg, π.χ., τα άτομα ή τα στοιχειώδη σωμάτια δεν είναι πραγματικά. Συνιστούν μάλλον έναν κόσμο δυνατοτήτων παρά έναν κόσμο αντικειμένων ή γεγονότων<sup>3</sup>. Σε άλλη περίπτωση, ο μεγάλος φυσικός διατύπωσε περισσότερο ρητά τη νεοπυθαγόρεια ή νεο-πλατωνική αντίληψή του για την ύλη: «Αν επιχειρήσουμε να εισδύσουμε πίσω απ' αυτή την πραγματικότητα, στις λεπτομέρειες των ατομικών συμβάντων, το περιγράμμα αυτού του “αντικειμενικά πραγματικού” κόσμου διαλύεται —όχι στην αχλύ μιας νέας και ακόμα ασαφούς ιδέας της πραγματικότητας, αλλά στη διάφανη σαφήνεια μιας μαθηματικής, της οποίας οι νόμοι διέπουν το δυνατό, όχι το πραγματικό»<sup>4</sup>. Σύμφωνα μ' αυτή τη γραμμή σκέψης, ένα στοιχειώδες σωματίο δεν *περιγράφεται* σε ένα χώρο Hilbert.

---

Ο Ε. Μπιτσάκης είναι ομότιμος καθηγητής φιλοσοφίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και υπηγητής θεωρητικής φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών.

\* Το αγγλικό πρωτότυπο δημοσιεύθηκε στο περιοδικό *Foundations of Physics*, 21, 63 (1991), σε τιμητικό αφιέρωμα στον J.S. Bell.

Είναι ένας χώρος Hilbert. Η πυθαγόρεια-πλατωνική αναστροφή της γενετικής σχέσης ανάμεσα στα πράγματα και τις έννοιες βρήκε γόνιμο έδαφος στον κόσμο της νεότερης φυσικής.

Εντούτοις η διαμάχη για την αντικειμενικότητα και την αιωνιότητα της ύλης έχει την ίδια ηλικία με την ορθολογική φιλοσοφία. Μια θεμελιώδης πλευρά αυτής της διαμάχης αφορά τις σχέσεις ανάμεσα στην ύλη και την κίνηση. Το πρόβλημα αυτό θέλω να συζητήσω, στα πλαίσια της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Αλλά, προτού έρθουμε στον Νεύτωνα και στον Αϊνστάιν, θα ενδιέφερε, ίσως, να δώσουμε μια πολύ σύντομη περιγραφή αυτής της διαμάχης στην αρχαία ελληνική φιλοσοφία, επειδή πολλά από τα προβλήματα της σημερινής διαμάχης για την ύλη και την κίνηση διατυπώθηκαν για πρώτη φορά εκείνη την εποχή.

## 2. Οι φιλοσοφικές διαισθήσεις

Στις περισσότερες προ-φιλοσοφικές κοσμογονίες, το Σύμπαν θεωρείται ως ολότητα σε αέναη μεταμόρφωση, ως κάτι που γεννήθηκε από το Χάος ή από κάποιο άλλο πρωταρχικό στοιχείο. Στοιχεία της μυθικής αυτής αντίληψης του Σύμπαντος, το οποίο θεωρείται *αίτια του εαυτού του*, σε αιώνια γένεση και φθορά, βρίσκονται στις κοσμολογίες των πρώτων φιλοσόφων της Ιωνικής Σχολής.

Έτσι ο Θαλής (627-547 π.Χ.), επηρεασμένος από την ελληνική παράδοση αλλά και από ανατολικές μυθολογίες, θεώρησε το ύδωρ ως αρχή —ως έσχατο συστατικό της ύλης. Αρχή σημαίνει κάτι που ούτε δημιουργείται ούτε φθείρεται, κάτι το οποίο διατηρείται αιώνια κατά τη φθορά και τη γένεση των όντων. Στο ίδιο πνεύμα ο Αναξίμανδρος (610-546 π.Χ.) θεώρησε ότι το σύμπαν προέκυψε από το άπειρο, το απεριόριστο, το οποίο είναι αγέννητο, άφθαρτο και προικισμένο με κίνηση. Η γένεση και η φθορά είναι συνέπεια της πάλης και της ενότητας αντίθετων δυνάμεων και διέπονται από αναγκαιότητα.

Η κίνηση θεωρείται σ' αυτές τις κοσμολογίες ως ενδογενές κατηγορημα της ύλης. Αλλά αυτός που πρώτος διαμόρφωσε μια μονιστική και δυναμική αντίληψη για τις σχέσεις ανάμεσα στην ύλη και την κίνηση ήταν ο Ηράκλειτος (530-470 π.Χ.). *Εν το παν*, σε αιώνια κίνηση και αλλαγή. «Ήλιος νέος εφ' ημέρη εστιν». Πρωταρχική ουσία του Σύμπαντος είναι, κατά τον Ηράκλειτο, η φωτιά, ενεργητικό στοιχείο το οποίο κατατρώγει τα πάντα και από το οποίο τα πάντα γεννιούνται. «Όλα τα κυβερνά ο κεραυνός». Τα πάντα γεννιούνται από τη μεταμόρφωση της φωτιάς και η φωτιά από τη μεταμόρφωση των πάντων. Η κίνηση, συνεπώς, με τη γενικότερη έννοια του όρου, είναι το θεμελιώδες χαρακτηριστικό του Σύμπαντος και η κίνηση δεν είναι συμπτωματική. Κατά τον Ηράκλειτο, ο λόγος είναι ο αντικειμενικός νόμος της φύσης. Ταυτόχρονα είναι η νόηση, η οποία συλλαμβάνει την κίνηση και την αλλαγή. Εντούτοις «φύσις κρύπτεσθαι φιλεί». Συνεπώς: «Αρμονία αφανής φανεράς κρέσσων».

Κατά τον Ηράκλειτο, το Σύμπαν είναι άπειρο στο χώρο, αιώνιο στο χρόνο και σε αέναη μεταμόρφωση. Στη μονιστική οντολογία του, η ύλη και η κίνηση είναι αχώριστες. Παρά το ότι στην αντίληψή τους υπάρχουν μερικές μηχανιστικές συνηχήσεις, οι ατομικοί, Λεύκιππος και Δημόκριτος, θεώρησαν επίσης ότι το Σύμπαν αποτελείται από μια απειρία

κόσμων σε αδιάκοπο γίνεσθαι. Τα άτομα, θεμελιώδη συστατικά της ύλης, είναι αγέννητα, άφθαρτα, προικισμένα με κίνηση. Τα άτομα ταυτίζονται με το ον. Το κενό, με το μη ον. Κατά τον Δημόκριτο, η απειρία των κόσμων είναι άναρχη και τα αντικείμενα σχηματίζονται με την ένωση των ατόμων και αποσυντίθενται σε άτομα. «Μηδέν τι εκ του μη όντος γίνεσθαι μηδέ εις το μη ον φθείρεσθαι». Η φύση διέτεται από την αναγκαιότητα. Κατά συνέπεια, τίποτα δεν είναι συμπτωματικό, αλλά «εκ λόγον τε και υπ' ανάγκης»<sup>5</sup>.

Αυτή ήταν η γραμμή σκέψης (των Ιώνων και των ατομικών) που υποστήριξε την ενότητα της ύλης και της κίνησης. Η άλλη, που διατυπώθηκε από τους Ελεάτες, από τον Πυθαγόρα και τον Πλάτωνα, αποτελούσε την άρνηση της προηγούμενης: η κίνηση και η αλλαγή υποβαθμίζονται τώρα στην κατάσταση επιφαινομένων.

Πράγματι, οι Ίωνες δέχονταν την ύπαρξη υλικών αρχών, οι οποίες συνιστούσαν την ουσία των πραγμάτων. Κατά τους φιλοσόφους αυτούς, η φύση είναι κάτι που φύεται και αναπτύσσεται από μια πρωταρχική ουσία. Κατά τον Πυθαγόρα (580-500 π.Χ.), αντίθετα, τα πάντα είναι αριθμός, κάτι σαν τα κβάντα της νεότερης φυσικής, στερημένα από υλικό περιεχόμενο. Το Σύμπαν, συνεπώς, δεν είναι υλικό —πέρα από τις «έσχατες» ύλες πραγματικότητες, τους αριθμούς, δεν υπάρχει τίποτα για να αναζητήσουμε. Η κίνηση και η αλλαγή, κατά συνέπεια, είναι αδιανόητες σ' αυτό τον αφηρημένο κόσμο, που αποτελείται από αριθμούς και γεωμετρικές μορφές. Πολλοί σύγχρονοι φυσικοί, πιστεύοντας ότι ο αριθμός, η συμμετρία, η διαφορική εξίσωση είναι οι έσχατες ουσίες της μικροφυσικής πραγματικότητας, μπορούν να αναγνωρίσουν εύκολα τον εαυτό τους στην πυθαγόρεια «αριθμολογία».

Οι Ίωνες δεν ήταν εμπειριστές. Πίστευαν ότι η νόηση, επεξεργαζόμενη τα αισθητηριακά δεδομένα, μπορεί να φτάσει στην πραγματική γνώση των πραγμάτων. Ο Ξενοφάνης (6ος αιώνας π.Χ.), ιδρυτής της Σχολής της Ελέας, πίστευε, αντίθετα, ότι με τα αισθητήρια μπορούμε να γνωρίσουμε μόνο τα φαινόμενα. Η αισθητηριακή γνώση είναι απλή δόξα (γνώμη). Η κίνηση και αλλαγή δεν αφορούν το Είναι. Είναι συνεπώς αδύνατο να γνωρίσουμε πώς είναι στην πραγματικότητα τα όντα, με τη βοήθεια των αισθήσεων. Το Είναι, κατά τον Ξενοφάνη, είναι αμετάβλητο. Παρόμοια, ο διάδοχός του, ο Παρμενίδης (540-450 π.Χ.), μαθητής του Πυθαγόρα, θεωρούσε απατηλές τις αισθήσεις. Ο μόνος δρόμος προς την αλήθεια είναι, γι' αυτόν, η νόηση. Η γένεση και η φθορά είναι, επίσης, αδύνατες. Το Ον είναι αιώνιο και αμετάβλητο, αντίθετα με το αιώνια μεταβαλλόμενο σύμπαν των Ιώνων. Με τη σειρά του ο Ζήνων (490 π.Χ.) επεχείρησε να αποδείξει ότι η κίνηση είναι αδύνατη, με τη βοήθεια των περιφημων παραδόξων του.

