

Ν Ε Υ Σ Ι Σ

ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΟΣ 31 / ΤΕΥΧΟΣ 1 / ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2025

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΦΙΕΡΩΜΑ

Η επικινδυνότητα της πρόβλεψης στις Φυσικές Επιστήμες: Ιστορικές και επιστημολογικές διαστάσεις

ΘΟΔΩΡΟΣ ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ, ΣΤΑΘΗΣ ΑΡΑΠΟΣΤΑΘΗΣ, ΗΡΑΚΛΗΣ ΚΑΤΣΑΛΟΥΛΗΣ & ΤΕΛΗΣ ΤΥΜΠΑΣ: <i>Εισαγωγή</i>	3
ΣΤΕΛΙΟΣ ΚΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ: <i>Χημεία με υπολογιστές: Ποσοτικές προβλέψεις και η αμφισβήτηση του μονοπωλίου του πειράματος στην ιστορία της Υπολογιστικής Κβαντικής Χημείας</i>	11
ΗΡΑΚΛΗΣ ΚΑΤΣΑΛΟΥΛΗΣ: <i>Το πρόβλημα της πρόβλεψης στη σύγχρονη σεισμολογία: Επιστημολογικές διαστάσεις και ζητήματα επιστημονικής πολιτικής</i>	35
ΓΡΗΓΟΡΗΣ ΠΑΝΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ: <i>Διερευνώντας την ιστορική εξέλιξη της έννοιας της πρόβλεψης στη Φυσική Υψηλών Ενεργειών</i>	55
ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ: <i>Η πρόβλεψη και η επιστημική της αξία στις Φυσικές Επιστήμες τον 19ο αιώνα</i>	85

ΒΙΒΛΙΟΚΡΙΤΙΚΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΓΚΟΤΣΗΣ: <i>T. Jing, The origins and continuity of Chinese sociology</i>	101
---	-----

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΥΝΤΑΞΗΣ

Κώστας Δημητρακόπουλος

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΣΥΝΤΑΞΗΣ

Θεόδωρος Αραμπατζής
Χρυσόστομος Μαντζαβίνος
Τέλης Τύμπας

ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Διονύσιος Α. Αναπολιτάνος
Θεόδωρος Αραμπατζής
Κώστας Γαβρόγλου
Κώστας Δημητρακόπουλος
Χρυσόστομος Μαντζαβίνος
Αριστείδης Μπαλτάς
Μιχάλης Σιάλαρος
Τέλης Τύμπας
Γιάννης Χριστιανίδης

ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΚΔΟΣΗΣ

Παντελής Γκολίτσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Δημήτρης Γούτας, Πανεπιστήμιο Yale
Δημήτρης Διαλέτης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Βασίλειος Καρακώστας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Γιώργος Καραμανώλης, Πανεπιστήμιο Βιέννης
Θεόκριτος Κουρεμένος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Κωνσταντίνος Ν. Κωνσταντινίδης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
Μανώλης Πατηνιώτης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Δημήτρης Πορτίδης, Πανεπιστήμιο Κύπρου
Αθανάσιος Ραφτόπουλος, Πανεπιστήμιο Κύπρου
Μαρία Πεντετζή, Friedrich-Alexander-Universität
Δήμητρα Χριστοπούλου, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Η ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ: ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΘΟΔΩΡΟΣ ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ, ΣΤΑΘΗΣ ΑΡΑΠΟΣΤΑΘΗΣ,
ΗΡΑΚΛΗΣ ΚΑΤΣΑΛΟΥΛΗΣ, ΤΕΛΗΣ ΤΥΜΠΑΣ*

Τα κείμενα που απαρτίζουν το παρόν ειδικό τεύχος του περιοδικού *Νεύσις* είναι προϊόν του ερευνητικού έργου *Η Επικινδυνότητα της Πρόβλεψης στις Φυσικές Επιστήμες: Ιστορικές και Επιστημολογικές Όψεις* (ΡΥΤΗΙΑ). Στόχος του συγκεκριμένου έργου ήταν να συμβάλει στην ευρύτερη συζήτηση που υπάρχει στην ιστορία και φιλοσοφία της επιστήμης και τεχνολογίας και τους συγγενείς κλάδους σχετικά με την πρόβλεψη στην επιστήμη. Η έρευνα στο πλαίσιο του ΡΥΤΗΙΑ επικεντρώθηκε στα εξής ερωτήματα σχετικά με την πρόβλεψη στις φυσικές επιστήμες: Ποιος είναι ο ρόλος της πρόβλεψης στην επιστημονική πρακτική; Πώς έχει μεταβληθεί ιστορικά και πώς διαφοροποιείται σε διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους; Πώς γεφυρώνεται το χάσμα ανάμεσα στη θεωρία και την πρόβλεψη συγκεκριμένων φαινομένων; Τι λογίζεται ως έγκυρη και επιτυχημένη πρόβλεψη σε διαφορετικές περιοχές των φυσικών επιστημών;

Η δυνατότητα πρόβλεψης θεωρείται ως ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της επιστήμης, κάτι που λείπει από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως, για παράδειγμα, η τέχνη. Η λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με τη δημόσια πολιτική βασίζεται όλο και περισσότερο στη δυνατότητα των ανθρώπων να προβλέπουν και, συνεπώς, βασίζεται όλο και πιο πολύ στην επιστήμη. Δεν αποτελεί έκπληξη, λοιπόν, ότι ορισμένα από τα θέματα που σχετίζονται με την πρόβλεψη στην επιστήμη αποτελούν αντικείμενο συζήτησης για αρκετές δεκαετίες.

* Οι Θ. ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ, Σ. ΑΡΑΠΟΣΤΑΘΗΣ & Τ. ΤΥΜΠΑΣ είναι Καθηγητές στο Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ο Η. ΚΑΤΣΑΛΟΥΛΗΣ είναι Μεταδιδακτορικός Ερευνητής στο Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τα υπόλοιπα μέλη της ερευνητικής ομάδας του ΡΥΤΗΙΑ, τον Στέλιο Καμπουρίδη, τον Γρηγόρη Πανουτσόπουλο, και τη Βασιλική Χριστοπούλου, για την εξαιρετική συνεργασία και την καθοριστική συμβολή τους στην επιτυχή ολοκλήρωση του ερευνητικού προγράμματος. Η ερευνητική αυτή εργασία υποστηρίχθηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ) στο πλαίσιο της Δράσης «1η Προκήρυξη Ερευνητικών Έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση των Μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας» (Αριθμός Έργου: 875).

Τα κεντρικά ερωτήματα που έχουν μελετηθεί στη φιλοσοφική βιβλιογραφία είναι τα εξής: κατέχει η πρόβλεψη κάποια ιδιαίτερη θέση στην επιστημονική διαδικασία; Αν ναι, σε τι ακριβώς συνίσταται αυτή; Σε αυτά τα ερωτήματα έχουν δοθεί απαντήσεις κατά καιρούς, χωρίς όμως να υπάρχει συναίνεση ως προς αυτές. Η θετική απάντηση στην πρώτη από τις παραπάνω ερωτήσεις χαρακτηρίζει το φιλοσοφικό ρεύμα που ονομάζεται προβλεπτισμός (predictivism). Στον πυρήνα αυτής της θεωρησης βρίσκεται η παραδοχή ότι η πρόβλεψη του μέλλοντος είναι μια ανώτερη διανοητικά δραστηριότητα από την εξήγηση του παρελθόντος. Σε αυτή τη γραμμή σκέψης ο Hans Reichenbach (1938) υποστήριζε ότι η πρόβλεψη είναι ο ανώτερος σκοπός της επιστήμης, ενώ ο Karl Popper (2002) είχε την άποψη ότι η επιστήμη προχωρά μπροστά όχι με την εξήγηση των υπαρχόντων δεδομένων αλλά με την πρόταση τολμηρών θεωριών που οδηγούν στην πρόβλεψη άγνωστων φαινομένων. Ακολουθώντας τον Popper ο Imre Lakatos υποστήριξε ότι η επιτυχία ενός Ερευνητικού Προγράμματος μπορεί να μετρηθεί από τις επιτυχείς προβλέψεις του για νέα φαινόμενα, οι οποίες αποτελούν το κλειδί για την επιστημονική πρόοδο. Αντιρρήσεις κατά του προβλεπτισμού έχουν διατυπωθεί τόσο σε φιλοσοφικό όσο και σε ιστορικό επίπεδο. Η κύρια φιλοσοφική αντίρρηση είναι ότι δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ της εκ των υστέρων εξήγησης φαινομένων που είναι ήδη γνωστά, από τη μία πλευρά, και της πρόβλεψης νέων φαινομένων, από την άλλη. Το μόνο πράγμα που έχει πραγματική σημασία είναι η εμπειρική επιβεβαίωση μιας θεωρίας. Εάν αυτή η επιβεβαίωση βασίζεται σε ήδη γνωστά ή νέα φαινόμενα είναι επιστημονικά αδιάφορο (βλ. την ανασκόπηση των Douglas & Magnus 2013). Επιπλέον, η ιστορία της επιστήμης παρέχει πολλά παραδείγματα που δείχνουν ότι οι νέες προβλέψεις δεν παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εδραίωση επιστημονικών θεωριών. Ο Stephen Brush (1989, 2015), για παράδειγμα, έχει δείξει με πειστικό τρόπο ότι, αντίθετα με την ευρέως διαδεδομένη άποψη, η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας δεν έγινε αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα λόγω των νέων της προβλέψεων. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με μια δημοφιλή άποψη που υποστηρίζει τον προβλεπτισμό, η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας έγινε αποδεκτή μόνο αφού είχε επαληθευτεί μία από τις πιο σημαντικές προβλέψεις της, η κάμψη του φωτός όταν περνά κοντά από ένα σώμα με πολύ μεγάλη μάζα. Ενάντια σε αυτή την άποψη, ο Brush υποστηρίζει ότι αυτή η επιτυχημένη πρόβλεψη, αν και σημαντική, δεν αποδείχθηκε πιο καθοριστική για την αποδοχή της θεωρίας του Einstein από την εξήγηση της μετατόπισης του περιηλίου του Ερμή, ενός φαινομένου γνωστού ήδη έναν αιώνα πριν.

Όσον αφορά την πρόβλεψη ως μέσο για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων, υπάρχει και εδώ μια ανοικτή συζήτηση σχετικά με το αν η πρόβλεψη έχει ιδιαίτερο επιστημολογικό βάρος. Μπορούμε να εμπιστευόμαστε μια πρόβλεψη χωρίς αυτή να συνοδεύεται από εξήγηση; Με

ποιον τρόπο αποκτά μία πρόβλεψη επιστημολογική και πολιτική βαρύτητα όταν έχει πιθανοκρατικό χαρακτήρα και δεν παρέχει απόλυτη βεβαιότητα; Είναι δυνατόν διαδικασίες που σχετίζονται με τη λήψη πολιτικών αποφάσεων να βασίζονται σε πιθανοκρατικές προβλέψεις; Είναι ορθό να καθοδηγείται η επιστημονική έρευνα και να λαμβάνονται αποφάσεις σε επιστημονικό ή πολιτικό επίπεδο μόνο στη βάση επιτυχών προβλέψεων, χωρίς να είναι κατανοητό γιατί αυτές οι προβλέψεις είναι επιτυχείς (Carrier 2014); Τι ρόλο παίζουν οι επιστημονικές προβλέψεις στην οργάνωση θεσμών, στη διαχείριση δημόσιου χρήματος, στην οργάνωση και ρύθμιση των αγορών, καθώς και στη συγκρότηση πολιτικών διακυβέρνησης μεγάλων κοινωνικών ομάδων; Ένα επιπλέον ερώτημα είναι αν είναι δυνατόν να προβλεφθούν τα πάντα από την επιστήμη. Υπάρχουν φυσικά φαινόμενα που μπορούν να χαρακτηριστούν μη προβλέψιμα (Gonzalez 2015); Αν ναι, μέσω ποιων διαδικασιών χαρακτηρίζεται ένα φαινόμενο ως προβλέψιμο ή όχι; Πέρα από την πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων, υπάρχει μια ακόμη πολύ σημαντική πλευρά της πρόβλεψης στη σύγχρονη επιστήμη. Στην εποχή της επιστήμης μεγάλης κλίμακας, όπου τα ερευνητικά προγράμματα που διεξάγονται απαιτούν σημαντικούς πόρους, μεγάλη ανθρώπινη προσπάθεια και αντίστοιχη χρονική δέσμευση, είναι ιδιαίτερα σημαντική η πρόβλεψη της επιτυχούς ή μη έκβασης ενός ερευνητικού προγράμματος (Carrier 2014).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, τόσο ιστοριογραφικά όσο και αναλυτικά, οι πολιτικές γύρω από τις ερευνητικές υποδομές συνδέθηκαν με την αξιοπιστία των προβλέψεων και των επιστημονικών κοινοτήτων που τις παράγαγαν. Κρίσιμη παράμετρος για την αξιοπιστία των προβλέψεων είναι οι υποδομές στις οποίες στηρίζονται, όπως και η πρόσβαση σε αυτές. Οι βάσεις μεγάλων δεδομένων, ο τρόπος και η αξιοπιστία της συγκρότησής τους, καθώς και η δυνατότητα πρόσβασης σε αυτές έχουν αποτελέσει σημαντικά ζητήματα για τους ιστορικούς και κοινωνιολόγους που έχουν μελετήσει το θέμα της πρόβλεψης, σε επιστήμες όπως οι επιστήμες της ατμόσφαιρας, οι περιβαλλοντικές σπουδές, και η βιοτεχνολογία (Krige 2022, Strasser & Edwards, 2017, Edwards 2006, 2017).

Υπάρχουν όμως και άλλα σημαντικά ερωτήματα, τα οποία δεν έχουν γίνει αντικείμενο συστηματικής έρευνας, όπως τα εξής: Τι ακριβώς σημαίνει πρόβλεψη; Πώς εξάγεται μια πρόβλεψη; Πότε θεωρείται μια πρόβλεψη επιτυχής; Βασική αφετηρία των άρθρων αυτού του τεύχους είναι ότι η απάντηση στα ερωτήματα που μόλις θέσαμε δεν είναι αυτονόητη για δύο λόγους. Πρώτον, διότι ο χαρακτήρας και η επιστημική βαρύτητα της πρόβλεψης μεταβάλλονται ιστορικά. Και, δεύτερον, διότι ανάμεσα στη θεωρία που χρησιμοποιείται για μια πρόβλεψη και την πρόβλεψη καθ' εαυτή υπάρχει σημαντικό χάσμα: χάσμα που γίνεται εντονότερο όταν μεσολαβεί η χρήση υπολογιστικών μοντέλων.

Τα κείμενα του παρόντος τεύχους αποπειρώνται να δώσουν απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα εστιάζοντας σε τέσσερις ερευνητικές περιοχές: τη φυσική του 19ου αιώνα, τη φυσική υψηλών ενεργειών, την κβαντική χημεία, και τη σεισμολογία.

Στο άρθρο της Βασιλικής Χριστοπούλου αναδεικνύεται η ιστορικότητα της έννοιας της πρόβλεψης στις φυσικές επιστήμες, μέσα από τη μελέτη της περίπτωσης της Φυσικής του 19ου αιώνα. Σε αυτή την περίοδο έγινε μια επανανοηματοδότηση της έννοιας «πρόβλεψη», η οποία έως τότε ήταν κατά κάποιο τρόπο συνώνυμη της προφητείας, έχοντας έτσι μια αρνητική χροιά. Αυτή την περίοδο η πρόβλεψη αναδείχθηκε ως ένα βασικό χαρακτηριστικό της επιστήμης που τη διαφοροποιεί από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η θεολογία και η αστρολογία, για παράδειγμα. Η άνοδος του υποθετικό-παραγωγικού μοντέλου στην επιστήμη κατά τον 19ο αιώνα είχε σημαντικό αντίκτυπο στην ανύψωση του ρόλου της πρόβλεψης στην επιστήμη· καθώς μια υπόθεση προηγείται της παρατήρησης, η εγκυρότητα των προβλέψεων που αυτή παράγει είναι ο μοναδικός τρόπος για να ελέγξουμε την εγκυρότητα της υπόθεσης καθαυτής. Η πρόβλεψη όμως, δεν είχε τον ίδιο ρόλο σε όλες τις επιστημονικές περιοχές. Δεν είχαν αναπτύξει όλοι οι επιστημονικοί κλάδοι προβλεπτικούς νόμους στον ίδιο βαθμό, και αυτό συνδεόταν έως έναν βαθμό, με το επίπεδο μαθηματικοποίησης στο οποίο είχε φτάσει ο κάθε κλάδος. Η βιολογία και η γεωλογία, για παράδειγμα, δεν είχαν αναπτύξει προβλεπτικούς νόμους στο βαθμό που είχαν αναπτύξει η φυσική, χημεία, και φυσικά η αστρονομία, οι προβλέψεις της οποίας αποτελούσαν το πρότυπο για όλους τους φυσικούς επιστήμονες. Επίσης, την ίδια περίοδο ξεκίνησε η συζήτηση που δεσπόζει ακόμα στη φιλοσοφική βιβλιογραφία, σχετικά με την επιστημική αξία των προβλέψεων που παράγει μια θεωρία και κατά πόσο αυτή είναι μεγαλύτερη από την επιστημική αξία που έχει η εξήγηση ήδη γνωστών φαινομένων από μια θεωρία.

Όπως είδαμε η έννοια της πρόβλεψης στη Φυσική αποτέλεσε θεμέλιο λίθο της ήδη από τον 19ο αιώνα. Ωστόσο, όπως υποστηρίζεται στο άρθρο του Γρηγόρη Πανουτσόπουλου, σε τομείς της Φυσικής όπως η Φυσική Υψηλών Ενεργειών (ΦΥΕ) όπου διεξάγονται πειράματα μεγάλης κλίμακας, η πολυπλοκότητα αυτών των πειραμάτων αναδεικνύει την αναγκαιότητα επανεξέτασης της έννοιας της πρόβλεψης. Η συγκεκριμένη έννοια θα πρέπει πλέον να αναλυθεί όχι με όρους μιας μονοδιάστατης σχέσης, όπου η θεωρία προβλέπει και το πείραμα επιβεβαιώνει ή διαψεύδει, αλλά στο πλαίσιο μιας πολύπλοκης και συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μεταξύ θεωρίας και πειράματος. Η ανάγκη για επανεξέταση της έννοιας της πρόβλεψης έχει γίνει ακόμα εντονότερη μετά την ανακάλυψη του μποζονίου Higgs, με την οποία το «κυνήγι» των σωματιδίων του Καθιερωμένου Προτύπου έφθασε στο τέλος του. Παρ' όλα αυτά,

τα πειράματα στο πεδίο της ΦΥΕ συνεχίζονται ακάθεκτα, ενώ σχεδιάζονται ακόμα και καινούριοι επιταχυντές. Σε αυτές τις εξελίξεις παρατηρούμε μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα αντιστροφή της σχέσης θεωρίας-πειράματος: το πείραμα φαίνεται να αποκτά την πρωτοκαθεδρία με τη θεωρία να ακολουθεί ασθμαίνοντας. Η πειραματική φυσική είναι αυτή που καλείται πλέον, μέσα από διερευνητικά πειράματα, να ανοίξει το δρόμο προς τη Νέα Φυσική, ενώ οι θεωρητικοί φυσικοί καλούνται στη συνέχεια να τα ερμηνεύσουν. Σε αυτό το πλαίσιο καθίσταται εξαιρετικά κρίσιμη η αναδιαμόρφωση κομβικών εννοιών όπως η έννοια της πρόβλεψης.

Στο τρίτο άρθρο, του Στέλιου Καμπουρίδη, υποστηρίζεται ότι οι υπολογιστικές μέθοδοι στην χβαντική χημεία εμπλέκουν τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και προσεγγιστικών τεχνικών, με σκοπό την εξαγωγή προβλέψεων για τις ιδιότητες επιμέρους χημικών συστημάτων. Αυτές οι μέθοδοι άρχισαν να αναπτύσσονται μετά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, αλλά δεν έγιναν αποδεκτές έως τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Το ζήτημα της πρόβλεψης, και πιο συγκεκριμένα αυτό της ακρίβειας της πρόβλεψης, ήταν κεντρικό κατά την ανάδυση της υπολογιστικής χβαντικής χημείας. Οι επιστήμονες στο πεδίο αυτό πολώθηκαν μεταξύ δύο διαφορετικών αντιλήψεων όσον αφορά το πώς έπρεπε να συγκροτηθούν οι υπολογιστικές μέθοδοι. Ορισμένοι θεωρούσαν ότι έπρεπε να βασίζονται αυστηρά στην θεωρία, χωρίς τη χρήση εκτεταμένων προσεγγίσεων και χωρίς την εισαγωγή πειραματικών δεδομένων. Άλλοι θεωρούσαν ότι το πρόβλημα δεν ήταν η θεωρητική θεμελίωση των μεθόδων αλλά η δυνατότητα εφαρμογής τους σε προβλήματα της πραγματικής χημείας. Οι αντιπαραθέσεις μεταξύ των επιστημόνων που υιοθέτησαν τις διαμετρικά αντίθετες αυτές αντιλήψεις ανέδειξαν ζητήματα που σχετίζονταν με τα επιστημολογικά θεμέλια αλλά και την προβλεπτική ισχύ των υπολογιστικών μεθόδων. Η περίπτωση της υπολογιστικής χβαντικής χημείας μπορεί να είναι ιδιαίτερα διαφωτιστική για την κατανόηση της «επικινδυνότητας της πρόβλεψης στις φυσικές επιστήμες». Καταρχάς, σε αντίθεση με την περίπτωση της ΦΥΕ, οι συγκεκριμένες υπολογιστικές μέθοδοι αναπτύχθηκαν από μικρές ομάδες ερευνητών με σχετικά περιορισμένους πόρους. Παρόλα αυτά, οι εμπλεκόμενοι επιστήμονες ήταν κορυφαίοι στο πεδίο τους και δημιούργησαν λογισμικό με ιδιαίτερα ευρεία αποδοχή και εμπορική αξία. Το γεγονός ότι οι χβαντικοί χημικοί ήταν πρωτοπόροι χρήστες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1950, αναδεικνύει τη δυναμική σχέση ανάμεσα στην αναπτυσσόμενη υπολογιστική τεχνολογία, τη δημιουργία επιστημονικών μοντέλων και την προβλεπτική τους ισχύ.

Όσον αφορά την πρόβλεψη σεισμών, όπως παρουσιάζεται στο άρθρο του Ηρακλή Κατσαλούλη, υπάρχουν σημαντικές διαφωνίες ανάμεσα στους επιστήμονες που διατρέχουν όλα τα επίπεδα της επιστημονικής διαδικασίας και σχετίζονται με οντολογικά, επιστημολογικά, και μεθοδολογικά θέματα. Η κατάσταση περιπλέκεται ακόμη περισσότερο καθώς

υπάρχει ασυμφωνία ως προς το τι συνιστά πρόβλεψη σεισμών. Σημαίνει την πρόβλεψη ενός συγκεκριμένου σεισμού σε διάστημα λίγων ημερών ή εβδομάδων πριν αυτός συμβεί (βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη) ή την πρόβλεψη ενός σεισμού λίγα χρόνια πριν την έλευσή του (μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη); Οι επιστήμονες που εργάζονται πάνω στην πρόβλεψη σεισμών την ορίζουν με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τις ερευνητικές τους προτεραιότητες. Παράλληλα, υπάρχουν και επιστήμονες που υποστηρίζουν ότι οι σεισμοί είναι μη προβλέψιμο φαινόμενο. Η συζήτηση σχετικά με την πρόβλεψη στη σεισμολογία έγινε ακόμη πιο έντονη και περίπλοκη μετά το σεισμό της Φουκουσίμα στις 11 Μαρτίου 2011, καθώς η σεισμολογική κοινότητα δέχθηκε κριτική γιατί δεν είχε κατορθώσει να προβλέψει την πολύ μεγάλη αυτή καταστροφή. Ο όρος «πρόβλεψη» σε αυτή την περίπτωση δεν αναφέρεται στην πρόβλεψη ενός συγκεκριμένου σεισμού, αλλά στην πιθανοκρατική εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου. Σε αυτή βασίζεται η κατάρτιση του σεισμικού χάρτη επικινδυνότητας μιας χώρας, στον οποίο, με τη σειρά της, βασίζεται η κατάρτιση του Αντισεισμικού Κανονισμού. Επομένως, η σεισμολογία είναι μία ακόμη προνομιακή περίπτωση για τη μελέτη της πρόβλεψης για δύο λόγους: Πρώτον, διότι οι διαφωνίες ανάμεσα στους επιστήμονες δεν αφορούν μόνο πραγματολογικά στοιχεία αλλά τον ίδιο τον ορισμό της πρόβλεψης και την προβλεψιμότητα του φαινομένου. Και, δεύτερον, διότι η πρόβλεψη σεισμών σχετίζεται άμεσα με τη λήψη πολιτικών αποφάσεων με στόχο τη μετρίαση των συνεπειών του φαινομένου.

Συμπερασματικά, τα άρθρα του συγκεκριμένου αφιερώματος αναδεικνύουν και διερευνούν ένα εύρος καινοτόμων ιστορικών και επιστημολογικών ερωτημάτων. Ευελπιστούμε ότι θα συμβάλουν στη βαθύτερη κατανόηση του χαρακτήρα και του ρόλου της πρόβλεψης στις φυσικές επιστήμες και θα δώσουν το έναυσμα και για άλλες αντίστοιχες μελέτες από την Ελληνική ακαδημαϊκή κοινότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] S. BRUSH: «Prediction and Theory Evaluation: The Case of Light Bending». *Science* 246 (1989), 1124–1129.
- [2] S. BRUSH: *Making 20th Century Science: How Theories Became Knowledge*. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- [3] M. CARRIER: «Prediction in context: On the comparative epistemic merit of predictive success». *Studies in History and Philosophy of Science* 45 (2014), 97–102.
- [4] H. DOUGLAS & P. D. MAGNUS: «State of the Field: Why Novel Predictions Matter». *Studies in History and Philosophy of Science* 44 (2013), 580–589.
- [5] P. N. EDWARDS: «Meteorology as Infrastructural Globalism». *Osiris* 21 (2006), 229–250.
- [6] P. N. EDWARDS: «Knowledge infrastructures for the Anthropocene». *The Anthropocene Review* 4 (2006), 34–43.
- [7] W. GONZALEZ: *Philosophico-Methodological Analysis of Prediction and its Role in Economics*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer, 2015.
- [8] J. KRIGE: *Knowledge Flows in a Global Age: A Transnational Approach*. Chicago: The University of Chicago Press, 2022.

- [9] I. LAKATOS: *The Methodology of Scientific Research Programmes*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
- [10] K. POPPER: *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. London/New York: Routledge, 1962.
- [11] H. REICHENBACH: *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundation and the Structure of Knowledge*. Chicago: The University of Chicago Press, 1938.
- [12] B. J. STRASSER & P. N. EDWARDS: «Big Data Is the Answer ... But What Is the Question?» *Osiris* 32 (2017), 328–345.

**ΧΗΜΕΙΑ ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ:
ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΚΑΙ Η ΑΜΦΙΣΒΗΤΗΣΗ ΤΟΥ
ΜΟΝΟΠΩΛΙΟΥ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ**

ΣΤΕΛΙΟΣ ΚΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ. Το άρθρο περιγράφει και ερμηνεύει ιστορικά τη σύνθετη πορεία ανάπτυξης των κβαντοχημικών μεθόδων ποσοτικού υπολογισμού σε χημικά συστήματα. Η διαδικασία αυτή ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950 και μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980 οι μέθοδοι έγιναν αποδεκτές στην ευρύτερη χημική κοινότητα. Το επιχείρημα που αναπτύσσεται έχει τέσσερις πλευρές. Πρώτον, οι κβαντικοί χημικοί υιοθέτησαν ρητορικές στρατηγικές οι οποίες υπερτονίζουν τη σχέση των μοντέλων με τη θεωρία. Δεύτερον, η διάχυση των νέων μεθόδων έγινε μέσω συνεργασιών με οργανικούς χημικούς. Τρίτον, οι μέθοδοι αποτίμησης της απόδοσης των μοντέλων είχαν θεμελιώδη σημασία. Και τέταρτον, το καθεστώς των νέων μεθόδων, σε όλη αυτή την περίοδο, ήταν αβέβαιο και αντικείμενο διαπραγματεύσεων. Τελικά, οι κβαντοχημικοί υπολογισμοί αμφισβήτησαν την πρωτοκαθεδρία της πειραματικής μεθόδου στη χημεία και έγιναν αποδεκτοί κατά την δεκαετία του 1980 ως μια αξιόπιστη μέθοδος χημικής έρευνας.

ABSTRACT. This article describes and explains the convoluted development of quantum chemical methods that enabled quantitative predictions on chemical systems. This process started in the 1950s and ended in the 1980s, when the wider chemical community accepted those methods. The argument has four aspects. First, quantum chemists used rhetorical strategies that stressed the relation of their models with the underlying theory. Second, the dissemination of the new methods was enhanced by alliances with organic chemists. Third, the evaluation of model performance was fundamental. Fourth, the status of the new methods was uncertain and became an object of negotiation. Finally, quantum chemical computations challenged experiments as the primary source of chemical knowledge and were accepted as a legitimate tool for chemical investigation.

* Ο Σ. ΚΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ είναι Μεταδιδακτορικός Ερευνητής στο Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ο συγγραφέας θα ήθελε να ευχαριστήσει τον Κώστα Γαβρόγλου και τον Θόδωρο Αραμπάτζη για την υποστήριξη, την έμπνευση, την καθοδήγηση όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης, για τις παραγωγικές συζητήσεις, όλους τους συνεργάτες στο ερευνητικό πρόγραμμα «Η Επικινδυνότητα της Πρόβλεψης στις Φυσικές Επιστήμες: Ιστορικές και Επιστημολογικές Όψεις», τους καθηγητές Στάθη Αραποστάθη και Τέλη Τύμπα, τους διδάκτορες Ηρακλή Κατσαλούλη, Βασιλική Χριστοπούλου και Γρηγόρη Πανουτσόπουλο. Η ερευνητική αυτή εργασία υποστηρίχθηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ) υπό την «1η Προκήρυξη Ερευνητικών Έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση των Μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας» (Αριθμός Έργου: 875).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αποτελεί κοινοτυπία να αναφέρει κανείς το γεγονός ότι η χημεία είναι μια πειραματική επιστήμη. Η μεγάλη πλειοψηφία της χημικής γνώσης κατά την κλασική περίοδο ανάπτυξης του αντικειμένου βασίστηκε στο πείραμα. Παρόλα αυτά, αμέσως μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο οι αλλαγές και οι μετασχηματισμοί που συνέβησαν στις επιστήμες επηρέασαν και την επιστήμη της χημείας.

Η κβαντική χημεία είναι ένα πεδίο επιστημονικής μελέτης που αναπτύχθηκε από τα τέλη της δεκαετίας του 1920 και μετά ως μια εφαρμογή της κβαντικής θεωρίας στην περίπτωση των χημικών συστημάτων. Η αρχική αίσθηση των φυσικών, όπως ο Πολ Ντιράκ, ήταν ότι η κβαντική θεωρία είχε μετατρέψει την χημεία σε έναν κλάδο της φυσικής. Στη φημισμένη αναγωγιστική ρήση του ο Ντιράκ αναφέρει:

Η γενική θεωρία της κβαντικής μηχανικής είναι πλέον σχεδόν πλήρης, οι ατέλειες που ακόμη υπήρχαν οφείλονται στην ακριβή προσαρμογή της θεωρίας με τις ιδέες της σχετικότητας ... Οι υποκείμενοι φυσικοί νόμοι απαραίτητοι για τη μαθηματική θεωρία ενός μεγάλου μέρους της φυσικής και ολόκληρης της χημείας είναι κατά συνέπεια πλήρως γνωστοί, και η δυσκολία έγκειται μόνο στο ότι η εφαρμογή με ακρίβεια αυτών των νόμων οδηγεί σε εξισώσεις ιδιαίτερα περίπλοκες ώστε να είναι επιλύσιμες.¹

Παρά την σιγουριά που αποπνέει ο Ντιράκ, το πρόβλημα της εφαρμογής της κβαντικής θεωρίας στη χημεία ταλάνισε εκατοντάδες επιστήμονες για πολλές δεκαετίες.

Η κβαντική χημεία, σύμφωνα με τους Γαβρόγλου και Σιμόες, εμφανίστηκε ιστορικά ως μια «ενδιάμεση» επιστήμη η οποία «βρίσκεται ανάμεσα στις ιστορικά ανεπτυγμένες περιοχές των μαθηματικών, της φυσικής, της χημείας και της βιολογίας»². Οι Γαβρόγλου και Σιμόες, σε μια λεπτομερή μονογραφία τους προϊόν πολύχρονης μελέτης του αντικειμένου, περιέγραψαν την ανάδυση της κβαντικής χημείας κατά τον μεσοπόλεμο και ιδιαίτερα τις διαφορετικές απόψεις που υπήρξαν κατά την συγκρότηση του εννοιολογικού πλαισίου του αντικειμένου. Εκεί η πόλωση ανάμεσα στη δημοφιλή στους χημικούς Θεωρία Σθένους Δεσμίου του Λάινους Πόλινγκ (Linus Pauling) και στην περίπλοκη αλλά πιο ακριβή Θεωρία των Μοριακών Τροχιακών του Ρόμπερτ Μάλικεν (Robert Mulliken) κυριάρχησε στο αντικείμενο³.

¹ P. A. M. DIRAC, "Quantum mechanics of many-electron systems," *Proceedings of the Royal Society of London*, A123 (1929), 714-733, 714.

² K. GAVROGLU & A. SIMÕES, *Neither Physics nor Chemistry. A History of Quantum Chemistry* (Cambridge, MA: MIT Press, 2012), 2.

³ Άλλες σημαντικές μελέτες στην ιστορία και φιλοσοφία της κβαντικής χημείας είναι B. S. PARK, "Computations and Interpretations: The Growth of Quantum Chemistry, 1927-1967" (PhD Dissertation, John Hopkins University, 1999); B. S. PARK, "Chemical translators: Pauling, Wheland and their strategies for teaching the theory of resonance,"

Η ποσοτική εφαρμογή της κβαντικής θεωρίας στα χημικά συστήματα ξεκίνησε με μια σειρά υπολογισμών σε άτομα ή μικρά μόρια. Οι υπολογισμοί αυτοί έδειξαν ότι η κβαντική θεωρία είναι μια έγκυρη θεωρία που επιβεβαιώνεται καταρχήν στην εφαρμογή της στα απλά χημικά συστήματα. Σύντομα όμως αποδείχθηκε η δυσκολία εφαρμογή της σε συστήματα με περισσότερα από ένα μικρό αριθμό ατόμων. Κεντρικό ρόλο σε αυτή την πρώτη περίοδο υπολογισμών κατέχει η δουλειά του Άγγλου θεωρητικού φυσικού Ντάγκλας Χάρτρι (Douglass Rayner Hartree). Ο Χάρτρι ανέπτυξε μια προσεγγιστική μέθοδο η οποία αποτέλεσε την βάση όλων των κβαντοχημικών υπολογισμών. Εντούτοις ο πόλεμος διέκοψε όλες τις κβαντοχημικές μελέτες⁴.

Σε όσα ακολουθούν θα περιγραφεί η σύνθετη ιστορική πορεία των κβαντοχημικών μεθόδων ποσοτικών υπολογισμών, από την εισαγωγή τους στα τέλη της δεκαετίας του 1950 έως την αποδοχή τους ως βασικό ερευνητικό εργαλείο τη δεκαετία του 1980, όταν πλέον είχαν μερικώς αντικαταστήσει το πείραμα. Το επιχείρημα του κειμένου έχει τέσσερις πτυχές. Πρώτον, για την υπεράσπιση της ανεξαρτησίας των υπολογιστικών μοντέλων από τα πειράματα, οι κβαντικοί χημικοί υιοθέτησαν ρητορικές στρατηγικές οι οποίες υπερτόνιζαν τη σχέση των μοντέλων με την θεωρία και υποβίβαζαν τη σχέση τους με τα πειραματικά δεδομένα. Δεύτερον, η διάχυση των νέων μεθόδων έγινε μέσω συνεργασιών με οργανικούς χημικούς. Τρίτον, τη δεκαετία του 1970 οι μέθοδοι αποτίμησης της απόδοσης των μοντέλων μετατράπηκαν σε θεμελιώδες κομμάτι της υπολογιστικής μοντελοποίησης στην κβαντική χημεία. Και τέταρτον, το επιστημολογικό και θεσμικό καθεστώς των νέων μεθόδων, σε όλη αυτή την περίοδο, ήταν αβέβαιο και αντικείμενο διαπραγματεύσεων και διαμαχών ανάμεσα στους κβαντικούς χημικούς και τους πειραματικούς χημικούς. Τελικά, οι κβαντοχημικοί υπολογισμοί έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην αμφισβήτηση της πρωτοκαθεδρίας της πειραματικής μεθόδου στη χημεία και έγιναν αποδεκτοί κατά την δεκαετία του 1980 ως συμπληρωματικοί των πειραματικών μεθόδων.

The British Journal for the History of Science 32, no. 1 (1999): 21-46; B. S. PARK, "The "Hyperbola of Quantum Chemistry": The Changing Practice and Identity of a Scientific Discipline in the Early Years of Electronic Digital Computers, 1945-65," *Annals of Science* 60, no. 3 (2003): 219-247; B. S. PARK, "Between Accuracy and Manageability: Computational Imperatives in Quantum Chemistry," *Historical Studies in the Natural Sciences* 39, no. 1 (2009): 32-62; D. BOLCER & R.B. HERMAN, "The Development of Computational Chemistry in the USA" στο *Reviews in Computational Chemistry* 5, eds. Kenny B. Lipkowitz and Donald B. Boyd (New York: VCH Publishers, Inc., 1994), 1-63; J. LENHARD, "Disciplines, Models, and Computers: The Path to Computational Quantum Chemistry," *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 48, (2014): 89-96; J. LENHARD, "Autonomy and Automation. Computational Modeling, Reduction, and Explanation in Quantum Chemistry," *The Monist* 97, no. 3 (2014): 339-358.

⁴ Δες ο.π. B. S. PARK, "Between Accuracy and Manageability...».

2. ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

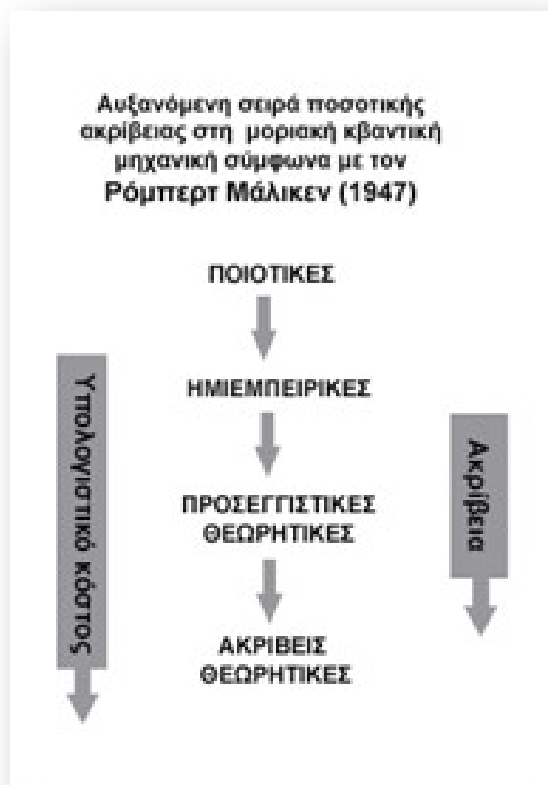
Την επαύριο του πολέμου ο Ρόμπερτ Μάλικεν ανέλαβε την πρωτοβουλία για την επανέναρξη της έρευνας στο αντικείμενο. Ήδη από το 1947 ο Μάλικεν είχε μια σαφή ιδέα για το παρελθόν, το παρόν αλλά και το μέλλον των υπολογιστικών μεθόδων. Θεωρούσε ότι μεταξύ του 1927 και του 1934 υπήρξαν πολλές καινοτομίες και μελετήθηκαν πολλά ανεξερεύνητα συστήματα, όπως τα άτομα του ηλίου και του υδρογόνου. Η κβαντομηχανική επεξεργασία αυτών των συστημάτων αποδείχθηκε εξαιρετικά περίπλοκη και οι απαιτούμενοι υπολογισμοί ένα τιτάνιο έργο. Για αυτό τον λόγο αρκετοί ερευνητές απομακρύνθηκαν από το αντικείμενο ενώ άλλοι αποθαρρύνθηκαν να συνεχίσουν. Εντωμεταξύ η ερμηνεία των ατομικών και διατομικών φασμάτων είχε προχωρήσει επαρκώς, ενώ τα πολυατομικά φάσματα παρέμεναν εν πολλοίς ανερμήνευτα. Αυτός ήταν ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο ο Μάλικεν επέμενε ότι οι ερευνητές στο αντικείμενο έπρεπε να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ κβαντικής θεωρίας και πειράματος «έτσι ώστε η παρατήρηση, η ερμηνεία και η πρόβλεψη να μπορούν να συντονιστούν αρμονικά και ορθά»⁵.

Την ίδια στιγμή περιέγραψε τις κατηγορίες των πιθανά χρήσιμων μεθόδων, παρουσιάζοντας τέσσερις κατευθύνσεις (Εικόνα 1). Η πρώτη ήταν οι «ποιοτικές μέθοδοι», οι οποίες αντιπροσώπευαν μια ορθολογική, ποιοτική ή ημιποσοτική ερμηνεία του συστήματος. Η δεύτερη κατηγορία ήταν οι «ημιεμπειρικές μέθοδοι», όπου τα δύσκολα να αποτιμηθούν ολοκληρώματα αντικαθίστανται από πειραματικά δεδομένα. Η τρίτη κατεύθυνση ήταν οι «προσεγγιστικές θεωρητικές μέθοδοι», οι οποίες δεν περιείχαν πειραματικά δεδομένα αλλά παρόλα αυτά ήταν προσεγγίσεις. Η τελευταία κατηγορία, οι «ακριβείς θεωρητικές» αντιπροσώπευε ακριβείς ή σχεδόν ακριβείς λύσεις που ήταν εφικτές μόνο για πολύ μικρά συστήματα⁶.

Η επιστημονική ομάδα του Μάλικεν στο Πανεπιστήμιο του Σικάγο, γνωστή ως Εργαστήριο Μοριακής Δομής και Φασμάτων (Laboratory of Molecular Structure and Spectra - LMSS) πειραματίστηκε στην εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων. Παρόλα αυτά, υπήρχαν ακόμη διάφορα άλυτα προβλήματα σε διάφορα επίπεδα που δυσχέραιναν τις προσπάθειες. Ένα από αυτά ήταν η διατύπωση μαθηματικών τύπων για την επίλυση όλων των πολύπλοκων ολοκληρωμάτων που εμπλέκονται στους κβαντοχημικούς υπολογισμούς. Χρειάστηκαν περίπου πέντε χρόνια εργασίας μόνο για αυτή τη δουλειά. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα ήταν η απουσία ενός αυστηρού μαθηματικού φορμαλισμού που να βασίζεται στη θεωρία των Μοριακών Τροχιακών (Molecular Orbital Theory). Το ζήτημα αυτό επιλύθηκε από τον μαθητή και μετέπειτα συνεργάτη του Μάλικεν,

⁵ R. S. MULLIKEN, "Quantum Mechanical Methods and the Electronic Spectra and Structure of Molecules," *Chemical Reviews* 41, no. 2 (1947): 201-206, 206.

⁶ ο.π. 213.



ΕΙΚΟΝΑ 1

Κλέμενς Ρούθαν (Clemens Roothaan) και έκτοτε αποτέλεσε την βάση για τους περισσότερους κβαντοχημικούς υπολογισμούς⁷.

Εντωμεταξύ, το 1951, με πρωτοβουλία του Μάλικεν εικοσιπέντε επιστήμονες που δούλευαν στο αντικείμενο συναντήθηκαν στο Σέλτερ Άι-λαντ της Νέας Υόρκης σε ένα συνέδριο με τίτλο «Κβαντομηχανικές μέθοδοι στη θεωρία σθένους». Το συνέδριο αυτό ήταν κεντρικής σημασίας καθώς έθεσε την ατζέντα, τους στόχους, τα άλυτα προβλήματα, και τις προοπτικές της κβαντικής χημείας. Ήταν μια ευκαιρία έτσι ώστε η μικρή κοινότητα να συγκροτηθεί ως ένα πεδίο διακριτής γνώσης. Από τα πολλά ζητήματα που συζητήθηκαν ήταν και τα άλυτα υπολογιστικά προβλήματα τα οποία απέτρεπαν την περαιτέρω εξέλιξη του αντικειμένου⁸.

⁷ C. C. J. Roothaan "New Developments in Molecular Orbital Theory," *Reviews of Modern Physics* 23, no. 2 (1951): 69-89, 69.

⁸ R. G. Parr and B. L. Crawford, Jr. "National Academy of Sciences Conference on Quantum-Mechanical Methods in Valence Theory," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 38 (1952): 547-553.

Κατά την περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκαν διάφορες εφαρμογές των νέων μεθόδων και δοκιμάστηκαν διάφορα υπολογιστικά μέσα. Ταυτόχρονα, έφτασαν στα αυτιά του Μάλικεν αναφορές που μιλούσαν για τη χρήση ενός νέου υπολογιστικού μέσου, του ηλεκτρονικού υπολογιστή:

Και ενώ είχαμε αρχίσει να ελέγχουμε τα δύσκολα ολοκληρώματα ακούσαμε αναφορές για το ξεκίνημα της χρήσης των ψηφιακών υπολογιστών πράγμα, που οδηγούσε σε αύξηση της ταχύτητας των υπολογισμών. Καθώς περνούσε ο καιρός η μέθοδος γινόταν πιο γρήγορη και αποτελεσματική, με αποτέλεσμα να αλλάξουμε ριζικά την άποψή μας υπέρ των υπολογισμών με μηχανές⁹.

Οι ψηφιακοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές ήταν ακόμα μια άγνωστη μηχανή η οποία εμπεριείχε ρίσκο και αβεβαιότητα στη χρήση της. Αυτοί οι πρώτοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές της δεκαετίας του 1950 ήταν σχετικά αναξιόπιστες μηχανές, τα σφάλματα ήταν συχνά και ο διπλός έλεγχος ήταν απαραίτητος. Γλώσσες προγραμματισμού δεν υπήρχαν οπότε τα προγράμματα γράφονταν σε ένα κώδικα πολύ κοντά στη γλώσσα της μηχανής.

Παρά τα προβλήματα, το «Ερευνητικό Σχέδιο για τα Διατομικά Μόρια» (Diatomic Molecule Project), το πρώτο καθαρά θεωρητικό ερευνητικό πρόγραμμα για χβαντοχημικούς υπολογισμούς, όχι σε ένα μόριο αλλά σε όλη τη σειρά των διατομικών μορίων της δεύτερης περιόδου του περιοδικού πίνακα, ξεκίνησε από το LMSS το 1956. Η επιλογή των διατομικών μορίων ήταν κρίσιμη: αφενός ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων ολοκληρωμάτων ήταν διαχειρίσιμος, αφετέρου ήταν μόρια προς την κατεύθυνση της «πραγματικής χημείας» και όχι ιδιαίτερες περιπτώσεις. Το ερευνητικό πρόγραμμα περιλάμβανε τη δημιουργία ενός «αυτόματου προγράμματος για υπολογιστή», το οποίο ήταν γραμμένο σε γλώσσα μηχανής για τον UNIVAC 1103 και υπολόγιζε τις κυματοσυναρτήσεις των διατομικών μορίων. Υπό την εποπτεία του νεαρού καθηγητή Ρούθαν, ένας μεταδιδακτορικός ερευνητής, τέσσερις υποψήφιοι διδάκτορες και ένας τεχνικός βοηθός (ο οποίος έκανε το διπλοτσεκάρισμα των υπολογισμών), ολοκλήρωσαν το ερευνητικό πρόγραμμα μέσα σε δύο χρόνια¹⁰.

Την άνοιξη του 1958 τα αποτελέσματα για τη συνολική ενέργεια, την ενέργεια των τροχιακών, καθώς και τις διπολικές ροπές για δώδεκα διατομικά μόρια σε τρία διαφορετικά επίπεδα προσεγγίσεων είχαν ολοκληρωθεί. Η συνολική ενέργεια υπολογίστηκε με ακρίβεια 99%, ένα αποτέλεσμα που θεωρήθηκε επιτυχία. Παρόλα αυτά από χημικής απόψεως το αποτέλεσμα ήταν ανακριβές, διότι το υπόλοιπο 1% ήταν καθοριστικό, της

⁹ R. S. MULLIKEN, *Life of a scientist: An Autobiographical Account of the Development of Molecular Orbital Theory with an Introductory Memoir by Friedrich Hund*, ed. Bernard J. Ransil (Berlin: Springer-Verlag, 1989), 122.

¹⁰ B. J. RANSIL, "The Diatomic Molecule Project at LMSS 1956-1966: Broken Bottlenecks," *International Journal of Quantum Chemistry* 27, (1993): 25-32, 27.

ίδιας τάξης με το επιθυμητό μέγεθος της ενέργειας διάσπασης του δεσμού των μορίων. Εντούτοις, το γεγονός και μόνο ότι οι υπολογισμοί με τις νέες μηχανές ήταν δυνατοί καθώς και το ότι γενικά τα αποτελέσματα, παρά την μικρή ακρίβεια τους από χημικής απόψεως, αναπαρήγαγαν τις σωστές τάσεις στα διάφορα μεγέθη, θεωρήθηκε μια μεγάλη επιτυχία η οποία σηματοδοτούσε «την αυγή μιας νέας εποχής»¹¹.

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, οι Μάλικεν και Ρούθαν έδωσαν μια θριαμβευτική ομιλία μπροστά στο κοινό της Εθνικής Ακαδημίας των Επιστημών (National Academy of Sciences) των ΗΠΑ τον Απρίλιο του 1958. Η ομιλία τους εκδόθηκε ένα χρόνο αργότερα και είχε τίτλο «Ξεπερασμένα Αδιέξοδα και το Μέλλον της Μοριακής Κβαντική Μηχανικής» (Broken Bottlenecks and the Future of Molecular Quantum Mechanics). Εκεί τόνιζαν ότι «κολοσσιαίες ωφέλειες» πρόκειται να υπάρξουν από τους κβαντοχημικούς υπολογισμούς. Πρόσθεταν ότι:

Η κβαντική μηχανική αποδείχθηκε εξαιρετικά γόνιμη για την ποιοτική θεωρητική ερμηνεία επί παραδείγματι των εμπειρικών κανόνων του σθένους. Αλλά μέχρι προσφάτως ήταν λιγότερο επιτυχής σε ποσοτικές προβλέψεις [...] Παρόλα αυτά [...] πιστεύουμε ότι τα αποτελέσματα των θεωρητικών υπολογισμών θα συναγωνίζονται όλο και πιο πολύ το πείραμα από δω και στο εξής. [...] Δεν θα ήταν υπερβολή να πούμε ότι οι ερευνητές στο αντικείμενο βρίσκονται στο κατώφλι μιας νέας εποχής¹².

