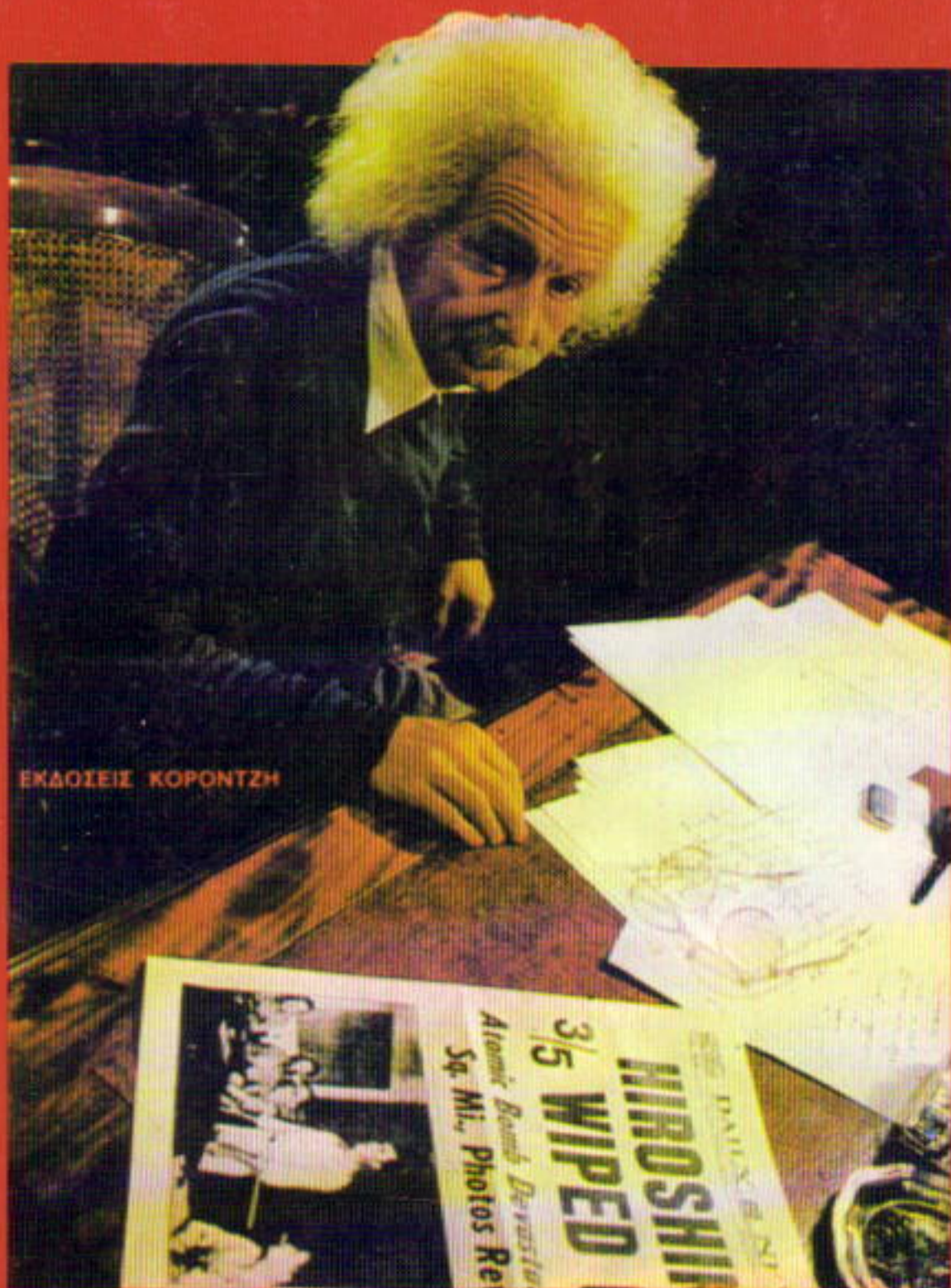


ΑΪΝΣΤΑΪΝ



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΟΡΟΝΤΖΗ

αυτοβιογραφία

Μια τέτοια έκπληξη, έζησα για πρώτη φορά όταν ήμουν τεσσάρων ή πέντε χρονών κι ο πατέρας μου μου έδειξε μια πυξίδα. Ότι μια βελόνα θα μπορούσε να κινηθεί κατά ένα τέτοιο καθορισμένο τρόπο ήταν ένα γεγονός που δεν χωρούσε με κανένα τρόπο στον τύπο των φαινομένων που είχαν μέχρι τότε βρει κάποια θέση στους κόλπους του ασυνείδητου κόσμου των ιδεών μου (το αποτέλεσμα εμφανίστηκε μόνο μέσω της άμεσης «επαφής»). Ακόμα και σήμερα μπορώ να θυμάμαι –ή, τουλάχιστον μου φαίνεται– ότι αυτή η εμπειρία άσκησε πάνω μου μια βαθειά και διαρκή επίδραση. Σκεπτόμουν διαρκώς πως βαθειά πίσω απ' αυτά τα φαινόμενα θάπρεπε να κρύβεται κάτι.

Αργότερα, στην ηλικία των δώδεκα χρόνων έζησα την εμπειρία μιας άλλης «έκπληξης», στην αρχή της καινούργιας σχολικής χρονιάς, ένα μικρό βιβλίο πάνω στην Ευκλείδεια γεωμετρία. Εκεί, βρήκα αξιώματα –όπως, για παράδειγμα, τα τρία ύψη ενός τριγώνου τέμνονται στο ίδιο σημείο– που αν και μακριά από το να είναι βέβαια, μπορούσαν ωστόσο να αποδειχτούν με τόση βεβαιότητα που και η παραμικρή αμφιβολία φαινόταν ολότελα παράλογη. Αυτή η διαύγεια, κι αυτή η σιγουριά μου έκαναν μια απερίγραπτη εντύπωση.

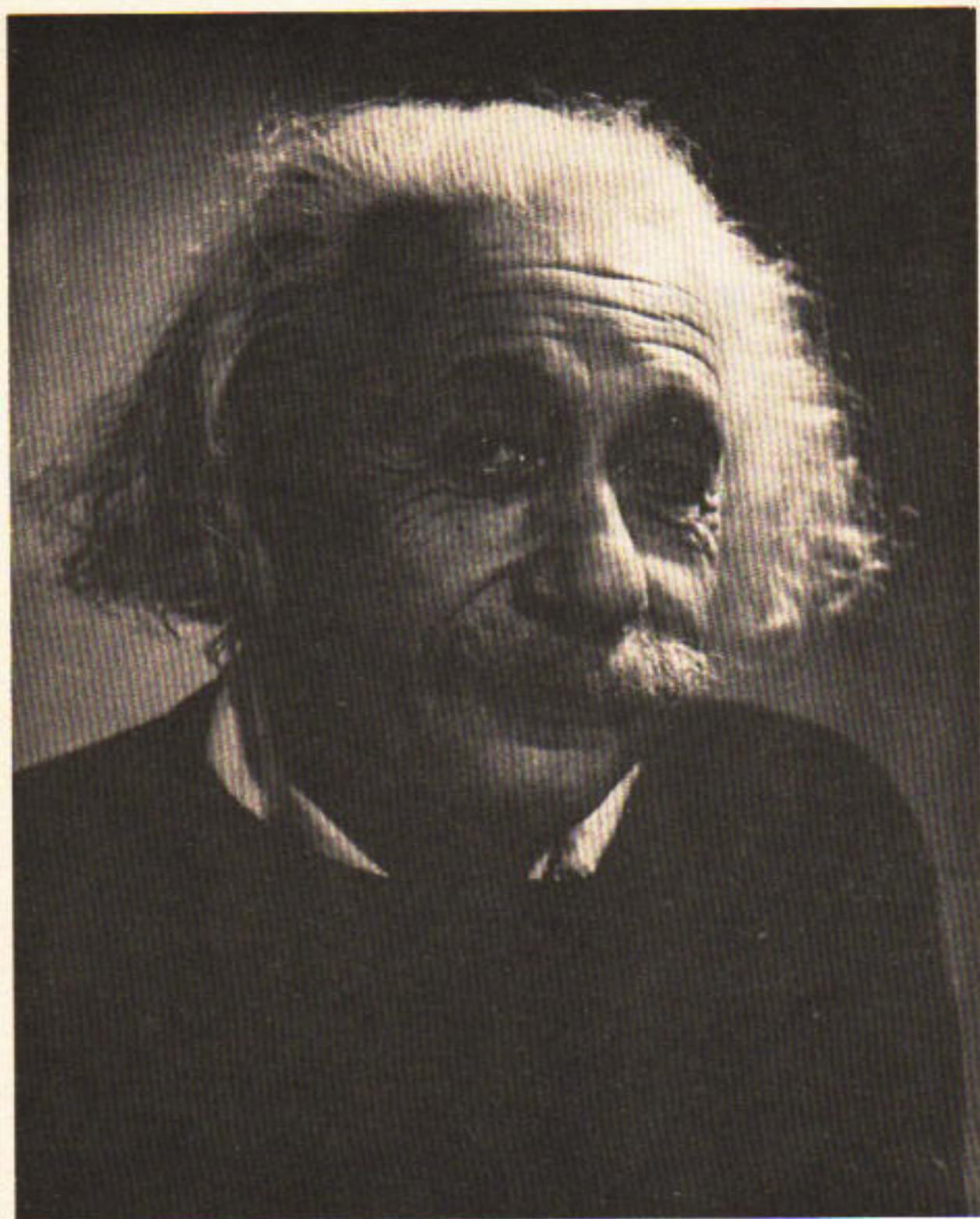
Άλμπερτ Αϊνστάιν

ΑΥΤΟΒΙΟΓΡΑΦΙΑ

Μετάφραση
Κώστα Μιλτιάδη

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΟΡΟΝΤΖΗ

Κασσάπα 58
Τ.Τ. 161 22 Καισαριανή
Τηλ. 72.25.690 - κιν. 095 357729



Ο Αϊβοράν το 1946

ΑΥΤΟΒΙΟΓΡΑΦΙΑ

Καθισμένος σ' αυτό το τραπέζι στην ηλικία των εξη-
νταεφτά χρόνων, νοιώθω όπως αισθάνεται κάποιος,
όταν γράφει την ίδια του τη νεκρολογία. Ανέλαβα αυτό
το καθήκον, όχι μόνο γιατί μου το ζήτησε ο Δόκτωρ
Schilpp, αλλά επίσης γιατί πιστεύω ειλικρινά, πως εί-
ναι πολύ χρήσιμο να δείξουμε σ' αυτούς που σήμερα
εργάζονται σκληρά για να ολοκληρώσουν τις έρευνές
τους, πώς φαίνονται σε μας τους ίδιους, η πορεία που
διανύσαμε, οι έρευνες που κάναμε, και όλες οι προ-
σπάθειές μας, μετά από τόσα χρόνια.¹

Αναλογιζόμενος όλα αυτά, έχω ωστόσο λάβει υπό-
ψιν μου, ότι οποιαδήποτε παρόμοια προσπάθεια θα ή-
ταν οπωσδήποτε ατελής. Γιατί όσο περιορισμένη και
όσο σύντομη κι αν είναι, η εργασία μιας ανθρώπινης
ζωής, μια εργασία που αναπόδραστα χάνεται στους α-
μέτρητους δρόμους της πλάνης, ωστόσο είναι πολύ δύ-
σκολο να κάνεις τους άλλους κοινωνούς σ' αυτό που
παρόλα αυτά παραμένει άξιο ενδιαφέροντος. Αυτό που
είμαι στα εξηνταεφτά μου χρόνια, δεν μοιάζει καθόλου
μ' αυτό που ήμουν στα πενήντα μου, στα τριάντα μου

1. SCHILPP: Ένας απ' τους σημαντικότερους μελετητές του έρ-
γου και της ζωής του Αϊνστάϊν. Είχε γράψει μια ογκοδέσιατη βιο-
γραφία του Αϊνστάϊν και είναι για χάρη του που ο Αϊνστάϊν έγρα-
ψε αυτές τις αυτοβιογραφικές σημειώσεις.

ή στα είκοσί μου χρόνια. Εξάλλου όλες μας οι αναμνήσεις παίρνουν αναπόφευκτα την απόχρωση της σημερινής μας κατάστασης και προκαλούν πάντα λανθασμένες εντυπώσεις. Αυτή η διαπίστωση θα μπορούσε εύκολα να με αποθαρρύνει. Παρ' όλα αυτά πιστεύω πως μπορούμε να βρούμε στη ζωή κάθε ανθρώπου, μοναδικές εμπειρίες, εμπειρίες που δεν προσφέρονται παρά στον ίδιο μονάχα και είναι δύσκολο να συνειδητοποιηθούν από κάποιον άλλον.

Ήρωνα ακόμη πολύ νεαρός, όταν εντυπωσιάστηκα κι εγώ από την ματαιότητα που χαρακτηρίζει τις ελπίδες και τους αγώνες, στους οποίους ρίχνονται χωρίς σταματημό το μεγαλύτερο μέρος των ανθρώπων, σ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Τόσο περισσότερο που ανακάλυψα αρκετά νωρίς την ωριότητα αυτής της φρενισμένης κούρσας, όπου η υποκρισία που χαρακτήριζε την εποχή της νιότης μου, χρησιμοποιώντας πηχρές φράσεις, κατόρθωνε να φτιασιδώνεται πολύ πιο επιδέξια απ' ό,τι σήμερα.

Ήταν μονάχα η ύπαρξη του στομαχιού που καταδικάζε τον καθένα να παίρνει μέρος σ' αυτό το κυνήγι της ματαιότητας. Ίσως το στομάχι να 'βρισκε σ' αυτό την ικανοποίησή του, αλλά σε καμιά περίπτωση ο ίδιος ο άνθρωπος, στο βαθμό που παρόλ' αυτά παραμένει μια ύπαρξη που σκέφτεται και αισθάνεται.

Η πρώτη διέξοδος που παρουσιάστηκε μπροστά μου ήταν η θρησκεία, εμφυτευμένη σ' όλα τα παιδιά μέσα απ' τα γρανάζια της παραδοσιακής εκπαιδευτικής μηχανής. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο - αν και ανατράφηκα από γονείς εβραίους, άθρησκους όμως - εγώ ο ίδιος έγινα βαθιά πιστός. Αυτό όμως το θρησκευτικό μου συναίσθημα δεν θα διαρκούσε για πολύ.

Σταμάτησε μάλιστα απότομα στην ηλικία των δώδεκα χρόνων. Η ανάγνωση εκλαϊκευμένων επιστημονικών βιβλίων μ' έκανε πολύ γρήγορα να πεισθώ ότι ένα μεγάλο μέρος από τις ιστορίες της Βίβλου, δεν ήταν δυνατόν να 'ναι αληθινό. Ακολούθησε ένα αληθινό όργιο ελεύθερης σκέψης που η δύναμή της διπλασιάστηκε από το συναίσθημα ότι η νεολαία είχε εξαπατηθεί από τα ψεύδη των κατεστημένων δεσμών. Αυτό το συναίσθημα ήταν ασφυκτικό και απ' αυτό γεννήθηκε η αντιπάθειά μου απέναντι σε κάθε μορφή αυταρχισμού και η δύσπιστη στάση μου απέναντι στις διάφορες γνώμες που παρουσιάζονταν σε διάφορους κοινωνικούς χώρους. Αυτή η στάση μου απέναντι σε κάθε μορφή εξουσίας, δεν με άφηνε ποτέ από τότε, αν και πολύ αργότερα κλονίστηκε λιγάκι από μια καλύτερη κατανόηση της αλυσίδας των αιτιών και των αποτελεσμάτων.

Σήμερα, συνειδητοποιώ πως αυτός ο θρησκευτικός παράδεισος της νιότης μου -που τον έχασα τόσο γρήγορα- δεν ήταν στην πραγματικότητα παρά μια πρώτη προσπάθεια που έκανα για να απελευθερωθώ από τα δεσμά αυτής της «καθαρά προσωπικής» άποψης, που έκανε τους ανθρώπους να είναι δέσμοι φιλοδοξιών, προσδοκιών και εγωϊστικών αισθημάτων. Γιατί άρχιζα ήδη να διακρίνω πως πέρα απ' αυτόν τον μικρόκοσμο, υπάρχει ένα γιγάντιο σύμπαν που υφίσταται ανεξάρτητα από μας και τις άλλες ανθρώπινες υπάρξεις και που ορθώνονταν μπροστά μας, σαν ένα μεγάλο και αιώνιο αίνιγμα. Ένα σύμπαν που ήταν λιγότερο ή περισσότερο μερικά δυνατόν, να το παρατηρήσουμε και να το κατανοήσουμε. Η ονειροπόληση πάνω σ' αυτό το σύμπαν με γοήτευε, και βρήκα σ' αυτό την ελπίδα μιας αληθινής απελευθέρωσης. Σε λίγο διαπίστωσα πως κι άλλοι άν-

θρωποι που εκτιμούσα και θαύμαζα κι αυτοί επίσης, είχαν βρει κάποια εσωτερική γαλήνη στην αναζήτηση αυτής της περιπέτειας. Η νοερή κατανόηση, στα όρια των ανθρωπίνων δυνατοτήτων, αυτού του υπερπροσωπικού κόσμου, κυριάρχησε στο μυαλό μου, λιγότερο ή περισσότερο συνειδητά, σαν ο υπέρτατός μου στόχος που έπρεπε να επιτύχω. Αυτοί που, απ' το παρελθόν ή σύγχρονα μ' εμένα, είχαν εμπλακεί στην προσπάθεια της ίδιας έρευνας (και όχι μόνο αυτοί, αλλά κι οι διαισθήσεις τους και οι ιδέες τους), μου 'γιναν αληθινοί φίλοι, από κείνους που δεν τους χάνει κανείς ποτέ. Βέβαια, ο δρόμος που οδηγούσε σ' αυτόν τον άλλο παράδεισο, δεν ήταν το ίδιο εύκολος και διασκεδαστικός όσο αυτός του άλλου παράδεισου της θρησκείας. Παρόλα αυτά, δικαίωσε τις ελπίδες που είχα στηρίξει σ' αυτόν και δεν μετάνιωσα ποτέ που τον διάλεξα.

Αυτό που θέλω να πω εδώ, δεν είναι αληθινό, παρά με μια ορισμένη έννοια και δεν λαμβάνει υπόψη την πραγματικότητα παρά, σε κάποιο περιορισμένο βαθμό, κάτι σαν σκιαγράφημα που, με μερικές αδρές γραμμές, προσπαθεί ν' αναπαραστήσει ένα σύνθετο αντικείμενο, γεμάτο ενοχλητικές λεπτομέρειες. Όταν κάποιος αγαπά τις σαφείς και καλά ταξινομημένες ιδέες, είναι πιθανό ότι αυτή η πτυχή του χαρακτήρα του είναι αυτή που θα τονιστεί περισσότερο, εις βάρος των άλλων γνωρισμάτων του χαρακτήρα του, κι ολόκληρη η νοοτροπία του θα προσδιοριστεί απ' αυτό. Αργότερα, όταν θα ερωτηθεί για τη ζωή του, θα τη δει αναμφίβολα σαν μια ομοιόμορφη και συστηματική ανάπτυξη, ενώ στην πραγματικότητα η εμπειρία του είναι ολότελα κομματιασμένη και δεν θα συγκροτηθεί σε σύνολο παρά με τη βοήθεια ενός καλειδοσκοπίου ιδιαίτερων κα-

ταστάσεων. Η μεγάλη ποικιλία των εξωτερικών περιστάσεων, όπως και η στενότητα του στιγμιαίου ορίζοντα της συνείδησης, προκαλούν ένα είδος «ατομικοποίησης» της ζωής κάθε ανθρώπινης ύπαρξης. Για κάποιον όπως εγώ, το αποφασιστικό σημείο της ανάπτυξης βρίσκεται στο γεγονός ότι προσδευτικά, το κύριο ενδιαφέρον αναδεικνύεται και απ' αυτό πηγάζουν στιγμιαία και προσωπικά κίνητρα, που μετασχηματίζονται σε μια προσήθεια που τείνει στη διανοητική σύλληψη των πραγμάτων. Ιδωμένες κάτω απ' αυτήν την οπτική γωνία, μου φαίνεται πως μερικές παρατηρήσεις που μόλις έκανα περιέχουν τόση αλήθεια όσο η συντομία παράθεσής τους επιτρέπει.

Αλλά τι ακριβώς σημαίνει «σκέψη»; Κατά τη διάρκεια που δεχόμαστε εντυπώσεις δια μέσου των αισθήσεων, ώστε να αναδύονται νοητικές εικόνες, αυτό δεν είναι ακόμα «σκέψη». Και όταν τέτοιες εικόνες, συγκροτούνται σε συνειρμούς, όπου κάθε μέλος θυμίζει ένα άλλο, ούτε κι αυτό είναι «σκέψη». Ωστόσο, όταν μια απ' αυτές τις εικόνες ξαναβρίσκεται σε πολλούς συνειρμούς αυτού του τύπου, γίνεται -από την ίδια της την αναδρομή και μόνο- ένα στοιχείο οργάνωσης, γιατί συνδέει τους διάφορους συνειρμούς ανάμεσά τους. Ένα τέτοιο στοιχείο είναι τότε ένα όργανο, ένας συλλογισμός. Σ' ό,τι αφορά εμένα, νομίζω ότι η μετάβαση από την ελεύθερη συσχέτιση ή από την «ονειροπόληση», στη σκέψη αυτή καθ' αυτή, χαρακτηρίζεται από τον λιγότερο ή περισσότερο σημαντικό ρόλο που παίζει ο «συλλογισμός». Δεν είναι απόλυτα αναγκαίο ένας συλλογισμός να είναι προσδεμένος σε κάποιο σήμα που να μπορεί ν' αναγνωρίζεται ή ν' αναπαράγεται δια των αισθήσεων (λέξη). Αντίθετα όμως, αν αυτό συμβαί-



Ο Αϊνστάϊν 17 χρονών

νει μπορούμε να πούμε ότι η «σκέψη» έγινε κοινοποιήσιμη. Αλλά -θα διερωτηθεί ο αναγνώστης αυτών των γραμμών- με ποιο δικαίωμα αυτός ο άνθρωπος επιτρέπει στον εαυτό του να χειρίζεται με τόσο απλοϊκό κι ανέμελο τρόπο ιδέες που θίγουν ένα τόσο προβληματικό τομέα, χωρίς να κάνει τον παραμικρό κόπο ν' αποδεικνύει αυτά που λέει; Η απάντησή μου είναι η εξής: είναι η ίδια η φύση της σκέψης μας που κάνει να παίζουμε τόσο ελεύθερα, με τους συλλογισμούς (ιδέες). Και αν μ' αυτό το παιχνίδι κατορθώνουμε να φτάνουμε ως ένα βαθμό στην κατανόηση των αισθήσεών μας, αυτό αρκεί τότε να μας δικαιώσει. Όπως κι αν έχει το πράγμα η ιδέα της «αλήθειας» δεν μπορεί ακόμα να βρει εφαρμογή σε μια τέτοια δομή.

Εδώ δημιουργείται ένα ερώτημα, που δεν τίθεται όμως παρά στη συνέχεια, όταν υπάρχει ήδη μια συνεννόηση (συνθήκη) σχετική με τα στοιχεία και τους κανόνες του παιχνιδιού.

Για μένα, δεν υπάρχει αμφιβολία, σ' ό,τι αφορά το γεγονός ότι η πορεία της σκέψης μας ολοκληρώνεται στο μεγαλύτερο μέρος της χωρίς να χρησιμοποιήσουμε σήματα (λέξεις) και προοδεύει σε πολύ μεγάλο βαθμό, κατά τρόπο ασυνείδητο.

Πώς θα μπορούσαμε να εξηγήσουμε διαφορετικά το πώς γίνεται και μας προξενούν «έκπληξη», σχεδόν ξαφνικά ορισμένες εμπειρίες; Αυτή η «έκπληξη» δημιουργείται, όταν μια εμπειρία έρχεται σε σύγκρουση με τον κόσμο των ιδεών που ήταν μέχρι τώρα αποκρυσταλλωμένες στο μυαλό μας. Και κάθε φορά που μια τέτοια σύγκρουση είναι δυνατή και βαθειά αισθητή, επιδρά με τη σειρά της κατά τρόπο αποφασιστικό στον κόσμο της σκέψης μας. Η ανάπτυξη αυτού του κόσμου της

οκέφης είναι κατά κάποιο έννοια, μια διαρκής προώθη-
ση που ξεκινά από την έκπληξη.

