

## Το πολιτισμικό περιβάλλον της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης και η κβαντική αιτιότητα

### Οι θέσεις του Φόρμαν

«Το αποτέλεσμα είναι [...] συντριπτικά στοιχεία που καταδεικνύουν ότι τα χρόνια μετά το τέλος του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου αλλά πριν από την ανάπτυξη μιας μη αιτιακής κβαντομηχανικής, υπό την επίδραση διαφόρων “ρευμάτων σκέψης”, πολλοί Γερμανοί φυσικοί, για λόγους που δευτερευόντως μόνο σχετίζονται με τις εξελίξεις στο δικό τους πεδίο, κράτησαν αποστάσεις από την αιτιότητα στη φυσική ή ακόμη και την αποκήρυξαν ρητά.

Έτσι, εδώ προχωρούμε στην τεκμηρίωση της σημαντικότερης θέσης του Γιάμερ –αλλά για το πολιτισμικό περιβάλλον της Γερμανίας και μόνο– ότι δηλαδή εξωγενείς επιδράσεις ώθησαν τους φυσικούς να προσδοκούν διακαώς την ανάπτυξη μιας μη αιτιακής κβαντομηχανικής, να προχωρούν ενεργά στις σχετικές έρευνες και να την ασπάζονται με προθυμία.»<sup>1</sup>

---

\* Το άρθρο αυτό δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά στο περιοδικό *History of Science* 18 (1980): 155-180. Το 1980 ο Τζων Χέντρι δίδασκε ιστορία των επιστημών στο Ιμπήριαλ Κόλετζ του Λονδίνου. Σήμερα είναι καθηγητής μανάτζμεντ στο Πανεπιστήμιο του Ρέβντινγκ.

1 Paul Forman, «Weimar culture, causality, and quantum theory, 1918-1927: Adaptation by German physicists and mathematicians to a hostile intellectual environment», *Historical studies in the physical sciences*, 3 (1971), 1-116, σελ. 3: 2-3 στην παρούσα έκδοση. Θα αναφέρομαι στο άρθρο αυτό ως *Weimar*.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πολ Φόρμαν για τη μεταξύ μας αλληλογραφία, όπου συζητήσαμε την εργασία του, καθώς και τους Γιον Ντόρλινγκ, Τζων Σούστερ,

Το παράθεμα είναι από το άρθρο που έγραψε το 1971 ο Πολ Φόρμαν, με τίτλο: «Το πολιτισμικό περιβάλλον της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης, η αιτιότητα και η κβαντική θεωρία, 1918-1927: Η προσαρμογή των Γερμανών φυσικών και μαθηματικών σε ένα εχθρικό διανοητικό περιβάλλον». Είναι ευρέως αναγνωρισμένη η τεράστια σημασία αυτού του άρθρου, τόσο επειδή αποτελεί την πρώτη απόπειρα να αναλυθούν οι δραματικές ιδεολογικές αλλαγές που συνόδευσαν την εξέλιξη της κβαντομηχανικής όσο και επειδή θεωρείται ορόσημο στην ιστοριογραφία της επιστήμης. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι αποτελεί αντικείμενο πολλών αναλύσεων σε διάφορα σεμινάρια, δεν υπάρχει ακόμη κάποια ευρύτερη συμφωνία ως προς την εγκυρότητα ή μη των θέσεων που υποστηρίζει. Η κυρίαρχη αίσθηση που επικρατεί γύρω από αυτό είναι η αμφιβολία, ότι δηλαδή πρόκειται για «υπόθεση που δεν έχει αποδειχθεί» όμως, εφ' όσον κανείς ακόμη δεν έχει διατρέξει εκ νέου το έδαφος που κάλυψε ο Φόρμαν, οι διάφορες απόψεις εξακολουθούν να χαρακτηρίζονται από μια αοριστία και, ως επί το πλείστον, να παραμένουν αντικείμενο ιδιωτικών συζητήσεων.<sup>2</sup> Μπροστά σε αυτή την κατάσταση, και ιδίως υπό το πρίσμα ενός πρόσφατου άρθρου που δημοσίευσε ο Φόρμαν ως συνέχεια του πρώτου και στο οποίο αναδιατυπώνει τους ισχυρισμούς του ως βάση για περαιτέρω ανάλυση,<sup>3</sup> φαίνεται ότι υπάρχει η ανάγκη να υπάρξει ενδελεχής κριτική της φύσης και του περιεχομένου των επιχειρημάτων πάνω στα οποία βασίζονται αυτά τα άρθρα.

Όπως δηλώνει ο υπότιτλος του κεφαλαίου, ο Φόρμαν στην πραγματικότητα υποστηρίζει πολλές αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους θέσεις. Βασικά ενδιαφέρεται για την εισαγωγή και την πρόσληψη της έννοιας της μη αιτιότητας στην κβαντική θεωρία, αλλά δεν προσεγγίζει το θέμα αυτό άμεσα. Αγνοώντας τους ατομικούς ψυχολογικούς παράγοντες υιοθετεί αυτό που ονομάζει «κοινωνιολογική» προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία «η παρούσα διανοητική στάση

---

Μπομπ Γουέστμαν και τις ομάδες που συμμετείχαν στα σεμινάρια του Καίμπριτζ και στο Ανοικτό Πανεπιστήμιο για τις πολλές και ενδιαφέρουσες συζητήσεις που κάναμε.

- 2 Ο Γ. Ντόρλινγκ αμφισβήτησε τους ισχυρισμούς του Φόρμαν σε ομιλία του προς τη Βρετανική Εταιρεία Ιστορίας της Επιστήμης τον Ιούλιο του 1976, αλλά η ομιλία δεν δημοσιεύτηκε. Ο W. Laqueur, *Weimar, a cultural history 1918-1933* (Λονδίνο, 1974), κεφ. 6, απορρίπτει τη θέση του Φόρμαν στηριζόμενος στην υπόθεση ότι οι φυσικοί δεν διαχωρίστηκαν βάσει καθαρών ιδεολογικών γραμμών.
- 3 Paul Forman, «The reception of an acausal quantum mechanics in Germany and Britain», υπό δημοσίευση στα πρακτικά του συμποσίου με θέμα «Η υποδοχή της μη συμβατικής φυσικής από την επιστημονική κοινότητα («The reception of unconventional science by the scientific community»), Αμερικανική Ακαδημία για την Ανάπτυξη της Επιστήμης, Φεβρουάριος 1978. Βλ. σημ. 115 παρακάτω.

συνιστά μια κοινωνικά καθορισμένη αντίδραση στον άμεσο πνευματικό περίγυρο και τις τρέχουσες εμπειρίες», αλλά αντί γι' αυτό προχωρεί σε μια «αιτιακή ανάλυση» από την οποία, όπως ισχυρίζεται, συνάγεται το βασικό του συμπέρασμα. Το πρώτο πράγμα που επιχειρεί είναι να καταδείξει ότι το πνευματικό περιβάλλον της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης ήταν εχθρικά διακείμενο απέναντι στους φυσικούς και ιδιαίτερα απέναντι στην αιτιότητα:

Εκείνο που θέλω να καταδείξω είναι ότι μετά την ήττα της Γερμανίας, η κυρίαρχη πνευματική τάση στον ακαδημαϊκό κόσμο της Βαϊμάρης ήταν μια νέο-ρομαντική, υπαρξιστική *Φιλοσοφία της Ζωής*, που αρεσκόταν ιδιαίτερα στη δημιουργία κρίσεων, χαρακτηριζόταν δε από ανταγωνισμό απέναντι στον αναλυτικό ορθολογισμό, γενικά, και τις θετικές επιστήμες και τις τεχνικές εφαρμογές τους, ειδικότερα. Σιωπηρά ή ρητά, ο επιστήμονας ήταν ο «αποδιοπομπαίος τράγος» των ακατάπαυστων παραινέσεων για πνευματική ανανέωση, ενώ η έννοια –ή και η απλή λέξη– “αιτιότητα” αντιπροσώπευε την απεχθή πλευρά του επιστημονικού εγχειρήματος.<sup>4</sup>

Στο περιβάλλον αυτό, εμβληματική σημασία κατείχε το βιβλίο του Σπένγκλερ *Η παρακμή της Δύσης*, που άσκησε ιδιαίτερη επιρροή και στο οποίο «ξανά και ξανά ο Σπένγκλερ εξισώνει την αιτιότητα, την εννοιολογική ανάλυση και τη φυσική και τις απογυμνώνει με την κριτική του σε όλη την πορεία της παγκόσμιας ιστορίας.»<sup>5</sup>

Το δεύτερο βήμα στο οποίο προχωρεί η ανάλυση του Φόρμαν είναι να δείξει την τάση που γενικότερα εκδηλώνουν οι φυσικοί και οι μαθηματικοί για μια «προσαρμογή» στο περιβάλλον τους. Υποστηρίζει ότι «οι περισσότεροι Γερμανοί μαθηματικοί και φυσικοί γενικά συμερίζονταν την οπτική του Σπένγκλερ ή προσάρμοζαν τη δημόσια εικόνα τους [sic] σε αυτήν»,<sup>6</sup> και ότι:

Πράγματι υπήρχε μεταξύ των Γερμανών φυσικών και μαθηματικών μια έντονη τάση να αναδιαμορφώσουν την ιδεολογία τους προς την κατεύθυνση της εναρμόνισης με τις αξίες και το κυρίαρχο κλίμα αυτού του περιβάλλοντος – απόρριψη των θετικιστικών αντιλήψεων για τη φύση της επιστήμης [...] και, σε ορισμένες περιπτώσεις, της ίδιας της δυνατότητας και της αξίας του επιστημονικού εγχειρήματος.<sup>7</sup>

4 Forman, *Weimar*, 4: 3-4 στην παρούσα έκδοση.

5 Στο ίδιο, 33.

6 Στο ίδιο, 55· 63 στην παρούσα έκδοση.

7 Στο ίδιο, 7· 7 και στην παρούσα έκδοση.

Το τρίτο βήμα του Φόρμαν είναι να καταδείξει την ύπαρξη ενός ευρέως δεδομένου κινήματος, το οποίο επιδίωκε να αποκλείσει την αιτιότητα από τη φυσική. Υποστηρίζει ότι εφ' όσον δεν μπορούμε να συσχετίσουμε αυτό το κίνημα με τις εσωτερικές εξελίξεις στη φυσική και ιδιαίτερα στην κβαντική θεωρία, θα πρέπει να αποδώσουμε τη γένεσή του (με κοινωνιολογικούς όρους) στην εξωτερική επίδραση του περιβάλλοντος:

Είμαι πεπεισμένος, και [...] επιχειρώ να το αποδείξω, ότι το κίνημα που ζητούσε να απαλλαγεί η φυσική από την αιτιότητα, και το οποίο ξεπήδησε τόσο ξαφνικά και γνώρισε τόση άνθηση στη Γερμανία μετά το 1918, ήταν πρωτίστως μια προσπάθεια από πλευράς των Γερμανών φυσικών να προσαρμόσουν το περιεχόμενο της επιστήμης τους στις αξίες του πνευματικού περιβάλλοντός τους.<sup>8</sup>

Τέλος, εάν έτσι έχουν τα πράγματα όσον αφορά την απόρριψη της αιτιότητας γενικά, τότε θα πρέπει να ισχύει το ίδιο και στη συγκεκριμένη περίπτωση της απόρριψης της αιτιότητας στην κβαντική θεωρία.<sup>9</sup>

### *Το διανοητικό περιβάλλον της Βαϊμάρης*

Για να αναλύσουμε την εγκυρότητα των ισχυρισμών του Φόρμαν, θα πρέπει να δούμε τη σταδιακή συγκρότηση αλλά και τη γενική δομή του επιχειρήματός του. Όσον αφορά τον πρώτο ισχυρισμό του, για την ατμόσφαιρα που επικρατούσε στη Δημοκρατία της Βαϊμάρης, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι ο βασικός χαρακτηρισμός που χρησιμοποιεί είναι ορθός, ότι δηλαδή έχουμε να κάνουμε με ένα νεορομαντικό και υπαρξιστικό περιβάλλον. Η *Φιλοσοφία της Ζωής* –που ήταν ήδη έκδηλη στον εξπρεσιονισμό στη λογοτεχνία, την τέχνη και τη μουσική πριν από τον πόλεμο– μετασχηματίστηκε, όπως υποστηρίζει ο Φόρμαν, σε κυρίαρχη πολιτισμική δύναμη μετά την ήττα της Γερμανίας και τις επαναστάσεις που ακολούθησαν στη Γερμανία και τη Ρωσία.<sup>10</sup> Η Γερμανία, νιώθο-

8 Στο ίδιο, 7· 7 και στην παρούσα έκδοση.

9 Τη διευκρίνιση αυτού του σημείου του επιχειρήματος οφείλω σε προσωπική επικοινωνία με τον Πολ Φόρμαν.

10 Αυτή η εικόνα όσον αφορά το περιβάλλον, που συμφωνεί ουσιαστικά με εκείνη του Φόρμαν, βασίζεται εν πολλοίς στις ιστορικές μελέτες που παραθέτει: G. Lukács, *Die Zerstörung der Vernunft* (Βερολίνο, 1954)· K. Sontheimer, *Antidemokratisches Denken in der Weimarer Republik* (Μόναχο, 1952)· P. Gay, *Weimar culture* (Νέα Υόρκη, 1968) [ελλ. έκδ. Πήτερ Γκαίν, *Η πνευματική ζωή στη Δημοκρατία της Βαϊμάρης*, επιμ. Βασίλης Τομανάς, Αθήνα 2010]· και ιδιαίτερα F. Ringer, *The decline of the German manda-*

ντας ανασφάλεια στο παρόν, επεδίωξε να χτίσει ένα μέλλον εδραιωμένο στο παρελθόν της, να επιστρέψει στην ένδοξη εποχή του Σίλερ και του Γκαίτε και, απορρίπτοντας τα ωφελιμιστικά πρότυπα των νικητών του πολέμου, να επανεδραιώσει τη θέση της στο πολιτιστικό επίπεδο ως η ηγέτιδα δύναμη μιας νέας Ευρώπης. Τα ιδανικά της τεχνολογίας, που παλαιότερα δοξάζονταν, τώρα πλέον θεωρούνταν ύποπτα και στιγματισμένα από το δυτικό (δηλαδή, τον αγγλογαλλικό ιουδαιο-μαρξιστικό) υλισμό.<sup>11</sup> Οι ώρες διδασκαλίας των μαθηματικών στα σχολεία μειώθηκαν και αντικαταστάθηκαν με την επιστροφή στην έμφαση που παραδοσιακά αποδιδόταν στην «ανθρωπιστική» παιδεία.<sup>12</sup> Η πρόσφατη εισαγωγή των αρχών της αιτιότητας και των μαθηματικών διαδικασιών στις κοινωνικές επιστήμες ήταν πλέον καταδικαστέα, ενώ άρχισε να δίνεται έμφαση στη διαισθητική προσέγγιση.<sup>13</sup> Στις επιστήμες της ζωής, η νεοβιταλιστική βιολογία και η ψυχολογία Gestalt αντανakλούσαν την επιστροφή στις ρομαντικές ιδέες περί ατόμου.<sup>14</sup> Και, παρόλο που υπερέβαινε το πλαίσιο της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης, η επίθεση του Βάιλ στα παραδοσιακά θεμέλια των μαθηματικών με βάση τη θεώρηση του ιντουισιονισμού ήταν επίσης απολύτως εναρμονισμένη με αυτό το περιβάλλον και αντλούσε από τις ίδιες φιλοσοφικές ρίζες, χάρη στην επίδραση της φαινομενολογίας του Χούσερλ.<sup>15</sup>

Ωστόσο, η αποτίμηση της πρότασης του Βάιλ συνδέεται με σύνθετα λογικά προβλήματα, που δεν μπορούν εύκολα να συσχετιστούν με τις έννοιες που

---

*rins* (Καίμπριτζ Μασαχουσέτης, 1969). Βλ. επίσης H. Lebonics, *Social conservatism and the middle class in Germany, 1914-1933* (Πρίνστον, 1969), και W. Laqueur, *ό.π.* (σημ. 2).