Από τη δημιουργία της τη δεκαετία του 1930, η κβαντική χημεία ήταν ένα πεδίο μελέτης στο οποίο κυριαρχούσαν οι ερμηνείες. Οι προβλέψεις ήταν κατά κύριο λόγο ποιοτικού χαρακτήρα, κάποιες λίγες ποσοτικές προβλέψεις ήταν ημιεμπειρικού χαρακτήρα και ακόμα πιο λίγες οι περιπτώσεις που οι υπολογισμοί είχαν υψηλό ποσοστό ακρίβειας. Οι ριζοσπαστικές απόψεις των Μάλικεν και Ρούθαν έθεσαν τις ποσοτικές προβλέψεις, μια άγνωστη και ανεξερευνήτη επιστημονική μεθοδολογία, στο επίκεντρο. Ήταν λοιπόν μοιραίο να προκαλέσουν πολλές αντιδράσεις στη μικρή κοινότητα που μόλις είχε αρχίσει να αυτοπροσδιορίζεται –χωρίς να έχει ακόμα ευρέως αναγνωριστεί– ως «κβαντική χημεία».

3. Η ΔΙΑΜΑΧΗ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ: ΕΡΜΗΝΕΙΕΣ ΕΝΑΝΤΙΑ ΣΤΙΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΚΑΙ Η ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΤΡΟΦΗ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

Αυτές οι διαφωνίες εκφράστηκαν το 1959 σε ένα συνέδριο στο Μπούουλντερ του Κολοράντο. Η πλειοψηφία της κοινότητας ήταν παρούσα.

¹¹ R. S. MULLIKEN, *Life of a scientist* ο.π., 159.

¹² R. S. MULLIKEN & C. C. J. ROOTHAAN “Broken Bottlenecks and the Future of Molecular Quantum Mechanics,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 45, no. 3 (1959): 394-98, 394 and 397.

Σχεδόν εκατό επιστήμονες από δώδεκα χώρες ήταν παρόντες αντιπροσωπεύοντας σχεδόν όλους όσους ασχολούνταν με το αντικείμενο. Η πρόκληση η οποία προκλήθηκε από τις διακηρύξεις των Μάλικεν και Ρούθεν ήταν κάτι περισσότερο από εμφανής. Η μικρή κοινότητα έμοιαζε να είναι διχασμένη στα όρια της διάσπασης σε δύο διαφορετικά στρατόπεδα: αυτούς που κάνουν μεγάλη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και αυτούς που χρησιμοποιούν μόνο απλούστερες ημιεμπειρικές μεθόδους. Οι πρώτοι χαρακτηρίστηκαν και ως “αυτοί που χρησιμοποιούν ab-initio μεθόδους» (ab-initioists). Με την λατινική λέξη “ab-initio” εννοούνταν οι ποσοτικές προβλέψεις με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών χωρίς τη χρήση εμπειρικών παραμέτρων και υπολογίζοντας όλα τα ολοκληρώματα. Οι δεύτεροι υποστήριζαν περισσότερο την ερμηνευτική πλευρά της κβαντικής χημείας χωρίς να θεωρούν τόσο κεντρικές τις ποσοτικές προβλέψεις και την τόσο εκτεταμένη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ήταν μια οιονεί σύγκρουση ανάμεσα στις ερμηνείες και τις προβλέψεις στην κβαντική χημεία. Ποια από τις δύο πλευρές θα είχε προτεραιότητα;

Ο βρετανός Τσαρλς Κούλσον ανέλαβε να συνοψίσει τα συμπεράσματα του συνεδρίου προσπαθώντας να συμβιβάσει τις αντιτιθέμενες πλευρές. Ο Κούλσον δεν δίστασε να παρουσιάσει την αποξένωση που ένιωθαν κάποιοι ερευνητές από κάποιους συναδέλφους τους. Επιφανειακά το σχίσμα παρουσιαζόταν ως ένα αποτέλεσμα της χρήσης των νέων υπολογιστικών μηχανών. Εντούτοις, όπως ήδη αναφέραμε, υπήρχανε βαθύτερες αιτίες από αυτό. Ο Κούλσον τόνισε ότι αυτό που διακυβευόταν «ήταν η φύση της κβαντικής χημείας, η σχέση της με το πείραμα, το τι ρόλο αναμένουμε να επιτελέσει, τι είδους ερωτήσεις θα θέλαμε να απαντήσει».¹³ Στη συνέχεια δοκίμασε να υπερασπιστεί την «ορθόδοξη» άποψη, η οποία υποστήριζε ότι ο ρόλος της κβαντικής χημείας είναι οι ερμηνείες και όχι οι ποσοτικές προβλέψεις:

‘Η για να πάρουμε ένα άλλο παράδειγμα, θέλουν [οι χημικοί] να μάθουν γιατί ο δεσμός H-F είναι τόσο ισχυρός ενώ ο δεσμός F-F είναι τόσο ασθενής. Αρκούνται στο να αφήνουν τους φασματοσκόπους ή τους φυσικοχημικούς να κάνουν τις μετρήσεις. Περιμένουν από τον κβαντομηχανικό να εξηγήσει γιατί υπάρχει αυτή η διαφορά.¹⁴

Ο Κούλσον υπερασπίστηκε καταρχήν την άποψη που θεωρούσε ως κύριο έργο των κβαντικών χημικών τις ερμηνείες. Οτιδήποτε διαφορετικό οδηγούσε το αντικείμενο σε ένα επιστημονικά άγνωστο πεδίο το οποίο έκανε την ήδη εύθραυστη θέση του αντικειμένου ακόμα πιο περίπλοκη.

¹³ C. A. COULSON, “Present State of Molecular Structure Calculations,” *Reviews of Modern Physics* 32, (1960): 170–177, 172.

¹⁴ ο.π. 172.

Ο επικεφαλής του «Ερευνητικού Σχεδίου των Διατομικών Μορίων» Μπέρναρντ Ράνσιλ ανέλαβε το έργο της υπεράσπισης των νέων μεθόδων. Ήταν μια σπάνια στιγμή στην οποία η κοινότητα ανακινούσε οντολογικά, ακόμα και φιλοσοφικά, ζητήματα γύρω από την επιστημονική πρακτική της. Ο Ράνσιλ ανέφερε ότι αν χρησιμοποιούνταν συνετά οι ψηφιακοί υπολογιστές ως ερευνητικά εργαλεία θα μπορούσαν να προσφέρουν διεισδυτικές απαντήσεις σε περίπλοκα και κρίσιμα συστήματα. Πρόσθεσε ότι «ορθά χρησιμοποιούμενο το αριθμητικό πείραμα μπορεί να είναι ένα εργαλείο και ένα βοήθημα για τον θεωρητικό χημικό όπως και ένα πολύ καλά οργανωμένο φυσικό πείραμα».¹⁵

Το «αριθμητικό πείραμα» ήταν μια νέα νοητική κατηγορία, μια νέα γενική μέθοδος παραγωγής γνώσης χωρίς καμία ακόμα επιστημονική «νομιμοποίηση». Κατά συνέπεια ο τρόπος με τον οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει έρχοζε επεξήγησης. Το «αριθμητικό πείραμα», στη μορφή των κβαντομηχανικών υπολογισμών οι οποίοι προέρχονται από τη θεωρία, μπορούσε να λειτουργήσει συμπληρωματικά με τις ερμηνείες. Εννοείται ότι όλες αυτές οι νέες μέθοδοι απαιτούσαν δοκιμασίες αξιολόγησης: ο Ράνσιλ τόνιζε ότι ο κρίσιμος παράγοντας από τον οποίο εξαρτιόνταν η αξία αυτών των υπολογισμών ήταν το κριτήριο της ακρίβειας που καθιερώνονταν για την κάθε μέθοδο.¹⁶

Τα «αριθμητικά πειράματα» έπρεπε να διατηρήσουν την επιστημονική αυτονομία τους από τα συμβατικά πειράματα και έπρεπε να αποτελούν μια ανεξάρτητη πηγή γνώσης. Παρόλο που αυτό ήταν αδύνατο και κάποια εμπειρικά στοιχεία πάντα εμφανίζονταν, αυτά έπρεπε να ελαχιστοποιούνται όσο αυτό ήταν δυνατό. Ο Ράνσιλ πρόσθεσε: «προχωρήστε τους υπολογισμούς όσο αυτό είναι λογικά δυνατό οδηγούμενοι από χημική και φυσική διαίσθηση και υπολογιστική οικονομία χωρίς να εισάγετε εμπειρικά σχήματα ή παραμέτρους»¹⁷.

Οι εξηγήσεις του Ράνσιλ δεν φαίνεται να έπεισαν πολλούς και η διαμάχη στο εσωτερικό της κοινότητας σχετικά με το ποιος θα έπρεπε να είναι ο ρόλος των κβαντικών χημικών συνέχισε να ταλανίζει την μικρή κοινότητα για αρκετά χρόνια. Όπως αναφέρει ο ιστορικός της επιστήμης Πίτερ Γκάλισον για την περίπτωση των προσομοιώσεων Μόντε Κάρλο, οι οποίες αναπτύχθηκαν την ίδια περίοδο και συνάντησαν παρόμοιες αντιστάσεις:

Αποτιμώντας το συνολικά, το εγχείρημα της προσομοίωσης της φύσης θεμελιωνόταν σε σαθρές βάσεις. Στην απόλυτη απουσία κάποιας συμφωνημένης ερμηνείας των προσομοιώσεων, θα μπορούσε κάποιος να θεωρήσει ότι

¹⁵ B. J. RANSIL, "Studies in Molecular Structure. I. Scope and Summary of the Diatomic Molecule Program," *RMP* 32, no. 2 (1960): 239-244, 240.

¹⁶ ο.π.

¹⁷ ο.π.

το όλο εγχείρημα θα κατέρρεε. Δεν συνέβη όμως αυτό. Η πρακτική συνεχίστηκε και οι ερμηνείες κατέρρευσαν.¹⁸

Πράγματι, ο κρίσιμος παράγοντας ήταν πάντα το κατά πόσο μια πρακτική ήταν παραγωγική. Όπως θα δούμε παρακάτω, αρκετοί στο εσωτερικό της κοινότητας αντιλήφθηκαν ότι το σημαντικό ήταν οι νέες υπολογιστικές πρακτικές να αρχίσουν να αποκτούν έρεισμα στην ευρύτερη χημική κοινότητα.

4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΧΗΜΙΚΑ ΜΟΡΙΑ

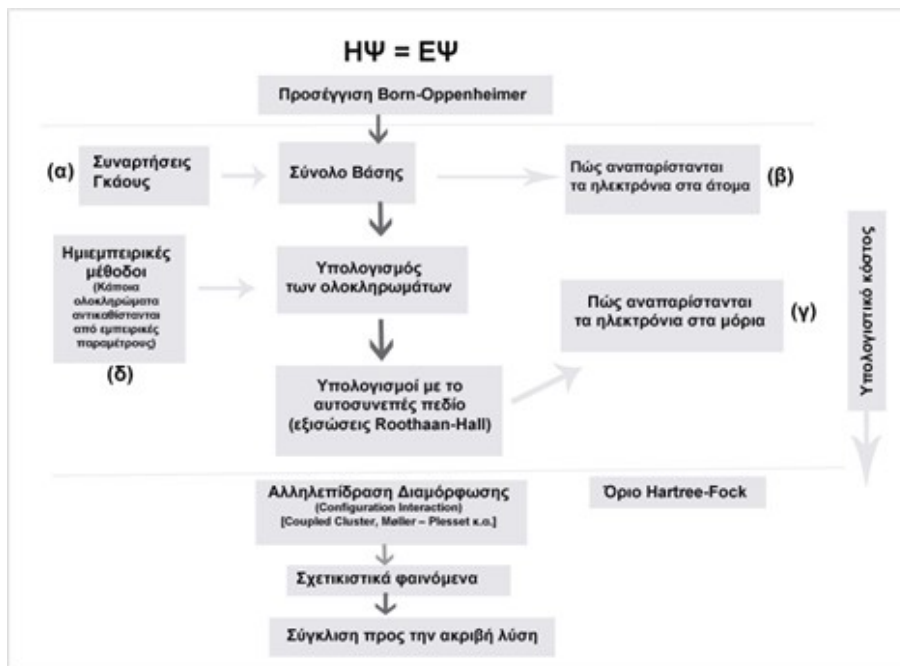
Όταν ο Ρόμπερτ Μάλικεν διακήρυττε ότι «κολοσσιαίες ωφέλειες» θα έπρεπε να αναμένει κανείς από τους κβαντοχημικούς υπολογισμούς δεν το έκανε αγνοώντας τις δυσκολίες που ακόμη έπρεπε να ξεπεραστούν. Γνώριζε ότι το κόστος σε εργασία, κόπο και πόρους επρόκειτο να είναι μεγάλο: «θα απαιτηθούν χρόνια αποδοτικής προσπάθειας από χιλιάδες επιστήμονες και τους βοηθούς τους».¹⁹ Παρόλο που ο γόρδιος δεσμός του υπολογισμού των μοριακών ολοκληρωμάτων είχε πλέον κοπεί, μια σειρά άλλα μεγάλα προβλήματα εξακολουθούσαν να ταλανίζουν την μικρή κοινότητα των επιστημόνων, που σταδιακά άρχισαν να αυτοπροσδιορίζονται ως «κβαντικοί χημικοί».

Τέσσερις από τις προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνταν στους υπολογισμούς ήταν κομβικής σημασίας (σχήμα 1). Πρώτον, οι μαθηματικές συναρτήσεις που αναπαριστούν τα τροχιακά, με άλλα λόγια, ο τρόπος με τον οποίο τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται στο εσωτερικό των ατόμων. Δεύτερον, το λεγόμενο «σύνολο βάσης» δηλαδή η μαθηματική έκφραση των ηλεκτρονίων στα μόρια. Όσο πιο αναλυτικό και περίπλοκο το «σύνολο βάσης» τόσο πιο ακριβής – αλλά και πιο δύσκολος – ο υπολογισμός. Τρίτον ο υπολογισμός των περίπλοκων μαθηματικών ολοκληρωμάτων. Αν κάποια δεν υπολογίζονταν και οι τιμές τους αντικαθίσταντο από εμπειρικές παραμέτρους τότε η μέθοδος μετατρεπόταν σε ημιεμπειρική. Τέταρτον, η πολυπλοκότητα του χρησιμοποιούμενου μοντέλου και κυρίως το αν συμπεριλαμβάνεται η «ηλεκτρονική αλληλοσυσχέτιση» (electron correlation) στη μέθοδο. Αυτή η τελευταία παράμετρος σήμαινε ότι λαμβάνεται υπόψη η άπωση μεταξύ των ηλεκτρονίων πράγμα που είχε μεγάλο υπολογιστικό κόστος. Η εύρεση της βέλτιστης ισορροπίας μεταξύ αυτών των τεσσάρων παραμέτρων ήταν το διακύβευμα της ανάπτυξης των νέων υπολογιστικών μεθόδων. Μια εύθραυστη ισορροπία μεταξύ ακρίβειας και υπολογιστικού κόστους.

Το πρώτο ολοκληρωμένο πρόγραμμα για ηλεκτρονικό υπολογιστή το οποίο μπορούσε να εκτελέσει γενικούς κβαντοχημικούς υπολογισμούς

¹⁸ P. GALISON “Computer Simulations and the Trading Zone” στο *The Disunity of Science: Boundaries, Contexts, and Power*, επιμέλεια P. Galison and D. J. Stump (Stanford: Stanford University Press, 1996), 118-157, 151.

¹⁹ R. S. MULLIKEN & C. C. J. Roothaan “Broken Bottlenecks and the Future of Molecular Quantum Mechanics,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 45, no. 3 (1959): 394-98, 397.



ΕΙΚΟΝΑ 2

αναπτύχθηκε από την «Ομάδα Στερεάς Κατάστασης και Μοριακής Θεωρίας» υπό τον καθηγητή Τζον Σλέιτερ στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT) το 1963. Μια ομάδα νεαρών διδακτορικών φοιτητών και καθηγητών ήταν υπεύθυνη για τη δημιουργία του προγράμματος. Το πρόγραμμα χρησιμοποιούσε μαθηματικές συναρτήσεις γκάους στην αναπαράσταση των ατομικών τροχιακών, πράγμα που απλοποιούσε ιδιαίτερα τους υπολογισμούς²⁰. Η κίνηση αυτή ήταν χαρακτηριστικό παράδειγμα επιλογών στην ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων που κατευθύνονταν, ως επί το πλείστον, από υπολογιστική οικονομία και όχι από την πιστή εφαρμογή της υποκείμενης θεωρίας.²¹

Η επιρροή της νεότευκτης κοινότητας των κβαντικών χημικών ήταν ακόμη μικρή αν όχι μηδαμινή στην ευρύτερη κοινότητα των χημικών. Την ίδια στιγμή – όπως εξηγήθηκε προηγούμενα – οι κβαντικοί χημικοί είχαν σοβαρές διαιρέσεις στο εσωτερικό τους. Ο κβαντικός χημικός Λέλαντ Άλεν σημείωνε ότι την δεκαετία του 1960 υπήρχαν πολλοί στο εσωτερικό

²⁰ M. P. BARNETT, “Mechanized Molecular Calculations -The Polyatom System,” *RMP* 35, No. 3 (1963): 571-572, 571. Most practitioners used the designations “nonempirical” or “a-priori” calculations rather than “ab-initio” until the 1980s.

²¹ J. LENHARD, “Autonomy and Automation. Computational Modeling, Reduction, and Explanation in Quantum Chemistry,” *The Monist* 97, no. 3 (2014): 339-358, 347.

της μικρής κοινότητας που θεωρούσαν ότι οι υπολογισμοί με ηλεκτρονικούς υπολογιστές δε θα γίνουν ποτέ τόσο γρήγοροι ώστε να επηρεάσουν την «πραγματική χημεία»²².

Από την άλλη πλευρά υπήρχαν λίγοι αλλά με μεγάλη επιρροή που υποστήριζαν ένθερμα την προοπτική των κβαντοχημικών υπολογισμών. Ο Ρόμπερτ Μάλικεν για παράδειγμα έλεγε κατά την τελετή βράβειυσής του με το βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1966 ότι «η εποχή των υπολογιστικών χημικών όπου εκατοντάδες αν όχι χιλιάδες χημικοί θα πηγαίνουν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή παρά στο εργαστήριο ... είναι ήδη μια πραγματικότητα».²³ Βέβαια η άποψη αυτή ήταν ακόμα περισσότερο ευχή παρά πραγματικότητα. Εντούτοις οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές άρχισαν να εισάγονται σε όλα σχεδόν τα πανεπιστήμια των ΗΠΑ ενώ η χρήση τους στις φυσικές επιστήμες έβαινε αυξανόμενη.

Ανάμεσα στους δεκάδες κβαντικούς χημικούς οι οποίοι εργάστηκαν την περίοδο αυτή στην ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων στη κβαντική χημεία μπορούμε να ξεχωρίσουμε τρεις. Ο Τζον Ποπλ (John A. Pople), ο Μάικλ Ντιούαρ (Michael J.S. Dewar) και ο Ενρίκο Κλεμέντι (Enrico Clementi) αποτέλεσαν τρεις ιδιαίτερα επιδραστικές προσωπικότητες στο αντικείμενο, οι οποίες συγκρότησαν διακριτές αντιλήψεις στη μοντελοποίηση.

Ο Τζον Ποπλ ήταν ένας διακεκριμένος θεωρητικός χημικός στην Αγγλία, ο οποίος έγινε είδηση στις εφημερίδες, όταν το 1964 έγινε κομμάτι της περιβόητης «φυγής εγκεφάλων» προς τις ΗΠΑ. Εκτός από το φιλικότερο προς τους θεωρητικούς χημικούς περιβάλλον στις ΗΠΑ, ο σκοπός του Ποπλ ήταν να πειραματιστεί με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές οι οποίοι προσφέρονταν για έρευνα πολύ ευχερέστερα. Αντιθέτως, στην Αγγλία οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές θεωρούνταν από κάποιους υπέρμαχους της χημικής παράδοσης «όχι ο κατάλληλος τρόπος να παίζεις κρίκετ»!²⁴

Ο Ποπλ είχε πλήρη αντίληψη των διαιρέσεων στο εσωτερικό της μικρής κοινότητας και κινήθηκε ενεργά έτσι ώστε οι αντιμαχόμενες πλευρές να βρουν κοινό έδαφος συμβιβασμού για το καλό συνολικά της κοινότητας. Σε ένα σημαντικό άρθρο του το 1965 τόνιζε ότι τόσο αυτοί που ακολουθούν την *ab-initio* κατεύθυνση όσο και αυτοί που ακολουθούν την ημιεμπειρική μπορούν να βρουν κοινό έδαφος στην έρευνα τους. Άλλωστε το κλίμα γενικά ήταν ευνοϊκό.²⁵

²² L. C. ALLEN, D. A. EGOLF, E. T. KNIGHT & C. LIANG, "Bond polarity index," *Journal of Physical Chemistry* 94, no. 14 (1990): 5602–5607, 5603.

²³ R. S. MULLIKEN, "Spectroscopy, Molecular Orbitals, and Chemical Bonding," *Nobel Lecture*, December 12, 1966, <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1966/mulliken/lecture/> (Accessed 13/4/2022), 131–160, 159.

²⁴ E. CLEMENTI, "Chemistry and Computers: On Research Aims from My Preparatory Period Until Early 1991," *International Journal of Quantum Chemistry* 42, no. 4 (1992): 547–580, 551.

²⁵ J. A. POPLE, "Two-Dimensional Chart of Quantum Chemistry," *Journal of Chemical Physics* 43 (1965): S229–S230.

Η χρήση προγραμμάτων όμως όπως το POLYATOM ήταν αρκετά περίπλοκη και το κόστος μεγάλο ακόμα και για την υπολογιστική μελέτη μικρών μορίων. Το 1972 ο Ποπλ εισήγαγε τα «Θεωρητικά Μοντέλα για τη Χημεία». Ήταν η κορύφωση ενός πολυετούς ερευνητικού προγράμματος που ξεκίνησε στο Πίτσμπουργκ της Πενσυλβάνια, στο πανεπιστήμιο Κάρνεγκι-Μέλον, αμέσως μετά την μετακίνησή του στις ΗΠΑ. Συγκεκριμένα ο Ποπλ θεώρησε ότι κάθε πλήρως ορισμένη προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού κυματοσυναρτήσεων, στην οποία δίδονται μόνο οι θεμελιώδεις σταθερές, δηλαδή ο αριθμός και η θέση των ηλεκτρονίων, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί ένα θεωρητικό μοντέλο για τη χημεία. Κατά συνέπεια κάθε τέτοιο μοντέλο συνεπάγεται μια υπολογιστικά προσομοιωμένη χημεία. Αν αυτή η «εικονική χημεία» υποστεί τις κατάλληλες δοκιμασίες αξιολόγησης και κριθεί ότι παρέχει μια ρεαλιστική εικόνα για τη χημική συμπεριφορά, το μοντέλο αποκτά προβλεπτική ικανότητα.

Ο Ποπλ πρότεινε τις αρχές που πρέπει να ικανοποιούν αυτά τα μοντέλα. Πρώτα, θα ήταν επιθυμητό να δημιουργηθεί όχι ένα μόνο μοντέλο, αλλά μια ιεραρχία μοντέλων με αυξανόμενη ακρίβεια αλλά και υπολογιστικό κόστος. Δεύτερον, έπρεπε οι υποκειμενικές επιλογές στην επιλογή παραμέτρων να αποφεύγονται. Τρίτον, τα μοντέλα θα πρέπει να δίνουν αποτελέσματα για τις διάφορες ιδιότητες των συστημάτων που να μεταβάλλονται γραμμικά καθώς αυξάνει το μέγεθος των χημικών ενώσεων.²⁶ Μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1960 οι περισσότεροι ερευνητές στο αντικείμενο χρησιμοποιούσαν την καλύτερη δυνατή προσέγγιση και εκτελούσαν τους υπολογισμούς ελπίζοντας για το καλύτερο. Αντίθετα, ο Ποπλ πρότεινε ένα ομοιόμορφο επίπεδο προσέγγισης ή ένα μικρό αριθμό τέτοιων επιπέδων, τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σχετικά εύκολα σε ένα μεγάλο εύρος χημικών ενώσεων από ερευνητές με περιορισμένη πρόσβαση σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Είναι προφανές από τα παραπάνω ότι μια διαδικασία αξιολόγησης της απόδοσης των μοντέλων ήταν θεμελιώδης. Ο Ποπλ καθιέρωσε μια κουλτούρα εκτεταμένης αξιολόγησης των μεθόδων του. Η δημιουργία του λογισμικού με τον τίτλο GAUSSIAN-70 ήταν η κατάληξη αυτής της διαδικασίας. Τα διάφορα μοντέλα που ήταν ενσωματωμένα στο GAUSSIAN-70 μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από διαφορετικούς ερευνητές και έτσι μπορούσαν να γίνουν συγκρίσεις.

Εντωμεταξύ, σε αυτό το πρώιμο στάδιο χρήσης των κβαντοχημικών μοντέλων και μεθόδων, η εσφαλμένη αντίληψη για την αξιοπιστία που διέθεταν ορισμένα μοντέλα προκαλούσε συχνά διαμάχες. Ορισμένα από τα μοντέλα του Ποπλ, προκειμένου να μην έχουν μεγάλο υπολογιστικό κόστος, περιείχαν μεγάλες προσεγγίσεις και έτσι μπορούσαν να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Όταν ήταν ασαφές το τι είδους

²⁶ J. A. POPL, "Theoretical Models for Chemistry," στο *Energy, Structure, and Reactivity: Proceedings of the 1972 Boulder Summer Research Conference on Theoretical Chemistry*, επιμέλεια D. W. Smith & W. B. McRae (New York: Wiley, 1973), 41-74, 41-43.

επιστημονική γνώση περιείχε ένα πρόγραμμα μπορούσαν να προκύψουν διαφωνίες.

Ένας από αυτούς που πρόβαλλε σταθερά αντιρρήσεις απέναντι σε μοντέλα με μεγάλες προσεγγίσεις ήταν ο Ιταλός χβαντικός χημικός Ενρίκο Κλεμέντι ο οποίος εργάστηκε για ένα μεγάλο μέρος της καριέρας του στον Τομέα Επιστημονικών Υπολογισμών της εταιρείας IBM στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Ο Κλεμέντι, που είχε πραγματοποιήσει τη διδακτορική του διατριβή στην Ιταλία, μετανάστευσε και αυτός στις ΗΠΑ προκειμένου να εργαστεί πάνω στην θεωρητική χημεία. Ήταν ένας παθιασμένος υποστηρικτής των χβαντοχημικών υπολογισμών και της σημασίας τους: «μπορούμε να υπολογίσουμε τα πάντα!» ήταν μια φράση που δεν παρήλειπε να υπογραμμίζει.²⁷

Ο Κλεμέντι θεωρούσε ότι έπρεπε να χρησιμοποιηθούν οι περισσότεροι ισχυροί υπολογιστές με τα πιο ακριβή και με λιγότερες προσεγγίσεις μοντέλα. Αυτός ήταν κατά την άποψη του ο μοναδικός τρόπος για να μπορούν οι υπολογισμοί να συγκρίνονται με το πείραμα και να μετατραπούν σε μια μορφή επιστήμης.²⁸ Ο Κλεμέντι είχε ήδη φτιάξει από το 1965 ένα πρόγραμμα χβαντοχημικών υπολογισμών με το όνομα IBMOL. Η δουλειά του Κλεμέντι ήταν αυτή που τράβηξε το ενδιαφέρον των μέσων μαζικής επικοινωνίας, πιθανώς βέβαια μέσω της μεσολάβησης της IBM. Το 1968 οι Νιου Γιορκ Τάιμς κυκλοφόρησαν ένα άρθρο με τίτλο «Χημικός της IBM, χρησιμοποιώντας υπολογιστικές τεχνικές, προσομοιώνει την αλληλεπίδραση μορίων σε μια απεικονιστική οθόνη».²⁹ Στο άρθρο τονίζονταν η παραγωγικότητα που μπορεί να έχουν οι υπολογιστές και επίσης περιγραφόταν το πώς οι προσομοιώσεις με ηλεκτρονικούς υπολογιστές είχαν κατακλύσει την κοινωνική και οικονομική ζωή στις ΗΠΑ. Προσομοιώσεις χρησιμοποιούνταν για να περιγράψουν:

[Τ]ο τι ψηφίζουν οι Αμερικανοί, τις συνθήκες κυκλοφορίας στους αυτοκινητόδρομους, [...] την λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, την εξάπλωση του καρκίνου στους ανθρώπους, την οικονομία των ΗΠΑ [...] τη συμπεριφορά των μετεωρολογικών συστημάτων³⁰.

Με άλλα λόγια οι προσομοιώσεις άρχισαν να γίνονται αποδεκτές παντού στην αμερικανική κοινωνία και σε αυτό το περιβάλλον άρχισαν να αναπτύσσεται τα χβαντοχημικά προγράμματα χωρίς να έχουν ακόμα «νομιμοποιηθεί» στην ευρύτερη χημική κοινότητα ως μια έγκυρη μορφή παραγωγής χημικής γνώσης.

²⁷ E. CLEMENTI, "Chemistry and Computers: On Research Aims from My Preparatory Period Until Early 1991," *International Journal of Quantum Chemistry* 42, no. 4 (1992): 547–580, 552.

²⁸ ο.π.

²⁹ S. K. WILLIAM, "I.B.M. Chemist, Using Computer Techniques, Simulates the Interaction of Molecules in a Visual Display," *The New York Times*, 10 Oct 1968.

³⁰ ο.π.

Σε ένα άλλο άρθρο την ίδια περίοδο στο περιοδικό *Time*, με τίτλο «Χημεία: Υπολογιστικοί δοκιμαστικοί σωλήνες», οι υπολογιστές παρουσιάζονταν ως η λύση στο διαχρονικό πρόβλημα της επικινδυνότητας των χημικών πειραμάτων όπου τα υλικά «λιώνουν από την θερμότητα» και «καταρρέουν από την πίεση». Αντίθετα κάνοντας χημεία με υπολογιστές μπορούσες να εργάζεσαι με ασφάλεια και άνεση.³¹

Ο Κλεμέντι ήταν οραματιστής. Θεωρούσε ότι οι υπολογιστικές προβλέψεις ήταν δυνατόν να αντικαταστήσουν τις πειραματικές διαδικασίες και να βοηθήσουν έτσι ώστε η Χημεία να μπορέσει να λειτουργήσει με ένα σχεδιασμένο τρόπο. Αυτό σήμαινε ότι θα μπορούσαν να αποφεύγονται οι χρονοβόρες διαδικασίες δοκιμασίας και λάθους και να ακολουθηθεί ένας περισσότερο «ορθολογικός» τρόπος στις χημικές μελέτες. Κατέληγε λέγοντας «Προσομοίωση, πρόβλεψη, παραγωγή: ο κύκλος του σύγχρονου χημικού».³²

Τόσο ο Ποπλ όσο και ο Κλεμέντι δεν ήταν αυτό που θα λέγαμε οι παραδοσιακά σκεπτόμενοι χημικοί. Ο Ποπλ μάλιστα δε διέθετε ούτε καν την τυπική προπτυχιακή χημική εκπαίδευση. Αυτός ο οποίος κόμισε την παραδοσιακή χημική κουλτούρα στη μοντελοποίηση στην κβαντική χημεία ήταν ο Μάικλ Ντιούαρ. Ο Ντιούαρ ήταν και αυτός μέρος της «φυγής εγκεφάλων» από την Αγγλία στις ΗΠΑ στις αρχές της δεκαετίας του 1960 και σε όλη του τη ζωή ήταν υπέρμαχος των ημιεμπειρικών μεθόδων. Αυτών των μεθόδων δηλαδή που έκαναν ρητή χρήση εμπειρικά παραγόμενων μεγεθών στα μοντέλα. Για τον Ντιούαρ, το ζήτημα ήταν η δημιουργία ενός πρακτικού εργαλείου στην υπηρεσία των χημικών και για αυτό τον λόγο «θα έπρεπε να είμαστε έτοιμοι να κάνουμε οποιεσδήποτε προσεγγίσεις, άσχετα με το πόσο εξωφρενικές μπορεί να μοιάζουν αυτές αν οδηγούν σε χρήσιμα αποτελέσματα».³³ Ο Ντιούαρ θεωρούσε ότι η σημασία των υπολογιστικών μεθόδων μπορούσε να είναι κομβική σε πεδία μελέτης όπως οι μηχανισμοί των οργανικών αντιδράσεων, όπου πολλές φορές οι παραδοσιακές πειραματικές μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν.

Ο Ντιούαρ ήταν αυστηρός και ιδιαίτερα επικριτικός, σχεδόν σε όλη του τη ζωή, απέναντι στις *ab-initio* μεθόδους, θεωρώντας ότι δεν ήταν εγγενώς ανώτερες από τις ημιεμπειρικές και ότι στο βαθμό που και αυτές περιείχαν προσεγγίσεις δεν έπρεπε να θεωρούνται καλύτερες και να έχουν προνομιακή αντιμετώπιση:

Έχει υπάρξει πρόσφατα μια τάση από τους πρωταγωνιστές των λεγόμενων *ab-initio* μεθόδων να υπονοούν ότι οι μέθοδοι τους είναι πιο ακριβείς και πιο έγκυρες από τις ημιεμπειρικές. Όσον αφορά την Χημεία το μοναδικό

³¹ "Chemistry: Computer Test Tubes," *Time*, 8 Nov 1968.

³² E. CLEMENTI, "Molecular Structures" στο *Computers and their role in the physical sciences*, επιμέλεια S. Fernbach & A. Taub, (New York: Gordon and Breach, 1970), 503-542, 507.

³³ M. J. S. DEWAR, "Quantum Theory of Conjugated Systems," *Reviews of Modern Physics* 35, no. 3 (1963): 586-598, 598.

κριτήριο είναι η πρακτική επιτυχία, το αν παράμετροι θα εισάγονται ρητά στη κβαντομηχανική επεξεργασία ή σιωπηρά στη συσχέτιση αποτελεσμάτων εγγενώς ανακριβών υπολογισμών με πειραματικά δεδομένα είναι άνευ πρακτικής σημασίας. Η κατάσταση θα ήταν διαφορετική αν υπήρχαν ακριβείς λύσεις της εξίσωσης Σρέντιγκερ· όμως δεν υπάρχουν.³⁴

Ο Ντιούαρ χρησιμοποιούσε συχνά πολεμικό ύφος και ασκούσε σκληρή κριτική, με αποτέλεσμα να τεθεί στο στόχαστρο της κοινότητας των κβαντικών χημικών. Ωστόσο, η κριτική του είναι αναμφισβήτητα τεκμηριωμένη και δύσκολα μπορεί να αντικρουστεί. Μιλώντας αυστηρά επιστημολογικά, εφόσον εμπειρικά στοιχεία εισέρχονται άμεσα ή έμμεσα, τότε δεν μπορεί κάποιος να υποστηρίξει ότι προέρχονται άμεσα και απευθείας από την κβαντική θεωρία. Από αυτή τη σκοπιά, και κρίνοντας συνολικά την ιστορική πορεία των κβαντικών χημικών της *ab-initio* κατεύθυνσης, μπορούμε να πούμε ότι είχαν την τάση να υποβιβάζουν την εξάρτηση των μοντέλων τους από τα πειραματικά δεδομένα.

Όλες οι παραπάνω διαφορετικές απόψεις πάνω στην μοντελοποίηση, αλλά και πολλές άλλες που είναι αδύνατο να αναφέρουμε, βρήκαν ένα ιδιαίτερο πεδίο της χημείας στο οποίο εφαρμόζονταν με επιτυχία. Όλες μαζί διαμόρφωσαν ένα πλαίσιο μοντέλων μέσα από το οποίο οι ερευνητριες/ερευνητές έπρεπε να κάνουν την κατάλληλη επιλογή ώστε να πάρουν το βέλτιστο αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, για τη μελέτη ενός μικρού ενδιάμεσου μιας οργανικής ένωσης πιθανώς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια *ab-initio* μέθοδος. Αντίθετα, για ένα πολύ μεγάλο μόριο όπως μια πρωτεΐνη μια ημιεμπειρική μέθοδος ήταν μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση.

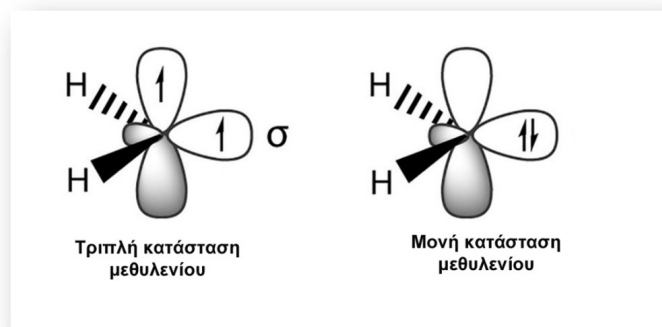
5. ΟΙ ΚΒΑΝΤΟΧΗΜΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΜΦΙΣΒΗΤΟΥΝ ΤΟ ΜΟΝΟΠΩΛΙΟ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ: Η ΔΙΑΜΑΧΗ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟ

Παρά τον διάχυτο σκεπτικισμό οι κβαντοχημικοί υπολογισμοί μπορούσαν πραγματικά να οδηγήσουν σε προβλέψεις σε σημαντικά χημικά συστήματα. Ένα από αυτά ήταν η αμφισβήτηση της φασματοσκοπικά παρατηρηθείσας τιμής για την ενέργεια διάστασης του δεσμού του υδρογόνου από ακριβείς θεωρητικού υπολογισμού.³⁵ Η παραδειγματική όμως περίπτωση ήταν η μελέτη των ιδιοτήτων της ασταθούς ρίζας του μεθυλενίου ($-\text{CH}_2\cdot$). Το χημικό αυτό είδος αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα ενωμένο με δύο υδρογόνα καθώς και δύο ασύζευκτα ηλεκτρόνια. Μπορεί να βρεθεί σε δύο καταστάσεις, τη μονή και την τριπλή.

Η δομή και οι ενέργειες αυτού του χημικού είδους έγιναν αντικείμενο διαμάχης κατά τη δεκαετία του 1970. Το 1971 οι κβαντικοί χημικοί Χένρι

³⁴ ο.π. 590-591.

³⁵ W. KOLOS & L. WOLNIEWICZ, "Improved Theoretical Ground State Energy of the Hydrogen Molecule," *Journal of Chemical Physics* 49, no. 1 (1968).



ΕΙΚΟΝΑ 3

Σέιφερ (Henry Schaefer) και Ουίλιαμ Γκόνταρντ (William Goddard) μετά από εκτεταμένους υπολογισμούς κατέληξαν στο ότι η ρίζα του μεθυλενίου έχει κεκαμμένη (γωνιακή) δομή και όχι ευθύγραμμη όπως υποστήριζαν πειραματικές μελέτες. Σύντομα αποδείχθηκε ότι αυτοί και όχι το πείραμα είχαν δίκιο. Όπως είπε ο Γκόνταρντ, αυτή ήταν μια σημαντική στιγμή όπου οι υπολογισμοί έλαβαν για πρώτη φορά ένα ρόλο «πλήρους συνεργασίας με το πείραμα».³⁶

Ένα δεύτερο σημαντικό ζήτημα ήταν η διαφορά ενέργειας μεταξύ της μονής και της τριπλής κατάστασης του μεθυλενίου. Οι υπολογισμοί έβρισκαν αυτή τη διαφορά στα 11kcal/mole αντίθετα με τους πειραματιστές που την υπολόγιζαν πολύ χαμηλότερα, στα 2kcal/mole. Παρόλα αυτά, το 1976, με τη βοήθεια νέων πειραματικών δεδομένων, η τιμή της ενεργειακής διαφοράς βρέθηκε πολύ υψηλότερα, στα 20Kcal/mol, σε σοβαρή διαφωνία με τους υπολογισμούς. Στην περίπτωση αυτή οι υπολογισμοί τέθηκαν ξανά σε αμφισβήτηση. Δεν έλειψαν ακόμη και ειρωνικά και σαρκαστικά σχόλια ενάντια στους θεωρητικούς υπολογισμούς. Φωνές που αμφισβητούσαν τους υπολογισμούς εμφανίστηκαν ακόμη και στο εσωτερικό της κοινότητας των κβαντικών χημικών.

Για αρκετά χρόνια, μέχρι και το 1983, όταν τελικά επιβεβαιώθηκε ότι οι υπολογισμοί είχαν δίκιο και οι πειραματιστές είχαν άδικο, η υπολογιστική κβαντική χημεία βρισκόταν σε μια επιστημολογικά εύθραυστη κατάσταση. Μόνο οι πολύ ακριβείς υπολογισμοί μπορούσαν να εγείρουν αξιώσεις αξιοπιστίας, ιδιαίτερα αν τα πειραματικά δεδομένα δεν ήταν προς την ίδια κατεύθυνση. Ο τελικός κριτής ήταν πάντα το πείραμα. Θεωρούνταν μάλιστα ότι η πιο αξιόπιστη μέθοδος ήταν αυτή που επέτρεπε την πιο «άμεση» δυνατή παρατήρηση του φαινομένου, μέσω κάποιας

³⁶ W. A. GODDARD, "Theoretical Chemistry Comes Alive: Full Partner with Experiment," *Science New Series* 227, No. 4689 (22 Feb 1985): 917-923, 918.

αποδεκτής πειραματικής μεθόδου. Κατά την δεκαετία του 1970, η υπολογιστική κβαντική χημεία διολίσθαινε πολύ εύκολα σε μια κατάσταση επιστημικής κρίσης.

Το ερώτημα βέβαια που ετίθετο με όλο και πιο ρεαλιστικούς όρους και περιλάμβανε επιστημονικά αλλά και θεσμικά ζητήματα αφορούσε τη θέση που έπρεπε να καταλάβουν οι νέες μέθοδοι στον μεθοδολογικό χάρτη της χημείας. Προορίζονταν οι κβαντοχημικοί υπολογισμοί να αντικαταστήσουν το πείραμα; Ή απλά να λειτουργούν συμπληρωματικά σε δύσκολες για το πείραμα περιπτώσεις;

6. ΜΕΤΑΕΥ «ΥΓΙΟΥΣ ΣΚΕΠΤΙΚΙΣΜΟΥ» ΚΑΙ ΞΕΚΑΘΑΡΗΣ ΕΧΘΡΟΤΗΤΑΣ: Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥΣ ΧΗΜΙΚΟΥΣ

Από όσα αναφέραμε μέχρι στιγμής, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα μοντέλα και οι προσομοιώσεις συνέβαλαν στον μετασχηματισμό της κβαντικής χημείας μέσα από μια διαδικασία που έδινε έμφαση στην εφαρμογή, την αυτοματοποίηση και την παραγωγικότητα. Έτσι οι υπολογισμοί άρχισαν να εμφανίζονται ως μια εναλλακτική του παραδοσιακού πειράματος. Ιδιαίτερα οι επιστημονικές ομάδες οι οποίες έλαβαν υπόψη τους τον μέσο πειραματικό χημικό κατά την ανάπτυξη των μοντέλων τους, ο οποίος είχε μικρή ως μέτρια πρόσβαση σε υπολογιστές, προσέφεραν μια πρόταση που δεν φάνταζε πλέον σενάριο επιστημονικής φαντασίας.

Στην πραγματικότητα βέβαια η πλειοψηφία των πειραματικών χημικών ήταν σκεπτικιστές απέναντι στις νέες μεθόδους. Κάποιοι απλά δεν γνώριζαν και δεν ήταν διατεθειμένοι να αναλώσουν χρόνο. Κάποιοι άλλοι ήταν προκατειλημμένοι απέναντι στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, οι οποίοι εντωμεταξύ παρουσιάζονταν ως υποκατάστατο στη σκέψη. Εντούτοις, από το 1973 και μετά, εμφανίστηκαν οι πρώτοι πειραματιστές χημικοί που έδειξαν κάποιο ενδιαφέρον για τις νέες υπολογιστικές μεθόδους. Το προνομιακό πεδίο για την εφαρμογή των νέων μεθόδων ήταν η οργανική χημεία και ο Τζον Ποπλ ήταν από αυτούς που έσπευσαν να χτίσουν γέφυρες με τους ελάχιστους οργανικούς χημικούς που ήταν διατεθειμένοι να πειραματιστούν με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Ο Ποπλ συνεργάστηκε με τον διακεκριμένο οργανικό χημικό στο Πανεπιστήμιο του Πρίνστον Πολ Σλέγιερ (Paul von Ragu Schleyer). Η ειδημοσύνη του Ποπλ στις υπολογιστικές μεθόδους, σε συνδυασμό με τη χημική αντίληψη του Σλέγιερ, αποδείχθηκε καθοριστική για τη διάδοση των νέων μεθόδων στην ευρύτερη χημική κοινότητα. Ο Σλέγιερ ήταν γνωστός για τη σε βάθος γνώση της χημείας των ενδιάμεσων προϊόντων των οργανικών χημικών αντιδράσεων. Λόγω της δυσκολίας να πραγματοποιηθούν πειράματα που θα βοηθούσαν στην απάντηση κρίσιμων ερωτημάτων, όπως για παράδειγμα η χημεία της μεθυλενικής ρίζας, το πεδίο αυτό ήταν προνομιακό για την εφαρμογή των υπολογιστικών μεθόδων.

Δεν ήταν όμως εύκολο για έναν χημικό να κατανοήσει την κβαντική χημεία, ιδιαίτερα όταν μπροστά του ορθώνονταν μια αλληλουχία περίπλοκων εξισώσεων. Σύμφωνα με τον Σλέγιερ, αυτό άλλαξε όταν εκδόθηκαν τα πρώτα εικονογραφημένα βιβλία, στα οποία τα μοριακά τροχιακά παρουσιάζονταν όχι ως μια εξίσωση αλλά ως μια εικόνα. Αυτό έκανε την κβαντική χημεία «προφανή και ενδιαφέρουσα ενώ πριν έμοιαζε δυσνόητη».³⁷ Αυτό δεν σήμαινε ότι είχε πλήρη και βαθιά γνώση της κβαντικής χημείας. Μπορούσε όμως κάνοντας υπολογισμούς να αποκτήσει μια αντίληψη για πράγματα για τα οποία δεν υπήρχε κανένα χημικό δεδομένο. Το 1969 ο Σλέγιερ προσέγγισε για πρώτη φορά τον Ποπλ και σύντομα άρχισε να χρησιμοποιεί το GAUSSIAN-70 που εντωμεταξύ είχε αναπτύξει η ομάδα του Ποπλ. Ο Σλέγιερ ανέφερε ότι:

Άρχισα να χρησιμοποιώ τη Θεωρία των Μοριακών Τροχιακών με σκοπό να σχεδιάσω νέες διατάξεις ατόμων και να χρησιμοποιήσω τους υπολογισμούς ως εργαλείο εξερεύνησης για νέες χημικές δομές. Ιδέες μπορούσαν να δοκιμαστούν με τους υπολογιστές. Αν δεν λειτουργούσαν, υπήρχε κάτι το οποίο δεν είχα καταλάβει. Τότε ένας νέος υπολογισμός «έτρεχε» και την επόμενη μέρα ένα νέο αποτέλεσμα προέκυπτε που έδινε περαιτέρω πληροφορίες. Ποτέ στη ζωή μου δεν είχα μια τόσο γρήγορη ανταπόκριση ανάμεσα σε μια ιδέα και τη δοκιμή της. Η εμπειρία μου από την πειραματική έρευνα ήταν διαφορετική. Κάποιος μπορεί να περίμενε μήνες μέχρις ότου κάποιος φοιτητής ετοίμαζε τα αντιδραστήρια και έκανε τις απαραίτητες μετρήσεις. Η Υπολογιστική Χημεία πάει άμεσα στην καρδιά του προβλήματος και δίνει τις κομβικές απαντήσεις σχεδόν άμεσα.³⁸

Θα περίμενε κανείς, με βάση τα λόγια του Σλέγιερ, η αντιμετώπιση των πειραματικών χημικών να ήταν έστω κάπως ανεκτική. Τα πράγματα όμως ήταν διαφορετικά: συνάντησε ένα αρνητικό ως και εχθρικό περιβάλλον. Δεν ήταν λίγοι αυτοί στην επιστημονική κοινότητα του Σλέγιερ που λέγανε ότι δεν μπορούσαν να αντιληφθούν το πώς ένας τόσο καλός οργανικός χημικός ασχολείται με τέτοιες ανοησίες.³⁹

Ο τρόπος κατανομής της χρηματοδότησης προς τους επιμέρους τομείς της χημείας αναμφίβολα αποτελούσε ένα σημείο διένεξης τόσο τη δεκαετία του 1960 όσο και του 1970. Δεν ήταν λίγοι οι πειραματικοί χημικοί,

³⁷ P. SCHLEYER & A. STREITWIESER, "From the Ivy League to the Honey Pot", στο *The Foundations of Physical Organic Chemistry: Fifty Years of the James Flack Norris Award*, ACS Symposium Series, επιμέλεια Thomas Strom & Vera V. Mainz (American Chemical Society, 2015), 169-198, 193.

³⁸ ο.π.

³⁹ P. SCHLEYER, "An appreciation," *Journal of Computational Chemistry* 22, no.13 (2001): ix-xi.

ούτε μεμονωμένο φαινόμενο, να προβάλλεται μεγάλη αντίσταση στην πιθανότητα εκτεταμένης χρηματοδότησης της υπολογιστικής χημείας από κρατικούς πόρους.⁴⁰ Καθώς οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές άρχισαν να κατακλύζουν τις κοινωνίες, η επιφυλακτικότητα απέναντι στις υπολογιστικές μεθόδους άρχισε να αμβλύνεται. Στο βαθμό που αποτελούσαν μια παραγωγική εναλλακτική στην κλασική πειραματική έρευνα οι υπολογισμοί ήταν δυνατόν να αμφισβητήσουν το μονοπώλιο του πειράματος.