Μια τέτοια έκπληξη, έζησα για πρώτη φορά, όταν ήμουν τεσσάρων ή πέντε χρόνων κι ο πατέρας μου μού έδειξε μια πυξίδα. Οτι μια βελόνα θα μπορούσε να κινηθεί κατά ένα τέτοιο καθορισμένο τρόπο ήταν ένα γεγονός που δεν χωρούσε με κανένα τρόπο στον τύπο των φαινομένων που είχαν μέχρι τότε βρει κάποια θέση στους κόλπους του ασυνείδητου κόσμου των ιδεών μου (το αποτέλεσμα εμφανίστηκε μόνο μέσω της άμεσης «επαφής»). Ακόμα και σήμερα μπορώ να θυμάμαι - τουλάχιστον μου φαίνεται - ότι αυτή η εμπειρία άοκνησε πάνω μου μια βαθειά και διαρκή επίδραση. Σκεπτόμουν διαρκώς πως βαθειά πίσω απ' αυτά τα φαινόμενα θάπρεπε να κρύβεται κάτι. Γιατί, ότι ο άνθρωπος βλέπει γύρω του από την παιδική του ηλικία δεν προκαλεί καθόλου αντιδράσεις αυτού του τύπου: δεν εκπλήσσεται για την πτώση των σωμάτων, για τη βροχή ή για τον άνεμο, ούτε καν τον προβληματίζει η εμφάνιση της σελήνης, ούτε το γεγονός ότι η σελήνη δεν πέφτει κάτω, ούτε οι διαφορές ανάμεσα στην οργανική και ανόργανη ύλη.

Αργότερα, στην ηλικία των δώδεκα χρόνων έζησα την εμπειρία μιας άλλης «έκπληξης», ολότελα διαφορετικής φύσης, διαβάζοντας στην αρχή της καινούργιας σχολικής χρονιάς, ένα μικρό βιβλίο πάνω στην Ευκλείδια γεωμετρία. Εκεί, βρήκα αξιώματα -όπως, για παράδειγμα, τα τρία ύψη ενός τριγώνου τέμνονται στο ίδιο σημείο- που αν και μακριά από το να είναι βέβαια, μπορούσαν ωστόσο να αποδειχτούν με τόση βεβαιότητα που και η παραμικρή αμφιβολία φαινόταν ολότελα παράλογη. Αυτή η διαύγεια, κι αυτή η σιγουριά μου έκα-

ναν μια απεριγράφητη εντύπωση. Το ότι έπρεπε να δεχόμαστε τ' αξιώματα χωρίς να τ' αποδείχνουμε δεν με ξένιζε καθόλου. Όπως και να 'χει το πράγμα, μου αρκούσε να μπορώ να θεμελιώνω τις αποδείξεις μου πάνω σε προτάσεις των οποίων η εγκυρότητα φαινόταν ολότελα αναμφισβήτητη. Θυμάμαι, για παράδειγμα, πως ο ένας απ' τους θεϊούς μου, μου μίλησε για το Πυθαγόρειο θεώρημα, πριν αυτό το περίφημο βιβλίο πέσει στα χέρια μου. Μετά από πολλή προσπάθεια, κατόρθωσα να «αποδείξω» το θεώρημα, βασιζόμενος στην ομοιότητα των τριγώνων και, ενώ ολοκληρώνω την απόδειξη, μου φαίνονταν απόλυτα «βέβαιο» πως η σχέση των πλευρών ενός ορθογωνίου τριγώνου προσδιορίζεται επαρκώς από την μια από τις οξείες γωνίες του. Στα μάτια μου, μόνο αυτό που δεν ήταν «προφανές» απαιτούσε απόδειξη. Παρόμοια, μου φαίνονταν πως τ' αντικείμενα της γεωμετρίας δεν διέφεραν σε τίποτα απ' τ' αντικείμενα που αντιλαμβανόμαστε δια μέσου των αισθήσεων, «αυτά που μπορούμε να δούμε και να τα ψηλαφίσουμε».

Αυτή η πρωτογενής αντίληψη - που βρίσκεται ίσως στη βάση του Καντιανού ερωτήματος πάνω στη δυνατότητα «συνθετικής ικανότητας κρίσης A PRIORI» - στηριζόταν αυτονότα στο γεγονός ότι η σχέση ανάμεσα στις γεωμετρικές έννοιες και τ' αντικείμενα της άμεσης εμπειρίας μας (στερεό, πεπερασμένα διαστήματα) υπήρχε ασυνείδητα². Έτσι, αν φαινόταν δυνατόν να κατορθώσει

2. EMMANΟΥΕΛ ΚΑΝΤ: Γερμανός φιλόσοφος (1724-1804). Στο σπουδαιότερο έργο του, στην κριτική του καθάρου Λόγου, προσπαθεί να καθορίσει τα όρια της νόησης, και να δείξει πώς η νοητική λειτουργία μετατρέπεται σε γνώση. Το πνεύμα σύμφωνα πάντα με

κάνεις με τη βοήθεια της καθαρής σκέψης, να φτάσει σε μια κάποια γνώση των αντικειμένων της εμπειρίας, η «έκπληξη» δεν μπορούσε να θεμελιωθεί παρά σε κάποια πλάνη. Όπως κι αν έχει, γι' αυτόν που πραγματώνει αυτήν την εμπειρία για πρώτη φορά, είναι ήδη εκπληκτικό ν' ανακαλύπτει ότι ο άνθρωπος μπορεί να φτάσει, στον τομέα της καθαρής σκέψης, ένα βαθμό βεβαιότητας και σαφήνειας, όμοιο μ' αυτόν στον οποίο είχαν φτάσει οι Έλληνες στη μελέτη της γεωμετρίας. Τώρα, επειδή ήδη, ξέφυγα μια φορά απ' την νεκρολογία μου, που άλλωστε μόλις άρχισα, δεν θα διστάσω να εκθέσω εδώ σε μερικές γραμμές το επιστημολογικό μου πιστεύω, του οποίου περιστασιακά έδωσα μια εικόνα στις σελίδες που προηγήθηκαν. Στην πραγματικότητα αυτό το πιστεύω (CREDO) δεν εξελίχθηκε παρά πολύ αργότερα, και πολύ αργά, και δεν αντιστοιχεί πια στην άποψη που υποστήριζα στα χρόνια της νιότης μου.

Σ' ό,τι αφορά εμένα, διακρίνω απ' τη μια μεριά το σύνολο των εμπειριών που δεχόμαστε μέσω των αισθήσεών μας, κι απ' την άλλη, το σύνολο των εννοιών, και προτάσεων που διατυπώνονται στα βιβλία. Οι σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στις έννοιες (συλλογισμούς) και στις προτάσεις είναι λογικής φύσης.

τον Καντ, είναι μια συνθετική ικανότητα A PRIORI, ένα σύστημα κατηγοριών. Γνωρίζω σημαίνει συγκροτώ αισθήματα στα πλαίσια μιας έννοιας. Όταν λέω «ο ήλιος ζεσταίνει την πέτρα», έχω αισθήσεις οπτικής, αφής κ.λπ. (ήλιος, ζεστή πέτρα) που τις ενοποιώ δια μέσου μιας έννοιας, της αιτιότητας στην προκειμένη περίπτωση. Παραδέχεται ωστόσο ότι η μαθηματική επιστήμη έχει στοιχεία που δεν προέρχονται απ' την εμπειρία, π.χ. ο χρόνος και ο χώρος, δεν προέρχονται απ' την εμπειρία, γιατί κάθε εμπειρία τα προϋποθέτει.

Ο σκοπός κάθε λογικής σκέψης συνίσταται αποκλειστικά στην αποκατάσταση των σχέσεων ανάμεσα στις έννοιες και τις προτάσεις, σύμφωνα με αυστηρά διατυπωμένους κανόνες, και οι οποίοι αποτελούν το αντικείμενο της λογικής. Εν τούτοις, οι έννοιες και προτάσεις δεν αποκτούν «σημασία» ή «περιεχόμενο», παρά μέσα απ' τη σχέση τους με τις των αισθήσεων εμπειρίες. Η σχέση ανάμεσα σ' αυτές και το ιδεατό σύμπαν είναι καθαρά διαισθητική, και δεν είναι αυτή καθαυτή λογικής φύσης. Είναι αποκλειστικά ο βαθμός της βεβαιότητας με την οποία αυτή η σχέση, ή αυτή η διαισθητική σχέση, μπορεί να νοηθεί, και τίποτε άλλο, που διαφοροποιεί την καθαρή φαντασία από την «επιστημονική αλήθεια». Το σύστημα των εννοιών είναι ένα δημιούργημα του ανθρώπου, όπως ακριβώς και οι κανόνες του συντακτικού που αποτελούν τη δομή του εννοιολογικού συστήματος. Και ακόμα κι' αν τα εννοιολογικά συστήματα είναι από λογική άποψη, καθαρά αυθαίρετα, δεν πάει να πει ότι δεν προσδιορίζονται απ' τη λειτουργία τους που συνίσταται στο να φτάνουν σ' ένα (διαισθητικό) συντονισμό του συνόλου των αισθησιακών εμπειριών, που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο σίγουρος και πλήρης.

Κατά δεύτερο λόγο, αυτά τα συστήματα αποσκοπούν στο να μειώσουν στο ελάχιστο τον αριθμό των ανεξάρτητων λογικών στοιχείων (βασικές έννοιες και αξιώματα), δηλαδή έννοιες μη προσδιορισμένες ή προτάσεις όχι αποδειγμένες.

Μια πρόταση είναι ορθή, αν στα πλαίσια ενός δοσμένου λογικού συστήματος, εξάγεται σύμφωνα με τους αποδεκτούς λογικούς κανόνες. Ένα σύστημα έχει μια «αξία-αλήθεια» ανάλογα με την βεβαιότητα και την πλη-

ρότητα της ικανότητάς της να συντονίζεται με το σύνολο των εμπειριών μας.

Θα παραθέσω τώρα μια παρατήρηση σχετικά με την ιστορική ανάπτυξη. Ο Χιουμ είχε κατανοήσει με σαφήνεια ότι ορισμένες έννοιες, όπως για παράδειγμα αυτή της αιτιότητας, δεν μπορούν να εξαχθούν απ' τα δεδομένα της εμπειρίας με λογικές μεθόδους.³

Ο Καντ, βαθιά πεπεισμένος για τον απαραίτητο χαρακτήρα μερικών εννοιών, τις δεχόταν -έτσι όπως τις είχαν διαλέξει- σαν αναγκαίες προϋποθέσεις κάθε μορφής λογισμού και τις διέκρινε από τις έννοιες με εμπειρική προέλευση. Σ' ό,τι αφορά εμένα, είμαι παραλαυτά πεπεισμένος πως αυτή η διάκριση είναι λανθασμένη ή πως σε κάθε περίπτωση, δεν θέτει το πρόβλημα κατά τρόπο ας πούμε φυσικό. Από την άποψη της λογικής όλες οι έννοιες, ακόμα κι αυτές που βασίζονται στις πιο κοινές εμπειρίες, στηρίζονται σε αυθαίρετες επιλογές, και το ίδιο συμβαίνει και με την έννοια της αιτιότητας που ήταν το πρώτο σημείο αφετηρίας αυτού του τύπου των αναζητήσεων.

Ας ξαναγυρίσουμε όμως τώρα στη νεκρολογία μου. Ανάμεσα στα δώδεκα και δεκάξι μου χρόνια, εξοικειώ-

3. ΝΤΑΙΗΒΙΝΤ ΧΙΟΥΜ: Άγγλος φιλόσοφος (1711-1776). Σύμφωνα μ' αυτόν ο νόμος της αιτιότητας δεν είναι πραγματικός και δεν μπορεί να εξαχθεί ούτε απ' τη λογική, ούτε απ' την εμπειρία. Δεν υπάρχουν απόλυτα βέβαιες γνώσεις. Σύμφωνα μ' αυτόν οι μόνες καθολικές και αναγκαίες γνώσεις είναι αυτές των μαθηματικών και της Γεωμετρίας. Ακόμα κι αν δεν υπήρχαν στη φύση ούτε ο κύκλος, ούτε το τρίγωνο, οι αλήθειες του Ευκλείδη θα διατηρούσαν την τέλεια βεβαιότητά τους, γιατί είναι αλήθειες λογικές κι όχι αλήθειες γεγονότων.

θηκα με τα στοιχεία των μαθηματικών και, ανάμεσα στ' άλλα, με τις αρχές του διαφορικού και ολοκληρωτικού λογισμού. Είχα την μεγάλη τύχη να πέσω πάνω σε βιβλία, τα οποία, χωρίς να είναι ιδιαίτερα αυστηρά από λογική άποψη, επιτρέπανε ωστόσο να διακρίνει κανείς και να διατυπώσει με σαφήνεια τις κατευθυντήριες ιδέες. Αυτή η απασχόληση στάθηκε γενικά απόλυτα αποφασιστική για μένα. Βρήκα εκεί μέσα κορυφαίες σκέψεις που πραγματικά άξιζαν, όπως κι αυτές της στοιχειώδους γεωμετρίας: τις βάσεις της αναλυτικής γεωμετρίας, τις άπειρες σειρές, τις έννοιες των παραγώγων και των ολοκληρωμάτων. Είχα εξίσου την τύχη, να μπορέσω να γνωρίσω τις μεθόδους και τα συμπεράσματα του συνόλου των φυσικών επιστημών, χάρις σ' ένα υπέροχο εκλαϊκευμένο σύγγραμμα που επέμενε περισσότερο στα ποιοτικά στοιχεία των ερευνών (εκλαϊκευμένα βιβλία πάνω στις φυσικές επιστήμες, του BERNSTEIN, σ' έξι τόμους), σύγγραμμα που καταβρόχθισα μονοριάς. Παρόμοια, μελέτησα την θεωρητική φυσική, όταν μπήκα στην ηλικία των δεκαεφτά χρονών, στο Ινστιτούτο του Πολυτεχνείου της Ζυρίχης.

Είχα υπέροχους καθηγητές,⁴ όπως τους HURWITZ και MINKOWSKI, πράγμα που μου έδωσε την δυνατότητα, ν' αποχτήσω μια βαθιά μαθηματική κατάρτιση. Πιο συχνά όμως, προτιμούσα να εργάζομαι στο εργαστήριο της φυσικής, συνεπαρμένος από την άμεση επα-

4. MINKOWSKI: Πολωνός μαθηματικός (1864-1909). Καθηγητής του Πανεπιστημίου της Ζυρίχης. Επινόησε μια γεωμετρική διατύπωση της θεωρίας των αριθμών χρησιμοποιώντας σύστημα τεσσάρων διαστάσεων, πραγματοποιώντας έτσι ένα γεωμετρικό πρότυπο της περιορισμένης σχετικότητας.

φή μου με την πειραματική έρευνα. Τις υπόλοιπες ώρες μου τις πέρναγα ως επί το πλείστον, μελετώντας σπίτι μου τις εργασίες των KIRCHOFF, HELMHOLTZ, HERTZ,⁵ κ.λπ.

Το ότι κατά κάποιο τρόπο αμέλησα τα μαθηματικά δεν οφείλεται μονάχα στη δεδηλωμένη προτίμησή μου για τις φυσικές επιστήμες, αλλά επίσης σ' ένα γεγονός που κατάλαβα αρκετά νωρίς: Τα μαθηματικά υποδιαιρούνται σε πολυάριθμους κλάδους που καθένας απ' αυτούς, μπορεί να απορροφήσει τη μικρή ζωή ενός ανθρώπου. Κατά συνέπεια, βρέθηκα στην κατάσταση του γαίδαρου του Μπουριντάν, που βρισκόμενος μπροστά σε πολλά δέματα σανό, ήταν ανίκανος ν' αποφασίσει από ποιο να φάει. Πολύ πιθανόν ακόμα, η διαίθησή μου στον τομέα των μαθηματικών να μην ήταν αρκετά δυνατή και να μην μου επέτρεπε καθόλου να διακρίνω καθαρά, ανάμεσα σ' αυτό που είναι ουσιώδες και αποτελεί το θεμέλιο και αυτό που είναι δευτερεύον και περισσότερο ή λιγότερο επιφανειακό.

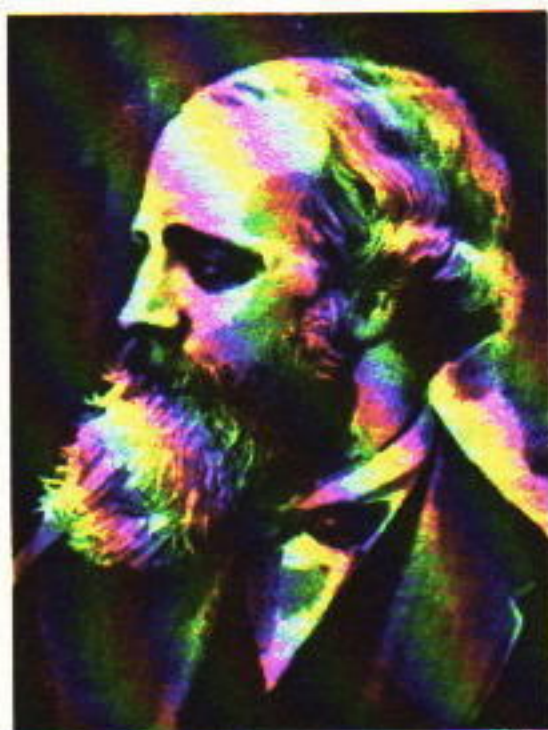
Από την άλλη μεριά, το ενδιαφέρον μου για την μελέτη της φύσης ήταν αναμφίβολα πολύ πιο δυνατό. Σαν νέος φοιτητής που ήμουνα, δεν είχα συνειδητοποιήσει, ότι ο δρόμος για μια βαθύτερη γνώση των βασικών αρχών της φυσικής, περνούσε υποχρεωτικά από μια σε βάθος μελέτη των πιο σύνθετων μαθηματικών

5. HERTZ: Καθηγητής της φυσικής στο Πανεπιστήμιο της Βόννης, διαπρεπής θεωρητικός και έξοχος πειραματιστής, είχε καταχτήσει την σπουδαστική νεολαία με την ευρύτητα των γνώσεών του. Γνωστός απ' τη λεγόμενη θεωρία του «ερτζιανά κύματα», συνέχισε το έργο του Μάξγουελ. Δυστυχώς πέθανε πολύ νέος αφήνοντας ένα δυσαναπλήρωτο επιστημονικό κενό.

μεθόδων. Αυτό δεν το διαπίστωσα παρά οίγα-οίγά, μετά από πολλά χρόνια μοναχικής εργασίας. Έβλεπα βέβαια, ότι και η φυσική επίσης χωριζόταν σε διάφορους ξεχωριστούς κλάδους, καθένας απ' τους οποίους θα μπορούσε ν' απορροφήσει την εργασία μιας ολόκληρης ανθρώπινης ζωής, χωρίς ωστόσο να κατορθώσει να κορεστεί η όρεξη του ερευνητή για μια πολύ βαθειά γνώση. Ήξερα καλά, ότι και κει επίσης είχε κάθε λόγο να αποθαρρυνθεί μπροστά στον αριθμό των πολύ άσχημα συνδεδεμένων μεταξύ τους πειραματικών δεδομένων. Παρολαυτά, σ' αυτόν τον τομέα, κατόρθωσα γρήγορα να κρατήσω αυτό που οδηγούσε στο ουσιώδες και να παραμερίσω αποφασιστικά τα υπόλοιπα, όλη εκείνη την πλειάδα των διάσπαρτων πραγμάτων που μπερδεύουν συνήθως το μυαλό μας και το κάνουν ν' απομακρύνεται από το ουσιώδες. Δυστυχώς, υπήρχε και εδώ επίσης ένα πρόβλημα: έπρεπε να καταβροχθίζει κανείς όλη εκείνη την ύλη πάνω στην οποία θα έδινε εξετάσεις, είτε το ήθελε, είτε όχι. Αυτή η υποχρέωσή μου ήταν τόσο ανυπόφορη, που σ' όλη την διάρκεια του χρόνου που ακολουθούσε τις τελικές εξετάσεις, απλά και μόνο η ιδέα ότι έπρεπε να σκεφτώ πάνω σ' ένα επιστημονικό πρόβλημα μ' έκανε ν' απδιάζω. Ωστόσο, οφείλω ν' αναγνωρίσω ότι στην Ελβετία όπου σπούδαζα, υποφέρανε απ' αυτήν την άποψη πολύ λιγότερο απ' ό,τι στα εκπαιδευτικά ιδρύματα άλλων χωρών απ' αυτή τη μορφή καταναγκασμού, που ήταν αρκετός αυτός και μόνο να πνίξει ακόμα και την πιο αυθεντική επιστημονική ορμή. Δεν υπήρχαν παρά μόνο δυο περίοδοι εξετάσεων. Κατά τα άλλα, ήταν δυνατόν να τα καταφέρει κανείς με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, ιδίως όταν είχε κάποιος, όπως εγώ, ένα φίλο που παρευρισκότανε ανελ-



Ερρίκος Χέρνς



Τζάιντς Μάλγουελ

λιπώς στα μαθήματα και επεξεργαζόταν σοβαρά το περιεχόμενό τους. Αυτό μου επέτρεπε να ασχολούμαι συνέχεια με την έρευνα που είχα επιλέξει και να την σταματάω μόνο μερικούς μήνες πριν τις εξετάσεις. Ήταν μια δυνατότητα που την εκμεταλλεύτηκα όσο πιο πλατειά γινόταν. Και αν σ' αυτή τη δοσοληψία είχα πραγματικά μερικές φορές ένοχη την συνείδησή μου, δεχόμουν να πληρώσω το αντάλλαγμα, πράγμα που μου φαινόταν σαν το μικρότερο κακό. Επρόκειτο πραγματικά για ένα αληθινό θαύμα που οι μοντέρνες μέθοδοι της διδασκαλίας δεν είχαν ακόμα κατορθώσει να πνίξουν ολότελα την ιερή περιέργεια για την έρευνα. Γιατί τούτη εδώ είναι ένα φυτό υπερβολικά ευαίσθητο που αν κι έχει ανάγκη από ενθάρρυνση, περισσότερο απ' όλα τ' άλλα όμως, απαιτεί την ελευθερία, χωρίς την οποία σίγουρα θα μαραθεί. Είναι μεγάλη πλάνη να νομίζει κανείς ότι η χαρά της παρατήρησης και της έρευνας μπορεί ν' αναπτυχθεί σαν αποτέλεσμα καταναγκασμού ή του αισθήματος του καθήκοντος. Αντίθετα, ισχυρίζομαι ότι θα καταντούσαμε να εξαφανίσουμε τη λαιμαργία ενός σαρκοφάγου ζώου, αν το καταναγκάζαμε να καταβροχθίζει ασταμάτητα τη στιγμή που αυτό δεν πεινάει, κι αν επί πλέον διαλέγαμε εμείς την ποσότητα της τροφής που θα του δίναμε στη διάρκεια του μαρτυρίου του κατά τρόπο αντιστρόφως ανάλογο με τις ανάγκες του...

Ας έρθουμε τώρα στη Φυσική, έτσι όπως παρουσιάζονταν την εποχή εκείνη. Πλάι σε μια πολύ πλούσια έρευνα συγκεκριμένων τομέων, βασίλευε σ' ό,τι αφορά τις αρχές της, ένας δογματισμός απ' τους πιο άκαμπτους: σύμφωνα μ' αυτόν κατ' αρχήν, αν μπορούμε να μιλάμε για αρχή, ο Θεός δημιούργησε τους νόμους της

κίνησης του Νεύτωνα, όπως και τις μάζες και τις δυνάμεις που του ήταν αναγκαίες. Αυτό ήταν όλο. Από κει και πέρα, όλα πήγαζαν από την ανάπτυξη δια μέσου της επαγωγής των κατάλληλων μαθηματικών μεθόδων. Αυτό που ο δέκατος ένατος αιώνας κατόρθωσε να φτιάξει πάνω σ' αυτή τη βάση, χάρις κυρίως στην εφαρμογή των εξισώσεων των μερικών παραγώγων, δεν ήταν δυνατόν παρά να προκαλέσει το θαυμασμό κάθε προσώπου ανοιχτού σ' αυτό το είδος των προβλημάτων.

