

Ο Αϊνστάιν  
και η ειδική θεωρία της σχετικότητας  
στην ιστορία και στη φιλοσοφία της επιστήμης

ΘΟΔΩΡΟΣ ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ – ΚΩΣΤΑΣ ΓΑΒΡΟΓΛΟΥ

*Εάν θέλετε να μάθετε οτιδήποτε από τους θεωρητικούς φυσικούς σχετικά με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν, σας συμβουλεύω να μείνετε προσηλωμένοι σε μια αρχή: μην ακούτε αυτά που λένε, επικεντρώστε την προσοχή σας στις πράξεις τους. Σε όποιον είναι ερευνητής σε αυτό το πεδίο, τα προϊόντα της φαντασίας του φαίνονται τόσο αναγκαία και φυσικά, ώστε τα θεωρεί και θα ήθελε να θεωρούνται από τους άλλους όχι δημιουργήματα της σκέψης αλλά δεδομένες πραγματικότητες.*

ΑΛΜΠΕΡΤ ΑΪΝΣΤΑΪΝ,

*Περί της μεθόδου της θεωρητικής φυσικής (1933)*

Ο Αϊνστάιν είναι ταυτισμένος με τη θεμελίωση της σύγχρονης φυσικής και, ταυτοχρόνως, με την πλήρη ανατροπή της μηχανιστικής θεώρησης του κόσμου, που είχε την αφετηρία της στον 17ο αιώνα, την περίοδο που άρχισε να διαμορφώνεται η κλασική φυσική. Με το έργο του Αϊνστάιν ανατρέπονται «αυτονόητες» έννοιες και πεποιθήσεις για τη δομή του κόσμου που αποκτήθηκαν με τη διατύπωση θεωριών οι οποίες είχαν ελεγχθεί από παρατηρήσεις και μετρήσεις εντυπωσιακής ακριβείας: Ο χώρος και ο χρόνος δεν είναι πια το απόλυτο πλαίσιο μέσα στο οποίο πραγματώνονται τα φαινόμενα της φύσης, οι μετρήσεις μήκους και χρονικής διάρκειας δεν είναι ανεξάρτητες από την κίνηση όσων κάνουν τις μετρήσεις, η έννοια του ταυτόχρονου (δύο γεγονότων) δεν μπορεί να διατυπωθεί ανεξάρτητα από τη σχετική κίνηση ανάμεσα στον

παρατηρητή και στα γεγονότα. Επί πλέον, η ενέργεια είναι ισοδύναμη με τη μάζα και η μάζα είναι ταυτόσημη με την ενέργεια. Αν το 1905 η ειδική θεωρία της σχετικότητας επέφερε ριζική ανατροπή στη φυσική, η γενική θεωρία της σχετικότητας, μετά την ολοκληρωμένη διατύπωσή της το 1916, προέβλεψε φαινόμενα και παρείχε μια εικόνα του κόσμου που ήταν αδιανόητο να φανταστεί κανείς στο πλαίσιο της κλασικής φυσικής: η κατανομή των μαζών στο Σύμπαν καθορίζει τη δομή του χωροχρόνου, η πορεία μιας ακτίνας φωτός καμπυλώνεται όταν διέρχεται κοντά από ένα σώμα, το βαρυτικό πεδίο επηρεάζει την συχνότητα του φωτός. Ο Αϊνστάιν, όμως, συνέβαλε και στην δημιουργία του άλλου σκέλους της σύγχρονης φυσικής, της κβαντικής θεωρίας. Απέδειξε την αδυναμία της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας να εξηγήσει την φύση του φωτός και εισήγαγε την υπόθεση του σωματιδιακού χαρακτήρα του φωτός, εξηγώντας, έτσι, το «μυστηριώδες» φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Η εργασία αυτή, που δημοσιεύθηκε το 1905, θεωρείται από πολλούς ιστορικούς των επιστημών ως εργασία που εκφράζει τις απαρχές της κβαντομηχανικής, της άλλης μεγάλης ρήξης με την κλασική φυσική στον 20ό αιώνα. Το 1921 ο Αϊνστάιν έλαβε το βραβείο Νόμπελ «για τις υπηρεσίες που προσέφερε στην θεωρητική φυσική και ιδιαίτερα για την ανακάλυψη του νόμου του φωτοηλεκτρικού φαινομένου». Κατά την τελετή απονομής, είθισται ο βραβευμένος να μιλάει για το έργο για το οποίο τού απονέμεται το βραβείο — ο Αϊνστάιν είναι ο μόνος στην έναν και πλέον αιώνα ιστορία των βραβείων Νόμπελ, που στην ομιλία του (η οποία δεν έγινε την ημέρα της απονομής αλλά συμπεριελήφθη αργότερα στα πρακτικά της Σουηδικής Ακαδημίας) δεν αναφέρθηκε καθόλου στην εργασία για την οποία βραβεύθηκε και μίλησε αποκλειστικά για τις θεωρίες της σχετικότητας. Καθώς είναι ένας από τους διαμορφωτές της κβαντικής θεωρίας, και όχι μόνον με την εργασία του σχετικά με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ο Αϊνστάιν έδωσε μια συνεπή και μακροχρόνια μάχη για την απόλυτη ψη σοβαρών ερμηνευτικών αντιφάσεων της κβαντομηχανικής.

Η επαγγελματική πορεία του Αϊνστάιν συνέπεσε με τις βαθιές θεσμικές αλλαγές στην άσκηση της επιστήμης που είχαν συντελεσθεί στη διάρκεια του πρώτου μισού του 20ού αιώνα. Έζησε, συχνά εκ των ένδον, αυτές τις ριζικές θεσμικές μεταβολές και επηρεάστηκε από αυτές: την αυξανόμενη κοινωνική επιρροή των ερευνητικών κέντρων, την ανάδειξη της θεωρητικής φυσικής (σε αντιδιαστολή με τη μαθηματική φυσική ή τη φυσική φιλοσοφία) και την καθιέρωσή της ως αυτόνομης γνωστικής περιοχής, τη θεσμοθέτηση της έρευνας (και όχι μόνον της διδασκαλίας) στα πανεπιστήμια, την ανάδειξη των ΗΠΑ στον ισχυρό πόλο της επιστημονικής έρευνας, όπως και την γενίκευση του θε-

σμού των επιστημονικών συνεδρίων. Είναι ενδιαφέρον, παραδείγματος χάριν, ότι για το διδακτορικό του ο Αϊνστάιν εργάστηκε επάνω σε ένα θεωρητικό θέμα που επέλεξε ο ίδιος. Αυτό ήταν κάτι το εξαιρετικά ασυνήθιστο στο Πανεπιστήμιο της Ζυρίχης, όπου, σχεδόν στο σύνολο τους, τα θέματα για διδακτορικές διατριβές ήταν πειραματικά. Η επιμονή του να επιλέξει ένα θεωρητικό θέμα για τη διδακτορική του διατριβή συνέβαλε και στην παραπέρα καθιέρωση της θεωρητικής φυσικής. Το 1909, τέσσερα χρόνια μετά την απόκτηση του διδακτορικού του, διορίστηκε στην έδρα της θεωρητικής φυσικής στο Πανεπιστήμιο της Ζυρίχης, που δημιουργήθηκε ειδικά για αυτόν.

Ο Αϊνστάιν έζησε στη διάρκεια σημαντικότερων πολιτικών και κοινωνικών γεγονότων, για τα οποία δεν έμεινε αδιάφορος. Πολλές ήταν οι κοινωνικές και πολιτικές παρεμβάσεις του: Μετά το τέλος του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου υπέγραψε μαζί με άλλους ένα κείμενο καταδίκης των ακραίων εθνικιστών της Γερμανίας. Μερικά χρόνια αργότερα υιοθέτησε μια πασιφιστική στάση και αποκήρυξε ρητά τη στρατιωτική θητεία. Όταν ο Χίτλερ ανέλαβε την κυβέρνηση, ο Αϊνστάιν, που ήταν εκτός Γερμανίας, καταδίκασε την άνοδο των Ναζί στην εξουσία και δεν επέστρεψε ποτέ στη χώρα του. Το 1939 έγραψε μια επιστολή στον πρόεδρο των Η.Π.Α. Ρούσβελτ, επισημαίνοντας τις δυνατότητες που έδιναν οι πρόσφατες έρευνες στην πυρηνική φυσική για τη δημιουργία ισχυρότατων όπλων και προτρέποντάς τον να αρχίσουν έρευνες για την κατασκευή τους και σημειώνοντας πρωτοβουλίες των Ναζί προς αντίστοιχες κατευθύνσεις. Στη συνέχεια, και μετά τη χρήση της ατομικής βόμβας, υπήρξε από τους πρωτοπόρους του ειρηνιστικού κινήματος, με αποκορύφωμα την υπογραφή του «Μανιφέστου Αϊνστάιν-Russell» κατά των πυρηνικών εξοπλισμών. Εκφράστηκε δημόσια εναντίον του Μακκαρθισμού, κάτι που δεν του συγχώρεσε ποτέ το FBI που είχε στο μεταξύ συγκροτήσει έναν τεράστιο φάκελο εναντίον του με πολλά στοιχεία από την ενεργό αντιρατσιστική του στάση. Πάρα πολλά Ιδρύματα είχαν θελήσει να τιμήσουν τον Αϊνστάιν, ο οποίος, όμως, απέρριπτε τις προτάσεις τους να τα επισκεφθεί και να μιλήσει στο ακροατήριο τους. Εξαίρεση αποτέλεσε η αποδοχή της πρόσκλησης του Πανεπιστημίου Lincoln —ενός Πανεπιστημίου αμιγώς για μαύρους— για να αναγορευθεί επίτιμος διδάκτοράς του το 1949. Στην ομιλία του δεν αρκέστηκε στην ανάλυση του επιστημονικού του έργου, αλλά μίλησε για τον ρατσισμό, που αποτελεί «αρρώστια των λευκών». Δήλωνε ότι είναι υποστηρικτής του σοσιαλισμού και, με αμφιταλαντεύσεις, του σιωνισμού — ενώ είχε αρνηθεί την επίσημη πρόταση να γίνει ο πρώτος πρόεδρος του κράτους του Ισραήλ.

## ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

Τα κείμενα που περιλαμβάνονται στο βιβλίο αυτό είναι γραμμένα από ιστορικούς των επιστημών οι οποίοι πραγματεύονται ορισμένα ιστορικά προβλήματα που αφορούν την ειδική θεωρία της σχετικότητας, σχολιάζοντας, ταυτοχρόνως, ένα σύνολο ιστοριογραφικών θεμάτων. Οι ιστορικοί των επιστημών δεν αρκούνται στην αφήγηση των γεγονότων. Θέτουν διάφορα ερωτήματα, ώστε να διερευνήσουν και να ερμηνεύσουν σε βάθος τα γεγονότα. Το ειδικό βάρος και ο προσανατολισμός του κάθε ερωτήματος, η συγκεκριμένη διατύπωση που επιλέγεται να διερευνηθεί, η επιχειρηματολογία που αναπτύσσεται για να δοθεί πειστική απάντηση στο ερώτημα, οι πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές στις οποίες στηρίζουν οι ιστορικοί την επιχειρηματολογία τους αποτελούν συστατικά στοιχεία της πρακτικής των ιστορικών των επιστημών.

Στόχος των ιστορικών των επιστημών δεν είναι να ανακαλύψουν κάποιο αρχιμήδειο σημείο από το οποίο θα έχουν μια «συνολική» θέαση του παρελθόντος. Αλλά ούτε αποτελεί στόχο τους η διατύπωση ερωτημάτων που δεν θα είναι επηρεασμένα από την κοινωνία στην οποία ζουν, από την παιδεία τους, από τους ιδεολογικούς τους προσανατολισμούς, από τις πολιτικές τους πεποιθήσεις και από τις προσωπικές τους επιδιώξεις. Τέτοια αρχιμήδεια σημεία δεν υπάρχουν. Δεν υπάρχουν ούτε «αντικειμενικά» ερωτήματα, ανεπηρέαστα από το πολιτισμικό και κοινωνικό πλαίσιο στο οποίο λειτουργούν οι ιστορικοί. Οι ιστορικοί των επιστημών θα μπορέσουν να θέσουν ενδιαφέροντα και πρωτότυπα ερωτήματα στον βαθμό που κατανοούν την επιστήμη ως κοινωνικό και πολιτισμικό φαινόμενο. Διερευνούν το παρελθόν έχοντας ήδη διαμορφώσει την ιστορική τους παιδεία με την μελέτη πολλών, και συχνά διαφορετικών, προσεγγίσεων του παρελθόντος. Διατυπώνουν τα ερωτήματά τους έχοντας ήδη εντυπώσει σε διάφορες αναγνώσεις του παρελθόντος και έχοντας διαμορφώσει την δική τους ιστοριογραφική προσέγγιση και μέσα από τις διαφορετικές ερμηνείες των γεγονότων του παρελθόντος. (Βλ. Γαβρόγλου 2004).

Η διατύπωση ερωτημάτων δεν είναι μια «αντικειμενική» διαδικασία. Αντιθέτως, οι ιστορικοί με τις γενικότερες θεωρήσεις τους για τη φύση και την κοινωνία, με τις προκαταλήψεις, τις ιδεολογικές φορτίσεις και τις προτεραιότητές τους για το σήμερα καθορίζουν το είδος και τον χαρακτήρα των ερωτημάτων που θέτουν. Ορισμένες φορές και ανάλογα με τα προβλήματα που μελετούν είναι υποχρεωμένοι να αναπτύξουν μια επιχειρηματολογία που βασίζεται περισσότερο στη φιλοσοφία της επιστήμης παρά στην ιστορία. Μπορεί, επίσης, να βασίζεται περισσότερο στην κοινωνιολογία παρά στην ιστορία. Υπάρχουν

περιπτώσεις, τέλος, όπου χρησιμοποιούνται έννοιες και τεχνικές από την ψυχανάλυση και από την ανθρωπολογία. Η Ιστορία των Επιστημών είναι ένας διεπιστημονικός κλάδος και η ανάπτυξη του δικού της αυτόνομου λόγου επηρεάστηκε από τη σχέση της με τη φιλοσοφία της επιστήμης, με την κοινωνιολογία της γνώσης, με την ανθρωπολογία και, βέβαια, από την προνομιακή της σχέση με τη γενική ιστορία. Η συστηματική διερεύνηση συγκεκριμένων γεγονότων δεν στοχεύει αποκλειστικά στον εντοπισμό των αιτίων που τα προκάλεσαν αλλά και στην ανάδειξη των συσχετίσεων ανάμεσα στο ευρύτερο πολιτισμικό και κοινωνικό περιβάλλον, αφ'ενός, και των συγκεκριμένων γεγονότων, αφ'ετέρου. Η τάση να εντοπίζουμε συσχετισμούς και όχι να αναζητούμε κάθε φορά τις αιτίες ενός φαινομένου μάς παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία, μάς επιτρέπει να είμαστε πιο τολμηροί στις αναζητήσεις μας και μάς απομακρύνει από σχήματα ιστορικής αιτιοκρατίας που υπονοούν συμπεράσματα του τύπου «αργά η γρήγορα κάτι τέτοιο θα γινόταν».

Ορισμένα από τα ερωτήματα που θα μπορούσαμε να θέσουμε σχετικά με τη διατύπωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας είναι τα εξής:

1. Ποια ήταν η κατάσταση στη Φυσική κατά τα τέλη του 19ου και τις αρχές του 20ού αιώνα;
2. Τί είδους προβληματισμούς είχαν άλλοι φυσικοί εκείνη την περίοδο σχετικά με την κατάσταση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας;
3. Ποια προβλήματα απασχολούσαν τον Αϊνστάιν πριν από το 1905; Απασχολούσαν αυτά τα προβλήματα και άλλους φυσικούς;
4. Πώς οδηγήθηκε ο Αϊνστάιν στη διατύπωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας;
  - 4α. Τί ρόλο έπαιξε το μηδενικό αποτέλεσμα των πειραμάτων των Michelson-Morley, για τη μέτρηση της σχετικής ταχύτητας της Γης ως προς τον αιθέρα, στη διατύπωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας; Και, γενικότερα, ποιος ήταν ο ρόλος των πειραμάτων στη διατύπωση της θεωρίας.
  - 4β. Πώς επηρέασε τον Αϊνστάιν το είδος της εργασίας του στο Γραφείο Ευρεσιτεχνιών στη Βέρνη;
  - 4γ. Πώς επηρέασαν τον Αϊνστάιν οι πολιτισμικές και κοινωνικές εξελίξεις της περιόδου;
5. Ποια είναι τα στοιχεία συνέχειας και ποια τα στοιχεία ασυνέχειας που μπορούμε να διακρίνουμε στο έργο του Αϊνστάιν το 1905;

6. Πώς συνέβαλαν άλλοι φυσικοί (π.χ., οι Lorentz και Poincaré) στη δημιουργία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας;
7. Πώς διέφερε η ειδική θεωρία της σχετικότητας από παρόμοιες θεωρίες που είχαν διατυπωθεί εκείνη την περίοδο;
8. Ποια στοιχεία των μετέπειτα εργασιών του Αϊνστάιν διακρίνονται στην ειδική θεωρία της σχετικότητας;
9. Πώς έγινε η μετάβαση από την ειδική θεωρία της σχετικότητας στη γενική θεωρία της σχετικότητας;

Ορισμένα άλλα ερωτήματα αφορούν την πρόσληψη της θεωρίας και την παραπέρα «πορεία» της:

1. Ποιες προσπάθειες έγιναν για να ελεγχθεί πειραματικά η ειδική θεωρία της σχετικότητας;
2. Για ποιους λόγους οι πειραματικοί έλεγχοι της θεωρίας δεν οδήγησαν στην άμεση αποδοχή της;
3. Σε ποιους παράγοντες οφείλεται η καθυστερημένη αποδοχή της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας από άλλους φυσικούς;
4. Πώς επηρέασαν οι εθνικές παραδόσεις την πρόσληψη της θεωρίας;
5. Τί είδους προσπάθειες έγιναν για την επαναδιατύπωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, τόσο ως προς τις μεθοδολογικές-μαθηματικές της πτυχές όσο και ως προς τη φυσική της ερμηνεία;
6. Σε ποιον βαθμό οι από παιδαγωγική άποψη προσφορότερες μέθοδοι διδασκαλίας της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας «διαστρέβλωσαν» την ιστορία της εξέλιξής της;
7. Πώς μπορούν να αποτιμηθούν οι γνωσιακές και ιδεολογικές επιπτώσεις των διαφόρων εκλαϊκεύσεων της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας;
8. Πώς μετατράπηκαν ο Αϊνστάιν και η ειδική θεωρία της σχετικότητας σε πολιτισμικά στερεότυπα — πώς δημιουργήθηκε η εικόνα του Αϊνστάιν ως απόμακρης ιδιοφυΐας;

Επίσης, ορισμένα ερωτήματα αφορούν τις φιλοσοφικές προεκτάσεις της θεωρίας της σχετικότητας:

1. Τί είδους νέα φιλοσοφικά προβλήματα αναδεικνύονται από τη θεωρία της σχετικότητας;
2. Πώς επηρέασαν οι νέες φυσικές και μαθηματικές θεωρήσεις του χώρου και του χρόνου τις φιλοσοφικές μελέτες αυτών των θεμάτων;

3. Ποια ήταν τα στοιχεία «υπεροχής» της ειδικής θεωρίας σχετικότητας έναντι άλλων αντίστοιχων θεωριών;
4. Ποια είναι η σημασία της φιλοσοφικής ανάλυσης της θεωρίας της σχετικότητας για την κατανόηση της ιστορίας της;

Τέλος, τίθενται ορισμένα ιστοριογραφικά ερωτήματα που αφορούν τις ιστορικές μελέτες της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας:

1. Τί είδη βιογραφιών του Αϊνστάιν υπάρχουν και ποια είναι η συμβολή τους στην κατανόηση της προσωπικότητας και του έργου του;
2. Πώς έχουν επηρεάσει οι διάφορες ιστοριογραφικές προσεγγίσεις την ιστορική μελέτη της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας;
3. Σε ποιον βαθμό ο Αϊνστάιν και η ειδική θεωρία της σχετικότητας έχουν γίνει αντικείμενο της πολιτισμικής ιστορίας του 20ού αιώνα;

Ας επιχειρήσουμε ενδεικτικά τη σκιαγράφηση απαντήσεων σε ορισμένα από αυτά τα ερωτήματα.

