

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΜΦΕ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΟΝΗΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ**

**ΡΕΝΤΕΤΖΗ ΜΑΡΙΑ**

**ΔΑΜΙΑΝΟΣ ΠΕΤΡΟΣ**

**ΣΤΕΡΓΙΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΣΤΑΣ**

**ΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΙΤΙΟΚΡΑΤΙΚΗ ΣΤΗΝ**

**ΠΙΘΑΝΟΚΡΑΤΙΚΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ**



**ΙΟΥΝΙΟΣ 2019**



## Περίληψη

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της μετάβασης από την αιτιοκρατική στην πιθανοκρατική αντίληψη του κόσμου, η οποία ακολουθεί τη μετάβαση από την κλασική στην κβαντική Φυσική, γεγονός που έχει απασχολήσει πολύ τους ιστορικούς της φυσικής του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Ουσιαστικά, στην εργασία αυτή θα προσπαθήσουμε να δούμε ποιοι ήταν αυτοί οι παράγοντες που επηρέασαν αρκετούς φυσικούς στο να πάρουν την απόφαση και να απορρίψουν την αιτιότητα στον μικρόκοσμο. Θα δούμε δηλαδή, τί ρόλο έπαιξαν στο θέμα αυτό οι εσωτερικές εξελίξεις στην φυσική καθώς και το κοινωνικό περιβάλλον. Η εργασία αυτή εκτός από την ιστορική, έχει και μια φιλοσοφική διάσταση που αφορά στον χαρακτήρα της αλλαγής των θεωριών.

## Abstract

This thesis focuses on the study of the transition from the deterministic to the probabilistic concept of the world, which follows the transition from the classical to the quantum Physics, a fact that has bothered a lot of historians of the 20<sup>th</sup> century Physics. We will mainly try to see which factors exerted influence on quite a lot of physicists in order to make them reject the deterministic theory in the microcosm. So we are going to study the crucial role played to this target by the internal evolution in physics as well as by the social environment. So in this thesis apart from the historical point of view there is also a philosophical approach concerning the changing of the theories.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην καθηγήτρια κ. Μ. Ρεντετζή που με βοήθησε στην επιλογή του θέματος, αλλά και μου έδωσε χρήσιμες συμβουλές και οδηγίες για την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον κ. Π. Δαμιανό για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε καθοδηγώντας με σε κάθε στάδιο της εργασίας μου, καθώς και τον κ. Κ. Στεργιόπουλο μέλος της τριμελούς μου επιτροπής.

## Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή .....	7
Κεφάλαιο 1 .....	11
Μετάβαση από την Κλασική στην Κβαντική Φυσική.....	11
1.1 Η φύση της επανάστασης.....	11
1.2 Αμφισβήτηση της επιστήμης .....	13
1.3 Μεταρρυθμίσεις.....	15
Κεφάλαιο 2 .....	17
Η προσαρμογή των Γερμανών φυσικών σε ένα εχθρικό διανοητικό περιβάλλον .....	17
2.1 Το πολιτισμικό περιβάλλον και πώς το αντιλαμβάνονται οι φυσικοί .....	17
2.2 Επιρροές από κοινωνικά, ψυχολογικά και φιλοσοφικά ρεύματα της εποχής .....	25
2.3 Επιδράσεις των ιστορικών γεγονότων στην επιστήμη .....	28
2.4 Ο ρόλος του Κύκλου της Βιέννης στη Γερμανική φιλοσοφία .....	29
Κεφάλαιο 3 .....	33
Αφήνοντας πίσω την αιτιότητα .....	33
3.1 Η σημασία της αιτιότητας.....	33
3.2 Μεταστροφή στην θεωρία της μη αιτιότητας .....	37
3.3 Μεταγενέστερες μεταστροφές στη μη αιτιότητα.....	45
Κεφάλαιο 4 .....	49
Πιστοί στην αιτιότητα .....	49
4.1 Αυτοί που αντέδρασαν .....	49
4.2 Η αμφισβήτηση της αιτιότητας.....	54
Συμπεράσματα .....	62
Βιβλιογραφία.....	64

## Εισαγωγή

Για να μπορέσει κάποιος να μελετήσει τη μετάβαση από την αιτιοκρατική στην πιθανοκρατική αντίληψη, θα πρέπει πρώτα να εξετάσει την Κβαντική Φυσική και την ιστορία της. Μια ιστορία η οποία δεν ξεκινά από τη φαντασία κάποιου φυσικού, αλλά από μια επανάσταση, που υπήρξε μια από τις μεγαλύτερες επαναστάσεις στην ιστορία της φυσικής. Η επανάσταση αυτή, όπως όλες οι μεγάλες επαναστάσεις, είχε ένα στόχο: τη μετάβαση από την κλασική στην κβαντική θεωρία. Δηλαδή, από το απλό και διαισθητικό στο περίπλοκο, αντιφατικό, κβαντικό πρότυπο. Έχει υποστηριχθεί ότι η μετάβαση από την κλασική στην κβαντική φυσική, είναι ένα παράδειγμα μιας Κουνικής επιστημονικής επανάστασης. Σύμφωνα με τον Κουν (Thomas Kuhn) μια επιστημονική επανάσταση ισοδυναμεί με την εγκατάλειψη ενός παραδείγματος και την αντικατάστασή του από ένα νέο, που δεν συμβιβάζεται με το παλαιό. Σε αυτό το σημείο εύλογα γεννιέται η απορία: “Τί είναι παράδειγμα;” Την απάντηση την δίνει ο Τόμας Κουν, ορίζοντας ως παράδειγμα το πλαίσιο εντός του οποίου αναπτύσσεται κάθε φορά η επιστήμη, καθώς και το υπόδειγμα που αυτή ακολουθεί. Το κατά Κουν παράδειγμα αποτελείται από τις γενικές θεωρητικές παραδοχές, τους νόμους, αλλά και τις τεχνικές εφαρμογής παραδοχών και νόμων, που υιοθετούνται και αναγνωρίζονται από τα μέλη μιας επιστημονικής κοινότητας.

Με βάση αυτό θα μπορούσαμε να πούμε ότι το παράδειγμα είναι κάτι ευρύτερο από μια απλή θεωρία. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα μπορεί να θεωρηθεί και η κλασική φυσική, σύμφωνα με την οποία, κάθε φαινόμενο της φύσης πρέπει να εξηγείται κατά τρόπο μηχανιστικό, δηλαδή ως αποτέλεσμα μιας αιτίας. Η μηχανιστική και αιτιοκρατική αυτή αντίληψη της κλασικής φυσικής κορυφώθηκε με τον ισχυρισμό του Λαπλάς (Laplace), σύμφωνα με τον οποίο όχι μόνο μπορούμε να γνωρίζουμε την παρούσα φάση του σύμπαντος, αλλά βάσει των κατάλληλων μετρήσεων μπορούμε να γνωρίζουμε και τη μελλοντική του κατάσταση. Η μετάβαση, λοιπόν, από την κλασική στην κβαντική θεωρία έρχεται με την εγκατάλειψη αυτής της αιτιοκρατικής αντίληψης και την αντικατάστασή της από μια πιθανοκρατική αντίληψη. Η κβαντική πιθανοκρατία δεν αντίκειται στην αιτιοκρατία, ούτε την καταργεί, είναι όμως μια διαφορετική μορφή αιτιοκρατίας σε σχέση με αυτή που

ισχύει στον κόσμο της κλασσικής φυσικής. Αυτό προκύπτει από το ότι η κβαντική μηχανική είναι μια θεωρία που επιδέχεται πολλές ερμηνείες και υπάρχουν ερμηνείες που συμφιλιώνουν με απόλυτα συνεπή τρόπο, την αιτιοκρατία και το τυχαίο.

Ας πάμε τώρα όμως να δούμε πώς ξεκίνησε η θεωρία αυτή και τι δυσκολίες βρήκε στην πορεία της. Αρχικά η κβαντική θεωρία ξεκινά στις αρχές του 20ου αιώνα και από την πρώτη στιγμή παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα ερμηνείας καθώς οι πειραματικοί έλεγχοι, όσο κι αν ενίσχυαν την εγκυρότητα της κβαντομηχανικής, δεν μπορούσαν να επιλύσουν ένα ερμηνευτικό πρόβλημα. Το πρόβλημα αυτό ήταν ότι η θεωρία οδηγούσε στο συμπέρασμα πως η φύση είναι ασυνεχής και κυρίως μη αιτιοκρατική. Σταδιακά αρκετοί επιστήμονες ξεκίνησαν να υποστηρίζουν ότι ο πιθανοκρατικός χαρακτήρας της κβαντομηχανικής δεν είναι έκφραση της άγνοιας που έχουμε για ορισμένες παραμέτρους του μικρόκοσμου, όπως στην περίπτωση της στατιστικής μηχανικής. Αυτή βέβαια η ερμηνεία δεν έγινε καθολικά αποδεκτή από το σύνολο των φυσικών, αλλά χάρη σ' αυτήν η πιθανοκρατία αποτέλεσε εγγενές στοιχείο της φυσικής πραγματικότητας και έτσι υπονόμωσε τον αιτιοκρατικό χαρακτήρα της φύσης που αποτελούσε μέχρι τότε θεμελιώδη προϋπόθεση της φυσικής. Η ερμηνεία αυτή προβλήθηκε από τα μέλη της λεγόμενης σχολής της Κοπεγχάγης το 1927 και ιδιαίτερα από τον αρχηγό της Μπορ (Niels Bohr). Όπως ήταν φυσικό βέβαια η απόρριψη της αιτιότητας δε θα μπορούσε να γίνει αποδεκτή από το σύνολο των φυσικών της τότε επιστημονικής κοινότητας, με αποτέλεσμα να υπάρξουν ποικίλες αντιδράσεις, οι οποίες επιβράδυναν αρκετά την εξέλιξη της κβαντικής μηχανικής. Ένας από τους μεγαλύτερους φυσικούς που αντιτάχθηκε σθεναρά στην κατάρριψη της αιτιοκρατικής αντίληψης ήταν ο Αϊνστάιν (Albert Einstein), ο οποίος δεν μπόρεσε ποτέ να αποδεχθεί τα συμπεράσματα της κβαντομηχανικής και μάλιστα την ερμηνεία που είχε διαμορφώσει η σχολή της Κοπεγχάγης. Συνήθιζε να λέει ότι ο Θεός δεν παίζει ζάρια, αναφερόμενος στο γεγονός ότι η κβαντομηχανική υπολογίζει μόνο την πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός, οπότε η μελλοντική κατάσταση ενός συστήματος σωμάτων δεν είναι μονοσήμαντα γνωστή. Αντίθετος με την ερμηνεία της Κοπεγχάγης ήταν και ο Σρέντινγκερ (Erwin Schrodinger), ο οποίος πίστευε ότι η κβαντική μηχανική πρέπει να θεωρηθεί ως ένα έξυπνο υπολογιστικό εργαλείο, αλλά όχι ως μια θεμελιώδης θεωρία. Θεώρησε την Κοπεγχάγια ερμηνεία ως μια δικτατορική αυθαιρεσία, η οποία εμφανίστηκε σε μια εποχή τρομερής έλλειψης φυσικής μεθοδολογίας, επομένως



πρέπει να απορριφθεί. Πέρα από τους δυο αυτούς μεγάλους φυσικούς, πολλοί ήταν οι επιστήμονες που έβλεπαν την επιστήμη ως κάτι καθαρά αιτιοκρατικό. Την ίδια όμως περίοδο αρκετοί ήταν και αυτοί που τάχθηκαν υπέρ του Μπορ, στηρίζοντας ουσιαστικά την άποψη πως ο κόσμος μας είναι καθαρά πιθανοκρατικός και πως η πλήρης κατανόησή του ενδέχεται να ξεπερνάει τα όρια της λογικής. Αξίζει να πούμε ότι η διαφωνία τους δεν ήταν αποτέλεσμα της αμφισβήτησης ή όχι του μοντέλου της κβαντομηχανικής, αλλά μιας διαφορετικής φιλοσοφικής προσέγγισης της φυσικής. Ο Αϊνστάιν προσπαθούσε να περάσει το ρεαλιστικό μήνυμα ότι ο κόσμος είναι όπως είναι, είτε εμείς τον παρατηρούμε είτε όχι, ενώ ο Μπορ από την άλλη με υποστηριχτή τον Χάιζενμπεργκ (Heisenberg), παρουσίαζε μια υποκειμενική και διόλου υλιστική όψη της πραγματικότητας.

Αυτό λοιπόν που αξίζει να δούμε είναι αν ο μη αιτιακός χαρακτήρας της κβαντικής φυσικής διαμορφώθηκε και επηρεάστηκε από την περιρρέουσα ατμόσφαιρα στην Ευρώπη μετά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Να δούμε δηλαδή κατά πόσο κοινωνικοί, ιδεολογικοί και πολιτισμικοί παράγοντες συνέβαλαν στην διαμόρφωση και αποδοχή της κβαντικής θεωρίας. Επομένως στην εργασία αυτή σε πρώτη φάση θα πρέπει να εξετάσουμε τη φύση αυτής της επανάστασης προκειμένου να μπορέσουμε να κατανοήσουμε κάποια βασικά πράγματα για την μετάβαση από την αιτιοκρατική στην πιθανοκρατική αντίληψη. Στη συνέχεια θα δούμε πώς οι φυσικοί αντιλαμβάνονται το πολιτισμικό περιβάλλον μετά την ήττα της Γερμανίας στον πόλεμο. Θα εξετάσουμε τις επιρροές που είχαν από διάφορα κοινωνικά, ψυχολογικά αλλά και φιλοσοφικά ρεύματα της εποχής. Κατόπιν θα εξετάσουμε τη σημασία της αιτιότητας, θα δούμε την μεταστροφή στην θεωρία της μη αιτιότητας, αλλά και κάποιες πολύ σημαντικές μεταγενέστερες μεταστροφές στη μη αιτιότητα. Τέλος θα δούμε ποιοι ήταν τελικά οι πιστοί υποστηρικτές της αιτιότητας, ποιοι δηλαδή αντέδρασαν στην απόρριψή της, αλλά και πώς προήλθε η αμφισβήτησή της.



## Κεφάλαιο 1

### Μετάβαση από την Κλασική στην Κβαντική Φυσική

#### 1.1 Η φύση της επανάστασης

Αν θέλαμε να δώσουμε ένα γενικό ορισμό για τις επιστημονικές επαναστάσεις θα λέγαμε ότι αντιπροσωπεύουν την ολοκληρωτική ή τμηματική αντικατάσταση ενός παλαιού παραδείγματος, από ένα νέο ασυμβίβαστο παράδειγμα (Kuhn 1962). Για να κατανοήσουμε όμως τη φύση της κβαντικής επανάστασης θα πρέπει πρώτα να δούμε τι είναι μια επανάσταση. Αρχικά απαραίτητη προϋπόθεση μιας επανάστασης είναι η αίσθηση της κακής λειτουργίας ενός παραδείγματος που μπορεί να οδηγήσει σε κρίση. Επομένως όταν ένα υπάρχον παράδειγμα δεν είναι πια σε θέση να λειτουργήσει ικανοποιητικά στην έρευνα μιας πλευράς της φύσης, τότε μια μερίδα της επιστημονικής κοινότητας ξεκινά να αμφισβητεί την εγκυρότητά του. Η διαδικασία της απόφασης που οδηγεί τους επιστήμονες στην απόρριψη μιας αποδεκτής ως τότε θεωρίας, δε στηρίζεται ποτέ απλώς σε μια σύγκριση της θεωρίας αυτής και της φύσης. Η απόφαση της απόρριψης ενός παραδείγματος είναι πάντοτε ταυτόχρονα η απόφαση για την αποδοχή ενός άλλου παραδείγματος και η διαπραγμάτευση που οδηγεί σ' αυτή την απόφαση περιλαμβάνει τόσο τη σύγκριση των δυο παραδειγμάτων με τη φύση όσο και τη σύγκριση των παραδειγμάτων μεταξύ τους (Kuhn 1962).

Τα νέα παραδείγματα καλούνται να λύσουν τις ανωμαλίες που παρουσιάζονται στη σχέση κάποιας τρέχουσας θεωρίας με τη φυσική πραγματικότητα. Επομένως η νέα θεωρία θα πρέπει να επιτρέπει κάποιες προβλέψεις διαφορετικές απ' την προκάτοχό της. Αυτή η διαφορά δεν θα υπήρχε αν οι δυο θεωρίες ήταν λογικά συμβιβάσιμες. Στη διαδικασία της αφομοίωσης, η καινούργια θεωρία πρέπει να αντικαταστήσει την αρχική. Ακόμη και μια θεωρία όπως η διατήρηση της ενέργειας, που σήμερα παρουσιάζεται ως μια λογική υπερδομή που συνδέεται με τη φύση με έμμεσο τρόπο, μέσα από ένα πλέγμα ανεξάρτητων καθιερωμένων θεωριών, δεν αναπτύχθηκε ιστορικά χωρίς να προκαλέσει καταστροφή παραδειγμάτων. Αντίθετα αναδύθηκε από μια κρίση με κύριο συστατικό την

αδυναμία συμβιβασμού της Νευτώνειας δυναμικής με ορισμένες συνέπειες της θερμικής θεωρίας των καλορί (calories). Μόνο μετά την απόρριψη της θεωρίας των καλορί ενσωματώθηκε στην επιστήμη η διατήρηση της ενέργειας και έφτασε να θεωρείται ως υψηλότερου βαθμού θεωρία, όταν πλέον είχε περάσει αρκετός καιρός από την ενσωμάτωσή της (Thompson 1910).

Οι επιστημονικές επαναστάσεις φαίνονται κατ' ανάγκη επαναστατικές μόνο σ' αυτούς, που τα παραδείγματά τους θίγονται άμεσα. Στους υπόλοιπους μπορεί να φανούν ως φυσιολογικά σημεία της διαδικασίας ανάπτυξης. Οι αστρονόμοι λ.χ. δέχτηκαν τις ακτίνες X ως μια απλή προσθήκη γνώσης, αφού τα παραδείγματά τους παρέμειναν άθικτα απ' την ύπαρξη της νέας ακτινοβολίας. Αλλά για επιστήμονες, όπως ο Κελβιν (Kelvin), ο Κρούκς (Crookes) και ο Ρέντγκεν (Roentgen), των οποίων η έρευνα συνδεόταν με τη θεωρία των ακτινοβολιών, η ανακάλυψη των ακτίνων X παραβίασε κατ' ανάγκη ένα παράδειγμα και δημιούργησε ένα άλλο (Kuhn 1962). Το πιο σημαντικό όμως σε μια επανάσταση είναι η διαδικασία, με την οποία ένα υποψήφιο παράδειγμα αντικαθιστά ένα παλιότερο. Κάθε νέα ερμηνεία της φυσικής πραγματικότητας, είτε πρόκειται για ανακάλυψη είτε για θεωρία, αρχικά γεννιέται στο μυαλό ενός ή λίγων ατόμων. Πρόκειται γι' αυτούς που πρώτοι μαθαίνουν να βλέπουν την επιστήμη και το σύμπαν διαφορετικά. Η ικανότητά τους να πραγματοποιούν τη μετάβαση αυτή διευκολύνεται από δυο στοιχεία που δε χαρακτηρίζουν την πλειονότητα των άλλων μελών του κλάδου τους. Τα στοιχεία αυτά είναι: η προσοχή τους, που είναι πάντοτε έντονα συγκεντρωμένη στα προβλήματα που προκάλεσαν κρίση· και επιπλέον, είναι συνήθως τόσο νέοι στην ηλικία, επομένως οι φιλοδοξίες και ο ενθουσιασμός τους είναι αυτά τα χαρακτηριστικά που τους οδηγούν στο να επαναστατήσουν. Σε αυτό το σημείο λοιπόν, ερχόμαστε στην κβαντική επανάσταση και βλέπουμε ότι οι περισσότεροι πρωτεργάτες της διήνυαν τότε μόλις την τρίτη δεκαετία της ζωής τους. Ο Πάουλι (Wolfgang Pauli) μάλιστα είχε αποκαλέσει την κβαντική μηχανική *Knabenphysik*, δηλαδή φυσική των αγοριών (Kragh 1999). Χαρακτηριστικά είναι τα παραδείγματα των: Χάιζενμπεργκ, ο οποίος ήταν 23 ετών, Ντιράκ (Paul Dirac) που ήταν 22, Τζόρνταν (Pascual Jordan) που ήταν 22, αλλά και άλλων πολλών που συνέβαλαν στην ανάπτυξη της κβαντικής μηχανικής, ενώ είχαν γεννηθεί μετά το 1895. Οι γηραιότεροι φυσικοί στην συντριπτική πλειοψηφία τους αδυνατούσαν να κατανοήσουν πλήρως τη νέα θεωρία και αυτό είχε ως αποτέλεσμα η νέα γενιά

φυσικών να θεωρήσουν με κάποια αλαζονεία ότι η κβαντική μηχανική τους ανήκε. Σχετικά με αυτό ένας σύγχρονος ιστορικός της επιστήμης, ο Χέλγκε Κραχ (Kragh 1999) δήλωσε ότι η γενική στάση των νεότερων φυσικών την περίοδο εκείνη δεν ήταν παρά μια επίδειξη υπέρμετρης αλαζονείας, απέναντι στους παλιούς καθηγητές φυσικής, απέναντι σε κάθε πειραματικό φυσικό, σε κάθε φιλόσοφο μόνο και μόνο επειδή εκείνοι είχαν κατανοήσει το ζήτημα της κβαντικής φυσικής, ενώ όλοι οι υπόλοιποι δεν είχαν ιδέα. Αλλά και ο Μαξ Πλανκ (Planck 1949) αναλογιζόμενος την ίδια την επιστημονική του καριέρα στην επιστημονική αυτοβιογραφία του, παρατηρούσε με πίκρα ότι μια νέα επιστημονική αλήθεια δε θριαμβεύει επειδή πείθει τους αντίθετους και τους κάνει να δουν το φως, αλλά μάλλον επειδή κάποτε οι αντίπαλοι της πεθαίνουν και έτσι μια νέα γενιά ανδρώνεται που είναι εξοικειωμένη μ' αυτήν την αλήθεια. Η μετάβαση από την αιτιοκρατική αντίληψη της Νευτώνειας μηχανικής στην πιθανοκρατική αντίληψη της κβαντικής φυσικής, προκάλεσε πολλές διαφωνίες και πάνω στη φύση και πάνω στα κριτήρια της φυσικής επιστήμης, μερικές από τις οποίες συνεχίζονται ακόμη. Ωστόσο όπως σε κάθε μεγάλη επιστημονική επανάσταση έτσι και εδώ οι διαμάχες των παραδειγμάτων είχαν σαν στόχο την υπερίσχυση του παραδείγματος που θα καθοδηγούσε μελλοντικά την έρευνα και θα έδινε οριστικές λύσεις στα αναπάντητα προβλήματα. Η τελική απόφαση σε αυτή την διαμάχη δεν στηρίχθηκε στις επιτεύξεις του παρελθόντος που είχε η κλασική φυσική, αλλά στις υποσχέσεις του μέλλοντος που έδινε η κβαντική μηχανική. Τελικά μετά από μια μεγάλη σειρά αντιπαραθέσεων οι περισσότεροι φυσικοί συμφώνησαν με την άποψη ότι η πλήρης κατανόηση της πραγματικότητας ενδέχεται να βρίσκεται πέρα από τις δυνατότητες της λογικής σκέψης, βάζοντας έτσι τα θεμέλια της κβαντικής φυσικής.