- 11 Στο έργο του Σπένγκλερ *Η παρακμή της Δύσης*, ο όρος «δυτικός» είναι αμφίσημος· αναφέρεται, από τη μία, στη συνολική παρακμή του δυτικού πολιτισμού, στον οποίο συμπεριλαμβάνεται και η Γερμανία, και από την άλλη στην παρακμή των δυτικών ή μη γερμανικών ιδανικών στο πλαίσιο αυτού του πολιτισμού. Ωστόσο, στη γενική χρήση του ο όρος είχε μόνο τη δεύτερη μειωτική σημασία και σε αυτή τη σημασία στηριζόταν η αξία της πολεμικής του έργου του Σπένγκλερ· όντως, η απόρριψη των «δυτικών» προς όφελος των γερμανικών αξιών ήταν ίσως εκείνο που βασικά χαρακτήριζε την ατμόσφαιρα της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης.
- 12 Βλ. Ringer, *ό.π.* (σημ. 10). Τα μαθηματικά εδραιώθηκαν στα αναλυτικά προγράμματα των σχολείων μόνο προς τα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα.
- 13 Βλ. ιδιαίτερα E. Troeltsch, «Die Revolution in der Wissenschaft», *Schollers Jahrbuch*, 55 (1921), 1001-30.
- 14 Θα ήταν σκόπιμη, απ' ό,τι φαίνεται, μια κοινωνιολογική μελέτη με θέμα τις επιστήμες της ζωής στη Γερμανία της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης, αλλά απ' όσο ξέρω δεν έχει εκπονηθεί παρόμοια μελέτη.
- 15 Forman, *Weimar*, 60-61, 76-77· 68-69 και 86-87 στην παρούσα έκδοση· H. Spiegelberg, *The phenomenological movement* (Χάγη, 1965).

αναπτύχθηκαν στο περιβάλλον της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης· είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι ενώ τόσο ο Βάιλ όσο και ο συνοδοιπόρος του Μπρούερ εργάζονταν εκτός Γερμανίας (στην Ελβετία και την Ολλανδία, αντίστοιχα), η υπεράσπιση των κλασικών μαθηματικών, με καθοδηγητή τον Χίλμπερτ, προερχόταν από τη Γερμανία.<sup>16</sup> Έτσι, ενώ δεν μπορεί να υπάρξει αμφιβολία ως προς το ότι υπήρχε στενή σχέση ανάμεσα στις ιδέες του Βάιλ και το περιβάλλον, δεν μπορούμε εύκολα να υποστηρίξουμε ότι υπήρχε σαφής αιτιακή σύνδεση μεταξύ τους όσον αφορά είτε την προέλευση των ιδεών είτε την πρόσληψή τους,<sup>17</sup> και η κατάσταση αυτή προοιωνίζεται μια ακόμη πιο σύνθετη κατάσταση σε σχέση με τη φυσική και την αιτιότητα. Όλα αυτά μας υπενθυμίζουν ότι η ιστορία των ιδεών σπάνια είναι ευθύγραμμη· ακόμη και σε σχέση με τη γενική στάση του περιβάλλοντος απέναντι στα μαθηματικά, τη φυσική και την αιτιότητα θα πρέπει να προχωρήσουμε σε λεπτές διακρίσεις, στις οποίες ο Φόρμαν δεν προέβη. Διότι, ενώ όντως τα μαθηματικά και η φυσική δέχτηκαν πολλές επιθέσεις από εξωτερικούς παράγοντες, σε όλες τις περιπτώσεις επρόκειτο για επιθέσεις που είχαν ως στόχο την αξία τους και όχι το περιεχόμενό τους. Οι ώρες διδασκαλίας των μαθηματικών στα σχολεία μειώθηκαν, επειδή θεωρήθηκε ότι τα μαθηματικά δεν ήταν ιδιαίτερα χρήσιμα στη διάπλαση του ατόμου. Η επίθεση στην αιτιακή, μαθηματική προσέγγιση στις κοινωνικές επιστήμες έγινε, επειδή η προσέγγιση αυτή θεωρήθηκε ανεφάρμοστη ως προς το συγκεκριμένο αντικείμενο. Ο Τρελτς και ο Σπένγκλερ επιτέθηκαν στην αιτιότητα και τη φυσική, διότι τις θεώρησαν σύμβολα του δυτικού υλισμού.<sup>18</sup> Όμως, σε καμία από αυτές τις περιπτώσεις δεν τέθηκε ζήτημα να προσαρμοσθούν η φυσική και τα μαθηματικά στα νέα ιδεώδη. Ο Τρελτς περιόρισε την κριτική του στο περιεχόμενο των κοινωνικών επιστημών<sup>19</sup> και εάν ρίξουμε μια ματιά στο έργο του Σπένγκλερ, θα δούμε ότι εξισώνει τη φυσική και την αιτιότητα<sup>20</sup> και ότι θεωρεί πως στην περίπτωση που η φυσική θα επιβίωνε στο πλαίσιο του παρόντος πολιτισμού, θα

16 C. Reid, *Hilbert* (Νέα Υόρκη, 1969).

17 Μόνο στο ύψος της διαμάχης μπορούμε να βρούμε με κάποια βεβαιότητα επιδράσεις από το ευρύτερο περιβάλλον: βλ. Forman, *Weimar*, 61· 69 στην παρούσα έκδοση.

18 Troeltsch, *ό.π.* (σημ. 13)· O. Spengler, *Der Untergang des Abendlandes. Umriss einer Morphologie der Weltgeschichte, Gestalt und Wirklichkeit* (Μόναχο, 1918· αναθ. έκδοση (33η) 1923· μετάφραση της αναθεωρημένης έκδοσης, *The decline of the West*, τ. i: *Form and actuality* (Νέα Υόρκη, 1926)).

19 Βλ. Forman, *Weimar*, 18· 18-19 στην παρούσα έκδοση.

20 Βλ. Forman, *Weimar*, 30-37· 33-34 στην παρούσα έκδοση· Spengler, *ό.π.* (σημ. 18), ιδιαίτερα κεφ. xi.

συνέχιζε να διέπεται από το μοτίβο που αρμόζει στον πολιτισμό αυτό, δηλαδή, την αιτιότητα. Ο πολιτισμός είχε φτάσει τώρα σε εκείνο το στάδιο, στο οποίο η αιτιακή πλευρά του θα έπρεπε αναπόφευκτα να παραδώσει την κυριαρχία της στο άλλο βασικό μοτίβο του, το πεπρωμένο – αλλά αυτό θα σήμαινε το θάνατο και όχι το μετασχηματισμό της φυσικής, έτσι όπως τη γνωρίζουμε.<sup>21</sup>

Η εξίσωση φυσική = αιτιότητα και η συναφής διάκριση μεταξύ αξίας και περιεχομένου των θετικών επιστημών δεν αλλάζει το γεγονός ότι η φυσική και η έννοια της αιτιότητας δέχονταν έντονες επιθέσεις. Επιπλέον, δεν έχουμε λόγο να υποθέσουμε ότι η αντίδραση των φυσικών δεν ήταν να προσαρμόσουν το περιεχόμενο του κλάδου τους απέναντι στις επιθέσεις, που στόχο είχαν την απαξίωση του. Όμως, η διάκριση μεταξύ αξίας και περιεχομένου έχει κάποια σημασία, εάν μελετήσουμε τις αντιδράσεις των φυσικών, και στρέφει την προσοχή μας στο γεγονός ότι σε κάποιο βαθμό οι φυσικοί και οι μαθηματικοί περισσότερο *απομονώθηκαν* παρά έγιναν *στόχος επίθεσης* από διάφορες δυνάμεις του περιβάλλοντός τους. Παρ' ότι ο Φόρμαν αναγνωρίζει την πιθανότητα της απομόνωσης, στην πραγματικότητα επικεντρώνεται αποκλειστικά στο θέμα της προσαρμογής ή της συνθηκολόγησης με το περιβάλλον, και αυτό αναπόφευκτα δημιουργεί μια πολύ μονόπλευρη εικόνα.<sup>22</sup>

### *Η γενική προσαρμογή των φυσικών και των μαθηματικών στο περιβάλλον τους*

Η διάκριση μεταξύ αξίας και περιεχομένου είναι πιο έκδηλη, εάν εξετάσουμε τη γενική αντίδραση των φυσικών και των μαθηματικών στην κριτική που δέχθηκαν από το περιβάλλον. Διότι, αν και οι διάφορες ομιλίες με ημι-εκλαϊκευτικό χαρακτήρα, τις οποίες εξετάζει ο Φόρμαν, όντως δηλώνουν μια γενική προσαρμογή στο περιβάλλον, είναι σαφές – με δεδομένη τη φύση της κριτικής αυτής – ότι πρόκειται για προσαρμογή σε επίπεδο αξιών. Στις ομιλίες αυτές, οι φυσικοί και οι μαθηματικοί χρησιμοποιούσαν φυσικά τη γλώσσα του περιβάλλοντος και δικαιολογούσαν το αντικείμενό τους με όρους που θα μπορούσαν να γίνουν κατανοητοί και να εκτιμηθούν από εκείνους που αμφισβητούσαν την πολιτισμι-

21 Στο ίδιο, κεφ. χί, ιδιαίτερα σελ. 380 κ.ε. της μετάφρασης.

22 Είναι αξιοσημείωτο ότι κανένας ιστορικός από όσους μελετούν την περίοδο της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης (ό.π. (σημ. 10)) δεν ασχολείται με την επιστήμη· ο Gay, *Weimar culture* (πρόλογος) και ο Laqueur, *Weimar* (κεφ. 6) την αντιμετωπίζουν ξεκάθαρα σαν κάτι αποκομμένο από το ευρύτερο περιβάλλον.



κή του αξία. Στις θετικές επιστήμες, το ωφελμιστικό κίνητρο που είχε περιπέσει σε ανυποληψία αντικαταστάθηκε από το κίνητρο της προσφοράς στον πολιτισμό, από τον πόθο του Μπορν για κοινότητα, τον ιδεαλισμό του Βιν, τη «νέα διαίσθηση» του φον Μίσερ, καθώς και από μια γενικότερη συναισθηματική ανάγκη να κατακτηθεί η γνώση.<sup>23</sup> Όμως, ενώ όλα αυτά αποτελούν ενδείξεις του ότι είχαν επίγνωση της κριτικής που ασκούσε το περιβάλλον τους, δεν υποδηλώνουν κανενός είδους προσαρμογή του περιεχομένου των θετικών επιστημών, ακόμη δε και η έννοια της προσαρμογής των αξιών είναι παραπλανητική. Σε τελευταία ανάλυση, το μείζον κίνητρο των μαθηματικών και των φυσικών δεν υπήρξε ποτέ ωφελμιστικό.<sup>24</sup> Τα κίνητρα που επικαλούνταν τώρα δημοσίως ήταν ακριβώς εκείνα που πάντοτε λειτουργούσαν στον κλειστό τους κύκλο· δεν ήταν λοιπόν τόσο ότι οι φυσικοί αναγκάστηκαν να υιοθετήσουν νέες αιτιολογήσεις όσο ότι απελευθερώθηκαν από τις παλαιότερες. Με αυτά τα δεδομένα, δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η προσαρμογή τους συνεπαγόταν τη θυσία των ιδανικών τους, ούτε καν ότι ήταν το πρώτο βήμα προς μια τέτοια θυσία.<sup>25</sup>

Εάν θέλουμε να διερευνήσουμε μια προσαρμογή των μαθηματικών και των φυσικών στο περιβάλλον τους που να έχει περισσότερο νόημα, θα πρέπει να στραφούμε στο έργο τους και στην ιδιωτική αλληλογραφία τους· από αυτή την άποψη όμως ο Φόρμαν δεν έχει να προσφέρει και πολλά. Η φράση «αριθμητικός μυστικισμός» του Ζόμερφελντ, την οποία, παρεμπιπτόντως, ποτέ δεν τον άφησαν να την ξεχάσει, όντως αντιπροσωπεύει μια προσαρμογή στο περιβάλλον ως προς τη γλώσσα, αλλά η φυσική στην οποία εφαρμόστηκε δεν περιελάμβανε τίποτα που να μπορούσε να συνδεθεί καθ' οιονδήποτε τρόπο με το περιβάλλον.<sup>26</sup> Και το μοναδικό δείγμα ιδιωτικής αλληλογραφίας που χρησιμοποιεί ο Φόρμαν σχετικά, μια επιστολή που έστειλε ο Αϊνστάιν στον

23 Forman, *Weimar*, 47-58· 54-66 στην παρούσα έκδοση.

24 Αυτό ισχύει και για τους πιο πιστούς ντετερμινιστές, του Αϊνστάιν και του Πλανκ συμπεριλαμβανομένων, όπως και για οποιονδήποτε άλλο: πάντοτε ίσχυε και εξακολουθεί να ισχύει.

25 Εξαίρεση εδώ φαίνεται να αποτελεί ο Ντετς: βλ. Forman, *Weimar*, 52· 59 στην παρούσα έκδοση.

26 Στο ίδιο, 49-50· 56-57 στην παρούσα έκδοση. Όσον αφορά τον αντίκτυπο, βλ. για παράδειγμα την επιστολή του Πάουλι προς τον Μπορν, στις 31 Δεκεμβρίου 1924, όπου χαριτολογώντας αναφέρεται στο τμήμα του Ζόμερφελντ ως το ινστιτούτο αριθμητικού μυστικισμού: W. Pauli, *Wissenschaftlicher Briefwechsel*, τ. 1, επιμ. A. Herman κ.ά. (Νέα Υόρκη, 1979), επιστολή αρ. 79.



Μπορν τον Ιανουάριο του 1920, δεν θεωρώ ότι επιδέχεται την ερμηνεία που της προσδίδει ο Φόρμαν.<sup>27</sup>

Ο Αϊνστάιν στην επιστολή του, την οποία έγραψε σε απάντηση επιστολής του Μπορν που έχει χαθεί, αναφέρεται κυρίως σε κοινωνικά και πολιτικά ζητήματα. Μετά, έχοντας καλύψει αυτά τα ζητήματα, ο Αϊνστάιν δηλώνει πως «ούτε κι εμένα με λυπήθηκε ο Σπένγκλερ» και αναφέρει ότι πάει κανείς για ύπνο πεπεισμένος για την ορθότητα των ιδεών του Σπένγκλερ και, όταν ξυπνάει την άλλη μέρα, αρχίζει να σκέφτεται την κριτική που θα μπορούσε ν' ασκηθεί σ' αυτές. Με δυο λόγια, το βιβλίο του Σπένγκλερ κρατούσε ξύπνιο τον Αϊνστάιν και τον απασχολούσε, ίσως μάλιστα να συνέβαινε το ίδιο και στον Μπορν. Ωστόσο, ο Φόρμαν θεωρεί ότι αυτή η φράση σημαίνει πως το βιβλίο του Σπένγκλερ περιείχε αιχμές κατά του Αϊνστάιν και του Μπορν' παραδέχεται σε υποσημείωση ότι δεν μπόρεσε να βρει καμία αιχμή κατά του Αϊνστάιν, αλλά αυτό δεν τον εμπόδισε να υιοθετήσει αυτή την ερμηνεία. Πιο κάτω στην ίδια επιστολή, ο Αϊνστάιν δηλώνει ότι «αυτή η ιστορία με την αιτιότητα με κατατρύχει και εμένα», ότι δεν είναι σε θέση να δηλώσει ευθαρσώς τις πεποιθήσεις του, αλλά ότι δεν θα τον χαροποιούσε καθόλου το να αποποιηθεί «παντελώς την αιτιότητα». Από το περιεχόμενο είναι σαφές ότι ο Μπορν εξέτασε ορισμένα εκ των έσω επιχειρήματα –από τα πολλά που υπήρχαν– κατά της αιτιότητας στην κβαντική θεωρία, και ότι ο Αϊνστάιν αναγνώρισε την ισχύ αυτών των επιχειρημάτων, κάτι που δημιουργούσε προβλήματα στη σταθερή πεποίθησή του ότι θα έπρεπε να διατηρηθεί το κριτήριο της αυστηρής αιτιότητας.<sup>28</sup> Ο Αϊνστάιν αναφέρεται στην «ερμηνεία του Στερν» και γνωρίζουμε ότι ο Στερν μόλις είχε αρχίσει πειραματικές δοκιμές με τον Γκέρλαχ στο φαινόμενο που είναι γνωστό ως κβάντωση του χώρου. Εάν ήταν βάσιμες οι θεωρητικές προβλέψεις για τα κβάντα (όπως ήταν τελικά), θα ανέκυπτε σοβαρό πρόβλημα ερμηνείας και, όπως αργότερα κατέδειξαν ο Αϊνστάιν και ο Έρενφεστ, αυτό θα συνιστούσε εσωτερική απειλή κατά του ιδεώδους της αιτιότητας.<sup>29</sup> Ωστόσο, ο Φόρμαν δεν εξετάζει

27 Forman, *Weimar*, 71-72· 80-81 στην παρούσα έκδοση· Αϊνστάιν προς Μπορν, 27 Ιανουαρίου 1920· μετάφραση στα Αγγλικά στο M. Born & Einstein, *The Born-Einstein letters* (Νέα Υόρκη, 1971), επιστολή αρ. 13.