#### ΤΟ ΕΡΓΟ ΤΟΥ ΑΪΝΣΤΑΪΝ ΠΡΙΝ ΤΟ 1905

Από το 1900, το έτος που ο Αϊνστάιν αποφοίτησε από το Πολυτεχνείο της Ζυρίχης, και μέχρι την στιγμή που η ειδική θεωρία της σχετικότητας είδε το φως της δημοσιότητας το 1905, τον απασχόλησαν μια σειρά από προβλήματα τα οποία ουσιαστικά σχετιζόνταν με τους προβληματισμούς που είχαν αναπτυχθεί στο τέλος του 19ου αιώνα γύρω από τη θερμοδυναμική. (Βλ. Abiko 1991, Klein 1967). Σχεδόν το σύνολο της κοινότητας των φυσικών εξέφραζε μια εντυπωσιακή συναίνεση για την ορθότητα του μηχανιστικού προτύπου και για τις δυνατότητες που αυτό παρείχε για την βαθύτερη κατανόηση της φύσης. Η κινητική θεωρία των αερίων του James Clerk Maxwell (1831-1879) και του Rudolph Clausius (1822-1888) και, κυρίως, το έργο του Ludwig Boltzmann (1844-1906), που καθιέρωσε τον στατιστικό χαρακτήρα του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής, ενίσχυσαν τη θεωρία για την ατομική σύσταση της ύλης και δεν άφηναν πολλά περιθώρια για την αμφισβήτηση της πραγματικής —και όχι μόνον μαθηματικής— ύπαρξης των ατόμων. Η ύπαρξη, όμως, αυτή δεν γινόταν αποδεκτή από όλους, αφού τα πειραματικά αποτελέσματα για την έμμεση, έστω, παρατήρηση των ατόμων δεν ήταν, πάντοτε, και πολύ πειστικά.

Η πολλά υποσχόμενη προοπτική για μια ενιαία κατανόηση όλων των φυ-



σικών φαινομένων σε ένα μηχανιστικό πλαίσιο, που είχε τις απαρχές της στον 17ο αιώνα, φάνηκε να ολοκληρώνεται στα τέλη του 19ου αιώνα. Υπήρχαν, βεβαίως, προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν, ώστε να ολοκληρωθούν οι επιτυχίες —που συνεχίζονταν, σχεδόν αδιάκοπα, από τα τέλη του 17ου αιώνα— της μηχανιστικής θεώρησης της φύσης. Γνωρίζουμε ότι το πρόγραμμα αυτό δεν μπόρεσε να ολοκληρωθεί. Η μη αντιστρεψιμότητα των φυσικών διαδικασιών, η παράξενη συμπεριφορά της ειδικής θερμότητας, τα ιδιόμορφα χαρακτηριστικά του αιθέρα, η ατίθαση αλληλεπίδραση ύλης και ενέργειας αποτελούσαν σοβαρά εμπόδια για την πλήρη μηχανιστική ερμηνεία όλων των φαινομένων. Κανείς, όμως, πριν από το 1905 δεν είχε αμφισβητήσει τη δυνατότητα επίλυσης αυτών των προβλημάτων μέσα στο κυρίαρχο πλαίσιο της φυσικής. Ενώ ολόενα και λιγότεροι μετά το 1905 πίστευαν ότι η μηχανιστική αντίληψη μπορούσε να συμβάλει στην ενιαία θεώρηση των φυσικών φαινομένων.

Το πρόγραμμα μαθηματικής επεξεργασίας και επέκτασης των κεντρικών δυνάμεων —δυνάμεων που για εκείνη την εποχή θεωρούσαν ότι εξαρτώνται μόνον από την απόσταση ανάμεσα στα κέντρα των σωμάτων— αποτελούσε μία από τις βασικές ενασχολήσεις των φυσικών και μαθηματικών σε όλη την διάρκεια του 18ου αιώνα. Το πρόγραμμα αυτό κλονίστηκε όταν τον 19ο αιώνα έγινε σαφές ότι οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις που ασκούνται ανάμεσα σε ηλεκτρικώς φορτισμένα σώματα είναι μεν συναρτήσεις της απόστασης, αλλά και της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Η έννοια του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου δεν μπορούσε να συμβιβασθεί με τις κεντρικές δυνάμεις εξ αποστάσεως — αφού η δύναμη μεταξύ δύο φορτισμένων σωμάτων ασκείται μέσω του πεδίου που κάθε σώμα δημιουργεί γύρω του. Η πρώτη προσπάθεια να κατανοηθούν οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις στο πλαίσιο του νευτώνειου συστήματος έγινε μέσω της συγκρότησης της έννοιας του ηλεκτρομαγνητικού αιθέρα — του μέσου στο οποίο, όπως υπέθεταν, διαδίδονται οι ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές— και της διατύπωσης μηχανικών μοντέλων του αιθέρα. Το εγχείρημα αυτό του «σώζειν την μηχανιστική άποψη» δημιουργούσε όλο και πιο σοβαρά αδιέξοδα. Τελικά επικράτησε μια άποψη την οποία είχε πρωτοδιατυπώσει ο Ολλανδός φυσικός Η.Α. Lorentz (1853-1928) το 1892: Αφ' ενός, ο αιθέρας (με τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία) αποτελούσε πραγματική οντότητα, που δεν ήταν, όμως, ερμηνεύσιμη μέσα στο μηχανιστικό πλαίσιο, και, αφ'ετέρου, υπήρχαν φορτισμένα σωματίδια που υπάκουαν στους νόμους της μηχανικής. Ανάμεσα στις δύο αυτές οντότητες υπήρχε η εξής σχέση: τα φορτισμένα σωματίδια (εν ηρεμία ή εν κινήσει στον αιθέρα) δημιουργούσαν ηλεκτρομαγνητικά πεδία και κινούνταν, βάσει των μηχανικών νόμων κίνησης, υπό την



επίδραση δυνάμεων στις οποίες συγκαταλέγονταν οι ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις που ασκούσε ο αιθέρας. Προς τα τέλη του 19ου αιώνα διατυπώθηκε και μια άλλη άποψη: ενδεχομένως το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο να είναι η μοναδική θεμελιακή οντότητα και οι μηχανικές ιδιότητες της ύλης να είναι δυνατόν να εξηγηθούν με βάση τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Αντί, δηλαδή, να εξηγηθεί η συμπεριφορά των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων με κάποιο μηχανικό μοντέλο του αιθέρα, να γίνει το αντίστροφο. Αυτό πρότεινε ο Γερμανός φυσικός Wilhelm Wien (1864-1928) και το συμεριζόταν και ο Lorentz. Παρά τις δυσκολίες να τιθασευθεί ο ηλεκτρομαγνητισμός ώστε να γίνει συμβατός με τον μηχανιστικό τρόπο θεώρησης της φύσης, η μηχανιστική αντίληψη ενισχύθηκε την εποχή εκείνη, αφού ο Maxwell και ο Boltzmann κατόρθωσαν να δώσουν μια μηχανική θεμελίωση των νόμων της θερμοδυναμικής και εγκαινίασαν ένα πρόγραμμα εξήγησης των μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης με βάση την κινητική-μοριακή θεωρία της αέρας, υγρής και στερεάς κατάστασης. (Βλ. Stachel 2000, Εισαγωγή).

Ο Αϊνστάιν ως φοιτητής είχε εμπεδώσει τόσο την παραδοσιακή, μηχανιστική άποψη —ιδίως την εφαρμογή της στην ατομική θεωρία της ύλης— όσο και τη νέα πεδιακή προσέγγιση του Maxwell στον ηλεκτρομαγνητισμό, ιδίως στην παραλλαγή του Lorentz. Αντιμετώπιζε, επίσης, μερικά νέα φαινόμενα, όπως ήταν η ακτινοβολία μέλανος σώματος και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, τα οποία πεισματικά αρνούσαν την ένταξή τους τόσο στην παλαιά μηχανική όσο και στη νέα πεδιακή κοσμοθεώρηση — ή και σε κάποιον συνδυασμό τους.

Από το 1901 έως το 1902 ο Αϊνστάιν προσπάθησε να λύσει το πρόβλημα του χαρακτήρα των μοριακών δυνάμεων, υποθέτοντας πως η μαθηματική δομή αυτών των δυνάμεων είναι παρόμοια με την δομή της δύναμης βαρύτητας. Τα επόμενα δύο χρόνια (έως το 1904) δημοσίευσε τρεις μελέτες για τα θεμέλια της στατιστικής μηχανικής. Η πρώτη σχετίζεται με τους ορισμούς της θερμοκρασίας και της εντροπίας σε συνθήκες θερμικής ισορροπίας και με το θεώρημα ισοκατανομής. Η δεύτερη αφορά την αντιστρεψιμότητα των φυσικών διαδικασιών και στην τρίτη διατυπώνει νέους τρόπους προσδιορισμού της τιμής της σταθεράς του Boltzmann.

Τα επιχειρήματα και οι τεχνικές της θερμοδυναμικής έπαιξαν πάρα πολύ σημαντικό ρόλο στην προβληματική του Αϊνστάιν. Στην πρώιμη φάση της ερευνητικής του πορείας επιχείρησε την αναγωγή των βασικών εννοιών και αρχών της θερμοδυναμικής στη μηχανική. Ο νεαρός Αϊνστάιν είχε αποφασίσει να συνεχίσει και να ολοκληρώσει το πρόγραμμα που είχαν εγκαινιάσει ο Maxwell και ο Boltzmann, δύο κορυφαίοι στην εποχή τους φυσικοί. Δεν φαί-

νεται να γνώριζε όλες τις εργασίες του Boltzmann και οπωσδήποτε δεν γνώριζε το έργο του Αμερικανού φυσικού Josiah Willard Gibbs (1839-1903) στη στατιστική μηχανική — που είχε δημοσιευθεί σε ένα άσημο περιοδικό. Ο Αϊνστάιν κατέληξε εν πολλοίς στα ίδια συμπεράσματα με τους Boltzmann και Gibbs και ο βασικός του στόχος ήταν να επιβεβαιώσει την ύπαρξη ατόμων καθορισμένου μεγέθους. Έχει σημασία να τονιστεί αυτό το σημείο, αφού το σύνολο σχεδόν του προβληματισμού του Αϊνστάιν είχε άμεση σχέση με τη διερεύνηση του οντολογικού χαρακτήρα των (μαθηματικά ορισμένων) οντοτήτων. Επανελημμένα είχε εκφράσει την μεγάλη εμπιστοσύνη του στις δυνατότητες των εννοιών της στατιστικής φυσικής και τις χρησιμοποίησε με έναν πολύ δημιουργικό τρόπο στις εργασίες του 1905 που αφορούσαν την ερμηνεία της κίνησης Brown και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

#### Η ΦΥΣΙΚΗ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΟ 1905

Στις ιστορικές έρευνες που αφορούν τη δημιουργία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, κυρίαρχο ρόλο έχει ο προβληματισμός σχετικά με το τί γνώριζε ο Αϊνστάιν για τις εργασίες άλλων συναδέλφων του σε αντίστοιχα προβλήματα. Ένα άλλο κεντρικό ερώτημα είναι εάν η συμβολή του Αϊνστάιν αποτελεί μια νέα ριζοσπαστική θεώρηση της φύσης ή, απλώς, την ολοκλήρωση «ημιτελών» θεωριών που είχαν ήδη διατυπώσει άλλοι φυσικοί.

Για την πληρέστερη κατανόηση των θεμάτων που θίγει το συγκεκριμένο πρόβλημα θα πρέπει να διερευνηθεί το περιεχόμενο του έργου διαφόρων φυσικών της εποχής και, ειδικότερα, του Lorentz και του Poincaré, να εντοπισθεί τί γνώριζε για το έργο τους ο Αϊνστάιν και να αναλυθούν οι διαφορές ανάμεσα στην ειδική θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάιν και τις αντίστοιχες θεωρίες των Lorentz και Poincaré. Πριν προχωρήσουμε, θα πρέπει να σχολιαστούν τρία σημεία. Το πρώτο είναι ιστοριογραφικού χαρακτήρα. Το θέμα της προτεραιότητας είναι άμεσα συνδεδεμένο με το πρόβλημα των ταυτόχρονων ανακαλύψεων. Και εδώ, πάλι, δεν μας ενδιαφέρει αποκλειστικά η τυπική πλευρά, δηλαδή η ημερομηνία έκδοσης ενός βιβλίου ή μιας εργασίας ή η ημερομηνία δημοσιοποίησης μιας συγκεκριμένης ανακάλυψης από τους επιστήμονες που θεωρείται ότι την πραγματοποίησαν. Το αποκλειστικό βάρος στην επιβεβαίωση ή όχι τυπικών στοιχείων αυτού του είδους δεν επιτρέπει τη διερεύνηση ενός ερωτήματος που κρύβεται πίσω από το ζήτημα της προτεραιότητας: Αντί να διερωτώμαστε ποιος ανακάλυψε ή εφεύρε κάτι για πρώτη φορά, το

ιστορικά πιο γόνιμο ερώτημα είναι γιατί σε μια συγκεκριμένη περίοδο υπάρχει μια πληθώρα εννοιών και πειραμάτων που, τελικά, συνδιαμορφώνουν μια συγκεκριμένη ανακάλυψη; Αν επιμείνουμε σε αυτό το ερώτημα, τότε οδηγούμαστε στη διερεύνηση των δραστηριοτήτων της επιστημονικής κοινότητας, στην κατανόηση των ερευνητικών κατευθύνσεών της, στη μελέτη της κοινωνικής αποδοχής των επιστημονικών ερευνών αλλά και της κοινωνικής προτροπής για τη συνέχιση των ερευνητικών δραστηριοτήτων, στην ανάλυση των ενδεχόμενων κοινωνικών απαιτήσεων ή αναγκών που ικανοποιούν οι έρευνες αυτές, καθώς και στη συνάφεια που έχουν οι θεωρητικές προσλαμβάνουσες παραστάσεις των ερευνητών με τα πολιτισμικά χαρακτηριστικά μιας κοινωνίας. Αντί, λοιπόν, να αναζητούμε τα στοιχεία της τυπικής επικύρωσης μιας ανακάλυψης ή εφεύρεσης, το ερώτημα που καλούμαστε να απαντήσουμε μας οδηγεί στην κατανόηση του ερευνητικού, ακαδημαϊκού, κοινωνικού και πολιτισμικού πλαισίου στο οποίο πραγματοποιούνται οι ανακαλύψεις και οι εφευρέσεις.

Τα ανωτέρω μπορεί να οδηγήσουν σε μια παρανόηση: Ότι κάθε ανακάλυψη ή εφεύρεση είναι συλλογική διαδικασία, αφού με την απόδοση βάρους στο πλαίσιο της ανακάλυψης αναγκαστικά εμπλέκονται πολλοί επιστήμονες. Αυτό, βεβαίως, δεν ισχύει ως γενική αρχή. Μας αναγκάζει, όμως, να αναθεωρήσουμε —και ορισμένες φορές ριζικά— την τάση να ταυτίζουμε τις ανακαλύψεις και τις εφευρέσεις με ένα και μόνο πρόσωπο. Δεν καλούμαστε να υποβαθμίσουμε τον ρόλο και τη συμβολή των επιστημόνων που στη συνείδηση μιας κοινωνίας αλλά και ενός μεγάλου τμήματος της επιστημονικής κοινότητας έχουν ταυτισθεί με συγκεκριμένες ανακαλύψεις και εφευρέσεις. Αντιθέτως, καλούμαστε να κατανοήσουμε τη συνολική τους συμβολή εντάσσοντάς τους σε ένα πλαίσιο πάρα πολύ σύνθετων διεργασιών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μάς ενδιαφέρει να κατανοήσουμε τις αλληλεπιδράσεις των ερευνητικών δραστηριοτήτων ορισμένων φυσικών, τους τρόπους με τους οποίους επηρέασαν τις ερευνητικές δραστηριότητες αλλά και τις γενικότερες θεωρητικές προσλαμβάνουσες παραστάσεις άλλων φυσικών, καθώς και τους τρόπους με τους οποίους οι συγκεκριμένοι ερευνητές κατόρθωσαν να κάνουν γνωστές τις ιδέες τους έξω από τα στενά πλαίσια της επιστημονικής κοινότητας.