Ο Νεύτων ήταν πιθανότατα ο πρώτος που έδειξε στη θεωρία του της διάδοσης του ήχου, την αποτελεσματικότητα των εξισώσεων των μερικών παραγώγων. Ο EULER είχε ήδη θέσει τις βάσεις της υδροδυναμικής, αλλά η επεξεργασία της μηχανικής των στοιχειωδών μαζών, θεωρούμενη σαν θεμέλιο του συνόλου της Φυσικής, ήταν επίτευγμα του δέκατου ένατου αιώνα. Αυτό που μου έκανε την μεγαλύτερη εντύπωση, όταν ήμουνα φοιτητής, δεν ήταν τόσο η τεχνική ανάπτυξη της μηχανικής ή η δυνατότητα που παρέχει να επιλύονται ακόμα και τα πιο πολύπλοκα προβλήματα, αλλά πολύ περισσότερο τα αποτελέσματά της σε τομείς που εμφανώς δεν είχαν καμιά σχέση με την μηχανική: σκέφτομαι για παράδειγμα τη μηχανική θεωρία του φωτός, που θεωρούσε το φως σαν την κυματική κίνηση ενός αιθέρα ελαστικής φύσης και σχεδόν άκαμπτο, αλλά επίσης και ιδίως την κινητική θεωρία των αερίων: την ανεξαρτησία της ειδικής θερμότητας ενός μονοατομικού αερίου της ατομικής του μάζας, την καταστατική εξίσωση ενός αερίου και τη σχέση της με την ειδική θερμότητα, την κινητική θεωρία του διαχωρισμού των αερίων και, πάνω απ' όλα, την ποσοτική σχέση ανάμεσα στο ιξώδες, τη θερμική αγωγιμότητα και την ιδιότητα των αε-

ρίων να καλύπτουν κάθε χώρο, που τροφοδοτούσε την απόλυτη διάσταση του ατόμου. Όλα αυτά τα αποτελέσματα ενισχύανε τη μηχανική στο ρόλο της σαν θεμέλιο της φυσικής και της υπόθεσης του ατόμου, υπόθεση που ρίζωνε ήδη αποφασιστικά στο έδαφος της χημείας. Στη χημεία όμως, ήταν αποκλειστικά οι σχέσεις ανάμεσα στις ατομικές μάζες που παίζανε ένα ρόλο και όχι οι απόλυτες διαστάσεις τους, επίσης και η θεωρία του ατόμου μπορούσε να θεωρηθεί περισσότερο σαν ένα ορατό σύμβολο παρά σαν μια γνώση της πραγματικής σύνθεσης της ύλης. Από την άλλη μεριά αυτό που παρουσίαζε εξάλλου μεγάλο ενδιαφέρον ήταν το γεγονός ότι η στατιστική θεωρία της κλασικής μηχανικής επέτρεφε να εξαχθούν οι θεμελιώδεις νόμοι της θερμοδυναμικής, εργασία που επιτελέστηκε κυρίως από τον BOLTZMANN.⁶

Δεν πρέπει να εκπλήσσεται κανείς απ' το ότι πρακτικά όλοι οι φυσικοί του περασμένου αιώνα είδαν στην κλασική μηχανική τη στέρεα και οριστική βάση όλης της φυσικής, μέχρι ακόμα και του συνόλου των φυσικών επιστημών και πως ποτέ δεν σταμάτησαν να προσπαθούν να θεμελιώνουν σ' αυτή την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του MAXWELL που αργά-αργά άρχιζε να επιβάλλεται, στην πραγματικότητα εις βάρος της μηχανικής του Νεύτωνα.

Ακόμα και οι ίδιοι, MAXWELL και HERTZ, που παρολ'αυτά, εμφανίζονται σε μας σήμερα σαν αυτοί

6. ΒΟΤΣΜΑΝ. Μέγας γερμανός φυσικός, γνωστός απ' τις εργασίες του στην θερμοδυναμική και στον ηλεκτρομαγνητισμό, στις οποίες στηρίχθηκε ο Πλανκ για τη μελέτη του πάνω στην ενέργεια της ακτινοβολίας. Θεμελιωτής της έννοιας της «εντροπίας».

που κλόνισαν την πίστη στη μηχανική, σαν θεμέλιο κάθε φυσικής θεωρίας, στα συνειδητά τους βήματα δεν ήταν καθόλου λιγότερο προσδεμένοι σ' αυτή την αρχή. Ήταν ο Ερνέστος Μαχ, στην ιστορία της μηχανικής που πρώτος ανέτρεψε αυτή την δογματική πίστη και είναι γι' αυτό που το βιβλίο του είχε πάνω μου μια πολύ βαθειά επίδραση, όταν ήμουν φοιτητής. Θαύμαζα στον Μαχ τον αδιάφθορο σκεπτικισμό του και την ανεξαρτησία του· εντούτοις πρέπει να ομολογήσω ότι στη νιότη μου ήταν εξίσου και η επιστημολογική του θέση που με τράβηξε πολύ. Θέση που σήμερα μου φαίνεται ότι δεν στέκει καθόλου. Πραγματικά, ο Μαχ δεν συνέλαβε στη σωστή της σημασία, την βασικά συνθετική και αποκαλυπτική φύση κάθε σκέψης, πολύ περισσότερο της επιστημονικής σκέψης· έφτανε έτσι στο να καταδικάζει τη θεωρία ακριβώς εκεί όπου αυτή η θεωρητικοσυνθετική αξία αποκαλύπτονταν, όπως για παράδειγμα στην κινητική θεωρία των ατόμων. Πριν να φτάσω στην κριτική της μηχανικής θεωρούμενης σαν θεμέλιο της φυσικής, πρέπει να κάνω εδώ ορισμένες παρατηρήσεις πιο γενικής υφής, πάνω στα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία πρέπει να συλλαμβάνουμε κάθε κριτική ανάλυση των φυσικών θεωριών. Το πρώτο κριτήριο φαίνεται αυτονόητο: η θεωρία δεν μπορεί να έρχεται σε αντίθεση με τα εμπειρικά δεδομένα. Όσο απλή κι αν φαίνεται αυτή η απαίτηση, η εφαρμογή της αποκαλύπτεται πολύ ντελικάτη (εύθραυστη). Γιατί είναι δυνατόν συχνά -ίσως και πάντα- να υποστηρίζουμε ένα θεωρητικό θεμέλιο προσαρμόζοντάς το στα δεδομένα, χάρη στην επεξεργασία τεχνητών συμπληρωματικών υποθέσεων. Για να ανακεφαλαιώσουμε, μπορούμε να πούμε ότι αυτό το πρώτο κριτήριο αναφέρεται στην

επαλήθευση των θεμελιών της θεωρίας από τα διαθέσιμα εμπειρικά δεδομένα.

Η δεύτερη άποψη δεν σχετίζεται με μια αναφορά στις παρατηρήσεις, αλλά στις υποδομές αυτής της ίδιας θεωρίας, σ' αυτό που θα μπορούσαμε να ονομάσουμε κατά τρόπο λίγο γενικό, «φυσικό» χαρακτήρα ή «λογική απλότητα» των υποθέσεων (έννοιες βάσης και σχέσεις ανάμεσά τους). Αυτή η άποψη της οποίας η ακριβής διατύπωση συναντά πάντα ορισμένες δυσκολίες, έπαιξε ανέκαθεν ένα σημαντικό ρόλο στην επιλογή και την εκτίμηση των θεωριών.

Δεν πρόκειται απλά εδώ για μια απαρίθμηση ανεξάρτητων λογικών προϋποθέσεων (υποθέτοντας ότι αυτό είναι έτσι κι αλλιώς δυνατόν χωρίς παρανοήσεις), αλλά για μια αμοιβαία συσχέτιση των αστάθμητων ιδιοτήτων των διαφόρων θεωριών. Πρέπει να πούμε ακόμα, ότι ανάμεσα στις θεωρίες «ίσης απλότητας», υπερτερεί αυτή που ελαχιστοποιεί με την μεγαλύτερη αυστηρότητα τις εν δυνάμει ιδιότητες των συστημάτων, (δηλαδή αυτή που ικανοποιεί τις πιο εξιδανικευμένες απαιτήσεις). Δεν θάλεγα τίποτα εδώ για το «φάσμα» των θεωριών, στο μέτρο που ασχολούμαστε εκούσια με θεωρίες που έχουν σαν αντικείμενο το σύνολο των φυσικών φαινομένων. Και για ν' ανακεφαλαιώσουμε, αυτό το τελευταίο κριτήριο μπορεί να θεωρηθεί σαν σχετιζόμενο με την εσωτερική τελειότητα της θεωρίας, ενώ το πρώτο αναφέρεται στην «εξωτερική επαλήθευση της θεωρίας». Πρέπει κατά τη γνώμη μου, να συνδέσουμε ό,τι θα είπωθει παρακάτω, με το κριτήριο της «εσωτερικής τελειότητας».

Θα προσδώσουμε μεγαλύτερη αξία σε μια θεωρία, εάν, από την άποψη της λογικής δεν συνεπάγεται μια αυθαίρετη επιλογή ανάμεσα σε ισοδύναμες θεωρίες με

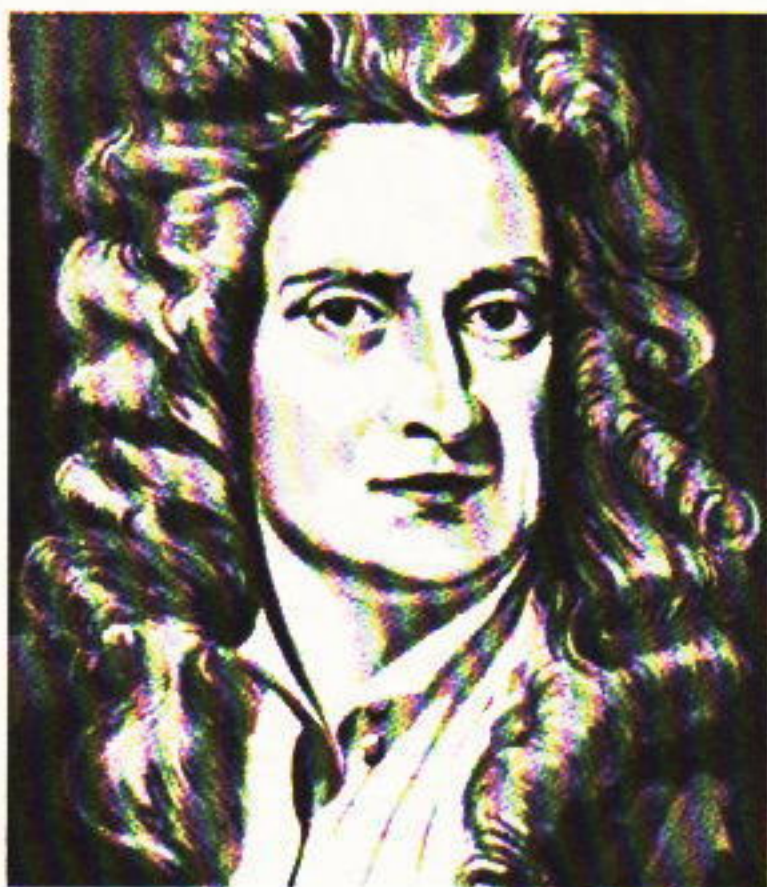


*Ο Αϊνστάϊν όταν δούλευε στο γραφείο ευρεοιτεχνίας
στη Βέρνη το 1900*

ανάλογες δομές. Δεν θα δοκίμαζα ούτε καν να δικαιολογηθώ για την έλλειψη ακρίβειας των υποθέσεων που περιέχονται σ' αυτές τις δυο πρώτες παραγράφους, χρεώνοντας απαρέγκλιτα το λίγο χώρο που είχα στη διάθεσή μου εδώ. Πρέπει όντως να ομολογήσω λοιπόν, ότι δεν μπορώ σ' αυτό το στάδιο του εξποζέ μου - και ίσως σε καμιά άλλη στιγμή να αντικαταστήσω αυτές τις συνοπτικές ενδείξεις από μερικούς ακριβέστερους ορισμούς. Παρ' όλα αυτά, έχω πραγματικά πεισθεί ότι είναι δυνατόν να βρεθεί μια καλύτερη, πιο αυστηρή παρουσίαση. Όπως και νάχει το πράγμα, φαίνεται ότι όλα τα «μαντεία» είναι γενικά σύμφωνα, όταν κρίνουν την «εσωτερική τελειότητα των θεωριών» κι ακόμη πιότερο όταν εκτιμούν την «εξωτερική τους επαλήθευση». Ας έρθουμε τώρα στην κριτική της μηχανικής σαν θεμέλιο της φυσικής.

Σύμφωνα με το πρώτο κριτήριο (την επαλήθευση από το πείραμα), η ενσωμάτωση της κυματικής οπτικής στην μηχανική παρουσίαση του κόσμου, δεν μπορούσε να ξεσηκώσει σοβαρές επιφυλάξεις. Αν πράγματι θεωρήσουμε το φως σαν κυματοειδή κίνηση, που λαμβάνει χώρα σ' ένα ελαστικό σώμα (στον αιθέρα) θάπρεπε αυτός ο τελευταίος να είναι ένα μέσο ολότελα διαπερατό λόγω της διεισδυτικότητας των φωτεινών κυμάτων. Αυτό το τελευταίο θα 'πρεπε να μοιάζει σ' ό,τι αφορά τα βασικά του χαρακτηριστικά μ' ένα στερεό σώμα και θα 'πρεπε ταυτόχρονα να είναι ασυμπίεστο, για να εξηγηθεί έτσι η απουσία κυμάτων κατά μήκος.

Αυτός ο αιθέρας θάπρεπε κατά συνέπεια να έχει μια ύπαρξη φαντασιώδη, παράλληλα με την υπόλοιπη ύλη στο μέτρο που δεν φαινόταν να προσφέρει καμιά αντίσταση στην κίνηση των «σταμθπτών» σωμάτων.



Ισαάκ Νεύτων

Για να εξηγήσουμε τους δείχτες διάθλασης των διαφανών σωμάτων, καθώς και την διαδικασία εκπομπής και απορρόφησης της ακτινοβολίας, θα έπρεπε να υποθέσουμε την ύπαρξη συνθέτων αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στους δυο αυτούς τύπους ύλης, κάτι που κανείς δεν δοκίμασε στα σοβαρά να κάνει και που πολύ περισσότερο ποτέ δεν αποδείχτηκε.

Εξ άλλου η έννοια των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων οδηγούσε στην εισαγωγή της έννοιας των ηλεκτρικών ραζών που ακόμα κι αν δεν είχαν ουσιώδη σωματική αδράνεια, παρουσίαζαν αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις που, αντίθετα από την δύναμη της βαρύτητας ήταν πολικού τύπου.

Αλλά έπρεπε να περιμένουμε τη θεωρία της ηλεκτροδυναμικής των Φαραντάι και Μάξγουελ, για να εγκαταλείψουν επιτέλους οι Φυσικοί μετά από μακρόχρονους δισταγμούς την πίστη τους στη δυνατότητα θεμελίωσης του συνόλου της Φυσικής πάνω στη μηχανική του Νεύτωνα.

Πράγματι, αυτή η θεωρία της ηλεκτροδυναμικής, καθώς και η επαλήθευσή της από τα πειράματα του Χερτζ, απόδειχνε ότι υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα εντελώς ανεξάρτητα, εξ αιτίας της ίδιας τους της φύσης, από την «σταθμητή» ύλη, δηλαδή τα κύματα στο κενό, που αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά «πεδία». Κι αν έπρεπε πράγματι να διατηρήσουμε τη μηχανική σαν θεμέλιο της Φυσικής, θάπρεπε να ερμηνεύσουμε τις εξισώσεις του Μάξγουελ, σε μια βάση μηχανική.

Η προσπάθεια αυτή έγινε με πολύ ζήλο, αλλά χωρίς κανένα αποτέλεσμα, ενώ οι εξισώσεις αυτές καθ' αυτές αποδεικνυόντουσαν όλο και περισσότερο παραγωγικές. Συνηθίσαμε λοιπόν να δουλεύουμε μ' αυτά τα

πεδία, όπως μ' ανεξάρτητες ουσίες, χωρίς πια να θεωρούμε αναγκαίο να λαμβάνουμε υπ' όψιν μας τη μηχανική τους φύση. Είναι γι' αυτό, που εγκαταλείψαμε βαθμιαία την ιδέα της μηχανικής σαν θεμέλιο της Φυσικής, αφού κάθε ελπίδα να την προσαρμόσουμε στα γεγονότα αποδεικνύονταν ολότελα μάταια.

Από τότε συνυπάρχουν δυο τύποι συλλογιστικών: από τη μια, υλικά σημεία υποκείμενα σε δυνάμεις που ενεργούν, ανάλογα με την απόσταση, κι από την άλλη μεριά το συνεχές πεδίο.

Βρισκόμαστε λοιπόν εδώ σ' ένα μεταβατικό στάδιο της φυσικής, όπου δεν υπάρχει ένα ομογενές θεμέλιο στο σύνολό της, στάδιο που κι αν δεν μας ικανοποιεί, απέχει ακόμα πολύ από το να είναι ξεπερασμένο.

Θα διατυπώσω τώρα μερικές παρατηρήσεις για μια κριτική της μηχανικής (θεωρουμένης) σαν θεμέλιο της Φυσικής, ξεκινώντας απ' το δεύτερο σημείο αναφοράς, το «εσωτερικό» κριτήριο. Στη θέση που βρίσκεται σήμερα η επιστήμη - από τότε που εγκαταλείφτηκε η μηχανική θεμελίωση - αυτή η κριτική δεν μπορεί παρά να έχει μια αξία μεθοδολογική. Σκέφτομαι παρολαυτά, ότι θα ήταν χρήσιμη, για να γίνει περισσότερο εμφανές το είδος της επιχειρηματολογίας που στο μέλλον, όταν θα έχει γίνει η αξιολόγηση των θεωριών, θα πρέπει να παίξει ένα ρόλο που θα είναι τόσο πιο σημαντικός, όσο οι βασικές έννοιες και τα αξιώματα θα είναι όλο και περισσότερο απομακρυσμένα απ' αυτό που είναι άμεσα παρατηρήσιμο, και όσο η αντιπαράθεση των θεωρητικών προϋποθέσεων με τα γεγονότα θα γίνεται όλο και πιο επίμονη και χρονοβόρα. Κατά πρώτον, θα πρέπει να ερμηνεύσουμε το επιχείρημα του Μάξγουελ, το ίδιο που απέδειξε καθαρά κι αυτός ο Νεύτων, (το πεί-

ραμα του κάδου). Εάν επιχειρήσουμε σε μια καθαρά γεωμετρική περιγραφή, όλα τα συστήματα των άκαμπτων συντεταγμένων είναι λογικά, ισοτίμα.

Οι εξισώσεις της μηχανικής (νόμος της αδράνειας π.χ.) θεωρούνται ότι ισχύουν μόνο όταν εφαρμόζονται σε μια κατηγορία εντελώς ειδική αυτών των συστημάτων που αποκαλούνται «συστήματα αδράνειας». Κάτω απ' αυτή την οπτική γωνία, το σύστημα αναφοράς θεωρούμενο σαν υλικό αντικείμενο δεν έχει έννοια. Για να δικαιολογήσουμε την ανάγκη αυτής τη ειδικής επιλογής, θα πρέπει λοιπόν να αναζητήσουμε τα στοιχεία που υπάρχουν πίσω απ' τ' αντικείμενα, και τα οποία εξετάζει η θεωρία (μάζες, αποστάσεις). Γι' αυτό το λόγο ο Νεύτων εισήγαγε σιωπηρά τον «απόλυτο χώρο» σαν συντελεστή που καθοριστικά κι ενεργά μετέχει σε κάθε μηχανικό γίγνεσθαι. Με το «απόλυτο» υπονοούσε αναμφίβολα αυτόν που δεν επηρεάζεται απ' τις μάζες, και τις κινήσεις τους. Όμως αυτή η κατάσταση είναι εντελώς μηεπιδεμένη, γιατί μας υποχρεώνει να προϋποθέτουμε την ύπαρξη ενός άπειρου αριθμού συστημάτων αδράνειας, που βρίσκονται το ένα ως προς τ' άλλα, σε μια σχέση ομαλής και μη περιστροφικής κίνησης, συστήματα που θα πρέπει εξάλλου να διαχωρισθούν απ' όλα τ' άλλα συστήματα άκαμπτων συντεταγμένων».7

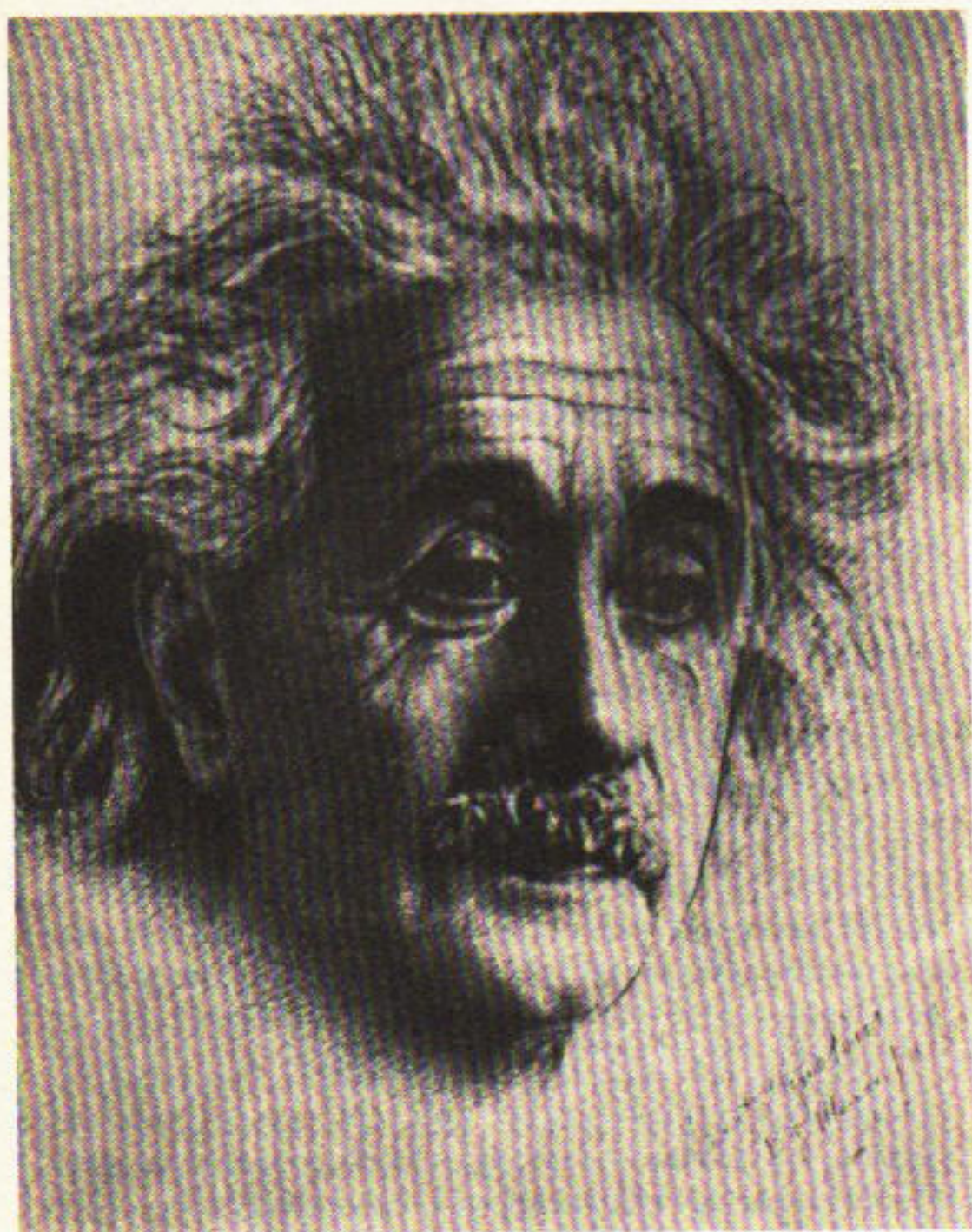
7. MAX. ΕΡΝΣΤ: Αυστριακός φιλόσοφος και φυσικός (Τουράνι, Μοραβία 1838 - Χάαρ, Βαυαρία 1916), ιδρυτής του εμπειροκρατισμού. Υπήρξε καθηγητής της φυσικής και κατόπιν της φιλοσοφίας στο πανεπιστήμιο της Βιέννης. Από τα κυριότερα έργα του είναι: Η μηχανική στην ιστορικο-κριτική της εξέλιξη, Συμβολή στην ανάλυση των αισθήσεων, Μαθήματα εκλαικευμένης επιστήμης, Γνώση και Πλάνη. Ο εμπειροκρατισμός είναι μορφή φαινομενοκρατίας: γι'

Ο Mach έκανε την υπόθεση ότι σε μια αληθινά ορθολογισμένη θεωρία, η αδράνεια θα πρέπει να εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των μαζών, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που καθορίζονται κι οι άλλες δυνάμεις στη θεωρία του Νεύτωνα. Για πολύ καιρό, αυτή η αντίληψη μου είχε φανεί σαν η μόνη σωστή. Όμως, εισήγαγε την υπόθεση, ότι η βασική θεωρία ήταν ανάλογη με εκείνη της μηχανικής του Νεύτωνα: δηλ. μια θεωρία στην οποία οι μάζες κι οι αλληλεπιδράσεις τους αποτελούν τις βασικές έννοιες. Αλλά μια τέτοια απόπειρα λύσης του προβλήματος δεν έχει θέση σε

αυτόν δεν υπάρχει ούτε εξωτερική ούτε εσωτερική πραγματικότητα, ούτε η ύλη ούτε η ψυχή. Υπάρχουν μόνο οι κατ' αίσθηση παραστάσεις, οι οποίες αποτελούν σύνολο δεδομένων, που είναι ταυτόχρονα φυσικά και ψυχικά. Οι παραστάσεις αυτές, που αποτελούν τα στοιχεία με τα οποία είναι συγκροτημένος ο κόσμος, είναι οργανωμένες και ταξινομημένες κατά τον Μ. από τις έννοιες, οι οποίες είναι απλά σημεία ή συμβολα ικανά να δείχνουν όμοιες τάξεις και όμοια στοιχεία. Ο σκοπός για τον οποίο εισάγονται οι έννοιες είναι η πραγματοποίηση μιας οικονομίας, δηλ. η ευχέρεια του προσανατολισμού του ανθρώπου απέναντι στον τεράστιο πλούτο της εμπειρίας για να διευκολύνεται έτσι η δράση του στον κόσμο. Αφού οι έννοιες παίζουν απλώς τον ρόλο της πραγματοποίησης μιας οικονομίας, η επιστήμη, που θεμελιώνεται πάνω σ' αυτές, δεν μπορεί να ισχυρίζεται ότι συλλαμβάνει την κατά βάθος ουσία των φαινομένων. Όλες οι θεωρίες που θέτουν για τον εαυτό τους ένα τέτοιο απατηλό σκοπό, δηλ. αναζήτηση των περισσότερο ή λιγότερο κρυμμένων αιτιών των φαινομένων, εγκαταλείπονται. Αυτές πρέπει να τις αντικαταστήσει η απλή αναζήτηση των νόμων, που νοούνται ως κανόνες, οι οποίοι θεσπίζονται από το υποκείμενο και δεν έχουν καμιά ύπαρξη έξω απ' αυτό. Τίποτε δεν μας εγγυάται ότι οι επιστημονικοί νόμοι θα ισχύουν και για το μέλλον. Εξαρτάται αποκλειστικά από εμάς να τους αποδεχόμαστε ή όχι ως οδηγό για τα φαινόμενα του μέλλοντος.