28 Αυτή την πεποίθηση ενστερνιζόταν προφανώς τότε και ο Μπορν: βλ. M. Born, *Physics in my generation* (Νέα Υόρκη, 1956), και Αϊνστάιν προς κα Μπορν, 1 Σεπτεμβρίου 1919, επιστολή αρ. 9, *ό.π.* (σημ. 27).

29 Βλ. τις σημειώσεις του Μπορν στην επιστολή *ό.π.* (σημ. 27), και M. Jammer, *The conceptual development of quantum mechanics* (Νέα Υόρκη, 1966), 133-4, για το τεχνικό υπόβαθρο αυτού του έργου.

καθόλου τα γεγονότα από αυτήν τη σκοπιά και υποθέτει ότι το θέμα της συζήτησης σχετίζεται στενά με την ανάλυση του Σπένγκλερ (δεν φαίνεται κάτι τέτοιο στην επιστολή) και ότι ο Μπορν «προφανώς [...] ήταν πρόθυμος να εξετάσει την ιδέα της μη αιτιότητας» για λόγους άσχετους με τους εσωτερικούς προβληματισμούς του κλάδου. Ο Φόρμαν ερμηνεύει την απροθυμία του Αϊνστάιν να εγκαταλείψει ολοκληρωτικά την έννοια της αιτιότητας σαν δώρο εξευμενισμού που το προσφέρει στον Μπορν, υποδηλώντας έτσι ότι ήταν προετοιμασμένος να την αποποιηθεί εν μέρει.<sup>30</sup>

### *Το θέμα της αιτιότητας*

Ασχολήθηκα εκτενώς με την επιστολή του Αϊνστάιν, επειδή μας δείχνει πως όταν φτάσουμε στο σημείο να συζητούμε για το περιεχόμενο της φυσικής, τότε αναγκαστικά θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν τόσο τους εσωτερικούς όσο και τους εξωτερικούς παράγοντες. Παρά τις κριτικές που δέχτηκε η ανάλυσή του, ο Φόρμαν κατόρθωσε να καταδείξει ότι οι φυσικοί και οι μαθηματικοί είχαν γενικά επίγνωση των αξιών του περιβάλλοντός τους, και ότι αυτό το περιβάλλον όντως επεδείκνυε έντονη εχθρότητα κατά της αρχής της αιτιότητας. Όταν όμως φτάσουμε στους κρίσιμους ισχυρισμούς του, ότι δηλαδή υπήρχε μια δεδομένη απόρριψη της αιτιότητας στη φυσική και ότι δεν υπήρχαν ενδογενείς λόγοι γι' αυτή την απόρριψη, τότε και η αδυναμία του επιχειρήματός του καθίσταται κρίσιμη. Διότι υπήρχαν ισχυροί λόγοι στο εσωτερικό της κοινότητας των φυσικών για την απόρριψη της αιτιότητας και όταν τους λάβουμε υπ' όψιν και επανεξετάσουμε κριτικά τους υποτιθέμενους «προσηλυτισμούς στη μη αιτιότητα» που αναφέρει ο Φόρμαν, θα φανεί ότι η αντίδραση των φυσικών στο θέμα της αμφισβήτησης της αιτιότητας πόρρω απείχε από το να συνιστά προσαρμογή τουναντίον, ίσως και να υποδηλώνει ότι είχε εκδηλωθεί μια τάση προς την απομόνωση. Όχι μόνο δεν συνιστούσε προσαρμογή, αλλά ίσως και να δήλωνε μια απομονωτική τάση.

Από τις οκτώ υποτιθέμενες περιπτώσεις νεοπροσήλυτων στη μη αιτιότητα, τις οποίες παραθέτει ο Φόρμαν, (στην εργασία που δημοσιεύτηκε ως συνέχεια του αρχικού άρθρου πρόσθεσε και μια ένατη, εκείνη του Ζόμερφελντ,

<sup>30</sup> Ωστόσο, η πρωτότυπη δήλωση του Αϊνστάιν στα Γερμανικά είναι η εξής: «Παραιτούμαι καθόλου μα καθόλου ευχάριστα από την πλήρη αιτιότητα». Η δήλωση δεν φαίνεται να επιτρέπει αυτή την αμφισημία.

αλλά χωρίς να προσκομίσει στοιχεία)<sup>31</sup> οι δύο μπορούν να θεωρηθούν προς το παρόν άσχετες με το κύριο επιχείρημά του.<sup>32</sup> Ο ίδιος ο Φόρμαν υποστηρίζει ότι η απόρριψη της αιτιότητας από τον Έξνερ ήταν ανεξάρτητη από το ευρύτερο περιβάλλον και δεν είχε ιδιαίτερη σχέση με τη συγκυρία γενικότερα,<sup>33</sup> ενώ ο Νερνστ, έχοντας οδηγηθεί σε σύγχυση ανάμεσα στο περιεχόμενο της φυσικής και την εφαρμογή της, την ξεπέρασε με τη σθεναρή υπεράσπιση της αρχής της αιτιότητας. Στην αρχική εκδοχή του άρθρου του, ο Νερνστ αντιμετώπισε το γνωστό πρόβλημα ότι οι φυσικοί δέχονταν επιθέσεις, επειδή διαβεβαίωναν ότι ο κόσμος διέπεται αποκλειστικά από αιτιακές σχέσεις, ενώ στη πραγματικότητα είχαν ασχοληθεί μόνο με την αιτιότητα στον μηχανικό, μη έμβιο κόσμο.<sup>34</sup> Προσπαθώντας να γίνει κατανοητός σε ένα κοινό χωρίς ειδικές γνώσεις όντως άρχισε, όπως και έδειξε ο Φόρμαν, να εμφανίζει σημάδια προσαρμογής στην αντι-αιτιώδη στάση του περιβάλλοντος· όμως, στην αναθεωρημένη εκδοχή του άρθρου του, λίγους μήνες αργότερα, άλλαξε άρδην στάση ως προς αυτή την προσαρμογή και επέμεινε στη θέση ότι η αιτιότητα ήταν συμβατή με τα ιδεώδη του περιβάλλοντος – ακόμη και απαραίτητη γι' αυτή.<sup>35</sup> Η πραγματεύση του Νερνστ δείχνει καθαρά ότι είχε επίγνωση των διαθέσεων του περιβάλλοντος, και η σύγχυσή του δηλώνει το βαθμό στον οποίο ένιωθε πιεσμένος από αυτές τις διαθέσεις· όμως, δεν προσαρμόστηκε σε αυτές, αντιθέτως προσπάθησε να τις προσαρμόσει στη δική του πίστη στην αιτιότητα. Από τους υπόλοιπους έξι των νεοπροσύλητων του Φόρμαν, ούτε ο Ζένφτλεμπεν, όπως θα δούμε, απέρριψε την αιτιότητα, ενώ ο Σρέντινγκερ την ασπάσθηκε εκ νέου· ο Βάιλ, ο φον Μίσεσ, ο Σότκι και ο Ράιχεν-

31 Forman, *ό.π.* (σημ. 3). Το όνομα του Ζόμερφελντ συμπεριλαμβάνεται απλώς μεταξύ εκείνων που «μεταστράφηκαν» σε μια περίληψη των προηγούμενων συμπερασμάτων του Φόρμαν.

32 Αν και είχαν μεγάλη σχέση με το γενικό πρόβλημα της αλληλεπίδρασης μεταξύ φυσικών και του ευρύτερου περιβάλλοντος, δεν μπορούν να στηρίξουν τη βασική θέση του Φόρμαν ότι η απόρριψη της αιτιότητας από την πλευρά των φυσικών ήταν μια αντίδραση στις πιέσεις αυτού του περιβάλλοντος.

33 F. Exner, *Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften* (Βιέννη, 1919)· Forman, *Weimar*, 74-76· 84-86 στην παρούσα έκδοση· P. Hanle, «Indeterminacy before Heisenberg: The case of Franz Exner and Erwin Schrödinger», *Historical studies in the physical sciences*, 10 (1979), 225-70.

34 W. Nernst, *Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze* (Βερολίνο, 1921)· Forman, *Weimar*, 84-85· 95-96 στην παρούσα έκδοση.

35 W. Nernst, «Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze», *Die Naturwissenschaften*, 10 (1922), 489-95, σελ. 494-5· Forman, *Weimar*, 85-86· 96-97 στην παρούσα έκδοση.

μπαχ απέρριψαν την αιτιότητα, αλλά για λόγους πολύ πιο σύνθετους από αυτούς που αναφέρει ο Φόρμαν.

Όταν εγκαθιδρύθηκε η Δημοκρατία της Βαϊμάρης, η έννοια της αιτιότητας ήταν από καιρό θέμα συζήτησης στη φυσική, και με την εξέλιξη της κβαντικής θεωρίας είχε ήδη δεχτεί αρκετά έντονες εσωτερικές πιέσεις. Το ουσιώδες στοιχείο της διακριτότητας, που ήταν εμφανές στο νόμο της ακτινοβολίας του Πλανκ, είχε παρακινήσει τον Τζινς το 1910 και τον Πουανκαρέ το 1912 να διερωτηθούν κατά πόσο οι διαφορικές εξισώσεις εξακολουθούσαν να είναι το κατάλληλο εργαλείο στη φυσική<sup>36</sup> και ενώ στην πραγματικότητα είναι αρκετά αβάσιμος ο ισχυρισμός του Γιάμερ σε σχέση με το ερώτημα του Πουανκαρέ, ότι δηλαδή αυτός ήταν ο κατάλληλος τρόπος για να εκφράσει ένας μαθηματικός τις αμφιβολίες του για την αρχή της αιτιότητας, το γεγονός ότι μπορούσε να το κάνει είναι ενδεικτικό της υπάρχουσας πίεσης προς αυτή την κατεύθυνση.<sup>37</sup> Ο Πουανκαρέ, επίσης, εισηγήθηκε τις διακριτές μονάδες χρόνου και το ίδιο έτος ο Πλανκ, παρουσιάζοντας μια νέα συναγωγή του νόμου του, ένωσε υποχρεωμένος να τονίσει ρητά ότι παρόλο που δεν μπόρεσε να ορίσει έναν αιτιακό μηχανισμό για την εικαζόμενη διακριτή εκπομπή, υποτίθεται ότι ένας τέτοιος μηχανισμός όντως υπήρχε.<sup>38</sup> Στο ατομικό μοντέλο του Μπορ, που παρουσιάστηκε τον επόμενο χρόνο, ενυπήρχε υπόρρητα η ίδια κατάσταση.<sup>39</sup>

Στην ανάλυσή του για την υπόθεση των φωτονίων το 1911, ο Αϊνστάιν είχε υποστηρίξει ότι η μόνη εναλλακτική πρόταση έναντι των φωτονίων ήταν η απόρριψη της αυστηρής αρχής διατήρησης της ενέργειας,<sup>40</sup> και παρόλο που

36 J. H. Jeans, «Non-Newtonian mechanical systems and Planck's theory of radiation», *Philosophical magazine*, xx (1910), 943-54· H. Poincaré, «L'hypothèse des quanta», στο *Dernières pensées* (Παρίσι, 1913), 75-76.

37 Jammer, *ό.π.* (σημ. 28), 171. Ο Πουανκαρέ πίστευε ότι η εισήγησή του θα γινόταν αποδεκτή από τον ντετερμινιστή Πλανκ και δεν υπάρχει αμφιβολία ότι ο ίδιος, όπως και ο Τζινς, δεν είχαν πρόθεση να αμφισβητήσουν την αρχή της αιτιότητας. Ο Γιάμερ στηρίζει τον ισχυρισμό του παραθέτοντας την ανάλυση του Πουανκαρέ, το 1904, για το ρόλο της τυχαιότητας στη φυσική, αλλά θα πρέπει να σημειώσουμε ότι ο Πουανκαρέ είχε ορίσει εκεί την τυχαιότητα ως «σύνθετη συναρμογή αιτίων», H. Poincaré, *La valeur de science* (Παρίσι, 1904), 110.

38 M. Planck, «Über die Begründung des Gesetzes der schwarzen Strahlung», *Annalen der Physik*, 37 (1912), 642-56, σελ. 644.

39 N. Bohr, «On the constitution of atoms and molecules», *Philosophical magazine*, 26 (1913), 1-25, 476-502, 857-75.

40 M. Langevin & M. de Broglie (επιμ.), *La théorie du rayonnement et les quanta: Rapports et discussions de la réunion tenue à Bruxelles, du 30 octobre au 3 novembre 1911 sous les auspices de M. E. Solvay* (Παρίσι, 1912), 436.

εκείνη την εποχή η ιδέα γενικώς αγνοήθηκε δεν ήταν δυνατό να εξακολουθήσει να συμβαίνει αυτό μετά το 1916, όταν εκείνος κατέδειξε ότι για να ισχύει η διατήρηση της ενέργειας και της ορμής, το φως που εκπέμπεται ή απορροφάται από ένα άτομο θα έπρεπε να έχει προσανατολισμένη ορμή, δηλαδή να έχει σωματιδιακή υπόσταση.<sup>41</sup> Δεδομένου ότι οι περισσότεροι φυσικοί εξακολουθούσαν να θεωρούν ότι η κυματική θεωρία του φωτός είναι απολύτως αναγκαία, δεν είχαν σχεδόν καμία άλλη επιλογή (εκτός εάν δεν δούλευαν πάνω στην κβαντική θεωρία και εξακολουθούσαν να εθελουφλούν) από το να σκεφτούν σοβαρά την πιθανότητα ν' απορρίψουν την αρχή διατήρησης της ενέργειας και μολονότι αυτό δεν συνεπαγόταν την αναγκαστική απόρριψη της αιτιότητας, είναι σαφές ότι ασκούσε πίεσεις προς αυτή την κατεύθυνση.<sup>42</sup> Εάν φανταζόταν κάποιος τις συστηματικές μεταβολές ενέργειας ή εκανε παραλληλισμό με τη στατιστική φύση του νόμου της εντροπίας, θα μπορούσε να δεχτεί την ορθολογική παραδοχή ότι η αρχή διατήρησης της ενέργειας δεν ισχύει αυστηρά, χωρίς να είναι αναγκασμένος να προβεί σε μια ενδελεχή ανάλυση των επιπτώσεων που θα είχε αυτό στην αιτιότητα· όμως, θα ήταν δύσκολο να αγνοήσει εντελώς τις προοπτικές μιας τέτοιας ανάλυσης. Και δεδομένου ότι θα ήταν δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να συλλάβει κάποιος ένα σύστημα που να λειτουργεί και στο οποίο να διατηρείται η αιτιότητα, αλλά να εγκαταλείπεται η διατήρηση της ενέργειας, θα πρέπει να ασκήθηκε κάποια πίεση για να συνδεθούν αυτά τα δύο θέματα. Εξάλλου, το άρθρο του Αϊνστάιν το 1916 ήταν αξιοσημείωτο για τον επιπλέον λόγο ότι εισήγαγε τις πιθανότητες που διέπουν τις μεταβάσεις μεταξύ των καταστάσεων του ατόμου του Μπορ, και παρόλο που και πάλι θεωρήθηκε ότι υφίσταται ένας αιτιακός μηχανισμός πίσω από τις πιθανότητες, η έκδηλη απουσία ενός τέτοιου μηχανισμού ήταν, όπως

41 A. Einstein, «Zur Quantentheorie der Strahlung», *Physikalische Zeitschrift*, 18 (1917), 121-8.

42 Παρόλο που υπήρχαν αρκετά στοιχεία για να στηρίξουν την υπόθεση για τη διακριτή και εντοπισμένη απορρόφηση του φωτός –και επομένως την ύπαρξη φωτονίων– τα στοιχεία υπέρ της κυματικής θεωρίας ήταν συντριπτικά, και οι φυσικοί, αντί να ενσωματώσουν μια θεμελιώδη αντίφαση στις θεωρίες τους, είναι φυσικό ότι προτίμησαν να παραμείνουν υπέρμαχοι της εδραιωμένης θεωρίας: μπορεί να είχε περιορισμένη εφαρμογή, αλλά τουλάχιστον ήταν συνεπής. Για το θέμα αυτό και για τη διαμάχη κύματος-σωματιδίου γενικότερα βλ. J. Hendry, «The development of attitudes to the wave-particle duality of light and quantum theory, 1900-1920», *Annals of science*, 27 (1980), 59-79.