Το δεύτερο σημείο αφορά τις πεποιθήσεις των φυσικών στα τέλη του 19ου αιώνα σχετικά με ορισμένα κομβικά σημεία της φυσικής. Φαίνεται ότι μετά τη διατύπωση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας από τον Maxwell στις δεκαετίες 1860-1870, ενισχύθηκε η πεποίθηση, ως προς την ύπαρξη του αιθέρα, του συνόλου σχεδόν των φυσικών, οι οποίοι ολοένα και λιγότερο αμφισβητούσαν την αναγκαιότητά του για την ερμηνεία των ηλεκτρομαγνητικών (και οπτικών)

φαινομένων. Ωστόσο η φυσική του υπόσταση και τα φυσικά του χαρακτηριστικά, όπως απέρρεαν από διάφορα μοντέλα, γινόταν ολοένα και πιο προβληματικά. Η ομοιογένεια, η ελαστικότητα, και η συμπιεστότητα του ήταν τα βασικά θέματα που έπρεπε να διερευνηθούν κατά την τελευταία δεκαετία του 19ου αιώνα. Το 1900 ο Λόρδος Κέλβιν (William Thomson) έδωσε μια ομιλία στο Βασιλικό Ίδρυμα του Λονδίνου (Royal Institution) με τον χαρακτηριστικό τίτλο "Nineteenth Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light" («Σύννεφα του 19ου αιώνα πάνω από τη δυναμική θεωρία της θερμότητας και του φωτός»). Σε αυτήν κατέγραψε τις εκτιμήσεις του για την κατάσταση στη φυσική. Η ομιλία εκείνη παρουσιάζει τεράστιο ενδιαφέρον, αφού ο κατ'εξοχήν υποστηρικτής της κλασικής φυσικής θεωρούσε ότι η ύπαρξη ορισμένων σοβαρών προβλημάτων, η λύση των οποίων διέφευγε από τους φυσικούς, δεν αποτελούσε δυσοίωνα προοπτική για την κλασική φυσική και, ασφαλώς, δεν απειλούσε τις βασικές αρχές της. Δεν γνώριζε, προφανώς, ότι δύο από τα προβλήματα που είχε διατυπώσει θα οδηγούσαν σε πλήρη ρήξη με την κλασική φυσική, εγκαινιάζοντας την περίοδο της σύγχρονης φυσικής. Το ένα πρόβλημα ήταν ο χαρακτήρας του αιθέρα και η αδυναμία των πειραμάτων να ανιχνεύσουν τη σχετική ταχύτητα της γης ως προς τον αιθέρα. Το άλλο πρόβλημα αφορούσε την κινητική θεωρία των αερίων που οδηγούσε σε λανθασμένες προβλέψεις σχετικά με τη συμπεριφορά της ειδικής θερμότητας των αερίων από διατομικά μόρια. (Βλ. Kragh 1999, 9).

Το τρίτο σημείο που θέλουμε να σχολιάσουμε αφορά τη διαφωνία που υπήρχε ανάμεσα στους φυσικούς σχετικά με τη δυνατότητα να παρατηρηθούν μεγέθη δευτέρας τάξεως, δηλαδή του τετραγώνου του λόγου  $v/c$  (όπου  $v$  η ταχύτητα ενός σώματος ως προς τον αιθέρα και  $c$  η ταχύτητα του φωτός), δεδομένου ότι αυτός ο παράγοντας υπεισέρχεται σε οπτικά πειράματα που πραγματοποιούνται στη Γη. Ο Maxwell, πρώτος, θεωρούσε ότι ήταν αδύνατον να μετρηθούν διαφορές δευτέρας τάξεως, σε αντίθεση με φαινόμενα πρώτης τάξεως, που θεωρούσε ότι ήταν ανιχνεύσιμα. Ο Albert A. Michelson (1852-1931) πληροφορήθηκε την άποψη του Maxwell, από μία επιστολή του Maxwell που δημοσιεύθηκε μετά τον θάνατο του, το 1879, και διαφώνησε ριζικά με την εκτίμησή του αυτή. Βρισκόταν τότε στο εργαστήριο του Hermann von Helmholtz (1821-1894) στο Βερολίνο. Σε ένα άρθρο του το 1881, υποστήριξε πως ο Maxwell υποτίμησε τις δυνατότητες που υπήρχαν για μετρήσεις δευτέρας τάξεως και σχεδίασε ένα όργανο, το συμβολόμετρο, που θα μπορούσε να καταγράψει φαινόμενα αυτού του είδους. Για το συμβολόμετρο αυτό με τις διαδοχικές βελτιώσεις του, ο Michelson έγινε ο πρώτος Αμερικανός που πήρε το

βραβείο Νόμπελ το 1907. Ο Michelson ήταν πολύ έμπειρος στις μετρήσεις της ταχύτητας του φωτός, έχοντας ήδη δημοσιεύσει τρεις εργασίες με αυτό το θέμα. Το ίδιο έτος πραγματοποίησε το πρώτο του πείραμα στο αστεροσκοπείο του Potsdam. Η διάταξη που χρησιμοποίησε ουσιαστικά θα έμενε η ίδια σε όλα τα μετέπειτα πειράματά του: προσπάθησε να μετρήσει και να συγκρίνει τους χρόνους που χρειάζεται μία ακτίνα φωτός για να καλύψει ίσες διαδρομές, τη μία κάθετη και την άλλη παράλληλη με την κατεύθυνση της κίνησης της Γης ως προς τον αιθέρα. Δεν μπόρεσε να διακρίνει καμία διαφορά μεταξύ αυτών των χρόνων και κατέληξε στο συμπέρασμα πως «η υπόθεση του στάσιμου αιθέρα είναι λανθασμένη». Μια τέτοια άποψη ήταν αδύνατον να υιοθετηθεί από τα ιερά τέρατα της φυσικής. Ερχόταν σε πλήρη ρήξη με κατεστημένες αλλά και πάρα πολύ επιτυχείς θεωρίες που βασίζονταν στην υπόθεση του «στάσιμου αιθέρα», δηλαδή στην υπόθεση ότι ο αιθέρας μένει ανεπηρέαστος από την κίνηση της Γης, την οποία είχε διατυπώσει ο Augustin Jean Fresnel (1788-1827) το 1818. Το πείραμα του Michelson αποτελεί το πρώτο πείραμα μιας σειράς πολλών πειραμάτων που πραγματοποίησε, στην αρχή μόνος και μετά μαζί με τον χημικό Edward Morley (1838-1923).

#### Ο LORENTZ ΚΑΙ ΟΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

Το 1886 ο Lorentz προχώρησε σε συστηματική εξέταση της υπόθεσης του στάσιμου αιθέρα και των πειραμάτων του Michelson. Θεωρώντας ότι υπήρχαν πολλοί παράγοντες που ο Michelson δεν είχε λάβει υπ' όψιν του, υποστήριξε πως ήταν δύσκολο να γίνει αποδεκτό το συμπέρασμα του Michelson ότι η υπόθεση του Fresnel είχε διαψευστεί πειραματικά. Οι ενδοιασμοί διαφόρων φυσικών και κυρίως η κριτική του Lorentz οδήγησαν τον Michelson, τώρα μαζί με τον Morley, να επανασχεδιάσουν το πείραμα του Potsdam. Τα αποτελέσματα δεν διέφεραν από τα αποτελέσματα του αρχικού πειράματος και δημοσιεύθηκαν το 1887. Όσοι πληροφορήθηκαν τα αποτελέσματα απογοητεύθηκαν. Η αποτυχία να «εντοπιστεί» ο αιθέρας, έστω και με αυτόν τον έμμεσο αλλά ασφαλώς πειστικό τρόπο, δημιουργούσε πολλά προβλήματα. Ο Michelson, σε αυτήν τη φάση των δραστηριοτήτων του, ενημέρωσε τους φυσικούς για διάφορες λεπτομέρειες των πειραμάτων του, αλλά δεν επανέλαβε την εκτίμηση που είχε διατυπώσει το 1881 σχετικά με τον αιθέρα. Ούτε, όμως, και την αναθεώρησε. Όλο και λιγότεροι φυσικοί είχαν πια αντιρρήσεις για τις τεχνικές

πλευρές του πειράματος. Το 1892 ο Lorentz δέχθηκε την εγκυρότητα των πειραματικών μετρήσεων των Michelson και Morley και θεώρησε πως ο μόνος τρόπος να συμβιβαστούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους με την υπόθεση του Fresnel ήταν να διατυπώσει την εικασία για τη συστολή του μήκους των κινούμενων σωμάτων στην κατεύθυνση της κίνησης τους. Ο Lorentz, χωρίς να προχωρήσει σε λεπτομέρειες, θεωρούσε πως η συστολή αυτή είχε δυναμικές αιτίες. Ο μηχανισμός που οδηγούσε στη συστολή ήταν η δράση του αιθέρα επί των μοριακών δυνάμεων των υλικών σωμάτων. Επίσης η συστολή ήταν συνάρτηση της σχετικής ταχύτητας της Γης ως προς τον αιθέρα και, άρα, μπορούσε πάντοτε να εξηγεί το μηδενικό αποτέλεσμα. Το 1889 ο George Francis FitzGerald (1851-1901), σε ένα σημείωμά του στο περιοδικό *Science*, είχε δώσει την ίδια εξήγηση του μηδενικού αποτελέσματος των πειραμάτων Michelson-Morley. Το 1894 ο Lorentz πληροφορήθηκε ότι ο FitzGerald είχε διατυπώσει την ίδια υπόθεση πριν από τον ίδιο. Επικοινωνήσε αμέσως μαζί του για να μάθει λεπτομέρειες σχετικά με τη δημοσίευση. Η απάντηση του FitzGerald, ενός από τους λαμπρότερους φυσικούς της γενεάς του, έχει ενδιαφέρον διότι διαφέρει κατά εντυπωσιακό τρόπο από αντίστοιχες αντιδράσεις για ανάλογα θέματα. Είχε στείλει την εργασία του στο *Science*, αλλά δεν γνώριζε «αν την έχουν ποτέ δημοσιεύσει... είμαι βέβαιος ότι η δική σας δημοσίευση προηγείται της όποιας δικής μου», Επίσης εξέφραζε τη χαρά του για το ότι ο Lorentz συμφωνούσε μαζί του και προσέθετε: «εδώ γέλασαν κοροϊδευτικά με αυτές τις απόψεις μου». (Βλ. Pais 1982, 124).

Το 1895 ο Lorentz δημοσίευσε μια εξαιρετικά οξυδερκή και πρωτότυπη μελέτη. Επιχείρησε να ερμηνεύσει τις ηλεκτρομαγνητικές εξισώσεις του Maxwell με βάση την κίνηση των φορτισμένων «ιόντων» (μετέπειτα ηλεκτρονίων). Στην εργασία αυτή ο Lorentz διατυπώνει την απόδειξη ενός θεωρήματος που, ουσιαστικά, εμπεριέχει την πρώτη μορφή των μετασχηματισμών οι οποίοι, στη συνέχεια, έγιναν γνωστοί ως μετασχηματισμοί Lorentz. Στο συγκεκριμένο θεώρημα αποδεικνύεται ότι αν ένα σύστημα  $\Sigma'$  κινείται με ταχύτητα  $v$  ως προς ένα άλλο σύστημα  $\Sigma$ , τότε, όσον αφορά φαινόμενα πρώτης τάξεως ως προς  $v/c$ , οι συναρτήσεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο  $\Sigma'$  (ως προς την απόσταση  $x'$  και τον χρόνο  $t'$ ) είναι ίδιες με τις συναρτήσεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο  $\Sigma$  (ως προς την απόσταση  $x$  και τον χρόνο  $t$ ), υπό την προϋπόθεση ότι

$$\begin{aligned}x' &= x - vt \\t' &= t - vx/c^2\end{aligned}$$



Τα αποτελέσματα αυτά έδειξαν ότι τα οπτικά πειράματα που πραγματοποιούνται στη Γη είναι ανεξάρτητα από την κίνηση της Γης, όσον αφορά την πρώτη τάξη του λόγου  $v/c$ . Κατά τη διαδικασία απόδειξης του θεωρήματος ο Lorentz κατέληξε σε μια διαφοροποίηση ανάμεσα στον γενικό χρόνο  $t$  και σε αυτό που ο ίδιος αποκαλούσε τοπικό χρόνο  $t'$ . Ο γενικός χρόνος ήταν ο πραγματικός φυσικός χρόνος, ενώ ο τοπικός χρόνος ήταν μια έκφραση που προέκυπτε από τον μαθηματικό μετασχηματισμό του πραγματικού χρόνου. Γνωρίζουμε ότι ο Αϊνστάιν είχε διαβάσει αυτήν την εργασία του Lorentz.

Το 1899 ο Lorentz εξέφρασε δημόσια την προγραμματική του θέση ότι θα ήταν πολύ πιο ικανοποιητικό αν αποδεικνυόταν ότι όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα είναι ανεξάρτητα από τη σχετική ταχύτητα των συστημάτων για όλες τις τάξεις  $v/c$ . Διατύπωσε, μάλιστα, μια συγκεκριμένη μορφή μετασχηματισμών οι οποίοι ήταν τυπικά ισοδύναμοι με τους «κανονικούς» μετασχηματισμούς που διατυπώθηκαν από τον ίδιο στην τελική τους μορφή το 1904. Έχει σημασία να τονιστεί ότι η ιστορία των μετασχηματισμών Lorentz έχει σχέση με την επίλυση προβλημάτων ηλεκτρομαγνητισμού και όχι μηχανικής.

## Ο POINCARÉ

### ΚΑΙ ΟΙ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

Το έργο του Lorentz ήταν στην κατεύθυνση της μαθηματικής επεξεργασίας μιας σειράς ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων, όπως αυτά εμφανίζονται σε δύο συστήματα συντεταγμένων σε σχετική κίνηση. Ενώ το κύριο χαρακτηριστικό του έργου του Γάλλου μαθηματικού, φυσικού και φιλοσόφου Henri Poincaré (1854-1912) ήταν ο εντοπισμός και η συνεπακόλουθη αποσαφήνιση ορισμένων εννοιολογικών προβλημάτων της κλασικής φυσικής και, συγκεκριμένα, των προβλημάτων που σχετίζονται με τη μέτρηση των χρονικών διαστημάτων και τον ορισμό του ταυτοχρόνου. Το πρόβλημα της μέτρησης χρονικών διαστημάτων απασχολούσε αρκετούς φυσικούς της εποχής. Ο Poincaré προσέθεσε στη συζήτηση αυτή τον προβληματισμό σχετικά με την αντικειμενικότητα του ταυτοχρόνου. Ήδη από το 1898 διακήρυξε ότι «δεν έχουμε άμεση διαίσθηση για την ισότητα δύο χρονικών διαστημάτων... είναι δύσκολο να ξεχωρίσουμε τα ποιοτικά προβλήματα του ταυτοχρόνου από το ποσοτικό πρόβλημα της μέτρησης του χρόνου. Είτε κανείς χρησιμοποιεί ένα χρονόμετρο, ή λαμβάνει υπόψη του μία ταχύτητα μετάδοσης όπως είναι αυτή του φωτός, αφού δεν είναι δυνατόν να μετρήσει κανείς αυτήν την ταχύτητα χωρίς να μετρήσει



τον χρόνο». (Βλ. Pais 1982, 126-127). Στην συνέχεια, ο Poincaré προχώρησε σε κριτική αποτίμηση των διαφόρων ορισμών του ταυτοχρόνου, στους οποίους βρήκε αρκετές ασάφειες και ανεπάρκειες.

Ο Poincaré πραγματεύθηκε προβλήματα του ηλεκτρομαγνητισμού το 1900 και το 1904. Κυρίαρχο ερώτημα και εδώ αποτελούσε η ύπαρξη του αιθέρα. Θεωρούσε μειονέκτημα το ότι η ανεξαρτησία των αποτελεσμάτων των οπτικών πειραμάτων από την κίνηση της Γης ερμηνεύεται διαφορετικά ως προς την πρώτη τάξη του λόγου  $v/c$  και ως προς τη δεύτερη τάξη  $(v/c)^2$ . Αντίθετα, θεωρούσε ότι πρέπει να υπάρχει μια ενιαία ερμηνεία για όλες τις τάξεις του  $v/c$ . Το 1904 ο Poincaré έδωσε μια ομιλία στο Διεθνές Συνέδριο Τεχνών και Επιστημών στο Σαιν Λιούις των Η.Π.Α. Εκεί εξέφρασε την πεποίθησή του ότι ο τοπικός χρόνος του Lorentz αποτελούσε φυσική, και όχι απλώς μαθηματική, έννοια. Και καταλήγοντας προχώρησε σε μια τολμηρότατη δήλωση: «Ενδεχομένως να πρέπει να κατασκευάσουμε μια νέα μηχανική ...όπου σε αυτήν η ταχύτητα του φωτός θα γίνει ένα όριο που δεν θα μπορεί να ξεπεραστεί». (Βλ. Poincaré 1913, κεφάλαιο 9). Και ενώ προχώρησε στην διαπίστωση ότι δύο παρατηρητές που βρίσκονται σε σχετική κίνηση θα πρέπει να μετρούν διαφορετικούς τοπικούς χρόνους, τόνισε την ανάγκη να υπάρξει ως πρόσθετη υπόθεση η συστολή μήκους κατά την κατεύθυνση της κίνησης. Έχει σημασία να τονιστεί η επιμονή αυτή του Poincaré. Το ίδιο έκανε και το 1909, πέντε σχεδόν χρόνια μετά την διατύπωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Τον είχαν προσκαλέσει να δώσει έξι διαλέξεις στο Γκέττινγκεν. Η τελευταία αναφέρεται αποκλειστικά στη νέα μηχανική και πραγματεύεται αναλυτικώς θέματα σχετικά με την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Και σε αυτήν την περίπτωση ο Poincaré διατυπώνει τρεις υποθέσεις — τις δύο του Αϊνστάιν, χωρίς να αναφέρει το όνομα του, και μία Τρίτη, που είναι η συστολή μήκους!