μια συνεπή θεωρία του πεδίου, όπως θα δούμε παρακάτω. Θα πρέπει τουλάχιστον να αναγνωρίσουμε ότι η θέση του Μαχ ήταν κατ' αρχήν σωστή, όπως καταφαίνεται από την παρακάτω αναλογία. Ας φαντασθούμε πως κάποιοι άνθρωποι καταπιάνονται με την επεξεργασία μιας θεωρίας της Μηχανικής. Αυτοί οι κάποιοι υποτίθεται πως δεν θα γνώριζαν παρά ένα μικρό μόνο τμήμα της επιφάνειας της γης και επί πλέον δεν θα μπορούσαν να δουν τ' αστέρια. Θα είχαν κατά πάσαν πιθανότητα την τάση ν' αποδώσουν ιδιάζουσες φυσικές ιδιότητες στην κάθετη διάσταση του χώρου (διεύθυνση της επιτάχυνσης της πτώσης των σωμάτων).

Με αυτή τη βάση των συλλογισμών τους, θα θεωρούσαν ότι η επιφάνεια της γης είναι γενικά οριζόντια. Αναμφίβολα, δεν θα επηρεαζόντουσαν από το επιχείρημα σύμφωνα με το οποίο από γεωμετρική άποψη, το διάστημα είναι ισοτροπο και συνεπώς δεν θα έπρεπε να καταρτίσουν θεμελιώδεις νόμους της φυσικής που θα προσδιόριζαν αφ' εαυτού μια προτιμώμενη διεύθυνση. Ίσως θα έτειναν όπως ο Νεύτων, να επιβεβαιώσουν τον - αποδεδειγμένο πειραματικά- απόλυτο χαρακτήρα της καθετότητας, σαν κάτι που θα έπρεπε απλά και μόνον να συμβιβαστούν. Αυτή η προτίμηση στην κάθετη σε σχέση με όλες τις άλλες διευθύνσεις του χώρου είναι ολότελα ανάλογη με την προτίμηση που δείχνουν στα συστήματα αδράνειας σε σχέση με όλα τα άλλα «άκαμπτα» συστήματα αναφοράς. Και έρχομαι τώρα στην εξέταση κάποιων άλλων σημείων που αναφέρονται επίσης στην εσωτερική απλότητα και στο «φυσικό» χαρακτήρα της Μηχανικής. Εάν δεχτούμε, χωρίς να θέσουμε σε αμφισβήτηση τις έννοιες του χώρου (άρα και της γεωμετρίας) και του χρόνου, δεν υπάρχει πλέον κανέ-



Άλμπερτ Αϊνστάιν

νας λόγος να αντιταχθούμε στην ιδέα της δράσης από απόσταση, ακόμα κι αν μια τέτοια παραδοχή δεν είναι σύμφωνη με τις ιδέες που μπορούμε να έχουμε ξεκινώντας από δεδομένα της καθημερινής εμπειρίας.

Να όμως που υπάρχει και μια άλλη σκέψη που παρουσιάζει τη Μηχανική σαν το θεμέλιο του συνόλου της Φυσικής, σαν μια πρωταρχική θεώρηση. Από αυτήν την ιδέα απορρέουν βασικά δυο νόμοι:

1. Ο νόμος της κίνησης
2. Η έκφραση της δύναμης ή δυναμικής ενέργειας.

Ο νόμος της κίνησης είναι πολύ ακριβής αν και χωρίς έννοια, αν δεν δοθεί ο ορισμός της δύναμης.* Ο ορισμός όμως αυτός δίνεται με μεγάλη αυθαιρεσία, ιδίως αν εγκαταλείψουμε τη θέση (που δεν είναι εξ άλλου φυσική) σύμφωνα με την οποία οι δυνάμεις δεν εξαρτώνται παρά από τις συντεταγμένες, και όχι για παράδειγμα από τις παραγώγους τους ως προς το χρόνο.

Στο πλαίσιο αυτής της θεωρίας, είναι αφ' εαυτού ολότελα αυθαίρετο να θεωρούμε ότι οι δυνάμεις της βαρύτητας (ή οι ηλεκτρικές) που προέρχονται απ' ένα σημείο, εξουσιάζονται απ' τη δυναμική συνάρτηση $(1/R)$. Μια ακόμα παρατήρηση: γνωρίζουμε από πολύ καιρό ότι αυτή η συνάρτηση είναι η λύση της σφαιρικής συμμετρίας, της απλούστερης διαφορικής εξίσωσης (αμετάβλητης κυκλικής):

Δεν θα έπρεπε λοιπόν να πάμε πιο μακριά για να δούμε ότι αυτή η συνάρτηση θα έπρεπε να θεωρείται

* Για περισσότερες λεπτομέρειες δεξ: Αϊνστάιν «Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική» σελ. 19 Έκδοση ΚΟΡΟΝΤΖΗ.

ότι προέρχεται από ένα νόμο του διαστήματος. Αυτή η προσέγγιση θα ήταν δυνατόν να εξαφάνιζε τον αυθαίρετο χαρακτήρα των νόμων, που διέπουν τις δυνάμεις. Εδώ είναι το πρώτο στοιχείο που θα έπρεπε να ωθήσει στην εγκατάλειψη της ιδέας της δράσης από απόσταση. Όμως, αυτή η εξέλιξη που προετοιμάστηκε από τον Φαραντάν, τον Μάξγουελ και τον Χερτζ - δεν άρχισε στην πραγματικότητα παρά πολύ αργότερα, κάτω απ' την εξωτερική πίεση των πειραματικών δεδομένων. Θα ήθελα επίσης να αναφέρω σαν δείγμα της εσωτερικής δυσυμμετρίας, το γεγονός ότι την μάζα αδράνειας που υπεισέρχεται στους νόμους της κίνησης την ξαναβρίσκουμε επίσης και στο νόμο της βαρύτητας, αν και δεν συμβαίνει το ίδιο και στην έκφραση των άλλων δυνάμεων. Τέλος θα επιθυμούσα να υπογραμμίσω ότι τη διαίρεση της ενέργειας σε δυο κατηγορίες, βασικά διαφορετικής υφής (κινητική και δυναμική ενέργεια) θα πρέπει να την δεχόμαστε σαν πολύ λίγο φυσική. Ο Χερτζ, εξ άλλου, βρίσκει αυτή τη διάκριση τόσο απαραίτητη, ώστε να καταπιαστεί στις τελευταίες εργασίες του, με την εξάλειψη από την μηχανική του όρου της δυναμικής ενέργειας και από αυτό και της ίδιας της έννοιας της δύναμης. Επιτέλους, πιστεύω ότι αρκετά είπα πάνω σ' αυτό το ζήτημα. Νεύτωνα, συγχώρα με. Ο δρόμος που άνοιξες ήταν ο μόνος που ένας άνθρωπος προικισμένος με μια λαμπρή εξυπνάδα, κι ένα δημιουργικό μυαλό θα μπορούσε ν' ακολουθήσει, στην εποχή σου. Οι έννοιες που επεξεργάστηκες οδηγούν ακόμα σήμερα τους συλλογισμούς μας στη Φυσική, ακόμα κι αν γνωρίζουμε ότι θα πρέπει πλέον να την αντικαταστήσουμε με άλλες έννοιες, που θάναι οι μόνες, που όντας πιο απομακρυσμένες απ' το άμεσο πεδίο της ε-

μπειρίας, θα μας επιτρέψουν να φτάσουμε σε μια πιο βαθιά κατανόηση των σχέσεων ανάμεσα στα φαινόμενα.

«Μα επιτέλους είναι στ' αλήθεια αυτό ένας επικήδειος λόγος;» Θα αναρωτηθεί ίσως ο έκπληκτος αναγνώστης. Θα ήθελα να μπορούσα ν' απαντήσω: «ναι, όσον αφορά την ουσία, γιατί αυτό που κατ' αρχήν καθορίζει έναν άνθρωπο σαν και μένα, είναι αυτό που σκέπτεται και πώς το σκέπτεται, κι όχι αυτό που κάνει ή αυτό που αισθάνεται».

Γι' αυτό και η βιογραφία αυτή, αρκείται στην αφήγηση των ιδεών που έπαιξαν ένα μεγάλο ρόλο στις έρευνές μου. Μια θεωρία είναι τόσο πιο κατανοήσιμη όσο τα θεμέλια της είναι απλούστερα, όσο ο αριθμός των στοιχείων που συσχετίζει είναι μεγαλύτερος και το πεδίο εφαρμογής της εκτενέστερο. Αυτό εξηγεί την βαθειά εντύπωση που μου έκανε η θεωρία της κλασσικής θερμοδυναμικής. Είμαι πεπεισμένος ότι είναι η μόνη θεωρία της φυσικής που σ' ό,τι αφορά τις θεμελιώδεις της έννοιες δεν πρόκειται ποτέ ν' ανατραπεί (αυτό απευθύνεται σ' αυτούς που είναι σκεπτικιστές από πεποίθηση).

Την εποχή που ήμουν φοιτητής, το αντικείμενο που με γοήτευε περισσότερο ήταν αναμφίβολα η θεωρία του Μάξγουελ. Αυτό που της προσέδιδε τον επαναστατικό της χαρακτήρα ήταν αυτό το πέρασμα από την ιδέα της δράσης σε απόσταση, σ' αυτήν των πεδίων λαμβανομένων ως θεμελιωδών μεταβλητών.

Η οπτική ενσωματώθηκε στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία, χάρη στα τρία παρακάτω στοιχεία: σύνδεση ταχύτητας του φωτός και απόλυτου συστήματος ηλεκτρικών και μαγνητικών μονάδων. Σχέση μεταξύ δείκτη διάθλασης και διηλεκτρικής σταθεράς. Ποιοτική σχέση μεταξύ συντελεστών ανάκλασης ενός σώματος και μεταλλικής

συμπεριφοράς. Ήταν μια πραγματική αποκάλυψη. Μετά το πέρασμα στη θεωρία του πεδίου, δηλαδή, την έκφραση των θεμελιωδών νόμων με διαφορικές εξισώσεις. Ο Μάξγουελ δεν είχε παρά να κάνει μια μόνο υπόθεση, την εισαγωγή του ανύσματος ηλεκτρικής ροής στο κενό και στα διηλεκτρικά σώματα με την μαγνητική ενέργεια. Αυτή η υπόθεση υπαγορεύονταν στην πραγματικότητα από τις ιδιότητες των διαφορικών εξισώσεων. Κι εδώ δεν μπορώ παρά να παρατηρήσω πως η δυάδα Φαραντάν-Μάξγουελ⁸ έχει από πολλές απόψεις, μια μεγάλη ομοιότητα με το ζεύγος Γαλιλαίος-Νεύτων, καθώς ο πρώτος διαισθάνονταν ενστικτωδώς τις σχέσεις μεταξύ των πραγμάτων, και ο δεύτερος τις εξέφραζε με ακρίβεια και τις εφάρμοζε ποσοτικά.

Η κατανόηση της ουσίας της ηλεκτρομαγνητικής

8. ΜΑΞΟΥΕΛ. ΤΖΑΗΜΣ ΚΛΕΡΚ, Άγγλος φυσικομαθηματικός (Εδιμβούργο 1831 - Καίμπριτζ 1879).

Ιδιαίτερα γνωστό είναι το έργο του επί της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας του φωτός, το οποίο σημειώνεται ως παράδειγμα της ισχύος των μαθηματικών στις εφαρμογές τους επί της μελέτης της φύσεως. Ο Μ., ξεκινώντας από τους νόμους του Φαραντάν και του Λαπλάς και εισάγοντας την βασική υπόθεση της υπάρξεως ρευμάτων μετατοπίσεως, πέτυχε με μαθηματικούς υπολογισμούς μια τριάδα διαφορικών εξισώσεων, οι οποίες συνδέουν μεταξύ τους τις τρεις συνιστώσες της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου και τις τρεις συνιστώσες της εντάσεως του ηλεκτρικού, και μια δεύτερη τριάδα η οποία, μαζί με την πρώτη, προσδιορίζει, μεταξύ ορισμένων συνθηκών, τις ιδιότητες του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Ο Μ. έκαμε εξ άλλου μελέτες επί της τριχρωμίας, επιλέγοντας ως βασικά χρώματα το ερυθρό, το πράσινο και το μπλε. Υπήρξε ο πρώτος που σκέφθηκε να εξερευνήσει την κίνηση της Γης ως προς τον κοσμικό αιθέρα (Μίκελσον). Μάξγουελ: Μονάδα μετρήσεως της μαγνητικής ροής στο σύστημα C.G.S.

θεωρίας γινόταν τότε δυσκολότερη από την ακόλουθη κατάτασταση: οι δυνάμεις του πεδίου και οι μαγνητικές ή ηλεκτρικές (ροές) θεωρήθηκαν στοιχειώδεις μεταβλητές και το κενό μια ειδική περίπτωση των διηλεκτρικών σωμάτων. Ήταν η ύλη που θεωρήθηκε σαν φορέας του πεδίου, και όχι ο χώρος. Ως εδώ προϋποθέταμε ότι ο φορέας του πεδίου θα έπρεπε να έχει μια ταχύτητα, και αυτό εφαρμόζονταν φυσιολογικά στο κενό (αιθέρα). Η ηλεκτροδυναμική των κινουμένων σωμάτων, που την επεξεργάστηκε ο Χερτζ, στηρίζεται ολοκληρωτικά σ' αυτή τη θεμελιακή θέση.

Στον Χ.Α. Λώρενς⁹ ανήκει η τιμή για την αποφασι-

9. ΛΟΡΕΝΤΖ, ΧΕΝΤΡΙΚ ΑΝΤΟΟΝ. Ολλανδός φυσικός (Αρνχεμ 1853 - Χάρλεμ 1928). Σπούδασε στο Λέυντεν, όπου έγινε καθηγήτης της μαθηματικής φυσικής. Αργότερα ανέλαβε τη διεύθυνση των ερευνών στο Ινστιτούτο Τέυλερ (Χάαρλεμ). Από τα κύρια συμπεράσματα των ερευνών του, ως θεωρητικού φυσικού, είναι η εφαρμογή των αρχών του ηλεκτρομαγνητισμού στη μελέτη των ιδιοτήτων της ύλης. Ο Λ. αποδίδει τις ιδιότητες αυτές στην κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων που υπάρχουν στην ύλη και στην αμοιβαία επίδραση μεταξύ τους ή των φορτίων με ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Κατ' αυτόν τον τρόπο ο Λ. διατυπώνει μια ηλεκτρονική θεωρία της ύλης, η οποία δικαιολογημένα θεωρείται ως ένα από τα πλέον ζωντανά κεφάλαια της κλασικής φυσικής.

Το όνομα του Λ. είναι συνδεδεμένο και με την ομάδα των μεταβολών εκείνων καταστάσεως που χαρακτηρίζουν την ειδική σχετικότητα (σχετικότητας, θεωρία), των μεταβολών δηλαδή που επιτρέπουν την σύνδεση των χρονικών και διαστημικών συντεταγμένων ενός φυσικού συμβάντος, το οποίο παρατηρείται από δύο αδρανή συστήματα αναφοράς κινούμενα με ομοιόμορφη γραμμική κίνηση το ένα ως προς το άλλο. Τις μεταβολές αυτές, την πραγματική σημασία των οποίων ανακάλυψε ο Αϊνστάιν με τη θεωρία της σχετικότητας, επεξεργάστηκε ο Λ. στην προσπάθειά του να ερμηνεύσει, στο πλαίσιο της κλασικής φυσικής, τα πειράματα των Μικελ-

στική διαφοροποίηση που επέφερε. Υποστήριξε ότι το πεδίο δεν υφίσταται στο κενό. Η ύλη - θεωρούμενη από την ατομική σκοπιά - είναι η μοναδική έδρα των ηλεκτρικών φορτίων. Στο διάστημα, μεταξύ των υλικών μορίων υπάρχει το κενό, όπου εξασκείται το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, που καθορίζεται από την θέση και την ταχύτητα των σημειακών φορτίων που εντοπίζονται στα υλικά σημεία. Η διηλεκτρική συμπεριφορά, η αγωγιμότητα, κ.λπ. καθορίζονται αποκλειστικά από την φύση των μηχανικών δεσμών που υφίστανται μεταξύ των μορίων του αποτελούν τα σώματα. Τα φορτία των μορίων παράγουν το πεδίο που, από την πλευρά του, εξασκεί δυνάμεις πάνω στα φορτία αυτών των μορίων, καθορίζοντας έτσι την κίνησή τους, σύμφωνα με τους νόμους του Νεύτωνα. Αν συγκρίνουμε αυτή τη θεωρία με το Νευτώνειο σύστημα, η διαφορά συνίσταται στο εξής: Η δράση από απόσταση αντικαθίσταται από το πεδίο που περιγράφει εξ ίσου την ακτινοβολία. Κατά κανόνα η βαρύτητα δεν λαμβάνεται υπόψη, λόγω της πολύ μικρής ισχύος της. Η εισαγωγή της όμως παραμένει δυνατή, αν εμπολουτίσουμε τη δομή του πεδίου, αν δηλαδή επεκτείνουμε τους νόμους του Μάξγουελ. Ο φυσικός του σήμερα θεωρεί τη θέση του Λόρεντζ σαν τη μόνη δυνατή. Κι όμως στην εποχή του, ήταν ένα βήμα τόσο εκπληκτικό, όσο και τολμηρό, χωρίς το οποίο καμιά από τις μετέπειτα εξελίξεις της Φυσικής δεν θα ήταν δυνατή. Εξετά-

σον και Μόρλεϋ, τα οποία αποσκοπούσαν στην εξακρίβωση της κινητικής καταστάσεως ή της πρεμίας της Γης ως προς τον υποτιθέμενο κοσμικό αιθέρα.

Το 1902 τιμήθηκε, από κοινού με τον Πάτερ Ζέεμαν, με το βραβείο Νομπέλ της φυσικής.

ζοντας από κοντά αυτή τη φάση της εξέλιξης της θεωρίας από μια κριτική σκοπιά, μας εντυπωσιάζει ο παρακάτω δυϊσμός: το υλικό σημείο, όπως καθορίζεται από τον Νεύτωνα, και το πεδίο σαν συνεχής οντότητα συνυπάρχουν το ένα με τ' άλλο σαν θεμελιώδεις έννοιες. Η κινητική ενέργεια και η ενέργεια πεδίου, όμως, εμφανίζονται σαν δυο στοιχεία θεμελιωδώς διαφορετικά. Αυτό είναι ακόμα λιγότερο ικανοποιητικό όταν σύμφωνα με τη θεωρία του Μάξγουελ, το μαγνητικό πεδίο ενός κινουμένου ηλεκτρικού φορτίου παρουσιάζει μια μορφή αδράνειας. Γιατί τότε, δεν θα απόμενε πια παρά η ενέργεια του πεδίου και το μόριο δεν θα ήταν παρά ένας τόπος ιδιαίτερα μεγάλης πυκνότητας της ενέργειας του πεδίου. Σ' αυτήν την περίπτωση θα μπορούσαμε να ελπίζουμε ότι, ξεκινώντας από τις εξισώσεις του πεδίου, θα συνάγουμε την έννοια του υλικού σημείου καθώς και τις εξισώσεις της κίνησης των μορίων: έτσι αυτός ο ενοχλητικός δυϊσμός θα εκλείπει. Ο Χ.Α.Λόρεντζ είχε πλήρη συνείδηση αυτού του προβλήματος.

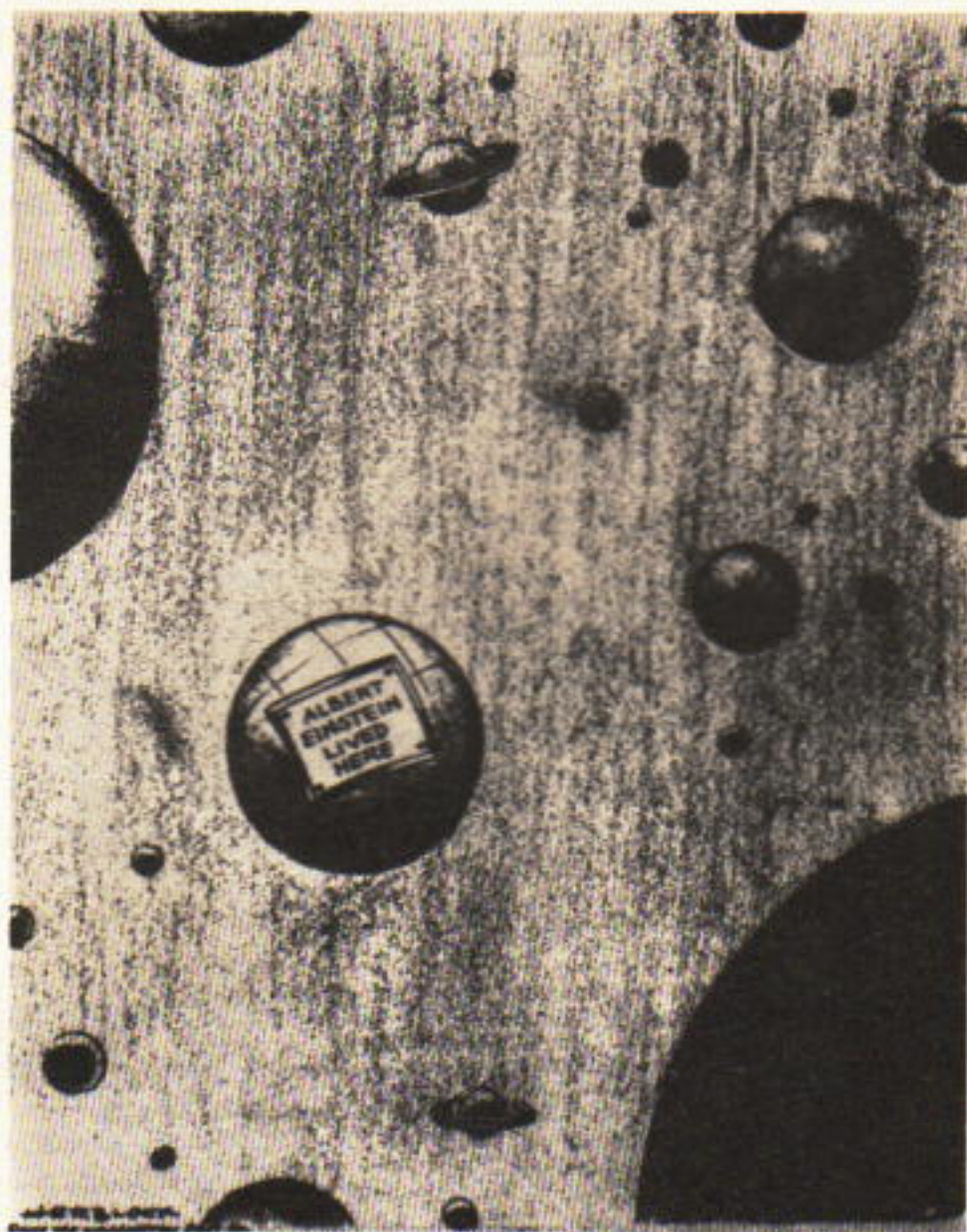
Οι εξισώσεις του Μάξγουελ δεν επιτρέπανε τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ισορροπίας ενός σωματιδίου. Μόνο οι γραμμικές εξισώσεις του πεδίου, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε κάποιο αποτέλεσμα, όμως δεν υπήρχε καμιά μέθοδος για την εξεύρεση τέτοιων εξισώσεων πεδίου χωρίς να διακινδυνεύσει κανείς να πέσει σε αυθαιρεσίες. Μπορούσαμε, εν τούτοις να ελπίζουμε ότι θα κατορθώναμε να βρούμε, σιγά-σιγά, μια καινούργια και στέρεα βάση της φυσικής, χάρη στο δρόμο που άνοιξαν με τόση επιτυχία οι Φαραντάν και Μάξγουελ.

