

## ΑΠΟ ΤΟ C ΣΤΟ q ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ NIELS BOHR<sup>1</sup>

Françoise Balibar

*Η επιστημονική κοινότητα των φυσικών διατηρούσε πάντοτε μια στάση αμφιθυμίας απέναντι στο έργο του Niels Bohr, ενός μεγαλοφώνου θεωρητικού ο οποίος δεν δίστασε να παρασυρθεί σε συγκεχυμένους φιλοσοφικούς διαλογισμούς. Ειδικότερα, πολύ γρήγορα αποσιωπήθηκε η «αρχή της αντιστοιχίας» του με την οποία, επιδιώκοντας να συγκροτήσει μια ανστηρή αναλογία μεταξύ της οπτικής και της μηχανικής του ατόμου, ώθησε στα ακρότατα όριά τους τις εκφραστικές δυνατότητες της κλασσικής φυσικής, και άνοιξε το δρόμο στην κβαντική επαναδιατύπωσή της.*

ΓΙΑ ΠΟΛΥ καιρό οι φυσικοί, που όλοι τους, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, χρησιμοποιούν την κβαντική θεωρία στην ερευνητική τους πρακτική, παρέμεναν αποκομμένοι από την ιστορία τους – ή μάλλον προσπαθούσαν να την αγνοήσουν. Τους αρκούσε η κβαντική θεωρία να υπάρχει, «να δουλεύει», και δεν ενδιαφέρονταν για την επεξεργασία της, διατηρώντας απέναντι σ' αυτούς που θεωρούμε εμπνευστές της μια συμπεριφορά αντίστοιχη με των παιδιών που ντρέπονται για τους γονείς τους.

Αυτή η άρνηση της καταγωγής επηρέασε ιδιαίτερα το έργο του Bohr το οποίο για πολύ καιρό παρέμενε στο μυαλό των φυσικών συνώνυμο των «συγκεχυμένων φιλοσοφικών λόγων», και άρα τελείως ξένο προς την «καθαρή και ανστηρή» φυσική. Μια τέτοια απόρριψη πιθανώς να είναι ένα φαινόμενο γενεών και εξηγείται από την γοητεία που άσκησε ο Bohr σ' αυτούς που τον πλησίασαν την δεκαετία του '20. «Σ' ολόκληρη τη ζωή μου σπάνια έχω συναντήσει έναν άνθρωπο που, όπως εσείς, να μου έχει προκαλέσει τόσο μεγάλη χαρά μόνο και μόνο με την παρουσία του» έγραφε ο Einstein αμέσως μετά την πρώτη τους συνάντηση. Ο Einstein, ο οποίος λίγο αργότερα δήλωνε: «[ο Bohr] εκθέτει τις απόψεις του όπως κάποιος που ψάχνει στα τυφλά, ποτέ όπως κάποιος που θεωρεί ότι κατέχει μια οριστική αλήθεια». Αυτή η έλλειψη εκφραστικής βεβαιότητας, αυτή η άρνηση να «παίζει θέατρο» με την επιστημονική αλήθεια, αυτή η ικανότητα που είχε ο Bohr να εξαναγκάζει τους φοιτητές του να σκέπτονται μέσω της διστακτικότητας ακριβώς της σκέψης του, εξηγούν γιατί μια ολόκληρη γενιά που εργαζόταν πάνω στην επίλυση του «αινίγματος των κβάντα», αναγνώρισε στο πρόσωπό του τον πραγματικό

της ηγέτη. Πόσο μάλλον που αυτός ο πνευματικός μέντορας διέθετε κι ένα μεγάλο οργανωτικό ταλέντο: ο Bohr συγκέντρωσε το 1921 τα απαραίτητα χρήματα για τη δημιουργία ενός ινστιτούτου στην Κοπεγχάγη (που φέρει το όνομά του) απ' όπου παρέλασαν, παραμένοντας για μικρά ή μεγάλα χρονικά διαστήματα, τα πιο λαμπρά επιστημονικά πνεύματα της Ευρώπης (ο Heisenberg, ο Pauli, ο Dirac, ο Schrödinger, ο Landau και πολλοί άλλοι).