Οι επεξεργασίες του Lorentz και του Poincaré δεν πρέπει να θεωρηθούν περιθωριακές παρεμβάσεις στις οποίες η επιστημονική κοινότητα δεν είχε δώσει ιδιαίτερη προσοχή. Αντιθέτως, παρά τις δυσκολίες αποδοχής ορισμένων πτυχών αυτών των θεωριών, ήταν σε πολλούς φυσικούς σαφές ότι οδηγούσαν σε αποτελέσματα με ελπιδοφόρες προοπτικές. Ανεξάρτητα, λοιπόν, από τον βαθμό στον οποίο ο Αϊνστάιν γνώριζε τις θεωρίες του Lorentz και του Poincaré, ο γενικότερος προβληματισμός που τον οδήγησε στην ειδική θεωρία της σχετικότητας δεν ήταν ούτε κάτι το εντελώς νέο ούτε και αποκομμένος από αντίστοιχους προβληματισμούς άλλων φυσικών. Διότι τελικά, παρά τις μεγάλες επιτυχίες της, η φυσική στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ού είχε μια σοβαρή αδυναμία: η μηχανική αρχή της σχετικότητας —ότι, δηλαδή,

όλα τα αδρανειακά συστήματα είναι ισοδύναμα και δεν υπάρχει κανένα που να είναι προνομιακό— δεν ίσχυε για τον ηλεκτρομαγνητισμό. Θα έπρεπε, λοιπόν, να αναζητηθούν τρόποι με τους οποίους θα επεκτεινόταν η ισχύς αυτής της αρχής στα οπτικά και ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα. Η πιο πειστική, όμως, προέκταση του ηλεκτρομαγνητισμού του Maxwell, η θεωρία του Lorentz, θεωρούσε τον ακίνητο αιθέρα ως προνομιακό σύστημα αναφοράς και, άρα, ερχόταν σε αντίθεση με το πρόγραμμα επέκτασης της ισχύος της αρχής της σχετικότητας. Την πιο ικανοποιητική λύση σε αυτό το πρόβλημα την έδωσε ο Αϊνστάιν με την ειδική θεωρία της σχετικότητας.

Ο ΑΪΝΣΤΑΪΝ ΤΟ 1905:  
Η ΧΕΙΜΑΡΡΩΔΗΣ ΕΙΣΒΟΛΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Το 1905 αποτέλεσε έτος καμπίς όχι μόνον για τον Αϊνστάιν αλλά και για τη φυσική. Για τα άρθρα τού 1905 ο Αϊνστάιν έγραφε σε έναν στενό του φίλο, τον Conrad Habicht (1876-1958):

Σου υπόσχομαι 4 άρθρα... το πρώτο θα μπορέσω να σου το στείλω σύντομα, αφού τώρα περιμένω ανάτυπα του... Το άρθρο αφορά την ακτινοβολία και τις ενεργειακές ιδιότητες του φωτός και είναι πολύ επαναστατικό, όπως θα δεις... Στο δεύτερο άρθρο προσδιορίζεται το μέγεθος των ατόμων από τη διάχυση και το ιξώδες αραιών διαλυμάτων ουδέτερων ουσιών. Στο τρίτο αποδεικνύεται ότι βάσει της μοριακής [κινητικής] θεωρίας της θερμότητας, σωματίδια τάξης μεγέθους 1/100 mm. αιωρούμενα σε ένα υγρό εκτελούν μια χαοτική κίνηση, ως αποτέλεσμα της θερμικής αναταραχής. Πράγματι, οι φυσιολόγοι έχουν ήδη παρατηρήσει μια τέτοια κίνηση —σε αιωρούμενα, μικροσκοπικά, ανόργανα σωματίδια— την οποία ονόμασαν «μοριακή κίνηση Brown». Το τέταρτο άρθρο είναι προς το παρόν στη φάση του σχεδιασμού και αφορά την ηλεκτροδυναμική των κινούμενων σωμάτων, εισάγοντας μια τροποποίηση της θεωρίας του χώρου και του χρόνου· το καθαρά κινηματικό μέρος αυτού του άρθρου ασφαλώς θα σε ενδιαφέρει. [...] Έχω συλλάβει μια ακόμη συνέπεια του άρθρου της ηλεκτροδυναμικής. Η αρχή της σχετικότητας, σε συνδυασμό με τις εξισώσεις Maxwell, οδηγεί στο ότι η μάζα δεν είναι παρά ένα άμεσο μέτρο της ενέργειας που εγκλείει ένα σώμα· το φως επίσης μεταφέρει μάζα. Μια παρατηρήσιμη μείωση μάζας

πρέπει να συμβαίνει στην περίπτωση του ραδίου. Ο συλλογισμός είναι διασκεδαστικός και σαγηνευτικός· αν και κάλλιστα ο Κύριος θα μπορούσε να τον θεωρεί για γέλια και να με σέρνει από τη μύτη!<sup>1</sup>

Το πρώτο του άρθρο, όπου υποστηρίζεται η ύπαρξη των κβάντων φωτός, συμβάλλει αποφασιστικά στην αντιμετώπιση της εγγενούς αδυναμίας της κλασικής μηχανικής και του ηλεκτρομαγνητισμού να ερμηνεύσουν προβλήματα που αφορούν την αλληλεπίδραση της ύλης με την ακτινοβολία. Η εργασία που υπέβαλε προς δημοσίευση στο περιοδικό *Annalen der Physik* τον Μάρτιο του 1905 έχει τίτλο «Μια ευρετική άποψη για την εκπομπή και τον μετασχηματισμό του φωτός». Στο άρθρο αυτό ο Αϊνστάιν αποδεικνύει ότι, για αρκετά μεγάλες συχνότητες, η εντροπία της ακτινοβολίας σε *θερμική ισορροπία* («μέλαν σώμα») έχει την ίδια συμπεριφορά με την εντροπία ενός «αερίου» που αποτελείται από ανεξάρτητα «κβάντα φωτεινής ενέργειας» (ή, απλώς, «κβάντα φωτός»), το καθένα τους με ενέργεια ανάλογη προς την συχνότητα του αντίστοιχου κύματος. Είναι η μόνη εργασία την οποία ο ίδιος θεώρησε επαναστατική. Γνωρίζουμε σήμερα ότι η πλήρης κατανόηση των φαινομένων της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος και της ειδικής θερμότητας επιτεύχθηκε στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής. Οι προσπάθειες κατανόησής τους πριν από τη διαμόρφωση της κβαντικής μηχανικής βασίζονταν, εν πολλοίς, σε ιδέες της στατιστικής μηχανικής. Αυτό με την σειρά του οδηγούσε σε περαιτέρω διερευνήσεις των θεμελίων της στατιστικής φυσικής. Ωστόσο, οι εννοιολογικές αποσαφηνίσεις και οι νέες μαθηματικές τεχνικές στη στατιστική μηχανική δεν οδήγησαν στην πληρέστερη κατανόηση και ερμηνεία των δύο φαινομένων, και έθεσαν ξανά σε δοκιμασία την κλασική φυσική. Οι εργασίες του Max Planck (1858-1947) το 1900 και του Αϊνστάιν το 1905 απέδειξαν την αδυναμία της (κλασικής) στατιστικής μηχανικής να ερμηνεύσει αυτά τα φαινόμενα και ταυτοχρόνως έθεσαν τους όρους υπέρβασης της κλασικής μηχανικής, επικεντρώνοντας την προσοχή τους σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα: την αλληλεπίδραση ύλης και ενέργειας. Ο ρόλος των εργασιών αυτών ως προς την θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας υπήρξε αντικείμενο εκτεταμένων συζητήσεων μεταξύ των ιστορικών των επιστημών. Το 1978 ο Thomas Kuhn δημοσίευσε ένα βι-

<sup>1</sup> Αϊνστάιν προς Conrad Habicht, 18 ή 25 Μαΐου 1905. Στο (Einstein 1993), ντοκουμέντο 27, σελ. 31· και Αϊνστάιν προς Conrad Habicht, 30 Ιουνίου - 22 Σεπτεμβρίου 1905. Στο ίδιο, ντοκουμέντο 28, σελ. 33.

βλίο σχετικά με αυτό το θέμα και με τίτλο *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*. Ο Kuhn υποστήριξε ότι η έννοια της κβαντικής ασυνέχειας στη φυσική δεν γεννήθηκε στις εργασίες του Planck το 1900 ούτε και στα μεταγενέστερα γραπτά του, αλλά εμφανίστηκε στο έργο των Lorentz, Paul Ehrenfest (1880-1933) και Αϊνστάιν το 1905, στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν την επιτυχημένη κλασική θεωρία του Planck για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος. Το βιβλίο αυτό αποτέλεσε ρήξη με την από μακρού υφιστάμενη παράδοση στην ιστοριογραφία της σύγχρονης φυσικής και κλόνισε τη συναίνεση μεταξύ φυσικών και ιστορικών σχετικά με το σημείο εκκίνησης της κβαντικής θεωρίας. Αν και πολλοί ιστορικοί των επιστημών δεν υιοθέτησαν πλήρως την άποψη του Kuhn, τα επιχειρήματά του και οι συζητήσεις που προκάλεσαν μετατόπισαν σε σημαντικό βαθμό την άποψη πολλών ιστορικών ότι οι επιστημονικές ανακαλύψεις είναι διακριτά συμβάντα στον χώρο και στον χρόνο τα οποία μπορούν να εντοπισθούν με ακρίβεια.

Τον Αύγουστο του 1905 ο Αϊνστάιν έστειλε προς δημοσίευση στο περιοδικό *Annalen der Physik* ένα άρθρο για τα βασικά αποτελέσματα στα οποία είχε καταλήξει στη διδακτορική του διατριβή, που είχε υποβληθεί στο Πανεπιστήμιο της Ζυρίχης έναν μήνα νωρίτερα, με τίτλο *Ένας νέος προσδιορισμός των μοριακών διαστάσεων*. Αρχικά είχε υποβάλει τη διδακτορική του διατριβή το 1901, αλλά την απέσυρε το 1902, καθώς ο καθηγητής στον οποίο την είχε υποβάλει, Alfred Kleiner, θεώρησε ότι δεν ήταν ικανοποιητική. Στην εργασία αυτή ο Αϊνστάιν υπολόγισε τα μοριακά μεγέθη και τον αριθμό Avogadro, συνδυάζοντας τις τεχνικές της κλασικής υδροδυναμικής με τις τεχνικές της θεωρίας διάχυσης. Η σημασία της εργασίας αυτής έγκειται στο γεγονός ότι ενίσχυσε την πεποίθηση στην ατομική υπόθεση.

Η τρίτη εργασία του Αϊνστάιν, που είχε σταλεί στο *Annalen der Physik* τον Μάιο του 1905, έφερε τον τίτλο «Για την κίνηση μικρών σωματιδίων που αιωρούνται σε ένα ακίνητο υγρό σύμφωνα με τη μοριακή θεωρία της θερμότητας». Με την εργασία αυτή ο Αϊνστάιν εξήγησε ένα φαινόμενο που είχε παρατηρήσει ο βοτανολόγος Robert Brown (1773-1858) το 1827. Η πειραματική επαλήθευση της θεωρητικής ανάλυσης του Αϊνστάιν από τον Γάλλο φυσικό Jean Baptiste Perrin (1870-1942) το 1909 αποτέλεσε την πιο πειστική απόδειξη της φυσικής πραγματικότητας των ατόμων. Τα άρθρα του Αϊνστάιν για την κίνηση Brown συνετέλεσαν στην καθιέρωση της μελέτης των φαινομένων διακύμανσης ως νέου κλάδου της φυσικής. Οι μέθοδοι που επινόησε κατά την πορεία της ερευνάς του, προετοίμασαν το έδαφος για τη στατιστική θερμοδυναμική —που αργότερα αναπτύχθηκε από τον Ούγγρο φυσικό Leo

Szilard (1898-1964) και άλλους— καθώς και για μια γενική θεωρία των στοχαστικών διαδικασιών.

Ο πλήρης τίτλος του τέταρτου άρθρου, που υποβλήθηκε στο *Annalen der Physik* τον Ιούνιο του 1905, είναι *Για την ηλεκτροδυναμική των κινούμενων σωμάτων*.<sup>2</sup> Το άρθρο αρχίζει με τη διατύπωση μιας μεθοδολογικής αντίρρησης στην κυρίαρχη ερμηνεία της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Η κίνηση ενός αγωγού ως προς έναν μαγνήτη και, αντίστροφα, η κίνηση του μαγνήτη ως προς τον αγωγό έχουν ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό. Αλλά σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία εκείνης της εποχής, αυτά τα δύο φαινόμενα εξηγούνταν με διαφορετικό τρόπο. Στην πρώτη περίπτωση, η εμφάνιση ρεύματος στον αγωγό θεωρούνταν αποτέλεσμα της δημιουργίας μιας ηλεκτρεγερτικής δύναμης στα άκρα του αγωγού. Στη δεύτερη περίπτωση, το ρεύμα προέκυπτε λόγω της δημιουργίας ενός ηλεκτρικού πεδίου στον χώρο όπου βρισκόταν ο αγωγός. Κατά τον Αϊνστάιν, όμως, οι ερμηνείες των δύο αυτών φαινομένων δεν έπρεπε να παρουσιάζουν καμία ουσιαστική διαφορά, αφού πρόκειται για διαφορετικές εκφάνσεις του ίδιου φαινομένου, δηλαδή της σχετικής κίνησης μεταξύ του αγωγού και του μαγνήτη. Ήδη, λοιπόν, από την πρώτη παράγραφο της εργασίας του καθιστά σαφές την μεγάλη σημασία που δίδει στη σχετική κίνηση και μας προϊδεάζει, μέσω αυτής της παρατήρησης, ότι θα θέσει υπό αμφισβήτηση την εγκυρότητα της απόλυτης κίνησης (ως προς τον αιθέρα).

Ο κυρίαρχος, λοιπόν, προβληματισμός του Αϊνστάιν εστιάζεται σε κάτι που ήταν γνωστό σε όλους τους φυσικούς: στο ότι η ηλεκτρομαγνητική θεωρία

<sup>2</sup> Μιλώντας με την αυστηρή σημασία των λέξεων, είναι αναχρονιστικό να αναφερόμαστε στο άρθρο αυτό του Αϊνστάιν με τον όρο «θεωρία της σχετικότητας». Τον όρο «Relativtheorie» τον χρησιμοποίησε το 1906 ο Planck σε μια διάλεξή του, αναφερόμενος στις εξισώσεις Lorentz-Einstein για την κίνηση του ηλεκτρονίου. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε περιστασιακά για αρκετά ακόμη χρόνια. Τον όρο «Relativitätstheorie» τον εισήγαγε για πρώτη φορά ο Γερμανός φυσικός H. Bucherer, κατά την συζήτηση που ακολούθησε τη διάλεξη του Planck. Ο όρος αυτός εμφανίστηκε σε ένα άρθρο του Ehrenfest και υιοθετήθηκε από τον Αϊνστάιν το 1907, στην απάντησή του στο άρθρο αυτό. Μολονότι, στη συνέχεια, ο Αϊνστάιν χρησιμοποίησε τον όρο αυτόν αρκετές φορές, εξακολούθησε να διατηρεί τον όρο «Relativitätsprinzip» στους τίτλους των άρθρων του. Το 1910 ο μαθηματικός Felix Klein πρότεινε το όνομα «Invariantentheorie» (θεωρία των αναλλοιώτων), αλλά η πρόταση αυτή δεν υιοθετήθηκε από κανένα φυσικό. Το 1915 ο Αϊνστάιν αρχίζει να αναφέρεται στο προηγούμενο έργο του ως «ειδική θεωρία σχετικότητας», σε αντιδιαστολή προς τη «γενική θεωρία».

φαινόταν να είναι ασύμβατη με την αρχή της σχετικότητας. Σε αντίθεση, όμως, με πάρα πολλούς φυσικούς, ο Αϊνστάιν πίστευε ότι η αρχή της σχετικότητας αποτελούσε θεμελιώδες χαρακτηριστικό της κλασικής μηχανικής και, σύμφωνα με τις γενικότερες πεποιθήσεις του, του φυσικού κόσμου. Η άρση, λοιπόν, της αντίφασης ανάμεσα στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία και στην αρχή της σχετικότητας που αποτελούσε στοιχείο της πραγματικότητας, κατά τον Αϊνστάιν εκείνη την εποχή, θα γινόταν με αλλαγές στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία και όχι με την αμφισβήτηση της καθολικής εγκυρότητας της αρχής της σχετικότητας. Η πεποίθησή του αυτή είχε ενισχυθεί και από εμπειρικά δεδομένα: εκείνο που για άλλους φυσικούς ήταν αδυναμία πειραματικού εντοπισμού του αιθέρα, για τον Αϊνστάιν αποτελούσε συνέπεια της εμπειρικής αλήθειας σχετικά με τη δομή της φύσης που εξέφραζε η αρχή της σχετικότητας. Ενώ ο Αϊνστάιν αναφέρεται στις «ανεπιτυχείς προσπάθειες να ανιχνευθεί μια κίνηση της Γης» ως προς τον αιθέρα, δεν αναφέρεται ρητώς στα πειράματα των Michelson και Morley. Είναι πιθανόν η διατύπωσή του να αναφέρεται σε άλλα πειράματα που ανεπιτυχώς προσπάθησαν να ανιχνεύσουν μια τέτοια κίνηση — π.χ. του Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819-1896) το 1851 και του Martinus von Hoek (1834-1873) το 1868. Είναι σαφές ότι αυτή η «αίσθηση» της πραγματικότητας που είχε ο Αϊνστάιν τον οδήγησε στην διαμόρφωση μιας στρατηγικής προς την αντίθετη κατεύθυνση με αυτήν που είχαν υιοθετήσει οι άλλοι φυσικοί που προβληματίζονταν πάνω στα ίδια ζητήματα. Η στρατηγική αυτή αφορούσε τον τρόπο εφαρμογής της αρχής της σχετικότητας, τις συνέπειες που προέκυπταν από την καθολική ισχύ της και, κυρίως, τις αλλαγές που έπρεπε να γίνουν στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία για να γίνει συμβατή με αυτήν την αρχή. Παρά την συγκεκριμένη αδυναμία της ηλεκτροδυναμικής θεωρίας, ο Αϊνστάιν, δεν πίστευε ότι η νευτώνεια μηχανική είναι «ανώτερη» από την ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Η ειδική θεωρία της σχετικότητας επέφερε σοβαρότατες διαφοροποιήσεις στο εννοιολογικό πλαίσιο και των δύο θεωριών\_ και, λίγα χρόνια αργότερα, η γενική θεωρία σχετικότητας θα επέφερε ριζικές αλλαγές και στη νευτώνεια μηχανική.