Έτσι, η επανάσταση που ξεκίνησε με την εισαγωγή του πεδίου είχε ακόμα πολύ δρόμο μπροστά της. Στην αρχή του αιώνα μας ξέσπασε μια δεύτερη επανάσταση,

άσχετη μ' αυτήν που περιγράψαμε ως τώρα, που η σημασία της έγινε αντιληπτή χάρη στις εργασίες του Μαξ Πλανκ πάνω στη θερμική ακτινοβολία (1900).¹⁰ Η εξιστόρηση αυτού του γεγονότος είναι ακόμα πιο αξιοσημείωτη, γιατί, τουλάχιστον στην πρώτη φάση, δεν στηρίχτηκε σε καινούργιες πειραματικές ανακαλύψεις.¹¹ Με

10. Ο μεγάλος θεωρητικός Μαξ Πλανκ, γεννήθηκε στο Κιέλο της Γερμανίας (1858-1947). Το 1889 γίνεται καθηγητής στο περίφημο Πανεπιστήμιο Χούμπολιτ του Βερολίνου, στο οποίο εδίδασκε και ο Αϊνστάιν. Με την ομώνυμη θεωρία του, ο Πλανκ ανέβηκε στην υψηλότερη κορυφή της Φυσικομαθηματικής πυραμίδος, για να παρακαθήσει με τον ανυπέρβλητο Αϊνστάιν. Η κβάντωση της ενέργειας, εισάγει νέα θεώρηση των φαινομένων του Μικρόκοσμου και του μηχανιστικού κοσμοειδώλου, το οποίο εστηρίζεται στην «αρχή της συνέχειας», (η φύση δεν κάνει άλματα). Ο δογματισμός αυτός ορισμένων επιφανών φυσικών ήταν καλοπροαίρετος και δεν περιείχε την μεσαιωνική άρνηση και κατάλυση. Ο Μαξ Πλανκ σαν βαθυστόχαστος ερευνητής υπήρξε σφοδρός διώκτης του δογματισμού στον χώρο της επιστήμης.

11. ΚΙΡΧΟΦ, ΓΚΟΥΣΤΑΒ ΡΟΜΠΕΡΤ: Γερμανός φυσικός (Καϊνίμπεργκ 1824 - Βερολίνο 1887). Ακολούθησε κανονικές σπουδές και ομαλή ακαδημαϊκή σταδιοδρομία. Έγινε πρώτα υπηγητής της Φυσικής στο πανεπιστήμιο της Χαϊδελβέργης και κατόπιν καθηγητής στα παν/μια Μπρεσλάου, Χαϊδελβέργης και Βερολίνου. Άριστος διδάσκαλος, πέτυχε να δημιουργήσει μια πραγματική σχολή Γερμανών φυσικών. Στο πεδίο του ηλεκτρισμού, μετέτρεψε τη γέφυρα του Ουίτστον και διατύπωσε τους ακόλουθους νόμους της διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος στους αγωγούς και στα δίκτυα: 1ος νόμος: το αλγεβρικό άθροισμα των εντάσεων των ρευμάτων, που φθάνουν σε ένα κόμβο είναι ίσο προς το άθροισμα των εντάσεων των ρευμάτων, που αναχωρούν από αυτόν. 2ος νόμος: σε ένα κλειστό κύκλωμα αγωγών, το αλγεβρικό άθροισμα των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων κατά μήκος των κλάδων είναι ίσο προς το άθροισμα των γινομένων των εντάσεων του ρεύματος επί τις αντιστάσεις των μεμονωμένων κλάδων. Ο Κ. πέτυχε επίσης ν' απο-



Ενθάδε κείται Άλμπερτ Αϊνστάϊν. Γελιογραφία του 1955

βάση τη θερμοδυναμική, ο Κίρχοφ έφτασε στο συμπέρασμα ότι η πυκνότητα της ενέργειας και η σύνθεση του φάσματος της ακτινοβολίας μέσα σ' ένα κλειστό χώρο με μη διαπερατά τοιχώματα, σε θερμοκρασία T , ήταν ανεξάρτητη απ' τη φύση των τοιχωμάτων. Δηλαδή, ότι η πυκνότητα μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας είναι παγκόσμια συνάρτηση της συχνότητας και της απόλυτης θερμοκρασίας T . Το πρόβλημα επομένως ήταν να προσδιοριστεί αυτή η συνάρτηση $P(\nu, T)$. Τι θα μπορούσαμε να πούμε από θεωρητική άποψη; Σύμφωνα με τη θεωρία του Μάξγουελ η ακτινοβολία θάπρεπε να εξασκεί πίεση επί των τοιχωμάτων, η οποία να προσδιορίζεται από την ολική ενεργειακή πυκνότητα. Από αυτή τη θεωρία ο Μπότμαν συνήγαγε από καθαρά θερμοδυναμική οδό, ότι η ολική πυκνότητα της ενέργειας της ακτινοβολίας (FPDV) ήταν ανάλογη του T^4 . Ανακάλυπτε έτσι τη θεωρητική επαλήθευση ενός νόμου που είχε ήδη εμπειρικά διατυπωθεί από τον Στέφαν και, προχωρώντας μ' αυτόν τον τρόπο, συμπιλιώνει αυτόν τον

δείξει ότι ένας ηλεκτρικός παλμός διαδίδεται κατά μήκος ενός αγωγού με την ταχύτητα του φωτός.

Εξαιρετικά σημαντικές είναι οι μελέτες του Κ., που έγιναν εν μέρει με την συνεργασία του Μπούνοεν, στην φασματοσκοπία. Οι δυο φυσικοί ανακάλυψαν με την φασματοσκοπική ανάλυση τα νέα στοιχεία ρουβίδιο και κέσιο. Ο Κ. έδωσε την εξήγηση των γραμμών του Φραουνχόφερ και μια θεωρητική σειρά των φασμάτων. Στο πεδίο των φωτεινών και θερμικών ακτινοβολιών διατύπωσε τον νόμο κατά τον οποίο «ένα σώμα εκπέμπει τέτοιου μήκους κύματος ακτινοβολίες, τις οποίες, υπό τις αυτές συνθήκες και θερμοκρασίες, είναι ικανό ν' απορροφήσει».

Ο νόμος αυτός (νόμος Κίρχοφ) θεωρείται θεμελιώδης για την ανάπτυξη της θεωρίας των ακτινοβολιών.

εμπειρικό νόμο με την ουσία της θεωρίας του Μάξγουελ. Αργότερα, χάρη σε μια ιδιοφυή συλλογιστική βασισμένη στην θερμοδυναμική, που χρησιμοποιούσε επίσης τη θεωρία του Μάξγουελ, ο Βιαν ανακάλυψε ότι η παγκόσμια συνάρτηση P των δυο μεταβλητών V και T , έπρεπε να γραφτεί με την μορφή:

$$\rho \approx v^3 f\left(\frac{v}{T}\right),$$

όπου $F(V/T)$ είναι μια παγκόσμια συνάρτηση της μεταβλητής (V/T) . Φαινόταν καθαρά πια ότι ο θεωρητικός προσδιορισμός αυτής της παγκόσμιας συνάρτησης F ήταν κεφαλαιώδους σημασίας. Αυτό το καθήκον εκπλήρωσε ο Πλανκ.

Επιμελείς μετρήσεις είχαν οδηγήσει στον εμπειρικό προσδιορισμό με αρκετή ακρίβεια της συνάρτησης F . Βασιζόμενος σ' αυτές τις εμπειρικές μετρήσεις, ο Πλανκ κατόρθωσε να βρει σε πρώτη φάση, έναν τύπο που ανταποκρίνονταν πολύ καλά σ' αυτές τις μετρήσεις:

$$\rho = \frac{8\pi b v^3}{c^3} \frac{1}{\exp(hv/kT) - 1}$$

όπου B και K είναι δυο παγκόσμιες σταθερές. Η πρώτη από αυτές έμελλε να οδηγήσει στην Κβαντική θεωρία.

Η παρουσία του παρονομαστή έδινε σ' αυτόν τον τύπο μια όψη κάπως παράξενη. Θα μπορούσαμε να επαληθεύσουμε τον τύπο με θεωρητικό τρόπο; Ο Πλανκ κατόρθωσε να βρει μια επαλήθευση που οι ατέλειές της δεν φάνηκαν αμέσως, πράγμα όμως που αποδείχτηκε μεγάλη τύχη για την πρόοδο της Φυσικής. Αν αυτός ο τύπος ήταν σωστός έπρεπε να επιτρέπει, με την βοήθεια της θεωρίας του Μάξγουελ να υπολογίζεται η



Μαξ Πλάνκ

μέση ενέργεια E ενός ημι-μονοχρωματικού ταλαντωτή μέσα στο πεδίο της ακτινοβολίας:

$$E = \frac{bv}{\exp(hv/kT) - 1}$$

Όμως ο Πλανκ προτίμησε να επιχειρήσει τον θεωρητικό υπολογισμό αυτού του μεγέθους. Σ' αυτήν την προσπάθεια, αποδείχτηκε ότι ούτε η θερμοδυναμική πρόσφερε καμιά βοήθεια, ούτε η θεωρία του Μάξγουελ. Αυτό που ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικό σ' αυτό τον τύπο, ήταν το γεγονός ότι για υψηλές θερμοκρασίες (με v σταθερό), γίνονταν:

$$E = kT.$$

αυτός όμως ο τύπος έχει την ίδια μορφή με τον τύπο που προήλθε απ' την κινητική θεωρία των αερίων και αφορά την μέση ενέργεια ενός υλικού σημείου που κάνει μια μονοδιάστατη ελαστική ταλάντωση. Πράγματι στην κινητική θεωρία των αερίων έχουμε:

$$E = (R/N)T,$$

όπου η R εκφράζει την σταθερά του αερίου και N τον αριθμό του Αβοκάντρο, πράγμα που επιτρέπει να υπολογίσουμε την πραγματική διάσταση ενός ατόμου. Παίρνοντας αυτούς τους δυο τύπους εξάγουμε:

$$N = R/k.$$

Επομένως, η σταθερά στον τύπο του Πλανκ, δίνει πραγματικά τη σωστή διάσταση του ατόμου. Η αριθμητική τιμή ήταν σε ικανοποιητική συμφωνία με τους προσδιορισμούς του N από την κινητική θεωρία των αερίων, έστω κι αν αυτή δεν έδινε πολύ ακριβή αποτελέσματα.

Αυτό ήταν μια μεγάλη επιτυχία και ο Πλανκ το κατάλαβε πολύ καλά. Εν τούτοις, υπήρχε ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα που ο Πλανκ δεν είδε αμέσως. Γιατί η ι-

δια συλλογιστική οδηγούσε στο συμπέρασμα ότι η σχέση $E=RT$, έπρεπε να ισχύει το ίδιο και για τις χαμηλές θερμοκρασίες. Σ' αυτήν την περίπτωση όμως δεν ίσχυε ο τύπος του Πλανκ και η σταθερά β . Ξεκινώντας απ' την υπάρχουσα θεωρία το σωστό συμπέρασμα θα 'ταν ότι: ή η μέση κινητική ενέργεια του ταλαντούμενου μορίου δεν δίνεται σωστά απ' τη θεωρία των αερίων, πράγμα που σφραγίζει την αναίρεση της μηχανικής, ή ότι η μέση ενέργεια του ταλαντούμενου μορίου δεν δίνεται σωστά απ' τη θεωρία του Μάξγουελ, πράγμα που επιβάλλει την αναίρεσή της. Είναι επομένως πιθανό ότι οι δυο θεωρίες είναι σωστές υπό οριακές συνθήκες και λανθασμένες για τις υπόλοιπες καταστάσεις. Όπως θα δούμε πιο κάτω, έτσι ακριβώς τίθεται το πρόβλημα. Εάν ο Πλανκ έφτανε σ' αυτό το συμπέρασμα, δεν θα μπορούσε να κάνει μια πολύ μεγάλη ανακάλυψη, γιατί η καθαρή επαγωγική συλλογιστική θα εστερείτο της βάσης της.

Ας ξαναγυρίσουμε τώρα στη συλλογιστική του Πλανκ. Στηριζόμενος στην κινητική θεωρία των αερίων, ο Μπόλτσμαν ανακάλυψε ότι, μια νέα σταθερά, η εντροπία, ήταν ίση με το λογάριθμο της «πιθανότητας» της θεωρουμένης κατάστασης. Μετά απ' αυτό, κατόρθωσε να καθορίσει τη φύση των διαδικασιών του, σύμφωνα με την θερμοδυναμική, ήταν «μη αντιστρεπτές». Αλλά από την άποψη των κινήσεων των μορίων, όλες οι διαδικασίες είναι αντιστρεπτές. Αν θεωρήσουμε μια μοριακή κατάσταση σαν μια κατάσταση μικροσκοπική (ή μικροκατάσταση) και μια θερμοδυναμική κατάσταση σαν μακροσκοπική, τότε σε μια μακροσκοπική κατάσταση αντιστοιχεί ένας πολύ μεγάλος αριθμός (Z) από μικροσκοπικές καταστάσεις. Ο Z είναι μέτρο της πιθανότητας μιας δοσμένης μακροσκοπικής κατάστασης. Αυτό το ση-

μείο είναι κεφαλαιώδους σημασίας, στο μέτρο που η εφαρμογή του δεν περιορίζεται στη μικροσκοπική περιγραφή και βασίζεται στην μηχανική. Ο Πλανκ κατανόησε τη σημασία του και εφάρμοσε την αρχή του Μπόλτμαν σε ένα σύστημα που απαρτιζόταν από πολλά μόρια που ταλαντώνονται στην ίδια συχνότητα ν . Η μακροσκοπική κατάσταση επομένως, αντιστοιχεί στην ολική ενέργεια των ταλαντωτών και η μικροσκοπική κατάσταση σε κάθε ατομικό ταλαντωτή. Για να εκφράσει τον αριθμό των μικροσκοπικών καταστάσεων που περιέχονται σε μια μακροσκοπική κατάσταση με την βοήθεια ενός πεπερασμένου αριθμού, ο Πλανκ διαίρεσε την ολική ενέργεια σ' ένα σημαντικό, αλλά πεπερασμένο αριθμό από όμοιες στοιχειώδεις ενέργειες $\xi=0$ και αναρωτήθηκε με πόσους διαφορετικούς τρόπους θα μπορούσαμε να κατανείμουμε αυτές τις στοιχειώδεις ενέργειες μεταξύ των **τοιχωμάτων (ταλαντωτών)**. Ο λογάριθμος αυτού του αριθμού έδινε στη συνέχεια την εντροπία και (με θερμοδυναμική οδό) την θερμοκρασία του συστήματος. Ο Πλανκ δεν επιτυγχάνει στη διαμόρφωση του τύπου της ακτινοβολίας, παρά διαλέγοντας τα στοιχεία της ενέργειας ξ ίσα με $\xi=h\nu$. Αυτό που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον σ' αυτήν την μέθοδο είναι ότι το αποτέλεσμα επιτυγχάνεται όταν παίρνουμε μια συγκεκριμένη και πεπερασμένη για την ξ και μάλιστα χωρίς να παίρνουμε την ακραία τιμή της $\xi=0$.

Μ' αυτή την μορφή συλλογιστικής δεν βλέπουμε αμέσως την αντίφασή της με την Μηχανική και Ηλεκτροδυναμική που χρησιμοποιήθηκαν σαν βάση του υπολογισμού. Εν τούτοις, ο υπολογισμός επιβάλλει ότι η ενέργεια δεν μπορεί ν' απορροφάται ή να εκπέμπεται από έναν ταλαντωτή παρά με «κβάντα» της τάξης $h\nu$,



Ο Αϊνστάϊν μαζί με τον Νιλς Μπορ

και επομένως η ενέργεια μιας μηχανικής ταλαντούμενης διάταξης, καθώς και η ενέργεια ακτινοβολίας της δεν μεταφέρεται παρά από τα κβάντα που εκπέμπει, και αυτό έρχεται σε κατάφωρη αντίφαση με τους νόμους της Μηχανικής και Ηλεκτροδυναμικής. Αυτή η αντίφαση με την Δυναμική είναι θεμελιακή.

Θα μπορούσαμε αντίθετα να θεωρήσουμε ότι η ασυμφωνία με την Ηλεκτροδυναμική είναι μικρότερης σημασίας. Επειδή η έκφραση της πυκνότητας της ενέργειας μιας ακτινοβολίας, ενώ είναι συμβιβάσιμη με τις εξισώσεις του Μάξγουελ, δεν είναι κι αναγκαία συνέπεια της. Αυτή η έκφραση δίνει ικανοποιητικές μέσες τιμές, και μπορούμε να στηρίξουμε σ' αυτή τους νόμους Στέφαν Μπόλτσμαν και Βιεν, που συμφωνούν απόλυτα με τα πειραματικά δεδομένα. Όλα αυτά μου φάνηκαν πολύ καθαρά αμέσως μετά τη δημοσίευση της βασικής εργασίας του Πλανκ. Επομένως χωρίς να διαθέτουμε τίποτα που να μπορεί ν' αντικαταστήσει την κλασσική Μηχανική, κατόρθωνα εν τούτοις να διακρίνω τι συνεπαγόταν αυτός ο νόμος της ακτινοβολίας της θερμότητας, για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και άλλα φαινόμενα του ίδιου είδους, καθώς και τις συνέπειές του πάνω στην ειδική θερμότητα των σωμάτων και ειδικότερα των στερεών σωμάτων. Εντούτοις όλες μου οι προσπάθειες να προσαρμόσω τις θεωρητικές βάσεις της Φυσικής σ' αυτή τη νέα γνωσιολογική κατάκτηση αποδείχτηκαν ολότελα άκαρπες. Ήταν πραγματικά σαν να χε υποχωρήσει το έδαφος κάτω από τα πόδια μας, χωρίς ν' αφήσει το πραγματικό στήριγμα που πάνω του θα μπορούσαμε να οικοδομήσουμε.

Το γεγονός ότι αυτές οι καινούργιες βάσεις, τόσο παραπαιούσες και τόσο αντιφατικές, ήταν αρκετές ε-

ντούτοις για τον Μπορν -άνθρωπο¹² με ένστικτο και μοναδική διαίσθηση- για να θέσει τους σπουδαιότερους νόμους των φασματικών γραμμών και των ηλεκτρονικών στρωμάτων των ατόμων, όπως και το να προσδιορίσει τη σημασία τους για τη Χημεία, μου φάνηκε σαν πραγματικό θαύμα, και ο χρόνος δεν άλλαξε τίποτα απ' αυτήν την εντύπωση. Βλέπω σ' αυτό την πιο υψηλή μορφή μουσικότητας στη σφαίρα της σκέψης.

Όσο για μένα, εκείνη την εποχή, δεν ενδιαφερόμουν πολύ για τις λεπτομέρειες των συνεπειών που επέσυραν οι ανακαλύψεις του Πλανκ (PLANCK), όσο σημαντικές κι αν ήταν. Το κυρίαρχο μέλημά μου ήταν: Ποιό γενικό συμπέρασμα μπορούσε κανείς να βγάλει από τον τύπο της ακτινοβολίας που θα επέτρεπε να αποκαλύψουμε την δομή του και ακόμα περισσότερο γι' αυτό θάπρεπε να αναφερθώ σε ορισμένες έρευνες σχε-

12. ΜΠΟΡΝ, ΜΑΞ: Γερμανός φυσικός (Μπρεσλάου 1882 - Γκαίτυμπεργκ Η.Π.Α. 1970). Σπούδασε στη γενέτειρά του, το 1916 διορίστηκε καθηγητής της θεωρητικής φυσικής στο πανεπιστήμιο του Βερολίνου και το 1921 διευθυντής του Ινστιτούτου της θεωρητικής φυσικής στο Γκαίτινγκεν. το 1933 εγκατέλειψε τη Γερμανία και εγκαταστάθηκε στη μεγάλη Βρετανία, όπου από το 1936 ως το 1953, ήταν καθηγητής της θεωρητικής φυσικής στο πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου. Μοιράστηκε με τον Μπότε το βραβείο Νομπέλ για τη φυσική το 1954. Η συμβολή του Μπ. στη σύγχρονη θεωρητική φυσική είναι θεμελιώδης και σε πολλούς τομείς μπορεί να θεωρηθεί πρωτοπόρος. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η συμβολή του στη νέα κβαντική μηχανική, την οποία κατόρθωσε να θεμελιώσει και να επεκτείνει για τη λύση μερικών προβλημάτων, όπως π.χ. την κρούση μεταξύ ατόμων και μεταξύ ηλεκτρονίων και ατόμων. Σ' αυτόν οφείλεται η ερμηνεία θεμάτων της κυματικής μηχανικής με τις πιθανότητες. Οι εργασίες του συγκεντρώθηκαν στον τόμο, Η φυσική της εποχής μου, 1957.

τικά με την κίνηση BROWN ή με θέματα συγγενικά (όπως το φαινόμενο της διακύμανσης) που, στην ουσία βασίζονταν στην κλασική μοριακή μηχανική. Καθώς δεν γνώριζα τις έρευνες των BOLTZMAN και GIBBS, πούχαν γίνει νωρίτερα και κυριολεκτικά εξαντλούσαν το θέμα, βάλθηκα να αναπτύξω στην Στατική μηχανική και, ξεκινώντας απ' αυτή, την μοριακή κινητική θεωρία της θερμοδυναμικής. Κυρίαρχος στόχος μου ήταν να βρω φαινόμενα που θα εγγυώνταν όσο το δυνατόν περισσότερο την ύπαρξη ατόμων συγκεκριμένων και πεπερασμένων διαστάσεων. Προχωρώντας, ανακάλυψα ότι σύμφωνα με την ατομική θεωρία, θάπρεπε να μπορούμε να παρατηρήσουμε μια κίνηση μικροσκοπικών αιωρούμενων σωματιδίων. Δεν γνώριζα ότι οι παρατηρήσεις της κίνησης BROWN ήταν γνωστές από αρκετό καιρό. Η πιο απλή επαγωγή ξεκινούσε από την ακόλουθη σκέψη: υποθέτοντας ότι η μοριακή κινητική θεωρία είναι σωστή, όσον τουλάχιστον αφορά την αρχή στην οποία στηρίζεται, σ' ένα εναιώρημα ορατών σωματιδίων χαρακτηρίζεται ο τύπος της ωσμωτικής πίεσης, που ακολουθεί τους νόμους των αερίων, ότι είναι ο ίδιος τύπος και σ' ένα μοριακό διάλυμα. Αυτή η ωσμωτική πίεση εξαρτάται από τις πραγματικές διαστάσεις των μορίων, δηλαδή από τον αριθμό μορίων ανά γραμμομόριο. Αν η πυκνότητα του διαλύματος δεν είναι ομογενής, η ωσμωτική πίεση δεν θάναί ομογενής επίσης.¹³

13. Για περισσότερες λεπτομέρειες βλέπε: Κίνηση BROWN. ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΗΝ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ BROWN ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΑΚΙΝΗΤΟ ΥΓΡΟ, ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΟΡΙΑΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. Εκδόσεις Κοροντζή

Αυτό θα συνεπάγονταν μια εξισωτική διάχυση που θα μπορούσε να υπολογιστεί από τη γνωστή κίνηση των σωματιδίων. Εξ άλλου θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε αυτή τη διάχυση σαν αποτέλεσμα μετατόπισης των αιωρουμένων σωματιδίων, μετατόπιση άτακτη και αρχικά, απροσδιορίστου μεγέθους, προκαλούμενη από την θερμική κίνηση. Συγκρίνοντας τις ταχύτητες διάχυσης σύμφωνα με τις δυο συλλογιστικές, παροσδιορίζουμε ποσοτικά τον στατικό νόμο αυτών των μετατοπίσεων, δηλαδή τον νόμο της κίνησης BROWN. Αυτές οι παρατηρήσεις που συμφωνούσαν με τα πειραματικά δεδομένα καθώς κι ο προσδιορισμός των πραγματικών διαστάσεων του μορίου από τον PLANCK, που βασίζεται στο νόμο τη ακτινοβολίας (για υψηλές θερμοκρασίες), έπεισαν τους δύσπιστους που 'ταν πολλοί εκείνη την εποχή (OSTWALD, MACH), για την πραγματικότητα του ατόμου. Θα μπορούσαμε ν' αποδώσουμε χωρίς δισταγμό την εχθρική διάθεση αυτών των ερευνητών προς την θεωρία του ατόμου στην θετικιστική φιλοσοφική τους στάση.

Αυτό απεικονίζει καλά το γεγονός ότι, ακόμα κι όταν είναι προικισμένοι με τόλη και διαίσθηση πολύ οξυρμένη, οι σοφοί πιθανόν να αυτοπεριορίζονται όταν ερμηνεύουν τα γεγονότα με βάση τις φιλοσοφικές τους προκαταλήψεις. Σ' αυτήν την συγκεκριμένη περίπτωση, η προκατάληψη -που απέχει πολύ από το να εξαφανιστεί- ήταν ότι πίστευαν πως τα γεγονότα μπορούν και πρέπει να προσφέρουν μια πλήρη επιστημονική γνώση, χωρίς την επεξεργασία **μιας ελεύθερης δοκιμής σύλληψης**. Εάν αυτό το λάθος γίνεται δυνατό είναι γιατί δεν μπορούμε να καταλάβουμε εύκολα τον αυθαίρετο χαρακτήρα των αρχών που επιλέγουμε, αρχές που, από

την πρακτική επιβεβαίωσή τους και την εφαρμογή τους για πολύ καιρό, φαίνονται **φυσικά** συνδεδεμένες με το εμπειρικό υλικό.