Κατά τους Ίωνες, το Είναι είναι και δεν είναι. Κατά τους Ελεάτες, είναι ή δεν είναι. Η τυπική λογική υποκαθιστά εδώ την πρωτόγονη διαλεκτική της Ιωνικής Σχολής. Το Είναι των Ελεατών είναι αγέννητο και ανώλεθρο, ομοιόμορφο, ακίνητο, χωρίς αρχή και χωρίς τέλος και κατέχει ολόκληρο το χώρο. Το παρμενίδειο Ον δεν υπόκειται σε αλλαγή. Εφεξής η ιδέα της γένεσης και της φθοράς γίνεται αδιανόητη. Το Ον παραμένει ακίνητο, δεμένο με ισχυρές αλυσίδες. Ο Παρμενίδης αναγνώριζε ότι, αν η ενότητα υπάρχει αποκλειστικά στο φως της λογικής, τότε η πολλαπλότητα υπάρχει στο φως των αισθήσεων. Η αλήθεια δίδεται από τη νόηση. Έτσι, τα φαινόμενα, η πολλαπλότητα και η κίνηση δεν αφορούν το Είναι<sup>6</sup>.

Εντούτοις ήταν ο Πλάτων (427-347 π.Χ.) που, ακολουθώντας την παράδοση των Πυθαγορείων και του Σωκράτη, χώρισε την πραγματικότητα σε έναν αιώνιο και ακίνητο κόσμο,

τον κόσμο των Ιδεών που υπάρχουν σε έναν «υπερουράνιο τόπο» και συνιστούν τα αρχέτυπα των πραγμάτων, και τον αισθητό κόσμο της γένεσης και της φθοράς, που είναι αντίγραφο, ωχρό απείκασμα του πραγματικού κόσμου των Ιδεών. Σύμφωνα με τη θεωρία του Πλάτωνα, ο Δημιουργός δημιούργησε τον κόσμο όχι από το τίποτα, αλλά από ένα μείγμα Ιδεών και Ύλης και τον κατασκεύασε σύμφωνα με το καλύτερο δυνατό πρότυπο, τη σφαίρα —το ωραιότερο απ' όλα τα σχήματα. Ο Θεός δημιούργησε τον κόσμο σύμφωνα με τις Ιδέες. Από την αταξία δημιούργησε τάξη. Ο κόσμος, κατά τον Πλάτωνα, είναι «ζώνων έμφυχον και έννουν»<sup>7</sup>.

Σύμφωνα με την Ιωνική Σχολή και τους Ατομικούς, η κίνηση είναι ενδογενής ιδιότητα της ύλης. Οι σχέσεις ανάμεσα στην ύλη και την κίνηση έγιναν περισσότερο περίπλοκες και ακατανόητες στη φιλοσοφία των Ελεατών και των Πυθαγορείων. Η διχοτομία ανάμεσα στον αμετάβλητο και αιώνιο κόσμο των Ιδεών και το μεταβλητό κόσμο των πραγμάτων πραγματοποιήθηκε από τον Πλάτωνα.

Ο Αριστοτέλης (384-332 π.Χ.) επιχείρησε να υπερβεί την αντίθεση ανάμεσα στον αισθητό κόσμο και τον κόσμο της νόησης. Ταυτόχρονα, συνεχίζοντας κατά κάποια έννοια την ιωνική παράδοση, θεώρησε εκ νέου την κίνηση ως ενδογενή ιδιότητα της ύλης. Κατά τον Αριστοτέλη, η φύση είναι «αρχή κινήσεως και αλλαγής». Έτσι η κίνηση θεωρείται όχι μόνο ως μεταβολή της θέσης στο χώρο, αλλά και ως *μεταμόρφωση*, ως η μετάβαση από τη δυνατότητα στην πραγματικότητα. Η γένεση προκύπτει από τη δύναμη ύπαρξης, η οποία μεταπίπτει σε ενεργεία ύπαρξης. Η φύση είναι αδιαίρετο όλον και η μεταβολή καθορίζεται από αιτίες —τα ενδογενή στοιχεία από τα οποία συντίθεται ένα πράγμα. Επίσης το ενεργεία αποτελεί μέτρον του δυνάμει. Η ύλη είναι απροσδιόριστη, άμορφη, παθητική, άγνωστη καθεαυτή, και πραγματώνει μορφές χάρις στην εσωτερική της σκοπιμότητα —την *εντελέχεια*.

Ο Αριστοτέλης δε δέχτηκε τη θεωρία των ιδεών του δασκάλου του (του Πλάτωνα). Απέρριψε το διαχωρισμό μορφής και περιεχομένου. Έχοντας θεωρήσει την κίνηση ως *αρχή*, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο χρόνος είναι αιώνιος, χωρίς αρχή και χωρίς τέλος. Έτσι όρισε την παρούσα στιγμή ως *όριο*: ως «τελευταία του παρόντος» και αρχή του μέλλοντος χρόνου. Ο Αριστοτέλης θεώρησε το χρόνο μέτρο της κίνησης και αντίστροφα. Απέρριψε το κενό επειδή, αν θα υπήρχε, η *ακίνησία* θα ήταν αναπόφευκτη: Στο κενό, γράφει ο Αριστοτέλης, η ηρεμία είναι αναπόφευκτη, επειδή το κενό, ως τέτοιο, δεν ενέχει καμιά διαφορά. Αλλά, απορρίπτοντας το κενό, ο Αριστοτέλης απέρριψε ταυτόχρονα την αρχή της αδράνειας, την οποία είχε διαισθητικά διατυπώσει, ως επιχείρημα εναντίον της ύπαρξης του κενού.

Εντούτοις ο Αριστοτέλης ήταν, από μια άλλη άποψη, θύμα της εποπτείας: Υποστήριξε ότι ένα σώμα θα ακινητεί, εφόσον καμιά δύναμη δεν ενεργεί πάνω του. Ακόμα περισσότερο: Ο Αριστοτέλης, ο φιλόσοφος ο οποίος όρισε τη φύση ως «αρχήν κινήσεως και αλλαγής», εισήγαγε μια τελεολογική αρχή —την *εντελέχεια*— και δέχτηκε την ύπαρξη ενός *πρώτου κινούντος* και ενός *τελικού αιτίου*. Επίσης χώρισε τον κόσμο σε δύο: στον υποσελήνιο χώρο της αλλαγής και της φθοράς και στον υπερσελήνιο, τον κόσμο των αιώνιων, τέλειων και ταυτόσημων κινήσεων και των αιώνιων, αμετάβλητων όντων<sup>8</sup>.

Εν τέλει, απορρίπτοντας το κενό, ο Αριστοτέλης θεώρησε την ύλη συνεχή. Κατά κάποια έννοια, ταύτισε την ύλη με το χώρο: γι' αυτόν δεν υπάρχει έκταση διαφορετική από τα σώματα.

Κατά συνέπεια, δύο κύριες αντιλήψεις για την ύλη και την κίνηση κυριάρχησαν στη

σκέψη των «πρώτων φιλοσόφων»: (1) Απόρριψη του κενού και συνέχεια της ύλης, (2) άτομα, δηλαδή ασυνέχεια, και ύπαρξη του κενού. Και στις δυο περιπτώσεις η κίνηση θεωρήθηκε ενδογενής ιδιότητα της ύλης<sup>9</sup>. Στα νεότερα χρόνια ο Καρτέσιος ανέπτυξε περαιτέρω την πρώτη άποψη. Ο Γαλιλαίος και ο Νεύτων τη δεύτερη. Όμως με το έργο τους η γνώση πέρασε από τη φιλοσοφική διαίσθηση στην επιστημονική έρευνα. Παρατήρηση, πείραμα, μαθηματικά και η γνώση του ειδικού συνιστούν τη δύναμη της επιστήμης που ανατέλλει. Από το γενικό-αφηρημένο της αρχαίας φιλοσοφίας, η γνώση προχωρεί τώρα προς το συγκεκριμένο και το ειδικό. Εντούτοις, με την ανάπτυξη της κλασικής μηχανικής, η Φύση έχασε το δυναμικό χαρακτήρα της. Πράγματι, η ενότητα της ύλης και της κίνησης είναι προβληματική στα πλαίσια της μηχανικής. Ο Καρτέσιος χρειαζόταν τώρα το Θεό, που θα έδινε την αναγκαία ποσότητα κίνησης στη Φύση.

### **3. Μάζα, ύλη και ενέργεια: προς την κλασική διχοτομία**

Ο René Descartes (1569-1650) επιχείρησε να διατυπώσει τη Μηχανική στα πλαίσια ενός θεωρησιακού φιλοσοφικού συστήματος. Σε αντίθεση με τον Γαλιλαίο, ο Καρτέσιος θεωρούσε την ύλη συνεχή: ως ουσία που έχει μοναδικό κατηγορημα την έκταση. Η ύλη και ο χώρος ταυτίζονταν από τον Καρτέσιο: η φύση των πραγμάτων είναι η έκταση, η οποία επίσης συνιστά τη φύση του χώρου. Κατά συνέπεια, το κενό, «με τη φιλοσοφική έννοια», δεν υπάρχει. Η ομοιότητα με τις ιδέες του Αριστοτέλη είναι προφανής. Εντούτοις η αφετηρία τους είναι διαφορετική. Επιπλέον, κατά τον Αριστοτέλη η ύλη είναι αδημιούργητη και το άπειρο δε θεωρείται ως πραγματωμένο, αλλά σε κατάσταση γίγνεσθαι, «αεί γε έτερον και έτερον». Κατά τον Καρτέσιο, αντίθετα, η ύλη δημιουργήθηκε από το Θεό και το άπειρο είναι ένα από τα κατηγορήματα του Θεού. Θα ονομάσουμε τα πράγματα, γράφει, απροσδιόριστα μάλλον παρά άπειρα, ώστε να διατηρήσουμε την έννοια της απειρότητας μόνο για το Θεό.