Η απαίτηση ότι κάθε θεωρητική περιγραφή οποιουδήποτε φαινομένου πρέπει να είναι συμβατή με την αρχή της σχετικότητας — που είχε ελεγχθεί με τόσο μεγάλη επιτυχία και ακρίβεια στη νευτώνεια μηχανική— συνοδεύθηκε από τον Αϊνστάιν με τη διατύπωση μιας άλλης αρχής που είχε την αφετηρία της στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell. Στη θεωρία αυτή η ταχύτητα του φωτός είναι ανεξάρτητη από την ταχύτητα της φωτεινής πηγής και έχει μια συγκεκριμένη τιμή στο ακίνητο πλαίσιο αναφοράς του αιθέρα. Ο Αϊνστάιν



ανήγαγε σε αρχή τη σταθερότητα της ταχύτητας του φωτός, χωρίς καμία αναφορά στον αιθέρα. Η παραδοχή ότι η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς οδηγούσε αναγκαστικά σε ριζικές αλλαγές: θα έπρεπε να αναθεωρηθεί η ακρογωνιαία λίθος της νευτώνειας κινηματικής, που είναι η (διανυσματική) πρόσθεση των ταχυτήτων. Στην εργασία του Αϊνστάιν η αναθεώρηση αυτή συνδυάζεται με την ανατροπή πεποιθήσεων που θεωρούνταν εδραιωμένες πέρα από κάθε αμφιβολία: η έννοια του ταυτοχρόνου εμπειρείχε εξαιρετικά προβληματικές παραδοχές και η προσεκτική ανάλυσή της με βάση τις δύο αρχές της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας επέβαλε εντελώς νέες παραδοχές για τις μετρήσεις διαστημάτων — χωρικών και χρονικών. Όπως προκύπτει από την ανάλυση του Αϊνστάιν, δύο συμβάντα που είναι ταυτόχρονα για έναν παρατηρητή δεν είναι ταυτόχρονα για άλλους παρατηρητές που κινούνται ως προς αυτόν. Αφού οι μετρήσεις μήκους απαιτούν τον ταυτόχρονο καθορισμό των θέσεων των δύο άκρων ενός αντικειμένου, η σχετικότητα του ταυτοχρόνου συνεπάγεται την σχετικότητα του μήκους.

Έτσι η ανάγκη μιας πιο «σύμμετρης» (επαν)ερμηνείας δύο φαινομένων, το ένα εκ των οποίων προκαλείται από την κίνηση ενός αγωγού ως προς έναν μαγνήτη και το άλλο από την κίνηση του μαγνήτη ως προς τον αγωγό, οδήγησε τον Αϊνστάιν σε έναν συσχετισμό φαινομενικά ασύνδετων στοιχείων: της σχετικότητας της κίνησης, της ταχύτητας του φωτός, του ταυτοχρόνου δύο γεγονότων, της μέτρησης των αποστάσεων και της μέτρησης του χρόνου. Η ανάδειξη ορισμένων από αυτά τα στοιχεία σε νέες αρχές της φυσικής και ο ριζικός μετασχηματισμός των υπολοίπων υπονόμισαν βαθιά εδραιωμένες αντιλήψεις για τη δομή της φύσης και αποτέλεσαν μία από τις ριζοσπαστικότερες ανατροπές στην ιστορία της ανθρώπινης σκέψης.

«Περίεργως», το πιο γνωστό συμπέρασμα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας δεν συμπεριλαμβάνεται στην αρχική εργασία του Αϊνστάιν. Ο ευρύτατα γνωστός τύπος  $E = mc^2$  και σήμα κατατεθέν της φυσικής του 20ού αιώνα περιέχεται σε μια εργασία του Αϊνστάιν που στάλθηκε στο *Annalen der Physik* λίγους μήνες αργότερα, τον Σεπτέμβριο του 1905. Η δισέλιδη εργασία έχει ως τίτλο ένα ερώτημα: Εξαρτάται η αδράνεια ενός σώματος από την ενέργειά του; Κατά τον Αϊνστάιν «το πολύ ενδιαφέρον συμπέρασμα... [είναι ότι] η μάζα ενός σώματος είναι ένα μέτρο του ενεργειακού του περιεχομένου». Θεωρεί πως είναι δυνατός ο πειραματικός έλεγχος του αποτελέσματος και διατυπώνει την υπόθεση πως «αν η θεωρία συμφωνεί με τα γεγονότα, τότε η ακτινοβολία μεταφέρει αδράνεια μεταξύ των σωμάτων που εκπέμπουν και των σωμάτων που απορροφούν». (Βλ. Stachel 2000). Σε μια ομιλία του στο Salzburg, το 1909, ο



Αϊνστάιν τόνισε ότι η αδρανειακή μάζα είναι μια ιδιότητα κάθε μορφής ενέργειας και, επομένως, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει μάζα. Μάλιστα, το συμπέρασμα αυτό ενίσχυε την πεποίθησή του ότι τα φωτεινά κβάντα εμφανίζουν σωματιδιακές ιδιότητες.

Την ιστορική μελέτη της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας την έχουν συνδιαμορφώσει η προβληματική του δημιουργού της, έτσι όπως αυτή αποτυπώθηκε στην αρχική του εργασία, οι σημειώσεις του, η αλληλογραφία του με άλλους και οι λογής-λογής μαρτυρίες του. Σχεδόν το σύνολο όσων γνωρίζουν έστω και ελάχιστα στοιχεία της θεωρίας, τα έχουν διδαχθεί μέσω διδακτικών συγγραμμάτων. Αλλά, ενώ τα διδακτικά εγχειρίδια μπορούν να παίξουν έναν συμπληρωματικό ρόλο για την κατανόηση ορισμένων ιστορικών προβλημάτων, δύσκολα μπορούν να βοηθήσουν στην διερεύνηση των απαρχών μιας θεωρίας. Ο λόγος είναι πως το κάθε διδακτικό εγχειρίδιο είναι γραμμένο για ένα συγκεκριμένο κοινό, και για την συγγραφή του επιστρατεύονται μέθοδοι με στόχο την όσο το δυνατόν πιο άρτια εκπαίδευση αυτού του κοινού. Οι παιδαγωγικές, όμως, επιδιώξεις συνήθως δεν επιτυγχάνονται με την πιστή αναπαραγωγή της ιστορίας. Αυτό έχει γίνει και με την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Σε πάρα πολλά διδακτικά βιβλία η ειδική θεωρία της σχετικότητας εισάγεται μετά την περιγραφή του πειράματος των Michelson-Morley. Στα βιβλία αυτά αναφέρεται πως η μηδενική ταχύτητα που προέκυψε από το πείραμα των Michelson-Morley (και την οποία καμία από τις υπάρχουσες θεωρίες δεν μπορούσε να ερμηνεύσει) εξηγήθηκε από την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Με αυτόν τον τρόπο αφήγησης δημιουργείται η εντύπωση πως η εξέλιξη της επιστήμης ακολουθεί το εξής σχήμα: πειραματικά αποτελέσματα που δεν είναι δυνατόν να εξηγηθούν με τις υπάρχουσες θεωρίες· διατύπωση μιας νέας θεωρίας που εξηγεί αυτά τα αποτελέσματα όπως και όλα όσα εξηγούσαν οι υπάρχουσες θεωρίες· πρόβλεψη νέων φαινομένων από την καινούργια θεωρία· πειραματική επιβεβαίωση της πρόβλεψης. Αυτό το σχήμα, παρά το γεγονός ότι ισχύει για ορισμένες περιπτώσεις στην ιστορία των επιστημών, είναι εντελώς αποπροσανατολιστικό στην περίπτωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Όπως υποστηρίζει ο Gerald Holton, στο άρθρο που δημοσιεύουμε στην ανά χείρας έκδοση, ο Αϊνστάιν ούτε καν θυμόταν αν γνώριζε το πείραμα των Michelson-Morley όταν έγραφε την εργασία του. Επίσης, σύμφωνα με συνέντευξη του ίδιου του Αϊνστάιν, ακόμη και αν το γνώριζε, οπωσδήποτε δεν του έδωσε την σημασία που του δίνουμε εμείς σήμερα. Εξ άλλου, η εργασία του δομείται γύρω από εντελώς διαφορετικούς προβληματισμούς και δεν έχει στόχο της να εξηγήσει το μηδενικό αποτέλεσμα του

πειράματος των Michelson-Morley. Ας προσθέσουμε, όμως, αμέσως το εξής: η διδασκαλία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη αν ακολουθούσαμε τη δομή της εργασίας του Αϊνστάιν. Ενώ εάν συνδεθεί με το πείραμα των Michelson-Morley, η εισαγωγή στην ειδική θεωρία της σχετικότητας γίνεται πολύ πιο αποτελεσματική.

Ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις όπου η διατύπωση μιας θεωρίας σε ένα διδακτικό εγχειρίδιο συμπίπτει με την αρχική διατύπωση της. Τα διδακτικά βιβλία της φυσικής έχουν ως στόχο να παρουσιάσουν τις θεωρίες έτσι, ώστε να γίνουν κατανοητές οι έννοιες, να μπορεί να διδαχθούν οι τεχνικές επίλυσης προβλημάτων με τον απλούστερο δυνατό τρόπο κ.λπ. Με άλλα λόγια, τα διδακτικά βιβλία έχουν —και πρέπει να έχουν— έναν παιδαγωγικό στόχο: να αποτελέσουν το αναγκαίο και αποτελεσματικό συμπλήρωμα της διδασκαλίας στην τάξη και στο εργαστήριο. Η διατύπωση μιας θεωρίας σε ένα διδακτικό βιβλίο είναι διαδικασία ανάδειξης του αρχέτυπου λόγου της θεωρίας, απογυμνωμένου από κάθε τοπικό και συχνά ιστορικό στοιχείο που θεωρείται εμπόδιο στην ανάδειξη της καθολικότητας του επιστημονικού λόγου. Αυτό είναι απολύτως αναγκαίο για να είναι αποτελεσματική η μετάδοση των γνώσεων. Στην ιστορία της επιστήμης, αντίθετα, σημασία έχει η κατανόηση των *διαφοροποιήσεων και αποκλίσεων από τον αρχέτυπο λόγο που καθιερώνεται με την ενσωμάτωση μιας θεωρίας στα διδακτικά βιβλία*. Αλλά η παιδαγωγικά πιο πρόσφορη προσέγγιση επηρεάζει την αίσθηση που αποκτούμε για την ιστορική εξέλιξη των θεωριών. Το πρόβλημα μπορεί να είναι ακόμη πιο σοβαρό —όπως στην περίπτωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας— όταν η παιδαγωγικά προσφορότερη προσέγγιση είναι αντίθετη με την ιστορική πραγματικότητα. Ας μην ξεχνούμε όμως ότι τα διδακτικά βιβλία έχουν ως στόχο τη διδακτική αποτελεσματικότητα. Και θα κριθούν ως προς αυτό. Δεν είναι βιβλία ιστορίας των επιστημών και δεν είναι δυνατόν να παίξουν και τους δύο ρόλους.

Ας συνοψίσουμε τα κύρια σημεία που χαρακτηρίζουν τους προβληματισμούς των Αϊνστάιν, Lorentz και Poincaré σχετικά με τον ηλεκτρομαγνητισμό. Η ειδική θεωρία της σχετικότητας διατυπώθηκε από τον Αϊνστάιν το 1905. Γνωρίζουμε, όμως, ότι από τις αρχές του αιώνα ο Lorentz και ο Poincaré είχαν αρχίσει να διαμορφώνουν ένα πλαίσιο προβληματισμού το οποίο περιείχε πολλά στοιχεία της μετέπειτα θεωρίας της σχετικότητας. Οι έρευνες του Lorentz είχαν ως αφετηρία το μηδενικό αποτέλεσμα των πειραμάτων των Michelson και Morley, που στόχευαν στον εντοπισμό ενός «αυτονόητου» φαινομένου. Μάλιστα και ο ίδιος ο Αϊνστάιν, όταν ήταν φοιτητής αλλά και μετά την αποφοίτησή του, σκεπτόταν να πραγματοποιήσει ένα ανάλογο πείραμα. Τα μηδε-

νικά αποτελέσματα δεν φαίνεται να κλόνισαν καθόλου την πίστη των φυσικών στον αιθέρα. Καθοδηγητικό στοιχείο όσων ασχολήθηκαν με αυτό το πρόβλημα ήταν η πεποίθηση για την ύπαρξή του. Ο Αϊνστάιν άλλαξε γνώμη σχετικά με την αναγκαιότητα του αιθέρα, όταν άρχισε να συνειδητοποιεί την φυσική σημασία της σχετικής κίνησης στον ηλεκτρομαγνητισμό. Στην αρχή της εργασίας του 1905 δηλώνει πως «η εισαγωγή ενός “φωτοφόρου αιθέρα” θα αποδειχθεί περιττή, καθ’όσον η άποψη που θα αναπτύξουμε δεν θα απαιτεί έναν “χώρο σε απόλυτη ηρεμία”, εξοπλισμένο με ειδικές ιδιότητες». (Βλ. Stachel 2000).

Το 1904 ο Lorentz απέδειξε ότι οι εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητισμού ήταν αναλλοίωτες ως προς μετασχηματισμούς οι οποίοι είχαν ως συνέπεια τη συστολή του μήκους και τη διαστολή του χρόνου. Όσον αφορά τη συστολή του μήκους, ο Lorentz πίστευε ότι ήταν πραγματική. Όσον αφορά, όμως, τη διαστολή του χρόνου, δεν θεωρούσε ότι ήταν πραγματική, αλλά ένα μαθηματικό αποτέλεσμα χωρίς φυσική υπόσταση. Εκείνος που θεώρησε ότι σε αυτό το συμπέρασμα υπήρχε κάτι περισσότερο από μια μαθηματική σχέση ήταν ο Poincaré. Το 1905, παρατήρησε ότι η αποδοχή των μετασχηματισμών του Lorentz απαιτεί μια νέα ανάλυση της διαδικασίας μέτρησης, την οποία όμως δεν επιχείρησε. Ο Lorentz και ο Poincaré ήταν αθεράπευτα αλλά και δημιουργικά προσκολλημένοι στην κλασική φυσική. Ο Αϊνστάιν δεν είχε ενδιασμούς να την αμφισβητήσει από τη στιγμή που συνειδητοποίησε ότι μπορούσε έτσι να εξηγήσει κλασικά φαινόμενα με πολύ πιο ικανοποιητικό, για τον ίδιο, τρόπο. Ταυτοχρόνως, η προσέγγιση αυτή οδηγούσε σε άλλα αποτελέσματα που δεν είχαν καμία σχέση με τη γενικότερη λογική της κλασικής φυσικής. Παραδείγματος χάριν, όλοι θεωρούσαν ότι έπρεπε να αναμορφωθεί η ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Ο Αϊνστάιν, όμως, επέλεξε να την αναμορφώσει μέσω της επανερμηνείας ενός φαινομένου που ανεδείκνυε την αποφασιστική σημασία της σχετικής κίνησης και του οποίου η υπάρχουσα ερμηνεία ήταν, για τον ίδιο, αισθητικά ενοχλητική. Κανείς δεν ήταν τόσο κατηγορηματικός για την καθολική ισχύ των δύο αξιωμάτων της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας όσο ο Αϊνστάιν. Και παρά τις παρατηρήσεις του Poincaré για τις ασάφειες που εμπειρείχε ο (φιλοσοφικός, τελικά) ορισμός του ταυτοχρόνου, ο Αϊνστάιν κατέληξε σε έναν φυσικό ορισμό του ταυτοχρόνου. Οι μαθηματικές σχέσεις που αφορούσαν τις μετρήσεις χωρικών αποστάσεων και χρονικών διαρκειών παρουσίαζαν σοβαρές δυσκολίες ως προς την ερμηνεία τους, διότι ο Lorentz και ο Poincaré δεν αμφισβήτησαν τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του πλαισίου στο οποίο ανέπτυσαν τον προβληματισμό τους. Ο Αϊνστάιν δεν αντιμετώπισε καμία ερμηνευτική δυσκολία, αφού δεν θεώρησε την ανατροπή του πλαισίου ως

κάτι που έπρεπε να αποφευχθεί πάση θυσία — πίστευε ακράδαντα πως υπήρχαν αρχές που εξέφραζαν την φυσική πραγματικότητα και πως οι φυσικοί έπρεπε να τις αναδεικνύουν και να δέχονται τις επιπτώσεις τους. Τέλος, η ισοδυναμία της μάζας με την ενέργεια ήταν ένα αποτέλεσμα που προέκυπτε αμιγώς από τα αξιώματα και τις υποθέσεις της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας.

Είναι, προφανώς, λάθος να ισχυριστούμε ότι όλα τα αποτελέσματα της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας εμφανίστηκαν για πρώτη φορά με την γνωστοποίηση της από τον Αϊνστάιν το 1905. Και είναι, επίσης, λάθος να πιστεύουμε ότι δεν υπήρχαν άλλοι φυσικοί με το έργο των οποίων δοκιμάστηκαν οι αντοχές των ορίων της κλασικής φυσικής. Η συνολική, όμως, προβληματική του Αϊνστάιν και η αριστοτεχνική ερμηνεία διαφόρων φαινομένων στην ειδική θεωρία της σχετικότητας επέφεραν ανατροπές στις πιο διαδεδομένες συνήθειές μας και στις πιο αυτονόητες συμβάσεις μας στη φυσική: στο πώς μετρούμε τα διαστήματα και τις χρονικές διάρκειες.

