

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>Αριστέιδης Αραγεώργης</i>	
Φιλοσοφία και σύγχρονη φυσική . . . . .	117
<i>Hans Reichenbach</i>	
Η γεωμετρία του φυσικού χώρου . . . . .	149
<i>John Earman-John Norton</i>	
Ποιό τὸ τίμημα γιὰ τὴν ὑποστασιοκρατία ὡς πρὸς τὸν χωροχρόνο;	
Ἡ ἱστορία τῆς ὀπῆς . . . . .	171
<i>John Earman</i>	
Σκέψεις πάνω στὸ γενικὸ συναλλοίωτο, τὴν ὑποστασιοκρατία ὡς	
πρὸς τὸν χωροχρόνο καὶ ὅλα αὐτὰ . . . . .	187
<i>Abner Shimony</i>	
Συμβάντα καὶ διαδικασίες στὸν κβαντικὸ κόσμο . . . . .	195
<i>Βασίλης Καρακώστας</i>	
Περὶ τῆς φύσεως καὶ ἐρμηνείας τῆς κβαντικῆς πραγματικότητας:	
Τὸ πρότυπο τοῦ ἐνεργοῦ ἐπιστημονικοῦ ρεαλισμοῦ . . . . .	223
<i>Nick Huggett</i>	
Φιλοσοφικὰ θεμέλια τῆς κβαντικῆς θεωρίας πεδίου . . . . .	259
<i>Carlo Rovelli</i>	
Κβαντικὸς χωροχρόνος: Τί γνωρίζουμε; . . . . .	287
<i>Αντιγόνη Νουνοῦ</i>	
Ἡ ἔννοια τῆς συμμετρίας στὶς κβαντικὲς θεωρίες πεδίου καὶ	
ὁ ρόλος τῶν συμμετρικῶν δομῶν στὴν ἐπιστημονικὴ ἐξήγηση . . . . .	323
<i>Stewart Shapiro</i>	
Μάθηματικά καὶ πραγματικότητα . . . . .	345

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ἐκεῖνο ποῦ χαρακτηρίζει τὴ φιλοσοφία δὲν εἶναι ἓνα εἰδικὸ ἀντικείμενο, ἀλλὰ ὁ στόχος νὰ ξέρει κανεὶς τὰ κατατόπια ὡς πρὸς τὰ ἀντικείμενα ὄλων τῶν ἐπιμέρους κλάδων... Καὶ ὑπάρχει χώρος γιὰ ἐξειδίκευση στὴ φιλοσοφία. Ὅπως ἀκριβῶς κανεὶς δὲν μπορεῖ νὰ φτάσει νὰ ξέρει τὰ κατατόπια σὲ ὁλόκληρο τὸ σύστημα τῶν αὐτοκινητοδρόμων χωρὶς νὰ ἔχει μάθει τὰ κατατόπια στὰ μέρη τοῦ συστήματος, ἔτσι κανεὶς δὲν μπορεῖ νὰ ἐλπίζει νὰ μάθει τὰ κατατόπια «στὰ πράγματα ἐν γένει» χωρὶς νὰ ξέρει τὰ κατατόπια στὶς μεγάλες ὁμάδες τῶν πραγμάτων.

*Wilfrid Sellars*<sup>1</sup>

1. Μιὰ μακρὰ παράδοση.

**Μ**ΙΑ ΜΑΚΡΑ ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΗ ΠΑΡΑΔΟΣΗ — ἀπὸ τὸν Πλάτωνα, στὸν Descartes καὶ τὸν Leibniz, τὸν Kant καὶ τοὺς Λογικοὺς Θετικιστὲς τοῦ 20οῦ αἰώνα— ἀναπτύχθηκε σὲ στενὴ σύνδεση μὲ τὶς ἐξελίξεις στὰ μαθηματικά καὶ τὴ φυσική. Ἰδιαίτερα ἀπὸ τὸν 17ο αἰώνα καὶ ὕστερα, ἡ μαθηματικοποιημένη πλέον φυσική ἐκλήφθηκε ἀπὸ πολλοὺς φιλοσόφους ὡς ὑπόδειγμα «ἀντικειμενικῆς» καὶ «ὀρθολογικῆς» γνώσης τοῦ κόσμου. Ἡ ἀλληλεπίδραση φιλοσοφίας καὶ φυσικῆς κινήθηκε σὲ δύο ἐπίπεδα. Στὸ μεθοδολογικὸ ἐπίπεδο, οἱ φιλόσοφοι ἐπεδίωκαν τὴ διασάφηση καὶ γνωσιολογικὴ διερεύνηση τῶν μεθόδων τῆς φυσικῆς ἐνῶ οἱ φυσικοὶ προσέβλεπαν σὲ αὐτὴ τὴ διασάφηση καὶ διερεύνηση προκειμένου νὰ ἀναπτύξουν περαιτέρω τὴν ἐπιστημονικὴ ἔρευνα. Στὸ ἐννοιολογικὸ ἐπίπεδο, οἱ φιλόσοφοι ἀξιοποιοῦσαν τὰ πορίσματα τῆς φυσικῆς προκειμένου νὰ ἀπαντήσουν σὲ διαχρονικὰ ἐρωτήματα γιὰ τὸν χῶρο καὶ τὸν χρόνο, τὴν αἰτιότητα, τὴν ὕλη, τὴν κίνηση κ.ἄ., ἐνῶ οἱ φυσικοὶ ἐκκινοῦσαν ἀπὸ φιλοσοφικὲς ἀπόψεις

1. Sellars ([1962] 1963, σ. 2-3).

πάνω σέ τέτοια έρωτήματα με στόχο τήν έπινόηση νέων, ίκανοποιητικότερων, θεωριών.<sup>2</sup>

Τά παραδείγματα αὐτῆς τῆς γόνιμης ἀλληλεπίδρασης εἶναι πολλά. Στόν πρόλογο τῆς γαλλικῆς ἐκδοσης τοῦ ἔργου του *Principia Philosophiae*, ὁ Descartes ([1644, 1647], 1985) παρομοίωσε ὁλόκληρη τήν ἀνθρώπινη γνώση («φιλοσοφία») με ἓνα δέντρο τοῦ ὁποῦ ἡ ρίζα εἶναι ἡ μεταφυσική, ὁ κορμός ἡ φυσική καί τὰ κλαδιά ὅλες οἱ ἄλλες ἐπιστήμες. Στό δεύτερο μέρος τοῦ ἴδιου ἔργου συνήγαγε τοὺς πρώτους δύο (νόμους τῆς φύσης) — πού μαζί συνιστοῦν μιὰ πρωτόλεια ἐκδοχή τῆς ἀρχῆς τῆς ἀδράνειας — ἀπό μεταφυσικές θέσεις, ὅπως τὸ ἀμετάβλητο τοῦ Θεοῦ καί τὸ ὅτι ὁ Θεὸς εἶναι τὸ πρωταρχικὸ αἴτιο κάθε κίνησης. Ὁ Kant ἀφιέρωσε ἓνα μεγάλο μέρος τοῦ ἔργου του στὴν ἀνάλυση τῶν γενικῶν καί ἀναγκαίων προϋποθέσεων τῆς δυνατότητας τῆς νευτώνειας ἐπιστήμης — κατὰ τὸν Kant, τῶν μεταφυσικῶν θεμελιῶν κάθε ἀνθρώπινης γνώσης. Ὁ Einstein εἶχε ἐπανειλημμένως δηλώσει ρητὰ ὅτι ἡ ἐργασία του πάνω στὴ γενικὴ θεωρία τῆς σχετικότητας εἶχε γνωσιολογικὰ κίνητρα.<sup>3</sup> Ἀπὸ τὴν ἄλλη, ἡ σχετικιστικὴ φυσικὴ τοῦ Einstein ὑπῆρξε ἓνας ἀπὸ τοὺς κύριους πυλώνες γιὰ τὴν ἀνάπτυξη τοῦ πρώτου σημαντικοῦ ρεύματος στὴ φιλοσοφία τῆς ἐπιστήμης τοῦ 20οῦ αἰώνα, τοῦ Λογικοῦ Θετικισμοῦ.<sup>4</sup>

Σέ μερικές περιπτώσεις, τὰ ἐπιτεύγματα τῆς φυσικῆς ἀξιοποιήθηκαν σέ περιοχὲς τῆς φιλοσοφίας πού, τουλάχιστον ἀπὸ πρώτη ἀποψη, βρίσκονται μακριὰ ἀπὸ τὴν ἔρευνα τῶν θεμελιῶν τῶν φυσικῶν ἐπιστημῶν. Γιὰ παράδειγμα, ὁ Newton διατύπωσε τοὺς τέσσερις «κανόνες συλλογισμοῦ στὴ φιλοσοφία» στὴν ἀρχὴ τοῦ τρίτου βιβλίου τῶν *Principia* — κανόνες πού στόχευαν στὴ μεθοδολογικὴ στήριξη τοῦ ἐκτεταμένου ἐπιχειρηματός του γιὰ τὴν παγκόσμια ἔλξη. Μερικὲς δεκαετίες ἀργότερα, ὁ Hume ἐπικαλέστηκε ρητὰ τὸν τρίτο κανόνα τοῦ Newton προκειμένου νὰ ἐπιχειρηματολογήσει ὅτι ἀφοῦ τὸ δημόσιο συμφέρον καί ἡ ὠφέλεια ἀποτελοῦν τὴν πηγὴ τῆς ἀρετῆς τῆς δικαιοσύνης θὰ ἀποτελοῦν καί τὴν πηγὴ ἄλλων παρόμοιων κοινωνικῶν ἀρετῶν.<sup>5</sup>

2. Ἀσφαλῶς, μιὰ αὐστηρὴ διάκριση μεταξύ «φιλοσόφων» καί «φυσικῶν» σέ αὐτὸ τὸ πλαίσιο εἶναι τεχνητὴ καί ἱστορικὰ ἀυθαίρετη.

3. Κυρίως τίς γνωσιολογικὲς ἀπόψεις τοῦ Mach. Βλ., π.χ., Einstein ([1916] 1952, σ. 112-115).

4. Βλ., π.χ., τὴν εἰσαγωγή στὸ Friedman (1983) καθὼς καί Friedman (1992).

5. Μόνο οἱ πρώτοι δύο «κανόνες συλλογισμοῦ στὴ φιλοσοφία» ἐμφανίστηκαν στὴν πρώτη ἐκδοχή τῶν *Principia* (1687)· ὁ τρίτος προστέθηκε στὴ δευτέρη ἐκδοχή (1713) καί ὁ τέταρτος στὴν τρίτη (1726). Γιὰ μιὰ σύντομη παρουσίαση τῶν τεσσάρων κανόνων καί τῆς χρήσης τους ἀπὸ τὸν Newton στὸ ἐπιχείρημα γιὰ τὴν παγκόσμια ἔλξη, βλ. Torretti (1999, σ. 69-74). Ὁ τρίτος κανόνας μπορεῖ νὰ ἀποδοθεῖ στὰ ἑλληνικὰ ὡς ἑξῆς: «Οἱ ποιό-

Σε άλλες περιπτώσεις, φιλοσοφικές αντιλήψεις που γεννήθηκαν και διαμορφώθηκαν, σε μεγάλο βαθμό, ανεξάρτητα από τη φυσική ενέπνευσαν την εμπειρική έρευνα. Παράδειγμα αποτελεί η συμβολή του φιλοσοφικού ρεύματος της *Naturphilosophie* — με κύριο εκπρόσωπο τον Schelling και έμφαση στη μεταφυσική ιδέα της ενότητας όλων των φυσικών φαινομένων (μαγνητικών, ηλεκτρικών, χημικών, οργανικών, κ.λπ.) — στην ανακάλυψη της αρχής διατήρησης της ενέργειας κατά το πρώτο μισό του 19ου αιώνα. Ίδιαίτερα η πειραματική ανακάλυψη των μαγνητικών συνεπειών του ηλεκτρικού ρεύματος από τον Oersted το 1820 φαίνεται να είχε ως φιλοσοφικό κίνητρο τις δοξασίες του Schelling.<sup>6</sup>

Η σύγχρονη φιλοσοφία της φυσικής είναι — ή, τουλάχιστον, φιλοδοξεῖ να είναι — η κληρονόμος αυτής της μακρᾶς παράδοσης. Βέβαια η φυσική έχει πρό πολλοῦ αυτόνομηθεῖ ἀπὸ τῆς φιλοσοφίας καὶ ἔχει ἐμπλουτίσει τὰ ἐννοιολογικά, μαθηματικά καὶ πειραματικά της «ἐργαλεῖα» σὲ βαθμὸν ποὺ τὴν καθιστᾷ δυσπρόσιτη στὴν πλειονότητα τῶν φιλοσόφων. Ἀπὸ τὴν ἄλλη, οἱ περισσότεροι φυσικοὶ δυσπιστοῦν ἀπέναντι στὴν ιδέα ὅτι ὁ φιλοσοφικὸς προβληματισμὸς μπορεῖ νὰ ἐπικουρήσει τὸ συγκεκριμένο ἐρευνητικὸ τους ἔργο. Καὶ πράγματι ἡ φιλοσοφία δὲν φαίνεται νὰ εἶναι σὲ θέση νὰ δώσει συγκεκριμένες ἀπαντήσεις σὲ ἐρωτήματα ποὺ τίθενται στὸ ἐσωτερικὸ περίπλοκων ἐρευνητικῶν προγραμμάτων στὴ σύγχρονη φυσική, ὅπως αὐτὸ τῶν κβαντικῶν θεωριῶν πεδίων ἢ ἐκεῖνο τῶν θεωριῶν χορδῶν. Ποιὸς, ἐπομένως, μπορεῖ νὰ εἶναι σήμερα ὁ ρόλος τῆς φιλοσοφίας τῆς φυσικῆς; Τί εἶδους ἐγχειρήματα ἀναλαμβάνει ἡ φιλοσοφία τῆς φυσικῆς ὡς κλάδος τῆς φιλοσοφίας; Καὶ γιατί αὐτὰ τὰ ἐγχειρήματα μποροῦν νὰ προσελκύσουν τὸ ἐνδιαφέρον τῶν φυσικῶν;

## 2. Ἑρμηνεῖες φυσικῶν θεωριῶν.

Ἀποτελεῖ κοινὸ τόπο τὸ νὰ ἰσχυριστεῖ κανεὶς ὅτι ἡ κύρια ἐνασχόληση τῆς φιλοσοφίας τῆς φυσικῆς εἶναι ἡ συγκρότηση ἐρμηνειῶν φυσικῶν θεωριῶν. Ἀλλὰ τί ἀκριβῶς εἶναι μιὰ ἐρμηνεία μιᾶς φυσικῆς θεωρίας; Στὴν πρώιμη περίοδό της, ἡ φιλοσοφία τῶν ἐπιστημῶν τοῦ 20οῦ αἰώνα, ἐντυπωσιασμένη ἀπὸ τὰ σύγχρονα ἐπιτεύγματα τῶν μεταμαθηματικῶν, κατανοοῦσε μιὰ ἐπιστημονικὴ θεωρία ὡς ἓνα ἀφηρημένο λογισμὸ συμβόλων μαζί μὲ ἓνα

τητες τῶν σωμάτων, ποὺ δὲν ἐπιδέχονται οὔτε αὐξηση τῆς ἔντασης οὔτε μείωση τῶν βαθμῶν, καὶ οἱ ὁποῖες διαπιστώνεται ὅτι ἀνήκουν σὲ ὅλα τὰ σώματα μέσα στὶς πειραματικές μας δυνατότητες, πρέπει νὰ θεωροῦνται ὡς οἱ παγκόσμιες ποιότητες ὅλων καὶ ὁποιαδήποτε σωμάτων» (Newton [1687, 1726] 1934, σ. 398). Πὰ τὴν ἐφαρμογὴ τοῦ κανόνα στὴν ἠθικὴ ἀπὸ τὸν Hume, βλ. Hume ([1748-1757] 1951, σ. 204).