Κατά τον Αριστοτέλη, η κίνηση είναι ενδογενής σε σχέση με την ύλη —η φύση, όπως σημειώσαμε, ορίζεται από τον Σταγειρίτη ως «αρχή κινήσεως και αλλαγής». Στα πλαίσια της θεολογικής αντίληψης του Καρτέσιου, αντίθετα, η κίνηση (= η ενέργεια) δημιουργήθηκε από το Θεό και διατηρείται χάρις στη δική του βούληση: ο Θεός είναι η πρώτη αιτία της κίνησης. Νομίζω ότι είναι προφανές, γράφει ο Καρτέσιος, ότι ο Θεός εν τη παντοδυναμία του δημιούργησε την ύλη, καθώς και την κίνηση και την ηρεμία, και ότι συντηρεί τώρα εις το Σύμπαν, με τη συνδρομή του, την ίδια [ποσότητα, E.M.] κίνησης και ηρεμίας την οποία έθεσε κατά τη στιγμή της δημιουργίας. Η ποσότητα κίνησης στο Σύμπαν διατηρείται, έστω και αν η κατανομή της στα διάφορα μέρη δεν είναι αμετάβλητη.

Βλέπει κανείς πόσο ο «πατέρας» του αστικού «ορθολογισμού» είναι πίσω σε σχέση με τους Έλληνες φιλοσόφους. Κατά τον Δημόκριτο, τον Αριστοτέλη, ακόμα και τον Πλάτωνα, η ύλη είναι αδημιούργητη. Είκοσι αιώνες αργότερα, ο Καρτέσιος είχε ανάγκη από δημιουργό. Κατά τον Δημόκριτο, τον Αριστοτέλη, κ.λπ., η κίνηση είναι ενδογενής κατηγορημα της ύλης. Κατά τον Καρτέσιο, ο Θεός προίκισε την ύλη με την κίνηση. Εντούτοις στο έργο του Καρτέσιου βρίσκουμε την πρώτη διατύπωση της αρχής της διατήρησης της ενέργειας (κίνησης), έστω και αν αυτή διατηρείται χάρις στην καλοσύνη του Θεού. (Αλλά, πέρα από τη θεο-

λογική-οντολογική της θεμελίωση, η αρχή αυτή ούτε διατυπώθηκε μαθηματικά από τον Καρτέσιο ούτε ήταν δυνατόν τότε να έχει κάποια εμπειρική επιβεβαίωση). Κατά τους «πρώτους φιλοσοφήσαντας», οι νόμοι της φύσης είναι αντικειμενικοί. Εκφράζουν ενδογενείς ιδιότητες και σχέσεις της ύλης. Κατά τον Καρτέσιο, τους νόμους της φύσης τους καθόρισε ο Θεός. Και αν η επιστήμη είναι δυνατή, αυτό οφείλεται στο ότι ο Θεός δεν παρεμβαίνει για να αλλάξει αυτούς τους νόμους. Ο Αριστοτέλης δέχτηκε την ύπαρξη ενός τελικού αιτίου. Ο Καρτέσιος, σύμφωνα με το πνεύμα της εποχής του, έγραφε ότι δεν πρέπει να ερευνούμε τους σκοπούς της δημιουργίας, αλλά μόνο τα μέσα με τα οποία ο Θεός δημιούργησε οτιδήποτε. Ο Καρτέσιος απέρριψε την τελεολογία. Με τον τρόπο αυτό προσανατόλισε τη φιλοσοφία προς την έρευνα των νόμων της φύσης και ειδικά των νόμων της Μηχανικής<sup>10</sup>.

Ως γνωστόν, ο Καρτέσιος διατύπωσε την αρχή της αδράνειας, αλλά δεν μπόρεσε να διατυπώσει ορθά και ποσοτικά τους βασικούς νόμους της μηχανικής<sup>11</sup>. Αυτό, ως γνωστόν, έγινε από τον Γαλιλαίο και τον Νεύτωνα.

Ο Καρτέσιος επικαλέστηκε το Θεό για να εξηγήσει την κίνηση. Εντούτοις γέμισε το χώρο με στροβίλους, που δημιουργούν μια κινηματική κατάσταση η εξέλιξη της οποίας θα μπορούσε να καθοριστεί για πάντα, και οι οποίοι θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν τη δομή του κόσμου. Ο Καρτέσιος δεν υπέθεσε την ύπαρξη δυνάμεων οι οποίες θα διαδίδονταν ανεξάρτητα από τις μάζες και που θα προκαλούσαν την κίνηση. Ο Νεύτων, αντίθετα, με αφετηρία την ατομιστική αντίληψη του Δημόκριτου, διατύπωσε μια δυναμική κατά την οποία τα στοιχεία της ύλης αλληλεπιδρούν με τη μεσολάβηση δυνάμεων<sup>12</sup>. Μ' αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε η επιστήμη της Μηχανικής. Αλλά ούτε ο Νεύτων κατόρθωσε να λύσει το πρόβλημα των σχέσεων ύλης και κίνησης.

Ο Δημόκριτος δέχτηκε την αιωνιότητα των ατόμων. Ο Νεύτων κατέφυγε στην ιδέα του Δημιουργού: «Μου φαίνεται πιθανόν ότι ο Θεός διαμόρφωσε στην αφετηρία την ύλη με τη μορφή στερεών, μαζικών, αδιαπεραστων σωματιών, ικανών για κίνηση, και με τέτοια μεγέθη και σχήμα, και με τέτοιες άλλες ιδιότητες και με τέτοιες αναλογίες ως προς το χώρο, ώστε να εναρμονίζονται στο μέγιστο βαθμό με το σκοπό για τον οποίο τα δημιούργησε και ότι τα πρωταρχικά αυτά σωματίδια, όντας στερεά, είναι ασύγκριτα πιο σκληρά από οποιοδήποτε πορώδες σώμα που συντίθεται απ' αυτά, ακόμα τόσο σκληρά, ώστε ποτέ να μη φθίρονται ούτε να θραύονται σε κομμάτια, ώστε καμιά συνήθως δύναμη να μην είναι ικανή να διαιρέσει αυτό το οποίο ο Θεός ο ίδιος δημιούργησε ενιαίο κατά την αρχική Δημιουργία»<sup>13</sup>. Με τον Νεύτωνα η ατομική υπόθεση απετέλεσε το θεμέλιο της Μηχανικής, αλλά ταυτόχρονα θεμελιώθηκε και επικαλύφθηκε θεολογικά.

Η ύλη δεν είναι επ' άπειρον διαιρετή, αντίθετα με το χώρο. Ο Νεύτων όρισε τον απόλυτο χώρο, «καθεαυτόν, χωρίς σχέσεις με οτιδήποτε εξωτερικό, και ο οποίος παραμένει παρόμοιος με τον εαυτό του και ακίνητος». Το άπειρο κενό του Δημόκριτου έγινε τώρα άπειρο *Sensorium Dei*. Παρόμοια ο Νεύτων όρισε τον απόλυτο χρόνο, ο οποίος ρέει ομοιόμορφα, χωρίς σχέση με οτιδήποτε εξωτερικό. Όρισε επίσης την απόλυτη κίνηση, ως τη μετατόπιση του σώματος από μια απόλυτη θέση σε άλλη. Τέλος δέχτηκε την ύπαρξη δυνάμεων με άπειρη ταχύτητα, εισάγοντας μ' αυτό τον τρόπο την αρχή της δράσης από απόσταση, τη μη-τοπικότητα των φυσικών διεργασιών<sup>14</sup>.

Έτσι ο Νεύτων δημιούργησε το γενικό πλαίσιο για τη μηχανιστική επιστήμη και για ένα

εξίσου μηχανιστικό σύμπαν. Πώς αντιμετωπίζεται τότε το πρόβλημα των σχέσεων ύλης και κίνησης;

Ο Νεύτων όρισε ως εξής την *ύλη*. «Είναι η ποσότητα την οποία θα ονομάζω εφεξής παντού με το όνομα σώμα ή μάζα». Η ποσότητα της ύλης υπολογίζεται από την πυκνότητα και τον όγκο. Με ανάλογο τρόπο η ποσότητα της κίνησης ορίζεται από την ταχύτητα και την ποσότητα της ύλης<sup>15</sup>.

Ο Ernst Mach άσκησε κριτική στις βασικές έννοιες του Νεύτωνα ως επηρεασμένες από τη μεσαιωνική φιλοσοφία. Αλλά το δικό μας ερώτημα είναι διαφορετικό: *Είναι επιστημολογικά νόμιμο να ταυτίζουμε τη μάζα με την ύλη; Η μάζα είναι φυσική έννοια, η οποία έχει μέτρο. Η μάζα υπεισέρχεται στους νόμους της φυσικής. Πώς όμως είναι δυνατόν να ορίσουμε ένα μέτρο της ύλης; Η ύλη δεν είναι έννοια. Είναι μια φιλοσοφική κατηγορία, μη λειτουργική στο πεδίο της φυσικής. Θα μιλήσουμε στη συνέχεια για τη μη νόμιμη αυτή ταύτιση, η οποία αποτελεί το αφετηριακό σημείο μιας προσχετικιστικής ερμηνείας της σχέσης μεταξύ μάζας και ενέργειας και της συνακόλουθης επιστημολογικής σύγχυσης.*

Ας επιστρέψουμε τώρα στη νευτώνεια αντίληψη της σχέσης ύλης και κίνησης. Ο Νεύτων όρισε τη «*vis incita*» ή αδράνεια με τον ακόλουθο τρόπο: «*Η vis incita* ή ενδογενής δύναμη της ύλης είναι μια δύναμη αντίστασης, εξαιτίας της οποίας κάθε σώμα συνεχίζει να υπάρχει στην παρούσα κατάσταση ηρεμίας ή ομοιόμορφης κίνησης πάνω σε ευθεία γραμμή»<sup>16</sup>.