Η κλασική φυσική δεν ήταν ποτέ τόσο ανυπεράσπιστα όσο μετά το 1905.

#### ΟΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η (ειδική και γενική) θεωρία της σχετικότητας οδήγησε σε σημαντική αναθεώρηση των παραδοσιακών φιλοσοφικών προβλημάτων σχετικά με τη φύση του χώρου και του χρόνου. Ο χώρος και ο χρόνος ήταν αντικείμενο φιλοσοφικού στοχασμού από την αρχαιότητα. Ο νεότερος προβληματισμός για τη φύση του χώρου και του χρόνου έχει τις ρίζες του στον 17ο αιώνα, όταν διαμορφώθηκε η νευτώνεια μηχανική. Ο Νεύτωνας υποστήριζε μια απολυτοκρατική αντίληψη του χώρου και του χρόνου. Δηλαδή θεωρούσε ότι ο χώρος και ο χρόνος ήταν αυθύπαρκτες οντότητες, των οποίων η υπόσταση ήταν ανεξάρτητη τόσο από τα υλικά αντικείμενα όσο και από τις φυσικές διαδικασίες. Έγραφε στο *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* (Μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας) το 1687:

- I. Ο απόλυτος, αληθής, και μαθηματικός χρόνος, αφ'εαυτού, και εκ της φύσεως του, ρέει ομοιόμορφα, ανεξάρτητα από καθετί το εξωτερικό, και με ένα άλλο όνομα αποκαλείται διάρκεια.
- II. Ο απόλυτος χώρος, από τη φύση του, ανεξάρτητα από καθετί το εξωτερικό, παραμένει πάντοτε όμοιος και αμετακίνητος (Newton 1934, 6).

Ο χώρος και ο χρόνος, σύμφωνα με την απολυτοκρατική αντίληψη, είναι τα «δοχεία» εντός των οποίων περιέχονται τα υλικά αντικείμενα και εκτυλίσσονται οι φυσικές διεργασίες.

Αντίθετα, ο μεγάλος μαθηματικός και φιλόσοφος Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) υποστήριζε μια σχεσιοκρατική θεώρηση του χώρου και του χρόνου. Δηλαδή θεωρούσε, αφ' ενός, ότι ο χώρος ήταν το σύνολο των χωρικών σχέσεων μεταξύ των υλικών αντικειμένων και, αφ' ετέρου, ότι ο χρόνος ήταν το σύνολο των χρονικών σχέσεων μεταξύ των διαφόρων συμβάντων. Ο χώρος και ο χρόνος, σύμφωνα με τη σχεσιοκρατική αντίληψη, δεν υπάρχουν ανεξάρτητα από τα υλικά αντικείμενα και τις φυσικές διεργασίες.

Το 1715-1716 ο Νεύτωνας και ο Leibniz ενεπλάκησαν σε μια έντονη διαμάχη, που μεταξύ άλλων αφορούσε και τη φύση του χώρου και του χρόνου. Η διαμάχη εκτυλίχθηκε μέσω της αλληλογραφίας μεταξύ του Leibniz και του Samuel Clarke (1675-1729), μαθητή και φερεφώνου του Νεύτωνα. Η έκβαση της διαμάχης ήταν, κατά γενική ομολογία, υπέρ του Νεύτωνα, ο οποίος διατύπωσε μια σειρά από νοητικά πειράματα και με ευφυέστατα επιχειρήματα υποστήριξε την αυτόνομη ύπαρξη του χώρου. Στόχος αυτών των επιχειρημάτων ήταν να καταδειχθεί ότι ο χώρος επιδρά αιτιακά πάνω στα υλικά αντικείμενα. Ας σκεφθούμε, παραδείγματος χάριν, έναν κάδο γεμάτο με νερό. Όταν ο κάδος είναι ακίνητος, ως προς τον απόλυτο χώρο, τότε η επιφάνεια του νερού που περιέχει είναι επίπεδη. Αν ο κάδος περιστραφεί, δηλαδή εκτελέσει επιταχυνόμενη κίνηση ως προς τον χώρο, τότε θα εμφανιστούν οι λεγόμενες αδρανειακές δυνάμεις, λόγω των οποίων η επιφάνεια του νερού θα αρχίσει να ανυψώνεται στα τοιχώματα του κάδου. Αυτό θα συμβεί, σύμφωνα με τον Νεύτωνα, ακόμη και αν ο κάδος είναι το μοναδικό αντικείμενο που υπάρχει στο Σύμπαν, πράγμα που δείχνει ότι η εμφάνιση αδρανειακών δυνάμεων, εξαιτίας της επιταχυνόμενης κίνησης ενός αντικειμένου ως προς τον απόλυτο χώρο, είναι προϊόν της αιτιακής δράσης του χώρου πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Η απολυτοκρατική θέση του Νεύτωνα σχετικά με τον χώρο παρέμεινε κυρίαρχη έως και τον 19ο αιώνα, όταν αμφισβητήθηκε από τον Αυστριακό φυσικό και φιλόσοφο Ernst Mach (1838-1916). Ο Mach αντιτασσόταν στη χρήση νοητικών πειραμάτων, τα οποία θεωρούσε ότι στερούνται εμπειρικού περιεχομένου. Απέρριψε, λοιπόν, την συλλογιστική του Νεύτωνα, αφού τα συμπεράσματά του βασιζόνταν σε ένα νοητικό πείραμα όπου το μόνο υλικό σώμα που υπήρχε στο Σύμπαν ήταν ο περιστρεφόμενος κάδος. Ο Mach, προσπαθώντας να δώσει μια ερμηνεία στο φαινόμενο της ανύψωσης της επιφάνειας του νερού στα τοιχώματα του κάδου, επισήμανε ότι η περιστροφή ενός κάδου στον

πραγματικό κόσμο γίνεται πάντοτε ως προς κάποιο σύστημα αναφοράς: παραδείγματος χάριν, ως προς το σύστημα αναφοράς που αποτελούν οι απλανείς αστέρες. Έτσι, λοιπόν, κάθε πραγματικό πείραμα με έναν περιστρεφόμενο κάδο δεν δείχνει, κατ'ανάγκη, ότι η εμφάνιση αδρανειακών δυνάμεων οφείλεται στον απόλυτο χώρο. Μπορεί να είναι αποτέλεσμα της επιταχυνόμενης κίνησης του κάδου ως προς τους απλανείς αστέρες ή, γενικότερα, της επιταχυνόμενης κίνησης του κάδου ως προς την κατανομή των μαζών που υπάρχουν στο Σύμπαν. (Βλ. Sklar 1992). Η κριτική του Mach κατά της Νευτώνειας, απολυτοκρατικής αντίληψης του χώρου αποτέλεσε ένα από τα εναύσματα για τη δημιουργία της γενικής θεωρίας της σχετικότητας από τον Αϊνστάιν, όπως ομολογεί ο ίδιος στις «Αυτοβιογραφικές Σημειώσεις», οι οποίες είναι ένα από τα κείμενα που έχουμε συμπεριλάβει στο ανά χείρας βιβλίο.

Ένα άλλο ερώτημα σχετικά με τον χώρο αφορά τη δομή του. Έως τις αρχές του 19ου αιώνα ήταν κοινώς αποδεκτό ότι η δομή του χώρου εκφράζεται από τα αξιώματα της ευκλείδειας γεωμετρίας. Ο Καντ, στα *Προλεγόμενα σε κάθε μελλοντική μεταφυσική* (1783) και στην *Κριτική του καθαρού λόγου* (1781, 1787), είχε θεμελιώσει φιλοσοφικά αυτήν την άποψη, υποστηρίζοντας ότι ο χώρος και ο χρόνος δεν αφορούν τα «πράγματα καθ'εαυτά», αλλά την οργάνωση των δεδομένων της εμπειρίας από τον ανθρώπινο νου. Η ευκλείδεια γεωμετρία, επομένως, ανακλά τη δομή αυτής της νοητικής λειτουργίας. Έτσι εξηγείται και η αναγκαιότητα των αξιωμάτων της (το γεγονός ότι αποτελούν συνθετικές *a priori* κρίσεις). Η καντιανή άποψη για τον χώρο και τον χρόνο δέχθηκε ένα πλήγμα με την εμφάνιση μη ευκλείδειων γεωμετριών τον 19ο αιώνα, που σταδιακά οδήγησαν στη διάκριση της γεωμετρίας ως αξιωματικού συστήματος από τη «φυσική γεωμετρία» που περιγράφει τη δομή του φυσικού χώρου. Αυτή η διάκριση έγινε απολύτως σαφής με τη συγκρότηση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας, η οποία αποδίδει μία μη ευκλείδεια δομή στον φυσικό χώρο ή, για να είμαστε ακριβείς, στον χωρόχρονο.

Η απολυτοκρατική αντίληψη του χρόνου παρέμεινε ακλόνητη έως τη δημιουργία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Σύμφωνα με αυτήν την αντίληψη, ο χρόνος ρέει με τον ίδιο ρυθμό για όλους τους παρατηρητές, ανεξάρτητα από τη σχετική τους κίνηση. Έπεται ότι οι κρίσεις ενός παρατηρητή σχετικά με το ταυτόχρονο δύο συμβάντων δεν εξαρτώνται από την κινητική του κατάσταση. Στα τέλη του 19ου αιώνα, όμως, ο καθορισμός του ταυτοχρόνου έπαυσε να αποτελεί ένα αμιγώς φιλοσοφικό πρόβλημα και απέκτησε πρακτική διάσταση όταν προέκυψε η ανάγκη συγχρονισμού δύο χωρικών απομακρυσμένων ρολογιών. Η ανάγκη αυτή, όπως υποστηρίζει ο Peter Galison στο άρ-



θρο που περιέχεται στην ανά χείρας έκδοση, ήταν σύμφυτη με τις τεχνολογικές εξελίξεις κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα (συγκεκριμένα, με την επέκταση του σιδηροδρομικού δικτύου, την ανάγκη συγχρονισμού των ρολογιών σε διαφορετικούς σταθμούς και την εφεύρεση και διάδοση του τηλεγράφου), καθώς και με τις προσπάθειες χαρτογράφησης της Γης. Καθοριστικό ρόλο εδώ έπαιξε ο Poincaré, ο οποίος στη δεκαετία του 1890 διετέλεσε πρόεδρος του *Bureau des Longitudes*, της γαλλικής Υπηρεσίας για τον καθορισμό του γεωγραφικού μήκους. Ο ακριβής προσδιορισμός του γεωγραφικού μήκους μιας τοποθεσίας, ως προς έναν ορισμένο μεσημβρινό, απαιτούσε τον συγχρονισμό ρολογιών που απείχαν πολύ μεταξύ τους.

Ο Αϊνστάιν είχε σημαντική φιλοσοφική παιδεία και έντονες φιλοσοφικές ανησυχίες. Στα μαθητικά και φοιτητικά του χρόνια είχε μελετήσει τα γραπτά των Hume, Kant, Mach και Poincaré. Είχε επηρεαστεί έντονα από την εμπειριστική γνωσιολογία του Hume και την κριτική της έννοιας του απόλυτου χώρου από τον Mach. Είναι δυνατόν να διακρίνει κανείς την επίδραση αυτή στην εργασία του Αϊνστάιν για την «Ηλεκτροδυναμική των κινούμενων σωμάτων». Ένα σημαντικό, ίσως το πιο σημαντικό, μέρος της εργασίας αυτής περιέχει μια εννοιολογική ανάλυση του χρόνου και, συγκεκριμένα, του ταυτοχρόνου. Ιδού δύο χαρακτηριστικά αποσπάσματα:

Για να περιγράψουμε την *κίνηση* ενός σωματιδίου, δίδουμε τις τιμές των συντεταγμένων του ως συναρτήσεις του χρόνου. Εν τούτοις δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι μια μαθηματική περιγραφή αυτού του είδους έχει φυσικό νόημα μόνον αν γνωρίζουμε με σαφήνεια τί εννοούμε ως «χρόνο». Πρέπει να έχουμε κατά νουν ότι κάθε εκτίμησή μας που περιέχει «χρόνο» είναι πάντα μία κρίση για *ταυτόχρονα συμβάντα*. Εάν, παραδείγματος χάριν, λέω ότι «το τραίνο φθάνει εδώ στις 7», αυτό σημαίνει ουσιαστικά ότι «το να βρεθεί ο λεπτοδείκτης του ρολογιού μου στις 7 και η άφιξη του τραίνου είναι ταυτόχρονα συμβάντα. (Βλ. Stachel 2000, 116).

Ο «χρόνος» ενός συμβάντος είναι η σύγχρονη ανάγνωση ενός ρολογιού εν ηρεμία στη θέση του συμβάντος και το οποίο, για κάθε προσδιορισμό του χρόνου, είναι συγχρονισμένο με ένα ορισμένο ακίνητο ρολόι, το χαρακτηριστικό ρολόι. (Βλ. Stachel 2000, 118).

Η σχετικοποίηση του ταυτόχρονου ήταν το πρώτο βήμα για τη συγκρότηση μιας διαφορετικής σύλληψης του χρόνου και του χώρου. Ο χρόνος παύει να θεωρείται απόλυτη οντότητα και σχετικοποιείται ως προς κάποιο σύστημα αναφοράς. Ο χώρος και ο χρόνος παύουν να έχουν ανεξάρτητη υπόσταση και,



σύμφωνα με τον Hermann Minkowski (1864-1909), τον Γερμανό μαθηματικό που διατύπωσε μία γεωμετρική αναπαράσταση του χωροχρόνου αποτελούν πτυχές μίας ενιαίας οντότητας, του χωροχρόνου. Η περαιτέρω γενίκευση της αρχής της σχετικότητας σε μη αδρανειακά συστήματα επέφερε και άλλες ριζικές αλλαγές στην έννοια του χωροχρόνου. Στη γενική θεωρία της σχετικότητας η μαθηματική δομή του χωροχρόνου εξαρτάται από την κατανομή της μάζας στο Σύμπαν. Ύλη και χωροχρόνος παύουν να θεωρούνται ως ανεξάρτητες οντότητες. Η κατανομή της ύλης καθορίζει τη δομή του χωροχρόνου και, αντίστροφα, η δομή του χωροχρόνου καθορίζει την κίνηση της ύλης. Υπό μία έννοια, η σχετικιστική θεώρηση του χωροχρόνου είναι σχεσιοκρατική, αφού συγκροτείται από τις χωροχρονικές σχέσεις μεταξύ των υλικών αντικειμένων. Υπό μία άλλη έννοια, όμως, ο χωροχρόνος στη γενική θεωρία της σχετικότητας μετατρέπεται σε κάτι ουσιαστικό, αφού καθορίζει τις τροχιές των υλικών αντικειμένων στο εσωτερικό του.

Η θεωρία της σχετικότητας ήταν η μία από τις δύο μεγάλες επαναστάσεις στη φυσική που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της φιλοσοφίας της επιστήμης του 20ού αιώνα. Η επαγγελματική συγκρότηση του κλάδου ήταν αλληλένδετη με την ανάδυση και την επικράτηση του λογικού θετικισμού, ενός φιλοσοφικού ρεύματος που είχε την αφετηρία του στην ηπειρωτική Ευρώπη και, στην συνέχεια, μεταπήδησε στον αγγλόφωνο κόσμο. Πολλοί συμφωνούν ότι πολλά μέλη του Κύκλου της Βιέννης (λογικός θετικισμός-Carnap/Schlick) και του Κύκλου του Βερολίνου (λογικός εμπειρισμός-Reichenbach/Hempel) άρχισαν τη φιλοσοφική τους σταδιοδρομία επιχειρώντας να αναμορφώσουν την καντιανή θεωρία περί χώρου και χρόνου, υπό το φως των σημαντικών εξελίξεων στη φυσική των αρχών του 20ού αιώνα. (Βλ. Friedman 1999). Ένα πρώιμο έργο του Hans Reichenbach, παραδείγματος χάριν, είχε ως αντικείμενο τη θεωρία της σχετικότητας και την *a priori* γνώση. Έκτοτε η φύση του χώρου και του χρόνου εξακολουθεί να αποτελεί έναν από τους κεντρικούς άξονες των συζητήσεων στη φιλοσοφία της επιστήμης, και η θεωρία της σχετικότητας αποτελεί την αφετηρία του σχετικού προβληματισμού.

Ο ίδιος ο Αϊνστάιν συνέβαλε στις φιλοσοφικές συζητήσεις περί χώρου και χρόνου, είτε μέσω εκλαϊκευτικών δοκιμίων για τη θεωρία της σχετικότητας είτε μέσω κειμένων που πραγματεύονταν φιλοσοφικά ερωτήματα με πιο τεχνικό τρόπο. Το 1921, παραδείγματος χάριν, έδωσε μια διάλεξη στην Πρωσική Ακαδημία Επιστημών στο Βερολίνο, με τίτλο «Γεωμετρία και εμπειρία». Στη διάλεξη αυτή υποστήριξε ότι τα αξιώματα της γεωμετρίας είναι «ελεύθερα δημιουργήματα του ανθρώπινου νου» που δεν αφορούν τη φυσική πραγματικό-

τητα (Einstein 1983, 30). Η εφαρμογή της γεωμετρίας στον φυσικό κόσμο απαιτεί τη φυσική της ερμηνεία, δηλαδή την αντιστοίχιση των εννοιών της με «πραγματικά αντικείμενα της εμπειρίας» (Einstein 1983, 32). Οι φιλοσοφικές θέσεις του Αϊνστάιν αντιμετωπίστηκαν με μεγάλο ενδιαφέρον από τη φιλοσοφική κοινότητα. Είναι ενδεικτικό ότι ένας από τους τόμους της σειράς «The Library of Living Philosophers» («Βιβλιοθήκη των εν ζωή φιλοσόφων») είναι αφιερωμένος στον «Άλμπερτ Αϊνστάιν, φιλόσοφο-επιστήμονα» (βλ. Schilpp 1949) και περιλαμβάνει άρθρα σημαντικών φιλοσόφων, π.χ. των Hans Reichenbach και Gaston Bachelard.