## 1.2 Αμφισβήτηση της επιστήμης

Το πολιτισμικό κλίμα που κυριαρχεί στην Γερμανία μετά την ήττα της στον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο είναι η επιστροφή στις αξίες του παρελθόντος και εκδηλώνεται ως αίσθηση παρακμής και κρίσης ενάντια στην αισιοδοξία της μοντέρνας εποχής. Ουσιαστικά την περίοδο εκείνη παρατηρείται απέχθεια προς τη μοντέρνα εποχή των μηχανών. Ταυτόχρονα απορρίπτονται η μηχανοκρατία, η

αιτιοκρατία και η λογική, καθώς ο ορθολογισμός θεωρείται ο κύριος παράγοντας που οδήγησε τη Γερμανία στην ήττα του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου.

Για να προχωρήσουμε τώρα σε έναν ολοκληρωμένο χαρακτηρισμό της πνευματικής ατμόσφαιρας την περίοδο εκείνη στη Γερμανία, θα πρέπει να εξετάσουμε τις αντιλήψεις που κυριαρχούσαν στο χώρο των επιστημών. Αρχικά λοιπόν βλέπουμε ότι κατά την περίοδο εκείνη υπήρχε μια γενικευμένη αίσθηση κρίσης μεταξύ των μορφωμένων τάξεων και ιδιαίτερα στους ακαδημαϊκούς κύκλους. Η κρίση αυτή συμπεριελάμβανε τη μόνιμη πολιτική και οικονομική κρίση, αλλά δεν περιοριζόταν μόνο εκεί, αφού το βασικό χαρακτηριστικό της κρίσης εκείνης ήταν η αίσθηση μιας ηθικής και πνευματικής κρίσης, μιας κρίσης πολιτισμού, μιας κρίσης στην επιστήμη και τη διανοητική δραστηριότητα. Ο Φριτς Ρίνγκερ (Fritz Ringer) ένας ιστορικός των επιστημών, ο οποίος είχε μελετήσει πολύ καλά τη γερμανική ακαδημαϊκή ιδεολογία, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι κατά τη διάρκεια του μεσοπολέμου στη Γερμανία, συχνά γινόταν λόγος στους ακαδημαϊκούς κύκλους ότι μια κρίση βρισκόταν σε εξέλιξη. Υποστήριξε ότι κανείς δεν αισθανόταν την ανάγκη να ορίσει την ακριβή φύση αυτής της κρίσης, να διερωτηθεί από πού προήλθε ή τι περιελάμβανε. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, η κρίση υπήρχε και μόνο από το γεγονός ότι σχεδόν κάθε μορφωμένος Γερμανός πίστευε ότι είναι πραγματική. (Fritz Ringer 1990)

Η ιδέα της κρίσης εμφανίστηκε μετά την ήττα της Γερμανίας, παρ' ότι είχε τις ρίζες της στον προηγούμενο αιώνα. Ο πολιτικός οικονομολόγος Άρθουρ Ζαλτς (Arthur Salz) το 1921 είπε ότι η φράση κρίση της επιστήμης είχε γίνει το αγαπημένο σύνθημα όλων. Από αυτό καταλαβαίνουμε πόσο διαδεδομένη ήταν η έννοια αυτή στο πνευματικό περιβάλλον της Γερμανίας. Επίσης ο Πιέρ Βιενό (Pierre Vénot) μια δεκαετία αργότερα είπε ότι η ιδέα μιας τέτοιας πολιτισμικής κρίσης αποτελεί σήμερα μέρος του παγιωμένου συλλογικού τρόπου σκέψης στη Γερμανία. Τέλος για τον γερμανό συγγραφέα Βέρνερ Ρίχτερ (Werner Richter) η αυτογνωσία εκείνης της περιόδου επηρεαζόταν αποφασιστικά από την επίγνωση μιας πολιτισμικής κρίσης. Επομένως όπως είναι φυσικό αυτή η γενικευμένη αίσθηση κρίσης επηρέαζε τη ρητορική και την αυτογνωσία των φυσικών και των μαθηματικών της Γερμανίας.

Εάν οι μορφωμένοι πολίτες ήταν πεπεισμένοι ότι η επιστήμη και οι μέθοδοί της είχαν φτάσει σε αδιέξοδο, τότε αναπόφευκτα θα μειωνόταν σημαντικά το κύρος

εκείνων που είχαν καλλιεργήσει αυτές τις επιστήμες με αυτές τις μεθόδους. Αντιστρόφως, εάν ήθελε κάποιος από το χώρο των ανθρωπιστικών σπουδών ή των επιστημών να διατηρήσει το κύρος του στο ακαδημαϊκό περιβάλλον αλλά και έξω από αυτό, θα έπρεπε επίσης να αναγνωρίσει και να επιβεβαιώσει την κρίση. Θα έπρεπε, δηλαδή να αποκηρύξει τις παραδοσιακές μεθόδους και αρχές του κλάδου του.

Σχετικά με την κρίση αυτή της επιστήμης ο Ούγκο Ντίνγκλερ (Hugo Dingler), ένας φιλόσοφος της φυσικής, ο προσανατολισμός του οποίου ήταν έντονα ορθολογικός, είχε πει ότι η κατάσταση κατά την οποία τίποτα δεν είναι πλέον πραγματικά βέβαιο, όλα είναι δυνατά και ταυτοχρόνως κάθε δυνατή θέση υποστηρίζεται, είναι το χάος. Υποστήριξε ότι αυτή η νέα κατάρρευση της επιστήμης, εν μέσω της οποίας βρισκόμαστε συνίσταται στην κατάρρευση της πίστης στη βεβαιότητα της πειραματικής αρχής, δηλαδή, στη δυνατότητα να θεμελιωθεί μια θεωρία ως αληθής βάσει της συμφωνίας της με το πείραμα.

Η κρίση αυτή θα έπρεπε να δώσει τη θέση της σε μια επανάσταση, που θα καταργούσε αυτή τη στείρα και απαράδεκτη μηχανοκρατία προς όφελος μιας νέας επιστήμης. Ωστόσο οι φυσικοί που δεν μπορούσαν ή δεν ήθελαν να συμμετάσχουν στην επανάσταση αυτή, θεωρούσαν ότι αυτές οι απόψεις σχετικά με την κρίση στην επιστήμη τους, υπονομεύουν τις αξιώσεις τους και απειλούν το κύρος τους. Πίστευαν δηλαδή, ότι αν αποδεχόντουσαν το γεγονός ότι υπάρχει κρίση στην φυσική, θα έχαναν το κύρος τους απέναντι στον απλό κόσμο, αλλά και εντός της ακαδημαϊκής τους κοινότητας.

### 1.3 Μεταρρυθμίσεις

Κατά τη διάρκεια του πολέμου ο Καρλ Χάινριχ Μπέκερ (Carl Heinrich Becker) κατέλαβε το ανώτερο δημόσιο αξίωμα στο πρωσικό υπουργείο Παιδείας, όταν οι σοσιαλδημοκράτες έδιωξαν τον υπουργό Φρίντριχ Σμιτ (Friedrich Schmidt), το Σεπτέμβριο του 1918. Ο Μπέκερ αναλαμβάνοντας το υπουργείο θέλησε να ξεκινήσει άμεσα τις μεταρρυθμίσεις στο χώρο της εκπαίδευσης έχοντας σαν στόχο να δώσει ένα οριστικό τέλος στον ορθολογικό τρόπο σκέψης που επικρατούσε μέχρι τότε. Το 1919 σε μια ομιλία του αναφερόμενος στις μεταρρυθμίσεις που πρέπει να

γίνουν στα πανεπιστήμια είπε ότι το βασικό κακό είναι η υπερεκτίμηση της καθαρής νόησης στην πολιτισμική μας δραστηριότητα, δηλαδή η επικράτηση κατ' αποκλειστικότητα του ορθολογικού τρόπου σκέψης, που κατ' ανάγκην οδηγεί σε έναν εγωισμό και υλισμό.

Ο Μπέκερ υποστήριζε ότι ολόκληρο το εκπαιδευτικό σύστημα ήταν προσανατολισμένο αποκλειστικά στη διάνοια. Επομένως θεωρούσε ότι θα έπρεπε να ξεκινήσουμε να εκτιμούμε το παράλογο. Βέβαια αυτό ίσως και να μην είναι τόσο απρόσμενο αν σκεφτούμε ότι στην περίπτωση του Μπέκερ έχουμε να κάνουμε με έναν άνθρωπο από το χώρο των ανθρωπιστικών επιστημών. Εντωμεταξύ την ίδια περίοδο πέρα από τον Μπέκερ, ένας άλλος μεγάλος πολιτικός, ο υπουργός πολιτισμού Κόνραντ Χένις είπε ότι ο γερμανικός λαός, έχει υποφέρει επί δεκαετίες από τα δεινά της μηχανοκρατίας και του υλισμού. Επομένως στην πνευματική ζωή θα πρέπει να έχουν τη θέση τους όχι μόνο το έλλογο αλλά και το παράλογο. Βλέπουμε, λοιπόν, ότι ανεξάρτητα από τους λόγους που μπορεί να οδήγησαν τους κρατικούς αξιωματούχους να στηρίξουν και να προωθήσουν την ακαδημαϊκή έρευνα στις φυσικές επιστήμες, η στάση αυτών των προοδευτικών πολιτικών απέναντι στις σκληρές επιστήμες και ιδιαίτερα απέναντι στην πνευματική φυσιογνωμία που θεωρούσαν ότι συνδέεται με τα συγκεκριμένα γνωστικά πεδία, σίγουρα δεν ήταν αδιαμφισβήτητα θετική.

Την άνοιξη του 1924 εμφανίζεται το σχέδιο του πρωσικού υπουργείου Παιδείας για τη μεταρρύθμιση στη διδακτέα ύλη της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Το σχέδιο αυτό αποδείχτηκε ακόμη χειρότερο από τους διάφορους φόβους που είχαν εκφραστεί. Με τις μεταρρυθμίσεις αυτές που προβλέπονταν ουσιαστικά άφηναν οριστικά πίσω τους την θετικιστική εποχή. Επομένως για την παλαιότερη γενιά μαθηματικών και φυσικών το υπουργείο θα λέγαμε ότι δεν επικύρωνε ένα πρόγραμμα σπουδών με βάση ωφελμιστικά κριτήρια.



## Κεφάλαιο 2

### Η προσαρμογή των Γερμανών φυσικών σε ένα εχθρικό διανοητικό περιβάλλον

#### 2.1 Το πολιτισμικό περιβάλλον και πώς το αντιλαμβάνονται οι φυσικοί

Μετά το τέλος του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου πολλοί Γερμανοί φυσικοί κράτησαν αποστάσεις από την αιτιότητα ή ακόμη και την αποκήρυξαν ρητά. Οι λόγοι που τους ώθησαν σε αυτό δευτερευόντως μόνο σχετίζονται με τις εξελίξεις στο δικό τους πεδίο. Αυτό που τους έκανε να αποκηρύξουν την αιτιότητα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ήταν διάφορα ρεύματα σκέψης, δηλαδή εξωγενείς επιδράσεις που ήθελαν την ανάπτυξη μιας μη αιτιακής κβαντομηχανικής.

Πριν τα δούμε όμως αυτά, ας ξεκινήσουμε με το πνευματικό περιβάλλον της Γερμανίας μετά την ήττα τους στον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Το πρώτο πράγμα που παρατηρούμε την περίοδο εκείνη είναι μια εχθρική στάση απέναντι στους φυσικούς και ιδιαίτερα απέναντι στην αιτιότητα. Η κυρίαρχη πνευματική τάση στον ακαδημαϊκό κόσμο ήταν μια νέο-ρομαντική, υπαρξιστική φιλοσοφία της ζωής, που αρεσκόταν ιδιαίτερα στη δημιουργία κρίσεων. Χαρακτηριζόταν από ανταγωνισμό απέναντι στον αναλυτικό ορθολογισμό και τις θετικές επιστήμες. Ουσιαστικά ο επιστήμονας ήταν ο αποδιοπομπαίος τράγος των ακατάπαυστων παραινέσεων για πνευματική ανανέωση, ενώ η έννοια της αιτιότητας αντιπροσώπευε την απεχθή πλευρά του επιστημονικού εγχειρήματος (Paul Forman 1971). Επομένως εδώ έχουμε να κάνουμε με ένα κίνημα το οποίο επεδίωκε να αποκλείσει την αιτιότητα από τη φυσική. Το κίνημα αυτό δεν συσχετιζόταν με τις εσωτερικές εξελίξεις στη φυσική, επομένως η γένεσή του αποδίδεται στην εξωτερική επίδραση του περιβάλλοντος. Η ανάπτυξή του ήταν ταχύτατη στην Γερμανία μετά το 1918, καθώς ήταν αποτέλεσμα μιας προσπάθειας από πλευράς των Γερμανών φυσικών να προσαρμόσουν το περιεχόμενο της επιστήμης τους στις αξίες του πνευματικού περιβάλλοντός τους. Αυτή η κυρίαρχη νέο-ρομαντική, υπαρξιστική φιλοσοφία της ζωής που ήταν ήδη

ξεκάθαρη στον εξπρεσιονισμό στη λογοτεχνία, στην τέχνη και στη μουσική πριν από τον πόλεμο, μετασχηματίστηκε σε κυρίαρχη πολιτισμική δύναμη μετά την ήττα της Γερμανίας (Θόδωρος Αραμπατζής – Κώστας Γαβρόγλου 2012). Η Γερμανία νιώθοντας ανασφάλεια στο παρόν, επεδίωξε να χτίσει ένα μέλλον εδραιωμένο στο παρελθόν της. Για να το πετύχει αυτό απέρριψε τα ωφελμιστικά πρότυπα των νικητών του πολέμου, προκειμένου να επανεδραιώσει τη θέση της στο πολιτιστικό επίπεδο ως μια μεγάλη δύναμη της νέας Ευρώπης. Όλα τα ιδανικά της τεχνολογίας, που παλαιότερα δοξάζονταν, θεωρήθηκαν ύποπτα και στιγματίστηκαν, καθώς προέρχονταν από χώρες όπως Αγγλία, Γαλλία, αλλά και άλλες από τις οποίες δεν ήθελαν πλέον να έχουν καμία εξάρτηση. Στα σχολεία τους μείωσαν τις ώρες διδασκαλίας των μαθηματικών και τις αντικατέστησαν με ανθρωπιστική παιδεία (Fritz K. Ringer 1990). Η εισαγωγή των αρχών της αιτιότητας και των μαθηματικών διαδικασιών στις κοινωνικές επιστήμες ήταν πλέον καταδικαστέα, ενώ άρχισε να δίνεται έμφαση στη διαισθητική προσέγγιση. 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 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. Αρκετοί επιστήμονες επιτέθηκαν στην αιτιότητα και τη φυσική, διότι θεώρησαν ότι ήταν σύμβολα του δυτικού υλισμού. Σε όλες αυτές τις επιθέσεις που έγιναν στη φυσική και τα μαθηματικά, δεν τέθηκε ποτέ το ζήτημα να προσαρμοσθούν οι επιστήμες αυτές στα νέα ιδεώδη. Ο πολιτισμός είχε φτάσει σε εκείνο το στάδιο, στο οποίο η αιτιακή πλευρά του θα έπρεπε αναπόφευκτα να παραδώσει την κυριαρχία της. Αυτό θα σήμαινε το θάνατο και όχι το μετασχηματισμό της φυσικής έτσι όπως την ξέρουμε, διότι η φυσική μέχρι τότε ήταν άμεσα συνδεδεμένη με την αιτιότητα.

Αν μελετήσουμε τις αντιδράσεις των φυσικών και των μαθηματικών σε όλα αυτά που συνέβαιναν, διαπιστώνουμε ότι σε κάποιο βαθμό περισσότερο απομονώθηκαν παρά έγιναν στόχος επίθεσης. Το μείζον κίνητρό τους δεν υπήρξε ποτέ ωφελμιστικό και αυτό ισχύει ακόμη και για τους πιο πιστούς υποστηρικτές της αιτιότητας, όπως τον Αϊνστάιν και τον Πλανκ. Τα κίνητρα που επικαλούνταν δημοσίως ήταν 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 βάση αυτά δεν μπορούμε να πούμε ότι η προσαρμογή τους είχε ως συνέπεια τη θυσία των ιδανικών τους, αλλά ούτε καν ότι ήταν το πρώτο βήμα προς μια τέτοια θυσία.

Για 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. Σε αυτή την περίπτωση ένα από τα πιο σημαντικά δείγματα ιδιωτικής αλληλογραφίας που έχουμε είναι μια επιστολή που έστειλε ο Αϊνστάιν στον Μαξ Μπορν (Max Born) τον Ιανουάριο του 1920. Στην επιστολή αυτή ο Αϊνστάιν λέει ότι αυτή η ιστορία με την αιτιότητα τον απασχολεί πολύ, αλλά δεν θα τον χαροποιούσε καθόλου το να αποποιηθεί παντελώς την αιτιότητα. Από το περιεχόμενο της επιστολής είναι σαφές ότι ο Μπορν εξέτασε ορισμένα επιχειρήματα, από τα πολλά που υπήρχαν κατά της αιτιότητας στην κβαντική θεωρία. Ο Αϊνστάιν αναγνώρισε την ισχύ αυτών των επιχειρημάτων και αυτό δημιούργησε προβλήματα στη σταθερή πεποίθησή του, η οποία ήταν να διατηρηθεί το κριτήριο της αυστηρής αιτιότητας. Από την επιστολή αυτή βλέπουμε ότι ο Μπορν ήταν πρόθυμος να εξετάσει την ιδέα της μη αιτιότητας, ενώ ο Αϊνστάιν δεν ήθελε να εγκαταλείψει ολοκληρωτικά την έννοια της αιτιότητας, υποδηλώνοντας έτσι ότι ήταν προετοιμασμένος να την αποποιηθεί εν μέρει. Η επιστολή αυτή πέρα από τις απόψεις των Αϊνστάιν και Μπορν για την αιτιότητα, μας δείχνει επίσης πως όταν φτάσαμε στο σημείο να συζητούμε για το περιεχόμενο της φυσικής, τότε αναγκαστικά έπρεπε να λάβουμε υπ' όψιν τόσο τους εσωτερικούς όσο και τους εξωτερικούς παράγοντες. Οι φυσικοί είχαν γενικά επίγνωση των αξιών του περιβάλλοντός τους και αυτό το περιβάλλον επεδείκνυε έντονη εχθρότητα κατά της αρχής της αιτιότητας. Υπήρχαν γενικά ισχυροί λόγοι στο εσωτερικό της κοινότητας των φυσικών για την απόρριψη της αιτιότητας και αν τους λάβουμε υπ' όψιν και εξετάσουμε τους προσηλυτισμούς στη μη αιτιότητα, θα δούμε ότι η αντίδραση των φυσικών στο θέμα της αμφισβήτησης της αιτιότητας υποδηλώνει ότι είχε εκδηλωθεί μια τάση προς την απομόνωση.

Ο Πολ Φόρμαν (Paul Forman), ένας ιστορικός των επιστημών, αναφέρεται σε κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις νεοπροσήλυτων στη μη αιτιότητα. Συγκεκριμένα για τον Αυστριακό φυσικό Φραντς Έξνερ (Franz Exner) αναφέρει ότι η

απόφασή του να απορρίψει την αιτιότητα δεν ήταν αποτέλεσμα επιρροής από το ευρύτερο περιβάλλον (Paul A. Hanle 1979). Για τους υπόλοιπους νεοπροσύλητους αναφέρει ότι ο Φον Μίζες (Von Mises), ο Βάλτερ Σότκι (Walter Schottky), ο Χέρμαν Βάυλ (Hermann Weyl) και ο Χανς Ράιχενμπαχ (Hans Reichenbach) απέρριψαν την αιτιότητα για λόγους πολύ σύνθετους, ενώ για τον Σρέντινγκερ αναφέρει ότι αρχικά απέρριψε την αιτιότητα, αλλά στη συνέχεια την ασπάσθηκε εκ νέου. Συγκεκριμένα για τον Χέρμαν Βάυλ, έναν πολυδιάστατο επιστήμονα της εποχής (μαθηματικό, φυσικό και φιλόσοφο) επισημαίνει ότι ήταν αυτός που διατύπωσε την πιο σημαντική απόρριψη της αιτιότητας στη φυσική το 1920. Ο βασικός παράγοντας που επηρέασε τις ιδέες του για τη φυσική ήταν το φιλοσοφικό ρεύμα του ιντουισιονισμού. Ήδη από το 1917 ο Βάυλ έλεγε ότι η φιλοσοφία και η φυσική συνδέονται στενά. Αυτή του η άποψη ίσως να σχετίζεται με τις απόψεις του ευρύτερου περιβάλλοντος, καθώς ο ίδιος φαίνεται ότι αντιμετώπιζε τη φιλοσοφία ως υποδεέστερη από τα πορίσματα της φυσικής και των μαθηματικών. Αυτό είχε να κάνει με το ότι ο Βάυλ ήταν πρωτίστως ένας μαθηματικός που χρησιμοποιούσε τις φιλοσοφικές ιδέες, ως πηγή έμπνευσης για τη θεμελίωση των μαθηματικών και για τη συσχέτιση των μαθηματικών αποτελεσμάτων της ενοποιημένης θεωρίας του, με τις ιδιότητες που υπάρχουν στο φυσικό κόσμο. Η μεταστροφή του από την αιτιακή σε μια μη αιτιακή θεωρία πεδίου, καθορίστηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό από προβληματισμούς που είχαν αναπτυχθεί στο εσωτερικό του κλάδου. Για να κατανοήσουμε πλήρως την πορεία της σκέψης του Βάυλ, πρέπει να δούμε ότι η επιμονή του στην απόρριψη της αιτιότητας, αν και επρόκειτο για μια απόφαση που στηριζόταν στη μεταφυσική και όχι στην εμπειρία, ήταν ωστόσο βαθιά ριζωμένη σε ένα σύμπλεγμα φυσικών προβλημάτων. Γενικότερα θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο Βάυλ θεωρούσε ότι η μαθηματική θεωρία πεδίου που ανέπτυξε ήταν πολύ σημαντική. Αυτό ωστόσο, δεν ήταν αρκετό ώστε ο πραγματικός κόσμος να προκριθεί έναντι οποιουδήποτε άλλου κόσμου που θα ήταν συνεπής με τη θεωρία. Και αυτό ακριβώς ήταν το χάσμα που σκόπευαν να καλύψουν τα φιλοσοφικά επιχειρήματα του Βάυλ. Η κβαντική θεωρία είχε άμεση σχέση με όλα αυτά, διότι η θέση του Βάυλ προέρχεται από την υπεράσπιση αυτού που στην πραγματικότητα ήταν μια καθαρή θεωρία πεδίου.