Πώς όμως θα μπορούσαμε να εξηγήσουμε την κίνηση και την αλλαγή, αν η αδράνεια είναι το μόνο χαρακτηριστικό της ύλης; Ο Νεύτων επιχείρησε να λύσει αυτό το δίλημμα χωρίς πάλι να καταφύγει στο Θεό: «*Μου φαίνεται, παρατέρα, ότι αυτά τα σώματα δεν έχουν μόνο μια vis inertial, η οποία συνοδεύεται από παθητικούς νόμους της κίνησης, όπως προκύπτουν από αυτή τη δύναμη, αλλά επίσης ότι κινούνται από κάποιες ενεργητικές αρχές, όπως αυτή της βαρύτητας και εκείνη που προκαλεί τη ζύμωση και τη συνοχή των σωμάτων. Τις αρχές αυτές δεν τις θεωρώ απόκρυφες ιδιότητες, οι οποίες υποτίθεται ότι προκύπτουν από τις ειδικές μορφές των πραγμάτων, αλλά νόμους της φύσης από τους οποίους σχηματίζονται τα ίδια τα πράγματα, η αλήθεια των οποίων μας αποκαλύπτεται από τα φαινόμενα, αν και οι αιτίες τους δεν έχουν ακόμα ανακαλυφθεί. Πρόκειται για έκδηλες ιδιότητες, και οι αιτίες μόνο είναι απόκρυφες»<sup>17</sup>.*

Ο Νεύτων επιχείρησε να υπερβεί το άκαμπτο πνεύμα της μηχανικής: να ανακαλύψει τις αιτίες της κίνησης στην ύλη την ίδια. Εντούτοις, ήταν ακόμα πολύ ενωρίς! Η θερμοδυναμική διελείχθηκε κατά το 19ο αιώνα την έννοια της ενέργειας και διατύπωσε ποσοτικά τις αρχές της διατήρησης και του μετασχηματισμού<sup>18</sup>. Η θερμοδυναμική, ωστόσο, παρέμενε χρεώστρια της ταύτισης της μάζας με την ύλη. Και καθώς η ενέργεια δεν έχει μάζα, οι φυσικοί χώρισαν την πραγματικότητα σε δύο διαφορετικές ουσίες: *την υλική μάζα και την «άνυλη» ενέργεια*. Τόσο ο κλασικός όσο και ο σύγχρονος ενεργητισμός έχουν ως πηγή αυτό το μη νόμιμο αμάλγαμα δύο επιστημονικών εννοιών και μιας κατηγορίας. Ο απόλυτος χώρος και χρόνος δεν αντιφάσκουν με την εποπτεία. Με βάση την τεχνολογία του 18ου αιώνα ήταν αδύνατο να διαψευσθεί η υπόθεση της δράσης από απόσταση. Εντούτοις, πριν από τον Νεύτωνα, ο Καρτέσιος δεχόταν μια δράση μεταδιδόμενη με συνεχή τρόπο και ο Χρ. Χιούγκενς, σύγχρονος του Νεύτωνα, υποστήριξε ότι η διάδοση του φωτός μέσω της «αιθέρας ύλης» είναι στιγμιαία αλλά διαδοχική και συνεπώς πρέπει να απαιτεί χρόνο<sup>19</sup>.

Εντούτοις η πεπερασμένη ταχύτητα διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας αποδείχτηκε από τον Μάξγουελ στα μέσα του 19ου αιώνα.

Ο Νεύτων ήταν ρεαλιστής. Η επιστημονική μέθοδος κατ' αυτόν ήταν η επαγωγή. Έτσι διεκήρυσσε στα *Principia*: *Δεν κατασκευάζω υποθέσεις*. Στην πραγματικότητα έκανε υποθέσεις, ακόμα και μεταφυσικές. Γενικά όμως, η επιστήμη του ήταν γενίκευση της εμπειρίας. Έτσι δεν είναι τυχαίο ότι ο Αϊνστάιν έγραφε στον *Πρόλογο* της *Οπτικής* του Νεύτωνα: «Καλότυχε Νεύτωνα, ευτυχισμένη ηλικία της επιστήμης. Εκείνος που έχει χρόνο και ηρεμία μπορεί διαβάζοντας αυτό το βιβλίο να ζησει ξανά τα θαυμάσια γεγονότα τα οποία ο μέγας Νεύτων έζησε στη νεότητά του. Η φύση ήταν γι' αυτόν ένα ανοιχτό βιβλίο, που τα γράμματά του μπορούσε να τα διαβάσει χωρίς προσπάθεια. Οι έννοιες που χρησιμοποίησε για να βάλει σε τάξη το υλικό της εμπειρίας φαινόταν να πηγάζουν αυθόρμητα από την ίδια την εμπειρία»<sup>20</sup>. Εντούτοις θα παρατηρούσε κανείς ότι η έννοια της στιγμιαίας δράσης από απόσταση δεν προκύπτει άμεσα από την εμπειρία —την υπερβαίνει και ταυτόχρονα δεν αντιφάσκει μ' αυτή.

Εντούτοις η εμπειρία και η εποπτεία μπορεί να είναι απατηλές και ήταν ο Αϊνστάιν ο ίδιος αυτός που απέδειξε τα όρια της νευτώνειας αντίληψης για το χώρο, το χρόνο, τη μάζα και την ενέργεια. Με τον Αϊνστάιν κυριάρχησε για μια ακόμη φορά η αριστοτελική παράδοση, δοθέντος ότι η γενική θεωρία της σχετικότητας συνεπάγεται την παράσταση της φυσικής πραγματικότητας ως *συνεχούς πεδίου*. Η έννοια του σωματίου, γράφει ο Αϊνστάιν, δεν μπορεί να παίξει θεμελιώδη ρόλο ούτε και η έννοια της κίνησης. Το σωματίο μπορεί να αντιστοιχεί σε μια περιορισμένη περιοχή του χώρου, στην οποία η πυκνότητα της ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλή. Οι μάζες αντιπροσωπεύονται στη γενική θεωρία της σχετικότητας από ιδιόμορφα σημεία του πεδίου<sup>21</sup>.

Παρά ταύτα, η νευτώνεια παράδοση συσκοτίσε τις σχέσεις ανάμεσα στη μάζα, την ύλη και την ενέργεια, ακόμα και στην περίοδο της σχετικότητας.

#### **4. Η σχετικότητα και η προσχετικιστική ερμηνεία της**

Ο Ernst Mach έγραφε στον Πρόλογο της περιφημής *Επιστήμης της Μηχανικής* (1883): «Στόχος της είναι να αποσαφηνίσει ιδέες, να εκθέσει την πραγματική σημασία της ύλης και να απαλλάξει από μεταφυσικές ασάφειες»<sup>22</sup>.

Ο Mach τόνιζε στο βιβλίο του τα μεγάλα επιτεύγματα του Νεύτωνα, πέρα από τον Γαλιλαίο και τον Χιούγκενς, αναφορικά με την εισαγωγή της έννοιας της μάζας, τη γενίκευση της ιδέας της δύναμης, κ.λπ. Παρά ταύτα, άσκησε δριμύεια κριτική στις πιο θεμελιώδεις έννοιες τις οποίες εισήγαγε ο Νεύτων (απόλυτος χώρος, απόλυτος χρόνος, μάζα, απόλυτη κίνηση, κ.λπ.). Σε σχέση με τις έννοιες της μάζας και της ύλης, ο Mach γράφει: «Αναφορικά με την έννοια της “μάζας”, θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η διατύπωση του Νεύτωνα, η οποία ορίζει τη μάζα ως την ποσότητα της ύλης ενός σώματος, μετρούμενη με το γινόμενο του όγκου επί την πυκνότητα, είναι μια διατύπωση ατυχής. Καθώς μπορούμε να ορίσουμε την πυκνότητα ως τη μάζα της μονάδας του όγκου, ο κυκλικός συλλογισμός είναι προφανής»<sup>23</sup>. Σύμφωνα με τον Mach, ακόμα και η έκφραση «ποσότητα της ύλης» δεν είναι κατάλ-



ληλη για να εξηγήσει και να αποσαφηνίσει την έννοια της μάζας, εφόσον η ίδια η έκφραση δεν έχει την απαιτούμενη σαφήνεια. Ο ορισμός της μάζας είναι ένας ψευδο-ορισμός και ο ορισμός της αδράνειας καθίσταται περιττός. Ο Νεύτων, κατά τον Mach, βρισκόταν υπό την επίδραση της μεσαιωνικής φιλοσοφίας.

Ο Mach ξύπνησε τον Αϊνστάιν από το «δογματικό ύπνο» του, συμβάλλοντας, μ' αυτό τον τρόπο, στην επανάσταση της Σχετικότητας. Εντούτοις και ο Mach δεν μπόρεσε να αποσαφηνίσει τις σχέσεις ανάμεσα στη μάζα, την ύλη και την ενέργεια. Πράγματι, η ύλη για τον Mach δεν ήταν τίποτα περισσότερο από ένα «συνδυασμό των στοιχείων της αίσθησης, σύμφωνα με ορισμένους νόμους». Η επιστήμη, κατά τον Mach, «δε χάνει τίποτα όταν η “ύλη”, η οποία είναι ένα άκαμπτο, στείρο, σταθερό και άγνωστο Κάτι, αντικατασταθεί από ένα σταθερό νόμο»<sup>24</sup>.