Παραδείγματος χάριν, στο πολυσυζητημένο άρθρο του Reichenbach, εξετάζονται οι επιπτώσεις της θεωρίας της σχετικότητας στα φιλοσοφικά προβλήματα του χώρου και του χρόνου, όπως και στο πρόβλημα του γνωσιολογικού χαρακτήρα της γεωμετρίας. (βλ. Reichenbach 1949). Ο Reichenbach υποστήριζε ότι η θεωρία της σχετικότητας είναι ασύμβατη με τη συμβασιοκρατική ερμηνεία της γεωμετρίας που είχε διατυπώσει ο Poincaré, ο οποίος θεωρούσε ότι η επιλογή της κατάλληλης γεωμετρίας για την περιγραφή του φυσικού χώρου είναι θέμα αυθαίρετης σύμβασης. Ο Reichenbach, αντίθετα, υποστήριζε ότι το ερώτημα «ποια είναι η γεωμετρία του χώρου;» έχει μία και μοναδική απάντηση, η οποία προκύπτει εμπειρικά, αρκεί να έχει προηγηθεί μια αντιστοίχιση μεταξύ γεωμετρικών εννοιών (π.χ., της ευθείας) και φυσικών οντοτήτων (π.χ., μιας φωτεινής ακτίνας). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Αϊνστάιν, στην απάντησή του προς τον Reichenbach, αναγνωρίζει τόσο το ενδιαφέρον όσο και τη σημασία των φιλοσοφικών προβλημάτων που είχε θέσει ο Reichenbach.

#### Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Οι πρώτοι ιστορικοί των επιστημών, από τα τέλη του 19ου αιώνα, ήταν οι ίδιοι επιστήμονες και, επί πλέον, ήταν απολύτως πεπεισμένοι αλλά και γοητευμένοι από τις θετικιστικές απόψεις του Auguste Comte (1798-1857). Έτσι, συγκρότησαν την εξιστόρηση των επιστημονικών εξελίξεων βάσει μιας συγκεκριμένης φιλοσοφικής θεώρησης της ιστορίας των επιστημών. Σχεδόν το σύνολο των έργων τους είχε ως στόχο να επικυρώσει επιστημολογικές προκείμενες για τον χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης και, κυρίως, να αναδείξει τη βαθμιαία επικράτηση της κατά Comte θετικής σκέψης. Το κυρίαρχο ιστοριογραφικό μοντέλο παρέμενε για πολλά χρόνια η συσσωρευτική εξέλιξη της

επιστήμης και η διαλεκτική σχέση ανάμεσα στη θεωρία και στο πείραμα, όπου οι θεωρητικές υποθέσεις και προβλέψεις ελέγχονται πειραματικά και οι τυχόν αποκλίσεις οδηγούν στην επαναδιατύπωση των θεωριών.

Η δεκαετία του 1930 είναι μια σημαντική περίοδος για την ιστοριογραφία των επιστημών, αφού αλλάζει ριζικά ο χαρακτήρας των έργων που γράφονται και εμφανίζονται οι πρώτες ιστοριογραφικές προσεγγίσεις που αποτελούν προσπάθειες υπέρβασης του θετικιστικού μοντέλου. Ο 16ος και ο 17ος αιώνας καθιερώνονται ως περίοδος των απαρχών της σύγχρονης επιστήμης και πολλοί ιστορικοί αρχίζουν να διερευνούν συστηματικά τις διαφορετικές πτυχές αυτής της περιόδου. Παρά το γεγονός ότι η θετικιστική άποψη για την επιστήμη παραμένει κυρίαρχη, υπάρχουν έργα που αμφισβητούν άμεσα τη χρησιμότητα μιας τέτοιας αντίληψης για την Ιστορία των Επιστημών. Και παρά το γεγονός ότι η κυρίαρχη ιστοριογραφική προσέγγιση εξακολουθεί να στοχεύει στην ανάδειξη της εσωτερικής συνέπειας των «μεγάλων έργων» στην Ιστορία των Επιστημών και να δίδει ιδιαίτερη σημασία στον ρόλο της μεγαλοφυΐας, αρχίζουν, ταυτοχρόνως, να μορφοποιούνται νέες ιστοριογραφικές προσεγγίσεις με κυρίαρχη την κοινωνιολογική διάσταση.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1950 αρχίζει να κλονίζεται η εικόνα της νοικοκυρεμένης επιστήμης, η οποία, επί πλέον, είχε γίνει συνώνυμη με την πρόοδο. Αρχίζουν να διατυπώνονται θέσεις που συνιστούν μια καταλυτική κριτική κατά του θετικισμού: Ότι τα θεωρούμενα ως αδιαμφισβήτητα και αντικειμενικά πειραματικά δεδομένα δεν είναι ανεξάρτητα από τις υπάρχουσες πεποιθήσεις και θεωρίες. Ότι η παραγωγή των δεδομένων απαιτεί όργανα των οποίων η δημιουργία εξαρτάται συχνά από τη θεωρία που τα πειράματα υποτίθεται ότι ελέγχουν. Ότι τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουν διαφορετικοί επιστήμονες με βάση τις παρατηρήσεις τους διαφέρουν συχνά μεταξύ τους και, ακόμη και αν οι διαφορές δεν είναι μεγάλες, είναι αρκετές για να επηρεάσουν κρίσιμες πλευρές της ερμηνείας των φαινομένων.

Το έργο του Thomas Kuhn (1922-1996) συνιστά το επιστέγασμα της συνολικής κριτικής που ασκείται κατά του θετικισμού και αποτελεί μια εναλλακτική άποψη —αν και με πολλά προβλήματα— στη θετικιστική θεώρηση του φαινομένου της επιστήμης. Η άποψη του Kuhn, διατυπωμένη το 1962 στο κλασικό πια έργο του *Η Δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων*, αναμόρφωσε ριζικά την προβληματική ενός μεγάλου αριθμού γνωστικών πεδίων και διαμόρφωσε το πλαίσιο της σύγχρονης έρευνας στην ιστορία και στη φιλοσοφία των επιστημών. Η ανάγνωση της ιστορίας των φυσικών επιστημών που μας προσέφερε ο Kuhn ανέτρεψε μακροχρόνιες πεποιθήσεις μας για τον τρόπο εξέλιξης της επιστήμης.

Οι συζητήσεις που προκάλεσε το έργο του Kuhn δεν είχαν μόνον θεωρητικό ενδιαφέρον. Ήταν αποφασιστικές για τη διαμόρφωση ενός νέου λόγου των ιστορικών και των φιλοσόφων της επιστήμης. Η ιστορικότητα της επιστήμης έγινε αναγκαίο συστατικό στοιχείο της φιλοσοφικής και θεωρητικής ανάλυσής της. Η επιχειρηματολογία του Kuhn ακύρωσε τη διαμάχη ανάμεσα στους υποστηρικτές της άποψης ότι μόνον ενδογενείς παράγοντες καθορίζουν την εξέλιξη της επιστήμης και σε όσους υποστήριζαν ότι οι εξωγενείς παράγοντες είναι κυρίαρχοι στην εξέλιξη της επιστήμης. Το έργο του Kuhn μετατόπισε τον προβληματισμό και επικέντρωσε το ενδιαφέρον μας στην καθημερινή πρακτική της επιστημονικής κοινότητας.

Η μεγάλη σημασία του βιβλίου του Kuhn για τους ιστορικούς της επιστήμης δεν έγκειται στο ότι περιέχει συνταγές για το πώς πρέπει να μελετηθεί η Ιστορία των Επιστημών, αλλά στο ότι παρέχει μια εικόνα της επιστήμης εξαιρετικά πιο σύνθετη και περίπλοκη από αυτήν που είχε καθιερωθεί μέσω της θετικιστικής θεώρησής της. Με τα ερωτήματα και τους προβληματισμούς που για πρώτη φορά τίθενται στο βιβλίο του Kuhn, και με τις πολλές και ποικίλες συζητήσεις που προκάλεσε το έργο του, άρχισαν να διαμορφώνονται νέες ιστοριογραφικές προσεγγίσεις στην Ιστορία των Επιστημών, που επέστησαν την προσοχή μας στη λειτουργία της επιστημονικής κοινότητας, στην πρακτική των επιστημόνων, στις διαδικασίες νομιμοποίησης νέων θεωριών και νέων πρακτικών, καθώς και στις πολιτισμικές πλευρές του επιστημονικού εγχειρήματος, οι οποίες αποκτούν εμφανή φυσιογνωμία μέσω των θεσμικών και κοινωνικών διεργασιών της επιστημονικής κοινότητας.

Ως αποτέλεσμα αυτών των προβληματισμών τέθηκαν νέα θέματα προς διερεύνηση και δόθηκε η δυνατότητα της εκ νέου μελέτης προβλημάτων που είχαν ήδη συζητηθεί στην Ιστορία των Επιστημών. Οι τοπικές πολιτισμικές διαφοροποιήσεις των επιστημόνων, η δημιουργία ομάδων επιστημόνων γύρω από συγκεκριμένα μοντέλα πρακτικής, ο ρόλος της παιδαγωγικής αυθεντίας και του κοινωνικού ελέγχου για την αναπαραγωγή και την ενδυνάμωση των γνωστικών πεδίων, η πιθανότητα αλλαγής του κυρίαρχου Παραδείγματος μέσω της επιθετικής τακτικής επιστημόνων που αξιοποιούν τις ανωμαλίες που αυτό αντιμετωπίζει αποτέλεσαν ορισμένες από τις συνιστώσες των νέων ιστοριογραφικών προσεγγίσεων.

Έως τις αρχές της δεκαετίας του 1960 η θεωρία της σχετικότητας δεν είχε γίνει αντικείμενο συστηματικής ιστορικής έρευνας. Οι σχετικές μελέτες που είχαν γίνει υπήρξαν κυρίως βιογραφικού χαρακτήρα και οι συγγραφείς τους ήταν, σχεδόν αποκλειστικά, φυσικοί, πολλοί εκ των οποίων είχαν προσωπική

σχέση με τον Αϊνστάιν (π.χ., Frank 1947, Reiser 1930). Επίσης, ορισμένα ιστορικά στοιχεία έβρισκε κανείς σε φιλοσοφικές μελέτες, σε πολλά έργα που επαναδιατύπωναν την ειδική θεωρία της σχετικότητας με βάση νέους μαθηματικούς φορμαλισμούς, αλλά και στις εκλαϊκευτικές προσεγγίσεις της θεωρίας. Το σύνολο, σχεδόν, των έργων αυτών προέβαλλε έναν Αϊνστάιν ταυτόσημο με το πρότυπο της μεγαλοφυΐας που τόσο συστηματικά είχε καλλιεργηθεί επί δεκαετίες: ο προικισμένος νους, ο αφηρημένος επιστήμονας που δεν έδινε καμία σημασία στην εξωτερική του εμφάνιση, ο αγαθός ανθρωπιστής, ο συναισθηματικά προβληματικός φίλος και οικογενειάρχης. Πάνω από όλα, όμως, τα έργα αυτά συναντήθηκαν με συλλογικές συνειδήσεις έτοιμες να αποδεχθούν τον μύθο της μεγαλοφυΐας και έτοιμες να συμβάλουν στην παραπέρα μυθοποίησή του. Έτσι ο Αϊνστάιν έγινε ένας από τους μεγάλους ευεργέτες της ανθρωπότητας —όπως ο Αρχιμήδης και ο Νεύτωνας—, αφού η μεγαλοφυΐα του τον οδήγησε στην ανακάλυψη της «αληθινής» δομής της φύσης. Η ιστορική έρευνα κατά τη δεκαετία του 1960 δεν στόχευε μόνον στην πειστική επεξεργασία των ερωτημάτων που η ίδια έθετε, αλλά και στη διάλυση αντίστοιχων μύθων – κάτι εξαιρετικά δυσχερές, αφού ο Αϊνστάιν ήταν όντως μια μεγαλοφυΐα συγκρίσιμη με ελάχιστα άλλα άτομα στην ιστορία των επιστημών.

Η σύγχρονη ιστορική έρευνα για τη θεωρία της σχετικότητας άρχισε ουσιαστικά με το πρωτοποριακό έργο του Gerald Holton, του οποίου το κλασικό άρθρο «Einstein, Michelson, and the ‘Crucial’ Experiment» αναδημοσιεύουμε στο ανά χειράς βιβλίο. Το άρθρο αυτό δημοσιεύθηκε το 1969 στο *Isis*, ένα από τα πιο έγκυρα διεθνή περιοδικά ιστορίας της επιστήμης. Τα κυρίαρχα στοιχεία στην ιστοριογραφική προσέγγιση του Holton είναι η ανάδειξη της εσωτερικής συνοχής της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, η ανασυγκρότηση των διαφόρων επιδράσεων στον Αϊνστάιν, οι οποίες κατά κύριο λόγο εντοπίζονται στη φυσική της εποχής, και η διερεύνηση των φιλοσοφικών πεποιθήσεών του, ώστε να γίνει καλύτερα κατανοητό το συνολικό πλαίσιο της θεωρίας. Αυτοί οι προβληματισμοί προσδιορίζουν εν πολλοίς και το είδος του αρχαιολογικού υλικού που θα μελετήσει ο ιστορικός.

Σκοπός του άρθρου του Holton ήταν να καταρρίψει τον πολύ διαδεδομένο θετικιστικό μύθο ότι αφετηρία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας ήταν το κρίσιμο πείραμα των Michelson και Morley. Στο άρθρο διατυπώνεται ένα συγκεκριμένο ερώτημα και συγκροτείται μια πειστικότερη απάντηση. Το ερώτημα είναι αν το πείραμα των Michelson και Morley οδήγησε στην ειδική θεωρία της σχετικότητας. Η τότε παραδεδομένη άποψη, που ακόμα αποτελεί την κοινή συνείδηση της πλειονότητας των φυσικών, ήταν ότι το πείραμα αυτό

κλόνισε τα θεμέλια της κλασικής φυσικής, αναδεικνύοντας τα αδιέξοδα της θεωρίας του αιθέρα, του υποτιθέμενου μέσου εντός του οποίου μεταδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Επί πλέον, σύμφωνα με την ίδια άποψη, το πείραμα αυτό αποτέλεσε τη βάση της προβληματικής που οδήγησε στη θεωρία της σχετικότητας. Ο Holton κατέδειξε με μεγάλη πειστικότητα, μετά από εξονυχιστική ιστορική έρευνα, ότι αυτή η άποψη απέχει από την ιστορική αλήθεια. Τα προβλήματα που απασχολούσαν τον Αϊνστάιν και τον οδήγησαν στην ειδική θεωρία της σχετικότητας δεν είχαν καμία σχέση με το εν λόγω πείραμα, το οποίο μάλιστα δεν είναι καν βέβαιο ότι γνώριζε.

Η ιστορική έρευνα του Holton έθεσε εκ νέου το πρόβλημα της μετάβασης από την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία, που είχε ως βάση τον αιθέρα, στην ειδική θεωρία της σχετικότητας, που καθιστούσε περιττή την ύπαρξη ενός τέτοιου απόλυτου συστήματος αναφοράς και, συνεπώς, απέκλειε την ύπαρξη κάποιας προνομιακής περιγραφής των φυσικών φαινομένων. Εάν αυτή η μετάβαση δεν έγινε με σκοπό την εξήγηση του πειράματος Michelson-Morley, τότε ποιοι λόγοι οδήγησαν τον Αϊνστάιν και, εν γένει, την επιστημονική κοινότητα στην απόρριψη της κλασικής φυσικής του αιθέρα και στην υιοθέτηση της σχετικιστικής φυσικής; Εάν, όπως ισχυρίζεται ο Holton, τα κίνητρα του Αϊνστάιν δεν αφορούσαν, κατά κύριο λόγο, την επίλυση εμπειρικών προβλημάτων, αλλά είχαν έναν ιδιαίτερα προσωπικό και ιδιοσυγκρασιακό χαρακτήρα, για ποιους λόγους η κοινότητα των φυσικών υιοθέτησε τελικά τη νέα θεωρία; Κατά την δεκαετία του 1970 τέτοιου είδους ερωτήματα έπαιξαν κεντρικό ρόλο στην ιστοριογραφία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας και διερευνήθηκαν κυρίως από φιλοσόφους της επιστήμης που επιχειρούσαν να κατανοήσουν με βάση ορθολογικά κριτήρια την αλλαγή των επιστημονικών θεωριών. (Βλ. Grünbaum 1973, Gutting 1972, Miller 1974, Schaffner 1974, Zahar 1973). Μία από τις βασικές επιδιώξεις των φιλοσόφων αυτών ήταν να διατυπώσουν κριτήρια ορθολογικότητας, βάσει των οποίων η ειδική θεωρία της σχετικότητας ήταν αντικειμενικά καλύτερη έναντι των αντιπάλων της και, κυρίως, έναντι της θεωρίας των ηλεκτρονίων του Lorentz.

Πώς, όμως, είναι δυνατόν ένα πείραμα που ούτε καν αναφέρεται στην αρχική εργασία του Αϊνστάιν να είχε αποτελέσει τον θεμέλιο λίθο της κυρίαρχης άποψης για το πώς οδηγήθηκε ο Αϊνστάιν στη διατύπωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας; Η απάντηση στο ερώτημα έχει, ασφαλώς, κοινωνιολογικό ενδιαφέρον, αφού σχετίζεται με τη συλλογική έκφραση της κοινής πεποίθησης της κοινότητας των φυσικών για το πώς εξελίσσεται η επιστήμη: η πειραματική διαπίστωση φαινομένων που δεν είναι δυνατόν να εξηγηθούν με τις υπάρ-



χουσες θεωρίες οδηγεί στη διατύπωση νέων θεωριών που εξηγούν τα νέα φαινόμενα, όπως και όλα τα φαινόμενα που εξηγούσαν οι προηγούμενες θεωρίες. Η πεποίθηση αυτή είναι αλληλένδετη με την άποψη ότι οι επιστήμες αποκαλύπτουν την προϋπάρχουσα «αντικειμενική» δομή της φύσης και ότι η εγκυρότητά τους είναι καθολική. Με άλλα λόγια, πολλοί πίστευαν —και πιστεύουν ακόμη— ότι η επιστήμη είναι κάτι ανεξάρτητο από τις άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Την επιστήμη, όμως, την δημιουργούν άνθρωποι και όχι διανοητικοί μηχανισμοί ανεξάρτητοι από τις εμπειρίες, τις ιδεολογίες, τις πεποιθήσεις και τις επιδιώξεις τους. Αυτό που έχουμε συνειδητοποιήσει ως ιστορικοί των επιστημών είναι πως οι ιδεολογικοί προσανατολισμοί των επιστημόνων, το πολιτισμικό τους περιβάλλον, οι φιλοσοφικές τους πεποιθήσεις αλλά και οι οντολογικές τους δεσμεύσεις έχουν επηρεάσει καθοριστικά τη διαμόρφωση των επιστημών.