Από την άλλη, την περίοδο εκείνη ο Βόλφγκανγκ Πάουλι (Wolfgang Pauli) σε αντίθεση με τον Βάυλ ήταν φανερά επηρεασμένος από το φιλοσοφικό ρεύμα του οπερασιοναλισμού, έναν εξωτερικό παράγοντα, δηλαδή, όπως το ρεύμα του

ιντουισιονισμού που επηρέαζε τις ιδέες του Βάυλ, αλλά με εντελώς διαφορετικές απόψεις σε θέματα της σωματιδιακής ύλης. Αν και επιφανειακά ο Πάουλι θεωρείται ότι ανήκε στο στρατόπεδο των υποστηρικτών της αιτιακής – σωματιδιακής προσέγγισης, οι θέσεις του στην πραγματικότητα δεν ήταν και τόσο απλές. Ενώ μέχρι τότε όλοι επιδίωκαν να παραγάγουν σωματίδια από μια καθαρή θεωρία πεδίου, αυτός αναζητούσε μια πολύ πιο θεμελιώδη αλλαγή του εννοιολογικού πλαισίου μας. Θεωρούσε ότι ήταν αναγκαία μια αλλαγή των εννοιών του χώρου και του χρόνου, η οποία θα μπορούσε να καταστήσει περιττό το ζήτημα της αιτιότητας. Ο Μπορν και ο Χάιζενμπεργκ πείστηκαν για αυτή τη θέση του Πάουλι και αυτό δείχνει ότι η θέση αυτή προφανώς είχε κάποια σημασία για την κβαντική φυσική στη Γερμανία. Αυτό φάνηκε ξεκάθαρα όταν στη συνέχεια αποτέλεσε τον κύριο παράγοντα για τη γένεση της νέας κβαντομηχανικής.

Έξω από αυτό το κύριο ρεύμα της κβαντικής φυσικής, το 1921 ο Σότκι και ο Φον Μίτζες δημοσίευσαν τις αντιρρήσεις τους στο θέμα της αιτιότητας στο κβαντικό θεωρητικό πλαίσιο. Όπως αποδείχθηκε και οι δυο είχαν δεχτεί επιδράσεις από το ευρύτερο περιβάλλον. Ο Φον Μίτζες εξέφρασε την εκλαϊκευμένη εκδοχή των συμπερασμάτων του υιοθετώντας το εννοιολογικό πλαίσιο του Όσβαλντ Σπένγκλερ (Oswald Spengler), ενώ την παρουσίαση του Σότκι χαρακτήριζε ένας έντονα υπαρξιστικός τόνος. Την ίδια χρονιά (1921) διεξήχθη το τρίτο συνέδριο του Solvay<sup>1</sup> με θέμα “Άτομα και ηλεκτρόνια”. Στο συνέδριο αυτό άνοιξε το θεμελιώδες ζήτημα του κυματικού ή σωματιδιακού χαρακτήρα του φωτός στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας με δυο ανακοινώσεις, στις οποίες υποστηριζόταν η αναγκαιότητα της έννοιας του φωτονίου. Η μια ανακοίνωση ήταν του Λουί ντε Μπρολί (Louis De Broglie) και η άλλη του Ρόμπερτ Μίλικαν (Robert Millikan). Οι απόψεις τους αντιπροσώπευαν μια δραματική μεταστροφή μετά την απόρριψη της έννοιας του φωτονίου επί σειρά ετών.

Λίγους μήνες αργότερα ο Σότκι προχώρησε σε μια ανάλυση της αιτιότητας, βασιζόμενος στο αγαπημένο θέμα του Μπορν, το οποίο ήταν η αποτυχία της κλασικής μηχανικής στο πλαίσιο της κβαντικής θεωρίας. Η ανάλυση αυτή συνδεόταν με τις αποτυχημένες προσπάθειες του Αϊνστάιν να αναπτύξει μια κλασική αιτιακή θεωρία

---

<sup>1</sup> Διεθνή συνέδρια που διεξάγονταν στις Βρυξέλλες από το 1911, από καταξιωμένους επιστήμονες στη φυσική και στη χημεία.

πεδίου, στην οποία τα φωτόνια και τα υλικά σωματίδια να εμφανίζονται ως σημεία ασυνέχειας. Ο Αϊνστάιν έθετε στην ίδια μοίρα τη μη διατήρηση της ενέργειας και τη μη αιτιότητα (Martin J. Klein 1970). Σύμφωνα με τους περισσότερους κβαντικούς φυσικούς η θέση του Αϊνστάιν ήταν αβάσιμη και η απόφαση του Σότκι να απορρίψει μια αιτιακή, καθαρά πεδιακή θεωρία ήταν απόλυτα σωστή. Άλλωστε την ίδια άποψη με τον Σότκι είχαν και οι: Πάουλι, Μπορ, Χάιζενμπεργκ, Σρέντινγκερ, Μπορν και άλλοι πολλοί μεγάλοι φυσικοί. Ουσιαστικά ο Σότκι απέρριψε την αιτιότητα, αλλά όχι τις θεμελιώδεις χωροχρονικές έννοιες και αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως επιλογή της εκδοχής που ασπαζόταν ο Βάυλ και δεν σχετίζεται αναγκαστικά με το ευρύτερο πολιτισμικό περιβάλλον.

Ένα χρόνο μετά, το έτος 1922 - 23 ο Σρέντινγκερ αμφισβήτησε κι αυτός την αρχή της αιτιότητας στη φυσική. Την περίοδο εκείνη ήταν ευρέως αποδεκτό ότι θα έπρεπε ίσως να εγκαταλειφθεί η αρχή διατήρησης της ενέργειας. Ο Μπορ υποστήριζε επανειλημμένα αυτή τη λύση στις δημοσιεύσεις του. Ο Χάιζενμπεργκ και ο Μπορν υιοθέτησαν αυτή τη λύση ως προσωρινό συμπέρασμα σε πειράματα και ο Αϊνστάιν εξέτασε το ενδεχόμενο αυτής της λύσης, αλλά χωρίς ιδιαίτερη προθυμία, στο πλαίσιο πειραμάτων. Η απόρριψη της αιτιότητας από τον Σρέντινγκερ, το φθινόπωρο του 1922 συνδέεται 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. Επίσης ο Σρέντινγκερ φαίνεται να επηρεάστηκε και από το θέμα της διατήρησης της ενέργειας που είχε προκύψει, αλλά και από την ενοποιημένη θεωρία του Βάυλ. Τον επόμενο χρόνο ο Σρέντινγκερ μελετώντας το φαινόμενο Ντόπλερ, έγραψε στον Πάουλι ότι δεν δέχεται την αυστηρή διατήρηση της ενέργειας. Πίστευε ότι θα μπορούσε να αντικαταστήσει την κβαντική ταύτιση ενέργειας και συχνότητας με την ισοδυναμία ανάμεσα στο φαινόμενο που παράγεται από ένα υλικό σωματίδιο με δεδομένη ενέργεια και εκείνου που παράγεται από ένα σφαιρικό κύμα ισοδύναμης συχνότητας, χωρίς όμως να αποδίδεται αναγκαστικά η ενέργεια στο κύμα, επομένως χωρίς να πρέπει το κύμα να εντοπιστεί ως φωτόνιο. Αυτό βέβαια δεν ήταν δυνατό σε ένα μηχανικό σύστημα όπου ίσχυε η διατήρηση της ενέργειας.

Παρόμοια στάση με αυτή του Σρέντινγκερ είχε και ο Μπορ, ο οποίος τόνιζε ότι δεν θα έπρεπε να καταφεύγουμε στην κλασική περιγραφή του χώρου και του χρόνου και ότι δεν ισχύει η αιτιακή περιγραφή των κβαντικών φαινομένων. Το 1923

σε χειρόγραφο του ο Μπορ αναφέρει ότι το πρόβλημα κύματος – σωματιδίου ήταν η 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. Λίγο αργότερα ο Μπορ μαζί με τον Σλέιτερ (Slater) και τον Κράμερ (Kramer) δημοσίευσαν ένα άρθρο, στο οποίο φάνηκε ξεκάθαρα ότι ο Μπορ είχε εγκαταλείψει πλέον κάθε προσπάθεια στο να εντοπισθεί ένας αιτιώδης σύνδεσμος μεταξύ των μεταπτώσεων σε απομακρυσμένα άτομα (N. Bohr, H. A. Kramers & J. C. Slater 1924). Στο άρθρο αυτό βέβαια ο Μπορ δεν διευκρίνιζε αν η απόρριψη της αιτιότητας ήταν κάτι παραπάνω από προσωρινή. Αυτό του έδωσε την δυνατότητα να αναπτύξει την θεωρία της διασποράς, η οποία βρισκόταν σε εξέλιξη εκείνη την περίοδο. Ο Σρέντινγκερ είδε με καλό μάτι αυτή την κίνηση του Μπορ, ενώ ο Χάιζενμπεργκ μετά τις αρχικές του αμφιβολίες τελικά δέχτηκε τη νέα θεωρία, έχοντας ωστόσο ένα πνεύμα καθαρού θετικισμού. Μάλιστα είχε δηλώσει ότι δεν θεωρεί πραγματικά ότι πρόκειται για ουσιαστική πρόοδο, αλλά στη συνέχεια άλλαξε γνώμη, καθώς ο Μπορ συνέδεσε τη νέα θεωρία με μια μέθοδο εξισώσεων διαφοράς, που ο ίδιος προσπαθούσε καιρό να βρει.

Η νέα κβαντομηχανική, με τη μορφή που την εισήγαγαν ο Σρέντινγκερ και ο Χάιζενμπεργκ, απέρριπτε οποιαδήποτε χωροχρονική περιγραφή της διαδρομής του ηλεκτρονίου μέσα στο άτομο και αυτό άλλαξε ριζικά την κατάσταση στο εσωτερικό του κλάδου (J. Hendry 1978). Μετά από την θεωρία που διατύπωσε ο Χάιζενμπεργκ το 1925, αν και φαινομενικά δεν συνδεόταν με αυτή, η αρχή της αιτιότητας απορρίφθηκε από τον Ράιχενμπαχ και μετά τη θεωρία του Σρέντινγκερ, το 1926, ο Μπορ την απέκλεισε τελικά από τη νέα κβαντομηχανική. Τα κίνητρα του Ράιχενμπαχ στο να απορρίψει την αιτιότητα δεν έγιναν ποτέ σαφή, αλλά φαίνεται να μην σχετίζονται άμεσα με τη φυσική, επομένως μπορεί να έχουν σχέση με την επίδραση που ασκούσε το περιβάλλον.

Ωστόσο πραγματικά ιστορική σημασία έχει η απόρριψη της αιτιότητας του Μπορν, διότι αποτέλεσε την πρώτη απόρριψη αιτιότητας στην ιστορία της κβαντομηχανικής. Όλα ξεκίνησαν όταν ο Μπορν άρχισε να μελετά την κυματομηχανική του Σρέντινγκερ. Σύντομα ανακάλυψε ότι η κλασική ερμηνεία του Σρέντινγκερ ήταν αβάσιμη, διότι επανέφερε το πρόβλημα κύματος – σωματιδίου

ακόμη και για ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και έτσι ήταν αδύνατη μια χωροχρονική περιγραφή. Κάπως έτσι παρατήρησε ότι από την πλευρά την κβαντομηχανικής δεν υπάρχει ποσότητα που να παραμένει αιτιακή στην περίπτωση ενός μεμονωμένου φαινομένου κρούσης, επομένως στην πράξη δεν έχουμε λόγους να πιστεύουμε ότι υπάρχουν εσωτερικές ιδιοκαταστάσεις του ατόμου που υπαγορεύουν μια καθορισμένη διαδρομή κρούσης. Με βάση αυτά κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αιτιότητα δεν ισχύει στον ατομικό κόσμο. Η απόφασή του αυτή να απορρίψει την αιτιότητα είχε άμεση σχέση με την περιρρέουσα ατμόσφαιρα, καθώς ο Μπορν επηρεαζόταν πάντα από το ευρύτερο περιβάλλον. Επίσης ο Μπορν ίσως να είχε κατά νου και την πρόβλεψη του Όσβαλντ Σπένγκλερ, η οποία ήταν ότι η φυσική θα εκφυλιζόταν σε στατιστική, διότι αργότερα τόνισε ιδιαίτερα τον κεντρικό ρόλο της στατιστικής στη θεωρία του, αναφερόμενος στη στενή σύνδεση μεταξύ μηχανικής και στατιστικής. Τέλος, ίσως να επηρεάστηκε και από τον Βάυλ, διότι είχε παίξει ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη της μηχανικής μητρών και στην ανάπτυξη της κυματομηχανικής, επομένως ο Μπορν είναι πιθανό να είχε ζητήσει τις απόψεις του για την κυματομηχανική.

Στην ανάλυση του Μπορν για την κρούση ατόμου – ηλεκτρονίου προέκυπταν κάποια αβέβαια συμπεράσματα, από φαινομενικά καθορισμένα δεδομένα για την κατάσταση του ατόμου και την κίνηση του ηλεκτρονίου. Αυτό θα μπορούσε να αλλάξει, εάν υπήρχαν κρυφές παράμετροι σε μικροσκοπικό επίπεδο. Η απόρριψη της αιτιότητας από τον Μπορν ήταν ισοδύναμη με την απόρριψη των σχετικών μικροσκοπικών συντεταγμένων. Ο Μπορν υποστήριξε ότι η θεωρία που είχε αναπτύξει θα παρέμενε αμετάβλητη από τυχόν μελλοντικά πειράματα. Αυτή η επικίνδυνη στάση φαίνεται ότι πήγαζε από τον ισχυρισμό του ότι η φυσική ερμηνεία πρέπει να προκύπτει αποκλειστικά από τη μαθηματική διατύπωση της θεωρίας. Αυτός ο ισχυρισμός φαίνεται ότι προέκυψε από μια διαμάχη στο Γκέτινγκεν μεταξύ των υποστηρικτών της μαθηματικής προσέγγισης, με τους υποστηρικτές της φυσικής προσέγγισης στη νέα κβαντομηχανική.

Παρά τις πολύ έντονες πιέσεις που ασκήθηκαν στην αρχή της αιτιότητας, μόνο μια μικρή μερίδα φυσικών την απέρριψε πριν από την έλευση της νέας κβαντομηχανικής. Οι προσήλυτοι στη μη αιτιότητα αντιπροσώπευαν μόνο μια μικρή μερίδα του συνόλου των Γερμανών φυσικών, ενώ δεν έγινε ποτέ σαφές εάν η



αντίδραση της μεγάλης πλειοψηφίας πήρε τη μορφή της απομόνωσης ή της τήρησης ουδετερότητας. Αυτό που είναι σίγουρο είναι το ότι η μεγάλη πλειοψηφία των Γερμανών φυσικών δεν προσδοκούσε διακαώς, αλλά ούτε και διερευνούσε ενεργά το ενδεχόμενο να υπάρξει μια μη αιτιακή κβαντομηχανική.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναρωτηθούμε, τι σημαίνει γενικά επίδραση του περιβάλλοντος. Αρχικά μπορούμε να πούμε ότι το περιβάλλον άσκησε μεγάλη επίδραση στη στάση των φυσικών απέναντι στην αιτιότητα και για τη στάση αυτή κατά μια έννοια το αίτιο ήταν το περιβάλλον. Χαρακτηριστικό ήταν το παράδειγμα των Εβραίων φυσικών, οι οποίοι λόγω θρησκείας είχαν απομονωθεί από το ευρύτερο κοινωνικό περιβάλλον και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να διαφέρουν οι απόψεις τους σε διάφορα επιστημονικά ζητήματα από αυτές των χριστιανών συναδέλφων τους. Ένα άλλο πρόβλημα αφορά τις μεμονωμένες επιδράσεις διαφόρων φυσικών σε συναδέλφους τους, όπως η επίδραση που άσκησε ο Έξνερ στον Σρέντινγκερ. Σε αυτές τις περιπτώσεις όταν ένας φυσικός δεχθεί επιρροές από κάποιον άλλο, του οποίου η στάση είναι ανάλογη του περιβάλλοντός του, μπορούμε να πούμε ότι και αυτός επηρεάστηκε από το περιβάλλον με έμμεσο τρόπο.

Από το ευρύτερο περιβάλλον η κβαντομηχανική αρχικά αντιμετωπίστηκε σαν κάτι το επαναστατικό. Η σύγχρονη αυτή φυσική δεν αποτελούσε απλώς μια αναλογία της νέας παγκόσμιας τάξης, αλλά προσέφερε και τα όπλα για την εξάλειψη των εχθρών όχι μόνο σε υλικό αλλά και σε διανοητικό επίπεδο. Ο μεγαλύτερος διανοητικός εχθρός ήταν ο Διαφωτισμός, που έγκειται στη μηχανιστική – υλιστική αναγωγή του φυσικού κόσμου. Η επαναστατική κβαντομηχανική συνδυασμένη με τον επαναστατικό θετικισμό, επιτίθενται στη μηχανιστική – υλιστική φυσική του Νεύτωνα και του Λαπλάς και στην υποτιθέμενη ικανότητα της επιστημονικής μεθόδου να αποκαλύψει την αντικειμενική αλήθεια της ίδιας της φύσης.

## **2.2 Επιρροές από κοινωνικά, ψυχολογικά και φιλοσοφικά ρεύματα της εποχής**

Μια έννοια που πρέπει να εξετάσουμε τώρα είναι αυτή της στατιστικής αιτιότητας. Η στατιστική αιτιότητα αρχικά ήταν μια εσωτερικά συνεπής έννοια του

τέλους του δέκατου ένατου αιώνα, ενταγμένη σε μια συγκεκριμένη κεντροευρωπαϊκή παράδοση κριτικής και ερμηνείας της κοινωνικής στατιστικής (M. Norton Wise 1987). Η παράδοση αυτή τόνισε τη διάκριση ανάμεσα στη φυσική αιτιότητα και την ψυχική αιτιότητα, ή την ποσοτική αιτιότητα έναντι της ποιοτικής αιτιότητας. Όταν εφαρμόστηκε στην κοινωνική στατιστική, η ψυχική αιτιότητα μετατράπηκε σε στατιστική αιτιότητα. Επομένως από την αρχή η ψυχολογία παρείχε τη διάρθρωση των εννοιών εντός των οποίων η στατιστική αιτιότητα απέκτησε τη σημασία της. Την ιστορική αυτή εξέλιξη συμπληρώνει το γεγονός ότι πολλοί από τους κύριους πρωταγωνιστές της κβαντομηχανικής στράφηκαν στην ψυχολογία για να τους βοηθήσει να κατανοήσουν τις έννοιες τις οποίες προσπαθούσαν να αναπτύξουν. Σχετικά με αυτό οι πιο γνωστοί από τους φυσικούς που στράφηκαν στην ψυχολογία ήταν: ο Μπορ, ο Πάουλι και ο Βάυλ. Έτσι η ψυχολογική οπτική των νόμων της στατιστικής εμφανίζεται στο πλαίσιο μιας μακράς και σύνθετης ιστορίας, που περιέχει πολλά σημεία συνάντησης μεταξύ φυσικής και ψυχολογίας.

Είναι γνωστό ότι η σύλληψη του Μπορ σχετικά με την συμπληρωματικότητα εμπεριέχει στοιχεία από την ψυχολογία (Jan Faye 1991). Επίσης και η αρχή της αντιστοιχίας πρέπει να ερμηνευτεί βάσει της παράδοσης στην ψυχολογία. Το βασικό ζήτημα στην αρχή της αντιστοιχίας αφορούσε τη διάκριση μεταξύ ψυχικής αιτιότητας και φυσικής αιτιότητας. Ουσιαστικά η αρχή της αντιστοιχίας στη μορφή που είχε πριν από το 1918, αναφερόταν σε απλές περιοδικές καταστάσεις και στο γεγονός ότι σε μεγάλους κβαντικούς αριθμούς, η κβαντική περιγραφή της μετάπτωσης ενός ηλεκτρονίου έδινε τα ίδια αποτελέσματα με εκείνα που θα περίμενε κανείς με βάση την αντίληψη της κλασικής φυσικής για το ηλεκτρόνιο που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα. Η στατιστική φύση της αναλογίας ανάμεσα στις τροχιές του ηλεκτρονίου και τις στάσιμες καταστάσεις οδηγεί στην διαπίστωση ότι κάθε ηλεκτρόνιο σε δεδομένη στάσιμη κατάσταση είναι σε θέση να υποστεί όλες τις μεταπτώσεις, οι οποίες σχετίζονται με τις περιοδικότητες που το προσδιορίζουν. Επομένως, η αιτιότητα που σχετίζεται με τις κβαντικές μεταπτώσεις είναι στατιστική αιτιότητα. Ο Μπορ κατέληξε σε αυτό το συμπέρασμα με ψυχολογικούς όρους και αυτό συνιστά μια αρκετά άμεση αναλογία με μια εκδοχή ψυχικής αιτιότητας.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να δούμε ορισμένες φιλοσοφικές ιδέες του τέλους του δέκατου ένατου αιώνα, που προετοίμασαν τη σχετική πνευματική ατμόσφαιρα

και συνέβαλαν αποφασιστικά στη διαμόρφωση των νέων εννοιών της σύγχρονης κβαντικής θεωρίας (M. Jammer 1966). Πιο συγκεκριμένα ο υπαρξισμός, ο πραγματισμός και ο λογικός εμπειρισμός γνώρισαν άνθηση ως αντίδραση στον παραδοσιακό ορθολογισμό και τη συμβατική μεταφυσική. Η επιβεβαίωση από πλευράς τους μιας συγκεκριμένης θεώρησης για τη ζωή και η απόρριψη της αφηρημένης πνευματικότητας κορυφώθηκαν με το δόγμα για την ελεύθερη βούληση και την άρνηση του μηχανιστικού ντετερμινισμού ή της μεταφυσικής αιτιότητας. Αυτά τα ρεύματα σκέψης τα ένωνε η απόρριψη της αιτιότητας και είναι ουσιαστικά αυτά, που προετοίμασαν το φιλοσοφικό υπόβαθρο της σύγχρονης κβαντομηχανικής. Συνέβαλαν με προτάσεις στο να διαμορφωθεί ένα νέο εννοιολογικό σχήμα, το οποίο και προώθησαν. Ένας σύγχρονος ιστορικός της επιστήμης ο Μαξ Γιάμερ (Max Jammer) αναφερόμενος σε αυτά τα ρεύματα σκέψης είπε χαρακτηριστικά ότι ώθησαν τους φυσικούς να προσδοκούν διακαώς την ανάπτυξη μιας μη αιτιακής κβαντομηχανικής (Θόδωρος Αραμπατζής – Κώστας Γαβρόγλου 2012). Αναφερόταν φυσικά στους Γερμανούς φυσικούς, οι οποίοι στην πλειοψηφία τους είχαν εχθρικά αισθήματα απέναντι στην έννοια της αιτιότητας, κυρίως στα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα. Το πιο εντυπωσιακό με αυτά τα ρεύματα σκέψης ήταν το ότι ενώ επέδρασαν ελάχιστα στους φυσικούς στο γύρισμα του αιώνα, έφτασαν τελικά να ασκούν τεράστια επιρροή στους Γερμανούς φυσικούς μετά το 1918.