Η επιτυχία της θεωρίας της κίνησης BROWN ξανάδειξε με προφανή τρόπο ότι η κλασική μηχανική οδηγούσε πάντοτε σε αξιόπιστα αποτελέσματα, όταν εφαρμόζονταν σε κινήσεις όπου οι ανώτερες παράγωγοι της ταχύτητας ήταν αμελητέες. Ξεκινώντας από αυτήν τη διαπίστωση, θα μπορούσαμε να επεξεργαστούμε μια μέθοδο σχετικά άμεση, που θα επέτρεπε ν' αποκτήσουμε καινούργιες γνώσεις σχετικά με την σύσταση της ακτινοβολίας στηριζόμενοι στον τύπο του PLANCK. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι σ' ένα διάστημα γεμάτο από ακτινοβολίες, ένα κάτοπτρο σχεδόν μονοχρωματικό που θα μετατοπιζόταν ελεύθερα (κάθετα στο επίπεδό του), θάπρεπε να υφίσταται ένα είδος κίνησης BROWN: η μέση κινητική του ενέργεια θάταν ίση με $1/2 (R/N)T$, όπου R η παγκόσμια σταθερά των αερίων για ένα γραμμομόριο, N ο αριθμός του AVOGADRO, T η απόλυτος θερμοκρασία. Αν η ακτινοβολία δεν υπέκειτο σε τοπικές διακυμάνσεις, το κάτοπτρο θα έτεινε προοδευτικά προς μια κατάσταση ισορροπίας γιατί, σαν συνέπεια της κίνησής του, αντανακλά περισσότερη ακτινοβολία προς τα εμπρός παρά προς τα πίσω. Το κάτοπτρο, εντούτοις, θάπρεπε να υφίσταται ορισμένες τυχαίες διακυμάνσεις της πίεσης, που θα οφείλονταν στην **παρεμβολή των κυματικών δεσμών** που αποτελούν την ακτινοβολία. Αυτές οι διακυμάνσεις μπορούν να υπολογισθούν χάρη στη θεωρία του Μάξγουελ. Αυτός ο υπολογισμός δείχνει ότι αυτές οι μεταβολές της πίεσης (κυρίως στην περίπτωση ακτινοβολίας μικρής πυκνότητας) δεν αρκούν καθόλου για να μεταδώσουν στο κάτοπτρο την μέ-

ση ενέργεια $1/2 (R/N)T$. Για να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα, είμαστε μάλλον υποχρεωμένοι να παραδεχτούμε ότι υπάρχει ένας δεύτερος τύπος μεταβολών της πίεσης που η θεωρία του Μαξγουέλ δεν μπορεί να **συμπεριλάβει** και που αντιστοιχούν στην υπόθεση ότι η ενέργεια της ακτινοβολίας συνίσταται από αδιαίρετα σωμακίακά εντοπισμένα κβάντα, (ενέργειας $H\nu$ και ώθησης $H\nu/c$) που αντανakλώνται **χωρίς να διασπώνται**. Αυτός ο τρόπος θεώρησης του προβλήματος έδειχνε με τρόπο καθαρό κι αναμφισβήτητο ότι έπρεπε ν' αποδοθεί μια μορφή άμεσης πραγματικότητας στα κβάντα του PLANCK και ότι η ακτινοβολία είχε μια δομή μοριακού τύπου όσον αφορά την ενέργειά της, πράγμα που, προφανώς, αντέφασκε με την θεωρία του Μάξγουελ. Διάφορες έρευνες που επιχειρήθηκαν πάνω στην ακτινοβολία, με βάση τη σχέση του BOLTZMANN ανάμεσα στην εντροπία και την πιθανότητα (παίρνοντας σαν πιθανότητα τη στατιστική συχνότητα στο χρόνο), οδηγούσαν επίσης στα ίδια συμπεράσματα. Αυτή η διπλή φύση της ακτινοβολίας (και των υλικών σωματιδίων) είναι μια κυρίαρχη ιδιότητα της πραγματικότητας και ερμηνεύτηκε από την κβαντική μηχανική μ' ένα τρόπο απίστευτα ευφυή και αποτελεσματικό. Αυτή η ερμηνεία, που σχεδόν όλοι οι σύγχρονοι φυσικοί θεωρούν πρακτικά οριστική, δεν μου φαίνεται παρά μια προσωρινή λύση και θα εξηγηθώ πάνω σ' αυτό παρακάτω.

Λίγο μετά το 1900, δηλαδή μετά τις πρωτοποριακές εργασίες του PLANCK, παρόμοιες σκέψεις μ' είχαν ήδη οδηγήσει να σκεφτώ ότι ούτε η μηχανική ούτε η ηλεκτροδυναμική (εκτός οριακών περιπτώσεων) δεν μπορούσαν να θεωρηθούν απόλυτα έγκυρες. Όμως ήταν δυνατόν να ανακαλύψουμε τους πραγματικούς νόμους

της φυσικής, επεξεργαζόμενοι μια θεωρητική κατασκευή, ξεκινώντας από γνωστά γεγονότα; Αρχίζα ν' απελπίζομαι κι όσο απλώνομαι σ' αυτό το καθήκον, τόσο δυνάμωνα η πεποίθησή ότι μόνο η ανακάλυψη μιας **ξεκάθαρης** παγκόσμιας αρχής θα μπορούσε να οδηγήσει σε σίγουρα αποτελέσματα. Το πρότυπο που με οδηγούσε ήταν εκείνο της θερμοδυναμικής. Εκεί, η γενική αρχή δίνονταν από το ακόλουθο θεώρημα: Οι νόμοι της φύσης είναι τέτοιοι που είναι αδύνατο να δημιουργήσουμε μια αιώνια κίνηση (πρώτου ή δεύτερου τύπου). Πώς λοιπόν, θάταν δυνατόν να βρούμε μια άλλη παγκόσμια αρχή; Μετά δέκα χρόνια συλλογισμών, αυτή η αρχή θα γεννιόταν από το παράδοξο που είχα συναντήσει ήδη στα δεκάξι μου χρόνια: Αν ήμουν μια ακτίνα ήλιου ταχύτητας C , ταχύτητα του φωτός στο κενό, θα παρατηρούσα αυτήν την ακτίνα σαν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σε ακινησία, αν και από διαστημική άποψη, θα ταλαντευόταν. Εντούτοις, φαίνεται ότι κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατόν ούτε σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα ούτε με βάση τις εξισώσεις του Μάξγουελ, από την αρχή ήμουν πεισμένος, από διαίσθηση ότι για ένα τέτοιο παρατηρητή όλα θα υπάκουαν στους ίδιους νόμους που ισχύουν για ένα ακίνητο παρατηρητή σε σχέση με τη γη. Γιατί, πώς θα μπορούσε να ξέρει ο πρώτος παρατηρητής, ή πώς θα μπορούσε να προσδιορίσει, ότι βρίσκεται σε γρήγορη κι ομοιόμορφη κινητική κατάσταση;

Βλέπει κανείς ότι το σπέρμα της ειδικής θεωρίας* της σχετικότητας περιέχεται ήδη σ' αυτό το παράδοξο.

* Για περισσότερες λεπτομέρειες δες: Α. Αϊνστάιν «Η θεωρία της σχετικότητας» Εκδόσεις Κοροντζή.

Σήμερα, γνωρίζουμε ότι όλες οι απόπειρες να ξεκαθαρίσουμε αυτό το παράδοξο με ικανοποιητικό τρόπο ήταν προορισμένες σε αποτυχία, όσο το αξίωμα του απόλυτου χαρακτήρα του χρόνου –ή του ταυτόχρονου– παρέμενε ισχυρά αγκυροβολημένο στο υποσυνείδητο. Το να γνωρίσουμε αυτό το αξίωμα και, ακόμη περισσότερο, τον αυθαίρετο χαρακτήρα του, ισοδυναμούσε με την επίλυση του προβλήματος. Η ανάγνωση των φιλοσοφικών κειμένων του DAVID HUME και του Ερνέστου Μαξ με βοήθησε σημαντικά στην επεξεργασία της συλλογιστικής αυτού του τύπου, που ήταν απαραίτητη για να φτάσω στην ανακάλυψη τέτοιου τύπου κριτικών συλλογισμών.

Πρέπει να καταλάβει κανείς πολύ καλά τι σημαίνουν για τη φυσική οι έννοιες των συντεταγμένων στο χώρο (θέση μέσα στο χρόνο) ενός γεγονότος. Η φυσική ερμηνεία των συντεταγμένων του χώρου προϋποθέτει ένα σταθερό σώμα αναφοράς που επιπλέον, όφειλε να βρίσκεται σε μια περισσότερο ή λιγότερο καθιερωμένη κινητική κατάσταση (σύστημα αδράνειας). Σ' ένα συγκεκριμένο σύστημα αδράνειας, οι συντεταγμένες παρείχαν το αποτέλεσμα κάποιων μετρήσεων με βάση κάποιους σταθερούς και καθορισμένους κανόνες. (Πάντα πρέπει να έχει κανείς συνείδηση ότι το να θέτουμε σταθερούς κανόνες-πρότυπα αποτελεί μια υπόθεση που βασίζεται πάντα προσεγγιστικά, στην εμπειρία, υπόθεση που είναι, αυθαίρετη). Ερμηνεύοντας έτσι τις συντεταγμένες του χώρου, το πρόβλημα της ισχύος της Ευκλείδειας γεωμετρίας ανάγεται σε πρόβλημα της φυσικής.

Όταν επιχειρούμε λοιπόν να ερμηνεύσουμε το χρόνο ενός γεγονότος με ανάλογο τρόπο, χρειαζόμαστε μέσα που να επιτρέπουν να μετρήσουμε μια διαφορά

χρόνου (μια αυτοπροσδιοριζόμενη περιοδική διαδικασία, παραγόμενη μέσα από ένα σύστημα του οποίου οι διαστάσεις μέσα στο χώρο να είναι αρκετά μικρές). Ένα ρολόι σε κατάσταση σχετικής ηρεμίας δίνει τον τοπικό χρόνο. Οι τοπικοί χρόνοι όλων των σημείων του διαστήματος, στο σύνολο, συνιστούν το «χρόνο» που αντιστοιχεί στο εν λόγω σύστημα, αν υπάρχει ένας τρόπος με τον οποίο να «ρυθμίσουμε» αυτά τα ρολόγια, το ένα σε σχέση με το άλλο. Βλέπει κανείς ότι A PRIORI δεν είναι καθόλου αναγκαίο οι κατ' αυτόν τον τρόπο προσδιορισμένοι «χρόνοι» να συμφωνούν μεταξύ τους, όταν πρόκειται για συστήματα διαφορετικής αδράνειας. Αυτό θα το 'χαμε παρατηρήσει εδώ και πολλά χρόνια αν, στην καθημερινή εμπειρία, το φως δεν έμοιαζε νά 'ναι (εξ αιτίας της μεγάλης του ταχύτητας C) το μέσον προκειμένου να καθορίσουμε έναν απόλυτο συγχρονισμό. Οι προϋποθέσεις της ύπαρξης των **πρότυπων** μέτρων του χρόνου και του χώρου (τέλεια, ιδεατά) δεν είναι ανεξάρτητες η μια της άλλης: ένα φωτεινό σήμα που πηγαινοέρχεται ανάμεσα στις δυο άκρες ενός **κανόνα** είναι ένα ιδεώδες ρολόι, αν δεχτούμε ότι δεν φτάνουμε σε αντιφάσεις όταν αντιλαμβανόμαστε την ταχύτητα του φωτός στο κενό, σταθερά.

Το παράδοξο μπορεί λοιπόν να διατυπωθεί ως εξής: σύμφωνα με τους κανόνες συνοχής που χρησιμοποιούνται στην κλασική φυσική ανάμεσα στις συνεταγμένες του χώρου και τις ημερομηνίες των γεγονότων, όταν περνάμε από το ένα σύστημα αδράνειας σ' ένα άλλο, οι δυο ακόλουθες συνθήκες:

- 1) Σταθερότητα της ταχύτητας του φωτός
- 2) Ανεξαρτησία των νόμων σε σχέση με την εκλογή του συστήματος αδράνειας – και ιδιαίτερα από το νόμο

της σταθερότητας αναφοράς της ταχύτητας του φωτός (Αρχή της περιορισμένης σχετικότητας), δεν είναι συμβατές (ανεξάρτητα από το γεγονός ότι κάθε μια απ' αυτές, χωριστά, θεμελιώνεται από την εμπειρία).

Η καινοτομία της θεωρίας της περιορισμένης σχετικότητας συνίσταται στο εξής: Οι συνθήκες (1) και (2) είναι συμβατές, αν αξιωματικά καθορίσουμε σχέσεις νέου τύπου ("μετασχηματισμοί του LORENTZ"), για τη μετατροπή των συντεταγμένων και της ημερομηνίας των γεγονότων. Με την φυσική ερμηνεία που μπορούμε να αποδώσουμε στις συντεταγμένες του χώρου και του χρόνου, δεν περνάμε μόνο σε μια άλλη συμβατική κατάσταση πραγμάτων, αλλά αυτό συνεπάγεται ορισμένες υποθέσεις που αφορούν την πραγματική συμπεριφορά των ρολογιών και των κανόνων-μέτρων σε κίνηση, που θάπρεπε να μπορούν να επιβεβαιωθούν ή ν' απορριφθούν πειραματικά. Η παγκόσμια αρχή της θεωρίας της περιορισμένης σχετικότητας περιέχεται στο ακόλουθο αξίωμα: οι νόμοι της φυσικής δεν μεταβάλλονται από τους μετασχηματισμούς του LORENTZ (όταν περνάμε από ένα σύστημα αδράνειας σ' οποιοδήποτε άλλο σύστημα αυθαίρετα εκλεγμένο). Αυτό συνιστά μια περιοριστική αρχή στους φυσικούς νόμους, συγκρίσιμο μ' εκείνο της μη ύπαρξης της **αιώνιας κίνησης** που προϋποθέτει η θερμοδυναμική.

Θα κάνω κατ' αρχήν μια παρατήρηση που αφορά τη σχέση της θεωρίας με «τον τετραδιάστατο χώρο». Είναι ένα πολύ διαδεδομένο λάθος, το να πιστεύει κανείς ότι η θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας ανακάλυψε (ή εισήγαγε) για πρώτη φορά τον τετραδιάστατο χώρο του φυσικού συνεχούς. Είναι προφανές ότι αυτή η ιδέα είναι λανθασμένη. Η κλασική μηχανική είναι ε-

πίσης θεμελιωμένη πάνω στην αντίληψη του χωροχρονικού συνεχούς τεσσάρων διαστάσεων. Εν τούτοις, στο τετραδιάστατο συνεχές της κλασικής φυσικής, τα διαστήματα (υποδιαστήματα) που αντιστοιχούν σε μια σταθερή τιμή του χρόνου θεωρούνται σαν απόλυτη πραγματικότητα, δεν εξαρτώνται δηλαδή από την επιλογή του πλαισίου αναφοράς. Αυτό συνεπάγεται ότι το τετραδιάστατο συνεχές διαιρείται εντελώς φυσικά σε μια συνιστώσα τριών διαστάσεων και σε μια άλλη μονοδιάστατη (το χρόνο), με αποτέλεσμα η τετραδιάστατη όψη να μην επιβάλλεται σαν αναγκαία. Η θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας δημιουργεί αντιθέτως μια αδιαμφισβήτητη εξάρτηση ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο οι χωροχρονικές συντεταγμένες πρέπει να εμφανίζονται στους φυσικούς νόμους.

Ο Μινκόβσκι επέφερε μια σημαντική συμβολή στην επεξεργασία της θεωρίας: πριν από τις έρευνές του, έπρεπε να εφαρμόσουμε δ' ένα νόμο το μετασχηματισμό του Λόρεντζ για να δοκιμάσουμε την αμεταβλητότητα του μπροστά σ' ένα τέτοιο μετασχηματισμό. Ο Μινκόβσκι κατάφερε να εισαγάγει μια τυποποίηση τέτοια ώστε η μαθηματική έκφραση του νόμου από μόνη της να εγγυάται την αμεταβλητότητά του σε σχέση με τον μετασχηματισμό του Λόρεντζ. Δημιουργώντας ένα τετραδιάστατο, τανυστικό υπολογισμό, κατάφερε, για τον τετραδιάστατο χώρο αυτό που ο ανυσματικός λογισμός είχε πραγματοποιήσει για τον τρισδιάστατο χώρο. Απέδειξε ότι ο μετασχηματισμός του Λόρεντζ (εκτός από ένα διαφορετικό αλγεβρικό πρόσημο, λόγω του ειδικού χαρακτήρα του χρόνου) δεν ήταν τίποτα άλλο από μια κυκλική κίνηση του συστήματος των συντεταγμένων στον τετραδιάστατο χώρο.

Θα κάνω μια πρώτη κριτική παρατήρηση σχετικά με την θεωρία έτσι όπως την εξέθεσα. Είναι εκπληκτικό το ότι εισάγει (εκτός από τον τετραδιάστατο χώρο) δυο τύπους φυσικών στοιχείων: 1) **τύπους-κανόνες** και ρολόγια. 2) άλλα στοιχεία, όπως το μαγνητικό πεδίο, το υλικό σημείο κ.λπ. Κατά κάποιον τρόπο, από αυτά λείπει η συνέπεια διότι, αν θέλουμε να μάρτυρα τα πρότυπα του χώρου και του χρόνου θάπρεπε να προέρχονται από την λύση των θεμελιωδών εξισώσεων (των αντικειμένων θεωρουμένων σαν σχηματισμών ατόμων σε κίνηση) και όχι σαν αυτόνομων θεωρητικών οντοτήτων. Εντούτοις, η μεθοδολογία δικαιώνεται γιατί, δεν ήταν αρκετά στέρεα, για να συναγάγουμε εξισώσεις αρκετά πλήρεις και απαλλαγμένες από αυθαιρεσίες, ώστε να φτάσουμε στην διατύπωση μιας θεωρίας των προτύπων-κανόνων και των ρολογιών.

Αν ήθελε κανείς να μην στερήσει τελείως τις συντεταγμένες από μια φυσική ερμηνεία (πράγμα που ήταν αφ' εαυτού δυνατόν), όφειλε να φανεί ελαστικός απέναντι σε μια παρόμοια έλλειψη συνέπειας, επιφυλασσόμενος να αποκαταστήσει **αυτή την παράλειψη** σ' ένα μεταγενέστερο στάδιο της θεωρητικής επεξεργασίας. Εντούτοις, σε καμιά περίπτωση δεν θα μπορούσαμε να φτάσουμε σε τέτοιο σημείο κακοποίησης της πραγματικότητας, ώστε να φανταστούμε τις αποστάσεις σαν ιδιαίτερου τύπου φυσικές οντότητες, διαφορετικές στη φύση τους από όλες τις άλλες φυσικές μεταβλητές («να μετατρέψουμε τη φυσική σε γεωμετρία», κ.λπ.).

Θα προσπαθήσουμε τώρα να δούμε ποιές είναι οι οριστικές κατακτήσεις που η φυσική οφείλει στη θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας.

1) Δεν υπάρχει ταυτόχρονο, με την έννοια της α-

καριαίας διάδοσης για απομακρυσμένα μεταξύ τους στοιχεία και επομένως δεν υπάρχει τίποτα που να μοιάζει με την ταυτόχρονη δράση από απόσταση, με την έννοια της Νευτώνιας μηχανικής. Αν και η αντίληψη **δράσης από απόσταση**, που διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός, παραμένει δυνατή σύμφωνα μ' αυτήν την θεωρία, ωστόσο αυτή η παραδοχή φαίνεται αφύσικη γιατί αντιστρατεύεται την αρχή της διατήρησης της ενέργειας. Είμαστε λοιπόν αναγκασμένοι να περιγράψουμε την πραγματικότητα με συνεχείς συναρτήσεις μέσα στο χώρο. Το υλικό σημείο δεν μπορεί επομένως να παραμένει πλέον σαν βάση της θεωρίας.

2) Οι αρχές της διατήρησης της ορμής και της ενέργειας συγχωνεύονται σε μια και την ίδια αρχή. Η μάζα αδράνειας ενός απομονωμένου συστήματος είναι ίση με την ενέργειά του. Έτσι η μάζα δεν είναι μια ανεξάρτητη έννοια.

Μια παρατήρηση: η ταχύτητα του φωτός C είναι μέγεθος που εμφανίζεται στις φυσικές εξισώσεις σαν «παγκόσμια σταθερά». Αν, εντούτοις, την πάρουμε σαν μονάδα χρόνου στη θέση του δευτερόλεπτου, σαν το χρόνο που κάνει το φως για να διανύσει ένα εκατοστό, τότε η σταθερά C δεν εμφανίζεται στις εξισώσεις. Μ' αυτή την έννοια η σταθερά C δεν είναι παρά μια φαινομενική παγκόσμια σταθερά.

Είναι προφανές και γενικά αποδεκτό από όλους ότι θα μπορούσαμε να εξαλείψουμε από τη φυσική δυο ακόμα παγκόσμιες σταθερές εισάγοντας, στη θέση του γραμμαρίου και του εκατοστού, παράλληλα διαλεγμένες «φυσικές» μονάδες (π.χ. τη μάζα και την ακτίνα του ηλεκτρονίου).

Αν αυτό το θεωρήσουμε δεδομένο, τότε στις βασι-

κές εξισώσεις της φυσικής δεν εμφανίζονται παρά σταθερές «χωρίς διαστάσεις».

Μ' αυτή την ευκαιρία θα ήθελα να εκφράσω εδώ μια αρχή που για την ώρα δεν στηρίζεται παρά σε μια βαθιά πίστη για την απλότητα, δηλαδή, στην νοημοσύνη της φύσης: Δεν υπάρχουν **αυθαίρετες** σταθερές. Θέλω να πω ότι η φύση είναι έτσι φτιαγμένη, ώστε είναι δυνατόν να ακολουθεί καθορισμένους νόμους, με τέτοια ακρίβεια, που στο εσωτερικό αυτών των νόμων μόνο οι σταθερές που προσδιορίζονται με αυστηρά λογικό τρόπο μπορούν να υπεισέρχονται (και όχι σταθερές των οποίων την αριθμητική τιμή θα μπορούσαμε να αλλάξουμε χωρίς ταυτόχρονα να ανατρέψουμε τη θεωρία).

Η θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας οφείλει την ύπαρξή της στις εξισώσεις του Μάξγουελ που αναφέρονται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Αντιστρόφως, δεν είναι δυνατόν να συλλάβουμε αυτές τις εξισώσεις με ικανοποιητικό τρόπο, παρά μόνο αν στηριχτούμε στην θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας. Οι εξισώσεις του Μάξγουελ είναι οι πιο απλές εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που μένουν αμετάβλητες με το μετασχηματισμό του LORENTZ και που μπορούν να περιγράψουν ένα αντισυμμετρικό τανυστή, που προέρχεται από ένα ανυσματικό πεδίο. Αυτό θα ήταν ικανοποιητικό, εάν δεν γνωρίζαμε από τις εκδηλώσεις της σωματικής φύσης του πεδίου, ότι η θεωρία του Μάξγουελ δεν συμπεριλαμβάνει τις ενεργειακές ιδιότητες της ακτινοβολίας. Η θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας δεν μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε το πώς θα μπορούσαμε να μετασχηματίσουμε με φυσικό τρόπο την θεωρία του Μάξγουελ, κι ούτε προσφέρει απάντηση στο ερώτημα του MACH: «Πώς γίνεται ώστε τα συ-

στήματα αδράνειας να διαχωρίζονται από φυσική άποψη από τα άλλα συστήματα αναφοράς;» Η θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας δεν ήταν το πρώτο στάδιο μιας αναγκαίας εξέλιξης και αυτό δεν το κατάλαβα παρά μόνο την στιγμή που προσπαθούσα να παρουσιάσω το φαινόμενο της έλξης μεταξύ των σωμάτων στα πλαίσια αυτής της θεωρίας. Σύμφωνα με την κλασική μηχανική περί πεδίου, το δυναμικό έλξης εμφανίζεται σαν ένα πεδίο βαθμωτό (έλξης) και ένα πεδίο ανυσοματικό (ηλεκτρομαγνητικό). Υστερότερα στοιχεία μπορούν να καταστήσουν αναγκαία την εισαγωγή άλλων τύπων πεδίου, πιο σύνθετων ακόμα, αλλά σε πρώτη φάση δεν υπάρχει λόγος ν' ασχοληθούμε μ' αυτά.