6. Βλ. Gower (1973) καὶ Stauffer (1957).

σύνολο κανόνων έρμηνείας που απέδιδαν νόημα στους όρους και, με τη συμβολή της έμπειρίας, άληθοτιμές στις προτάσεις του λογισμού αυτού. "Έκτοτε αυτή ή ιδέα έχει εγκαταλειφθεί σέ άναγνώριση του γεγονότος ότι ή γλώσσα της έπιστήμης δέν είναι τόσο λογικά πειθαρχημένη και οί έπιστημονικές θεωρίες είναι πάντα «μερικώς έρμηνευμένες» από τη στιγμή της σύλληψής τους." Έτσι, δέν είναι πλέον έξίσου σαφές τó τί συνιστά έρμηνεία μιās έπιστημονικής θεωρίας και οί στοχαστές που καταγίνονται με τέτοια προγράμματα θεωρούν ύποχρέωσή τους νά διευκρινίσουν έκ τών προτέρων τó τί κάνουν.<sup>7</sup>

Έν γένει, μπορεί κανείς νά διακρίνει τρία είδη έρμηνευτικών προγραμμάτων. Τó πρώτο είναι κοντύτερα στην έννοια της έρμηνείας στην τυπική λογική και συνίσταται στή συμπλήρωση της σημασιολογίας μιās ήδη διαμορφωμένης θεωρίας. Τυπικό παράδειγμα είναι ή πιθανοκρατική έρμηνεία της κυματοσυνάρτησης κατά Bohr, όπως αυτή έχει ένσωματωθεί πλέον στα έγχειρίδια κβαντομηχανικής: αν  $\psi(\bar{x}, t)$  είναι ή κυματοσυνάρτηση ενός κβαντικού σωματιδίου, τότε ή  $|\psi(\bar{x}, t)|^2$  δίνει την πυκνότητα πιθανότητας εύρεσης του σωματιδίου σέ περιοχές του χώρου κατά τη χρονική στιγμή  $t$ .

Τó δεύτερο είδος έρμηνευτικού προγράμματος συνίσταται στην έπισημανση, έπεξεργασία και επέκταση όμοιοτήτων και αναλογιών μεταξύ μοντέλων μιās ή περισσοτέρων φυσικών θεωριών. Σέ περιπτώσεις όπου μερικά από αυτά τά μοντέλα είναι λιγότερο «κατανοητά» από άλλα, καρπός ενός τέτοιου προγράμματος είναι ή αύξηση της συνολικής «κατανόησης» τών υπό εξέταση θεωριών. Τυπικά παραδείγματα άποτελούν οί πρώιμες προσπάθειες κατανόησης της κβαντομηχανικής με άναφορά σέ ύδροδυναμικά μοντέλα.<sup>8</sup> Όστόσο, ή έν λόγω «κατανόηση» μπορεί νά μñν ύπερβαίνει τó επίπεδο της «άναγωγής στό οικείο» και άποτελεί έπισφαλή άφετηρία για την έξαγωγή βαθύτερων συμπερασμάτων. Άς δοϋμε ένα παράδειγμα. Τó πρότυπο για την είσαγωγή τών μποζονίων στην κβαντική θεωρία πεδίου είναι ó κβαντωμένος άρμονικός ταλαντωτής. Στό έργο του *The Principles of Quantum Mechanics*, ó Dirac ([1930] 1958, σ. 229) τονίζει τη σημασία του σημείου αυτού με τά παρακάτω λόγια:

«Τó δυναμικό σύστημα που άπαρτίζεται από μιá συλλογή όμοιων μποζονίων ίσοδυναμεί με τó δυναμικό σύστημα που άπαρτίζεται από ένα σύνολο ταλαντωτών — τά δύο συστήματα είναι άκριβώς τó ίδιο σύστημα ιδωμένο από δύο διαφορετικές σκοπιές...» Έχουμε έδω ένα από

7. Βλ., λόγου χάριν, τά πρώτα κεφάλαια στα van Fraassen (1991), Teller (1995) και Kuhlmann et al. (2002) καθώς και Ruetsche (2002).

8. Βλ. Jammer (1974, σ. 33-38).

τά πιό θεμελιώδη αποτελέσματα τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, τὸ ὁποῖο ἐπιτρέπει νὰ ἐπιτευχθεῖ μιὰ ἐνοποίηση τῶν κυματικῶν καὶ σωματιδιακῶν θεωριῶν τοῦ φωτός».

Ἄναμφίβολα, ἡ τυπικὴ ἀναλογία μεταξὺ μιᾶς συλλογῆς ἀνεξάρτητων κβαντωμένων ταλαντωτῶν καὶ μιᾶς συλλογῆς μὴ ἀλληλεπιδρώντων μποζονίων ἔχει συγκροτήσει μιὰ γόνιμη εὐρετικὴ γιὰ τὴ διατύπωση καὶ τὴν κατανόηση τῆς κβαντικῆς θεωρίας τῶν ἐλεύθερων πεδίων Bose — τὸ πεδίο θεωρεῖται ὡς ἓνα σύστημα ἀρμονικῶν ταλαντωτῶν.<sup>9</sup> Ὡστόσο, ἡ ἐν λόγω τυπικὴ ἀναλογία δὲν μπορεῖ νὰ στηρίζεται ἀπὸ μόνη τῆς μιᾶς ὀντολογικῆς θέσης ἰσοδυναμίας πεδίου-σωματιδίων. Καὶ τοῦτο γιὰτὶ εἶναι συμβατὴ μὲ τὴν ἄποψη ὅτι τὰ σωματίδια τῆς κβαντικῆς θεωρίας πεδίου δὲν εἶναι παρὰ διεγέρσεις ἐνὸς πιό θεμελιώδους ὑποστρώματος. Ἄρκει νὰ ἀναλογισθεῖ κανεὶς ὅτι ἀκριβῶς τὸ ἴδιο μοντέλο τοῦ κβαντωμένου ἀρμονικοῦ ταλαντωτῆ ἔχει χρησιμοποιηθεῖ κατὰ κόρον στὴ φυσικὴ τῆς στερεᾶς κατάστασης γιὰ τὴν εἰσαγωγή ἐνὸς πλήθους ὄντοτήτων μὲ σωματιδιακὰ χαρακτηριστικὰ (φωνόνια, πλασμόνια, κ.ο.κ.) ποὺ δὲν ἀποτελοῦν ὅμως παρὰ κβάντα ταλαντώσεων κάποιου ὑποστρώματος (κρυστάλλου, πλάσματος, κ.ο.κ.).

Τὸ τρίτο εἶδος ἐρμηνευτικοῦ προγράμματος μὲ τὸ ὁποῖο καταπιάνεται ἡ σύγχρονη φιλοσοφία τῆς φυσικῆς συνίσταται στὴ συγκρότηση μιᾶς εἰκόνας τοῦ κόσμου — ἢ / καὶ τῆς γνωσιακῆς μας πρόσβασης σὲ αὐτόν — ποὺ νὰ εἶναι ἑναρμονισμένη μὲ μιὰ δεδομένη φυσικὴ θεωρία T. Κεντρικὸς στόχος εἶναι νὰ ἀπαντηθεῖ τὸ ἐρώτημα: Πῶς θὰ μπορούσε νὰ εἶναι ὁ κόσμος, ἢ / καὶ ἡ γνωσιακὴ μας πρόσβαση σὲ αὐτόν, ἂν ἡ θεωρία T εἶναι ἀληθής; Καὶ ἡ ἀπάντηση συγκροτεῖ μιὰ ὀντολογικὴ-μεταφυσικὴ ἐρμηνεία τῆς φυσικῆς θεωρίας T.<sup>10</sup>

Ἐν γένει, μιὰ ἀπόπειρα ὀντολογικῆς ἐρμηνείας μιᾶς φυσικῆς θεωρίας περιλαμβάνει δύο στάδια. Τὸ πρῶτο μπορεῖ νὰ ὀνομαστεῖ ἔρευνα τῶν θεμελιῶν τῆς φυσικῆς θεωρίας: στόχος εἶναι ἡ διάσάφηση τῶν ἐννοιολογικῶν δομῶν μὲ τίς ὁποῖες ἡ θεωρία ἀποπειρᾶται νὰ ἀναπαραστήσει τὴ φυσικὴ πραγματικότητα. Τὸ δεύτερο ἔχει σημασιολογικὸ χαρακτήρα: στόχος εἶναι ἡ περιγραφή τῶν κόσμων ποὺ εἶναι φυσικῶς δυνατοὶ σύμφωνα μὲ τὴ θεωρία. Τὸ ἐγχείρημα ὁλοκληρώνεται μὲ τὴν ἔνταξη τῆς φυσικῆς θεωρίας σὲ ἓνα εὐρύτερο κατηγορικὸ πλαίσιο — συγκεκριμένα, σὲ ἓνα πλαίσιο ὑποθέσεων ποὺ ἀφοροῦν τὰ εἶδη τῶν ὄντοτήτων καὶ σχέσεων ποὺ ἀπαντοῦν

9. Μιὰ τέτοια ἀναλογικὴ ἐρμηνεία ἔχει ἐπεξεργαστεῖ ὁ Teller (1990) τονίζοντας, ὅμως, τὸν χαρακτήρα καὶ τοὺς περιορισμοὺς τῆς.

10. Φυσικά, ἐνδέχεται νὰ ἐμπλέκονται καὶ γνωσιολογικὰ ζητήματα στὸν βαθμὸ ποὺ μιὰ μεταφυσικὴ, στὰ στοιχεῖα τῆς ὁποίας δὲν ἔχουμε γνωσιακὴ πρόσβαση, κρίνεται προβληματικὴ.

στούς κόσμους που είναι φυσικῶς δυνατοὶ σύμφωνα με τὴ θεωρία καθὼς καὶ τὰ εἶδη τῶν δικαιολογημένων πεποιθήσεων που μπορούμε νὰ ἔχουμε γιὰ αὐτὲς τὶς ὀντότητες καὶ σχέσεις.

Θὰ μπορούσε κανεὶς νὰ ἀντιτείνει ὅτι ἡ ἔρευνα τῶν θεμελίων μιᾶς φυσικῆς θεωρίας — π.χ., ὁ προσδιορισμὸς τῶν φυσικῶν καταστάσεων, τῶν παρατηρήσιμων μεγεθῶν καὶ τῆς δυναμικῆς— ἀνήκει στὴ δικαιοδοσία τῆς φυσικῆς καὶ ὄχι σὲ ἐκείνη τῆς φιλοσοφίας τῆς φυσικῆς. Ἄν καὶ τέτοιες συζητήσεις διεκδίκησης («προνομίων») εἶναι μᾶλλον ἄγονες, ἡ παράθεση μερικῶν παραδειγμάτων μπορεῖ νὰ καταδείξει τὴ διαπλοκὴ «φιλοσοφικῶν» ἐρωτημάτων με ἐρωτήματα που ἀφοροῦν τὴ θεμελίωση φυσικῶν θεωριῶν. Ἡ οἰκοδόμησις μιᾶς Lorentz ἀναλλοίωτης θεωρίας τῆς κβαντικῆς μέτρησης μπορεῖ νὰ ἀπαιτεῖ μιὰ ριζικὴ ἀλλαγὴ τῶν θεμελίων τῆς σχετικιστικῆς κβαντικῆς φυσικῆς.<sup>11</sup> Ἡ μελέτη τῆς δυναμικῆς ἑνὸς κβαντικοῦ πεδίου σὲ ἕναν καμπύλο χωροχρόνο μπορεῖ νὰ ἀπαιτεῖ τὴν ἐγκατάλειψη τοῦ φορμαλισμοῦ που βασίζεται σὲ χώρους Hilbert γιὰ χάρις ἑνὸς φορμαλισμοῦ που βασίζεται σὲ τοπολογικὲς ἄλγεβρες, με ἐνδεχόμενες συνέπειες γιὰ τὸ ὄντολογικὸ καθεστῶς τῶν σωματιδίων στὴν κβαντικὴ θεωρία πεδίου.<sup>12</sup> Ὁ χαρακτηρισμὸς τοῦ τί εἶναι παρατηρήσιμο μέγεθος στὴ γενικὴ σχετικότητα καὶ στὴν κβαντικὴ βαρύτητα διασταυρώνεται με ἐρωτήματα που ἀφοροῦν τὸ φυσικὸ περιεχόμενο τῆς ἀρχῆς τοῦ γενικῶς συναλλοίωτου, τὴν κατανόηση τῶν θεωριῶν βαθμίδας καὶ τὴν ὑποστασιοκρατικὴ ἀντίληψη γιὰ τὸν χωροχρόνο.<sup>13</sup>

Ἔτσι οἱ ἀναζητήσεις μιᾶς ἱκανοποιητικῆς ὄντολογικῆς ἐρμηνείας τῆς «ἰδίας» φυσικῆς θεωρίας εἶναι δυνατόν νὰ ἀκολουθήσουν πολὺ διαφορετικὲς πορεῖες. Αὐτὸ διαπιστώνεται εὐκόλα ἀκόμη καὶ με μιὰ πρόχειρη ἐπισκόπηση ἐρμηνειῶν τῆς μὴ σχετικιστικῆς κβαντικῆς μηχανικῆς. Μερικὲς ἐρμηνεῖες ἐπικεντρώνονται στὴν ὄντολογικὴ εἰκόνα (π.χ., ἡ ἐρμηνεία τῶν πολλαπλῶν κόσμων<sup>14</sup>), ἐνῶ ἄλλες τροποποιοῦν τὸν καθιερωμένο φορμαλισμὸ (π.χ., ἡ ἐρμηνεία Bohm<sup>15</sup>), ἀλλάζουν τὴν καθιερωμένη σημασιολογία (π.χ., οἱ τροπικὲς ἐρμηνείες<sup>16</sup>) ἢ εἰσάγουν νέες φυσικὲς ἀρχές (π.χ., ἡ ἐρμηνεία τῶν GRW<sup>17</sup>).

11. Μιὰ τέτοια ἀλλαγὴ ἔχει ἐπεξεργαστεῖ —καὶ γιὰ ἄλλους λόγους— ὁ Gordon Fleming. Βλ. Fleming (1996) καὶ τὶς βιβλιογραφικὲς ἀναφορὲς που δίνονται ἐκεῖ.

12. Βλ., π.χ., Arageorgis, Earman, and Ruetsche (2002).

13. Βλ. Rovelli (1991) καθὼς καὶ Callender and Huggett (eds.) (2001).

14. Ἐδῶ ὁ ἐνικός ἀριθμὸς («ἐρμηνεία») εἶναι ἐξόχως παραπλανητικός. Βλ. DeWitt and Graham (eds.) (1973) γιὰ τὶς κλασικὲς ἀναφορὲς καὶ Barrett (1999) γιὰ τὴ μετεξέλιξη τῶν σχετικῶν ἰδεῶν.

15. Βλ. Bohm and Hiley (1993).

16. Βλ. Dieks and Vermaas (eds.) (1998).