είναι φυσικό, προκλητική,<sup>43</sup> ιδιαίτερα καθώς δεν διαφαινόταν καμία προοπτική να βρεθεί ένας τέτοιος μηχανισμός.<sup>44</sup>

Μετά τις εξελίξεις που επέφερε το έργο του Αϊνστάιν, οι πρωταγωνιστές της κβαντικής φυσικής, σύμφωνα με τον Χάιζενμπεργκ, άρχισαν να αποδέχονται ευρέως την άποψη ότι θα έπρεπε να εγκαταλειφθεί η αρχή διατήρησης της ενέργειας<sup>45</sup> όμως, η τάση αυτή δεν διατυπώθηκε γραπτώς πριν από το 1921. Πριν από αυτή τη χρονολογία γνωρίζουμε με βεβαιότητα την ύπαρξη της μόνο από την αλληλογραφία μεταξύ Μπορ και Τσαρλς Γκάλτον Ντάργουιν, όπου συσχετιζόταν, αλλά δεν εξισωνόταν, με το θέμα της αιτιότητας. Ο Ντάργουιν, που φαίνεται ότι στήριζε την ανάλυσή του συνειδητά στις ιδέες του Μπορ, έγραφε ότι:

Μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι αναγκαίο να προχωρήσουμε σε θεμελιώδεις αλλαγές των ιδεών μας για το χώρο και το χρόνο ή να εγκαταλείψουμε την αρχή διατήρησης της ύλης και του ηλεκτρικού φορτίου ή ακόμη, ως ύστατη λύση, να προσδώσουμε ελεύθερη βούληση στα ηλεκτρόνια.<sup>46</sup>

Η «ύστατη λύση» δεν έγινε ποτέ αντικείμενο ενεργούς πραγμάτευσης, καθώς ο Ντάργουιν επικεντρώθηκε στη συνέχεια αποκλειστικά στο θέμα της απόρριψης της αρχής διατήρησης της ενέργειας<sup>47</sup> ο Μπορ, που συμφωνούσε ότι «η διατήρηση της ενέργειας φαίνεται ότι δεν τίθεται καν προς συζήτηση», δεν

43 Ο Αϊνστάιν, παρόλο που κατέστησε σαφές ότι διατηρούσε την αιτιότητα, υιοθέτησε τον όρο «τυχειότητα».

44 Η κατάσταση ήταν εντελώς διαφορετική από εκείνη στη στατιστική μηχανική, για παράδειγμα, όπου οι πιθανότητες προέκυπταν από μια υποτιθέμενη αιτιακή συμπεριφορά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όλες οι προσπάθειες να καθορισθεί μια υποκείμενη αιτιακή συμπεριφορά είχαν αποτύχει – και το ίδιο θα συνέβαινε και στο μέλλον.

45 Συνέντευξη με τον Β. Χάιζενμπεργκ, 1963, Πηγές για την ιστορία της κβαντικής φυσικής: βλ. T. Kuhn κ.ά., *Sources for history of quantum physics* (Αμερικανική Φιλοσοφική Εταιρεία, Φιλαδέλφεια, 1967), 10, 101. Ο Χάιζενμπεργκ αναφερόταν στους φυσικούς του Μονάχου (υπό τον Ζόμερφελντ) και αργότερα του Γκέτινγκεν (υπό τους Μπορν και Φρανκ).

46 C. G. Darwin, «Προσχέδιο για μια κριτική στα θεμέλια της φυσικής» (Ιούλιος 1919), *Sources for history of quantum physics* (ό.π. (σημ. 45)), μικροφίλμ αρ. 36, 3. Βλ. επίσης Ντάργουιν προς Μπορ, 20 Ιουλίου 1919 και Μπορ προς Ντάργουιν, Ιούλιος 1919, στο *ίδιο*, BSC 1, 4.

47 Σε επιστολή του στον Μπορ, στις 20 Ιουλίου 1919, στο *ίδιο*, ο Ντάργουιν λέει ότι θεωρεί «την υπόθεση κατά της αρχής διατήρησης της ενέργειας συγκλονιστική», στο *ίδιο*.

την ανέφερε καθόλου.<sup>48</sup> Όμως, σε άρθρο του που είχε δημοσιευτεί τον προηγούμενο χρόνο είχε ήδη μιλήσει προκλητικά για «αυθόρμητες» μεταπτώσεις και είχε επανειλημμένα τονίσει την κατάρρευση της κλασικής μηχανικής στο κβαντικό πλαίσιο<sup>49</sup> είχε σαφή επίγνωση των πιέσεων που ασκούσαν στην αρχή της αιτιότητας, πιέσεων που μέχρι τότε ήταν σχεδόν αποκλειστικά εκ των έσω, και τις οποίες επέβαλλαν τα προβλήματα και τα παράδοξα της κβαντικής θεωρίας.<sup>50</sup>

Όπως επισημαίνει ο Φόρμαν, η πρώτη σημαντική απόρριψη της αιτιότητας στη φυσική, από τον Βάιλ το 1920, δεν σχετίζεται ρητά με αυτά τα προβλήματα.<sup>51</sup> Όμως, ενώ εδώ, όπως και στα μαθηματικά του, η σχέση των απόψεων του Βάιλ με εκείνες που κυριαρχούσαν στο περιβάλλον του είναι σαφώς στενή, δεν είναι και πάλι καθόλου ξεκάθαρη. Ο πρωτεύων εξωτερικός παράγοντας που επηρέασε τις ιδέες του για τη φυσική ήταν το φιλοσοφικό ρεύμα του ιντουισιονισμού που χρονολογικώς προηγήθηκε της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης, και των κυρίαρχων σ' αυτήν διανοητικών ρευμάτων, και συνέχισε να υφίσταται και μετά από αυτήν. Και ενώ η επιμονή του Βάιλ, ήδη από το 1917, να θεωρεί ότι η φιλοσοφία και η φυσική συνδέονται στενά ίσως να σχετίζεται με τις απόψεις του ευρύτερου περιβάλλοντος, θα πρέπει ωστόσο να σημειώσουμε πως ο ίδιος φαίνεται ότι αντιμετώπιζε τη φιλοσοφία ως υποδεέστερη από τα πορίσματα της φυσικής και των μαθηματικών.<sup>52</sup> Επιπλέον, η μεταστροφή του από την αιτιακή

48 Μπορ προς Ντάργουιν, Ιούλιος 1919, στο ίδιο.

49 N. Bohr, «On the quantum theory of line spectra, part I», *Kongelige Danske Videnskabskabernes Selskabs Skrifter*, αρ. 8, iv, i (1918-22), 1-118, σελ. 7. Ο Jammer, *ό.π.* (σημ. 29), 114, θεωρεί ότι είναι αρκετά προκλητική η ερμηνεία του «αυθόρμητου» ως «μη αιτώδους», αλλά ο ίδιος ο Μπορ αργότερα το όρισε ως «χωρίς καθορισμένο εξωτερικό ερέθισμα», αφήνοντας μεγάλο περιθώριο για την ανάπτυξη ενδογενών ή και άγνωστων ακόμη αιτιών: N. Bohr, «On the application of the quantum theory to atomic structure: Part I, The fundamental postulates», *Supplement to Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* (1924), 24.

50 Για μια εκτενή ανάλυση της εξέλιξης των ιδεών του Μπορ, βλ. K. M. Meyer-Abich, *Korrespondenz, Individualität, und Komplementarität* (Βισμπαντεν, 1965).

51 Forman, *Weimar*, 76-80· 86-90 στην παρούσα έκδοση· H. Weyl, «Das Verhältnis der kausalen zur statistischen Betrachtungsweise in der Physik», *Schweizerische Medizinische Wochenschrift*, 1 (1920), 737-41, και *Raum-Zeit-Materie*, (Βερολίνο, 1921), σελ. 283-4.

52 Βλ. Forman, *Weimar*, 76· 86 στην παρούσα έκδοση, σημ. 176. Ο Βάιλ ήταν πρωτίστως ένας μαθηματικός που χρησιμοποιούσε τις φιλοσοφικές ιδέες ως πηγή έμπνευσης (για τη θεμελίωση των μαθηματικών) και για τη συσχέτιση των μαθηματικών αποτελεσμά-



σε μια μη αιτιακή θεωρία πεδίου καθορίστηκε, σε πολύ μεγάλο βαθμό, από προβληματισμούς που είχαν αναπτυχθεί στο εσωτερικό του κλάδου.

Το διάστημα 1917-18, παράλληλα με το έργο του για τη θεμελίωση των μαθηματικών, ο Βάιλ ανέπτυξε και δημοσίευσε μια ενοποιημένη θεωρία βαρυτικού και ηλεκτρικού πεδίου, βασισμένη σε μια περαιτέρω γενίκευση της «γενικής» θεωρίας της σχετικότητας του Αϊνστάιν.<sup>53</sup> Η θεωρία του Βάιλ θεωρήθηκε από τους συναδέλφους του σχετικιστές ως ευφυής αλλά λανθασμένη και, το 1919, ο Πάουλι δημοσίευσε σχετική κριτική.<sup>54</sup> Σύμφωνα με αυτήν, σε αντίθεση με τα εμπειρικά δεδομένα, η θεωρία του Βάιλ ήταν απολύτως συμμετρική ως προς τα θετικά και αρνητικά φορτία<sup>55</sup> και, το κυριότερο, δεν έδινε καμία ερμηνεία στο γιατί θα έπρεπε να αντιστοιχεί μόνο μία μάζα σε κάθε τύπο ηλεκτρικού φορτίου και καμία ερμηνεία, υπό το πρίσμα της καθαρής θεωρίας πεδίου, για τη συνεκτική δομή της ύλης. Εφόσον οι μόνες δυνάμεις ήταν εκείνες που *παρήγαγαν* τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια, η εσωτερική δομή αυτών των σωματιδίων δεν μπορούσε να εξηγηθεί: κάθε προσπάθεια να διατυπωθεί μια ολοκληρωμέ-

---

των (της ενοποιημένης θεωρίας του) με τις ιδιότητες που υπάρχουν στο φυσικό κόσμο. Βλ. σημ. 61 παρακάτω.

- 53 H. Weyl, «Reine Infinitesimalgeometrie», *Mathematische Zeitschrift*, 2 (1918), 384-411· στο ίδιο, «Gravitation und Elektrizität», *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften* (1918), 465-80· στο ίδιο, «Eine neue Erweiterung der Relativitätstheorie», *Annalen der Physik*, 59 (1919), 101-33· στο ίδιο, *Raum-Zeit-Materie* (Βερολίνο, 1918). Προχωρώντας από την ειδική στη γενική θεωρία της σχετικότητας, ο Αϊνστάιν είχε εγκαταλείψει την υπόθεση της ευκλείδειας γεωμετρίας ότι οι κατευθύνσεις των διανυσμάτων σε διαφορετικά σημεία στο χωροχρόνο μπορούν να είναι άμεσα συγκρίσιμες· στη ρημάνεια γεωμετρία που προέκυψε, η σχετική κατεύθυνση των διανυσμάτων σε δύο σημεία εξαρτάται από την επιλογή της τροχιάς που ενώνει τα σημεία και οι παράμετροι που καθορίζουν αυτή τη επιλογή σχετίζονται με εκείνες του βαρυτικού πεδίου. Στη θεωρία του Βάιλ, το ίδιο επιχείρημα εφαρμόζεται επίσης και στα μήκη των διανυσμάτων και οι παράμετροι που είναι συναφείς με αυτό το μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας ταυτίζονται με εκείνες του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.
- 54 W. Pauli, «Zur Theorie der Gravitation und der Elektrizität von Hermann Weyl», *Physikalische Zeitschrift*, 20 (1919), 457-67· βλ., επίσης, W. Pauli, *Theory of relativity* (Λονδίνο, 1958), 206. Για άλλες αντιδράσεις στη θεωρία του Βάιλ, που όλες τους συνδυάζουν την κριτική στα συμπεράσματά του στο πεδίο της Φυσικής με τους εγκωμιαστικούς επαίνους για την υποκείμενη μαθηματική θεωρία, βλ. τις επιστολές Μι προς Βάιλ, 26 Οκτωβρίου 1918, Αϊνστάιν προς Βάιλ, 8 Μαρτίου 1918, Ζόμερφελντ προς Βάιλ, 3 Ιουλίου 1918 και Έντινγκτον προς Βάιλ, 18 Αυγούστου 1918, στο αρχείο του Eigener Technische Hochschule, στη Ζυρίχη.
- 55 Η κριτική αυτή έπαψε να ισχύει μετά την ανακάλυψη του ποζιτρονίου, ωστόσο εκείνη την εποχή φαινόταν έγκυρη.

νη θεωρία (όπως ο Βάιλ ισχυριζόταν ότι ήταν η δική του) θα έπρεπε να συμπεριλαμβάνει σύνθετες ιδιότητες της ύλης ανεξάρτητες από το ηλεκτρομαγνητικό/βαρυτικό πεδίο.<sup>56</sup> Τον Μάιο του 1919, απαντώντας στις δημοσίευτες ακόμη απόψεις του Πάουλι, ο Βάιλ του έγραψε πως θεωρούσε ότι η μη ισοδυναμία θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων θα μπορούσε να αναχθεί στη μη ισοδυναμία μεταξύ παρόντος και μέλλοντος, ή στη ροή του χρόνου προς μια και μοναδική κατεύθυνση, αλλά ότι κανένα από τα δύο προβλήματα δεν ήταν δυνατό ακόμη να βρει τη λύση του.<sup>57</sup> Όσο για το ότι υπερασπιζόταν μια καθαρή θεωρία πεδίου, ο Πάουλι δεν θα έπρεπε να τον κατηγορεί για δογματισμό: δεν πίστευε ότι είχε ανακαλύψει τη φιλοσοφική λίθο και ήταν εντελώς βέβαιος ότι υπήρχε κάτι στη ύλη που ήταν ανεξάρτητο από το πεδίο. Τον Δεκέμβριο, αφού διάβασε τη δημοσιευμένη κριτική του Πάουλι, ο Βάιλ του έγραψε ξανά, αναπτύσσοντας περαιτέρω τις απόψεις του.<sup>58</sup> Θεωρούσε ότι η διάκριση παρελθόντος-μέλλοντος ήταν θεμελιωδέστερη από εκείνη μεταξύ των δύο ηλεκτρικών φορτίων και ότι καθόριζε απολύτως τη δεύτερη μέσω της γεωμετρίας του κόσμου ή του πεδίου. Ωστόσο, παρά αυτό τον καθορισμό, η φυσική ήταν θεμελιωδώς στατιστική και μη αιτιακή ή μη αιτιότητα προέκυπτε από κάτι που ενυπήρχε στην ύλη, ήταν ανεξάρτητο από το πεδίο, και το οποίο θα έπρεπε να το σκεφτόμαστε με τους όρους «ανεξάρτητων αποφάσεων».<sup>59</sup> Αργότερα, κατέστη-

56 «Οι θεωρίες του συνεχούς χρησιμοποιούν άμεσα τη συνήθη έννοια της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, ακόμη και για πεδία στο εσωτερικό του ηλεκτρονίου. Αυτή η ένταση του πεδίου, ωστόσο, ορίζεται ως η δύναμη που δρα σε ένα πειραματικό σωματίδιο, και εφόσον δεν υπάρχουν πειραματικά σωματίδια μικρότερα από το ηλεκτρόνιο ή τον πυρήνα του υδρογόνου, η ένταση του πεδίου σε ένα δεδομένο σημείο στο εσωτερικό ενός τέτοιου σωματιδίου είναι εξ ορισμού μη παρατηρήσιμη, άρα πλασματική και χωρίς φυσικό περιεχόμενο». Το επιχείρημα αυτό, που παραθέτει ο Πάουλι, *ό.π.* (σημ. 54, 1958), 206, περιλαμβάνεται στην αρχική κριτική του Πάουλι και το αναφέρει ο Αϊνστάιν στην επιστολή του προς τον Μπορν στις 27 Ιανουαρίου 1920, *ό.π.* (σημ. 27).

57 Βάιλ προς Πάουλι, 10 Μαΐου 1919, *ό.π.* (σημ. 26), επιστολή αρ. 1.

58 Βάιλ προς Πάουλι, 9 Δεκεμβρίου 1919, *στο ίδιο*, επιστολή αρ. 2.