Η νέα αυτή συνείδηση των ιστορικών της επιστήμης είναι εμφανής και στην ιστοριογραφία της θεωρίας της σχετικότητας. Κατά τις δεκαετίες του 1970 και 1980 τέθηκαν ιστοριογραφικά ερωτήματα που αφορούσαν την κοινωνική και πολιτισμική ιστορία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Ορισμένοι ιστορικοί άρχισαν να διερευνούν την πρόσληψη της θεωρίας της σχετικότητας σε χώρες με διαφορετικούς εκπαιδευτικούς θεσμούς, με επιστημονικές κοινότητες που είχαν διαφορετικές δομές, με διαφορετικές πολιτισμικές παραδόσεις και διαφορετικά επίπεδα τεχνολογικής ανάπτυξης. Στόχος αυτών των προσεγγίσεων ήταν η κατανόηση της επίδρασης τοπικών χαρακτηριστικών (π.χ., των ιδιαιτεροτήτων των επιμέρους επιστημονικών κοινοτήτων), στη διάδοση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας — χαρακτηριστικά που είχαν διαμορφωθεί όχι μόνον από ενδογενείς παράγοντες της επιστήμης, αλλά και από εξωγενείς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτών των μελετών είναι και το κείμενο του Stanley Goldberg που αναδημοσιεύεται στο ανά χειρας βιβλίο. Ο Goldberg αναλύει τη βαθμιαία εδραίωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας στη Γερμανία, στην Αγγλία, στη Γαλλία και στις Η.Π.Α. και επιχειρεί να εξηγήσει την πολύ διαφορετική πρόσληψη της θεωρίας σε αυτές τις χώρες με βάση τους διαφορετικούς εκπαιδευτικούς θεσμούς και τις διαφορετικές ερευνητικές παραδόσεις αυτών των χωρών. Ανάλογες μελέτες έχουν γίνει και από άλλους ιστορικούς. (Βλ. Glick 1987, Staley 1998, Warwick 1992, 1993).

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα στη μελέτη της εισαγωγής νέων ιδεών και πρακτικών σε συγκεκριμένες χωροχρονικές τοπικότητες είναι η κατανόηση του ρόλου των αντιστάσεων σε κάτι, όπως είναι οι επιστημονικές θεωρίες, που υποτίθεται ότι έχουν καθολική ισχύ. Η καθυστερημένη αποδοχή μιας θε-



ωρίας που έχει «αποδειχθεί» ότι είναι σωστή ή, τουλάχιστον, δεν φαίνεται να είναι εσφαλμένη —όσο και αν είναι προβληματική η χρήση αυτών των εννοιών— αποτελεί εξαιρετικά σύνθετο ιστορικό αλλά και κοινωνιολογικό πρόβλημα. Η αδιαφορία ή η άρνηση των μελών μιας κοινότητας να αποδεχθούν μια θεωρία, εκ πρώτης όψεως, φαίνεται να είναι αδικαιολόγητη και, μάλλον, ακατανόητη. Εδώ δεν μιλούμε για χρόνους περασμένους, όταν θεολογικοί και πολιτικοί λόγοι λειτουργούσαν ανασχετικά στην αποδοχή και εισαγωγή μιας θεωρίας. Αναφερόμαστε σε σύγχρονες κοινότητες, σε κοινότητες που έχουν πολλά κοινά στοιχεία, σε μια εποχή που οι θεολογικές απόψεις δεν παίζουν τον ίδιο ρυθμιστικό ρόλο στη διαμόρφωση του επιστημονικού λόγου όπως παλαιότερα, και σε επιστήμονες που δεν είναι αποκομμένοι από τα τεκταινόμενα ώστε η αντίδρασή τους να είναι προϊόν άγνοιας. Η εδραίωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας δεν έγινε μόνον καθυστερημένα αλλά και με εντελώς διαφορετικές διεργασίες σε καθεμία από τις ανωτέρω χώρες. Το ερώτημα που τέθηκε σχετικά με τις διαδικασίες εδραίωσης της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας στις επιστημονικές κοινότητες διαφορετικών χωρών και οι συστηματικές επεξεργασίες του ανέδειξαν τις δυνατότητες που υπάρχουν για να μελετηθούν προβλήματα τα οποία θεωρούνται άκρως τεχνικά με τις μεθόδους της κοινωνικής και πολιτισμικής ιστορίας.

Κατά την δεκαετία του 1990 παρατηρείται μία ακόμη στροφή στην ιστοριογραφία της επιστήμης. Πολλοί ιστορικοί παύουν να αντιμετωπίζουν την επιστήμη αποκλειστικά ως ένα σύνολο ιδεών στις οποίες οι αλλαγές προκαλούνται μονάχα από την δυναμική του θεωρητικού πλαισίου που προσδιορίζουν οι ιδέες αυτές. Αντίθετα, αρχίζουν να την αντιλαμβάνονται ως μια εξελισσόμενη δραστηριότητα, μια πολύπλευρη πρακτική των επιστημόνων που αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Οι αλλαγές δεν αφορούν μόνον τις επιστημονικές ιδέες, τις πεποιθήσεις των επιστημόνων, όπως αυτές αποτυπώνονται σε επιστημονικά άρθρα, εγχειρίδια και εκλαϊκευτικά βιβλία. Εκείνο που πρωτίστως αλλάζει είναι η πρακτική των επιστημόνων, τα προβλήματα που θεωρούν σημαντικά και επιδιώκουν να λύσουν, οι μέθοδοι που ακολουθούν για να αναπαραστήσουν τα φυσικά φαινόμενα και να παρέμβουν στη φύση, τα επιστημονικά όργανα που χρησιμοποιούν στα πειράματά τους, οι θεσμοί που οριοθετούν τη δραστηριότητά τους. Στο πλαίσιο αυτό αποκτά μεγάλη σημασία ο φυσικός και θεσμικός χώρος εντός του οποίου ασκείται η επιστημονική δραστηριότητα — ο υλικός πολιτισμός μέσα στον οποίο μορφοποιούνται οι δραστηριότητες των επιστημόνων.

Το 1902, δύο χρόνια μετά την αποφοίτησή του από το Πολυτεχνείο της Ζυρίχης, ο Αϊνστάιν προσλαμβάνεται έπειτα από αίτηση του στο Ελβετικό Γραφείο Ευρεσιτεχνιών της Βέρνης. Στη θέση αυτή μένει μέχρι το 1909, οπότε και διορίζεται ως αναπληρωτής καθηγητής θεωρητικής φυσικής στο Πανεπιστήμιο της Ζυρίχης. Αυτά ήταν γνωστά σε όλους — ιστορικούς, φιλοσόφους, και φυσικούς που ασχολήθηκαν με την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Μάλιστα η πορεία αυτή του Αϊνστάιν ενίσχυσε τον μύθο της μεγαλοφυΐας του: ότι η δημιουργικότητα τόσο προικισμένων επιστημόνων δεν επηρεάζεται από δυσμενείς συνθήκες, μπορεί να ανθήσει ακόμη και μακριά από τους «φυσικούς» χώρους όπου καλλιεργείται η γνώση, τα πανεπιστήμια και τα ερευνητικά κέντρα. Έως πρόσφατα δεν είχε αναρωτηθεί κανείς ιστορικός εάν η δραστηριότητα του Αϊνστάιν στο Γραφείο Ευρεσιτεχνιών της Βέρνης έπαιξε κάποιον ρόλο στη συγκρότηση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Οι περισσότεροι θεωρούσαν ότι επρόκειτο απλώς για μια βιοποριστική απασχόληση, της οποίας η μοναδική σημασία ήταν ότι τού άφηνε αρκετό ελεύθερο χρόνο για την έρευνά του στη φυσική — μια ατεκμηρίωτη υπόθεση σχετικά με τη λειτουργία και τον φόρτο εργασίας των γραφείων ευρεσιτεχνίας. Για να καταρριφθεί αυτή η υπόθεση θα αρκούσε μια μικρή έρευνα, που θα έδειχνε ότι ο Αϊνστάιν παραπονιόταν στις επιστολές του προς συναδέλφους και φίλους ότι δεν είχε ελεύθερο χρόνο και δεν μπορούσε να χρησιμοποιεί τις βιβλιοθήκες λόγω φόρτου εργασίας! Αν, όμως, δεν ισχύει αυτή η υπόθεση, μήπως θα έπρεπε να διερευνηθεί το είδος της εργασίας του Αϊνστάιν στη Βέρνη, τα είδη των αιτήσεων που εξέταζε και οι ευρεσιτεχνίες για τις οποίες γνωμοδοτούσε; Παρά τα πλημμελή τεκμήρια που διασώθηκαν, διαπιστώθηκε ότι πολλές από τις πατέντες που εξέταζε ο Αϊνστάιν αφορούσαν προβλήματα συγχρονισμού των ρολογιών — μιας διαδικασίας που έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη διατύπωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Ένας τέτοιος ιστοριογραφικός προσανατολισμός έθεσε σε ένα ανάλογο πλαίσιο και το γεγονός ότι το πρόβλημα του συγχρονισμού των ρολογιών απασχολούσε όλη την Ευρώπη και τις Η.Π.Α. Όπως υποστηρίζει ο Peter Galison, στο άρθρο που αναδημοσιεύουμε εδώ και σε ένα συναφές βιβλίο (Galison 2003), το πρόβλημα αυτό είχε έλθει στο προσκήνιο λόγω της έντονης ανάπτυξης του σιδηροδρομικού δικτύου κατά τον 19ο αιώνα, που δημιούργησε την ανάγκη ενιαίου καθορισμού της ώρας.



Συμπερασματικά, η ιστορία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας αποτελεί ένα γόνιμο και ανοιχτό πεδίο έρευνας στη σύγχρονη ιστοριογραφία της επιστήμης. Μια «γεύση» των ερωτημάτων που έχουν απασχολήσει τους ερευνητές του έργου του Αϊνστάιν επιχειρήσαμε να δώσουμε σε αυτήν την εισαγωγή. Για μια πιο συστηματική και εμβριθή ανάλυση πολλών από τα θέματα που έχουμε θίξει, παραπέμπουμε τον αναγνώστη στα κείμενα που ακολουθούν. Μεταξύ αυτών των κειμένων αποφασίσαμε να συμπεριλάβουμε και τους αυτοβιογραφικούς στοχασμούς του ίδιου του Αϊνστάιν, οι οποίοι αποτυπώνουν με έναν πολύ προσωπικό τρόπο το πώς ο δημιουργός της θεωρίας της σχετικότητας έβλεπε εκ των υστέρων την πνευματική του πορεία.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- Abiko, Seiya, “On the chemico-thermal origins of Einstein’s special relativity”, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 22(1991):1-24.
- Γαβρόγλου, Κώστας, *Το Παρελθόν των Επιστημών ως Ιστορία* (Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2004).
- Einstein, Albert, *Sidelights on Relativity* (New York: Dover, 1983).
- Einstein, Albert, *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 5, *The Swiss Years: Correspondence, 1902-1914*, edited by Martin J. Klein, A. J. Kox, and Robert Schulmann (Princeton: Princeton University Press, 1993).
- Einstein, Albert. *1905: Annus Mirabilis*, επιμέλεια John Stachel, μετάφραση Νίκος Ταμπάκης (Αθήνα: Γκοβόστης, 2000).
- Frank, Philipp, *Einstein: His Life and Times* (New York: Alfred A. Knopf, 1947).
- Friedman, Michael, *Reconsidering Logical Positivism* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999).
- Galison, Peter L., *Einstein’s Clocks, Poincaré’s Maps: Empires of Time* (New York: Norton, 2003).
- Glick, T. F. (ed.), *The Comparative Reception of Relativity*, Boston Studies in the Philosophy of Science 103 (Dordrecht: Reidel, 1987).
- Grünbaum, Adolf, *Philosophical Problems of Space and Time*, 2<sup>nd</sup> ed., Boston Studies in the Philosophy of Science 12 (Dordrecht: Reidel, 1973).
- Gutting, Gary, “Einstein’s Discovery of Special Relativity”, *Philosophy of Science*, 39(1972):51-68.

- Klein, Martin J., “Thermodynamics in Einstein’s Thought”, *Science*, 157(1967):509-516.
- Kragh, Helge, *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1999). Ελληνική έκδοση: *Οι γενιές των κβάντων: Η ιστορία της φυσικής του 20ού αιώνα*, επιμέλεια Μ. Ασημακόπουλος, Π. Δήτσας, Ηλ. Ζουμπούλης, Μετάφραση Γ. Κατσιλιέρη (Αθήνα: Κάτοπτρο, 2004).
- Kuhn, Thomas S., *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912* (Oxford: Clarendon Press, 1978).
- Miller, Arthur I., “On Lorentz’s methodology”, *British Journal for the Philosophy of Science*, 27(1974):29-45.
- Newton, Isaac, *Mathematical Principles of Natural Philosophy* (Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1934).
- Pais, Abraham, ‘*Subtle is the Lord...*’ – *The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford University Press, 1982).
- Poincaré, Henri *The Value of Science στο Foundations of Science* (μετάφραση G.R.Halsted, New York: Science Press, 1913).
- Reichenbach, Hans, “The Philosophical Significance of the Theory of Relativity”, στο Schilpp (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, 289-311.
- Reiser, Anton (ψευδώνυμο του Rudolf Kayser), *Albert Einstein: A Biographical Portrait* (New York: Albert and Charles Boni, 1930).
- Schaffner, Kenneth F., “Einstein versus Lorentz: Research programs and the logic of comparative theory evaluation”, *British Journal for the Philosophy of Science*, 25(1974):45-78.
- Schilpp, Paul Arthur (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The Library of Living Philosophers, vol. 7 (La Salle, Illinois: Open Court, 1949).
- Sklar, Lawrence, *Philosophy of Physics* (Boulder, Colorado: Westview Press, 1992).
- Staley, Richard, “On the histories of relativity: the propagation and elaboration of relativity theory in participant histories in Germany, 1905-1911”, *Isis*, 89(1998):263-299.
- Warwick, Andrew, “Cambridge Mathematics and Cavendish Physics: Cunningham, Campbell and Einstein’s Relativity 1905-1911, Part I: The Uses of Theory”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 23(1992):625-656.
- Warwick, Andrew, “Cambridge Mathematics and Cavendish Physics: Cunningham, Campbell and Einstein’s Relativity 1905-1911, Part II: Comparing Traditions in Cambridge Physics”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 24(1993):1-25.
- Zahar, Elie, “Why Did Einstein’s Programme Supersede Lorentz’s?” *British Journal for the Philosophy of Science*, 24(1973):95-123, 223-262.

ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Υπάρχει μια εκτενέστατη βιβλιογραφία σχετικά με τον Αϊνστάιν και τη δημιουργία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Για τον ενδιαφερόμενο αναγνώστη προτείνουμε τα εξής κείμενα:

Darrigol, Olivier, *Electrodynamics from Ampère to Einstein* (Oxford: Oxford University Press, 2000). Πλήρης επισκόπηση του ηλεκτρομαγνητισμού κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα. Εξετάζονται αναλυτικά τα προβλήματα στην ηλεκτροδυναμική τα οποία αποτέλεσαν το υπόβαθρο των ερευνών του Αϊνστάιν.

“Focus: The Elusive Icon: Einstein, 1905-2005”, *Isis*, 95(2004):610-648. Ειδικό αφιέρωμα του περιοδικού *Isis* στον Αϊνστάιν, για τα εκατό χρόνια από τη δημιουργία της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Περιέχει άρθρα των Peter Galison, Olivier Darrigol, Fred Jerome, και Jürgen Renn.

Fölsing, Albrecht, *Albert Einstein: A Biography* (New York: Penguin, 1998). Μια από τις πληρέστερες βιογραφίες του Αϊνστάιν. Παρουσιάζει με εύληπτο τρόπο το έργο του στη φυσική.

Galison, Peter, Michael Gordin, David Kaiser (eds.), *Science and Society, Volume 1: The Roots of Special Relativity* (London: Routledge, 2001). Ανθολογία ιστορικών κειμένων που πραγματεύονται τις πολιτισμικές ρίζες, τη δημιουργία και την πρόσληψη της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας.

Huggett, Nick (ed.), *Space from Zeno to Einstein: Classic Readings with a Contemporary Commentary* (Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1999). Ανθολογία κλασικών κειμένων για τον χώρο, από την αρχαιότητα έως τον 20ό αιώνα. Συμπεριλαμβάνει εκτενή επεξηγηματικά σχόλια του επιμελητή.

Howard, Don and John Stachel (eds.), *Einstein: The Formative Years, 1879-1909*, *Einstein Studies*, 8 (Boston, Basel and Berlin: Birkhäuser, 2000). Συλλογή κειμένων που αντιπροσωπεύουν τις πιο πρόσφατες ιστοριογραφικές έρευνες για τη ζωή και το πρώιμο έργο του Αϊνστάιν.

Miller, Arthur I., *Albert Einstein's Special Theory of Relativity: Emergence (1905) and Early Interpretation (1905-1911)* (New York: Springer, 1998; 1<sup>st</sup> ed. 1981). Κλασικό βιβλίο, με πολλές τεχνικές λεπτομέρειες. Πραγματεύεται σε βάθος τη δημιουργία και την πρόσληψη της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας.

Sklar, Lawrence, *Space, Time, and Spacetime* (Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1976). Εξαιρετική εισαγωγή στη φιλοσοφία του χώρου και του χρόνου. Καλύπτει ένα μεγάλο εύρος του σύγχρονου φιλοσοφικού προβληματισμού για τα θέματα αυτά.