7. Η ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΩΣ ΕΓΚΥΡΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 συντελείται μια μεγάλη αλλαγή στην υπολογιστική τεχνολογία. Από τα μεγάλα mainframes, τους μεγάλους ηλεκτρονικούς υπολογιστές οι οποίοι καταλάμβαναν πάνω από ένα δωμάτιο, σταδιακά περνάμε στους προσωπικούς υπολογιστές, μετά από μια σύντομη περίοδο χρήσης «μινι-υπολογιστών» οι οποίοι είχαν το μέγεθος μιας ντουλάπας. Η διαδικασία αυτή η οποία δεν ήταν γραμμική και ήταν εξαιρετικά περίπλοκη ξεφεύγει από τα όρια της παρούσας ανάλυσης.⁴¹

Εντωμεταξύ ορισμένες φωνές στα τέλη της δεκαετίας του 1970 διακήρυτταν την έλευση της «τρίτης εποχής της χβαντικής χημείας». Σύμφωνα με αυτή την οπτική, την οποία ανέλαβε να εξηγήσει στο περιοδικό *Nature* ο Γκρέιαμ Ρίτσαρντς (Graham Richards), διδάκτορας στο εργαστήριο φυσικής χημείας στην Οξφόρδη, η πρώτη περίοδος της χβαντικής χημείας χαρακτηριζόταν από υπολογισμούς χαμηλής ακρίβειας, οι οποίοι όμως μπορούσαν να δώσουν ορισμένες πληροφορίες για κάποιες χημικές ενώσεις. Η δεύτερη περίοδος χαρακτηριζόταν από την εμφάνιση των *ab-initio* υπολογισμών, οι οποίοι είχαν καλύτερη ακρίβεια, ενώ η χρήση τους μπορούσε να δικαιολογηθεί από τη σύγκριση με γνωστά πειραματικά δεδομένα. Σύμφωνα με τον Ρίτσαρντς, από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, συνεχείς βελτιώσεις οδήγησαν στο να φτάσουν οι χβαντοχημικοί υπολογισμοί σε επίπεδο ακρίβειας εφάμιλλο ή και καλύτερο του πειράματος. Έτσι πραγματοποιήθηκαν χημικές μελέτες όπου υπήρξε «μια αρμονική σχέση των υπολογισμών με το πείραμα, όπου η κάθε πλευρά ήταν ζωτικής σημασίας για την άλλη και ο συνδυασμός πολύ ανώτερος από το άθροισμα των δύο».⁴²

⁴⁰ The HistoryMakers® Video Oral History Interview with William Lester, Jr., April 7, 2004, November 7, 2012 and October 13, 2005. The HistoryMakers® African American Video Oral History Collection, 1900, Michigan Avenue, Chicago, Illinois; William Lester Jr.; Επικοινωνία με τον συγγραφέα, 22 Μαρτίου 2022.

⁴¹ Για περισσότερα μπορεί κανείς να δει τα: T. HAIGH & P. CERUZZI, *A New History of Modern Computing*, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 2021 και M. CAMPBELL-KELLY, W. F. ASPRAY, J. R. YOST, H. TINN & G. C. DÍAZ, *Computer A History of the Information Machine*, New York, Routledge, 2023.

⁴² G. RICHARDS, "Third Age of Quantum Chemistry," *Nature* 278, no. 5704 (1979): 507.

Μερικά χρόνια αργότερα, το 1986, ο Τζον Ποπλ και οι επί χρόνια συνεργάτες του κυκλοφόρησαν ένα βιβλίο με τίτλο *Ab-initio Θεωρία Μοριακών Τροχιακών* (*Ab Initio Molecular Orbital Theory*). Εκεί ανέφεραν ότι:

Είναι καλύτερο η χρήση της θεωρίας να προηγείται παρά να έπεται του πειράματος. Οι δυνατότητες των ποσοτικών θεωρητικών μεθόδων που αναλύονται σε αυτό το βιβλίο ως πρωτεύον εργαλείο έρευνας είναι τεράστιες [...] Έχει λεχθεί ότι η πραγματική δοκιμασία οποιασδήποτε θεωρίας είναι η ικανότητά της να κάνει επικίνδυνες προβλέψεις, προβλέψεις δηλαδή που μόνο αυτή η θεωρία μπορεί να κάνει ενώ οι ανταγωνιστικές θεωρίες αδυνατούν να κάνουν. Αυτό έχει εφαρμογή ιδιαίτερα σε θέματα που υπάρχει μικρή ή καθόλου εμπειρία, ακριβώς σε αυτές τις περιοχές που παράγεται πραγματικά νέα γνώση. Η επιστήμη της χημείας όπως την ξέραμε μέχρι σήμερα είναι εν μέσω μιας επανάστασης. Η επέκταση της από πειραματική σε μαθηματική επιστήμη είναι ήδη σε εξέλιξη.⁴³

Ο κβαντικός χημικός Χένρι Σέιφερ θεωρούσε ότι οι *ab-initio* μέθοδοι αποτέλεσαν μια μικρή χημική επανάσταση, λόγω του γεγονότος ότι ένας αριθμός σημαντικών πειραματικών χημικών ενσωμάτωσαν τις κβαντοχημικές μεθόδους στα ερευνητικά τους προγράμματα εγκαταλείποντας τουλάχιστον μερικώς τις πειραματικές μελέτες.⁴⁴ Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 οι περισσότεροι χρήστες προέρχονταν από την ευρύτερη χημική κοινότητα και όχι από την κοινότητα των κβαντικών χημικών. Επίσης η βιομηχανία άρχισε να χρησιμοποιεί κάποιες από τις μεθόδους.

Η ταχύτατη εξάπλωση των κβαντοχημικών υπολογισμών μπορούσε να προκαλέσει και διάφορες αρρυθμίες. Αυτό συνέβαινε διότι αρκετοί χρήστες δεν γνώριζαν τα όρια και τους περιορισμούς των υπολογιστικών μοντέλων που χρησιμοποιούσαν και, σύμφωνα με τον Σέιφερ, σε αυτές τις περιπτώσεις «υπάρχει μεγάλη επικινδυνότητα στην εφαρμογή των *ab-initio* μεθόδων σε χημικά προβλήματα».⁴⁵ Σύμφωνα με τον Σέιφερ, οι κβαντοχημικοί υπολογισμοί δεν είναι σαν την φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) όπου το αποτέλεσμα βγάζει ένα νόημα από μόνο του. Στην περίπτωση των *ab-initio* μεθόδων είναι εύκολο τα αποτελέσματα να μην έχουν κανένα νόημα από χημικής άποψης, πράγμα που επιβεβαιώθηκε από πάμπολλες κακής ποιότητας κβαντοχημικές μελέτες που δημοσιεύτηκαν στη χημική βιβλιογραφία. Ήταν όμως ευτυχές το γεγονός ότι πολλοί πειραματιστές μετέφεραν την προσεκτική αντιμετώπιση των διατάξεων του χημικού εργαστηρίου στις θεωρητικές

⁴³ W. J. HEHRE, L. RANDOM, P. SCHLEYER & J. A. POPLE, *Ab Initio Molecular Orbital Theory* (New York: John Wiley, 1986), 523-524.

⁴⁴ H. F. SCHAEFER III, *Quantum Chemistry: The Development of Ab Initio Methods in Molecular Electronic Structure Theory* (Oxford: Clarendon Press, 1984), v.

⁴⁵ ο.π.

κβαντοχημικές μελέτες.⁴⁶ Η απάντηση σε αυτή την έλλειψη γνώσης δεν θα μπορούσε παρά να είναι σεμινάρια, ημερίδες, άρθρα, βιβλία, συνέδρια τα οποία θα ξεδιάλυναν το είδος της επιστήμης το οποίο περιείχαν αυτά τα υπολογιστικά «μαύρα κουτιά».

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ: Η ΑΜΦΙΣΒΗΤΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΟΠΩΛΙΟΥ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

Οι κβαντοχημικοί υπολογισμοί είναι ένα παράδειγμα υπολογιστικής περιπλοκότητας και οι κβαντικοί χημικοί από τους πρώτους χρήστες ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οραματιστές σαν τον Ρόμπερτ Μάλικεν κατανόησαν από νωρίς ότι οι ποσοτικοί υπολογισμοί με ηλεκτρονικούς υπολογιστές θα μπορούσαν να φέρουν επανάσταση στη χημική έρευνα. Αυτή όμως η πίστη και φιλοδοξία ήρθε σε αντίθεση με εδραιωμένες αντιλήψεις και πρακτικές στο εσωτερικό της μικρής κοινότητας που ακόμη δεν έχαιρε ευρείας αναγνώρισης στην ευρύτερη χημική κοινότητα. Όταν οι ερευνητές που πραγματοποιούσαν εκτεταμένους ποσοτικούς υπολογισμούς αξίωσαν ένα κεντρικό ρόλο στη κοινότητα το σχίσμα έφτασε σχεδόν στο βαθμό της διάσπασης της κοινότητας σε δύο κομμάτια. Τελικά η σωφροσύνη επικράτησε.

Οι νέες μέθοδοι αρχικά ονομάστηκαν «αριθμητικό πείραμα» αλλά αυτή η ονομασία εγκαταλείφθηκε, πιθανότατα διότι η λέξη πείραμα έθετε εν αμφιβόλω την αυτονομία των υπολογισμών από τις πειραματικές μεθόδους. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 μια σειρά από ερευνητικά προγράμματα επιδίωξαν να αναπτύξουν το καλύτερο δυνατό μοντέλο το οποίο θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε όλη τη χημεία. Οι προσπάθειες ήταν άκαρπες. Το μεγάλο συμπέρασμα ήταν ότι δεν υπήρχε μια λύση για όλα. Από εκεί και πέρα πολλές και διαφορετικές ιδέες για τη μοντελοποίηση αναπτύχθηκαν, εκ των οποίων τρεις ήταν ιδιαίτερα επιδραστικές.

Τα κβαντοχημικά μοντέλα του Τζον Ποπλ έφεραν μια συστηματοποίηση στο αντικείμενο και οι εξαντλητικές δοκιμασίες των μοντέλων προσέφεραν αξιοπιστία η οποία τελικά χτίζονταν βήμα-βήμα στην πράξη. Επιπλέον, το γεγονός ότι τα μοντέλα του Ποπλ, παρά τη μέτρια ακρίβεια που διέθεταν, ήταν συγκεκριμένα και προτυποποιημένα επέτρεπε στους χρήστες να κάνουν συγκρίσεις και ουσιαστικά να χτίζουν πάνω στη δουλειά άλλων ερευνητών. Αυτός ήταν ένας σημαντικός λόγος που η «Χημεία του Θεωρητικού Μοντέλου» του Ποπλ έγινε εξ αρχής τόσο δημοφιλής στην ευρύτερη χημική κοινότητα.

Ο Ενρίκο Κλεμέντι αντιπροσώπευε μια επιστημονική κουλτούρα που θεωρούσε ότι τα πάντα μπορούσαν να αναχθούν σε υπολογισμούς. Η ασυμβίβαστη αντίληψη του σε θέματα ακρίβειας και η εκτεταμένη χρήση των ισχυρότερων ηλεκτρονικών υπολογιστών τον οδήγησε αρκετές φορές

⁴⁶ Ο.π.

μακριά από τις παραδόσεις της ευρύτερης χημικής κοινότητας. Ο Κλεμέντι πίστευε στις δυνατότητες των κβαντοχημικών προσομοιώσεων. Θεωρούσε ότι μπορούν να αλλάξουν ριζικά τη χημική πρακτική.

Τέλος, ο Μάικλ Ντιούαρ αντιπροσώπευε όσο κανείς άλλος τη χημική πρακτική. Υπερασπίστηκε την πρακτική χρησιμότητα των ημιεμπειρικών μεθόδων –από ένα σημείο και έπειτα– ουσιαστικά μόνος του. Ήταν σταθερά αντίθετος στην αντίληψη ότι οι *ab-initio* μέθοδοι ήταν *ipso facto* καλύτερες από τις ημιεμπειρικές.

Οι υπολογισμοί άρχισαν από τη δεκαετία του 1970 και μετά να αναφέρονται ως προσομοιώσεις και οι περισσότεροι κβαντικοί χημικοί προσπάθησαν –χρησιμοποιώντας μεταξύ των άλλων και την αντίστοιχη ρητορική– να διαδώσουν την ιδέα ότι οι υπολογισμοί είναι μια ανεξάρτητη από το πείραμα πηγή γνώσης. Παρόλα αυτά, όπως εξηγήθηκε παραπάνω, όλες σχεδόν οι υπολογιστικές μέθοδοι είχαν «μολυνθεί» από εμπειρικά στοιχεία κατά την ανάπτυξη τους. Οι κβαντικοί χημικοί υιοθέτησαν ρητορικές στρατηγικές που έτειναν να υπερτονίζουν τη σχέση τους με τη θεωρία και να υποτιμούν το πώς οι μέθοδοι καθοδηγούνταν από το πείραμα. Αυτή η στρατηγική ήταν θεμελιώδης, καθώς το επιστημολογικό καθεστώς των νέων μεθόδων ήταν εξαιρετικά εύθραυστο. Οι πειραματικοί χημικοί έτειναν να διατηρούν ένα σκεπτικισμό απέναντι στους κβαντοχημικούς υπολογισμούς.

Για αυτό τον λόγο οι συνεργασίες με πειραματικούς οργανικούς χημικούς ήταν απαραίτητες για τη διάδοση των μεθόδων και η εικονογράφηση των εγχειριδίων απαραίτητη για την κατανόηση αφηρημένων εννοιών όπως τα τροχιακά. Έτσι ένας μικρός αριθμός οργανικών χημικών άρχισε να χρησιμοποιεί συστηματικά τις νέες μεθόδους, βοηθώντας στην άμβλυνση του διάχυτου σκεπτικισμού στην ευρύτερη κοινότητα.

Σε τελική ανάλυση, οι νέες μέθοδοι είχαν να αντιμετωπίσουν το παραδοσιακό και θεμελιώδες εργαλείο του χημικού: το πείραμα. Εδώ προέκυπτε μια σειρά από ερωτήματα. Προορίζονταν οι υπολογισμοί να αντικαταστήσουν το πείραμα; Ή προορίζονταν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά μόνο σε περιπτώσεις που ήταν αδύνατο να γίνουν πειράματα; Ποια ήταν η θέση των κβαντοχημικών υπολογισμών στον μεθοδολογικό χάρτη της χημείας;

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 ένας συμβιβασμός άρχισε να διαμορφώνεται, σύμφωνα με τον οποίο οι υπολογισμοί αντιμετωπίζονταν ως «πλήρης εταίρος με το πείραμα». Καθώς οι προσωπικοί υπολογιστές εξαπλώνονταν παντού στην κοινωνία οι δικαιολογίες για τη μη χρήση των νέων μεθόδων έπαψαν να είναι βάσιμες.

Εντωμεταξύ, από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, μια νέα επανάσταση συντάραξε το επιστημονικό πεδίο της υπολογιστικής κβαντικής χημείας. Η εισαγωγή μεθόδων που βασίζονταν σε μια πιο απλοποιημένη μοντελοποίηση, τη Θεωρία του Συναρτησιακού της Πυκνότητας (Density Functional Theory, DFT) έφερε μια νέα επανάσταση στους κβαντοχημικούς υπολογισμούς. Αυτή η θεωρία βασίζονταν στις απόψεις του φυσικού

Βάλτερ Κον (Walther Kohn) που είχαν αναπτυχθεί από τη δεκαετία του 1960 αλλά κανείς δεν πίστευε ότι μπορούν να έχουν την ακρίβεια που απαιτούνταν στην κβαντική χημεία. Η δουλειά μιας σειράς ερευνητών από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και μετά άλλαξε τα δεδομένα.⁴⁷ Μέσα σε λίγα χρόνια οι DFT μέθοδοι εκθρόνισαν την πλειοψηφία των ab-initio μεθόδων, αφού κατάφεραν να επιτύχουν καλύτερη ακρίβεια με λιγότερους υπολογιστικούς πόρους. Οι μέθοδοι αυτές, βέβαια, βασίστηκαν σε όσα είχαν κατορθώσει οι προηγούμενες γενιές κβαντικών χημικών. Δεν χρειάζονταν πια να πείσουν σχεδόν κανένα για την αξία τους και την αξιοπιστία τους.

Όταν το 1998 το βραβείο Νόμπελ Χημείας δόθηκε από κοινού στους Τζον Ποπλ και Βάλτερ Κον η σημασία της Υπολογιστικής Χημείας, όπως πλέον είχε αρχίσει να ονομάζεται το ευρύτερο αντικείμενο των υπολογισμών, είχε οικουμενικά αναγνωριστεί. Ο κβαντικός χημικός Σασόν Σέικ, όταν του ζητήθηκε από την επιτροπή για την απονομή των βραβείων Νόμπελ να αποτιμήσει την πιθανή βράβευση κάποιου κβαντικού χημικού, ανέφερε ότι:

Είμαστε μάρτυρες της αυγής μιας νέας εποχής στη χημεία, η οποία πιθανόν να αντικαταστήσει την παραδειγματική και εννοιολογική βάση της που αναπτύχθηκε στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου, από μια νέα βάση θεμελιωμένη στη κβαντική χημεία. Αυτό κατέστη εφικτό από την αλληλεπίδραση ανάμεσα στο ποιοτικό της οπλοστάσιο και στις ισχυρότατες ποσοτικές της μεθοδολογίες. Με αυτό τον τρόπο η κβαντική χημεία δεν είναι μόνο ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των χημικών. Είναι επίσης η μήτρα και η θεμελίωση της μελλοντικής χημικής σκέψης.⁴⁸

Μετά από μια μακρά πορεία που περιλάμβανε συγκρούσεις, συμβιβασμούς, διευθετήσεις, κρίσεις και επαναορισμούς, μέσα σε ένα μεταβαλλόμενο τεχνολογικό και επιστημονικό περιβάλλον οι κβαντοχημικοί υπολογισμοί στην αυγή του 20ου αιώνα ήταν πανταχού παρόντες στην ευρύτερη χημική κοινότητα. Το μονοπώλιο του πειράματος στη χημεία αμφισβητήθηκε και μέσα από μια περίπλοκη ιστορική πορεία η Υπολογιστική Χημεία εγκαθιδρύθηκε ως μια μορφή παραγωγής έγκυρης χημικής γνώσης.

⁴⁷ Επιλεγμένη εισαγωγική βιβλιογραφία: J. P. PERDEW, "Density Functional Approximation for the Correlation Energy of the Inhomogeneous Electron Gas." *Physical Review B* 33 (1986): 8822-8824; A. D. BECKE, "Density Functional Exchange Energy Approximation with Correct Asymptotic Behavior." *Physical Review A* 38 (1988): 3098-3100; C. LEE, W. YANG & R. G. PARR, "Development of the Colle-Salvetti Correlation Energy into a Density Functional of the Electron Density." *Physical Review B* 37 (1988): 785-789.

⁴⁸ Papers of Sir John A. Pople, Science History Institute Archives Philadelphia, Pennsylvania, Box 30 / 11, Haifa / Jerusalem, Israel-Lise Meitner Lecture, April 30-May 5, 2000, Nobel appreciation of John A. Pople by Sason Shaik.

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ: ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

ΗΡΑΚΛΗΣ ΚΑΤΣΑΛΟΥΛΗΣ*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ. Η πρόβλεψη σεισμών αποτελεί έναν ερευνητικό κλάδο σχετικά νέο, στον οποίο πολλά σημαντικά ερωτήματα παραμένουν ανοικτά, καθώς η σχετική επιστημονική γνώση χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας και απέχει πολύ από το να θεωρηθεί ως παγιωμένη. Παρ' όλα αυτά αποτελεί μια περιοχή της επιστήμης που συνδέεται άμεσα με τη λήψη πολιτικών αποφάσεων για την προστασία της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας, καθώς οι σύγχρονες κοινωνίες, με τη δημιουργία μεγάλων πόλεων και δυνητικά επικίνδυνων υποδομών, όπως οι πυρηνικοί αντιδραστήρες για παράδειγμα, είναι ευάλωτες στις συνέπειες ενός έντονου σεισμού. Στο παρόν άρθρο θα παρουσιαστεί εν συντομία η συζήτηση που υπάρχει διεθνώς για την πρόβλεψη των σεισμών χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία των Σπουδών Επιστήμης και Τεχνολογίας (ΣΕΤ), ώστε να αναδειχθούν τόσο θέματα επιστημολογικής φύσης, όσο και θέματα δημόσιας πολιτικής, καθώς και οι τρόποι που επηρεάζουν τα μεν τα δε.

ABSTRACT. Earthquake prediction is a relatively new field, in which many important questions remain open, as the relevant scientific knowledge is characterized by a high degree of uncertainty and is far from being considered well established. Nevertheless, it is an area of science that is directly linked to political decision-making for the protection of human life and property, as modern societies, with the creation of large cities and potentially dangerous infrastructures, such as nuclear reactors for example, are vulnerable to the consequences of a strong earthquake. This article will briefly present the debate on earthquake prediction using the methodology of Science and Technology Studies (STS), in order to highlight both epistemological issues and public policy issues, as well as the ways in which they affect each other.

* Ο Η. ΚΑΤΣΑΛΟΥΛΗΣ είναι Μεταδιδακτορικός Ερευνητής στο Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ο συγγραφέας θα ήθελε να ευχαριστήσει θερμά τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του προγράμματος ΡΥΤΗΙΑ, Τέλη Τύμπα, Στάθη Αραποστάθη, Στέλιο Καμπουρίδη, Γρηγόρη Πανουτσόπουλο, Βασιλική Χριστοπούλου και φυσικά τον Επιστημονικό Υπεύθυνο Θόδωρο Αραμπατζή. Η συνεργασία μαζί τους τον βοήθησε σε μεγάλο βαθμό να διαμορφώσει τις θέσεις και τις απόψεις του όπως εμφανίζονται σε αυτό το άρθρο, αλλά και σε άλλα κείμενα που προέκυψαν από τη συμμετοχή μας σε αυτή την κοινή προσπάθεια. Η ερευνητική αυτή εργασία υποστηρίχθηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ) στο πλαίσιο της Δράσης «1η Προκήρυξη Ερευνητικών Έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση των Μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας» (Αριθμός Έργου: 875).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόβλεψη των σεισμών θεωρείται ένα από τα δυσκολότερα επιστημονικά προβλήματα. Αυτό είναι κάτι που παραδέχονται όλοι οι επιστήμονες που εργάζονται ή παρακολουθούν τις εξελίξεις σε αυτόν τον επιστημονικό κλάδο, και θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι αυτό είναι το μοναδικό σημείο καθολικής συμφωνίας μεταξύ των επιστημόνων, καθώς όπως θα δούμε στη συνέχεια υπάρχουν σημαντικές διαφωνίες που αφορούν επιστημολογικά, οντολογικά, και μεθοδολογικά θέματα. Η πρόβλεψη των σεισμών όμως δεν αποτελεί απλώς ένα επιστημονικό αίνιγμα. Είναι ένα θέμα που συνδέεται άμεσα με την προστασία της ανθρώπινης ζωής από μία φυσική καταστροφή, και κατά συνέπεια είναι ένα θέμα δημόσιας πολιτικής. Η μελέτη αυτής της περίπτωσης μπορεί να διαφωτίσει το ρόλο της επιστήμης ως συμβούλου της πολιτείας για την επίλυση και αντιμετώπιση πρακτικών προβλημάτων.

Το παρόν άρθρο αναπτύσσεται και προς τις δύο κατευθύνσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η πρώτη σχετίζεται με θέματα που ανακύπτουν από τη μελέτη της επιστημονικής διαδικασίας ως φαινομένου με ιστορικές και κοινωνιολογικές διαστάσεις. Σε αυτή θα μας απασχολήσουν ερωτήματα που σχετίζονται με την επιστημονική διαδικασία καθ' εαυτή. Η δεύτερη προσεγγίζει την πρόβλεψη σεισμών ως ένα πρόβλημα δημόσιας πολιτικής και διακυβέρνησης όπου θα εστιάσουμε στο ρόλο των επιστημόνων ως συμβούλων της πολιτείας για τη λήψη πολιτικών αποφάσεων. Το μεθοδολογικό πλαίσιο που θα χρησιμοποιηθεί παρέχεται από τις Σπουδές Επιστήμης και Τεχνολογίας, έναν διεπιστημονικό κλάδο που χρησιμοποιεί τα εργαλεία που προσφέρουν η Ιστορία των Επιστημών, η Κοινωνιολογία των Επιστημών, και η Φιλοσοφία των Επιστημών, μεταξύ άλλων.

Τι εννοούμε όμως όταν χρησιμοποιούμε τον όρο «πρόβλεψη σεισμών»; Σύμφωνα με τον καθιερωμένο ορισμό για την πρόβλεψη σεισμών υπάρχουν τριών ειδών προβλέψεις: οι βραχυπρόθεσμες προβλέψεις που καλύπτουν το χρονικό διάστημα από μία ημέρα έως μερικές εκατοντάδες ημέρες πριν από έναν δυνατό σεισμό, οι μεσοπρόθεσμες προβλέψεις που καλύπτουν το μεσοδιάστημα από έναν χρόνο έως μία δεκαετία, και οι μακροπρόθεσμες που καλύπτουν διάστημα μεγαλύτερο από μία δεκαετία πριν από έναν μεγάλο σεισμό (Knapoff, 1996). Τα τελευταία χρόνια, και ειδικά μετά το σεισμό της Φουκουσίμα το 2011, η συζήτηση γύρω από το τι μπορεί να ενταχθεί στην πρόβλεψη σεισμών έγινε ευρύτερη περιλαμβάνοντας εκτός από την πρόβλεψη ενός συγκεκριμένου σεισμού και την πιθανοκρατική εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας (probabilistic seismic hazard assessment: PSHA). Συνεπώς, μια ολοκληρωμένη μελέτη της πρόβλεψης σεισμών επιβάλλει να προσεγγίσουμε αυτή την έννοια με μια διευρυμένη οπτική, ώστε να συμπεριλάβουμε σε αυτή εκτός από την πρόβλεψη ενός συγκεκριμένου σεισμού και την PSHA, παρότι η πιθανοκρατική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας δεν μπορεί να θεωρηθεί

μια ντετερμινιστική πρόβλεψη, δηλ. η πρόβλεψη ενός συγκεκριμένου σεισμού.

2. Η ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΕΙΣΜΩΝ

Η σύγχρονη επιστήμη της σεισμολογίας είναι μια σχετικά νέα επιστήμη καθώς οι απαρχές της μπορούν να τοποθετηθούν στην τελευταία δεκαετία του 19ου αιώνα όταν στην Ιαπωνία δημιουργήθηκε από τρεις Βρετανούς επιστήμονες ο πρώτος σύγχρονος σειсмоγράφος. Με αυτή την εφεύρεση η σεισμολογία πέρασε σε μια νέα φάση όπου έπαψε πια να είναι μια επιστήμη που βασιζόταν στην παρατήρηση με «γυμνό μάτι» χωρίς τη χρήση οργάνων (οι μελετητές των σεισμών ήταν κυρίως μηχανικοί που παρατηρούσαν τις συνέπειες ενός σεισμού αφού αυτός είχε συμβεί, με σκοπό να εξαγάγουν συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά του) και έγινε μια επιστήμη βασισμένη σε όργανα, όπως οι φυσικές επιστήμες (Clancey 2006). Αν και οι πρωτεργάτες της σύγχρονης σεισμολογίας είχαν θέσει από νωρίς ως στόχο της νέας επιστήμης την πρόβλεψη σεισμών, μπορούμε να πούμε ότι ο συγκεκριμένος ερευνητικός κλάδος έχει μια ζωή περίπου 60 χρόνων, από τα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η περίοδος από τα μέσα της δεκαετίας του 1960 έως τα τέλη της δεκαετίας του 1970 ήταν, σε γενικές γραμμές, τα «χρυσά χρόνια» της πρόβλεψης σεισμών. Στα μετέπειτα χρόνια εμφανίστηκαν έντονες διαφωνίες ανάμεσα στους επιστήμονες τόσο για το αν η πρόβλεψη σεισμών είναι δυνατή όσο και για το ποια θα έπρεπε να είναι η στρατηγική επιδίωξης αυτού του στόχου.¹

Οι χώρες υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας έχουν αναπτύξει εργαλεία για τη μετρίαση των συνεπειών των σεισμών, όπως οι κανονισμοί δόμησης, οι αντισεισμικές κατασκευές, η χαρτογράφηση των επικίνδυνων ρηγματών, κ.α. Η πρόβλεψη, για λόγους που θα δούμε στη συνέχεια, δεν έχει έναν εδραιωμένο χώρο στη στρατηγική αντιμετώπισης του σεισμικού φαινομένου, αντίθετα με την πιθανοκρατική εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου που είναι από τα βασικότερα εργαλεία αντιμετώπισης των συνεπειών του σεισμικού φαινομένου καθώς σε αυτή βασίζεται η κατασκευή του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας για μια χώρα. Οι μεγάλες φυσικές καταστροφές δρουν ως καταλύτες για συζητήσεις που σχετίζονται με την αντιμετώπιση των συνεπειών τους. Όπως μετά το σεισμό του Κόμπε της Ιαπωνίας το 1999 αναζωπυρώθηκε η συζήτηση σχετικά με τη δυνατότητα πρόβλεψης σεισμών, βραχυπρόθεσμης και μεσοπρόθεσμης διάρκειας, έτσι μετά το σεισμό της Φουκουσίμα, το 2011, ξεκίνησε μια καινούρια συζήτηση σχετικά με το αν η πιθανοκρατική εκτίμηση σεισμικού κινδύνου είναι αποτελεσματική. Αυτό συνέβη γιατί με βάση

¹ Η πρόβλεψη των σεισμών έχει προκαλέσει αρκετές συζητήσεις (τις περισσότερες φορές έντονες) στο εσωτερικό της επιστημονικής κοινότητας. Μία τέτοια συζήτηση, στην οποία αναπτύχθηκαν όλα τα θέματα που είναι αντικείμενο διαφωνίας ή και διαμάχης ακόμα, μεταξύ των επιστημόνων, οργανώθηκε υπό τη μορφή διαδικτυακού debate από το περιοδικό *Nature*, το 1999.

το χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ιαπωνίας ήταν μάλλον απίθανο να συμβεί στην περιοχή της Φουκουσίμα σεισμός τόσο μεγάλου μεγέθους όσο αυτός που συνέβη εκεί, στις 11 Μαρτίου του 2011 (η δόνηση είχε μέγεθος 9 βαθμών). Έτσι, υπάρχουν επιστήμονες (Geller 2011, Geller et al 2016, Stein et al 2011, 2012) που υποστηρίζουν ότι οι παραδοχές στις οποίες στηρίζεται η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου είναι τελείως λανθασμένες, και μέχρι να αντικατασταθούν από άλλες πιο έγκυρες θα έπρεπε να σταματήσει να χρησιμοποιείται αυτός ο τρόπος εκτίμησης της επικινδυνότητας στη λήψη πολιτικών αποφάσεων. Από την άλλη μεριά υπάρχουν επιστήμονες (Hanks et al 2012, Frankel 2013) που πιστεύουν ότι παρά τις όποιες αστοχίες η πιθανοκρατική εκτίμηση δουλεύει αρκετά καλά, ενώ υπάρχουν και επιστήμονες (Wyss 2015) που θεωρούν ότι η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη αλλά θα έπρεπε η χρήση της να είναι πιο περιορισμένη.

Η σχέση της πρόβλεψης σεισμών (βραχυπρόθεσμης και μεσοπρόθεσμης) με την πιθανοκρατική εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας δεν είναι απλή. Από τη μια πλευρά, παρ' ότι δεν αποκλείουν η μία την άλλη από ερευνητικής άποψης, δηλαδή μπορούν να διεξαχθούν παράλληλα, θεωρούνται ανταγωνιστικές καθώς οι πόροι που διατίθενται στην έρευνα δεν είναι απεριόριστοι και ο ανταγωνισμός για αυτούς είναι μεγάλος. Από μια άλλη οπτική γωνία μπορούμε να πούμε ότι βρίσκονται στην ίδια πλευρά: όταν συνέβη ο σεισμός της Φουκουσίμα δημιουργήθηκε ένα αρνητικότατο κλίμα για τη σεισμολογία στην κοινή γνώμη καθώς δεν είχε καταφέρει να προβλέψει τη μεγάλη καταστροφή. Η αναφορά στην πρόβλεψη δεν έκανε διάκριση ανάμεσα σε βραχυπρόθεσμη, μεσοπρόθεσμη ή πιθανοκρατική εκτίμηση του κινδύνου. Η έλλειψη αυτής της διάκρισης, ακόμα και από επιστήμονες, αλλά και η ανταγωνιστική τους σχέση μας επιβάλλει να μελετήσουμε όλες τις τεχνικές πρόβλεψης-πρόγνωσης συνολικά ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα τα επιχειρήματα που κατατίθενται στη συζήτηση σχετικά με τη χρησιμότητά τους κατά τη διαδικασία λήψης πολιτικών αποφάσεων.

3. ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο ιστορικός της επιστήμης και της τεχνολογίας Gregory Clancey (2012), με σημαντική συμβολή στη μελέτη της ιστορίας της σεισμολογίας και των αντισεισμικών κατασκευών στην Ιαπωνία, σε άρθρο του, μετά το σεισμό της Φουκουσίμα έθετε το εξής ερώτημα: οι σεισμολόγοι εργάζονται για την ασφάλεια των ανθρώπων ή για κάποιον άλλο περισσότερο θεωρητικό σκοπό; Οδηγήθηκε στο να θέσει αυτό το ερώτημα από την αδυναμία των επιστημόνων να προστατεύσουν, μέσω της έρευνας και των γνώσεων τους, την ανθρώπινη ζωή και περιουσία κατά τον μεγάλο σεισμό της Φουκουσίμα. Στη δέσμη των τρόπων με τον οποίο θα μπορούσε η σεισμολογία να υπηρετήσει το ευρύτερο κοινό ήταν και η πρόβλεψη του σεισμικού φαινομένου. Η αλήθεια είναι ότι η πρόβλεψη των σεισμών

αποτελεί ένα από τα πιο δυσεπίλυτα, αν όχι άλυτο όπως υποστηρίζουν ορισμένοι επιστήμονες, προβλήματα των φυσικών επιστημών. Γιατί όμως ισχύει αυτό; Η πρόβλεψη των σεισμών είναι ένα ερευνητικό πεδίο όπου τα περισσότερα βασικά ερωτήματα—πραγματολογικά, οντολογικά, θεωρητικά, είναι ανοικτά, ενώ η απουσία συναίνεσης των επιστημόνων σε βασικά θέματα χαρακτηρίζει τον κλάδο. Στη συνέχεια θα παραθέσουμε κάποια από τα σημαντικότερα, ξεκινώντας από το πιο θεμελιώδες.

3.1. Είναι δυνατόν να προβλεφθούν οι σεισμοί; Είναι οι σεισμοί επί της αρχής προβλέψιμοι ή μήπως υπάρχουν περιορισμοί που τίθενται από τη φύση; Δεδομένου ότι ο φλοιός της Γης (στον οποίο συμβαίνουν οι περισσότεροι σεισμοί) είναι ένα εξαιρετικά ανομοιογενές μέσο, και η φυσική που τον περιγράφει είναι μη γραμμική, ο σεισμός θεωρείται από ορισμένους επιστήμονες ως ένα χαοτικό φαινόμενο. Αυτό σημαίνει ότι οι διαδικασίες που συντελούνται στην εστία του σεισμού είναι εξαιρετικά ευαίσθητες ακόμα και σε μικρές διακυμάνσεις των αρχικών συνθηκών. Για κάποιους επιστήμονες (π.χ. Geller 1999α) αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει βάσιμος λόγος να αναμένεται ότι οι σεισμοί είναι προβλέψιμοι επί της αρχής, καθώς μικρές διακυμάνσεις μπορεί να έχουν σημαντικές συνέπειες ως προς το πώς θα εξελιχθεί η σεισμική διέγερση, και ποιο θα είναι τελικά το μέγεθός της. Ο φλοιός της Γης στην περιοχή γύρω από ένα ρήγμα βρίσκεται σε μια κρίσιμη κατάσταση, και οι πιθανότητες να υπάρξει εξέλιξη αυτής της δραστηριότητας αντισταθμίζονται από τις πιθανότητες να μην διαδοθεί αυτή η δραστηριότητα. Το τι θα γίνει τελικά εξαρτάται από μικρές λεπτομέρειες στον φλοιό της Γης, ακόμα και μακριά από την πηγή του σεισμού. Η διαπίστωση αυτή έχει σημαντικά αποτελέσματα για αυτό που ονομάζεται ντετερμινιστική πρόβλεψη, δηλαδή πρόβλεψη ενός συγκεκριμένου σεισμού. Αν η περιγραφή αυτή είναι σωστή τότε για να προβλέψει κάποιος το μέγεθος ενός σεισμού θα πρέπει να έχει εξαιρετικά λεπτομερή γνώση κάθε μικρού χαρακτηριστικού της Γης, ακόμα και μακριά από την περιοχή που προήλθε ο σεισμός. Όπως γίνεται αντιληπτό, σε μια τέτοια περίπτωση είναι μάλλον απίθανο να γίνουν κάποτε επιτυχημένες προβλέψεις. Η άποψη αυτή δεν είναι αποδεκτή από όλους τους επιστήμονες και σίγουρα όχι από αυτούς που θεωρούν ότι η λύση για την πρόβλεψη των σεισμών είναι η αναγνώριση και ανίχνευση αξιόπιστων πρόδρομων φαινομένων, στα οποία θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

3.2. Τι συνιστά πρόβλεψη ενός σεισμού; Αν παρά τα όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα οι σεισμοί μπορούν πράγματι να προβλεφθούν, τότε τι ακριβώς συνιστά πρόβλεψη σεισμού; Από τα πρώτα χρόνια της σύγχρονης σεισμολογίας, ο σειсмоγράφος θεωρήθηκε μια συσκευή που θα μπορούσε να βοηθήσει στην πρόβλεψη των σεισμών. Αυτό που εννοούσαν με τον όρο «πρόβλεψη» ήταν η πρόβλεψη ενός συγκεκριμένου σεισμού με συγκεκριμένες τιμές για τις παραμέτρους του, αυτό για το οποίο σήμερα χρησιμοποιείται ο όρος «ντετερμινιστική» πρόβλεψη. Το

ποιο πρέπει να είναι το χρονικό παράθυρο για μια πρόβλεψη δεν ήταν κάτι που είχε απασχολήσει τους επιστήμονες από τα πρώτα χρόνια, αλλά σταδιακά γινόταν όλο και περισσότερο φανερό ότι ο καθορισμός της παραμέτρου του χρόνου θα ήταν μια εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση. Αν και μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1970 οι σεισμολόγοι θεωρούσαν ότι η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη είναι εφικτή, προς το τέλος της δεκαετίας αυτής και τις αρχές της επόμενης στράφηκαν σχεδόν ολοκληρωτικά στη μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη σεισμών, ή εγκατέλειψαν εντελώς την ιδέα της δυνατότητας πρόβλεψης ενός σεισμού. Σε αυτό το σημείο εισήλθαν στο χώρο της πρόβλεψης σεισμών επιστήμονες από άλλους κλάδους, φυσικοί, χημικοί, κ.α., οι οποίοι εργάζονταν πάνω στη μελέτη και ανίχνευση πρόδρομων φαινομένων, φαινομένων δηλαδή που είναι δυνατόν να ανιχνευθούν πριν συμβεί ένας σεισμός και μπορούν να συνδεθούν αιτιακά με αυτόν τον σεισμό. Από εκείνη την περίοδο και μετά υπάρχει μια έντονη συζήτηση για το τι συνιστά πρόβλεψη των σεισμών, και πώς αυτή ορίζεται. Στη συζήτηση αυτή χρησιμοποιούνται επιχειρήματα επιστημονικά και μεθοδολογικά, αλλά και άλλα σχετικά με την πρακτική χρησιμότητα της πρόβλεψης.

Ο σεισμολόγος Ian Main (1999), συντονιστής της διαδικτυακής συζήτησης που φιλοξένησε το περιοδικό *Nature* στην ιστοσελίδα του, παρέθετε έναν ορισμό της ντετερμινιστικής πρόβλεψης: αυτού του τύπου η πρόβλεψη μας επιτρέπει να γνωρίζουμε εκ των προτέρων τα χαρακτηριστικά ενός σεισμού με τέτοια ακρίβεια ώστε να είναι εφικτή η σχεδιασμένη εκκένωση κατοικημένης περιοχής. Η απάντηση του επίσης σεισμολόγου Max Wyss (1999α), στο πλαίσιο της ίδιας συζήτησης, ήταν άμεση καθώς υποστήριξε ότι αν οριστεί ως χρήσιμη μια πρόβλεψη η οποία μπορεί να οδηγήσει σε εκκένωση είναι σαν να απορρίπτεται η ιδέα ότι η πρόβλεψη σεισμών θα έπρεπε εξ αρχής να μελετάται· είναι αλήθεια πως ελάχιστοι επιστήμονες θα υποστήριζαν ότι η ντετερμινιστική πρόβλεψη, όπως ορίστηκε παραπάνω, είναι πράγματι ένας εφικτός στόχος. Αυτό που υποστηρίζει ο Wyss είναι ότι το στοιχείο της τυχαιότητας στην έναρξη μιας μεγάλης διάρρηξης πράγματι ακυρώνει τη δυνατότητα της πρόβλεψης εντός μικρού χρονικού παράθυρου, δηλαδή κάνει εξαιρετικά δύσκολη τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη, κάτι όμως που δεν ισχύει για τη μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη.

Αν θεωρήσουμε ότι οι απόψεις γύρω από την πρόβλεψη σεισμών καλύπτουν ένα φάσμα και τοποθετήσουμε στο μέσο του τους ισχυρισμούς του Wyss, τότε θα μπορούσαμε να τοποθετήσουμε στις άκρες τις απόψεις των Robert Geller και Seiya Uyeda. Αν και αυτή η χωροθέτηση δεν μπορεί παρά να έχει κάποια στοιχεία αυθαιρεσίας, πιστεύουμε ότι μπορεί να μας φανεί χρήσιμη. Στο ένα άκρο λοιπόν ο Geller υποστηρίζει ότι οι σεισμοί ως φαινόμενο είναι επί της αρχής μη προβλέψιμοι, επομένως κάθε αντίστοιχη προσπάθεια είναι καταδικασμένη σε αποτυχία. Ενώ στο άλλο άκρο, ο Uyeda, αν και σεισμολόγος, υποστηρίζει ότι η σεισμολογία ως επιστήμη δεν μπορεί να έχει κάποιον λόγο στην πρόβλεψη σεισμών.

Ο Uyeda στηρίζει αυτή του την άποψη στο γεγονός ότι το βασικό όργανο της σεισμολογίας είναι ο σειсмоγράφος, με τον οποίο καταγράφονται τα σεισμικά κύματα. Αυτά τα κύματα όμως δημιουργούνται **αφού** έχει συμβεί ένας σεισμός, και έτσι η καταγραφή και μελέτη τους δεν μας βοηθά στην πρόβλεψή του. Για την πρόβλεψη χρειαζόμαστε αξιόπιστα πρόδρομα φαινόμενα που η ανίχνευσή τους να μπορεί να συνδεθεί με αιτιακό τρόπο με τον επερχόμενο σεισμό. Η αναζήτηση τέτοιων πρόδρομων φαινομένων είναι δουλειά για άλλους επιστημονικούς κλάδους, ενδεχομένως και για έναν καινούργιο κλάδο, στον οποίο θα είχαν θέση φυσικοί χημικοί, μηχανικοί, κ.α.. Ο Uyeda (2013) προτείνει για αυτόν τον κλάδο τον όνομα «Πρόβλεψολογία» (Predictology).

Αυτό που αξίζει να αναφερθεί τώρα είναι ότι οι Geller και Uyeda, εκκινώντας από εντελώς διαφορετικές αφετηρίες, καταλήγουν στην ίδια άποψη σχετικά με τι συνιστά πρόβλεψη. Και για τους δύο επιστήμονες ως πρόβλεψη δεν μπορεί να θεωρείται άλλη από την βραχυπρόθεσμη. Όπως αναφέρει ο Geller (1999α), το κοινό, τα MME, οι κυβερνήσεις θεωρούν ως «πρόβλεψη σεισμών» τον συναγερμό για έναν επικείμενο μεγάλο σεισμό, ορισμένο με αρκετή ακρίβεια και αξιοπιστία ώστε να μπορούν να ληφθούν μέτρα, όπως η εκκένωση πόλεων. Συνεπώς ο όρος «πρόβλεψη» θα πρέπει να χρησιμοποιείται αποκλειστικά υπό αυτή την έννοια, με άλλα λόγια, προγνώσεις πιο μακροπρόθεσμες ή στατιστικές προγνώσεις για πιθανότητες μετασεισμών δεν πρέπει να καταχωρούνται ως προβλέψεις. Ενώ, στην ίδια γραμμή σκέψης ο Uyeda (2013) τονίζει ότι η πρόβλεψη σεισμών πρέπει να προσδιορίζει τον χρόνο, το επίκεντρο και το μέγεθος του επικείμενου σεισμού, με χρήσιμη ακρίβεια. Μεταξύ της μακροπρόθεσμης, της μεσοπρόθεσμης και της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης μόνο η βραχυπρόθεσμη είναι χρήσιμη για την άμεση προστασία ανθρώπινων ζωών και κοινωνικών υποδομών. Οι άλλες δύο είναι απλώς στατιστικές προγνώσεις βασισμένες στην προηγούμενη εμπειρία και δεν πρέπει καν να λέγονται πρόβλεψη.

3.3. Ποια (πρέπει να) είναι η στρατηγική για την πρόβλεψη σεισμών;
Ένα ακόμα σημαντικό ερώτημα σχετικά με την πρόβλεψη σεισμών, που σχετίζεται και με το προηγούμενο, είναι το ποιος είναι ο ενδεδειγμένος τρόπος για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός. Έχουν προταθεί σχετικά δύο στρατηγικές: η ανίχνευση πρόδρομων φαινομένων, και η καλύτερη δυνατή θεωρητική κατανόηση του φαινομένου όπως και η δημιουργία μοντέλων που θα μπορούν να περιγράψουν με επιτυχία τις φυσικές διεργασίες που συμβαίνουν στην περιοχή γένεσης ενός σεισμού και οδηγούν σε αυτόν. Η επιλογή της στρατηγικής δεν είναι η ίδια από όλα τα μέλη της επιστημονικής κοινότητας και οι διαφωνίες αφορούν και τα δύο βασικά επίπεδα της επιστήμης, το οντολογικό και το μεθοδολογικό.

Όσον αφορά το οντολογικό κομμάτι, στην έρευνα των πρόδρομων φαινομένων οι ερωτήσεις σχετίζονται με το αν πράγματι υπάρχουν τέτοια

φαινόμενα και αν μπορούν να αποτελέσουν αξιόπιστη λύση στο πρόβλημα της πρόβλεψης. Οι ενστάσεις σχετικά με τα πρόδρομα φαινόμενα θα μπορούσαν να συνοψιστούν ως εξής: η στρατηγική των πρόδρομων δεν μπορεί να είναι επιτυχημένη καθώς οι σεισμοί είναι αρκετά περίπλοκοι και καθόλου συχνοί, σε σχέση με την ανθρώπινη κλίμακα του χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και αν τα πρόδρομα φαινόμενα υπάρχουν, οι λίγες παρατηρήσεις τους δεν μπορούν να οδηγήσουν σε ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τη σύνδεση αυτών των φαινομένων και των σεισμών. Μία ακόμα δυσκολία αναφορικά με τα πρόδρομα φαινόμενα, και ίσως σημαντικότερη, σχετίζεται με το ότι οι περισσότερες συσχετίσεις πρόδρομων φαινομένων με σεισμούς βασίζονται σε εκ των υστέρων μελέτες, αφού δηλαδή ένας σεισμός έχει συμβεί. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να ρυθμιστούν οι παράμετροι της πρόβλεψης μετά το σεισμό έτσι ώστε να παραχθούν φαινομενικά σημαντικές συσχετίσεις, οι οποίες όμως στην πραγματικότητα είναι αναληθείς (Geller 1999α).

Η συζήτηση όσον αφορά το μεθοδολογικό κομμάτι σχετίζεται με το ότι ένα σημαντικό μέρος της έρευνας στην πρόβλεψη σεισμών είναι εμπειρικό και βασίζεται σε μελέτες κατά περίπτωση (case studies). Έπειτα από κάποιον σεισμό, δεδομένα όλων των ειδών εξετάζονται, με την ελπίδα να βρεθεί κάποιο πρόδρομο σήμα. Τι σημαίνει αυτό για την ποιότητα των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από μια τέτοια προσέγγιση; Σύμφωνα με μια άποψη, ο εμπειρισμός δεν θα έπρεπε να απορρίπτεται ασυζητητί, καθώς έχει οδηγήσει σε σπουδαίες ανακαλύψεις. Παρ' όλα αυτά, χωρίς σωστό έλεγχο, η εμπειρική προσέγγιση ενδέχεται να οδηγήσει σε παράλογα συμπεράσματα, όπως ότι το χτύπημα των ταμ ταμ μπορεί να επαναφέρει τον Ήλιο ύστερα από μία έκλειψη (Geller 1999α). Η προσέγγιση των case studies μπορεί να ήταν χρήσιμη αρχικά, αλλά από ένα σημείο και μετά, όταν υπήρχαν κυριολεκτικά χιλιάδες δημοσιευμένοι ισχυρισμοί για πρόδρομα φαινόμενα, η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν βοήθησε στην επίλυση του προβλήματος της πρόβλεψης (Geller 1999β). Ποιο είναι λοιπόν το επιχείρημα που διαμορφώνεται κατά της έρευνας που διεξάγεται στην πρόβλεψη σεισμών; Η επιστημονική δουλειά υψηλού επιπέδου δεν μπορεί να είναι απλώς εμπειρική αναζήτηση – αυτό επιτρέπεται στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης μιας επιστήμης και δεν αποτελεί ένδειξη «ωριμότητας». Επομένως, η «ηλικία» του εκάστοτε ερευνητικού κλάδου έχει ιδιαίτερη σημασία. Αν η έρευνα σχετικά με την πρόβλεψη σεισμών εξακολουθεί να στηρίζεται στη φαινομενολογία, αυτό αποτελεί απόδειξη ότι το αντικείμενό της είναι προβληματικό. Στο θέμα της ηλικίας του κλάδου της πρόβλεψης σεισμών θα επανέλθουμε.

Αρκεί όμως η μελέτη των πρόδρομων φαινομένων για την επιτυχή έρευνα στην πρόβλεψη των σεισμών; Ερωτήματα όπως τι είναι ο σεισμός, τι καθορίζει το μέγεθός του και γιατί είναι πιθανό να συμβεί όπου και όταν αυτός γίνεται, είναι ερωτήματα φυσικής και δεν μπορούν να

απαντηθούν με στατιστικά μέσα (Knopoff 1999). Το πρόβλημα της πρόβλεψης σεισμών δεν είναι στατιστικό. Ο μικρός αριθμός αρκετά μεγάλων γεγονότων σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη τις τελευταίες δεκαετίες –ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο είναι διαθέσιμα ακριβή και αξιόπιστα όργανα– δεν διευκολύνει τον καθορισμό των πιθανοτήτων για ενδεχόμενα μεγαλύτερα γεγονότα με ικανοποιητική ακρίβεια. Σε αυτή την περίπτωση, χρειάζεται μία θεωρία που θα εξηγήει τη γένεση των πρόδρομων φαινομένων και τη συσχέτισή τους με τους σεισμούς που θα βασίζεται στις αρχές της φυσικής, έτσι ώστε να μεγεθύνεται ο μικρός όγκος των δεδομένων που έχουν οι επιστήμονες στη διάθεσή τους.

3.4. Ποιος είναι ο χαρακτήρας της σεισμολογίας ως επιστήμης; Η συζήτηση σχετικά με τη στρατηγική πρόβλεψης των σεισμών έχει μια ακόμα σημαντική διάσταση η οποία σχετίζεται με ένα ερώτημα υπαρκτικής φύσης για την επιστήμη της σεισμολογίας: πρόκειται για βασική ή για εφαρμοσμένη επιστήμη; Έχουμε ήδη παρουσιάσει αυτό το ερώτημα, με τα λόγια του Gregory Clancey, ο οποίος μετά το σεισμό της Φουκουσίμα αναρωτιόταν αν οι σεισμολόγοι εργάζονταν για την προστασία του κοινού ή για κάποιον ανώτερο θεωρητικό σκοπό. Η πιο διαδεδομένη άποψη για τον διαχωρισμό βασικής και εφαρμοσμένης επιστήμης υποστηρίζει ότι αυτές οι δύο πλευρές της επιστημονικής διαδικασίας έχουν διακριτούς και ξεκάθαρους ρόλους: η βασική επιστήμη έχει ως σκοπό την κατανόηση της Φύσης, ενώ η γνώση που παράγεται από αυτή την κατανόηση εφαρμόζεται στον πραγματικό κόσμο, είτε για τη δημιουργία τεχνολογικών καινοτομιών είτε για την αντιμετώπιση προβλημάτων που απασχολούν τις ανθρώπινες κοινωνίες. Η επιστήμη όμως, και ειδικά η σύγχρονη, δεν δουλεύει με αυτόν τον τρόπο, ή αποκλειστικά με αυτόν τον τρόπο. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η επιστημονική έρευνα έχει τη δυνατότητα να διαχειριστεί την πολυπλοκότητα που υπάρχει σε φυσικά συστήματα, χωρίς όμως ποτέ να καταφέρει την πλήρη κατανόησή τους. Σε αυτή τη λογική, ο κύριος σκοπός της σύγχρονης επιστήμης είναι να μετασχηματίσει τον κόσμο παρά να τον κατανοήσει (Carrier and Nordmann 2011). Σε μια τέτοια περίπτωση όμως είναι διαφορετικός και ο τρόπος λειτουργίας της επιστήμης. Έτσι η εφαρμοσμένη επιστήμη, σε αντίθεση με τη βασική, χαρακτηρίζεται από: α) μοντέλα με τοπική ισχύ σε συγκεκριμένες επιστημονικές περιοχές, παρά από μεγάλες θεωρίες που ενοποιούν κάτω από το ίδιο εξηγητικό σχήμα πολλά φυσικά φαινόμενα, β) από αιτιακές σχέσεις που έχουν ισχύ σε ένα τοπικό πλαίσιο παρά από ευρύτερους αιτιακούς μηχανισμούς που καλύπτουν μια σειρά φυσικών φαινομένων, και γ) από πειράματα στον πραγματικό κόσμο παρά από εργαστηριακά πειράματα που διεξάγονται σε ελεγχόμενες συνθήκες (Carrier 2004). Οι σεισμολόγοι και όσοι ασχολούνται με την πρόβλεψη σεισμών προτείνουν διαφορετικές προσεγγίσεις σχετικά με τη μελέτη και την αντιμετώπιση των συνεπειών του σεισμικού φαινομένου. Ορισμένοι (π.χ. Jordan 1997, Geller 1999β, Knopoff 1996) υποστηρίζουν

ότι για να λυθεί το πρόβλημα της πρόβλεψης χρειάζεται περισσότερη βασική έρευνα για την κατανόηση των μηχανισμών γένεσης των σεισμών και διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, ενώ άλλοι (π.χ. Uyeda 2013, Scholz 1997) υποστηρίζουν ότι αυτό που χρειάζεται είναι περισσότερη έρευνα για την εύρεση αξιόπιστων πρόδρομων φαινομένων, μια έρευνα η οποία μπορεί να έχει περισσότερο εμπειρικό χαρακτήρα και να είναι προσανατολισμένη στην εφαρμογή της επιστημονικής γνώσης για την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος.

3.5. Πρέπει να επιδιώκεται η πρόβλεψη των σεισμών; Όπως ήδη αναφέραμε η πρόβλεψη σεισμών αποτελεί ένα πεδίο διαμάχης στο οποίο πολλά ζητήματα –θεωρητικά, μεθοδολογικά, πραγματολογικά– είναι ανοικτά. Κατά συνέπεια, η συζήτηση καλύπτει μεγάλο εύρος θεμάτων, από πολύ τεχνικά έως περισσότερο «επιστημολογικά». Με τον τελευταίο όρο εννοούνται θέματα όπως το τι συνιστά πρόβλεψη, πώς ορίζεται η επιτυχία και η αποτυχία, αλλά και πότε θεωρείται ότι ένα ερευνητικό πρόγραμμα έχει ολοκληρωθεί ή είναι ώριμο να παράγει αποτελέσματα. Τέτοια ερωτήματα δεν μπορούν να απαντηθούν μόνο σε τεχνικό επίπεδο, καθώς παίζουν ρόλο οι αξίες (επιστημικές και ηθικές) αλλά και οι προσδοκίες που έχουν όσοι εμπλέκονται σε αυτή τη συζήτηση.

Το αν η πρόβλεψη σεισμών, και κυρίως η βραχυπρόθεσμη, είναι ένα εφικτό και «νόμιμο» επιστημονικό στόχος, είναι ένα θέμα στο οποίο δεν υπάρχει συμφωνία μεταξύ των επιστημόνων. Μπορούν οι πόροι που διατίθενται να έχουν αντίκρισμα με τη μορφή αποτελεσμάτων χρήσιμων, τόσο για την επιστημονική κοινότητα όσο και την κοινωνία στο σύνολό της; Η υπάρχουσα θεωρητική γνώση δεν μπορεί να δώσει στο προηγούμενο ερώτημα μια απάντηση που θα είναι δεσμευτική για όλη την κοινότητα, συνεπώς οι απαντήσεις που δίνονται ποικίλλουν ανάλογα με την προδιάθεση που έχει ο κάθε επιστήμονας ως προς τον συγκεκριμένο στόχο. Υπάρχουν επιστήμονες που θεωρούν ότι οι σεισμοί απλώς δεν προβλέπονται, ενώ για άλλους αυτή η άρνηση δεν είναι αποδεκτή, αν και παραδέχονται ότι οι δυσκολίες είναι σημαντικές, ενώ υπάρχει και η άποψη, όπως διατυπώνεται για παράδειγμα από τον σεισμολόγο David Jackson, ότι το σημαντικό ερώτημα δεν είναι κατά πόσο η πρόβλεψη σεισμών είναι δυνατή αλλά αν είναι εύκολη (Jackson, 1999). Είναι πολύ χαρακτηριστικοί οι τίτλοι δύο παρεμβάσεων στη διαδικτυακή συζήτηση του *Nature*, στην οποία αναφερθήκαμε προηγουμένως, και οι οποίοι θέτουν το περίγραμμα αυτών που θα ακολουθήσουν. Ο Wyss (1999β) διατύπωνε, μέσω του τίτλου της παρέμβασής του, την άποψη: «Χωρίς χρηματοδότηση, δεν υπάρχει πρόοδος». Η απάντηση που λάμβανε ήταν: «Χωρίς πρόοδο, δεν υπάρχει χρηματοδότηση» (Geller 1999γ).

Ποια από τις δύο προσεγγίσεις θεωρείται η επικρατέστερη; Καθεμία είναι συμβατή με μία διαφορετική αντίληψη σχετικά με την ιστορία της πρόβλεψης σεισμών. Σε ένα άρθρο στο οποίο έκανε αποτίμηση της ερευνητικής προσπάθειας της πρόβλεψης ο Geller είχε επιλέξει για το πρώτο

υποκεφάλαιο τον τίτλο: «120 χρόνια έρευνας στην πρόβλεψη». Εκεί ξεκινούσε παραθέτοντας τον Milne, έναν από τους εφευρέτες του πρώτου σειсмоγράφου και θεμελιωτές της σύγχρονης σεισμολογίας, να υποστηρίζει το 1880 ότι «από τότε που η σεισμολογία μελετάται, ένας από τους κύριους σκοπούς των μελετητών της είναι να ανακαλύψουν κάποια μέσα, τα οποία θα τους επέτρεπαν να προλέγουν τον ερχομό ενός σεισμού» (Geller 1997, σ. 425). Συνέχιζε την παράθεση αποσπασμάτων από γραπτά ή από δημόσιες παρεμβάσεις σημαντικών σεισμολόγων, από τα οποία προέκυπτε ότι η πρόβλεψη σεισμών ήταν ανέκαθεν ένας σημαντικός στόχος της σύγχρονης σεισμολογίας. Η ρητορική του Geller έχει έναν σαφή στόχο: να καταδείξει ότι η έρευνα για την πρόβλεψη σεισμών έχει μια σχετικά μακρά διάρκεια, χωρίς να έχει επιδείξει χειροπιαστά αποτελέσματα. Αυτό που πρέπει να έχουμε υπόψη μας είναι ότι δεν υπάρχει ένα λογικά αναπόδραστο σημείο στο οποίο σταματά η επιστημονική έρευνα. Για να συμβεί αυτό πρέπει να συγκλίνουν το τεχνικό, το γνωσιακό και το κοινωνικό κομμάτι (Galison 1987). Στην περίπτωση της πρόβλεψης οι αντιπαρατιθέμενες πλευρές εκτός από τεχνικά επιχειρήματα χρησιμοποιούν και ρητορικά, όπως το προηγούμενο, με σκοπό να εξυπηρετήσουν τη δική τους ερευνητική ατζέντα. Ο ισχυρισμός του Geller δεν έμεινε φυσικά αναπάντητος. Ο Wyss, κάνοντας μία διαφορετική και μάλλον πιο συμβατική ανάγνωση της ιστορίας της πρόβλεψης, θέτει την αρχή της προσπάθειας στη δεκαετία του 1970 και τονίζει ότι το βασικότερο εργαλείο των σεισμολόγων είναι το δίκτυο σειсмоγράφων, που εγκαταστάθηκε σε παγκόσμια κλίμακα μόλις στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Αν κάποιος επιθυμεί να μελετήσει σεισμικούς καταλόγους μεγάλης ανάλυσης, οι οποίοι έχουν παραχθεί από πυκνά δίκτυα, δεν μπορεί να ξεκινήσει τη χρήση δεδομένων πριν από το 1980, καθώς μέχρι τότε τα δεδομένα ήταν πολύ φτωχά. Επιπροσθέτως, ο λόγος για τη διάρρηξη των ρηγμάτων, τη γένεση των σεισμών δηλαδή, που δεν είναι άλλος από την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών, δεν ανακαλύφθηκε πριν από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 (Wyss 1999γ). Επομένως, σύμφωνα με τον Wyss, η επιστήμη της πρόβλεψης σεισμών είναι μια σχετικά νέα επιστήμη, η οποία γίνεται ακόμα πιο νέα αν λάβουμε υπόψη τους χρόνους στους οποίους εξελίσσεται το φαινόμενο που μελετά, οι οποίοι είναι πολύ μεγαλύτεροι από τους χρόνους στην ανθρώπινη κλίμακα.

Στην ιστορία των σύγχρονων κοινωνιών υπάρχουν σεισμοί οι οποίοι έχουν προκαλέσει σημαντικούς τριγμούς όχι μόνο σε κτίρια και υποδομές, αλλά και στα θεμέλια της γνώσης που έχουμε γύρω από τους σεισμούς (Coen 2013). Ο σεισμός της Λισαβώνας το 1755, του Σαν Φρανσίσκο το 1906, του Κόμπε το 1995, ήταν σεισμοί που ανέδειξαν τις ανεπάρκειες της γνώσης που υπήρχε γύρω από τους σεισμούς και έδωσαν ώθηση στη μελέτη των σεισμών με νέα κάθε φορά εργαλεία. Ο σεισμός της Φουκουσίμα κατέχει σίγουρα μια ξεχωριστή θέση στη σειρά αυτών των γεγονότων καθώς έθεσε εν αμφιβόλω τα θεμέλια της σεισμολογίας. Εμφανίστηκαν φωνές (Geller 2011, 2016, Stein et al 2012, Sagiya et al

2011) που υποστήριξαν ότι η κρίση στη σεισμολογία ήταν τόσο σημαντική ώστε αυτό που χρειαζόταν πια ήταν η αλλαγή ενός παραδείγματος, κατά Kuhn (2012). Σε αυτό το καινούριο παράδειγμα η πρόβλεψη δεν μπορούσε να έχει θέση σε καμία μορφή της (βραχυπρόθεσμη, μεσοπρόθεσμη, μακροπρόθεσμη) αλλά ούτε καν και στη μορφή της πιθανοκρατικής εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου (PSHA).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

Αυτό που κάνει εξαιρετικά ενδιαφέρουσα περίπτωση για μελέτη την προσπάθεια των επιστημόνων να προβλέψουν τους σεισμούς είναι ότι πρόκειται για μια επιστημονική περιοχή που από τη μια βρίσκεται σε κρίση ως προς τον χαρακτήρα της αλλά και ως προς το τι μπορεί να προσφέρει στην κοινωνία, από την άλλη όμως συνδέεται άμεσα με τη λήψη πολιτικών αποφάσεων. Αν για πολλούς σεισμολόγους η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε αυτή την περιοχή που ο Weinberg (1972) ονόμασε *trans-science*, δηλαδή μια περιοχή ερωτημάτων που μπορούν να τεθούν από την επιστήμη αλλά δεν μπορούν να απαντηθούν από αυτήν, τα πράγματα για τη μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη και την πιθανοκρατική εκτίμηση είναι πολύ διαφορετικά, καθώς αποτελούν σημαντικά εργαλείο των επιστημόνων, ειδικά η τελευταία. Πώς μπορεί να αντιμετωπιστεί αυτή η κατάσταση στο επίπεδο της λήψης αποφάσεων; Πώς μπορούν, αν μπορούν, να ληφθούν πολιτικές αποφάσεις σε αυτό το πλαίσιο; Για τη σεισμολογική έρευνα εμφανίζεται, ή μάλλον επανέρχεται με ακόμη πιο έντονο τρόπο από ότι στο παρελθόν, το ερώτημα με το οποίο ασχοληθήκαμε στην προηγούμενη ενότητα, αν δηλαδή η σεισμολογία είναι βασική ή εφαρμοσμένη επιστήμη. Το ερώτημα αυτό δεν είναι σημαντικό μόνο για τους επιστήμονες αλλά και για αυτούς που λαμβάνουν τις πολιτικές αποφάσεις, όπως και για την ευρύτερη κοινωνία που στηρίζει το εγχείρημα της σύγχρονης επιστήμης και περιμένει από αυτήν κάποιας μορφής ανταπόδοση. Πριν συνεχίσουμε όμως τη συζήτηση σχετικά με την πρόβλεψη σεισμών θα παραθέσουμε εν συντομία ένα μέρος της γενικότερης συζήτησης που υπάρχει στις Σπουδές Επιστήμης και Τεχνολογίας σχετικά με την ερευνητική πολιτική.

Εκτός από τη σαφή διάκριση ανάμεσα στη βασική και την εφαρμοσμένη επιστήμη, στο πλαίσιο της καθιερωμένης άποψης για την επιστήμη υπάρχει και η σαφής διάκριση ανάμεσα στην παραγωγή της επιστημονικής γνώσης και τη λήψη πολιτικών αποφάσεων που βασίζονται στην επιστημονική γνώση (Bijker et al 2009). Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της άποψης είναι ότι η επιστήμη προσφέρει την απαιτούμενη γνώση και με βάση αυτή οι πολιτικοί παίρνουν τις αποφάσεις. Η διάκριση που αναφέραμε προηγουμένως προϋποθέτει ότι τα γεγονότα, με τα οποία ασχολείται η επιστήμη, και οι αξίες, στις οποίες στηρίζονται οι πολιτικοί για να λάβουν αποφάσεις, είναι καλά διαχωρισμένες μεταξύ τους κατηγορίες. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, ο καθορισμός της εγκυρότητας της

επιστημονικής γνώσης είναι μια τετριμμένη διαδικασία. Η επιστημονική κοινότητα αποφασίζει στο εσωτερικό της, με διαδικασίες που καθορίζει η ίδια, ποια είναι η αποδεκτή γνώση και με βάση αυτή τη γνώση στη συνέχεια λαμβάνονται οι πολιτικές αποφάσεις. Συνέπεια αυτής της προσέγγισης είναι η άποψη ότι η επίλυση των προβλημάτων επιστημονικής και τεχνολογικής φύσης που απασχολούν τις σύγχρονες κοινωνίες έχουν δύο καλά καθορισμένα στάδια. Το πρώτο σχετίζεται με την εκτίμηση του κινδύνου (risk assessment) και είναι αποκλειστική αρμοδιότητα των επιστημόνων, ενώ το δεύτερο σχετίζεται με τη διαχείριση του κινδύνου (risk management) και είναι αρμοδιότητα αυτών που λαμβάνουν τις πολιτικές αποφάσεις σε επίπεδο κοινωνίας. Στην πραγματικότητα, όμως, αυτή η διαδικασία δεν είναι τόσο απλή και αυτό το έχουν καταδείξει πολλές μελέτες των Σπουδών Επιστήμης και Τεχνολογίας.

Κάποιοι από τους λόγους για τους οποίους ισχύει αυτό είναι οι εξής: όπως αναφέρουν οι Bijker et al (2009), η αποτίμηση της ορθότητας της επιστημονικής γνώσης όσον αφορά την τρέχουσα επιστημονική έρευνα (state of the art) δεν είναι καθόλου τετριμμένη διαδικασία. Η ιστορία της επιστήμης είναι γεμάτη από διαμάχες γύρω από νέους επιστημονικούς ισχυρισμούς. Στις περισσότερες περιπτώσεις, για να αποφασιστεί από την επιστημονική κοινότητα ποια είναι η ορθή γνώση χρειάζεται να περάσει πολύς χρόνος. Χρόνος που συνήθως δεν είναι διαθέσιμος όταν η συγκεκριμένη γνώση πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη πολιτικών αποφάσεων. Έτσι, έρχεται στην επιφάνεια το θέμα της αβεβαιότητας της επιστημονικής γνώσης, η οποία υπάρχει ούτως ή άλλως, αλλά αποκτά ακόμη μεγαλύτερη σημασία όταν η γνώση αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη πολιτικών αποφάσεων. Η αβεβαιότητα της επιστημονικής γνώσης επιτείνεται κάποιες φορές από το γεγονός ότι δεν είναι πάντα σαφές το ποιοι είναι οι ειδικοί επιστήμονες σχετικά με ένα θέμα δημόσιας πολιτικής. Όπως υποστηρίζει η Jasanoff (2003), σε τεχνικές διαμάχες που σχετίζονται με τη δημόσια πολιτική, πολλές φορές, το σημαντικό θέμα είναι να καθορισθεί ποια γνώση είναι σχετική με την επίλυση του προβλήματος. Ο καθορισμός της σχετικής γνώσης και επομένως του ποιος είναι ο ειδικός σε ένα θέμα πολύ συχνά είναι το τελικό αποτέλεσμα μιας «διαπραγμάτευσης». Η διαπραγμάτευση για τον καθορισμό του ειδήμονα δεν γίνεται μόνο στο εσωτερικό της επιστημονικής κοινότητας αλλά συχνά αυτό συμβαίνει και στη δημόσια σφαίρα.

Πολλοί μελετητές των Σπουδών Επιστήμης και Τεχνολογίας (π.χ. Wynne 1992, Irwin 1995, Jasanoff 1990) επισημαίνουν ότι η σύζευξη της επιστήμης με την πολιτική δημιουργεί μια επιστήμη νέου τύπου, η οποία αποτελεί ένα υβρίδιο. Η ιδέα αυτή της υβριδικής επιστήμης έρχεται να απαντήσει στην ιδέα του σαφούς διαχωρισμού ανάμεσα στα δύο στάδια λήψης πολιτικών αποφάσεων που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο. Σε αυτή τη λογική, η γνώση που παράγεται από τους ερευνητές και περιέχεται στις επιστημονικές δημοσιεύσεις είναι μάλλον απίθανο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει στη λήψη πολιτικών αποφάσεων (Stehr

and Grundman 2011). Για παράδειγμα, στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής τα ερωτήματα που τίθενται από την «ακαδημαϊκή» επιστήμη όπως αυτή διεξάγεται στα πανεπιστήμια και τα ερευνητικά ιδρύματα είναι διαφορετικά από αυτά που απασχολούν την «ρυθμιστική» επιστήμη (regulatory science) που χρησιμοποιείται για τη λήψη πολιτικών αποφάσεων. Έτσι, για την πρώτη ένα σημαντικό ερώτημα είναι ποια είναι η σχέση του διοξειδίου του άνθρακα με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, ενώ για τη δεύτερη ένα βασικό ερώτημα είναι πόσο σημαντική είναι η σχέση μεταξύ διοξειδίου του άνθρακα και αλλαγής της παγκόσμιας θερμοκρασίας για τη χάραξη πολιτικής. Τέτοιου τύπου ερωτήματα, όπως το δεύτερο, θεωρούνται υβριδικά και δεν μπορούν να απαντηθούν εντελώς ούτε μόνο από την επιστήμη αλλά και ούτε μόνο από την πολιτική, αλλά από το υβρίδιο επιστήμη/πολιτική (Raman 2015).

Ποια είναι όμως η σχέση ανάμεσα σε αυτά τα δύο είδη που συνθέτουν το υβρίδιο, δηλαδή την επιστήμη και την πολιτική; Έχουν και τα δύο το ίδιο βάρος στη λήψη αποφάσεων; Υπάρχουν δύο γενικές απαντήσεις σε αυτό το ερώτημα. Σύμφωνα με την πρώτη, η επιστημονική γνώση είναι η σημαντικότερη παράμετρος για την επίλυση προβλημάτων που άπτονται της δημόσιας πολιτικής καθώς τα γεγονότα βαραίνουν περισσότερο στην επιλογή από τις αξίες. Στη δεύτερη θεώρηση, το βάρος αντιστρέφεται: αυτοί που λαμβάνουν τις πολιτικές αποφάσεις έχουν τον κύριο λόγο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων καθώς η επιστημονική αβεβαιότητα δείχνει ότι δεν μπορούμε να βρούμε στην επιστήμη στέρεα θεμέλια στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Έτσι, σύμφωνα με το Sarewitz (2004), ένα πρόβλημα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι ότι αποδίδεται στην επιστημονική γνώση περισσότερη αντικειμενικότητα από όση πραγματικά έχει. Σε αντίθεση με την προηγούμενη άποψη, οι Collins et al (2007, 2010) υποστηρίζουν ότι είναι πολύ σημαντική η ύπαρξη της επιστημονικής ειδημοσύνης στη λήψη πολιτικών αποφάσεων, τονίζοντας όμως ότι οι επιστήμονες και οι πολιτικοί έχουν διακριτούς ρόλους. Ο Wynne (2010) δεν υποστηρίζει ότι πρέπει να μειωθεί ο ρόλος της επιστήμης στη λήψη των αποφάσεων, όπως ο Sarewitz, αλλά μόνο ο ρόλος του επιστημονισμού που βάζει στο κέντρο της διαδικασίας δημιουργίας πολιτικής την επιστήμη εις βάρος όλων των άλλων φορέων μιας κοινωνίας. Αυτό που απαιτείται για μια αποτελεσματική διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι η ευρύτερη συμμετοχή σε αυτή όλων των ενδιαφερόμενων κοινωνικών ομάδων εκτός από τους επιστήμονες.

Ας δούμε όμως πώς η παραπάνω συζήτηση σχετικά με την επιστημονική πολιτική εφαρμόζεται στην περίπτωση της πρόβλεψης σεισμών. Η σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard) ορίζεται, με απλά λόγια, ως η πιθανότητα κάποια σεισμική δόνηση που θα συμβεί μέσα σε ένα χρονικό διάστημα να υπερβεί μια τιμή που έχει καθοριστεί ως μέγιστη. Ο σεισμικός κίνδυνος (seismic risk) μετριέται με τις απώλειες σε ανθρώπινες ζωές, σε υποδομές και στο οικονομικό πεδίο. Η σεισμολογία, η

γεωφυσική και οι συναφείς επιστήμες έχουν ως πρωταρχικό, και μάλλον αποκλειστικό στόχο, την εκτίμηση της επικινδυνότητας. Υπό αυτή την έννοια, θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι η σεισμολογία είναι περισσότερο «ακαδημαϊκή» επιστήμη παρά υβριδική. Ένα ερώτημα που τίθεται από τους ίδιους τους επιστήμονες είναι το εξής: για να ξεπεράσει την κρίση στην οποία βρίσκεται θα έπρεπε η σεισμολογία να γίνει ακόμη περισσότερο «ακαδημαϊκή» ή να μετακινηθεί προς μια πιο υβριδική κατεύθυνση; Η αυθόρμητη απάντηση των επιστημόνων σε αυτή την ερώτηση είναι ότι περισσότερη επιστημονική έρευνα και βαθύτερη κατανόηση του σεισμικού φαινομένου θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της γνώσης και, κατά συνέπεια, την καλύτερη αντιμετώπιση του σεισμικού κινδύνου.

Στην αντίθετη κατεύθυνση η ιστορικός της επιστήμης Naomi Oreskes (2015) έχει υποστηρίξει ότι οι επιστήμες Γης, συμπεριλαμβάνοντας σε αυτές ρητά και την πρόβλεψη των σεισμών, δεν είναι μόνο φυσικές επιστήμες αλλά ένα υβρίδιο που πατάει τόσο στις φυσικές όσο και στις κοινωνικές επιστήμες. Αυτό ισχύει διότι η πρόβλεψη σεισμών δεν έχει να κάνει μόνο με τη μελέτη φυσικών συστημάτων αλλά και με την αλληλεπίδραση φυσικών συστημάτων με κοινωνικά συστήματα. Ένας σεισμός συγκεκριμένου μεγέθους δεν έχει τα ίδια αποτελέσματα αν συμβεί σε μια απομακρυσμένη περιοχή και αν συμβεί κοντά σε μια πυκνοκατοικημένη μεγαλούπολη. Κομβικό ρόλο εδώ έχει η επικοινωνία των επιστημονικών αποτελεσμάτων στην κοινωνία, αλλά και η συμμετοχή της δεύτερης στον καθορισμό της διακινδύνευσης. Οι επιλογές που γίνονται για τον ορισμό της διακινδύνευσης δεν μπορούν να γίνουν μόνο με βάση τεχνικά εργαλεία και αντίστοιχους συλλογισμούς.

Για παράδειγμα, στην PSHA υπολογίζεται ο μεγαλύτερος πιθανός σεισμός: αυτό σημαίνει ότι σε μια κατανομή πιθανοτήτων αφήνονται εκτός υπολογισμού τα γεγονότα που βρίσκονται στις άκρες αυτής της κατανομής, και είναι τα λιγότερα πιθανά. Ένας τέτοιος υπολογισμός, δηλαδή, αφήνει εκτός τα μεγαλύτερα γεγονότα που όμως έχουν μικρή πιθανότητα να συμβούν. Μια τέτοια προσέγγιση έχει ως αποτέλεσμα οι κοινωνίες να προετοιμάζονται και οι υποδομές να κατασκευάζονται για να αντέξουν στα πιο πιθανά συμβάντα και όχι στα συμβάντα τα οποία μπορεί να είναι τα πιο καταστροφικά αλλά έχουν μικρές πιθανότητες να συμβούν. Αυτή η επιλογή έχει ως στόχο την εξοικονόμηση πόρων κατά την κατασκευή και λειτουργία των υποδομών. Υπάρχουν όμως φορές που η επιλογή αυτή καταλήγει σε μεγάλες καταστροφές που μπορεί να καθορίσουν το μέλλον μιας περιοχής. Αυτό συνέβη στο σεισμό της Φουκουσίμα που ήταν ένα γεγονός πολύ μεγάλο και με μικρές πιθανότητες να συμβεί σε αυτή την περιοχή της Ιαπωνίας. Το συμπέρασμα αυτό προέκυπτε από τους υπολογισμούς της PSHA για τη συγκεκριμένη περιοχή. Οι υπολογισμοί αυτοί καθοδήγησαν τους μηχανικούς στο να κατασκευάσουν υποδομές που θα άντεχαν σεισμό μεγέθους 8,5 βαθμών και τσουνάμι ύψους 5,2 μέτρων. Ωστόσο, ο σεισμός της 11ης Μαρτίου 2011 είχε μέγεθος 9 βαθμών

και προκάλεσε τσουνάμι ύψους περίπου 40 μέτρων. Η πιθανοκρατική εκτίμηση του κινδύνου σε αυτή την περίπτωση είχε ως αποτέλεσμα την υποεκτίμηση του κινδύνου. Αυτό που θέλουμε να αναδείξουμε σε αυτό το σημείο είναι ότι το ποια γεγονότα τροφοδοτούν τα στατιστικά εργαλεία που χρησιμοποιούμε για να υπολογίσουμε τη σεισμική διακινδύνευση είναι μια επιλογή τόσο τεχνική όσο και πολιτική.

Για να αποσαφηνιστεί αυτό το σημείο θα χρησιμοποιήσουμε την έννοια της αρχής της προφύλαξης (precautionary principle). Παρότι δεν υπάρχει κάποιος σαφής ορισμός της, μπορούμε να πούμε ότι η αρχή της προφύλαξης χρησιμοποιείται για τη χάραξη πολιτικής σε περιπτώσεις όπου η επιστημονική αβεβαιότητα είναι μεγάλη ενώ ο κίνδυνος που μπορεί να δημιουργηθεί από μια λανθασμένη απόφαση είναι πολύ σημαντικός. Βασικό σημείο της αρχής της προφύλαξης είναι ότι όταν η γνώση που έχουμε στη διάθεσή μας δεν είναι σε θέση να υποστηρίξει τη λήψη πολιτικών αποφάσεων με μεγάλο βαθμό βεβαιότητας, τότε η χάραξη πολιτικής θα πρέπει να καθοδηγείται από το πνεύμα ελαχιστοποίησης των κινδύνων, μεροληπτώντας υπέρ της ασφάλειας των κοινωνιών, ακόμα και αν αυτό σημαίνει σε κάποιες περιπτώσεις αύξηση του οικονομικού κόστους ή καθυστερημένη είσοδο τεχνολογικών καινοτομιών στην κοινωνία και στην αγορά. Αυτός είναι και ο λόγος, ή ένας από τους λόγους, που η αρχή της προφύλαξης δέχεται σημαντική κριτική, καθώς υπάρχουν ισχυρές φωνές που υποστηρίζουν ότι σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργεί περισσότερα προβλήματα από αυτά που λύνει.

Πώς θα μπορούσε όμως να χρησιμοποιηθεί η αρχή της προφύλαξης στην περίπτωση της πρόβλεψης σεισμών; Υπάρχουν επιστήμονες (βλ. Oreskes 2015) που υποστηρίζουν ότι για την αντισεισμική θωράκιση δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η PSHA αλλά η ντετερμινιστική εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας (Deterministic Seismic Hazard Assessment: DSHA). Στον πυρήνα αυτής της προσέγγισης βρίσκεται η θέση ότι οι κοινωνίες θα πρέπει να προετοιμάζονται όχι απλώς για τον πιο πιθανό μεγάλο σεισμό που μπορεί να συμβεί σε μια περιοχή αλλά για τον μεγαλύτερο δυνατό σεισμό που μπορεί να συμβεί με βάση τις γνώσεις που έχουμε στη διάθεσή μας, ακόμα και αν αυτό το ενδεχόμενο έχει μικρές πιθανότητες. Σε αυτή την περίπτωση, οι πόροι που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των υποδομών αυξάνονται σημαντικά, καθώς αυτές θα πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να αντέχουν σε μεγαλύτερες έως και πολύ μεγαλύτερες δονήσεις από ότι προβλέπει η PSHA. Η επιλογή της DSHA μπορεί να είναι πιο ασφαλής αλλά σίγουρα έχει πολύ μεγάλο κόστος, κάτι που για πολλούς επιστήμονες και πολιτικούς την καθιστά μη ρεαλιστική.

Στο πλαίσιο του παρόντος άρθρου δεν έχουμε σκοπό να προτείνουμε ποια από τις δύο προσεγγίσεις είναι καλύτερη αλλά να δείξουμε ότι οι επιλογές σχετικά με την πρόβλεψη των σεισμών δεν είναι δυνατό να γίνουν αποκλειστικά στο τεχνικό επίπεδο. Υπάρχουν απαντήσεις που πρέπει να δοθούν και στο πολιτικό/κοινωνικό επίπεδο, ειδικά σε μια

σεισμογενή χώρα όπως η Ελλάδα. Το ποιοι είναι οι ειδικοί και ποιοι θα μπορούσαν να συμβάλουν στη διατύπωση των ερωτημάτων που θα απασχολούσαν μια πιο υβριδική επιστήμη, που θα είχε ως σκοπό την καλύτερη λήψη αποφάσεων, είναι ανοικτό ζήτημα. Σε αυτή την κατεύθυνση θα μπορούσαν να βοηθήσουν επιστήμονες από τις κοινωνικές και ανθρωπιστικές επιστήμες με γνώση του τρόπου λειτουργίας της επιστήμης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πρόβλεψη των σεισμών αποτελεί ένα πεδίο διαμάχης για τους επιστήμονες, καθώς δεν υπάρχει συναίνεση σε κανένα από τα βασικά ερωτήματα που υπάρχουν στον κλάδο. Οι επιστήμονες διαφωνούν ως προς το πώς ορίζεται η πρόβλεψη των σεισμών, ποια είναι τα κριτήρια, και η μεθοδολογία ελέγχου της επιτυχίας μιας πρόβλεψης, ποιες είναι οι ερευνητικές στρατηγικές για την πρόβλεψη ενός σεισμού, κ.α. Πέρα από όλα αυτά όμως, η πρόβλεψη των σεισμών και η έλλειψη κοινώς αποδεκτών απαντήσεων από την επιστημονική κοινότητα στα προβλήματα που ανακύπτουν, φαίνεται να θέτει θέματα υπαρξιακής φύσης στη σεισμολογία. Τι σημαίνει για μια φυσική επιστήμη να μην έχει τη δυνατότητα πρόβλεψης του φυσικού φαινομένου το οποίο μελετά; Ίσως σε αυτό το ερώτημα οφείλεται η χαλάρωση του ορισμού της πρόβλεψης, περιλαμβάνοντας σε αυτήν από τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη έως την πιθανοκρατική εκτίμηση σεισμικού κινδύνου.

Η Oreskes (2004) έχει διατυπώσει την άποψη ότι ένας λόγος για να μελετάμε τις επιστημονικές διαμάχες είναι για να κατανοήσουμε με ποιο τρόπο μπορεί η επιστήμη να συνδράμει τη δημόσια πολιτική. Στην περίπτωση της πρόβλεψης σεισμών υπάρχει πολύ έντονα αυτή η διάσταση, καθώς η συγκεκριμένη επιστημονική περιοχή σχετίζεται άμεσα με τη λήψη αποφάσεων για την προστασία των σύγχρονων κοινωνιών. Τα εργαλεία των Σπουδών Επιστήμης και Τεχνολογίας μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση των θεμάτων επιστημολογικής φύσης που υπάρχουν στη σύγχρονη σεισμολογία, αλλά και να βοηθήσουν τους επιστήμονες και τους δημόσιους αξιωματούχους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες που υπάρχουν στην επιστημονική γνώση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] W. E. BIJKER, R. BAL & R. HENDRIKS: *The Paradox of Scientific Authority. The Role of Scientific Advice in Democracies*. Cambridge/London: MIT Press, 2009.
- [2] M. CARRIER: «Knowledge and Control: On the Bearing of Epistemic Values in Applied Science». Στο: P. Machamer & G. Wolters (επιμ.), *Science, Values, and Objectivity*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2004, 274–293.
- [3] M. CARRIER & A. NORDMANN (επιμ.): *Science in the Context of Application*. Dordrecht/Heidelberg/London/New York: Springer, 2011.
- [4] D. COEN: *The Earthquake Observers: Disaster Science from Lisbon to Richter*. Chicago: University of Chicago Press, 2013.

- [5] G. CLANCEY: *Earthquake Nation: The Cultural Politics of Japanese Seismicity, 1868-1930*. Berkeley/Los Angeles/London: University of California Press, 2006.
- [6] CLANCEY: «Japanese Seismicity and the Limits of Prediction». *The Journal of Asian Studies* 71 (2012), 333–344.
- [7] H. COLLINS & R. EVANS: *Rethinking Expertise*. Chicago: The University of Chicago Press, 2007.
- [8] H. COLLINS, M. WEINEL & R. EVANS: «The politics and policy of the Third Wave: new technologies and society». *Critical Policy Studies* 4 (2010), 185–201.
- [9] A. FRANKEL: «Comment on “Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it” by S. Stein, R. Geller, and M. Liu», *Tectonophysics* 592 (2013), 200–206.
- [10] P. GALISON: *How experiments end*. Chicago: The University of Chicago Press, 1987.
- [11] R. GELLER: «Earthquake prediction: is this debate necessary?». *Nature*, <http://www.nature.com/nature/debates/earthquake> (διαδίκτυακό debate), 1999α.
- [12] R. GELLER: «Earthquake Prediction: What should we be debating?». *Nature*, <http://www.nature.com/nature/debates/earthquake> (διαδίκτυακό debate), 1999β.
- [13] R. GELLER: «Without progress no funding». *Nature*, <http://www.nature.com/nature/debates/earthquake> (διαδίκτυακό debate), 1999γ.
- [14] R. GELLER: «Shake-up time for Japanese seismology». *Nature* 472 (2011), 407–409.
- [15] R. GELLER F. MULARGIA & P. STARK: «Why We Need a New Paradigm of Earthquake Occurrence». Στο: G. Morra, D. A. Yuen, S. D. King, S.-M. Lee & S. Stein (επιμ.), *Subduction Dynamics: From Mantle Flow to Mega Disasters*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016.
- [16] T. C. HANKS, G. C. BEROZA & S. TODA: «Have Recent Earthquakes Exposed Flaws in or Misunderstandings of Probabilistic Seismic Hazard Analysis?». *Seismological Research Letters* 83 (2012), 759–764.
- [17] S. HOUGH: *Predicting The Unpredictable: The Tumultuous Science of Earthquake Prediction*. Princeton, Oxford: Princeton University Press, 2010.
- [18] A. IRWIN: *Citizen Science: A Study of People, Expertise and Sustainable Development*. London: Routledge, 1995.
- [19] D. D. JACKSON: «The status of earthquake prediction». *Nature*, <http://www.nature.com/nature/debates/earthquake> (διαδίκτυακό debate), 1999.
- [20] S. JASANOFF: *The Fifth Branch: Science Advisers as Policymakers*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990.
- [21] S. JASANOFF: «Breaking the Waves in Science Studies: Comment on H. M. Collins and Robert Evans, ‘The Third Wave of Science Studies’». *Social Studies of Science* 33 (2003), 389–400.
- [22] T. H. JORDAN: «Is the study of earthquakes a basic science?». *Seismological Research Letters* 68 (2) (1997), 259–261.
- [23] Y. KAGAN: *Earthquakes: Models, Statistics, Testable Forecasts*. New York: Wiley, 2014.
- [24] L. KNOPOFF: «Earthquake Prediction: The Scientific Challenge». *Proceedings of the National Academy of Science* 93 (1996), 3719–3720.
- [25] T. S. KUHN: *The Structure of Scientific Revolutions*, 4th edition. Chicago: The University of Chicago Press, 2012.
- [26] R. LACASSIN & S. LAVELLE: «The crisis of a paradigm. A methodological interpretation of Tohoku and Fukushima catastrophe», *Earth-Science Reviews* 155 (2016), 49–59.
- [27] I. MAIN: «Is the reliable prediction of individual earthquakes a realistic scientific goal?». *Nature*, <http://www.nature.com/nature/debates/earthquake> (διαδίκτυακό debate), 1999.
- [28] NATURE: <http://www.nature.com/nature/debates/earthquake> (διαδίκτυακό debate), 1999.
- [29] N. ORESKES: «Science and public policy: What’s proof got to do with it?», *Environmental Science & Policy* 7 (2004), 369–383.

- [30] N. ORESKES: «How Earth Science Has Become a Social Science», *Historical Social Research / Historische Sozialforschung* 40 (2) (2015), 246–270.
- [31] S. RAMAN: «Science, uncertainty and the normative question of epistemic governance in policymaking». Στο: E. Cloatre & M. Pickersgill (επιμ.), *Knowledge, technology, and law*, London: Routledge, 2015, 17–32.
- [32] T. SAGIYA, H. KANAMORI, Y. YAGI, M. YAMADA & J. MORI: «Rebuilding seismology». *Nature* 473 (2011), 146–148.
- [33] D. SAREWITZ: «How science makes environmental controversies worse». *Environmental Science & Policy* 7 (2004), 385–403.
- [34] C. SHOLZ: «Whatever happened to earthquake prediction?». *Geotimes* 42 (3) (1997), 16–19.
- [35] N. STEHR & R. GRUNDMANN: *Experts: The Knowledge and Power of Expertise*. London: Routledge, 2011.
- [36] S. STEIN, R. GELLER & M. LIU: «Bad Assumptions or Bad Luck: Why Earthquake Hazard Maps Need Objective Testing». *Seismological Research Letters* 82 (2011), 623–636.
- [37] S. STEIN, R. GELLER & M. LIU: «Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it». *Tectonophysics* 562-563 (2012), 1–25.
- [38] S. UYEDA: «On Earthquake Prediction in Japan». *Proceedings of the Japan Academy B* 89 (2013), 391–400.
- [39] A. WEINBERG: «Science and Trans-Science». *Minerva* 10 (1972), 209–222.
- [40] B. WYNNE: «Uncertainty and environmental learning: reconceiving science and policy in the preventive paradigm». *Global Environmental Change* 2 (1992), 111–127.
- [41] B. WYNNE: «When doubt becomes a weapon». *Nature* 466 (2010), 441–442.
- [42] M. WYSS: «Not yet, but eventually». *Nature*, <http://www.nature.com/nature/debates/earthquake> (διαδίκτυακό debate), 1999α.
- [43] M. WYSS: «Without funding no progress». *Nature*, <http://www.nature.com/nature/debates/earthquake> (διαδίκτυακό debate), 1999β.
- [44] M. WYSS: «More agreement than division», *Nature*, <http://www.nature.com/nature/debates/earthquake> (διαδίκτυακό debate), 1999γ.
- [45] M. WYSS: «Do Probabilistic Seismic Hazard Maps Address the Need of the Population?». Στο: M. Wyss & S. Peppoloni (επιμ.), *Geoethics: Ethical Challenges and Case Studies in Earth Sciences*. Amsterdam: Elsevier, 2015, 239–249.

ΔΙΕΡΕΥΝΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

ΓΡΗΓΟΡΗΣ ΠΑΝΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ. Η πρόβλεψη αποτελεί διαχρονικά θεμέλιο της Φυσικής και αντικείμενο φιλοσοφικής συζήτησης. Ελάχιστες όμως μελέτες έχουν αναδείξει τον δυναμικό της ρόλο στην επιστημονική πρακτική και πώς αυτός μεταβάλλεται ιστορικά. Το άρθρο αποσκοπεί στην ιστορικοποίηση της μεταβαλλόμενης σημασίας της πρόβλεψης στη Φυσική Υψηλών Ενεργειών (ΦΥΕ), σε συνάρτηση με τη σχέση θεωρίας, πειραμάτων και επιστημονικών οργάνων. Θα επικεντρωθούμε σε τρία διαφορετικά επεισόδια από την ιστορία της ΦΥΕ: την ανακάλυψη των ασθενών ουδέτερων ρευμάτων το 1973, σε μια εποχή που το Καθιερωμένο Πρότυπο (ΚΠ) δεν είχε ακόμη αποκτήσει ευρεία αποδοχή εντός της πειραματικής κοινότητας· την ανακάλυψη των μποζονίων W και Z το 1983, όταν το ΚΠ είχε παγιωθεί· και τον σχεδιασμό του LHC κατά τις δεκαετίες 1980–1990, που ακολούθησε μια σχετικά αυτόνομη πορεία από τις θεωρητικές προβλέψεις. Μέσα από αυτά τα επεισόδια, διερευνούμε πώς η πρόβλεψη συνδέεται με την ανακάλυψη, την υλικοτεχνική ανάπτυξη της ΦΥΕ και τη διαμόρφωση της επιστημονικής πολιτικής οργανισμών όπως το CERN.

ABSTRACT. Prediction has long been central to physics and a subject of philosophical analysis. However, few studies have explored its evolving role in scientific practice. This paper aims to historicize how the epistemic status and function of prediction have shifted in High Energy Physics (HEP), shaped by the interplay of theory, experimentation, and instrumentation. We examine three key cases: the 1973 discovery of weak neutral currents, before the Standard Model (SM) gained broad acceptance within the experimental community; the 1983 discovery of W and Z bosons, when the SM had become dominant; and the LHC's design during the 1980s–1990s, which followed a relatively theory-independent path. These episodes help us understand the role of prediction in discovery, infrastructure development, and science policy in Big Science institutions like CERN.

* Ο Γ. ΠΑΝΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ είναι Μεταδιδακτορικός Ερευνητής στο Institut d'Història de la Ciència (Ινστιτούτο Ιστορίας της Επιστήμης) στο Universitat Autònoma de Barcelona (Αυτόνομο Πανεπιστήμιο της Βαρκελώνης). Ο συγγραφέας θα ήθελε να ευχαριστήσει την ερευνητική ομάδα του PYTHIA, τον Αριστοτέλη Τύμπα, τον Στάθη Αραποστάθη, τον Ηρακλή Κατσαλούδη, τον Στέλιο Καμπουρίδη, τη Βασιλική Χριστοπούλου και κυρίως τον Επιστημονικό Υπεύθυνο του προγράμματος, Θεόδωρο Αραμπατζή, για τη συνεργασία, τα πολύτιμα σχόλιά τους και τη συνολική τους υποστήριξη μέσα στα χρόνια. Είναι επίσης ευγνώμων στον Κώστα Γαβρόγλου για την καθοδήγησή του και τις γόνιμες συζητήσεις που συνέβαλαν στη διαμόρφωση της προσέγγισής του. Η ερευνητική αυτή εργασία υποστηρίχθηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ) στο πλαίσιο της Δράσης «1η Προκήρυξη Ερευνητικών Έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση των Μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας» (Αριθμός Έργου: 875).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εάν κάποιος επιχειρούσε να συγκεντρώσει τις έννοιες που θεμελιώνουν την σύγχρονη επιστημονική μέθοδο, η έννοια της πρόβλεψης θα κατείχε σίγουρα μια αδιαφιλονίκητη θέση. Δεν προκαλεί επομένως εντύπωση το γεγονός ότι αρκετές φιλοσοφικές μελέτες έχουν επιχειρήσει να ρίξουν φως στην ιδιαίτερη αυτή έννοια (Carrier 2014, Douglas and Magnus 2013, Gonzalez 2013). Παρότι όμως είναι πλέον κοινός τόπος ότι η έννοια της πρόβλεψης γνωρίζει σημαντικές παραλλαγές από επιστημονικό σε επιστημονικό κλάδο (Northcott 2020), λίγες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στο πώς οι επιστήμονες χρησιμοποιούν την έννοια στην καθημερινή πρακτική τους (Brush 2015), αλλά και πώς η χρήση αυτή εξαρτάται από το εκάστοτε ιστορικό πλαίσιο.

Στην παρούσα εργασία θα επιχειρήσουμε μια τέτοια ενδελεχή μελέτη της πρόβλεψης σε ένα από τα σημαντικότερα επιστημονικά πεδία του 20ου αιώνα, τη Φυσική Υψηλών Ενεργειών (ΦΥΕ). Πιο συγκεκριμένα, στόχος της είναι να μην αντιμετωπίσει την έννοια της πρόβλεψης μέσα από μια αφηρημένη και «αφ' υψηλού» οπτική, αλλά να την κατανοήσει μέσα από τους τρόπους που οι ίδιοι οι επιστήμονες εκλαμβάνουν και χρησιμοποιούν την έννοια. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, μια τέτοια οπτική θα φωτίσει ιδιαίτερες πτυχές της πρόβλεψης και θα αναδείξει ότι τόσο ο ρόλος της, όσο και η βαρύτητα που έχει στην πειραματική διαδικασία υπόκεινται σε σημαντικές αλλαγές μέσα στον χρόνο. Παρά το γεγονός όμως ότι η έννοια της πρόβλεψης αλλάζει και επανανοηματοδοτείται, είναι σημαντικό για την ιστορική ανάλυση να κατηγοριοποιήσουμε τα κυριότερα κριτήρια, βάσει των οποίων μεταβλήθηκε ιστορικά η στάση της επιστημονικής κοινότητας των ΦΥΕ απέναντί της.

Θα επικεντρωθούμε σε τρεις διαφορετικές περιόδους της ιστορίας των ΦΥΕ, όπου η ισορροπία θεωρίας, πειράματος και επιστημονικών οργάνων άλλαξε ραγδαία. Η πρώτη αφορά την πολύ σημαντική, αλλά και συχνά παραγνωρισμένη, ανακάλυψη του ουδέτερου ασθενούς ρεύματος, το 1973, που άνοιξε το δρόμο για την εγκαθίδρυση του Καθιερωμένου Προτύπου (ΚΠ) ως βασικού θεωρητικού μοντέλου των ΦΥΕ. Η δεύτερη περίοδος έχει ως επίκεντρο της την ανακάλυψη των μποζονίων W και Z , το 1983, κάτω από την πίεση των θεωρητικών προβλέψεων του ΚΠ. Τέλος, η τρίτη περίοδος εστιάζει στον σχεδιασμό του μεγαλύτερου επιταχυντή που φτιάχτηκε ποτέ, του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (Large Hadron Collider), γνωστού και ως LHC, και στον ρόλο που έπαιξαν οι θεωρητικές προβλέψεις.