17. Βλ. Ghirardi, Rimini, and Weber (1986).

“Όπως είναι αναμενόμενο, τὸ κατὰ πρόσον, καὶ μὲ ποιό τρόπο, μπορεῖ καὶ πρέπει νὰ ικανοποιηθεῖ ἓνα αἶτημα ὄντολογικῆς ἐρμηνείας μιᾶς φυσικῆς θεωρίας ἐξαρτᾶται ἐν μέρει ἀπὸ τὴ συνολικὴ ἀντίληψη περὶ ἐπιστήμης ποὺ υἱοθετεῖ κανεὶς. Γιὰ παράδειγμα, ἓνας ἐργαλειοκράτης θὰ ἀρνηθεῖ τὴ νομιμότητα τοῦ αἰτήματος στὸν βαθμὸ ποὺ ἐκλαμβάνει μιὰ φυσικὴ θεωρία ὡς ἀπλὸ ἐργαλεῖο γιὰ τὴ συστηματοποίηση καὶ πρόβλεψη τῆς ἐμπειρίας χωρὶς φιλοδοξίες ἀναπαράστασης μιᾶς ὑποκείμενης φυσικῆς πραγματικότητας. Καὶ ἓνας ἀναγωγιστὴς ἐμπειριστῆς θὰ θεωρήσει τὸ ζήτημα τετριμμένο στὸν βαθμὸ ποὺ ὑποστηρίζει ὅτι ὅλο τὸ περιεχόμενο μιᾶς ἐπιστημονικῆς θεωρίας ἐξαντλεῖται στὸ σύνολο τῶν ἰσχυρισμῶν τῆς γιὰ τὴ φαινόμενη συμπεριφορὰ παρατηρήσιμων ὀντοτήτων.

Δὲν ἀποτελεῖ στόχο μου ἐδῶ νὰ ἐπαναλάβω τὰ ἐπιχειρήματα κατὰ αὐτῶν τῶν στάσεων ἀπέναντι στὴν ἐπιστήμη. Θὰ περιοριστῶ στὸ νὰ ἐντοπίσω μιὰν ἀντίληψη περὶ ἐπιστήμης ποὺ καθιστᾶ τὸ αἶτημα τῆς ὄντολογικῆς ἐρμηνείας μιᾶς φυσικῆς θεωρίας φιλοσοφικὰ νόμιμο καὶ ἐνδιαφέρον καὶ στὸ νὰ δείξω ὅτι αὐτὴ ἢ ἀντίληψη εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ σύγχρονες ἐκδοχὲς ρεαλισμοῦ καὶ ἀντιρεαλισμοῦ.

### 3. Ὀντολογικὲς ἐρμηνεῖες καὶ ρεαλισμός.

Ἐνα κοινὸ χαρακτηριστικὸ τῆς ἐργαλειοκρατίας καὶ τοῦ ἀναγωγικοῦ ἐμπειρισμοῦ εἶναι ἡ συστράτευση ἐναντίον τῆς θέσης ὅτι ἡ γλώσσα μιᾶς ἐπιστημονικῆς θεωρίας ἐπιδέχεται κυριολεκτικὴ ἐρμηνεία. Ἡ θέση αὐτὴ ὑπαγορεύει ὅτι οἱ δηλώσεις μιᾶς ἐπιστημονικῆς θεωρίας, τόσο γιὰ παρατηρήσιμες ὅσο καὶ γιὰ μὴ παρατηρήσιμες ὀντότητες, πρέπει νὰ ἐκλαμβάνονται ὡς γνήσιες προτάσεις ποὺ ὑπόκεινται στοὺς χαρακτηρισμοὺς «ἀληθῆς» / «ψευδῆς» καὶ ὅτι οἱ θεωρητικοὶ ὅροι πρέπει νὰ θεωροῦνται κατ’ ἀρχὴν ὡς γνήσια ἀναφορικοί.<sup>18</sup> Τὸ ὅτι ἡ ἐργαλειοκρατία καὶ ὁ ἀναγωγικὸς ἐμπειρισμὸς ἀπορρίπτουν τὴ δυνατότητα κυριολεκτικῆς ἐρμηνείας τῆς γλώσσας μιᾶς ἐπιστημονικῆς θεωρίας φαίνεται ἀπὸ τὶς ἐξῆς παρατηρήσεις: Ἡ ἐργαλειοκρατία ἀρνεῖται ὅτι οἱ δηλώσεις μιᾶς ἐπιστημονικῆς θεωρίας ἐπιδέχονται —ἢ ὅτι πρέπει νὰ θεωροῦμε ὅτι ἐπιδέχονται— ἀληθοτιμές, δεδομένου ὅτι τὶς ἐκλαμβάνει ὡς κανόνες γιὰ τὴ συσχέτιση καὶ πρόβλεψη ἐμπειρικῶν φαινομένων. Ἀπὸ τὴν ἄλλη, γιὰ τὸν ἀναγωγικὸ ἐμπειρισμὸ ἀποτελεῖ ζήτημα ἀρχῆς ὅτι τὸ νόημα τῶν θεωρητικῶν ὄρων καὶ δηλώσεων μπορεῖ νὰ ἀναλυθεῖ ἐξ ὀλοκλήρου μὲ ἀναφορὰ σὲ παρατηρήσιμες ὀντότητες καὶ φαινόμενα. Αὐτὸ ἐπιτρέπει τὴν ἄποψη ὅτι δύο ἐμπειρικὰ ἰσοδύναμες θεω-

18. Πρβλ. αὐτὸ ποὺ ὁ van Fraassen (1980, σ. 10-11) ἀποκαλεῖ “literal construal of the language of science”.



ρίες μπορούν «κατά βάθος να λένε το ίδιο πράγμα» μολονότι «έπιφανειακά» αντιφάσκουν μεταξύ τους — άποψη που φαλκιδεύει τη δυνατότητα κυριολεκτικής έρμηνείας τών εν λόγω θεωριών.

Η άποδοχή τής θέσης ότι η γλώσσα μιās φυσικής θεωρίας έπιδέχεται κυριολεκτική έρμηνεία νομιμοποιεί τó αίτημα όντολογικής έρμηνείας τής θεωρίας αυτής χωρίς να δεσμεύει περαιτέρω — δηλαδή, πέρα από τήν άπόρριψη τής έργαλειοκρατίας και τού αναγωγικού έμπειρισμού — σε κάποια έκδοχή έπιστημονικού ρεαλισμού. Και τούτο γιατί η θέση αυτή συγκροτεί μόνο τή σημασιολογική συνιστώσα τού έπιστημονικού ρεαλισμού — τόν σημασιολογικό ρεαλισμό. Γενικά, ό έπιστημονικός ρεαλισμός συμπεριλαμβάνει τρεις διακριτές θέσεις για τήν έπιστήμη: 1) τή μεταφυσική θέση ότι ό κόσμος έχει μιá όρισμένη δομή ανεξάρτητη από τή νόηση, 2) τή σημασιολογική θέση ότι η γλώσσα μιās έπιστημονικής θεωρίας έπιδέχεται κυριολεκτική έρμηνεία, και 3) τή γνωσιολογική θέση ότι οι ώριμες και καλώς έπικυρωμένες θεωρίες είναι (κατά προσέγγιση) άληθείς για τόν κόσμο και, συνεπώς, οι όντότητες που αυτές οι θεωρίες θέτουν, ή παρόμοιες όντότητες, βρίσκονται στόν κόσμο.<sup>19</sup>

Έτσι ένας αντιρεαλιστής μπορεί να άποδεχθεί τή φιλοσοφική νομιμότητα τού έγχειρήματος τής όντολογικής έρμηνείας μιās φυσικής θεωρίας Τ αλλά να εκλάβει τó προϊόν αυτού τού έγχειρήματος άπλώς ως ανάπτυξη τού περιεχομένου τής Τ. Μπορεί να συμφωνήσει ότι οι φυσικές θεωρίες αναλαμβάνουν όντολογικές δεσμεύσεις, αλλά να άρνηθεί ότι οι φυσικές θεωρίες είναι άληθείς έστω και κατά προσέγγιση, ή ότι έχουμε λόγους να πιστεύουμε στην άλήθεια τέτοιων θεωριών άκόμη και αν είναι έμπειρικά έπαρκεις, ή ότι η έπιστήμη σκοπεύει να μās άποκαλύψει μιá κυριολεκτικώς άληθή εικόνα τού πραγματικού κόσμου, ή ότι η εικόνα αυτή είναι ανεξάρτητη από τόν γνώστη, κ.ο.κ. Τό έγχείρημα τής όντολογικής έρμηνείας μιās φυσικής θεωρίας δέν προϋποθέτει κάποια συγκεκριμένη γνωσιολογική στάση απέναντι στην έπιστήμη, ούτε μιá συγκεκριμένη αντίληψη για τόν στόχο τής έπιστημονικής πρακτικής, παρά μόνο μιá δέσμευση στην όρθή κατανόηση τού «τί λέει» ή φυσική θεωρία.

Έμμένοντας στη δυνατότητα κυριολεκτικής έρμηνείας τής γλώσσας μιās έπιστημονικής θεωρίας, ό σημασιολογικός ρεαλισμός φαίνεται, από πρώτη ματιά, να κάνει τó έγχείρημα τής όντολογικής έρμηνείας μιās φυσικής θεωρίας τετριμένο. Αν η θεωρία έμπεριέχει τή δήλωση «Υπάρχουν quarks» και τή δήλωση «Κάθε πρωτόνιο άποτελείται από τρία quarks», τότε οι δυνατοί κόσμοι που περιγράφει η θεωρία έμπεριέχουν quarks και πρωτόνια, με κάθε πρωτόνιο να άποτελείται από τρία quarks. Ωστόσο, ή

19. Η διάκριση και ή όρολογία όφείλονται στόν Σ. Ψύλλο (Psillos 1999).

ιδέα ότι μπορούμε απλώς να αναγνώσουμε τις οντολογικές δεσμεύσεις μιᾶς φυσικῆς θεωρίας είναι ἀφελής. Καὶ τοῦτο γιὰ διάφορους λόγους.

Ἐνας λόγος εἶναι ὅτι τὸ ἐγγεῖρημα τῆς οντολογικῆς ἐρμηνείας μιᾶς φυσικῆς θεωρίας μπορεῖ νὰ συμπεριλαμβάνει μιὰ μορφή ἐπεξεργασίας ἢ ἀνάπτυξης τοῦ γλωσσικοῦ πλαισίου τῆς θεωρίας μὲ τὴ βοήθεια ἄλλων φυσικῶν ὑποθέσεων. Παράδειγμα τέτοιας ἐπεξεργασίας εἶναι ἡ ἀναγωγή τῆς γλώσσας τῆς φαινομενολογικῆς θερμοδυναμικῆς στὴ γλώσσα τῆς στατιστικῆς μηχανικῆς: ἡ ποσότητα ἐνὸς ἀερίου ταυτίζεται μὲ ἓνα σύνολο μορίων, ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀερίου μὲ τὴ μέση κινητικὴ ἐνέργεια τῶν μορίων, κ.ο.κ. Ἀνάλογα, ὁ μελετητῆς τῆς σύγχρονης σωματιδιακῆς φυσικῆς μπορεῖ νὰ ἰσχυριστῆ ὅτι ὁ ὅρος «σωματίδιο» ἀναφέρεται ἀπλῶς σὲ διεγέρσεις κβαντικῶν πεδίων.

Κατὰ δεύτερο λόγο, μιὰ σύγχρονη φυσικὴ θεωρία εἶναι ἐμφυτευμένη σὲ μιὰ εὐρύτερη μαθηματικὴ δομὴ καὶ ὀρισμένα στοιχεῖα αὐτῆς τῆς δομῆς μπορεῖ νὰ μὴν ἔχουν φυσικὸ ἀντίκρισμα. Ὁ Redhead (1975, 2002) ἔχει ἐπινοήσει τὸν ὅρο «πλεονάζουσα δομὴ» ('surplus structure') γιὰ νὰ ὑποδηλώνει τὸ συμπλήρωμα μιᾶς μαθηματικῆς δομῆς ποὺ ὑπερβαίνει τὴν ἀναπαράσταση τοῦ δεδομένου φυσικοῦ μοντέλου καὶ ἔχει ἐπισημάνει τὴν ὕπαρξη πολλῶν τέτοιων περιπτώσεων. Καὶ τὸ ζήτημα παίζει κεντρικὸ ρόλο στὴν κατανόηση τῶν συμμετριῶν βαθμίδας (gauge symmetries). Ἡ ὕπαρξη πλεονάζουσας δομῆς εἰσάγει ἓνα εἶδος «ἀμφισημίας» στὴ μαθηματικὴ ἀναπαράσταση στοιχείων τοῦ φυσικοῦ μοντέλου. Ἄς δοῦμε ἓνα παράδειγμα διαφορετικὸ ἀπὸ ἐκεῖνα ποὺ πραγματεύεται ὁ Redhead. Ἄς θεωρήσουμε ἓνα κβαντικὸ σύστημα ποὺ περιγράφεται μαθηματικὰ μὲ τὴ βοήθεια ἐνὸς χώρου Hilbert  $\mathcal{H}$  καὶ τοῦ ὁποῦ ἡ φυσικὴ δομὴ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ μιλοῦμε γιὰ περιστροφές. Ὁ τελεστής  $R_{\omega}^z = \exp(-i\omega J_z/\hbar)$ , ὅπου  $J_z$  ὁ τελεστής τῆς στροφορμῆς κατὰ τὸν ἄξονα  $z$  σὲ κάποιο «σύστημα ἀναφορᾶς ἐργαστηρίου», ἀντιστοιχεῖ σὲ περιστροφή κατὰ γωνία  $\omega$  γύρω ἀπὸ τὸν ἄξονα  $z$ . Ἐνα παρατηρήσιμο μέγεθος δὲν θὰ πρέπει νὰ μεταβάλλεται κατὰ μιὰ πλήρη περιστροφή ( $\omega = 2\pi$ ). Αὐτὸ σημαίνει ὅτι ὁ αὐτοσυζυγῆς τελεστής, ἔστω  $Q$ , ποὺ ἀναπαριστάνει τὸ παρατηρήσιμο μέγεθος θὰ πρέπει νὰ ικανοποιεῖ τὴ σχέση  $\exp(i2\pi J_z/\hbar)Q\exp(-i2\pi J_z/\hbar) = Q$ . Δηλαδή, ἀπὸ τοὺς αὐτοσυζυγεῖς τελεστές ποὺ ὀρίζονται πάνω στὸν ἄξονα Hilbert  $\mathcal{H}$  μόνον ἐκεῖνοι ποὺ μετατίθενται μὲ τὸν  $R_{2\pi}^z$  θὰ ἀναπαριστάνουν παρατηρήσιμα μεγέθη. Ἐπιπλέον, ἂν  $\psi$  καὶ  $\phi$  εἶναι διανύσματα στὸν  $\mathcal{H}$  τέτοια ὥστε  $R_{2\pi}^z\psi = \psi$  καὶ  $R_{2\pi}^z\phi = -\phi$ , τότε τὰ διανύσματα  $\psi + \phi$  καὶ  $R_{2\pi}^z(\psi + \phi) = \psi - \phi$  θὰ ἀναπαριστάνουν τὴν ἴδια φυσικὴ κατάσταση, μὲ τὴν ἐννοια ὅτι ἀποδίδουν τὶς ἴδιες ἀναμενόμενες τιμὲς σὲ κάθε παρατηρήσιμο μέγεθος.<sup>20</sup>