59 *Στο ίδιο* (σε δική μου μετάφραση): «Εκείνη η σύγχρονη φυσική, που δεν βρίσκει θέση στο πλαίσιο της “νομοκρατούμενης φυσικής” ή της “φυσικής πεδίου”, μπορεί παρ’ όλα αυτά να είναι ορθή. Διότι είμαι πεπεισμένος ότι η Στατιστική είναι κάτι ανεξάρτητο, που αντιτίθεται κατ’ αρχήν στην Αιτιότητα, στο “Νόμο”. επειδή είναι γενικά παράδοξο να εισάγουμε την έννοια του πεδίου ως κάτι που προϋπήρχε. Φαντάζομαι ότι η φυσική πεδίου, στην πραγματικότητα, παίζει μόνο το ρόλο της “γεωμετρίας του κόσμου” στην ύλη υπάρχει κάτι άλλο διαφορετικό, πραγματικό, που δεν μπορεί να γίνει κατανοητό αιτιακά, αλλά που μπορεί ίσως να το σκεφτούμε εν είδει ανεξάρτητων αποφάσεων, τις οποίες πραγματευόμαστε στη φυσική μέσω στατιστικού υπολογισμού. Είναι

σε σαφές ότι, όπως υποδηλώνει και η ορολογία που χρησιμοποιεί, το πεδίο θα έπρεπε να το συλλάβουμε ως την ύστατη εκδήλωση της φυσικής υπόστασης.<sup>60</sup>

Για να κατανοήσουμε πλήρως την πορεία της σκέψης του Βάιλ θα χρειαζόταν να προχωρήσουμε σε πολύ μεγαλύτερη έρευνα. Αλλά από τα παραπάνω μπορούμε ήδη να διαπιστώσουμε ότι η απόρριψη της αιτιότητας, αν και επρόκειτο για μια απόφαση που θεμελιωδώς στηριζόταν στη μεταφυσική και όχι στην εμπειρία, ήταν ωστόσο βαθιά ριζωμένη σε ένα σύμπλεγμα φυσικών προβλημάτων.<sup>61</sup> Και παρόλο που δεν την αναφέρει, η κβαντική θεωρία έχει σχέση με αυτά, διότι η θέση του Βάιλ απορρύνει από την υπεράσπιση αυτού που στην πραγματικότητα ήταν μια καθαρή θεωρία πεδίου, έναντι της επιμονής του Πάουλι για την προτεραιότητα της σωματιδιακής ύλης. Δεν πρόκειται παρά για το πρόβλημα κύματος-σωματιδίου (μη αιτιακό-αιτιακό) της κβαντικής θεωρίας, που μετατίθεται από το πλαίσιο του φωτός σε εκείνο της ύλης. Επιπλέον, ο ιντουισιονισμός του Βάιλ δεν ήταν πιο «εξωτερικός» παράγοντας από ό,τι ήταν ο οπερασιοναλισμός του Πάουλι.<sup>62</sup>

Αν και επιφανειακά ο Πάουλι και ο Έντινγκτον, που είχε παρόμοιες απόψεις, τοποθετούνται μαζί με τον Αϊνστάιν στο στρατόπεδο των υποστηρικτών της αιτιακής-σωματιδιακής προσέγγισης, οι θέσεις τους στην πραγματικότητα δεν ήταν και τόσο απλές. Ενώ ο Αϊνστάιν επιδίωκε να παραγάγει σωματίδια από μια καθαρή θεωρία πεδίου, εκείνοι, όπως και ο Μπορ, αναζητούσαν μια πολύ πιο θεμελιώδη αλλαγή του εννοιολογικού πλαισίου μας. Παρ' ότι ήταν αντίθετοι όσον αφορά την προτεραιότητα της σωματιδιακής ή της πεδιακής προσέγγι-

---

μάλιστα δυνατό να αποδώσουμε σε αυτό την ίδια φύση με τη φύση της διαφοράς μεταξύ παρελθόντος και μέλλοντος, μεταξύ θετικού και αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου».

60 H. Weyl, «Was ist Materie?», *Die Naturwissenschaften*, 12 (1924), 561-9, 585-93, 604-11· Forman, *Weimar*, 79· 90 στην παρούσα έκδοση.

61 Γενικότερα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο Βάιλ θεωρούσε ότι η μαθηματική θεωρία πεδίου που ανέπτυξε ήταν πολύ σημαντική. Αυτό, ωστόσο, δεν ήταν αρκετό ώστε ο πραγματικός κόσμος (του Αϊνστάιν) να προκριθεί έναντι οποιουδήποτε άλλου κόσμου που θα ήταν συνεπής με τη θεωρία, και αυτό ήταν το χάσμα που σκόπευαν να καλύψουν τα φιλοσοφικά επιχειρήματα του Βάιλ.

62 Για μια πλήρη έκθεση της φιλοσοφικής θέσης του Πάουλι, που δεν απείχε πολύ από εκείνη που υιοθέτησε αργότερα ο Έντινγκτον, βλ. Πάουλι προς Έντινγκτον, 20 Σεπτεμβρίου 1923, *ό.π.* (σημ. 26), επιστολή αρ. 45. Θα πρέπει, επίσης, να σημειώσουμε ότι το ενδιαφέρον του Βάιλ για τη ροή του χρόνου προς μια και μοναδική κατεύθυνση είχε τις ρίζες του σε ένα εσωτερικό πρόβλημα που είχε αναδείξει η ανάλυση του Πάουλι, *ό.π.* (σημ. 54) και το οποίο αφορούσε τις συναλλοίωτες ιδιότητες των ηλεκτρικά ασύμμετρων λύσεων στη θεωρία του Βάιλ σε συνθήκες αντιστροφής του χρόνου.

γισης, ο Πάουλι και ο Μπορ συμφωνούσαν ότι ήταν αναγκαία μια αλλαγή των εννοιών του χώρου και του χρόνου αυτών καθεαυτές, μια αλλαγή που θα μπορούσε κάλλιστα να καταστήσει περιττό το ζήτημα της αιτιότητας<sup>63</sup> και καθώς ο Πάουλι ήταν σε θέση να πείσει, τουλάχιστον εν μέρει, τόσο τον Μπορν όσο και τον Χάιζενμπεργκ για τη θέση του, προφανώς αυτή είχε κάποια σημασία για την κβαντική φυσική στη Γερμανία– και μάλιστα θα αποτελούσε τον κύριο παράγοντα στη γένεση της νέας κβαντομηχανικής.<sup>63</sup> Ως εκ τούτου, αναπόφευκτα είναι κάπως τεχνητή κάθε προσπάθεια να παρουσιασθούν οι Γερμανοί κβαντικοί φυσικοί πολωμένοι στο ζήτημα της αιτιότητας.

Έξω από αυτό το κύριο ρεύμα της κβαντικής φυσικής, ωστόσο, το ζήτημα παρέμενε ενεργό και το 1921 ο Σότκι και ο φον Μίσεσ δημοσίευσαν τις αντιρήσεις τους στο θέμα της αιτιότητας στο κβαντικό θεωρητικό πλαίσιο. Όπως απέδειξε ο Φόρμαν, και οι δύο μπορεί να είχαν δεχτεί επιδράσεις από το ευρύτερο περιβάλλον: ο φον Μίσεσ εξέφρασε την εκλαϊκευμένη εκδοχή των συμπερασμάτων του υιοθετώντας το εννοιολογικό οπλοστάσιο του Σπένγκλερ, ενώ την παρουσίαση του Σότκι χαρακτήριζε ένας έντονα υπαρξιστικός τόνος.<sup>64</sup> Όμως και πάλι υπήρχαν επίσης –παρά την κατηγορηματική διαβεβαίωση του Φόρμαν για το αντίθετο– σημαντικοί εσωτερικοί παράγοντες, που έπαιζαν το δικό τους ρόλο.

Κατά τη διάρκεια του πολέμου και αμέσως μετά δεν υπήρχαν πολλές ανοιχτές διαμάχες για το θεμελιώδες ζήτημα του κυματικού ή σωματιδιακού χαρακτήρα του φωτός στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας.<sup>65</sup> Όμως, στο Συνέδριο Σολβέ του 1921 άνοιξε και πάλι το ζήτημα με δύο ανακοινώσεις, στις οποίες υποστηριζόταν σθεναρά η αναγκαιότητα της έννοιας του φωτονίου· η μία ανακοίνωση ήταν του Μορίς ντε Μπρέιγ<sup>66</sup> και η άλλη του Μίλικαν, οι απόψεις των

63 Βλ. J. Hendry, «The search for a unified field theory and the conceptual origins of quantum mechanics» (αδημοσίευτο κείμενο). Νύξεις για το ρόλο του Πάουλι υπάρχουν επίσης στο D. Serwer, «Unmechanischer Zwang: Pauli, Heisenberg, and the rejection of the mechanical atom, 1923-25», *Historical studies in the physical sciences*, 8 (1977), 189-256.

64 Forman, *Weimar*, 80-84· 91-95 στην παρούσα έκδοση· R. von Mises, «Über die gegenwärtige Krise der Mechanik», *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*, I (1921), 425-31, και *Naturwissenschaft und Technik der Gegenwart* (Λειψία, 1922)· W. Schottky, «Das Kausalproblem der Quantentheorie als eine Grundfrage der modernen Naturforschung überhaupt. Versuch einer gemeinverständlichen Darstellung», *Die Naturwissenschaften*, 19 (1921), 492-6, 506-11.

65 Βλ. Hendry, *ό.π.* (σημ. 42).

66 Institut International de Physique Solvay, *Atoms et electrons: Rapports et discussions du*

οποίων αντιπροσώπευαν μια δραματική μεταστροφή μετά την απόρριψη αυτής της έννοιας επί σειρά ετών.<sup>67</sup> Σε μια άλλη ανακοίνωση στο ίδιο συνέδριο, ο Μπορ προτείνει, για πρώτη φορά δημοσίως, ότι για να εγκαταλειφθεί η αρχή διατήρησης της ενέργειας είναι προτιμότερη εναλλακτική λύση από την αποδοχή των φωτονίων.<sup>68</sup> Η ανάλυση της αιτιότητας, στην οποία προχώρησε ο φον Μίσερ λίγους μήνες αργότερα, βασιζόταν στο αγαπημένο θέμα του Μπορ, την αποτυχία της κλασικής μηχανικής στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας, και μπορεί κάλλιστα να είχε σχέση με αυτές τις εξελίξεις. Η ανάλυση του Σότκι συνδεόταν σαφώς με τις αποτυχημένες προσπάθειες του Αϊνστάιν να αναπτύξει μια κλασική αιτιακή θεωρία πεδίου, στην οποία τα φωτόνια και τα υλικά σωματίδια να εμφανίζονται ως σημεία ασυνέχειας και εφόσον ο ίδιος ο Αϊνστάιν φαίνεται ότι έθετε στην ίδια μοίρα τη μη διατήρηση της ενέργειας και τη μη αιτιότητα, το άρθρο του Μπορ θα μπορούσε να έχει ασκήσει επίδραση και στον Σότκι.<sup>69</sup> Σύμφωνα με τους περισσότερους κβαντικούς φυσικούς που ακολουθούσαν την κυρίαρχη τάση, η θέση του Αϊνστάιν ήταν αβάσιμη, και η απόφαση του Σότκι να απορρίψει μια αιτιακή, καθαρά πεδιακή θεωρία ήταν απολύτως εύλογη.<sup>70</sup> Το γεγονός ότι επέλεξε μια εναλλακτική οδό –που περιελάμβανε την απόρριψη της αιτιότητας και όχι των θεμελιωδών χωροχρονικών εννοιών– μπορεί να θεωρηθεί απλώς ως επιλογή της εκδοχής που ασπαζόταν ο Βάιλ και όχι ο Πάουλι και δεν σχετίζεται αναγκαστικά με το ευρύτερο πολιτισμικό περιβάλλον.

Το 1922-23 μόνο ένας ακόμη αμφισβήτησε ευθέως την αρχή της αιτιότητας στη φυσική – ο Σρέντινγκερ – όμως, την περίοδο εκείνη ήταν ευρέως αποδεκτό ότι θα έπρεπε ίσως να εγκαταλειφθεί η αρχή διατήρησης της ενέργειας. Ο Ντάργουν και ο Μπορ υποστήριζαν επανειλημμένα αυτή τη λύση στις δημοσιεύσεις τους:<sup>71</sup> ο Ζόμερφελντ εκδήλωσε τη συμπάθειά του προς αυτήν στο

---

*troisième conseil de physique tenue à Bruxelles du 1 au 6 avril 1921* (Παρίσι, 1921), 80-100.

67 Στο ίδιο, 120-130. Για τις προηγούμενες απόψεις του Μίλικαν βλ. Hendry, *ό.π.* (σημ. 42).

68 Στο ίδιο, 228-47· η πρωτότυπη αγγλική εκδοχή του άρθρου του Μπορ αναδημοσιεύεται στο N. Bohr, *Collected works*, τ. 3 (Αμστερνταμ, 1976). Βλ. ειδικότερα σελ. 373-5.

69 Για τις απόψεις του Αϊνστάιν ως προς τη μη διατήρηση της ενέργειας και τη μη αιτιότητα, βλ. M. J. Klein, «The first phase of the Bohr-Einstein dialogue», *Historical studies in the physical sciences*, ii (1970), 1-39.

70 Την εποχή εκείνη την ίδια άποψη είχαν οι Πάουλι, Μπορ, Μπορν, Χάιζενμπεργκ, Σρέντινγκερ, Βάιλ και Ζόμερφελντ, για να αναφέρουμε μόνο τους σημαντικότερους.

71 N. Bohr, «The effect of electric and magnetic fields on spectral lines», *Proceedings of the Physical Society of London*, 35 (1923), 275-302 (διάλεξη που δόθηκε το Μάρτιο του

γνωστό εγχειρίδιό του<sup>72</sup> ο Μπορν και ο Χάιζενμπεργκ την υιοθέτησαν ως προσωρινό συμπέρασμα σε πειράματα, που αφορούσαν φαινόμενα παρόμοια με εκείνα των πειραμάτων «κβάντωσης του χώρου» των Στερν και Γκέρλαχ, και ο Αϊνστάιν με τον Έρενφεςτ εξέτασαν το ενδεχόμενο αυτής της λύσης, αν και χωρίς ιδιαίτερη προθυμία, στο πλαίσιο αυτών των πειραμάτων.<sup>73</sup> Η απόρριψη της αιτιότητας από τον Σρέντινγκερ, το φθινόπωρο του 1922, συνδέεται σαφώς με τις φιλοσοφικές απόψεις του Έξνερ, η επίδραση του οποίου τον είχε οδηγήσει, ήδη από το 1918, στην εξέταση του γενικού φιλοσοφικού προβλήματος της αιτιότητας<sup>74</sup> όμως, ήταν επίσης συνδεδεμένη και με το θέμα της διατήρησης της ενέργειας, καθώς και με την αντίδραση στην ενοποιημένη θεωρία του Βάιλ. Όταν συνόδευσε τον Βάιλ στη Ζυρίχη, το 1921, ο Σρέντινγκερ έδειξε θετική στάση απέναντι στη θεωρία του τελευταίου επιχειρώντας να την εφαρμόσει σε προβλήματα κβάντωσης.<sup>75</sup> Τον επόμενο χρόνο ασχολήθηκε με το πρόβλημα του φαινομένου Ντόπλερ στην κβαντική θεωρία,<sup>76</sup> και γράφοντας στον Πάουλι γι' αυτό τόνισε ότι δεν δέχεται την αυστηρή διατήρηση της ενέργειας και ότι ήταν πεπεισμένος πως δεν υπήρχε μέχρι στιγμής άλλος τρόπος να υπερβεί το κβαντικό παράδοξο.<sup>77</sup> Πίστευε ότι θα μπορούσε κανείς να αντικαταστήσει την κβαντική ταύτιση ενέργειας και συχνότητας με την ισοδυναμία ανάμεσα στο φαινόμενο που παράγεται από ένα υλικό σωματίδιο με δεδομένη ενέργεια και

---

1922), και *ό.π.* (σημ. 49, 1924), που ολοκληρώθηκε το Νοέμβριο του 1922 και δημοσιεύτηκε αρχικά στο *Zeitschrift für Physik*, 13 (1923), 117-65. C. G. Darwin, «A quantum theory of optical dispersion», *Nature*, 90 (1922), 841, και «The wave theory and the quantum theory», *Nature*, 91 (1923), 771-3.

72 A. Sommerfeld, *Atombau und Spektrallinien*, (Μόναχο, <sup>2</sup>1922), αγγλ. μτφ. *Atomic structure and spectral lines* (Λονδίνο, 1923), 253. Παρ' ότι πολλοί φυσικοί παρέμεναν πιστοί στην αρχή διατήρησης της ενέργειας (και ο ίδιος ο Ζόμερφελντ αμφιταλαντεύονταν στο θέμα αυτό) θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα κείμενα των Μπορν και Ζόμερφελντ ήταν τα σημαντικότερα για την κβαντική θεωρία εκείνη την περίοδο.