Ο Mach απέρριψε τη «μεσαιωνική φιλοσοφία» του Νεύτωνα, υπέρ μιας ισοτρομενταλιστικής-εμπειριστικής φιλοσοφίας. Εντούτοις ήταν απίθανο να λύσει ένα πραγματικό πρόβλημα, με το να θεωρεί την ύλη σαν «ένα άγνωστο Κάτι», σύμφωνα με την παράδοση του Καντ και του Χιουμ. Έτσι, προτού επιχειρήσουμε να απαντήσουμε σ' αυτό το πρόβλημα, ας δούμε την προσχετικιστική ερμηνεία των σχέσεων μάζας, ύλης και ενέργειας, στο πλαίσιο της ειδικής σχετικότητας.

Πράγματι, η περίφημη σχέση του Αϊνστάιν ανάμεσα στη μάζα και την ενέργεια ερμηνεύθηκε σαν σχέση *ισοδυναμίας*. Στο άρθρο του 1905 ο Αϊνστάιν έγραφε : «Αν ένα σώμα αποβάλλει την ενέργεια  $L$  με μορφή ακτινοβολίας, η μάζα του μειώνεται κατά  $L/c^2$ . Το ότι η ενέργεια η οποία αφαιρείται από το σώμα γίνεται ενέργεια ακτινοβολίας, προφανώς δε δημιουργεί πρόβλημα, έτσι ώστε μπορούμε να οδηγηθούμε στο ακόλουθο συμπέρασμα: Η μάζα ενός σώματος είναι μέτρο του ενεργειακού του περιεχομένου»<sup>25</sup>.

Η μάζα ενός σώματος δεν είναι σταθερή, όπως δεχόταν η νευτώνεια φυσική. Η αδρανειακή μάζα αυξάνει με την ενέργεια την οποία περιέχει το σώμα.

Ως εδώ, δεν υπάρχει πρόβλημα. Ποιο είναι όμως το νόημα των προηγούμενων σχέσεων; Η κλασική φυσική είχε δύο αρχές: Την αρχή της διατήρησης της μάζας, η οποία ταυτιζόταν με τη φιλοσοφική αρχή της αφθαρσίας της ύλης (Δημόκριτος, Λαβουαζιέ) και την αρχή της διατήρησης της ενέργειας, η οποία εθεωρείτο αβαρής και —κατά συνέπεια— *άυλη ουσία*. Σύμφωνα με τη σχετικότητα, αντίθετα, η αδρανειακή μάζα ενός συστήματος θεωρείται μέτρο του ενεργειακού του περιεχομένου. Έτσι η αρχή της διατήρησης της μάζας ταυτίστηκε με την αρχή της διατήρησης της ενέργειας<sup>26</sup>. Ο ίδιος ο Αϊνστάιν και μαζί μ' αυτόν η ολότητα σχεδόν των φυσικών και των φιλοσόφων ερμήνευσαν την περίφημη εξίσωση του Αϊνστάιν όχι ως σχέση *αναλογίας* ανάμεσα σε δύο διαφορετικά και αντίθετα κατηγορήματα της ύλης (αδράνεια και κίνηση), αλλά σαν σχέση *ισοδυναμίας*<sup>27</sup>.

Η *ισοδυναμία* οδήγησε στο επόμενο βήμα: στην ταύτιση της μάζας και της ενέργειας. Καθώς έγραφε ο ίδιος ο Αϊνστάιν, «η ειδική θεωρία της σχετικότητας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η αδρανειακή μάζα δεν είναι τίποτα άλλο από ενέργεια, η οποία βρίσκει την πλήρη μαθηματική της έκφραση σε ένα συμμετρικό τανυστή δεύτερας τάξεως, τον τανυστή ενέργειας»<sup>28</sup>. Το τρίτο βήμα ήταν αναπόφευκτο: Η μάζα ταυτιζόταν, σύμφωνα με τη νευτώνεια παράδοση, με την ύλη. Κατά συνέπεια, η ύλη και η ενέργεια είναι ταυτόσημες. Ποια θα ήταν όμως τότε η «πρωταρχική» ουσία του Σύμπαντος; Η ύλη ή η ενέργεια;

Ο Αϊνστάιν δεν κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ουσία του σύμπαντος είναι η «άυλη ενέργεια». Άλλοι φυσικοί και φιλόσοφοι έκαναν εντούτοις αυτό το βήμα: Εφόσον, κατά τον Νεύτωνα, η μάζα ταυτίζεται με την ύλη και αν, σύμφωνα με τη θερμοδυναμική, η ενέργεια είναι ουσία χωρίς μάζα, δηλαδή άυλη, και αν, εν τέλει, υπάρχει μια ισοδυναμία μεταξύ τους, τότε είναι εντελώς επιτρεπτό να θέσουμε το ερώτημα: ποια είναι η «ουσία» του κόσμου; Η ύλη-μάζα ή η ενέργεια;

Ο νεότερος ενεργητισμός θεώρησε την ενέργεια ως την έσχατη ουσία του κόσμου, με βάση τη νευτώνεια ταύτιση της ύλης με τη μάζα: Η ύλη δεν είναι τίποτα άλλο από ενέργεια. Αλλά η ενέργεια είναι άυλη. Ο Τζορτζ Μπέρκλεϊ (1685-1753) θα ήταν πολύ ευτυχής αν θα είχε στην εποχή του τη δυνατότητα να διατυπώσει ένα τέτοιο σαρωτικό επιχειρήμα.

Ας παραθέσουμε για άλλη μια φορά τον Χάιζεμπεργκ, ώστε να συγκεκριμενοποιήσουμε την άποψή του: «Εφόσον η μάζα και η ενέργεια είναι, σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας, ουσιαστικά ταυτόσημες έννοιες, μπορούμε να πούμε ότι όλα τα στοιχειώδη σωματίδια αποτελούνται από ενέργεια. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ότι ορίζει την ενέργεια ως την πρωταρχική ουσία του κόσμου»<sup>29</sup>. Η άποψη του Χάιζεμπεργκ εναρμονίζεται με τον αντιυλιστικό νεοπλατωνισμό του. Εντούτοις υπάρχουν άλλοι, οι οποίοι, από αυτή την προσχετικιστική ερμηνεία της εξίσωσης του Αϊνστάιν, επεχείρησαν να διαμορφώσουν μια σύγχρονη πνευματοκρατία με «επιστημονική» θεμελίωση. Έτσι, ο πατήρ Teilhard de Chardin έγραφε με το ποιητικό του ύφος: «Η ενέργεια, παγκόσμια κυμαινόμενη ουσία, απ' όπου το παν αναδύεται και όπου επιστρέφει, σαν σε ωκεανό. Η ενέργεια, το νέο πνεύμα. Η ενέργεια, ο νέος Θεός. Στο ωμέγα του κόσμου, όπως και στο άλφα, το απρόσωπο». Με τον τρόπο αυτό η εξέλιξη του Σύμπαντος είναι «μια άνοδος προς τη Συνείδηση» και «οφείλει να κορυφωθεί σε μια ανώτατη συνείδηση»<sup>30</sup>. Ο Teilhard de Chardin δεν ήταν ο μόνος επιστήμονας που ερμήνευσε μ' αυτό τον τρόπο τις σχέσεις μάζας, ύλης και ενέργειας.

Τα σωματίδια είναι σταθερά στην κλασική φυσική (το γαλιλαιικό σωματίο έχει ως μοναδικό κατηγορημα τη μάζα). Στη σχετικιστική φυσική έχουμε μετασχηματισμούς σωματίων: Μαζικά σωματίδια μετατρέπονται σε μη μαζικά. Επίσης μη μαζικά σωματίδια (π.χ. φωτόνια) μετατρέπονται σε μαζικά. Στα πλαίσια της προσχετικιστικής ερμηνείας των σχέσεων μάζας και ενέργειας, η μετατροπή μαζικών σωματίων σε σωματίδια με μηδενική μάζα ηρεμίας ερμηνεύτηκε ως *αφυλοποίηση* της ύλης. Η αντίστροφη μετατροπή ερμηνεύτηκε ως *υλοποίηση* της ενέργειας. Για άλλη μια φορά η ταύτιση της ύλης με τη μάζα και της ενέργειας με μια άυλη ουσία οδήγησε σε μια ερμηνεία με αμφισβητήσιμη νομιμότητα.

Πράγματι, οι προηγούμενες ερμηνείες είναι προσχετικιστικές, επειδή χρησιμοποιούν έννοιες που προϋποθέτουν το τρισδιάστατο ευκλείδειο πλαίσιο. Αλλά η σχετικότητα περνά από τον τρισδιάστατο ευκλείδειο χώρο στον τετραδιάστατο ψευδο-ευκλείδειο χώρο Μινκόφσκι. Αντίστοιχα, τα κλασικά μεγέθη αντικαθίστανται από νέα, τα οποία προϋποθέτουν το νέο χωροχρονικό πλαίσιο. Στο πλαίσιο αυτό έχουν φυσικό νόημα μόνο τα τετραδιάστατα αναλλοίωτα μεγέθη. Θα πρέπει συνεπώς να αναλύσουμε το φυσικό περιεχόμενο των νέων εννοιών και σχέσεων στο τετραδιάστατο πλαίσιο.

### 5. Για μια σχετικιστική ερμηνεία των σχέσεων ανάμεσα στη μάζα και την ενέργεια

Η ύλη δεν είναι επιστημονική έννοια. Είναι οντολογική κατηγορία. Κατά συνέπεια δεν είναι επιστημονικά λειτουργική: δεν υπάρχει μέτρο της ύλης. Η ύλη δεν υπεισέρχεται στις σχέσεις και στους τύπους της φυσικής. Γενικότερα, οι επιστήμες δεν ασχολούνται με την ύλη γενικά, αλλά με ειδικές, συγκεκριμένες μορφές ύλης και σχέσεις. Η ύλη είναι μια αφαιρεση. Είναι το γενικό-αφηρημένο, το οποίο στη γενικότητά του περιλαμβάνει την ποικιλομορφία του συγκεκριμένου: μαζικά σωμάτια, πεδία, σωμάτια με μηδενική μάζα ηρεμίας, ενδεχομένως τα «ghost waves» (empty waves) του Αϊνστάιν, τα οποία δε μεταφέρουν σωματίο, κ.λπ.