Η εξιστόρηση αυτού που αποτέλεσε μια από τις μεγαλύτερες διανοητικές περιπέτειες του αιώνα μας είναι το έργο στο οποίο αφιερώθηκε ο Abraham Pais, διάσημος φυσικός, ένας από εκείνους που στα νεανικά τους χρόνια έκαναν το ταξίδι της Κοπεγχάγης. Η βιογραφία του Bohr που κυκλοφόρησε με τίτλο *Niels Bohr's Times in Physics, Philosophy and Polity* είναι ένα ιδιαίτερα εμπειριστατωμένο σύγγραμμα και θα χρωστάμε ευγνωμοσύνη στον Pais (γνώστη της δανικής γλώσσας) που κατάφερε να επανατοποθετήσει τις πρωτο-

ποριακές σκέψεις του Bohr στο εθνικό τους πλαίσιο. Διαβάζοντας το βιβλίο του Pais, μπορούμε να καταλάβουμε γιατί η Κοπεγχάγη, πρωτεύουσα μιας μικρής χώρας, η οποία όμως διατηρούσε σχέσεις τόσο με την Γερμανία όσο και με την Αγγλία, μπόρεσε να γίνει η «Μέκκα» της κβαντικής φυσικής κατά τη δεκαετία του '20.

Αν ο Pais διαπρέπει στην παρουσίαση της ιστορίας του Ινστιτούτου που δημιούργησε ο Bohr, είναι μάλλον απογοητευτικός όταν μιλάει για το πνευματικό έργο του Bohr. Το γεγονός αυτό εκπλήσσει καθώς πρόκειται για έναν φυσικό που εκτός των άλλων είναι και συγγραφέας μιας εξαιρετικής βιογραφίας του Einstein («*Subtle is the Lord, The Science and the Life of Albert Einstein*, Οξφόρδη, Oxford University Press, 1982) η οποία διαφέρει από αντίστοιχα συγγράμματα λόγω της βαρύτητας που αποδίδει ο Pais

στην ανάλυση των ίδιων των επιστημονικών κειμένων. Καθώς το επιστημονικό έργο του Bohr που χρονολογείται μετά το 1913 ταξινομείται παραδοσιακά στο είδος «ερμηνεία» και κατανοείται μάλλον ως λόγος για τη φυσική παρά ως λόγος μέσα στα πλαίσια της φυσικής, περιμέναμε από τον Pais να εξετάσει ως φυσικός αν μια τέτοια ταξινόμηση ευσταθεί: Δυστυχώς, ο αναγνώστης δεν θα μπορέσει να ικανοποιήσει τα ερωτηματικά του διότι ο Pais δίνει την εντύπωση ότι δεν έχει (ξανα)διαβάσει τα επιστημονικά κείμενα του Bohr (με εξαίρεση τα πρώτα του κείμενα, την περίφημη «τριλογία» του 1913).

*Ανακαλύπτοντας για δεύτερη φορά την αρχή της αντιστοιχίας*

Η επαναανάγνωση των κειμένων που ο Bohr έγραψε μετά το 1913,



δηλαδή της περιόδου 1915-1927, είναι αυτό ακριβώς που έκανε ο Olivier Darrigol ο οποίος στο βιβλίο του *From c-numbers to q-numbers. The classical analogy in the history of quantum theory* (το c παραπέμπει στο classical και το q στο quantum, ή σύμφωνα με την χιουμοριστική διατύπωση του Dirac, στο «queer» (αλλόκοτο)), μελετάει τρεις περιπτώσεις όπου στη φυσική χρησιμοποιείται η αναλογία: η αρχή της αντιστοιχίας όπως τη διατύπωσε ο Bohr είναι μία απ' αυτές.

Τα εγχειρίδια της κβαντικής μηχανικής αποσιωπούν γενικά την αρχή αυτή, καθώς θεωρείται ότι δεν αποτελεί μέρος αυτής καθαυτής της θεωρίας, αλλά της «ερμηνείας» της. Στην καλύτερη των περιπτώσεων, παρουσιάζεται σαν μία απλή οριακή κατάσταση με τη διευκρίνιση ότι «στο κλασικό όριο» (κατά προσέγγιση, στο μακροσκοπικό πεδίο), η κβαντική θεωρία πρέπει να «ξεναδώσει» την κλασική θεωρία. Έτσι όμως υποβιβάζουμε την αρχή της αντιστοιχίας σε επίπεδο κοινοτοπίας, αφού είναι γεγονός ότι στη φυσική όπου οι διάφορες θεωρίες αλληλοστηρίζονται, πρέπει συνεχώς να επαληθεύεται ότι, υπό ορισμένες συνθήκες, η μια θεωρία όντως «ξεναδίνει» την άλλη (έτσι, παραδείγματος χάριν, η γενική σχετικότητα στο όριο μιας μηδενικής καμπυλότητας του χωροχρόνου ξεναδίνει οπωσδήποτε τη νευτώνεια μηχανική).

Η αρχή της αντιστοιχίας όμως, έτσι όπως την έκανε να λειτουργήσει ο Bohr, δεν είναι ένα εργαλείο επαλήθευσης κατόπιν εορτής, αλλά μια εγγενής αναγκαιότητα του κβαντικού πεδίου. Υπό αυτή την ιδιότητα έχει αξία τόσο παραγωγική (παράγουμε εξ αυτής τα εμπειρικά αποτελέσματα που αναμένονται στην τάδε ή στη δεινά κατάσταση) όσο και επαγωγική (επιτρέπει να αναγάγουμε τα πειραματικά αποτελέσματα σε νέες κανονικότητες μεταξύ φυσικών μεγεθών). Για να κατανοήσουμε την αξία και το νόημα αυτής της αρχής, πρέπει να θυμηθούμε ότι η κβαντική μηχανική γεννήθηκε ως απάντηση σε μια εκ πρώτης όψεως απλή ερώτηση: πώς γίνεται και το τάδε άτομο εκπέμπει κόκκινο χρώμα ενώ το δεινά πράσινο; Στο ερώτημα αυτό η κλασική θεωρία (δηλαδή ο ηλεκτρομαγνητισμός του Maxwell) προσφέρει μια απάντηση (που αποδείχθηκε μη ικανοποιητική), δηλαδή ότι ένα φορτισμένο σωματίδιο, το οποίο όπως το ηλεκτρόνιο στην «τροχιά» του μέσα στο άτομο, ενεργοποιείται από μια κίνηση που χαρακτηρίζεται από τη συχνότητά του (που δεν είναι τίποτα άλλο από τον αριθμό των διελεύσεων από το ίδιο σημείο μέσα στη μονάδα του χρόνου), εκπέμπει μια ακτίνα της ίδιας συχνότητας (η λέξη νοείται εδώ ως έννοια που ποσοτικοποιεί το χρώμα μιας ακτινοβολίας). Δεν υπάρχει a priori κανένας λόγος να υποθέσουμε ότι αυ-



τές οι δύο «συχνότητες» είναι ίσες, ούτε καν ότι έχουν κάποια σχέση μεταξύ τους: η μία προέρχεται από την μηχανική ενώ η άλλη από την οπτική. Και όμως αυτό είναι που μας υπαγορεύει η κλασική θεωρία, η οποία όχι μόνον καθιερώνει μια σχέση μεταξύ της κίνησης του ηλεκτρονίου και του χρώματος που εκπέμπει το άτομο, αλλά προσδιορίζει επίσης, παίζοντας κατά κάποιο τρόπο με τις λέξεις, ότι αυτή η σχέση ανάγεται στην ταύτιση των δύο «συχνοτήτων» που υπεισέρχονται στο πρόβλημα.

Πλην όμως, το 1913, στην «τριλογία» του ο Bohr, διαπιστώνοντας ότι η κλασική εξήγηση ακυρώνεται εκ θεμελίων (ένα ηλεκτρόνιο που εκπέμπει φως χάνει ενέργεια και άρα θα έπρεπε να πέφτει πάνω στον πυρήνα όπως ακριβώς πέφτει κι ένας δορυφόρος πάνω στη Γη), διατυπώνει δύο «κβαντικές υποθέσεις»: πρώτον, η κίνηση του ηλεκτρονίου γίνεται πάνω σε προνομιακές τροχιές, αποκαλούμενες «στάσιμες τροχιές», πάνω στις οποίες το ηλεκτρόνιο δεν χάνει

ενέργεια και, δεύτερον, η εκπομπή του φωτός αντιστοιχεί στη «μεταπήδηση» από τη μία τροχιά στην άλλη. Ο Bohr βρίσκεται λοιπόν αντιμέτωπος με το πρόβλημα να πρέπει να αντικαταστήσει τον κλασικό «νόμο» βάσει του οποίου η εκπεμπόμενη συχνότητα του φωτός έχει σχέση, και μάλιστα ισούται, με τη συχνότητα της κίνησης του ηλεκτρονίου πάνω στην τροχιά του. Ο Bohr αποφασίζει (και μάλιστα αυτή είναι η ουσία της αρχής της αντιστοιχίας) να κρατήσει την ιδέα ότι υπάρχει μια αντιστοιχία μεταξύ των χρονικών χαρακτηριστικών της κίνησης του ηλεκτρονίου πάνω στη στάσιμη τροχιά του και της συχνότητας (του χρώματος) που εκπέμπει το συγκεκριμένο άτομο, αλλά να εγκαταλείψει την ιδέα ότι οι δύο αυτές παράμετροι οφείλουν να είναι ταυτόσημες και να αντικαταστήσει αυτή την ταύτιση με ένα «νόμο αντιστοιχίας», ο

ο οποίος από μενε να προσδιοριστεί (κάτι που επιχειρήσε να κάνει από το 1915 έως το 1927).

Βλέπουμε λοιπόν ότι πόρρω απέχουμε από την ιδέα μιας a posteriori επαλήθευσης που θα συνεπαγόταν η «οριακή» συμφωνία μεταξύ της κβαντικής και της κλασικής θεωρίας. Το μεγάλο προτέρημα του Olivier Darrigol είναι ότι ανέδειξε την πραγματική σημασία της αρχής της αντιστοιχίας μέσα από μίαν ανάγνωση κειμένων που θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε «αρχαιολογική».

#### *Μια αρχή της κβαντικής φυσικής*

Αυτό που είναι πολύ εντυπωσιακό εδώ είναι το γεγονός ότι για ένα πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα κανείς δεν έλαβε ποτέ σοβαρά υπ' όψιν τη γνώμη του ίδιου του Bohr ο οποίος πάντοτε υποστήριζε ότι

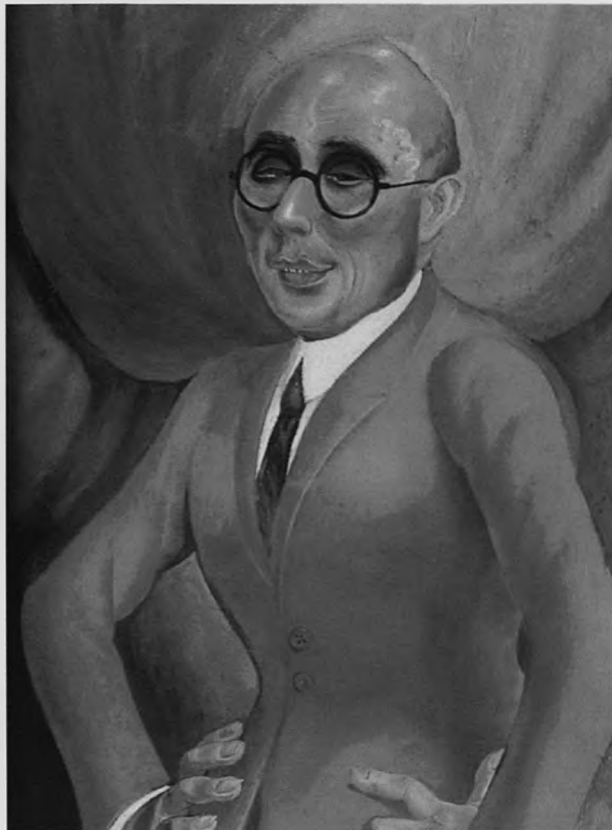
η αρχή της αντιστοιχίας αποτελούσε αρχή της κβαντικής θεωρίας. Βλέπουμε εδώ ανάγλυφα πώς αντιμετώπιζαν οι μεταγενέστεροι τον Bohr, οι οποίοι ποτέ δεν σταμάτησαν να τον επικαλούνται, συχνά όμως αμελούσαν να καταλάβουν πραγματικά αυτό που ήθελε να πει. Η περίπτωση του Pais είναι απ' αυτήν την άποψη χαρακτηριστική: στο βιβλίο του, η έκφραση της αφοσίωσής του υποκαθιστά συχνά την εννοιολογική ανάλυση. Παρ' όλα αυτά, ο Bohr δεν ήταν ο μόνος που ήταν πεπεισμένος για τη σημασία της αρχής της αντιστοιχίας. Ο Olivier Darrigol δίνει καθαρά ότι η κβαντική μηχανική, όπως την οικοδόμησε ο Heisenberg το 1925 με μια έμπνευση που ποτέ δεν θα σταματήσουμε να θαυμάζουμε, γεννήθηκε από τη θέλησή του να ωθήσει στα όρια την εφαρμογή της αρχής της αντιστοιχίας, υποβάλλοντάς την σε μιαν «τελειοποίηση». Ο Heisenberg στην πραγματικότητα, αντιμετώπιζε με την αναγκαιότητα να εγκαταλειφθεί η ιδέα της τροχιάς, μπροστά στην οποία βρέθηκαν οι φυσικοί στα 1924-1925 (εγκατάλειψη η οποία επιβλήθηκε από την αποτυχία της θεωρίας που διατύπωσαν οι Bohr, Kramers, Slater και συνήθιζουμε να αποκαλούμε θεωρία BKS), αποφάσισε να μην απορρίψει την αρχή της αντιστοιχίας (κάτι το οποίο πολλοί φυσικοί ήταν έτοιμοι να δεχτούν στο μέτρο που η αρχή αυτή στηριζόταν ακριβώς στην ιδέα της τροχιάς), αλλά αντίθετα να την επεκτείνει στην ίδια τη δυναμική του ηλεκτρονίου «μεταφράζοντας» όχι το τελικό αποτέλεσμα (την παραγωγή της τάδε ή της δείνα συχνότητας), αλλά τα διαδοχικά στάδια των υπολογισμών της κλασικής δυναμικής που οδηγούν σ' αυτό το αποτέλεσμα – κάτι που ο Bohr, παρά την εμπιστοσύνη που έδειχνε στην ευρετική δύναμη της αρχής του, δεν είχε ποτέ τολμήσει να κάνει. Κι εδώ επίσης, η ανάγνωση των πρωτότυπων κειμένων, στην οποία μας προτρέπει ο Olivier Darrigol, είναι αναντικατάστατη: αρκεί μια ματιά στο βασικό άρθρο του Heisenberg για να δούμε ότι προέβη σε μια πραγματική συμβολική μεταγραφή των νόμων της δυναμικής, καθώς κάθε στάδιο του κλασικού υπολογισμού ακολουθείται αμέσως από το συμβολικό κβαντικό του ανάλογο.

Θα μπορούσε κανείς να σκεφτεί ότι η αποκατάσταση της «αλήθειας» για την αρχή της αντιστοιχίας έχει μικρή σημασία. Αφορά όμως την ίδια την ουσία της κβαντικής θεωρίας στην οποία επισυνάπτεται με μεγάλη ευκολία η λέξη «επανάσταση». Η κβαντική θεωρία, παρά τις ανατροπές τις οποίες προκάλεσε, δεν προέκυψε εκ του μηδενός. Εξαρτάται απολύτως από την κλασική θεωρία τόσο διότι διατηρεί τις θεμελιώδεις αρχές της (διατήρηση της ενέργειας, αρχή της σχετικότητας κτλ.), αλλά και διότι διατηρεί τη δομή των σχέσεων

που συνδέουν τα φυσικά μεγέθη μεταξύ τους – αυτό ακριβώς εκφράζει και η αρχή της αντιστοιχίας. Αυτό το γνωρίζουν καλά οι φοιτητές της φυσικής που μαθαίνουν να κατασκευάζουν μια κβαντική χαμιλτόνιο αντικαθιστώντας τα κλασικά μεγέθη, θέση και ορμή της κίνησης, από τα συμβολικά τους ανάλογα. Μήπως άλλωστε σήμερα δεν μπορεί να οριστεί όλη η έρευνα στην κβαντική θεωρητική φυσική ως τέχνη της «κβαντοποίησης» (όπως λένε) των κλασικών εκφράσεων, δηλαδή του μετασχηματισμού των κβαντικών εκφράσεων (της τάδε ή της δείνα λαγκρανζιανής) σε κβαντικές σχέσεις;

#### Η απόρριψη της φιλοσοφίας

Αν οι φυσικοί κατάφεραν για τόσα χρόνια να κρύβουν, ακόμα κι απ' τον εαυτό τους, την προέλευση των θεωρητικών κινήσεων που πραγματοποιούσαν κάθε μέρα, τούτο συνέβαινε κατά ένα μεγάλο μέρος επειδή στα μάτια τους ο Bohr φάνταζε σαν ένας φυσικός που



πήρε τον κακό δρόμο, που ανέμιξε πράγματα που απαγορεύεται να αναμειχθούν, την επιστημονική σκέψη και την φιλοσοφική σκέψη. Το ότι ένας φυσικός στα γεράματά του φιλοσοφεί δεν τρομάζει το γεγονός όμως ότι ένας εν ενεργεία φυσικός διατείνεται ότι οι έρευνές του καθοδηγούνται από αναγκαιότητες φιλοσοφικής τάξεως, είναι κάτι που για πολύ καιρό, για τριάντα ολόκληρα χρόνια μετά τον πόλεμο, συχνά θεωρήθηκε άστοχο, για να μην πούμε ανυπόφορο.

Από αυτήν την άποψη η επανέκδοση ενός συνόλου κειμένων του Bohr με γενικό περιεχόμενο υπό τον τίτλο *Physique atomique et connaissance humaine* [Ατομική Φυσική και Ανθρώπινη Γνώση], και κυρίως η εισαγωγή και το γλωσσάριο που συνοδεύουν αυτήν την επανέκδοση, τα οποία συνέταξε η Catherine Chevalley, θα έπρεπε να παροτρύνει τους φυσικούς να αλλάξουν

οπτική. Η Catherine Chevalley, στηριζόμενη κι αυτή στα κείμενα, έδειξε ότι το εγχείρημα του Bohr προέρχεται τόσο από την ανάπτυξη της θεωρίας της φυσικής όσο και από έναν φιλοσοφικό λογισμό, δυο πράγματα αδιαχώριστα στο βαθμό που είναι η ανάπτυξη ακριβώς της θεωρίας που υποχρεώνει τον Bohr να θέτει φιλοσοφικά προβλήματα. Η περίπτωση της αρχής της αντιστοιχίας είναι εν προκειμένω παραδειγματική: οι κλυδωνισμοί που υπέστη η αρχή αυτή, μετά την εγκατάλειψη της ιδέας της τροχιάς, υποχρέωσε τον Bohr να θέσει το ερώτημα (που είναι δύσκολο να μην χαρακτηρίσουμε ως «φιλοσοφικό») του πώς θα μπορούσε κανείς να μιλήσει όταν οι λέξεις δεν επαρκούν (στην συγκεκριμένη περίπτωση οι λέξεις τροχιά, θέση, ταχύτητα), όταν τα πράγματα δεν αντιστοιχούν πλέον στις λέξεις. Η Catherine Chevalley δείχνει πολύ καλά ότι το 1927 ήταν αδύ-

νατον να αδιαφορήσει κανείς γι' αυτό το «φιλοσοφικό» ερώτημα, να καμωθεί ότι «επρόκειτο απλά για ένα ζήτημα λέξεων», ότι «τα ζητήματα των λέξεων είναι ξένα προς την ίδια τη φυσική», ότι το ζήτημα είχε επιλυθεί με το πρόσχημα ότι τεχνικά ήταν αρκετό να αντικατασταθούν οι συνεχείς συναρτήσεις από τελεστές. Πράγματι, οι θεμελιωτές της κβαντικής θεωρίας συζήτησαν κατά κόρον μεταξύ τους το ζήτημα της γλώσσας, μέχρι που επικράτησε η άποψη του Bohr. «Η γλώσσα του Newton και του Maxwell θα παραμείνει για πάντα η γλώσσα των φυσικών» λέει ο Bohr (σύμφωνα με την αρχή της αντιστοιχίας), θέλοντας μ' αυτό να πει ότι για να μιλήσει κανείς για τα πράγματα αυτά που δεν αντιστοιχούν σε λέξεις, αρκεί να πολλαπλασιάσει τις περιγραφές χρησιμοποιώντας την γλώσσα της κλασικής φυσικής, ακόμα και αν, και ιδίως αν, είναι αντιφατικές μεταξύ τους. Η Catherine Chevalley δείχνει με ποιο τρόπο η απουσία κβαντικών εννοιών οδήγησε τον Bohr να αναζητήσει έναν καινούργιο ορισμό της λέξης «φαινόμενο», και άρα μια νέα μορφή αντικειμενικότητας, καθώς και ότι αυτό το φιλοσοφικό εγχείρημα, που προέκυψε από την τεχνική ανάπτυξη της θεωρίας, έχει τις ρίζες του στην γερμανική φιλοσοφική παράδοση. Κι εδώ επίσης, η αυστηρή μελέτη των κειμένων οδηγεί στην αναθεώρηση των κατεστημένων ιδεών: επί σειράν ετών θεωρούσαμε ότι η κβαντική θεωρία αναπτύχθηκε από μόνη της, εξίσωση με την εξίσωση, πειραματική ανακάλυψη με την πειραματική ανακάλυψη, ανεξάρτητα από το πολιτισμικό περιβάλλον μέσα στο οποίο γεννήθηκε, την Γερμανία του πρώτου τρίτου του αιώνα μας. Υπάρχει ένα ολόκληρο πεδίο έρευνας το οποίο ακόμα παραμένει ανεξερευνητό: η μελέτη των, συγχρόνως ευλαβικών και ειconoκλαστικών, σχέσεων που διατηρούσε η κβαντική θεωρία με τη γερμανική φιλοσοφία, έτσι όπως η τελευταία, προϊόν του μοναδικού γερμανικού πανεπιστημίου, είχε στις αρχές του αιώνα αναχθεί σε επιστέγασμα της πνευματικής καλλιέργειας.



Μετάφραση από τα γαλλικά: Γ. Ζακοπούλου  
(Κέντρο Λογοτεχνικής Μετάφρασης - Γαλλικό Ινστιτούτο Αθηνών)

#### ΣΗΜΕΙΩΣΗ

1. Επιθεώρηση *Liber*, τεύχος 11, Σεπτέμβριος 1992.

#### Πρόσφατη Βιβλιογραφία

Niels Bohr, *Collected Works*, (Συλλογή Έργων) . Rosenfeld, J. Rud Nielsen, E. Rudinger, F. Aaserud, (eds), Amsterdam και New York, North Holland.

Από το 1982 έχουν εκδοθεί 8 τόμοι και προβλέπονται άλλοι 11.

Niels Bohr, *Physique Atomique et connaissance humaine (Ατομική Φυσική και Ανθρώπινη Γνώση)*, μετάφραση στα γαλλικά E. Bauer και R. Omnès, εισαγωγή και γλωσσάριο της C. Chevalley, Paris, Gallimard, 1991.

Niels Bohr, *A Centenary Volume*, A.P. French και P. J. Kennedy, (eds), Harvard, Harvard University Press.

Niels Bohr (1885-1962). *Der Kopenhagener Geist in der Physik*, K. von Mayen et al. (eds), Brunswick, Vieweg & Sohn, 1985.

Olivier Darrigol, *From c-numbers to q-numbers. The Classical Analogy in the History of Quantum Theory (Από τους αριθμούς-c στους αριθμούς-q. Η Κλασική αναλογία στην Ιστορία της Κβαντικής Θεωρίας)*, Los Angeles, University of California Press, 1992.

Jan Faye, Niels Bohr, His Heritage and Legacy, Ordrecht, Kluwer, 1991.

Henry Folse, *The Philosophy of Niels Bohr: The Framework of Complementarity*, Amsterdam και New York, North Holland, 1985.

John Hendry, *The Creation of Quantum Mechanics and the Bohr-Pauli Dialogue*, Dordrecht, Reidel, 1984.

John Honner, *The Description of Nature. Niels Bohr and the Philosophy of Quantum Physics*, New York, Oxford University Press, 1987.

Francois Lurcat, Niels Bohr, Paris, Criterion, 1990.

Edward MacKinnon, *Scientific Explanation and Atomic Physics*, Chicago, The University of Chicago Press, 1982.

Dugald R. Murdoch, *Niels Bohr's Philosophy of Physics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982.

Abraham Pais, *Niels Bohr's Times in Physics, Philosophy and Polity*, Oxford, Clarendon Press, 1991.

Sandro Petruccioli, *Atomi metafore paradossi. Niels Bohr e la costruzione di una nuova fisica*, Rome, Theoria, 1988.

Ulrich Roseberg, *Niels Bohr. Leben und Werk eines Atomphysikers*, Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 1985.