73 M. Born & W. Heisenberg, «Die Elektronenbahnen im angeregten Heliumatom», *Zeitschrift für Physik*, 16 (1923), 229-43· A. Einstein & P. Ehrenfest, «Quantentheoretische Bemerkung zum Experiment von Stern und Gerlach», *Zeitschrift für Physik*, 11 (1922), 31-34.

74 E. Schrödinger, σημειωματάριο, «Kausalität», 10 Σεπτεμβρίου 1918, *Sources for history of quantum physics* (*ό.π.* (σημ. 45)), 39, 7.

75 E. Schrödinger, «Über eine Bemerkenswerte Eigenschaft der Quantenbahnen eines einzelnen Elektrons», *Zeitschrift für Physik*, 12 (1922), 13-23.

76 E. Schrödinger, «Dopplerprinzip und Bohrsche Frequenzbedingung», *Physikalische Zeitschrift*, 23 (1922), 301-3.

77 Σρέντινγκερ προς Πάουλι, 8 Νοεμβρίου 1922, *ό.π.* (σημ. 26), επιστολή αρ. 29.



εκείνου που παράγεται από ένα σφαιρικό κύμα ισοδύναμης συχνότητας, χωρίς όμως να αποδίδεται αναγκαστικά η ενέργεια στο κύμα και έτσι χωρίς να πρέπει το κύμα να εντοπιστεί ως φωτόνιο. Αυτό δεν ήταν δυνατό σε ένα μηχανικό σύστημα όπου ίσχυε η διατήρηση της ενέργειας, αλλά, όπως έλεγε, ποιος διάολος μπορεί να ξέρει, εάν τα ατομικά συστήματα είναι αυστηρά αιτιακά καθορισμένα – πόσο μάλλον αν είναι μηχανικά συστήματα όπου ισχύει η διατήρηση της ενέργειας.<sup>78</sup> Στην εναρκτήρια ομιλία του, λίγες βδομάδες αργότερα, απέρριψε απερίφραστα την αιτιότητα.<sup>79</sup>

Η στάση του Σρέντινγκερ εκείνη την εποχή όσον αφορά τα φωτόνια ήταν παρόμοια με εκείνη του Μπορ, και παρόλο που ο πρώτος δεν είχε ακόμη απορρίψει την αιτιότητα, ο Μπορ τόνιζε στα άρθρα του εκείνης της περιόδου ότι δεν θα έπρεπε να καταφεύγουμε στην κλασική περιγραφή του χώρου και του χρόνου και ότι δεν ίσχυε «στη σημερινή φάση της επιστήμης» η αιτιακή περιγραφή των κβαντικών φαινομένων.<sup>80</sup> Το 1923, ο Ζένφτλεμπεν συνδέει αυτές τις δύο θέσεις σημειώνοντας ότι ενώ στο παρελθόν θεωρούσαν ότι τα φυσικά φαινόμενα προέκυπταν στατιστικά από αιτιακές μικροσκοπικές μεταβολές, σήμερα έπρεπε να περιγραφούν στατιστικά οι ίδιες οι μεταβολές.<sup>81</sup> Σύμφωνα με τον Ζένφτλεμπεν, εάν ορίζαμε την απαίτηση της αιτιότητας ως *Με δεδομένη μια κατάσταση A στο χωροχρόνο μπορούμε να καθορίσουμε μια επόμενη κατάσταση B*, τότε η κβαντική θεωρία, ως είχε, δεν επέτρεπε τη διατύπωση της προκείμενης, πόσο μάλλον του συμπεράσματος: «Η σταθερά  $h$  του Πλανκ κατ' αρχήν περιορίζει τη δυνατότητα να περιγράψουμε μια διαδικασία στο χώρο και το χρόνο με οποιοδήποτε βαθμό ακρίβειας». Θα μπορούσε να υπάρχει μια ακριβής κατάσταση *A*, αλλά δεν θα μπορούσαμε να την περιγράψουμε με την κβαντική θεωρία· επομένως, η θεωρία αυτή δεν μπορεί να ονομαστεί ούτε αιτιακή ούτε μη αιτιακή. Δεν είναι σαφές κατά πόσο η ανάλυση του Ζένφτλεμπεν είχε ως έμπνευση τη δουλειά του Μπορ ή κατά πόσο είχε σχέση με την απλοϊκή

78 Η βασική ιδέα επανεμφανίζεται αργότερα και, σε συνδυασμό με την απόρριψη της ύπαρξης μηχανικών τροχιών των ηλεκτρονίων στο άτομο, που προτείνει ο Χάιζενμπεργκ, αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο της κυματομηχανικής του Σρέντινγκερ.

79 E. Schrödinger, «Was ist ein Naturgesetz?», *Die Naturwissenschaften*, 17 (1929), 9-11, εναρκτήρια διάλεξη στη Ζυρίχη, Δεκέμβριος 1922· Forman, *Weimar*, 87-88· 98-99 στην παρούσα έκδοση.

80 N. Bohr, *ό.π.* (σημ. 71), 279, και *ό.π.* (σημ. 49, 1924), 20. Και στις δύο περιπτώσεις, η αναφορά «στη σημερινή φάση της επιστήμης» αφορούσε την απουσία αιτιότητας.

81 H. A. Senftleben, «Zur Grundlagen der Quantentheorie», *Zeitschrift für Physik*, 22 (1923): 127-56, για το παράθεμα που ακολουθεί βλ. σελ. 127.



και αβάσιμη προσπάθεια του Πλανκ να αποφύγει τη διακριτότητα στην κβαντική θεωρία αντιμετωπίζοντας τα κβαντικά επίπεδα ως μέσες τιμές επί του πεδίου τιμών της ενέργειας, εντός του οποίου οι ακριβείς τιμές ήταν άγνωστες.<sup>82</sup> Όμως, δεν πρόκειται ούτε για απόρριψη της αιτιότητας ούτε, όπως θα έλεγε ο Φόρμαν, για το έργο κάποιου «σχεδόν γραφικού».<sup>83</sup>

Σε χειρόγραφο που φαίνεται ότι χρονολογείται από τα τέλη του 1923, ο ίδιος ο Μπορ, προσπαθώντας προφανώς να υπερβεί το πλαίσιο της κλασικής μηχανικής επιλέγοντας μια φαινομενολογική περιγραφή των φαινομένων διασποράς, αναφέρει ότι το πρόβλημα κύματος-σωματιδίου ήταν «απόδειξη των αναπόφευκτων δυσκολιών που εμπεριέχει η προσπάθεια να περιγραφούν λεπτομερώς οι ατομικές διαδικασίες, εάν δεν ξεφύγει κανείς ουσιαστικά από την αιτιακή περιγραφή του χώρου και του χρόνου, που χαρακτηρίζει την περιγραφή της φύσης στην κλασική μηχανική».<sup>84</sup> Λίγο αργότερα, στο περίφημο άρθρο των Μπορ-Κράμερς-Σλέιτερ, αποφάσισε να εγκαταλείψει «κάθε προσπάθεια να εντοπισθεί αιτιώδης σύνδεσμος μεταξύ των μεταπτώσεων σε απομακρυσμένα άτομα».<sup>85</sup>

Ωστόσο, δεν είναι σαφές εάν ακόμη και στο άρθρο των Μπορ-Κράμερς-Σλέιτερ, ο Μπορ θεωρούσε ότι η απόρριψη της αιτιότητας θα ήταν κάτι παραπάνω από προσωρινή. Είναι βέβαιο ότι δεν έδωσε ιδιαίτερη έμφαση σε αυτό και φαίνεται ότι η επιλογή αυτής της οδού είχε ευρετική αξία, γιατί του πρόσφερε άμεσα τις πιο ευοίωνες προοπτικές για την ανάπτυξη της θεωρίας της διασπο-

82 Για τις απόψεις του Πλανκ, βλ. *ό.π.* (σημ. 66), 93-114.

83 Δεν είναι σαφές τι ακριβώς εννοεί ο Φόρμαν με τη λέξη «σχεδόν γραφικός» (*Weimar*, 98· 110 στην παρούσα έκδοση), όμως ο όρος «γραφικός» φαίνεται να αναφέρεται σε έναν ελαφρύ νευρικό κλονισμό που υπέστη ο Ζένφτλεμπεν το 1924 – ένα αρκετά σύνθητες επεισόδιο που δεν αξίζει αυτόν τον βαρύ χαρακτηρισμό. Όσο για το «σχεδόν» μπορεί να σχετίζεται με το γεγονός ότι μια επιστολή, που παρατίθεται από τον Φόρμαν με αποστολέα τον Χανς Αλμπρεχτ Ζένφτλεμπεν, στο *Sources for history of quantum physics* έχει καταλογογραφηθεί και ευρετηριασθεί (εσφαλμένα) στο όνομα ενός εντελώς διαφορετικού προσώπου, ενός πειραματικού ονόματι Χέρμαν Ζένφτλεμπεν. Για να αποκατασταθεί αυτή η αδικία, ένα άρθρο του Χέρμαν έχει ευρετηριασθεί στο βιβλίο του van der Waerden, *Sources of quantum mechanics* (Αμστερνταμ, 1967) ως άρθρο του Χανς Αλμπρεχτ ενώ, για να επιστρέψουμε στον κατάλογο, η επιστολή που στον κατάλογο αποδίδεται στον Χέρμαν και είναι στην πραγματικότητα του Χανς Αλμπρεχτ εμφανίζεται, σε διασταυρούμενη αναφορά, να ανήκει σε κάποιον H. R. Senffleben, ο οποίος, ευτυχώς, είναι ανύπαρκτο πρόσωπο.

84 N. Bohr, «Problems of the atomic theory», ανατύπωση στο *ό.π.* (σημ. 68), το παράθεμα από σελ. 571.

85 N. Bohr, H. A. Kramers & J. C. Slater, «The quantum theory of radiation», *Philosophical magazine*, 47 (1924), 785-802, σελ. 791.

ράς, που βρισκόταν σε εξέλιξη.<sup>86</sup> Επιπλέον, μόνο ο Αϊνστάιν και ο Σρέντινγκερ, ανταποκρινόμενοι στη νέα εξέλιξη, αναφέρθηκαν στο θέμα της αιτιότητας: ο Σρέντινγκερ είδε με καλό μάτι την κίνηση του Μπορ<sup>87</sup> και ο Αϊνστάιν θεώρησε «απολύτως απαράδεκτο να επιλέγει ένα ηλεκτρόνιο με τη δική του ελεύθερη βούληση όχι μόνο τη στιγμή που θα εκτιναχθεί αλλά και την κατεύθυνση που θα ακολουθήσει» – μια διατύπωση που αντανακλά το δικό του βασικό ενδιαφέρον για τη διατήρηση της ενέργειας και της ορμής.<sup>88</sup> Εκτός από τον Πάουλι, που θεώρησε τις αλλαγές ανεπαρκώς θεμελιωμένες, οι αντίπαλοι της θεωρίας (μεταξύ αυτών ο Σλέιτερ, ο βαν Βλεκ, ο Κόμπτον, ο Στόνερ, ο Έρενφест, ο Ζόμερφελντ και, σύμφωνα με τον Πάουλι, «πολλοί φυσικοί, ίσως η πλειονότητα») επιχειρηματολογούσαν ξεκινώντας είτε από την αναγκαιότητα της έννοιας του φωτονίου είτε από τον εν γένει αδύναμο και αναπόδεικτο χαρακτήρα των ισχυρισμών του Μπορ.<sup>89</sup> Ο Κράμερς, ο Μπορν, ο Λάντενμπεργκ, ο Ράιχε και, μετά τις αρχικές του αμφιβολίες, ο Χάιζενμπεργκ δέχτηκαν τη νέα τεχνική,<sup>90</sup> διαπνε-

86 Η εγκατάλειψη της αρχής της αιτιότητας προέκυψε από την απόφαση να εφαρμοστεί η ήδη υπάρχουσα θεωρία των εικονικών ταλαντωτών σε ένα άτομο και όχι σε πλήθος ατόμων· αυτό είχε ισχυρή ευρετική αξία και ήταν μια φυσική αντίδραση στην πρόταση του Σλέιτερ για την ύπαρξη ενός φανταστικού πεδίου που καθοδηγεί τα φωτόνια, υπό το πρίσμα της απόρριψης των φωτονίων από τον Μπορ.

87 E. Schrödinger, «Bohrs neue Strahlungshypothese und der Energiesatz», *Die Naturwissenschaften*, 12 (1924), 720-4, και Σρέντινγκερ προς Μπορ, 24 Μαΐου 1924, *Sources for history of quantum physics* (σημ. 45), BSC 16.

88 Αϊνστάιν προς Μπορν, 29 Απριλίου 1924, *ό.π.* (σημ. 27)· βλ. επίσης Αϊνστάιν προς Έρενφест, 31 Μαΐου 1924, 12 Ιουνίου 1924, που αναφέρει ο Klein, *ό.π.* (σημ. 69), 33.

89 Πάουλι προς Μπορ, 2 Οκτωβρίου 1924, και βλ. επίσης Πάουλι προς Ζόμερφελντ, Νοέμβριος 1924, 6 Δεκεμβρίου 1924· *ό.π.* (σημ. 26), επιστολές αρ. 66, 70, 72. A. H. Compton, «The scattering of X-rays», *Journal of the Franklin Institute*, 198 (1924), 61-71, σελ. 70. J. H. van Vleck, «Quantum principles and line spectra», *Bulletin of the National Research Council*, 1iv (1926), 270. E. C. Stoner, «The structure of radiation», *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 22(1925), 577-94, σελ. 582. Έρενφест προς Αϊνστάιν, 9 Ιανουαρίου 1925, παρατίθεται σε μετάφραση του Klein, *ό.π.* (σημ. 69), 31. J. C. Slater, «The nature of radiation», *Nature*, 116 (1925), 278. Οι απόψεις του Ζόμερφελντ περιέχονται στο έργο που παραθέτει ο Κόμπτον.

90 Ο Χάιζενμπεργκ είχε δηλώσει αρχικά ότι «δεν θεωρώ πραγματικά ότι πρόκειται για ουσιαστική πρόοδο»: Χάιζενμπεργκ προς Πάουλι, 4 Μαρτίου 1924, *ό.π.* (σημ. 26), επιστολή αρ. 57. Άλλαξε γνώμη μόνο αφού ο Μπορν συνέδεσε τη νέα τεχνική με μια μέθοδο εξισώσεων διαφοράς που οι ίδιοι (ο Μπορν και ο Χάιζενμπεργκ) προσπαθούσαν να βρουν από το προηγούμενο φθινόπωρο, και την υιοθέτησε «ανεξάρτητα από το κρίσιμης σημασίας και μέχρι στιγμής αμφιλεγόμενο πλαίσιο της συγκεκριμένης θεωρίας»: M. Born, «Über Quantenmechanik», *Zeitschrift für Physik*, 26 (1924), 379-95, σελ. 379. Για την μέθοδο εξισώσεων διαφοράς βλ. Serwer, *ό.π.* (σημ. 63).

όμενοι ωστόσο από ένα πνεύμα καθαρού θετικισμού, θεωρώντας την ως ένα νέο τύπο που θα έσωζε τα φαινόμενα.<sup>91</sup> Ως εκ τούτου, η διάσταση απόψεων δεν υπαγορευόταν ρητά από τις διαθέσεις απέναντι στο θέμα της αιτιότητας, και τις διαθέσεις αυτές δεν μπορούμε να τις εκλάβουμε ούτε καν ως λανθάνουσες, διότι οι φυσικοί, εκτός από τον Πάουλι, ήταν διαιρεμένοι ως προς το εάν ασχολούνταν ή όχι με τα τεχνικά προβλήματα με τα οποία είχε σχέση η θεωρία.<sup>92</sup>

Επομένως, η θεωρία των Μπορ-Κράμερς-Σλέιτερ δεν ήταν η επαναστατική απόρριψη της αιτιότητας, όπως ενίοτε παρουσιάζεται, και το θέμα δεν τέθηκε ξανά παρά μόνο μετά την εισαγωγή της νέας κβαντομηχανικής. Μέχρι τότε, η ιστορία αυτή, ως συνέπεια των πειραμάτων των Γκάιγκερ και Μπότε, είχε κατ' ουσίαν τεθεί στο περιθώριο, ως επί το πλείστον με ιδιαίτερη ικανοποίηση.<sup>93</sup> Η νέα κβαντομηχανική, με τη μορφή που την εισήγαγαν ο Σρέντινγκερ αλλά και ο Χάιζενμπεργκ, απέρριπτε (κυρίως λόγω της επίδρασης του Πάουλι) οποιαδήποτε χωροχρονική περιγραφή της διαδρομής του ηλεκτρονίου μέσα στο άτομο, και αυτό μετέβαλε θεμελιωδώς την κατάσταση στο εσωτερικό του κλάδου.<sup>94</sup> Μετά τη θεωρία που διατύπωσε ο Χάιζενμπεργκ το 1925, αν και φαινομενικά δεν συνδεόταν με αυτή, η αρχή της αιτιότητας απορρίφθηκε από τον Ράι-

91 H. A. Kramers, «The law of dispersion and Bohr's theory of spectra», *Nature*, 113 (1924), 673-4, και «The quantum theory of dispersion», *Nature*, 114 (1924), 310. Born, *ό.π.* (σημ. 90). Χάιζενμπεργκ προς Πάουλι, 8 Ιουνίου 1924, *ό.π.* (σημ. 26), επιστολή αρ. 62. Λάντενμπεργκ προς Κράμερς, 31 Μαΐου 1924, *Sources for history of quantum physics* (σημ. 45), BSC 9, 2 και BSC 10· βλ. επίσης Λάντενμπεργκ προς Κράμερς, 8 Ιουνίου 1924, *στο ίδιο*, όπου η αντίδραση του Αϊνστάιν στη νέα θεωρία περιγράφεται ως «μη δυσμενής» («nicht ungünstig»).