Η ύλη δεν είναι έννοια. Στη γενικότητά της, υποδηλώνει το αντικείμενο της επιστημονικής έρευνας. Η μάζα και η ενέργεια, αντίθετα, αντιστοιχούν σε φυσικά μεγέθη. Είναι επιστημονικές έννοιες με φυσικό αντίστοιχο.

1. Η μάζα είναι το μέτρο της αδράνειας —ενός κατηγορήματος της ύλης.
2. Η ενέργεια είναι το μέτρο της κίνησης —ενός αντίθετου κατηγορήματος της ύλης.
3. Τα δυο άλλα μεγέθη σχετίζονται με την περίφημη σχέση  $E = mc^2$ .

Πώς θα ερμηνεύσουμε αυτή την εξίσωση;

Ας αγνοήσουμε προς στιγμήν τον τετραδιάστατο φορμαλισμό. Η προηγούμενη εξίσωση δεν είναι σχέση ισοδυναμίας. Στο τρισδιάστατο πλαίσιο είναι μια σχέση αναλογίας ανάμεσα σε δύο διαφορετικά φυσικά μεγέθη. (Για να υπολογίσουμε την ενέργεια  $E$ , η οποία αντιστοιχεί στη μάζα  $m$ , πρέπει να πολλαπλασιάσουμε τη μάζα όχι με έναν καθαρό αριθμό, αλλά με το τετράγωνο μιας ταχύτητας).

Αν απορρίψουμε τη νευτώνεια ταύτιση της μάζας με την ύλη και ταυτόχρονα την ταύτιση της ενέργειας με μια ουσία (άυλη, κ.λπ.), τότε είναι δυνατόν να δώσουμε μια επιστημολογικά συνεκτική ερμηνεία της εξίσωσης του Αϊνστάιν και ενός αριθμού σχετικών προβλημάτων.

Η μάζα δεν είναι ύλη. Είναι το μέτρο ενός κατηγορήματος της ύλης. Η ενέργεια δεν είναι ουσία. Είναι το μέτρο ενός άλλου κατηγορήματος της ύλης. Το φυσικό νόημα της σχέσης του Αϊνστάιν δεν είναι ότι η ύλη-μάζα είναι ισοδύναμη με την ενέργεια και αντίστροφα.

Ας πάρουμε ένα παράδειγμα: ο μετασχηματισμός

$$h\nu \rightarrow e^- + e^+$$

δηλαδή ο μετασχηματισμός ενός φωτονίου σε ζεύγος θετικού και αρνητικού ηλεκτρονίου, δεν αντιστοιχεί, όπως κατά κανόνα λέγεται, σε υλοποίηση της ενέργειας, αλλά στη μετατροπή ενός σωματίου με μηδενική μάζα ηρεμίας σε ζεύγος δυο μαζικών σωματίων.

Αντίστοιχα, ο μετασχηματισμός

$$e^- + e^+ \rightarrow h\nu$$

δεν αντιστοιχεί στην αφυλοποίηση της ύλης, αλλά στη μετατροπή δύο μαζικών σωματίων σε ένα σωματίο μηδενικής μάζας ηρεμίας.

Γενικότερα, δεν είναι επιστημολογικά νόμιμο να μιλάμε για υλικά και μη υλικά σωμάτια, αλλά για μαζικά (λεπτόνια, βαρυόνια, μεσόνια, κ.λπ.) και για σωμάτια με μηδενική μάζα ηρεμίας (φωτόνια, βαρυτόνια). Η μάζα (ενεργεία μάζα) δεν είναι αναγκαίο κατηγορήμα

της ύλης. Μ' αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να καταλήξουμε σε μια ενιαία-μονιστική αντίληψη για την ύλη. Να τεκμηριώσουμε την οντολογική ενότητα της ύλης, η οποία δεν αντιφάσκει με τη διαφορότητα των μορφών.

Στο τρισδιάστατο πλαίσιο είναι επίσης δυνατόν να αναδιατυπώσουμε τις δύο κλασικές αρχές διατήρησης. Πράγματι, η κλασική φυσική δεχόταν τη διατήρηση της ύλης-μάζας και τη διατήρηση της ενέργειας. Σύμφωνα με την προσχετικιστική ερμηνεία της σχετικότητας, την οποίαν επιχειρώ να ανασκεύασω εδώ, οι δύο αυτές αρχές ανάχθηκαν από τη σχετικότητα σε μία και μοναδική. Εντούτοις η ερμηνεία αυτή προϋποθέτει ότι τόσο η μάζα όσο και η ενέργεια είναι ουσίες και επιπλέον ότι η μάζα ταυτίζεται με την ύλη. Εντούτοις είναι δυνατόν να αναδιατυπώσουμε τις δύο κλασικές αρχές χωρίς να χρησιμοποιήσουμε οποιοδήποτε «ουσίες», αλλά χρησιμοποιώντας τις γενετικές σχέσεις ανάμεσα στο δυνάμει και το ενεργεία. Έτσι, κατά το μετασχηματισμό μαζικών σωματίων σε μη μαζικά, η ενεργεία μάζα γίνεται δυνάμει, ενώ η δυνάμει ενεργεία γίνεται ενεργεία. Το αντίθετο ισχύει στην περίπτωση μετασχηματισμού μη μαζικών σωματίων σε μαζικά.

Μπορούμε συνεπώς να ορίσουμε την ολική μάζα ενός σωματίου ως το άθροισμα της ενεργείας και της δυνάμει μάζας του:

$$M_{ολ} = M_{ev} + E/c^2$$

Αντίστοιχα, μπορούμε να ορίσουμε την ολική ενέργεια:

$$E_{ολ} = E + m_0 c^2$$

Κατά τους μετασχηματισμούς των σωματίων, η ενεργεία μάζα ή η ενεργεία ενέργεια μπορούν να μεταπέσουν στο δυνάμει και αντίστροφα. Αλλά, τόσο η ολική μάζα όσο και η ολική ενέργεια διατηρούνται. Είναι συνεπώς δυνατόν να αναδιατυπώσουμε τις αρχές διατήρησης λαμβάνοντας υπόψη τις δυναμικές σχέσεις ανάμεσα στη μάζα και την ενέργεια, ανάμεσα στο δυνάμει και το ενεργεία:

1. Αρχή της διατήρησης της μάζας:  $M_{ολ} = M_{ev} + M_{δυν}$ . Το άθροισμα της ενεργείας και της δυνάμει μάζας διατηρείται κατά τους μετασχηματισμούς των σωματίων.

2. Αρχή της διατήρησης της ενέργειας:  $E_{ολ} = E_{ev} + E_{δυν}$ . Η ολική ενέργεια ενός σωματίου (ενεργεία και δυνάμει) διατηρείται κατά τους μετασχηματισμούς<sup>31</sup>.

Προφανώς η αρχή της διατήρησης της μάζας είναι άσχετη με τη λεγόμενη «αρχή της διατήρησης της ύλης», επειδή η ύλη, όπως σημειώθηκε ήδη, δεν είναι έννοια και κατά συνέπεια δεν έχει μέτρο. Η αρχή της διατήρησης της ύλης είναι οντολογικό αξίωμα. Κατά συνέπεια είναι αδύνατο να αποδειχθεί ή να διαψευσθεί. Η πρόταση, η ύλη είναι αγέννητη και άφθαρτη, δεν είναι ούτε αληθής ούτε ψευδής. Είναι σύμφωνη με τα δεδομένα των επιστημών, άρα, ενδεχομένως, ορθή<sup>32</sup>. Ο Λαβουαζιέ «απέδειξε» στα όρια ακριβείας των πειραματικών δυνατοτήτων της εποχής του τη διατήρηση της μάζας. Όχι της ύλης. Επιπλέον, η απόδειξή του ήταν εσφαλμένη, από σχετικιστική άποψη.

Θα περάσουμε τώρα στο τετραδιάστατο πλαίσιο, για να αναδείξουμε τις πράγματι σχετικιστικές έννοιες και σχέσεις και να διατυπώσουμε ορισμένα επιπλέον επιχειρήματα εναντίον της προσχετικιστικής ερμηνείας των σχέσεων ανάμεσα στη μάζα και την ενεργεία.

Η εξίσωση του Αϊνστάιν έχει συγκεκριμένο νόημα στο τρισδιάστατο πλαίσιο. Είναι μια σχέση αναλογίας ανάμεσα σε δυο φυσικά μεγέθη, μέτρων δυο κατηγορημάτων της ύλης. Αλλά το γνήσιο περιεχόμενο των δυο εννοιών αναδεικνύεται μόνο στο τετραδιάστατο πλαίσιο.

Στο προσχετικιστικό πλαίσιο, η ενέργεια έχει αυτόνομο νόημα και ένα δίθην καθεστώς «ουσίας». Αλλά η ενέργεια έχει πραγματικό φυσικό νόημα μόνο στο τετραδιάστατο πλαίσιο, ως η χρονική συνιστώσα του τετραδιάστατου διανύσματος ορμής-ενέργειας. Κατά συνέπεια η ενέργεια έχει νόημα μόνο σε αλληλεξάρτηση με τις τρεις χωρικές συνιστώσες που αντιστοιχούν στην ορμή. Αυτό είναι ένα γνήσιο σχετικιστικό επιχείρημα εναντίον της αντίληψης της ενέργειας ως ανεξάρτητης ουσίας. Το γεγονός ότι η μάζα και η ενέργεια εισέρχονται στο ίδιο τετραδιάστατο διάνυσμα ως διαφορετικές συνιστώσες είναι η τυπική έκφραση ενότητας και ταυτόχρονα της διαφοράς αυτών των αντίθετων κατηγορημάτων της ύλης.