Σχετικά με την επιρροή αυτή που είχαν, ένας ιστορικός της επιστήμης θα πρέπει να κάνει μια αιτιακή ανάλυση, προκειμένου να καταδείξει τις περιστάσεις υπό τις οποίες, οι επιστήμονες συμπαρασύρθηκαν από τα διανοητικά ρεύματα. Μια τέτοια ανάλυση μπορεί να είναι είτε ψυχολογική είτε κοινωνιολογική. Δηλαδή, μπορεί είτε να εξετάσει την πνευματική συγκρότηση των μεμονωμένων επιστημόνων τονίζοντας την επίδραση των προγενέστερων πνευματικών πλαισίων ή, αντιθέτως μπορεί να αγνοήσει τους παράγοντες αυτούς και να θεωρήσει ότι η παρούσα διανοητική στάση τους είναι μια κοινωνικά καθορισμένη απάντηση στον πνευματικό περίγυρο. Στην περίπτωση μας η κοινωνιολογική προσέγγιση είναι η πιο γενική και γόνιμη, επομένως η έρευνά μας θα πρέπει να ξεκινήσει από την αποσαφήνιση του πνευματικού περιβάλλοντος εντός του οποίου εργάζονταν οι Γερμανοί φυσικοί και αναπτύχθηκε η κβαντομηχανική. Αρχικά λοιπόν, αξίζει να δούμε ότι η κβαντομηχανική γεννήθηκε στη Γερμανία μια χρονική περίοδο που χαρακτηριζόταν από έντονη εχθρότητα απέναντι στη φυσική. Το παράδοξο ήταν ότι η περίοδος εκείνη υπήρξε η πιο

δημιουργική στην ιστορία της σύγχρονης φυσικής (Paul Forman 1967). Αυτό οφείλεται κυρίως στην αντίδραση των θετικών επιστημόνων απέναντι σε αυτή την εχθρότητα που δέχονταν από το πνευματικό περιβάλλον. Οι περισσότεροι θα περιμέναμε μια αντίδραση απομόνωσης των επιστημόνων από το κοινωνικό περιβάλλον, αλλά στην περίπτωσή μας οι Γερμανοί φυσικοί συσπειρώθηκαν και με σκληρή δουλειά ξεκίνησαν να βάζουν τα θεμέλια της κβαντικής επιστήμης.

### 2.3 Επιδράσεις των ιστορικών γεγονότων στην επιστήμη

Το καλοκαίρι του 1918, οι Γερμανοί φυσικοί όπως και οι υπόλοιποι Γερμανοί περίμεναν μια νικηφόρα έκβαση του πολέμου, στον οποίο είχαν εμπλακεί επί τέσσερα χρόνια. Παράλληλα αισθάνονταν μια ικανοποίηση λόγω της συνεισφοράς τους στις στρατιωτικές επιτυχίες της Γερμανίας και προσδοκούσαν σε ένα μεταπολεμικό πνευματικό περιβάλλον, που θα ήταν ιδιαίτερα ευνοϊκό για την ευημερία και την πρόοδο της επιστήμης τους. Οι φυσικοί βλέποντας την πρακτική σπουδαιότητα των αντικειμένων τους στη διάρκεια του πολέμου, προσέβλεπαν σε περισσότερα, μεγαλύτερα και καλύτερα εξοπλισμένα ινστιτούτα και στην ουσιαστική αναβάθμιση της δημόσιας υπόληψής τους και του ακαδημαϊκού κύρους τους. Όταν όμως λίγους μήνες αργότερα η νικηφόρα κατάληξη που αναμένανε μετατράπηκε ξαφνικά σε ολοκληρωτική ήττα, οι φυσικοί αλλά και γενικότερα όλοι οι θετικοί επιστήμονες βρέθηκαν μπροστά σε μια δραματικά διαφορετική κλίμακα αξιών στο δημόσιο βίο. Δηλαδή βρέθηκαν μπροστά σε μια εντελώς διαφοροποιημένη εικόνα όσον αφορά την αξία του κλάδου τους. Αυτό φάνηκε από τον αμυντικό τόνο που διέκρινε τις ομιλίες που έδιναν ενώπιον των συναδέλφων τους και των φοιτητών στις διάφορες ακαδημαϊκές τελετές, ενώ στη διάρκεια του πολέμου αυτοί οι λόγοι εξέφραζαν αυτοπεποίθηση και εμπιστοσύνη. Οι θεωρητικοί φυσικοί ήταν εκείνοι που, περισσότερο από τους πειραματικούς φυσικούς ένιωθαν ότι συγκεντρώνουν πάνω τους τη γενική αποδοκιμασία. Συνεπώς το πνευματικό περιβάλλον εντός του οποίου εργάστηκαν τόσο παραγωγικά οι φυσικοί επιστήμονες στη Γερμανία ήταν ξεκάθαρα εχθρικό απέναντι τους και μάλιστα σε αξιοσημείωτο βαθμό.

Με την ολοκλήρωση του πολέμου και την ήττα της Γερμανίας πολλά διανοητικά ρεύματα έκαναν την εμφάνισή τους και κατάφεραν να κυριαρχήσουν στο πνευματικό περιβάλλον στα μέσα της δεκαετίας του 1920. Το 1927 ένας φιλόσοφος

της επιστήμης, ο Τέοντορ Λιτ (Theodor Litt), έκανε μια ανασκόπηση της σύγχρονης φιλοσοφίας και της επιρροής που άσκησε στην ιδέα της φιλελεύθερης εκπαίδευσης και διαπίστωσε ότι η φιλοσοφία της ζωής ήταν το ισχυρότερο διανοητικό ρεύμα. Υποστήριξε επίσης ότι η περιφρόνηση της φυσικής επιστήμης οφείλεται στο γεγονός ότι οι υπέρμαχοί της αντιλαμβάνονται την έννοια με πολύ στενή σημασία, δηλαδή, θεωρούν ότι δηλώνει μια μηχανιστική άποψη για τον κόσμο. Επομένως η εικόνα που είχε η μορφωμένη μερίδα του πληθυσμού για τον φυσικό επιστήμονα ήταν μια εικόνα ενός υποστηρικτή της μηχανοκρατίας, του ορθολογισμού και της αιτιοκρατίας και αυτό οδηγούσε αναπόφευκτα σε μια αρνητική στάση προς τους φυσικούς της εποχής.

## 2.4 Ο ρόλος του Κύκλου της Βιέννης στη Γερμανική φιλοσοφία

Κατά την περίοδο του μεσοπολέμου η Βιέννη έχασε την πολιτική πρωτοκαθεδρία της, αλλά κατάφερε να διατηρήσει στο απόλυτο το κύρος της ως πρωτεύουσα του πνεύματος. Την εποχή εκείνη το μόνο πραγματικό πανεπιστήμιο της Αυστρίας είχε την έδρα του εκεί και όλες οι λειτουργίες του συγκεντρώνονταν σε ένα κτίριο της πόλης. Αυτή η συγκέντρωση χαρακτήριζε και την πνευματική ζωή της πόλης γενικότερα. Ήταν μια πόλη όπου όλοι οι διανοητές γνωρίζονταν έστω και ελαφρώς μεταξύ τους, πράγμα που ευνοούσε την αλληλεπίδραση των νέων ιδεών και τη διάχυσή τους σε όλους τους επιστημονικούς τομείς. Όλοι οι πνευματικοί άνθρωποι της πόλης: μαθηματικοί, φυσικοί, χημικοί, ιστορικοί, φιλόσοφοι, συγγραφείς και καλλιτέχνες έμοιαζαν να εμπλέκονται σε μία ανοιχτή συζήτηση. Η διάχυτη νευρική που επικρατούσε στη συλλογική συνείδηση των σκεπτόμενων δεν άργησε να εκδηλωθεί ως μία έξαρση νέων ιδεών. Οι νέες ιδέες αναπτύσσονταν στη Βιέννη δημόσια στα στρογγυλά τραπέζια των αμέτρητων καφέ. Εκτός όμως από τις καθημερινές συναντήσεις στα καφέ, η πνευματική ζωή άνθιζε και στους διάφορους κύκλους. Οι κύκλοι ήταν επίσημες ή ανεπίσημες ομάδες συζήτησης που πραγματοποιούσαν εβδομαδιαίες συναντήσεις και σχηματίζονταν γύρω από εξεχουσες μορφές της βιεννέζικης διανοήσης. Σε μερικούς από αυτούς τους κύκλους κεντρικό θέμα των συζητήσεων ήταν ο σοσιαλισμός, ενώ άλλοι ασχολούνταν με τα διάφορα ρεύματα του ψυχαναλυτικού κινήματος. Υπήρχαν κύκλοι που ασχολούνταν με θέματα φιλοσοφίας: με τον πλατωνισμό, με τον Καντ (Immanuel Kant) ή και με στοχαστές όπως ο Κίρκεγκωρ (Soren Kierkegaard) και ο Τολστόι (Leo Tolstoy). Ο

γνωστότερος όμως από τους κύκλους ήταν αυτός που δημιουργήθηκε γύρω από τον φιλόσοφο Μόριτς Σλικ (Moritz Schlick). Θα έμενε στην ιστορία των ιδεών ως ο Κύκλος της Βιέννης. Από τη συγκεκριμένη ομάδα διανοητών ξεπήδησε και διαδόθηκε το κίνημα του λογικού θετικισμού. Ο λογικός θετικισμός υπήρξε ένα κίνημα που μιλούσε στο όνομα της ακρίβειας και της προόδου στις επιστήμες.

Αυτό που ένωνε ιδεολογικά όσους συμμετείχαν σε αυτόν τον κύκλο ήταν η πίστη τους στην εφαρμογή επιστημονικών μεθόδων. Η φιλοσοφία, πίστευαν μπορεί να ωφεληθεί όσο κανένας άλλος τομέας από την υιοθέτηση μιας αυστηρής λογικής. Επηρεασμένοι από το πνεύμα που κυριαρχούσε στη Βιέννη εκείνη την εποχή, οι στοχαστές του Κύκλου θέλησαν να θάψουν όσο πιο γρήγορα μπορούσαν τα κατάλοιπα των παλιών ιδεών και να αναστήσουν στη θέση τους ένα σύστημα με υγιή θεμέλια βασισμένα στις εμπειρικές επιστήμες. Τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά του Κύκλου ήταν η αντιμεταφυσική στάση, ο αντιψυχολογισμός, καθώς και η στροφή προς τα πρόσφατα πορίσματα των φυσικών επιστημών της εποχής. Γενικά θα λέγαμε ότι οι λογικοί θετικιστές είχαν ως πρότυπο τις φυσικές επιστήμες, τη λογική και τα μαθηματικά και προσδοκούσαν πως, εφαρμόζοντας τις μεθόδους τους, θα μπορούσαν να φέρουν και στη φιλοσοφία τη σαφήνεια, την ακρίβεια και τη βεβαιότητα που αυτές έχουν. Απώτερος στόχος των λογικών θετικιστών ήταν η ενιαία επιστήμη, στόχος που υπονόμει τη διάκριση μεταξύ φυσικών επιστημών και επιστημών του πνεύματος, η οποία ήταν πολύ διαδεδομένη εκείνη την εποχή στη Γερμανία.

Γενικά οι λογικοί θετικιστές είχαν την πεποίθηση, όπως έλεγαν, ότι είχαν βρει εκείνη τη φιλοσοφία που θα έβαζε τέλος σε όλες τις προηγούμενες φιλοσοφίες. Θα λέγαμε ότι το πρόγραμμα των λογικών θετικιστών περιλαμβάνει την επιστήμη ως πρότυπο και απορρίπτει τη μεταφυσική. Πρόκειται δηλαδή, για ένα πρόγραμμα που στηρίζεται στην πίστη για τις δυνατότητες που έχει η επιστήμη. Από ιστορική σκοπιά, η επιστημονική κοσμοαντίληψη του Κύκλου της Βιέννης θα μπορούσε να θεωρηθεί επακόλουθη διεργασιών και εξελίξεων που έλαβαν χώρα ήδη από τον 19ο αιώνα στον χώρο της επιστήμης και της φιλοσοφίας (Γιώργος Ρουσόπουλος 2010). Η ανάπτυξη των επιστημών είναι πλέον ραγδαία και η κατεύθυνσή τους εμπειρική. Από την άλλη, αντίστροφη είναι η πορεία της γερμανικής φιλοσοφίας, καθώς για ένα μεγάλο μέρος του 19ου αιώνα ακολουθεί την κατιούσα.

Συνεπώς το κίνημα αυτό του λογικού θετικισμού ήταν από τη φύση του συμβατό με την ορθολογική ανάλυση και τις επιτεύξεις της σύγχρονης φυσικής επιστήμης (Θόδωρος Αραμπατζής – Κώστας Γαβρόγλου 2012). Επομένως μπορούμε να πούμε ότι ο Κύκλος της Βιέννης είχε μια πολύ θετική στάση απέναντι στις φυσικές επιστήμες και συνεπώς και στην κβαντική φυσική.





## Κεφάλαιο 3

### Αφήνοντας πίσω την αιτιότητα

#### 3.1 Η σημασία της αιτιότητας

Όταν κάποιος κάνει λόγο για αιτιότητα αναφέρεται στη σχέση μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος. Η έννοια της αιτιότητας ξεκινά από τον φιλόσοφο Αναξίμανδρο από τη Μίλητο (6<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ.), ο οποίος αναφέρεται ότι έλεγε ότι όλα τα πράγματα πληρώνουν ανάμεσά τους ποινή και αποζημίωση για την αδικία που παθαίνουν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Μέσα από την μελέτη της αιτιότητας κερδίζουμε γνώση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την απόκτηση δύναμης πάνω στη φύση. Εάν δηλαδή γνωρίζουμε τα αίτια κάποιων ανεπιθύμητων γεγονότων που διαδραματίζονται στη φύση, μπορούμε να προσπαθήσουμε να τα αποτρέψουμε από το να συμβούν.

Εκείνος που έθεσε τις βάσεις του αιτίου και του αιτιατού ήταν ο Αριστοτέλης (4<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ.). Η έννοια της αιτιότητας αποτελεί ένα από τα κεντρικότερα ζητήματα με τα οποία ασχολείται. Για τον Αριστοτέλη κάθε γεγονός έχει και μια αιτία και η γνώση των αιτιών αυτών είναι επιστήμη. Συγκεκριμένα αναφέρει ότι για οποιοδήποτε αποτέλεσμα είναι αναγκαία τέσσερα αίτια φυσικών διαδικασιών από τα οποία κανένα ποτέ δεν είναι επαρκές από μόνο του. Συνοπτικά τα τέσσερα αυτά αίτια είναι : το υλικό αίτιο, που αφορά την ύλη από την οποία αποτελείται ένα αντικείμενο, το ποιητικό αίτιο το οποίο αναφέρεται σε εκείνο που δημιούργησε το αντικείμενο, το ειδικό ή μορφικό αίτιο που είναι το είδος ή η μορφή του αντικειμένου και το τελικό αίτιο το οποίο αναφέρεται στο σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε κάτι. Ο Αριστοτέλης υποστήριξε ότι η γνώση του σκοπού της λειτουργίας πολλών πραγμάτων είναι αναγκαία ώστε να καταλάβουμε την λειτουργία τους. Στον κόσμο του Αριστοτέλη δεν υπάρχει τίποτε το τυχαίο, αλλά όλα είναι οργανωμένα και έχουν κάποιο σκοπό. Κάθε πράγμα εξελίσσεται ώσπου να φτάσει στο τέλος που του καθορίζεται από τη φύση.

Ο Αριστοτέλης δεν δέχθηκε το ενδεχόμενο της αρχής του σύμπαντος, ότι δηλαδή προέκυψε μια δεδομένη χρονική στιγμή, καθώς ήταν υπέρμαχος της αντίληψης ότι τίποτα δεν δημιουργείται από το μηδέν. Το σύμπαν για εκείνον ήταν αιώνιο, αλλά πεπερασμένο χωρικά. Θεωρούσε ότι κέντρο του σύμπαντος είναι η Γη και ότι οι πλανήτες, ο ήλιος και οι απλανείς αστέρες βρίσκονται σε ομόκεντρες σφαίρες, οι οποίες περιστρέφονται γύρω από τη Γη. Ο Αριστοτέλης πίστευε ακόμη πως η φύση ενός πράγματος αποτελεί την εσωτερική πηγή του χαρακτήρα και της συμπεριφοράς του, και ότι συνιστά το κύριο αίτιο των μεταβολών που μπορεί να υποστεί. Τα πάντα είναι αποτέλεσμα της φύσης, τίποτα δεν έχει τυχαία ή τεχνητή προέλευση. Εφόσον λοιπόν για την φυσική μεταβολή όλων των πραγμάτων καθοριστικός παράγοντας είναι η φύση τους, είναι επόμενο η μελέτη της να παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Στην περίπτωση που τα πάντα βρίσκονταν στον φυσικό τους τόπο και καμία εξωτερική δύναμη δεν εφαρμοζόταν στα πράγματα, τότε φαίνεται κατά τον Αριστοτέλη ότι ο κόσμος θα παρέμενε στάσιμος. Αυτό όμως δεν είναι δυνατόν να συμβαίνει καθώς όλα τα φυσικά πράγματα βρίσκονται πάντοτε σε κατάσταση μεταβολής. Εδώ εντοπίζεται και ο πραγματικός δυναμισμός του αριστοτελικού κόσμου, στη φύση του αντικειμένου και όχι στην τοποθεσία του. Αυτό αποτελεί και το κεντρικό αντικείμενο σπουδών στη φυσική φιλοσοφία του Αριστοτέλη. Η φύση είναι εσωτερική πηγή μεταβολών που πραγματοποιήθηκε σε κάθε φυσικό σώμα.

Στην ιστορική αυτή αναδρομή της αιτιότητας αξίζει να δούμε και τις απόψεις του Λαπλάς, ο οποίος το 1814 έγραψε την αναλυτική του θεωρία περί των πιθανοτήτων. Το έργο του αυτό στην ουσία επιδιώκει να δώσει απάντηση στα πιο σημαντικά προβλήματα της ζωής, τα οποία στο μεγαλύτερο μέρος τους, δεν είναι παρά προβλήματα πιθανοτήτων. Με το έργο αυτό ο Λαπλάς θεωρείται ως ο κύριος εκφραστής της αιτιοκρατίας. Στην εισαγωγή του έργου του υποστηρίζει ότι πρέπει να θεωρήσουμε την παρούσα κατάσταση του σύμπαντος ως το αποτέλεσμα του παρελθόντος και ταυτόχρονα ως την αιτία του μέλλοντος. Σχετικά με αυτό είχε πει ότι αν υπήρχε μια διάνοια που θα μπορούσε σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή να γνωρίζει όλες τις δυνάμεις που θέτουν σε κίνηση τη φύση, καθώς και όλες τις θέσεις όλων των αντικειμένων από τα οποία η φύση αποτελείται. Τότε αυτή η διάνοια αν κατέθετε όλα αυτά τα δεδομένα προς ανάλυση, θα ήταν δυνατή η σύνθεση ενός και μόνο μαθηματικού τύπου που θα περιελάμβανε όλες τις κινήσεις των μεγαλύτερων

σωμάτων του σύμπαντος, καθώς και τις κινήσεις ακόμα και του ελάχιστου ατόμου. Έλεγε ότι για μια τέτοια διάνοια τίποτα δεν θα ήταν αβέβαιο, και το μέλλον, όπως ακριβώς και το παρελθόν, θα ξεδιπλώνονταν με ακρίβεια μπροστά της. Με βάση αυτό ο Λαπλάς υποστηρίζει ότι αν υπήρχε μία τέλεια διάνοια που θα μπορούσε να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή όλες τις ιδιότητες, καταστάσεις και κινήσεις όλων των σωμάτων του κόσμου θα μπορούσε με ακρίβεια να γνωρίζει το μέλλον, όπως ακριβώς το παρελθόν. Αυτή η υποθετική διάνοια έμεινε στην ιστορία ως ο Δαίμων του Λαπλάς. Στην ουσία ο Δαίμων του Λαπλάς αποτελεί τη θεμελιώδη αρχή της αιτιοκρατίας πάνω στην οποία στηρίχθηκαν έκτοτε οι επιστήμες. Τα πάντα έχουν αιτία και το αντίστοιχο αποτέλεσμα. Το έργο της επιστήμης ανά τους αιώνες είναι να ανακαλύπτει όλο και περισσότερες αιτιώδεις σχέσεις που διέπουν τα πράγματα ώστε να καταρρέει με ολοένα και γρηγορότερο ρυθμό το μεγάλο πέπλο της αβεβαιότητας και της άγνοιας που καλύπτει τον κόσμο μας.

Σε αυτό το σημείο αφού κάναμε μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην αιτιότητα ερχόμαστε τώρα να δούμε ποια είναι η σημασία αυτής της έννοιας. Για να το πετύχουμε αυτό ας ξεκινήσουμε με ένα άρθρο του Αϊνστάιν το οποίο γράφτηκε τον Αύγουστο του 1922. Το άρθρο αυτό απευθυνόταν σε μη ειδικό κοινό και είχε να κάνει με την τρέχουσα κρίση στη θεωρητική φυσική. Συγκεκριμένα διαβάζουμε στο άρθρο του ότι στόχος της θεωρητικής φυσικής είναι η δημιουργία ενός λογικού εννοιολογικού συστήματος, που θα βασίζεται στο μικρότερο δυνατό αριθμό αμοιβαία εξαρτώμενων υποθέσεων, κάτι που θα μας επιτρέψει να κατανοήσουμε αιτιακά όλο το πλέγμα των φυσικών διαδικασιών. Από αυτό φαίνεται ότι ο Αϊνστάιν πίστευε στην αιτιότητα και προφανώς τον απασχολούσε αυτή η διαμάχη ως προς τη σπουδαιότητα του νόμου της αιτιότητας. Την ίδια περίοδο και ο Πλανκ είχε αναφερθεί πάνω σ' αυτό το ζήτημα λέγοντας ότι εδώ και καιρό η διαμάχη για τη σημασία του νόμου της αιτιότητας στο φυσικό και νοητικό κόσμο δεν υπήρξε τόσο έντονη όσο στις μέρες μας. Επίσης είπε ότι φαίνεται σαν να έχει χωριστεί η σκεπτόμενη ανθρωπότητα σε δυο αντίθετα στρατόπεδα όσον αφορά αυτά τα προβλήματα. Όμως, τί εννοούσαν λέγοντας αιτιότητα, δηλαδή ποιά είναι η έννοια που συνέδεαν με αυτό τον όρο οι φυσικοί και οι φιλόσοφοι; Η έννοια αυτή, με μια λέξη, ήταν η νομοκρατία. Όπως είχε πει ο Μόριτζ Σλικ το 1920, η αρχή της αιτιότητας είναι η γενική έκφραση του γεγονότος ότι όλα όσα συμβαίνουν στη φύση υπόκεινται σε νόμους που ισχύουν χωρίς εξαίρεση. Ο Χάιζενμπεργκ είχε αναφερθεί σε αυτό το θέμα λέγοντας ότι η

επίλυση των παραδόξων στην ατομική φυσική μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν απαρνηθούμε ακόμη περισσότερο τις παλιές καλές ιδέες. Η σημαντικότερη ανάμεσά τους είναι η ιδέα ότι τα φυσικά φαινόμενα υπακούουν σε αυστηρούς νόμους – η αρχή της αιτιότητας. (W. Heisenberg 1930) Φυσικά ο Χάιζενμπεργκ βελτίωσε αμέσως αυτή τη διατύπωση εισάγοντας ορισμένες διακρίσεις τις οποίες χρησιμοποίησε μόνο μετά την ανάπτυξη της κβαντομηχανικής. Πολλοί φυσικοί και φιλόσοφοι κατά την περίοδο 1919-1925 είχαν υιοθετήσει αυτή την έννοια της αιτιότητας ως συμμόρφωσης στο νόμο.