92 Μεταξύ αυτών, ο Κράμερς, ο Λάντενμπεργκ και ο Ράιχε ήταν υπεύθυνοι για την ανάπτυξη της θεωρίας διασποράς του Μπορ πριν την εμφάνιση της νέας τεχνικής, ενώ ο Μπορν και ο Χάιζενμπεργκ ενσωμάτωσαν αυτή την τεχνική στο τρέχον ερευνητικό τους πρόγραμμα με σημαντικά αποτελέσματα. Ο Πάουλι είχε ασχοληθεί κατ' ιδίαν με τη θεωρία διασποράς, αλλά είχε ήδη υπαινηθεί καινοτομίες πιο θεμελιώδεις από εκείνες που εισηγήθηκε ο Μπορ: Πάουλι προς Ζόμερφελντ, 6 Ιουνίου 1923, *ό.π.* (σημ. 26), επιστολή αρ. 37.

93 W. Bothe & H. Geiger, «Experimentelles zur Theorie von Bohr, Kramers und Slater», *Die Naturwissenschaften*, 13 (1925), 440-1. Ο Μπορν προσπαθούσε ήδη να αναπτύξει τη θεωρία του ντε Μπρέιγ πριν γίνουν γνωστά τα πειραματικά αποτελέσματα, ενώ ακόμη και ο Μπορ είχε προετοιμαστεί ψυχολογικά για τη περίπτωση που το αποτέλεσμα δεν θα ήταν ευνοϊκό: Μπορ προς Χάιζενμπεργκ, 18 Απριλίου 1925, και Μπορν προς Μπορ, 24 Απριλίου 1925, *Sources for history of quantum physics* (σημ. 45).

94 Βλ. J. Hendry, «The mathematical formulation of quantum theory and its physical interpretation, 1900-1927» (διδακτ. διατριβή, University of London, 1978), κεφ. 3.

χενμπαχ' και μετά τη θεωρία του ντετερμινιστή πλέον Σρέντινγκερ, το 1926, ο Μπορν την απέκλεισε τελικά από τη νέα κβαντομηχανική.

Αν και τα κίνητρα του Ράιχενμπαχ δεν έχουν γίνει μέχρι στιγμής σαφή, δεν φαίνεται να σχετίζονται άμεσα με τη φυσική, και μπορεί να αντανακλούν την επίδραση που ασκούσε το περιβάλλον.<sup>95</sup> Ωστόσο, πιο σημαντική ήταν η απόφαση του Μπορν, επειδή υπήρξε η πρώτη απόρριψη της αιτιότητας που είχε πραγματικά ιστορική σημασία στην κβαντική θεωρία. Αφού αφιέρωσε τις προσπάθειές του στην ερμηνεία της νέας κυματομηχανικής του Σρέντινγκερ, ο Μπορν ανακάλυψε ότι η κλασική ερμηνεία του ίδιου του Σρέντινγκερ ήταν αβάσιμη, διότι επανέφερε το πρόβλημα κύματος-σωματιδίου ακόμη και για ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο, και ήταν αδύνατη μια χωρο-χρονική περιγραφή.<sup>96</sup> Ανακοινώντας τη δική του ερμηνεία για την κυματική συνάρτηση του ηλεκτρονίου του Σρέντινγκερ με βάση το εύρος πιθανότητας, παρατηρεί τα εξής:

Εδώ βρισκόμαστε αντιμέτωποι με το πρόβλημα του ντετερμινισμού στο σύνολό του. Από την πλευρά της δικής μας κβαντομηχανικής όμως, δεν υπάρχει ποσότητα που να παραμένει αιτιακή στην περίπτωση ενός μεμονωμένου φαινομένου κρούσης, και στην πράξη δεν έχουμε λόγους να πιστεύουμε ότι υπάρχουν εσωτερικές ιδιοκαταστάσεις του ατόμου που υπαγορεύουν μια καθορισμένη διαδρομή κρούσης. Μπορούμε άραγε να ελπίζουμε ότι θα ανακαλύψουμε τέτοιες ιδιοκαταστάσεις αργότερα (όπως φάσεις εσωτερικών ατομικών κινήσεων) και ότι θα είμαστε σε θέση να τις ορίσουμε για κάθε μεμονωμένη περίπτωση; Ή μήπως θα πρέπει να συμφωνήσουμε ότι η συμφωνία θεωρίας και πειράματος σχετικά με την αδυναμία να καθορισθούν οι παράγοντες της αιτιακής μεταβολής είναι μια προκαθορισμένη αρμονία, που βασίζεται στη μη ύπαρξη τέτοιων παραγόντων; Προσωπικά, κλίνω προς την άποψη ότι ο ντετερμινισμός δεν ισχύει στον ατομικό κόσμο. Όμως αυτό παραμένει ένα φιλοσοφικό ερώτημα, διότι τα φυσικά επιχειρήματα δεν έχουν καταλήξει τελεσίδικα.<sup>97</sup>

Με αυτή την προδιάθεση, που σύντομα επιβεβαιώθηκε από προβληματισμούς στο εσωτερικό του κλάδου, το ενδεχόμενο να παραμεληθεί η κλασική αρχή της

95 H. Reichenbach, «Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft», *Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, Mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung, Sitzungsberichte* (1925), 133-75· Forman, *Weimar*, 88-91· 99-102 στην παρούσα έκδοση.

96 M. Born, «Zur Quantenmechanik der Stossvorgänge», *Zeitschrift für Physik*, 37 (1926), 863-7.

97 Στο ίδιο, 865 (η μετάφραση δική μου).

αιτιότητας κατέστη πολύ πιθανό, και μέσα σε δύο μόλις χρόνια εξελίχθηκε σε γενικώς αποδεκτό στοιχείο της κβαντικής θεωρίας. Κατά ειρωνεία της τύχης, αν και ο Φόρμαν εξαιρεί τη μη αιτιότητα του Μπορν από τη γενικότερη θέση του υποστηρίζοντας ότι επηρεάστηκε από τη νέα κβαντομηχανική, στην πραγματικότητα μπορεί όντως να είχε σχέση με την περιρρέουσα ατμόσφαιρα. Η σύζυγός του ήταν σίγουρα επηρεασμένη από το ευρύτερο περιβάλλον και από καιρό αντιμετώπιζε με σκεπτική διάθεση τον επιστημονικό ντετερμινισμό του Μπορν,<sup>98</sup> ενώ το πλαίσιο της πιθανοκρατικής ερμηνείας υποδηλώνει ότι μπορεί κάλλιστα να είχαν σχέση και οι απόψεις του Ράιχενμπαχ για την πρωτοκαθεδρία των πιθανοκρατικών νόμων.<sup>99</sup> Επίσης, ο Μπορν ίσως να είχε κατά νου και την πρόβλεψη του Σπένγκλερ ότι η φυσική θα εκφυλιζόταν σε στατιστική,<sup>100</sup> διότι αργότερα τόνισε ιδιαίτερα τον κεντρικό ρόλο της στατιστικής στη θεωρία του, αναφερόμενος στη «στενή σύνδεση μεταξύ μηχανικής και στατιστικής»,<sup>101</sup> ακόμη και σε «μια συγχώνευση μηχανικής και στατιστικής».<sup>102</sup> Τέλος, μπορεί να άσκησε επιρροή και ο Βάιλ, διότι είχε παίξει ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη της μηχανικής μητρώων (με τον Μπορν) και της κυματομηχανικής, και ίσως ο Μπορν να είχε ζητήσει τις απόψεις του για τη δεύτερη.<sup>103</sup>

Ωστόσο, πέρα από τους πιθανούς εξωγενείς παράγοντες, υπήρχαν επίσης και ενδογενείς. Η κβαντική θεωρία εμπεριείχε από καιρό ένα στοιχείο αβεβαιότητας όσον αφορά τον εντοπισμό μιας τροχιάς, τη στιγμή της μετάβασης, κ.ο.κ.: όμως επρόκειτο πάντοτε για αβέβαια συμπεράσματα, που προέκυπταν από αβέβαια δεδομένα, όπως παρατήρησε ο Ζένφτλεμπεν. Στην ανάλυση του

98 Βλ. σημ. 28.

99 H. Reichenbach, «Wahrscheinlichkeitsgesetze und Kausalgesetze», *Die Umschau*, 80 (1925), 789-92.

100 Sprengler, *ό.π.* (σημ. 18), σελ. 419 της αγγλικής μετάφρασης.

101 M. Born, «Das Adiabatenprinzip in der Quantenmechanik», *Zeitschrift für Physik*, 40 (1927), 167-92, σελ. 192.

102 Στο *ίδιο*, 192.

103 Η συμβολή του Βάιλ αναγνωρίζεται από τον Σρέντινγκερ στο πρώτο άρθρο του για την κυματομηχανική για την ανάμιξη του στην ανάπτυξη της μηχανικής μητρώων, βλ. Βάιλ προς Γιόρνταν, 13 Νοεμβρίου 1925, 23 Νοεμβρίου 1925 και 25 Νοεμβρίου 1925, *Sources for history of quantum physics* (σημ. 45), 18, 10 και Μπορν προς Βάιλ, 3 Οκτωβρίου 1925, αρχείο του Eigener Technische Hochschule στη Ζυρίχη. Παρά τις διαφορές τους σε επίπεδο ιδεών, ο Βάιλ εκείνη την εποχή ήταν επίτιμο μέλος του μαθηματικού τμήματος στο Γκέτινγκεν, και μπορεί να είχε συναντήσει εκεί τον Μπορν, όταν ο δεύτερος επέστρεψε από την Αμερική την άνοιξη του 1926: Βλ. Κουράντ προς Βάιλ, 19 Φεβρουαρίου 1926 και 14 Ιουνίου 1926, ETH Ζυρίχη.

Μπορν για την κρούση ατόμου-ηλεκτρονίου, τα αβέβαια συμπεράσματα (το άτομο σε μια επαλληλία καταστάσεων και το ηλεκτρόνιο διασκορπισμένο στο χώρο) προέκυπταν από φαινομενικά σαφώς καθορισμένα δεδομένα για την κατάσταση του ατόμου και την κίνηση του ηλεκτρονίου. Αυτό θα μπορούσε, βεβαίως, να αλλάξει, εάν υπήρχαν κρυφές παράμετροι σε μικροσκοπικό επίπεδο, αλλά η θεωρία όντως έμοιαζε, κατά κάποιο τρόπο, να προκαλεί αβεβαιότητα και ο Μπορν θα μπορούσε να είχε συναγάγει από αυτό ότι η ίδια η φυσική εμπειρείχε αυτό το στοιχείο. Η απόρριψη της αιτιότητας από τον Μπορν, ισοδύναμη καθώς ήταν με την απόρριψη των σχετικών μικροσκοπικών συντεταγμένων, ήταν επίσης στενά συνδεδεμένη με την επιμονή του ότι η θεωρία του ήταν ολοκληρωμένη είτε υπήρχαν και ήταν μετρήσιμες μικροσκοπικές συντεταγμένες είτε όχι, και αυτό ήταν το πιο εντυπωσιακό στοιχείο της παρουσιάσής του.<sup>104</sup> Ο Χάϊζενμπεργκ είχε στηριξει τη θεωρία του σε ποσότητες που ήταν κατ' αρχήν παρατηρήσιμες, αλλά ο Μπορν περιορίστηκε σε εκείνες που ήταν παρατηρήσιμες στην πράξη την εποχή που έγραφε το άρθρο, και υποστήριξε ότι η θεωρία που είχε αναπτύξει θα παρέμενε αμετάβλητη από τυχόν μελλοντικά πειράματα. Αυτή η κάπως επικίνδυνη στάση φαίνεται ότι πήγαζε απευθείας από τον ισχυρισμό του ότι η φυσική ερμηνεία πρέπει να προκύπτει αποκλειστικά από τη μαθηματική διατύπωση της θεωρίας, και ο ίδιος ο ισχυρισμός φαίνεται ότι προέκυψε τον προηγούμενο χειμώνα από μια διαμάχη στο Γκέτινγκεν μεταξύ των υποστηρικτών της μαθηματικής (Μπορν, Χίλμπερτ, Βάιλ) και εκείνων της φυσικής προσέγγισης (Χάϊζενμπεργκ, Φρανκ) στη νέα κβαντομηχανική.<sup>105</sup>

### *Περίληψη και συζήτηση*

Εάν δεχτούμε το πρόβλημα της αιτιότητας απλώς και μόνον όπως το διατύπωσε ο Φόρμαν, τότε η αντίδραση των Γερμανών φυσικών στο περιβάλλον τους θα προσιδίαζε περισσότερο σε μια στάση απομόνωσης παρά προσαρμογής, και η αντίδραση κατά της αιτιότητας στην κβαντική θεωρία να προέρχεται «πρωτίστως» από εσωτερικούς προβληματισμούς. Παρά τις πολύ έντονες εσωτερικές πιέσεις, που ασκήθηκαν στην αρχή της αιτιότητας, μόνο μια μικρή μερίδα

104 Η στάση αυτή είναι ευκρινέστερη στο δεύτερο άρθρο του πάνω σε αυτό το θέμα, M. Born, «Quantenmechanik und Stossvorgänge», *Zeitschrift für Physik*, 38 (1926), 803-27.

105 Για λεπτομερή ανάλυση του έργου του Μπορν και της συγκεκριμένης φάσης, βλ. J. Hendry, *ό.π.* (σημ. 94), 125-31.



φυσικών την απέρριψε πριν από την έλευση της νέας κβαντομηχανικής. Στις περισσότερες περιπτώσεις η απόρριψη ήταν στενά συνδεδεμένη με εσωτερικές εξελίξεις ακόμη και εάν δεχτούμε ότι το περιβάλλον έπαιζε ενεργό ρόλο σε όλες τις περιπτώσεις, οι προσήλυτοι στη μη αιτιότητα εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν μόνο μια ελάχιστη μερίδα του συνόλου των Γερμανών φυσικών. Δεν είναι σαφές εάν η αντίδραση της μεγάλης πλειοψηφίας πήρε τη μορφή της απομόνωσης ή της τήρησης ουδετερότητας, είναι βέβαιο όμως ότι ούτε προσδοκούσε διακαώς ούτε διερευνούσε ενεργά το ενδεχόμενο να υπάρξει μια μη αιτιακή κβαντομηχανική.

Επομένως, θα πρέπει να απορρίψουμε τη θέση του Φόρμαν βάσει των δικών του όρων, μόνο όμως εάν είμαστε έτοιμοι να δεχτούμε το απλοϊκό επίπεδο των ίδιων του των επιχειρημάτων και νομίζω ότι αυτό δεν μπορούμε να το κάνουμε. Διότι πέρα από τα αναλυτικά στοιχεία που αναφέρονται παραπάνω και τα όσα παρουσιάζει ο Φόρμαν, υπάρχουν πολύ περισσότερα σοβαρά προβλήματα, που σχετίζονται εν γένει με το θέμα της αιτιότητας, με τη συνολική διάρθρωση της αποδεικτικής διαδικασίας που χρησιμοποιεί ο Φόρμαν και με το ερώτημα του τι σημαίνει γενικά «επίδραση του περιβάλλοντος», πώς αυτή σχετίζεται με την ευρύτερη έννοια της κοινωνιολογικής αιτιότητας και πώς η έννοια αυτή μπορεί να εφαρμοστεί με εποικοδομητικό τρόπο στην ιστορία της επιστήμης.