Σημειώσαμε το νόημα της έννοιας της μάζας στο τριδιάστατο πλαίσιο. Στο πλαίσιο αυτό η μάζα είναι σχετική. Από την άλλη πλευρά, η μάζα αντιστοιχεί στις τρεις χωρικές συνιστώσες του τετραδιανύσματος ορμής-ενέργειας. Το αμετάβλητο μέγεθος στο τετραδιάστατο πλαίσιο είναι η μάζα ηρεμίας.

$$P_{\mu}P^{\mu} = (P^0)^2 - \sum_q (P^q)^2 = \frac{m_0^2 c^2}{1-\beta^2} \left( \frac{1-\sum_q (V^q)^2}{c^2} \right) = m_0^2 c^2$$

Ο προηγούμενος τύπος είναι η έκφραση ενός αμετάβλητου μεγέθους για ένα δεδομένο σωματίο: της μάζας ηρεμίας του. Ταυτόχρονα είναι έκφραση της ενότητας και ταυτόχρονα της διαφοράς ανάμεσα στη μάζα και την ενέργεια. Δεν είναι, εντούτοις, έκφραση ταυτότητας της ενέργειας και της ορμής, ούτε της ανυπαρξίας της μάζας της ανεξάρτητης οντότητας, όπως είχε ισχυρισθεί ο Αϊνστάιν<sup>33</sup>. Από την άλλη πλευρά, η  $m_0$  λαμβάνεται ενίοτε ως το ποσοτικό μέτρο της ύλης και η διατήρηση της ολικής μάζας ή της ολικής ενέργειας ερμηνεύεται ως έκφραση της διατήρησης της ύλης και της αφθαρσίας της κίνησης<sup>34</sup>. Εντούτοις, σύμφωνα με την άποψη που διατυπώνεται εδώ, δεν υπάρχει μέτρο της ύλης. Κατά συνέπεια, ο προηγούμενος ισχυρισμός στερείται νοήματος. Το «μήκος» του διανύσματος ορμής-ενέργειας δεν είναι μέτρο της ύλης. Το διάνυσμα αυτό είναι η γεωμετρική απεικόνιση της αμοιβαίας μεταβολής της χρονικής και των χωρικών συνιστωσών, δηλαδή της ενέργειας και της μάζας ενός σωματίου κατά την κίνηση. Η αμεταβλητότητα δεν είναι ασύμβατη με τη μεταβολή των «συνιστωσών», δηλαδή με τη σχετικότητα της μάζας και της ενέργειας, αν αποσυνδέσουμε το τετραδιάνυσμα σε δυο υποχώρους: τον τριδιάστατο χώρο και το μονοδιάστατο χρόνο.

Αν απορρίψουμε την ταύτιση της μάζας με την ενέργεια, τότε θα ήταν δυνατόν να διευρύνουμε την κατηγορία της ύλης ώστε να περιλάβει κάθε μορφή που υπάρχει ανεξάρτητα από το υποκείμενο. Αλλά τότε η μάζα ηρεμίας δεν είναι αναγκαίο κατηγορημα της ύλης. Η άποψη αυτή έχει ένα σταθερό θεμέλιο στο φορμαλισμό της ειδικής σχετικότητας, κατά τον οποίο σωματία με ορμή, ενέργεια, κ.λπ., είναι δυνατά, έστω και αν στερούνται μάζας ηρεμίας.

Πράγματι, από τον τύπο

$$E = \sqrt{(m_0 c^2)^2 + c^2 p^2}$$

λαμβάνουμε

$$p = \sqrt{\frac{E^2}{c^2} - m_0^2 c^2}$$

Αλλά τότε, αν  $m_0 = 0$ ,  $p = E/c$ . Στην περίπτωση των φωτονίων, καταλήγουμε στο γνωστό τύπο:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$$

Μ' αυτό τον τρόπο η κατηγορία της ύλης αποσυνδέεται από την έννοια της μάζας ηρεμίας. (Προφανώς, ακόμα και αν το φωτόνιο έχει μηδενική μάζα ηρεμίας, και σ' αυτή την περίπτωση κατέχει μια δυνάμει μάζα που αντιστοιχεί στην ενέργειά του και που πραγματώνεται κατά την τυχόν μετατροπή του σε μαζικά σωμάτια). Και είναι γνωστό ότι σήμερα πραγματοποιούνται θεωρητικές και πειραματικές έρευνες που αποβλέπουν στην ανακάλυψη των «κενών κυμάτων» ή «κυμάτων-φαντασμάτων» του Αϊνστάιν. Οι οντότητες αυτές, αν και στερημένες από μάζα και ενέργεια, προκαλούν φυσικά φαινόμενα.

Είναι συνεπώς δυνατόν να διευρύνουμε την κατηγορία της ύλης, προκειμένου να περιλάβουμε όχι μόνο τα μαζικά σωμάτια, συστατικά των ατόμων, κ.λπ., αλλά και τα μη μαζικά, το ηλεκτρομαγνητικό και το βαρυτικό πεδίο. Μ' αυτό τον τρόπο η κλασική διάκριση ανάμεσα στην ύλη και το πεδίο χάνει κάθε νόημα. Μια τέτοια διεύρυνση εναρμονίζεται με το φορμαλισμό, καθώς και με το φυσικό περιεχόμενο των θεωριών του Αϊνστάιν.

Στο άρθρο του για τη γενική σχετικότητα, ο Αϊνστάιν έγραφε: «Κάνουμε εφεξής μια διάκριση ανάμεσα στο "βαρυτικό πεδίο" και την "ύλη", με την έννοια ότι ορίζουμε ως ύλη οτιδήποτε εκτός από το βαρυτικό πεδίο. Η χρήση της λέξης, συνεπώς, περιλαμβάνει όχι μόνο την ύλη με τη συνήθη έννοια, αλλά και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο». Εδώ ο Αϊνστάιν ξεπερνά την κλασική διάκριση ύλης και πεδίου, χωρίς να φθάνει σε μια ενιαία αντίληψη που θα περιλάμβανε και το βαρυτικό πεδίο. Στο ίδιο άρθρο, ωστόσο, ο Αϊνστάιν τονίζει ότι «το βαρυτικό πεδίο δρα βαρυτικά με τον ίδιο τρόπο που δρα κάθε άλλο είδος ενέργειας», δίνοντας έτσι τη δυνατότητα να περιλάβουμε και το βαρυτικό πεδίο στην κατηγορία της «ύλης»<sup>35</sup>.

Η σχετικότητα και η κβαντική θεωρία κατέστησαν απαρχαιωμένη την οντολογική αντίθεση ανάμεσα στην ύλη και το πεδίο. Στα πλαίσια αυτών των θεωριών, είναι δυνατόν να δεχτούμε την ύπαρξη μιας και μοναδικής πραγματικότητας, με μορφή μαζικών, αλλά και μη μαζικών σωματιών. Οι διάφορες μορφές αυτής της πραγματικότητας μετασχηματίζονται αμοιβαία, σύμφωνα με τους γενικούς νόμους διατήρησης. Το γεγονός αυτό είναι μια πρόσθετη ένδειξη για την οντική ενότητα της ύλης. Οι διαφορές που αφορούν τη μάζα, το φορτίο, τη σωματιδιακή ή την κυματική μορφή, κ.λπ., είναι ειδικές διαφορές στα πλαίσια της καθολικής ενότητας.

Τελικά, αξίζει να τονίσουμε άλλη μια ένδειξη της ενότητας ανάμεσα στην «ύλη» και το «πεδίο». Όπως είναι γνωστό, σύμφωνα με τη γενική σχετικότητα, η μορφή του χωρο-χρονικού συνεχούς καθορίζεται από την κατανομή της ύλης, όπως εκφράζεται από τον ταυνοστή ορμής-ενέργειας. Στην περίπτωση μαζικών σωματιών, ο ταυνοστής αυτός έχει τη μορφή

$$M_\mu^P = m_0 c^2 u_\mu u^P$$

Στην περίπτωση μαζικών σωματιών και πεδίου, έχουμε

$$M_\mu^P = m_0 c^2 u_\mu u^P + \tau_\mu^P$$

όπου  $\tau_\mu^P$  αντιπροσωπεύει την κατανομή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Δεν υπάρχει διχοτομία ανάμεσα στην «ύλη» και στο «πεδίο». Συνεπώς, καθώς το πεδίο είναι η κατ' εξοχήν έκφραση της κίνησης, έχουμε, και απ' αυτή την πλευρά επίσης, ένα συμπληρωματικό επιχείρημα υπέρ της ενότητας ύλης και κίνησης<sup>36</sup>.

## 6. Παράδοξα και ανοιχτά ερωτήματα

Η σχετικότητα έχει (και αυτή) τα παράδοξά της και τα ανοιχτά της ερωτήματα. Ας σημειώσουμε ορισμένα, τα οποία σχετίζονται με το θέμα αυτού του άρθρου.

Η μάζα ηρεμίας ενός φωτονίου είναι ίση με μηδέν. Ποιο είναι όμως το νόημα αυτής της πρότασης; Επειδή, πώς είναι δυνατόν να βρούμε ένα σύστημα αναφοράς ως προς το οποίο το φωτόνιο θα ήταν σε ηρεμία; Και αν  $m=0$  για το φωτόνιο, γιατί η ταχύτητά του δε θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη από  $c$ ; Εξαιτίας αυτού, η αδρανειακή του μάζα φαίνεται άπειρη. Από την άλλη πλευρά, αν θέλουμε να περισώσουμε την ισχύ της βασικής εξίσωσης της μηχανικής στην περίπτωση των φωτονίων, θα έπρεπε να υποθέσουμε ότι η μάζα ηρεμίας τους είναι θετική. Αλλά στην περίπτωση αυτή η ταχύτητά τους θα έπρεπε να είναι μικρότερη από  $c$ . Αλλά μια τέτοια υπόθεση δημιουργεί νέα προβλήματα και ερωτήματα.

Κατά το μετασχηματισμό των φωτονίων και γενικότερα των μικροσωματίων, η μάζα, όπως και η ενέργεια, μεταπίπτουν από τη δύναμη κατάσταση στην ενεργεία και αντίστροφα. Πώς πραγματοποιούνται αυτές οι διαδικασίες;

Στο σύστημα του κέντρου μάζας,  $p=0$ . Ο νόμος της διατήρησης της ολικής μάζας συμπίπτει τότε με το νόμο της διατήρησης της ενέργειας. Αν  $p \neq 0$ , η κινητική ενέργεια συνεισφέρει στη μάζα του σωματίου. Πώς όμως η ενέργεια, η οποία έχει μηδενική μάζα ηρεμίας, συνεισφέρει στην αδρανειακή μάζα; Στην περίπτωση αυτή η ενεργεία ενέργεια μετασχηματίζεται σε ενεργεία μάζα, δηλαδή σε δυναμική ενέργεια. Το ίδιο ερώτημα γείρεται σχετικά με την ενεργεία σύνδεσης των περιφερειακών ηλεκτρονίων, η οποία μεταβάλλει τη μάζα του συστήματος, κ.λπ.

Αλλά τι είναι η μάζα; Είναι ένα μέγεθος καθεαυτό ή, όπως αξιώνει το αξίωμα του Mach, η αδράνεια ενός σώματος καθορίζεται από την αμοιβαία δράση της ύλης, δηλαδή από την κατανομή της ύλης στο χώρο;

Από την εποχή του Νεύτωνα είχε γίνει δεκτό ότι η σχέση της αδρανειακής με τη βαρυτική μάζα είναι η ίδια για όλες τις ουσίες. Το πείραμα του Εϊντος (1890) και άλλα, περισσότερο σύγχρονα πειράματα, επιβεβαίωσαν με εξαιρετική ακρίβεια το αίτημα της ισοτήτας της αδρανειακής και της βαρυτικής μάζας. Το αξίωμα της ισοδυναμίας, που χρησιμοποιήθηκε από τον Αϊνστάιν στη γενική θεωρία της σχετικότητας, αποτελεί γενίκευση της παραδοχής ότι η βαρυτική μάζα είναι ίση με την αδρανειακή<sup>38</sup>. Ποια είναι η κρυμμένη αιτία αυτής της ισοτήτας; Το να λέμε ότι το ίδιο μέγεθος ενός σώματος εκδηλώνεται, ανάλογα με τις συνθήκες, ως αδράνεια ή ως βάρος, σημαίνει ότι αναγνωρίζουμε, όχι ότι εξηγούμε το γεγονός. Όπως υποστηρίζουν ο Mercier και οι συνεργάτες του, η προηγούμενη αρχή είναι απλώς μια «απόφαση που χρησιμοποιείται ως ορισμός είτε το νευτώνειο δυναμικόν που υπεισέρχεται στην εξίσωση του Poisson, είτε της βαρυτικής δύναμης»<sup>40</sup>.

Ο Νεύτων, με βάση τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός, προέβλεψε ότι οι φωτεινές ακτί-

νες, όταν διέρχονται από τη γειτονιά ενός μαζικού ουράνιου σώματος, θα αποκλίνουν από τη δύναμη του βαρυτικού πεδίου. Ο Αϊνστάιν, στα πλαίσια ενός διαφορετικού «παραδείγματος», κατέληξε στο ίδιο συμπέρασμα: «Οι ακτίνες του φωτός, όταν διέρχονται κοντά από τον ήλιο, θα εκτραπούν από το βαρυτικό πεδίο του, έτσι ώστε η γωνιακή απόσταση ανάμεσα στον ήλιο και έναν απλανή στη γειτονιά του θα αυξάνει περίπου κατά ένα δευτερόλεπτο»<sup>41</sup>.

Η ποσοτική πρόβλεψη της θεωρίας επιβεβαιώθηκε από την παρατήρηση. Αν όμως τα φωτόνια έχουν μηδενική μάζα ηρεμίας, τότε πώς εξηγείται ότι η βαρυτική μάζα τους είναι θετική; Σ' αυτή την περίπτωση δεν παραβιάζεται η ισότητα της αδρανειακής και της βαρυτικής μάζας; Ή, γιατί το φωτόνιο συμπεριφέρεται ως εάν η ενεργεία ενέργειά του να μετατρέπεται σε ενεργεία μάζα; Αν  $m_a = m_p$ , τότε πώς είναι δυνατόν να έχουμε  $m_0 = 0$  και  $m_p > 0$ ;

Τα προηγούμενα είναι ορισμένα από τα παράδοξα και τα ανοιχτά ερωτήματα που αφορούν τις σχέσεις μάζας και ενέργειας. Συμπέρασμα: Γνωρίζουμε και χρησιμοποιούμε τις ποσοτικές σχέσεις ανάμεσα στην αδράνεια και την κίνηση, αλλά αδυνατούμε να εξηγήσουμε αυτές τις σχέσεις, την ισότητα της αδρανειακής με τη βαρυτική μάζα, και τις διαδικασίες μετασχηματισμού μαζικών σωμάτων σε σωματία με μηδενική μάζα ηρεμίας και το αντίστροφο. «Φύσις κρύπτεσθαι φιλεί».

## Σημειώσεις

1. J. S. Bell, στο *The Physicist's Conception of Nature*, J. Mehra, ed. (Reidel, Dordrecht, 1973).
2. J. S. Bell, «Beables for quantum field theory», Preprint, CERN-TH.4035, p. 84.
3. W. Heisenberg, *Physics and Philosophy* (George Allen & Unwin, London 1958), p. 160.
4. W. Heisenberg, στο *Niels Bohr and the Development of Physics*, W. Pauli ed. (Pergamon Press, New York, 1953).
5. Βλ. H. Diels και W. Kranz, *Die Fragmente der Vorsokratiker* (Weidmannsche Verlag-Buchhandlung, 1965).
6. *Ibid.*, βλ. επίσης Y. Battistini, *Trois contemporains* (Gallimard, Paris, 1965), pp. 90-94. Βλ. επίσης Aristotle, *Metaphysics I*, 5, 986.
7. Για την οντολογία του Πλάτωνα βλ. τους διαλόγους: *Timaeus*, *Theaetetus*, και *Parmenides*.
8. Βλ. Aristotle, *Physics*, Id., *Metaphysics*.
9. Βλ. τα κλασικά βιβλία: 1) G. S. Kirk και J. E. Raven, *The Presocratic Philosophers* (Cambridge University Press, Cambridge, 1957), 2) J. Burnet, *Early Greek Philosophy* (A. and C. Black, London, 1975). Για μία κριτική επισκόπηση, βλ. E. Bitsakis, *Scientia* 109, 664 (1974).
10. Βλ. R. Descartes, *Principes de la Philosophie* (Vrin, Paris, 1971), Part 2.
11. *Ibid.*
12. A. Mercier, H.-J. Treder, και W. Yourgrau, *On General Relativity* (Akademie-Verlag, Berlin, 1979).
13. I. Newton, *Opticks* (Dover, New York, 1952), p. 400.
14. I. Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy* (University of California Press, Berkeley, 1947), *Definitions and Scholium*.
15. *Ibid.*, Defs. I and II.
16. *Ibid.*, Def. III.
17. I. Newton, *Opticks*, *op. cit.*, p. 401.
18. Βλ. S. Carnot, *Reflections of the Motive Power of Fire* (Dover, New York, 1960).
19. Βλ. Chr. Huygens, *Treatise on Light* (Dover, New York, 1962). Το έργο γράφτηκε το 1670. Ο πρόλογος της πρώτης έκδοσης το 1690.



20. A. Einstein, Πρόλογος στο I. Newton, *Opticks*, *op. cit.*
21. A. Einstein, *Ideas and Opinions* (Crown, New York, 1982), pp. 348, 351.
22. E. Mach, *The Science of Mechanics* (Open Court, Evanston, Illinois, 1960).
23. *Ibid.*, p. 237.
24. E. Mach, *The Analysis of Sensations* (Dover, New York, 1959), p. 331.
25. A. Einstein, in A. Einstein *et al.*, *The Principle of Relativity* (Dover, New York, 1923), p. 7.
26. A. Einstein, *La théorie de la relativité restreinte et générale* (Gauthier-Villars, Paris, 1978), pp. 51-52.
27. A. Einstein, *Ideas and Opinions*, *op. cit.*, p. 337.
28. A. Einstein, στο A. Einstein *et al.*, *The Principle of Relativity*, *op. cit.*, p. 148.
29. W. Heisenberg, *Physics and Philosophy*, *op. cit.*, p. 67.
30. P. Teilhard de Chardin, *Le Phénomène Humain* (Seuil, Paris, 1962), p. 268.
31. Για τις σχέσεις του δυνάμει και ενεργεία, βλ. E. Bitsakis, *Scientia* 117, 539 (1982).
32. Για το καθεστώς των φιλοσοφικών προτάσεων, βλ. E. Bitsakis στο *Filosofia e Storia in Italia nel Novecento*, F. Minazzi and L. Zauzi, eds (Milano, 1987).
33. Βλ. A. Einstein, «Autobiographical Notes», στο *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, P. A. Schilpp, ed. (Open Court, Evanston, Illinois, 1951).
34. Βλ. Y. P. Terletski, *Paradoxes in Relativity* (Plenum, New York, 1968), pp. 60-61.
35. A. Einstein, στο A. Einstein *et al.*, *The Principle of Relativity*, *op. cit.*, pp. 143 and 149.
36. Για μια λεπτομερειακή διαπραγμάτευση, βλ. 1) E. Bitsakis, *Le Problème du Déterminisme en Physique*, Thèse d'État, Paris, 1976, 2) Y. P. Terletski, *Paradoxes in Relativity*, *op. cit.*
37. Βλ. e.g., J. P. Terletski, *Paradoxes in Relativity*, *op. cit.*
38. Βλ. A. Papapetrou, *Lectures on General Relativity* (Reidel, Dordrecht, 1974), p. 55.
39. E. Einstein, *La théorie de la relativité restreinte et générale*, *op. cit.*, p. 72.
40. A. Mercier *et al.*, *On General Relativity*, *op. cit.*, pp. 84-85.
41. A. Einstein, στο A. Einstein *et al.*, *The Principle of Relativity*, *op. cit.*, p. 99.