Ωστόσο την περίοδο εκείνη διατυπώθηκαν δημοσίως αντιρρήσεις όσον αφορά την έννοια αυτή της αιτιότητας, που υποδήλωναν ότι υπήρχε ένα υπόγειο ρεύμα αντι-αιτιότητας. Ο Πλανκ στο τέλος της πρωτανικής του θητείας στο Πανεπιστήμιο του Βερολίνου, αναγνώρισε ότι ο δυισμός μεταξύ αιτιωδών και στατιστικών νόμων, που είχε προκύψει ως αποτέλεσμα της εισαγωγής της στατιστικής στη φυσική, θεωρούνταν από πολλούς ως μη ικανοποιητικός. Ως εκ τούτου, επιχειρήθηκε να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχουν αιτιακοί νόμοι και κάθε κανονικότητα θεωρήθηκε στατιστικού χαρακτήρα. Σε ένα άρθρο του Μάριαν Σμολουκόφσκι (Marian Smoluchowski), το οποίο ήταν αφιερωμένο στον Πλανκ, ο Σμολουκόφσκι επισημαίνει την τάση που κυριαρχούσε εκείνες τις μέρες, να ανάγεται το σύνολο των φυσικών νόμων σε στατιστικές εκδηλώσεις κρυφών στοιχειωδών συμβάντων. Θεωρεί ότι είναι απολύτως δυνατό στο μέλλον να ενταχθεί σε αυτό το πρόγραμμα και η θεωρία του Λόρεντζ για τα ηλεκτρόνια, η σχετικότητα και ο νόμος διατήρησης της ενέργειας. Όμως ο στόχος του Σμολουκόφσκι ήταν να δείξει ότι η τυχαιότητα μπορεί κάλλιστα να προκύπτει από αίτια επακριβώς καθοριζόμενα από νόμους.

Το 1918 το θετικιστικό κίνημα είχε ξεκινήσει εκστρατεία εναντίον μιας αρκετά διαφορετικής έννοιας της αιτιότητας. Η διαφωνία τους δεν αφορούσε στην έννοια της συμμόρφωσης στο νόμο, αλλά το μεταφυσικό, ανιμιστικό δόγμα αιτίου και αποτελέσματος ως οντολογική υπόθεση, την οποία οι θετικιστές επιθυμούσαν να αντικαταστήσουν με τη μαθηματική έννοια των συναρτήσεων. Η άποψή τους αυτή το 1918 είχε καταστεί σχεδόν αυτονόητη στους φυσικούς και στους φιλοσόφους που είχαν στενή σχέση με τους θετικιστές. Αντίσταση πρόβαλαν μόνο μερικοί υπερσυντηρητικοί, με αποτέλεσμα η αιτιότητα να απογυμνωθεί από κάθε οντολογικό συσχετισμό και να θεωρηθεί ισοδύναμη με το συναρτησιακό προσδιορισμό. Συχνά,

αλλά όχι πάντοτε, η αιτιότητα οριζόταν επίσης και ως η λαπλασιανή σύλληψη των αναγκαίων και ικανών συνθηκών για έναν τέτοιο προσδιορισμό, δηλαδή, μια εγκάρσια διατομή του κόσμου σε δεδομένη χρονική στιγμή.

Η δυνατότητα να ικανοποιηθεί μια υπόθεση νομοκρατίας, που να μην απαιτεί τον αδιαμφισβήτητο καθορισμό κάθε λεπτομέρειας σε κάθε φυσική διαδικασία, δεν διέφυγε εντελώς από τη σκέψη των φυσικών τα χρόνια που προηγήθηκαν της ανακάλυψης μιας κβαντομηχανικής με αυτό το γενικό χαρακτήρα. Ωστόσο το ουσιαστικό είναι ότι κάθε απόπειρα να χαλαρώσει ο αυστηρός ντετερμινισμός προχωρούσε και αντιμετωπιζόταν, ως αποτυχία ή εγκατάλειψη της έννοιας της αιτιότητας. Στην ουσία μπορούμε να πούμε ότι η έννοια της αιτιότητας χρησιμοποιείται ως ισοδύναμη με τους νόμους της κλασικής μηχανικής, με τη διατήρηση της ενέργειας και της ορμής, με την εξ επαφής δράση ή με την περιγραφή με διαφορετικές εξισώσεις. Και πάλι όμως, σε πολλές περιπτώσεις, αυτοί οι ειδικοί ορισμοί της αιτιότητας προωθούνταν σε συνδυασμό με τον ισχυρισμό ότι ο νόμος της αιτιότητας δεν ισχύει.

### 3.2 Μεταστροφή στην θεωρία της μη αιτιότητας

Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα αυτής της εργασίας είναι η μεταστροφή των φυσικών στην θεωρία της μη αιτιότητας. Για να εξετάσουμε αυτό το θέμα πρέπει να ξεκινήσουμε από το 1919, όταν τυπώθηκαν οι Διαλέξεις για τη φυσική θεμελίωση των φυσικών επιστημών του Έξνερ, ο οποίος ήταν τότε εβδομήντα ετών. Στις διαλέξεις αυτές ο Έξνερ ισχυρίζεται ότι κανένας από τους νόμους της φύσης δεν είναι ακριβής. Επομένως κάνει το νοητικό άλμα προς το συμπέρασμα ότι η αιτιότητα δεν υφίσταται. Χαρακτηριστικά λέει ότι αν εξετάσουμε από πολύ κοντά και για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα την κίνηση της πτώσης ενός σώματος, θα δούμε ότι είναι απολύτως τυχαία, ότι το σώμα κατευθύνεται προς τα πάνω τόσο συχνά όσο και προς τα κάτω. Σχετικά με την φαινομενική συμμόρφωση προς το νόμο, που ανακαλύπτουμε σε μακροσκοπικό επίπεδο, ο Έξνερ λέει ότι όλοι οι μακροσκοπικοί φυσικοί νόμοι είναι κατ' ουσίαν στατιστικού χαρακτήρα και η κανονικότητα προκύπτει με μη καθορισμένο τρόπο από τη σύμπραξη των τυχαίων κινήσεων. Η εικασία ότι όλοι οι μακροσκοπικοί νόμοι είναι κατ' ουσίαν στατιστικοί, δεν ήταν κάτι καινούργιο. Το καινοφανές είναι το άλμα από αυτή την υπόθεση στο συμπέρασμα ότι

δεν ισχύει η αιτιότητα. Καμία αιτιολόγηση δεν υπάρχει γι' αυτό το άλμα και ο Έξνερ δεν θίγει καν το πρόβλημα για το πώς οι απολύτως μη αιτιακές μικροσκοπικές κινήσεις καταλήγουν σε στατιστικές κανονικότητες. Ο Έξνερ ουσιαστικά υιοθετεί μια ριζικά εμπειριστική στάση καθώς έλεγε χαρακτηριστικά ότι οι απόλυτα αυστηροί νόμοι είναι δημιουργία του ανθρώπου και όχι μέρος της φύσης. Επομένως δεν έχουμε καν το δικαίωμα να διατυπώσουμε το αξίωμα για την ύπαρξη μιας απόλυτης αιτιότητας, πολύ λιγότερο μάλιστα να θέτουμε ως βάση ότι αυτή είναι αναγκαία προκειμένου να κατανοήσουμε εμείς τη φύση. Η φύση δεν ρωτάει εάν ο άνθρωπος την καταλαβαίνει ή όχι, κι εμείς δεν είμαστε εδώ για να κατασκευάσουμε μια φύση που να μπορεί να ανταποκριθεί στην αντιληπτική μας ικανότητα. Θεωρούσε ότι καθήκον μας είναι απλώς να συμφιλιωθούμε με αυτό που είναι δεδομένο όσο καλύτερα μπορούμε. (P. Parrini, W. Salmon 2003) Αυτό που θέλει ο Έξνερ είναι να αρνηθεί την ύπαρξη της αιτιότητας στο μικροσκοπικό επίπεδο, προκειμένου να φτάσει σε μια ενοποιημένη εικόνα για τον κόσμο, στην οποία όλοι οι νόμοι να είναι καθαρά στατιστικοί, δηλαδή να φτάσει σε μια εικόνα για ένα κόσμο καθαρής τυχαιότητας. Κατά συνέπεια, κάνει ό,τι μπορεί ώστε να πείσει το ευρύτερο κοινό για το αβάσιμο της ύπαρξης ενός αιτιακού υπόβαθρου, αμφισβητώντας ακόμα και την εγκυρότητα των νόμων της κλασικής μηχανικής στο ατομικό επίπεδο.

Σε γενικές γραμμές οι απόψεις του Έξνερ είχαν μεγάλη απήχηση, αλλά γενικότερα διακρίνονταν από μια αύρα παρελθοντική. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο Έξνερ είναι ένα περίεργο μείγμα των φιλοσοφικών ρευμάτων των δυο προηγούμενων γενεών. Ήταν δηλαδή, μηχανικιστής – υλιστής σύμφωνα με δική του ομολογία κι ωστόσο ήταν και ένας ξεκάθαρος θετικιστής ως προς την άποψή του για τις επιστημονικές κατασκευές. Σχετικά με τη Φιλοσοφία της ζωής και τον υπαρξισμό που θα κρατούσαν πρωταγωνιστικό ρόλο στις περισσότερες από τις μετέπειτα περιπτώσεις προσηλυτισμού στο δόγμα της μη αιτιότητας δεν κάνει σχεδόν καμία νύξη. Οι πιο πρόσφατες εξελίξεις στη φυσική, στις οποίες αναφέρεται, είναι η ραδιενέργεια και η κίνηση Μπράουν. Στις προσπάθειές του να αμφισβητήσει τον αιτιακό χαρακτήρα των ατομικών διαδικασιών παραλείπει να χρησιμοποιήσει οποιουδήποτε είδους κβάντο. Επομένως η πρώτη περίπτωση απόρριψης της αιτιότητας σαφώς και δεν έχει σχέση με τα προβλήματα που έθετε η κβαντική θεωρία του ατόμου ή η ακτινοβολία.

Πέρα από τον Έξνερ ένας ακόμη που εκφράστηκε κατά της αιτιότητας την ίδια χρονική περίοδο ήταν και ο Βάυλ (Paul Forman 1971). Ο Βάυλ ασπαζόταν τη φαινομενολογία, αλλά όχι με τον τρόπο που την υποστήριζαν οι υποστηρικτές του Ερνστ Μαχ (Ernst Mach), με τους οποίους μοιραζόταν παλαιότερα τις ίδιες πεποιθήσεις. Ο Βάυλ είχε επηρεαστεί από το πρόγραμμα της καθαρής φαινομενολογίας του Έντμουντ Χούσερλ (Edmund Husserl). Αυτή η φαινομενολογία στηριζόταν στην έντονη ενδοσκόπηση και είχε προκύψει μέσα από επιστημολογικούς προβληματισμούς. Σταδιακά ο Βάυλ εξελίχθηκε στον βασικό υπέρμαχο του ιντουισιονισμού.<sup>2</sup> Ουσιαστικά ο Βάυλ διέκρινε μια στενή σχέση ανάμεσα στον ιντουισιονισμό στα μαθηματικά και τη μη αιτιότητα στη φυσική. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στο πρώτο μανιφέστο του κατά της αιτιότητας, το οποίο είχε τίτλο: “Η σχέση της αιτιακής με τη στατιστική προσέγγιση στη φυσική” και εκδόθηκε τον Αύγουστο του 1920. Για την ιστορία είναι ενδιαφέρον να αναφέρουμε ότι το φθινόπωρο του 1919, ο Βάυλ δεν είχε ακόμα διαμορφώσει τη θέση στην οποία κατέληξε τον Αύγουστο του 1920 και πιο συγκεκριμένα, δεν είχε ακόμη προχωρήσει στη συσχέτιση ανάμεσα στον ιντουισιονισμό στα μαθηματικά με την απόρριψη της αιτιότητας και της καθαρής νομοκρατούμενης φυσικής.

Ο Βάυλ αποφάσισε να εγκαταλείψει το ιδανικό μιας καθαρής φυσικής του πεδίου για την οποία είχε δουλέψει πολύ σκληρά και είχε σημειώσει εντυπωσιακές επιτυχίες, προκειμένου να υιοθετήσει ως ύστατη πραγματικότητα την ύλη. Το πεδίο και οι νόμοι του, ήταν τώρα ένα απλό σκηνικό. Αυτό συνέβη διότι ο ίδιος ήθελε να ξεφύγει από την αιτιότητα που εμπεριείχε η έννοια του πεδίου. Το φθινόπωρο του 1919, ο Βάυλ δεν κάνει λόγο για το κβάντο δράσης του Πλανκ. Προφανώς, δεν του είχε περάσει ακόμη από το μυαλό ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει την κβαντική θεωρία για να δώσει μια αληθοφανή φυσική βάση στην απόρριψη της αιτιότητας, στην οποία προχώρησε με υπαρξιστικούς όρους. Ένα χρόνο μετά, το φθινόπωρο του 1920, ο Βάυλ τελικά κατέφυγε στην κβαντική θεωρία, η οποία του επέβαλε να δηλώσει ρητά ότι η φυσική, στην κατάσταση την οποία βρίσκεται, δεν είναι πλέον ικανή να υποστηρίξει ότι η υλική φύση είναι ένα κλειστό αιτιακό σύστημα που βασίζεται σε αυστηρούς νόμους.

---

<sup>2</sup> Ο ιντουισιονισμός υπήρξε ένα φιλοσοφικό κίνημα στο χώρο των μαθηματικών που υποστήριζε ότι τα μαθηματικά είναι ανεξάρτητα από τη γλώσσα, από τη λογική και από την εμπειρία σε σχέση με τον εξωτερικό κόσμο.

Ο Βάυλ συνήθιζε να λέει ότι η απόρριψη της αιτιότητας αποκαθιστά το γεγονός ότι ο χρόνος ακολουθεί μια μόνο κατεύθυνση. Αυτό ήταν το θεμελιωδέστερο γεγονός όσον αφορά την εμπειρία μας για το χρόνο. Επομένως η ύλη όχι μόνο ανακτά την παλαιά της αξίωση επί της πραγματικότητας, αλλά επίσης και η αυθεντική ιδέα της αιτιότητας, όπως τη βιώνουμε άμεσα στη βούληση μας, αποκτά νέα ζωή. Η πρωταρχική πραγματικότητα στην οποία θα τοποθετούσε ο Βάυλ την ύλη δεν είναι μια πραγματικότητα προσιτή στη φυσική γνώση. Έτσι λοιπόν, το καλοκαίρι του 1924, όταν εξωθεί τη θεωρία του για την ύλη στο λογικό συμπέρασμα της, ο Βάυλ οδηγείται πίσω στην έννοια του πεδίου θεωρώντας την ως την πρωταρχική φυσική πραγματικότητα.

Τελικά ο Βάυλ κατέληξε στο ότι είχε βρει μια οδό διαφυγής από την πρόταση ότι οι κλασικές θεωρίες πεδίου ενσωματώνουν και επιβάλλουν την έννοια της αιτιότητας. Σε ένα ημι-εκλαϊκευτικό άρθρο υπό μορφή διαλόγου, ο Βάυλ υποστήριξε ότι συμφωνεί με τη γενική θεωρία της σχετικότητας, διότι η έννοια της σχετικής κίνησης πολλών σωμάτων μεταξύ τους είναι τόσο λίγο υποστηρίξιμη όσο και εκείνη της απόλυτης κίνησης ενός και μόνο σώματος. Επομένως η αρχή της αιτιότητας, μη έχοντας την ικανότητα να συμπεριλάβει αυτές τις καταστάσεις της κίνησης, που είναι αβάσιμες, ανάγεται στον ισχυρισμό ότι ο κόσμος των συμβάντων εξαρτάται μόνο, και πρέπει να καθορίζεται σαφώς από το φορτίο και τη μάζα όλων των υλικών σωματιδίων. Εφ' όσον αυτό είναι προφανώς παράλογο, καταλήγει στο ότι πρέπει να εγκαταλείψουμε αυτή την αρχή της αιτιότητας. (W. Salmon 1979) Το παράδειγμα της μεταστροφής στη μη αιτιότητα του Βάυλ, το ακολούθησαν πολλοί φυσικοί στη Γερμανία το καλοκαίρι του 1921. Ήταν σαν να αφυπνίστηκαν ξαφνικά όλοι μαζί και ο ένας φυσικός μετά τον άλλο άρχισαν να αποτάσσονται δημοσίως το δόγμα της αιτιότητας ενώπιον του ευρύτερου ακαδημαϊκού ακροατηρίου και να εξαγγέλλουν τα χαρμόσινα νέα ότι οι φυσικοί είναι έτοιμοι να απελευθερώσουν τον κόσμο από τα δεσμά της αιτιότητας. Οι πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις φυσικών που ακολούθησαν το παράδειγμα του Βάυλ, ήταν αυτές των: Βάλτερ Σότκι τον Ιούνιο του 1921, Φον Μίζες τον Σεπτέμβριο της ίδιας χρονιάς και Βάλτερ Νερνστ τον Οκτώβριο.

Ας ξεκινήσουμε εξετάζοντας τη μεταστροφή του Φον Μίζες στη μη αιτιότητα, καθώς αυτή η περίπτωση έχει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι καταδεικνύει πόσο



ξαφνικά μπορούσε να λάβει χώρα αυτή η πνευματική αναγέννηση, αλλά και το πόσο ανεξάρτητη ήταν από τις δυσκολίες που αντιμετώπιζε η ατομική φυσική. Επίσης στην μεταστροφή του Φον Μίζες βλέπουμε, πώς ένας πιστός απόγονος του αυστριακού θετικισμού απορρίπτει την αιτιότητα. Για να τα δούμε όμως όλα αυτά ας ξεκινήσουμε από μια ομιλία που είχε κάνει, τον Φεβρουάριο του 1920 στο Πολυτεχνείο της Δρέσδης, η οποία δημοσιεύθηκε τον Αύγουστο της ίδιας χρονιάς. Στην ομιλία αυτή φαίνεται ότι ο Φον Μίζες είχε εκλάβει την αιτιότητα ως μια ισοδύναμη με τη φυσική ερμηνεία. Ο Φον Μίζες θεωρούσε τότε δεδομένο ότι στόχος της ατομικής φυσικής, καθώς και όλων των φυσικών επιστημών, είναι και πρέπει να είναι το να ερμηνεύσουν όλα αυτά τα φαινόμενα στηριζόμενες σε πολύ λίγες αρχές και έτσι να αποκαλύψουν τον αιτιακό χαρακτήρα τους.

Τον Σεπτέμβριο του 1921, από μια ομιλία του φαίνεται ξεκάθαρα ότι η στάση του απέναντι στην αιτιότητα έχει πλέον αλλάξει εντελώς. Κάθε ηλεκτρική, κάθε θερμική, κάθε οπτική διαδικασία συνιστά πλέον στατιστικό φαινόμενο για τον Φον Μίζες και ως τέτοιο είναι θεμελιωδώς ασύμβατο προς την έννοια της αιτιότητας. Στην ομιλία του αυτή αναφέρει ότι η κβαντική θεωρία και όλα όσα συνδέονται με αυτή εμφανίζονται ως άλυτος γρίφος. Λέει ότι όποιος ανατρέξει στην ιστορία της φυσικής γνώσης δεν μπορεί παρά να αναγνωρίσει ότι εδώ τίθεται ως αμείλικτο αίτημα και προετοιμάζεται σταδιακά μια ουσιώδης μεταβολή του τρόπου σκέψης μας, του συνολικού σχήματος της φυσικής ερμηνείας.

Ουσιαστικά ο Φον Μίζες επικαλέστηκε την κβαντική θεωρία ως αφορμή για να απορρίψει την αιτιότητα. Βέβαια δεν την έβλεπε ως κάτι περισσότερο από αφορμή, αφού ο δικός του κλάδος της εφαρμοσμένης κλασικής μηχανικής εξακολουθούσε να μένει προσδεδμεμένος στην αιτιότητα. Στο πρώτο από τα ετήσια συνέδρια των Γερμανών φυσικομαθηματικών του 1921, ο Φον Μίζες έδωσε στους συναδέλφους του μια διάλεξη με θέμα: Η σημερινή κρίση στη μηχανική. Στην διάλεξη αυτή ο Φον Μίζες απορρίπτει το δύσκαμπτο αιτιακό οικοδόμημα της κλασικής μηχανικής και με το ύφος του παρουσιάζει στους συναδέλφους του αυτή την απόρριψη ως ηθική πράξη.

Εκτός όμως από τον Φον Μίζες, το παράδειγμα του Βάλν για αποκήρυξη της αιτιότητας το ακολούθησε με την σειρά του και ο: Βάλτερ Σότκι. Ο Σότκι φαίνεται ότι υπήρξε ο πρώτος ατομικός φυσικός που δημοσίευσε ένα μανιφέστο υπέρ της μη

αιτιότητας, που αφορούσε στο πρόβλημα της αιτιότητας στην κβαντική θεωρία, ως βασικό ερώτημα της σύγχρονης φυσικής επιστήμης στο σύνολό της. Τον Ιούνιο του 1921 δημοσιεύτηκε ένα άρθρο του Σότκι, το οποίο είχε τίτλο: Μια προσπάθεια εκλαΐκευσης. Το άρθρο αυτό λέγεται ότι ήταν η διευρυμένη εκδοχή κάποιας διάλεξης του, ίσως της εναρκτήριας διάλεξης του ως καθηγητή θεωρητικής φυσικής στο Πανεπιστήμιο του Βίρτσμπουργκ, από το οποίο είχε πρόσφατα λάβει την υφηγεσία του, μετά από σειρά ετών στα ερευνητικά εργαστήρια της εταιρείας Siemens & Halske, στο Βερολίνο. Στο πρώτο μέρος του άρθρου, ο Σότκι αναπτύσσει την υπόθεση ότι το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και οι μεταβλητές του είναι ξοφλημένη υπόθεση. Διότι, αν δεν γνωρίζουμε τους νόμους της αλληλεπίδρασης των ατόμων με την ακτινοβολία, αλλά μπορούμε να παρατηρήσουμε μόνο τις ποσότητες του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου χάρη στην αλληλεπίδρασή τους με την ύλη, τότε αυτές οι μεταβλητές κατάστασης της θεωρίας πεδίου δεν έχουν πλέον καμία απολύτως σημασία για την επιστημονική έρευνα. Ο Σότκι θέτει το ερώτημα: τι είδους παρατηρήσιμες ποσότητες και τι είδους συσχετίσεις μεταξύ τους θα πάρουν τη θέση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου; Η απάντηση σε αυτό του το ερώτημα είναι ότι: ο ίδιος ο νόμος της αιτιότητας, με την πλήρη υπαγωγή των μελλοντικών φαινομένων στα παρόντα και τα παρελθόντα φαινόμενα φαίνεται ότι αμφισβητείται.

Στο δεύτερο μέρος του άρθρου του αναφέρεται στις εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και τονίζει ότι η λύση στο πρόβλημα της αλληλεπίδρασης μεταξύ ατόμων και ακτινοβολίας πρέπει να ακυρώνει την αιτιότητα. Η πρώτη υπόθεση του Σότκι είναι η συχνά επανερχόμενη εικασία ότι οι εξισώσεις πεδίου καθορίζουν απλώς το ρυθμό με τον οποίο λαμβάνουν χώρα οι στοιχειώδεις κβαντικές διαδικασίες. Αυτή η εκ πρώτης όψεως πολύ ελκυστική υπόθεση, ουσιαστικά δεν οδηγεί πουθενά. Αυτό, του το επισήμανε και ο Αϊνστάιν, λέγοντάς του ότι οι νόμοι διατήρησης της ενέργειας δεν εκπληρώνονται με πλήρη ακρίβεια και κατά τη διάρκεια ικανά μακρού χρόνου θα μπορούσε να προκύψει εκ του μηδενός μια κίνηση με αυθαίρετα μεγάλη ταχύτητα.

Ο Σότκι πίστευε ότι υπάρχει άμεση σύνδεση ανάμεσα στην ατομική εκπομπή και την ατομική απορρόφηση μέσω επιβραδυνόμενης δράσης από απόσταση, έτσι ώστε τη στιγμή που εκπέμπεται ένα κβάντο να είναι ήδη προκαθορισμένο πού, πότε και από ποιο άτομο θα απορροφηθεί. Αυτή του η άποψη μπορεί να δείχνει αιτιακή,

όμως από το μυαλό του δεν πέρασε ποτέ αυτή η σκέψη. Στην ουσία αυτό που βλέπει ο Σότκι είναι η αποτυχία της αιτιότητας και αυτό φαίνεται καθώς, βεβαιώνει κατηγορηματικά ότι οι στοιχειώδεις ενέργειες εκπομπής και απορρόφησης είναι απροσδιόριστες, χωρίς άμεσο αίτιο και χωρίς άμεσο αποτέλεσμα. Βρίσκονται δηλαδή, έξω από τη σχέση αιτίου και αποτελέσματος. Πέρα όμως κι από τον Σότκι, ένας ακόμη που ακολούθησε το παράδειγμα του Βάυλ και αποκήρυξε την αιτιότητα ήταν και ο Βάλτερ Νερνστ. Ο Νερνστ ήταν Γερμανός φυσικοχημικός, ο οποίος βοήθησε στη θεμελίωση της σύγχρονης φυσικοχημείας και συνεισέφερε στην ηλεκτροχημεία, τη θερμοδυναμική και τη χημεία στερεάς κατάστασης (G. Hans - P. Rudolf 2007). Πέρα όμως από αυτά υπήρξε και ένας από τους πρωτοπόρους, που αποκήρυξε την αιτιότητα σε μια ομιλία του, τον Οκτώβριο του 1921, στο Πανεπιστήμιο του Βερολίνου. Το πιο εντυπωσιακό σε αυτή την ομιλία ήταν η αποφασιστικότητα και η βεβαιότητα που έδειξε ο Νερνστ στο να αποδείξει την αποτυχία της αιτιότητας. Στην ομιλία του είπε ότι αν η πορεία όλων των συμβάντων ελεγχόταν από απόλυτα αυστηρούς φυσικούς νόμους, τότε στην πραγματικότητα δεν θα μπορούσε κανείς σχεδόν να ξεφύγει από αυτή την κατάληξη. Όμως, η φιλοσοφία έχει υιοθετήσει αυτή τη στάση μόνο επειδή καταδυναστεύεται από τις θετικές φυσικές επιστήμες, οι οποίες αντιλαμβανόμενες την αρχή της αιτιότητας ως απολύτως άτεγκτο φυσικό νόμο έδεσαν χειροπόδαρα το νου. Επομένως, η υποχρέωση της έρευνας στη φυσική επιστήμη σήμερα είναι να χαλαρώσει αυτά τα δεσμά τόσο ώστε να μην εμποδίζεται πλέον η ελεύθερη κίνηση της φιλοσοφικής σκέψης.

Σε γενικές γραμμές αυτό που είπε ο Νερνστ είναι ότι, η αρχή της αιτιότητας συνεπάγεται με την ύπαρξη ακριβών φυσικών νόμων, αλλά κανείς από τους φυσικούς νόμους τους οποίους γνωρίζουμε δεν είναι ακριβής, επομένως δεν ισχύει η αιτιότητα. Επίσης είπε ότι, ακόμη κι αν οι κινήσεις των μεμονωμένων μορίων ακολουθούσαν ακριβείς νόμους, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι διακυμάνσεις στο σημείο μηδέν της ενέργειας του αιθέρα διαταράσσουν αυτές τις κινήσεις. Σύμφωνα με το νόμο της αιτιότητας, στην περίπτωση ταυτόσημων αρχικών συνθηκών δυο διαφορετικά συστήματα θα πρέπει να ακολουθούν ταυτόσημες πορείες ως προς τις μεταβολές τους. Τώρα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι δυο συστήματα αυτού του είδους δεν είναι καν υλοποιήσιμα. Φυσικά, ο Νερνστ δεν σκιαγραφεί εκ των προτέρων μια θεωρία κβαντικού πεδίου, στην οποία οι διακυμάνσεις του αιθέρα είναι κατ' αρχήν απροσδιόριστες, αλλά μάλλον υποθέτει ότι όπως σε κάθε κλασικό πεδίο, ο χρόνος, ο

τόπος και ο τρόπος αυτών των διακυμάνσεων θα ήταν πλήρως καθορισμένοι, εάν ήμασταν σε θέση να προσδιορίσουμε την κατάσταση του αιθέρα συνολικά.

Επομένως, φαίνεται ότι αν και ο Νερνστ επιθυμεί με όλη του την καρδιά να απορρίψει την αιτιότητα, δεν είναι σε θέση να ελευθερωθεί από την παραδοχή ότι ο κόσμος είναι στην πραγματικότητα αιτιώδης. Αυτό είχε αρχίσει να το αντιλαμβάνεται από την άνοιξη του 1922, όταν αναδημοσιεύτηκε η ομιλία του στο Die Naturwissenschaften. Τότε πρόσθεσε ένα υστερόγραφο επισημαίνοντας ότι οι περισσότερες θρησκείες υποστηρίζουν πως όλα τα γεγονότα προκύπτουν σύμφωνα με τη βούληση μιας ύψιστης διάνοιας, επομένως υπόκεινται σε απόλυτη λογική, πράγμα που συμφωνεί με την αρχή της αιτιότητας. Σύμφωνα με τον Νερνστ το ζήτημα δεν είναι αν θεωρούμε ότι ισχύει απαρέγκλιτα η αρχή της αιτιότητας, αλλά κατά πόσο θεωρούμε ότι οι φυσικές διαδικασίες είναι κατανοητές, διότι σε πολλές περιπτώσεις ο ανθρώπινος νους δεν είναι σε θέση να ακολουθήσει τις φυσικές διαδικασίες μέχρι τις τελευταίες τους λεπτομέρειες. Αυτή ήταν μια από τις απόψεις τις οποίες υποστήριζε έντονα ο Νερνστ, διότι πίστευε ότι μόνο τις στατιστικές μέσες τιμές της πορείας των συμβάντων είμαστε σε θέση να συλλάβουμε με τη φυσικο – επιστημονική μας γνωστική ικανότητα. Επομένως, για μια ακόμη φορά βλέπουμε ότι η απόρριψη της αιτιότητας είναι στην πραγματικότητα απόρριψη του ίδιου του λόγου, αλλά και της γνωσιακής φιλοσοφίας που υποστήριζαν μέχρι τότε οι φυσικοί.

Σ' αυτό το σημείο, έχοντας εξετάσει τις περιπτώσεις των: Φον Μίζες, Βάλτερ Σότκι και Βάλτερ Νερνστ, δηλαδή τις τρεις πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις επιστημόνων που ακολούθησαν το παράδειγμα του Βάλ και απέρριψαν την αιτιότητα, βλέπουμε ότι υπάρχει μια χρονική σύμπτωση μεταξύ τους. Αυτό υποδηλώνει ότι την περίοδο εκείνη (1921-1922), γεννήθηκε το κύμα μεταστροφών προς την αρχή της μη αιτιότητας. Αν μάλιστα αναλογιστούμε ότι εκείνη την περίοδο δεν υπήρχαν συγκεκριμένες εξελίξεις στη φυσική, από τις οποίες θα μπορούσαμε εύλογα να θεωρήσουμε ότι απορρέουν αυτές οι μη αιτιακές πεποιθήσεις, τότε δεν μπορούμε παρά να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι έχουμε να κάνουμε στην ουσία με μια συνθηκολόγηση με τα διανοητικά ρεύματα του ακαδημαϊκού κόσμου στην Γερμανία.

### 3.3 Μεταγενέστερες μεταστροφές στη μη αιτιότητα

Πέρα από τη μεταστροφή των Φον Μίζες, Βάλτερ Σότκι και Βάλτερ Νερνστ, δυο ακόμη πολύ σημαντικές περιπτώσεις επιστημόνων οι οποίοι απέρριψαν με την σειρά τους την αιτιότητα, ακολούθησαν το επόμενο διάστημα. Η πρώτη ήταν αυτή του Έρβιν Σρέντινγκερ, ο οποίος το φθινόπωρο του 1921 πήγε στη Ζυρίχη ως καθηγητής θεωρητικής φυσικής στο πανεπιστήμιο και ήρθε σε επαφή με τον Βάουλ. Ο Σρέντινγκερ μέχρι τότε θα μπορούσαμε να πούμε ότι ήταν ένας πιστός υποστηρικτής της αιτιότητας και δεν έδειχνε σε καμία περίπτωση αρνητικός, ως προς το ζήτημα της αιτιότητας. Η γνωριμία του με τον Βάουλ και οι συνεχείς κουβέντες που έκαναν εκείνο το διάστημα, κατάφεραν να κλονίσουν την πίστη του στην αιτιότητα κι έτσι ένα χρόνο αργότερα, ο Σρέντινγκερ σε μια ομιλία του παρουσίασε κι αυτός ένα μανιφέστο κατά της αιτιότητας, το οποίο είχε πολλές ομοιότητες με εκείνα των: Φον Μίζες, Σότκι και Νερνστ.

Στην ομιλία του ο Σρέντινγκερ είπε ότι η αρχή της αιτιότητας είναι το αξίωμα ότι κάθε φυσική διαδικασία ή συμβάν είναι απόλυτα και ποσοτικά προσδιορισμένο τουλάχιστον μέσα από το σύνολο των περιστάσεων ή των φυσικών συνθηκών που συνοδεύουν την εμφάνισή του. Επίσης είπε ότι τις τελευταίες τέσσερις ή πέντε δεκαετίες, η φυσική έρευνα έδειξε πολύ καθαρά ότι τουλάχιστον για τη συντριπτική πλειονότητα των φαινομένων, το κοινό στοιχείο της παρατηρούμενης αυστηρής νομοκρατίας είναι η τυχαιότητα. Τώρα, στο βαθμό που οι φυσικοί νόμοι είναι στατιστικοί, δεν απαιτούν τον αυστηρό αιτιακό προσδιορισμό των μεμονωμένων μοριακών συμβάντων. Ο Σρέντινγκερ θεωρούσε ότι δεν είναι καθόλου ικανοποιητικός ο διττός χαρακτήρας των φυσικών νόμων, που συνάγεται από την υπόθεση ότι στον μικρόκοσμο ισχύει απαρέγκλιτα η αιτιότητα. Σχετικά με αυτό στην ομιλία του είπε χαρακτηριστικά ότι ο κόσμος των ορατών φαινομένων που διέπεται από τη στατιστική και άρα από την έννοια του καθαρού αριθμού, μας είναι σαφώς καταληπτός, αλλά πίσω από αυτόν υπάρχει μια σκοτεινή, αιώνια ακατάληπτη προσαγή, ένα αινιγματικό πρέπει. Στη συνέχεια συνεχίζει την ομιλία του λέγοντας ότι η λύση στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουμε στην ατομική φυσική θα εξαρτηθεί από την απελευθέρωση από τη βαθιά ριζωμένη προκατάληψη της απόλυτης αιτιότητας.

Από την ομιλία αυτή βλέπουμε ότι ο Σρέντινγκερ, ένας από τους πιο πιστούς υποστηρικτές της αιτιότητας μέχρι τότε, αποκηρύσσει κι αυτός την αιτιότητα προκειμένου να μπορέσει να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που υπάρχουν στην ατομική φυσική. Ένα ακόμη ξεκάθαρο παράδειγμα μιας αποκήρυξης της αιτιότητας τα χρόνια που προηγήθηκαν, ήταν και η μεταστροφή του Χανς Ράιχενμπαχ. Ο Ράιχενμπαχ ήταν ένας κορυφαίος φιλόσοφος της επιστήμης, εκπαιδευτικός και υποστηρικτής του λογικού εμπειρισμού.<sup>3</sup> Μέχρι και σήμερα το έργο και οι απόψεις του έχουν επηρεάσει πολύ τους τομείς της επιστήμης, της εκπαίδευσης και του λογικού εμπειρισμού. Ο Ράιχενμπαχ παρακολούθησε τις διαλέξεις του Αϊνστάιν σχετικά με τη θεωρία της σχετικότητας στο Βερολίνο, από το 1917 έως το 1920. Το 1920 άρχισε να διδάσκει στο Technische Hochschule της Στουτγάρδης, ενώ την ίδια χρονιά δημοσίευσε και το πρώτο του βιβλίο, για τις φιλοσοφικές επιπτώσεις της θεωρίας της σχετικότητας. Μέχρι και το 1924 ο Ράιχενμπαχ εξακολουθούσε να είναι πιστός υποστηρικτής του ιδεώδους της αιτιότητας. Για πρώτη φορά τον Αύγουστο του 1925, ο Ράιχενμπαχ στην αρχική παράγραφο ενός εκλαϊκευμένου άρθρου του με θέμα: “Οι νόμοι των πιθανοτήτων και οι αιτιακοί νόμοι” υποστήριξε ότι ο νόμος της αιτιότητας, είναι η προϋπόθεση για την εφαρμογή των μαθηματικών στη φυσική και, άρα, η προϋπόθεση για να είναι η φυσική θετική επιστήμη. Όμως, όσο προχωράει το άρθρο τόσο γίνεται και πιο φανερό ότι η πίστη του Ράιχενμπαχ στην αιτιότητα έχει αρχίσει να κλονίζεται. Αυτό φαίνεται διότι λέει ότι δεν επιτρέπεται να πει κάποιος ότι κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες είναι δυνατό να βρεθεί μια αιτιακή ερμηνεία στο ατομικό επίπεδο. Επίσης αναφέρει ότι η απόφαση σε αυτό το ζήτημα εναπόκειται στην ίδια τη φυσική και δεν μπορεί να ληφθεί από τη φιλοσοφία.

Δυο μήνες αργότερα ο Ράιχενμπαχ έγραψε ένα ακόμη άρθρο με τίτλο: Η αιτιακή δομή του κόσμου. Το εισαγωγικό μέρος του άρθρου έχει τον τίτλο: “Ντετερμινισμός και το πρόβλημα του τώρα” και εκεί ουσιαστικά ο Ράιχενμπαχ λέει ότι για τη φυσική, η υπόθεση της αιτιότητας είναι απολύτως κενή. Επομένως, πρέπει να απορριφθεί και στη θέση της να τεθεί η έννοια της πιθανότητας, που θεωρείται θεμελιώδης και μη αναγώγιμη.

---

<sup>3</sup> Ο λογικός εμπειρισμός είναι ένα φιλοσοφικό ρεύμα που κυριαρχούσε στο χώρο της επιστημολογίας κατά τη χρονική περίοδο 1920-1960 και πρέσβευε ότι κάθε έγκυρη επιστημονική θεωρία, στην πιο εξελιγμένη της φάση απορρέει από και θεμελιώνεται στην εμπειρία.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε ότι η περίπτωση του Ράιχενμπαχ είναι σίγουρα ακραία, διότι έχουμε να κάνουμε με μια πολύ ξαφνική μεταστροφή στο δόγμα της μη αιτιότητας και με μια αδιαμφισβήτητη ανεξαρτησία από τις πρόσφατες εξελίξεις στην ατομική φυσική. Βέβαια και οι προηγούμενες περιπτώσεις που είδαμε και ιδιαίτερα εκείνες των: Φον Μίζες και Σρέντινγκερ, παρουσιάζουν, έως ένα βαθμό, τα ίδια χαρακτηριστικά. Είχαν δηλαδή, στοιχεία αναγέννησης και μετάνοιας για τα παρελθόντα λάθη.

Οι νεοφώτιστοι, όπως συμβαίνει πολλές φορές σε αντίστοιχες περιπτώσεις, είχαν τέτοιο ενθουσιασμό στο να αποδείξουν ότι αυτή η απόρριψη της αιτιότητας είναι αναγκαία, ώστε οποιοδήποτε επιχείρημα και να πρόβαλε ένας φυσικός για να αποδείξει την αποτυχία της αιτιότητας θα έπρεπε να γίνεται αποδεκτό από το κοινό αβασάνιστα και με ενθουσιασμό. Και εάν αναλογιστούμε ότι το ακροατήριο στο οποίο απευθύνονταν οι περισσότερες από αυτές τις αποκηρύξεις της αιτιότητας ήταν ολόκληρη η πανεπιστημιακή κοινότητα, που συγκεντρώνονταν με την ευκαιρία κάποιας δημόσιας τελετής του εκάστοτε πανεπιστημίου, τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι είναι εύλογο να ερμηνεύσουμε αυτές τις αποκηρύξεις ως προσπάθειες να αλλάξει η δημόσια εικόνα του θεωρητικού φυσικού ως “σκληροπυρηνικού υποστηρικτή της αιτιότητας”, που ήταν μέχρι τότε.





## Κεφάλαιο 4

### Πιστοί στην αιτιότητα

#### 4.1 Αυτοί που αντέδρασαν

Σε κάθε μεγάλη επιστημονική επανάσταση πάντα υπάρχουν και αυτοί που αντιδρούν, αυτοί που μένουν πιστοί στις ιδέες τους και δεν διατίθενται να τις εγκαταλείψουν για κανένα λόγο. Έτσι και στην περίπτωση μας αρκετοί μεγάλοι φυσικοί αντέδρασαν στην απόρριψη της αιτιότητας και αυτές τις αντιδράσεις αξίζει να τις δούμε.

Ας πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή. Προς τα τέλη του 1921 έκανε την εμφάνισή του το πρώτο μεγάλο κύμα των μεταστροφών στο δόγμα της μη αιτιότητας. Το κύμα αυτό, όπως ήταν φυσικό προκάλεσε την αντίδραση των πιο σημαντικών θεωρητικών φυσικών, οι οποίοι προέβησαν σε δημόσιες εκδηλώσεις υποστηρίζοντας την αρχή της αιτιότητας. Ο Πλανκ και ο Αϊνστάιν, οι οποίοι ήταν συνάδελφοι με τον Νερνστ και τον Φον Μίζες στο πανεπιστήμιο του Βερολίνου, μόλις συνειδητοποίησαν ότι οι συνάδελφοί τους είχαν αποκηρύξει την αιτιότητα, αναστατώθηκαν και αισθάνθηκαν ότι τους πρόδιδαν την αποστολή τους, καθώς έριχναν λάδι στη φωτιά των αντιεπιστημονικών κινημάτων, που έκαναν θραύση τότε στη Γερμανία. Το 1922 και το 1923 βγήκαν δημόσια και οι δυο για να κατακρίνουν αυτή την απεισκευασία και να υπερασπιστούν την αρχή της αιτιότητας, όχι μόνο στο πλαίσιο της φυσικής αλλά και γενικότερα.

Εντούτοις, ένας από τους πρώτους που ύψωσαν τη φωνή τους ήταν ο Ζοζεφ Πετζολτ (Joseph Petzoldt), ένας Γερμανός φιλόσοφος και μεγάλος υποστηρικτής του εμπειρισμού. Ο Πετζολτ έγραψε μια μακροσκελή επιστολή προς τον εκδότη του περιοδικού Die Naturwissenschaften, με τίτλο: “Σχετικά με την κρίση της έννοιας της αιτιότητας”, και στην επιστολή αυτή επικρίνει τον Σότκι και τον Νερνστ για την απόφασή τους να αποκηρύξουν την αιτιότητα. Για τον Σότκι επισημαίνει ότι η δράση από απόσταση που εκτυλίσσεται στο χρόνο είναι απολύτως συμβατή με την έννοια της αιτιότητας, όπως είναι και η δράση από απόσταση που εκτείνεται στο χώρο. Για

τον Νερνστ δηλώνει πως παρότι μπορούμε να συλλάβουμε με το νου το ενδεχόμενο να μην ισχύει η κανονικότητα στη φύση, δεν υπάρχει όριο στις δυνατότητες κατανόησης.

Ο Νερνστ δεν απάντησε στον Πετζολτ, αλλά ο Σότκι του απάντησε με επιχειρήματα όμως πολύ αδύναμα, αόριστα και ανειλικρινή. Στην απάντησή του ο Σότκι λέει στον Πετζολτ ότι οι φυσικοί δεν χαίρονται με την απόρριψη της υπόθεσης ότι όλα τα συμβάντα συνδέονται μεταξύ τους με νόμους, αλλά πρέπει να το αποδεχθούν. Από την απάντηση αυτή, βλέπουμε πόσο λίγο προετοιμασμένοι ήταν οι νεοφώτιστοι για κριτική, σε πόσο δύσκολη θέση τους έφερνε η κριτική και πόσο εύκολα μπορούσε να τους αποστομώσει, οποιοσδήποτε πίστευε στην αιτιότητα.