Η δυνατότητα να γίνουν αυτές οι πράξεις αποδείχτηκε λίγο-πολύ προβληματική από την αρχή, γιατί η θεωρία έπρεπε να συμφιλιώσει τα ακόλουθα δεδομένα:

1) Σύμφωνα με τις γενικές αντιλήψεις της θεωρίας της περιορισμένης σχετικότητας συνάγεται ότι η μάζα αδράνειας ενός φυσικού συστήματος αυξάνει ανάλογα, με την συνολική ενέργεια του συστήματος (και επομένως, ανάμεσα στα άλλα, με την κινητική του ενέργεια).

2) Χάρη σε αυστηρά πειράματα (ιδιαίτερα εκείνα του ζυγού στρέψεως του EÖTVÖS) γνωρίζουμε εμπειρικά και με πολύ ακριβή τρόπο ότι η μάζα έλξης ενός σώματος είναι ανάλογη με τη μάζα αδράνειάς του.

Από τις προτάσεις 1 και 2 προκύπτει ότι το βάρος ενός συστήματος εξαρτάται με καθορισμένο τρόπο από την συνολική του ενέργεια. Εάν αυτό δεν εμφανιζόταν μέσα στη θεωρία, ή εμφανιζόταν μ' ένα τρόπο όχι αφύσικο, έπρεπε αυτή η θεωρία ν' απορριφθεί. Ο πιο εύκολος τρόπος για να ξεκαθαριστεί αυτό το σημείο είναι ο ακόλουθος: η επιτάχυνση ενός συστήματος

σ' ελεύθερη πτώση, σ' ένα δεδομένο πεδίο έλξης να είναι ανεξάρτητη από τη φύση του συστήματος (και επομένως ανεξάρτητη από την εσωτερική του ενέργεια).

Βεβαιώθηκα ότι στα πλαίσια των συνθηκών που περιέγραφα πιο πάνω, αυτή η πολύ απλή συμπεριφορά δεν θα μπορούσε να περιγραφεί ικανοποιητικά ή τουλάχιστον μ' έναν τρόπο φυσικό. Αυτό με έπεισε ότι δεν υπήρχε τρόπος να θεμελιώσει κανείς μια ικανοποιητική θεωρία έλξης στα πλαίσια της περιορισμένης σχετικότητας.

Μου φάνηκε λοιπόν ότι η ισότητα μεταξύ μάζας αδράνειας και μάζας έλξεως (ανεξαρτησία ανάμεσα στην επιτάχυνση της βαρύτητας και στη φύση της ουσίας σ' ελεύθερη πτώση) θα μπορούσε να εκφραστεί έτσι: Μέσα σ' ένα πεδίο βαρύτητας (μικρής έκτασης στο χώρο) τα αντικείμενα συμπεριφέρονται, όπως σ' ένα χώρο χωρίς έλξη εάν, στη θέση ενός «συστήματος αδράνειας» βάλουμε ένα πλαίσιο αναφοράς που να έχει την ίδια επιτάχυνση με το πεδίο βαρύτητας.

Αν θεωρήσουμε επομένως ότι η συμπεριφορά ενός σώματος μέσα σε τέτοιο σύστημα αναφοράς οφείλεται σ' ένα πεδίο βαρύτητας «πραγματικό» (και όχι μόνο φαινομενικό), τότε και νόμιμα θεωρούμε σαν «αδρανειακό σύστημα αναφοράς» το καινούργιο σύστημα.

Επομένως, εάν αντιμετωπίσουμε τη δυνατότητα ύπαρξης πεδίου βαρύτητας τόσο εκτεταμένου ώστε να μην έχει όρια, η έννοια του «αδρανειακού συστήματος αναφοράς» χάνει κάθε περιεχόμενο. Η έννοια «επιτάχυνση σε σχέση με το διάστημα» χάνει κάθε σημασία και μαζί της η αρχή αδράνειας και το παράδοξο του MACH.

Το να εξισώσουμε τη μάζα αδράνειας και τη μάζα έλξης οδηγεί επομένως εντελώς φυσικά στο να αναγνω-

ρίσουμε ότι το βασικό αξίωμα της θεωρίας της περιορισμένης σχετικότητας (μη μεταβολή των νόμων σε σχέση με το μετασχηματισμό του LORENTZ) είναι πολύ στενό και ότι είμαστε επίσης υποχρεωμένοι να θεωρήσουμε ότι οι φυσικοί νόμοι είναι ανεξάρτητοι από τους μη γραμμικούς μετασχηματισμούς των συντεταγμένων, μέσα στον τετραδιάστατο χώρο. Αυτές οι σκέψεις γίνονταν το 1908. Γιατί χιείάστηκαν ακόμα 7 χρόνια για να φτάσουμε στη θεωρία της γενικευμένης σχετικότητας; Ο κύριος λόγος είναι ότι δεν είναι εύκολο ν' απελευθερωθεί κανείς από την ιδέα ότι οι συντεταγμένες έχουν μια άμεση μετρική σημασία. Η εξέλιξη έγινε μ' αυτόν περίπου τον τρόπο. Ας θεωρήσουμε ένα χώρο όπου δεν υπάρχει ύλη ή οποιοδήποτε πεδίο, που να ορίζεται από κάποιο αδρανειακό σύστημα αναφοράς, όπως γινόταν στην περίπτωση της περιορισμένης σχετικότητας, πράγμα που αποτελεί την πιο απλή φυσική κατάσταση που θα μπορούσαμε να συλλάβουμε. Αν τώρα φανταστούμε την εισαγωγή ενός μη αδρανειακού συστήματος που να βρίσκεται σε κατάσταση ομαλής επιτάχυνσης σε σχέση με το προηγούμενο (και αυτόν το χώρο των τριών διαστάσεων), τότε υπάχει σε σχέση μ' αυτό το τελευταίο σύστημα ένα παράλληλο στατικό πεδίο έλξης. Μπορούμε να διαλέξουμε ένα σταθερό σύστημα αναφοράς Ευκλείδειου τύπου, όσον αφορά τις μετρικές ιδιότητες του χώρου των τριών διαστάσεων. Όμως ο χρόνος, μέσα στον οποίο το πεδίο φαίνεται στατικό, δεν μετράται με ρολόγια σε πρεμία, όμοια μ' εκείνα του αδρανειακού συστήματος αναφοράς.

Ξεκινώντας από αυτό το παράδειγμα, βλέπουμε καθαρά ότι η αρχική μετρική σημασία των συντεταγμένων δεν υπάρχει πια, από την στιγμή που παραδεχόμαστε

μη γραμμικούς μετασχηματισμούς των συντεταγμένων. Εντούτοις είναι ακριβώς αυτό στο οποίο θα έπρεπε να φτάσουμε αν θέλουμε να παραδεχτούμε την ισότητα μάζας αδράνειας και μάζας έλξης ξεκινώντας από τις βασικές αρχές της θεωρίας και αν θέλουμε να ξεπεράσουμε το παράδοξο του MACH σε σχέση με τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

Εάν λοιπόν πρέπει να εγκαταλείψει κανείς την ιδέα ν' αποδώσει στις συντεταγμένες μια άμεση μετρική σημασία (διαφορά των συντεταγμένων = μήκη μετρούμενα ή χρόνος μετρούμενος), δεν μπορεί παρά να θεωρήσει σαν ισοδύναμα μεταξύ τους όλα τα συστήματα αναφοράς που προκύπτουν από συνεχείς μετασχηματισμούς των συντεταγμένων.

Η θεωρία της γενικευμένης σχετικότητας ξεκινά* λοιπόν από την ακόλουθη αρχή: Οι φυσικοί νόμοι οφείλουν να εκφράζονται από εξισώσεις συμμεταβαλλόμενες σε σχέση με το σύνολο των συνεχών μετασχηματισμών των συντεταγμένων. Αυτό το σύνολο παίρνει τη θέση του συνόλου των μετασχηματισμών του LORENTZ που γίνεται επομένως ένα υποσύνολό του.

Είναι προφανές ότι αυτό το αξίωμα δεν αρκεί από μόνο του για ν' αποτελέσει το σημείο εκκίνησης του υπολογισμού των βασικών εξισώσεων της φυσικής. Μπορούμε ακόμα και ν' αρνηθούμε το γεγονός ότι αυτό το αξίωμα συνεπάγεται ένα πραγματικό αριθμητικό περιορισμό των νόμων της φυσικής. Πράγματι θα είναι πάντα δυνατόν να ξαναδιατυπώσουμε ένα νόμο που

* Για περισσότερες λεπτομέρειες δες: Α. Αϊνστάιν «Οι διαλέξεις του Πρίνστον» Εκδόσεις Κοροντζή. (ΣΤ.Μ)

στην αρχή δεν ανταποκρινόταν παρά σε λίγα μόνο συστήματα αναφοάς, με τέτοιο τρόπο που να γίνει ρητά συμμεταβλητός. Επιπλέον, γίνεται αμέσως φανερό ότι είναι δυνατόν να διατυπώσουμε έναν άπειρο αριθμό νόμων του πεδίου που να έχουν αυτή την ιδιότητα της συμμεταβλητότητας. Το κύριο ερεθιστικό ενδιαφέρον της αρχής της γενικευμένης σχετικότητας είναι ότι οδηγεί στην αναζήτηση συστημάτων εξισώσεων που να είναι *οι πλέον απλές στα πλαίσια μιας μαθηματικής μορφής παγκόσμιας συμμεταβλητής*. Ανάμεσα σ' αυτά τα συστήματα, οφείλουμε να αναζητήσουμε τις εξισώσεις του πεδίου του φυσικού χώρου. Τα πεδία που μετασχηματίζονται το ένα στ' άλλο μ' αυτόν τον τρόπο, περιγράφουν την ίδια πραγματικότητα.

Η πρωταρχική ερώτηση που τίθεται σ' εκείνον που ερευνά αυτόν τον τομέα είναι η εξής: σε ποιά μαθηματικό τύπο ανήκουν οι μεταβλητές που θα επιτρέπουν την έκφραση των φυσικών ιδιοτήτων του χώρου (της «δομής» του), και μετά τίθεται το ερώτημα: Ποιές είναι οι εξισώσεις που ικανοποιούν αυτές οι μεταβλητές;

Σήμερα ακόμα δεν μπορούμε να βρούμε με σιγουριά την απάντηση σ' αυτές τις ερωτήσεις. Ο δρόμος που άνοιξε η πρώτη διατύπωση της θεωρίας της γενικευμένης σχετικότητας μπορεί να χαρακτηριστεί κάπως έτσι: ακόμη κι αν δεν ξέρουμε με ποιού είδους μεταβλητών πεδίου (δηλαδή με ποια δομή) θα μπορούσαμε να ορίσουμε το φυσικό χώρο, γνωρίζουμε εντούτοις με βεβαιότητα μια συγκεκριμένη περίπτωση, αυτή «του χώρου ελεύθερου πεδίου», στην θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας. Αυτός ο τύπος του χώρου χαρακτηρίζεται από το ότι, για ένα σύστημα αναφοράς κατάλληλα επιλεγμένο, η έκφραση των δυο κοντινών σημείων:

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 - dx_3^2 - \dots - dx_4^2 \quad (1)$$

είναι ένα μετρήσιμο μέγεθος (τετράγωνο της απόστασης) και συνεπώς έχει αληθινή φυσική σημασία. Σε οποιοδήποτε σύστημα αυτό το μέγεθος εκφράζεται έτσι:

$$ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k \quad (2)$$

με δείκτες από 1 έως 4. Τα g_{ik} αποτελούν ένα συμμετρικό τανυστή (πραγματικό). Εάν, αφού γίνει μια μετατροπή στο πεδίο οι (1) πρώτες παράγωγοι του g_{ik} σε σχέση με τις συντεταγμένες δεν είναι μηδενικές, τότε σύμφωνα με την προηγούμενη συλλογιστική, υπάρχει σ' αυτό το σύστημα αναφοράς ένα ειδικού τύπου πεδίο έλξης. Αυτός ο τύπος πεδίου χαρακτηρίζεται σαν αμετάβλητος, χάρη στις έρευνες του RIEMANN πάνω στους n -διάστατους χώρους:

1) ο τανυστής καμπυλότητας R_{iklm} του Riemann αποτελούμενος από τους συντελεστές της (2) είναι μηδενικός.

2) η τροχιά ενός υλικού σημείου σε ένα σύστημα αδράνειας αναφοράς, στο οποίο ισχύει η (1) είναι μια ευθεία γραμμή, δηλαδή ο πιο σύντομος δρόμος (γεωδαισικός). Αυτό είναι ήδη μια έκφραση του νόμου της κίνησης ξεκινώντας από την (2).

Ο παγκόσμιος νόμος του φυσικού χώρου πρέπει ν' αποτελεί την γενίκευση του νόμου που μόλις περιγράψαμε. Πρέπει τώρα να πω ότι υπάρχουν δυο στάδια σ' αυτήν την γενίκευση:

α) το καθαρά βαρυτικό πεδίο

β) το γενικευμένο πεδίο (που θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνει μεγέθη που με τον ένα ή άλλο τρόπο, αντιστοιχούν στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο).

Η περίπτωση (α) χαρακτηρίζεται από το ότι το πεδίο μπορεί ακόμα να παρασταθεί με τον τύπο του RIEMANN (2), δηλαδή ένα συμμετρικό τανυστή αλλά χωρίς την παράσταση της μορφής (1), (εκτός και αν πάμε στην απειροστή κλίμακα). Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση (α), ο τανυστής του RIEMANN δεν είναι μηδενικός. Είναι όμως ξεκάθαρο, ότι σ' αυτήν την περίπτωση πρέπει να εφαρμοστεί ένας νόμος του πεδίου που να είναι μια γενίκευση, δηλαδή μια *σμικρογραφία* του πρώτου νόμου για τον οποίο μιλήσαμε. Εάν αυτός ο γενικευμένος νόμος πρέπει να είναι δευτεροβάθμια εξίσωση και γραμμικός σε σχέση με τις δεύτερες παραγώγους τότε δεν μένει για την περίπτωση (α) παρά ένας ορισμός του πεδίου που να βγαίνει από την σύμπτυξη:

$$0 = R_{kl} = g^{im}R_{iklm}$$

Επί πλέον, φαίνεται φυσική η παραδοχή ότι στην περίπτωση (α), η γεωδαισική γραμμή παριστά πάντοτε το νόμο της κίνησης του υλικού σημείου.

Την εποχή εκείνη μου φαινόταν εντελώς ανέλπιδο το να θέλω να παραστήσω το γενικευμένο πεδίο (β) και να του βρω τους νόμους που το διέπουν. Γι' αυτό προτίμησα ν' αρχίσω από την κατάσταση ενός προσωρινού τυπικού πλαισίου, που θα μου επέτρεπε να παραστήσω την ολότητα της φυσικής πραγματικότητας. Αυτό το εγχείρημα μου ήταν αναγκαίο για να επιχειρήσω τις προκαταρκτικές έρευνες πάνω στην ισχύ των βάσεων της γενικής σχετικότητας. Αυτό έγινε έτσι:

Στην θεωρία του Νεύτωνα, μπορούμε να γράψουμε τον νόμο του πεδίου βαρύτητας υπό την μορφή:

$$\nabla^2\varphi = 0$$

(φ =δυναμικό βαρύτητας), που ισχύει εκεί όπου η πυκνότητα της μάζας ρ είναι μηδενική. Για πιο γενικά ισχύει (εξίσωση του POISSON):

$$\nabla^2\varphi = 4\pi k\rho$$

Στην θεωρία της σχετικότητας για το βαρυτικό πεδίο το R_{ik} αντικαθιστά το $\nabla^2\varphi$. Δεξιά θα πρέπει επίσης ν' αντικαταστήσουμε το ρ με ένα τανυστή. Μια που ξέρουμε ότι για την θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας, η μάζα αδράνειας ισούται με την ενέργεια, θα έπρεπε να γράψουμε δεξιά τον τανυστή της πυκνότητας της ενέργειας - και για να είμαστε πιο ακριβείς της ολικής ενέργειας, στο βαθμό που δεν αντιστοιχεί στο καθαρά βαρυτικό πεδίο. Προχωρώντας έτσι, φτάνουμε στην εξίσωση του πεδίου:

$$R_{ik} - 1/2g_{ik} R = - kT_{ik} .$$

Ο δεύτερος όρος του αριστερού σκέλους προστέθηκε για τυπικούς λόγους. Αυτό που βρίσκεται αριστερά γράφτηκε με τρόπο ώστε η διαφορά του, εννοούμενη στον διαφορικό υπολογισμό, να είναι ταυτόσημη μηδενική. Αυτό που βρίσκεται δεξιά είναι ένα τυπικό συνοθύλευμα όλων εκείνων των πραγμάτων των οποίων η σύλληψη, στην έννοια μιας θεωρίας πεδίου, είναι ακόμη προβληματική.

Βέβαια, ούτε στιγμή δεν αμφέβαλλα για το ότι αυτή η διατύπωση δεν ήταν παρά ένα βοήθημα, που θα μου επέτρεπε απλώς να δώσω στη γενική αρχή της σχετικότητας μια προσωρινή μορφή. Δεν ήταν τίποτε παραπάνω από μια θεωρία του βαρυτικού πεδίου, απομονωμένου τεχνητά από ένα γενικό πεδίο του οποίου η δομή παρέμενε άγνωστη.

Εάν, εκτός της αρχής της μη μεταβλητότητας των

εξισώσεων σε σχέση με το σύνολο των συνεχών μετασχηματισμών υπάρχει κάτι ακόμα που θα μπορούσε να θεωρηθεί οριστικό σ' αυτό το προσχέδιο της θεωρίας, είναι η θεωρία της οριακής περίπτωσης του καθαρά βαρυτικού πεδίου και η σχέση της με την μετρική δομή του χώρου. Γι' αυτό και από δω και πέρα δεν θ' ασχοληθούμε παρά μόνο με τις εξισώσεις του καθαρά βαρυτικού πεδίου.

Η ιδιαιτερότητα αυτών των εξισώσεων συνίσταται, αφ' ενός στην πολύπλοκη δομή τους, ιδίως στον μη γραμμικό χαρακτήρα σε σχέση με τις μεταβλητές του πεδίου και παραγώγους και αφ' ετέρου στην σχεδόν απόλυτη νομοτέλεια με την οποία το σύνολο των μετατροπών ορίζει αυτόν το πολύπλοκο νόμο του πεδίου. Εάν παραμέναμε στην θεωρία της περιορισμένης σχετικότητας, δηλαδή στη μη μεταβλητότητα σε σχέση με το σύνολο του LORENTZ, ο νόμος του πεδίου $R_{ik} = 0$ θα είχε κι αυτός παραμείνει αμετάβλητος σε σχέση με αυτό το πιο περιορισμένο σύνολο. Όμως, από την άποψη αυτού του περιορισμένου συνόλου, δεν θα υπήρχε κανένας λόγος να παραστήσουμε την βαρύτητα με μια δομή, τόσο πολύπλοκη, όσο αυτή του τανυστή. Εάν όμως παρολαυτά βρήκαμε λόγους να το κάνουμε, θα υπήρχε τότε μια απειρία νόμων πεδίου που θα ορίζονταν από τις μεταβλητές, που θα ήταν όλες συμμεταβλητές για τους μετασχηματισμούς του LORENTZ, αλλά όχι και για το σύνολο ολόκληρο. Εξ άλλου, ακόμα κι αν μέσα από όλους τους νόμους τους αμετάβλητους σε σχέση με τους μετασχηματισμούς του LORENTZ καταφέραμε ν' ανακαλύψουμε κατά τύχη αυτόν που αντιστοιχεί στο γενικότερο σύνολο, και πάλι δεν θα μπορούσαμε να φτάσουμε στο επίπεδο γνώσεων που κατακτήθηκε χάρη

στην αρχή της γενικευμένης σχετικότητας. Πράγματι, αντιμετωπίζοντας το θέμα από την οπτική γωνία του συνόλου του LORENTZ, θα κάναμε το σφάλμα να διακρίνουμε φυσικά, δυο λύσεις που θα μετατρέπονταν η μια στην άλλη με τρόπο μη γραμμικό, που θα ήταν δηλαδή, από την έποψη του γενικού συνόλου, δυο διαφορετικές απεικονίσεις του ίδιου πεδίου.

Μια άλλη γενικότερη παρατήρηση πάνω στη δομή και το σύνολο: είναι αναμφισβήτητο ότι θα θεωρούσαμε κάποια θεωρία τόσο πιο ολοκληρωμένη όσο πιο απλή θα ήταν η «δομή» που θα έθετε και όσο πιο εκτεταμένο θα ήταν το σύνολο σε σχέση με το οποίο οι εξισώσεις παραμένουν αμετάβλητες.

Βλέπουμε εδώ ότι αυτές οι δυο απαιτήσεις μπορεί να έρθουν σε σύγκρουση. Στην περιορισμένη γενικότητα (σύνολο LORENTZ) μπορούμε να θέσουμε ένα συμμεταβλητό νόμο για την απλούστερη δομή που υπάρχει (πεδίο βαθμωτό), ενώ στην γενικευμένη γενικότητα (πιο εκτεταμένο σύνολο των συνεχών μετασχηματισμών των συντεταγμένων), υπάρχει ένας αμετάβλητος νόμος πεδίου για την πιο περίπλοκη δομή του συμμετρικού τανυστή. Αναφέραμε ήδη τους φυσικούς λόγους που μας κάνουν να επιδιώκουμε την μη μεταβλητότητα σε σχέση με το πιο εκτεταμένο σύνολο, από καθαρά μαθηματική σκοπιά, δεν βλέπω για ποιο λόγο θα πρέπει να θυσιάσουμε την απλότητα της δομής στην έκταση του συνόλου.

Το σύνολο της γενικής σχετικότητας είναι το πρώτο που θέτει ότι ο απλούστερος αμετάβλητος νόμος δεν θα πρέπει πλέον να είναι γραμμικός και ομογενής σε σχέση με τις μεταβλητές του πεδίου και αυτό έχει κεφαλαιώδη σημασία, γιατί εάν ο νόμος του πεδίου είναι γραμμικός (και ομογενής), τότε το σύνολο των δυο

λύσεων είναι πάλι μια λύση. Αυτό για παράδειγμα συμβαίνει και για τις εξισώσεις του κενού πεδίου του Μάξγουελ. Σε μια τέτοια θεωρία είναι αδύνατο να συμπεράνει κανείς, ξεκινώντας μόνο από τις εξισώσεις πεδίου, ότι υπάρχει μια σχέση μεταξύ δομών που, αν τις πάρουμε ξεχωριστά, αντιπροσωπεύουν λύσεις του συστήματος.

Γι' αυτό το λόγο μέχρι σήμερα όλες οι θεωρίες αναγκάστηκαν να εισαγάγουν, εκτός από τις εξισώσεις πεδίου, και ιδιαίτερους νόμους για την κίνηση σωμάτων κάτω από την επίδραση των πεδίων. Στην ρελατιβιστική θεωρία της βαρύτητας, είναι αλήθεια, ότι ο νόμος της κίνησης (γεωδαισιακός) τέθηκε εξ αρχής ανεξάρτητα από τους νόμους του πεδίου. Αργότερα όμως αντιληφθήκαμε ότι δεν ήταν πια απαραίτητο (και δεν θα έπρεπε) να διατυπώσουμε το νόμο της κίνησης ανεξάρτητα, γιατί συμπεριλαμβανόταν ήδη σιωπηρά στο νόμο του πεδίου έλξης.

Αυτή την μπερδεμένη κατάσταση θα μπορούσαμε, σε χοντρές γραμμές, να την περιγράψουμε έτσι: ένα υλικό σημείο σε ηρεμία θα αντιπροσωπευόταν από ένα πεδίο έλξης που θα είχε παντού μια τιμή πεπερασμένη και κανονική, εκτός από τον τόπο όπου θα βρισκόταν το υλικό σημείο: εδώ το πεδίο θα παρουσίαζε μια ιδιαιτερότητα. Εάν όμως υπολογίσουμε, με διαδοχικές εξισώσεις πεδίου, το πεδίο που αντιστοιχεί σε αυτά τα δυο υλικά σημεία, τούτο θα είχε, εκτός από τις ιδιαίτερες τιμές στον τόπο των δυο σημείων, και μια σειρά ιδιαίτερων τιμών που θα έκειντο πάνω στην ευθεία που θα ένωνε τα δυο σημεία μεταξύ τους. Αλλά είναι πάντα δυνατό να υποθέσουμε με μια κίνηση των σημείων, σε τρόπο ώστε το πεδίο έλξης που ορίζουν να μην πα-



Βέρνερ Χάιζενπεργκ

ρουσιάζει καμμιά ιδιαίτερη τιμή εκτός του τόπου που ευρίσκονται αντίστοιχα. Είναι ακριβώς οι κινήσεις που σε μια πρώτη προσέγγιση περιγράφηκαν από το νόμο του Νεύτωνα. Θα μπορούσαμε έτσι να πούμε πως οι μάζες μετατοπίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε η εξίσωση πεδίου στο χώρο να μην δίνει δυνατότητα, εξαιρέσει του τόπου όπου ευρίσκονται, σε καμμιά ιδιαιτερότητα. Αυτή η ιδιότητα των εξισώσεων του πεδίου έλξης συνδέεται άμεσα με τον μη γραμμικό χαρακτήρα τους, και αυτός ο τελευταίος καθορίζεται από το εκτενές σύνολο των μετασχηματισμών.