Το πιο άμεσο πρόβλημα που προκύπτει αφορά στον ορισμό της αιτιότητας και το ακόμη δυσκολότερο στην απόρριψή της. Ο Φόρμαν πολύ σωστά θεωρεί ότι η αιτιότητα ερμηνεύτηκε γενικά με βάση τον κλασικό ντετερμινισμό ή (πράγμα που είναι ισοδύναμο για τους σκοπούς του) με βάση την έννοια του κατά Μαχ νομοκρατικού χαρακτήρα<sup>106</sup> όμως, αυτό δεν δικαιολογεί το χειρισμό της διαμάχης για την αιτιότητα απλά με όρους άσπρου-μαύρου. Εξέχοντες συντελεστές, όπως ο Βάιλ και ο Ράιχενμπαχ, που ήταν καλά καταρτισμένοι όσον αφορά τις λεπτές αποχρώσεις της φιλοσοφίας της επιστήμης, θεωρούσαν το θέμα σύνθετο και την κλασική θέση απλοϊκή.<sup>107</sup> Και εάν θεωρήσουμε ότι εκείνοι οι φυσικοί, που δεν επεξεργάστηκαν περαιτέρω την έννοια της αιτιότητας, σκέφτονταν με βάση την κλασική της έννοια, θα οδηγηθούμε σε μια άλλη δυσκολία. Διότι εάν ασχοληθούμε με την αιτιότητα σε αυτό το επίπεδο, έχουμε να κάνουμε με ένα επίμαχο και, εν μέρει τουλάχιστον, συγκινησιακό θέμα: δεδομένου ότι ο τρόπος επιχειρηματολογίας των φυσικών αυτών καθοριζόταν από

106 Forman, *Weimar*, 63-70· 72-79 στην παρούσα έκδοση.

107 Για μια ιδέα γύρω από το πόσο σύνθετο είναι το θέμα της αιτιότητας, βλ. M. Bunge, *Causality* (Καίμπριτζ Μασαχουσέτης, 1959).



προσωπικές και μη τυπικά διαμορφωμένες φιλοσοφικές ή θρησκευτικές ιδέες, δεν προσέγγισαν ούτε κατ' ανάγκην αποδέχτηκαν αυτό που, αποστασιοποιημένοι και εκ των υστέρων, θα συμφωνούσαμε ότι συνιστά λογικό συμπέρασμα. Δύο φυσικοί θα μπορούσαν να συμφωνήσουν απολύτως ως προς τον ορισμό της αιτιότητας, αλλά να διαφωνήσουν εξ ολοκλήρου για το κατά πόσο μια θεωρία την εμπεριέχει ή την απορρίπτει. Ειδικότερα, η ίδια κατάσταση θα μπορούσε να εκληφθεί από τον ένα ως απόρριψη της αιτιότητας και από τον άλλο ως προσωρινή απουσία μιας αιτιακής θεωρίας και, ακόμη χειρότερα, οι δύο αυτές απόψεις θα μπορούσαν να διατυπωθούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.<sup>108</sup>

Ακόμη σημαντικότερο είναι ότι το κριτήριο της αιτιότητας υπήρξε μία μόνο πλευρά της κυρίαρχης επιστημονικής ιδεολογίας και, παρ' ότι ήταν η πιο συγκινησιακά φορτισμένη πλευρά, δεν ήταν η πιο βασική. Για τους περισσότερους από όσους ενδιαφέρονταν για τα θεμελιώδη προβλήματα, τα οποία έθεταν η κβαντική θεωρία και η θεωρία της σχετικότητας, ήταν σαφώς δευτερεύουσα σε σχέση με το κριτήριο βάση του οποίου μπορεί να γίνει μια συνεπής περιγραφή των φαινομένων στο συνήθη χώρο και χρόνο και στο κριτήριο μιας αντικειμενικής (ελεύθερης από παρατηρητή) θεωρίας και αυτό ίσχυε ιδιαίτερα για εκείνους τους φυσικούς που έπαιξαν τον σημαντικότερο ρόλο στην ανάπτυξη της νέας κβαντομηχανικής, για τον Πάουλι, τον Χάιζενμπεργκ και τον Μπορ.<sup>109</sup> Όταν εμφανίστηκε αυτή η νέα μηχανική, βασικό χαρακτηριστικό της ήταν η απόρριψη των δύο τελευταίων κριτηρίων και, παρόλο που η μη αιτιακή ερμηνεία που έδωσε ο Μπορ ενσωματώθηκε στην εκλαϊκευμένη εκδοχή της νέας θεωρίας, οι ίδιοι οι κβαντικοί φυσικοί σύντομα υπογράμμισαν ότι ήταν απλοϊκή. Τόσο ο Χάιζενμπεργκ όσο και ο Μπορ, οι απόψεις των οποίων διαμόρφωσαν τη βάση της ευρύτερα αποδεκτής ερμηνείας της Κοπεγχάγης, που εμφανίστηκε το 1927, τόνισαν ότι η έννοια της αιτιότητας ίσχυε μόνο στο πλαίσιο των παραδοσιακών εννοιών του χωροχρόνου, και ότι αυτές οι ίδιες οι έννοιες δεν μπορούσαν να εφαρμοστούν με συνέπεια στη νέα θεωρία.<sup>110</sup>

108 Εξού και η σύγχυση γύρω από τη θεωρία των Μπορ-Κράμερς-Σλέιτερ.

109 Ό.π. (σημ. 63).

110 W. Heisenberg, «Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretisch Kinematik und Mechanik», *Zeitschrift für Physik*, 43 (1927), 172-98· N. Bohr, «The quantum postulate and the recent development of atomic theory», *Atti del Congresso Internazionale dei Fisica* (Μπολόνια, 1928), τ. 2, 565-88, και *Nature*, 121 (1928), 580-90. Την ίδια άποψη υιοθέτησε νωρίτερα ο P. Jordan, «Kausalität und Statistisch in der modernen Physik», *Die Naturwissenschaften*, 15 (1927), 105-7, και «Philosophical foundation of quantum theory», *Nature*, 119 (1927), 566· η άποψη έγινε επίσης σύντομα αποδεκτή

Λεπτές αποχρώσεις, όπως εκείνες που σημειώσαμε γύρω από την έννοια της αιτιότητας, παρωδούν την προσπάθεια του Φόρμαν για μια «αιτιακή» ανάλυση των φαινομένων με τα οποία ασχολείται. Όμως, ακόμη και χωρίς αυτές τις λεπτές αποχρώσεις, το εγχείρημά του έτσι κι αλλιώς θα ναυαγούσε, καθαρά λόγω έλλειψης στοιχείων. Με τα διαθέσιμα στοιχεία, ο Φόρμαν πέτυχε να καταδείξει ότι το περιβάλλον άσκησε επίδραση στη στάση των φυσικών απέναντι στην αιτιότητα, και εάν ήθελε να υιοθετήσει μια πρόσφορη έννοια ιστορικής αιτιότητας θα μπορούσε ακόμη να υποστηρίξει, αρκετά εύλογα, ότι για τη στάση αυτή κατά μία (όχι και τόσο πειστική) έννοια «αίτιο» ήταν το περιβάλλον. Όμως, είναι σαφές, από τη σπουδαιότητα που προσδίδει στη απουσία ενδογενών παραγόντων και από την επιμονή του πως το περιβάλλον ήταν η «πρωταρχική» αιτία, ότι η έννοια της ιστορικής αιτιότητας είναι στην πραγματικότητα πολύ ισχυρή για τον Φόρμαν και, ως τέτοια, οφείλει να υποστηριχθεί από πολύ περισσότερα από τη συγκινησιακού επιπέδου, αξιακά φορτισμένη ανάλυση των παραδειγμάτων που παραθέτει.<sup>111</sup> Ειδικότερα, έχουμε το δικαίωμα να ρωτήσουμε πώς οι στάσεις των Γερμανών φυσικών απέναντι στην αιτιότητα συγκρίνονται με εκείνες των μη Γερμανών φυσικών, εάν ο αριθμός των Γερμανών φυσικών που γνωρίζουμε ότι απέρριψαν την αιτιότητα είναι σημαντικός σε σύγκριση με το σύνολο του πληθυσμού –ή εάν, λαμβάνοντας υπ' όψιν την ανομοιογένεια αυτού του πληθυσμού, αντιπροσωπεύει μόνο μια ασυνήθιστη μειοψηφία– και εάν τα συμπεράσματα που συνάγονται από αυτό το μεγάλο πλήθος μπορούν εύλογα να ισχύσουν (όπως απαιτεί το εγχείρημά του) και για τη μικρή και φαινομενικά μη αντιπροσωπευτική ομάδα των κβαντικών φυσικών. Ο Φόρμαν, ξεκινώντας να αποδείξει τη θέση του και όχι να την ελέγξει, δεν απαντά σε κανένα από αυτά τα ερωτήματα: εάν προσπαθούσε να το κάνει, το εγχείρημά του θα κατέρρεε.

Ο Φόρμαν, επίσης, δεν είναι πρόθυμος να εξηγήσει την έννοια της επίδρασης του περιβάλλοντος, και αυτό εγείρει προβλήματα ειδικής και γενικής φύσης. Το να ρωτήσουμε εάν ο Σρέντινγκερ, για παράδειγμα, ένας Αυστριακός που εργάζεται στην Ελβετία, εντάσσεται στο ίδιο περιβάλλον είναι κάπως σχο-

---

και από τον Μπορν: M. Born, «Über den Sinn der physikalischen Theorien», *Die Naturwissenschaften*, 17 (1928), 109.

111 Σε ένα έργο που ισχυρίζεται ότι κάνει αντικειμενική ιστορία, η συνεχής χρήση συγκινησιακά φορτισμένης γλώσσας από τον Φόρμαν προκαλεί μεγάλη εντύπωση. Μπαίνει κανείς στον πειρασμό να αναρωτηθεί εάν εξωγενείς επιδράσεις έκαναν τον Πολ Φόρμαν να προσδοκά διακαώς, να προχωρεί ενεργά και να ασπάζεται πρόθυμα τις θέσεις που αναπτύσσει.

λαστικό· όμως, μας οδηγεί στην παρατήρηση ότι ο πληθυσμός με τον οποίο ασχολείται ο Φόρμαν δεν είναι καθόλου ομοιογενής, και άρα ότι η εικασία της ομοιόμορφης αντίδρασης μπορεί να είναι παραπλανητική. Παραδείγματος χάριν, θα μπορούσαμε να περιμένουμε ότι οι εβραίοι φυσικοί, που ήταν πολλοί και ήδη απομονωμένοι από το περιβάλλον λόγω θρησκείας, αντέδρασαν απέναντι σ' αυτό με διαφορετικό τρόπο από τους χριστιανούς συναδέλφους τους.<sup>112</sup> Ένα άλλο πρόβλημα αφορά μεμονωμένες επιδράσεις, όπως εκείνη που άσκησε ο Χούσερλ στον Βάιλ, ο Έξνερ στον Σρέντινγκερ, ο υπαρξιστής φιλόσοφος του δέκατου ένατου αιώνα Κίρκεγκορ στον Μπορ ή ο υπαρξιστής θεολόγος της Βαϊμάρης Καρλ Μπαρθ στον Κράμερς: εάν ένας φυσικός δέχτηκε επιρροές από κάποιον, που η στάση του ήταν ανάλογη του περιβάλλοντός του, μπορούμε να πούμε ότι κατ' ανάγκην επηρεάστηκε από αυτό; Ακόμη και εάν παραμερίσουμε τις εσωτερικές επιδράσεις, η έννοια της κοινωνικής αιτιότητας είναι πολύ πιο σύνθετη από όσο θα ήθελε να πιστέψουμε ο Φόρμαν.<sup>113</sup>

Όταν λαμβάνονται υπ' όψιν και οι εσωτερικοί παράγοντες, τότε γίνεται αμέσως φανερό ότι δεν μπορεί ένα μόνο σύνολο επιδράσεων –εσωτερικών, κοινωνικών, φιλοσοφικών, ψυχολογικών κ.λπ.– να θεωρηθεί ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, και ότι η αντίδραση κάθε φυσικού σε ένα δεδομένο πρόβλημα θα καθοριστεί από ένα σύνθετο σύνολο κινήτρων, πολλά από τα οποία ανθίστανται στην αντικειμενική ιστορική τεκμηρίωση. Μπορεί η ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης να είναι εντέλει ανθρωπολογικά (κοινωνιολογικά ή ψυχολογικά) καθορισμένη, αλλά εάν ισχύει αυτό, τότε ο καθορισμός της λειτουργεί σε ένα επίπεδο, το οποίο βρίσκεται προς το παρόν πέραν της βάσης αντικειμενικών κριτηρίων, μέσω του ίδιου του τρόπου σκέψης μας και όχι μέσω ρητά εκπεφρασμένων εννοιολογικών μορφοποιήσεων.<sup>114</sup> Όπως υποδηλώνει η διαρκής αποτυχία των υποστηρικτών μιας κοινωνιολογικά καθορισμένης επιστήμης να

112 Θα φανταζόταν κανείς ότι η στάση απέναντι στη θρησκεία συνιστά σημαντικό στοιχείο του περιβάλλοντος, όμως παρά τη σπουδαιότητα που γενικά αποδίδουν οι ιστορικοί στο ρόλο του αντισημιτισμού στις νοοτροπίες που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της Δημοκρατίας της Βαϊμάρης, ο Φόρμαν δεν κάνει καμία αναφορά σε αυτό ή σε οποιοδήποτε άλλο θρησκευτικό ζήτημα.

113 Ωστόσο, ένα ακόμη πρόβλημα που παραλείπει ο Φόρμαν αφορά την απομόνωση των διανοούμενων γενικά –ακόμη και εκείνων που υιοθετούσαν τις απόψεις του περιβάλλοντος– από το περιβάλλον. Αυτό το αναφέρει ο Ringer και το τονίζει ο Laqueur, *ό.π.* (σημ. 10).

114 Από αυτήν την άποψη όπως και από άλλες, ο ρόλος του παρατηρητή στην κβαντική θεωρία μοιάζει πολύ πιο κατάλληλο θέμα μελέτης από την αιτιότητα.

αποδείξουν τους ισχυρισμούς τους, αυτό δεν μπορεί να γίνει στο επίπεδο των ρητά εκπεφρασμένων απόψεων με το οποίο οι ίδιοι και ο Φόρμαν έχουν ασχοληθεί.<sup>115</sup> Σε αυτό το επίπεδο πολλά μπορούν να ερμηνευθούν βάσει κοινωνικών παραγόντων, και η δουλειά που έκανε ο Φόρμαν κατέδειξε με σαφήνεια την ανεπάρκεια μιας αποκλειστικά εσωτερικιστικής αντιμετώπισης θεμάτων όπως η αιτιότητα. Οι φυσικοί *όντως* επηρεάστηκαν από την κρίση συνείδησης της μεταπολεμικής Ευρώπης και από τις χαρακτηριστικές διαθέσεις του ευρύτερου περιβάλλοντος στη Δημοκρατία της Βαϊμάρης. Από την άλλη, η δουλειά του Φόρμαν κατέδειξε επίσης τους κινδύνους μιας καθαρά εξωτερικού χαρακτήρα αντιμετώπισης και την ανεπάρκεια του αφελούς κοινωνικού αναγωγισμού. Γενικά, το στοιχείο που συνάγεται από το άρθρο του είναι ότι εάν θέλουμε να μιλήσουμε με έναν τρόπο που να έχει νόημα για την αιτιακή ανάπτυξη της επιστήμης, δεν θα πρέπει να επιχειρηματολογούμε γύρω από το ποιες επιδράσεις ήταν οι «πιο σημαντικές», αλλά θα πρέπει πρώτα να προσπαθήσουμε να καταλάβουμε πώς συνδυάζονται, πώς διαπερνούν η μία την άλλη και πώς λειτουργούν από κοινού.

115 Από την άλλη, φαίνεται ότι *όντως* υπάρχει ένας βαθμός κοινωνικού καθορισμού στο επίπεδο των ρητά εκπεφρασμένων απόψεων, που αφορά την *πρόσληψη* (σε αντίθεση με τη *δημιουργία*) των επιστημονικών θεωριών. Το δεύτερο άρθρο του Φόρμαν για το θέμα της αιτιότητας (σημ. 3) ασχολείται με το ζήτημα της πρόσληψης, που είναι πιο πρόσφορο, και μολοντί και σ' αυτό υπάρχουν προβλήματα, επειδή δεν εξετάζει τους διαφορετικούς βαθμούς εξοικείωσης με το εσωτερικό υπόβαθρο, εισηγείται την ύπαρξη ενός ισχυρού κοινωνικού στοιχείου σε ό,τι αφορά τη βραχυπρόθεσμη πρόσληψη της νέας κβαντομηχανικής.