Λίγες εβδομάδες πριν από τη δημοσίευση της επιστολής του Πετζολτ, ο Πλανκ ως γραμματέας της Πρωσικής Ακαδημίας, με την ευκαιρία της ετήσιας δημόσιας εκδήλωσης προς τιμήν του Λάμπνιτς (Leibniz), επιβεβαιώνει τον υπερβατικό χαρακτήρα του νόμου της αιτιότητας και επικρίνει τον ακαδημαϊκό Νερνστ - χωρίς βέβαια να τον κατονομάζει - για την ανεύθυνη ομιλία του, που είχε ως στόχο να στιγματίσει και να απορρίψει την αιτιότητα. Χαρακτηριστικά ο Πλανκ είπε ότι όταν η υπόθεση των κβάντων θα έχει αναπτυχθεί επαρκώς έτσι ώστε να μπορεί να μιλήσει κανείς για μια κβαντική θεωρία, τότε θα είναι η κατάλληλη στιγμή να εξετάσουμε τις επιπτώσεις της στον επιστημονικό – αιτιοκρατικό τρόπο σκέψης μας. Εν τω μεταξύ, όταν βαδίζουμε στα τυφλά με αυθαίρετα συμπεράσματα ανοίγουμε το δρόμο στις πιο διαφορετικές δυνατότητες, που η πληθώρα τους επιβάλλει να είμαστε προσεκτικοί και να διαθέτουμε κριτικό πνεύμα, πολύ περισσότερο που σήμερα από πολλές πλευρές έχουν αναδυθεί ορισμένοι διόλου ευκαταφρόνητοι κίνδυνοι, οι οποίοι παρεμποδίζουν τη βέβαιη πρόοδο του επιστημονικού έργου. Θεωρούσε ότι πρώτος μεταξύ αυτών των κινδύνων είναι η διείσδυση ενός ανθηρού, αλλά κατ' ουσίαν στείρου ερασιτεχνισμού, που συγχέει και αναμιγνύει την επιστήμη με τη θρησκεία, επιδιώκοντας να δρέψει άμεσα και σχετικά εύκολα τους χρυσούς καρπούς της γνώσης και την ευδαιμονία από το εύχυμο δέντρο της ζωής, σε αντίθεση με τη λεγόμενη σχολαστική ή επαγγελματική επιστήμη, που μόνο με τις επίπονες, παρατεταμένες, εξειδικευμένες μελέτες είναι σε θέση να συλλέξει τον ένα σπόρο μετά τον άλλο στη σιταποθήκη της.

Στις αρχές του επόμενου χρόνου (1923), ο Πλανκ αφιέρωσε ολόκληρη δημόσια ομιλία και πάλι στην Πρωσική Ακαδημία, σε μια απολύτως ασυμβίβαστη και θαρραλέα επιβεβαίωση της αφοσίωσής του στην αρχή της αιτιότητας, όχι μόνο στις φυσικές επιστήμες, αλλά και στις ανθρωπιστικές επιστήμες. Ο Πλανκ γνώριζε ότι σε αυτή την διαμάχη για την αιτιότητα, εάν χώριζε κανείς τους διανοούμενους σε δυο στρατόπεδα, σ' αυτό του νου και σ' εκείνο του συναισθήματος, το μεγαλύτερο μέρος του ακροατηρίου θα εντασσόταν στο δεύτερο στρατόπεδο, διότι πολλά από αυτά που έλεγε θα ακούγονταν στ' αφτιά τους σαν βλασφημία, φτηνή και απαράδεκτη. Παρ' όλα αυτά ο Πλανκ είπε στο ακροατήριό του ότι η υπόθεση μιας αιτιότητας χωρίς εξαιρέσεις, αποτελεί προϋπόθεση και απαραίτητη συνθήκη για την επιστημονική γνώση. Και για να προλάβει τα ζητήματα που θα έθετε η αρχή της αβεβαιότητας και της συμπληρωματικότητας, ο Πλανκ είπε ότι η αιτιότητα είναι υπερβατική, είναι εντελώς ανεξάρτητη από τη συγκρότηση της διάνοιας που διερευνά και ότι θα διατηρούσε τη σημασία της ακόμη και εν πλήρη απουσία του γνωστικού υποκειμένου.

Το καλοκαίρι του 1923, ο Πλανκ με αφορμή το κείμενο που έγραψε για το τεύχος του περιοδικού Die Naturwissenschaften, το οποίο ήταν αφιερωμένο στα δέκα χρόνια του ατόμου του Μπορ, προειδοποίησε τους συναδέλφους του να προσέχουν εκείνους τους φυσικούς - χωρίς να τους κατονομάζει φυσικά, αλλά προφανώς αναφερόταν στον Νερνστ, τον Σρέντινγκερ, αλλά και τον Μπορ - που θέλουν να αποδώσουν στις αρχές της κλασικής θεωρίας μόνο στατιστική σημασία. Ο Πλανκ θεωρούσε ότι εγκαταλείποντας την κλασική δυναμική καταστρέφονται ταυτόχρονα τα θεμέλια της ορθολογικής στατιστικής.

Σε αυτό το σημείο αφού κάναμε μια αναφορά στον Μπορ, έχει ενδιαφέρον να πούμε επίσης ότι ο Μπορ βρισκόταν κοντά στην άποψη, η οποία υποστηρίζεται από διάφορες πλευρές, ότι σε αντίθεση με την περιγραφή των φυσικών φαινομένων από την κλασική φυσική, όπου πρόκειται πάντοτε για ζήτημα στατιστικών αποτελεσμάτων που προκύπτουν από πλήθος μεμονωμένων διαδικασιών, μια περιγραφή των ατομικών διαδικασιών με χωροχρονικούς όρους δεν μπορεί να γίνει χωρίς αντιφάσεις οφειλόμενες στην χρήση εννοιών από την κλασική ηλεκτροδυναμική. Ωστόσο, μόνο το 1924 ο Μπορ αναφέρθηκε σε μια αιτιακή περιγραφή στο χώρο και το χρόνο. Τρία χρόνια αργότερα το 1927, ο Μπορ έπαψε

πλέον να θεωρεί τις περιγραφές των αιτιωδών φαινομένων ισοδύναμες με εκείνες των χωροχρονικών και έτσι ξεκίνησε να τις βλέπει ως συμπληρωματικές.

Επιστρέφοντας τώρα ξανά στον Πλανκ, αξίζει να πούμε ότι αυτός και ο Αϊνστάιν συμφωνούσαν απόλυτα στο θέμα της αιτιότητας και η κοινή τους αντίσταση στο κύμα δυσφορίας απέναντι στην αιτιότητα συνέβαλε στη διατήρηση μιας πολύ καλής σχέσης μεταξύ τους, παρά τη μεγάλη απόκλισή τους ως προς τις πολιτικές και κοινωνικές απόψεις τους.

Ο Αϊνστάιν όμως, εκτός από την επιμονή του να αποδίδει στο επίθετο αιτιακός περίοπτη θέση στους ορισμούς του για το σκοπό και τη λειτουργία της επιστημονικής δραστηριότητας, δεν ασχολήθηκε με δημόσιες και εκλαϊκευτικού τύπου προσπάθειες προώθησης αυτού του θέματος. Υποστήριξε ότι το μείζον εκπαιδευτικό καθήκον της επιστήμης συνίσταται στο να αφυπνίσει στο σύνολο το ιδανικό της αιτιακής γνώσης και να το κρατήσει σε εγρήγορση. Τον Ιούνιο του 1922, απευθυνόμενος σε ευρύτερο ακροατήριο, ο Αϊνστάιν εξέφρασε την άποψη ότι εάν σκεφτούμε τις μεγάλες προόδους που έχουμε κάνει ως προς τη γνώση μας για τη φύση, μπορούμε βάσιμα να αναμένουμε ότι στο μέλλον και αυτό το πρόβλημα της αιτιότητας θα βρει τη λύση του, διότι η ανθρώπινη συνείδηση έχει τις αναγκαίες ικανότητες για την κατανόηση των φυσικών διαδικασιών.

Ένα από τα θέματα που απασχολούσε τον Αϊνστάιν εκείνη την περίοδο και είχε αφιερώσει πολύ χρόνο στην έρευνα του, ήταν η θεωρία πεδίου της γενικής σχετικότητας. Στόχος του ήταν να βρει μια υπερ-αιτιακή λύση στο κβαντικό πρόβλημα με τη βοήθεια καθοριζόμενων συστημάτων διαφορικών εξισώσεων. Σχετικά με αυτό το ζήτημα, ένας ιστορικός της φυσικής ο Ράσελ Μσκόρμμάτκ (Russell McCormach), που ασχολήθηκε με το γενικότερο πρόβλημα της μεταστροφής του Αϊνστάιν στην προσέγγιση του πεδίου, τοποθετεί την αλλαγή προσανατολισμού του μεταξύ των ετών 1907 και 1909, και θεωρεί ότι έκτοτε ο Αϊνστάιν στόχευε σε μια θεωρία πεδίου που θα περιελάμβανε κβαντικές λύσεις και όχι σε μια κβαντική μηχανική (Russell Mc Cormmach 1970). Τον Ιανουάριο του 1920, ο Αϊνστάιν έγραψε στον Μπορν ότι θα πρέπει να αναζητήσουμε έναν υπερκαθορισμό με διαφορικές εξισώσεις κατά τρόπο ώστε οι λύσεις να μην έχουν πλέον το χαρακτήρα του συνεχούς.

Ο Αϊνστάιν ήταν πεπεισμένος ότι οι συναδέλφοί του φυσικοί βιάζονταν να χαιρετίσουν την αποτυχία της αιτιότητας χωρίς να έχουν κάνει καμία σοβαρή προσπάθεια να διερευνήσουν τις δυνατότητες μιας αιτιακής λύσης. Για να προωθήσει αυτό το επιχείρημα δημοσίευσε τον Δεκέμβριο του 1923 ένα προσχέδιο του δικού του προγράμματος, παρά το γεγονός ότι δεν είχε σημειώσει καμία ουσιαστική πρόοδο σε αυτό. Στις 25 Δεκεμβρίου του 1923 ο Αϊνστάιν είχε αναφέρει στον Λόρεντζ ότι η πραγμάτωση κβαντικών γεγονότων καθίσταται δυνατή μέσω της θεωρίας πεδίου, εφόσον θυσιάσθουν οι μηχανικές εξισώσεις. Η μηχανική συμπεριφορά των ηλεκτρονίων πρέπει να καθορίζεται μέσω των καθορισμένων εξισώσεων πεδίου. Επίσης του είπε ότι οι μαθηματικές δυσκολίες για κάτι τέτοιο υπερβαίνουν τις δυνάμεις του και γι' αυτό το λόγο προσπάθησε να κατευθύνει το ενδιαφέρον των συναδέλφων του προς αυτή τη μέθοδο.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε πλέον να δούμε ότι τελικά την περίοδο εκείνη δεν ήταν και πολλοί αυτοί που υπερασπίστηκαν την αιτιότητα δημόσια. Αυτό έχει να κάνει με τα πολύ έντονα συναισθήματα που επικρατούσαν κατά της αιτιότητας, τα οποία έτρεφε το διανοητικό περιβάλλον των φυσικών εκείνη την περίοδο. Επομένως αν αναλογιστούμε τις κοινωνικές πιέσεις στις οποίες ήταν εκτεθειμένος ένας φυσικός, που θα έβγαине να μιλήσει υπέρ της αιτιότητας μπροστά στους συναδέλφους του, μπορούμε να καταλάβουμε για ποιο λόγο τελικά δεν ήταν αρκετοί αυτοί που το επιχείρησαν.

## 4.2 Η αμφισβήτηση της αιτιότητας

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι ο Σρέντινγκερ είχε αποκηρύξει την αιτιότητα από το 1922. Αυτό που έχει ενδιαφέρον τώρα είναι το γεγονός ότι έπρεπε να περάσουν επτά χρόνια τελικά μέχρι να επιτρέψει να τυπωθεί το μανιφέστο του κατά της αιτιότητας. Επίσης εντύπωση προκαλεί ότι και το μανιφέστο του Ράιχενμπαχ κατά της αιτιότητας δεν προβλήθηκε άμεσα, καθώς θάφτηκε ανάμεσα στα πρακτικά της ακαδημίας του Μονάχου. Υπάρχουν πολυάριθμες ενδείξεις ότι το θέμα της αιτιότητας εξακολουθούσε κατ' ιδίαν να συζητιέται πολύ, διότι δεν ήταν καθόλου εύκολο να αποδεχθούν όλοι μια οριστική αποκήρυξη της τη στιγμή άλλωστε που υπήρχαν ακόμη εξέχουσες προσωπικότητες, όπως ο Αϊνστάιν και ο Πλανκ, που πίστευαν βαθιά στην εγκυρότητα της.

Βέβαια, ένας παρατηρητής εκείνης της εποχής είχε την εντύπωση ότι όλο και πιο συχνά θα συναντούσε μια ευνοϊκή διάθεση απέναντι στην αρχή της μη αιτιότητας και περισσότερο ή λιγότερο ρητές διακηρύξεις της πίστης σ' αυτήν. Αν λοιπόν θέλουμε να δούμε πώς έγινε αυτή η σχετικά ήπια, αλλά οριστική απομάκρυνση από την αιτιότητα γύρω στο 1924, θα πρέπει να στραφούμε εντέλει σε συγκεκριμένες πρόσφατες εξελίξεις στην ατομική φυσική. Αυτό το λέω διότι, οι ατομικοί φυσικοί ήταν οι πρώτοι που άρχισαν να πείθονται για τη θεμελιώδη ανεπάρκεια της υπάρχουσας κβαντικής θεωρίας του ατόμου, που υπέθετε ότι η κλασική μηχανική ισχύει για κινήσεις σε κατάσταση ηρεμίας και έτσι ξεκίνησαν να αμφιβάλουν για το κατά πόσο ήταν πραγματικά τα απεικονίσιμα ατομικά μοντέλα, στα οποία εφαρμόστηκε αυτή η θεωρία. Αυτό που θα μπορούσαμε να πούμε εδώ, είναι ότι το διανοητικό περιβάλλον των φυσικών εκείνη την περίοδο διευκόλυνε την εξάπλωση της γενικευμένης πεποίθησης ότι η παλιά κβαντική θεωρία διέρχεται κρίση. Επομένως, η άποψη που επικρατούσε στην περιρρέουσα πνευματική ατμόσφαιρα, ήταν ότι η κλασική μηχανική έχει αποτύχει. Όμως, όσο κι αν η κρίση και τα σχετικά με αυτήν θέματα οφείλονταν στα διάφορα διανοητικά ρεύματα που ενεργοποίησαν την αντίδραση κατά της αιτιότητας, σε αυτή την περίπτωση το σημαντικό είναι ότι τη συγκεκριμένη στιγμή τα κινήματα κατά της μηχανικής και κατά της αιτιότητας συνασπίστηκαν ενισχύοντας το ένα το άλλο.

Ερχόμαστε να δούμε τώρα πώς έγιναν οι πρώτες προσπάθειες για να κάνουμε φυσική, χωρίς να προϋποθέτουμε την αρχή της αιτιότητας. Την πρώτη από αυτές τις προσπάθειες την οφείλουμε στον Χανς Σενφτλμπεν (Hans Senftleben) (Jagdish Mehra-Helmunt Rechenberg 2002). Το πρόγραμμα που προωθεί στο άρθρο του με τίτλο: “Για τη θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας” το Νοέμβριο του 1923, περιλαμβάνει προφητικά αξιώματα όπως ότι τα φυσικά φαινόμενα γενικά πρέπει να θεωρούνται στατιστικά αποτελέσματα προερχόμενα από σύνολα στοιχειωδών μοριακών διαδικασιών, οι οποίες δεν υπόκεινται στις απαιτήσεις της αιτιότητας. Επίσης αναφέρει ότι η σταθερά  $h$  του Πλανκ περιορίζει, από θέση αρχής, τη δυνατότητα να περιγράψουμε μια διαδικασία στο χώρο και το χρόνο με αυθαίρετη ακρίβεια. Το παράδοξο με τον Σενφτλμπεν ήταν ότι δεν αναγνωρίστηκε αρκετά, τη στιγμή που οι απόψεις του ήταν πολύ πρωτοποριακές και βοήθησαν στο να κάνουμε φυσική, χωρίς την απαραίτητη προϋπόθεση της αιτιότητας. Σε αντίθεση με τον Σενφτλμπεν μεγάλη αναγνώριση γνώρισε η δουλειά των: Μπορ, Κράμερ και Σλέιτερ και συγκεκριμένα ένα άρθρο το οποίο δημοσίευσαν οι τρεις τους, το καλοκαίρι του 1924. Όλα ξεκίνησαν όταν τον Ιανουάριο του 1924, ο Σλέιτερ πήγε στην Κοπεγχάγη. Εκεί παρουσίασε μια ημι-ντετερμινιστική εικόνα του χωροχρόνου, όπου τα φωτόνια κινούνται κατά μήκος του διανύσματος  $Rouyning$  ενός εικονικού πεδίου ακτινοβολίας, το οποίο ο Σλέιτερ θεωρούσε ότι εκπέμπεται συνεχώς από άτομα τα οποία βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας. Ο Σλέιτερ παρουσίασε αυτή την άποψη στον Μπορ και τον Κράμερ και αυτοί του επεσήμαναν ότι θα έπρεπε να κρατήσει τα πλεονεκτήματα αυτού του ουσιώδους χαρακτηριστικού, αλλά απέρριψαν τη σωματιδιακή θεωρία, καταφεύγοντας αντί για τα σωματιδιακά κβάντα στη χρήση της έννοιας του πεδίου για να εισηγηθούν την πιθανότητα μετάβασης. Αυτές οι υποδείξεις του Μπορ και του Κράμερ, έπεισαν τον Σλέιτερ ότι η απλότητα του μηχανισμού που θα είχε στη διάθεσή του απορρίπτοντας τη σωματιδιακή θεωρία θα τον αποζημίωνε και με το παραπάνω για την απώλεια που συνεπαγόταν η απόρριψη της αρχής διατήρησης της ενέργειας και της ορθολογικής αιτιότητας. Το άρθρο του Σλέιτερ, το οποίο βέβαια πήρε και το όνομα των Μπορ και Κράμερ γνώρισε πολύ μεγάλη αναγνώριση και θεωρήθηκε ως μια πολύ καλή προσπάθεια εφαρμογής της φυσικής, χωρίς την προϋπόθεση της αιτιότητας. Σχετικά με αυτό το άρθρο έχει ενδιαφέρον να αναφέρουμε επίσης, το ότι η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στην αρχική σύλληψη του Σλέιτερ και την άποψη την οποία ο Μπορ και ο Κράμερ τον έπεισαν ν’ αποδεχτεί, υποδηλώνει τη διάκριση μεταξύ της πιθανοκρατικής και της μη αιτιακής

προσέγγισης. Έτσι οι προσεγγίσεις του κατευθυντήριου πεδίου στο πρόβλημα των φωτονίων, οι οποίες από καιρό θεωρούνταν κοινός τόπος, και η εισήγηση του Ντε Μπρολί, ότι το κατευθυντήριο πεδίο για τα υλικά σώματα έχει κυματοειδή μορφή ήταν πιθανοκρατικές. Τελικά η ερμηνεία των: Μπορ, Κράμερ και Σλέιτερ, διαμορφώθηκε από την αρχική πρόταση του Σλέιτερ με τον κατ' αρχήν αποκλεισμό της ορθολογικής αιτιότητας, από την αλληλεπίδραση ατόμων και ακτινοβολίας. Το στοιχείο αυτό έγινε κατόπιν πιο κατανοητό με την επισήμανση του τυπικού χαρακτήρα της περιγραφής της αλληλεπίδρασης που πρότειναν. (Paul Forman 1971)

Εάν λάβουμε υπ' όψιν το ευρέως διαδεδομένο κλίμα κατά της αιτιότητας, μπορούμε να κατανοήσουμε την άμεση και γενικευμένη αποδοχή, που είχε η θεωρία της μη αιτιότητας κυρίως στη Γερμανία, παρότι στην πραγματικότητα δεν ήταν καν θεωρία, αλλά μια αόριστη υπόθεση για το πώς, εάν απορρίπταμε την αιτιότητα, θα μπορούσαμε να δώσουμε μια φορμαλιστική περιγραφή της αλληλεπίδρασης μεταξύ ατόμων και ακτινοβολίας. Για να αντιληφθούμε την ισχύ και την διάδοση που είχε η θεωρία της μη αιτιότητας στη Γερμανία, πρέπει να δούμε μια επιστολή του Βόλφγκανγκ Πάουλι, προς τον Κράμερ, στις 27 Ιουλίου του 1925. Στην επιστολή αυτή ο Πάουλι, τονίζει αρχικά ότι δεν θέλει να τον παρεξηγήσουν και να θεωρήσουν ότι ανήκει στους πιστούς υποστηρικτές της αιτιότητας και στη συνέχεια λέει ότι θεωρεί οπωσδήποτε μέγα ευτύχημα ότι η πρόταση των Μπορ, Κράμερ και Σλέιτερ, μέσα από τα ωραία πειράματα των Γκάιγκερ (Geiger) και Μπότε (Bothe), καθώς και τις πρόσφατα δημοσιευθείσες εργασίες του Κόμπτον (Compton), έχει ανααιρεθεί τόσο γρήγορα. Αν και είναι φυσικά σωστό ότι ο ίδιος ο Μπορ, ακόμη και αν δεν είχαν γίνει αυτά τα πειράματα, δεν θα επέμενε πια σε αυτή την αντίληψη. Όμως πολλοί διακεκριμένοι φυσικοί θα επέμεναν, και αυτή η ατυχής πραγματεία των Μπορ, Κράμερ και Σλέιτερ θα αποτελούσε, πιθανόν για καιρό, εμπόδιο στην πρόοδο της θεωρητικής φυσικής.

Ερχόμαστε τώρα να δούμε τις τελευταίες αντιστάσεις της αιτιότητας, καθώς έχουμε πλησιάσει προς την τελευταία φάση της εξέλιξης του φαινομένου που έχουμε παρακολουθήσει μέχρι τώρα, το οποίο αφορά στις προσπάθειες εδραίωσης της πεποίθησης ότι η αιτιότητα δεν ισχύει σε ατομικό επίπεδο. Όλα αυτά πριν από την εμφάνιση μιας μη αιτιακής κβαντομηχανικής. Με την εισαγωγή της μηχανικής μητρών του Χάιζενμπεργκ, το φθινόπωρο του 1925, και της κυματομηχανικής του



Σρέντινγκερ, την άνοιξη του 1926, οι φυσικοί συνειδητοποίησαν σχετικά γρήγορα ότι αυτή η πεποίθηση δεν χρειαζόταν πλέον να βασίζεται πρωτίστως σε ηθικούς στοχασμούς ή να πρεσβεύει μια εντελώς αστήρικτη απόρριψη της δυνατότητας να έχουμε επακριβή γνώση των ατομικών διαδικασιών. Ουσιαστικά οι φυσικοί είχαν πλήρη επίγνωση του γεγονότος ότι είχαν μπροστά τους ένα κοινό εχθρό, που τασσόταν απέναντι στο σχήμα: αιτιότητα-μηχανικισμός-ορθολογισμός. Ο εχθρός αυτός είχε ήδη αποκτήσει το δικό του κοινό και όσο περνούσε ο καιρός, όλο και περισσότεροι φυσικοί κοίταζαν είτε να κολακέψουν αυτό το κοινό, είτε να ενταχθούν σε αυτό αποκηρύσσοντας και αυτοί την αιτιότητα. Ωστόσο, δεν το έκαναν όλοι αυτό. Εκείνη την περίοδο, ο Βίλχελμ Βιέν (Wilhelm Wien), ένας Γερμανός φυσικός, ήταν αυτός που ανέλαβε ξανά το ρόλο του υπερασπιστή της αιτιότητας. Τον Ιανουάριο του 1925 έφερε την υπόθεσή του στο ευρύ κοινό μέσα από τις σελίδες της εφημερίδας της Λειψίας *Illustrierte Zeitung*, και η επιχειρηματολογία του ήταν σχετική με το ότι η κβαντική θεωρία δεν οδηγεί ούτε θα μπορούσε να οδηγήσει στην απόρριψη του νόμου της αιτιότητας. Χαρακτηριστικά έλεγε ότι η ιδέα ότι η φύση είναι κατανοητή είναι ταυτόσημη με την πεποίθηση ότι όλες οι φυσικές διαδικασίες μπορούν να αναχθούν στην αιτιότητα, σε αμετάβλητους φυσικούς νόμους που ισχύουν σε κάθε περίπτωση. Επίσης έλεγε ότι, από όλες τις καθαρά φιλοσοφικές έννοιες, μόνο η έννοια της αιτιότητας έχει ασκήσει τόσο μεγάλη επίδραση στην εξέλιξη της ανθρωπότητας όλα αυτά τα χρόνια. Σε αυτήν οφείλεται η καταπολέμηση της δεισιδαιμονίας, η σύγχρονη φυσική επιστήμη και οι τεχνολογικές και βιομηχανικές επαναστάσεις. Σχετικά με την μορφή που είχε τότε η κβαντική φυσική είχε πει ότι, παρ' ότι το πρόβλημα της αλληλεπίδρασης ατόμων και ακτινοβολίας έχει επιφέρει κρίση στο σύνολο της θεωρητικής φυσικής, κι αυτό αναμένεται να διαρκέσει για πολύ καιρό, η σημερινή μορφή της κβαντικής θεωρίας μόνο μεταβατική μπορεί να είναι. Αυτό το στήριζε στο ότι η στατιστική χωρίς την αιτιώδη θεμελίωση δεν μπορεί ποτέ να αναγνωριστεί από τη φυσική ως κάτι οριστικό.

Το έτος 1925-1926, ο Βιέν εκμεταλλεύτηκε πλήρως το θεσμικό πλαίσιο που είχε στη διάθεσή του ως πρύτανης του πανεπιστημίου του Μονάχου και υπερασπίστηκε ανοιχτά την αιτιότητα και στις δυο επίσημες ομιλίες του. Αν και η εναρκτήρια ομιλία του, τον Νοέμβριο του 1925, δεν αναφερόταν στην τρέχουσα κατάσταση στη φυσική, ο Βιέν βρήκε την ευκαιρία να τονίσει την ιστορική σπουδαιότητα της αιτιότητας, βασιζόμενος στην πεποίθηση ότι η φύση μπορεί να

είναι κατανοητή με τη λογική δύναμη της ανθρώπινης διάνοιας. Επίσης στη συνέχεια σχολίασε αρνητικά διάφορους γνωστούς φυσικούς για τον αντιορθολογισμό και τον πεσιμισμό τους. Στα τέλη της πρυτανικής του θητείας, ο Βιέν μίλησε στον ετήσιο εορτασμό της ημέρας του ιδρυτή του πανεπιστημίου με θέμα: “Το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον της φυσικής”. Το θέμα εμφανίζεται αρχικά ως η ικανότητα της ανθρώπινης διάνοιας να συλλαμβάνει την αιτιότητα των φυσικών διαδικασιών. Στη συνέχεια τόνισε ότι ακόμη και όταν οι νόμοι είναι στατιστικοί, η αιτιότητα πρέπει να κυριαρχεί στο επίπεδο των στοιχειωδών διαδικασιών και στο τέλος της ομιλίας του έφτασε στο σημείο να επιτεθεί απευθείας στον Μπορ κατονομάζοντας τον.

Εδώ αξίζει να δούμε τι έκανε τον Βιέν να θυμώσει τόσο με τον Μπορ, ώστε να φτάσει στο σημείο να του επιτεθεί δημόσια στην ομιλία του. Ο λόγος λοιπόν αυτής της επίθεσης είχε να κάνει με το ότι ο Μπορ, στηριζόμενος εν μέρει στο ότι ο Χάιζενμπεργκ ανακάλυψε έναν τρόπο να κάνει ατομική φυσική αποκηρύσσοντας παράλληλα τη λεπτομερή απεικόνιση των ενδοατομικών κινήσεων και μηχανισμών, είχε εκφράσει πολύ πιο ανοιχτά και κατηγορηματικά την ελπίδα και την πεποίθησή του ότι τέτοιες λεπτομερείς απεικονίσεις ήταν κατ’ αρχήν αδύνατες και ότι η φυσική αντιμετώπιζε την ουσιαστική αποτυχία των απεικονίσεων στο χώρο και το χρόνο, πάνω στις οποίες είχε στηριχθεί μέχρι τώρα η περιγραφή των φυσικών φαινομένων (N. Bohr 1934). Όπως ήταν φυσικό, ο Βιέν επέκρινε αυτή την άποψη του Μπορ, αλλά και όλους όσους είχαν παρόμοιες πεποιθήσεις. Επίσης στην ομιλία του υποστήριξε σθεναρά ότι δεν υπάρχει περιοχή της φύσης, που να υπερβαίνει τα όρια της κατανόησής μας, και ότι οι φυσικοί δεν πρόκειται να επαναπαυθούν εάν δεν κατορθώσουν να υπαγάγουν τις ατομικές διαδικασίες στο νόμο της αιτιότητας.

Ο Βιέν πέρα από τον Μπορ, διαφωνούσε και με τον Άρνολντ Σόμερφελντ (Arnold Sommerfeld), διότι θεωρούσε ότι το έργο του δεν ήταν απλά μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί η κβαντική θεωρία με σκοπό την κολακεία του περιρρέοντος αντιορθολογισμού, αλλά αντιπροσώπευε ένα πραγματικό ερευνητικό πρόγραμμα. Ο Βιέν ήλπιζε και περίμενε ότι ο αριθμομυστικισμός θα εκτοπιστεί από την ψυχρή λογική της φυσικής σκέψης κι αυτό ήξερε ότι δεν θα χαροποιήσει τον περισσότερο κόσμο, διότι ο μυστικισμός συχνά ασκεί σε πολλούς ανθρώπους πολύ μεγαλύτερη έλξη από τον ψυχρό και σοβαρό τρόπο σκέψης της φυσικής. Ωστόσο, είχε πει χαρακτηριστικά ότι δεν ήταν στις προθέσεις του να επιτεθεί στο μυστικισμό, διότι

υπάρχουν πολλές περιοχές του ψυχικού βίου από τις οποίες δεν μπορεί να αποκλειστεί ο μυστικισμός, όμως, όπως και να 'χει, η αλήθεια είναι ότι ο μυστικισμός δεν ανήκει στη φυσική. Άλλωστε ο Βιέν είχε πει ότι μια φυσική όπου βασιλεύει ο μυστικισμός έχει εκχωρήσει το έδαφος από το οποίο αντλεί τη δύναμή της και παύει να είναι πλέον άξια του ονόματός της. Τέλος κάτι τελευταίο που αξίζει να ειπωθεί για τον Βιέν, είναι το γεγονός ότι ήταν πεπεισμένος ότι η δυνατότητά μας να κατανοούμε τις αιτιώδεις συσχετίσεις των φυσικών διαδικασιών θα συνεχίσει να υφίσταται και όσοι εκφράζουν αμφιβολίες σχετικά με αυτό απλώς πάσχουν από πνευματική εξάντληση.

Το φθινόπωρο του 1925 ο Σρέντινγκερ, για προσωπικούς και πολιτικούς λόγους, επανήλθε στο θέμα της αιτιότητας, την οποία όπως είδαμε είχε απορρίψει κατά τη διετία 1922-1924. Ο λόγος που το έκανε αυτό ήταν διότι είχε αναπτύξει την κυματομηχανική, ως μια αιτιακή χωροχρονική περιγραφή των ατομικών διαδικασιών σε αντίθεση με τη μηχανική μητρών που επινοήθηκε στην Κοπεγχάγη και το Γκέτινγκεν. Σχετικά με αυτό ο Σρέντινγκερ είχε υποστηρίξει σε άρθρο του, το οποίο είχε δημοσιευθεί τον Φεβρουάριο του 1926, ότι δεν μπορούμε πραγματικά να αλλάξουμε τον τρόπο του σκέπτεσθαι, και αυτό που δεν μπορεί να γίνει κατανοητό μέσα στο δικό τους πλαίσιο, δεν μπορεί να γίνει καθόλου κατανοητό. Επίσης είπε ότι υπάρχουν τέτοιου είδους πράγματα, αλλά δεν πιστεύει ότι η δομή του ατόμου είναι ένα από αυτά. (V. Raman and P. Forman 1969)

Λίγους μήνες μετά, τον Αύγουστο του 1926, ο Σρέντινγκερ έγραψε ένα πολύ ενδιαφέρον γράμμα στον Βιέν, στο οποίο έλεγε ότι δεν θα αποδεχόταν σε καμία περίπτωση ότι ένα μοναδικό συμβάν<sup>4</sup> είναι απολύτως τυχαίο, δηλαδή εντελώς απροσδιόριστο. Επίσης έλεγε ότι η φυσική δεν αποτελείται μόνο από την ατομική έρευνα, η επιστήμη μόνο από τη φυσική και η ζωή μόνο από την επιστήμη. Ο σκοπός της ατομικής έρευνας είναι οι σχετικές με αυτήν εμπειρίες να προσαρμόζονται στην υπόλοιπη σκέψη μας. Όλη αυτή η υπόλοιπη σκέψη μας κινείται, σε ότι αφορά τον εξωτερικό κόσμο, στον χώρο και τον χρόνο. Από αυτό το γράμμα, βλέπουμε ότι ο Σρέντινγκερ θεωρούσε ότι οι επιστημονικές απόψεις πρέπει να συμβαδίζουν με τις γενικότερες αντιλήψεις για τον κόσμο.

---

<sup>4</sup> Ο Σρέντινγκερ αναφερόταν στην αλληλεπίδραση ενός ηλεκτρονίου με ένα άτομο.

Το πιο σημαντικό γεγονός όμως που είχαμε το καλοκαίρι του 1926 και ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι αυτής της εργασίας, είναι η ήττα της αιτιότητας. Η ήττα αυτή προήλθε από τη στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης, την οποία παρουσίασε ο Μαξ Μπορν, και με τον τρόπο αυτό βάσισε την απόρριψη της αιτιότητας ακριβώς πάνω στα θεμέλια της κυματομηχανικής.

Την άνοιξη του 1927 ο Χάιζενμπεργκ δήλωσε ότι η κατάσταση μπορεί να χαρακτηριστεί ως εξής: επειδή όλα τα πειράματα υπόκεινται στους νόμους της κβαντομηχανικής, η κβαντομηχανική αποδεικνύει οριστικά το γεγονός ότι ο νόμος της αιτιότητας δεν ισχύει. Η κατάρρευση της αιτιότητας έγινε αποδεκτή από τους φυσικούς ως οριστική και αμετάκλητη, τόσο ως προς τη θεωρία όσο και ως προς την πραγματικότητα. Όπως ήταν φυσικό, με αυτή την εξέλιξη οι επιστήμονες όχι μόνο δεν στενοχωρήθηκαν, αλλά θα μπορούσαμε να πούμε ότι το αντιμετώπισαν με ανακούφιση και ικανοποίηση. Τελικά με την κατάρρευση της αιτιότητας οι ατομικοί φυσικοί κατάφεραν να εκπληρώσουν την υποχρέωση που τους είχε θέσει το κοινωνικό-πνευματικό περιβάλλον τους. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται και από τη βιασύνη με την οποία οι φυσικοί φρόντισαν να μεταφέρουν τα καλά νέα στο μορφωμένο κοινό.

Στις 10 Απριλίου του 1927, ο Χάιζενμπεργκ δημοσίευσε ένα εκλαϊκευμένο άρθρο σχετικά με τα όσα συνέβαιναν εκείνη την περίοδο, λέγοντας ότι με τις νέες εξελίξεις στο πεδίο της ατομικής φυσικής διαπιστώνεται οριστικά η ακυρότητα ή, σε κάθε περίπτωση, η έλλειψη αντικειμενικότητας του νόμου της αιτιότητας. Ο Άρνολντ Σόμμερφελντ, αν και ποτέ δε θέλησε να απορρίψει τον πλήρη και μοναδικό καθορισμό των φυσικών διαδικασιών, σε μια δημόσια διάλεξή του στο πανεπιστήμιο του Αμβούργου, στις αρχές του 1927, δε μπόρεσε κι αυτός να αντισταθεί στον πειρασμό να κολακέψει τα αρνητικά συναισθήματα του ακροατηρίου του απέναντι στην αιτιότητα.

Τέλος, το 1928 ο Μαξ Μπορν, ορίζει την αιτιότητα ως ντετερμινισμό και προσθέτει ότι όλοι οι προηγούμενοι νόμοι της φυσικής διακρίνονται γι' αυτό το χαρακτηριστικό. Επιπλέον παρατηρεί ότι μια τέτοια σύλληψη της φύσης είναι ντετερμινιστική και μηχανιστική. Δεν αφήνει χώρο για κανενός είδους ελευθερία που να προέρχεται είτε από τη βούληση είτε από κάποια ανώτερη δύναμη και αυτό είναι που κάνει όλους τους ορθολογιστές να εκτιμούν τόσο πολύ αυτή την άποψη. Όμως η

φυσική ευτυχώς ανακάλυψε νέους νόμους τώρα, που της δίνουν έναν εντελώς διαφορετικό χαρακτήρα. Είναι πλέον ξεκάθαρο ότι η μη αιτιακή κβαντομηχανική τελικά έγινε ιδιαίτερα ευπρόσδεκτη από τους Γερμανούς φυσικούς, διότι τους έδωσε την ευκαιρία να βελτιώσουν τη δημόσια εικόνα τους και να γίνουν ξανά αποδεκτοί από το κοινωνικό σύνολο.

## Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας αυτή την εργασία, μπορούμε να πούμε ότι τελικά ο λόγος για τον οποίο απορρίφθηκε η αιτιότητα στον μικρόκοσμο ήταν ένας συνδυασμός των εσωτερικών εξελίξεων στην φυσική και της πίεσης που δέχτηκαν οι επιστήμονες από το πνευματικό περιβάλλον τους, για να αποκηρύξουν την αιτιότητα. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουμε διότι δεν θα μπορούσαν οι επιστήμονες να επηρεαστούν μόνο από τις εσωτερικές εξελίξεις στην φυσική ή μόνο από τις απόψεις που επικρατούσαν στο πνευματικό τους περιβάλλον. Χρειάστηκε ο συνδυασμός και των δυο αυτών παραγόντων προκειμένου οι επιστήμονες να πειστούν και να αποκηρύξουν την αιτιότητα στον μικρόκοσμο.

Επίσης ένα από τα πιο εντυπωσιακά πράγματα που διαπιστώσαμε, ήταν η επίδραση που είχε το περιβάλλον, στο έργο και στις απόψεις των Γερμανών φυσικών. Όπως είδαμε, μετά το τέλος του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου οι Γερμανοί φυσικοί, εξαιτίας της αλλαγής των κοινωνικών αξιών, έχασαν το κύρος που απολάμβαναν πριν τον πόλεμο και αυτό είχε ως αποτέλεσμα το πνευματικό περιβάλλον να στραφεί απέναντί τους. Αυτό λοιπόν που έκαναν οι φυσικοί προκειμένου να ανακτήσουν μια πιο ελκυστική δημόσια εικόνα, ήταν να προσαρμοστούν στις αξίες αυτού του εχθρικού περιβάλλοντος που είχαν απέναντί τους. Βλέπουμε λοιπόν, ότι η προσαρμογή αυτή ήταν μια αντίδραση στην εχθρότητα που δέχονταν από το πνευματικό περιβάλλον. Απ' την στιγμή λοιπόν που το περιβάλλον ζητούσε μια ουσιαστική αλλαγή στον τρόπο αντίληψης που είχαν μέχρι τότε οι επιστήμονες σε αρκετά θέματα τα οποία αφορούσαν τον μικρόκοσμο, οι φυσικοί “αποφάσισαν” ότι η αλλαγή αυτή θα έπρεπε να είναι η απόρριψη της αιτιότητας στο ατομικό επίπεδο. Τελικά η προσπάθεια τους να απαλλάξουν την φυσική από την αιτιότητα, προωθήθηκε αρκετά απρόσμενα και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να πετύχουν τον σκοπό τους και να ανακτήσουν έτσι το χαμένο κύρος τους.

Ένα ακόμη πολύ σημαντικό πράγμα που διαπιστώσαμε σε αυτή την εργασία, ήταν και το ότι οι κοινωνικές περιστάσεις και τα μέσα που επιλέχθηκαν για τη δημοσιοποίηση των θέσεων κατά της αιτιότητας, καταλήγουν αναπόφευκτα στο συμπέρασμα ότι τα πραγματικά προβλήματα της ατομικής φυσικής έπαιξαν δευτερεύοντα ρόλο στη γένεση αυτής της πεποίθησης που καταργούσε την αιτιότητα. Ο σημαντικότερος παράγοντας ήταν η κοινωνική και η διανοητική πίεση που

ασκήθηκε στους φυσικούς, οι οποίοι ήταν μέλη της γερμανικής ακαδημαϊκής κοινότητας.

Επίσης είδαμε ότι τελικά δεν ήταν ζήτημα φιλοσοφικών επιρροών η απόρριψη της αιτιότητας. Άλλωστε οι φιλοσοφικές θέσεις που επικρατούσαν στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, έπαιξαν αμελητέο ρόλο στην ξαφνική έξαρση των αρνητικών αισθημάτων απέναντι στην αιτιότητα μεταξύ των Γερμανών φυσικών μετά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο.

Κάτι άλλο που συμπεράναμε από την εργασία αυτή ήταν και η σπουδαιότητα των έντονων αντιθέσεων που υπήρξαν στους κόλπους της κοινότητας των Γερμανών φυσικών. Σχετικά με αυτό το ζήτημα είδαμε ότι υπήρξαν χαρακτηριστικές διαφορές ανάμεσα σε εκείνους τους φυσικούς που έσπευσαν να απορρίψουν την αιτιότητα και σε εκείνους που έμειναν πιστοί σε αυτή ακόμη και μετά την ανακάλυψη της κβαντομηχανικής. Για όσους απέρριψαν την αιτιότητα, η άποψή τους ήταν ότι η αποτυχία της ήταν ουσιαστικά αποτυχία της ανθρώπινης διάνοιας. Από την άλλη, αυτοί οι λίγοι φυσικοί που αντιστάθηκαν στην απόρριψη της αιτιότητας, είδαμε ότι βάσισαν τα επιχειρήματά τους στην αξία της ορθολογικότητας και την πίστη τους στην ικανότητα της ανθρώπινης διάνοιας να κατανοήσει το φυσικό κόσμο.

Τέλος ένα ακόμη συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε από αυτή την εργασία είναι το ότι το κίνημα για την απόρριψη της αιτιότητας, εξέφραζε λιγότερο ένα ερευνητικό πρόγραμμα και περισσότερο μια πρόταση να θυσιαστεί η φυσική. Δηλαδή, να θυσιαστεί το ίδιο το επιστημονικό εγχείρημα στο πνεύμα της εποχής.

## Βιβλιογραφία

- Αραμπατζής, Θ. – Γαβρόγλου, Κ. (2012), *Η κρίση στη Φυσική και η Δημοκρατία της Βαϊμάρης*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- Bohr, N. (1934/1987), *Atomic Theory and the Description of Nature*, reprinted as *The Philosophical Writings of Niels Bohr*, Vol. I, Woodbridge: Ox Bow Press.
- Bohr, N. Kramers, H. A. & Slater, J.C. (1924), “The quantum theory of radiation”, *Philosophical Magazine*
- Faye, J. (1991), *Niels Bohr: His Heritage and Legacy: An Anti – realist View of Quantum Mechanics*, Springer Netherlands
- Forman, P. (1967), *The Environment and Practice of Atomic Physics in Weimar Germany*, University of California Press
- Forman, P. (1971), *Weimar Culture, Causality, and Quantum Theory, 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment*, University of California Press
- Hanle, P. A. (1979), *Indeterminacy before Heisenberg: The Case of Franz Exner and Erwin Schrödinger*, University of California Press
- Hans, G. and Rudolf, P. (2007), *Walther Nernst: Pioneer of Physics and of Chemistry*, World Scientific Publishing Company
- Heisenberg, W. (1930), *The Physical Principles of the Quantum Theory*, Carl Eckart (Transl.), F.C. Hoyt (Transl.), Dover Publications
- Hendry, J. (1978), *The mathematical formulation of quantum theory and its physical interpretation*, University of London
- Jammer, M. (1966), *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, McGraw-Hill, New York
- Klein, M. J. (1970), “The first phase of the Bohr – Einstein dialogue”, *Historical studies in the physical sciences*
- Kragh, H. (1999), *Quantum Generations – A History of Physics in the Twentieth Century*, Princeton University Press
- Kuhn, T. S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press



- Laplace, P.-S. (1993), *A Philosophical Essay on Probabilities*, F. W. Truscott (Transl.), F. L. Emory (Transl.), University of Stanford
- McCormmach, R. (1970), *Einstein, Lorentz and the Electron Theory, Historical Studies in the Physical Sciences*, University of California Press
- Mehra, J. and Rechenberg, H. (2002), *The Historical Development of Quantum Theory*, Springer
- Norton Wise, M. (1987), *How do Sums Count? On the Cultural Origins of Statistical Causality*, University of Cambridge
- Parrini, P. and Salmon, W. (2003), *Logical Empiricism: Historical and Contemporary Perspectives*, University of Pittsburgh
- Planck, M. (1949), *Scientific Autobiography and Other Papers*, Philosophical Library (December 9, 2007)
- Raman, V. and Forman, P. (1969), *Why Was It Schrödinger Who Developed de Broglie's ideas?*, *Historical Studies in the Physical Sciences*, University of California Press
- Ringer, F. K. (1990), *The Decline of the German Mandarins: The German Academic Community, 1890–1933*, University Press of New England
- Ρουσόπουλος, Γ. (2010), *Ο Κύκλος της Βιέννης. Η επιστημονική κοσμοαντίληψη*, Αθήνα, Εκδόσεις Οκτώ
- Salmon, W. C. (1979), *Hans Reichenbach: Logical Empiricist*, Springer Netherlands
- Schlick, M. (1985), *General Theory of Knowledge*, Library of Exact Philosophy
- Thompson, S. P. (1910), *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*, London Macmillan