20. Ἐχουν παραλειφθεῖ ὀρισμένες τεχνικὲς λεπτομέρειες. Τὸ παράδειγμα ἀποτελεῖ εἰδικὴ περίπτωση κβαντικῆς θεωρίας ποὺ ἐμφανίζει κανόνες ὑπερεπιλογῆς (superselection

Ἐπιπλέον, οἱ φυσικοὶ χρησιμοποιοῦν συχνὰ προσεγγιστικὲς τεχνικὲς ὑπόλογισμοῦ ποὺ βασίζονται σὲ ὑποθέσεις εὐρετικῆς μόνο χρησιμότητος γιὰ τὴν ὑπαρξὴ ὄντοτήτων καὶ διαδικασιῶν. Τέτοια φαίνεται νὰ εἶναι ἡ περίπτωση τῶν «εἰκονικῶν σωματιδίων» (virtual particles) ποὺ ἐμφανίζονται στὰ διαγράμματα Feynman κατὰ τὸν ὑπόλογισμό πλατῶν σκέδασης σὲ ἀλληλεπιδράσεις ποὺ περιγράφει ἡ κβαντικὴ ἠλεκτροδυναμικὴ. Λίγοι θὰ ἦταν διατεθειμένοι νὰ ἐρμηνεύσουν αὐτὲς τὲς τεχνικὲς ὑπόλογισμοῦ μὲ ρεαλιστικὸ τρόπο ἀποδίδοντας καθεστῶς «στοιχείων τῆς πραγματικότητος» στὲς ἐν λόγω ὀντότητες καὶ διαδικασίες.<sup>21</sup>

Ἐνας ἄλλος λόγος γιὰ τὸν ὁποῖο τὸ ἐγχείρημα τῆς ὄντολογικῆς ἐρμηνείας μιᾶς φυσικῆς θεωρίας δὲν εἶναι τετριμμένο εἶναι ὁ ἔξης: μιὰ (συνεπῆς καὶ ἐπικυρωμένη) φυσικὴ θεωρία μπορεῖ νὰ ἐπιδέχεται ἐναλλακτικὲς διατυπώσεις καὶ νὰ εἶναι συμβατὴ μὲ περισσότερες ἀπὸ μιὰ ὄντολογικὲς ἐρμηνεῖες. Λόγου χάριν, ἡ κλασικὴ νευτώνεια μηχανικὴ, ὅπως τὴν νοοῦμε συνήθως, εἶναι μιὰ θεωρία σωματιδίων: πράγματεῦται σύνολα ἀτομικῶν ὑποστάσεων («σωματίδια») καθεμία ἀπὸ τὲς ὁποῖες φέρει ἓνα πλῆθος ιδιοτήτων (μάζα, σχῆμα, κ.λπ.). Ἐξ ἄλλου, ἡ «ἐπίσημη» νευτώνεια μεταφυσικὴ ποὺ ἀναπτύσσεται στὰ *Opticks* ἀποτελεῖ ἐκδοχὴ τοῦ ἀτομικοῦ προτύπου.<sup>22</sup> Ὅπως ὅμως ἰσχυρίσθηκε ὁ Stein (1970), βασιζόμενος σὲ ἀδημοσίευτα χειρόγραφα τοῦ ἴδιου τοῦ Newton, ἡ ἴδια θεωρία μπορεῖ, τουλάχιστον κατ' ἀρχὴν, νὰ ἀνασυγκροτηθεῖ σὰν μιὰ θεωρία πεδίου. Ἡ πρωταρχικὴ ὀντότητα θὰ εἶναι ἓνα δίτιμο πεδίο  $\psi(\vec{x}, t)$  ποὺ σὲ κάθε σημεῖο  $(\vec{x}, t)$  τοῦ χωροχρόνου θὰ λαμβάνει τὴν τιμὴ 1 ἢ τὴν τιμὴ 0 ἀνάλογα μὲ τὴν ἀπόδοση ἢ μῆ, ἀντίστοιχα, τῆς ποιότητος τῆς ἀδιαπεραστότητας —μιᾶς «ἀπειρης» ἀπωστικῆς δυνάμεως— στὸ χωροχρονικὸ σημεῖο  $(\vec{x}, t)$ . Θὰ εἰσάγεται ἐπιπλέον ἓνα πεδίο ἀδράνειας τοῦ ὁποῖου ἡ τιμὴ σὲ κάθε χωροχρονικὸ σημεῖο θὰ δίνει τὴν ἐκεῖ πυκνότητα μάζας καὶ θὰ λαμβάνει τιμὲς διάφορες τοῦ μηδενὸς σὲ ὅλα καὶ μόνο σὲ ἐκεῖνα τὰ χωροχρονικὰ σημεῖα στὰ ὁποῖα ἀποδίδεται ἀδιαπεραστότητα. Τέλος, προκειμένου νὰ ἐξασφαλισθεῖ ἡ ἐμπειρικὴ καὶ ἐξηγητικὴ ἐπάρκεια τῆς θεωρίας, θὰ εἰσάγονται πρόσθετα πεδία καὶ κατάλληλοι νόμοι ἀλληλεπίδρασης. Στὸ ὄντολογικὸ

rules). Σὲ κάθε τέτοια κβαντικὴ θεωρία ὑπάρχουν αὐτοσυζυγεῖς, τελεστὲς πάνω στὸν χώρο Hilbert τῶν φυσικῶν καταστάσεων ποὺ δὲν ἐκφράζουν παρατηρήσιμα μεγέθη καὶ καταλύεται ἡ μοναδικότητα τῆς μαθηματικῆς ἀναπαράστασης τῶν καταστάσεων ἀπὸ πίνακες πυκνότητος.

21. Ἐπιχειρήματα ἐναντίον τῆς πραγματικότητος τῶν εἰκονικῶν σωματιδίων ἔχουν ἀναπτυχθεῖ ἀπὸ τοὺς Weingard (1988) καὶ Teller (1995, σ. 131-142). Τὴν ἴδια θέση ὑποστηρίζει καὶ ὁ Huggett στὸ ἄρθρο ποὺ βρίσκεται μεταφρασμένο στὸ παρὸν τεῦχος. Γιὰ μιὰ διαφορετικὴ ἀποψη βλ. Harré (1988).

22. Ἡ κλασικὴ ἀναφορὰ εἶναι τὸ *Query 31* τῶν *Opticks*. Εἰδικότερα βλ. Newton ([1730] 1952, σ. 400).

πλαίσιο που προσιδιάζει σε μια τέτοια θεωρία, ή έννοια της ύλης ανάγεται στην έννοια του πεδίου: τα ύλικά σωματίδια δεν είναι παρά σύμπλοκα ιδιοτήτων περιοχών του χωροχρόνου.

Γενικότερα, οι φυσικές θεωρίες, στις διάφορες εκδοχές τους, δεν είναι άμοιρες πρότερων όντολογικών δεσμεύσεων. Οι επιστήμονες που τις οικοδομούν φέρνουν στις θεωρίες όντολογικές δεσμεύσεις. Έτσι όταν κανείς αποπειράται να διευκρινίσει την εικόνα που δίνει μια φυσική θεωρία για τον κόσμο, πρέπει να εξετάσει ποιές μεταφυσικές υποθέσεις έχουν εμφυτευτεί στη θεωρία και κατά πόσον διαφορετικές τέτοιες υποθέσεις θα επέτρεπαν στην ίδια θεωρία, ή σε κάποια παραλλαγή της, να διατηρήσει τις μεθοδολογικές της αρετές (έμπειρική επάρκεια, εξηγητική πληρότητα, κ.λπ.). Αυτό εξηγεί πώς είναι δυνατόν και οι δύο πλευρές μιᾶς φιλοσοφικής διαμάχης να επικαλούνται την ίδια θεωρία προκειμένου να τεκμηριώσουν τις απόψεις τους. Στη φιλοσοφική διαμάχη για το όντολογικό καθεστώς του χωροχρόνου, τόσο υποστασιοκράτες όσο και σχεσιοκράτες έχουν ισχυριστεί ότι η γενική θεωρία της σχετικότητας δικαιώνει τις απόψεις τους.<sup>23</sup> Αλλά τέτοιοι ισχυρισμοί πρέπει να αντιμετωπίζονται με μια δόση καχυποψίας.

Η παραπάνω συζήτηση θέτει έπιτακτικά τουλάχιστον δύο έρωτήματα. Το πρώτο έρωτήμα αφορά την αξιολόγηση όντολογικών έρμηνειών φυσικών θεωριών. Με τί είδους κριτήρια αποτιμώνται οι, ένδεχομένως πολλές και διαφορετικές, όντολογικές έρμηνείες μιᾶς φυσικής θεωρίας; Θα μπορούσε κανείς να ταξινομήσει τα κριτήρια αυτά σε έσωτερικά και έξωτερικά. Τα πρώτα δεν κάνουν ρητή αναφορά σε άλλες φυσικές θεωρίες και συμπεριλαμβάνουν κριτήρια όπως η έννοιολογική συνοχή (όχι μόνο με την έννοια της λογικής συνέπειας, δηλαδή της απουσίας αντιφάσεων, αλλά και με την έννοια της αλληλουποστηριξιμότητας των διαφόρων θέσεων και της όντολογικής οίκονομίας), η έμπειρική επάρκεια, η μαθηματική αυστηρότητα, κ.ά. Τα έξωτερικά κριτήρια αξιολόγησης αφορούν τις σχέσεις της υπό εξέταση έρμηνείας με άλλες φυσικές θεωρίες και τις έρμηνείες τους. Είναι συμβατή ή προτεινόμενη έρμηνεία με άλλες παραδεδομένες φυσικές θεωρίες ή τις επικρατούσες έρμηνείες τους; Είναι γόνιμη ή προτεινόμενη έρμηνεία για τη συγκρότηση νέων φυσικών θεωριών; Για παράδειγμα, μια από τις ένδιαφέρουσες θεματικές της φιλοσοφίας της κβαντικής μηχανικής είναι ο έλεγχος της συμβατότητας των διαφόρων έρμηνειών της με τη θεωρία της σχετικότητας.<sup>24</sup> Από την άλλη, οι θεωρητικοί φυσικοί που αναζητούν μια θεωρία της κβαντικής βαρύτητας θεωρούν αναπόσπαστο κομμάτι

23. Για μια έπισκόπηση αυτής της θεματικής στη φιλοσοφία του χώρου και του χρόνου βλ. Earman (1989).

24. Βλ., π.χ., Maudlin (1994).

τῆς ἔρευνας τους τὴν ἐπεξεργασία ἐρμηνειῶν τῶν ἤδη διαθέσιμων κβαντικῶν θεωριῶν καὶ θεωριῶν τοῦ χωροχρόνου.<sup>25</sup>

Τὸ δεύτερο ἐρώτημα φαίνεται ἰδιαίτερα ὀξὺ γιὰ τὸν ὁπαδὸ τοῦ ἐπιστημονικοῦ ρεαλισμοῦ. Ἄς δεχθοῦμε ὡς γνωσιολογικὴ δυνατότητα ὅτι γιὰ τὴν ἴδια (συνεπὴ καὶ ἐπικυρωμένη) φυσικὴ θεωρία ὑπάρχουν δύο, ἐξίσου ἱκανοποιητικὲς ἀπὸ μεθοδολογικῆς σκοπιᾶς, ὄντολογικὲς ἐρμηνεῖες. Πῶς εἶναι δυνατόν τότε ὁ ἐπιστημονικὸς ρεαλιστὴς νὰ ἰσχυριστεῖ ὅτι κάποια ἀπὸ αὐτὲς παρέχει μιὰ κυριολεκτικὰ ἀληθὴ εἰκόνα γιὰ τὸν κόσμον; Τὸ περίγραμμα μιᾶς ἀπάντησης ἀπὸ τὴν πλευρὰ τοῦ ἐπιστημονικοῦ ρεαλισμοῦ ἔχει δώσει ὁ Boyd (1984, σ. 78). Ὁ ἐπιστημονικὸς ρεαλισμὸς δὲν ἐπιβάλλει τὴν ὑπάρξη μιᾶς καὶ μοναδικῆς ἀληθοῦς ὄντολογίας, ἀκόμη καὶ ἂν αὐτὴ ἀναφέρεται στὸ πλέον θεμελιώδες ἐπίπεδο φυσικῆς θεωρίας (ὑποθέτοντας ἐδῶ ὅτι ὑπάρχει ἓνα τέτοιο ἐπίπεδο). Ἐπιτρέπει νὰ ὑπάρχουν δύο καθολικὲς καὶ ἀληθεῖς ὄντολογίες γιὰ τὴ θεμελιώδη φυσικὴ ἐφόσον εἶναι ἰσοδύναμες μὲ τὴν ἔννοια ὅτι οἱ ὀντότητες τῆς μιᾶς συγκροτοῦνται αἰτιακὰ ἀπὸ ἐκεῖνες τῆς ἄλλης. Ἡ δυνατότητα πολλαπλῶν, ἀλλὰ ὄντολογικὰ ἰσοδύναμων, ἐρμηνειῶν δὲν ὑπονομεύει μιὰ γενικὴ ρεαλιστικὴ στάση ἀπέναντι στὴν ἐπιστήμη.

#### 4. Μεταφυσική.

Σύμφωνα μὲ δηλώσεις πολλῶν φιλοσόφων τῆς φυσικῆς, ἡ ἀνάπτυξη καὶ διερεύνηση ὄντολογικῶν ἐρμηνειῶν φυσικῶν θεωριῶν συγκροτοῦν ἐρευνητικὰ προγράμματα στὴ μεταφυσικὴ. Χαρακτηριστικὸς εἶναι ὁ τίτλος τοῦ βιβλίου τοῦ Redhead (1995), *From Physics to Metaphysics*. Στὸ δὲ ἐξώφυλλο τοῦ τόμου *The Philosophy of Vacuum* ποῦ ἐπιμελήθηκαν οἱ Saunders καὶ Brown (1991) διαβάζουμε:

«Τὸ *The Philosophy of Vacuum* εἶναι χωρὶς ντροπὲς ἓνα πρόγραμμα στὴ μεταφυσικὴ... Ὅσο ὀλισθηροὶ καὶ ἂν εἶναι οἱ γρίφοι τοῦ μεταφυσικοῦ ρεαλισμοῦ, τὸ μήνυμα τῆς σύγχρονης ἐπιστήμης παραμένει τὸ ἴδιο: οἱ ἔννοιες καὶ οἱ εὐρέτικὲς θεμελιώνονται στὴ μελέτη τοῦ τί ὑπάρχει στὸν κόσμον. Ἐδῶ, λοιπόν, εἶναι ἓνα ἔργο στὴ μοντέρνα μεταφυσικὴ, στὸ ὅποιο οἱ ἔννοιες τῆς ὑπόστασης καὶ τοῦ χώρου διαπλέκονται στὴν πλέον ἄυλη τῶν μορφῶν, τὸ ὑπόβαθρον καὶ πλαίσιο τῆς φυσικῆς μας ἐμπειρίας: τὸ κενό...».

Ἐπειδὴ, ὅμως, δὲν ὑπάρχει σαφὴς καὶ κοινὰ ἀποδεκτὸς ὀρισμὸς τῆς μεταφυσικῆς, οὔτε γενικὴ συμφωνία γιὰ τὸ ποιοί εἶναι οἱ στόχοι τῆς καὶ

25. Βλ. Callender and Huggett (eds.) (2001).

ποιά τὰ ὄριά της, εἶναι χρήσιμο νὰ ἀποπειραθοῦμε νὰ διευκρινίσουμε τὴν ἔννοια ὑπὸ τὴν ὁποία ἡ σύγχρονη φιλοσοφία τῆς φυσικῆς συνιστᾶ «ἀσκη-  
ση στὴ μεταφυσικὴ» καθὼς καὶ νὰ ἐντοπίσουμε τί ἀκριβῶς εἶναι αὐτὸ ποὺ  
μπορεῖ νὰ τὴν διακρίνει ἀπὸ τὴ θεωρητικὴ φυσικὴ. Φυσικά, αὐτὴ ἡ ἀπό-  
πειρα ἄπτεται ἔντονα διαμφισβητούμενων μεταφιλοσοφικῶν θέσεων. Ἐτσι  
θὰ περιοριστῶ μόνο σὲ σύντομες παρατηρήσεις, ἐλπίζοντας ὅτι ὁ ἀναγνώ-  
στης ποὺ ἔχει βαθύτερη γνώση τῆς ἱστορίας τῆς φιλοσοφίας θὰ ἀναγνώ-  
ρίσει περισσότερες ὁμοιότητες καὶ ἀναφορές.

Δύο ἀπὸ τοὺς στόχους ποὺ ἡ φιλοσοφικὴ παράδοση ἔχει ἀναθέσει στὴ  
μεταφυσικὴ εἶναι οἱ ἐξῆς: Ὁ πρῶτος στόχος εἶναι ἡ συγκρότηση ἑνὸς «κα-  
ταλόγου» ποὺ περιέχει τὰ εἶδη τῶν θεμελιωδῶν ὄντοτήτων ποὺ ὑπάρχουν.  
Καὶ ὁ δεύτερος εἶναι ἡ διερεύνηση τῶν «πρώτων ἀρχῶν» ποὺ ἀποτελοῦν  
θεμέλια κάθε (ἄλλης) γνώσης.

Σὲ μιὰ πρώτη ἀντίδραση, θὰ μπορούσε κανεὶς νὰ ἀντιτείνει ὅτι ὁ  
πρῶτος στόχος ἀνήκει πλέον στὴ δικαιοδοσία τῆς φυσικῆς — τουλάχιστον  
ὅσον ἀφορᾷ ἐκεῖνο τὸ «κομμάτι» ἢ ἐκεῖνες τὶς «ὄψεις» τοῦ κόσμου ποὺ  
πραγματεύεται ἡ φυσικὴ, ἂν ἐπιθυμοῦμε νὰ ἀποφύγουμε φυσικαλιστικὲς  
δεσμεύσεις. Πράγματι, ἡ φυσικὴ θὰ μᾶς πεῖ ποιὰ εἶδη πραγμάτων ὑπάρ-  
χουν, τί ιδιότητες ἔχει κάθε πράγμα, ἂν καὶ πῶς μεταβάλλονται αὐτὲς οἱ  
ιδιότητες, κ.λπ. Ὅμως δὲν εἶναι δουλειὰ τῆς φυσικῆς νὰ μᾶς πεῖ τί εἶναι  
ἓνα «πράγμα» καὶ τί «ιδιότητα» ἑνὸς πράγματος, ἂν ἔχει νόημα ἡ διά-  
κριση μεταξὺ ἑνὸς πράγματος καὶ τῶν ιδιοτήτων του, πῶς πρέπει νὰ ἀνα-  
λυθοῦν ἡ ταυτότητα καὶ ἡ μεταβολή, κ.λπ. Ἀξίζει νὰ ἐπισημάνουμε ὅτι  
μερικοὶ σύγχρονοι θεωρητικοὶ φυσικοὶ ἔχουν ἐπίγνωση αὐτῆς τῆς δυνατό-  
τητας συμβολῆς τῆς φιλοσοφίας. Ἐνδεικτικὸ εἶναι τὸ ἀκόλουθο ἀπόσπα-  
σμα ἀπὸ τὴν ἐνότητα μὲ τίτλο “What is a Thing?” τοῦ βιβλίου τοῦ Isham  
(1995, σ. 54):<sup>26</sup>

«... Ἀλλὰ τί ἐννοοῦμε μὲ τὸν ὄρο ‘πράγμα’; Καὶ τί εἶναι μιὰ ιδιότη-  
τα; Ἡ μιὰ φυσικὴ ποσότητα; Εἶναι πράγματι ἡ σημασία αὐτῶν τῶν  
ὄρων τόσο προφανής; Ἀντιμετωπίζουμε ἐδῶ τὸ ἐρώτημα τοῦ ὁποίου  
ἡ ἀθωότητα εἶναι τόσο ιδιαίτερα ἀπατηλή:

Τί εἶναι ἓνα ‘πράγμα’;

26. Ἀξίζει νὰ σημειωθεῖ ὅτι στὴν ἴδια ἐνότητα ὁ συγγραφέας κάνει ρητὴ ἀναφορὰ  
στὸ ὁμώνυμο ἔργο τοῦ Heidegger καθὼς καὶ στὸν Kant. Ἄς σημειωθεῖ ἐπίσης ὅτι τὸ κύ-  
ριο σῶμα τοῦ βιβλίου ἀποτελοῦσε, μὲ τὴ μορφή σημειώσεων, διδακτικὸ βοήθημα γιὰ προ-  
πτυχιακὸ μάθημα πάνω στὴν κβαντικὴ θεωρία σὲ φοιτητὲς τοῦ Τμήματος Φυσικῆς τοῦ  
Imperial College, London.

Αυτό το έξοχο ερώτημα ἐγκαινίασε τὴ Δυτικὴ φιλοσοφία πρὶν ἀπὸ δύομισι χιλιάδες χρόνια καί, μαζί με τὸ συμπληρωματικὸ ἐρώτημα “ποιά εἶναι ἡ φύση τῆς γνώσης μας γιὰ τὰ πράγματα;”, ἐξακολουθεῖ νὰ μᾶς καταδιώκει σήμερα.

...[Τὸ ἐρώτημα “τί εἶναι ἓνα πράγμα;”] δὲν ἐπιζητᾶ τις ιδιότητες κάποιου συγκεκριμένου πράγματος ποῦ θὰ τὸ διέκριναν ἀπὸ ὅποιοδήποτε ἄλλο, ἀλλὰ μᾶλλον τὴν οὐσία τῶν πραγμάτων ἐν γένει... Τὸ ἐρώτημα “τί εἶναι ἓνα πράγμα;” προκαλεῖ τὸ μεγαλύτερο ἐρώτημα “τί σημαίνει τὸ νὰ ὑπάρχει κάτι;”».

Μὲ αὐτὴ τὴν ἔννοια, ἡ ἀποσαφήνιση τῶν ἐννοιολογικῶν θεμελιῶν τῶν σύγχρονων φυσικῶν θεωριῶν πρέπει νὰ ἐπικουρεῖται ἀπὸ τὴν τυπικὴ ὄντολογία — τὴ φιλοσοφικὴ σπουδὴ τῶν διαφόρων ἀντικειμένων ἀνάλογα μετὸν τύπο στὸν ὁποῖο ἀνήκουν (πράγμα, ιδιότητα, συμβάν, διαδικασία, γεγονός, σχέση, σύστημα, κ.ο.κ.). Ἔτσι ἡ σύγχρονη φιλοσοφία τῆς φυσικῆς συνδέεται, σὲ τελευταία ἀνάλυση, μετὸν ἓναν ἀπὸ τοὺς κλάδους τῆς σπουδῆς ποῦ ὁ Ἀριστοτέλης ὀνόμαζε σοφία ἢ πρώτη φιλοσοφία καὶ διέκρινε ἀπὸ τις ἐπιμέρους ἐπιστῆμες: τὴν ἐπιστήμη ποῦ διερευνᾷ τὸ ὄν ἢ τὸν καὶ τὰ τούτῳ ὑπάρχοντα καθ’ αὐτό (Μετὰ τὰ φυσικά Γ 1, 1003a 21-22).

Καὶ ὁ δεύτερος παραδοσιακὸς στόχος τῆς μεταφυσικῆς, ἡ μελέτη τῶν «πρώτων ἀρχῶν» ποῦ ἀνήκουν στὰ θεμέλια κάθε γνώσης, μπορεῖ νὰ συνδεθεῖ μετὸ ὄνομα τοῦ Ἀριστοτέλη. Στὸ *Μετὰ τὰ φυσικά* Α 2, 982b 1-15, ὁ Ἀριστοτέλης ὀρίζει τὴ σοφία ὡς μελέτη τῶν πρώτων ἀρχῶν καὶ αἰτιῶν. Ἄν καὶ δὲν γίνεται ἀπολύτως σαφὲς στὸ ἀριστοτελικὸ κείμενο, μπορούμε νὰ ὑποθέσουμε ὅτι πρόκειται γιὰ φιλοσοφικὴ ἀνάλυση τῆς αἰτιότητας καὶ τῶν ἐνοιῶν ποῦ ὑπεισέρχονται σὲ αὐτὴ τὴν ἀνάλυση (π.χ., ὕλη καὶ μορφή).<sup>27</sup> Ἀσφαλῶς, ἡ ἴδια ἢ φράση «μελέτη τῶν ἀρχῶν ποῦ συγκροτοῦν τὰ θεμέλια κάθε γνώσης» παραπέμπει περισσότερο στὴ γνωσιολογικὴ στροφή ποῦ ἔδωσε στὴ μεταφυσικὴ ὁ Kant. Καὶ ὅπως ὁ Kant ἀφιέρωσε μεγάλο μέρος τῆς ἔρευνάς του στὴν ἐξέταση τοῦ γνωσιολογικοῦ καθεστῶτος ἀρχῶν γιὰ τὸν χῶρο καὶ τὸν χρόνο, τὴν αἰτιότητα, τὴ διατήρηση τῆς μάζας ἢ τὴ δράση-ἀντίδραση, ἔτσι καὶ οἱ σύγχρονοι φιλόσοφοι τῆς φυσικῆς διερευνοῦν τὸ γνωσιολογικὸ καθεστῶς ἀρχῶν ποῦ διέπουν τὴν τοπολογικὴ καὶ γεωμετρικὴ δομὴ τοῦ χωροχρόνου, τις ἐνοιες τῆς αἰτιότητας καὶ τῆς τοπικότητας ἢ τις ἐνοιες τῆς συμμετρίας, τοῦ ἀναλλοιώτου καὶ τοῦ συναλλοιώτου. Φυσικά, λίγοι θὰ ἦταν πρόθυμοι νὰ ὑπερασπιστοῦν σήμερα τὴν καντιανὴ θέση ὅτι αὐτοῦ τοῦ εἴδους ἢ ἔρευνα ἀποκαλύπτει τις ἀναγκαῖες προϋποθέσεις κάθε δυνατῆς γνώσης τοῦ κόσμου τῆς ἐμπειρίας. Πρόκειται

27. Τὴν ἐκτίμηση αὐτὴ διατυπώνει ὁ Barnes (1995, σ. 103).

μᾶλλον γιὰ τὴ μεταφυσικὴ ἔρευνα ποὺ ἀποκαλύπτει τὶς προϋποθέσεις τῆς φυσικῆς ἐπιστήμης μιᾶς συγκεκριμένης ιστορικῆς ἐποχῆς — ἢ, ἀκόμη πιὸ συγκεκριμένα, τὶς προϋποθέσεις μιᾶς φυσικῆς θεωρίας. Ἐπιπλέον, ὁ φιλόσοφος τῆς σύγχρονης φυσικῆς δὲν περιορίζεται ἀποκλειστικὰ στὸν ρόλο τοῦ «ἀνατόμου τῆς ἐπιστημονικῆς σκέψης» ἀλλὰ φιλοδοξεῖ συχνὰ νὰ συμβάλει στὴ διαμόρφωση νέων κατευθύνσεων ἔρευνας στὴ φυσικὴ ἀναθεωρώντας παραδεδομένες μεταφυσικὲς ὑποθέσεις.<sup>28</sup> Πράγματι, τὸ φιλοσοφικὸ ἐνδιαφέρον ἐπεκτείνεται σήμερα σὲ ἐρευνητικὰ προγράμματα στὰ ὁποῖα ὑπάρχει ἀκόμη σημαντικὸς βαθμὸς ἀβεβαιότητος ὡς πρὸς τὸ ποιὰ θὰ εἶναι ἡ μορφή μιᾶς ἱκανοποιητικῆς φυσικῆς θεωρίας. Τέτοια προγράμματα εἶναι, γιὰ παράδειγμα, αὐτὰ ποὺ ἀναζητοῦν μιὰ θεωρία τῆς κβαντικῆς βαρύτητας.

Ἐνα ἀκόμη σημεῖο ποὺ διαφοροποιεῖ τὴ σύγχρονη ἔρευνα στὴ φιλοσοφία τῆς φυσικῆς ἀπὸ τὴ μεταφυσικὴ, ὅπως αὐτὴ νοεῖται συνήθως, εἶναι ἡ δυνατότητα ἐμπειρικῶν ἐλέγχου. Δὲν εἶναι δεδομένο ὅτι οἱ μεταφυσικὲς ἀρχές πάνω στὶς ὁποῖες βασίζεται μιὰ φυσικὴ θεωρία εἶναι *a priori*. Εἶναι ἀληθές ὅτι τὸ ἐγχείρημα τῆς ὄντολογικῆς ἐρμηνείας μιᾶς φυσικῆς θεωρίας δὲν στοχεύει, ἐν γένει, στὴν παραγωγή ἐμπειρικῶν προβλέψεων καὶ ὅτι, συνεπῶς, δὲν εἶναι, ἐν γένει, δυνατὴ ἡ συγκριτικὴ ἀξιολόγηση δύο ἀνταγωνιστικῶν ὄντολογικῶν ἐρμηνειῶν τῆς ἴδιας φυσικῆς θεωρίας μὲ ἐλεγχοτῶν ἐμπειρικῶν τους συνεπειῶν. Ὡστόσο, ἡ σφαῖρα τοῦ παρατηρήσιμου καὶ τοῦ ἐμπειρικῶς ἐλέγξιμου δὲν εἶναι σταθερὴ ἀλλὰ μεταβάλλεται μὲ τὴν ἐπιστημονικὴ ἐξέλιξη καὶ τὴ φιλοσοφικὴ ἐπεξεργασία. Στὴ φιλοσοφία τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς, γιὰ παράδειγμα, ἀπαντοῦν ἐπιχειρήματα ποὺ ἀπορρίπτουν μεταφυσικὲς θέσεις («τοπικὸς ρεαλισμὸς», «ἀρχὴ κοινῆς αἰτίας», κ.ἄ.) μὲ ἐμπειρικὲς προκειμένες. Ἡ λογικὴ δομὴ αὐτῶν τῶν ἐπιχειρημάτων μπορεῖ νὰ σκιαγραφηθεῖ ὡς ἑξῆς: Ὑπόβαθρο εἶναι μιὰ πειραματικὴ κατάσταση στὴν ὁποία ζεύγη σωματιδίων ἐκπέμπονται ἀπὸ μιὰ πηγὴ — κάθε ζεύγος συγκροτεῖ ἕνα σύνθετο κβαντικὸ σύστημα — καὶ ὕστερα τὰ σωματίδια κάθε ζεύγους ὑποβάλλονται ξεχωριστὰ σὲ μετρήσεις σὲ χωρικὰ ἀπομακρυσμένες περιοχές. Μιὰ ἀνισότητα  $A$ , τῆς οἰκογένειας τῶν ἀποκαλούμενων «ἀνισοτήτων Bell», ἀποδεικνύεται μαθηματικὰ ἀπὸ δύο σύνολα προκειμένων,  $\Pi_{πειρ}$  καὶ  $\Pi_{μετ}$ :  $\Pi_{πειρ} \cup \Pi_{μετ} \vdash A$ . Τὸ σύνολο  $\Pi_{πειρ}$  περιλαμβάνει προτάσεις γιὰ συσχετίσεις μεταξύ τῶν πειραματικῶν ἀποτελεσμάτων γιὰ τὰ δύο σωματίδια ἐνῶ τὸ σύνολο  $\Pi_{μετ}$  ὑποθέσεις μεταφυσικοῦ χαρακτήρα. Ἡ κβαντικὴ μηχανικὴ προβλέπει τὶς συσχετίσεις ποὺ περιέχονται στὸ  $\Pi_{πειρ}$  ἀλλὰ ἐπίσης προβλέπει παραβίαση τῆς ἀνισότητος  $A$ . Ἐτσι πειράματα τὰ ὁποῖα ἐπιβεβαιώνουν τὶς κβαντομηχανικὲς προβλέψεις ὑπα-

28. Ὑπάρχει ἐδῶ μιὰ ἀναλογία μὲ τὴ διάκριση ποὺ κάνει ὁ Strawson ([1959] 1990, σ. 9) μεταξύ «descriptive metaphysics» καὶ «revisionary metaphysics».



γορεύουν ότι ή Α δέν ισχύει ένῶ ισχύουν οί Π<sub>πειρ</sub>. Έπεται ότι κάποια από τις μεταφυσικές υποθέσεις στο Π<sub>μετ</sub> πρέπει νά άπορριφθεῖ.<sup>29</sup> Εἶναι ένδιαφέρον ότι ό Shimony έχει έπανειλημμένα χαρακτηρίσει αύτή τήν πρακτική μέ τόν όρο *πειραματική μεταφυσική* ('experimental metaphysics').<sup>30</sup>

Συνοψίζοντας, ένα μέρος τῆς σύγχρονης φιλοσοφίας τῆς φυσικῆς — ειδικότερα, τῆς έπέξεργασίας όντολογικῶν έρμηνειῶν φυσικῶν θεωριῶν — έντάσσεται στη φιλοσοφική δραστηριότητα πού θά μπορούσε νά άποκληθεῖ *έπιστημονική μεταφυσική*: μιá μεταφυσική ή όποία στηρίζεται στις μεθοδολογικά βέλτιστες διαθέσιμες έπιστημονικές θεωρίες. Αυτό έχει όδηγήσει σέ δηλώσεις όπως ή ακόλουθη τοῦ Stein (1970, σ. 284-285): «Μπαίνω στόν πειρασμό νά πῶ ότι ή κβαντική θεωρία πεδίων εἶναι ό σύγχρονος τόπος τῆς μεταφυσικῆς έρευνας». Βέβαια, αύτή ή δήλωση, χωρίς τή συνδρομή άλλων τολμηρῶν φιλοσοφικῶν θέσεων, ένέχει μιá δόση ύπερβολῆς. Μολονότι ή ένασχόληση μέ τά θεμέλια τῶν φυσικῶν έπιστημῶν ἦταν και εἶναι κίνητρο για τήν ανάπτυξη μεταφυσικῶν «συστημάτων», δέν ἦταν και δέν εἶναι τὸ μόνο τέτοιο κίνητρο. Η ήθική, ή ιστορία και ή κοινή γλώσσα έχουν, κατά καιρούς, τροφοδοτήσει τὸ ένδιαφέρον για τή μεταφυσική.<sup>31</sup> Και ή παρακινδυνευμένη ύπόθεση ότι ή μεταφυσική έρευνα θά κατάλήξει σέ ένα ένιαῖο «σύστημα» πού θά συμπεριλαμβάνει άριθμούς και φυσικά πεδία, άνθρωπους και κοινότητες, πράξεις και καθήκοντα, αισθητικές άποκρίσεις και έργα τέχνης, κ.λπ., άποτελεῖ άντικείμενο έκτενοῦς συζήτησης.

### 5. Φιλοσοφία και φυσικοί.

Στήν έποχή μας, ό ισχυρισμός ότι ή φιλοσοφία μπορεί νά βοηθήσει τή φυσική άντιμετωπίζεται συχνά μέ καχυποψία από τους ίδιους τους φυσικούς. Χαρακτηριστική εἶναι ή περίπτωση τοῦ νομπελίστα φυσικοῦ Steven Weinberg (1992, σ. 169), ό όποῖος δηλώνει άπογοητευμένος από τή «μη εύλογη άναποτελεσματικότητα» ("unreasonable ineffectiveness") τῆς φιλοσοφίας νά επικουρήσει τήν έρευνα στη σύγχρονη φυσική — σέ προφανή άντιδιαστολή μέ τή «μη εύλογη άποτελεσματικότητα» ("unreasonable

29. Κλασικές άναφορές για αύτή τή θεματική στη φιλοσοφία τῆς κβαντικῆς μηχανικῆς εἶναι τὸ βιβλίο τοῦ Redhead (1987) καθώς και ό συλλογικός τόμος πού έπιμελήθηκαν οί Cushing και McMullin (1989).

30. Βλ. Shimony ([1984] 1993, σ. 115) και Shimony (1989, σ. 27). Τόν ίδιο όρο χρησιμοποιεῖ ό Redhead (1987) για τίτλο τοῦ τρίτου κεφαλαίου. Πάντως, όπως όρθά τονίζει ό Shimony, δέν πρέπει νά αναμένουμε όριστική και κατηγορηματική έπίλυση μεταφυσικῶν διαφωνιῶν από πειραματικά άποτελέσματα. Τά έργαστηριακά άποτελέσματα από μόνα τους, χωρίς προσεκτική έννοιολογική άνάλυση, δέν έπιλύουν ούτε «έπιστημονικά» προβλήματα, πόσο μάλλον «μεταφυσικά»!

31. Άν και τετριμμένος ό ισχυρισμός βλ. Pears ([1957] 1966).

effectiveness") τῶν μαθηματικῶν.<sup>32</sup> Ὑπάρχουν πολλοὶ λόγοι ποὺ θὰ μπορούσαν νὰ ἐξηγήσουν αὐτὴ τὴ στάση.<sup>33</sup> Ἀπὸ τὴ μιά, τὰ προϊόντα τοῦ φιλοσοφικοῦ προβληματισμοῦ δὲν ὀδηγοῦν συνήθως οὔτε σὲ πειραματικά οὔτε σὲ μαθηματικά ἐπιτεύγματα. Ἀπὸ τὴν ἄλλη, οἱ φυσικοί, ὅταν ἀντιμετωπίζουν φιλοσοφικοὺς σκοπέλους στὴ δική τους ἔρευνα, ἔχουν τὴν τάση νὰ υἱοθετοῦν αὐθόρμητα, χωρὶς ἐνδεχομένως νὰ τὸ συνειδητοποιοῦν, θέσεις ποὺ φαίνονται «φιλοσοφικά μινιμαλιστικές», εἴτε πρόκειται γιὰ ἐργαλειοκρατία εἴτε γιὰ ἄκρατο ρεαλισμό.

Ὡστόσο, πολλοὶ σύγχρονοι φυσικοὶ δὲν ἀντιμετωπίζουν μὲ καχυποψία τὴ φιλοσοφία. Ἀντίθετα, θεωροῦν ὅτι ἡ ἔρευνά τους φέρνει στὴν ἐπιφάνεια ζητήματα ποὺ ἔχουν ἀποτελέσει παραδοσιακὰ ἀντικείμενα φιλοσοφικοῦ στοχασμοῦ. Ἐνδεικτικὸ εἶναι τὸ ἀκόλουθο ἀπόσπασμα ἀπὸ τὴν εἰσαγωγή στὸ ἄρθρο τοῦ διακεκριμένου μαθηματικοῦ φυσικοῦ Rudolph Haag (1990, σ. 135):

«...ἡ θεωρητικὴ φυσικὴ ἔχει πάντα τρία οὐσιαστικὰ συστατικὰ τὰ ὁποῖα, ἐλλείψει μιᾶς καλύπτερης σύντομης ἔκφρασης, μποροῦν νὰ ἀποκληθοῦν φιλοσοφία, μαθηματικά, φαινομενολογία,<sup>34</sup> καὶ κανένα ἀπὸ τὰ ὁποῖα δὲν μπορεῖ νὰ ἀγνοηθεῖ γιὰ μακρὰ περίοδο δίχως ἐπιζήμιες συνέπειες. Ὡς φιλοσοφία ἐννοῶ τὸν σχηματισμὸ ἐννοιῶν, ποὺ ὀδηγεῖ σὲ μιὰ γλώσσα, μὲ ἀφαίρεση ἀπὸ τὰ ποιοτικὰ χαρακτηριστικὰ τῆς ἐμπειρίας καὶ δημιουργημένο μὲ τὴ βοήθεια τῆς ἐποπτείας (intuition): χῶρος, χρόνος, ὕλη, δυνάμεις, σωματίδια, πεδία, θερμοκρασία, αἰτιότητα, συμπληρωματικότητα, [...] μαζί μὲ τὴν περιβάλλουσα σύνταξη ἀρχῶν καὶ συνταγῶν, ποὺ ἐν μέρει ταιριάζουν μεταξύ τους, ἐνῶ ἄλλες δὲν ἔχουν πλήρως ἐνσωματωθεῖ ἢ εἶναι ἀντιφατικές».

Στὸ ἴδιο πνεῦμα, ὁ Chris Isham (1991, σ. 5) διερωτᾶται κατὰ πόσον τὸ κεντρικὸ πρόβλημα τῆς κβαντικῆς βαρύτητας εἶναι πρόβλημα φυσικῆς, μαθηματικῶν ἢ φιλοσοφίας.

Πῶς ἐξηγεῖται αὐτὴ ἡ διαφορὰ στάσης; Ἀξίζει νὰ δοῦμε τὸν τρόπο ποὺ ἀπαντοῦν σὲ αὐτὸ τὸ ἐρώτημα οἱ ἴδιοι οἱ φυσικοί. Διαφωτιστικὸ εἶναι

32. Ἡ κλασικὴ φράση ἀνήκει στὸν Wigner (1967).

33. Δὲν θὰ ἀναφερθῶ στὴ συνήθη μομφή ὅτι οἱ φιλόσοφοι δὲν γνωρίζουν σὲ βάθος φυσικὴ. Εἶναι προφανές ὅτι γιὰ νὰ ἀσχοληθεῖ κανεὶς ἐπιτυχῶς μὲ τὴ φιλοσοφία τῆς φυσικῆς ἀπαιτεῖται νὰ ἔχει γνώσεις τόσο στὴ φυσικὴ ὅσο καὶ στὴ φιλοσοφία. Ἐξ ἄλλου εἶναι ἀδίκον νὰ χαρακτηριστεῖ ἕνας ὀλόκληρος κλάδος μὲ ἀναφορὰ μόνον σὲ ὅσους τὸν ἀσκοῦν μὲ ἀμφίβολη ἐπιτυχία. Ἡ σύγχρονη φιλοσοφία τῆς φυσικῆς ἔχει νὰ ἐπιδείξει κείμενα ποὺ ἀντανακλοῦν βαθειὰ γνώση τῶν φυσικῶν θεωριῶν. Λίγα ἀπὸ αὐτὰ βρίσκονται στὸ παρὸν τεῦχος.

34. Στὸ ἰδίωμα τῶν φυσικῶν, «φαινομενολογία» σημαίνει «περιγραφή τῶν φαινομένων τῆς παρατήρησης ἢ τοῦ πειράματος».

τὸ ἀκόλουθο ἐκτενὲς ἀπόσπασμα ἀπὸ τὸ πρόσφατο βιβλίο τοῦ Carlo Rovelli (2004, σ. 28-29) πάνω στὴν κβαντικὴ βαρύτητα:

«Ἡ ἔρευνα πρὸς μιὰ κβαντικὴ θεωρία τῆς βαρύτητας ἐγείρει ἐρωτήματα ὅπως: Τί εἶναι ὁ χῶρος; Τί εἶναι ὁ χρόνος; Τί σημαίνει τὸ νὰ “βρίσκεται κάτι κάπου”; Τί σημαίνει τὸ νὰ “κινεῖται κάτι”; Πρέπει ἢ κίνηση νὰ ὀρίζεται μὲ ἀναφορὰ σὲ ἀντικείμενα ἢ μὲ ἀναφορὰ στὸν χῶρο; Μποροῦμε νὰ διατυπώσουμε φυσικὲς θεωρίες χωρὶς ἀναφορὰ στὸν χρόνο ἢ στὸν χωροχρόνο; Καὶ ἐπίσης: Τί εἶναι ἢ ὕλη; Τί εἶναι ἢ αἰτιότητα; Ποιὸς εἶναι ὁ ρόλος τοῦ παρατηρητῆ στὴ φυσικὴ;

Ἐρωτήματα αὐτοῦ τοῦ εἴδους ἔχουν παίξει κεντρικὸ ρόλο σὲ περιόδους μεγάλης προόδου στὴ φυσικὴ... Σήμερα, αὐτὸς ὁ τρόπος παρουσίασης προβλημάτων θεωρεῖται συχνὰ ἀπὸ πολλοὺς φυσικοὺς ὡς “πολὸ φιλοσοφικὸς”.

Πράγματι, οἱ περισσότεροί φυσικοὶ τοῦ δευτέρου μισοῦ τοῦ 20οῦ αἰῶνα ἔχουν θεωρήσει ἄσχετα [πρὸς τὴν ἔρευνά τους] τὰ ἐρωτήματα αὐτῆς τῆς φύσης. Αὐτὴ ἢ ἀποψη ἦταν κατάλληλη γιὰ τὰ προβλήματα ποὺ ἀντιμετώπιζαν: δὲν χρειάζεται κανεὶς νὰ ἀνησυχεῖ γιὰ τὶς πρῶτες ἀρχὲς προκειμένου νὰ ἐφαρμόσει τὴν ἐξίσωση Schrödinger στὸ ἄτομο ἡλίου, νὰ κατανοήσει πῶς ἓνας ἀστὴρας νετρονίων παραμένει συμπαγῆς, ἢ νὰ βρεῖ τὴν ὁμάδα συμμετρίας ποὺ διέπει τὶς ἰσχυρὲς ἀλληλεπιδράσεις. Κατὰ τὴ ρῆση ἐκείνης τῆς περιόδου, “Μὴ ρωτᾶς τί μπορεῖ νὰ κάνει ἢ θεωρία γιὰ ἕσένα· ρώτα τί μπορεῖς νὰ κάνεις ἐσὺ γιὰ τὴ θεωρία”. Δηλαδή, μὴ θέτεις ἐρωτήματα θεμελίων, ἀπλῶς συνέχισε νὰ ἀναπτύσσεις καὶ νὰ προσαρμόζεις τὴ θεωρία ποὺ ἔτυχε νὰ βρεῖς μπροστά σου. “Ὅταν τὰ βασικὰ σημεῖα εἶναι ξεκάθαρα καὶ τὸ ζήτημα εἶναι ἢ ἐπίλυση προβλημάτων μέσα σὲ ἓνα δεδομένο ἐννοιολογικὸ πλαίσιο, δὲν ὑπάρχει λόγος ἀνησυχίας γιὰ τὰ θεμέλια: τὰ προβλήματα εἶναι τεχνικῆς ὕφης καὶ ἢ πραγματιστικὴ προσέγγιση εἶναι ἢ πλεόν ἀποτελεσματικὴ.

Σήμερα τὸ εἶδος τῶν δυσκολιῶν ποὺ ἀντιμετωπίζουμε ἔχει ἀλλάξει. Γιὰ νὰ κατανοήσουμε τὸν κβαντικὸ χωροχρόνο, πρέπει νὰ ἐπιστρέψουμε, γιὰ ἀκόμη μιὰ φορά, σὲ αὐτὰ τὰ ἐρωτήματα θεμελίων. Οἱ νέες ἀπαντήσεις πρέπει νὰ λάβουν ὑπόψη αὐτὰ ποὺ ἔχουμε μάθει ἀπὸ τὴν κβαντικὴ μηχανικὴ καὶ τὴ γενικὴ σχετικότητα. Αὐτὴ ἢ ἐννοιολογικὴ προσέγγιση δὲν εἶναι ἢ προσέγγιση τῶν Weinberg καὶ Gell-Mann, ἀλλὰ ἢ προσέγγιση τῶν Newton, Maxwell, Einstein, Bohr, Heisenberg, Faraday, Boltzmann καὶ τόσων ἄλλων. Εἶναι φανερό ἀπὸ τὰ κείμενα αὐτῶν τῶν ἐπιστημόνων ὅτι ἀνακάλυψαν ὅ,τι ἀνακάλυψαν σκεπτόμενοι γενικὰ ἐρωτήματα θεμελίων. Τὸ πρόβλημα τῆς κβαν-

τικῆς βαρύτητας δὲν θὰ λυθεῖ ἂν δὲν ξανασκεφτοῦμε αὐτὰ τὰ ἐρωτήματα».

Ὁ ἀναγνώστης ποὺ ἔχει, ἔστω καὶ ἐπιφανειακά, ἐξοικειωθεί μὲ τὴν «ἱστορικιστικὴ στροφή» στὴ φιλοσοφία τῆς ἐπιστήμης τοῦ 20οῦ αἰώνα θὰ ἀνιχνεύσει στὸ κείμενο τοῦ Carlo Rovelli σημεῖα ποὺ θυμίζουν ἔντονα τὶς δξυδερκεῖς παρατηρήσεις τοῦ Kuhn γιὰ τὴν ἐπιστημονικὴ πρακτικὴ καὶ τὴν ἐπιστημονικὴ ἐκπαίδευση. Σὲ περιόδους «κανονικῆς ἐπιστήμης» οἱ ἐπιστήμονες ἐπιδίδονται στὴν ἐπίλυση προβλημάτων («γρίφων») ποὺ τίθενται στὸ πλαίσιο ἑνὸς δεδομένου ἐννοιολογικοῦ πλαισίου («Παραδείγματος») χωρὶς νὰ ἀμφισβητοῦν τὶς βασικὲς παραδοχὲς τοῦ πλαισίου αὐτοῦ. Καὶ ἡ ἐκπαίδευση τῶν νέων ἐπιστημόνων ἔχει τὴ μορφή δογματικῆς μύησης στὰ καθιερωμένα ἐπιστημονικὰ ἐπιτεύγματα. Μόνο σὲ περίοδο κρίσεων καὶ ἐπαναστατικῶν ἐπιστημονικῶν ἀλλαγῶν οἱ ἐπιστήμονες θεματοποιοῦν ἐπιτακτικὰ ριζικὲς ἀνησυχίες γιὰ τὰ θεμέλια τῆς παράδοσης μέσα στὴν ὁποία δουλεύουν.

Δὲν ἰσχυρίζομαι ὅτι ὁ Carlo Rovelli ἀσπάζεται μιὰ κουνιανὴ ἀποψη γιὰ τὴν ἐπιστημονικὴ ἐξέλιξη.<sup>35</sup> Οὔτε ἰσχυρίζομαι ὅτι ἡ ἔρευνα πρὸς μιὰ θεωρία τῆς κβαντικῆς βαρύτητας ταιριάζει στὸ κουνιανὸ μοντέλο· ἀντίθετα, ὑπάρχουν σοβαροὶ λόγοι ποὺ ὑποδεικνύουν ὅτι δὲν ταιριάζει, τουλάχιστον στὸ ἐπίπεδο μιᾶς λεπτομερειακῆς ἀνάλυσης.<sup>36</sup> Καὶ ἀσφαλῶς δὲν ἔχω τὴν πρόθεση νὰ ὑπερασπιστῶ ἐδῶ τὴν ἀντίληψη τοῦ Kuhn γιὰ τὴν ἐπιστημονικὴ ἀλλαγὴ, ἀκόμη καὶ στὸ ἐπίπεδο μιᾶς πιδ σφαιρικῆς ἀνάλυσης, ἀλλὰ οὔτε καὶ κάποια ἐναλλακτικὴ ἀντίληψη.

Τὸ θέμα, νομίζω, βρίσκεται ἄλλοῦ. Κάθε ἐξελισσόμενη φυσικὴ θεωρία ἀντιμετωπίζει προβλήματα διαφορετικῶν εἰδῶν. Ὅρισμένα προβλήματα ἀφοροῦν τὰ ἐννοιολογικὰ θεμέλια, ἄλλα τὴ μαθηματικὴ διατύπωση καὶ ἄλλα τὴ σχέση τῆς θεωρίας μὲ τὴν ἐμπειρία. Καὶ ἀνάλογα μὲ τὴν ἔμφαση ποὺ δίνει κανεὶς σὲ κάθε εἶδος προβλήματος προκύπτουν διαφορὲς στὴν κατεύθυνση καὶ τὰ προϊόντα τῆς ἔρευνας. Τέτοιες διαφορὲς ἐντοπίζονται εὐκόλα ἀκόμη καὶ ἀνάμεσα σὲ ἔργα τῶν ἴδιων τῶν φυσικῶν. Ἐνα παράδειγμα πρὸς ἐπίρρωση αὐτοῦ τοῦ ἰσχυρισμοῦ ἀναλύεται πολὺ εὐστοχα ἀπὸ τὸν Fleming (2002, σ. 135-136). Ὁ Fleming συγκρίνει δύο ἔργα πάνω στὴν κβαντικὴ θεωρία πεδίων: τὸ *Local Quantum Physics* τοῦ Rudolph Haag (1992) μὲ τὸ *The Quantum Theory of Fields* τοῦ Steven Weinberg

35. Ὁ ἀναγνώστης μπορεῖ νὰ σχηματίσει τὴ δική του γνώμη διαβάζοντας τὶς «σκέψεις γιὰ τὴ μέθοδο καὶ τὸ περιεχόμενο» στὸ ἄρθρο τοῦ Rovelli ποὺ βρίσκεται μεταφρασμένο στὸ παρὸν τεῦχος.

36. Βλ., π.χ., Audretsch (1981).

(1995-1999). Και η σύγκριση τὸν ὀδηγεῖ στὴ διαπίστωση ὅτι θὰ μποροῦσε κανεὶς νὰ ἀμφισβητήσῃ ὅτι τὰ δύο βιβλία πραγματεύονται τὸ ἴδιο ἀντικείμενο. Πράγματι, τὸ βιβλίο τοῦ Rudolph Haag ἐμμένει στὴ μαθηματικὴ αὐστηρότητα ἐνῶ ἀφιερώνει μικρὸ μέρος σὲ ὑπολογισμοὺς γιὰ ρεαλιστικὰ μοντέλα κβαντικῶν θεωριῶν πεδίων τῶν ὁποίων τὰ ἀποτελέσματα θὰ μπορούσαν νὰ συγκριθοῦν μὲ τὸ πείραμα. Ἀντίθετα, τὸ βιβλίο τοῦ Steven Weinberg δὲν εἶναι μαθηματικὰ αὐστηρὸ —συνδυάζει τὴν αὐστηρὴ μαθηματικὴ παραγωγὴ μὲ εὐρετικὲς τεχνικὲς καὶ φυσικὴ διαίσθηση— ἀλλὰ δίνει ἔμφαση σὲ ὑπολογισμοὺς ποσοτήτων ποὺ μποροῦν νὰ ἐλεγχθοῦν ἐμπειρικά. (Ἄς σημειωθεῖ ὅτι τέτοιοι ὑπολογισμοὶ ἔχουν ἐπικυρωθεῖ μὲ ἐξαιρετικὴ ἀκρίβεια ἀπὸ τὴν πειραματικὴ ἔρευνα). Ἐπιπλέον ἓνα πλῆθος θεμάτων ποὺ κατέχουν κεντρικὴ θέση στὸ βιβλίο τοῦ Rudolph Haag (π.χ., μὴ-μοναδιαῖα-ἰσοδύναμες ἀναπαραστάσεις, θεώρημα Reeh-Schlieder, θεώρημα Haag, κ.ἄ.) ἀπουσιάζουν ἀπὸ τὸ βιβλίο τοῦ Steven Weinberg.

Τὸ παράδειγμα προσφέρεται γιὰ νὰ ἀναφερθοῦμε παρενεθικὰ σὲ ἓνα ἄλλο σημεῖο ποὺ ἀφορᾷ τὴ σχέση φυσικῆς καὶ μαθηματικῶν. Οἱ κβαντικὲς θεωρίες πεδίων, μολονότι συγκροτοῦν πλέον τὸ θεωρητικὸ πρότυπο περιγραφῆς τῶν στοιχειωδῶν ἀλληλεπιδράσεων (ἐκτός, ἴσως, ἀπὸ τὴ βαρύτητα) καὶ παρὰ τὸ γεγονὸς ὅτι ἔχουν ἤδη συγκεντρώσει ἓνα ἐντυπωσιακὸ ἀρχεῖο ἐμπειρικῶν ἐπιτυχιῶν, ἔχουν, στὴ συντριπτικὴ πλειονότητά τους, «ἀντισταθεῖ» σὲ ἀπόπειρες αὐστηρῆς μαθηματικῆς θεμελίωσης. Ἡ διαπίστωση αὐτὴ ἔχει ὀδηγήσει μιὰ μικρὴ κοινότητα μαθηματικῶν φυσικῶν (ἀνάμεσα στοὺς ὁποίους συγκαταλέγεται καὶ ὁ Rudolph Haag) στὴν ἀνάπτυξη ποικίλων προσεγγίσεων στὸ πλαίσιο μιᾶς προσπάθειας ποὺ φέρει συλλογικὰ τὸ ὄνομα *ἀξιωματικὴ κβαντικὴ θεωρία πεδίων*. Ἀφετηρία τέτοιων προσεγγίσεων εἶναι ἡ μαθηματικὰ αὐστηρὴ ἔκφραση φυσικῶν ἐννοιῶν καὶ ἀρχῶν («σχετικιστικὸ ἀναλλοίωτο», «κβαντικὴ μηχανικὴ», «τοπικὰ πεδία», κ.ἄ.) διαρθρωμένων μὲ τὴ δομὴ ἐνὸς ἀξιωματικοῦ συστήματος. Βέβαια, πρέπει νὰ τονιστεῖ ὅτι ἀκόμη καὶ οἱ πρωτεργάτες τῆς ἀξιωματικῆς κβαντικῆς θεωρίας πεδίων ἐκλαμβάνουν τίς ἐν λόγῳ ἀρχές, ὄχι ὡς ἀδιαμφισβήτητα ἀξιώματα, ἀλλὰ ὡς θεμελιακὲς φυσικὲς ὑποθέσεις ποὺ μποροῦν νὰ τεθοῦν ὑπὸ αἴρεση στὸ φῶς νέων θεωρητικῶν ἢ ἐμπειρικῶν ἐξελίξεων. Ὅμως τὸ χρόνιο πρόβλημα τῆς ἀξιωματικῆς κβαντικῆς θεωρίας πεδίων εἶναι ἡ ἀποξένωσή της ἀπὸ τὸ πείραμα. Εἶναι ἐξαιρετικὰ δύσκολο νὰ ἀποδειχθεῖ ὅτι τὰ διαθέσιμα ἀξιωματικὰ συστήματα πραγματώνονται σὲ ρεαλιστικὰ μοντέλα ποὺ εἶναι ἀρκετὰ περίπλοκα ὥστε νὰ ἔχουν φυσικὸ ἐνδιαφέρον καὶ νὰ παρέχουν τὴ δυνατότητα πειραματικοῦ ἐλέγχου. Τὴν εὐθύνῃ ἀρθρωσης τέτοιων ἀποδείξεων ἔχει ἐπωμιστεῖ ὁ κλάδος μαθηματικῆς φυσικῆς ποὺ ὀνομάζεται *κατασκευαστικὴ (constructive) κβαντικὴ θεωρία πεδίων*. Πάντως, μετὰ ἀπὸ περίπου μισό

αίωνα προσπαθειών, τὸ ἀρχεῖο τῶν ἐπιτυχιῶν σὲ αὐτὸ τὸν τομέα εἶναι ἀπογοητευτικὰ πενιχρό.<sup>37</sup>

Μὲ ἀφορμὴ τὰ παραπάνω, μπαίνει κανεὶς στὸν πειρασμὸ νὰ ἀμφισβητήσῃ τὴ «μὴ εὐλογία ἀποτελεσματικότητας» τῶν μαθηματικῶν σὲ σύγκριση μὲ τὴ «μὴ εὐλογία ἀναποτελεσματικότητας» τῆς φιλοσοφίας. Ὡστόσο, ἄς ἀντισταθοῦμε σὲ αὐτὸν τὸν πειρασμό. Δὲν εἶναι σπάνια τὰ παραδείγματα σημαντικῶν συμβολῶν στὴ φυσικὴ ποὺ ἔπρεπε νὰ περιμένουν ὑπομονητικὰ τὴν αὐστηρὴ μαθηματικὴ τους θεμελίωση: ἡ νευτώνεια μηχανικὴ ἔπρεπε νὰ περιμένει τὴ θεμελίωση τοῦ ἀπειροστικοῦ λογισμοῦ ἀπὸ τοὺς Cauchy, Bolzano καὶ Weierstrass· ὁ φορμαλισμὸς Dirac γιὰ τὴν κβαντικὴ μηχανικὴ ἔπρεπε νὰ περιμένει τὴν ἀνάπτυξη τῆς θεωρίας τῶν κατανομῶν ἀπὸ τὸν Schwartz, τῆς θεωρίας τῶν «ἐξοπλισμένων χώρων Hilbert» (“rigged Hilbert spaces”) ἀπὸ τὸν Gelfand καὶ τοὺς συνεργάτες του καί, τελικὰ, τὴν ἔνταξη στὴ γενικότερη θεωρία τῶν τοπικὰ κυρτῶν τοπολογικῶν δια-νυσματικῶν χώρων, κ.ἄ. Μὲ δυὸ λόγια, σὲ πολλές περιπτώσεις τὰ αὐστηρὰ μαθηματικὰ «ἔρχονται καθυστερημένα» νὰ συνδράμουν τὴ θεωρητικὴ φυσικὴ. («Τὸ ἴδιο καὶ ἡ φιλοσοφία», θὰ προσέθετε κάποιος). Ἴσως τέτοια νὰ εἶναι καὶ ἡ περίπτωση τῆς κβαντικῆς θεωρίας πεδίων. Ὅμως ὑπάρχει καὶ ἓνα ἄλλο ἐνδεχόμενο. Τὸ γεγονός ὅτι ρεαλιστικὰ μοντέλα μὲ πλούσιο ἐνδιαφέρον γιὰ τὸν φυσικὸ ἔχουν ἀντισταθεῖ στὶς ἀπόπειρες ἐπένδυσής τους μὲ αὐστηρὰ μαθηματικὰ μπορεῖ νὰ ἀποτελεῖ ἔνδειξη μιᾶς ἐσωτερικῆς ἀσυνέπειας τῆς κβαντικῆς θεωρίας πεδίων. Ἀπὸ διαφορετικὴ σκοπιά, τὰ φυσικὰ αἰτήματα ποὺ ἀποκρυσταλλώνονται — ἔστω, δοκιμαστικά — μὲ καθεστῶς ἀξιωματικῶν στὶς συνεπεῖς μαθηματικὲς προσεγγίσεις ἐνδέχεται νὰ ἀποτελοῦν ἄστοχες ἐξιδανικεύσεις γιὰ τὴν περιγραφὴ τῆς φυσικῆς πραγματικότητας. Ἀφοῦ πρόκειται γιὰ θεμελιακὰ φυσικὰ αἰτήματα, αὐτὸ τὸ ἐνδεχόμενο πρέπει νὰ ἐνδιαφέρει τοὺς θεωρητικοὺς φυσικοὺς. Ἐνα βῆμα παραπέρα, συνάγεται ἓνα δίδαγμα καὶ γιὰ τὴ φιλοσοφία τῆς φυσικῆς: τὸ κατὰ πόσο μιὰ φυσικὴ θεωρία ἐπιδέχεται αὐστηρὴ μαθηματικὴ θεμελίωση ἔχει σημασία γιὰ τὸν φιλόσοφο ποὺ ἀποπειρᾶται νὰ συγκροτήσῃ μιὰ ὄντολογικὴ τῆς ἐρμηνεία. Ἡ ἀπουσία αὐστηρῆς μαθηματικῆς θεμελίωσης μπορεῖ νὰ ἀποτελεῖ προσωρινὴ ἀδυναμία, ἀλλὰ μπορεῖ ἐπίσης νὰ πηγάζει ἀπὸ

37. Ἄς μὴν ὀδηγηθεῖ, ὡστόσο, κανεὶς στὴν παρανόηση ὅτι οἱ αὐστηρὲς μαθηματικὲς προσεγγίσεις ὑπῆρξαν ἄγονες. Παρήγαγαν σημαντικότερα ἀποτελέσματα, ὅπως τὸ θεώρημα σπιν-στατιστικῆς, καὶ ἀξιοποιήθηκαν στὴν κβαντικὴ στατιστικὴ μηχανικὴ καὶ στὴν ἐπέκταση τῆς κβαντικῆς θεωρίας πεδίων σὲ καμπύλους χωροχρόνους. Ἐκτὸς ἀπὸ τὸ Haag (1992), μιὰ ἐνδεικτικὴ ἐπιλογή ἀπὸ τὴ σχετικὴ βιβλιογραφία θὰ περιεῖχε: Araki ([1993] 1999), Baez et al. (1992) καὶ Streater and Wightman ([1964] 1989). Τὰ ἄρθρα τῶν Streater (1988) καὶ Saunders (1988) ἀποτελοῦν σύντομες παρουσιάσεις ποὺ ἀπευθύνονται σὲ «φιλοσοφικὸ κοινό».

έσφαλμένη έπιλογή ασύμβατων βασικών υποθέσεων με τις όποιες ή θεωρία προσπαθεϊ να περιγράψει τόν κόσμο. Άσφαλώς ούτε ό θεωρητικός φυσικός ούτε ό φιλόσοφος τής φυσικής έχει τήν πολυτέλεια να άπορρίψει μιá θεωρία που έχει να έπιδείξει άπαράμιλλες έμπειρικές έπιτυχίες μόνο έπειδή στερεϊται άυστηρής μαθηματικής θεμελίωσης.

Άλλά άς ξαναγυρίσουμε στο ζήτημα τής στάσης τών σύγχρονων φυσικών άπέναντι στη φιλοσοφία. Οί διαφορές ως προς αυτή τή στάση πηγάζουν άπό διαφορές ένδιαφερόντων τά όποία, με τή σειρά τους, διαμορφώνονται έν μέρει άπό τó είδος τού προβλήματος που κάθε φυσικός άναλαμβάνει να άντιμετωπίσει έρευνητικά. Η έπιστημονική έρευνα άπαιτεϊ πλέον τόσο ύψηλό βαθμό καταμερισμού έργασίας ώστε ειδικοί σε διαφορετικούς κλάδους τής ίδιας έπιστήμης δυσκολεύονται να έπικοινωνήσουν. Ό ειδικός στην πειραματική φυσική τών ύψηλών ένεργειών σπάνια θά βρϊσκει ένδιαφέρουσες για τή δική του έρευνα τις προσπάθειες τού ειδικού στη μαθηματική φυσική — μολονότι και οί δύο μπορεί να άσχολοΰνται με «όψεις», τήν έμπειρική και τή μαθηματική αντίστοιχα, τής ίδιας θεωρίας. Στο πλαίσιο αύτου τού έξαντλητικού καταμερισμού έργασίας, ό φιλοσοφικός προβληματισμός φαντάζει επικίνδυνη πολυτέλεια. Και τούτο γιατί αύτό που διακρίνει τή φιλοσοφική πρακτική είναι τελικά έκείνο που ό Sellars ([1962] 1963, σ. 3) όνόμασε «θέαση τού όλου» (“eye on the whole”).

#### BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arageorgis, A., Earman, J., and Ruetsche, L. (2002). «Weyling the Time Away: The Non-Unitary Implementability of Quantum Field Dynamics on Curved Spacetime», *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 33: 151-184.
- Araki, H. ([1993] 1999). *Mathematical Theory of Quantum Fields*. Translated from the Japanese by U. Carow-Watamura. Oxford: Oxford University Press.
- Audretsch, J. (1981). «Quantum Gravity and the Structure of Scientific Revolutions», *Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie* XII/2: 322-339.
- Baez, J. C., Segal, I. E., and Zhengfang, Z. (1992). *Introduction to Algebraic and Constructive Quantum Field Theory*. Princeton: Princeton University Press.
- Barnes, J. (1995). «Metaphysics» στο J. Barnes (ed.), *The Cambridge Companion to Aristotle*. Cambridge: Cambridge University Press, σ. 66-108.
- Barrett, J. A. (1999). *The Quantum Mechanics of Minds and Worlds*. Oxford: Oxford University Press.
- Bohm, D. and Hiley, B. J. (1993). *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory*. London: Routledge.

- Boyd, R. N. (1984). «The Current Status of Scientific Realism» στο J. Leplin (ed.), *Scientific Realism*. Berkeley: University of California Press, σ. 41-82.
- Brown, H. R. and Harre, R. (eds.) (1988). *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*. Oxford: Clarendon Press.
- Callender, C. and Huggett, N. (eds.) (2001). *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale: Contemporary Theories in Quantum Gravity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cushing, J. T. and McMullin, E. (eds.) (1989). *Philosophical Consequences of Quantum Theory: Reflections on Bells Theorem*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Descartes, R. ([1644, 1647] 1985). «Principles of Philosophy» στο J. Cottingham, R. Stoothoff, and D. Murdoch (eds.), *The Philosophical Writings of Descartes*. Vol. I. Cambridge: Cambridge University Press, σ. 177-291. Μετάφραση από το λατινικό πρωτότυπο (1644) και τη γαλλική έκδοση (1647).
- DeWitt, B. S. and Graham, N. (eds.) (1973). *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press.
- Dieks, D., and Vermaas, P. E. (1998). *The Modal Interpretation of Quantum Mechanics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dirac, P. A. M. ([1930] 1958). *The Principles of Quantum Mechanics*. 4th edition. Oxford: Clarendon Press.
- Earman, J. (1989). *World Enough and Space-Time: Absolute versus Relational Theories of Space and Time*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Einstein, A. ([1916] 1952). «The Foundation of the General Theory of Relativity» στη συλλογή άρθρων *The Principle of Relativity*. New York: Dover, σ. 108-164. Μετάφραση από το γερμανικό πρωτότυπο (1916): W. Perrett και G. B. Jeffery.
- Fleming, G. (1996). «Just How Radical is Hyperplane Dependence?» στο R. Clifton (ed.), *Perspectives on Quantum Reality: Non-Relativistic, Relativistic, and Field-Theoretic*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, σ. 11-28.
- Fleming, G. (2002). «Comments on Paul Teller's Book, *An Interpretive Introduction to Quantum Field Theory*» στο M. Kuhlmann, H. Lyre, and A. Wayne (eds.), *Ontological Aspects of Quantum Field Theory*. New Jersey: World Scientific, σ. 135-144.
- Friedman, M. (1983). *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Friedman, M. (1992). «Philosophy and the Exact Sciences: Logical Positivism as a Case Study» στο J. Earman (ed.), *Inference, Explanation, and Other Frustrations: Essays in the Philosophy of Science*. Berkeley: University of California Press, σ. 84-98.
- Ghirardi, G. C., Rimini, A., and Weber, T., (1986). «Unified Dynamics for Microscopic and Macroscopic Systems», *Physical Review D* 34: 470-491.
- Gower, B. S. (1973). «Speculation in Physics: The History and Practice of *Naturphilosophie*», *Studies in History and Philosophy of Science* 3: 301-356.
- Haag, R. (1990). «Thoughts on the Synthesis of Quantum Physics and General Relativity and the Role of Space-Time», *Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)* 18B: 135-140.
- Haag, R. (1992). *Local Quantum Physics: Fields, Particles, Algebras*. Berlin: Springer-Verlag.



- Harré, R. (1988). «Parsing the Amplitudes» στο H. R. Brown and R. Harre (eds.), *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*. Oxford: Clarendon Press, σ. 59-71.
- Hume, D. ([1748-1757] 1951). *Enquiries Concerning the Human Understanding and Concerning the Principles of Morals*. Edited by L. A. Selby-Bigge. Oxford: Clarendon Press.
- Isham, C. J. (1991). «Conceptual and Geometrical Problems in Quantum Gravity». Διαλέξεις του παρουσιάστρια» στο XXX Internationale Universitätswochen für Kernphysik. Schladming, Αυστρία.
- Isham, C. J. (1995). *Lectures on Quantum Theory: Mathematical and Structural Foundations*. London: Imperial College Press.
- Jammer, M. (1974). *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York: John Wiley & Sons.
- Kuhlmann, M., Lyre, H., and Wayne, A. (eds.) (2002). *Ontological Aspects of Quantum Field Theory*. New Jersey: World Scientific.
- Maudlin, T. (1994). *Quantum Non-Locality and Relativity*. Oxford: Blackwell.
- Newton, I. ([1687, 1726] 1934). *Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*. Translated into English by A. Motte in 1729. The translations revised, and supplied with a historical and explanatory appendix, by F. Cajori. Berkeley: University of California Press. 2 vols.
- Newton, I. ([1730] 1952). *Opticks, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*. 4th edition. Foreword by A. Einstein, introduction by E. Whittaker, preface by I. B. Cohen, analytical table of contents by D. H. D. Roller. New York: Dover.
- Pears, D. F. (ed.) ([1957] 1966). *The Nature of Metaphysics*. New York: St. Martins Press.
- Psillos, S. (1999). *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*. London: Routledge.
- Redhead, M. L. G. (1975). «Symmetry in Intertheory Relations», *Synthese* 32: 77-112.
- Redhead, M. L. G. (1987). *Incompleteness, Nonlocality, and Realism: A Prolegomenon to the Philosophy of Quantum Mechanics*. Oxford: Clarendon Press.
- Redhead, M. L. G. (1995). *From Physics to Metaphysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Redhead, M. L. G. (2002). «The Interpretation of Gauge Symmetry» στο M. Kuhlmann, H. Lyre, and A. Wayne (eds.), *Ontological Aspects of Quantum Field Theory*. New Jersey: World Scientific, σ. 281-301.
- Rovelli, C. (1991). «What is Observable in Classical and Quantum Gravity», *Classical and Quantum Gravity* 8: 297-316.
- Rovelli, C. (2004). *Quantum Gravity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ruetsche, L. (2002). «Interpreting Quantum Field Theory», *Philosophy of Science* 69: 348-378.
- Saunders, S. (1988). «The Algebraic Approach to Quantum Field Theory» στο H. R. Brown and R. Harré (eds.), *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*. Oxford: Clarendon Press, σ. 149-186.

- Saunders, S. and Brown, H. R. (eds.) (1991). *The Philosophy of Vacuum*. Oxford: Clarendon Press.
- Sellars, W. F. ([1962] 1963). «Philosophy and the Scientific Image of Man» στὸ W. F. Sellars, *Science, Perception and Reality*. London: Routledge & Kegan Paul, σ. 1-40.
- Shimony, A. ([1984] 1993). «Contextual Hidden Variable Theories and Bells Inequalities» στὸ A. Shimony, *Search for a Naturalistic World View. Vol. II: Natural Science and Metaphysics*. Cambridge: Cambridge University Press, σ. 104-129.
- Shimony, A. (1989). «Search for a Worldview Which Can Accommodate Our Knowledge of Microphysics» στὸ J. T. Cushing and E. McMullin (eds.), *Philosophical Consequences of Quantum Theory: Reflections on Bells Theorem*. Notre Dame: University of Notre Dame Press, σ. 25-37.
- Stauffer, R. C. (1957). «Speculation and Experiment in the Background of Oersted's Discovery of Electromagnetism», *Isis* 48: 33-50.
- Stein, H. (1970). «On the Notion of Field in Newton, Maxwell, and Beyond» στὸ R. H. Stuewer (ed.), *Historical and Philosophical Perspectives of Science*. Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 5. Minneapolis: University of Minnesota Press, σ. 264-310.
- Streater, R. F. (1988). «Why Should Anyone Want to Axiomatize Quantum Field Theory?» στὸ H. R. Brown and R. Harré (eds.), *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*. Oxford: Clarendon Press, σ. 137-148.
- Streater, R. F. and Wightman, A. S. ([1964] 1989). *PCT, Spin and Statistics, and All That*. New York: Addison-Wesley.
- Strawson, P. F. ([1959] 1990). *Individuals: An Essay in Descriptive Metaphysics*. London: Routledge.
- Teller, P. (1990). «A Prolegomenon to the Proper Interpretation of Quantum Field Theory», *Philosophy of Science* 57: 595-618.
- Teller, P. (1995). *An Interpretive Introduction to Quantum Field Theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Torretti, R. (1999). *The Philosophy of Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Fraassen, B. C. (1980). *The Scientific Image*. Oxford: Clarendon Press.
- Van Fraassen, B. C. (1991). *Quantum Mechanics: An Empiricist View*. Oxford: Clarendon Press.
- Weinberg, S. (1992). *Dreams of Final Theory*. New York: Pantheon Books.
- Weinberg, S. (1995-1999). *The Quantum Theory of Fields*. 3 vols. Cambridge: Cambridge University Press.
- Weingard, R. (1988). «Virtual Particles and the Interpretation of Quantum Field Theory» στὸ H. R. Brown and R. Harré (eds.), *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*. Oxford: Clarendon Press, σ. 43-58.
- Wigner, E. (1967). «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences» στὸ E. Wigner, *Symmetries and Reflections*. Bloomington: Indiana University Press, σ. 222-237.
-