2. ΕΞΗΜΕΡΩΝΟΝΤΑΣ ΤΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ: Η ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΩΝ ΟΥΔΕΤΕΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Προς το τέλος της δεκαετίας του 1960, το τοπίο στη σωματιδιακή φυσική φάνταζε εξαιρετικά συγκεχυμένο. Παρότι εκατοντάδες σωματίδια

είχαν ανακαλυφθεί, οι γνώσεις γύρω από αυτά ήταν νεφελώδεις και θεωρούνταν, λανθασμένα όπως αποδείχθηκε αργότερα, ως στοιχειώδη. Η αποτυχία μιας συστηματικής ταξινόμησης τους οδηγούσε πολλούς φυσικούς να παρομοιάζουν την κατάσταση με έναν ζωολογικό κήπο σωματιδίων («particle zoo»). Μία φιλόδοξη προσπάθεια για να μπει μία τάξη στο πεδίο επιχειρήθηκε από τους Steven Weinberg και Abdus Salam το 1967-8. Πιο συγκεκριμένα, οι Weinberg και Salam, ενσωματώνοντας στη θεωρία του Sheldon Glashow για την ηλεκτρασθενή αλληλεπίδραση, τον μηχανισμό του Higgs, άνοιξαν τον δρόμο στο Καθιερωμένο Πρότυπο, που θα πρωταγωνιστούσε τις επόμενες δεκαετίες.¹ Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι η καθιέρωση αυτού του θεωρητικού μοντέλου δεν συνέβη ούτε απρόσκοπτα, ούτε εν μία νυκτί. Μέχρι και το 1972, ελάχιστοι θεωρητικοί και πειραματικοί φυσικοί του είχαν δώσει την πρόπουσα προσοχή, και έτσι παρέμενε απλώς μια αφηρημένη θεωρητική πρόταση ανάμεσα σε πολλές άλλες.

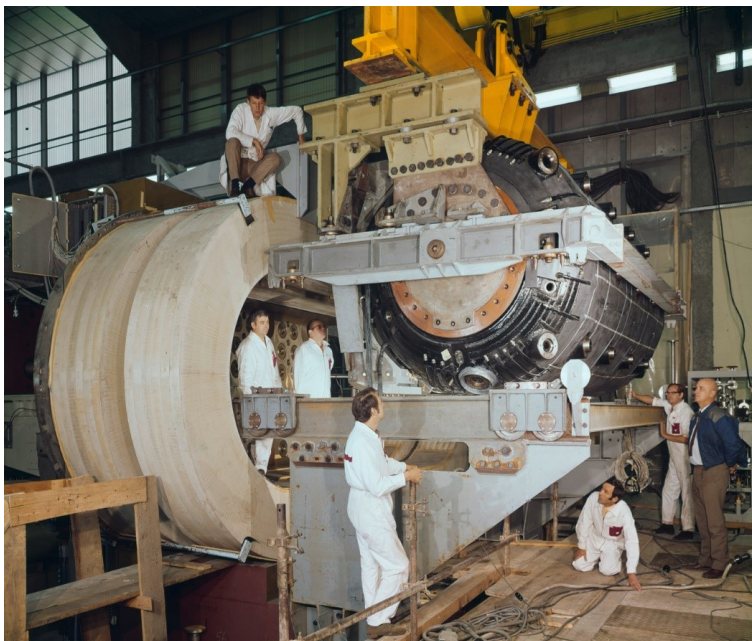
Αυτό που αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα για την ευρεία αποδοχή της θεωρίας ήταν η ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων. Ο τρόπος, όμως, που συχνά παρουσιάζεται η συγκεκριμένη ανακάλυψη, σαν ένα στιγμιαίο «εύρηκα», αποσιωπώντας τα ενδιάμεσα στάδια και τις αποτυχίες ως την επίτευξη της, είναι αναχρονιστικός και συσκοτίζει τον δύσβατο δρόμο που έπρεπε να διανύσουν οι φυσικοί μέχρι να επέλθει η κρίσιμη ισορροπία μεταξύ θεωρίας, πειραματισμού και επιστημονικών οργάνων. Στην ενότητα αυτή, στόχος μας είναι να επιχειρήσουμε τη μελέτη ακριβώς αυτού του πολύπλοκου δρόμου, επιδιώκοντας να φωτίσουμε πτυχές της σχέσης μεταξύ των θεωρητικών προβλέψεων και ανακάλυψης.

Πρωταγωνιστές της πρώτης ιστορίας μας θα είναι δύο πειράματα νετρίνων: το HWPF στο Fermilab στις ΗΠΑ,² και το Ευρωπαϊκό Gargamelle³ στο CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire - Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Πυρηνικής Έρευνας). Και τα δύο αυτά πειράματα άρχισαν να σχεδιάζονται στις αρχές τις δεκαετίας του 1960, αρκετό καιρό πριν την εγκαθίδρυση του ΚΠ ως του κύριου θεωρητικού πλαισίου μέσα στο οποίο θα εξελισσόταν η πειραματική ΦΥΕ. Παρά λοιπόν το γεγονός ότι έμειναν γνωστά για τη συμβολή τους στην ανακάλυψη των ουδέτερων

¹ Το συγκεκριμένο μοντέλο περιγράφει την ηλεκτρομαγνητική και την ασθενή αλληλεπίδραση ως δύο διαφορετικές πτυχές της ηλεκτροασθενούς αλληλεπίδρασης.

² Το όνομα της συνεργασίας HWPF προερχόταν από τα αρχικά των πανεπιστημίων και των εργαστηρίων που συμμετείχαν σε αυτό: Harvard University, University of Wisconsin, University of Pennsylvania και Fermilab.

³ Ο Gargamelle ήταν ένας καινοτόμος ανιχνευτής θαλάμου φουσαλίδων που λειτούργησε στο CERN μεταξύ 1970 και 1979. Σχεδιάστηκε για την ανίχνευση νετρίνων και αντινετρίνων, τα οποία θα παράγονταν από τον επιταχυντή σωματιδίων Proton Synchrotron (PS). Ήταν ένα όργανο τεραστίων διαστάσεων για τα δεδομένα της εποχής, μιας και ζύγιζε περίπου 1000 τόνους, ενώ έφερε 12 κυβικά μέτρα υγρό φρέον. Το χαρακτηριστικό όνομα του προερχόταν από το έργο του Φρανσουά Ραμπελαιί *Η Ζωή του Γαργαντούα και του Πανταγκρουέλ*, όπου η γιγαντιαία Gargamelle ήταν η μητέρα του Γαργαντούα.



ΕΙΚΟΝΑ 1. Ο Gargamelle εγκαθίσταται στον επιταχυντή σωματιδίων Proton Synchrotron (PS), Σεπτέμβριος 1970, CERN PhotoLab, (Original ref.:1970-01_X_CERN_14229_0032).

ρευμάτων, ο έλεγχος της συγκεκριμένης θεωρίας αρχικά δεν βρισκόταν στις πρώτες προτεραιότητες τους. Αντίθετα, κατασκευάστηκαν με διαφορετικές πειραματικές στοχεύσεις, όπως η ανακάλυψη του διανυσματικού μποζονίου W ή η διερεύνηση του μοντέλου των παρτονίων.⁴ Όπως θυμάται ο Dieter Haidt, ο οποίος αποτελούσε ενεργό μέλος της ερευνητικής ομάδας Gargamelle: «Κατά τη διάρκεια της διήμερης συνάντησης τον Νοέμβριο του 1968 στο Μιλάνο, όπου η συνεργασία Gargamelle συζήτησε διεξοδικά το μελλοντικό της ερευνητικό πρόγραμμα, οι λέξεις "ουδέτερο ρεύμα" ούτε καν αναφέρθηκαν.» (Haidt 2004, 21)

Το 1971 άρχισαν να αναλύονται οι πρώτες φωτογραφίες του θαλάμου φυσαλίδων. Σε αυτές παρατηρήθηκαν κάποια ασυνήθιστα γεγονότα (events), τα οποία παρείχαν τις πρώτες ενδείξεις των ουδέτερων ρευμάτων. Καθότι όμως ο έλεγχος της θεωρίας που τα προέβλεπε δεν βρισκόταν ανάμεσα στις προτεραιότητες των πειραματικών φυσικών, κανείς δεν έδωσε ιδιαίτερη σημασία στις συγκεκριμένες ενδείξεις. Το περιστατικό θα το περιγράψει, λίγα χρόνια αργότερα, ένας από τους πρωταγωνιστές του πειράματος, ο Jean-Pierre Vialle, ως εξής: "Ένα πράγμα που είδαμε

⁴ Δείτε και Kabir 1963; Galison 1983.

αμέσως στις φωτογραφίες είναι ότι υπήρχαν γεγονότα μεγάλης ενέργειας στον θάλαμο φυσαλίδων χωρίς να υπάρχουν μίονια.⁵ Αλλά δεν θα μπορούσαμε να έχουμε ισχυριστεί ότι αυτά ήταν ουδέτερα ρεύματα.»⁶ Όπως γίνεται σαφές και από τις μαρτυρίες των άμεσα εμπλεκόμενων πειραματικών φυσικών, η απουσία μιας συγκεκριμένης θεωρίας που θα μπορούσε να ερμηνεύσει τις πειραματικές παρατηρήσεις αλλά και να τους υποδείξει συγκεκριμένα ερευνητικά μονοπάτια, ήταν καταλυτική για τη μη ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων. Άλλωστε αυτή δεν θα ήταν η πρώτη φορά που τα ουδέτερα ρεύματα θα αποτυπώνονταν σε κάποιον ανιχνευτή στο CERN. Λίγα χρόνια πριν, την περίοδο 1963-1964, τα ουδέτερα ρεύματα είχαν αποτυπωθεί και πάλι, εξαιρετικά καθαρά, σε φωτογραφίες που προέρχονταν από παλαιότερες πειραματικές διατάξεις, όπως ο θάλαμος σπινθήρων. Ωστόσο, οι πειραματικοί, χωρίς την καθοδήγηση από μία θεωρία με συγκεκριμένες σχετικές προβλέψεις, παρρημήνευσαν και γρήγορα προσπέρασαν τις φωτογραφίες από τον θάλαμο και σε εκείνη την περίπτωση. Η περιγραφή των συμβάντων από έναν από τους σημαντικότερους πειραματικούς φυσικούς της περιόδου, τον Helmut Faissner, είναι ενδεικτική:

Έχοντας δει αυτές τις φωτογραφίες ο ίδιος, και έχοντας αγνοήσει τη σημασία τους, πιστεύοντας πως είναι αστέρες νετρονίων, δεν μπορώ να κατηγορήσω για το συγκεκριμένο λάθος την ακαταλληλότητα των επιστημονικών οργάνων. Οι παλιοί θάλαμοι σπινθήρων ήταν απολύτως κατάλληλοι για την ανάλυση της αλληλεπίδρασης. Το ότι δεν πιστέψαμε αυτό που είδαμε, ήταν ένας ατυχής συνδυασμός πνευματικού «μπλοκαρίσματος», που προερχόταν από θεωρητική προκατάληψη και έλλειψη πειραματικής μεθοδικότητας. (Faissner 1979, 374)

Όπως παραδέχεται ο Faissner αλλά και άλλοι πρωταγωνιστές της περιόδου, σε πείσμα ενός τεχνολογικού ντετερμινισμού που συχνά διακατέχει την ιστορία των ΦΥΕ, η ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων δεν ήταν κατά κύριο λόγο αποτέλεσμα της τεχνολογικής καινοτομίας που έφερε ένα νέο επιστημονικό όργανο, ο θάλαμος φυσαλίδων Gargamelle, αλλά, όπως θα δούμε και αργότερα, η κρίσιμη ισορροπία και η συνέργεια μεταξύ θεωρίας, πειραματισμού και επιστημονικών οργάνων.

Στο άλλο μέτωπο τώρα, αυτό της θεωρητικής σωματιδιακής φυσικής, σημαντικές εξελίξεις άρχισαν να σημειώνονται στις αρχές της δεκαετίας του 1970, καθώς οι Gerard 't Hooft και Martinus J. G. Veltman θα αποδείκνυαν πως το ΚΠ ήταν επανακανονικοποιήσιμο. Η συγκεκριμένη εξέλιξη ήταν καταλυτική για τη σύσφιξη της σχέσης μεταξύ θεωρίας και

⁵ Η μη ανίχνευση μιονίων, που θα δικαιολογούσαν τις υψηλές ενέργειες σε αυτά τα γεγονότα, ήταν χαρακτηριστικό της μετέπειτα ανακάλυψης.

⁶ Όπως παρατίθεται στο Galison 1983, 482.

πειράματος, μιας και πλέον θα μπορούσαν να διατυπωθούν συγκεκριμένες θεωρητικές προβλέψεις που θα ελέγχονταν πειραματικά. Έτσι η θεωρία των Weinberg και Salam που βρισκόταν στο περιθώριο για περίπου τέσσερα χρόνια, θα μεταφερόταν θεαματικά στο προσκήνιο της θεωρίας των ΦΥΕ. Τους επόμενους μήνες οι θεωρητικοί φυσικοί συνέχισαν να δουλεύουν με μεγάλο ενθουσιασμό πάνω στη νέα θεωρία, προσπαθώντας να εξαγάγουν τις πρώτες συγκεκριμένες προβλέψεις. Πολύ γρήγορα σχηματίστηκε μια πολύ γόνιμη κοινότητα γύρω της, από διάσημους θεωρητικούς φυσικούς όπως ο 't Hooft, ο Abraham Pais, ο Sam Treiman, ο Emmanuel Paschos, ο Steven Weinberg και ο Lincoln Wolfenstein, και μια σειρά από επιδραστικές δημοσιεύσεις σε σχέση με την πιθανή πειραματική εφαρμογή της θεωρίας άρχισαν να κυκλοφορούν από το 1971 έως το 1973.

Οι θεωρητικοί φυσικοί άρχισαν να υποδεικνύουν συντονισμένα πως μια πειραματική ανίχνευση των ουδέτερων ρευμάτων θα ήταν καταλυτική για να ανοίξει ο δρόμος προς την εγκαθίδρυση του ΚΠ. Αυτό όμως δεν σήμαινε και την ταυτόχρονη στροφή του ενδιαφέροντος των πειραματικών φυσικών στη συγκεκριμένη πρόβλεψη και τη νέα θεωρία. Όπως θα σημείωνε ο Faissner, οι πειραματικοί φυσικοί και η ερευνητική ομάδα του Gargamelle εξακολουθούσαν να είναι επικεντρωμένοι στην εξέταση προϋπαρχουσών θεωριών, όπως το μοντέλο των πατρυνίων, και έστρεφαν την πλάτη στη διεξοδική εξέταση των ουδέτερων ρευμάτων:

Η διερεύνηση των ουδέτερων ρευμάτων ανήκε στις αγγαρείες, που κάποιος έπρεπε να αναλάβει κατά τη διάρκεια του ελεύθερου χρόνου του. Οι φήμες ότι κάποιοι θεωρητικοί πρόσμεναν με αγωνία την ύπαρξή τους, προσέθετε μόνο μια αύρα ενός πικρού σκεπτικισμού. (Faissner 1979, 372)

Η διστακτικότητα των πειραματικών να στρέφουν το ενδιαφέρον τους προς τη νέα θεωρία δεν θα πρέπει να προκαλεί εντύπωση. Οι κοινότητες τους είχαν συγκροτήσει τα πειράματα τους με βάση παλαιότερες θεωρίες, είχαν αναπτύξει συγκεκριμένη ειδημοσύνη σε σχέση με αυτά, ενώ και τα επιστημονικά όργανα τους είχαν ρυθμιστεί και προσανατολιστεί στη διερεύνηση προγενέστερων θεωρητικών υποθέσεων. Ένας ακόμη σημαντικός λόγος της διστακτικότητας των πειραματικών να αλλάξουν συγκροτητικά τον προσανατολισμό των πειραμάτων τους προς την κρίσιμη θεωρητική πρόβλεψη των ουδέτερων ρευμάτων ήταν ότι πίστευαν πως θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο να εξαχθούν πληροφορίες για τα ρεύματα από το πολύπλοκο υπόβαθρο (background) των αντίστοιχων πειραμάτων, από τη στιγμή μάλιστα που η κατανόηση του ήταν ελλιπής.⁷

Οι θεωρητικοί φυσικοί έπρεπε να πείσουν τους πειραματικούς για τη σημασία που θα είχε για την επόμενη μέρα της ΦΥΕ η ανακάλυψη των

⁷ Δείτε και Galison 1983, 483-484.

ουδέτερων ρευμάτων και να στρέψουν την ερευνητική ατζέντα του κλάδου τους προς το πολλά υποσχόμενο ΚΠ. Με άλλα λόγια, για να βρεθεί αυτός ο κοινός βηματισμός, θα έπρεπε πρώτα να δομηθεί, αυτό που θα ονόμαζε ο Galison, μια εύρωστη «ζώνη συναλλαγής»⁸ μεταξύ θεωρητικής και πειραματικής κοινότητας. Αυτό επετεύχθη μέσα από διαδοχικές συναντήσεις ανάμεσα σε θεωρητικούς και πειραματικούς φυσικούς, όπου επιχειρήθηκε να κατασκευαστεί μια νέα κοινή υβριδική γλώσσα γύρω από το ΚΠ, που θα γινόταν κατανοητή τόσο στο θεωρητικό όσο και στο πειραματικό «στρατόπεδο». Επιπλέον, δομήθηκαν κοινές ερευνητικές ατζέντες πάνω στη βάση των συγκεκριμένων προβλέψεων, που θα αποτελούσαν ένα εξαιρετικά εύφορο έδαφος για την ανάπτυξη και των δύο κοινοτήτων στις επόμενες δεκαετίες.

Μια τέτοια συνάντηση έλαβε χώρα τον Νοέμβριο του 1971 στο CERN, όταν οι διάσημοι θεωρητικοί φυσικοί Bruno Zumino, Jacques Prentki και Mary K. Gaillard επισκέφθηκαν την ομάδα του Gargarmelle. Στη συγκεκριμένη συνάντηση εξηγήθηκαν αναλυτικά στους φυσικούς του CERN οι λόγοι της αναζωπύρωσης του ενδιαφέροντος για τη θεωρία των Weinberg και Salam μετά την απόδειξη της επανακανονικοποίησης της, ενώ συζητήσαν από κοινού ποια θα ήταν η καλύτερη πειραματική στρατηγική για τον έλεγχο της ύπαρξης τους (Haidt 2015, 173; Galison 1983, 483-484). Στην αντίπερα όχθη του Ατλαντικού, τη συγκεκριμένη αποστολή την είχε αναλάβει ο ίδιος ο Weinberg που εξηγούσε αυτοπροσώπως στους πειραματικούς στο Fermilab τη σημασία που θα είχε η ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων για το μέλλον ολόκληρου του κλάδου.

Η πρόβλεψη, λοιπόν, που αποτελεί την κρίσιμη γέφυρα ανάμεσα σε θεωρία και πείραμα, δεν χτίζεται αυτόματα και απρόσκοπτα, αλλά απαιτεί μεθοδικές κινήσεις, αμοιβαία «μεταφρασιμότητα» εννοιών και δόμηση εμπιστοσύνης ανάμεσα στις «ζώνες συναλλαγής» διαφορετικών επιστημονικών κοινοτήτων. Επιπλέον, οι δομικοί λίθοι αυτής της γέφυρας δεν είναι μόνο εξισώσεις και αφηρημένοι θεωρητικοί ισχυρισμοί, αλλά και διαπροσωπικές σχέσεις, διαδικασίες πειθούς, υποσχέσεις για νέες προοπτικές, καινούριες πρακτικές και επιστημονικές μέθοδοι.

Μέχρι τον Απρίλιο του 1972, η ανίχνευση των ουδέτερων ρευμάτων είχε πλέον αναχθεί στους τρεις κυριότερους στόχους του Gargarmelle, αν και ακόμα οι πειραματικοί ήταν χωρισμένοι σε δύο στρατόπεδα. Από τη μία, βρίσκονταν αυτοί που πίστευαν ότι το πείραμα θα αποδείκνυε την

⁸ Ο Galison χρησιμοποιεί τον ανθρωπολογικό όρο "ζώνη συναλλαγής" για να περιγράψει την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών υπο-ομάδων στη σωματιδιακή φυσική: των κατασκευαστών οργάνων, των πειραματιστών και των θεωρητικών φυσικών. Υποστηρίζει ότι αυτές οι υπο-ομάδες, με κάθε μία να έχει το δικό της ξεχωριστό υπόβαθρο, εκπαίδευση, γλώσσα και στόχους, μπορούν υπό συνθήκες να αναπτύξουν υβριδικές γλώσσες επικοινωνίας και να θεσπίσουν κοινούς στόχους και κοινές ερευνητικές ατζέντες. Αυτή η διαδικασία όμως δεν λαμβάνει χώρα ούτε αυτόματα ούτε ανεμπόδιστα, αλλά δομείται σταδιακά και στηρίζεται πάνω στην αμοιβαία ανταλλαγή και στο κοινό συμφέρον των διαφόρων υπο-ομάδων. Για περισσότερες λεπτομέρειες δείτε Galison 1997, 783, 803.



ΕΙΚΟΝΑ 2. Εξετάζοντας τα φωτογραφικά φιλμ του Gargamelle, Αύγουστος 1972, CERN PhotoLab, (Original ref.:206-8-72).

ύπαρξή τους και, από την άλλη, υπήρχαν αρκετοί που πίστευαν ότι το μοντέλο των Weinberg και Salam θα διαψευδόταν. Για αρκετούς μήνες οι πειραματικοί προσπαθούσαν ανεπιτυχώς να διαχωρίσουν τα χρήσιμα πειραματικά δεδομένα από τον θόρυβο υποβάθρου.

Καμία πρόοδος δεν είχε επιτευχθεί μέχρι τα Χριστούγεννα του 1972. Όμως τις πρώτες μέρες του 1973, έλαβε χώρα μια παρατήρηση που θα άλλαζε το ρου της ιστορίας και θα ανάγκαζε τους πειραματικούς φυσικούς στο CERN να αφοσιωθούν στο κυνήγι των ουδέτερων ρευμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η πειραματική ομάδα του Άαχεν, που αποτελούσε μέλος της ευρύτερης συνεργασίας του Gargamelle, υποστήριξε για πρώτη φορά ότι είχε στα χέρια της μια ισχυρή ένδειξη για την ύπαρξη των ουδέτερων ρευμάτων. Επρόκειτο για μια φωτογραφία του θαλάμου φυσαλίδων όπου ένα αντινεutrino, προερχόμενο από τα δεξιά της φωτογραφίας, «χτυπούσε» ένα ηλεκτρόνιο, δημιουργώντας μια χαρακτηριστική “βροχή” (shower) από ζεύγη ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων.

Αυτό που έκανε τη συγκεκριμένη φωτογραφία εξαιρετικά σημαντική ήταν ότι το παρατηρησιακό γεγονός του Aachen πληρούσε ολόκληρο το σύνολο των πολύ αυστηρών κριτηρίων που είχαν τεθεί: είχε αποτυπωθεί σε σημείο του ανιχνευτή που απέκλειε το γεγονός να επρόκειτο για φωτόνιο, είχε πολύ υψηλή ενέργεια, δεν υπήρχαν άλλα γεγονότα σε κοντινή απόσταση και είχε την κατεύθυνση της δέσμης νετρονίων. Με άλλα



ΕΙΚΟΝΑ 3. Η πρώτη παρατήρηση των ουδέτερων ρευμάτων από την ομάδα του Άαχεν, CERN Courier, 63 (4) Ιούλιος-Αύγουστος 2023, σ. 35.

λόγια, επρόκειτο για ένα «χρυσό γεγονός» («golden event»), όπως ονομάζονταν στην πειραματική ορολογία τα γεγονότα τα οποία πληρούσαν όλα τα κριτήρια που είχαν τεθεί για την επιβεβαίωση της ύπαρξης των ουδέτερων ρευμάτων.

Το γεγονός του Άαχεν ήταν εξαιρετικά επιδραστικό για την πειραματική κοινότητα του CERN. Θα πρέπει άλλωστε να συνυπολογίσουμε πως η πειραματική κουλτούρα ήταν αρκετά διαφορετική εκείνη την εποχή. Αρκετά πριν την καθιέρωση και την εκτεταμένη χρήση στατιστικών μεθόδων στον κλάδο, οι πειραματικοί που δούλευαν με φωτογραφίες ανιχνευτών, στήριζαν τις ανακαλύψεις τους σε λίγα αλλά πολύ καλά καθορισμένα γεγονότα. Μάλιστα, πολύ μεγάλες πειραματικές επιτυχίες στο παρελθόν, όπως στην περίπτωση του περίφημου Ω-, είχαν βασιστεί ακόμα και σε ένα μόνο «χρυσό γεγονός». Όπως γίνεται κατανοητό, σε αυτό το πλαίσιο το γεγονός του Άαχεν είχε πολύ μεγαλύτερη βαρύτητα.

Όπως χαρακτηριστικά θα έγραφε σχετικά ο Faissner στον επικεφαλής του Gargamelle, André Lagarrigue: «Ακόμα θυμάμαι ξεκάθαρα τη δήλωση σου δώδεκα χρόνια πριν, ότι ακόμα και ένα ευδιάκριτο ηλεκτρόνιο είναι ικανό να αποδείξει την ταυτότητα του μιονίου-νετρονίου και του ηλεκτρονίου-νετρονίου.»⁹

Αυτή τη φορά όμως, όλοι και όλες στο CERN καταλάβαιναν πως το διακύβευμα ήταν πολύ μεγαλύτερο, καθώς η συγκεκριμένη πρόβλεψη είχε ένα πολύ μεγαλύτερο ειδικό βάρος. Μια ενδεχόμενη ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων θα σήμαινε μια συνολική αλλαγή παραδείγματος για τον κλάδο των ΦΥΕ, καθώς θα έπρεπε να αλλάξει θεωρητικό και πειραματικό προσανατολισμό και να ακολουθήσει τον νέο δρόμο που χάραζε το ΚΠ. Υπό αυτό το πρίσμα, θα επρόκειτο για μια εξαιρετικά κρίσιμη ανακάλυψη, η οποία ήταν ικανή να χαρίσει στους πρωταγωνιστές της ακόμα και το πολυπόθητο βραβείο Νόμπελ Φυσικής.

Κατά συνέπεια, ο έλεγχος στον οποίο θα υποβαλλόταν το συγκεκριμένο αποτέλεσμα από την παγκόσμια κοινότητα θα ήταν εξονυχιστικός. Αυτός ήταν και ο λόγος που αποφασίστηκε να μην προχωρήσουν στην επίσημη ανακοίνωση των αποτελεσμάτων, πριν αυτά καταστούν απολύτως ακλόνητα. Πολύ σύντομα και με μεγάλη ένταση, ξεκίνησαν οι προσπάθειες των πειραματιστών του Gargamelle για να οχυρώσουν την ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων από κάθε πιθανή αμφισβήτηση. Επίκεντρο αυτών των προσπαθειών ήταν η βαθύτερη κατανόηση και ο έλεγχος του θορύβου υποβάθρου.¹⁰

Μετά από έξι μήνες εξαντλητικής διερεύνησης των ενδιαφερόντων σημμάτων σε αντιδιαστολή με τον θόρυβο, όλα τα δεδομένα φαίνονταν να είναι συμβατά με τις θεωρητικές προβλέψεις του ΚΠ.¹¹ Πέρα από το ηλεκτρόνιο της ομάδας του Άαχεν, που αφορούσε το «κανάλι σήματος» των λεπτονίων, υπήρχαν πλέον και άλλα γεγονότα, αυτή τη φορά προερχόμενα από το κανάλι των αδρονίων, που επίρρωναν την πρόβλεψη των ουδέτερων ρευμάτων. Ακόμα και τα πιο δύσπιστα μέλη της συνεργασίας φαίνονταν πλέον να έχουν πειστεί και ένα ερώτημα άρχιζε να συζητείται έντονα: Πόσα ακόμα γεγονότα θα χρειαζόντουσαν για να μπορέσει η πειραματική ομάδα του Gargamelle να ισχυριστεί δημόσια πως ο έλεγχος του θορύβου ήταν υπό τον έλεγχο της και ότι η ύπαρξη των ουδέτερων ρευμάτων ήταν γεγονός; Ο Donald Perkins, ένα διαπρεπές μέλος της πειραματικής ομάδας, θα σημειώσει μερικά χρόνια αργότερα:

Θυμάμαι ότι τότε (την άνοιξη και το καλοκαίρι του 1973), οι απόψεις σχετικά με την πειραματική διαδικασία εντός της συνεργασίας Gargamelle ήταν κάπως διχασμένες. Η

⁹ (όπως παρατίθεται στο Galison 1983, 487).

¹⁰ Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τη συγκεκριμένη διαδικασία δείτε και Haidt 2004.

¹¹ Ο Vialle θυμάται χαρακτηριστικά πως ο Lagarrigue τον επισκεπτόταν σχεδόν κάθε μέρα στο γραφείο του έχοντας στο μυαλό του μια νέα πηγή θορύβου που έπρεπε να αποκλειστεί (Galison 1983, 490).

πεποίθηση για την ύπαρξη των ουδέτερων ρευμάτων ήταν εκείνο τον καιρό ακλόνητη, αλλά η στάση απέναντι στη δημοσίευση των αποτελεσμάτων κυμαινόταν από τον άκρατο ενθουσιασμό έως την εξαιρετική επιφυλακτικότητα. Μια ψηφοφορία, που πραγματοποιήθηκε τον Μάιο του 1973, αποφάσισε οριακά να συνεχιστεί η ανάλυση προκειμένου να συλλεχθούν και άλλα δεδομένα πριν από την ανακοίνωση της ανακάλυψης. (Perkins 1997, 438)

Τελικά, ο γόρδιος δεσμός αυτής της ατέρμονης συλλογής νέων γεγονότων και ελέγχου του θορύβου θα κοβόταν από ένα γεγονός που ελάχιστα είχε να κάνει με την ίδια τη φυσική. Ο Carlo Rubbia, ένας Ιταλός φυσικός που διατηρούσε σχέσεις και με τα δύο πειράματα στις αντίπερα όχθες του Ατλαντικού, ενημέρωσε τη συνεργασία του Gargamelle ότι το πείραμα στο Fermilab ήταν και εκείνο πολύ κοντά στην ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων. Η συγκεκριμένη πληροφορία και ο έντονος συναγωνισμός ανάμεσα στα δύο πειράματα, ήταν καταλυτικοί παράγοντες για να επιταχυνθούν οι διαδικασίες δημοσίευσης των αποτελεσμάτων.

Έτσι, στις 19 Ιουλίου του 1973 ανακοινώνεται επίσημα στο CERN η ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων, ενώ λίγες μέρες αργότερα αποστέλλεται στο περιοδικό Physics Letters η επίσημη δημοσίευση (Hasert, et al. 1973). Ακολούθως, τον Αύγουστο του 1973, σε ένα συνέδριο στη Βόννη, ανακοινώνονται από κοινού, τόσο από τη συνεργασία Gargamelle όσο και από το HPWF, οι ισχυρές ενδείξεις που υπήρχαν για την επιβεβαίωση της πρόβλεψης των ουδέτερων ρευμάτων. Μάλιστα, ο θεωρητικός φυσικός Chen-Ning Yang θα αναγάγει την «ανακάλυψη» τους ως την κορυφαία στιγμή του συνεδρίου (Haidt 2004).¹²

Όμως η περιπέτεια της ανακάλυψης των ουδέτερων ρευμάτων δεν είχε ακόμα τελειώσει, καθώς οι πειραματικές ομάδες γύρω από το Fermilab αποδείχθηκαν πιο επιφυλακτικές από τους Ευρωπαίους συναδέλφους τους στο να δεχτούν μία πρόβλεψη που θα άλλαζε ριζικά το θεωρητικό και πειραματικό τοπίο του κλάδου. Λίγο καιρό μετά τη Βόννη λοιπόν, πολλά εξέχοντα μέλη της συνεργασίας HPWF, όπως ο David Cline και ο Alfred Mann, εξακολουθούσαν να διατηρούν αμφισβητήσεις σχετικά με τα ουδέτερα ρεύματα. Έτσι πείθουν ολόκληρη την ερευνητική ομάδα να κάνει σημαντικές τροποποιήσεις των επιστημονικών οργάνων και του ανιχνευτή και να προχωρήσει σε έναν νέο γύρο συλλογής σχετικών δεδομένων.

Η μη αναγνώριση των αποτελεσμάτων από το πείραμα HPWF, παρά την εξαιρετικά ενδελεχή διερεύνηση των πειραματικών αποτελεσμάτων που είχε προηγηθεί από την επιστημονική ομάδα του Gargamelle, άνοιξε για ακόμα μία φορά έναν εκτεταμένο κύκλο αμφισβήτησης στη διεθνή κοινότητα, που γρήγορα μεταφέρθηκε και στο ίδιο το CERN. Παρά το ότι τα αποτελέσματα της HPWF δεν δημοσιεύτηκαν ποτέ επίσημα, και μόνο

¹² Δείτε και Perkins 2003.

η διαρροή τους ήταν ικανή να «επιφέρει έντονη πίεση και κριτική στη συνεργασία Gargamelle από τη συντριπτική πλειοψηφία των φυσικών του CERN.» (Perkins 1997, 443)

Η διστακτικότητα του ευρωπαϊκού οργανισμού να αποδεχτεί την επιβεβαίωση της πρόβλεψης ήταν σημαντική. Είναι χαρακτηριστικό πως ο Willibald Jentschke, ο οποίος κατείχε τη θέση του Γενικού Διευθυντή του οργανισμού εκείνη την εποχή, συγκάλεσε έκτακτη σύσκεψη με τους επικεφαλής του Gargamelle, για να τους ζητήσει να προχωρήσουν σε έναν νέο κύκλο ανάλυσης των αποτελεσμάτων τους. Ο φόβος της διοίκησης, που εκφραζόταν ανοιχτά, ήταν πως το CERN θα μπορούσε ενδεχομένως να γίνει το κέντρο μιας «λανθασμένης» ανακάλυψης που θα συγκέντρωνε πάνω της, εξαιτίας και της σημασίας της, μια εξαιρετικά ευρεία αρνητική δημοσιότητα. Έτσι, το 1974, ένας νέος γύρος ακόμη πιο αυστηρής ανάλυσης εκτυλίχθηκε και στις δύο πλευρές του Ατλαντικού Ωκεανού. Ο όγκος των συλλεχθέντων δεδομένων αυξήθηκε θεαματικά, τα γεγονότα υποβλήθηκαν σε πολλαπλούς γύρους εξέτασης, οι ενεργειακές μετρήσεις ελέγχθηκαν από την αρχή, οι περιοχές αναφοράς επαναπροσδιορίστηκαν και έγιναν επίπονες προσπάθειες για την επανεκτίμηση όλων των υπαρχουσών πειραματικών φωτογραφιών.

Τελικά, περίπου ένα χρόνο μετά την αρχική επίσημη ανακοίνωση του πειράματος Gargamelle για την ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων, τρία ακόμη πειράματα που διεξήχθησαν σε διαφορετικά εργαστήρια στις Ηνωμένες Πολιτείες, στο Argonne, στο Brookhaven και στο Fermilab, επιβεβαίωσαν ανεξάρτητα μεταξύ τους την ύπαρξη ουδέτερων ρευμάτων. Ταυτόχρονα, η επιστημονική ομάδα του Gargamelle επιβεβαίωσε τον αρχικό της ισχυρισμό, βασιζόμενη αυτή τη φορά σχεδόν στα διπλάσια δεδομένα. Τα αποτελέσματα αυτών των τεσσάρων διαφορετικών πειραμάτων παρουσιάστηκαν από κοινού στο διεθνές συνέδριο του Λονδίνου τον Ιούνιο του 1974.¹³ Εν τω μεταξύ, η συνεργασία HPWF εντόπισε την αιτία του λάθους της και τεκμηρίωσε και αυτή με τη σειρά της την ύπαρξη των ασθενών ουδέτερων ρευμάτων. Κατά αυτόν τον τρόπο ολοκληρώθηκε ένας από τους πιο περιπετειώδεις ελέγχους μιας θεωρητικής πρόβλεψης στην ιστορία της ΦΥΕ, αναδεικνύοντας την περίπλοκη σχέση μεταξύ θεωρίας και πειράματος.

Ανοίγοντας λοιπόν το «μαύρο κουτί» της ανακάλυψης των ουδέτερων ρευμάτων, η αφηρημένη και αναχρονιστική εικόνα που απεικονίζει την εγκαθίδρυση του Καθιερωμένου Προτύπου ως μια προκαθορισμένη, αναπόφευκτη και ομαλή διαδικασία φαίνεται να κλονίζεται. Όπως είδαμε, κατά την πρώτη περίοδο ελέγχου της θεωρίας, οι προβλέψεις του ΚΠ αντιμετωπίστηκαν με μια ευρεία καχυποψία ενώ σημειώθηκε και μια σημαντική αντίσταση από την πειραματική κοινότητα στο να γίνουν εν τέλει δεκτές. Η εγκαθίδρυση του θεωρητικού μοντέλου προέκυψε τελικά

¹³ Μια πρώτη εκδοχή των αποτελεσμάτων παρουσιάστηκε στο συνέδριο της Αμερικανικής Φυσικής Εταιρείας στην Ουάσιγκτον τον Απρίλιο του 1974. Δείτε και Perkins 2003.

μέσα από την επιμονή και τις συγκεκριμένες παρεμβάσεις θεωρητικών και πειραματικών φυσικών, που στήριζαν σθεναρά τη νέα θεωρία, όπως ο Steven Weinberg, ο Sheldon Glashow, ο Gerard 't Hooft και η πειραματική συνεργασία του Gargamelle στο CERN.

Με άλλα λόγια, η κομβική ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων δεν αποτέλεσε μια στιγμιαία ανακάλυψη, ένα συγκυριακό «εύρηκα» πάνω στο οποίο «σκόνταψε» κάποιος φυσικός. Παρόλο που τα ίχνη τους υπήρχαν στα πειραματικά δεδομένα από πολύ νωρίς, πριν ακόμα και τη ρητή πρόβλεψη τους από τη θεωρία, η ανακάλυψή τους εξελίχθηκε σε μια παρατεταμένη και επίπονη διαδικασία, με πολλούς πειραματιστές να απορρίπτουν αρχικά αυτό που αργότερα θα περιέγραφαν ως «προφανές». Στα μέσα της δεκαετίας του 1960, χωρίς μια συμπαγή θεωρία που θα μπορούσε να αποτελέσει οδηγό για την ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων των φωτογραφιών από τους θαλάμους σπινθήρων, οι πειραματικοί ήταν πολύ εύκολο να τις παρερμηνεύσουν με βάση κάτι που τους ήταν πειραματικά οικείο και συγκεκριμένα τους αστέρες νετρονίων. Αλλά ακόμα και αργότερα, στις αρχές της δεκαετίας του 1970, όταν πλέον η νέα ηλεκτρασθενής θεωρία είχε καταστεί πολύ πιο ώριμη, η πλειοψηφία των πειραματικών ούτε την κατανοούσε σε βάθος, ούτε είχε πειστεί για την ορθότητα της, ούτε είχε τους τρόπους για να τη «χειριστεί» πειραματικά. Δεν θα πρέπει να προκαλεί εντύπωση, λοιπόν, πως ακόμα και την περίοδο 1972-1973, πολλοί πειραματιστές επιχειρούσαν πεισματικά να βρουν εναλλακτικές ερμηνείες των δεδομένων προκειμένου να μην αποδεχτούν την ύπαρξη των ουδέτερων ρευμάτων. Όπως θα σημείωνε ο Alfred Mann, ένας από τους διασημότερους πειραματικούς φυσικούς της περιόδου, κατά τη διάρκεια μιας συνέντευξης το 1980:

Θα μπορούσατε να πείτε ότι καταλήξαμε αμέσως στο συμπέρασμα ότι είχαμε παρατηρήσει τα αδύναμα ουδέτερα ρεύματα. Αλλά θα εκπλαγείτε, γιατί αυτό ήταν το τελευταίο συμπέρασμα στο οποίο θα καταλήγαμε. Το πρώτο μας συμπέρασμα ήταν ότι κάναμε κάποιο λάθος και ότι τα μίονια με κάποιο τρόπο διέφευγαν από την πειραματική διάταξη ή για κάποιον λόγο δεν μπορούσαμε να τα εντοπίσουμε και ότι δεν θα μπορούσε να υπάρξει κανένα αποτέλεσμα τέτοιου μεγέθους [της ύπαρξης των ουδέτερων ρευμάτων].¹⁴

Η διστακτικότητα των πειραματικών να υιοθετήσουν τη συγκεκριμένη πρόβλεψη μπορεί να γίνει κατανοητή και υπό το πρίσμα της κρισιμότητάς της, καθώς μια πιθανή επίρρωση της θα σήμαινε και μια πειραματική και θεωρητική αλλαγή παραδείγματος της ΦΥΕ. Έτσι, για αρκετούς μήνες, οι πειραματιστές γύρω από τους θαλάμους φουσαλίδων αντιμετώπισαν την πρόκληση της διαχείρισης του θορύβου υποβάθρου, της εξάλειψης εναλλακτικών σεναρίων, της συγκέντρωσης πρόσθετων δεδομένων

¹⁴ όπως παρατίθεται στον Galison 1983, 494.

και της διενέργειας όλο και περισσότερων στατιστικών αναλύσεων. Μόνο όταν διαλύθηκαν και τα τελευταία ίχνη αμφιβολίας και το αποτέλεσμα υποστηρίχθηκε από τέσσερα ανεξάρτητα πειράματα, η παγκόσμια κοινότητα της ΦΥΕ ήταν επιτέλους έτοιμη να αποδεχθεί την ύπαρξη των ουδέτερων ρευμάτων.

Ένα ακόμα σημείο που είναι κρίσιμο να ληφθεί υπόψη, κατά την εξέταση της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των θεωρητικών προβλέψεων και του πειραματικού τους ελέγχου στο πλαίσιο της ΦΥΕ, είναι οι ιδιαίτερες συνθήκες που χαρακτηρίζουν το συγκεκριμένο πεδίο. Το πλήθος των πειραματικών υποομάδων με διαφορετική ειδημοσύνη που εργάζονταν με μερική ανεξαρτησία μεταξύ τους, η ανάγκη εκατοντάδων φυσικών να διαμορφώσουν συναίνεση γύρω από τα πειραματικά αποτελέσματα, η περίπλοκη φύση των εμπλεκόμενων οργάνων και το ανταγωνιστικό τοπίο μεταξύ ευρωπαϊκών και αμερικανικών εργαστηρίων -συμπεριλαμβανομένων των παραγόντων δημόσιας εικόνας και φήμης, έπαιξαν από κοινού έναν καθοριστικό, διαμορφωτικό ρόλο.¹⁵

Για να αποκτήσουμε, ωστόσο, μια πληρέστερη εικόνα σχετικά με το πώς οι θεωρητικές προβλέψεις μπορεί να αντιμετωπίζονται ουσιαδώς διαφορετικά κατά τον πειραματικό τους έλεγχο, είναι κρίσιμο να αντιπαραβάλουμε την περίπτωση της ανακάλυψης των ουδέτερων ρευμάτων με μια άλλη πρόβλεψη του ΚΠ, αυτή των W και Z μποζονίων. Η σύγκριση αυτή καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική αν αναλογιστεί κανείς ότι η συγκεκριμένη πρόβλεψη υποβλήθηκε σε πειραματικό έλεγχο λίγα μόλις χρόνια αργότερα, όταν όμως πλέον το ΚΠ είχε εδραιωθεί ως το κυρίαρχο θεωρητικό πλαίσιο αναφοράς στη ΦΥΕ.

3. Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ W ΚΑΙ Z ΜΠΟΖΟΝΙΩΝ: ΜΙΑ «ΑΥΤΟΕΚΠΛΗΡΟΥΜΕΝΗ ΠΡΟΦΗΤΕΙΑ»

Μετά την επίρρωση της πρόβλεψης των ουδέτερων ρευμάτων, το ΚΠ άρχισε να επιβάλλει την κυριαρχία του στη ΦΥΕ, σηματοδοτώντας ένα σημείο καμπής στη δυναμική σχέση μεταξύ θεωρίας και πειράματος.¹⁶ Επιπροσθέτως, η εγκαθίδρυσή του πυροδότησε έναν εξαιρετικά έντονο ανταγωνισμό μεταξύ των εργαστηρίων ΦΥΕ στις δύο πλευρές του Ατλαντικού. Έχοντας ως θεωρητικό οδικό χάρτη τις προβλέψεις του ΚΠ, μέσα

¹⁵ Πιο συγκεκριμένα, όπως είδαμε και πιο πάνω, δύο συνθήκες, οι οποίες προέρχονταν έξω από τα «τείχη» του εργαστηρίου είχαν καταλυτική επίδραση στο πως εξελίχθηκαν τα πειράματα. Η πρώτη αφορούσε τον ανταγωνισμό μεταξύ HPWF και Gargamelle, που αντικατόπτριζε τον γενικότερο ανταγωνισμό ανάμεσα στην Ευρωπαϊκή και Αμερικανική ΦΥΕ. Η δεύτερη σχετιζόταν με την ιδιαιτερότητα του CERN, ως ένα εργαστήριο που λογοδοτούσε άμεσα σε μια σειρά διαφορετικών ευρωπαϊκών κυβερνήσεων. Συχνά η συνθήκη αυτή έκανε τον ευρωπαϊκό οργανισμό αρκετά επιφυλακτικό στο να ανακοινώνει τα πειραματικά του αποτελέσματα ώστε να διαφυλάξει την αξιοπιστία και τη φήμη του (Για περισσότερες λεπτομέρειες δείτε Panoutsopoulos & Arabatzis 2022).

¹⁶ Δείτε επίσης Pickering 1984a, Pickering 1984b.

σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα συγκροτήθηκε μια πυκνή σειρά πειραμάτων. Τον Νοέμβριο του 1974, η ύπαρξη των μεσονίων J/ψ πιστοποιήθηκε σχεδόν ταυτόχρονα από δύο διαφορετικές πειραματικές ομάδες στις ΗΠΑ, με την πρώτη να βρίσκεται στον Γραμμικό Επιταχυντή του Στάνφορντ (SLAC) και τη δεύτερη στο Εθνικό Εργαστήριο Brookhaven. Σε αντίθεση με την περίπτωση των ουδέτερων ρευμάτων και την παρατεταμένη αμφιβολία που αναπτύχθηκε γύρω τους, η ανακάλυψη των J/ψ αναγνωρίστηκε αμέσως και συνολικά από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Έτσι, έλαβε πολύ σύντομα, το 1976, το βραβείο Νόμπελ Φυσικής και έμεινε στην ιστορία ως η «Επανάσταση του Νοεμβρίου». Τη σκυτάλη πήραν μια σειρά πειραμάτων που διεξήχθησαν μεταξύ 1974 και 1977 στον SLAC και οδήγησαν στην ανακάλυψη του Ταυ, ενός λεπτονίου τρίτης γενιάς, ενώ το 1977, το Fermilab συμπλήρωσε ακόμα ένα κομμάτι στο «παζλ» του ΚΠ με τον εντοπισμό του «down quark». Η εποχή της «νέας φυσικής», όπως ονομάστηκε, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 είχε αδιαμφισβήτητα το πειραματικό κέντρο της στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το γεγονός αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να ασκηθούν στο CERN, στις αρχές της δεκαετίας του 1980, τεράστιες πιέσεις, καθώς στον συναγωνισμό των συνεχιζόμενων ανακαλύψεων του ΚΠ καταλάμβανε μονίμως τη δεύτερη θέση πίσω από τα αμερικανικά εργαστήρια. Υπό αυτές τις συνθήκες, με απώτερο στόχο να εξασφαλίσει το πολυπόθητο πρώτο του Νόμπελ,¹⁷ ο ευρωπαϊκός οργανισμός έστρεψε όλες τις δυνάμεις του στην επόμενη σημαντική ανακάλυψη στο πλαίσιο του ΚΠ, αυτής των μποζονίων W και Z , που περιγράφονταν από τη θεωρία ως φορείς της ασθενούς αλληλεπίδρασης.

Το κίνητρο για το CERN ήταν τεράστιο. Είχε όμως να αντιμετωπίσει και ένα θεμελιώδες εμπόδιο. Οι προβλεπόμενες μάζες των μποζονίων, σύμφωνα με τη θεωρία, κυμαίνονταν από 60 GeV έως 80 GeV για το W και από 75 GeV έως 92 GeV για το Z . Ωστόσο, ο κύριος επιταχυντής σωματιδίων στο CERN εκείνη την εποχή, το Super Proton Synchrotron (SPS), δεν είχε τη δυνατότητα να παράγει τις απαιτούμενες ενέργειες. Όπως σημειώνεται και από τους πειραματικούς φυσικούς της περιόδου, ο οργανισμός θα μπορούσε να εξετάσει το ενδεχόμενο να περιμένει ως τη λειτουργία του επερχόμενου επιταχυντή Large Electron-Positron (LEP), ο οποίος θα ήταν κατάλληλος όχι μόνο για την ανίχνευση των μποζονίων W και Z αλλά και για τον ακριβή προσδιορισμό των ιδιοτήτων τους (Di Lella & Rubbia 2015). Παρ' όλα αυτά, η κατασκευή του LEP θα απαιτούσε μερικά επιπλέον χρόνια,¹⁸ ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο το CERN θα κινδύνευε να χάσει μέσα από τα χέρια του ακόμα μία κρίσιμη ανακάλυψη από τα αμερικανικά εργαστήρια. Η ατμόσφαιρα στο CERN κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου αποτυπώνεται με γλαφυρό τρόπο στα λόγια του Pierre Darriulat, ο οποίος αποτέλεσε ένα από τα

¹⁷ Δείτε Panoutsopoulos & Arabatzis 2022.

¹⁸ Ο LEP τέθηκε τελικά σε λειτουργία το 1989.

πρόσωπα-κλειδιά στην ανακάλυψη των μποζονίων: «Η πίεση για την ανακάλυψη των W και Z ήταν τόσο μεγάλη που ο μακροχρόνιος σχεδιασμός του LEP άφηνε τους περισσότερους από εμάς, ακόμη και τους πιο υπομονετικούς, δυσαρεστημένους. Ως εκ τούτου, μια γρήγορη (αλλά όχι «πρόχειρη») ματιά στα νέα μποζόνια θα ήταν ιδιαίτερα ευπρόσδεκτη.» (Darriulat 2004, 14)

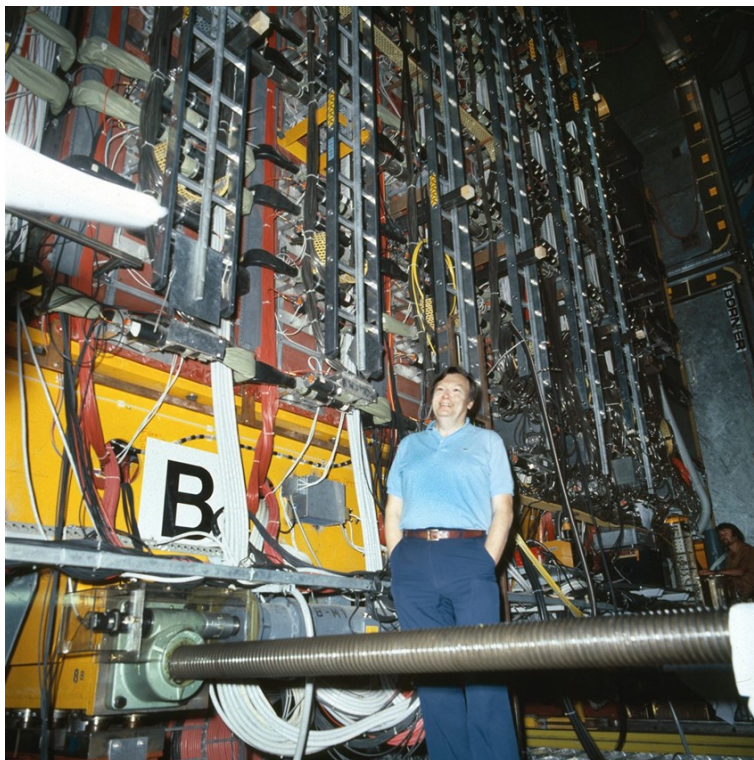
Υπό αυτές τις συνθήκες, ελήφθη από τη διοίκηση του οργανισμού η toλμηρή απόφαση να μετατραπεί ο υφιστάμενος SPS από επιταχυντής πρωτονίων σε επιταχυντή πρωτονίων-αντιπρωτονίων (SppbarS). Ο μετασχηματισμός αυτός βασίστηκε σε μια πρωτοποριακή ιδέα που διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1976 από τους Carlo Rubbia, David Cline και Peter McIntyre. Οι τρεις καταξιωμένοι φυσικοί πρότειναν τη χρήση μιας δέσμης πρωτονίων και μιας δέσμης αντιπρωτονίων, που περιστρέφονται προς αντίθετες κατευθύνσεις μέσα στον σωλήνα κενού του επιταχυντή και συγκρούονται μετωπικά. Επιπλέον, η πρωτοποριακή τεχνική «στοχαστικής ψύξης» («stochastic cooling»), που ανέπτυξε ο μηχανικός επιταχυντών Simon Van den Meer, έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση αυτής της ιδέας. Η μετατροπή αυτή αποσκοπούσε στην άμεση επίτευξη των απαιτούμενων ενεργειακών επιπέδων και στη διευκόλυνση της ανακάλυψης των σωματιδίων W και Z το ταχύτερο δυνατό, ακόμα και αν υπήρχαν βάσιμοι φόβοι, ότι σε αυτή την περίπτωση θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο να ελεγχθεί και να απομονωθεί ο θόρυβος υποβάθρου. Έτσι, σχεδιάστηκαν δύο διαφορετικά πειράματα, τα UA1 και UA2,¹⁹ που ήταν επικεντρωμένα στον έλεγχο αυτής της συγκεκριμένης πρόβλεψης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η διοίκηση του CERN αποφάσισε να δημιουργήσει το UA2, 6 μήνες περίπου μετά την έγκριση του UA1, ως ένα συμπληρωματικό πείραμα, το οποίο θα κατασκεύαζε τον δικό του ανιχνευτή και θα έλεγε ανεξάρτητα και αμερόληπτα το UA1. Πιο συγκεκριμένα, κάθε πειραματική ομάδα θα εργαζόταν αποκλειστικά με τον δικό της ανιχνευτή, αποφεύγοντας να ανταλλάξει δεδομένα και μεθοδολογίες για να ενισχύσει την αξιοπιστία των τελικών πειραματικών ευρημάτων. Αυτή η στρατηγική επιλογή αποτέλεσε ένα προληπτικό μέτρο του οργανισμού για να μετριάσει τις υψηλές προσδοκίες της πειραματικής κοινότητας στο CERN για την επικείμενη ανακάλυψη. Η ακλόνητη πίστη στο θεωρητικό μοντέλο του ΚΠ και στις προβλέψεις του σε συνδυασμό με τον φρενήρη ρυθμό που έθετε η κούρσα για την απονομή του προσδοκώμενου βραβείου Νόμπελ φυσικής, θα μπορούσε να έχει καταστροφικές συνέπειες αν δεν λαμβάνονταν από τον ευρωπαϊκό οργανισμό τα κατάλληλα μέτρα.²⁰

Η προσμονή για την επίτευξη αυτής της ανακάλυψης ήταν τόσο μεγάλη ώστε ο έγκριτος πειραματιστής και διευθυντής του Fermilab, Leon Lederman, προσπάθησε να επιστήση την προσοχή στους συναδέλφους

¹⁹ Το όνομα UA προερχόταν από τα αρχικά του «Underground Area» («Υπόγεια Περιοχή»).

²⁰ Για περισσότερες λεπτομέρειες δείτε Panoutsopoulos & Arabatzis 2022.



ΕΙΚΟΝΑ 4. Το πείραμα UA1, με επικεφαλής τον Carlo Rubbia, Αύγουστος 1983, CERN PhotoLab, (Original ref.:CERN-PHOTO-8308578X).

του, έτσι ώστε να κρατήσουν κάποιες «αποστάσεις ασφαλείας» από το γενικό κλίμα ευφορίας σχετικά με τις θεωρητικές προβλέψεις του ΚΠ: «Πρέπει να προσπαθήσουμε σκληρά για να διατηρήσουμε τον παραδοσιακό σκεπτικισμό μας παρά την ισχυρή επιρροή που ασκούν πάνω μας οι θεωρητικοί συνάδελφοι μας, η οποία τείνει να αποδυναμώσει την αντίστασή μας.» (Lederman 1983, 576) Σε αντίθεση, λοιπόν, με τα ασθενή ουδέτερα ρεύματα, στην περίπτωση των μποζονίων W και Z , η σχέση μεταξύ θεωρητικών προβλέψεων, πειραματισμού και οργάνων διέφερε σημαντικά, ακόμα και πριν την έναρξη συλλογής των πρώτων δεδομένων, και αυτό θα ήταν καθοριστικό για τη διαφορετική εξέλιξη της.

Ακόμη και σε αυτό το πλαίσιο, ωστόσο, οι δύο πειραματικές ομάδες προσέγγισαν την πρόβλεψη των μποζονίων με διαφορετικό τρόπο. Συγκεκριμένα, τον Ιανουάριο του 1983, το κλίμα στο CERN διαταράχθηκε εξαιτίας μιας έντονης διαφωνίας μεταξύ των πειραμάτων UA1 και UA2. Το σημείο τριβής ανάμεσα στις δύο ερευνητικές ομάδες εντοπιζόταν στο εάν τα πειραματικά δεδομένα που είχαν στα χέρια τους μέχρι εκείνη τη στιγμή ήταν ικανά για να υποστηρίξουν την ανακάλυψη του μποζονίου W . Αλλά ας πάρουμε τα πράγματα από την αρχή.

Στις 12 Ιανουαρίου, κατά τη διάρκεια μιας ημερίδας στη Ρώμη, και οι δύο ομάδες παρουσίασαν δημοσίως τα αποτελέσματά τους για πρώτη φορά. Το UA1 παρουσίασε έξι «υποψήφια γεγονότα», τα οποία υποδείκνυαν την ύπαρξη του W, ενώ το UA2 τέσσερα. Σε εκείνη τη φάση και οι δύο ομάδες συμφώνησαν ότι, παρότι βρίσκονταν σε πολύ καλό δρόμο, τα συγκεκριμένα ευρήματα τους ήταν ακόμα πρώιμα και ήταν απαραίτητο να συνεχίσουν την περαιτέρω συλλογή δεδομένων πριν από την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων.

Παρ' όλα αυτά, ο «πυρετός» του βραβείου Νόμπελ φαίνεται ότι είχε κυριεύσει μεγάλο μέρος της πειραματικής κοινότητας του CERN. Έτσι, το Σαββατοκύριακο 22-23 Ιανουαρίου, και παρά την απουσία οποιουδήποτε νέου πειραματικού δεδομένου, η πειραματική ομάδα του UA1 και ο επικεφαλής του, Carlo Rubbia, άλλαξαν απότομα στάση. Χρησιμοποιώντας ως μοχλό πίεσης την εμπιστοσύνη της επιστημονικής κοινότητας στο ΚΠ και την προσδοκία της ότι οι προβλέψεις του επρόκειτο να επιβεβαιωθούν, άρχισαν να πιέζουν τη διοίκηση του οργανισμού να ανακοινώσει άμεσα την ανακάλυψη του μποζονίου W. Σύμφωνα με τα λόγια του Rubbia, τα πειραματικά δεδομένα που υπήρχαν ήταν ήδη επαρκή: «μοιάζουν με W, έχουν την αίσθηση των W, μυρίζουν σαν W, θα πρέπει να είναι W.»²¹ Αντίθετα, το πείραμα UA2, που εκπροσωπούνταν από τον Pierre Darriulat, διατήρησε μια εξαιρετικά προσεκτική και επιφυλακτική προσέγγιση, τονίζοντας τους κινδύνους που μπορούσαν να ανακύψουν εάν το CERN προχωρούσε στην ανακοίνωση μιας τόσο σημαντικής ανακάλυψης που θα βασιζόταν σε τόσο περιορισμένα πειραματικά δεδομένα (Krige 2001; Panoutsopoulos & Arabatzis 2022).

Η διαμάχη ανάμεσα στα UA1 και UA2 ίσως να μας φέρνει στο μυαλό την αντίστοιχη διαφωνία μεταξύ της ερευνητικής ομάδας του Gargamelle και της HWPF που παρακολουθήσαμε προηγουμένως. Όμως, η εξέλιξη της ιστορίας αυτή τη φορά θα είχε μια πολύ διαφορετική κατάληξη και ένας από τους βασικούς λόγους ήταν η ωρίμανση και η ευρεία αποδοχή που πλέον απολάμβανε το θεωρητικό μοντέλο του ΚΠ στην κοινότητα της ΦΥΕ. Υπό αυτές τις συνθήκες, παρά τις όποιες δεύτερες σκέψεις υπήρχαν, η διοίκηση του CERN επέλεξε να στηρίξει την ανακάλυψη του μποζονίου W, ιδίως υπό το πρίσμα της πρόσφατης εμπειρίας με τα ουδέτερα ρεύματα, όπου η αμφισβήτηση της συγκεκριμένης ανακάλυψης είχε πολύ αρνητικό αντίκτυπο στην ευρύτερη αποδοχή της. Έτσι λοιπόν, στις 25 Ιανουαρίου, ο τότε γενικός διευθυντής του ευρωπαϊκού οργανισμού, Herwig Schopper, συγκάλεσε μια ειδική συνέντευξη Τύπου για να ανακοινώσει με κάθε επισημότητα την ανακάλυψη, παρά τις σημαντικές επιφυλάξεις πολλών πειραματιστών σχετικά με την αναγκαιότητα συλλογής περισσότερων δεδομένων και ανάλυσης αυτών. Προκειμένου, μάλιστα, να εξαλειφθούν οι όποιες αμφιβολίες και να παρουσιαστεί το

²¹ όπως αναφέρεται στο Watkins 1986, 185.



ΕΙΚΟΝΑ 5. Συνέντευξη Τύπου στις 25 Ιανουαρίου 1983 στο CERN, για την ανακάλυψη του μποζονίου W. Από δεξιά προς αριστερά: ο Carlo Rubbia, εκπρόσωπος του πειράματος UA1· ο Simon van der Meer, υπεύθυνος για την ανάπτυξη της «στοχαστικής ψύξης»· ο Herwig Schopper, Γενικός Διευθυντής του CERN· ο Erwin Gabathuler, Διευθυντής Έρευνας του CERN, και ο Pierre Darriulat, εκπρόσωπος του πειράματος UA2. CERN PhotoLab, (Original ref.: X-243-1-83).

CERN σαν ένα ενιαίο μέτωπο προς τα έξω, η διεύθυνση επέμενε να παρουσιαστεί ο Darriulat μαζί με τον Rubbia στη συνέντευξη Τύπου, παρά τις αντιρρήσεις που πρόβαλε ο ίδιος και η ομάδα του σχετικά με την πρόωμη ανακοίνωση της ανακάλυψης.²²

Λίγες μόνο εβδομάδες αργότερα, την άνοιξη του 1983, μια αντίστοιχα ομαλή πειραματική διαδικασία οδήγησε στην ανακάλυψη του μποζονίου Z, βασιζόμενη και πάλι σε πολύ περιορισμένα δεδομένα. Όπως θα παρατηρούσε ο Donald Perkins, που είχε ζήσει από κοντά και την περιπέτεια

²² Όπως σημειώνει ο John Krige, ο Schopper τοποθέτησε τον Darriulat δίπλα στον Rubbia, «για να διαλύσει τις αμφιβολίες σχετικά με την αξιοπιστία των ευρημάτων του UA1. Με αυτόν τον τρόπο, εκμεταλλεύτηκε το κύρος του Darriulat, αναγκάζοντας τον εκπρόσωπο του UA2, από αφοσίωση στο CERN, να συμπράξει στην προώθηση ενός ισχυρισμού για τον οποίο ο ίδιος δεν ήταν πλήρως πεπεισμένος [...] Ο πρωταρχικός ρόλος του Darriulat ήταν να καθησυχάσει, όχι να πανηγυρίσει, να προσδώσει αξιοπιστία στο UA1, όχι να επιδιώξει επαίνους για το UA2.» (Krige 2001, 536)

της ερευνητικής ομάδας του Gargamelle, η ανακάλυψη των μποζονίων W και Z «έγινε δεκτή με ανακούφιση παρά με δυσπιστία» από ολόκληρη την κοινότητα της ΦΥΕ, σε αντίθεση με την αντίστοιχη προβληματική αποδοχή των ουδέτερων ρευμάτων (Perkins 1997, 444). Λιγότερο από έναν χρόνο αργότερα, τον Οκτώβριο του 1984, ο Carlo Rubbia και ο Simon van der Meer τιμήθηκαν με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για την ανακάλυψη των W και Z. Αντίθετα, η ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων που άνοιξε τον δρόμο για την καθιέρωση του ΚΠ, παρά την τεράστια σημασία της, δεν τιμήθηκε ποτέ με το συγκεκριμένο βραβείο εξαιτίας των αρχικών αμφιβολιών γύρω από αυτήν.

Η στρατηγική του Rubbia να ευθυγραμμιστεί με το ευνοϊκό κλίμα που επικρατούσε στην κοινότητα της ΦΥΕ όσον αφορά τις συγκεκριμένες προβλέψεις αναμφισβήτητα ανταμείφθηκε. Ωστόσο, πολύ σύντομα θα αποδεικνυόταν ότι αυτή η «τυφλή» εμπιστοσύνη στις προβλέψεις του ΚΠ θα μπορούσε να οδηγήσει και σε πολύ προβληματικά μονοπάτια. Στις 25 Ιουνίου 1984, ο Rubbia, έχοντας ακόμα νωπή τη μνήμη της επιτυχίας που του χάρισε το Νόμπελ, έσπευσε να ανακοινώσει στους New York Times (Sullivan 1984, 13) ότι το UA1 βρισκόταν στα πρόθυρα μιας ακόμη σημαντικής ανακάλυψης. Επρόκειτο για την επικύρωση μιας ακόμα πολύ-αναμενόμενης πρόβλεψης του ΚΠ: του «top quark». Η πεποίθησή του ότι το UA1 πλησίαζε σε μια ακόμα σπουδαία ανακάλυψη στηρίχθηκε, για άλλη μια φορά, σε εύθραυστα θεμέλια, καθώς η πειραματική του ομάδα είχε να επιδείξει μόλις έξι «ενδιαφέροντα γεγονότα». Λίγες ημέρες πριν το δημοσίευμα της εφημερίδας, που όπως ήταν λογικό είχε σκορπίσει τον ενθουσιασμό και στη δημόσια σφαίρα για την επικείμενη ανακάλυψη, τα συγκεκριμένα ευρήματα είχαν ανακοινωθεί σε διεθνή workshops της ΦΥΕ στο Ντόρτμουντ της Γερμανίας και στο Λουντ της Σουηδίας, παρά το γεγονός ότι η συλλογή και η ανάλυση δεδομένων ήταν ακόμα υπό εξέλιξη.

Λίγες ημέρες αργότερα, στις 4 Ιουλίου, το CERN θα έβγαζε μια επίσημη ανακοίνωση για να υποστηρίξει τους ισχυρισμούς του Rubbia, με τον χαρακτηριστικό τίτλο «Η αναζήτηση για το top quark στέφεται με επιτυχία στο CERN» (CERN 1984). Η ανακοίνωση περιλάμβανε επίσης μια ειδική αναφορά στην εκτιμώμενη μάζα του top quark, η οποία σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Rubbia και της ομάδας του ήταν «30 με 50 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του πρωτονίου (δηλαδή 30 έως 50 GeV).» (CERN 1984) Οι πανηγυρισμοί αυτή τη φορά όμως είχαν βραχεία διάρκεια, τιμωρώντας την υπερβολική εμπιστοσύνη στις προβλέψεις του ΚΠ. Τους επόμενους μήνες διαπιστώθηκε ότι το UA1 είχε παραβλέψει μια σημαντική πηγή θορύβου υποβάθρου (Staley 2004) και, όπως αποκαλύφθηκε σχεδόν μία δεκαετία αργότερα, οι πειραματικοί του CERN είχαν στην προκειμένη περίπτωση καταλήξει σε μια «ψευδή ανακάλυψη» (false discovery). Το top quark ανακαλύφθηκε τελικά το 1995 στο Fermilab, με εντελώς διαφορετική μάζα, περίπου 175 GeV.

Η ιστορία της ψευδούς ανακάλυψης του top quark από τη συνεργασία UA1 ξεχάστηκε αρκετά γρήγορα και πολλά από τα ίχνη της έχουν ξεθωριάσει μέσα στον χρόνο. Αντίθετα, η επιτυχής ανακάλυψη των μποζονίων W και Z συνεχίζει να προβάλλεται πολύ συχνά, ακόμα και από τους ίδιους τους φυσικούς, σαν ένα πρότυπο της σχέσης μεταξύ θεωρίας και πειράματος. Όμως, για να κατανοήσουμε τη μεταβαλλόμενη επιστημική αξία της πρόβλεψης και του ρόλου της στη συνολική ανάπτυξη του πεδίου των ΦΥΕ ως μιας δυναμικής γέφυρας μεταξύ θεωρίας και πειραματισμού, είναι ζωτικής σημασίας να αποφύγουμε τις αναχρονιστικές ιστορικές προσεγγίσεις και να διερευνήσουμε όχι μόνο τις επιτυχίες αλλά και τις αποτυχίες αυτής της σχέσης.

4. ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΟΝ LHC: ΤΟ ΟΡΑΜΑ ΕΝΟΣ ΝΕΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ

Ενώ μέχρι στιγμής έχουμε εξετάσει διεξοδικά την αλληλεπίδραση μεταξύ θεωρητικών προβλέψεων και πειραματισμού, μια πολύ σημαντική πτυχή της ΦΥΕ έχει μείνει, ως επί το πλείστον, ανεξερεύνητη. Σε αυτήν την ενότητα θα επιχειρήσουμε να καλύψουμε αυτό το κενό, μελετώντας την σχέση μεταξύ των προβλέψεων και του τρίτου βασικού πυλώνα του κλάδου, των επιστημονικών οργάνων.²³ Επίκεντρο αυτής της διερεύνησης θα αποτελέσει ο ρόλος που έπαιξαν οι προβλέψεις στον σχεδιασμό της μεγαλύτερης και σημαντικότερης πειραματικής μηχανής που κατασκευάστηκε ποτέ στην ιστορία της ΦΥΕ, του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (LHC). Προτού, ωστόσο, επικεντρωθούμε στην ιστορία του LHC, για να κατανοήσουμε την περίπλοκη σχέση μεταξύ θεωρητικών προβλέψεων και επιστημονικών οργάνων, θα πρέπει πρώτα να αντιληφθούμε τη δυναμική αυτών των κολοσσιαίων πειραματικών μηχανών στο πλαίσιο της ΦΥΕ.

Καθώς μεταπολεμικά οι επιταχυντές, από δεκαετία σε δεκαετία, μεγάλωναν θεαματικά σε μέγεθος, πολυπλοκότητα και κόστος, η ίδια η επιβίωση του κλάδου της ΦΥΕ άρχισε να εξαρτάται όλο και περισσότερο από την ύπαρξή τους. Κατά αυτόν τον τρόπο, οι πρακτικές και η στοχοθεσία της κοινότητας των φυσικών υψηλών ενεργειών διαμορφώθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό που σχετίζεται με αυτά τα όργανα και ενέχει πολλά επίπεδα επιστημονικής, τεχνολογικής, οικονομικής και διοικητικής πολυπλοκότητας. Επιπλέον, δεδομένου ότι αυτές οι πειραματικές υποδομές λειτουργούν σε μια πολύ διαφορετική κλίμακα από τα συνηθισμένα «πειράματα πάγκου», ο σχεδιασμός και η υλοποίησή τους τηρούν ιδιαίτερα χρονοδιαγράμματα, τα οποία μπορεί να εκτείνονται ακόμα και σε δεκαετίες. Για παράδειγμα, ο LHC ενώ ξεκίνησε τη φάση σχεδιασμού του το 1984, τέθηκε σε λειτουργία μόλις το 2009. Αυτή η ανάγκη για μακροχρόνιο σχεδιασμό έχει ως συνέπεια να

²³ Σχετικά με τα τρία επίπεδα της ΦΥΕ, δηλ. της θεωρίας, του πειραματισμού και των επιστημονικών οργάνων, αλλά και της δυναμικής σχέσης που αναπτύσσεται ανάμεσά τους δείτε και Galison 1997, 799.

καθίσταται εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθούν οι πιθανές θεωρητικές ή πειραματικές εξελίξεις που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Ως εκ τούτου, οι σημαντικότεροι επιταχυντές σωματιδίων, συμπεριλαμβανομένων των LEP και SPS στο CERN, του Tevatron στις Ηνωμένες Πολιτείες και του U-70 Proton Synchrotron στη Σοβιετική Ένωση, δεν κατασκευάστηκαν έχοντας ως βασική επιδίωξη τον έλεγχο συγκεκριμένων θεωρητικών προβλέψεων. Αντίθετα, ο σχεδιασμός τους προσανατολίστηκε σε πολύ ευρύτερους πειραματικούς στόχους και στη μη αυστηρά καθορισμένη διερεύνηση ολοένα και υψηλότερων ενεργειακών φασμάτων.²⁴

Το παραπάνω ισχύουν και για την περίπτωση του LHC. Παρά το γεγονός πως ο επιταχυντής μνημονεύεται σήμερα κυρίως για την επιβεβαίωση της πρόβλεψης του μποζονίου Higgs, μια πιο λεπτομερής εξέταση της περιόδου σχεδιασμού του, αποκαλύπτει ότι η κατασκευή του είχε πολύ ευρύτερα κίνητρα. Συγκεκριμένα, όταν το 1984 άρχισαν οι πρώτες συζητήσεις στο CERN σχετικά με την κατασκευή ενός επιταχυντή πρωτονίων, ούτε το μποζόνιο Higgs ούτε άλλες θεωρητικές προβλέψεις έπαιξαν κεντρικό ρόλο. Όπως θα τόνιζε, κάποια χρόνια αργότερα σε μια συνέντευξή του ο Herwig Schopper, ο οποίος κατείχε τη θέση του γενικού διευθυντή εκείνη την εποχή, «το Higgs φάνταζε σαν ένα πολύ μακρινό μελλοντικό ζήτημα και κανείς δεν μιλούσε πραγματικά γι' αυτό». Αντίθετα, σύμφωνα με τον Schopper, το κυρίαρχο θέμα συζήτησης ήταν «ο ανταγωνισμός με τον SSC»²⁵ και το «ποιος θα μπορούσε να επιτύχει πρώτος υψηλότερες ενέργειες.» (Chalmers 2019)

Αυτή ήταν και η αφετηρία από την οποία ξεκίνησαν τα τρία μεγάλα workshops, που έθεσαν τις βάσεις για τον σχεδιασμό του LHC: το πρώτο πραγματοποιήθηκε στη Λωζάνη το 1984, το δεύτερο στη Λα Τουίλ το 1987 και το τρίτο στο Άαχεν το 1990. Στα συγκεκριμένα workshops συγκεντρώθηκαν εκατοντάδες θεωρητικοί, πειραματικοί και μηχανικοί επιταχυντών, αντιπροσωπεύοντας την «αφρόκρεμα» της ευρωπαϊκής κοινότητας της ΦΥΕ. Η συντριπτική πλειοψηφία των συζητήσεων σε αυτές τις συναντήσεις επικεντρώθηκε γύρω από τις τεχνικές πτυχές του μελλοντικού επιταχυντή και σε θέματα όπως οι παράμετροι της ενέργειας και της φωτεινότητας του. Αντίθετα, οι ενότητες που ήταν αφιερωμένες στη φυσική που θα μελετούνταν από τον LHC ήταν αρκετά αφηρημένες και νεφελώδεις. Στην ουσία, επρόκειτο για την παρουσίαση ενός συνόλου θεωρητικών υποθέσεων, που βρίσκονταν ακόμη σε πολύ πρώιμο στάδιο,

²⁴ Η μόνη αξιοσημείωτη εξαίρεση είναι η μετατροπή του SPS σε SPPbarS, η οποία, ωστόσο, δεν απαιτούσε την κατασκευή ενός νέου επιταχυντή, αλλά τεχνικές τροποποιήσεις σε έναν ήδη υπάρχοντα, με κύριο στόχο την επίσπευση της ανακάλυψης των μποζονίων W και Z.

²⁵ Ο SSC (Superconducting Super Collider) ήταν ένα εξαιρετικά φιλόδοξο σχέδιο για την κατασκευή ενός τεράστιου επιταχυντή σωματιδίων στο Τέξας των Ηνωμένων Πολιτειών. Η κατασκευή του ματαιώθηκε τελικά το 1993. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι το όραμα για την κατασκευή του LHC ήταν αρχικά η «ευρωπαϊκή απάντηση» σε αυτό το φιλόδοξο έργο.

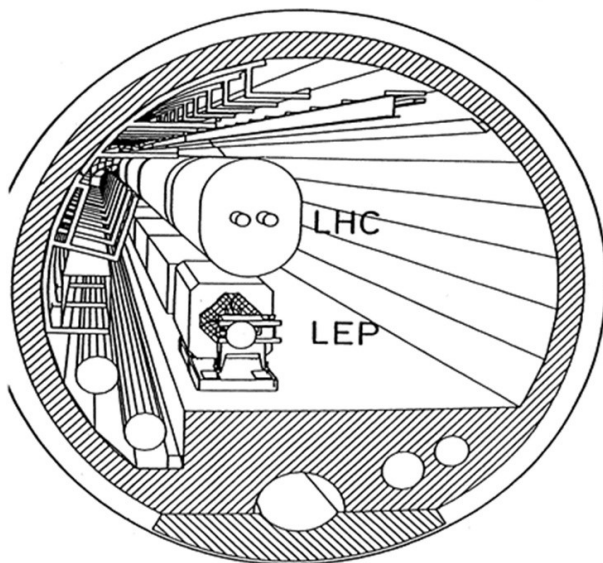
κάτω από τον ευρύ τίτλο «Νέα Φυσική»,²⁶ χωρίς όμως να προσδιορίζεται αν και κατά πόσον ο LHC ήταν απαραίτητος για την πειραματική τους διερεύνηση. Όσον αφορά τη λιγότερο αμφιλεγόμενη θεωρητική πρόβλεψη, αυτή του μποζονίου Higgs, δεδομένου ότι εκείνη την εποχή η μάζα του δεν μπορούσε ακόμη να προσδιοριστεί θεωρητικά με ακρίβεια, ήταν πιθανό η ανακάλυψη του να λάμβανε χώρα είτε στον LEP είτε στον Tevatron, πολύ πριν την έναρξη της λειτουργίας του LHC. Το συγκεκριμένο ενδεχόμενο αναφερόταν ρητά ακόμα και στο δελτίο Τύπου που εξέδωσε το CERN το 1989 σχετικά με την περιγραφή του σχεδιαζόμενου LHC: «Η μάζα του μποζονίου Higgs είναι ακόμη άγνωστη, ως εκ τούτου ο LEP ενδέχεται να το εντοπίσει εάν το εύρος της μάζας του εκτείνεται περίπου ως τα 80 GeV.» (CERN 1989) Για αυτόν τον λόγο, αν και η πρόβλεψη του μποζονίου Higgs αποτελούσε αναπόσπαστο κομμάτι του ΚΠ, δεν βρέθηκε ποτέ στο κέντρο των συζητήσεων που έλαβαν χώρα στις δεκαετίες του 1980 και 1990 για τον σχεδιασμό του LHC. Ο περιορισμένος ρόλος που είχαν οι θεωρητικές προβλέψεις στον σχεδιασμό του νέου επιταχυντή, γίνεται ξεκάθαρα αντιληπτός στις καταληκτικές παρατηρήσεις του υπεύθυνου της θεωρητικής ενότητας των συζητήσεων στο workshop της Λωζάνης, Chris Llewellyn Smith:

Ένας μεγάλος επιταχυντής αδρονίων εμφανιζόταν πάντα σαν μια προφανής επιλογή για να διαδεχθεί τον LEP και είναι σαφές ότι έχει έρθει η ώρα να ξεκινήσει η έρευνα για τους κατάλληλους μαγνήτες. Είναι λιγότερο συνετό όμως να αρχίσουμε να συζητάμε σχετικά με τη φυσική που θα μπορούσε να μελετηθεί με μια τέτοια μηχανή [...] Υπάρχει μια θεωρητική συναίνεση ότι νέα φαινόμενα θα ανακαλυφθούν κοντά στην ενέργεια του 1 TeV. Δεν υπάρχει συναίνεση σχετικά με τη φύση αυτών των φαινομένων, αλλά είναι ενδιαφέρον ότι πολλές από τις ιδέες που έχουν προταθεί μπορεί ενδεχομένως να δοκιμαστούν σε πειράματα στον LHC. Ωστόσο πολλές, αν όχι όλες, από αυτές τις ιδέες θα έχουν αναμφίβολα απορριφθεί, διαψευστεί ή καθιερωθεί μέχρι τη στιγμή που θα κατασκευαστεί ένας LHC, και αυτό ακριβώς δείχνει την αξία μιας τέτοιας μηχανής (ECFA-CERN 1984, 27, 47)

Όπως γίνεται εμφανές από τα λόγια του Smith, η έλλειψη συγκεκριμένων προβλέψεων όχι μόνο δεν θεωρήθηκε εμπόδιο για την κατασκευή μιας τόσο πολύπλοκης και δαπανηρής μηχανής αλλά αντίθετα, παρουσιάστηκε ως σημαντικό πλεονέκτημα, που θα επέτρεπε στον σχεδιασμό της να προχωρήσει ανεξάρτητα και χωρίς να «περιορίζεται» από αυτές. Στο ίδιο πνεύμα κινήθηκε και η καταληκτική έκθεση της οργανωτικής επιτροπής του workshop: «Μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι προς

²⁶ Στις συζητήσεις σχετικά με τη «Νέα Φυσική» πρωταγωνιστούσαν τρία κυρίως υποθετικά θεωρητικά μοντέλα: οι θεωρίες Technicolor, η Υπερσυμμετρία και Συνθετότητα.

ECFA 84/85
CERN 84-10
5 September 1984



**LARGE HADRON COLLIDER
IN THE LEP TUNNEL**

Vol. I

PROCEEDINGS OF THE ECFA-CERN WORKSHOP

held at Lausanne and Geneva,
21-27 March 1984

ΕΙΚΟΝΑ 6. Το εξώφυλλο των πρακτικών του workshop της Λωζάνης το 1984 (ECFA-CERN 1984).

το παρόν υπάρχει μια θεωρητική συναίνεση ότι κάποια στιγμή η [πειραματική] έρημος θα ανθίσει πραγματικά, αλλά δεν υπάρχει ακόμα συναίνεση για το ποια λουλούδια θα βρεθούν εκεί.» (ECFA-CERN 1984, 12). Στα workshops που ακολούθησαν, στη Λα Τουίλ και στο Άαχεν, δεν αναπτύχθηκαν νέες ιδέες σχετικά με την πειραματική επικύρωση των αφηρημένων θεωρητικών προβλέψεων ούτε και κάποια συναίνεση γύρω από τα «λουλούδια της ερήμου». Όπως θα δήλωνε κατά τη διάρκεια του workshop του Άαχεν ο Carlo Rubbia, ο οποίος εν τω μεταξύ είχε ανακηρυχθεί σε Γενικό Διευθυντή του CERN: «Δεδομένου ότι καμία θεωρία πέρα από το καθιερωμένο πρότυπο δεν έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά μέχρι στιγμής, είναι δύσκολο να κρίνουμε τη βαρύτητα των διαφορών υποθέσεων.» (CERN 1990, 587).

Σε αντίθεση λοιπόν με ότι ενδεχομένως να περίμενε κανείς, ο ρόλος των προβλέψεων κατά τις αρχικές φάσεις του σχεδιασμού του LHC ήταν εξαιρετικά περιορισμένος. Όπως και η συντριπτική πλειοψηφία των επιταχυντών, ο LHC δεν σχεδιάστηκε πρωτίστως ως μια πειραματική μηχανή για την επικύρωση συγκεκριμένων θεωρητικών προβλέψεων ή για

την ανακάλυψη ενός συγκεκριμένου σωματιδίου όπως το μποζόνιο Higgs. Το όραμα του CERN ήταν να σχεδιάσει τον LHC σαν μια πειραματικά ευέλικτη, «πολλαπλών χρήσεων» ερευνητική μηχανή - σαν έναν ακόμη κρίκο στην αλυσίδα των επιταχυντών που διαρκώς στόχευαν σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες. Σε αυτό το πλαίσιο οι συγκεκριμένες θεωρητικές προβλέψεις θεωρούνταν περισσότερο περιοριστικές παρά βοηθητικές.

Για να κατανοήσουμε όμως την ιδιαιτερότητα των επιταχυντών ως επιστημονικών οργάνων και τη σχέση τους με τις θεωρητικές προβλέψεις θα πρέπει να τους αντιληφθούμε ως αποτέλεσμα των ιδεών και της ιδιαίτερης επιστημονικής κουλτούρας και πρακτικής που διαμόρφωσαν τη μεταπολεμική ΦΥΕ, η οποία χαρακτηρίζεται από βασικές αφετηρίες όπως:

A) Η δέσμευση στον αναγωγισμό και η επιδίωξη του προσδιορισμού των θεμελιωδών δομικών συστατικών της ύλης

Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, οι υψηλότερες ενέργειες έδιναν την ευκαιρία για μια νέα εξερεύνηση των βαθύτερων συστατικών της ύλης και κάθε μελλοντικός επιταχυντής υποσχόταν, έστω και αόριστα, «να αποκαλύψει βασικές γνώσεις για τους υποκείμενους μηχανισμούς της Φύσης» (CERN 1991). Όπως θα υποστήριζε σχετικά ένας από τους πρωταγωνιστές του κλάδου, ο Steven Weinberg: «Ζούμε σε έναν ενιαίο κόσμο, και προσπαθώντας να τον κατανοήσουμε ανακαλύπτουμε ερμηνευτικές αλυσίδες που δεν μπορούμε να τις ακολουθήσουμε εάν δεν ψάξουμε βαθύτερα στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων.» (Weinberg 1988, 476) Με βάση αυτές τις μεταφυσικές δεσμεύσεις, η αναγκαιότητα κατασκευής ενός μεγαλύτερου επιταχυντή στα μάτια της επιστημονικής κοινότητας των ΦΥΕ, όπως ο LHC, φάνταζε αυτονόητη και η ύπαρξη συγκεκριμένων θεωρητικών προβλέψεων περιττή. Στο workshop της Λωζάνης τα παραπάνω τέθηκαν χωρίς περιστροφές: «η αύξηση της ενέργειας είναι απλώς μια αναγκαιότητα στην προσπάθειά μας για μία καλύτερη κατανόηση.» (ECFA-CERN 1984, 10)

B) Η πρακτική του Διερευνητικού Πειραματισμού (Exploratory Experimentation)²⁷

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, αρχής γενομένης από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, τα πειράματα της ΦΥΕ ωφελήθηκαν από έναν πειραματικό «οδικό χάρτη» προβλέψεων που υποδείκνυε το ΚΠ. Συγχρόνως, όμως, ένα σημαντικό μέρος της πειραματικής κοινότητας των ΦΥΕ, καθώς τα ενεργειακά επίπεδα αυξάνονταν θεαματικά από επιταχυντή σε επιταχυντή, υιοθέτησε μια πιο ευέλικτη, διερευνητική πρακτική, με αρκετά μικρότερους περιορισμούς. Αυτή η προσέγγιση επέτρεπε μεγαλύτερη ελευθερία από την άκαμπτη προσκόλληση σε συγκεκριμένες θεωρητικές υποθέσεις ή προβλέψεις. Αν και η προσέγγιση αυτή δεν είχε

²⁷ Για περισσότερες λεπτομέρειες για την πρακτική του Διερευνητικού Πειραματισμού στη ΦΥΕ, δείτε και Karaca 2017, Beauchemin 2017.

να επιδείξει κάποια ιδιαίτερη πειραματική επιτυχία από τη στιγμή της καθιέρωσης του ΚΠ, άρχισε σταδιακά να κερδίζει όλο και μεγαλύτερο έδαφος καθώς ο οδικός χάρτης του ΚΠ πλησίαζε στην ολοκλήρωσή του. Ο Rubbia εξέφρασε συνοπτικά τη σημασία αυτής της πρακτικής, κατά τη διάρκεια του workshop του Άαχεν, ως εξής: «Το ένδοξο παρελθόν [του CERN] αποδεικνύει ξεκάθαρα την ανάγκη για πολλές διαφορετικές και συμπληρωματικές πειραματικές κατευθύνσεις», δεδομένου ότι «η ίδια η φύση της πειραματικής έρευνας δεν επιτρέπει να προβλεφθεί εκ των προτέρων το αποτέλεσμα οποιασδήποτε μεμονωμένης προσέγγισης.» (CERN 1990, 9)

Γ) Η συμβιωτική σχέση μεταξύ των κοινοτήτων ΦΥΕ και των επιταχυντών

Η δυναμική και η απήχηση κάθε κοινότητας ΦΥΕ ήταν στενά συνυφασμένες με τις δυνατότητες του επιταχυντή που διαχειριζόταν. Ένας «αδύναμος» επιταχυντής συχνά σήμαινε και μια «ασθενέστερη» κοινότητα. Αυτός ο ισχυρός δεσμός μεταξύ επιταχυντών και επιστημονικών κοινοτήτων εξηγεί γιατί οι Ευρωπαίοι, οι Αμερικανοί και, παλαιότερα, οι Σοβιετικοί φυσικοί σωματιδίων επιδόθηκαν σε ένα εξαιρετικά έντονο συναγωνισμό σχετικά με το ποιος θα κατασκευάσει πρώτος την επόμενη μεγάλη πειραματική μηχανή.

Όπως γίνεται αντιληπτό, σε αντίθεση με ένα στερεοτυπικό, άκαμπτο και μονολιθικό σχήμα που έχουμε συχνά στο μυαλό μας για να περιγράψουμε την επιστημονική διαδικασία, τα επιστημονικά όργανα δεν αποτελούν απλά το μέσο για να ελεγχθούν συγκεκριμένες προβλέψεις της θεωρίας. Σε πολλές περιπτώσεις, όπως αυτή του κλάδου της ΦΥΕ, αντί να είναι η θεραπαινίδα της θεωρίας και της πειραματικής διαδικασίας, έχουν τη δική τους δυναμική και αυτονομία, καθορίζοντας συχνά ακόμα και τη συνολική εξέλιξη του κλάδου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη συγκεκριμένη εργασία επεδίωξα να εξετάσω την έννοια της πρόβλεψης σε αλληλεξάρτηση με τα συγκεκριμένα ιστορικά πλαίσια μέσα στα οποία αυτή νοηματοδοτείται και χρησιμοποιείται, και όχι σαν να αποτελεί μέρος ενός ιδεατού και άχρονου πλατωνικού βασιλείου των ιδεών. Επιχείρησα να περιγράψω την έννοια της πρόβλεψης στη βάση του ιδιαίτερου ρόλου της στην καθημερινή πρακτική των επιστημόνων. Αυτή ακριβώς η εστίαση είναι που μας επιτρέπει να κατανοήσουμε τη μεταβαλλόμενη επιστημική της αξία και τον εξελισσόμενο χαρακτήρα της μέσα στον χρόνο.

Όπως αναλυτικά είδαμε, υπήρχε μια πολύ σημαντική διαφοροποίηση στον τρόπο με τον οποίο οι πειραματικοί φυσικοί εκλάμβαναν τις θεωρητικές προβλέψεις των ουδέτερων ρευμάτων, από τη μια πλευρά, και των μποζονίων W και Z, από την άλλη. Αυτή η διαφορά διαμόρφωσε εν πολλοίς και την εξέλιξη των δύο πειραμάτων, του Gargamelle και του UA1,

συμπεριλαμβανομένων της προσήλωσης τους στις προβλέψεις, του όγκου των δεδομένων που κρίθηκε απαραίτητο να συλλέξουν και να αναλύσουν, της αυστηρότητας των κριτηρίων για την αναγνώριση των «ενδιαφερόντων γεγονότων» ως ανακαλύψεων, και της συνακόλουθης συναίνεσης της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας γύρω από τα αποτελέσματά τους. Η ιστορία της «λανθασμένης» ανακάλυψης του top quark, μόλις λίγους μήνες μετά την ανακάλυψη των μποζονίων W και Z, είναι επίσης ενδεικτική.

Αν επιχειρούσαμε τώρα, στηριζόμενοι στις περιπτώσεις που αναλύσαμε, να κατηγοριοποιήσουμε τα κυριότερα κριτήρια, βάσει των οποίων αλλάζει η στάση της επιστημονικής κοινότητας των ΦΥΕ απέναντι στην έννοια της πρόβλεψης θα μπορούσαμε να καταλήξουμε στα εξής:

1. Η εμπιστοσύνη σε μια θεωρία και η πειραματική γονιμότητά της

Το ενδιαφέρον της πειραματικής κοινότητας για τη νέα ηλεκτρασθενή θεωρία ήταν εξαιρετικά περιορισμένο πριν από την επανακανονικοποίησή της το 1971, μιας και αδυνατούσε να προσφέρει συγκεκριμένες προβλέψεις. Αλλά ακόμη και μετά, ο έλεγχος της συγκεκριμένης θεωρίας δεν θα είχε καταστεί βασική προτεραιότητα της πειραματικής ατζέντας χωρίς τη δραστική συμβολή των θεωρητικών φυσικών, που κατόρθωσαν να πείσουν τους πειραματικούς συναδέλφους τους για τις προοπτικές που άνοιγε η νέα θεωρία. Η συνειδητοποίηση ότι το αναδυόμενο Καθιερωμένο Πρότυπο προσέφερε έναν συγκεκριμένο «οδικό χάρτη» προβλέψεων, εξαιρετικά πρόσφορο για μελλοντικά πειράματα και μια νέα σχέση μεταξύ πειράματος και θεωρίας, ήταν πολύ κρίσιμη για να στρέψει αρχικά το πειραματικό ενδιαφέρον προς τη νέα θεωρία. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας ήταν η εμπιστοσύνη που ανέπτυξαν σταδιακά οι πειραματικοί φυσικοί στη νέα θεωρία. Μία εμπιστοσύνη που άρχιζε να εδραιώνεται μετά την ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων, παίζοντας καθοριστικό ρόλο στον μετασχηματισμό της επιστημικής αξίας των προβλέψεων του ΚΠ.

2. Η εξοικείωση των πειραματιστών με τη θεωρία

Η αρχική έλλειψη βαθύτερης κατανόησης και εξοικείωσης των πειραματιστών με τη νέα ηλεκτρασθενή θεωρία αποτέλεσε μία σημαντική τροχοπέδη που δυσκόλεψε την εξαγωγή των «ενδιαφερόντων γεγονότων» από τον θόρυβο υποβάθρου στην περίπτωση των ουδέτερων ρευμάτων. Επιπλέον, αυτή η περιορισμένη ικανότητα πειραματικής αξιοποίησης των νέων θεωρητικών εννοιών ήταν κομβική για την ευρεία αμφισβήτηση και την καθυστερημένη υιοθέτηση των πειραματικών πορισμάτων εντός και εκτός της συνεργασίας του Gargamelle. Αντιθέτως, η αυξημένη εξοικείωση που απέκτησαν σταδιακά οι πειραματιστές με το θεωρητικό μοντέλο του ΚΠ, ήταν καταλυτική για την άμεση αποδοχή της ανακάλυψης των μποζονίων W και Z, ακόμα και αν αυτή βασιζόταν στη συλλογή και ανάλυση πολύ μικρότερου όγκου δεδομένων.

3. Η κρισιμότητα μιας πρόβλεψης

Όταν ο Perkins επισήμαινε ότι οι πειραματιστές υποδέχθηκαν την ανακάλυψη των μποζονίων W and Z «με ανακούφιση παρά με δυσπιστία», υπογράμμισε μια σημαντική αλλαγή στη συλλογική πειραματική προσέγγιση σε σχέση με την περίπτωση των ουδέτερων ρευμάτων. Αυτή η ειδοποιός διαφορά προέκυψε, μεταξύ άλλων, εξαιτίας του γεγονότος ότι η αποδοχή της ύπαρξης των ουδέτερων ρευμάτων συνδεόταν εγγενώς με την υιοθέτηση μιας νέας θεωρίας, ενός νέου παραδείγματος που θα εγκαινίαζε μια καινοτόμο σχέση ανάμεσα στη θεωρία και στο πείραμα. Αντίθετα, η ανακάλυψη των μποζονίων W και Z είχε πολύ διαφορετική βαρύτητα, καθώς λειτούργησε ως μια ακόμα επιβεβαίωση ενός θεωρητικού μοντέλου που είχε ήδη εδραιωθεί και είχε καθιερώσει μια συγκεκριμένη σχέση μεταξύ θεωρίας και πειράματος.

Μία ακόμη καίρια θέση που υποστηρίζεται σε αυτό το άρθρο αφορά τον ρόλο των θεωρητικών προβλέψεων στη διαμόρφωση του σχεδιασμού των επιταχυντών, οι οποίοι αποτελούν τα βασικά επιστημονικά όργανα της ΦΥΕ. Όπως ανέδειξε η περίπτωση του LHC, τα επιστημονικά όργανα στο συγκεκριμένο πλαίσιο δεν αποτελούν απλά ένα παθητικό συμπλήρωμα της επιστημονικής διαδικασίας. Αντίθετα, όχι μόνο έχουν τη δική τους δυναμική, αλλά και εξαιτίας των μοναδικών χαρακτηριστικών τους, ο σχεδιασμός τους παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητος από τις θεωρητικές προβλέψεις. Μάλιστα, η ανάδειξη αυτής της σχετικής αυτονομίας των επιταχυντών έρχεται να αμφισβητήσει την αντίληψη της επιστήμης ως μίας θεωρητικοκεντρικής κατασκευής και υπογραμμίζει την περίπλοκη και διαρκώς μεταβαλλόμενη ισορροπία μεταξύ των τριών αλληλένδετων διαστάσεων της σύγχρονης φυσικής: της θεωρίας, του πειράματος και των οργάνων.

Εάν αναγνωρίσουμε ότι η επιστημονική πρακτική είναι ένα σύστημα στο οποίο οι ρόλοι και οι δυναμικές μεταβάλλονται, τότε οι προβλέψεις μπορεί να θεωρηθούν ως ένα πολύτιμο εργαλείο για τον εντοπισμό αυτών των μετασχηματισμών, καθώς αποτελούν έναν σημαντικό κόμβο όπου συναντιούνται τα διάφορα επίπεδα της επιστημονικής δραστηριότητας. Για να διερευνήσουμε, ωστόσο, σε βάθος αυτόν τον πολύπλοκο κόμβο θα πρέπει να προχωρήσουμε πέρα από μια αφηρημένη θεώρηση της επιστήμης και να εμβαθύνουμε στις εσωτερικές της λειτουργίες, βυθίζοντας τους εαυτούς μας στον πολύπλοκο κόσμο της ιστορίας. Εκεί, στο «μηχανοστάσιο» της επιστήμης, οι πρακτικές, οι πεποιθήσεις, η άρρητη γνώση, οι προσωπικότητες των πρωταγωνιστών, οι χρηματοδοτήσεις, τα χρονοδιαγράμματα και ο ανταγωνισμός διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην εξέλιξή της - πτυχές που συχνά αποκρύπτονται όταν προσεγγίζουμε το επιστημονικό γίγνεσθαι από μια αποστασιοποιημένη από τις ιστορικές της διαστάσεις οπτική γωνία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] P. H. BEACHEMIN: "Autopsy of measurements with the ATLAS detector at the LHC", *Synthese* 194:2 (2017), 275-312.

- [2] S. G. BRUSH: *Making 20th Century Science: How Theories Became Knowledge*. Oxford, Oxford University Press, 2015.
- [3] M. CARRIER: “Prediction in context: On the comparative epistemic merit of predictive success”, *Studies in History and Philosophy of Science* 45 (2014), 97-102.
- [4] CERN: “Search for Top Quark Succeeds at CERN”, *CERN Press Release*, 4 July 1984, PR 07.84.
- [5] CERN: “The LHC”, *CERN Press Release*, PR. 24.89 (1989).
- [6] CERN: “Proceedings of the Large Hadron Collider Workshop”, Aachen, Germany, 4–9 October, CERN90–10 (1990).
- [7] CERN: “CERN Council Holds Special Session on the LHC Project”, *CERN Press Release*, 19 December 1991, PR 10.91.
- [8] M. CHALMERS: “Lessons from LEP: An interview with Herwig Schopper”, <https://cerncourier.com/a/lessons-from-lep/> (Accessed: 24 January 2022).
- [9] D. CUNDY & C. SUTTON: *Gargamelle: the tale of a giant discovery*, *CERN Courier* 49:7 (2009), 25-27.
- [10] P. DARRIULAT: “The W and Z Particles: A Personal Recollection”, *CERN Courier* 44:3 (2004).
- [11] L. DI LELLA & C. RUBBIA: “The Discovery of the W and Z Particles”, στο *60 Years of CERN Experiments and Discoveries*, επιμ. H. Schopper και L. Di Lella, Hackensack, NJ, World Scientific, 2015, 137–163.
- [12] H. DOUGLAS & P. D. MAGNUS: “State of the Field: Why Novel Predictions Matter”, *Studies in History and Philosophy of Science* 44 (2013), 580-589.
- [13] ECFA-CERN: “Workshop on Large Hadron Collider in the LEP Tunnel”, Proceedings, 21-27 March 1984, Lausanne, Switzerland, CERN-84-10-V-1 (1984).
- [14] H. FAISSNER: “Weak Neutral Currents Unveiled”, στο *New Phenomena in Lepton-Hadron Physics*, επιμ. D. E. C. Fries & J. Wess, NATO Advanced Study Institutes Series, 49 (1979), 371-432.
- [15] P. GALISON: “How the first neutral-current experiments ended”, *Rev. Mod. Phys.* 55 (1983), 477-506.
- [16] P. GALISON: *How Experiments End*. Chicago, University of Chicago Press, 1987.
- [17] P. GALISON: *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago, University of Chicago Press, 1997.
- [18] W. J. GONZALEZ: “Scientific Prediction in the Beginning of the “Historical Turn”: Stephen Toulmin and Thomas Kuhn”, *Open Journal of Philosophy* 3:2 (2013), 351-357.
- [19] D. HAIDT: “The discovery of the weak neutral currents”, *CERN Courier* 44:8 (2004), 21-24.
- [20] D. HAIDT: “The Discovery of Weak Neutral Currents”, στο *60 Years of CERN Experiments and Discoveries*, επιμ. H. Schopper & L. Di Lella, Hackensack, NJ, World Scientific, 2015, 137-163.
- [21] F. J. HASERT ET AL.: “Observation of Neutrino-Like Interactions Without Muon or Electron in the Gargamelle Neutrino Experiment”, *Phys. Lett.* 46B (1973), 138-140.
- [22] P. K. KABIR (επιμ.): *The Development of Weak Interaction Theory*. New York, Gordon and Breach, 1963.
- [23] K. KARACA: “A case study in experimental exploration: exploratory data selection at the Large Hadron Collider”, *Synthese* 194 (2017), 333–354.
- [24] J. KRIGE: “Distrust and Discovery: The Case of the Heavy Bosons at CERN”, *Isis* 92:3 (2001), 517–540.
- [25] L. LEDERMAN: “Conclusions and Future Perspectives”, στο *Proceedings of the Third Topical Workshop on Proton-Antiproton Collider Physics*, Rome, 12–14 January 1983, *CERN Yellow Report* 83–04, CERN-83–04 (1983).
- [26] R. NORTHCOTT: “Big data and prediction: Four case studies”, *Studies in History and Philosophy of Science* 81 (2020), 96-104.

- [27] A. PAIS & S. TREIMAN: “How Many Charm Quantum Numbers Are There?”, *Physical Review Letters* 35:23 (1975), 1556.
- [28] G. PANOUTSOPOULO & T. ARABATZIS: “CERN’s Balancing Act Between Unity and Disunity: The ‘Sister Experiments’ UA1 and UA2 and CERN’s First Nobel Prize”, *Phys. Perspect.* 23 (2021), 181–201.
- [29] G. PANOUTSOPOULOS & K. GAVROGLU: “From Big Science to Bigger Science: Preparing for the LHC”, στο *Big Science in the 21st Century: Economic and Societal Impacts*, επιμ. P. Charitos, T. Arabatzis, H. Cliff, G. Dissertori, J. Forneris, J. L. Yin, Bristol, IOP Publishing, 2023.
- [30] D. PERKINS: “Gargamelle and the Discovery of Neutral Currents”, στο *The Rise of the Standard Model: Particle Physics in the 1960s and 1970s*, επιμ. L. Hoddeson, L. Brown, M. Riordan, και M. Dresden, Cambridge, Cambridge University Press, 1997, 428–446.
- [31] D. PERKINS: “Neutral currents”, *CERN Courier* 43 (2003), 15-19.
- [32] A. PICKERING: “Against putting the phenomena first: The discovery of the weak neutral current”, *Studies in History and Philosophy of Science* 15:2 (1984a), 85–117.
- [33] A. PICKERING: *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Chicago, University of Chicago Press, 1984b.
- [34] W. SULLIVAN: “Physicists may have tracked last quark to lair”, *New York Times*, 25 June 1984.
- [35] K. STALEY: *The Evidence for the Top Quark: Objectivity and Bias in Collaborative Experimentation*. Cambridge, Cambridge University Press, 2004.
- [36] P. WATKINS: *Story of the W and Z*. Cambridge, Cambridge University Press.
- [37] S. WEINBERG: “The limits of reductionism”, *Nature* 331 (1988), 475–476.

Η ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ Η ΕΠΙΣΤΗΜΙΚΗ ΤΗΣ ΑΞΙΑ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΤΟΝ 19ο ΑΙΩΝΑ

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ. Το άρθρο αυτό εξετάζει την έννοια της πρόβλεψης στις φυσικές επιστήμες, κυρίως στη Βρετανία, τον 19ο αιώνα. Παρά το γεγονός ότι η πρόβλεψη θεωρείται θεμελιώδες στοιχείο της επιστήμης και η αξία της θεωρείται δεδομένη, στο άρθρο αυτό διερευνώνται η θέση και ο ρόλος της πρόβλεψης χωρίς να προϋποτίθεται η αναμφισβήτητη επιστημική της αξία. Παράλληλα, το άρθρο εξετάζει την πρόβλεψη σε διάφορα επιστημονικά πεδία, όπως αυτά της αστρονομίας, της φυσικής, της χημείας και της βιολογίας. Εκκινώντας από αυτά, στη συνέχεια το άρθρο εστιάζει σε δύο ζητήματα. Το πρώτο είναι η σχέση της μαθηματοποίησης και του υποθετικο-παραγωγικού προτύπου της επιστήμης με την πρόβλεψη. Το δεύτερο αφορά το ρεύμα του 'περιγραφισμού', όπως το ονομάζει ο ιστορικός της επιστήμης John Heilbron, στη φυσική του τέλους του 19ου αιώνα και το πώς επαναπροσδιόρισε την επιστημική αξία της πρόβλεψης στην επιστήμη.

ABSTRACT. This paper examines the concept of prediction in the natural sciences, primarily in Britain during the 19th century. Although prediction is considered a fundamental element of science and its value is often taken for granted, this article explores its role without presupposing its unquestionable epistemic value. Additionally, this paper examines prediction across various scientific fields, such as astronomy, physics, chemistry and biology. The paper then focuses on two key issues. The first is the relationship between mathematization, the hypothetico-deductive model of science, and prediction. The second concerns "descriptivism," as termed by the historian of science John Heilbron, in late 19th-century physics and how it redefined the epistemic value of prediction in science.

* Η ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ είναι Διδάκτωρ του Τμήματος Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και Εντεταλμένη Διδάσκουσα στο Π.Τ.Δ.Ε. του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η συγγραφέας θα ήθελε να εκφράσει την ευγνωμοσύνη της σε όλα τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του προγράμματος ΡΥΘΙΑ που με πολλαπλούς τρόπους συνέβαλαν στην παρούσα μελέτη. Ιδιαίτερα θα ήθελε να ευχαριστήσει τον Θ. Αραμπατζή και τον Ε. Αραποστάθη για τα εποικοδομητικά σχόλια και τις χρήσιμες υποδείξεις που συνέβαλαν στη βελτίωση του άρθρου, καθώς και για τη συνεχή υποστήριξη. Η ερευνητική αυτή εργασία υποστηρίχθηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ) στο πλαίσιο της Δράσης «1η Προκήρυξη Ερευνητικών Έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση των Μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας» (Αριθμός Έργου: 875).

1. Η ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Η πρόβλεψη συχνά θεωρείται αναπόσπαστο στοιχείο της επιστήμης, η επιστημική αξία του οποίου είναι αδιαμφισβήτητη. Με ανάλογο τρόπο αποτελεί κριτήριο για τις επιστημονικές θεωρίες, και τις κρίσεις επί αυτών, η ικανότητά τους να οδηγούν σε συγκεκριμένες προβλέψεις. Εντούτοις, αυτή η θεώρηση αδυνατεί να περιγράψει τη συνθετότητα του ρόλου της πρόβλεψης στην επιστήμη, τόσο μέσα στο χρόνο όσο και στα διάφορα επιστημονικά πεδία. Πέρα όμως από τη θέση και τον ρόλο της, ακόμα και η ίδια η έννοια της πρόβλεψης στην επιστήμη επανανοηματοδοτήθηκε στην ιστορική της διαδρομή.

Η πρόβλεψη στις φυσικές επιστήμες σπάνια αποτελεί θέμα από μόνη της στη φιλοσοφία και την ιστορία των επιστημών. Συχνά, η φιλοσοφική συζήτηση γύρω από το ζήτημα της πρόβλεψης στις φυσικές επιστήμες γίνεται με σημείο εκκίνησης τις θέσεις των Hempel και Oppenheim, οι οποίοι δημοσιεύουν το 1948, το άρθρο τους «Studies in the logic of explanation» στο οποίο υποστηρίζουν ότι υπάρχει μια συμμετρία ανάμεσα στην πρόβλεψη και την εξήγηση λόγω της ομοιότητας στη λογική δομή τους. Στις δεκαετίες του 1950 και του 1960 αρκετοί φιλόσοφοι της επιστήμης αντιπαρατέθηκαν με την άποψη αυτή, τονίζοντας ουσιαστικές διαφορές ανάμεσα στην εξήγηση και την πρόβλεψη, καταρρίπτοντας έτσι τη βασική θέση των Hempel και Oppenheim.¹

Εντούτοις, η σχέση της εξήγησης με την πρόβλεψη παραμένει ένα ανοιχτό φιλοσοφικό ζήτημα για την κοινότητα των ιστορικών και των φιλοσόφων της επιστήμης.² Κεντρικό σημείο αυτής της συζήτησης είναι κατά πόσο η πρόβλεψη μιας θεωρίας φέρει μεγαλύτερη επιστημική αξία σε σχέση με την εξήγηση φαινομένων που ήταν γνωστά όταν αυτή η θεωρία διαμορφώθηκε. Σε αυτή τη συζήτηση υπεισέρχονται παραδείγματα από τον δέκατο ένατο αιώνα, ενώ πολλές φορές γίνεται αναφορά στη διαμάχη του William Whewell και του John Stuart Mill για το ζήτημα της πρόβλεψης.

Πράγματι, οι δυο αυτοί φιλόσοφοι του δέκατου ένατου αιώνα, οι οποίοι είχαν διαφορετικές προσεγγίσεις για την επιστημονική μέθοδο εν

¹ Βλ. Scheffler 1957, Hanson 1959, Scriven 1959, Hanna 1969. Ο Scheffler καταρρίπτει τον ισχυρισμό των Hempel και Oppenheim, υποστηρίζοντας ότι μπορούμε να έχουμε προβλέψεις χωρίς εξηγήσεις και ότι οι εξηγήσεις οφείλουν να είναι αληθείς, ενώ οι προβλέψεις μπορεί και να μην είναι. Επίσης, για τον Scheffler, οι προβλέψεις μπορεί να γίνονται με ή χωρίς λογική βάση. Scheffler 1957, σελ. 293-298. Παραδείγματα προβλέψεων χωρίς λογική βάση είναι αυτές που δεν προκύπτουν από την επιστημονική μέθοδο και βασίζονται σε διαίσθηση ή προσωπικές πεποιθήσεις. Από την άλλη μεριά, ο Hanson αναφέρεται στο παράδειγμα της κβαντικής μηχανικής, υποστηρίζοντας ότι μπορεί να εξηγήσει μεμονωμένα γεγονότα, χωρίς να μπορεί να τα προβλέψει με ακριβή τρόπο. Ο Scriven αναφέρεται στο παράδειγμα της εξελικτικής βιολογίας όπου υπάρχει η εξήγηση χωρίς να υπάρχει αντίστοιχα πρόβλεψη. Βλ. και Douglas 2009.

² Βλ. Collins 1994, Scerri & Worrall 2001, Oreskes 2000, Barnes 2008, Brush 1989, Brush 2015.

γένει, είχαν αναφερθεί και στον ρόλο της πρόβλεψης στις φυσικές επιστήμες.³ Πιο συγκεκριμένα, ο Whewell, περιγράφοντας τις δοκιμασίες που πρέπει να περάσει μια θεωρία που έχει διαμορφωθεί επαγωγικά, αναφέρθηκε πρώτα στην πρόβλεψη, υποστηρίζοντας ταυτόχρονα ότι φέρει μεγαλύτερη επιστημική αξία η πρόβλεψη νέων φαινομένων σε σχέση με την εξήγηση ήδη γνωστών και ότι οι επιτυχημένες προβλέψεις είναι χαρακτηριστικό μόνο των αληθών θεωριών. Στη θέση του αυτή απάντησε ο Mill, υποστηρίζοντας ότι δεν υπάρχει μεγαλύτερο επιστημικό βάρος στις προβλέψεις σε σχέση με τις εξηγήσεις ήδη γνωστών φαινομένων, και ότι είναι απορίας άξιον πώς στοχαστές της επιστήμης μπορούν να αποδώσουν τέτοιο βάρος βασιζόμενοι σε μια σύμπτωση που αφορά τον χρόνο, ότι δηλαδή η πρόβλεψη προηγείται του φαινομένου ενώ η εξήγηση έπεται.⁴

Στην ανοιχτή φιλοσοφική συζήτηση που διεξάγεται έκτοτε, ιστορικοί και φιλόσοφοι της επιστήμης επιχειρηματολογούν για την αξία των προβλέψεων και ειδικά των νέων προβλέψεων στις φυσικές επιστήμες και τη σχέση τους με την εξήγηση ήδη γνωστών φαινομένων, φέρνοντας σε κάποιες περιπτώσεις – αν και όχι πολλές – παραδείγματα από τον δέκατο ένατο αιώνα.⁵

Ακόμα και σε αυτά τα λίγα συγκριτικά παραδείγματα από τον δέκατο ένατο αιώνα δεν υπάρχει ομοφωνία για τη θέση και το ρόλο της πρόβλεψης. Για παράδειγμα, ενώ ο Stephen Brush επιχειρηματολογεί ότι η εξήγηση ήδη γνωστών φαινομένων (accommodation) ήταν πιο σημαντική από την πρόβλεψη νέων για επιστημονικές θεωρίες όπως η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, όσον αφορά τον περιοδικό πίνακα του Mendeleev πιστεύει ότι η πρόβλεψη ήταν σημαντικός παράγοντας για την αποδοχή του, κάτι το οποίο αντικρούουν οι Scerri & Worrall.⁶

Έφερε όμως η πρόβλεψη πάντα το ίδιο επιστημικό βάρος; Και αντίστοιχα, η αξία που αποδιδόταν στην πρόβλεψη ήταν ίδια σε όλα τα πεδία των φυσικών επιστημών ή υπήρχαν διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις διαφορετικές επιστημονικές περιοχές; Ένα επιπλέον ερώτημα που οφείλει να απαντηθεί, αν και συχνά αποσιωπάται, αφορά την ίδια την έννοια της

³ Το ζήτημα του χαρακτηρισμού των μεθοδολογικών προσεγγίσεων των Mill και Whewell, που συχνά αποδίδεται με το δίπολο επαγωγισμού – υποθετικο-επαγωγισμού είναι αρκετά περίπλοκο. Βλ. και το λήμμα των Hepburn & Andersen για την επιστημονική μέθοδο στην *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.

⁴ Το ζήτημα της πρόβλεψης δεν ήταν το κεντρικό σημείο της διαφωνίας του Whewell με τον Mill για την επιστημονική μέθοδο. Για τη διαμάχη τους βλ. και Strong 1955, Menke 2018.

⁵ Η πρόβλεψη δεν είναι απαραίτητο να έχει χρονικό χαρακτήρα. Πολλοί φιλόσοφοι και ιστορικοί της επιστήμης χρησιμοποιούν τον όρο «νέα πρόβλεψη» (novel prediction) για να τονίσουν το χρονικό χαρακτήρα της πρόβλεψης. Η θέση ότι η πρόβλεψη είναι πιο σημαντική για την αξιολόγηση των επιστημονικών θεωριών από την εξήγηση και την τοποθέτηση εντός ενός πλαισίου (accommodation) είναι γνωστή ως *predictivism*. Βλ. Scerri 2005, Worrall 2005, Barnes 2005, Barnes 2008, Brush 2007, Brush 2015.

⁶ Βλ. Brush 1989, Brush 1996, Scerri & Worrall 2001.

πρόβλεψης και τις αλλαγές στη νοηματοδότηση αυτού του όρου μέσα στο χρόνο.

2. Η ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΤΟΝ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ ΑΙΩΝΑ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η πρόβλεψη (όπως και η εξήγηση) επανανοηματοδοτήθηκε στην ιστορική της διαδρομή. Τον δέκατο ένατο αιώνα, και πιο συγκεκριμένα στη βικτωριανή Αγγλία, στην οποία θα εστιάσουμε σε αυτό το άρθρο, υπήρχε μια ταύτιση της πρόβλεψης (prediction) με την προφητεία (prophecy). Αυτή τη σύνθετη ταύτιση της πρόβλεψης με την προφητεία στη βικτωριανή κουλτούρα την περιγράφει αναλυτικά στο βιβλίο της η Katharine Anderson, η οποία εστιάζει στην πρόβλεψη στη μετεωρολογία.⁷

Σύμφωνα με την Anderson, η έννοια της πρόβλεψης επανακαθορίστηκε από τους επιστήμονες του δέκατου ένατου αιώνα και συνδέθηκε με την επιστημονική μέθοδο, την οποία εκείνοι προσπάθησαν να καθιερώσουν ως τη μόνη αξιόπιστη για την παραγωγή επιστημονικής γνώσης. Έτσι η επανανοηματοδότηση της πρόβλεψης ήταν και ένας τρόπος διάκρισης της επιστήμης τους από την αστρολογία ή τη θεολογία.⁸

Συνεπώς, η πρόβλεψη δεν είχε πάντα την επιστημική αξία που σήμερα της αποδίδεται, ενώ, όπως χαρακτηριστικά αναφέρει και η Anderson, τον δέκατο ένατο αιώνα μια πρόβλεψη μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά τη φήμη ενός επιστήμονα ή να κλονίσει το επιστημονικό του κύρος και αυτός ήταν ένας λόγος που κάποιοι επιστήμονες δεν έπαιρναν το ρίσκο να κάνουν προβλέψεις.⁹

Η πρόβλεψη λοιπόν επανανοηματοδοτήθηκε και συνδέθηκε, όπως ήδη αναφέρθηκε, με την επιστημονική μέθοδο τον δέκατο ένατο αιώνα. Ο William Stanley Jevons (1835-1882), ο Άγγλος οικονομολόγος και φιλόσοφος, ο οποίος ασχολήθηκε εκτός των άλλων και με την επιστημονική μέθοδο, στο έργο του *The Principles of Science: A Treatise on Logic and Scientific Method*, το οποίο δημοσιεύτηκε το 1874, αποδίδει ιδιαίτερη αξία στην πρόβλεψη στις φυσικές επιστήμες, ακολουθώντας την ίδια συλλογιστική με τον Whewell. Η πρόβλεψη νέων φαινομένων ήταν και για εκείνον χαρακτηριστικό μόνο των αληθών θεωριών.

Ο Jevons κατηγοριοποίησε τη γνώση σε τέσσερα διαφορετικά είδη, κάνοντας λόγο για εμπειρική γνώση που απορρέει από ασύνδετα γεγονότα, «επεξηγημένη» (explained) ή «γενικευμένη» (generalised) γνώση γεγονότων που έχουν παρατηρηθεί και στη συνέχεια συνδεθεί μεταξύ τους μέσω μιας γενικότερης υπόθεσης, γνώση γεγονότων (μικρού αριθμού αλλά με μεγάλη σημασία για εκείνον) που προέβλεψε μια θεωρία και μετά επιβεβαιώθηκαν πειραματικά και τέλος γνώση φαινομένων μόνο σε θεωρητικό

⁷ Anderson 2005.

⁸ Βλ. Anderson 2005, 2ο κεφάλαιο. Για την εναλλαξιμότητα των όρων 'πρόβλεψη' και 'προφητεία' τον δέκατο ένατο αιώνα, βλ. και Pietruska 2017.

⁹ Anderson 2005, σελ. 40. Η Anderson αναφέρεται κυρίως στις μετεωρολογικές προβλέψεις που είναι και το θέμα του βιβλίου της.

επίπεδο που δεν μπορεί να επαληθευθεί πειραματικά (τουλάχιστον με τα μέσα της εποχής).¹⁰

Η κατηγοριοποίηση της γνώσης από τον Jevons δείχνει πρόδηλα την εξέχουσα θέση της πρόβλεψης στη δική του οπτική. Όπως άλλωστε αναφέρει, “δεν υπάρχει πιο πειστική απόδειξη για την ορθότητα της επιστημονικής γνώσης από το ότι δίνει το χάρισμα της πρόβλεψης”.¹¹

Παράλληλα, ο Jevons στάθηκε σε σημαντικές περιπτώσεις προβλέψεων στις φυσικές επιστήμες. Όπως χαρακτηριστικά σημείωσε στο βιβλίο του, οι πρώτες προβλέψεις ανήκαν στο πεδίο της αστρονομίας, ενώ έπειτα έκανε ιδιαίτερη αναφορά στις προβλέψεις στην περιοχή της φυσικής, και πιο συγκεκριμένα στην οπτική, επισημαίνοντας ότι “στη συνέχεια, μετά την αστρονομία, η επιστήμη της φυσικής οπτικής παρουσίασε τις πιο όμορφες και πρώιμες περιπτώσεις της προφητικής δύναμης της σωστής θεωρίας.”¹²

Ο Jevons επικεντρώθηκε ιδιαίτερα στις προβλέψεις του Fresnel. Η κηλίδα του Fresnel είναι το φωτεινό σημείο που εμφανίζεται στο κέντρο της σκιάς ενός κυκλικού αντικειμένου, το οποίο φωτίζεται από μια φωτεινή πηγή. Η κηλίδα του Fresnel έχει γίνει αρκετά γνωστή στην ιστορία της επιστήμης και αυτό γιατί η πρόβλεψή της από τη θεωρία του Fresnel για την περίθλαση, βασισμένη στην κυματική φύση του φωτός, αποτέλεσε αντικείμενο πειραμάτων από τον Poisson και τον Arago για την απονομή του βραβείου της Γαλλικής Ακαδημίας το 1819. Έπειτα από την πειραματική επιβεβαίωση ο Fresnel τιμήθηκε με το βραβείο και αποτελεί θέμα συζήτησης των ιστορικών, αφενός, ο ρόλος αυτής της πρόβλεψης στην απόδοση του βραβείου στον Fresnel και, αφετέρου, η σημασία αυτής της πρόβλεψης και της πειραματικής της επιβεβαίωσης γενικότερα στην αποδοχή της κυματικής φύσης του φωτός.

Ο Jevons εστίασε και σε άλλα, μεταγενέστερα, παραδείγματα από τη φυσική, ενώ για τη χημεία επισήμανε ότι ενώ ήταν εν πολλοίς εμπειρική επιστήμη, εντούτοις έχει και αυτή να επιδείξει “προφητικούς θριάμβους.”¹³ Αξίζει εδώ να αναφερθούν δυο σημεία. Το πρώτο από αυτά έχει να κάνει με το γεγονός ότι η επιστημονική μέθοδος για τον Jevons δεν είναι αυτή που περιγράφεται από τον Bacon, δηλαδή η επαγωγή, αλλά ένας συνδυασμός επαγωγής και παραγωγής. Ο Jevons θεωρούσε ότι στην εποχή του μια σειρά φαινομένων και γεγονότων μπορούσαν να προκύψουν από την εφαρμογή θεμελιωδών αρχών ή υποθέσεων με παραγωγικό (deductive) τρόπο.¹⁴

¹⁰ Jevons 1874, τόμος II, σελ. 157.

¹¹ “There is no more convincing proof of the soundness of scientific knowledge than that it thus confers the gift of foresight.” Αυτ., σελ. 170.

¹² “Next after astronomy the science of physical optics has furnished the most beautiful and early instances of the prophetic power of correct theory.” Jevons 1874, τόμος II, σελ. 173.

¹³ Jevons 1874, σελ. 181.

¹⁴ Jevons 1874, σελ. 180.

Το δεύτερο σημείο έχει να κάνει με το έργο του στην οικονομική επιστήμη. Ο Jevons υποστήριζε ότι η μαθηματικοποίηση της οικονομικής θεωρίας ήταν εκείνο το απαραίτητο στοιχείο που έπρεπε να εισαχθεί ώστε η οικονομική θεωρία να γίνει επιστήμη.¹⁵

Φαίνεται λοιπόν ότι η μαθηματικοποίηση και η διατύπωση αρχών ή υποθέσεων συμπλέει με την ιδιαίτερη επιστημική αξία που ο Jevons αποδίδει στην πρόβλεψη. Η ιστορικός της επιστήμης Naomi Oreskes υποστηρίζει ότι η άνοδος του υποθετικο-παραγωγικού μοντέλου στην επιστήμη τον εικοστό αιώνα, είχε τεράστιο αντίκτυπο στο ρόλο της πρόβλεψης. Όπως σημειώνει:

Το υποθετικό-παραγωγικό μοντέλο της επιστήμης ανέβασε έτσι την πρόβλεψη σε μια εξυψωμένη θέση. Επειδή οι υποθέσεις προηγούνται της παρατήρησης - και επομένως μπορεί να δημιουργηθούν εντελώς ανεξάρτητα από αυτήν - ο μόνος τρόπος για να γνωρίζουμε εάν μια υπόθεση είναι καλή είναι να την ελέγξουμε μέσω των λογικών της προβλέψεων.¹⁶

Η Oreskes τονίζει ότι τον δέκατο ένατο αιώνα η κατάσταση ήταν πολύ διαφορετική και η πρόβλεψη δεν είχε κατά κανόνα προεξέχουσα θέση. Ωστόσο, οι θέσεις των Whewell και Jevons δείχνουν ότι ακόμα και οι πρώιμοι υποστηρικτές αυτού του μοντέλου για την επιστήμη απέδιδαν ιδιαίτερη αξία στην πρόβλεψη.

Από την άλλη μεριά, από τα λεγόμενα του Jevons προκύπτει μια διαφοροποίηση της θέσης και του ρόλου της πρόβλεψης εντός των διάφορων περιοχών των φυσικών επιστημών κατά τη διάρκεια του δέκατου ένατου αιώνα. Όντως, ο ρόλος της πρόβλεψης στην επιστήμη και η επιστημική αξία που είχε τον δέκατο ένατο αιώνα διαφοροποιήθηκε στα διάφορα επιστημονικά πεδία, όπως εκείνα της αστρονομίας, της φυσικής, της χημείας, της βιολογίας και της γεωλογίας. Όπως υποστηρίζει η Oreskes,¹⁷ στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, η πρόβλεψη ήταν κεντρική στην αστρονομία, τη φυσική και τη χημεία, ενώ αντίθετα αυτό δεν συνέβαινε στη βιολογία ή στις επιστήμες της γης. Ο λόγος αυτής διαφοροποίησης, σύμφωνα με την Oreskes, ήταν η φύση των επιστημών αυτών και η ύπαρξη προβλεπτικών νόμων στα αντίστοιχα πεδία.

Πιο συγκεκριμένα, η Oreskes υποστηρίζει ότι τα αντικείμενα μελέτης της αστρονομίας, της φυσικής και της χημείας έχουν επαναλαμβανόμενα μοτίβα και γεγονότα και ήδη από τις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα είχαν καλά ανεπτυγμένους προβλεπτικούς νόμους για τη συμπεριφορά

¹⁵ Βλ. και Schabas 1984.

¹⁶ "The hypothetico-deductive model of science thus elevated prediction to an exalted position. Because hypotheses precede observation - and therefore may be generated entirely independently of it - the only way to know if a hypothesis is any good is to test it through its logical predictions." Oreskes 2000, σελ. 31.

¹⁷ Oreskes 2000.

αυτών των αντικειμένων, κάτι που δεν ίσχυε στη βιολογία ή τη γεωλογία.¹⁸

Το παράδειγμα της εξελικτικής βιολογίας που μπορεί να εξηγήσει φαινόμενα και αλλαγές που έχουν ήδη λάβει χώρα, αλλά την ίδια ώρα αδυνατεί να προβλέψει ο,τιδήποτε για το μέλλον είναι χαρακτηριστικό για τη συζήτηση περί πρόβλεψης και της επιστημικής αξίας της. Η θεωρία του Δαρβίνου είναι ένα παράδειγμα θεωρίας που η αξία της κρίνεται μόνο στην εξήγηση, ενώ παράλληλα είναι ενδεικτική περίπτωση της ασυμμετρίας μεταξύ εξήγησης και πρόβλεψης. Το γεγονός, δηλαδή, ότι μια θεωρία μπορεί να εξηγήσει ένα φαινόμενο δεν σημαίνει απαραίτητα ότι μπορεί να το προβλέψει και αντιστρόφως.¹⁹

Από την άλλη μεριά, οι Eric Scerri και John Worrall τονίζουν μια διαφορά μεταξύ της φυσικής και της χημείας σε σχέση με την πρόβλεψη, βασιζόμενοι σε δυο περιπτώσεις, αυτή της κηλίδας του Fresnel και του περιοδικού πίνακα του Mendeleev.²⁰ Η ειδοποιός διαφορά έχει να κάνει με τη μαθηματικοποίηση του κάθε πεδίου.

Οι Scerri και Worrall υποστηρίζουν ότι στην περίπτωση της κηλίδας του Fresnel, όπως και σε πολλές άλλες περιπτώσεις στη φυσική, υπήρχε “μια πολύ καθορισμένη μαθηματικά παραγόμενη συνεπαγωγή από μια ακριβή θεωρία,”²¹ ενώ στη χημεία υπήρχε ένα “γενικό και περισσότερο χαλαρό πλαίσιο”²² εντός του οποίου τοποθετείται και το έργο του Mendeleev.

Υπό αυτό το πρίσμα, οι Scerri και Worrall υποστηρίζουν ότι η θεωρία του Fresnel κατέληγε σε πολύ “ακριβείς γενόμενες υπό όρους προβλέψεις,”²³ ενώ στον περιοδικό πίνακα του Mendeleev στην καλύτερη περίπτωση είχε να κάνει κανείς “με μια άμεση και όχι υπό όρους προφητεία”,²⁴ ότι δηλαδή υπήρχαν και άλλα στοιχεία που μπορούσαν να βρεθούν. Επίσης, ο Scerri έχει αλλού υποστηρίξει ότι εάν η πρόβλεψη είναι λιγότερο συγκεκριμένη και δεν είναι διατυπωμένη με μαθηματικούς όρους, τότε δεν έχει τέτοιο αντίκτυπο στη φαντασία των επιστημόνων και σε αυτό αποδίδει τη διαφορετική θέση της πρόβλεψης στη φυσική από τη χημεία.²⁵

Αυτή η άποψη, δηλαδή, ότι η φύση της επιστήμης και η μαθηματικοποίηση της με την ύπαρξη ποσοτικών προβλεπτικών νόμων είναι σημαντική

¹⁸ Βλ. Oreskes 2000, σελ. 29.

¹⁹ Βλ. και Scriven 1959.

²⁰ Τις περιπτώσεις αυτές, της κηλίδας του Fresnel και του περιοδικού πίνακα του Mendeleev, τις έχουν μελετήσει αναλυτικά στα άρθρα τους οι Worrall 1989 και Scerri & Worrall 2001 αντίστοιχα. Η σημασία της για την εδραίωση της κυματικής φύσης του φωτός έχει συζητηθεί από πολλούς επιστήμονες και ιστορικούς της επιστήμης. Βλ. E.T. Whittaker 1951, Kuhn 1962, Worrall 1989.

²¹ “a very definite mathematically derived entailment from a precise theory,” Scerri & Worrall 2001, σελ. 440.

²² “a general and rather loose framework,” Αυτ., σελ. 440.

²³ “precise conditional predictions,” Αυτ., σελ. 440.

²⁴ “a direct non-conditional prophecy,” Αυτ., σελ. 440.

²⁵ Βλ. Scerri 1996.

για τη θέση και το ρόλο της πρόβλεψης σε αυτή, δεν έχει εκφραστεί μόνο από ιστορικούς της επιστήμης, αλλά και από τα ίδια τα δρώντα υποκείμενα. Ο Sir George Biddell Airy, ο φημισμένος μαθηματικός και αστρονόμος που επί πολλά χρόνια υπήρξε ο Βασιλικός Αστρονόμος,²⁶ στο βιβλίο του *Tides and Waves*, το οποίο δημοσιεύτηκε το 1845, ανέφερε χαρακτηριστικά για τις θεωρίες που εξηγούν τις παλίρροιες και τις αντίστοιχες προβλέψεις.

Πριν εισέλθουμε σε οποιαδήποτε από τις θεωρίες που εξηγούν τις Παλίρροιες, πρέπει να αναφερθούμε στην ανεπάρκειά τους, ίσως όχι στην εξήγηση των γεγονότων που έχουν ήδη παρατηρηθεί, αλλά σίγουρα στην πρόβλεψη νέων. Αυτή η ανεπάρκεια δεν φαίνεται να προκύπτει από κανένα ελάττωμα στις αρχές στις οποίες βασίζεται η θεωρία, (αν και ίσως η άγνοιά μας για τους νόμους της τριβής μεταξύ των σωματιδίων του νερού και μεταξύ του νερού και των πλευρών των καναλιών που το περιέχουν μπορεί να θεωρείται αποτυχία αυτού του είδους), αλλά από την εξαιρετική δυσκολία της μαθηματικής διερεύνησης των κινήσεων των ρευστών κάτω από όλες τις διάφορες συνθήκες στις οποίες βρίσκονται τα νερά της θάλασσας και των ποταμών.²⁷

Όπως φαίνεται από το παραπάνω απόσπασμα, ο Airy συνέδεσε με άμεσο τρόπο την έλλειψη προβλέψεων σε σχέση με τις παλίρροιες με τη δυσκολία της μαθηματικής διερεύνησης των κινήσεων των ρευστών στις δεδομένες συνθήκες. Ένας καλά εδραιωμένος νόμος, μαζί με τη μαθηματική του διατύπωση που μπορεί να περιγράψει ένα φαινόμενο (στη συνθετότητά του), μπορεί να οδηγήσει στις αντίστοιχες προβλέψεις. Η αντίστοιχη έλλειψη ενός μαθηματικού νόμου ή η δυσκολία εφαρμογής λόγω συνθετότητας είναι ανασχετικός παράγοντας για μια επιστημονική πρόβλεψη. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι στα κύρια πεδία των ενδιαφερόντων του Airy υπήρχαν προβλεπτικοί νόμοι για αρκετά από τα φαινόμενα που μελετούσαν, και συνεπώς η σύγκριση με τη μελέτη των παλιρροιών και τις αντίστοιχες προβλέψεις ήταν άμεση στη δική του οπτική.

Ο John Henry Poynting, ο Άγγλος φυσικός που έμεινε κυρίως γνωστός για το ομώνυμο διάνυσμα στη φυσική, περιέγραψε τις τάσεις των

²⁶ Ο Airy κατείχε αυτή τη θέση από το 1835 ως το 1881.

²⁷ “Before entering upon either of the theories explaining the Tides, we must allude to their inadequacy, perhaps not to the explanation of the facts already observed, but certainly to the prediction of new ones. This inadequacy does not appear to arise from any defect in the principles upon which the theory is based, (although perhaps our ignorance of the laws of friction among the particles of water, and between water and the sides of the channels which contain it may be considered a failure of this kind,) but from the extreme difficulty of investigating mathematically the motions of fluids under all various circumstances in which the waters of the sea and of the rivers are found.” Airy 1845, σελ. 243. Έμφραση όπως στο πρωτότυπο.

φυσικών σε σχέση με τους νόμους, την εξήγηση και την πρόβλεψη, στην ομιλία του στον τομέα Μαθηματικών και Φυσικής της 69ης συνεδρίασης της British Association for the Advancement of Science, που διεξήχθη στο Dover το Σεπτέμβριο του 1899.

Στην αρχή της ομιλίας του ο Poynting σχολιάζει το γεγονός ότι οι φυσικοί έχουν φτάσει σε ένα σημείο σύγκλισης ως προς τη θεώρηση τους για τους νόμους, τις εξηγήσεις και τις υποθέσεις που κάνουν. Σύμφωνα με εκείνον, οι νόμοι της φύσης είναι “σύντομες περιγραφές των παρατηρούμενων ομοιοτήτων”.²⁸ Η θέση του για την επιστημονική μέθοδο που εδράζεται στις ομοιότητες περιγράφεται από τον ίδιο ως εξής:

[Αλλά] οι παρατηρούμενες ομοιότητες μας επιτρέπουν να ταξινομήσουμε ένα μεγάλο αριθμό γεγονότων μαζί, να δώσουμε γενικές περιγραφές και πράγματι να φτιάξουμε αντί για κατάλογο, ένα ευανάγνωστο βιβλίο επιστήμης, με νόμους ως τίτλους των κεφαλαίων.²⁹

Ο Poynting αναφέρει ότι οι νόμοι θεωρούνταν παλιά “σταθεροί νόμοι της φύσης,” ενώ στην εποχή εκείνη ήταν “απλές περιγραφές.”³⁰ Για τον Poynting, η παραδοχή ότι οι ομοιότητες του μέλλοντος είναι ίδιες με του παρελθόντος είναι αυτό που επιτρέπει τις προβλέψεις από μεριάς των επιστημόνων. Η βασική θέση του Poynting είναι ότι η φυσική και οι νόμοι της στοχεύουν στην περιγραφή και την πρόβλεψη. Χρησιμοποιώντας τις υποθέσεις των ατόμων ή του αιθέρα, υποστηρίζει ότι “για έναν αυστηρά περιγραφικό φυσικό η μόνη τους χρήση και ενδιαφέρον θα ήταν η υπηρεσία τους στην πρόβλεψη των αλλαγών που πρόκειται να συμβούν στη χονδροειδή ύλη.”³¹

Όσο για την εξήγηση, η τοποθέτηση του Poynting είναι ιδιαίτερα διαφορετική για τη δική του οπτική γωνία επί του θέματος

Ταυτόχρονα με την αλλαγή στην αντίληψή μας για τον φυσικό νόμο, επήλθε μια αλλαγή στην αντίληψή μας για τη φυσική εξήγηση. [...] Από καθαρά φυσική ή περιγραφική άποψη, η ιδέα της αιτίας είναι εντελώς άτοπη. Στην περιγραφή μας απασχολεί αποκλειστικά το “πώς” των πραγμάτων και το “γιατί” τους το αφήνουμε σκόπιμα εκτός μελέτης. Εξηγούμε ένα γεγονός όχι όταν ξέρουμε το “γιατί” συνέβη, αλλά όταν ξέρουμε “πώς” είναι σαν κάτι άλλο το

²⁸ “brief descriptions of observed similarities,” Poynting 1899, σελ. 386.

²⁹ “But the similarities observed enable us to class large numbers of events together, to give general descriptions, and indeed to make instead of a directory, a readable book of science, with laws as the headings of the chapters,” Poynting 1899, σελ. 386.

³⁰ “Fixed Laws of Nature” και “mere descriptions” οι όροι που χρησιμοποιεί ο Poynting. Βλ. Αυτ., σελ. 386.

³¹ “To a strictly descriptive physicist their only use and interest would lie in their service in prediction of the changes which are to take place in gross matter.” Αυτ., σελ. 391.

οποίο συμβαίνει αλλού ή άλλοτε - όταν στην πραγματικότητα μπορούμε να το συμπεριλάβουμε ως περίπτωση που περιγράφεται από κάποιον νόμο που έχει ήδη προταθεί.³²

Αμέσως παρακάτω ο Poynting υποστηρίζει ότι σκοπός της εξήγησης είναι η μείωση του αριθμού των φυσικών νόμων, δείχνοντας ότι αρχικά διαφορετικοί νόμοι μπορούν να ενοποιηθούν σε έναν. Συνεπώς, για τον Poynting υπάρχει μια σαφής εννοιολογική αλλαγή του τι σημαίνει “εξήγηση” ή “νόμος.” Αυτή η μετατόπιση που απομάκρυνε τους φυσικούς από την αιτία και περιόρισε το σκοπό της επιστήμης στην περιγραφή και την πρόβλεψη είναι κομβικής σημασίας για την κατανόηση της θέσης του Poynting και της εποχής.³³

Η ανάδυση αυτού του ρεύματος σκέψης στους φυσικούς έχει μελετηθεί από τον John Heilbron στο άρθρο του «Fin-De-Siecle Physics». Σε αυτό το άρθρο ο Heilbron υποστηρίζει ότι στο τέλος του δέκατου αιώνα, είχε επικρατήσει ο “περιγραφισμός” (“descriptionism”), τουλάχιστον στη ρητορική των φυσικών της εποχής, χαρακτηριστικά δείγματα της οποίας ήταν οι λόγοι στις επιστημονικές ενώσεις και κοινότητες όπως της British Association for the Advancement of Science και της American Association for the Advancement of Science. Για τον Heilbron, αυτή η επικράτηση είχε να κάνει με την προσπάθεια των φυσικών να εξασφαλίσουν τόσο την εσωτερική (στο πεδίο τους) συναίνεση όσο και τη θέση τους στην κοινωνία. Χωρίς εδώ να υιοθετείται η θέση ότι ο περιγραφισμός είχε επικρατήσει στα τέλη του 19ου αιώνα, αυτό που έχει σημασία είναι η θέση και ο ρόλος της πρόβλεψης στη ρητορική των φυσικών που εντάσσονται σε αυτό το ρεύμα.

Ο Heilbron τονίζει ότι είναι εκτός του πεδίου της δικής του έρευνας σε πιο βαθμό όντως οι επιστήμονες πίστευαν πλήρως όσα δημόσια υποστήριζαν. Επιπλέον, κάνει την ενδιαφέρουσα επισήμανση ότι οι φυσικοί αναφέρονταν σε επιστημολογικά θέματα μόνο στις καλά προετοιμασμένες δημόσιες τοποθετήσεις τους, ενώ στην πειραματική τους πρακτική δεν υπεισέρχονταν σε τέτοιου είδους θέματα.

Σύμφωνα λοιπόν με τον Heilbron, ενώ οι φυσικοί τη δεκαετία του 1870 υπερασπίζονταν την άποψη ότι “η επιστήμη τους αναζητούσε την αλήθεια με τη μορφή αμετάβλητων αρχών,”³⁴ στο γύρισμα του αιώνα αυτό είχε αλλάξει και οι φυσικοί είχαν αποσυρθεί από τα μεγάλα ερωτήματα

³² “Concurrently with the change in our conception of physical law has come a change in our conception of physical explanation. [...] On the purely physical or descriptive view, the idea of cause is quite out of place. In description we are solely concerned with “how” of things and their “why” we purposely leave out of account. We explain an event not when we know “why” it happened, but when we know “how” it is like something else happening elsewhere or otherwhen - when, in fact we can include it as a case described by some law already set forth.” Αυτ., σελ. 388.

³³ Σε αυτό το άρθρο ο Heilbron ακολουθεί τον Paul Forman και τοποθετεί τον “περιγραφισμό” στο πολιτιστικό του περιβάλλον. Βλ. και Staley 2008.

³⁴ Heilbron 1982, σελ. 52.

με μια ταυτόχρονη οπισθοχώρηση όσον αφορά την αλήθεια των θεωριών τους. Με τον όρο ομπρέλα “περιγραφισμός” ο Heilbron καλύπτει τον ελάχιστο κοινό παρονομαστή του νομιναλισμού, της συμβασιοκρατίας, του οπερασιοναλισμού, κ.α., όπως ο ίδιος αναφέρει στο άρθρο του.

Ο Heilbron περιγράφει έτσι την *laissez-faire* φυσική των Βρετανών που ήταν αποδεσμεύμενοι από την αλήθεια.³⁵ Στους υποστηρικτές αυτής της περιγραφικής μεθόδου, ο Heilbron συγκαταλέγει τόσο τον Poynting όσο και τον Arthur Schuster, ο οποίος υποστήριζε ότι η υπερβολική σαφήνεια στις φυσικές μελέτες μπορεί να είναι επιζήμια.³⁶

Ο Sir Franz Arthur Friedrich Schuster, διάσημος φυσικός του δέκατου ένατου αιώνα που ασχολήθηκε κυρίως με τη φασματοσκοπία, αλλά και με πολλές άλλες περιοχές της φυσικής, και ο οποίος εκτός των άλλων συνεργάστηκε και με τον Lord Rayleigh στον καθορισμό του Ohm, φαίνεται να ακολουθεί την ίδια συλλογιστική πορεία, δεκαετίες αργότερα, όταν περιγράφει τους κοινούς σκοπούς της επιστήμης και της ανθρωπότητας, στην προεδρική του ομιλία στην 85η συνεδρίαση της British Association for the Advancement of Science που διεξάγεται στο Μάντσεστερ στις 7-11 Σεπτεμβρίου του 1915.³⁷

Σε αυτή την ομιλία, ο Schuster ξεκινάει περιγράφοντας τις διαφορετικές κοινότητες των επιστημόνων, των καλλιτεχνών, των επιχειρηματιών και των φιλοσόφων με τα διαφορετικά, αλλά και αντικρουόμενα πολλές φορές, συμφέροντά τους, προσπαθώντας να βρει το κοινό νήμα που συνδέει τους σκοπούς και τα βαθύτερα αισθήματα που μοιράζονται τα μέλη αυτών των κοινοτήτων. Καταλήγει έτσι στο συμπέρασμα ότι σε ένα βαθύτερο επίπεδο υπάρχουν περισσότερες συγκλίσεις παρά διαφορές και στη συνέχεια προσπαθεί να στοιχειοθετήσει πιο συγκεκριμένα τη σύμπλευση των σκοπών της επιστήμης και της βιομηχανίας.

Στην ομιλία του αυτή, ο Schuster προσπάθησε να σταθεί και να περιγράψει τα κίνητρα των επιστημόνων, εστιάζοντας στις διανοητικές προκλήσεις και ικανοποιήσεις που λαμβάνουν αντίστοιχα όσο και στις επικλήσεις που κάνουν στο συναίσθημα. Εντούτοις, ο Schuster υποστήριξε ότι δεν υπάρχουν εγγενείς ιδιαιτερότητες στον επιστημονικό νου.³⁸ Αυτή η θέση του είναι κομβικής σημασίας, καθώς είναι η βάση πάνω στην οποία αναζητεί τα κίνητρα των επιστημόνων. Από αυτή τη σκοπιά υπερασπίζεται ότι είναι λάθος να θεωρούνται αυτά τα κίνητρα ως ανώτερου επιπέδου σε σχέση με την υπόλοιπη ανθρωπότητα.

Ο Schuster αναφέρεται στην επιστημονική μέθοδο ως εκείνη τη μέθοδο που οδηγεί στα σωστά αποτελέσματα και η οποία επιτυγχάνεται μέσα από την επιστημονική εκπαίδευση και κατάρτιση. Στη συνέχεια, ο Schuster αναφέρεται και στον ρόλο της πρόβλεψης στην επιστήμη. Όπως

³⁵ Βλ. Αυτ., σελ. 54.

³⁶ Βλ. Αυτ., σελ. 54.

³⁷ Schuster 1915.

³⁸ Αυτ., σελ. 403-405.

χαρακτηριστικά αναφέρει, “αν αναγκαζόταν να κάνει μια επιλογή, το αντικείμενο της επιστήμης είναι να προβλέπει το μέλλον.”³⁹

Ο ίδιος εξηγεί ότι παλαιότερα ήταν δημοφιλής η άποψη ότι οι νόμοι της φύσης συνιστούν μια εξήγηση των φαινομένων και μέσω αυτής μπορούμε να προσεγγίσουμε τη σκέψη του Δημιουργού, εντούτοις την περίοδο εκείνη είχε επικρατήσει η αντιδιαμετρική άποψη ότι δεν μπορούμε να εξηγήσουμε τίποτα και ότι μόνο καταγράφουμε γεγονότα.

Προσπαθώντας να τοποθετηθεί ανάμεσα σε αυτές τις δυο απόψεις, ο Schuster χρησιμοποιεί ένα παράδειγμα από την αστρονομία. Με βάση το παράδειγμα του, η καταγραφή αστρονομικών παρατηρήσεων ήταν σημαντική και αποτέλεσε ένα πρώτο βήμα, όμως δεν συνιστούσε μια επιστημονική έρευνα. Οι τρεις νόμοι του Κέπλερ ήταν μια πιο εκλεπτυσμένη περιγραφή, και έπειτα προτάθηκε ο νόμος της παγκόσμιας έλξης του Νεύτωνα ο οποίος επιτυχημένα προέβλεψε τις κινήσεις των πλανητών.⁴⁰

Κατά τη γνώμη του Schuster, η απλότητα και η ακρίβεια του νόμου της παγκόσμιας έλξης που δίνει ακριβείς προβλέψεις είναι εκείνο το στοιχείο που δίνει στη αστρονομία την προεξέχουσα θέση σε σχέση με όλες τις άλλες επιστήμες.⁴¹

Γενικεύοντας, ο Schuster υποστηρίζει για την επιστήμη:

Πράγματι, αν ταξινομήσουμε τους διαφορετικούς τομείς στους οποίους μπορεί να χωριστεί η επιστήμη, νομίζω ότι μπορεί να ειπωθεί ότι ο στόχος τους, στο βαθμό που δεν είναι καθαρά χρηστικός, είναι πάντα ιστορικός ή προφητικός, και για τον μαθηματικό, η ιστορία είναι μόνο προφητεία που επιδιώκεται προς την αρνητική κατεύθυνση. Δεν αποτελεί επιχείρημα ενάντια στον ορισμό μου για τα αντικείμενα της επιστήμης, ότι ένα μεγάλο τμήμα των υποδιαιρέσεών της έχει ασχοληθεί, και σε κάποιο βαθμό εξακολουθεί να ασχολείται κυρίως με την ανακάλυψη και την ταξινόμηση των γεγονότων. Διότι μια τέτοια ταξινόμηση μπορεί να είναι μόνο ένα πρώτο βήμα, προετοιμάζοντας το δρόμο για μια συσχέτιση στην οποία πρέπει να εισέλθει το στοιχείο του χρόνου, και που, ως εκ τούτου, πρέπει τελικά να εξαρτάται είτε από την ιστορία είτε από την προφητεία.⁴²

³⁹ Αυτ., σελ. 410.

⁴⁰ Ο Schuster αναφέρει αναλυτικά και τις θέσεις του Kirchhoff ότι το αντικείμενο της επιστήμης είναι η περιγραφή της φύσης και του Poincaré ότι η αναζήτηση του ωραίου και η επίτευξη του χρήσιμου είναι στενά συνδεδεμένες. Βλ. Αυτ., σελ. 406-409.

⁴¹ Αυτ., σελ. 410-411.

⁴² “Indeed, if we classify the different sections into which science may be divided, I think it may be said that their aim, in so far as it is not purely utilitarian, is always historic or prophetic; and to the mathematician, history is only prophecy pursued in the negative direction. It is no argument against my definition of the objects of science, that a large section of its subdivisions has been, and to some extent still is mainly occupied

Το παραπάνω απόσπασμα είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον από αρκετές απόψεις. Πρώτον, είναι ενδεικτικό για τη θέση και την αξία της πρόβλεψης στην επιστήμη στην οπτική του Schuster. Για εκείνον, είναι οργανικό στοιχείο της και απώτερος στόχος της. Δεύτερον, φαίνεται η σύνδεση της πρόβλεψης με την ύπαρξη αντίστοιχων νόμων. Αυτή η σύνδεση ήταν χαρακτηριστική και στο παράδειγμα της αστρονομίας, στο οποίο αναφέρθηκε ο Schuster αμέσως προηγούμενα. Τρίτον, οι όροι που χρησιμοποιούνται – ιστορικός, προφητικός – και πιο συγκεκριμένα η χρήση του όρου “προφητεία” (ο οποίος αναφέρεται στην πρόβλεψη) στην περιγραφή των σκοπών της επιστήμης είναι ενδεικτικοί της επανανοηματοδότησης των εννοιών μέσα στο χρόνο, επιβεβαιώνοντας την πρότερη ταύτισή τους.

Με αφορμή τα παραπάνω, μπορεί κανείς να εξετάσει δυο άλλα ζητήματα που έχουν τεθεί στη βιβλιογραφία σε σχέση με την πρόβλεψη στις επιστήμες. Το πρώτο από αυτά, στο οποίο αναφερθήκαμε και προηγούμενα, είναι η συγκριτική αξία της εξήγησης και της πρόβλεψης σε μια επιστημονική θεωρία. Το ζήτημα αυτό, όπως είδαμε, αποτελεί ένα ανοιχτό ερώτημα για τη φιλοσοφία της επιστήμης, η απάντηση του οποίου όμως δεν μπορεί να δοθεί αχρονικά, αλλά πρέπει να δοθεί ιστορικά.

Στην προεδρική του ομιλία, ο Schuster φαίνεται να προκρίνει τις προβλέψεις στην επιστήμη. Αναφέρει ανοιχτά ότι αν έπρεπε να διαλέξει ένα βασικό στόχο της επιστήμης, αυτός θα ήταν η πρόβλεψη του μέλλοντος. Ταυτόχρονα, ολόκληρη η ομιλία του Schuster διαπνέεται από την ιδέα ότι οι νόμοι της φυσικής δεν συνιστούν μια εξήγηση των φαινομένων και του κόσμου και ότι η έμφαση στην εξήγηση ήταν χαρακτηριστικό μιας προηγούμενης περιόδου.⁴³ Φαίνεται, λοιπόν, ότι ο Schuster αναγνωρίζει μια διαφοροποίηση της επιστημικής αξίας της εξήγησης μέσα στο χρόνο, η οποία συνδέεται άμεσα με το πώς αντιλαμβάνεται κανείς τους φυσικούς νόμους. Παράλληλα, η έμφαση στις προβλέψεις από μεριάς του θα μπορούσε να είναι προϊόν ακριβώς αυτής της οπισθοχώρησης σε σχέση με την εξήγηση.

Αν και ο Schuster τονίζει ότι οι επιστήμονες—φιλόσοφοι της εποχής πήγαν σχεδόν στο άλλο άκρο, υποστηρίζοντας ότι δεν γνωρίζουμε τίποτα παρά μόνο καταγράφουμε γεγονότα, και ο ίδιος παίρνει αποστάσεις από αυτή την ακραία εκδοχή, παραμένει γεγονός ότι προβάλλει και εκείνος την περιγραφική μέθοδο για την φυσική και, υπό αυτή την έννοια, οι εκτεταμένες αναφορές του στον Kirchhoff και τον Poincaré δεν είναι διόλου τυχαίες.⁴⁴

with the discovery and classification of facts; because such classification can only be a first step, preparing the way for a correlation into which the element of time must enter, and which therefore ultimately must depend either on history or prophecy.” Αυτ. σελ. 411.

⁴³ Ο Schuster χαρακτηριστικά αναφέρει “As a corrective to the older visionary claims, which centered round the meaning of the word “explain,” the view that the first task of science is to record facts has no doubt had a good influence.” Αυτ. Σελ. 409.

⁴⁴ Σύμφωνα με τον Heilbron, οι Kirchhoff και Poincaré μαζί με τον Pearson ήταν από τους βασικούς εκπρόσωπους του “περιγραφισμού”.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συζήτηση γύρω από την πρόβλεψη στις φυσικές επιστήμες είναι ένα ζήτημα το οποίο πρέπει να μελετηθεί στην ιστορική του προοπτική. Συχνά η φιλοσοφική συζήτηση γύρω από την πρόβλεψη στέκεται στη συγκριτική επιστημική της αξία σε σχέση με την εξήγηση ήδη γνωστών φαινομένων. Εντούτοις, η θέση και ο ρόλος της πρόβλεψης διαφοροποιήθηκαν τόσο μέσα στο χρόνο όσο και στα διάφορα επιστημονικά πεδία και, συνεπώς, τα φιλοσοφικά ερωτήματα γύρω από την πρόβλεψη πρέπει να τίθενται ιστορικά και όχι αchronικά.

Τον δέκατο ένατο αιώνα η ίδια η έννοια της πρόβλεψης επανανοηματοδοτήθηκε μέσα από την προσπάθεια των επιστημόνων να τη συνδέσουν με την επιστημονική μέθοδο, την οποία θεωρούσαν ως τη μόνη αξιόπιστη για την παραγωγή επιστημονικής γνώσης. Η επανανοηματοδότηση της πρόβλεψης ήταν έτσι και ένας τρόπος να διαχωρίσουν την επιστήμη τους από την αστρολογία ή τη θεολογία. Από την άλλη μεριά, η πρόβλεψη δεν έφερε την ίδια επιστημική αξία στην αστρονομία, τη φυσική, τη χημεία ή τη βιολογία. Ένας σημαντικός παράγοντας που έπαιζε σημαντικό ρόλο για τη θέση και την αξία της πρόβλεψης ήταν η ίδια η φύση της επιστήμης, η μαθηματικοποίηση της και η ύπαρξη ποσοτικών προβλεπτικών νόμων. Έτσι η πρόβλεψη ήταν κεντρική στην αστρονομία ή τη φυσική και λιγότερο στη χημεία ή τη βιολογία. Όσον αφορά δε τη θεωρία του Δαρβίνου, εκεί η πρόβλεψη ήταν εντελώς εκτός συζήτησης και οι κρίσεις επί της θεωρίας γίνονταν μόνο στο επίπεδο των εξηγήσεων που έδινε για φαινόμενα που ήδη είχαν συμβεί.

Δυο ακόμη σημεία αξίζει να σημειώσουμε εδώ σε σχέση με τη θέση και τον ρόλο της πρόβλεψης τον δέκατο ένατο αιώνα. Το πρώτο από αυτά έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι πρώιμοι υποστηρικτές του υποθετικο-παραγωγικού προτύπου, όπως ήταν ο Jevons ή ο Whewell, απέδιδαν στην πρόβλεψη μεγάλη επιστημική αξία, τονίζοντας ότι οι νέες προβλέψεις είναι χαρακτηριστικό μόνο των αληθών θεωριών. Η εξαγωγή των υποθέσεων ή αρχών από τις οποίες προκύπτουν μετά παραγωγικά μια σειρά φαινόμενα φαίνεται να συμπλέει με μια προεξέχουσα θέση για την πρόβλεψη και, υπό αυτή την έννοια, η θέση της Oreskes για τη θέση της πρόβλεψης στο υποθετικο-παραγωγικό πρότυπο της επιστήμης του 20ου αιώνα φαίνεται να επιβεβαιώνεται.

Το δεύτερο σημείο που εξετάσαμε σε αυτό το άρθρο έχει να κάνει με το περιγραφικό ρεύμα στη φυσική του τέλους του δέκατου ένατου αιώνα. Οι ομιλίες των Poynting και Schuster, στις οποίες αναφερθήκαμε εκτενώς, προέβαλαν αντίστοιχες απόψεις για τους νόμους της φυσικής, την εξήγηση και την πρόβλεψη. Αμφότεροι περιέγραψαν την αλλαγή στη στάση των φυσικών απέναντι στις προαναφερθείσες έννοιες. Φαίνεται ότι η απόσυρση των φυσικών από τα μεγάλα ερωτήματα και από την αλήθεια, άλλαξε το νόημα της εξήγησης και του φυσικού νόμου, περιορίζοντας, τουλάχιστον στη ρητορική τους, τον σκοπό της φυσικής στην

περιγραφή και την πρόβλεψη. Στην οπτική των Poynting και Schuster, αυτή η αλλαγή στάσης, μαζί με την ύπαρξη ποσοτικών νόμων και επαναλαμβανόμενων μοτίβων στο πεδίο της φυσικής, φαίνεται να επηρέασε καθοριστικά την θέση της πρόβλεψης στην επιστήμη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] K. ANDERSON: *Predicting the weather: Victorians and the science of meteorology*. University of Chicago Press, 2005.
- [2] G. B. AIRY: *Tides and waves*. B. Fellowes, 1845.
- [3] E. BARNES: «On Mendeleev's predictions: comment on Scerri and Worrall». *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 36, no. 4 (2005), 801–812.
- [4] E. BARNES: *The paradox of predictivism*. Cambridge University Press, 2008.
- [5] S. G. BRUSH: «Prediction and theory evaluation: The case of light bending». *Science* 246, no. 4934 (1989), 1124–1129.
- [6] S. G. BRUSH: «The reception of Mendeleev's periodic law in America and Britain». *Isis* 87, no. 4 (1996), 595–628.
- [7] S. G. BRUSH: «Predictivism and the periodic table». *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 38, no. 1 (2007), 256–259.
- [8] S. G. BRUSH & A. SEGAL: *Making 20th Century science: how theories became knowledge*. Oxford University Press, USA, 2015.
- [9] R. COLLINS: «Against the epistemic value of prediction over accommodation». *Nous* 28, no. 2 (1994), 210–224.
- [10] J. F. HANNA: «Explanation, prediction, description, and information theory». *Synthese* 20, no. 3 (1969), 308–334.
- [11] N. R. HANSON: «On the symmetry between explanation and prediction». *The Philosophical Review* 68, no. 3 (1959), 349–358.
- [12] J. L. HEILBRON: «Fin-de-siècle physics». Στο *Science, Technology & Society in the Time of Alfred Nobel*, pp. 51–73. Pergamon, 1982.
- [13] C. G. HEMPEL & P. OPPENHEIM: «Studies in the Logic of Explanation». *Philosophy of Science* 15, no. 2 (1948), 135–175.
- [14] W. S. JEVONS: *The principles of science: A treatise on logic and scientific method*, Vol. 2. Macmillan and Company, 1874.
- [15] T. S. KUHN: *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, 1962.
- [16] C. MENKE: «The Whewell-Mill debate on predictions, from Mill's point of view». *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 69 (2018), 60–71.
- [17] N. ORESKES: «Why predict? Historical perspectives on prediction in earth science». Στο: *Prediction: Science, decision making, and the future of nature*, D. Sarewitz, R. A. Pielke & R. Byerly (επιμ.). Island Press, 2000, 23–40.
- [18] J. L. PIETRUSKA: *Looking forward: Prediction and uncertainty in modern America*. University of Chicago Press, 2019.
- [19] J. H. POYNTING: «Address to the Mathematical and Physical Section». *Science* 10, no. 247 (1899), 385–396.
- [20] E. R. SCERRI: «Response to Barnes's critique of Scerri and Worrall». *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 36, no. 4 (2005), 813–816.
- [21] E. R. SCERRI: «Stephen Brush, the Periodic Table and the Nature of Chemistry». Στο: *Die Sprache der Chemie, Proceedings of the Second Erlenmeyer Colloquium on Philosophy of Chemistry*, P. Jannich & N. Psarros (επιμ.), 1996, 169–176.
- [22] E. R. SCERRI & J. WORRALL: «Prediction and the periodic table». *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 32, no. 3 (2001), 407–452.
- [23] M. SCHABAS: «The "Worldly Philosophy" of William Stanley Jevons». *Victorian Studies* 28, no. 1 (1984), 129–147.

- [24] I. SCHEFFLER: «Explanation, prediction and abstraction». *The British Journal for the Philosophy of Science* 7, no. 28 (1957), 293–309.
- [25] A. SCHUSTER: «A Presidential Address ON THE COMMON AIMS OF SCIENCE AND HUMANITY». *The Lancet* 186, no. 4802 (1915), 587–595.
- [26] M. SCRIVEN: «Explanation and prediction in evolutionary theory: Satisfactory explanation of the past is possible even when prediction of the future is impossible». *Science* 130, no. 3374 (1959), 477–482.
- [27] R. STALEY: «The fin de siècle thesis». *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 31, no. 4 (2008), 311–330.
- [28] E. W. STRONG: «William Whewell and John Stuart Mill: their controversy about scientific knowledge». *Journal of the History of Ideas* 16, no. 2 (1955), 209–231.
- [29] E. T. WHITTAKER: *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 2nd edition, 1951.
- [30] J. WORRALL: «Prediction and the ‘periodic law’: A rejoinder to Barnes». *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 36, no. 4 (2005), 817–826.
- [31] J. WORRALL: «Fresnel, Poisson and the white spot: The role of successful predictions in the acceptance of scientific theories». Στο: *The uses of experiment* (135–157), D. Gooding, T. Pinch & S. Schaffer (επιμ.). Cambridge University Press, 1989.

BIBΛIOKΡΙΤΙΚΗ

T. JING

THE ORIGINS AND CONTINUITY OF CHINESE SOCIOLOGY

SPRINGER, SINGAPORE, 2022, PP. 502

[HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-981-19-5681-2_1](https://doi.org/10.1007/978-981-19-5681-2_1)

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΓΚΟΤΣΗΣ*

Το εν λόγω βιβλίο προβαίνει στη συστηματική εξέταση των καταβολών και ιστορικών απαρχών της κοινωνικής σκέψης στην Κίνα, υποδεικνύοντας βασικούς σταθμούς μιας ευρύτερης εξελικτικής πνευματικής πορείας. Αφετηρία του πονήματος είναι ο ισχυρισμός ότι η έννοια *qunxue*, η οποία διαφαίνεται ότι συνέχει το έργο του αρχαίου Κινέζου φιλοσόφου Xunzi, συνιστά το αντίστοιχο, λειτουργικό ισοδύναμο της μεταγενέστερης δυτικής κοινωνιολογικής παράδοσης. Δεν είναι ίσως τυχαία η επισήμανση του εξέχοντος Κινέζου κοινωνιολόγου Fei Xiaotong ότι η ορθολογική ανασύσταση της ιστορίας της κοινωνικής σκέψης στην Κίνα παραπέμπει ευθέως στο έργο του Κομφουκιανού φιλοσόφου Xunzi, δυο χιλιετίες και πλέον πριν την αντίστοιχη συμβολή των Αυγούστου Comte και Herbert Spencer στο δυτικό κόσμο (σσ. 25-26). Για το σκοπό αυτό, ο συγγραφέας του παρουσιαζόμενου βιβλίου θίγει ένα ευρύτατο φάσμα κοινωνικών προβλημάτων υιοθετώντας ένα διακριτό μεθοδολογικό, αναλυτικό και εννοιολογικό πλαίσιο.

Βασική θέση του έργου είναι ότι η προαγωγή της Κινεζικής Κοινωνιολογικής Επιστήμης έχει ως προϋπόθεση τη δημιουργία μιας εποικοδομητικής σύνθεσης αυτοχθόνων και δυτικών αναλυτικών κατασκευών. Χωρίς αυτό το μείζον διανοητικό εγχείρημα, η ιστορική θεμελίωση της κοινωνικής σκέψης στην Κίνα διατρέχει τον κίνδυνο να παραμείνει ημιτελής, αποκλείοντας τη δυνατότητα ενός δυναμικού διαλόγου μεταξύ διαφορετικών συστημάτων σκέψης, συνεπώς δυσχεραίνοντας σημαντικά τη διαπολιτισμική συνάντηση Ανατολής και Δύσης.

Το έργο αποτελείται από επτά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο εντοπίζονται τα ιστορικά θεμέλια της Κινεζικής Κοινωνιολογίας και καθορίζονται οι προκείμενες αυτού του γνωστικού κλάδου, οι σημαντικότερες των οποίων είναι.

* Ο Γ. ΓΚΟΤΣΗΣ είναι Καθηγητής Μεθοδολογίας και Ιστορίας της Οικονομικής στο Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Η ιστορία της Κινεζικής Κοινωνιολογίας εντάσσεται στην οργανική παράδοση της αυτόχθονος κοινωνικής σκέψης, αναγόμενης στην έρευνα της qinixue από τον Xunzi.

Η ιστορική ύπαρξη της qinixue λειτουργεί ως αναγκαία πραγματολογική βάση κατάδειξης της ιστορικής συνέχειας της Κινεζικής Κοινωνιολογίας.

Τα κριτήρια διαμόρφωσης της Κοινωνιολογίας ως επιστήμης στην Κίνα εξακολουθούν να παραμένουν ρευστά, ωστόσο η έννοια qinixue αναγόμενη στον Xunzi θεωρείται συμβατή προς τις κύριες προκείμενες της δυτικής Κοινωνιολογίας του ύστερου 19ου αιώνα.

Η Κοινωνιολογία στην Κίνα διαθέτει τη δική της εγγενή ιστορία, συνεπώς η κατάδειξη αυτών των ιστορικών θεμελίων συνιστά αναγκαίο προαπαιτούμενο μεταγενέστερων εξελίξεων κατά τον 20ο αιώνα, καθοριστικών για την ταυτότητα ενός νέου επιστημονικού κλάδου.

Το δεύτερο κεφάλαιο επιδιώκει να στραφεί στη μελέτη των ιστορικών πηγών που θα καταστήσουν δυνατή τη συγκρότηση ενός εννοιολογικού συστήματος θεμελίωσης της Κινεζικής Κοινωνιολογικής Επιστήμης σε αυτόχθονες βάσεις. Υποστηρίζεται εν προκειμένω σαφώς ότι η άνοδος της κοινωνιολογικής σκέψης στην Κίνα δεν πρέπει να περιορισθεί σε μια απόπειρα διάδοσης και εφαρμογής δυτικών αναλυτικών κατηγοριών, χωρίς να εξειδικευθεί το εννοιολογικό τους περιεχόμενο σε μια διαφορετική πολιτισμική πραγματικότητα. Το εγχείρημα αυτό προϋποθέτει, τόσο μια σύνδεση του ιστορικού παρελθόντος με το παρόν, όσο και την ανάγκη μιας δημιουργικής σύνθεσης αυτοχθόνων και δυτικών κατηγοριών, με στόχο τη διαμόρφωση ενός περιεκτικού συστήματος που συνδυάζει παραδοσιακές και σύγχρονες προβληματικές με λογική συνέπεια και συνοχή. Υπό αυτή την οπτική, το έργο αρνείται την εδραιωμένη πεποίθηση ότι η ιστορία της κοινωνικής σκέψης στην Κίνα συναρτάται αποκλειστικά προς τη διάχυση και επικράτηση της δυτικής Επιστήμης στην εν λόγω χώρα.

Στο τρίτο κεφάλαιο διενεργείται συστηματική επισκόπηση των βασικών εννοιών της Κινεζικής κοινωνιολογικής σκέψης. Θεμελιωμένη από τον εξέχοντα στοχαστή της ύστερης περιόδου των αντιμαχομένων/εμπολέμων κρατών Xunzi (300-230 π.Χ.), η κοινωνική σκέψη στην Κίνα συνιστά ένα συνεπές, αυτοτελές και περιεκτικό εννοιολογικό σύστημα, θεμελιώδεις έννοιες του οποίου θεωρούνται κατά το συγγραφέα οι ακόλουθες:

qin (κοινότητα), lun (διανθρώπινες σχέσεις), ren (αγαθοεργία/βαθύτητα ανθρωπιά) και zhongyong (δόγμα του μέσου, μεσότητα, μέση οδός). Αυτές οι βασικές έννοιες συνθέτουν τον ακρογωνιαίο λίθο του κατηγορικού συστήματος της Κινεζικής κοινωνικής σκέψης, ενσωματώνοντας τους αναγκαίους αναλυτικούς όρους πάνω στους οποίους εδράζεται το σύγχρονο οικοδόμημα της Κινεζικής Κοινωνιολογικής Επιστήμης.

Η εισαγωγή της έννοιας qin από τον Xunzi εμπεριέχει τις βασικές ιδέες της ένταξης στην κοινότητα (hequn), της ικανότητας διαμόρφωσης κοινωνικών σχηματισμών (hengqun), της επίδειξης αριστείας κατά

τον σχηματισμό πολιτικών κοινοτήτων (*shanqun*) και της άντλησης ικανοποίησης από τη συμμετοχή στην πολιτική κοινότητα (*lequn*). Στο έργο προβάλλεται η άποψη ότι, κατά τη στιγμή που η δυτική Κοινωνιολογική επιστήμη εισήχθη στην Κίνα, ο Yan Fu (1854-1921), διαπρεπής λόγιος, συνέβαλε καθοριστικά στη διάδοση εξελικτικών ιδεών, μεταφράζοντας στην Κινεζική έργα δυτικών διανοητών μεταξύ των οποίων οι T.H. Huxley, John Stuart Mill, Herbert Spencer και Adam Smith. Το βασικό σκεπτικό του Yan Fu ήταν το γεγονός ότι ο πυρήνας της δυτικής ισχύος δεν απέρρεε από τη δυτική στρατιωτική υπεροχή, αλλά από τα αντίστοιχα πνευματικά επιτεύγματα του δυτικού κόσμου στις αρχές του 20ου αιώνα. Ειδικότερα, η ταπεινωτική ήττα της Κίνας κατά τον πρώτο Σινο-Ιαπωνικό πόλεμο (1894/5), καθιστούσε αναγκαία την εισαγωγή φιλελεύθερων κοινωνικών μεταρρυθμίσεων, διότι οι δυτικοί θεσμοί ήταν σε θέση να ενισχύσουν την κρατική ισχύ. Στη χαοτική περίοδο που ακολούθησε μετά την κατάρρευση της δυναστείας Qing (1911/12), ο Yan Fu εξέφρασε την αντίθεση του στις ρεπουμπλικανικές αξίες υποστηρίζοντας τις θέσεις του πρώτου προέδρου της Κίνας Yuan Shikai (1911-16), ωστόσο προς το τέλος της ζωής του στράφηκε στις παραδοσιακές Κομφουκιανικές αξίες, εγκαταλείποντας πλήρως τις προγενέστερες φιλελεύθερες πεποιθήσεις του.

Ο Yan Fu εισήγαγε την Κοινωνιολογική επιστήμη στη χώρα του υιοθετώντας τον όρο *qunxue* σε μια προσπάθεια απόδοσης αυτοχθόνων θεμελίων στην Κοινωνιολογία. Υπεστήριζε μάλιστα ότι κάτι αντίστοιχο συνέβη στη Δύση: ο Spencer προσέφυγε στις μεθόδους των φυσικών επιστημών της εποχής του για να προσφέρει αντικειμενικά ερείσματα στην ανάγκη προαγωγής της κοινωνικής συνοχής, τη διακυβέρνηση και την ειρήνη (σσ. 53, 85, 89-90). Περαιτέρω, υπογράμμισε το γεγονός ότι οι εξελικτικές ιδέες του Spencer για ισότητα, ελευθερία και κοινωνική συνοχή υπήρχαν διάσπαρτες στην Κινεζική διανόηση την περίοδο άνθησης του κλασσικού Ελληνικού κόσμου (σ. 88). Στην ίδια κατεύθυνση ο εξέχων Κινέζος κοινωνιολόγος και συγγραφέας μελετών ευγονικής Pan Guangdan (1899-1967) κατέδειξε μια πιθανή εννοιολογική αντιστοιχία της έννοιας *bi* (εξαπάτηση) στον Xunzi και αυτής της προκατάληψης στον Spencer (σ. 418).

Το εγχείρημα αυτό προήχθη από τον Liang Qichao (1873-1929), Καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Tsinghua (Qinghua) μετά το 1920, και υπέρμαχου δραστικών μεταρρυθμίσεων πριν την κατάρρευση της τελευταίας αυτοκρατορικής δυναστείας. Ο Liang επεδόθη σε διεξοδική ανάλυση της έννοιας *qunli*, των αρχών μιας συνεκτικής κοινότητας, επηρεασμένη σαφώς από τις ιδέες της αναδυόμενης κοινωνιολογικής σκέψης (*qunxue*). Την περίοδο του μεσοπολέμου, ανάλογες μεταρρυθμιστικές ιδέες παρουσάζονται στην Ιαπωνική Κοινωνιολογική σκέψη, με ωστόσο έκδηλη ατομικιστική χροιά: ο Takata Yasuma (1883-1972), κορυφαίος εκπρόσωπος της Ιαπωνικής οικονομικής Κοινωνιολογίας, επηρεάστηκε από την

ατομικιστική προσέγγιση του Georg Simmel, διακατεχόμενος από το ιδεώδες μιας παγκόσμιας κοινωνίας θεμελιωμένης όχι στη συλλογικότητα (όπως στην Κίνα), αλλά στον ατομικισμό (Hashimoto, 2022).

Στο παρόν έργο επισημαίνεται ότι ο όρος *lun* (διανθρώπινες σχέσεις) ενέχει μια πρωταρχική σχεσιακή διάσταση, καταλυτική για τη συγκρότηση της Κινεζικής κοινωνίας. Εξ ίσου σημαντική καθίσταται η έννοια *Ren*, η αγαθοεργία/ ανθρωπιά, ως εννοιολογικό θεμέλιο άλλων αναλυτικών κατασκευών στο πεδίο της κοινωνικής σκέψης. Τυπική Κομφουκιανική αρετή στο αντίστοιχο αρετολογικό σύστημα, τόσο στην κλασική Κομφουκιανική όσο και στη μεταγενέστερη Νέο-Κομφουκιανική γραμματεία των δυναστειών Song (960-1279) και Ming (1368-1644), η έννοια αυτή αποτελεί τη βάση της οικοδόμησης μιας συνεκτικής και αρμονικής κοινωνίας. Η αγαθοεργία (σσ. 118-135):

*Συνιστά ανθρώπινο κοινωνικό ιδίωμα
Εμπεριέχει μια ειδικότερη κοινωνικο-ψυχολογική διαδικασία
Συνθέτει τη βάση της κοινωνικής δράσης
Αποτελεί κεντρική αρχή για κάθε υποκειμενική κοινωνική διάδραση
Συμβάλλει στη διαμόρφωση και ανάπτυξη του κοινωνικού ανθρώπου
Συγκροτεί κάθε κοινωνική συσσωμάτωση και κοινότητα
Αποτελεί το έρεισμα μιας κουλτούρας που καλλιεργεί την κοινωνική αρμονία
Ενισχύει την κοινωνική συνοχή μέσω σύστασης κοινωνικών δικτύων αρωγής και προστασίας ευάλωτων πληθυσμιακών ομάδων
Επιφέρει τη συγκρότηση ενός συγκεντρωτικού συστήματος διακυβέρνησης.*

Η έννοια του χρυσού μέσου, της μεσότητας (*zhongyong*) συνθέτει μια κεντρική ρυθμιστική αρχή της κοινωνικής συμβίωσης, η οποία αναγορεύεται σε συστατικό ιδίωμα της Κινεζικής εθνοτικής ταυτότητας, καθώς και ενός τύπου πολιτεύματος που οριοθετείται ευκρινώς έναντι της δημοκρατίας και της απολυταρχίας (σσ. 139-141). Για την οπτική του υπό παρουσίαση βιβλίου αυτές οι θεμελιώδεις παραδοχές συνθέτουν το βασικό κατηγορικό αναλυτικό πλαίσιο της Κινεζικής κοινωνικής σκέψης.

Στο επόμενο κεφάλαιο επιχειρείται διεξοδική επισκόπηση της φυσικής φιλοσοφίας στην Κινεζική παράδοση. Αναλύονται συστηματικά όροι όπως: επιδίωξη της γνώσης, ειλικρίνεια, ορθότητα, καλλιέργεια του εαυτού, ηθικότητα του χαρακτήρα, ρύθμιση των οικογενειακών σχέσεων, διακυβέρνηση του κράτους και τελικώς, αρμονική συνύπαρξη όλων των υπό τον ουρανό. Ειδικότερα, η έννοια της αυτό-καλλιέργειας (*Xiushen*) θεωρείται ως αφετηρία της δημιουργικής διάδρασης εαυτού και κοινωνικού κόσμου με άξονα τις αρχές *neisheng* (εσωτερη σοφία των λογίων) και *waiwang* (εξωτερική βασιλική συμπεριφορά). Πρόκειται για ένα προσφιλέστατο θέμα της σύγχρονης ηθικής φιλοσοφίας στην Κίνα (Hwang, 2022).

Τούτο επιτυγχάνεται μέσω της προαγωγής της εγγενούς αγαθότητας στην ανθρώπινη φύση (*Xing*). Αυτή η σύλληψη δεν είναι ατομιστική αλλά

σχεσιακή, αποκλείοντας αναλύσεις σε όρους αντίθεσης ατόμου και κοινωνίας. Κατά την οπτική του παρόντος πονήματος, η υπέρβαση αυτής της διχοτόμησης και η έμφαση σε μια έννοια εντεταγμένου εαυτού σε υπερκείμενα δίκτυα κοινωνικών σχέσεων (*embedded self*) επετεύχθη πολύ μεταγενέστερα στη δυτική κοινωνική σκέψη, ιδίως μέσω του έργου κοινωνικών στοχαστών όπως οι Anthony Giddens και Pierre Bourdieu: οι τελευταίοι εισήγαγαν στην κοινωνιολογική θεωρία την αλληλεπίδραση δομής και ατομικής δράσης (σ. 146). Η ατομική πρακτική *xiushen* και η εστίαση στην ανθρώπινη φύση συνθέτουν τα αναγκαία ερείσματα της διαμόρφωσης της κοινωνικής νοοτροπίας, των δομών σκέψης και πράξης στην Κίνα. Η στοχαστική καλλιέργεια αποτυπώνεται σε διαφορετικά επίπεδα της κοινωνικής δομής που αποδίδονται με τον όρο *Shehui* (οίκος/νοικοκυριό, κοινωνική συνάθροιση, κοινωνία), μια βασική έννοια της Κινεζικής κοινωνικής σκέψης. Περαιτέρω, η συνύφανση των εννοιών *tian* και *ren*, ουρανού και αγαθοεργίας, υπαγορεύει θεμελιώδεις κανόνες και ηθικά συμπεριφορικά πρότυπα που κατευθύνουν την κοινωνική δράση στην προαγωγή του κοινού αγαθού (σσ. 181-185, 214-218). Η έννοια *ziran* στη φιλοσοφία του Lao zi (αυθόρμητη παρακίνηση που απορρέει από την ανθρώπινη φύση) ως οδηγός κοινωνικής συμπεριφοράς καθιστά εφικτή την οντολογική ενότητα ανθρωπότητας και φυσικού κόσμου, με άξονα την εναρμόνιση του ανθρώπου προς απαράβατους φυσικούς κανόνες ως κορύφωση της διαδικασίας ηθικής επιμέλειας του εαυτού (σσ. 218-223).

Το πέμπτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στη σημασία της οικογένειας ως αρχετύπου της κρατικής διακυβέρνησης και εστίας ανάδειξης της αρετής. Η ρύθμιση των οικογενειακών σχέσεων (*qijia*) επιτυγχάνεται μέσω της αυτό-καλλιέργειας (*xiushen*) και της διόρθωσης/μεταστροφής του τρόπου σκέψης (*zhengxin*), κατά τις επιταγές της Κομφουκιανικής μεσότητας. Σε παραδοσιακές κοινωνίες, η διακυβέρνηση του οίκου προϋπέθετε, όχι μόνο την ευσέβεια έναντι των γονέων (*xiao*) και την κοσμιότητα/ευπρέπεια (*li*), αλλά επίσης εντιμότητα (*yi*) και άρρηκτους δεσμούς εμπιστοσύνης (*xin*). Ιδιαίτερη έμφαση αποδίδεται στην αποκόμιση αμοιβαίου οφέλους από τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις: Το όφελος ως θεμέλιο προσήκουσας λειτουργίας της κοινωνίας εμπεριέχει τις διαστάσεις του οικονομικού οφέλους, της άσκησης εξουσίας, του κοινωνικού status και της ανάγκης για κοινωνική εκτίμηση: το εννοιολογικό περιεχόμενο του καθορίζεται από τη σχέση του προς την κοινωνική αναγνώριση (*yi*), την κοσμιότητα (*li*), το σύστημα δικαίου (*fa*), την πρόκληση ζημίας (*hai*), καθώς και προς άλλες ρυθμιστικές συνθήκες, θεσμούς και άτυπους κοινωνικούς κανόνες (σσ. 275-287).

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται ζητήματα πολιτικής κοινωνιολογίας με άξονα τη διακυβέρνηση του κράτους ως άμεση προέκταση της ρύθμισης της οικογένειας, της αυτό-καλλιέργειας και της κοινωνικής ευρυθμίας, με στόχο την αρμονική συνύπαρξη όλων υπό τον ουρανό. Οι βασικές αναλυτικές κατηγορίες της παραδοσιακής Κινεζικής κοινωνικής

σκέψης ενσωματώνουν τις εξής έννοιες: *guo* (αυτόνομη κρατική οντότητα), *min* (λαός/υπήκοοι), *guotu* (κρατική εδαφική επικράτεια), *shi* (λόγιος/άνθρωπος της διανόησης), *wangdao* (βασιλική οδός), *badao* (ηγεμονική οδός), *xian* (εγγενής/ενύπαρκτη αξία), *neng* (σύμφυτη ικανότητα), *keju* (αυτοκρατορικό σύστημα επιλογής κρατικών λειτουργών μέσω συστήματος εξετάσεων), *gong* (δημόσια σφαίρα), *si* (ιδιωτική σφαίρα), *zhixu* (έννομη τάξη), και *weiyu* (κοινωνική θέση, δυνατότητα για ανέλιξη). Διερευνώνται περαιτέρω ζητήματα μεταξύ των οποίων η σχέση κράτους και λαού, η χωρική συγκρότηση της κρατικής οντότητας, η ανάδυση μιας ελίτ κρατικών αξιωματούχων επιφορτισμένων με θέματα διακυβέρνησης, η διαμόρφωση διαφορετικών κανονιστικών υποδειγμάτων εννόμου άρχειν (σσ. 333-351), ο καθορισμός αξιοκρατικών κριτηρίων επιλογής δημοσίων λειτουργών, η διαμόρφωση ενός αντικειμενικού συστήματος επιλογής της κρατικής υπαλληλίας (σσ. 358-368), η δυναμική αλληλεπίδραση δημοσίου και ιδιωτικού χώρου και η απόπειρα σαφούς οριοθέτησης τους (σσ. 380-384). Ακολουθεί ενδελεχής συζήτηση σχετικά με τη σύσταση της έννομης τάξης ως στόχου της πολιτικής εξουσίας (σσ. 384-395), και τις προοπτικές κοινωνικής κινητικότητας σε ένα αυστηρά προσδιορισμένο σύστημα κοινωνικής διαστρωμάτωσης επί τη βάση δομημένων ιεραρχικών σχέσεων (σσ. 398-401).

Στο τελευταίο κεφάλαιο εξετάζεται η ρυθμιστική έννοια *tianxia*, η συνύπαρξη όλων των υπό τον ουρανό, και υπογραμμίζονται οι πρακτικές συνδηλώσεις της. Η έννοια αυτή ενέχει τις αντινομικές διαστάσεις της κυοφορίας της αλλαγής σε μια ανελαστική δομή σχέσεων, καθώς και την ανάγκη αλλαγής ακόμη και εκείνων των θεσμών που εμφανίζονται ως μη επιδεχόμενοι αλλαγών. Το κοινωνικό αυτό παράδοξο επιτρέπει την αναζήτηση της αρμονίας (*hehe*) και της ατομικής ευημερίας με γνώμονα την επιδίωξη του ιδεώδους της μείζονος ενότητας, της ενότητας εν μέσω της διαφορετικότητας. Βασικές αναλυτικές κατηγορίες καθίστανται εν προκειμένω αυτές της *tianxia* (συνύπαρξη όλων υπό τον ουρανό), *shi* (περιστάσεις που επιτρέπουν τη συμμόρφωση των ατόμων προς ένα σύνθετο πλαίσιο κανονιστικών αρχών), *bian* (αλλαγή, αρχή διαρκούς ανανέωσης), *hehe* (αρμονικότητα, η οδός της κοινωνικής αρμονίας), και *Datong*, εκείνη η μείζων ενότητα εν μέσω πολλαπλότητας (Γκότσης, 2021, σσ. 87-91· Liu, 2020). Πρόκειται για ένα κοινωνικό ιδεώδες σύστασης μιας κοινοπολιτείας ατόμων και ομάδων που διασφαλίζει τις κατάλληλες συνθήκες κοινωνικής ευημερίας, καθώς επισημαίνεται από επιφανείς πολιτικούς στοχαστές και μεταρρυθμιστές της περιόδου μετάβασης στη δημοκρατία όπως οι Kang Youwei (1858-1927) και Sun Yat-sen (1866-1925), αλλά και μαρξιστές πολιτικούς όπως ο Mao Zedong (σσ. 468-481).

Το ενδιαφέρον αυτό πόνημα εντάσσεται σε μια ευρύτερη απόπειρα να διακριβωθούν οι ειδικότερες συνθήκες που επέτρεψαν τη συγκρότηση των σύγχρονων Κοινωνικών Επιστημών στην Κίνα, με έμφαση στις ιστορικές απαρχές και την εξελικτική πορεία της κοινωνικής σκέψης σε μη-δυτικά πολιτισμικά περιβάλλοντα. Η ορθολογική ανασυγκρότηση

της διαδικασίας πρόσληψης της δυτικής κοινωνικής επιστήμης στην Κίνα διακρίνεται από την προσπάθεια οικειοποίησης και αφομοίωσης όρων, εννοιών και ιδεών που αναπτύχθηκαν με γνώμονα τη δυτική πνευματική παράδοση, στο πλαίσιο της αλληλεπίδρασης διαφορετικών πολιτισμικών προτύπων, αρχών και αξιών (Peiliang, 2023· Yan & Cao, 2022· Yang, Xie, & Wen, 2019).

Για να περιορισθεί ωστόσο, τόσο η αμφισημία των εννοιών, όσο και η αναγωγιστική εξήγηση των κοινωνικών φαινομένων άλλων κοινωνιών σε θεωρητικά σχήματα που συνήχθησαν με βάση τη δυτική εμπειρία, παρατηρήθηκε το φαινόμενο απόδοσης αυτόχθονου χαρακτήρα στις Κοινωνικές Επιστήμες, ως ένα τυπικό αίτημα μερίδας της Κινεζικής διανοήσης του 20ου αιώνα (Chen, 2021). Η σοβαρότερη προσπάθεια στην κατεύθυνση αυτή αφορούσε τη σύνθεση δυτικής γνώσης και Κινεζικής φιλοσοφίας, ένα εγχείρημα ενσωμάτωσης διακριτών αφηγήσεων που θα διέθετε μεγαλύτερη εξηγητική ισχύ από εκείνη μιας τυπικής βεμπεριανής εξήγησης των κοινωνικών συμπεριφορών στην Κίνα με βάση αρχές αξιολογικής ορθολογικότητας (Barbalet, 2021· Lee, 2023· Tsal, 2016· Yu & Wang, 2021).

Τυπική περίπτωση ενός αντίστοιχου διανοητικού εγχειρήματος απέτέλεσε, όπως αναφέραμε προηγουμένως, ο διαπρεπής Κοινωνιολόγος και Ανθρωπολόγος Fei Xiaotong: η συμπεριληπτική προσέγγιση που υιοθέτησε διήνοιξε νέες ερευνητικές οδούς σε μια πολιτισμικά προσανατολισμένη έρευνα στο πεδίο των ανθρωπιστικών και κοινωνικών επιστημών (Shen, Yang & Yang, 2024). Ο Fei Xiaotong συνέθεσε διαφορετικές ακαδημαϊκές παραδόσεις, μεταξύ των οποίων η Κοινωνική Ανθρωπολογία του Malinowski και της Βρετανικής Ανθρωπολογικής σχολής, η Αμερικανική Κοινωνιολογία του Robert Park (1864-1944) και του Πανεπιστημίου του Chicago και η Κινεζική Κοινωνιολογία του διαπρεπούς εθνολόγου και κοινωνικού ανθρωπολόγου Wu Wenzao (1901-1985) και της σχολής Yenching (Sinha & Lakhanpal, 2022). Για τον επιφανή Κινέζο φιλόσοφο Liang Shuming (1893-1988) η σύνθεση Βουδισμού, Κομφουκιανισμού και δυτικής φιλοσοφίας τέθηκε στο επίκεντρο του οράματος του να προαγάγει τον αστικό εκσυγχρονισμό και το δομικό μετασχηματισμό της Κίνας (Zhang, 2023). Ανάλογη ήταν η απόπειρα του ιστορικού και φιλοσόφου Feng Youlan (1894-1990) να εναρμονίσει την Νέο-Κομφουκιανική παράδοση της σχολής Cheng-Zhu προς τις επιταγές μιας νέας, ορθολογικής φιλοσοφίας (Feng & Chen, 2023).

Οφείλουμε να σημειώσουμε εν τούτοις ότι, στη σύγχρονη παγκοσμιοποιημένη διεθνή πραγματικότητα, η συγκρότηση των Κοινωνικών Επιστημών στην Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας κατά τον 21ο αιώνα υπερβαίνει το δίλημμα επιλογής μεταξύ δυτικών θεωρητικών σχημάτων και αμιγώς αυτόχθονων προσεγγίσεων. Νέες θεωρητικές συνθέσεις όπως αναφέραμε ήδη, θέτουν ως στόχο την εξωστρέφεια του επιστημονικού λόγου με άξονα το αίτημα διεθνοποίησης των Κοινωνικών Επιστημών στα

Κινεζικά ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα, ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματικότερη εξήγηση των νέων ηθικών και πραγματολογικών προκλήσεων που θέτει η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας (Gong, 2023· Xie, 2022). Η τελευταία αυτή παράμετρος δεν έχει τύχει κατά τη γνώμη μας, της δέουσας προσοχής στην κατά τα άλλα εμβριθή, εξαιρετικά εμπειριστατωμένη και ενδεδεγμένη αυτή μελέτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] J. BARBALET: “Max Weber and China: Imperial scholarship, its background and findings”. Στο: *Sino-German Encounters and Entanglements: Transnational Politics and Culture, 1890–1950*, επιμ. J. M. Cho, Cham, Palgrave Macmillan, 2021, 133–155.
- [2] H. F. CHEN: “Between North and South: Historicizing the indigenization discourse in Chinese sociology”. *Journal of Historical Sociology* 34 (1) (2021), 103–119.
- [3] Q. FENG & W. CHEN: “The Sinicization of Marxism and the contributions made by professional philosophers”. Στο: *A Concise History of Chinese Philosophy*, Singapore, Springer, 2023.
- [4] Γ. ΓΚΟΤΣΗΣ: *Διοικητική φιλοσοφία και πρακτική στην Ανατολική Ασία: Σύγχρονη Κομφουκιανική επιχειρησιακή ηθική*. Θεσσαλονίκη, εκδόσεις Ζήτη, 2021.
- [5] K. GONG: “Twenty years of Chinese social sciences towards internationalization (1998–2017): A knowledge sources perspective”. *Scientometrics* 128 (2023), 6373–6402.
- [6] I.. HASHIMOTO: *Liberalism and the Philosophy of Economics*. London, Routledge, 2022.
- [7] K. K. HWANG: “A Scientific interpretation of Confucian theorizing on self-cultivation”. Στο: *Crosscurrents of Social Theorizing of Contemporary Taiwan: Self, Culture and Society*, επιμ. A. K. Giri & S. C. Wu, Singapore, Palgrave Macmillan, 2022, 13–34.
- [8] C. H. LEE: “The New Liberals and Chinese Civilization: Idealist philosophy, evolutionary sociology, and the quest for a humanitarian ethics in Edwardian Britain”. *Modern Intellectual History* 20 (4) (2023), 1142–1164.
- [9] S. LIU: “Kang Youwei’s theory on great harmony”. Στο: *Origin and Expansion of Chinese Sociology*, Singapore, Springer, 2020, 105–142.
- [10] L. PEILIANG: “The Reconstruction of Chinese Sociology and the exchanges between the Mainland, Taiwan and Hong Kong”. Στο: *The Reconstruction of Chinese Sociology: An Oral History of 40 Sociologists (1979–2019)*, επιμ. Z. Xiaohong, Singapore, Palgrave Macmillan, 2023, 25–48.
- [11] Y. SHEN, L. YANG & R. YANG: (2024). “Integrating Chinese and Western knowledge: A case of scholar Fei Xiaotong”. *Higher Education* 87 (4) (2024), 1085–1101.
- [12] A. SINHA & P. LAKHANPAL: “Rediscovering Fei Xiaotong: Blending Indigenous Chinese Thought and Western Social Science”. *American Sociologist* 53 (3) (2022), 374–394.
- [13] P. F. TSAI: “The introduction and reception of Max Weber’s sociology in Taiwan and China”. *Journal of Sociology* 52 (1) (2016), 118–133.
- [14] M. XIE: “The Internationalization of the Social Sciences in Chinese Universities: A historical and critical perspective”. Στο: *Internationalizing the Social Sciences in China*, Singapore, Springer, 2022, 67–102.
- [15] F. YAN & L. CAO: “Situated knowledge and situated action: The rise of Chinese Sociology since 1978”. Στο: *Paradigm Shifts in Chinese Studies*, επιμ. S. Hua, Singapore, Palgrave Macmillan, 2022, 263–283.
- [16] R. YANG, M. XIE & W. WEN: “Pilgrimage to the West: Modern transformations of Chinese intellectual formation in social sciences”. *Higher Education* 77 (5) (2019), 815–829.
- [17] S. YU & Y. WANG: “Translations of Max Weber’s The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism in China”. *Critical Sociology* 47 (3) (2021), 523–534.

- [18] H. ZHANG: “Liang Shuming’s reception in Mainland China since the 1980s”. Στο: *Dao Companion to Liang Shuming’s Philosophy*, επιμ. T. Meynard & P. Major, Cham, Springer, 2023, 283–304.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Το περιοδικό *Νεύσις* δέχεται άρθρα, επισκοπήσεις, βιογραφίες κ.α., που πραγματεύονται θέματα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης και της Τεχνολογίας. Η υποβολή εργασιών προς δημοσίευση γίνεται κατόπιν εγγραφής στο σύνδεσμο <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/neusis>. Τα κείμενα που υποβάλλονται προς δημοσίευση κρίνονται από τη Συντακτική Επιτροπή και από ειδικούς κριτές και η κρίση κοινοποιείται στον συγγραφέα σε εύλογο χρονικό διάστημα.

Τα προς κρίση κείμενα πρέπει να είναι γραμμένα στην ελληνική γλώσσα, δακτυλογραφημένα με γραμματοσειρά μεγέθους 12 pt και σε διπλό διάστιχο. Το κείμενο πρέπει να συνοδεύεται από σύντομες περιλήψεις στην ελληνική και στην αγγλική γλώσσα και στο τέλος του πρέπει να παρατίθεται κατάλογος των βιβλίων, άρθρων κ.α., τα οποία αφορούν οι βιβλιογραφικές παραπομπές που γίνονται στο κείμενο.

- (1) Τα βιβλία περιλαμβάνουν το όνομα του συγγραφέα (με ΜΙΚΡΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ), τον τίτλο του βιβλίου (με πλάγια), τον τόπο έκδοσης, τον εκδοτικό οίκο και τη χρονολογία έκδοσης. Παραδείγματα:

O. PEDERSEN: *A survey of the Almagest*. Odense, Odense University Press, 1974.

D. C. LINDBERG: *Οι απαρχές της Δυτικής Επιστήμης. Η φιλοσοφική, θρησκευτική και θεσμική θεώρηση της ευρωπαϊκής παράδοσης, 600 π.Χ. – 1450 μ.Χ.*, μτφρ. Η. Μαρχολέφας. Αθήνα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 1997.

PAPPUS: *Pappi Alexandrini collectionis quae supersunt*, επιμ. F. Hultsch, 2 τ. Hildesheim, Weidmann, 2004, T.I., σ. 76.8-12 (Πρώτη έκδοση, 1876–1878).

- (2) Τα άρθρα σε περιοδικά ή συλλογικούς τόμους περιλαμβάνουν το όνομα του συγγραφέα (με ΜΙΚΡΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ), τον τίτλο του άρθρου σε εισαγωγικά, το όνομα του περιοδικού (με πλάγια), τον τόμο, το έτος (σε παρένθεση) και τις σελίδες που καταλαμβάνει το άρθρο. Παραδείγματα:

S. DRAKE: «The Academia dei Lincei». *Science* 151 (1966), 1194-2000.

I. B. COHEN: «Isaac Newton's *Principia*, the Scriptures, and the Divine Providence». Στο: *Philosophy, Science, and Method*, επιμ. S. Morgenbesser, New York, St. Martin's Press, 1969, 523-548.

Οι παραπομπές στο κείμενο θα γίνονται με το όνομα του συγγραφέα, το έτος δημοσίευσης και τον αριθμό σελίδας. Παραδείγματα:

Χριστιανίδης 2003, σ. 17.

Jones and Oaks 1994, σ. 49.

NEUSIS

BIANNUAL JOURNAL FOR HISTORY AND PHILOSOPHY
OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

VOLUME 31 / ISSUE 1 / JANUARY 2025

CONTENTS

SPECIAL ISSUE

The perils of prediction in the Physical Sciences: Historical and epistemological perspectives

THEODORE ARABATZIS, STATHIS ARAPOSTATHIS, IRAKLIS KATSALOULIS & TELIS TYMPAS: <i>Introduction</i>	3
STYLIANOS KAMPOURIDIS: <i>Chemistry with computers: Quantitative predictions and challenging the monopoly of experiment in the history of Computational Quantum Chemistry</i>	11
IRAKLIS KATSALOULIS: <i>The problem of prediction in modern seismology: Epistemological aspects and science policy issues</i>	35
GRIGORIS PANOUTSOPOULOS: <i>Tracing the historical trajectory of the concept of prediction in High-Energy Physics</i>	55
VASILIKI CHRISTOPOULOU: <i>Prediction and its epistemic value in the Natural Sciences of the 19th century</i>	85

BOOK REVIEW

GEORGIOS GOTSIS: <i>T. Jing, The origins and continuity of Chinese sociology</i> .	101
--	-----

EDITOR-IN-CHIEF

Costas Dimitracopoulos

ASSOCIATE EDITORS

Theodore Arabatzis
Chrysostomos Mantzavinos
Aristotle Tympas

EDITORIAL BOARD

Dionysios A. Anapolitanos
Theodore Arabatzis
Aristides Baltas
Jean Christianidis
Costas Dimitracopoulos
Kostas Gavroglu
Chrysostomos Mantzavinos
Michalis Sialaros
Telis Tympas

ADVISORY BOARD

Dimitra Christopoulou, National and Kapodistrian University of Athens
Costas N. Constantinidis, University of Ioannina
Dimitris Dialetis, National and Kapodistrian University of Athens
Pantelis Golitsis, Aristotle University of Thessaloniki
Dimitri Gutas, Yale University
Vassilios Karakostas, National and Kapodistrian University of Athens
Georgios Karamanolis, University of Vienna
Theokritos Kouremenos, Aristotle University of Thessaloniki
Manolis Patiniotis, National and Kapodistrian University of Athens
Demetris Portides, University of Cyprus
Athanasios Raftopoulos, University of Cyprus
Maria Rentetzi, Friedrich-Alexander-Universität