Θα μπορούσαμε λοιπόν να θέσουμε το παρακάτω ερώτημα: εάν επιτρέπαμε αυτές τις ιδιαιτερότητες στη θέση των υλικών σημείων με ποιό δικαίωμα τις απαγορεύουμε στον υπόλοιπο χώρο; Αυτή η παρατήρηση θα ήταν δικαιολογημένη, εάν εκλαμβάναμε τις εξισώσεις του πεδίου έλξης σαν εξισώσεις του υλικού πεδίου. Καθώς κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει, θα πρέπει εδώ να πούμε ότι το πεδίο ενός υλικού μωρίου διαφέρει όλο και περισσότερο από ένα καθαρά βαρυτικό πεδίο, όσο πλησιάζουμε το μέρος όπου βρίσκεται το μώριο. Για να λάβουμε τις εξισώσεις του υλικού πεδίου, πρέπει ν' απαιτήσουμε ώστε τα ίδια τα μώρια να μπορέσουν να εκφραστούν με εξισώσεις απαλλαγμένες από οποιοδήποτε ιδιαιτερότητες, οπότε θα είχαμε τις ολικές εξισώσεις πεδίου. Τότε μόνο η θεωρία της ειδικής σχετικότητας θα ήταν ολοκληρωμένη.

Πριν φθάσουμε στο πρόβλημα της ολοκλήρωσης της γενικής σχετικότητας, πρέπει να πάρω θέση πάνω στη μοντέρνα θεωρία που συνάντησε την μεγαλύτερη επιτυχία και εννοώ μ' αυτό την στατική κβαντική θεωρία, που απέκτησε μια λογική και σαφή μορφή εδώ

και εικοσιπέντε περίπου χρόνια (Σρέντιγκερ, Χάιζεμπεργκ, Ντίρακ, Μπορν).¹⁴

Σήμερα είναι η μόνη θεωρία που επιτρέπει μια συνολική κατανόηση των πειραμάτων πάνω στον κβαντικό χαρακτήρα της μοριακής μηχανικής. Αυτή η θεωρία και η θεωρία της σχετικότητας θεωρούνται και οι δυο σωστές κατά κάποιο τρόπο, έστω και αν οι προσπάθειες για να τις συγκεράσουμε δεν ευόδωσαν ακόμα. Και σ' αυτό σίγουρα οφείλεται το ότι μεταξύ των θεωρητικών της σύγχρονης φυσικής βρίσκουμε αλληλοσυγκρουόμενες θεωρίες πάνω στο πρόβλημα του υπολογισμού αυτού που αύριο θα συνιστά το θεμέλιο της φυσικής: θα είναι μια θεωρία πεδίου; Η μια θεωρία στατιστικού τύπου; Θα εκθέσω με συντομία την θέση μου πάνω στο σημείο αυτό.

Η φυσική, είναι η προσπάθεια να συλλάβουμε σε μια αφηρημένη μορφή μια πραγματικότητα που θεωρούμε σαν ανεξάρτητη των παρατηρήσεων που μπορούμε να κάνουμε πάνω σ' αυτή. Με αυτή την έννοια μιλούμε για «φυσική πραγματικότητα». Στην προκβαντική θεωρία δεν δυσκολευόμασταν καθόλου να καταλάβουμε αυτό που αντιπροσώπευε. Στη θεωρία του Νεύτωνα, η πραγματικότητα αντιπροσωπευόταν από το υλικό σημείο μέσα στο χώρο και στο χρόνο. Στην θεωρία του Μάξγουελ από το μαγνητικό πεδίο μέσα στο χώρο και στο χρόνο. Με την κβαντική μηχανική, η κατάσταση είναι λιγότερο απλή. Στην ερώτηση: η κυματοσυνάρτηση Ψ της κβαντικής θεωρίας αντιπροσωπεύει μια αλήθεια στον ίδιο βαθμό με το σύστημα των υλικών σημείων ή με το πλεκτρομαγνητικό πεδίο; Θα ήταν δύσκολο ν' απαντήσει κανείς με ένα ναι ή ένα όχι. Αλλά γιατί να συμβαίνει αυτό; Να τι ορίζει η κυματοσυνάρτηση Ψ σε

κάποια συγκεκριμένη στιγμή: την πιθανότητα να βρεθεί ένα ορισμένο φυσικό μέγεθος q σε ένα δεδομένο διάστημα, εάν το μετρήσω σε μια στιγμή t . Θα πρέπει να θεωρήσουμε αυτήν την πιθανότητα σαν εμπειρικά διαπιστούμενη και συνεπώς αναπαριστώσα ασφαλώς μια «αληθινή» ποσότητα που θα έπρεπε να μπορώ να ορίσω χρησιμοποιώντας αυτήν την ίδια την κυματοσυνάρτηση ψ διαδοχικά και μετρώντας κάθε φορά το q . Αλλά τι συμβαίνει με αυτή την απομονωμένη τιμή του q . Το εν λόγω σύστημα θα είχε αυτήν την τιμή του πριν την μετρήσω. Σ' αυτήν την ερώτηση δεν υπάρχει οριστική απάντηση στο πλαίσιο της υπάρχουσας θεωρίας, αφού η γενόμενη μέτρηση είναι μια διαταραχή μη αμελητέα, έξω απ' το σύστημα. Μπορούμε λοιπόν να συλλάβουμε ότι μόνο μέσα από την διαδικασία της μέτρησης που το σύστημα λαμβάνει για το q (ή το P) μια ορισμένη αριθμητική τιμή, μια μετρούμενη αριθμητική τιμή. Για να μπορέσω να συνεχίσω το συλλογισμό μου, πρέπει να υποθέσω δυο φυσικούς A και B , που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές αντιλήψεις πάνω σε αυτό που περιγράφει στην πραγματικότητα η κυματοσυνάρτηση Ψ .

A. Το μελετούμενο σύστημα (πριν τη μέτρηση) κατέχει μια καθορισμένη τιμή q για όλες τις μεταβλητές του συστήματος και ειδικότερα αυτήν ακριβώς την τιμή που ορίζεται από την μέτρηση της μεταβλητής. Ξεκινώντας από αυτή την αντίληψη, θέτουμε ότι η κυματοσυνάρτηση Ψ δεν αποτελεί μια πλήρη περιγραφή της κατάστασης του συστήματος, από μια μερική μόνο περιγραφή. Δεν εκφράζει παρά μόνο αυτό που μας μαθαίνουν για το σύστημα οι προγενέστερες μετρήσεις.

B. Το μελετούμενο σύστημα (πριν τη μέτρηση) δεν έχει ορισμένη τιμή του q (ή του p). Η μετρούμενη τιμή

παράγεται από την πράξη την ίδια της μέτρησης, με την πιθανότητα που καθορίζεται από την κυματοσυνάρτηση Ψ . Σύμφωνα με αυτή την αντίληψη καταλήγει κανείς (ή τουλάχιστον του επιτρέπεται να καταλήξει) στο ότι η κυματοσυνάρτηση Ψ είναι μια πλήρης περιγραφή της πραγματικής υφής του συστήματος.

Ας παρουσιάσουμε τώρα λοιπόν σε αυτούς τους δυο φυσικούς την ακόλουθη περίπτωση: Ας υποθέσουμε ένα σύστημα που σε μια στιγμή t της παρατήρησής μας, αποτελείται από δυο συστήματα S_1 και S_2 , που βρίσκονται ξεχωριστά το ένα από το άλλο μέσα στο χώρο την στιγμή της παρατήρησής μας, και που επιδρούν το ένα στο άλλο, υπό την έννοια της κλασσικής Φυσικής, αλλά κατά τρόπο αμελητέο. Το ολικό σύστημα πρέπει να μπορεί να περιγραφεί ολοκληρωτικά, σε όρους κβαντομηχανικής, από μια γνωστή κυματοσυνάρτηση Ψ , έστω Ψ_{12} . Όλοι οι φυσικοί που δέχονται την κβαντική θεωρία θα συμφωνούσαν τότε πάνω στο εξής: εάν προχωρήσω σε μια ολική μέτρηση του S_1 , θα πάρω από τ' αποτελέσματα αυτής της μέτρησης και από την Ψ_{12} μια εξ ολοκλήρου ορισμένη Ψ_2 του συστήματος S_2 . Ο χαρακτήρας της Ψ_2 εξαρτάται εξ ολοκλήρου και μόνο από το είδος της μέτρησης που έκανα στο S_1 . Μου φαίνεται ότι τώρα μπορούμε να μιλήσουμε για την πραγματική κατάσταση του επί μέρους συστήματος S_2 . Στην αρχή, πριν προχωρήσουμε στις μετρήσεις του S_1 , γνωρίζουμε ακόμη λιγότερα για αυτήν την πραγματική κατάσταση από ό,τι στο σύστημα που περιγράφεται από την κυματοσυνάρτηση Ψ . Αλλά είναι κατά τη γνώμη μου μια υπόθεση που πρέπει να θέσουμε και ν' αποδεχτούμε χωρίς ενδοιασμούς: η πραγματική κατάσταση του συστήματος S_2 είναι απολύτως ανεξάρτητη από

τους χειρισμούς του συστήματος S_1 , που απέχει απ' αυτό μέσα στο χώρο. Παρ' όλα αυτά συμβαίνει, ανάλογα με το είδος των μετρήσεων που κάνω στο S_1 , να πάρω για το δεύτερο επί μέρους σύστημα μια κυματοσυνάρτηση Ψ_1 πολύ διαφορετική (Ψ_2, Ψ_2^1, \dots). Και όμως, η πραγματική κατάσταση του S_2 δεν θα πρέπει να εξαρτάται από ό,τι συμβαίνει στο S_1 . Για την ίδια πραγματική κατάσταση του S_2 , είναι λοιπόν δυνατόν να βρούμε (ανάλογα με το είδος των μετρήσεων που διαλέξαμε να κάνουμε στο S_1) διαφορετικούς τύπους κυματοσυνάρτησης Ψ . (Δεν μπορούμε να ξεπεράσουμε το σκόπελο αυτής της διαπίστωσης παρά μόνον εάν υποθέσουμε ότι η μέτρηση του S_1 αλλάζει -με τηλεπάθεια- την πραγματική κατάσταση του S_2 , ή εάν αρνηθούμε ότι ξεχωριστά συστήματα μέσα στο χώρο, μπορούν να έχουν ανεξάρτητη πραγματική κατάσταση. Αυτές οι δυο παραδοχές μου φαίνονται το ίδιο απαράδεκτες.

Εάν λοιπόν οι φυσικοί A και B δεχτούν αυτό το συλλογισμό, θα πρέπει ο B να παραιτηθεί από την πεποίθησή του, ότι η κυματοσυνάρτηση Ψ είναι μια πλήρης περιγραφή της πραγματικότητας, γιατί σ' αυτήν την περίπτωση δεν θα ήταν δυνατόν δυο κυματοσυναρτήσεις Ψ , διαφορετικής φύσης η μιά από την άλλη, να μπορούν να αποδοθούν στην ίδια κατάσταση S_2 . Ο στατιστικός χαρακτήρας της θεωρίας υπό την σημερινή της μορφή, θα εκκινούσε λοιπόν κατ' ανάγκη από τον ημιτελή χαρακτήρα της περιγραφής των συστημάτων στην κβαντομηχανική και τίποτε πλέον δεν θα μας επέτρεπε να πιστέψουμε ότι οι μελλοντικές βάσεις της φυσικής θα πρέπει να στηρίζονται στην στατιστική.

Πιστεύω ότι η σύγχρονη κβαντική θεωρία αντιπροσωπεύει την καλύτερη έκφραση των φαινομένων στην



Μια ιστορική φωτογραφία από ένα επιστημονικό συνέδριο Φυσικών που ελαβε χώραν στις Βρυξέλλες το 1933 και στο οποίο ανάμεσα σε άλλους πήραν μέρος 20 κάτοχοι βραβείων Νομπέλ. Μεταξύ των συνέδρων παρευρίσκονταν και οι Φρειδερίκος Ζολιό-Κιουρί, Ειρήνη Ζολιό-



Κιουρί, Νιλς Μπωρ, Μαρία Σλοντόφοκα Κουρί, Σερ Τζων Ντάγκλας, Κόκροφτ, Ερνεστ Ορλάντο Λώρενς, Σερ Τζέιμς Τσάντγουικ, Λίζα Μάιτνερ, Πρίγκιψ Λουί ντε Μπρέιγ, Λόρδος Ράδερφορντ, Ενρίκο Φέρμι, Βέρνερ Χάιζενμπεργκ, Ερβιν Σρέντινγκερ κ.ά.

οποία θα μπορούσαμε να φθάσουμε ξεκινώντας από έννοιες που επί το πλείστον και κατά βάση, προέρχονται από την κλασική μηχανική. Πάντως πιστεύω, επίσης, ότι αυτή η θεωρία δεν δίνει κανένα αξιόλογο σημείο εκκίνησης για μελλοντική ανάπτυξη. Αυτή κυρίως η πεποίθηση είναι που με χωρίζει από τους σύγχρονους φυσικούς. Είναι πεπεισμένοι ότι μια θεωρία που περιγράφει την πραγματική κατάσταση των πραγμάτων από συνεχείς συναρτήσεις του χώρου, για τις οποίες θα μπορούμε να γράψουμε διαφορικές εξισώσεις, δεν μπορεί ν' αντιληφθεί τις βασικές πλευρές των κβαντικών φαινομένων (αλλαγές φαινομενικά ασυνεχείς και μη καθοριζόμενες από τον χρόνο της κατάστασης ενός συστήματος, φύση ταυτόχρονα σωματιδιακή και κυματική των στοιχειωδών μορφών ενεργείας). Πιστεύουν επίσης ότι, με αυτόν τον τρόπο, δεν μπορούμε να κατανοήσουμε την ατομική δομή της ύλης και της ακτινοβολίας. Θεωρούν ότι τα συστήματα διαφορικών εξισώσεων αυτής της θεωρίας δεν θα είχαν σε καμία περίπτωση ομαλές λύσεις (χωρίς ιδιαιτερότητες) για όλον τον τετραδιάστατο χώρο. Αλλά πιστεύουν κυρίως ότι ο εμφανής ασυνεχής χαρακτήρας των στοιχειωδών σωματίων μπορεί να περιγραφεί μόνον από μια θεωρία με κατά βάση στατιστικό χαρακτήρα, όπου θα μπορούσαν να εξηγηθούν οι ασυνεχείς μεταβολές των συστημάτων από τις συνεχείς μεταβολές των πιθανοτήτων των δυνατών καταστάσεων.

Όλες αυτές οι διαπιστώσεις μου φαίνονται πολύ ενδιαφέρουσες, αλλά, όσο για μένα πιστεύω ότι η ουσία του προβλήματος έγκειται στο εξής: ξεκινώντας από την σημερινή κατάσταση της φυσικής, τι θα μπορούσαμε να πραγματώσουμε με κάποια ελπίδα επιτυ-

χίας; εδώ είναι, στα πειράματα τα σχετικά με την θεωρία της έλξης που εναποθέτω τις ελπίδες μου. Κατά την γνώμη μου, οι εξισώσεις για τις οποίες ήδη μιλήσαμε είναι εκείνες, περισσότερο από κάθε άλλες, που μπορεί να μας οδηγήσουν σε κάτι τι συγκεκριμένο. Ας πάρουμε για παράδειγμα, για να κάνουμε μια σύγκριση, τις εξισώσεις του Μάξγουελ για το κενό διάστημα. Πρόκειται για εκφράσεις που αντιστοιχούν στα πειράματα πάνω στα ελάχιστα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Αυτή η εμπειρική προέλευση ορίζει εξ αρχής και την γραμμική τους μορφή: όμως εμείς ήδη επιμείναμε πάνω στο ότι οι αληθινοί νόμοι δεν μπορούν να έχουν γραμμική μορφή. Εάν ήταν έτσι, θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε την αρχή της επιθέσεως στις λύσεις τους και δεν θα μπορούσαμε πλέον να εκφράσουμε τις αλληλεπεμβάσεις μεταξύ των επί μέρους στοιχείων. Οι αληθινοί νόμοι δεν μπορούν να είναι γραμμικοί, όπως και δεν πρέπει να περιορίζονται σε μια γραμμική έκφραση και προσέγγισή τους. Η θεωρία της έλξης μου έμαθε κάτι ακόμμη: όσο πλούσιο κι αν είναι το σύνολο εμπειρικών γεγονότων, δεν μπορεί να μας οδηγήσει στην κατάρτιση σύνθετων εξισώσεων. Εξισώσεις τόσο σύνθετες, όσο αυτές του βαρυτικού πεδίου δεν μπορούν να βρεθούν παρά μόνον αν ξεκινήσουμε ανακαλύπτοντας μιαν απλή λογική μαθηματική αρχή που να ορίζει, καθ' όλα ή σχεδόν, τις εξισώσεις. Όταν φθάνουμε σε μορφολογικές συνθήκες αρκούντως αυστηρές, μας αρκεί τότε μια μικρή γνώση των γεγονότων για να μπορέσουμε να καταστρώσουμε τη θεωρία. Στην περίπτωση της έλξης, ήταν ο χώρος με τέσσερις διαστάσεις και ο συμμετρικός ταυνοστής (που αντιπροσώπευε τη δομή του χώρου) που, μαζί με την μη μεταβλητότητα σε σχέση με τους συνε-



Τροχιές στοιχειωδών σφαιριδίων μέσα σε θάλαμο φουσαλίδων

χείς μετασχηματισμούς, όριζε το ουσιαστικό πλαίσιο των εξισώσεων.

Η αποστολή μας έγκειται στο να βρούμε τις εξισώσεις πεδίου για το ολικό πεδίο. Η ζητούμενη δομή θα πρέπει να είναι μια γενίκευση του συμμετρικού τανυστή. Το σύνολο δεν θα πρέπει να είναι πιο περιορισμένο από κείνο των συνεχών μετασχηματισμών των συντεταγμένων. Εάν εισαγάγουμε μια πιο σύνθετη δομή, το σύνολο δεν θα όριζε πλέον τις εξισώσεις με τόσο αυστηρότητα όπως τότε που την δομή εξέφραζε ο συμμετρικός τανυστής. Θα ήταν λοιπόν θαύμα αληθινό, εάν κατορθώναμε να επεκτείνουμε το σύνολο, λιγάκι όπως τότε που από την ειδική περάσαμε στην γενική σχετικότητα. Όλες οι προσπάθειές μου στάθηκαν μάταιες. Εγκατέλειπα το ίδιο και την ιδέα μιας επέκτασης σιωπηρής ή μη, του αριθμού των διαστάσεων του χώρου, που ήταν μια έρευνα που βασίστηκε σε μια εργασία του KALUZA που έχει ακόμα οπαδούς. Θα περιοριστούμε λοιπόν στο χώρο με τέσσερις διαστάσεις και στο σύνολο των αληθινών συνεχών μετασχηματισμών των συντεταγμένων. Μετά από πολλά χρόνια άκαρπες έρευνες, θεωρώ την λύση που παραθέτω σαν την πιο ικανοποιητική από λογικής άποψης.

Στη θέση του τανυστή g_{ik} ($g_{ik} = g_{ki}$) εισάγουμε τον ασύμμετρο τανυστή g_{ik} . Αυτό συνίσταται από ένα συμμετρικό μέρος s_{ik} και ένα αντισυμμετρικό a_{ik} , αληθινό ή καθαρά φανταστικό, σε τρόπο ώστε:

$$g_{ik} = s_{ik} + a_{ik}$$

Από την άποψη του συνόλου, ο συνδυασμός S και a είναι αυθαίρετος, αφού, χωριστά λαμβανόμενοι, οι a και S είναι ήδη τανυστές. Όμως αποκαλύπτεται ότι

αυτά τα (λαμβάνόμενα στο σύνολό τους), παίζουν, στην κατάστροση της θεωρίας, ένα ρόλο ανάλογο με εκείνο των συμμετρικών g_{ik} στη θεωρία του καθαρά βαρυτικού πεδίου. Αυτή η γενίκευση της δομής του χώρου φαίνεται εξ ίσου φυσική και από την πλευρά των φυσικών μας γνώσεων, εφ' όσον γνωρίζουμε ότι το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο προϋποθέτει έναν αντισυμμετρικό τανυστή.

Επί πλέον είναι σημαντικό για την θεωρία της έλξης να μπορέσουμε να εκφράσουμε, έχοντας σαν βάση το συμμετρικό τανυστή g_{ik} , την μονόμετρη πυκνότητα $\sqrt{|g_{ik}|}$ καθώς και τον αντιμεταβλητό τανυστή g_{ik} , σύμφωνα με τον τύπο:

$$g_{ik} g^{il} = \delta_k^l$$

Μπορούμε να ορίσουμε αυτές τις δομές ακριβώς με τον ίδιο τρόπο και για τον ασύμμετρο g_{ik} και για τις τανυστικές πυκνότητες. Για την θεωρία της έλξης, είναι βασικό για κάποιο δοθέν συμμετρικό πεδίο g_{ik} , να μπορούμε να προσδιορίζουμε ένα πεδίο Γ_{ik}^l , που να είναι συμμετρικό για τους κατώτερους δείκτες και που, από γεωμετρική άποψη, να προσδιορίζει την ευθύγραμμη μετατόπιση ενός ανύσματος. Κατά τον ίδιο τρόπο, για τον ασύμμετρο τανυστή g_{ik} , μπορούμε να προσδιορίσουμε ένα ασυμμετρικό πεδίο Γ_{ik}^l σύμφωνα με τον τύπο:

$$g_{ik,l} - g_{sk} \Gamma_{il}^s - g_{is} \Gamma_{lk}^s = 0 \quad (A)$$

που αντιστοιχεί στην ίδια σχέση, όπως και για τον συμμετρικό g . Όμως εδώ θα πρέπει να προσέξουμε την σειρά των κατώτερων δεικτών για το S και Γ .

Όπως και στη θεωρία του συμμετρικού g_{ik} , έτσι κι

εδώ μπορούμε ξεκινώντας από το Γ να γράψουμε μια καμπύλη R_{klm} , και από αυτήν πάλι μια συνεπτυγμένη καμπύλη R_{kl} . Τελικά εφαρμόζοντας μια αρχή μεταβολής, μπορούμε να βρούμε τις εξισώσεις πεδίου που να συμφωνούν με το (A) =

$$g^{\underline{b}, \underline{a}} = 0 - (g^{\underline{b}k} = 1/2 (g^{\underline{b}k} - g^{\underline{k}b}) \sqrt{-[g_{ik}]}) \quad (B_1)$$

$$\Gamma_{\underline{b}, \underline{a}} = 0 \left(\Gamma_{\underline{b}, \underline{a}} = 1/2 (\Gamma_{\underline{b}, \underline{a}} - \Gamma_{\underline{a}, \underline{b}}) \right) \quad (B_2)$$

$$R_{\underline{a}, \underline{b}} = 0 \quad (C_1)$$

$$R_{\underline{a}, \underline{b}, \underline{c}} + R_{\underline{b}, \underline{c}, \underline{a}} = R_{\underline{c}, \underline{a}, \underline{b}} = 0 \quad (C_2)$$

όπου οι (B1) και (B2) καταλήγουν η μια στην άλλη, όταν αληθεύει η (A). Το R_{kl} είναι το συμμετρικό και το $R_{\underline{kl}}$ το αντισυμμετρικό μέρος του.

Στην περίπτωση όπου το αντισυμμετρικό μέρος του g_{ik} μηδενίζεται, οι τύποι συμπυκνώνονται στους (A) και (C1) - περίπτωση του καθαρά βαρυτικού πεδίου.

Πιστεύω ότι αυτές οι εξισώσεις αντιπροσωπεύουν την πιο φυσική γενίκευση των εξισώσεων της έλξης.* Η απόδειξη της χρησιμότητάς τους στη φυσική θα ήταν ένα πολύ δύσκολο έργο, γιατί κάτι τέτοιο δεν γίνεται με απλές προσεγγίσεις. Η πρωταρχική ερώτηση τότε είναι: ποιές είναι οι λύσεις αυτών των εξισώσεων που ισχύουν για ολόκληρο το χώρο;

Αυτό το κείμενο θα άγγιζε το στόχο του αν κατόρ-

* Η προτεινόμενη θεωρία έχει, πιστεύω, κάποια ελπίδα να επιβεβαιωθεί, εάν τουλάχιστον αποδειχθεί εφαρμόσιμη, η δυνατότητα μιας εξονυχιστικής περιγραφής της φυσικής πραγματικότητας βάσει του χωροχρονικού συνεχούς.

θωνε να δείξει στον αναγνώστη το πώς οι προσπάθειες μιας ανθρώπινης ζωής είναι στενά δεμένες η μια με την άλλη και γιατί μπόρεσαν να οδηγήσουν σε μερικές συγκεκριμένες ελπίδες.

A. EINSTEIN

Έργα του ιδίου συγγραφέα

Η θεωρία της σχετικότητας

Οι διαλέξεις του Πρίνστον

Η Κίνηση Μπράουν

Εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική