

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΠΡΩΤΗ (Α')

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Όνομα φοιτητή:

ΤΣΑΓΚΑΛΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ

ΤΙΤΛΟΣ:

«Η μεθοδολογία και το γνωσιολογικό πρόβλημα της επιστήμης – Η σημασία τους και μία πρόταση για τη διδακτική τους αξιοποίηση.»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 5130/1
Ημερ. Εισ.: 12-12-2006
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
501
ΤΣΑ

Περιεχόμενα

	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΜΕΡΟΣ 1^ο	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ – Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ – ΤΟ ΓΝΩΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ	2
Κεφάλαιο 1^ο	Σύντομη ιστορική αναδρομή	3
1.1	Η προεπιστημονική περίοδος	3
1.2	Η αρχή της επιστημονικής περιόδου – Γαλιλαίος – Νεύτωνας	5
1.3	Η παρακμή του νευτώνειου μοντέλου – Σχετικότητα – Κβαντομηχανική – Νεώτερη Φυσική	7
Κεφάλαιο 2^ο	Η μεθοδολογία της επιστήμης	11
2.1	Τι είναι η επιστήμη;	11
2.2	Μοντέλα της επιστημονικής μεθοδολογίας	14
2.3	Χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθόδου	18
2.4	Η σημασία και τα ιδιαίτερα γνωρίσματα του πειράματος στην επιστημονική έρευνα	20
2.5	Νόμοι και θεωρίες	25
2.6	Συμπεράσματα	30
Κεφάλαιο 3^ο	Το γνωσιολογικό πρόβλημα της επιστήμης	31
3.1	Η πραγματικότητα της επιστήμης	31
3.2	Η περίπτωση της κβαντομηχανικής	35
3.3	Οι ερμηνείες των επιστημόνων στα πορίσματα της κβαντικής θεωρίας	38
3.4	Τα όρια της επιστημονικής γνώσης	41

ΜΕΡΟΣ 2^ο	ΠΑΡΑΘΕΜΑΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ	46
1	Johannes Kepler, 1571 – 1630	47
2	Γαλιλαίος, 1564 – 1642	48
3	Ισαάκ Νεύτων, 1643 – 1727	50
4	Christian Huygens, 1629 – 1695	52
5	Jean Lerond D’Alembert, 1717 – 1783	53
6	James Clerk Maxwell, 1831 – 1879	54
7	Heinrich Hertz, 1857 – 1894	56
8	Ernest Rutherford, 1871 – 1937	57
9	Henri Poincaré, 1854 – 1912	59
10	Albert Einstein, 1879 – 1955	62
11	Werner Heisenberg, 1901 – 1976	65
12	Ilya Prigogine, 1917 –	67
ΜΕΡΟΣ 3^ο	ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ, ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ	70
Κεφάλαιο 1^ο	Θεωρητικά – Τεκμηρίωση της αναγκαιότητας	71
1.1	Η κατάσταση που επικρατεί σήμερα στη διδασκαλία της επιστήμης και οι συνέπειες της	71
1.2	Οι λόγοι για την αξιοποίηση της επιστημολογίας στη διδασκαλία	73

1.3	Ανασκόπηση των προσπαθειών για την εισαγωγή διδακτικού υλικού βασισμένου στην επιστημολογία	80
1.4	Παραδείγματα εισαγωγής στη διδασκαλία εκπαιδευτικού υλικού βασισμένο στην ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης	84
1.5	Θεωρητικό υπόβαθρο	90
Κεφάλαιο 2^ο	Φυλλάδια Εργασίας	92
2.1	Σύγκριση επιστημονικών και μη επιστημονικών μεθόδων	92
2.2	Δημιουργία μοντέλων για την εύρεση της δομής του ατόμου	98
2.3	Παρατηρήσεις επί των φυλλαδίων εργασίας	104
Κεφάλαιο 3^ο	Τελικά συμπεράσματα – Σχόλια	106
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	107

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιστήμη θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα του ανθρώπινου πολιτισμού. Τα αποτελέσματά της και οι επιτυχίες της έχουν βελτιώσει αισθητά την ποιότητα της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Επιπρόσθετα, περιμένουμε ακόμα μεγαλύτερη πρόοδο τα επόμενα χρόνια, προσδοκώντας ότι οι επιστημονικές και συνακόλουθες τεχνολογικές εξελίξεις θα επιλύσουν σημαντικά προβλήματα των σύγχρονων κοινωνιών, ενώ παράλληλα, θα διευρύνουν τα όρια της γνώσης του ανθρώπου για τη φύση.

Για τους παραπάνω λόγους, η διδασκαλία επιστημονικών αντικειμένων στο σχολείο, θεωρείται αναπόσπαστο κομμάτι της εκπαιδευτικής διαδικασίας διεθνώς και φυσικά και στη χώρα μας. Η διδασκαλία αυτή όμως, περιορίζεται, σε μεγάλο βαθμό, στην παράθεση έτοιμων αποτελεσμάτων της εκπαιδευτικής έρευνας, χωρίς να υπεισέρχεται στη διαδικασία παραγωγής της γνώσης, στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες, ενώ θεωρείται δεδομένη η εγκυρότητα και η απόλυτη αντικειμενικότητα των επιστημονικών πορισμάτων. Τα πιο πάνω ζητήματα, εξάλλου, απασχολούν τους ίδιους τους επιστήμονες, καθώς και τους ιστορικούς και φιλοσόφους της επιστήμης.

Στην εργασία αυτή, θα γίνει μία προσπάθεια να διερευνηθούν και να αποσαφηνιστούν, αν είναι δυνατό, τα θέματα αυτά. Καταρχάς, μία σύντομη αναδρομή στο παρελθόν, θα μας δείξει τους κυριότερους σταθμούς της επιστημονικής εξέλιξης από τη γέννηση της επιστήμης μέχρι τις ημέρες μας. Θα προσπαθήσουμε, στη συνέχεια, να δώσουμε έναν κατάλληλο ορισμό της έννοιας «επιστήμη» και να αναλύσουμε τους τρόπους με τους οποίους δουλεύει, δηλαδή τη μεθοδολογία της και τα χαρακτηριστικά της. Κατόπιν, θα ασχοληθούμε με το γνωσιολογικό πρόβλημα της επιστήμης, δηλαδή το κατά πόσον η παραγόμενη επιστημονική γνώση είναι έγκυρη και αντικειμενική και αν τελικά υπάρχει η έννοια της αντικειμενικής πραγματικότητας, την οποία προσπαθεί να αποκαλύψει η επιστήμη. Στο δεύτερο μέρος θα παραθέσουμε κάποια αποσπάσματα μεγάλων επιστημόνων, που σχετίζονται με τα ζητήματα αυτά. Τέλος, στο τρίτο μέρος της εργασίας, θα διερευνηθεί το αν και κατά πόσο η αξιοποίηση της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδασκαλία είναι χρήσιμη και επιθυμητή, ενώ θα προταθούν δύο φυλλάδια εργασίας για μαθητές/ριες λυκειακών τάξεων, με υλικό βασισμένο στην προηγηθείσα μελέτη.

ΜΕΡΟΣ 1^ο
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ – Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ Η
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ – ΤΟ ΓΝΩΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ
ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

1. Σύντομη ιστορική αναδρομή

1.1 Η προεπιστημονική περίοδος

Στην προσπάθειά μας να περιγράψουμε το φαινόμενο της ανθρώπινης διάνοησης που λέγεται επιστήμη, να αποσαφηνίσουμε τη μεθοδολογία της και να διερευνήσουμε τη σχέση και τα ερωτήματα που προκύπτουν μεταξύ της επιστημονικής γνώσης και της πραγματικότητας, είναι χρήσιμη η συνοπτική παρουσίαση της διαδρομής της επιστήμης διά μέσου των αιώνων και η σύντομη περιγραφή της εξέλιξης των ιδεών σε αυτή, περιοριζόμενοι βέβαια στη Φυσική.

Δε θα ήταν υπερβολή να υποστηρίξει κανείς ότι η παρατήρηση της φύσης από τον άνθρωπο άρχισε από την αρχή σχεδόν της παρουσίας του στη γη. Οι εξηγήσεις, όμως, για τα διάφορα φυσικά φαινόμενα που τον περιτριγύριζαν, περιορίζονταν αποκλειστικά σε θεολογικές και μεταφυσικές κατευθύνσεις, χωρίς να υπάρχει κάποια προσπάθεια να δοθούν βαθύτερες ερμηνείες για τα παρατηρούμενα γεγονότα. Ακόμα και λαοί που ανέπτυξαν μεγάλο πολιτισμό και μας άφησαν αρκετά ακριβή ημερολόγια ή αρχιτεκτονικά και τεχνικά έργα που φανερώνουν την ανάπτυξη της γεωμετρίας και των μαθηματικών (όπως οι Βαβυλώνιοι, οι Σουμέριοι, οι Αιγύπτιοι και οι Μάγιας), φαίνεται ότι χρησιμοποιούσαν τις γνώσεις τους για καθαρά πρακτικούς και θρησκευτικούς λόγους.

Στην ουσία, οι πρώτοι που προσπάθησαν να δώσουν εξηγήσεις για τα φαινόμενα του φυσικού κόσμου, που να βασίζονται στην ανθρώπινη λογική και διάνοια και όχι σε κάποια ανώτερη θεϊκή δύναμη, ήταν οι αρχαίοι Έλληνες. Μια σειρά από φυσικούς φιλοσόφους, όπως ο Θαλής, ο Αναξίμανδρος, ο Αναξίμενης, ο Ηράκλειτος, ο Παρμενίδης, ο Εμπεδοκλής, ο Αναξαγόρας, ο Πυθαγόρας, ο Λεύκιππος, ο Δημόκριτος και βέβαια ο Πλάτωνας και ο Αριστοτέλης άρχισαν να θέτουν ερωτήματα για τον κόσμο γύρω τους και να προτείνουν ποικίλες απαντήσεις βασισμένες στην εμπειρία και κυρίως τη λογική τους (Heisenberg, 1959/78). Τα ερωτήματα που έθεταν είχαν να κάνουν με τη φύση του κόσμου, την εύρεση μιας τάξης, μιας θεμελιακής αρχής για όλα τα φυσικά πράγματα (Heisenberg, 1959/78). Είναι μάλιστα αξιοπρόσεκτο ότι, ίσως χάρη σε ένα είδος μεγαλοφυούς διαίσθησης, κάποιοι από αυτούς (κυρίως ο Ηράκλειτος, ο Δημόκριτος αλλά και ο Πλάτωνας) φαίνεται να είχαν φτάσει σε συμπεράσματα αν όχι ίδια, τουλάχιστον

πολύ όμοια με αποτελέσματα στα οποία έχει καταλήξει η σύγχρονη Φυσική τον τελευταίο αιώνα (Heisenberg, 1959/78). Πρέπει, βέβαια, να γίνει σαφές εδώ ότι η αρχαία ελληνική φιλοσοφία δεν έχει καμία σχέση με την επιστήμη όπως την εννοούμε σήμερα, μια και τα συμπεράσματά της δε βασίζονταν καθόλου σε πειράματα. Η αξία της έγκειται κυρίως στο ότι ήταν η πρώτη και πολύ σημαντική προσπάθεια του ανθρώπου να αποδεσμευτεί από τις μεταφυσικές ερμηνείες του κόσμου και να χρησιμοποιήσει ως εργαλείο το μυαλό του αντί για την πίστη του.

Στη συνέχεια, καθώς η Ευρώπη προχωρούσε προς το Μεσαίωνα, η σκυτάλη πέρασε στους Άραβες, που μετέφρασαν τα έργα των αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων και επέκτειναν σε ορισμένες περιπτώσεις τις γνώσεις της αρχαιότητας, μεταβιβάζοντάς τες μάλιστα, μέσα από τις ιστορικές εξελίξεις των μεσαιωνικών χρόνων και στις ευρωπαϊκές χώρες. Η εποχή χαρακτηρίζεται κυρίως από τους αλχημιστές, οι οποίοι στην ουσία ήταν οι πρώτοι ερευνητές της Χημείας (Rutherford, 1933/2004). Αυτοί, πρόσφεραν πολλά πράγματα στη μετέπειτα εξέλιξη της Χημείας αλλά και της Φυσικής, σε ό,τι αφορά ερευνητικά δεδομένα και μεθόδους. Ο βασικός τους στόχος ήταν να επιτύχουν τη μεταστοιχείωση, δηλαδή τη μεταλλαγή μιας ουσίας σε μία άλλη, ελπίζοντας έτσι ότι θα μπορούσαν από ευτελή μέταλλα να δημιουργήσουν στο εργαστήριό τους χρυσό. Όπως, όμως, αναφέρει και ο Ράδερφορντ, εξετάζοντας τα πράγματα από τη σκοπιά της γνώσης που έχουμε σήμερα, δεν υπήρχε ελπίδα επιτυχίας στην επιδίωξή τους αυτή, καθώς είχαν στη διάθεσή τους πολύ περιορισμένα εργαστηριακά μέσα και μεθόδους, ενώ οι υποτιθέμενες αποδείξεις που κατά καιρούς παρουσιάζονταν, ήταν αμφίβολου και ισχνού χαρακτήρα (Rutherford, 1933/2004).

Έτσι, φτάνουμε στην περίοδο του 16^{ου} και 17^{ου} αιώνα, κατά τους οποίους έχουμε τη μεγάλη ανάπτυξη της φυσικής επιστήμης, που εν μέρει ήταν απόρροια της κατίσχυσης καινούριων φιλοσοφικών ιδεών, που συνδέονταν στενά με βασικές έννοιες της Φυσικής (Heisenberg, 1959/78). Ο Καρτέσιος (René Descartes) προσπαθεί με βάση την αμφιβολία και τη λογική σκέψη να βρει μία εντελώς νέα και στέρεη βάση για ένα φιλοσοφικό σύστημα (Heisenberg, 1959/78). Για τον Καρτέσιο, το ιδανικό της επιστήμης είναι μια απαγωγική (από την κορυφή μιας πυραμίδας ιδεών προς τη βάση της) ιεραρχία προτάσεων, οι περιγραφικοί όροι των οποίων αναφέρονται στις αυστηρά ποσοτικές προσδιοριζόμενες πλευρές της πραγματικότητας, συχνά στο μικροσκοπικό επίπεδο

(Losee, 1991). Όμως, ο Καρτέσιος σαφώς υποτίμησε τη σημασία της πειραματικής επιβεβαίωσης των υποθέσεων (Losee, 1991), ενώ αμφέβαλε και για ό,τι μας αναφέρουν οι αισθήσεις μας (Heisenberg, 1959/78), υπονομεύοντας έτσι τα συμπεράσματά του για διάφορα φυσικά φαινόμενα. Παρ'όλα αυτά, η συμβολή του υπήρξε μεγάλη σε ό,τι αφορά τη σημασία που έδωσε στη μαθηματική περιγραφή της φύσης, ενώ τέλος ευνόησε το χωρισμό σε τρεις βασικές έννοιες: Θεός, κόσμος και Εγώ. Το σχίσμα αυτό αποδείχτηκε εξαιρετικά χρήσιμο στην επιστήμη για τους επόμενους αιώνες, καθώς οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι μπορεί κανείς να περιγράψει και να ερμηνεύσει τον κόσμο, χωρίς να μιλήσει για το Θεό ή για τον άνθρωπο (Heisenberg, 1959/78).

1.2 Η αρχή της επιστημονικής περιόδου – Γαλιλαίος – Νεύτωνας

Ο Καρτέσιος μαζί με άλλους σπουδαίους φιλοσόφους της εποχής, όπως ο Καντ (Immanuel Kant), ο Λοκ (John Locke) και ο Χιουμ (David Hume), μέσα από τις ιδέες τους και τις διαφωνίες τους για τη σημασία ή όχι της εμπειρίας και την ταυτόχρονη προσήλωσή τους στην ορθολογική σκέψη, διαμόρφωσαν το ιδεολογικό υπόβαθρο που ήταν απαραίτητο για τη γέννηση και την ανάπτυξη της επιστήμης. Αναμφίβολα, όμως, ως ο πρώτος επιστήμονας, με την έννοια που χρησιμοποιούμε τη λέξη σήμερα, θεωρείται ο Γαλιλαίος (Galileo Galilei). Ήταν ο πρώτος που όχι μόνο θεωρούσε ότι στις θετικές επιστήμες η ανθρώπινη αυθαιρεσία δεν έχει θέση και άρα η εμπειρία και ο πειραματισμός αποτελούν τα βασικά κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης μιας υπόθεσης για κάποιο φυσικό γεγονός (Heisenberg, 1955/97), αλλά εκτέλεσε και τα απαραίτητα πειράματα, για να τεκμηριώσει τις απόψεις του. Η ανακάλυψη και χρησιμοποίηση της επιστημονικής έννοιας της κίνησης από το Γαλιλαίο, οδήγησε στην άποψη ότι δεν πρέπει πάντα να εμπιστευόμαστε τα συμπεράσματα που πηγάζουν από την άμεση παρατήρηση, γιατί συχνά αυτά οδηγούν σε λανθασμένες επιλογές για τις κατευθύνσεις της περαιτέρω έρευνας των φαινομένων (Einstein – Infeld, 1978). Πέρα από αυτά, ο Γαλιλαίος εφηύρε το πρώτο τηλεσκόπιο, αναδεικνύοντας έτσι και τη σημασία της τεχνολογίας στην πρακτική της φυσικής επιστήμης.

Το έργο του Γαλιλαίου συνέχισε, γενίκευσε και τελειοποίησε ο Νεύτωνας (Isaac Newton). Είναι δύσκολο να υπερβάλλει κανείς όταν αναφέρεται στην τεράστια απήχηση και τη θεμελιώδη σημασία του πολύπλευρου έργου του Νεύτωνα στη Φυσική ειδικά αλλά και

στην ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης γενικότερα. Ασχολήθηκε με τις κινήσεις των υλικών σημείων, περιέγραψε την παγκόσμια φύση της βαρυτικής έλξης, διατύπωσε νόμους για την οπτική, τάχθηκε υπέρ της σωματιδιακής φύσης του φωτός, κατασκεύασε το πρώτο ανακλαστικό τηλεσκόπιο και ανέπτυξε τη μαθηματική μέθοδο του διαφορικού λογισμού. Το βιβλίο του «Μαθηματικές αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας» που εκδόθηκε το 1687, δίκαια θεωρείται το σημαντικότερο ίσως βιβλίο στην ιστορία των επιστημών (Hawking, 1988/89). Πού οφείλεται, όμως, όλη αυτή η αναγνώριση; Κυρίως στο γεγονός ότι με το νόμο της παγκόσμιας έλξης ο Νεύτωνας κατάφερε να συνδέσει και να εξηγήσει φαινόμενα, τα οποία συμβαίνουν τόσο γύρω μας (πάνω στη γη δηλαδή), όσο και στους πλανήτες και τα αστέρια. Η παγκοσμιότητα του νόμου για τη βαρύτητα, καθιέρωσε στους ανθρώπους την ιδέα ότι η φύση κυβερνάται από φυσικούς νόμους και όχι από τυχαία γεγονότα ή από κάποια ανώτερη, θεϊκή θέληση (Rigden, 2005). Εξάλλου, ο Νεύτωνας δημιούργησε ένα μοντέλο, το οποίο καθορίζεται από μια σειρά ορισμών και αξιωμάτων, που συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να προκύπτει κάτι που μπορεί να ονομαστεί «κλειστό σύστημα». Η σύνδεση των διαφόρων εννοιών του συστήματος είναι τόσο στενή, ώστε γενικά δε θα μπορούσε κάποιος να αλλάξει κάποια από αυτές τις έννοιες, χωρίς να καταστρέψει ολόκληρο το σύστημα (Heisenberg, 1959/78). Το γεγονός αυτό, σε συνδιασμό με την άμεση αλλά και μεταγενέστερη επιτυχία του μοντέλου να εξηγήσει ποικίλα φαινόμενα, σε διάφορους τομείς της Φυσικής όπως θα δούμε και παρακάτω, οδήγησε στο να θεωρηθεί το νευτώνειο μοντέλο για μεγάλο διάστημα ως τελεσίδικο. Οι επιστήμονες για διακόσια περίπου χρόνια μετά την εποχή του Νεύτωνα, θεωρούσαν ότι το μόνο που είχαν να κάνουν για την ερμηνεία της φύσης, ήταν να εφαρμόζουν το συγκεκριμένο μοντέλο στα όποια καινούρια φαινόμενα παρατηρούσαν και μελετούσαν – και πράγματι για δύο αιώνες η Φυσική εξελίχθηκε προς αυτήν ακριβώς την κατεύθυνση (Heisenberg, 1959/78), ενώ η ιδέα πως, αν γνωρίζουμε τη θέση και την ταχύτητα ενός σώματος σε μία χρονική στιγμή, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε τη θέση και την ταχύτητά του σε οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή, κυριάρχησε και σε φιλοσοφικό επίπεδο (ντετερμινισμός).

Πέρα, λοιπόν, από τη μηχανική αυτή καθαυτή, από τη θεωρία της κίνησης των υλικών σημείων μπορούσε η Φυσική να περάσει στη μηχανική των στερεών σωμάτων, σε περιστροφικές κινήσεις, να διαπραγματευτεί τη συνεχή κίνηση των υγρών ή τις ταλαντώσεις των ελαστικών σωμάτων, την υδροδυναμική και την ακουστική. Η μεγάλη

επιτυχία, όμως, του μοντέλου του Νεύτωνα φάνηκε και από την αναγωγή των θερμικών φαινομένων στη μηχανική. Η θερμότητα, δηλαδή, αποδείχτηκε ότι δεν είναι μία ειδική μορφή ενέργειας, διαφορετική από τη μηχανική ενέργεια, αλλά είναι ακριβώς η κινητική ενέργεια της μοριακής κίνησης (Einstein, Infeld, 1978). Συνδέοντας, λοιπόν, τις έννοιες της μαθηματικής θεωρίας των πιθανοτήτων με τις έννοιες της νευτώνειας μηχανικής, οι Κλαούζιους, Γκιμπς, Μπόλτςμαν και άλλοι, κατόρθωσαν να δείξουν, κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, ότι οι θεμελιώδεις νόμοι της θερμότητας μπορούν να ερμηνευτούν σαν στατιστικοί νόμοι, που προκύπτουν από τη νευτώνεια μηχανική κατά την εφαρμογή σε πολύπλοκα μηχανικά συστήματα (Heisenberg, 1959/78).

1.3 Η παρακμή του νευτώνειου μοντέλου – Σχετικότητα – Κβαντομηχανική – Νεώτερη Φυσική

Μετά τα μισά, όμως, του 19^{ου} αιώνα, άρχισαν να εμφανίζονται δυσκολίες και ερωτηματικά για το αν το νευτώνειο μοντέλο ήταν όντως ικανό να ερμηνεύσει όλα τα φαινόμενα στη φύση. Οι πρώτοι προβληματισμοί προέκυψαν καθώς άρχισαν να ανακαλύπτονται και να ερευνώνται οι ηλεκτρικές και μαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Αρχικά, ο νόμος του Coulomb, που περιγράφει τη δύναμη που ασκείται μεταξύ δύο φορτίων και ο οποίος είναι όμοιος στη μορφή με το νόμο της παγκόσμιας έλξης του Νεύτωνα, θεωρήθηκε ότι ήταν σαφής ένδειξη ότι και τα ηλεκτρικά φαινόμενα θα μπορούσαν να ενταχθούν στη μηχανική περιγραφή της φύσης (Einstein – Infeld, 1978). Όμως, ανακαλύφθηκε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα παράγει μαγνητικά φαινόμενα, με τις δυνάμεις που επενεργούν να έχουν ένταση που εξαρτάται και από την ταχύτητα του φορτίου, σε αντίθεση με τη μηχανική που οι αλληλεπιδράσεις εξαρτώνται από τη θέση (την απόσταση των μαζών) (Einstein – Infeld, 1978). Τελικά, και μετά από τις έρευνες πολλών σπουδαίων φυσικών πάνω στα ηλεκτρικά και μαγνητικά φαινόμενα (Ampere, Faraday, Gauss κ.α.), ο μεγάλος Βρετανός φυσικός Τζαίμς Μάξγουελ (J.C. Maxwell), ενοποίησε τον ηλεκτρισμό και το μαγνητισμό, με τους περίφημους τέσσερις νόμους του, δημιουργώντας έτσι στην ουσία έναν καινούριο κλάδο στη Φυσική, τον ηλεκτρομαγνητισμό.

Ήταν, όμως, δύσκολο να «συμφιλιωθεί» η καινούρια θεωρία με τη νευτώνεια μηχανική (Segré, 1983/97). Ένα βασικό πρόβλημα ήταν το ότι μετά τα πειράματα των Young και

Fresnel, η κυματική θεωρία του Χόιχενς (Christian Huygens) για τη φύση του φωτός επικράτησε της νευτώνειας σωματιδιακής αντίληψης. Βέβαια, και η κυματική ανήκει στο μηχανικό πλαίσιο ερμηνείας της φύσης, μια και ένα κύμα είναι μία διαταραχή που προκαλεί τη διάδοση ενέργειας μέσα σε ένα υλικό (μηχανικό) μέσο. Παράλληλα, με τη θεωρία του Μάξγουελ, κατέστη σαφές ότι το φως ήταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που μπορούσε να διαδοθεί και στον κενό από ύλη χώρο. Η αντίφαση είναι φανερή, και για να την επιλύσουν οι φυσικοί κατέφυγαν στην εισαγωγή της έννοιας του αιθέρα, μιας ουσίας που δεν μπορούσε κανείς να τη δει, ούτε να τη νιώσει και θεωρούνταν ότι «πλημμύριζε» όλο το σύμπαν (Heisenberg, 1959/78). Το 1887 όμως, το περίφημο πείραμα που εκτέλεσαν οι Μίκελσον και Μόρλεϋ, προσπαθώντας να ανιχνεύσουν την επίδραση του αιθέρα στην κίνηση της ύλης μέσα από αυτόν μετρώντας μεταβολές στην ταχύτητα του φωτός κατά μήκος καλά καθορισμένων διαδρομών, κατέληξε σε αρνητικά αποτελέσματα. Δεν μπορούσε να υπάρξει αιθέρας και το ζήτημα οδηγούνταν σε αδιέξοδο.

Το αποφασιστικό βήμα γίνεται από τον Αϊνστάιν το 1905. Δημοσιεύει στο γερμανικό περιοδικό *Annalen der Physik* την ειδική θεωρία της σχετικότητας («Περί της ηλεκτροδυναμικής των κινουμένων σωμάτων»), στην οποία απορρίπτει την ύπαρξη του αιθέρα, ανακηρύσσει την ταχύτητα του φωτός σταθερή και μεγαλύτερη από κάθε άλλη ταχύτητα στο σύμπαν και μέσω των συμπερασμάτων της θεωρίας του, αλλάζει την αντίληψη των φυσικών για τη δομή του χώρου και του χρόνου, ενώ επανατοποθετεί πολλά προβλήματα της Φυσικής κάτω από ένα καινούριο πρίσμα (Heisenberg, 1959/78). Το 1915 διατυπώνει τη γενική θεωρία της σχετικότητας, με την οποία δίνει μία ευφύεστατη γεωμετρική εξήγηση της βαρύτητας.

Παράλληλα με την υπόθεση του αιθέρα, υπήρχαν άλλα δύο ζητήματα που απασχολούσαν και προβλημάτιζαν τους φυσικούς του τέλους του 19^{ου} και των αρχών του 20^{ου} αιώνα. Το ένα ήταν η αδυναμία εξήγησης των φασμάτων εκπομπής και απορρόφησης του υδρογόνου και το άλλο η ακτινοβολία ενός θερμού αντικειμένου. Τα δύο ζητήματα συνδέθηκαν τελικά, στη δεκαετία του 1920, με τη δημιουργία της πιο επιτυχημένης ίσως θεωρίας στη Φυσική μέχρι στιγμής, της κβαντομηχανικής. Το πρώτο ζήτημα συνίστατο στο παράδοξο συμπέρασμα ότι, σύμφωνα με τους υπολογισμούς των Rayleigh και Jeans, ένα θερμό αντικείμενο θα έπρεπε να ακτινοβολεί άπειρη θερμότητα. Για να αποφύγει αυτό το προφανώς απαράδεκτο συμπέρασμα, ο Γερμανός φυσικός Max Planck υπέθεσε το

1900 ότι η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκπέμπεται όχι συνεχόμενα, αλλά κατά ορισμένα ποσά ενέργειας, που ονομάστηκαν *κβάντα* (Hawking, 1988/89).

Για την επίλυση του πρώτου προβλήματος εργάστηκαν διαδοχικά οι Τόμσον, Ράδερφορντ και Μπορ βασιζόμενοι στα πειραματικά αποτελέσματα και τα συμπεράσματα των προηγούμενων. Οι δύο πρώτοι εισήγαγαν τα πρώτα ατομικά μοντέλα, η αποδοχή των οποίων, όμως, προσέκρουε σε ανυπέρβλητες πειραματικές και θεωρητικές δυσκολίες. Μία πρώτη λύση έδωσε ο Μπορ, που πρότεινε ένα μοντέλο ηλιακού συστήματος που υπάκουγε σε κάποιες υποθέσεις που έθεσε ο Μπορ, προκειμένου να είναι συμβατό το μοντέλο με τα πειραματικά αποτελέσματα. Το σημαντικό εδώ είναι ότι ο Μπορ δανείστηκε για τις υποθέσεις του αυτές την κβαντική υπόθεση του Πλανκ, η οποία φάνηκε ότι δε θα είχε εφαρμογή μόνο στο εξειδικευμένο αντικείμενο στο οποίο πρωτοεμφανίστηκε (Segré, 1983/97).

Η εξέλιξη των ερευνών και των θεωρητικών εργασιών πάνω στο θέμα της δομής του ατόμου, του πυρήνα και των υποατομικών σωματιδίων, οδήγησε τελικά μία ομάδα φυσικών στα μέσα της δεκαετίας του 1920 στην ανάπτυξη και στη θεωρητική και πειραματική θεμελίωση μιας καινούριας θεωρίας, της κβαντομηχανικής. Οι Born, Jordan και Heisenberg, εργαζόμενοι στο Γκαίτιγκεν της Γερμανίας, ο Paul Dirac από το πανεπιστήμιο του Καίμπριτζ, ο Wolfgang Pauli και ο Erwin Schroedinger, καθώς και ο Louis de Broglie κατέληξαν σε συμπεράσματα, που είχαν ανάλογη απήχηση και ριζοσπαστικότητα με αυτά του Αϊνστάιν στη θεωρία της σχετικότητας. Σύμφωνα με αυτά, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου, με αποτέλεσμα να καταρρέει ο ντετερμινισμός της νευτώνειας θεωρίας (Hawking, 1988/89). Επίσης, εισάγεται ο δυϊσμός κύματος – σωματιδίου για το φως και τα ηλεκτρόνια αρχικά, αλλά και για όλα τα σώματα αργότερα, προκειμένου να μπορέσουν να εξηγηθούν αντιφατικά αποτελέσματα διαφόρων πειραμάτων. Τίθεται γενικά υπό αμφισβήτηση η δυνατότητά μας να αποφαινόμαστε με βεβαιότητες σε ό,τι αφορά τον κόσμο των στοιχειωδών σωματιδίων, ενώ έρχεται στο προσκήνιο η έννοια της πιθανότητας, που θεωρείται, όμως, εγγενής στη φύση, και όχι απλά ως περιορισμός της ευαισθησίας και ακρίβειας των μετρητικών μας οργάνων. Θα επανέλθουμε, όμως, αργότερα σε αυτό το σημείο.

Από το 1913 ως το 1928, περίοδο κατά την οποία θεμελιώθηκε και αναπτύχθηκε η κβαντική μηχανική, ο τομέας αυτός απορρόφησε ολόκληρη σχεδόν τη νέα γενιά των φυσικών, ενώ η θεωρία επικράτησε σχεδόν πλήρως του πειράματος, παρά το γεγονός ότι χωρίς πειραματική υποστήριξη καμία θεωρητική κατασκευή δεν μπορεί να σταθεί (Segré, 1983/97). Ήταν εύλογο, λοιπόν, να ακολουθήσει μία περίοδος πειραματικών προσπαθειών και συνακόλουθων ανακαλύψεων, που αφενός στήριζαν αποφασιστικά την καινούρια θεωρία και αφετέρου έδωσαν ξεχωριστή ώθηση στην πυρηνική Φυσική, ενώ δημιούργησαν, μπορεί να πει κανείς, ένα καινούριο κλάδο της επιστήμης, τη Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων. Έτσι, μόνο το 1932 ανακαλύφθηκε το νετρόνιο, το ισότοπο του υδρογόνου με διπλάσια μάζα από το συνηθισμένο υδρογόνο (δευτέριο), και το θετικό ηλεκτρόνιο (ποζιτρόνιο). Ακολούθησαν, εξάλλου, η δημιουργία των επιταχυντών σωματιδίων, η διατύπωση της θεωρίας της ραδιενεργού ακτινοβολίας β και η ανακάλυψη της τεχνητής ραδιενέργειας (Segré, 1983/97). Όλες αυτές οι επιτυχίες οδήγησαν στη σε βάθος κατανόηση της δομής του πυρήνα και την τιθάσευση της πυρηνικής ενέργειας (κάτι βέβαια που είχε ως δυσάρεστη παρενέργεια τη δημιουργία αργότερα πυρηνικών όπλων). Παράλληλα, με τη συνεχή βελτίωση των επιταχυντών, ανακαλύπτονταν ολοένα και περισσότερα στοιχειώδη σωματίδια, κάτι που προκάλεσε την ανάπτυξη θεωριών για το σχηματισμό και την ταξινόμηση της πληθώρας αυτών των σωματιδίων, με επιδράσεις σε ποικίλους τομείς της επιστήμης, όπως η πυρηνική Φυσική, η κβαντομηχανική, η αστρονομία και η κοσμολογία.

Παράλληλα, σε μία άλλη κατεύθυνση, άρχισε να αναπτύσσεται η μελέτη συστημάτων μακράν της ισορροπίας, δημιουργώντας έτσι τη λεγόμενη επιστήμη του χάους, δηλαδή της μελέτης πολύπλοκων συστημάτων, των οποίων η πορεία είναι σχεδόν αδύνατο να προβλεφθεί με τα συμβατικά επιστημονικά εργαλεία. Όπως λέει ο Ilya Prigogine, ένας από τους πρωτεργάτες του καινούριου αυτού κλάδου, «μπορούμε να συμπεριλάβουμε το χάος στους νόμους της φύσης, με την προϋπόθεση ότι οι τελευταίοι πρέπει να διευρυνθούν ώστε να συμπεριλάβουν τις έννοιες της πιθανότητας και της μη αναστρεψιμότητας.» (Prigogine, 1993/2003).

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, οι προσπάθειες των φυσικών έχουν στραφεί στη διαμόρφωση μιας πλήρους, συνεπούς, ενοποιημένης θεωρίας για το σύμπαν, που θα περιλαμβάνει όλες τις επιμέρους θεωρίες (Hawking, 1988/89). Η προσπάθεια αυτή

ξεκίνησε από τον Maxwell, που κατόρθωσε να ενοποιήσει τον ηλεκτρισμό με το μαγνητισμό, συνεχίστηκε με την ενοποίηση του ηλεκτρομαγνητισμού με τις ασθενείς πυρηνικές αλληλεπιδράσεις και κατόπιν και με την ισχυρή αλληλεπίδραση (Hawking, 1988/89). Όταν και αν επιτευχθεί αυτός ο στόχος, πολλοί φυσικοί πιστεύουν ότι, τουλάχιστον σε ένα βαθμό, θα ολοκληρωθεί η προσπάθεια για την ερμηνεία της φύσης από την πλευρά της επιστήμης της Φυσικής. Πολλοί, όμως, είναι και εκείνοι που θεωρούν ότι κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό να συμβεί σύντομα, ίσως και ποτέ (Hawking, 1988/89).

2. Η μεθοδολογία της επιστήμης

2.1 Τι είναι η επιστήμη;

Είδαμε μέχρι τώρα, σε γενικές γραμμές, την εξέλιξη που είχε η επιστήμη της Φυσικής από τις απαρχές της μέχρι και τις ημέρες μας. Ένα ερώτημα, όμως, που δεν έχει απαντηθεί παρά την ιστορική αυτή ανασκόπηση, είναι αυτό του ορισμού της επιστήμης. Δηλαδή, τι ακριβώς είναι η επιστήμη, ποια είναι τα χαρακτηριστικά της γνωρίσματα, ποιους σκοπούς εξυπηρετεί και ποιους τρόπους επιλέγει να χρησιμοποιήσει προκειμένου να επιτύχει αυτούς τους σκοπούς. Θα προσπαθήσουμε να διερευνήσουμε τα προηγούμενα ερωτήματα μέσα από ιστορικά παραδείγματα, τα λόγια των ίδιων των επιστημόνων για το τι κατόρθωσαν να κάνουν και το πώς το πέτυχαν, αλλά και απόψεις της φιλοσοφίας της επιστήμης για το συγκεκριμένο θέμα.

Καταρχήν, αν προσπαθήσουμε να δώσουμε έναν ορισμό για την έννοια της επιστήμης, θα καταλήξουμε εύκολα σε δύο συμπεράσματα. Το πρώτο είναι ότι δεν είναι και τόσο εύκολο να δοθεί ένας συγκεκριμένος ορισμός για την επιστήμη, που να ικανοποιεί όλους όσοι ασχολούνται με αυτήν. Το δεύτερο συμπέρασμα είναι ότι πολλές φορές ο ορισμός της έννοιας της επιστήμης ταυτίζεται σχεδόν με τις μεθόδους που ακολουθούν οι επιστήμονες προσπαθώντας να φτάσουν στο σκοπό τους. Όπως αναφέρει ο Woolgar, έχει υποστηριχθεί ότι η επιστήμη διακρίνεται βάσει των αποτελεσμάτων της, αλλά και πιο πρόσφατα, ότι η επιστήμη διακρίνεται από τη μεθοδολογία της (Woolgar, 2003). Θα παραθέσουμε αμέσως κάποιους ορισμούς για την επιστήμη, προκειμένου να επιβεβαιώσουμε τα πιο πάνω συμπεράσματα:

1. [Η επιστήμη] είναι μία θεσμοθετημένη ομάδα ενεργειών, οι οποίες ενσωματώνουν ένα συγκεκριμένο σκοπό, δηλαδή την απόκτηση ενός συγκεκριμένου είδους γνώσης (Checkland, 1981).
2. Η επιστήμη είναι ένας τρόπος απόκτησης γνώσης για τον κόσμο, που μπορεί να τεθεί σε δημόσιο έλεγχο και δοκιμασία. Χαρακτηρίζεται από την εφαρμογή της λογικής σκέψης στην εμπειρία, όπως η τελευταία αποκτάται από την παρατήρηση και μέσω επίτηδες σχεδιασμένων πειραμάτων, με σκοπό την ακριβή έκφραση νόμων οι οποίοι κυβερνούν τις κανονικότητες του σύμπαντος, και οι οποίοι, είναι διατυπωμένοι σε μαθηματική γλώσσα, αν αυτό είναι δυνατό (Checkland, 1981).
3. [Η επιστήμη] είναι πάνω απ' όλα μία ταξινόμηση, ένας τρόπος να προσεγγίσουμε μεταξύ τους γεγονότα που οι φαινομενικότητες διαχωρίζουν, μολονότι τα συνδέει κάποια φυσική και κρυμμένη συγγένεια. Με άλλα λόγια η επιστήμη είναι ένα σύστημα σχέσεων (Poincaré, 1905/97).
4. Η διαφορά μεταξύ επιστήμης και μη-επιστήμης έγκειται στη διαψευσιμότητα των επιστημονικών θεωριών (όπου επιστημονικές θεωρίες είναι εκείνες που μπορούν να ελεγχθούν και πιθανώς να βρεθούν λανθασμένες). Έτσι, το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της επιστήμης, το οποίο την ξεχωρίζει από άλλες μη επιστημονικές προσπάθειες, δε βασίζεται στην επιβεβαίωση των ποικίλων θεωριών που ανταγωνίζονται για επιστημονικό κύρος, αλλά στο σε ποιο βαθμό είναι ευάλωτες στη δοκιμασία. [Ορισμός του Karl Popper]. (Forinash, Rumsey, 2000).
5. Η επιστήμη δεν είναι συλλογή νόμων, δεν είναι κατάλογος γεγονότων που δε συνδέονται μεταξύ τους. Είναι δημιουργία του ανθρώπινου πνεύματος διά μέσου ιδεών και εννοιών που επινοούνται ελεύθερα. Οι φυσικές θεωρίες προσπαθούν να διαμορφώσουν μία εικόνα της πραγματικότητας και να τη συνδέσουν στον πλατύ κόσμο των αισθητών εντυπώσεων. Έτσι, οι νοητές μας κατασκευές δικαιολογούνται μόνο αν, και με τι τρόπο, οι θεωρίες μας αποτελούν ένα τέτοιο σύνδεσμο. [Ορισμός του Einstein]. (Einstein, Infeld, 1978).

6. Το κρίσιμο χαρακτηριστικό της επιστήμης είναι η συμφωνία μεταξύ των λειτουργιών της επιστήμης. Δηλαδή, τα επιστημονικά γεγονότα πρέπει να ελεγχθούν από μία κοινότητα από ικανά και αποστασιοποιημένα άτομα. Αυτό υπονοεί ότι υπάρχει μία κοινωνική πλευρά στην επιστήμη. Αντίθετα με τις τέχνες ή την τεχνολογία, ένα μεμονωμένο άτομο δεν μπορεί να «κάνει» επιστήμη. [Ορισμός του John Ziman]. (Forinash, Rumsey, 2000).
7. Η αρχή της επιστήμης, ο ορισμός της σε γενικές γραμμές, εμπεριέχεται στην ακόλουθη πρόταση: *Ο έλεγχος όλων των γνώσεων γίνεται μέσω του πειράματος*. Το πείραμα είναι ο μοναδικός κριτής της επιστημονικής αλήθειας (Feynman, 1995/98).
8. Δύο είναι τα χαρακτηριστικά της νέας μεθόδου [της επιστημονικής]: η προσπάθεια για το σχεδιασμό νέων και μεγάλης ακρίβειας πειραμάτων τα οποία εξιδανικεύουν και απομονώνουν την εμπειρία και ως εκ τούτου στην πραγματικότητα δημιουργούν νέα φαινόμενα, και η σύγκριση αυτών των φαινομένων με μαθηματικές κατασκευές, που ονομάζονται φυσικοί νόμοι (Heisenberg, 1983/95).

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω ορισμούς, οι οποίοι βέβαια δεν είναι οι μοναδικοί που υπάρχουν, υπάρχει μία ποικιλία απόψεων για την οριοθέτηση των χαρακτηριστικών της έννοιας «επιστήμη» (Forinash, Rumsey, 2000). Επιπρόσθετα, οι γνώμες διίστανται πολλές φορές και για την ουσία κάποιων από τους ορισμούς αυτών. Αν χρησιμοποιήσουμε ως παράδειγμα τον τέταρτο ορισμό του Karl Popper, ο οποίος επηρέασε όσο λίγοι την επιστημολογία και τη φιλοσοφία της επιστήμης στον εικοστό αιώνα, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τη γνώμη του Paul Thagard, που υποστηρίζει ότι σύμφωνα με τον Popper η αστρολογία θα έπρεπε να θεωρείται επιστήμη, αφού τα συμπεράσματά της είναι ελέγξιμα και άρα διαψεύσιμα. Είναι, λοιπόν, απαραίτητο να εξετάσουμε ταυτόχρονα την ιστορική πρόοδο μιας θεωρίας, όσο και τη στάση των υποστηρικτών της και της επιστημονικής κοινότητας γενικότερα ως προς αυτήν. Έτσι, την εποχή του Κοπέρνικου και του Κέπλερ (οι οποίοι παράλληλα με τις επιστημονικές τους έρευνες για τις οποίες κέρδισαν μια θέση στην Ιστορία, ασχολούνταν και με την αστρολογία και έφτιαχναν ωροσκόπια), ήταν απόλυτα δικαιολογημένη η πίστη στην εγκυρότητα της αστρολογίας, μια και δεν υπήρχε καμία εναλλακτική θεωρία της ψυχολογίας που να δουλεύει καλύτερα. Σήμερα, όμως, θα

ήταν τελείως αδικαιολόγητο για κάποιον να θεωρεί την αστρολογία επιστήμη, αφού η θεωρία δεν επέδειξε καμία πρόοδο στο πέρασμα των χρόνων, και επιπλέον όσοι ασχολούνται με αυτή δεν κάνουν καμία προσπάθεια να επιλύσουν τα ποικίλα προβλήματα που αντιμετωπίζει. Για τον Thagard, η επιστήμη πρέπει να παρουσιάζει πρόοδο και αυτό απαιτεί μία ιστορική προοπτική (Forinash, Rumsey, 2000).

Παρόλα αυτά, μπορεί κάποιος να διακρίνει ορισμένα κοινά σημεία στους ορισμούς που παραθέσαμε, που επιτρέπουν τη αποσαφήνιση ορισμένων χαρακτηριστικών που πρέπει να έχει μία δραστηριότητα για να ονομαστεί επιστημονική. Καταρχήν η επιστήμη είναι ένα σύνολο δραστηριοτήτων του ανθρώπου, είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης νόησης. Επίσης, η αναγκαιότητα του ελέγχου και της δοκιμασίας των συμπερασμάτων μιας θεωρίας είναι βασική. Υπάρχει, εξάλλου, μία κοινωνική διάσταση στη λειτουργία της επιστήμης, καθώς πρέπει να επιτευχθεί συμφωνία σε μία μεγάλη ομάδα ανθρώπων που ασχολούνται με ένα θέμα για να μπορεί να θεωρηθεί μία άποψη επιστημονική και έγκυρη. Η συμφωνία αυτή βασίζεται αφενός σε λογικές διεργασίες, ενώ θεμελιώδης είναι η τεκμηρίωση των συμπερασμάτων της θεωρίας από την ίδια τη φύση μέσω του πειράματος.

2.2 Μοντέλα της επιστημονικής μεθοδολογίας

Προκειμένου να αντιληφθούμε καλύτερα τι ακριβώς περικλείει η έννοια της επιστήμης, είναι απαραίτητο να διερευνήσουμε το τι ακριβώς κάνουν οι επιστήμονες, πώς ακριβώς δουλεύουν, με τι κριτήρια εξάγουν συμπεράσματα και διατυπώνουν νόμους, με άλλα λόγια δηλαδή ποια είναι η μεθοδολογία της επιστημονικής έρευνας.

Υπάρχουν πολλές θεωρίες και αντικρουόμενα ρεύματα στη φιλοσοφία της επιστήμης, που προσπαθούν να ερμηνεύσουν και να θέσουν κριτήρια για την επιστημονική μεθοδολογία. Θα παρουσιάσουμε αρχικά τις πιο γενικές και αποδεκτές από αυτές, ενώ στη συνέχεια θα εξετάσουμε αν αυτές οι θεωρητικές κατασκευές έχουν όντως σχέση με πραγματικά γεγονότα από την ιστορία της επιστήμης.

1. Ο επαγωγισμός ή η επαγωγική μέθοδος υποστηρίζει ότι οι επιστήμονες φθάνουν στους νόμους και τις θεωρίες εκκινώντας από τα αποτελέσματα των πειραμάτων

τους, τα οποία ελέγχουν με άλλα πειράματα. Οι αρχικές παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα των πειραμάτων αποτελούν τα δεδομένα, τα οποία παρέχουν μία στέρεη βάση για να ακολουθήσει γενικεύσεις, που θα δημιουργήσουν τελικά νόμους και ολοκληρωμένες θεωρίες (Κόκκοτας, Βλάχος, 2000). Με άλλα λόγια η επιστημονική έρευνα είναι ζήτημα επαγωγικής γενίκευσης από τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων και των πειραμάτων, ενώ ένας επιστημονικός νόμος ή θεωρία επιβεβαιώνονται μόνο αν τα αποδεικτικά στοιχεία είναι σύμφωνα με το επαγωγικό σχήμα (Losee, 1991). Ένα σχηματικό μοντέλο της παραπάνω θεώρησης είναι το ακόλουθο:

Επαγωγικό πρότυπο:

Παρατηρήσεις/πειράματα → Δεδομένα → Γενίκευση → Νόμοι → Θεωρία.

2. Το παραγωγικό μοντέλο συνίσταται στη δημιουργία υποθέσεων εκ μέρους των επιστημόνων για την εξήγηση ή την πρόβλεψη κάποιου φαινομένου, οι οποίες υποθέσεις κατόπιν ελέγχονται μέσω του πειράματος. Δηλαδή, ο επιστήμονας, βασιζόμενος σε κάποια υπάρχουσα θεωρία, σχηματίζει μια υπόθεση, της οποίας αναζητεί τη διάψευση (Κόκκοτας, Βλάχος, 2000). Μία σχηματική αναπαράσταση αυτού του μοντέλου φαίνεται παρακάτω:

Παραγωγικό μοντέλο:

Θεωρία → Υποθετικό πείραμα → Πραγματικό πείραμα → Πειραματικά αποτελέσματα → Σύγκριση με το υποθετικό πείραμα → Επαλήθευση ή διάψευση της θεωρίας.

Θα πρέπει ήδη να παρατηρήσουμε ότι η επαγωγική μέθοδος της ανακάλυψης της γνώσης έχει δεχθεί σκληρή κριτική, καθώς θεωρείται ότι δεν αποτελεί στέρεη βάση για την δημιουργία φυσικών νόμων. Υποστηρίζεται καταρχήν ότι δεν είναι δυνατό πειράματα που γίνονται πάνω σε παρατηρήσιμες ιδιότητες των υλικών σωμάτων να παρέχουν τη βάση για τους νόμους της συμπεριφοράς των πραγμάτων και των διαδικασιών που ποτέ δεν μπορούν να παρατηρηθούν (Κόκκοτας, Βλάχος, 2000). Για να γίνει αυτό πιο σαφές, δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι, υποστηρίζει ο R. Harre, ότι στο παρελθόν ή στο μέλλον και σε απομονωμένες περιοχές κάποια πειράματα δε θα έδιναν διαφορετικά αποτελέσματα

από εκείνα πάνω στα οποία στηρίζουμε σήμερα τους νόμους και τις θεωρίες μας (Κόκκοτας, Βλάχος, 2000). Με άλλα λόγια, κάθε πρόταση, πριν τη γενικεύσουμε και αποκτήσει καθολική ισχύ, μπορούμε μεν να ελέγξουμε αν επαληθεύεται ή όχι, όμως, η ισχύς μιας τέτοιας γενίκευσης είναι πάντα αβέβαιη, υπό την έννοια ότι οποιαδήποτε επόμενη παρατήρηση μπορεί να είναι αντίθετη προς αυτήν (Woolgar, 2003). Επιπρόσθετα, κάποια πειραματικά ή παρατηρησιακά δεδομένα, είναι δυνατό να ερμηνεύονται από πολλές θεωρίες. Συνεπώς, μόνη η ερμηνεία κάποιων δεδομένων, δεν αρκεί για την παραδοχή μιας συγκεκριμένης θεωρίας (Κόκκοτας, Βλάχος, 2000).

Και ο Popper απορρίπτει την επαγωγική μέθοδο, υποστηρίζοντας ότι η δυνατότητα επαλήθευσης δεν αποτελεί κριτήριο ελέγχου των επιστημονικών προτάσεων. Η επαγωγή, δηλαδή η εξαγωγή συμπερασμάτων, που βασίζονται σε πολλές παρατηρήσεις, είναι ένας μύθος. Η επαγωγική μέθοδος κάνει τις θεωρίες μάλλον πιθανές παρά βέβαιες (Κόκκοτας, Βλάχος, 2000). Ειδικότερα ο Popper υποστήριξε ότι η ουσία της επιστημονικής μεθοδολογίας είναι να παράγει γενικές ικανές να αντισταθούν στις προσπάθειες διάψευσής τους (Woolgar, 2003). Εισήγαγε, δηλαδή, τη λεγόμενη αρχή ή κριτήριο της διαψευσιμότητας για την αναγνώριση μιας επιστημονικής θεωρίας, απορρίπτοντας την προηγούμενη αρχή της επαλήθευσης. Έτσι, η αποτυχία να επαληθευτούν οι αντίθετες στη θεωρία περιπτώσεις (δηλαδή η αποτυχία διάψευσης), καθιστά τη γενίκευση αξιόπιστη, τουλάχιστον προσωρινά (Woolgar, 2003).

Με πιο απλά λόγια, ο Popper πρότεινε ότι το κριτήριο για την αποδοχή μιας θεωρίας ως επιστημονικής, είναι το να είναι έτσι διατυπωμένη, ώστε να είναι διαψεύσιμη, δηλαδή να περιέχει εκείνα τα στοιχεία που θα επιτρέπουν άμεσα και καθαρά τη διάψευσή της από τον εμπειρικό έλεγχο (Losee, 1991). Αυτό φυσικά δε σημαίνει ότι η θεωρία πρέπει οπωσδήποτε να διαψευστεί κάποια στιγμή, ώστε εκ των υστέρων να αναγνωριστεί ως επιστημονική. Αν επαληθεύεται, η θεωρία είναι και έγκυρη. Αν όχι, θα απορριφθεί. Πρέπει, όμως, να διατυπώνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην καλύπτει όλες τις δυνατές περιπτώσεις, καθιστώντας την έτσι στην ουσία ανίκανη να προσφέρει κάποιου είδους ελέγξιμη πληροφορία. Ένα παράδειγμα από την ιστορία της επιστήμης που θα βοηθήσει να γίνουν πιο κατανοητά τα παραπάνω, είναι αυτό της προσπάθειας του Lorenz το 1904 να διασώσει την υπόθεση του αιθέρα, που είχε δεχτεί καίριο πλήγμα μετά το πείραμα των Michelson – Morley το 1887. Ο Lorenz πρότεινε ένα μαθηματικό μετασχηματισμό που

μπορούσε να συμβιβάσει την κυματική εξίσωση για τη διάδοση του φωτός, με την αδυναμία πειραματικής επιβεβαίωσης της σχετικής κίνησης ενός σώματος μέσα από τον αιθέρα. Με τον τρόπο αυτό, όμως, καθιστούσε τον αιθέρα ουσιαστικά «αόρατο» για τους φυσικούς, καθώς στην ουσία αποκλειόταν κάθε δυνατότητα πειραματικού ελέγχου της υπόθεσής του (Losee, 1991). Έτσι, ενώ παρόμοιες σκέψεις συζητήθηκαν από τον Πουανκαρέ, το Φιτζέραλντ και άλλους φυσικούς και ενώ η ερμηνεία αυτή μπορούσε να εξηγήσει τα πειραματικά αποτελέσματα, η αδυναμία πειραματικού ελέγχου έκανε τη θεωρία μη διαψεύσιμη και άρα ακατάλληλη. Και πράγματι, τον επόμενο χρόνο έγινε το αποφασιστικό βήμα από τον Αϊνστάιν, που έλυσε το πρόβλημα με τη θεωρία της σχετικότητας.

Άλλοι βέβαια, χωρίς να απορρίπτουν τις παραπάνω ιδέες, θεωρούν ότι η επαγωγή είναι μία βοηθητική μέθοδος στη διαδικασία της επιστημονικής ανακάλυψης και όχι διαδικασία ανακάλυψης αυτή καθαυτή. Όπως το έθεσε ο Whewell, η επιτυχία της επαγωγής φαίνεται ότι συνίσταται στο να διαμορφώνει μερικές δοκιμαστικές υποθέσεις και να επιλέγει κατόπιν την ορθή. Αλλά η επιλογή κατάλληλων υποθέσεων δεν μπορεί να γίνει με κανόνες, ούτε χωρίς το εφευρετικό ταλέντο (Losee, 1991). Άλλοι πρότειναν συνδυαστικές μεθόδους για την επιστημονική έρευνα. Έτσι, ο Jevons θεωρούσε ότι για να επιβεβαιωθεί μία υπόθεση πρέπει να δειχτούν δύο πράγματα: Αρχικά, ότι η υπόθεση αυτή δεν είναι ασυνεπής προς άλλους καλά επιβεβαιωμένους νόμους, και κατόπιν ότι οι συνέπειές της βρίσκονται σε συμφωνία με αυτό το οποίο παρατηρείται (Losee, 1991). Αλλά για να δείξουμε κάτι τέτοιο, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε απαγωγικά επιχειρήματα. Ο Jevons, λοιπόν, πρότεινε στην ουσία μία υποθετικο-απαγωγική μέθοδο. Μία δίπτυχη μέθοδος υποστηρίζεται και από τον R. Cotes, εκδότη της δεύτερης έκδοσης των «Μαθηματικών αρχών της Φυσικής φιλοσοφίας» του Νεύτωνα. Από ορισμένα επιλεγμένα φαινόμενα και μέσω της ανάλυσης συνάγονται οι δυνάμεις και οι απλοί νόμοι της φύσης, ενώ μέσω της σύνθεσης, ερμηνεύονται τα φαινόμενα αυτά ως αποτέλεσμα των υπόλοιπων φαινομένων (Heisenberg, 1955/97).

Ο ίδιος ο Αϊνστάιν θεωρούσε ότι δεν είναι δυνατό να βασιστεί ένας επιστήμονας αποκλειστικά στην εμπειρία, προκειμένου να καταλήξει σε μία ικανοποιητική θεωρία για τη φύση. Η εμπειρία μπορεί να ελέγξει μόνο εκ των υστέρων τη θεωρητική κατασκευή (Einstein, Infeld, 1978). Κατ' αντιστοιχία ο Feynman ρωτάει: πώς ξέρουμε ότι υπάρχουν

άτομα; Και απαντάει ο ίδιος: κάνουμε την υπόθεση ότι υπάρχουν άτομα, και τα αποτελέσματα που προκύπτουν, συμφωνούν, το ένα μετά το άλλο με τις προβλέψεις μας, όπως ακριβώς θα έπρεπε να συμβαίνει αν όλα τα αντικείμενα όντως ήταν φτιαγμένα από άτομα (Feynman, 1995/98). Εξάλλου, όπως αναφέρεται πάλι από τον Feynman, ο Dirac ανακάλυψε τους σωστούς νόμους της σχετικότητας στην κβαντομηχανική, μαντεύοντας απλώς την εξίσωση. «Η μέθοδος, λοιπόν, να μαντεύει κανείς την εξίσωση, φαίνεται πολύ αποτελεσματική όταν αναζητούνται νέοι νόμοι» (Feynman, 1967/90).

Ο Αϊνστάιν θεωρούσε επίσης ότι στη μεθοδολογία της επιστήμης σημαντικό ρόλο παίζουν οι γενικεύσεις, οι οποίες, ακολουθώντας μία αρχική εικασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ποικίλους τρόπους, υπό την προϋπόθεση ότι οποιαδήποτε γενικευμένη έννοια πρέπει πάντα να ανάγεται στον πρωταρχικό συλλογισμό που τη δημιούργησε, όταν πραγματοποιούνται οι αρχικές συνθήκες. Η ιστορία της επιστήμης έδειξε ότι ακόμα και οι πιο απλές γενικεύσεις αποδείχθηκαν άλλοτε πολύ γόνιμες αλλά και μερικές φορές καθόλου χρήσιμες (Einstein, Infeld, 1978).

2.3 Χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθόδου

Μπορούμε πάντως να αναφέρουμε κάποια χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το γενικό πλαίσιο μιας μεθοδολογίας, προκειμένου αυτή να μπορεί να ονομαστεί επιστημονική. Αυτά είναι η απλοποίηση, η επαναληπτικότητα και η διαψευσιμότητα ή αναίρεση (Checkland, 1981).

Μπορούμε με τρεις τρόπους να θεωρήσουμε ότι ένα χαρακτηριστικό της επιστήμης είναι η απλοποίηση. Καταρχήν, ο κόσμος είναι τόσο πολύπλοκος, ώστε εκ των πραγμάτων είναι πολύ δύσκολο να διατυπώσει κάποιος μία συνολική θεωρία που να περιγράφει κατευθείαν ολόκληρο το σύμπαν (Hawking, 1988/89). Αν θέλει κάποιος να τον διερευνήσει και να τον ερμηνεύσει, είναι απαραίτητο να επιλέξει κάποια μέρη του, τα οποία είναι προφανώς πιο απλά από το σύνολο, να επικεντρώσει τις προσπάθειές του στη μελέτη αυτών των τμημάτων (Checkland, 1981) και, κατά τον Herschel, να εντοπίσει την προσοχή του σε εκείνες τις ιδιότητες που είναι αποφασιστικές για την ερμηνεία των φαινομένων (Losee, 1991). Ήδη, από το 1751 ο Ντ'Αλαμπέρ έλεγε ότι «όσο μικρότερο είναι το πλήθος των βασικών αρχών μιας επιστήμης, τόσο μεγαλύτερη είναι η εμβέλειά

της αφού, καθώς το αντικείμενο μιας επιστήμης είναι εξ ανάγκης περιορισμένο, τα βασικά διδάγματά της θα πρέπει να είναι αντιστοίχως πιο προσοδοφόρα.» (D'Alembert, 1743/97). Πετυχαίνει κανείς μια βαθύτερη γνώση των νόμων της φύσης, αναλύοντας τις πιο απλές περιπτώσεις αρχικά, και βάζοντας στην άκρη τις πιο πολύπλοκες καταστάσεις (Einstein, Infeld, 1978). Έτσι, αυτό που συνήθως γίνεται είναι να χωρίζεται ένα πρόβλημα σε τμήματα και να επινοείται ένας ανάλογος αριθμός επιμέρους θεωριών, που η καθεμία περιγράφει το αντίστοιχο τμήμα, λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις ορισμένων μόνο φυσικών μεγεθών. Τις επιδράσεις των άλλων φυσικών μεγεθών ή τις προσεγγίζει μόνο αριθμητικά ή τις παραβλέπει εντελώς (Hawking, 1988/89).

Η δεύτερη έννοια της απλοποίησης στην επιστήμη μπορεί να αποδοθεί στον William of Ockham, ο οποίος είχε υποστηρίξει ότι η λογική συνοχή μιας θεωρίας ενισχύεται αν επιλέξουμε την απλούστερη εξήγηση για ένα φαινόμενο, με βάση τα δεδομένα που έχουμε για αυτό το φαινόμενο (Checkland, 1981). Πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι ο Ockham δεν εννοούσε ότι απαραίτητα η φύση ακολουθεί πάντοτε τον απλούστερο δρόμο. Αντίθετα, μετατόπισε την έμφαση στην απλότητα από τις διαδικασίες της φύσης στις θεωρίες που διατυπώνονται για αυτές. Θεώρησε, λοιπόν, ότι οι περιττές έννοιες πρέπει να απαλείφονται από μία θεωρία και υπέδειξε, ότι από δύο θεωρίες που περιγράφουν το ίδιο φαινόμενο, πρέπει να προτιμάται η απλούστερη. Η μεθοδολογική αυτή αρχή έμεινε γνωστή στην ιστορία της επιστήμης ως «το ξυράφι του Ockham» (Losee, 1991).

Μία τρίτη θεώρηση της απλοποίησης στην επιστημονική μεθοδολογία προέρχεται από τον Καρτέσιο, η συμβουλή του οποίου, ότι ο κατάλληλος τρόπος να αντιμετωπίσουμε ένα πρόβλημα είναι να το σπάμε σε κομμάτια και να αναλύουμε κατόπιν το κάθε κομμάτι ξεχωριστά, έγινε σημείο αναφοράς για πολλούς επιστήμονες στην πορεία της επιστημονικής έρευνας (Checkland, 1981).

Μετά την απλοποίηση, δεύτερο χαρακτηριστικό είναι η επαναληπτικότητα των πειραμάτων, η οποία είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό των επιστημονικών διαδικασιών. Στην ουσία διαφοροποιεί την επιστημονική δημιουργία και γνώση από οποιοδήποτε άλλο είδος ανθρώπινης δημιουργικότητας. Αν χρησιμοποιήσουμε ως παράδειγμα ένα καλλιτεχνικό έργο, ένας κριτικός μπορεί να επιχειρήσει να μας πείσει για την αξία του, ανατρέχοντας σε κριτήρια προσωπικά, υποκειμενικά, τα οποία αποκαλύπτουν πιθανώς

περισσότερα για τον ίδιο τον κριτικό και το κοινωνικό πλαίσιο μέσα στο οποίο ζει, παρά για το καλλιτεχνικό έργο που βρίσκεται υπό κρίση. Αντίθετα, δεν μπορεί να υπάρξει επιλογή και υποκειμενικές κρίσεις για την αποδοχή κάποιων πειραματικών αποτελεσμάτων που παραμένουν ίδια, όσες φορές κι αν επαναληφθούν τα πειράματα που τα δημιούργησαν (Checkland, 1981). Αυτή η επαναληπτικότητα είναι που τοποθετεί την επιστημονική γνώση πιο πάνω από τη γνώμη, την προτίμηση, την εικασία. Πρέπει βέβαια να σημειώσουμε ότι αυτό που τίθεται πέρα από αμφισβήτηση είναι τα καθαρά δεδομένα από το πείραμα (αφού φυσικά αποκλειστεί κάθε περίπτωση δυσλειτουργίας κάποιας πειραματικής συσκευής). Οι ερμηνείες μπορεί και είναι θεμιτό πολλές φορές να είναι διαφορετικές (Checkland, 1981), αυτό, όμως, δε στερεί από την επιστήμη ένα πυρήνα αδιαμφισβήτητων γεγονότων, τα οποία γίνονται η βάση για τη διατύπωση ή την απόρριψη θεωριών.

Το τρίτο κύριο χαρακτηριστικό των επιστημονικών διεργασιών, είναι αντίστοιχο με την αρχή της διαψευσιμότητας του Popper, που αναφέραμε και παραπάνω, σε συνδυασμό με τη σωρευτική πρόοδο που επιτυγχάνεται μέσω μιας ακολουθίας πειραματικών ελέγχων των θεωριών, κατά τη διάρκεια της οποίας παλιότερες θεωρίες απορρίπτονται ή παραμερίζονται, για να πάρουν τη θέση τους καινούριες πιο βελτιωμένες θεωρήσεις της φύσης των πραγμάτων, η επιστήμη προχωρά σε καλύτερες και βαθύτερες εξηγήσεις περί των πραγμάτων (Checkland, 1981). Συνεπώς, αυτή η διαχρονική πρόοδος της επιστήμης, αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά της γνωρίσματα, που τη διαφοροποιεί από άλλες δραστηριότητες του ανθρώπινου πνεύματος.

2.4 Η σημασία και τα ιδιαίτερα γνωρίσματα του πειράματος στην επιστημονική έρευνα

Είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς πόση σημασία αποδίδεται στην ύπαρξη και στη χρησιμοποίηση πειραματικών διαδικασιών κατά την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης. Είδαμε, εξάλλου, ότι ο Feynman χρησιμοποίησε την έννοια του πειράματος για τον ορισμό στην ουσία της ίδιας της επιστήμης (Feynman, 1995/98). Είναι χρήσιμο, λοιπόν, να επισημάνουμε ορισμένα χαρακτηριστικά αυτής της διαδικασίας και να αποσαφηνίσουμε τις συνέπειές της και τις αλληλεπιδράσεις που εμφανίζει με την επιστήμη.

Κατ' αρχήν, μπορούμε να αναφέρουμε ποικίλες λειτουργίες που επιτελεί το πείραμα στη διαδικασία παραγωγής της γνώσης:

- Δοκιμάζεται η αλήθεια μιας υπόθεσης.
- Δοκιμάζεται συνολικά μια θεωρία.
- Αναζητούνται νέα φαινόμενα που προβλέφθηκαν θεωρητικά.
- Δημιουργούνται νέα υλικά.
- Δημιουργούνται νέα αντικείμενα.
- Μελετώνται αναλογίες και πρότυπα πειράματα.

(Κόκκοτας, Βλάχος, 2000).

Ο Γαλιλαίος που είναι από τους θεμελιωτές της μεθοδολογίας της έρευνας της φύσης, θεωρούσε το πείραμα απαραίτητο για τη διατύπωση και έλεγχο των θεωριών, δηλαδή για την επαλήθευση ή την απόρριψη υποθέσεων και την παροχή ακριβών και αριθμητικά μετρήσιμων στοιχείων (Κόκκοτας, Βλάχος, 2000). Όπως έλεγε και ο ίδιος: «Η φύση δε δημιουργεί πρώτα τα ανθρώπινα πνεύματα και κατόπιν τα πράγματα, ώστε τα τελευταία να προσαρμοστούν στα πρώτα, αλλά αντιστρόφως. Η παρατήρηση, η εμπειρία, προηγούνται του λόγου: εδώ οι αισθήσεις κατέχουν – ως εργαλεία – τα πρωτεία.» (Γαλιλαίος, 1632/97). Ένα ιστορικό παράδειγμα, μπορεί να μας προσφέρει μία βαθύτερη κατανόηση της σπουδαιότητας του πειραματισμού και των εμπειρικών δεδομένων στην αναζήτηση της αλήθειας. Ο Κέπλερ αγωνιζόταν για πάνω από πέντε χρόνια να συνταιριάζει τα δεδομένα που είχε πάρει από το Δανό αστρονόμο Tycho Brahe σχετικά με την τροχιά του πλανήτη Άρη, με την πεποίθησή του για μία κυκλική τροχιά. Η διαφορά ήταν μόλις οκτώ λεπτά του τόξου. Όταν τελικά θεώρησε, ότι ήταν πολύ δύσκολο ο Brahe να έχει κάνει λάθος υπολογισμούς, κατάφερε τελικά, έστω και με μεγάλη απροθυμία, να συμπεράνει ότι η τροχιά του Άρη, όπως και των άλλων πλανητών, κατά την κίνησή τους γύρω από τον ήλιο, είναι ελλειπτική και όχι κυκλική (Feynman, 1967/90). Ο Κέπλερ αποτύγχανε, όσο βασιζόταν στις πεποιθήσεις του. Ο Κέπλερ πέτυχε, όταν έδωσε προτεραιότητα στα πειραματικά αποτελέσματα και τις παρατηρήσεις (Rigden, 2005).

Όπως βλέπουμε, λοιπόν, η παρατήρηση έπαιζε και παίζει βασικό ρόλο στην ανάπτυξη των επιστημονικών ιδεών και την ερμηνεία της φύσης. Το πείραμα, όμως, διαφέρει από την απλή παρατήρηση στο ότι αποτελεί μία τεράστια επέκταση της τελευταίας. Ο

πειραματιστής στοχεύει στον πλήρη έλεγχο της έρευνας του και καθορίζει τις συνθήκες της πειραματικής διαδικασίας ο ίδιος και με μεγάλη προσοχή, έτσι ώστε οι μεταβολές που θα συμβούν και τις οποίες θα παρατηρήσει να είναι αποτέλεσμα των ενεργειών του και όχι το αποτέλεσμα πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων, τις οποίες δε γνωρίζει και δεν μπορεί να χειριστεί (Checkland, 1981). Ένα πείραμα αποτελεί συνεπώς μία εξιδανίκευση της φυσικής πραγματικότητας, διαμέσου της οποίας ο επιστήμονας επιχειρεί να βγάλει κάποια συμπεράσματα για το πώς αυτή λειτουργεί, προκειμένου κατόπιν να προσπαθήσει να τα γενικεύσει σε ευρύτερες περιοχές της εμπειρίας του.

Ποιος, όμως, επιλέγει τα πειράματα που θα γίνουν; Και είναι η σημασία όλων των πειραμάτων ισοδύναμη; Σε ό,τι αφορά το πρώτο ερώτημα, η απάντηση είναι απλή: ο ίδιος ο επιστήμονας είναι υπεύθυνος να διαλέξει το τι θα μελετήσει και με ποιον τρόπο θα το επιτύχει. Αναφέρει ο Poincaré: «Ο επιστήμονας επεμβαίνει ενεργά επιλέγοντας τα γεγονότα που αξίζει να παρατηρηθούν. Ένα απομονωμένο γεγονός δεν έχει καθ' εαυτό κανένα ενδιαφέρον. Αποκτά ενδιαφέρον αν σκεφτούμε ότι θα μπορέσει να χρησιμεύσει για να προβλέψουμε ένα άλλο – ή επιπλέον αν, έχοντας προβλεφθεί, η επαλήθευσή του αποτελεί την επιβεβαίωση ενός νόμου. Ποιος θα επιλέξει τα γεγονότα τα οποία, ανταποκρινόμενα σε αυτούς τους όρους, αξίζουν το δικαίωμα να μνημονεύονται στην επιστήμη; Θα τα επιλέξει η ελεύθερη δραστηριότητα του επιστήμονα.» (Poincaré, 1905/97). Σε πολλές περιπτώσεις βέβαια, όπως ήταν και η γνώμη του Αϊνστάιν, αυτή η ελευθερία του επιστήμονα περιορίζεται από την ίδια τη θεωρία, μέσα στα πλαίσια της οποίας ο επιστήμονας λειτουργεί, καθώς αυτή είναι εκείνη που πρώτη καθορίζει τι μπορεί να παρατηρηθεί (Heisenberg, 1983/95), και άρα καθορίζει επίσης σε τι μπορεί να συνίσταται μία πειραματική διεργασία. Μέσα από την επαφή με το εμπειρικό υλικό οι φυσικοί έμαθαν σιγά – σιγά να κάνουν τις σωστές ερωτήσεις και συνακόλουθα να σχεδιάζουν τα κατάλληλα πειράματα. Και πολλές φορές το να ρωτάς σωστά είναι συχνά περισσότερο από το μισό δρόμο για τη λύση ενός προβλήματος (Heisenberg, 1959/78).

Από την άλλη, δεν έχουν όλα τα πειράματα την ίδια σπουδαιότητα κατά την ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης. Υπάρχουν πειράματα που γίνονται απλώς για τη συγκέντρωση και καταγραφή γεγονότων – δεδομένων, αλλά υπάρχουν και άλλα, τα οποία σχεδιάζονται για τον έλεγχο κάποιων υποθέσεων ή τη διάκριση μεταξύ εναλλακτικών ιδεών σε μία θεωρία (Checkland, 1981). Σύμφωνα με τον Herschel, ένα σημαντικό είδος πειραμάτων που

χρησιμεύουν για την επιβεβαίωση μιας θεωρητικής υπόθεσης, είναι αυτά που δοκιμάζουν ένα νόμο σε ακραίες καταστάσεις. Για παράδειγμα, η ίδια επιτάχυνση που αποκτούν ένα κέρμα κι ένα φτερό σε ένα πειραματικά παραγόμενο κενό, ήταν ένας αυστηρός έλεγχος του νόμου της πτώσης των σωμάτων του Γαλιλαίου (Losee, 1991). Ένα δεύτερο είδος συνθηκών επιβεβαίωσης αποτελεί η περίπτωση ενός μη αναμενόμενου αποτελέσματος, που δείχνει ότι ένας νόμος ή μία θεωρία έχουν μία απροσχεδίαστη προοπτική (Losee, 1991). Παράδειγμα ενός τέτοιου πειράματος, κατά τον Herschel, αποτελεί η ανακάλυψη των ελλειπτικών τροχιών σε συστήματα διπλών αστέρων, η οποία ήταν μία μη αναμενόμενη επιβεβαίωση της νευτώνειας μηχανικής.

Πέρα από τις παραπάνω κατηγορίες πειραμάτων, όμως, υπάρχει και μία ακόμα, η οποία σύμφωνα με πολλούς φυσικούς επηρεάζει με αποφασιστικό τρόπο την αποδοχή ή την απόρριψη μιας ολόκληρης θεωρίας ή μοντέλου. Πειράματα τέτοιου είδους ονομάζονται κρίσιμα ή αποφασιστικά, και θεωρούνται ως έλεγχοι καταστροφής από τους οποίους οφείλουν να επιβιώσουν οι αποδεκτές θεωρίες (Losee, 1991 – Einstein, Infeld, 1978). Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου πειράματος (με την ευρεία έννοια) αποτελεί η επιβεβαίωση το 1919 από τον Έντιγκτον, καθώς παρατηρούσε ένα άστρο εν μέσω μιας ολικής έκλειψης ηλίου, της θεωρητικής πρόβλεψης της γενικής θεωρίας της σχετικότητας του Αϊνστάιν, ότι ακτίνες φωτός που περνούν κοντά από ένα σώμα πολύ μεγάλης μάζας, όπως ο ήλιος, πρέπει να κάμπτονται (Checkland, 1981). Μπορεί χωρίς υπερβολή να θεωρηθεί ότι η επιτυχία αυτή προσέδωσε κύρος στη θεωρία της σχετικότητας και έκανε διάσημο και στο ευρύ κοινό τον Αϊνστάιν. Αντίστοιχο παράδειγμα, με αποτέλεσμα, όμως, αρνητικό για την προς έλεγχο θεωρία, ήταν βέβαια το περίφημο πείραμα των Michelson – Morley, οι οποίοι προσπαθούσαν με λεπτές μετρήσεις της διαφοροποίησης της ταχύτητας του φωτός στην πειραματική τους διάταξη να επιβεβαιώσουν την υπόθεση του αιθέρα και να διασώσουν έτσι το νευτώνειο μοντέλο. Η «αποτυχία» του πειράματος έδωσε αποφασιστικό χτύπημα στο μηχανικό πρότυπο για τη φύση.

Πώς μπορούμε, όμως, να είμαστε σίγουροι για την αξιοπιστία ενός πειραματικού αποτελέσματος; Είναι δυνατό δηλαδή να ξεχωρίσει κανείς ένα γνήσιο αποτέλεσμα από ένα αποτέλεσμα που είναι δημιούργημα της πειραματικής συσκευής; Οι πειραματιστές έχουν αναπτύξει με τον καιρό μεθόδους και στρατηγικές, οι οποίες μπορεί βέβαια να μην προσφέρουν απόλυτη βεβαιότητα για τα πορίσματα μιας πειραματικής διεργασίας,

παρέχουν, όμως, μία όσο το δυνατό καλύτερη εξασφάλιση της ζητούμενης αξιοπιστίας (Κόκκοτας, Βλάχος, 2000). Κάποιες από τις στρατηγικές αυτές είναι οι εξής:

- Πειραματικοί έλεγχοι και βαθμολόγηση του οργάνου (καλιμπράρισμα), κατά τα οποία η συσκευή παράγει γνωστά φαινόμενα.
- Αναπαραγωγή τεχνητών αποτελεσμάτων, των οποίων η ύπαρξη είναι προκαταβολικά γνωστή.
- Παρεμβάσεις με τις οποίες ο πειραματιστής επηρεάζει το υπό παρατήρηση αντικείμενο.
- Ανεξάρτητη επιβεβαίωση του φαινομένου, με τη χρήση διαφορετικών πειραμάτων.
- Περιορισμός των πιθανών πηγών λάθους, και εναλλακτικές ερμηνείες των αποτελεσμάτων.
- Χρησιμοποίηση των ίδιων των αποτελεσμάτων για την υπεράσπιση της ισχύος τους.
- Χρησιμοποίηση μιας ανεξάρτητα καλά τεκμηριωμένης θεωρίας των φαινομένων για την εξήγησή τους.
- Χρησιμοποίηση πειραματικής συσκευής, η λειτουργία της οποίας στηρίζεται σε καλά τεκμηριωμένη θεωρία.
- Χρήση στατιστικών δεδομένων για την υπεράσπιση της επιχειρηματολογίας.

Για να ολοκληρώσουμε αυτή τη σύντομη περιγραφή, είναι απαραίτητο να αναφερθούμε και σε ένα τελείως διαφορετικό είδος πειραμάτων, τα οποία, όμως, πολλές φορές, έπαιξαν έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της Φυσικής. Τα λεγόμενα νοητικά ή υποθετικά πειράματα επινοούνται για να διαφωτίσουν ένα ιδιαίτερα κρίσιμο ερώτημα σε κάποια θεωρία, ανεξάρτητα απ' το αν το πείραμα μπορεί πραγματικά να εκτελεσθεί ή όχι. Τέτοιου είδους νοητικά πειράματα αποδείχθηκαν εξαιρετικά χρήσιμα στην ανάλυση και στην εξήγηση ορισμένων προβλημάτων (Heisenberg, 1959/78). Μάλιστα, ο ίδιος ο Αϊνστάιν επινόησε αρκετά υποθετικά πειράματα, προκειμένου να ελέγξει κάποιες ιδέες του ή σε άλλες περιπτώσεις να επαληθεύσει κάποιες υποθέσεις του (Davies, Brown, 1986/97).

2.5 Νόμοι και θεωρίες

Πολλές φορές, στην προηγηθείσα περιγραφή της μεθοδολογίας της επιστήμης αναφερθήκαμε σε νόμους και θεωρίες. Είναι, λοιπόν, χρήσιμο να προσπαθήσουμε να αναλύσουμε αυτούς τους όρους και να διευκρινίσουμε κάποια κρίσιμα χαρακτηριστικά τους.

Ένας φυσικός νόμος είναι στην ουσία το αποτέλεσμα μιας προσπάθειας να μειωθεί η φαινομενική πολυπλοκότητα των φυσικών φαινομένων, σε μερικές ιδέες και μερικές βασικές σχέσεις (Einstein, Infeld, 1978). Ο νόμος είναι, σύμφωνα με τον Poincaré, η καλύτερη έκφραση της εσωτερικής αρμονίας του κόσμου, η απόδειξη ότι η φύση δεν κυβερνάται από την ιδιοτροπία και την τυχαιότητα (Poincaré, 1905/97). Το κυριότερο χαρακτηριστικό, λοιπόν, ενός φυσικού νόμου είναι το ότι ισχύει τόσο στη Γη όσο και οπουδήποτε αλλού, είναι δηλαδή παγκόσμιος (Feynman, 1967/90), ενώ συνενώνει, περιγράφει και ερμηνεύει ένα πλήθος από φαινομενικά άσχετα μεταξύ τους γεγονότα. Αποκαλύπτεται, όμως, ότι με τη σειρά τους οι νόμοι, παρ' ότι είναι πολλοί, λεπτομερείς και κάποιες φορές περίπλοκοι, διατρέχονται και αυτοί από μερικές γενικές αρχές που φαίνεται ότι τις ακολουθούν όλοι οι νόμοι (Feynman, 1967/90), όπως είναι για παράδειγμα η αρχή διατήρησης της ενέργειας. Οι αρχές εισάγονται μόνο όταν υπάρχει κάποιο σαφές πλεονέκτημα από την καθιέρωσή τους. Ένα βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι ο αριθμός τους είναι εξαιρετικά μικρός, μια και η καθεμιά τους αντικαθιστά ένα μεγάλο πλήθος από νόμους (Poincaré, 1905/97).

Βλέπουμε, λοιπόν, πως μία γενικότερη τάση των επιστημόνων είναι να προσπαθούν να ομαδοποιούν γεγονότα και φαινόμενα, περιγράφοντάς τα με όσο το δυνατό πιο λακωνικά μέσα. Στην προσπάθεια «οργάνωσης» της επιστημονικής γνώσης, βασικό ρόλο παίζουν οι διάφορες θεωρίες που διατυπώνονται κατά καιρούς για ομάδες ομοειδών φαινομένων. Τα γνωρίσματα αυτών των θεωριών και τα κύρια χαρακτηριστικά που έχουν ή που πρέπει να έχουν, αλλά και οι διαφορές τους από τους νόμους, έγιναν αντικείμενο της προσοχής από την πλευρά των ίδιων των επιστημόνων και των φιλοσόφων της επιστήμης.

Ένας εμπειρικός νόμος μπορεί να θεωρηθεί ως μία πιθανή εξήγηση κάποιου φαινομένου, σε διαφορετικό βαθμό, όμως, από μια θεωρία: ένας εμπειρικός νόμος «εξηγεί», μόνο υπό

την έννοια ότι κατηγοριοποιεί το φαινόμενο σε μία οικογένεια από φαινόμενα, στην ουσία ορίζοντας το μέσω της ομοιότητας του με άλλα γεγονότα. Μία θεωρία προσπαθεί να το ερμηνεύσει με τη χρησιμοποίηση εννοιών και μεταβλητών που δεν μπορούν να οριστούν στο επίπεδο της άμεσης εμπειρίας και που αναδύονται στην προσπάθεια να βρεθεί «το γιατί» υπάρχουν οι συγκεκριμένες σχέσεις μεταξύ των παρατηρημένων μεγεθών. Με άλλα λόγια, οι εμπειρικοί νόμοι ενοποιούν ποικίλα πειραματικά δεδομένα, ενώ οι θεωρίες ενοποιούν ποικίλους εμπειρικούς νόμους (Vicentini, 2001). Υπάρχει και μία ακόμα διαφορά μεταξύ εμπειρικών νόμων και θεωριών: οι νόμοι διατηρούν την αξιοπιστία τους στο να συνδέουν πειραματικά δεδομένα (μέσα στα περιθώρια λάθους που ορίζονται από τις μετρήσεις), ακόμα κι όταν οι θεωρίες που προσπαθούν να τους ερμηνεύσουν αλλάζουν ή ακόμα και απορρίπτονται (Vicentini, 2001).

Μία επιστημονική θεωρία, λοιπόν, είναι ένα μοντέλο για το σύμπαν, ή για κάποιο τμήμα του σύμπαντος, μαζί με ένα σύνολο κανόνων που συσχετίζουν τις θεωρητικές ποσότητες αυτού του μοντέλου με τα δεδομένα των παρατηρήσεων (Hawking, 1988/89). Ο σκοπός μιας θεωρίας, πέρα από τη συνοπτική ερμηνεία κάποιων φαινομένων, είναι να προσανατολίζει τους επιστήμονες προς καινούρια γεγονότα, να υποδεικνύει καινούρια πειράματα και να οδηγήσει στην ανακάλυψη καινούριων φαινομένων και νόμων (Einstein, Infeld, 1978). Πράγματι, για να έχει η επιστήμη κάποια χρησιμότητα και για να εμφανίζει πρόοδο, πρέπει με βάση κάποια θεωρία να κάνει υποθέσεις. Έτσι για να αποφεύγεται η απλή περιγραφή φαινομένων και πειραμάτων που έχουν ήδη γίνει, είναι αναγκαίο να προτείνονται νόμοι που ισχύουν και πέρα από την περιοχή που έχει διερευνηθεί (Feynman, 1967/90). Επίσης, κάθε θεωρία που επινοεί κάποιος, πρέπει να διερευνάται σε σχέση με όλες τις πιθανές συνέπειες της, για να διαπιστωθεί οτιδήποτε προβλέπει (Feynman, 1967/90). Μία θεωρία μπορεί να εκτιμηθεί από την προβλεπτική της ικανότητα, την εσωτερική της συνοχή και τη γονιμότητά της στο να προτείνει καινούρια προβλήματα (Stinner, 2003).

Συνεπώς, τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιεί μία θεωρία για να αντιμετωπιστεί ως επιστημονική είναι κυρίως δύο: Πρώτον, να περιγράφει με ακρίβεια ένα μεγάλο σύνολο υπαρχόντων παρατηρήσεων, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο που περιέχει όσο το δυνατό λιγότερα αυθαίρετα στοιχεία. Δεύτερον, να είναι προβλεπτική, δηλαδή να παρέχει συγκεκριμένες προβλέψεις για αποτελέσματα μελλοντικών παρατηρήσεων ή πειραμάτων

(Hawking, 1988/89). Η πρώτη απαίτηση είναι μάλλον προφανής και έχει συζητηθεί ήδη. Πρέπει βέβαια, στο πλαίσιο της ερμηνείας των υπαρχόντων δεδομένων, να είναι σύμφωνη και συμβατή και με άλλες θεωρίες που αναφέρονται σε άλλους κλάδους της Φυσικής. Από εκεί και πέρα, όμως, ο λόγος που το κριτήριο αυτό δεν είναι αρκετό για την οριστική αποδοχή μιας θεωρίας από την επιστημονική κοινότητα, είναι ότι πάντα υπάρχει ο φόβος ότι μια θεωρία μπορεί να προσαρμοστεί έτσι ώστε να δίνει σωστά αποτελέσματα στα ήδη γνωστά παρατηρησιακά και πειραματικά δεδομένα. Είναι αδύνατο, όμως, να προσαρμοστεί μία θεωρία, έτσι ώστε να συμφωνεί με το αποτέλεσμα μιας παρατήρησης που δεν έχει γίνει ακόμα (Singh, 2004/05). Χαρακτηριστικό παράδειγμα από την ιστορία της επιστήμης αποτελεί το ότι η θεωρία του Νεύτωνα για τη βαρύτητα έλαβε την πιο πανηγυρική της επιβεβαίωση το 1846, όταν ο J. C. Adams από την Αγγλία και ο U. J. J. Leverrier από τη Γαλλία, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, με βάση θεωρητικούς τους υπολογισμούς τού νόμου της παγκόσμιας έλξης, κατάφεραν να υποδείξουν στους αστρονόμους την ακριβή θέση του άγνωστου μέχρι τότε πλανήτη Ποσειδώνα (Rigden, 2005). Αντίστοιχα, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η γενική θεωρία της σχετικότητας, που διατυπώθηκε το 1915, έγινε και επίσημα αποδεκτή από τον επιστημονικό κόσμο το 1919, όταν αποδείχτηκε βάσιμη η πρόβλεψή της για την καμπύλωση της πορείας μιας φωτεινής ακτίνας όταν περνάει κοντά από μία μεγάλη μάζα, όπως αυτή του ήλιου, μετά από παρατηρήσεις του Eddington και της ομάδας του (Checkland, 1981, Stix, 2004).

Μία περιγραφή τού τι ακριβώς περιλαμβάνει και σε τι συνίσταται μία ολοκληρωμένη και συνεκτική θεωρία, ανήκει στον Heisenberg, ο οποίος ορίζει την έννοια του «κλειστού συστήματος». Ως παράδειγμα αναφέρει την επιτυχημένη προσπάθεια του Νεύτωνα, να διατυπώσει στα «principia» του μία σειρά ορισμών και αξιωμάτων, που συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται ένα κλειστό σύστημα. Σε κάθε έννοια μπορούμε να αντιστοιχίσουμε ένα μαθηματικό σύμβολο, και οι συνδυασμοί ανάμεσα στις διάφορες έννοιες παριστάνονται κατόπιν με μαθηματικές εξισώσεις, που μπορούν να καταστρωθούν με τη βοήθεια αυτών των συμβόλων. Το μαθηματικό σχήμα του συστήματος φροντίζει να μην μπορούν να δημιουργηθούν αντιφάσεις μέσα στο σύστημα (Heisenberg, 1959/78). Το σχήμα αυτό πρέπει να είναι κατάλληλο να περιγράφει ένα πλατύ πεδίο εμπειριών. Η μεγάλη ποικιλία φαινομένων στο θεωρούμενο πεδίο οφείλει να αντιστοιχεί στο μεγάλο αριθμό λύσεων, που επιτρέπουν οι εξισώσεις της μαθηματικής παράστασης (Heisenberg, 1959/78).. Αντίστοιχα κλειστά συστήματα, πέρα από τη

νευτώνεια μηχανική, μπορούν να θεωρηθούν η θερμική θεωρία, η θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών και των ηλεκτροδυναμικών φαινομένων μαζί και με τη θεωρία της σχετικότητας καθώς και η κβαντομηχανική (Heisenberg, 1959/78).

Ο Heisenberg πίστευε ότι τα στοιχεία μιας τέτοιας κλειστής θεωρίας επιδεικνύουν τέτοια αλληλεξάρτηση μεταξύ τους, ώστε ούτε ένα μοναδικό στοιχείο της θεωρίας δεν μπορεί να αλλάξει, χωρίς να καταστρέψει ολόκληρο το σύστημα (Heisenberg, 1959/78, Bokulich, 2004). Αυτό, όμως, στην ουσία σήμαινε ότι ένα τέτοιο μοντέλο δεν είναι δυνατό να αλλάξει βαθμιαία, αλλά μπορεί να υποστεί μόνο μία ριζική, εκ βάθρων αναθεώρηση (Bokulich, 2004). Στο σημείο αυτό, λοιπόν, ο Heisenberg φαίνεται ότι συμφωνεί με τον Kuhn, ο οποίος θεωρεί ότι στην ιστορία της επιστήμης, περίοδοι «κανονικής» επιστήμης, όπου οι επιστήμονες εργάζονται μέσα στα πλαίσια ενός συγκεκριμένου θεωρητικού μοντέλου, το οποίο ο Kuhn ονομάζει «παραδείγμα», εναλλάσσονται με περιόδους «επαναστατικής» επιστήμης, όπου συμβαίνουν ριζικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται οι επιστήμονες τη φυσική πραγματικότητα, και όπου παλιές θεωρίες δίνουν τη θέση τους, μέσα από μία ανταγωνιστική διαδικασία, σε καινούρια θεωρητικά μοντέλα, οπότε έχουμε τη λεγόμενη αλλαγή παραδείγματος (Losee, 1991). Η «κανονική επιστήμη» αποτελείται κυρίως από αυτό που Kuhn αποκαλούσε «δουλειά ρουτίνας» (morping up operations), μέσα στο πλαίσιο του παραδείγματος. Μερικά χαρακτηριστικά αυτής της εργασίας είναι:

- Η αύξηση της ακρίβειας της συμφωνίας μεταξύ παρατηρήσεων και υπολογισμών της θεωρίας (δηλαδή μεταξύ θεωρίας και πειράματος, με άλλα λόγια).
- Ο ακριβής υπολογισμός της τιμής των διάφορων φυσικών παγκόσμιων σταθερών.
- Η διατύπωση ποσοτικών νόμων, με σκοπό την επέκταση της εμβέλειας του παραδείγματος.
- Η απόφαση για το ποιος εναλλακτικός τρόπος είναι ο πιο κατάλληλος για την εφαρμογή του παραδείγματος σε νέες περιοχές της γνώσης.

(Stinner, 2003).

Σύμφωνα με τον Heisenberg: «...η πρόοδος της επιστήμης δεν μπορούσε να γίνεται πάντοτε μονάχα με το να εφαρμόζουμε τους γνωστούς φυσικούς νόμους, για να εξηγήσουμε καινούρια φαινόμενα» (Heisenberg, 1959/78). Όπως δήλωνε και ο Poincaré:

«Οι θεωρίες τη μία ημέρα γεννιούνται, την επόμενη είναι στη μόδα, τη μεθεπόμενη είναι κλασικές, την τέταρτη μέρα θεωρούνται γερασμένες και την πέμπτη έχουν ξεχαστεί» (Poincaré, 1905/97).

Αυτή πάντως δεν είναι η μοναδική άποψη σχετικά με την εξέλιξη και τη διαδοχή των επιστημονικών θεωριών. Ο Dirac πίστευε ότι οι θεωρίες είναι πάντα ανοιχτές: μόνο προσεγγιστικές, ικανές να τροποποιηθούν πολλές φορές μάλλον, παρά να απορριφθούν οριστικά, και χωρίς να έχουν μέρη με ανοσία σε μελλοντικές αναθεωρήσεις (Bokulich, 2004). Ο Dirac δηλαδή, υπερασπίζεται την άποψη που λέει ότι η πρόοδος στη Φυσική επιτυγχάνεται βαθμιαία, με τη συνεχόμενη ανάπτυξη ολοένα και μεγαλύτερης ακρίβειας προσεγγίσεων και όχι με άλματα (Bokulich, 2004). Με αυτή τη θεώρηση των πραγμάτων συντάσσονται και άλλοι, μεταξύ των οποίων ο William Whewell και ο Niels Bohr, οι οποίοι υποστήριζαν ότι οι μεταγενέστερες θεωρίες «ενσωματώνουν» τις προγενέστερες. Δηλαδή, οι παλιότερες θεωρίες δεν καταπίπτουν όταν εμφανίζονται καινούρια φαινόμενα που αδυνατούν να ερμηνεύσουν, αλλά απλώς δίνουν τη θέση τους σε πιο επιτυχημένες θεωρίες, εξακολουθώντας, πάντως, να χρησιμεύουν ως επιτυχημένες προσεγγίσεις των τελευταίων (Losee, 1991, Bokulich, 2004).

Τέλος, ο Lakatos, θεωρούσε ότι η ερμηνεία της επιστημονικής αλλαγής, το γιατί και το πώς οι θεωρίες διαδέχονται η μία την άλλη, πρέπει να αφεθεί στους ιστορικούς και τους ψυχολόγους. Υποστήριξε ότι η βασική μονάδα για την αξιολόγηση θα έπρεπε να είναι μάλλον τα «ερευνητικά προγράμματα», όπως τα ονόμαζε, παρά οι επιμέρους θεωρίες. Σύμφωνα με τον Lakatos, ένα ερευνητικό πρόγραμμα συνίσταται από μεθοδολογικούς κανόνες: κάποιοι μας λένε ποιους δρόμους έρευνας να αποφύγουμε (αρνητικό ευρετικό στοιχείο), και άλλοι ποιους δρόμους να ακολουθήσουμε (θετικό ευρετικό στοιχείο) (Losee, 1991). Μέσα σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα, δημιουργείται ένας «σκληρός πυρήνας», δηλαδή ένας μικρός αριθμός νόμων και θεωριών, που κατέχει μία ιδιαίτερη θέση μέσα στο πρόγραμμα και ο οποίος μένει αναλλοίωτος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προγράμματος. Οι επιστήμονες που εργάζονται στο πλαίσιο ενός συγκεκριμένου προγράμματος, αναλαμβάνουν την υποχρέωση να προστατεύσουν το σκληρό πυρήνα από κάθε διάψευση. Έτσι, με τη βοήθεια του αρνητικού ευρετικού στοιχείου επινοούνται βοηθητικές υποθέσεις, οι οποίες επεξηγούν ή αντιμετωπίζουν τις ανωμαλίες που είναι πιθανό να θέσουν σε αμφισβήτηση το σκληρό πυρήνα, και οι οποίες αποτελούν τον

προστατευτικό κλοιό του προγράμματος. Με τη βοήθεια του θετικού ευρετικού στοιχείου, οι επιστήμονες οδηγούνται σε αλλαγές ή βελτιώσεις του μεταβλητού μέρους του προγράμματος, έτσι ώστε να προστατεύεται ακόμα πιο αποτελεσματικά ο σκληρός πυρήνας.

Ο Lakatos πρότεινε ακόμα και κριτήρια αξιολόγησης για τα ερευνητικά προγράμματα. Έτσι, θεωρούσε ότι μία κατηγορία θεωριών είναι προοδευτική αν η τελευταία, κάθε φορά, θεωρία της ακολουθίας:

- εξηγεί τις επιτυχίες της προηγούμενης θεωρίας,
- έχει μεγαλύτερο εμπειρικό περιεχόμενο από την προηγούμενη θεωρία της ακολουθίας,
- κάποιο από το επιπλέον περιεχόμενο της έχει επιβεβαιωθεί.

(Losee, 1991).

Σε διαφορετική περίπτωση, η ακολουθία των θεωριών, δηλαδή το ερευνητικό πρόγραμμα είναι εκφυλιζόμενο. Ο Lakatos τόνισε με έμφαση ότι τα παραπάνω κριτήρια είναι αντικειμενικά, υπό την έννοια ότι ένα ερευνητικό πρόγραμμα δέχεται μία θετική αξιολόγηση, μόνο εφόσον δείχνει τη δύναμη να προβλέπει και να αποδέχεται εύκολα νέα δεδομένα (Losee, 1991).

2.6 Συμπεράσματα

Είδαμε, λοιπόν, τη μεγάλη ποικιλία των τρόπων με τους οποίους λειτουργεί η επιστήμη και τις διάφορες απόψεις που υπάρχουν για την επιστημονική μεθοδολογία. Ολοκληρώνοντας αυτό το κομμάτι, είναι αναγκαίο να αναφέρουμε και την πλέον αιρετική φωνή για το παραπάνω θέμα, αυτή του Paul Feyerabend. Ο τελευταίος υποστήριξε ότι διαφορετικές θεωρίες δεν είναι δυνατό να συγκριθούν μεταξύ τους και ότι είναι παρατηρησιακά «ασύμμετρες» (Losee, 1991), καθώς οι βασικές αρχές της μίας δεν μπορούν να μεταφραστούν στο εννοιολογικό πλαίσιο της άλλης. Υπάρχει συνεπώς μία νοηματική ασυνέχεια και λογική ασυνέπεια καθώς η επιστήμη περνάει από τη μία θεωρία

στην άλλη. Για τους λόγους αυτούς, θεώρησε ότι δεν υπάρχει μία ενιαία μεθοδολογία στην επιστήμη και ότι είναι μάταιο να αναζητούμε συνεπή μοντέλα για τις επιστημονικές αλλαγές ή ένα σύνολο ενιαίων μεθοδολογικών κανόνων. Το συμπέρασμα του είναι ότι «όλα επιτρέπονται» ('anything goes') στην αναζήτηση της επιστημονικής αλήθειας.

Αναμφισβήτητα, τα επιχειρήματα του Feyerabend έχουν κάποια λογική βάση, υπό το φώς των πολλών και διαφορετικών θέσεων των ίδιων των επιστημόνων και των φιλοσόφων της επιστήμης για το ζήτημα της μεθοδολογίας. Παρ' όλα αυτά, αν αφαιρεθεί η ρητορεία από τις θέσεις αυτών που επιτίθενται στην επιστημονική μέθοδο, αυτό που μένει είναι ένας κατάλογος από περιπτώσεις, που δείχνουν ότι οι διάφορες περιγραφές της επιστημονικής μεθοδολογίας αποτυγχάνουν να περιγράψουν τον τρόπο με τον οποίο η επιστήμη έχει στην πραγματικότητα προοδεύσει. Ο Feyerabend δείχνει να πιστεύει ότι η απουσία μιας συνεκτικής και ολοκληρωμένης περιγραφής μιας επιστημονικής μεθόδου, αποδεικνύει και το ότι δεν υπάρχει μία τέτοια μέθοδος (Seldin, 2003). Στην πραγματικότητα, όμως, μπορεί να υπάρχουν κάποιες βάσιμες ενδείξεις ότι δε θα μπορέσουμε ποτέ να περιγράψουμε πλήρως την μέθοδο της επιστημονικής έρευνας, αλλά αυτό δε σημαίνει καθόλου και ότι δεν υπάρχει μία τέτοια μέθοδος (Seldin, 2003).

3. Το γνωσιολογικό πρόβλημα της επιστήμης

3.1 Η πραγματικότητα της επιστήμης

Όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα σχετίζονται με τους τρόπους που χρησιμοποιεί η επιστήμη προκειμένου να φτάσει στους στόχους της. Το ερώτημα, όμως, που προκύπτει είναι ποιοι ακριβώς είναι αυτοί οι στόχοι και πόσο εφικτή είναι η επίτευξή τους; Με άλλα λόγια, τίθεται το ζήτημα τού αν μπορεί η επιστήμη να προσεγγίσει μία αντικειμενική περιγραφή της φύσης, αν υπάρχει εν τέλει μία τέτοια αντικειμενικότητα και κατά πόσο η επιστημονική γνώση έχει κάποια όρια. Με τα παραπάνω ερωτήματα θα ασχοληθούμε στη συνέχεια.

Θα πρέπει καταρχήν να διερευνηθεί το αν η ίδια η επιστήμη σαν έννοια είναι αντικειμενική ή όχι. Υπάρχουν δύο αντιτιθέμενες απόψεις για το θέμα αυτό. Η πρώτη είναι η λεγόμενη ουσιοκρατική θέση για την επιστήμη, που υποστηρίζει ότι είναι δύσκολο

να περιγράψουμε πλήρως την πραγματική φύση της επιστήμης, ακριβώς επειδή αυτή είναι ένα τόσο πολύπλοκο και συνεχώς μεταβαλλόμενο φαινόμενο. Σύμφωνα με την άποψη αυτή η επιστήμη εξακολουθεί να εκλαμβάνεται ως ένα αντικείμενο, μία συνεκτική οντότητα ή μέθοδος, μολονότι ο ορισμός και η περιγραφή της είναι δύσκολα. Αυτή η στάση ούτε εγκαταλείπει ούτε αναθεωρεί κατά κάποιο σημαντικό τρόπο την άποψη ότι υπάρχει πραγματικά κάτι «εκεί έξω» που ονομάζεται επιστήμη. Απλώς αναβάλλει το έργο να βρεθεί μία οριστική απάντηση (Woolgar, 2003).

Αντίθετα, η νομιναλιστική θέση για την επιστήμη θεωρεί ότι η αναζήτηση ενός ορισμού είναι εν τέλει μάταιη. Η επιστήμη είναι πάντα ανοιχτή σε επαναδιαπραγμάτευση και επαναταξινόμηση (Woolgar, 2003). Δηλαδή, ενώ η ουσιοκρατία τείνει προς την άποψη ότι οι ορισμοί της επιστήμης κατοπτρίζουν, τουλάχιστον εν μέρει, τα χαρακτηριστικά ενός πραγματικού αντικειμένου που ονομάζεται «επιστήμη», ο νομιναλισμός υποστηρίζει ότι τα στοιχεία που προτείνονται ως χαρακτηριστικά της επιστήμης προκύπτουν από τις πρακτικές ορισμού αυτών των ιδίων των συμμετεχόντων σε αυτήν (φιλόσοφοι, ιστορικοί, κοινωνιολόγοι) (Woolgar, 2003).

Οι παραπάνω θέσεις σχετίζονται άμεσα με το κεντρικό μας θέμα, μια και συνδέουν την αντικειμενικότητα της επιστήμης με την αντίστοιχη αντικειμενική περιγραφή της φύσης. Η αποδεκτή ή καθιερωμένη άποψη για την επιστήμη περιλαμβάνει την παραδοχή ότι τα αντικείμενα του φυσικού κόσμου είναι πραγματικά, αντικειμενικά και υπάρχουν από μόνα τους εκ των προτέρων (Woolgar, 2003). Ο Αϊνστάιν, για παράδειγμα, ξεκινούσε από την ιδέα ενός αντικειμενικού κόσμου που υφίσταται στο χώρο και στο χρόνο, τον οποίο εμείς ως φυσικοί παρατηρούμε μόνο εκ των έξω, ως είναι, και του οποίου την πορεία καθορίζουν οι νόμοι της φύσης (Heisenberg, 1983/95). Ένα πόρισμα αυτής της άποψης είναι ότι οι κοινωνικές αφετηρίες της επιστημονικής γνώσης δεν έχουν καμία σχεδόν σχέση με το περιεχόμενό της. Η επιστημονική γνώση σύμφωνα με αυτή την άποψη, δεν επιδέχεται κοινωνιολογική ανάλυση, γιατί απλώς η ίδια συνιστά την εξήγησή της: η επιστημονική γνώση καθορίζεται από την πραγματική φύση του φυσικού κόσμου (Woolgar, 2003).

Είναι δυνατό άραγε κάποιος να ορίσει την πραγματικότητα, για να διερευνήσουμε κατόπιν αν μπορούμε να την προσεγγίσουμε; Θα μπορούσαμε να αποδώσουμε τον ορισμό

της πραγματικότητας, σε καθετί που αντιστέκεται στις εμπειρίες, τις αναπαραστάσεις, περιγραφές, εικόνες ή τους μαθηματικούς φορμαλισμούς (Nicolescu, 2000). Κατ' άλλους, η πραγματικότητα ορίζεται μέσω ορισμένων «γεγονότων» που τη χαρακτηρίζουν. Η φυσική παρουσία ενός αντικειμένου, η οποία γίνεται αντιληπτή με τις αισθήσεις είναι μία πρώτη προϋπόθεση για την επιβεβαίωση της πραγματικότητας. Μία δεύτερη προϋπόθεση είναι η μονιμότητα ή η μη μεταβολή κάποιων χαρακτηριστικών του αντικειμένου (Ghins, 2000). Παρ' όλα τα παραπάνω, η Ghins προτιμάει να μη δώσει κάποιο συγκεκριμένο ορισμό για την πραγματικότητα. Θεωρεί ότι η αντικειμενική ύπαρξη ενός αντικειμένου δεν αποτελεί ιδιότητα και απλώς αφήνει ανοιχτή την πιθανότητα της ύπαρξης οντοτήτων, ακόμα κι αν αυτές δεν είναι δυνατό να τις αντιληφθούμε με τις αισθήσεις μας (Ghins, 2000). Υπάρχουν βέβαια και εκείνοι οι φυσικοί, όπως ο Rudolf Peierls που αρνούνται και να ασχοληθούν ακόμα με το ερώτημα περί πραγματικότητας, καθώς δηλώνουν ότι δε γνωρίζουν τίποτα γι' αυτή (Davies – Brown, 1986/97).

Όπως βλέπουμε, δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι υπάρχει μία οριστική απάντηση από την πλευρά της επιστήμης για το αν υπάρχει αντικειμενική αλήθεια, ή με άλλη διατύπωση, αντικειμενική πραγματικότητα. Συνεπώς, η Φυσική, παρακάμπτοντας στην ουσία το ζήτημα, προσπαθεί όχι τόσο να κατακτήσει την αλήθεια, όσο να την προσεγγίσει όσο γίνεται περισσότερο (Poincaré, 1905/97), ή απλά να δώσει νόημα στον κόσμο που μας περιβάλλει (Izquierdo-Aymerich, Bravo, 2003), έτσι ώστε να μπορέσουμε να τον καταλάβουμε και να λειτουργήσουμε εντός του. Η πεμπουσία της επιστήμης συνίσταται στην επιδίωξη της τάξης, στην επίτευξη σταθερών σχέσεων ανάμεσα στον κόσμο των αντικειμένων και στον κόσμο των αναπαραστάσεων (Woolgar, 2003).

Ένα βασικό πρόβλημα που προκύπτει, όμως, εδώ είναι το εξής: πώς μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι μία αναπαράσταση αποτελεί πράγματι μία ορθή, αληθή απεικόνιση του αντικειμένου που αναπαριστά; Πρόκειται για ένα πρόβλημα μεθοδολογικής επάρκειας: ποιοι λόγοι εγγυώνται τη σχέση ανάμεσα στα αντικείμενα της μελέτης και στις αποφάνσεις για αυτά τα αντικείμενα; Παραδείγματος χάρη, στην εργασία ενός φυσικού της στερεάς κατάστασης θα μπορούσε να εμφανιστεί ως ερώτημα για το αν υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα σε μία γραφική παράσταση και στην πραγματική διάταξη των ατόμων σε ένα δείγμα από κάποιο κράμα μετάλλων (Woolgar, 2003).

Ακολουθεί ένας κατάλογος των τρόπων κατά τους οποίους είναι δυνατό να αποτύχουν οι προσπάθειες εδραίωσης συνδέσεων ανάμεσα στην αναπαράσταση και το αντικείμενο:

1. Ενδεικτικότητα: Ο δεσμός ανάμεσα στην αναπαράσταση και το αντικείμενο είναι ενδεικτικός. Δηλαδή η πραγματικότητα που βρίσκεται πίσω από μία αναπαράσταση δεν είναι ποτέ καθορισμένη, αλλά επιδέχεται πάντοτε αλλαγές σύμφωνα με τη χρήση.
2. Μη αποφασιστικότητα: Δεν είναι δυνατό να δοθεί μία εξαντλητική επεξήγηση του νοήματος μιας αναπαράστασης, αφού όλες οι επεξηγήσεις περιλαμβάνουν νοήματα τα οποία παραμένουν ανεξήγητα.
3. Αναστοχαστικότητα: Η σχέση ανάμεσα στην αναπαράσταση και στο αναπαριστάμενο αντικείμενο είναι αναστοχαστική, δηλαδή η αλληλεξάρτηση μεταξύ τους είναι τόσο βαθιά, ώστε αναπτύσσει κανείς την αίσθηση της αναπαράστασης αντλώντας από τη «γνώση του αντικειμένου», και η γνώση του αντικειμένου αναπτύσσεται σύμφωνα με όσα είναι γνωστά για την αναπαράσταση. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι δυνατό να εκλαμβάνει κανείς τα συστατικά μέρη οποιουδήποτε ζεύγους αναπαράστασης – αντικειμένου ως απολύτως ανεξάρτητα.

(Woolgar, 2003).

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι υπάρχουν μεθοδολογικά προβλήματα στη διαδικασία διασύνδεσης της πραγματικότητας με τις επιστημονικές αναπαραστάσεις. Γι αυτό και μπορεί κανείς να πει ότι στην προσπάθειά τους οι φυσικοί να συνειδητοποιήσουν το βαθύτερο νόημα του φορμαλισμού μιας θεωρίας, καταλήγουν σε μία ποικιλία ερμηνειών, που είναι τόσες πολλές όσες και οι φυσικοί και σχεδόν τόσες όσες και ο αριθμός των φιλοσοφικών θέσεων για την έννοια της πραγματικότητας (Svozil, 2004).

Πάντως, η πλειοψηφία των επιστημόνων ακολουθεί, με παραλλαγές την εκδοχή του ρεαλισμού σε ότι αφορά τη σχέση επιστήμης – αντικειμενικής πραγματικότητας. Ο ρεαλισμός είναι η πεποίθηση ότι τα υλικά σώματα έχουν ιδιότητες ανεξάρτητες από κάθε παρατήρηση και ότι τα αποτελέσματα από κάθε δυνατή μέτρηση εξαρτώνται από αυτές τις ιδιότητες, οι οποίες καλούνται στοιχεία της πραγματικότητας (Santos, 2005). Ο Stace χαρακτήρισε το ρεαλισμό ως τη θεώρηση σύμφωνα με την οποία ορισμένες οντότητες μερικές φορές υπάρχουν χωρίς να μπορούν να γίνουν αντιληπτές από κανένα συγκεκριμένο νου (Svozil, 2004). Ο δομικός ρεαλιστής, σύμφωνα με τον Belousek,

υποστηρίζει, πως ό,τι είναι πραγματικό είναι η θεμελιώδης δομή αυτή καθεαυτή, μέσω της οποίας μας παρέχονται διαφορετικές ερμηνείες των αναπαραστάσεων (Belousek, 2005). Τα επιστημονικά μοντέλα είναι στην ουσία ένα είδος νοητικών αναπαραστάσεων. Η γλώσσα και οι ορισμοί που χρησιμοποιούν δεν περιγράφουν ακριβώς τον κόσμο, αλλά ακριβέστερα κατασκευάζουν ένα νοητικό του μοντέλο, το οποίο είναι ένα δομικό ανάλογο της πραγματικής κατάστασης (Izquierdo-Aymerich, Adúriz-Bravo, 2003). Αυτή η άποψη αποτελεί την ουσία του δομικού ρεαλισμού, οι υποστηρικτές της οποίας θεωρούν ότι εφόσον αυτό που διατηρείται ανέπαφο και τελειοποιείται κατά τη διάρκεια της εξέλιξης των επιστημονικών θεωριών είναι ο μαθηματικός φορμαλισμός των δομών, αυτός είναι που έχει τελικά σημασία για τις οντολογικές μας αναζητήσεις της πραγματικότητας (Belousek, 2005).

Τέλος ο πρακτικός ρεαλισμός δέχεται, ότι υπάρχουν διαπιστώσεις που μπορούν να αντικειμενοποιηθούν, και πως στην πραγματικότητα το μεγαλύτερο μέρος των εμπειριών μας στην καθημερινή ζωή αποτελείται από παρόμοιες διαπιστώσεις. Ο πρακτικός ρεαλισμός, κατά τον Heisenberg, υπήρξε πάντα μία ουσιώδης βάση για τη φυσική επιστήμη (Heisenberg, 1959/78). Αντίθετα, ο δογματικός ρεαλισμός ισχυρίζεται πως δεν υπάρχουν λογικές κρίσεις πάνω στον υλικό κόσμο που δεν μπορούν να αντικειμενοποιηθούν. Το γεγονός ότι στη Φυσική μπορούμε να περιγράψουμε τη φύση με απλούς μαθηματικούς νόμους, διδάσκει, πως εδώ έχουμε να κάνουμε με ένα γνήσιο χαρακτηριστικό της πραγματικότητας, όχι με κάτι, που, με κάποια σημασία της λέξης, εφευρίσκουν οι ίδιοι οι επιστήμονες. Αυτός ήταν πάνω κάτω ο συλλογισμός που είχε υπόψη του ο Αϊνστάιν, όταν θεώρησε το δογματικό ρεαλισμό ως βάση για τη Φυσική επιστήμη. Ο Heisenberg, όμως, θεωρεί ότι η θεωρία των κβάντων είναι ήδη ένα παράδειγμα για τη δυνατότητα να εξηγήσουμε τη φύση και χωρίς αυτή τη βάση, με απλούς μαθηματικούς νόμους, οπότε ο δογματικός ρεαλισμός δεν είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη φυσική επιστήμη (Heisenber, 1959/78).

3.2 Η περίπτωση της κβαντομηχανικής

Ένα παράδειγμα από την ίδια τη Φυσική, που θα μας βοηθήσει να αποσαφηνίσουμε καλύτερα τη σχέση μεταξύ αντικειμενικής πραγματικότητας και των επιστημονικών θεωριών και το πρόβλημα των ορίων της επιστημονικής γνώσης, είναι η περίπτωση της

κβαντομηχανικής. Αυτό συμβαίνει επειδή στη θεωρία των κβάντων έγιναν οι μεγαλύτερες αλλαγές σ' ότι αφορά την αντίληψη περί πραγματικότητας (Heisenberg, 1959/78).

Μία από τις παραδοχές της κλασικής νευτώνειας μηχανικής είναι ότι οι ιδιότητες της ύλης μεταβάλλονται με συνεχή τρόπο. Όταν οι φυσικοί ανακάλυψαν ότι αυτή η έννοια παύει να ισχύει σε ατομική κλίμακα, έπρεπε να εφεύρουν ένα εντελώς καινούριο σύστημα μηχανικής – την κβαντομηχανική – για να ερμηνεύσουν την πολύπλοκη φύση που χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά της ύλης σε ατομικό επίπεδο (Davies – Brown, 1986/97). Οι προβλέψεις και τα συμπεράσματα, όμως, που συνόδευαν την καινούρια θεωρία, αποδείχτηκαν πολύ παράξενα, υπό την έννοια ότι, όχι μόνο βρίσκονταν εκτός των ορίων της ανθρώπινης εμπειρίας, αλλά και πέρα από τα όρια της κοινής λογικής. Θα αναφέρουμε παρακάτω κάποια από αυτά τα συμπεράσματα, για να δούμε στη συνέχεια την επίδραση που είχαν στις ιδέες των επιστημόνων για την πραγματικότητα και τις φιλοσοφικές αντιδράσεις που προκάλεσαν:

- Στην κλασική Φυσική, οι έννοιες του σωματιδίου και του κύματος είναι απόλυτα διαχωρισμένες μεταξύ τους, και μάλιστα είναι ασύμβατες, δηλαδή μία φυσική οντότητα που είναι κύμα δεν μπορεί να είναι ταυτόχρονα και σωματίδιο και το αντίστροφο. Οι πειραματικές εργασίες των Davisson, Compton και άλλων και οι θεωρητικές εργασίες του Louis de Broglie, ανάγκασαν τους φυσικούς να αποδεχτούν ότι τα ηλεκτρόνια, τα φωτόνια και άλλες φυσικές οντότητες συμπεριφέρονται και ως κύματα και ως σωματίδια, ανάλογα με τις συγκεκριμένες περιστάσεις (Davies – Brown, 1986/97).
- Οι κινήσεις των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα ενός ατόμου, δεν είναι καθορισμένες. Δεν μπορεί ποτέ κανείς να παρατηρήσει περισσότερο από ένα σημείο της ηλεκτρονικής τροχιάς, κι αυτό δεν οφείλεται σε ατέλειες των οργάνων παρατήρησης, αλλά σε εγγενείς ιδιότητες των ηλεκτρονίων. Αρά, μπορεί κάποιος να ισχυρισθεί ότι δεν υπάρχει καθόλου ηλεκτρονική τροχιά με τη συνηθισμένη έννοια (Heisenberg, 1959/78). Αυτό που μπορούμε να γνωρίζουμε και να χειριστούμε είναι ο μαθηματικός φορμαλισμός, με τη μορφή μιας συνάρτησης πιθανότητας, δηλαδή μία μαθηματική έκφραση που συνδέει αποφάνσεις για «δυνατότητες» ή «τάσεις» με αποφάνσεις για τη γνώση μας για τα γεγονότα. Δεν

μπορούμε να αντικειμενοποιήσουμε εντελώς το αποτέλεσμα μιας παρατήρησης, οπότε δεν μπορούμε να περιγράψουμε τι συμβαίνει ανάμεσα σε αυτή την παρατήρηση και την επόμενη (Heisenberg, 1959/78).

- Διάφορα πειράματα αποδεικνύουν ότι η παρουσία ή η διέλευση των ηλεκτρονίων ή των φωτονίων από συγκεκριμένες διαδρομές είναι μία καθαρά τυχαία διαδικασία. Επίσης, σύμφωνα με την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg, δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου ταυτόχρονα, με μεγάλη ακρίβεια. Αυτό στην ουσία σημαίνει ότι, ενώ πριν την ανάπτυξη της κβαντικής Φυσικής φανταζόμαστε τον κόσμο, τουλάχιστον θεωρητικά, εντελώς προβλέψιμο, τα πορίσματα της κβαντομηχανικής μας υποχρεώνουν να δεχτούμε ότι η φύση κάθε άλλο παρά προβλέψιμη είναι. Δεν μπορούμε να ξέρουμε τη μοίρα ενός σωματιδίου, παρά μόνο μετά την εκτέλεση μιας παρατήρησης (Davies – Brown, 1986/97).
- Οι αναφερθείσες αποφάνσεις της κβαντικής θεωρίας οδηγούν σε ένα απρόσμενο συμπέρασμα: ότι ακόμα και η έννοια «συμβάν» πρέπει να περιορίζεται στην παρατήρηση. Αυτό βέβαια είναι ένα πολύ περίεργο αποτέλεσμα, που φαίνεται να δείχνει πως η παρατήρηση παίζει αποφασιστικό ρόλο στο συμβάν, και πως η πραγματικότητα είναι διαφορετική, ανάλογα με το αν την παρατηρούμε ή όχι (Heisenberg, 1959/78). Με άλλα λόγια, φαίνεται ότι η απόφαση του πειραματιστή, το αν θα παρατηρήσει και πότε, κατά κάποιο τρόπο επηρεάζει τη συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων, και άρα επηρεάζει το τι παρατηρούμε (Davies – Brown, 1986/97). Όπως, εξάλλου, δηλώνει και ο Heisenberg: «Η κλασική Φυσική βασιζόταν στην παραδοχή – ή ίσως στην ψευδαισθηση - πως μπορούμε να περιγράψουμε τον κόσμο ή τουλάχιστον τμήματα του κόσμου χωρίς να μιλήσουμε για τους εαυτούς μας. Μπορεί να πει κανείς, πως η κλασική Φυσική παριστάνει ακριβώς την εξιδανίκευση του κόσμου, στην οποία μπορούμε να μιλήσουμε για τον κόσμο ή για τα τμήματά του, χωρίς ν' αναφερθούμε στον εαυτό μας, κάτι που απ' ότι φαίνεται δεν μπορεί να ειπωθεί για την κβαντική Φυσική» (Heisenberg, 1959/78).

3.3 Οι ερμηνείες των επιστημόνων στα πορίσματα της κβαντικής θεωρίας

Η ανάπτυξη της κβαντικής μηχανικής, λοιπόν, επανέφερε στο προσκήνιο πολύ έντονα παλιές ιδέες για την επιστημονική αλήθεια, ενώ έθεσε και καινούρια φιλοσοφικά ερωτήματα σχετικά με τη φύση της πραγματικότητας. Ίσως ο Feynman να μην υπερέβαλε και πολύ όταν έλεγε ότι στην ουσία κανείς δεν καταλαβαίνει την κβαντική μηχανική (Feynman, 1967/90). Στη νέα αυτή κατάσταση, οι επιστήμονες πήραν θέση στο πρόβλημα με ποικίλους τρόπους. Μπορούμε να αναφέρουμε κάποιους από αυτούς με τα ονόματα που έγιναν γνωστοί, καθώς και τους πιο γνωστούς φυσικούς που τους υποστήριξαν: η *ερμηνεία της Κοπεγχάγης (Bohr)*, η *ερμηνεία των πολλαπλών συμπάντων (Everett)*, η *ερμηνεία του Bohm*, η *προσέγγιση των συνεπών ιστοριών (Griffiths)*, η «*ρεαλιστική*» *ερμηνεία (Einstein, De Broglie, Schroedinger)* (Svozil, 2004). Είναι σημαντικό εδώ να τονίσουμε ότι όλες αυτές οι ερμηνείες δεν αντιδικούν ως προς τις προβλέψεις και το φορμαλισμό της κβαντικής θεωρίας. Διαφέρουν στο είδος της «μετάφρασης» που γίνεται στα θεωρητικά και πειραματικά δεδομένα, παίζοντας το ρόλο ενός φιλοσοφικού υποβάθρου, χωρίς το οποίο η επιστήμη θα υποβιβάζοταν σε μία γενικά αυτοματοποιημένη αποδεικτική τεχνική, στερούμενη έτσι κάθε ιδέας που θα έδινε την ώθηση για περαιτέρω ανάπτυξη και πρόοδο (Svozil, 2004). Παρακάτω, θα προσπαθήσουμε να αποσαφηνίσουμε κάπως αυτές τις διαφορετικές ιδέες.

Έτσι, οι ερμηνείες της κυματικής συνάρτησης του Schroedinger, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: σύμφωνα με την πρώτη, δεν μπορεί να αποδοθεί καμία μορφή πραγματικότητας στο κβαντικό κύμα. Στη δεύτερη, αντίθετα, ανήκουν όλες οι ερμηνείες που προσπαθούν να αντιστοιχίσουν ένα είδος πραγματικότητας στα κβαντικά κύματα (Auletta – Tarozzi, 2004). Η πιο ριζοσπαστική θέση της πρώτης κατηγορίας υποστηρίζει ότι δεν υπάρχουν ούτε κύματα ούτε σωματίδια. Στην ουσία υποστηρίζεται ότι μόνο ο μαθηματικός φορμαλισμός είναι αυτός που έχει νόημα, άρα και σημασία, οπότε οποιαδήποτε προσπάθεια να δοθεί μία οντολογική ερμηνεία αντιμετωπίζεται ως στερούμενη νοήματος και ως ένας μεταφυσικός τρόπος να δοθεί λύση στο πρόβλημα (Auletta – Tarozzi, 2004). Σύμφωνα με τον Stace, δεν υπάρχει ο παραμικρός λόγος να πιστέψουμε στην ύπαρξη οντοτήτων, τις οποίες δεν μπορούμε να αντιληφθούμε με την εμπειρία μας. Υπό αυτή την έννοια, θεωρείται ότι ο ρεαλισμός έχει υιοθετηθεί από

κάποιους επιστήμονες για τον απλούστατο λόγο ότι απλοποιεί τον τρόπο με τον οποίο βλέπουμε το σύμπαν (Svozil, 2004).

Ο Max Born, από τους πρωτεργάτες της κβαντικής θεωρίας, υποστήριξε την άποψη ότι η εξίσωση του Schroedinger μπορεί να περιγράψει μόνο πιθανότητες μετάβασης, δηλαδή ισχύει όχι για σταθεροποιημένες καταστάσεις, αλλά για το διάστημα μεταξύ τέτοιων καταστάσεων, οπότε δεν μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για κλασικές ερμηνείες της πραγματικότητας (Auletta – Tarozzi, 2004). Όπως το έθεσε ο Heisenberg, η ίδια η συνάρτηση πιθανότητας δεν παριστάνει μία πορεία συμβάντων μέσα στο χρόνο. Παριστάνει κατά κάποιο τρόπο μία τάση για συμβάντα, τη δυνατότητα για συμβάντα ή τη γνώση μας για συμβάντα. Η συνάρτηση πιθανότητας μπορεί να συνδεθεί με την πραγματικότητα, μόνο αν εκπληρώνεται ένας ουσιώδης όρος: αν δηλαδή γίνει μία νέα μέτρηση ή παρατήρηση, για να διαπιστωθεί μια ορισμένη ιδιότητα του συστήματος (Heisenberg, 1959/78).

Εκκινώντας από την πλήρη άρνηση της πραγματικότητας, υπάρχει ένα συνεχές απόψεων που καταλήγει στην άλλη πλευρά, δηλαδή στον απόλυτο ρεαλισμό. Ο Wigner πρότεινε ότι μόνο τα παρατηρησιακά δεδομένα είναι πραγματικά (υπό μία έννοια, το μόνο πραγματικό που μπορεί να έχει ένας ερευνητής είναι αυτό που μετράει), και ότι η κυματική συνάρτηση είναι απλώς ένα μαθηματικό εργαλείο που βοηθάει στον υπολογισμό πιθανοτήτων μεταξύ δύο παρατηρούμενων γεγονότων (Auletta – Tarozzi, 2004). Ο Bohr, στην προσπάθειά του να αντιμετωπίσει το πρόβλημα, διατύπωσε την αρχή της συμπληρωματικότητας, σύμφωνα με την οποία στη δυαδικότητα κύμα – σωματίδιο, οι κυματικές και σωματιδιακές ιδιότητες ενός κβαντικού αντικειμένου είναι συμπληρωματικές όψεις της συμπεριφοράς του, και υποστήριξε ότι ποτέ δεν πρέπει να εκτελούμε πειράματα στα οποία αυτές οι δύο διακριτές συμπεριφορές συγκρούονται μεταξύ τους (Davies – Brown, 1986/97). Με άλλα λόγια, δεν μπορούμε να πούμε ότι η συγκεκριμένη φυσική οντότητα είναι **και κύμα και σωματίδιο**, αλλά ότι σε άλλα φαινόμενα εμφανίζει τη μία μορφή και σε άλλα την άλλη. Κεντρική πάντως θέση στη φιλοσοφία του Bohr έχει η παραδοχή ότι η αβεβαιότητα και η απροσδιοριστία είναι ενδογενείς στον κόσμο των κβάντων και όχι απλώς το αποτέλεσμα της δικής μας ατελούς αντίληψης (Davies – Brown, 1986/97). Από εκεί και πέρα βέβαια, και ο Bohr θεωρούσε ότι το ερώτημα τι «πραγματικά» είναι το ηλεκτρόνιο ή το φωτόνιο δεν έχει νόημα. Η

έστω, όταν τίθεται αυτό το ερώτημα, η Φυσική δε δίνει καμία απάντηση. Ο Bohr διακήρυττε πως η Φυσική μάς πληροφορεί όχι γι' αυτό που υπάρχει, αλλά γι' αυτό που λέμε ο ένας στον άλλο για τον κόσμο (Davies – Brown, 1986/97).

Από την άλλη, ο Schroedinger, προσεγγίζοντας μία πιο ρεαλιστική θέση, προσπάθησε να αποδώσει οντολογική αλήθεια στα κύματα, επισημαίνοντας επιπλέον ότι αποτελούσαν τη μοναδική πραγματικότητα, και πως αυτό που αποκαλούμε σωματίδια είναι απλά κυματοπακέτα (ή αλλιώς κυματοσυρμοί, όπως ονομάζονται), τα οποία είναι περιορισμένα σε μικρό χώρο (Auletta – Tarozzi, 2004). Ο de Broglie παράλληλα, πρότεινε τη θεωρία του κύματος – πλότου, προκειμένου να κατανοηθεί η βασική οντολογία του μικρόκοσμου, η οποία κατ' αυτόν αποτελείται από δύο διαφορετικές οντότητες, και οι δύο εκ των οποίων είναι προικισμένες με φυσική πραγματικότητα: ένα κύμα και ένα σωματίδιο (Auletta – Tarozzi, 2004).

Μετά από αυτές τις συνδιαστικές προσπάθειες ερμηνείας, καταλήγουμε στο άλλο άκρο του φάσματος των θεωρήσεων για την κβαντική πραγματικότητα, την καθαρά ρεαλιστική άποψη, κυριότεροι εκπρόσωποι της οποίας υπήρξαν ο Einstein και ο Bohm. Ο Einstein ήταν απόλυτα σίγουρος ότι κάτω από το κβαντικό χάος και την αβεβαιότητα, υπάρχει τελικά ο κλασικός κόσμος του οικείου αιτίου και αποτελέσματος (Davies – Brown, 1986/97). Το ότι δεν μπορούμε να καθορίσουμε τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου ταυτόχρονα, μπορεί να αποδοθεί στη χονδροειδή φύση των συσκευών μας που ως τώρα απέτυχαν να διερευνήσουν το λεπτό επίπεδο αυτού του υποστρώματος (Davies – Brown, 1986/97). Σύμφωνα με τον Einstein, «αν, χωρίς να διαταράξουμε με οποιοδήποτε τρόπο το σύστημα, μπορούμε να προβλέψουμε με βεβαιότητα... την τιμή μιας φυσικής ποσότητας, τότε υπάρχει ένα στοιχείο της φυσικής πραγματικότητας που αντιστοιχεί σε αυτή τη φυσική ποσότητα (Davies – Brown, 1986/97). Αυτές οι φυσικές ποσότητες μπορούν να ονομαστούν «στοιχεία της πραγματικότητας» και ταυτοποιούνται συχνά με αυτό που αποκαλείται «κρυμμένες μεταβλητές», όπως θα δούμε αμέσως παρακάτω (Santos, 2005).

Ανάλογες ιδέες εξέφρασε και ο Bohm, εγκαινιάζοντας μία καινούρια θεώρηση, αυτή των κρυμμένων μεταβλητών (Auletta – Tarozzi, 2004). Σύμφωνα με αυτή, τα φαινομενικά ιδιόρρυθμα αποτελέσματα που παίρνουμε από τα πειράματα που σχετίζονται με τον

κβαντικό μικρόκοσμο, είναι το αποτέλεσμα της δραστηριότητας μιας σειράς δυναμικών μεταβλητών, τις οποίες επιλέξαμε να αγνοήσουμε, είτε εξαιτίας της αδυναμίας των μετρητικών μας οργάνων, είτε επειδή δεν επηρεάζουν σε παρατηρήσιμο βαθμό τα αποτελέσματα που μας ενδιαφέρουν. Οι κρυμμένες μεταβλητές δηλαδή, δρουν ως ένα υπόστρωμα με τέλεια ντετερμινιστικές δυνάμεις, πάνω από το οποίο εμφανίζονται όλα τα «περίεργα» αποτελέσματα της κβαντικής μηχανικής (Davies – Brown, 1986/97).

3.4 Τα όρια της επιστημονικής γνώσης

Αυτό που εύκολα μπορεί να διαπιστώσει κανείς από την παράθεση των απόψεων για την ερμηνεία των κβαντικών φαινομένων, είναι ότι τελικά δεν υπάρχει συμφωνία μεταξύ των επιστημόνων σε ό,τι αφορά την εξήγηση των θεωρητικών προβλέψεων και των πειραματικών αποτελεσμάτων. Μάλιστα, δεν είναι και σπάνιο ερευνητές που ηγήθηκαν σημαντικών φιλοσοφικών τάσεων στο πλαίσιο της φυσικής επιστήμης του 20^{ου} αιώνα, όπως ο Bohr, να εμφανίζουν διαφοροποίηση της στάσης τους απέναντι στις ιδέες τους για την πραγματικότητα σε μεταγενέστερα γραπτά τους (Auletta – Tarozzi, 2004). Αναφέρει ο Bohr το 1958: «μέσω της περιγραφής των φαινομένων με τη βοήθεια της έννοιας της συμπληρωματικότητας, κάθε υποκειμενικότητα αποφεύγεται, αρκεί να προσεχθούν οι περιστάσεις που απαιτούνται για την καλά ορισμένη χρησιμοποίηση των στοιχειωδών φυσικών εννοιών» (Auletta – Tarozzi, 2004).

Θα πρέπει, εξάλλου, να σημειώσουμε ότι το ζήτημα της επιστημονικής αλήθειας δεν εμφανίζεται μόνο στην κβαντομηχανική. Αντίθετα διατρέχει ολόκληρη την επιστημονική αναζήτηση, από τις απαρχές της ακόμα. Απλά, η κβαντική θεωρία άλλαξε τόσο ριζικά καθιερωμένες απόψεις σχετικά με την πραγματικότητα, ταυτόχρονα με την αδιάσειστη θεμελίωση της θεωρίας διά μέσου των πειραματικών πορισμάτων, που δίκαια θεωρείται κομβικό σημείο στη διαμόρφωση των απόψεων επιστημόνων και φιλοσόφων για το θέμα αυτό. Όπως αναφέρει ο Bohr, σε κάθε τομέα της εμπειρίας πρέπει να διατηρούμε ένα σαφή διαχωρισμό μεταξύ του παρατηρητή και του αντικειμένου της παρατήρησης, αλλά από την άλλη πρέπει να συνειδητοποιήσουμε ότι η ανακάλυψη των κβαντικών φαινομένων έριξε καινούριο φως στα θεμέλια της περιγραφής της φύσης και αποκάλυψε προϋποθέσεις, που δεν είχαν γίνει αντιληπτές μέχρι τότες, για τη λογική χρήση των

εννοιών, πάνω στις οποίες βασίζεται η επικοινωνία της εμπειρίας (Auletta – Tarozzi, 2004).

Τι μπορεί να ειπωθεί, λοιπόν, προκειμένου να συνθέσουμε αυτή την ποικιλία των θέσεων; Ο Heisenberg έκανε μία προσπάθεια να υπερκεράσει τις αντιφάσεις και τις διαφωνίες, δίνοντας έμφαση στη χρήση της γλώσσας κατά την περιγραφή των φυσικών φαινομένων. Όπως λέει, η ερμηνεία της Κοπεγχάγης για τη θεωρία των κβάντων αρχίζει με ένα παράδοξο. Αρχίζει με το γεγονός, πως πρέπει τα πειράματά να περιγράφονται με τις έννοιες της κλασικής Φυσικής και ταυτόχρονα με την επίγνωση, πως οι έννοιες αυτές δεν ταιριάζουν με ακρίβεια στη φύση. Η διάσταση ανάμεσα σε αυτά τα δύο σημεία εκκίνησης είναι υπεύθυνη για το στατιστικό χαρακτήρα της θεωρίας των κβάντων. Γι' αυτό προτάθηκε συχνά, να εγκαταλειφθούν εντελώς οι κλασικές έννοιες. Ίσως μία ριζοσπαστική αλλαγή των εννοιών μας στην περιγραφή των πειραμάτων, θα μπορούσε να μας επαναφέρει σε μία μη στατιστική, εντελώς αντικειμενική περιγραφή της φύσης (Heisenberg, 1959/78). Με άλλα λόγια, η συνήθης γλώσσα των φυσικών, και οι συνηθισμένες έννοιες της Φυσικής, που μάς κληρονομήθηκαν από την κλασική της περίοδο, πιθανότατα είναι τελείως ακατάλληλη για την περιγραφή των φαινομένων μέσα στο άτομο (Heisenberg, 1983/95), και από εκεί προκύπτει η ίσως φαινομενική αναντιστοιχία μεταξύ της αντικειμενικής και της υποκειμενικής περιγραφής του φυσικού κόσμου. Την ίδια ιδέα εξέφραζε και ο Freeman Dyson, όταν έλεγε στα 1958: «Ο λόγος για τον οποίο οι νέες έννοιες σε οποιονδήποτε κλάδο της επιστήμης είναι δύσκολο να κατανοηθούν είναι πάντα ο ίδιος: οι επιστήμονες της εποχής προσπαθούν να απεικονίσουν τις καινούριες έννοιες χρησιμοποιώντας ορολογία και ιδέες που υπήρχαν σε προηγούμενες εποχές. Ο ίδιος ο επιστήμονας που ανακαλύπτει κάτι καινούριο, υποφέρει από την ανακάλυψη του: έφτασε στις καινούριες έννοιες, παλεύοντας με τις παλιές ιδέες και οι παλιές ιδέες διατηρούνται ως η γλώσσα της σκέψης του για πολύ καιρό αργότερα» (Dyson, 1958). Η χρήση των κλασικών εννοιών είναι σε τελευταία ανάλυση μία συνέπεια της γενικής πνευματικής εξέλιξης της ανθρωπότητας. Αλλά μ' αυτόν τον τρόπο αναφερόμαστε σ' εμάς τους ίδιους, κι απ' αυτή την άποψη δεν μπορεί να ονομάσει κανείς την περιγραφή μας εντελώς αντικειμενική (Heisenberg, 1959/78).

Ο Belousek προσθέτει ότι η μη ντετερμινιστική οντολογία κάποιων φυσικών θεωριών, η οποία δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί αλλά ούτε και να απορριφθεί μέσω της λογικής ή του

πειράματος, δεν αποτελεί μία απόρριψη του ρεαλισμού. Είναι, μάλλον, μία παραδοχή ότι δεν μπορεί να ληφθεί μια απόφαση για το τι μας υποχρεώνει, μία επιστημονική θεωρία, να δεχθούμε για τη φύση της πραγματικότητας, (Belousek, 2005). Ένα παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της χρησιμοποίησης των ακτίνων X, για τη διερεύνηση της «πραγματικής» δομής ενός κρυστάλλου. Η πραγματικότητα του μαθηματικού φορμαλισμού σε αυτή την περίπτωση, δεν ενδιαφέρει τον ερευνητή, και είναι τελικά άσχετη με τις παρατηρήσεις του (Belousek, 2005).

Άλλοι επιστήμονες κινούνται προς διαφορετικές κατευθύνσεις, τονίζοντας τη σημασία που έχει να αλλάξουμε τη στάση με την οποία αντιλαμβανόμαστε τις επιστημονικές θεωρίες σε συνάρτηση με την πραγματικότητα, και να υιοθετήσουμε μια πιο σφαιρική προσέγγιση για αυτά τα θέματα. Υπερασπίζονται δηλαδή την άποψη της *ολιστικότητας*, σύμφωνα με την οποία, κάποια συγκεκριμένα συστήματα έχουν ορισμένες ιδιότητες, τις οποίες μπορούμε να αντιληφθούμε ολοκληρωμένα και να μελετήσουμε σε βάθος, μόνο αν δεν τις χειριστούμε ανεξάρτητα τη μία από την άλλη, αλλά αντίθετα όλες μαζί (Bartels – Lyre – Estfeld, 2004). Η ολιστικότητα δηλαδή υποστηρίζει ότι το σύνολο είναι πιο σημαντικό από το άθροισμα των μερών. Έτσι, οι ιδιότητες ή σχέσεις ενός συνόλου δεν καθορίζονται ή δεν μπορούν να προσδιοριστούν από τις εγγενείς ιδιότητες ή σχέσεις των μερών (Seevinck, 2004). Αν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κάτι τέτοιο ισχύει, τότε η αναζήτηση της αντικειμενικής πραγματικότητας ή η απόρριψη της, σε επιμέρους πτυχές της κβαντικής ή κάποιας άλλης θεωρίας, είναι ίσως μάταιη.

Φαίνεται πάντως ότι η σημασία της πραγματικότητας και της επιστημονικής αλήθειας για τους ίδιους τους επιστήμονες είναι μία σχετική έννοια. Έτσι, η αποδοχή της ύπαρξης μιας οντότητας, δε θεωρείται ότι συνεπάγεται και μία δέσμευση για την πίστη στην ύπαρξη «καθ' εαυτή» του αντικειμένου που αντιστοιχεί σε αυτή την οντότητα, καθώς και για όλες τις ιδιότητες που αποδίδονται στο αντικείμενο. Παράλληλα, η αποδοχή της αλήθειας μιας δήλωσης δε δεσμεύει κάποιον να πιστέψει στη «φυσική» ύπαρξη κάποιας κατάστασης των πραγμάτων, η οποία καθιστά τη δήλωση αληθινή, ούτε, εξάλλου, σε μία αδιαμφισβήτητη και απόλυτη αλήθεια. Υπό αυτή την έννοια, ο επιστημονικός ρεαλισμός είναι μετριοπαθής (Gihns, 2000). Επιπρόσθετα, δεν επιτρέπεται σε κάποιον επιστήμονα να αποδέχεται την αλήθεια όλων των δηλώσεων μιας θεωρίας, ακόμα κι αν αυτή είναι αποδεκτή τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή από την επιστημονική κοινότητα. Συνεπώς, ο

επιστημονικός ρεαλισμός είναι και επιλεκτικός (Gihns, 2000). Τα τελευταία συμπεράσματα αποτελούν στην ουσία μία αναγκαιότητα, που προκύπτει από την ιστορική μελέτη των επιστημονικών επιτευγμάτων, η οποία αποδεικνύει ότι και η τωρινή μας γνώση είναι πιθανώς επιφανειακή και εφήμερη (Svozil, 2004 – Woolgar, 2003). Όπως έλεγε ο Popper: «Η επιστήμη δεν είναι ένα σύστημα από σίγουρες, καλά καθορισμένες δηλώσεις. Ούτε είναι ένα σύστημα το οποίο διαρκώς αναπτύσσεται προς ένα οριστικό τέλος... Δε γνωρίζουμε: μπορούμε μόνο να μαντεύουμε. Και οι εικασίες μας αυτές καθοδηγούνται από την αντι-επιστημονική μας πίστη στους νόμους, στις κανονικότητες που ξεσκεπάζουμε – αποκαλύπτουμε. Όπως ο Bacon, μπορούμε να περιγράψουμε τη δική μας, σύγχρονη επιστήμη σαν τη μέθοδο της λογικής, την οποία τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή ο άνθρωπος εφαρμόζει στη φύση» (Popper, 1968).

Το πιο πάνω απόσπασμα κάνει την κατάλληλη σύνδεση με το ζήτημα των ορίων της επιστημονικής γνώσης. Υπάρχουν τέτοια όρια και αν η απάντηση είναι θετική, μπορεί η επιστήμη να τα φτάσει σε κάποια μελλοντική χρονική στιγμή; Όπως είδαμε ο Popper απαντάει αρνητικά. Ο Heisenberg δηλώνει ότι δεδομένου πως όλες οι έννοιες και οι λέξεις που σχηματίστηκαν στο παρελθόν με το αμοιβαίο παιχνίδι ανάμεσα στον κόσμο και στους ανθρώπους, δεν είναι ορισμένες με πραγματική σαφήνεια σε ό,τι αφορά τη σημασία τους, δε θα είναι ποτέ δυνατό να φτάσουμε σε μία απόλυτη αλήθεια μονάχα με ορθολογική σκέψη (Heisenberg, 1959/78). Αυτό που παρατηρούμε δεν είναι η ίδια η φύση, αλλά η φύση που είναι εκτεθειμένη στον τρόπο που ρωτάμε. Η επιστημονική εργασία μας στη Φυσική συνίσταται στο να κάνουμε ερωτήσεις για τη φύση στη γλώσσα που κατέχουμε, και να προσπαθούμε να πάρουμε απάντηση με πειράματα, που εκτελούμε με τα μέσα που βρίσκονται στη διάθεσή μας (Heisenberg, 1959/78). Αυτό είναι και το καλύτερο που μπορούν να κάνουν οι επιστήμονες, οπότε δε θα έπρεπε να περιμένουμε να προσεγγίσουμε κάποτε τα απώτατα όρια της γνώσης. Ο Maxwell, στα 1873, ανέφερε ότι «η Επιστήμη δεν είναι σε θέση να προχωρήσει σε συλλογισμούς σε ό,τι αφορά το ζήτημα της δημιουργίας της ύλης από το τίποτε. Την ημέρα που παραδεχθήκαμε ότι, εφόσον η ύλη δεν μπορεί να είναι αιώνια και αυθύπαρκτη, θα πρέπει να έχει δημιουργηθεί, αγγίξαμε και την εσχατιά των δυνατοτήτων του ανθρώπινου νου.» (Maxwell, 1873/2004).

Αυτή η στάση των επιστημόνων, η οποία διακηρύσσει την αδυναμία της επιστήμης να κατακτήσει την πλήρη κατανόηση του φυσικού κόσμου, δεν ισχύει πάντα, και σε μερικές

περιπτώσεις δεν ισχύει ακόμα και σήμερα. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, οι Φυσικοί ήλπιζαν ότι θα μπορούσαν να εξηγήσουν όλα τα φαινόμενα με όρους που περιγράφουν τις ιδιότητες της συνεχούς ύλης, όπως ελαστικότητα και μετάδοση θερμότητας (Hawking, 1988/89). Η ανακάλυψη της ατομικής δομής και η διατύπωση της αρχής της απροσδιοριστίας, όμως, εξανέμισε αυτές τις ελπίδες. Αργότερα, το 1928, ο τιμημένος με το βραβείο Νόμπελ, φυσικός Max Born δήλωνε ότι «Η Φυσική θα τελειώσει σε έξι μήνες», αισιοδοξώντας από την πρόσφατη τότε ανακάλυψη από τον Dirac της εξίσωσης που περιγράφει τη συμπεριφορά του ηλεκτρονίου (Hawking, 1988/89). Προφανώς, η εκτίμησή του ήταν άστοχη. Αλλά και στις μέρες μας πολλοί φυσικοί ελπίζουν ότι βρισκόμαστε κοντά στο τέλος της έρευνας για μία πλήρη ενιαία θεωρία για τη φύση, που θα σημάνει την πλήρη (μέσα στα όρια της αρχής της απροσδιοριστίας) κατανόηση του σύμπαντος (Hawking, 1988/89).

Για άλλη μία φορά είναι φανερό ότι δεν υπάρχει μία κοινά αποδεκτή απάντηση. Η ιστορία έχει δείξει πάντως, ότι οι επιστημονικές θεωρίες αλλάζουν, είτε βαθμιαία είτε απότομα, και ότι κάθε φορά που συμβαίνει αυτό, επιτυγχάνουμε μία λιγότερο ή περισσότερο καλή προσέγγιση της αλήθειας. Ίσως αυτό να είναι και το καλύτερο που μπορεί να μας προσφέρει η επιστήμη: μία ατέρμονη μεν, αλλά ολοένα και πιο κοντά στο στόχο, αναζήτηση της αλήθειας.

ΜΕΡΟΣ 2^ο
ΠΑΡΑΘΕΜΑΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ

1. JOHANNES KEPLER, 1571 – 1630

Ο Κέπλερ υπήρξε ένας μεγάλος αστρονόμος του τέλους του 16^{ου} αι. και των αρχών του 17^{ου}, ο οποίος μεταξύ άλλων διατύπωσε τους νόμους που διέπουν την κίνηση των πλανητών. Στο παρακάτω απόσπασμα διαφαίνονται δύο χαρακτηριστικά της πρώιμης επιστημονικής περιόδου: από τη μία οι απαρχές της επιστημονικής μεθοδολογίας (επαγωγικός τρόπος σκέψης, ανάγκη απόδειξης των υποθέσεων), αλλά από την άλλη η παραδοχή ότι η φύση και όλοι οι φυσικοί νόμοι είναι το έργο του Θεού, του Δημιουργού δηλαδή του κόσμου, και ως εκ τούτου το εμπειρικό στοιχείο υποβαθμίζεται σε σχέση με τους φιλοσοφικούς συλλογισμούς του ερευνητή.

“Mysterium Cosmographicum”, (1596), από το: «Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική», του Werner Heisenberg, σελ. 70 – 85.

(σελ. 74) ... Πόση αμάθεια και πόση ανοησία δείχνει η τακτική να φθονεί κάποιος την έντιμη χαρά που αρμόζει στο πνεύμα, αλλά να την αποδέχεται όταν πρόκειται για τα μάτια και τα αφτιά...

... Ο Πλάστης μας πρόσθεσε στις αισθήσεις το πνεύμα, όχι απλώς και μόνο ώστε να αποκτά ο άνθρωπος τα προς το ζην ... αλλά και για να είμαστε σε θέση από την ύπαρξη των παρατηρούμενων πραγμάτων, να συνάγουμε συμπεράσματα περί των αιτίων και της εξέλιξης της ύπαρξης αυτής, έστω κι αν αυτή η δραστηριότητα δε συνδέεται με κανένα περαιτέρω όφελος.

(σελ. 83 – 84) ... Κατά συνέπεια πρέπει να ακούμε τον Κοπέρνικο έως ότου διατυπωθούν υποθέσεις που θα συμφωνούν ακόμα καλύτερα με τις φιλοσοφικές διαπιστώσεις μας, ή μέχρι να αποδείξει κάποιος πως, ό,τι έχει συναχθεί με τον καλύτερο επαγωγικό τρόπο, απευθείας από τις αρχές της φύσης, μπορεί να είναι το τυχαίο αποτέλεσμα της χρήσης των αριθμών ή του ανθρώπινου πνεύματος. Επειδή, τι θα μπορούσε να δημιουργήσει μεγαλύτερη έκπληξη, τι θα μπορούσε να ενέχει μεγαλύτερη αποδεικτική δύναμη, από το γεγονός ότι αυτό που διαπίστωσε και εξήγησε ο Κοπέρνικος από τα φαινόμενα, από τα αποτελέσματα, a posteriori, όμοια με τον τυφλό που στηρίζει τα βήματά του στο μπαστούνι (όπως αρεσκόταν

να λέει ο Ραιτικός) υπήρξε αποτέλεσμα μάλλον ενός ευτυχούς ευρήματος παρά μιας αξιόπιστης επαγωγικής διαδικασίας; Ότι όλα αυτά λέω εγώ, μπορούν να διαπιστωθούν και να συλληφθούν με τον πιο σίγουρο τρόπο, αν αποδοθούν σε λόγους που προκύπτουν *a priori* από τα αρχικά αίτια, από την ιδέα της Δημιουργίας;

2. ΓΑΛΙΛΑΙΟΣ, 1564 – 1642

Ο Γαλιλαίος, παρότι ζει την ίδια περίπου εποχή με τον Κέπλερ, αναδεικνύει στα έργα του τις απαρχές του σύγχρονου επιστημονικού στοχασμού. Η μεγαλύτερη προσφορά του Γαλιλαίου προς την επιστήμη, υπήρξε η έμφαση που έδωσε στην πειραματική απόδειξη των υποθέσεων, και μάλιστα με βάση συγκεκριμένους λογικούς κανόνες. Η φύση, σύμφωνα με το Γαλιλαίο, πρέπει να μελετάται ανεξάρτητα από τις θεολογικές και θρησκευτικές πεποιθήσεις του ερευνητή. Τα παραπάνω αναδεικνύονται στα επόμενα αποσπάσματα. Εμβόλιμα, παραθέτουμε και κάποια σχόλια του μεγάλου φυσικού του 20^{ου} αιώνα Werner Heisenberg.

“Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo” (Διάλογος επί των δύο κύριων κοσμικών συστημάτων), 1632, “Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze” (Συζητήσεις και μαθηματικές αποδείξεις που αφορούν δύο νέες επιστήμες), 1638, από το: «Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική», του Werner Heisenberg, σελ.85 – 111

(σελ. 86) ... Η φύση δε δημιουργεί πρώτα τα ανθρώπινα πνεύματα και κατόπιν τα πράγματα, ώστε τα τελευταία να προσαρμοστούν στα πρώτα, αλλά αντιστρόφως. Η παρατήρηση, η εμπειρία, προηγούνται του λόγου: εδώ οι αισθήσεις κατέχουν – ως εργαλεία – τα πρωτεία.

(σελ. 87) ... Μόνο όταν χρησιμοποιηθούν οι προϋποθέσεις ως υποθέσεις και επιβεβαιωθούν με την εμπειρία, αποκτούν το χαρακτήρα των φυσικών νόμων. Προϋποθέσεις οι οποίες είναι λογικώς και μαθηματικώς αυτοσυνεπείς, αλλά δε βρίσκουν καμία αντιστοιχία στη φύση, δε χάνουν βεβαίως τίποτε από την πειστικότητά τους, δεν αποτελούν όμως φυσικό νόμο.

(σελ. 87 – 88) ... Το νέο στοιχείο που αναδεικνύεται εδώ, είναι το εξής: δεν πρόκειται πλέον απλώς και μόνο για την παρατήρηση της φύσης, αλλά για μια παρατήρηση που εκπορεύεται από συγκεκριμένες αρχές και προσανατολίζεται κατά την εξέλιξή της, σύμφωνα με πολύ συγκεκριμένους κανόνες της σκέψης. Τούτο όμως δεν είναι τίποτε άλλο παρά η πειραματική ανίχνευση, η οποία διαπιστώνει αν και κατά πόσον συγκεκριμένες θεωρητικές απόψεις συμφωνούν με την παρατήρηση. **(Παρατηρήσεις του Heisenberg).**

(σελ. 89) ... Και για να συνοψίσω όλα τα προηγούμενα: ποτέ κανείς δεν πρόκειται να ισχυρισθεί, πως η φύση μεταβλήθηκε ώστε να προσαρμόσει τα έργα της στη γνώμη των ανθρώπων. Αν όμως είναι έτσι, τότε γιατί, ερωτώ εγώ, να προσδενόμαστε στα λόγια και όχι στα έργα του Θεού, προκειμένου να γνωρίσουμε τα διάφορα κομμάτια του κόσμου; Μήπως το έργο είναι κατώτερο του λόγου;

(σελ. 105) ... Σιμπλίτσιο: Όμως αν κάποιος αποσυνδεθεί από τον Αριστοτέλη, ποιος θα αναλάβει αρχηγός στην επιστήμη; Μπορείτε να μου ονομάσετε κάποιον άλλο συγγραφέα;

Σαλβιάτι: Ανάγκη αρχηγών έχουν στις άγνωστες, άγριες χώρες – στις ανοιχτές και επίπεδες περιοχές, μόνον οι τυφλοί χρήζουν προστασίας. Όποιος ανήκει σε αυτούς, ας μείνει καλύτερα σπίτι του. Όποιος όμως διαθέτει μάτια, σωματικά και πνευματικά, ας έχει αυτά για αρχηγό.

(σελ. 106) ... Απόδειξη σημαίνει, το παρατηρούμενο φαινόμενο να καθορισθεί και να αιτιολογηθεί σε σχέση με κάποια προκαθορισμένη αφετηριακή θεώρηση: μόνον έτσι παράγεται απιστήμη, η οποία δεν ικανοποιείται με τυχαίες μεταβαλλόμενες και σχετικές διαπιστώσεις... Ενώ ο Κέπλερ απέδιδε στα φαινόμενα – ανεξάρτητα από την παρατήρηση – έναν αιώνιο, μεταφυσικό, θεολογικό χαρακτήρα, στο Γαλιλαίο πραγματοποιείται μια πλήρης αντιστροφή. **(Παρατηρήσεις του Heisenberg).**

(σελ. 108 – 109) ... Πριν απ' όλα, πρέπει να αναζητήσουμε και να εξηγήσουμε έναν ορισμό ο οποίος θα αντιστοιχεί επακριβώς στην πραγματική συμπεριφορά της φύσης.... εμείς προτιμήσαμε, επειδή η φύση περιλαμβάνει στις κινήσεις της, και συγκεκριμένα κατά την πτώση βαρέων σωμάτων, ένα κάποιο είδος επιτάχυνσης, να εξετάσουμε τις ιδιότητες αυτών των κινήσεων, καθώς ο ορισμός της επιταχυνόμενης κίνησης που θα δώσουμε παρακάτω, συμφωνεί με την ουσία της φυσικώς επιταχυνόμενης κίνησης... Τελικώς στην εξερεύνηση

της φυσικώς επιταχυνόμενης κίνησης μας οδήγησε, σα να μας πήρε από το χέρι, η παρατήρηση των συνηθειών και της λειτουργίας της φύσης σε όλες τις άλλες εκδηλώσεις της, όπου συνηθίζει να χρησιμοποιεί τα πιο ευνόητα, τα πιο απλά και τα πιο εύκολα βοηθητικά μέσα.

3. ΙΣΑΑΚ ΝΕΥΤΩΝ, 1643 – 1727

Για την επιρροή και την προσφορά του Νεύτωνα στην επιστημονική σκέψη, έχουμε ήδη πει αρκετά πράγματα. Το απόσπασμα που θα παραθέσουμε μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα, καθώς αποτελεί μία καταγραφή των μεθοδολογικών κανόνων, βάσει των οποίων δούλεψε ο μεγάλος αυτός επιστήμονας, και το οποίο επηρέασε άμεσα την εξέλιξη της επιστήμης της Φυσικής κατά τους επόμενους αιώνες. Αρχικά, όμως, θα καταγράψουμε κάποια σχόλια του Heisenberg, ενός άλλου μεγάλου φυσικού, για το έργο και την προσφορά του Νεύτωνα:

Ως τώρα το ανθρώπινο πνεύμα διατύπωνε επιστημονικές υποθέσεις, κατά τα φαινόμενα – δίχως να λαμβάνει υπόψη τα φυσικά δεδομένα, παρά μόνο βάσει της μαθηματικής και λογικής συνέπειάς τους – ώστε στη συνέχεια να τις θέσει ως βάση για την παρατήρηση. Τώρα αναγνωριζόταν πως αυτή η επινόηση υποθέσεων δεν επιτρεπόταν να προκύπτει ως μια αυτάρκης δημιουργία του ανθρώπινου πνεύματος, αλλά έπρεπε να έπεται, σε στενή σχέση με την παρατήρηση της φύσης. Η μεγαλοφυΐα του επιστήμονα κατά τη διατύπωση υποθέσεων συνίσταται ακριβώς στο γεγονός ότι σε συγκεκριμένα φυσικά φαινόμενα συλλαμβάνει απλές συσχετίσεις, οι οποίες μετατρέπονται σε γενικές μαθηματικές έννοιες και θέτουν τα θεμέλια για την εξήγηση των υπόλοιπων φυσικών φαινομένων.... Ο Νεύτων ... φαντάζει καταρχήν ως απλός εμπειριστής, αφού αρνείται τις υποθέσεις: οι γνώσεις συνάγονται από τα φαινόμενα και γενικεύονται με τη μέθοδο της επαγωγής. Διατυπώνοντας τα αιτήματα που καθιστούν δυνατό τον ορισμό εννοιών όπως μάζα, αίτιο, δύναμη, αδράνεια, χώρος, χρόνος και κίνηση, ο Νεύτων γίνεται πρώτος συστηματικός ερευνητής της σύγχρονης επιστήμης.

(Παρατηρήσεις του Heisenberg).

“Philosophiae naturalis principia mathematica” (Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας), 1687, από το: «Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική» του Werner Heisenberg, σελ.111 – 121.

(σελ. 116)... Δε γνωρίζω ως τι θα φαντάζω κάποτε στον κόσμο – αλλά προσωπικώς νιώθω σαν ένα παιδί που παίζοντας στην παραλία, ανακαλύπτει εδώ κι εκεί πότε ένα βότσαλο πιο γυαλιστερό από τα άλλα και πότε ένα κοχύλι ωραιότερο από τα άλλα, ενώ μπροστά στα μάτια μου βρίσκεται τελείως ανεξερεύνητος ο μεγάλος ωκεανός της αλήθειας.

(σελ. 116 – 119)

ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ.

Πρώτος κανόνας: Για την εξήγηση των φυσικών πραγμάτων δεν επιτρέπονται περισσότερα αίτια, απ’ όσα είναι αληθή και αρκούν για την εξήγηση αυτών των φαινομένων. ... Διότι η φύση είναι απλή και δεν εντρυφεί σε περιττά αίτια των πραγμάτων.

Δεύτερος κανόνας: Κατά συνέπεια σε ομοειδή αποτελέσματα πρέπει να αποδίδονται κατά το δυνατόν, τα ίδια αίτια.

Τρίτος κανόνας: Οι ιδιότητες των σωμάτων που δεν μπορούν ούτε να ενισχυθούν μήτε να εξασθενίσουν, αντιστοιχούν δε σε όλα τα σώματα, και με αυτές είναι δυνατός ο πειραματισμός, πρέπει να θεωρούνται ιδιότητες όλων των σωμάτων. ... Προφανώς, δεν μπορεί κάποιος να φαντάζεται πράγματα ενάντια στην εξέλιξη των πειραμάτων, ούτε να απομακρύνεται από την αναλογία της φύσης, καθώς η τελευταία συνηθίζει να είναι απλή και αυτοσυνεπής. ... Η έκταση, η σκληρότητα, η μη διαπερατότητα, η κινητικότητα και η δύναμη της αδράνειας του Όλου, απορρέουν από αυτές τις ίδιες ιδιότητες των μερών – από αυτό συνάγουμε, πως τα πιο μικρά μέρη των σωμάτων είναι επίσης εκτεταμένα, σκληρά, μη διαπερατά, κινητά και υπόκεινται στη δύναμη της αδράνειας. Σε αυτά συνίσταται το θεμέλιο ολόκληρης της φυσικής φιλοσοφίας.

Τέταρτος κανόνας: Στην πειραματική φυσική, οι προτάσεις που έχουν συναχθεί με επαγωγικό τρόπο από τα φαινόμενα – και εφόσον δεν υπάρχουν αντιτιθέμενες προϋποθέσεις – πρέπει να θεωρούνται επακριβώς ή σχεδόν ακριβώς αληθείς, έως ότου παρουσιασθούν άλλα φαινόμενα, μέσω των οποίων οι προτάσεις αυτές θα αποκτήσουν είτε μεγαλύτερη ακρίβεια, ή θα υπαχθούν σε εξαιρέσεις.

(σελ. 120) ... Δεν κατόρθωσα ακόμα να φτάσω στο σημείο να συναγάγω το αίτιο αυτών των ιδιοτήτων της βαρύτητας, και δε διατυπώνω υποθέσεις (hypotheses non fingo). Διότι όλα όσα δεν έπονται των φαινομένων, αποτελούν μία υπόθεση και οι υποθέσεις είτε είναι μεταφυσικές, είτε φυσικές, μηχανικές, ή αναφέρονται στις κρυφές ιδιότητες, δεν επιτρέπεται να υιοθετούνται από την πειραματική φυσική. Σε αυτήν, οι προτάσεις συνάγονται από τα φαινόμενα και γενικεύονται με τη μέθοδο της επαγωγής. ... Αρκεί που η βαρύτητα υπάρχει, δρα σύμφωνα με τους νόμους που παρουσιάσαμε και είναι σε θέση να εξηγήσει κάθε κίνηση των ουράνιων σωμάτων και της θάλασσας.

4. CHRISTIAN HUYGENS, 1629 – 1695

Ο Christian Huygens υπήρξε μεγάλος αντίπαλος του Νεύτωνα σε ότι αφορά την ερμηνεία της φύσης του φωτός – κυματική ή σωματιδιακή. Στο επλεγμένο απόσπασμα, διαπιστώνει κανείς, αφενός τις μεθοδολογικές αρχές, βάσει των οποίων εργάζεται ο Huygens, αλλά και την επιρροή του νευτώνειου μοντέλου στους φυσικούς επιστήμονες της εποχής του: η εξήγηση όλων των φαινομένων μπορεί να αποδοθεί σε μηχανικά αίτια.

«Πραγματεία περί του φωτός», 1690, από το: «Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική», του Werner Heisenberg, σελ. 123 – 128

(Σελ. 123 – 124) ... (Σε αυτή την εργασία) ο αναγνώστης θα βρει αποδείξεις που δεν εξασφαλίζουν τόσο μεγάλη βεβαιότητα όπως εκείνες της γεωμετρίας και μάλιστα διαφέρουν πολύ από εκείνες, διότι εδώ οι αρχές επαληθεύονται από συμπεράσματα που συνάγει κανείς, ενώ οι γεωμέτρες αποδεικνύουν τα θεωρήματά τους εκκινώντας από ασφαλείς και αδιαμφισβήτητες θεμελιώδεις αρχές: το επιβάλλει η φύση των πραγματευόμενων αντικειμένων. Μολαταύτα, είναι δυνατό να καταλήξει κάποιος συχνά σε τέτοιο βαθμό πιθανότητας, ώστε να μην υστερεί σε τίποτα συγκριτικά με μία αυστηρή απόδειξη. Επειδή τούτο συμβαίνει, όταν τα συμπεράσματα τα οποία έχουν συναχθεί με την προϋπόθεση της ισχύος αυτών των αρχών, βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τα φαινόμενα που είναι γνωστά από την εμπειρία – ιδιαιτέρως όταν ο αριθμός τους είναι μεγάλος και ακόμα καλύτερα αν, επινοώντας νέα φαινόμενα και προβλέποντας ποια έπονται της διατυπωθείσας υπόθεσης, αποδειχθεί ότι το αποτέλεσμα είναι το αναμενόμενο.

(Σελ. 126) ... Τούτο υποδηλώνει σαφώς μία κίνηση, τουλάχιστον στο πλαίσιο μιας αληθινής φιλοσοφίας, μέσα στο οποίο η αιτία όλων των φυσικών αποτελεσμάτων ανάγεται σε μηχανικά αίτια.

5. JEAN LEROND D'ALEMBERT, 1717 – 1783

Ο Ντ' Αλαμπέρ, επιστήμονας ο ίδιος και ένας από τους συντάκτες της «Εγκυκλοπαίδειας», συνοψίζει στα παρακάτω αποσπάσματα τα κύρια χαρακτηριστικά της εξέλιξης της επιστημονικής σκέψης κατά τον 17^ο και 18^ο αιώνες: την εγκατάλειψη δηλαδή κάθε μεταφυσικής εξήγησης για τα φαινόμενα του κόσμου, την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας της Φυσικής και μία υλιστική θεώρηση του κόσμου, που βασίζεται στους νόμους της Μηχανικής.

“Traite de dynamique”, 1743, «Εισαγωγή στην Εγκυκλοπαίδεια», 1751, από το: «Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική», του Werner Heisenberg, σελ.131 – 136.

(Σελ. 131) ... Η φύση του Ανώτατου Όντος είναι για μας τόσο κρυφή, ώστε δεν είμαστε σε θέση να γνωρίσουμε τι συμφωνεί και τι όχι με τις θεμελιώδεις αρχές της σοφίας του. Μόνο να μαντέψουμε μπορούμε τη δράση αυτής της σοφίας κατά την παρατήρηση των νόμων της φύσης, όταν η μαθηματική συλλογιστική μάς επιτρέπει να γνωρίσουμε την απλότητα αυτών των νόμων και όταν η εμπειρία μάς διδάσκει την εμβέλεια και την περιοχή ισχύος τους.

(Σελ. 135) ... Στη διαδικασία των συλλογισμών περί αυτών των κανόνων θα μας διαφύγουν σε μεγάλο βαθμό συγκεκριμένες αρχές ή γενικά χαρακτηριστικά των σχέσεων, με τη βοήθεια των οποίων – αν καταφέρουμε να τα εκφράσουμε με μία γενική σχέση – θα είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε τις διάφορες δυνατότητες των συνδυασμών τους. Αν καταλήξουμε σε γενικούς τύπους, τότε τα αποτελέσματα αυτών των συνδυασμών θα είναι, πράγματι, μόνον κατάλληλοι αριθμητικοί υπολογισμοί, διατυπωμένοι με την πλέον απλή και σύντομη εξίσωση που μπορεί να επιτρέψει ο γενικός τους χαρακτήρας. ... Παρότι λοιπόν, είναι εντελώς αδύνατος οποιοσδήποτε υπολογισμός χωρίς αριθμούς και οποιοδήποτε μέγεθος χωρίς έκταση είναι μη μετρήσιμο (διότι χωρίς το χώρο δε θα μπορούσαμε να μετρήσουμε επακριβώς το χρόνο), μέσω διαδοχικών γενικεύσεων των αντιλήψεων μας, καταλήγουμε

στο κύριο συστατικό των μαθηματικών και όλων των θετικών επιστημών, δηλαδή στη γενική θεωρία των μεγεθών. Η θεωρία αυτή αποτελεί τη βάση κάθε ανακάλυψης σχετικής με την ποσότητα, δηλαδή με οτιδήποτε μπορεί να μεγεθυνθεί ή να σμικρυνθεί.

(Σελ. 136) ... Συνεπώς η ελπίδα για μία γνώση της φύσης δε βασίζεται σε αναπόδεικτες ή αυθαίρετες υποθέσεις, αλλά σε μία καλά μελετημένη έρευνα των φαινομένων, σε συγκρίσεις τις οποίες διζάγουμε μέσω αυτής της έρευνας, και στην τέχνη να ανάγουμε ένα μεγάλο αριθμό αυτών των φαινομένων, κατά το δυνατόν, σε μία και μοναδική ιδιότητα, την οποία ακολούθως θέτουμε ως αίτιο όλων των υπολοίπων. Πράγματι, όσο μικρότερο είναι το πλήθος των βασικών αρχών μιας επιστήμης, τόσο μεγαλύτερη είναι η εμβέλειά της αφού, καθώς το αντικείμενο μιας επιστήμης είναι εξ ανάγκης περιορισμένο, τα βασικά διδάγματά της θα πρέπει να είναι αντιστοίχως τόσο πιο προσοδοφόρα.

6. JAMES CLERK MAXWELL, 1831 – 1879

Ο Μάξγουελ θεωρείται ο μεγαλύτερος ίσως επιστήμονας του 19^{ου} αιώνα. Παρότι, είναι κυρίως γνωστός για την ηλεκτρομαγνητική του θεωρία και τους ομώνυμους νόμους, που ενοποίησαν τον ηλεκτρισμό και το μαγνητισμό, ασχολήθηκε και με πολλούς άλλους τομείς της Φυσικής. Στο επόμενο απόσπασμα, που αφορά τα μόρια και τη μοριακή Φυσική, μπορούμε να διαπιστώσουμε τις απόψεις του Μάξγουελ για τη μεθοδολογία της επιστήμης και τη σημασία που έχει αυτή για τους ερευνητές της φύσης, αλλά παράλληλα και για τους περιορισμούς της, για το ότι υπάρχουν κάποια όρια στην επιστήμη και την επιστημονική γνώση.

«Μόρια», από μία διάλεξη δημοσιευμένη στο Nature, 25, 1873, από το: «Η «Εντολή» του Γαλιλαίου», του Edmund Blair Bolles, σελ. 175 – 184

(Σελ. 181) ... Μέχρις εδώ προσεγγίσαμε τη μοριακή επιστήμη από τη σκοπιά της διερεύνησης των φυσικών φαινομένων. Εν τούτοις, παρά το γεγονός ότι δεδηλωμένος στόχος κάθε επιστημονικής δραστηριότητας είναι η διαλεύκανση του μυστηρίου της φύσης, η δραστηριότητα αυτή έχει και μία άλλη θετική συνέπεια, ανάλογης αξίας, για τον ερευνητή. Θέτει στην υπηρεσία του μεθόδους που μόνον η επιστήμη θα μπορούσε να τον οδηγήσει να

επινοήσει και τον φέρνει σε θέση από την οποία πολλές περιοχές της φύσης, πέρα από το αντικείμενο της μελέτης, αποκτούν νέα όψη. [...]

(Σελ. 182) ... Η μελέτη της ανθρώπινης φύσης από γονείς και δασκάλους, από ιστορικούς και πολιτικούς, θα πρέπει, επομένως, να διαχωρίζεται από εκείνη που διεξάγεται από ληξιάρχους και συντάκτες πινάκων, καθώς και από τους πολιτικούς εκείνους που εμπιστεύονται τους αριθμούς. Η πρώτη μέθοδος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ιστορική, ενώ η δεύτερη στατιστική. Οι εξισώσεις της δυναμικής αποτελούν ολοκληρωμένη έκφραση των νόμων της ιστορικής μεθόδου, όπως αυτή εφαρμόζεται στην ύλη, αλλά η εφαρμογή των εξισώσεων αυτών προϋποθέτει τέλεια γνώση όλων των δεδομένων. Ωστόσο, το μικρότερο κομμάτι της ύλης που μπορεί να υποβληθεί σε πειραματική εξέταση, αποτελείται από εκατομμύρια μόρια, χωρίς ούτε ένα από αυτά να γίνεται ποτέ αντιληπτό ως χωριστή οντότητα. Άρα, αδυνατούμε να διακριβώσουμε την πραγματική κίνηση ενός από τα μόρια αυτά και είμαστε έτσι υποχρεωμένοι να εγκαταλείψουμε την ακριβή ιστορική μέθοδο και να υιοθετήσουμε τη στατιστική μέθοδο για τη μελέτη μεγάλων ομάδων μορίων. [...] Έτσι, η μοριακή επιστήμη μάς διδάσκει πως τα πειράματα δεν μπορούν ποτέ να μας δώσουν τίποτε περισσότερο από στατιστικές πληροφορίες και πως κανένας νόμος που συνάγεται από αυτά δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει απόλυτη ακρίβεια. Όταν όμως περνούμε από τα πειράματα στα ίδια τα μόρια, αφήνουμε τον κόσμο του τυχαίου και του μεταβλητού και μπαίνουμε σε ένα χώρο όπου τα πάντα είναι σταθερά και βέβαια.

(Σελ. 184) ... Φτάσαμε λοιπόν, ακολουθώντας έναν αυστηρά επιστημονικό δρόμο, πολύ κοντά στο σημείο όπου η Επιστήμη πρέπει να σταματά. Όχι πως απαγορεύεται στην Επιστήμη να μελετήσει τον εσωτερικό μηχανισμό ενός μορίου που δεν μπορεί να τεμαχίσει, όπως δεν της απαγορεύεται άλλωστε και να διερευνήσει έναν οργανισμό που δεν μπορεί να συναρμολογήσει. Αναζητώντας όμως την άκρη του νήματος στην ιστορία της ύλης, η Επιστήμη οδηγείται σε αδιέξοδο όταν διαπιστώνει πως, από τη μία πλευρά, το μόριο έχει δημιουργηθεί και, πως από την άλλη, δεν έχει δημιουργηθεί με καμία από τις λεγόμενες φυσικές διεργασίες. Η Επιστήμη δεν είναι σε θέση να προχωρήσει σε συλλογισμούς σε ό,τι αφορά το ζήτημα της δημιουργίας της ύλης από το τίποτε. Την ημέρα που παραδεχθήκαμε ότι, εφόσον η ύλη δεν μπορεί να είναι αιώνια και αυθύπαρκτη, θα πρέπει να έχει δημιουργηθεί, αγγίζαμε και την εσχατιά των δυνατοτήτων του ανθρώπινου νου.

7. HEINRICH HERTZ, 1857 – 1894

Στο απόσπασμα που ακολουθεί, θα διαπιστώσουμε πως η Φυσική, κατά τον Χερτζ, δεν έχει ούτε το καθήκον αλλά ούτε και τη δυνατότητα να αποκαλύψει την ουσία των φυσικών φαινομένων. Καθώς ο Χερτζ εμβαθύνει στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η επιστήμη, προκειμένου να εξάγει αποδεκτά συμπεράσματα, διαφαίνονται οι συμβάσεις που απαιτούνται και η παρέμβαση του ίδιου του επιστήμονα κατά την κατασκευή των εικόνων, τις οποίες αναφέρει το απόσπασμα:

«Αρχές της Μηχανικής», 1876, από το «Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική», του Werner Heisenberg, σελ.159 – 163.

(Σελ. 159)... Όμως η μέθοδος με την οποία συνάγουμε τα μελλοντικά γεγονότα από τα παρελθόντα – και έτσι λαμβάνουμε πάντοτε την επιδιωκόμενη πρόβλεψη – έχει ως εξής: κατασκευάζουμε στο νου μας εικόνες ή σύμβολα των αντικειμένων του εξωτερικού κόσμου, και μάλιστα έτσι ώστε τα νοητά επακόλουθα των εικόνων αυτών να είναι πάντοτε οι εικόνες των φυσικών επακόλουθων των απεικονισμένων αντικειμένων. Για να είναι εν γένει δυνατή η πραγματοποίηση αυτής της απαίτησης, πρέπει να υπάρχουν συγκεκριμένες συμφωνίες μεταξύ της φύσης και του πνεύματός μας. Η εμπειρία μάς διδάσκει πως η απαίτηση είναι πραγματοποιήσιμη και ότι πράγματι υπάρχουν συμφωνίες αυτού του είδους. Αν, λοιπόν, από την εως τώρα συσσωρευμένη εμπειρία, επιτευχθεί μία φορά η συναγωγή εικόνων της απαιτούμενης πραγματικότητας, τότε με τις εικόνες αυτές μπορούμε, όπως πράττουμε με τα μοντέλα, να προσδιορίσουμε σε σύντομο χρονικό διάστημα τις συνέπειες που θα παρουσιασθούν είτε στον εξωτερικό κόσμο αργότερα, είτε ως παρενέργειες της δικής μας παρέμβασης. Έτσι, έχουμε την τάση να προηγούμαστε των γεγονότων και να μπορούμε να κατευθύνουμε τα συμπεράσματα του παρόντος σύμφωνα με την αποκτημένη ενόραση. Οι εικόνες για τις οποίες μιλάμε, δεν είναι παρά οι αντιλήψεις που έχουμε για τα πράγματα. Συμφωνούν με αυτά ως προς το ουσιαστικό σημείο, που συνίσταται στην εκπλήρωση της προαναφερθείσας απαίτησης, όμως για το σκοπό τους δεν είναι απαραίτητη καμία άλλη συμφωνία με τα πράγματα. Στην ουσία, δε γνωρίζουμε, ούτε διαθέτουμε κανένα μέσο για να πληροφορηθούμε, κατά πόσον οι παραστάσεις που έχουμε για τα πράγματα συμφωνούν με αυτά ως προς οτιδήποτε άλλο, πέραν αυτής ακριβώς της μίας και μοναδικής, θεμελιώδους σχέσης.

(Σελ. 160) ... Θα έπρεπε να χαρακτηρίσουμε εκ των προτέρων ως ανεπίτρεπτες τις εικόνες που ενέχουν ήδη μία αντίφαση προς τους νόμους της σκέψης μας, επομένως απαιτούμε καταρχήν, όλες οι εικόνες μας να είναι λογικά ή συνοπτικά επιτρεπτές. Κατόπιν, ονομάζουμε εσφαλμένες τις επιτρεπτές εικόνες που οι ουσιαστικές σχέσεις τους αντιφάσκουν προς τις σχέσεις των εξωτερικών πραγμάτων... Στη συνέχεια απαιτούμε οι εικόνες μας να είναι ορθές. Όμως, δύο επιτρεπτές και ορθές εικόνες των ίδιων εξωτερικών αντικειμένων μπορούν ακόμη να διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη σκοπιμότητα. Από δύο εικόνες του ίδιου αντικειμένου, σκοπιμότερη είναι εκείνη που αντανακλά τις περισσότερες ουσιαστικές σχέσεις του αντικειμένου – με άλλα λόγια η πλέον διαυγής. Σε περίπτωση όμοιας διαύγειας, σκοπιμότερη από τις δύο εικόνες είναι εκείνη που, πέραν των ουσιαστικών χαρακτηριστικών, περιέχει τις λιγότερο περιττές ή κενές περιεχομένου σχέσεις, δηλαδή η απλούστερη από τις δύο.

8. ERNEST RUTHERFORD, 1871 – 1937

Ο Rutherford, ένας από τους πρωτοπόρους στην έρευνα για τη δομή του ατόμου, μας δίνει στο επόμενο απόσπασμα, την ευκαιρία να συγκρίνουμε την επιστημονική μεθοδολογία, με αυτή μιας μη επιστημονικής δραστηριότητας, όπως αυτή των αλχημιστών:

“The Transmutation of the Atom”, από μία διάλεξη στις 11/10/1933, από το: «Η «Εντολή» του Γαλιλαίου», του Edmund Blair Bolles, σελ. 254 – 261.

(Σελ. 254) ... Όλοι σας έχετε ακούσει για τους αλχημιστές, οι οποίοι ήταν στην πραγματικότητα οι πρώτοι ερευνητές της Χημείας, και για την αναζήτηση μιας ουσίας που αποκαλούσαν φιλοσοφική λίθο και με την οποία έλπιζαν πως ένα στοιχείο θα μπορούσε να μετατραπεί σε κάποιο άλλο. Εξετάζοντας τα πράγματα από τη σκοπιά της γνώσης που κατέχουμε σήμερα, καταλαβαίνουμε ότι δεν υπήρχε ελπίδα επιτυχίας στην αναζήτηση αυτή, με τα περιορισμένα εργαστηριακά μέσα και με τις μεθόδους της περιόδου εκείνης, κι ότι οι πειραματικές αποδείξεις που παρουσιάζονταν υπέρ μιας τέτοιας προοπτικής ήταν πολύ αμφίβολου και ισχνού χαρακτήρα. Ωστόσο, η αντοχή της ιδέας αυτής διά μέσου των αιώνων οφειλόταν κυρίως σε μία φιλοσοφική προσέγγιση της φύσης της ύλης, που βασιζόταν στα κείμενα του Αριστοτέλη, τα οποία ασκούσαν πολύ μεγάλη επίδραση στον τρόπο σκέψης του πνευματικού κόσμου στα χρόνια του Μεσαίωνα. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, η ύλη, στο

σύνολό της, αποτελείται από μία θεμελιώδη ουσία, μία πρωτογενή ύλη, μαζί με ένα μίγμα από τέσσερα στοιχεία: τη γη, τον αέρα, τη φωτιά και το νερό. Κάθε ουσία διέφερε από μίαν άλλη μόνον ως προς το σχετικό συνδυασμό αυτών των υποθετικών στοιχείων. Με βάση αυτές τις απόψεις, προέβαλλε σχεδόν αυτονόητο πως για τη μετατροπή μιας ουσίας σε μίαν άλλη αρκούσε να εξευρεθεί η κατάλληλη μέθοδος με την οποία θα άλλαζε η ποσότητα ενός ή περισσότερων από τα συστατικά αυτά. Ασφαλώς, η προσδοκία της μετατροπής των βασικών μετάλλων στο ευγενές στοιχείου του χρυσού κατείχε εξέχουσα θέση και, κατά καιρούς, εμφανίζονταν άνθρωποι πως είχαν ανακαλύψει το μυστικό της μετατροπής του χαλκού, του μολύβδου ή άλλων μετάλλων σε χρυσό. [...] Οι παλαιές ιδέες επέζησαν στη συλλογική συνείδηση, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται ακόμα και σήμερα περιπτώσεις τσαρλατάνων ή πεπλανημένων ανθρώπων που ισχυρίζονται πως κατέχουν τη συνταγή για την παρασκευή χρυσού, αλλά ο μόνος χρυσός που βγάζουν προέρχεται από τις τσέπες των μωρόπιστων υποστηρικτών τους. Η έλλειψη φαντασίας των απατεώνων αυτής της κατηγορίας καταδεικνύεται από το γεγονός ότι ουδέποτε ισχυρίστηκαν πως, αντί για χρυσό, παρήγαγαν σπανιότερα και ακριβότερα στοιχεία, όπως είναι ο λευκόχρυσος και το ράδιο.

(Σελ. 260) ... Είναι πολύ φυσικό όσοι με ακούν να διερωτώνται γιατί τα πειράματα αυτά για τη μεταστοιχείωση θα πρέπει να προκαλούν τέτοιο ενδιαφέρον στον επιστημονικό κόσμο. Αυτό δεν οφείλεται στο ότι ο ερευνητής αναζητεί μια νέα πηγή ενέργειας ή επιδιώκει την παραγωγή σπάνιων και ακριβών στοιχείων με νέες μεθόδους. Ο πραγματικός λόγος βρίσκεται βαθύτερα και είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την εσωτερική ανάγκη και την ακατανίκητη έλξη που αισθανόμαστε για τη διερεύνηση ενός από τα καλύτερα κρυμμένα μυστικά της Φύσης. Πριν από λίγα χρόνια, είμασταν υποχρεωμένοι να αρκούμαστε στη γνώση ότι η ύλη του σύμπαντος, στο σύνολό της, συμπεριλαμβανομένου και του ίδιου του σώματός μας, είναι φτιαγμένη από ενενήντα πάνω – κάτω διαφορετικά χημικά στοιχεία, ενώ γνωρίζαμε ελάχιστα συγκεκριμένα πράγματα για την εσωτερική δομή των ατόμων τους ή για τις διεργασίες με τις οποίες ένα στοιχείο μπορεί να μετατραπεί σε ένα άλλο. Τώρα, για πρώτη φορά, είμαστε σε θέση να εξετάσουμε τα προβλήματα αυτά διεξάγοντας άμεσα πειράματα στο εργαστήριο – και έχουμε ελπίδες ότι σύντομα θα διευρύνουμε πολύ τις γνώσεις μας. Τα ευρήματα που θα προκύψουν θα δώσουν οπωσδήποτε νέα διάσταση στην αντίληψή μας για τη φύση της ύλης, αλλά θα έχουν και άμεσο αντίκτυπο σε πολλά προβλήματα της κοσμικής φυσικής.

9. HENRI POINCARÉ, 1854 – 1912

Ο Πουανκαρέ, εξαιρετος μαθηματικός, όσο και φυσικός, προσφέρει στα επόμενα αποσπάσματα, μία απάντηση στην κριτική που δέχεται κατά καιρούς η επιστήμη, ότι δεν είναι τίποτα άλλο, παρά μία ακόμα δραστηριότητα του ανθρώπινου πνεύματος, ισότιμη με όλες τις άλλες, οπότε δεν μπορεί να μας διδάξει τίποτα για την αντικειμενική αλήθεια. Παράλληλα, παραθέτει τις απόψεις του για το θέμα της σύγκρισης επιστήμης και πραγματικότητας και των ορίων της επιστημονικής γνώσης.

«Η αξία της επιστήμης», 1905, σελ. 164 – 202.

(Σελ. 164) ... Ο κανόνας για το τάβλι είναι ένας κανόνας δράσης όπως περίπου η επιστήμη – αλλά όντως πιστεύουμε πως η σύγκριση είναι δίκαιη; Δε διακρίνουμε τη διαφορά; Οι κανόνες του παιχνιδιού είναι αυθαίρετες συμβάσεις – κάλλιστα θα μπορούσαμε να έχουμε αποδεχτεί την αντίθετη σύμβαση, που θα ήταν εξίσου καλή. Αντίθετα η επιστήμη είναι ένας επιτυχής κανόνας δράσης, τουλάχιστον γενικά και, προσθέτω, ενόσω ο αντίθετος κανόνας δεν είναι επιτυχής. ... Αν λοιπόν οι επιστημονικές «συνταγές» έχουν κάποια αξία ως κανόνες δράσης, έγκειται στο ότι γνωρίζουμε πως είναι επιτυχείς, τουλάχιστον γενικά. Ωστόσο, το να γνωρίζουμε αυτό σημαίνει ασφαλώς ότι γνωρίζουμε κάτι – γιατί λοιπόν μας είπατε μόλις πριν [αναφορά στον Edouard Le Roy, που έκανε κριτική στην επιστήμη] πως δεν μπορούμε να γνωρίσουμε τίποτα;

(Σελ. 166 – 167) ... Το πιο παράδοξο στη θέση του κ. Le Roy ήταν η διαβεβαίωση πως το γεγονός το δημιουργεί ο επιστήμονας. ... Ίσως λέει (αυτό πιστεύω πως αποτελεί παραχώρηση), το ακατέργαστο γεγονός δεν το δημιουργεί ο επιστήμονας – αλλά εκείνος πάντως δημιουργεί το επιστημονικό γεγονός. Η διάκριση μεταξύ ακατέργαστου και επιστημονικού γεγονότος δε μου φαίνεται ανυπόστατη καθ' εαυτή. Λυπάμαι όμως κατ' αρχάς επειδή το σύνορο δεν έχει χαραχτεί ούτε με ακριβή, ούτε με σαφή τρόπο και εν συνεχεία για το ότι ο συγγραφέας φαίνεται πως υπονοεί ότι το ακατέργαστο γεγονός, μη όντας επιστημονικό, βρίσκεται έξω από την επιστήμη. Τέλος, δεν μπορώ να δεχτώ ότι ο επιστήμονας δημιουργεί εν ελευθερία το επιστημονικό γεγονός, εφόσον το ακατέργαστο γεγονός είναι εκείνο που του το επιβάλλει.

Παρατηρώ την απόκλιση του δείκτη ενός γαλβανομέτρου, μέσω ενός κινητού κατόπτρου, το οποίο προβάλλει ένα φωτεινό είδωλο – μια φωτεινή κηλίδα – πάνω σε μια βαθμονομημένη κλίμακα. Το ακατέργαστο γεγονός είναι: βλέπω τη φωτεινή κηλίδα να μετατοπίζεται πάνω στην κλίμακα. Το επιστημονικό γεγονός είναι: ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα. Η ακόμα καλύτερα: όταν εκτελώ ένα πείραμα, οφείλω να επιβάλλω στο αποτέλεσμα μερικές διορθώσεις, διότι γνωρίζω ότι θα έχω κάνει σφάλματα. Τα σφάλματα είναι δύο ειδών: τα μεν τυχαία, και τα διορθώνω λαμβάνοντας τη μέση τιμή, τα δε συστηματικά, και δεν είμαι σε θέση να τα διορθώσω παρά μόνο με μία εμβριθή μελέτη των αιτίων τους. Εν τω μεταξύ, το πρώτο αποτέλεσμα που αποκομίσαμε αποτελεί το ακατέργαστο γεγονός, ενώ το επιστημονικό γεγονός δεν είναι παρά το τελικό αποτέλεσμα, αφού ολοκληρώσουμε τις διορθώσεις.

(σελ. 170) Τι διαφορά υπάρχει, λοιπόν, ανάμεσα στη διατύπωση ενός ακατέργαστου και στη διατύπωση ενός επιστημονικού γεγονότος; Υπάρχει η ίδια διαφορά μ' εκείνη ανάμεσα στη διατύπωση ενός ακατέργαστου γεγονότος στη γαλλική και στη διατύπωσή του στη γερμανική γλώσσα. Η επιστημονική διατύπωση είναι η μετάφραση της ακατέργαστης διατύπωσης σε μία γλώσσα που διακρίνεται από την κοινή γαλλική ή την κοινή γερμανική κυρίως επειδή μιλιέται από μικρότερο πλήθος ανθρώπων. ... (Σελ. 183) ... Οι αναλλοίωτοι νόμοι είναι οι σχέσεις μεταξύ των ακατέργαστων γεγονότων – οι σχέσεις ανάμεσα στα «επιστημονικά γεγονότα» πάντοτε παρέμεναν εξαρτημένες από ορισμένες συμβάσεις.

(Σελ. 174) ... Ο επιστήμονας επεμβαίνει ενεργά επιλέγοντας τα γεγονότα που αξίζει να παρατηρηθούν. Ένα απομονωμένο γεγονός δεν έχει καθ' εαυτό κανένα ενδιαφέρον. Αποκτά ενδιαφέρον αν σκεφτούμε ότι θα μπορέσει να χρησιμεύσει για να προβλέψουμε ένα άλλο – ή επιπλέον αν, έχοντας προβλεφθεί, η επαλήθευσή του αποτελεί την επιβεβαίωση ενός νόμου. Ποιος θα επιλέξει τα γεγονότα τα οποία, ανταποκρινόμενα σε αυτούς τους όρους, αξίζουν το δικαίωμα να μνημονεύονται στην επιστήμη; Θα τα επιλέξει η ελεύθερη δραστηριότητα του επιστήμονα.

Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

(Σελ. 186) ... κάθε επί μέρους νόμος θα είναι πάντοτε πιθανός και προσεγγιστικός. Οι επιστήμονες δεν παραγνώρισαν ποτέ αυτή την αλήθεια. Πιστεύουν απλώς, δίκαια ή άδικα, ότι κάθε νόμος θα μπορεί να αντικατασταθεί από κάποιον άλλο πιο πιθανό, που θα αποτελεί

ακριβέστερη προσέγγιση – πως αυτός ο νέος νόμος δε θα είναι και ο ίδιος παρά μόνο προσωρινός, αλλά ότι η ίδια κίνηση θα μπορεί να συνεχίζεται επ’ αόριστον, έτσι ώστε η επιστήμη, προοδεύοντας, θα διαθέτει νόμους ολοένα και πιο πιθανούς – πως η προσέγγιση θα καταλήξει να διαφέρει όσο λίγο θέλουμε από την ακρίβεια, όπως και η πιθανότητα από τη βεβαιότητα.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

(Σελ. 193) ... Αυτή είναι λοιπόν η πρώτη συνθήκη της αντικειμενικότητας: ό,τι είναι αντικειμενικό, πρέπει να είναι κοινό σε πολλά πνεύματα – κατά συνέπεια να μπορεί να μεταδοθεί από το ένα στο άλλο. Και καθώς αυτή η μετάδοση δεν μπορεί να γίνει πάρα μόνο μέσω εκείνου του «λόγου» (ομιλίας) ... είμαστε αναγκασμένοι να συμπεράνουμε: ελλείπει «λόγου», δεν υπάρχει αντικειμενικότητα.

(Σελ. 195) ... Τώρα τι είναι η επιστήμη; ... Είναι πάνω απ’ όλα μια ταξινόμηση, ένας τρόπος να προσεγγίζουμε μεταξύ τους γεγονότα που οι φαινομενικότητες διαχωρίζουν, μολονότι τα συνδέει κάποια φυσική και κρυμμένη συγγένεια. Με άλλα λόγια, η επιστήμη είναι ένα σύστημα σχέσεων. ... (Σελ. 196) ... Όταν λοιπόν ρωτάμε ποια είναι η αντικειμενική αξία της επιστήμης, τούτο δε σημαίνει «μας διδάσκει η επιστήμη την αληθινή φύση των πραγμάτων;», αλλά, αντίθετα, «μας διδάσκει τις αληθινές σχέσεις των πραγμάτων;». Στο πρώτο ερώτημα κανείς δε θα δίσταζε να απαντήσει αρνητικά. Πιστεύω όμως ότι πρέπει να προχωρήσει περισσότερο: όχι μόνο η επιστήμη δεν μπορεί να μας διδάξει τη φύση των πραγμάτων, αλλά τίποτε δεν είναι ικανό να μας τη διδάξει – και αν κάποιος θεός τη γνώριζε, δε θα μπορούσε να βρει λέξεις για να την εκφράσει. Όχι μόνο δεν μπορούμε να μαντέψουμε την απάντηση, αλλά αν μας την υπαγόρευαν, δε θα μπορούσαμε να καταλάβουμε τίποτα.

Αφού το πρώτο ερώτημα βρίσκεται εκτός θέματος, παραμένει το δεύτερο. Μπορεί η επιστήμη να μας διδάξει τις αληθινές σχέσεις των πραγμάτων; ... Για να αντιληφθούμε το νόημα του νέου ερωτήματος, πρέπει να αναφερθούμε σε ότι είπαμε παραπάνω σχετικά με τις συνθήκες της αντικειμενικότητας. Έχουν οι εν λόγω σχέσεις αντικειμενική αξία; Αυτό σημαίνει: είναι για όλους ίδιες; Θα παραμείνουν ίδιες και για τους μεταγενέστερους; ... (Σελ. 197) ... Τι βλέπουμε λοιπόν; Εκ πρώτης όψεως μας φαίνεται ότι οι θεωρίες δε διαρκούν παρά μόνο μία ημέρα, και ότι ερείπια σωρεύονται πάνω σε ερείπια. Οι θεωρίες τη

μία μέρα γεννιούνται, την επόμενη είναι στη μόδα, τη μεθεπόμενη είναι κλασικές, την τέταρτη ημέρα θεωρούνται γερασμένες και την πέμπτη έχουν ξεχαστεί. Αν όμως κοιτάξουμε από πιο κοντά, βλέπουμε πως ό,τι καταρρέει με αυτό τον τρόπο είναι ακριβώς οι αποκαλούμενες θεωρίες, εκείνες που ισχυρίζονται ότι μας διδάσκουν τι είναι τα πράγματα. Ωστόσο, υπάρχει σ' αυτές κάτι που τις πιο πολλές φορές επιβιώνει. Αν κάποια από αυτές μας διδάσκει μια αληθινή σχέση, αυτή η σχέση είναι οριστικά βεβαιωμένη – θα την ξαναβρούμε με νέα μεταμφίεση μέσα στις άλλες θεωρίες που διαδοχικά θα την αντικαταστήσουν. ... (Σελ. 198) ... η επιστήμη μάς αποκαλύπτει λεπτότερους αλλά όχι λιγότερο στέρεους δεσμούς ανάμεσα στα φαινόμενα. Είναι αυτά τα τόσο λεπτά νήματα που για πολύ καιρό παρέμεναν αόρατα αλλά τα οποία, αφότου τα εντοπίσαμε, δεν υπάρχει τρόπος να μην τα βλέπουμε. Δεν είναι λοιπόν λιγότερο πραγματικά από εκείνα που προσδίδουν στα εξωτερικά αντικείμενα την πραγματικότητά τους. Το γεγονός ότι έγιναν γνωστά πιο πρόσφατα δεν έχει μεγάλη σημασία, αφού τα μεν δεν πρόκειται να χαθούν πριν από τα δε. ... (Σελ. 199) ... Θα πει κάποιος ότι η επιστήμη δεν είναι παρά μια ταξινόμηση – και μία ταξινόμηση δεν μπορεί να είναι αληθινή, αλλά βολική, πρόσφορη. Αληθεύει όμως ότι είναι βολική – αληθεύει πως είναι βολική όχι μόνο για μένα, αλλά για όλους τους ανθρώπους – αληθεύει ότι θα παραμείνει βολική και για τους απογόνους μας – αληθεύει, τέλος, πως αυτό δεν μπορεί να συμβαίνει κατά τύχη.

10. ALBERT EINSTEIN, 1879 – 1955

Ο Αϊνστάιν υπήρξε αυτός, που με το έργο του οδήγησε τη Φυσική από τις κλασικές αντιλήψεις του 19^{ου} αιώνα, στη νεότερη Φυσική των ημερών μας. Στο παρακάτω απόσπασμα, ο ίδιος ο Αϊνστάιν καταφέρει, με λιτό τρόπο, να δώσει μία σύντομη περιγραφή της πορείας της φυσικής επιστήμης, από τις απαρχές της μέχρι και τις ημέρες του, να οριοθετήσει τον τρόπο σκέψης και τη μεθοδολογία της, αλλά και να αποσαφηνίσει τη σχέση της επιστήμης με την πραγματικότητα.

«Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική», 1978, σελ. 292 – 294.

Η επιστήμη δεν είναι συλλογή νόμων, δεν είναι κατάλογος γεγονότων που δε συνδέονται μεταξύ τους. Είναι δημιουργία του ανθρώπινου πνεύματος διά μέσου ιδεών και εννοιών που επινοούνται ελεύθερα. Οι φυσικές θεωρίες προσπαθούν να διαμορφώσουν μία εικόνα της

πραγματικότητας και να τη συνδέσουν στον πλατύ κόσμο των αισθητών εντυπώσεων. Έτσι, οι νοητές μας κατασκευές δικαιολογούνται μόνο αν, και με τι τρόπο, οι θεωρίες μας αποτελούν ένα τέτοιο σύνδεσμο.

Είδαμε νέες πραγματικότητες να δημιουργούνται από την πρόοδο της Φυσικής. Αλλά μπορούμε να ξαναγυρίσουμε αυτή τη σειρά της δημιουργικής δραστηριότητας πολύ πιο πίσω από την αφετηρία της Φυσικής. Μία από τις πιο πρωτόγονες έννοιες είναι η έννοια του αντικειμένου. Οι έννοιες του δέντρου, του αλόγου, ή οποιουδήποτε υλικού σώματος, είναι δημιουργίες που βασίζονται στην εμπειρία, αν και οι εντυπώσεις απ' τις οποίες προέρχονται είναι πρωτόγονες σε σύγκριση με τον κόσμο των φυσικών φαινομένων. Μία γάτα που βασανίζει έναν ποντικό, δημιουργεί επίσης για τον εαυτό της, με τη σκέψη, μία πρωτόγονη πραγματικότητα. Το γεγονός ότι η γάτα αντιδρά πάντοτε με τον ίδιο τρόπο απέναντι οποιουδήποτε ποντικού που συναντά, δείχνει ότι διαμορφώνει έννοιες και θεωρίες που την οδηγούν διά μέσου του δικού της κόσμου των αισθητών εντυπώσεων.

«Τρία δέντρα» είναι κάτι διαφορετικό από «δύο δέντρα». Εξάλλου, «δύο δέντρα» και «δύο πέτρες» είναι πράγματα διαφορετικά. Οι έννοιες των καθαρών αριθμών 2, 3, 4,... απαλλαγμένες από τα αντικείμενα που τους έδωσαν γέννηση, είναι δημιουργίες του σκεπτόμενου πνεύματος, που περιγράφουν την πραγματικότητα του κόσμου μας.

Η υποκειμενική αίσθηση του χρόνου μας επιτρέπει να ταξινομούμε τις εντυπώσεις μας, να κανονίζουμε ότι ένα γεγονός προηγείται ενός άλλου. Αλλά η σύνδεση κάθε στιγμής του χρόνου μ' έναν αριθμό χρησιμοποιώντας ένα ρολόι, η θεώρηση του χρόνου σαν ένα μονοδιάστατο συνεχές, αυτό είναι ήδη μία εφεύρεση. Το ίδιο ισχύει και για τις έννοιες της ευκλείδειας και μη ευκλείδειας γεωμετρίας και για το χώρο μας που τον θεωρούμε σαν ένα τρισδιάστατο συνεχές.

Η Φυσική άρχισε πραγματικά με την επινόηση της μάζας, της δύναμης και ενός συστήματος αδράνειας. Όλες αυτές οι έννοιες είναι ελεύθερες επινοήσεις – οδήγησαν στη διαμόρφωση της μηχανικής άποψης. Για το φυσικό των αρχών του 19^{ου} αιώνα, η πραγματικότητα συνίστατο από σωματίδια και απλές δυνάμεις που ενεργούσαν μεταξύ τους και εξαρτούνταν μόνο από την απόσταση. Προσπαθούσε να κρατήσει όσο περισσότερο καιρό μπορούσε την πίστη ότι θα πετύχει να εξηγήσει όλα τα γεγονότα της φύσης με αυτές τις θεμελιακές έννοιες

της πραγματικότητας. Οι δυσκολίες που συνάπτονται στην απόκλιση της μαγνητικής βελόνας και εκείνες που συνάπτονται στη δομή του αιθέρα, μας οδήγησαν στη δημιουργία μιας πιο λεπτομερειακής πραγματικότητας. Η σπουδαία εφεύρεση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου κάνει την εμφάνισή της. Χρειαζόταν μια τολμηρή επιστημονική φαντασία για να θεωρήσει αληθινή πραγματικότητα το γεγονός ότι δεν είναι η συμπεριφορά των σωμάτων, αλλά κάτι που βρίσκεται ανάμεσα σε αυτά, δηλαδή το πεδίο, που θα μπορούσε να είναι ουσιαστικό για την ταξινόμηση και κατανόηση των γεγονότων.

Οι μετέπειτα αναπτύξεις κατέστρεψαν τις παλιές έννοιες και δημιούργησαν νέες. Ο απόλυτος χρόνος και το σύστημα των συντεταγμένων αδρανείας εγκαταλείφθηκαν από τη θεωρία της σχετικότητας. Το απώτερο βάθος όλων των γεγονότων δεν ήταν πια ο μονοδιάστατος χρόνος και ο τρισδιάστατος χώρος, αλλά το τετραδιάστατο χωροχρονικό συνεχές, μια άλλη ελεύθερη εφεύρεση, με νέες δυνατότητες μετασχηματισμού. Το σύστημα των συντεταγμένων αδρανείας έπαψε να είναι αναγκαίο. Κάθε σύστημα συντεταγμένων μπορεί το ίδιο καλά να χρησιμέψει στην περιγραφή των γεγονότων μέσα στη φύση.

Η θεωρία των κβάντα δημιούργησε κι αυτή με τη σειρά της ουσιαστικές μορφές της πραγματικότητάς μας. Η ασυνέχεια αντικατέστησε τη συνέχεια. Στη θέση των νόμων των διεπόντων τα στοιχεία των συνόλων εμφανίστηκαν νόμοι πιθανότητας.

Η πραγματικότητα που δημιούργησε η νεότερη φυσική είναι πραγματικά πολύ μακριά από την πραγματικότητα των αρχών της επιστήμης. Ο σκοπός όμως κάθε φυσικής θεωρίας μένει πάντα ο ίδιος.

Με τη βοήθεια των φυσικών θεωριών ζητούμε να βρούμε το δρόμο μας μέσα από το λαβύρινθο των παρατηρούμενων γεγονότων, να κατατάξουμε και να κατανοήσουμε τον κόσμο των αισθητών μας εντυπώσεων. Επιθυμούμε τα γεγονότα που παρατηρούμε να ακολουθούν λογικά την αντίληψή μας της πραγματικότητας. Χωρίς την πίστη ότι είναι δυνατό να συλλάβουμε την πραγματικότητα με τις θεωρητικές μας κατασκευές, χωρίς την πίστη στην εσωτερική αρμονία του κόσμου μας, δε θα ήταν δυνατό να υπάρχει επιστήμη. Αυτή η πίστη είναι και θα παραμείνει πάντα το θεμελιακό αίτιο κάθε επιστημονικής δημιουργίας. Διά μέσου όλων των προσπαθειών μας, σε κάθε δραματικό αγώνα ανάμεσα στις παλιές και στις νέες αντιλήψεις, αναγνωρίζουμε τον αιώνιο πόθο να κατανοήσουμε, την

πάντα σταθερή πίστη στην αρμονία του κόσμου μας, που συνεχώς ενισχύεται από τα προσκόμματα που αντιστέκονται στην κατανόησή μας.

11. WERNER HEISENBERG, 1901 – 1976

Ο Heisenberg, θεωρείται ως ο βασικότερος εκπρόσωπος της γενιάς των επιστημόνων που ανέπτυξαν τη θεωρία της κβαντομηχανικής, η οποία ανέτρεψε με θεαματικό τρόπο τις αντιλήψεις μας περί πραγματικότητας. Αυτός ακριβώς ήταν και ο λόγος που πολλοί φυσικοί, χωρίς να αμφισβητούν τα πειραματικά δεδομένα, αντέδρασαν έντονα στην ερμηνεία αυτών των δεδομένων από τον Μπορ, τον Heisenberg και άλλους. Το παρακάτω απόσπασμα, παραθέτει κάποιες από τις αντιρρήσεις αυτές και την απάντηση του Heisenberg:

«Φυσική και Φιλοσοφία», 1959, σελ. 11, 128 – 147.

(σελ. 11) ... Μια εντυπωσιακή και διαρκώς ανησυχητική άποψη αυτού του μέρους των σύγχρονων φυσικών επιστημών είναι ο εξαιρετικά δαπανηρός και πολύπλοκος πειραματικός εξοπλισμός που χρειάζεται για την πυρηνική έρευνα. Άλλα σε ότι αφορά την πειραματική τεχνική, η σύγχρονη πυρηνική φυσική δεν αποτελεί παρά την έσχατη συνέπεια μιας μεθόδου έρευνας, που καθόριζε την εξέλιξη των φυσικών επιστημών από τον Χόουχενς ή τον Βόλτα ή τον Φαρανταίν. Με όμοιο τρόπο μπορεί να πει κανείς, πως η αποθαρρυντική πολυπλοκότητα μερικών τμημάτων της θεωρίας των κβάντων δεν αποτελεί επίσης παρά την έσχατη συνέπεια των μεθόδων, που άρχισαν ο Νεύτων, ο Γκάους ή ο Μαξγουελ. Αλλά οι μεταβολές της αντίληψης περί πραγματικότητας, που αποτελούν τη βάση για την κατανόηση της σημερινής θεωρίας των κβάντων, δεν μπορούν να ονομαστούν απλώς μια συνέχεια της προηγούμενης εξέλιξης. Εδώ φαίνεται να πρόκειται για ένα πραγματικό ρήγμα στη δομή των φυσικών επιστημών.

(Σελ. 129) ... Όλοι όμως οι αντίπαλοι της θεωρίας των κβάντων είναι σύμφωνοι σε ένα σημείο. Θα ήταν κατά τη γνώμη τους ευχής έργο να επανέλθουμε στην αντίληψη περί πραγματικότητας της κλασικής φυσικής ή, γενικότερα, στην οντολογία του υλισμού, δηλαδή στην αντίληψη ενός αντικειμενικού, πραγματικού κόσμου, που τα μικρότερα κομμάτια του υπάρχουν αντικειμενικά με τον ίδιο τρόπο όπως οι πέτρες και τα δένδρα, αδιάφορο αν τα

παρατηρούμε ή όχι. Αυτό όμως είναι αδύνατο ή εν πάση περιπτώσει όχι εντελώς δυνατό, εξαιτίας της φύσης των ατομικών φαινομένων, ... Δεν μπορεί να είναι δικό μας έργο να εκφράζουμε επιθυμίες, πώς θα έπρεπε να είναι τα ατομικά φαινόμενα. Το έργο μας μπορεί να είναι μόνο να τα κατανοήσουμε.

(Σελ. 140) ... Ίσως θα έπρεπε στο σημείο αυτό να προστεθούν μερικές παρατηρήσεις πάνω στη στάση του φυσικού επιστήμονα απέναντι σε μια ορισμένη κοσμοθεωρία. ... θα έτεινε κανείς να απαιτήσει από τον επιστήμονα να μην επαφίεται ποτέ σε ειδικές διδασκαλίες, να μην περιορίζει ποτέ τη μέθοδο του σκέπτεσθαι σε μια ειδική φιλοσοφία. Πρέπει να είναι πάντοτε προετοιμασμένος για το ότι ακόμα και τα θεμέλια των γνώσεων του μπορούν να αλλάζουν με καινούριες εμπειρίες.

Οι αντιρρήσεις του Einstein, του von Laue και άλλων για την ερμηνεία της Κοπεγχάγης για τα κβαντομηχανικά φαινόμενα:

(σελ. 144) ... Τα σπουδαιότερα επιχειρήματά τους μπορούν να εκφραστούν περίπου με την ακόλουθη μορφή: Το μαθηματικό σχήμα της κβαντοθεωρίας φαίνεται σαν μία εντελώς κατάλληλη περιγραφή της στατιστικής των ατομικών φαινομένων. Αλλά ακόμα κι αν οι ισχυρισμοί της για την πιθανότητα των ατομικών φαινομένων είναι εντελώς σωστοί, η ερμηνεία αυτή δεν επιτρέπει ωστόσο καμιά περιγραφή αυτού που πραγματικά συμβαίνει, ανεξάρτητα από τις παρατηρήσεις μας ή ανάμεσα σε αυτές. ... Δεν μπορεί κανείς να επιτρέψει να αναφέρεται η κβαντομηχανική μόνο στην πράξη της παρατήρησης. Ο φυσικός πρέπει να προϋποθέτει στην επιστήμη του, πως μελετάει έναν κόσμο που δεν έφτιαξε ο ίδιος και που υπάρχει και χωρίς αυτόν και στην ουσία ο ίδιος.

Η απάντηση του Heisenberg:

(σελ. 145) ... Μπορεί να πει κανείς πως η φυσική αποτελεί μέρος των φυσικών επιστημών και μ' αυτή την ιδιότητα πρέπει να επιδιώκει μια περιγραφή και μια κατανόηση της φύσης. Όμως κάθε μορφή κατανόησης, είτε επιστημονική, είτε μη επιστημονική, εξαρτάται από τη γλώσσα μας, εξαρτάται από το ότι μπορούμε να μεταδώσουμε σκέψεις. Επίσης, κάθε περιγραφή φαινομένων, πειραμάτων και των αποτελεσμάτων τους, βασίζεται στη γλώσσα σαν το μοναδικό μέσο για συνεννόηση. Οι λέξεις αυτής της γλώσσας παριστάνουν τις

έννοιες της καθημερινής ζωής, που στην επιστημονική γλώσσα της φυσικής μπορούν να εκλεπτυνθούν στις έννοιες της κλασικής φυσικής. Οι έννοιες αυτές είναι τα μοναδικά εργαλεία για μια σαφή πληροφόρηση, για μια συνεννόηση πάνω στα φαινόμενα, πάνω στη διάταξη των πειραμάτων και πάνω στ' αποτελέσματά τους. Όταν γι αυτό ζητάει κανείς από τον ατομικό φυσικό να δώσει μια περιγραφή αυτού που πραγματικά συμβαίνει στα πειράματά του, οι λέξεις «περιγραφή» και «πραγματικά» και «συμβαίνει» μπορούν ν' αναφέρονται μόνο στις έννοιες της καθημερινής ζωής ή της κλασικής φυσικής. ... Η απαίτηση να περιγράψει κανείς τι συμβαίνει σε μία κβαντοθεωρητική διαδικασία ανάμεσα σε δύο διαδοχικές παρατηρήσεις είναι μία *contradictio in adjecto*, γιατί η λέξη «περιγράφω» αναφέρεται ακριβώς στη χρησιμοποίηση των κλασικών εννοιών, ενώ οι έννοιες αυτές δεν μπορούν ωστόσο να χρησιμοποιηθούν στο διάστημα μεταξύ δύο παρατηρήσεων. Μπορούν να εφαρμοσθούν μόνο τη στιγμή της παρατήρησης.

12. ILYA PRIGOGINE, 1917 –

Ο Ιλία Πριγκοζίν, ανήκει στους επιστήμονες του 20^{ου} αιώνα, που άνοιξαν καινούριους δρόμους για τη Φυσική. Είναι ένας από τους θεμελιωτές της θεωρίας του χάους, και στο παρακάτω απόσπασμα αναφέρει τις απόψεις του για τις αλλαγές που επιβάλλει η καινούρια αυτή θεωρία στην εικόνα της επιστήμης για τον κόσμο.

«Οι νόμοι του χάους», 1993, σελ 15 – 18, 89 – 109.

(Σελ. 15) ... Ολοκληρώνοντας το έργο του «Ο χαρακτήρας του φυσικού νόμου», ο Richard Feynman αναρωτιέται: «ποιο είναι το μέλλον της επιστήμης; Άραγε θα ανακαλύπτουμε συνεχώς νέους νόμους;» Ο ίδιος το αμφισβητεί και θεωρεί ότι κάτι τέτοιο θα καταντούσε τελικά ανιαρό. «Θα φτάσουμε σε ένα σημείο», καταλήγει ο Feynman, «όπου όλοι οι νόμοι, τουλάχιστον εκείνοι που καθορίζουν την ουσία των φαινομένων, θα είναι πλέον γνωστοί. Η Αμερική αποκλείεται να ανακαλυφθεί για δεύτερη φορά.». Αυτή την έννοια του «τέλους της επιστήμης» την συναντούμε σε πολλά έργα σπουδαίων φυσικών. Ο Hawking, στο βιβλίο του «Το χρονικό του χρόνου», προαναγγέλλει μία νέα ενοποιημένη θεωρία που θα συμβάλλει στην αποκωδικοποίηση της «σκέψης του Θεού».

Η έννοια του φυσικού νόμου, όπως διατυπώνεται από τον Feynman ή από τον Hawking, αναφέρεται σε ένα αναστρέψιμο σύμπαν, το οποίο δε διαφοροποιεί το παρελθόν από το μέλλον. [...] Από την εποχή του Γαλιλαίου ως την εποχή του Feynman ή του Hawking, η φυσική ανακυκλώνει το πλέον παράδοξο: δεν υπάρχει το βέλος του χρόνου, όμως υπάρχει αλληλεξάρτηση της εσωτερικής μας εμπειρίας και του κόσμου στον οποίο ζούμε. Οι επιστήμες του γίνεσθαι και η φυσική μακράν της ισορροπίας εξωθήθηκαν στη φαινομενολογία, υποβαθμίζοντας το ρόλο τους σε συμβάντα που εισάγει ο άνθρωπος ως παράσιτα στους θεμελιώδεις νόμους. Στην εποχή μας εμφανίζεται αμυδρά, η δυνατότητα αντιμετώπισης αυτού του παράδοξου με τη βοήθεια μιας ευρύτερης θεώρησης των φυσικών νόμων. Τις τελευταίες δεκαετίες μια καινούρια «ιδέα» άρχισε να αναπτύσσεται ολόένα και περισσότερο: η έννοια της δυναμικής αστάθειας που συνδέεται με την έννοια του χάους.

Το χάος παραπέμπει τη σκέψη μας στην αταξία, στην αδυναμία πρόβλεψης – όμως θα δούμε ότι δεν είναι έτσι. Αντιθέτως μπορούμε να συμπεριλάβουμε το χάος στους νόμους της φύσης, με την προϋπόθεση ότι οι τελευταίοι πρέπει να διευρυνθούν ώστε να συμπεριλάβουν τις έννοιες της πιθανότητας και της μη αναστρεψιμότητας. Με δύο λόγια, η έννοια της αστάθειας μας αναγκάζει να εγκαταλείψουμε την περιγραφή των ατομικών καταστάσεων (τροχιές, κυματικές συναρτήσεις) και να στραφούμε προς στατιστικές περιγραφές. Στο επίπεδο της στατιστικής περιγραφής διαπιστώνουμε σαφώς την άρση της χρονικής συμμετρίας. [...] Η νέα προτεινόμενη θεώρηση του χάους μέσω στατιστικών συσχετίσεων, οδηγεί σε μία επιστήμη η οποία δεν αναφέρεται μόνο σε νόμους, αλλά και σε συμβάντα, σε μία επιστήμη που δεν αρνείται εκ των προτέρων την εμφάνιση του καινούριου, που δεν αμφισβητεί την ίδια τη δημιουργική δραστηριότητά της.

(Σελ. 109) ... Τελικώς ποια είναι, άραγε, η γενική ιδέα για τη φύση; Το Νευτώνειο μοντέλο μάς λέει ότι η φύση είναι ένας αυτόματος μηχανισμός – δεν μπορούμε εύκολα να κατανοήσουμε ένα τέτοιο συμπέρασμα. Η φύση στην κβαντομηχανική διαφέρει στο ότι η «πραγματικότητα» συνδέεται με τη μετάβαση από τις «εν δυνάμει» σε «εν ενέργεια» οντότητες μέσω και λόγω των μετρήσεων μας. Αυτό σημαίνει ότι ο παρατηρητής είναι υπεύθυνος για την πραγματικότητα. Αυτό είναι επίσης δύσκολο να το φανταστούμε. Εάν ήταν έτσι, θα διαδραματίζαμε κεντρικό ρόλο στη δημιουργία της πραγματικότητας.

Πιστεύω ότι ο 21^{ος} αιώνας θα είναι πιθανόν μία εποχή έρευνας του μηχανισμού του «γίγνεσθαι». Δυστυχώς, παρ' ότι μπορούμε να φανταστούμε ότι η κοσμολογία, ή η προέλευση της ζωής συνδέονται με διαδοχές διακλαδώσεων, γνωρίζουμε πολύ λίγα για το μηχανισμό των διακλαδώσεων. Μπορούμε βεβαίως να δεχθούμε ότι κάθε τι στο σύμπαν εξελίσσεται στην ίδια κατεύθυνση του χρόνου: οι βράχοι, τα άστρα, οι γαλαξίες, τα γαλαξιακά σμήνη, όλα εξελίσσονται προς την ίδια κατεύθυνση. Ο χρόνος κυλάει για όλους μας. Μπορούμε μόνο να συμπεράνουμε ότι το σύμπαν μας φαίνεται να κυβερνάται από μία ημιομάδα με σπασμένη χρονική συμμετρία. Είναι ένας ανοικτός κόσμος όπου η κατεύθυνση του χρόνου παίζει καθοριστικό ρόλο.

ΜΕΡΟΣ 3^ο
ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ,
ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑΣ

1. Θεωρητικά – Τεκμηρίωση της αναγκαιότητας

1.1 Η κατάσταση που επικρατεί σήμερα στη διδασκαλία της επιστήμης και οι συνέπειες της

Αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια κάποια στοιχεία της φιλοσοφίας της επιστήμης, που έχουν να κάνουν με την ιστορία, τη μεθοδολογία της και το ζήτημα της επιστημονικής αλήθειας, μαζί με κάποια εκτεταμένα αποσπάσματα με λόγια κορυφαίων επιστημόνων για το πώς βλέπουν οι ίδιοι αυτά τα θέματα. Το ερώτημα που εύλογα προκύπτει, είναι το κατά πόσο όλα αυτά σχετίζονται με την εκπαίδευση και τη διδασκαλία της επιστήμης στα σχολεία μας. Είναι δυνατό δηλαδή να αξιοποιηθούν με τον κατάλληλο τρόπο, προκειμένου να υπάρξουν οι προϋποθέσεις για τη δημιουργία εκπαιδευτικού υλικού, βασισμένο ή χρησιμοποιώντας κομμάτια της επιστημολογίας; Παρακάτω θα προσπαθήσουμε να δώσουμε μία απάντηση στα ερωτήματα αυτά, ξεκινώντας βέβαια από το αν είναι απαραίτητη μία τέτοια προσπάθεια, δηλαδή, αν θα προσφέρει κάτι παραπάνω στη διδασκαλία της φυσικής, σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση.

Καταρχάς, αποτελεί κοινή διαπίστωση ότι τα υπάρχοντα σχολικά εγχειρίδια δεν ασχολούνται ουσιαστικά καθόλου με το θέμα της επιστημολογίας, και συνεπώς είναι ανεπαρκή αν θεωρούμε ότι το αντικείμενο αυτό θα πρέπει να αποτελεί μέρος της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών. Έτσι, σύμφωνα με τον Κuhn, τα διδακτικά εγχειρίδια είναι παιδαγωγικά οχήματα για τη διάδοση της «κανονικής» επιστήμης. Στις ημέρες μας, όμως, θα ήταν πιο χρήσιμο να εμβαθύνουμε περισσότερο στη γνώση της επιστήμης και να διασφαλίσουμε ότι όλοι/ες οι μαθητές/ριες φεύγοντας από το σχολείο, έχουν αποκτήσει ένα βασικό επιστημονικό υπόβαθρο, το οποίο περιλαμβάνει γνώσεις και για τη βασική Φυσική και τις μεθόδους της. Για το σκοπό αυτό όμως, είναι απαραίτητο να εμπλουτιστούν τα μαθησιακά περιβάλλοντα με υλικό από την ιστορία της επιστήμης και σχετικό με τη φύση και τη μεθοδολογία της (Stinner, 2003). Τα καινούρια, αλλά και παλιότερα σχολικά βιβλία, κάνουν μόνο περιστασιακές αναφορές στην ιστορία της επιστήμης. Τέτοια βιβλία είναι γραμμένα για να παρέχουν στους μαθητές τη δημοφιλή, επίκαιρη και μονοσήμαντη εξήγηση της συμπεριφοράς της φύσης. Όπου συμπεριλαμβάνεται η ιστορία, πολύ συχνά αναπαράγεται μία τεχνητή εικόνα της

επιστήμης, η οποία παρουσιάζεται ως μία σταθερή και διαρκής προοδευτική διαδικασία προς την κορύφωση των σημερινών επιτευγμάτων (Monk, Osborne, 1997).

Ποια είναι, όμως, τα αποτελέσματα αυτής της τακτικής; Όπως παρατηρείται συχνά, πολλοί/ες μαθητές/ριες, ιδιαίτερα στη Φυσική, αντιλαμβάνονται τα προϊόντα της επιστημονικής έρευνας σαν πλήρως αντικειμενικά, αντιπροσωπεύοντας την απόλυτη αλήθεια για τη φύση (Galili, Hazan, 2001), κάτι που όπως δείξαμε στα προηγούμενα κεφάλαια απέχει πολύ από την πραγματικότητα. Πέρα από τα σχολικά βιβλία, μπορεί να ειπωθεί πως η επιστήμη διδάσκεται στο σχολείο μέσω των καθιερωμένων και αποδεκτών «επιστημονικών γεγονότων» και των τελειωτικών προϊόντων του μαθηματικού φορμαλισμού (όπως είναι οι μαθηματικοί τύποι). Οι προσπάθειες να δοθεί στο μαθηματικό φορμαλισμό ιστορική και πειραματική τεκμηρίωση, κατάλληλη για τους μαθητές, σπάνια προχωρούν πέρα από κάποια τυποποιημένα πειράματα «απόδειξης» του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα για την κίνηση, τα οποία, όμως, προωθούν ένα επαγωγικό μοντέλο της επιστήμης στο μυαλό των παιδιών, που δεν αντικατοπτρίζει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν συνήθως οι επιστήμονες. Έτσι, οι μαθητές/ριες δεν έρχονται ποτέ σε επαφή με την φαντασία και δημιουργικότητα, που πολλές φορές είναι απαραίτητη κατά την ανάπτυξη μιας έννοιας ή ενός νόμου της Φυσικής. Τελικά, τα παιδιά παγιδεύονται από τη βολικότητα που παρέχει η αποστήθιση των τελικών γεγονότων της πραγματικής ιστορικής διαδικασίας, και από την αποτελεσματικότητα που προσφέρει η απλή εφαρμογή των τύπων κατά την επίλυση των ασκήσεων (Stinner, 2003).

Αντίθετα, υλικό βασισμένο στην ιστορία και μεθοδολογία της επιστήμης, επιδεικνύει το μη-δογματικό, πιθανολογικό και διαψεύσιμο πολλές φορές χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης, που προϋποθέτει την κατανόηση της φύσης μέσω της δημιουργίας μοντέλων. Έτσι, τα μοντέλα παρουσιάζουν την επιστήμη ως ένα καθρέφτισμα της φύσης, αλλά ποτέ σαν ένα ακριβές της είδωλο (Galili, Hazan, 2001).

Ο Egan έχει συνοψίσει, ιδιαίτερα εύστοχα, τα παραπάνω συμπεράσματα για τη συνηθισμένη μορφή της διδασκαλίας και τα αποτελέσματά της. Όπως υποστηρίζει, η διδασκαλία της επιστήμης, έχει βασιστεί σε «μία φτωχή και εμπειριοκρατική εικόνα της επιστήμης, η οποία έχει κάνει κατάχρηση της αυθεντίας της, προκειμένου να προωθήσει ένα κοντόφθαλμο είδος λογικής σκέψης, σε βάρος εκείνων των μορφών σκέψης, τις

οποίες παρατηρούμε καθαρά στις δημιουργικές δραστηριότητες των παιδιών» (Egan, 1988, σ. 18). «Η διδασκαλία επιτυγχάνει τους στόχους της, όχι όταν κάνει το παράξενο να δείχνει συνηθισμένο, αλλά όταν κάνει το συνηθισμένο να δείχνει παράξενο. Αυτή που έχει σημασία στη διδασκαλία της επιστήμης είναι το να επικεντρώσει την προσοχή στα θαυμαστά πράγματα που βρίσκονται κρυμμένα πίσω από ό,τι παίρνουμε ως δεδομένο» (Egan, 1988, σ. 47). Η, κατά τον Glaser: «Η διδασκαλία θα πρέπει να προωθεί ολοένα και καλύτερες διατυπώσεις των νοητικών δομών, που καθιστούν δυνατές την κριτική σκέψη και τον ορθολογισμό, σε ποικίλους τομείς της γνώσης και των δεξιοτήτων. Η εκπαίδευση που διδάσκει μεμονωμένη αποστήθιση γεγονότων, δεδομένων και ορισμούς εννοιών, δεν πρόκειται να εκπληρώσει αυτό το σκοπό.» (Glaser, 1994).

Φαίνεται, λοιπόν, ότι πολλοί ερευνητές κρίνουν ότι η συμβατική διδασκαλία της Φυσικής στο σχολείο πρέπει να αλλάξει, ενσωματώνοντας και στοιχεία από την ιστορία της, τη μεθοδολογία και τη φιλοσοφία της επιστήμης. Τις τρεις παραπάνω έννοιες θα μπορούσαμε να τις συγχωνεύσουμε σε μία, την επιστημολογία, καθώς είναι τόσο στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους, ώστε δύσκολα μπορεί κανείς να τις διακρίνει και να τις μελετήσει ξεχωριστά, ειδικά μάλιστα για θέματα που αφορούν την εκπαίδευση.

1.2 Οι λόγοι για την αξιοποίηση της επιστημολογίας στη διδασκαλία

Ο Matthews το 1994 συνόψισε τα οφέλη που προκύπτουν από την εισαγωγή της επιστημολογίας στη διδασκαλία, όπως αυτά αναφέρονταν σε πλήθος βιβλιογραφικών αναφορών, ξεκινώντας από το 19^ο αιώνα:

- Καλύτερη κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και μεθόδων.
- Διασύνδεση μεταξύ της εξέλιξης της ατομικής σκέψης των παιδιών και της επιστημονικής σκέψης διαμέσου των αιώνων.
- Πολιτισμική αξία.
- Η κατανόηση της φύσης της επιστήμης.

- Επιτυχημένη αντιμετώπιση του επιστημονισμού και του δογματισμού (συνηθισμένα χαρακτηριστικά της διδασκαλίας της επιστήμης).
 - Εξανθρωπισμός του περιεχομένου της επιστήμης και υποβάθμιση του φορμαλισμού.
 - Η παρουσίαση της και αλληλεπιδραστικής φύσης των ανθρώπινων επιτευγμάτων.
- (Galili, Hazan, 2001).

Για ποιους λόγους, όμως, προκύπτουν τα πιο πάνω οφέλη; Μία πρώτη απάντηση είναι, ότι για να κατανοήσει κάποιος τη σπουδαιότητα και τη σημασία των επιστημονικών ιδεών, είναι απαραίτητο να διαθέτει κάποια αντίληψη του κοινωνικού περιβάλλοντος, των κυρίαρχων ρευμάτων της σκέψης της εποχής, των αναρίθμητων αδιεξόδων κατά τη διάρκεια μιας έρευνας, καθώς και της δυσκολίας του να πείσεις άλλους ανθρώπους για την εγκυρότητα μιας καινούριας θεωρητικής ιδέας (Monk, Osborne, 1997). Η βαθιά κατανόηση κάθε επιστημονικού ζητήματος, προϋποθέτει, δηλαδή, τη γνώση της ιστορικής εξέλιξης του ζητήματος αυτού. Για να χρησιμοποιήσουμε ένα εύγλωττο παράδειγμα, η σύγχρονη γνώση αποτελεί απλά την τελευταία, μέχρι στιγμής, σελίδα σε ένα βιβλίο, και είναι δύσκολο να ερμηνευτεί ολοκληρωμένα χωρίς την κατανόηση των προηγούμενων σελίδων (Galili, Hazan, 2001).

Όπως έγραφε και ο Duhem, ήδη από το 1905: «Ο ορθός, σίγουρος και εποικοδομητικός τρόπος να προετοιμάσεις ένα μαθητή να αποδεχτεί μία υπόθεση είναι η ιστορική μέθοδος. Το να επαναλάβεις τους μετασχηματισμούς μέσω των οποίων τα εμπειρικά γεγονότα συσσωρεύονται, ενόσω τα πρώτα θεωρητικά σχήματα παίρνουν μορφή. Το να περιγράψεις τη μακρά συνεργασία, μέσω της οποίας η κοινή και η επαγωγική λογική αναλύουν το γεγονός και μοντελοποιούν το θεωρητικό σχήμα, μέχρι που το γεγονός και η θεωρία αντιστοιχίζονται πλήρως το ένα με την άλλη. Αυτή είναι η καλύτερη μέθοδος, πιθανά ο μόνος τρόπος, να προσφέρει σε όσους μαθαίνουν Φυσική μία σωστή και ξεκάθαρη εικόνα του πολύπλοκου και ζωντανού οργανισμού που είναι η επιστήμη» (Duhem, 1954, σ. 268).

Η μελέτη των επιστημονικών ιδεών στο αυθεντικό τους πλαίσιο, θα βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν καλύτερη κατανόηση κάποιων εννοιών, επειδή:

- η ιστορική εξέλιξη αρκετών εννοιών της Φυσικής, συσχετίζεται με την εννοιολογική ανάπτυξη αυτών των εννοιών στα παιδιά,
- κάποτε καινούριες επιστημονικές απόψεις, που σήμερα είναι αποδεκτές, πολύ συχνά αντιμετωπίστηκαν τον καιρό που πρωτοδιατυπώθηκαν, με παρόμοιο τρόπο, με τον οποίο αντιμετωπίζονται σήμερα κάποιες αρχικές ιδέες των παιδιών,
- δίνει έμφαση στη διαφοροποίηση της επιστημονικής σκέψης του τότε και του σήμερα, φέρνοντας, έτσι, στο προσκήνιο τη φύση και την επιτυχία των σημερινών εννοιών.

(Monk, Osborne, 1997).

Ιδιαίτερη σημασία φαίνεται ότι έχει το δεύτερο από τα παραπάνω σημεία. Οι ερευνητές έχουν βρει ξεκάθαρους παραλληλισμούς μεταξύ των αρχικών ιδεών των παιδιών για τις επιστημονικές έννοιες σε ποικίλους κλάδους της Φυσικής (μηχανική, ηλεκτρισμός, θερμότητα κ.α.), και των ιδεών που είχαν επιστήμονες του παρελθόντος για τις ίδιες έννοιες (Stinner, 2003 – Galili, Hazan, 2000). Πολλές έρευνες δείχνουν ότι οι διαδικασίες της σκέψης των παιδιών μοιάζει με τις αντίστοιχες διεργασίες της σκέψης επιστημόνων παλιότερων εποχών. Ακόμα, πολλές φορές οι μαθητές/ριες αναπτύσσουν παρανοήσεις για φυσικά φαινόμενα και γεγονότα, παρόμοιες με απόψεις που κυριαρχούσαν κάποια εποχή, εν μέσω της ιστορικής ανάπτυξης των επιστημονικών ιδεών (Mond, Osborne, 1997 - Seroglou, Koumaras, 2001).

Τα παραπάνω αναδεικνύουν τη σημασία της ιστορίας της επιστήμης ως ενός πολύ χρήσιμου εργαλείου για την αναμονή και την ανάδειξη κάποιων εννοιολογικών δυσκολιών από την πλευρά των μαθητών/ριων. Όπως υποστήριζε και ο Nersessian, είναι η φύση των αλλαγών, παρά οι ίδιες οι συγκεκριμένες αλλαγές που χρειάζεται να γίνουν κατά τη διαδικασία της εννοιολογικής αναδόμησης, και τα είδη των συλλογισμών, παρά τα ίδια τα επιχειρήματα που παίρνουν μέρος κατά τη δόμηση μιας επιστημονικής αναπαράστασης, που είναι πιθανότερο να είναι ίδια για επιστήμονες προηγούμενων

εποχών και για τα σημερινά παιδιά. Για παράδειγμα, η αριστοτελική λογική, όπως εξάλλου και η πρώιμη επιστημονική σκέψη, χαρακτηρίζονται από την έμφαση στην εμπειρία, στην περιγραφή, στη φύση των ιδιοτήτων των αντικειμένων, και από τελεολογικές αναφορές στην αιτιότητα, χαρακτηριστικά που παρατηρούνται και στη σκέψη των παιδιών (Monk, Osborne, 1997 – Galili, Hazan, 2000).

Το να υποστηρίξει κανείς, βέβαια, ότι η μαθησιακή ανάπτυξη ενός σημερινού μαθητή μπορεί να ταυτιστεί με την αντίστοιχη ιστορική ανάπτυξη της επιστήμης, θα ήταν κατά πάσα πιθανότητα υπερβολικό και ατεκμηρίωτο. Παρ' όλα αυτά, μία περιορισμένη εισαγωγή της ιστορικής εξέλιξης των επιστημονικών εννοιών σε ορισμένα κεφάλαια της Φυσικής, όπως για παράδειγμα η μηχανική, θα ήταν δυνατή και χρήσιμη. Η έκθεση του/της μαθητή/ριας σε μία ιστορικά βασισμένη εννοιολογική εξέλιξη της νευτώνειας μηχανικής είναι ανώτερη από τη συμβατική, επικεντρωμένη στο σχολικό βιβλίο άποψη, καθώς επιδεικνύει τη διανοητική πάλη που προηγείται της ανάπτυξης και καθιέρωσης μιας επιστημονικής ιδέας, ενώ παράλληλα οι έννοιες που βρίσκονται στις απαρχές της εξέλιξης του νευτώνειου μοντέλου, βρίσκονται πιο κοντά και συσχετίζονται καλύτερα με τις γνώσεις και τις εμπειρίες των παιδιών (Stinner, 2003).

Εξάλλου, η διδακτική ενσωμάτωση όψεων της επιστημολογίας στα σχολικά προγράμματα, θα προσφέρει την αντιπαράθεση ή τη σύγκριση των αντιλήψεων παλιών επιστημόνων με αυτές των μαθητών/ριων, καθιστώντας τη φιλοσοφία της επιστήμης κεντρικό χαρακτηριστικό της διδασκαλίας της Φυσικής. Η συνεπαγόμενη στροφή προς μία ποικιλία απόψεων έχει δύο οφέλη: Πρώτον, τη συνειδητοποίηση ότι οι εναλλακτικές μεταφράσεις των δεδομένων απαιτούν σύγκριση και αντιπαράθεση απόψεων, οδηγώντας τους/ις καθηγητές/ριες της Φυσικής να θέτουν τα επιστημολογικά ερωτήματα «πώς ξέρουμε;» και «ποια είναι η απόδειξη για...;». Δεύτερο, η ανάγκη για εναλλακτικές εξηγήσεις των υπό μελέτη φαινομένων, παρέχει ένα άριστο μέσο για την εκμαίευση των αρχικών ιδεών των μαθητών/ριων, κάτι που αποτελεί κεντρικό σημείο στις σύγχρονες παιδαγωγικές απόψεις (Monk, Osborne, 1997), κάτι που θα δούμε και στη συνέχεια. Στην ιστορία της Φυσικής, στις περιπτώσεις όπου παρουσιάστηκαν αντιφατικές και αντιμαχόμενες θεωρίες και επιχειρήματα από τους επιστήμονες της εποχής, εκεί θα πρέπει να αναμένονται και εναλλακτικές ιδέες από την πλευρά των παιδιών (Seroglou, Koumaras, 2001).

Συνεπώς, η διδασκαλία στοιχείων της ιστορίας και μεθοδολογίας της επιστήμης, πράγματι έχει πολύ μεγάλη σημασία, επειδή η απάντηση στο ερώτημα «πώς γνωρίζουμε κάτι» είναι ένα σημαντικό στοιχείο της επιστήμης και της γνώσης που έχουμε για το φυσικό κόσμο. Επιπλέον, η ικανότητα τού να μπορεί κάποιος να ξεχωρίζει μεταξύ τεκμηριωμένης και μη τεκμηριωμένης γνώσης, αποτελεί αναγκαία δεξιότητα της κριτικής σκέψης που χαρακτηρίζει έναν εγγράμματο πολίτη, και είναι βασική προϋπόθεση για τη συμμετοχή σε οποιαδήποτε επιστημονική συζήτηση. Εξάλλου, η αποτυχία ή η έλλειψη της διδασκαλίας για το πώς τελικά αναπτύσσουν οι επιστήμονες τις γνώσεις τους και τις αντιλήψεις τους για τη φύση, εμπεριέχει τον κίνδυνο να θεωρούν οι μαθητές/ριες τον επιστημονικό τρόπο σκέψης ως παράλογο, επειδή η παροχή και η επίδειξη των αποδείξεων και της τεκμηρίωσης, είναι υποβαθμισμένη, αν όχι και τελείως απύσχα (Monk, Osborne, 1997).

Ένα θέμα που σχετίζεται με τον επιστημονικό αλφαριθμητισμό είναι και η ψευδοεπιστήμη, και η διείσδυσή της στην κοινωνία. Μία ψευδοεπιστήμη είναι ένα σύνολο από ιδέες ή θεωρίες που παρουσιάζουν επιφανειακές ομοιότητες με την επιστημονική μεθοδολογία, ενώ στην πραγματικότητα έρχονται σε αντίθεση με την καθιερωμένη επιστήμη και οι οποίες έχουν αποτύχει σε κάθε είδους εμπειρική ή πειραματική δοκιμασία, ή εξ ορισμού δεν μπορούν να τεθούν υπό πειραματικό έλεγχο (Preece, Baxter, 2000). Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά μιας ψευδοεπιστήμης είναι τα παρακάτω:

- Αναχρονιστική σκέψη.
- Έρευνα – τάση για μυστήρια.
- Αναφορά σε μύθους.
- Η αποσπασματική – πρόχειρη χρήση αποδείξεων.
- Υποθέσεις που δεν μπορούν να αμφισβητηθούν – διαψευσθούν (ομοιότητα με δογματικές θέσεις).
- Επιχειρήματα λόγω ομοιότητας.
- Εξηγήσεις βάσει σεναρίων.
- Άρνηση αναθεωρήσεων σε περίπτωση κριτικής.

(Erduran, 1995).

Έρευνες αποδεικνύουν ότι τέτοιου είδους πεποιθήσεις είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες στο μαθητικό πληθυσμό, όπως εξάλλου και στους ενήλικες. Το 48% των ανδρών και το 70%

των γυναικών πάνω από 40 χρόνων, σε μία αντίστοιχη έρευνα, διαπιστώθηκε ότι πιστεύουν σε υπερφυσικά φαινόμενα (Preece, Baxter, 2000).

Η εκπαίδευση μπορεί να προσφέρει ένα ανάχωμα σε αυτή την τάση, καθώς υπάρχουν ενδείξεις ότι μαθητές/ριες και φοιτητές/ριες που έχουν παρακολουθήσει κύκλους μαθημάτων στις θετικές επιστήμες έχουν μικρότερα επίπεδα μη επιστημονικών αντιλήψεων, απ' ότι άλλοι συνομήλικοι τους (Preece, Baxter, 2000). Παρόλα αυτά, πολλοί μαθητές, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων που παρακολουθούσαν θετικής κατεύθυνσης μαθήματα, βρέθηκε να είναι πολύ εύπιστοι, ενώ μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό ήταν έντονα σκεπτικιστές (Preece, Baxter, 2000).

Δεδομένου ότι η μεθοδολογία της επιστήμης στην ουσία την οριοθετεί από άλλου είδους συστήματα πεποιθήσεων, η ενσωμάτωση του ανάλογου διδακτικού υλικού στη διδασκαλία, θα μπορούσε να βοηθήσει στην ανάπτυξη του ορθολογισμού και του σκεπτικισμού στους/ις μαθητές/ριες. Η ίδια η επιστήμη, δηλαδή, θα ήταν περισσότερο κατανοήτη σε αυτούς που τη διδάσκονται, αν οι ορισμοί της διατυπώνονται σε σχέση με - και διαφοροποιούνται από την ψευδοεπιστήμη. (Erduran, 1995). Μάλιστα, ο ενθουσιασμός των παιδιών για το παραφυσικό, προσφέρει εξαιρετικές ευκαιρίες στους/ις διδάσκοντες/ουσες (Preece, Baxter, 2000), όπως θα δούμε και στη συνέχεια.

Υπάρχουν, άλλωστε, πρόσφατες έρευνες που αποδεικνύουν ότι οι επιστημολογικές αντιλήψεις των παιδιών μπορούν να επηρεάσουν τη μάθηση. Όπως οι μαθητές παρουσιάζουν κάποιες εναλλακτικές ιδέες για τις φυσικές έννοιες και τα φαινόμενα, μπορούν να έχουν και αντίστοιχες ιδέες για τη φύση της επιστήμης, σε ένα μεταγνώστικό επίπεδο (Seroglou, Koumaras, 2001). Τέτοιες ιδέες είναι:

- Η επιστημονική γνώση προσφέρει σωστές απαντήσεις.
- Η επιστημονική γνώση ανακαλύπτεται από τα αντικειμενικά δεδομένα, που συλλέγονται από την παρατήρηση και τον πειραματισμό, ή από μία παγκόσμια και καθολική επιστημονική μέθοδο.
- Η επιστημονική γνώση είναι προσθετική, και οι αποδείξεις που συλλέγονται προσεκτικά θα έχουν ως αποτέλεσμα μία σίγουρη γνώση.

(Tsai, 1998).

Η έρευνα δείχνει ότι παιδιά με μεγαλύτερες επιδόσεις μετά τη διδασκαλία ενός κεφαλαίου της Φυσικής, είχαν μεγαλύτερο πλούτο ιδεών και μεγαλύτερη συνεκτικότητα των σκέψεων τους, και κυρίως ότι οι επιστημολογικές τους αντιλήψεις απείχαν αρκετά ή πολύ από τις παραπάνω ιδέες που αναφέρθηκαν (Tsai, 1998). Το συμπέρασμα που βγαίνει είναι ότι η εισαγωγή των μαθητών/ριων σε βάσιμες απόψεις της επιστημολογίας, μπορεί να τους βοηθήσει να δομήσουν υψηλότερου επιπέδου γνώσεις για τις έννοιες της Φυσικής (Tsai, 1998). Σε μία παρόμοια έρευνα, φάνηκε ότι μαθητές/ριες με επιστημολογικές απόψεις πιο κοντά σε αυτές των φιλοσόφων της επιστήμης, εστίαζαν την προσοχή τους, κατά τη διάρκεια εργαστηριακών μαθημάτων στο σχολείο, περισσότερο στη διαπραγμάτευση του νοήματος των εννοιών και των πειραμάτων με τους συνεργάτες τους, απ' ότι άλλοι/ες συμμαθητές/ριες τους, με περισσότερο εμπειριοκρατικές αντιλήψεις περί επιστήμης. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, την πιο βαθιά και πλουσιότερη κατανόηση των εννοιών από αυτούς/ες (Tsai, 1999).

Ένα ακόμα πλεονέκτημα από μιας τέτοιας μορφής διδασκαλίας, είναι ότι παρέχει κάποιου είδους ψυχολογικής υποστήριξης προς τα παιδιά, πολύ σημαντικής όμως για την ανάπτυξη της αυτοπεποίθησης τους. Είναι παρήγορο το να σκέφτεται κανείς ότι και άλλοι, πολλές φορές σημαντικοί επιστήμονες, σκέφτονταν με παρόμοιο τρόπο, ακόμα κι αν αυτός αργότερα αποδείχτηκε λανθασμένος (Monk, Osborne, 1997).

Δε θα πρέπει να υποτιμηθεί εξάλλου, και η σπουδαιότητα που έχει η ελκυστική παρουσίαση ενός διδακτικού αντικείμενου στους μαθητές, καθώς αυτή τονώνει το ενδιαφέρον τους, αποτελώντας, με αυτό τον τρόπο, κίνητρο για την πιο ουσιαστική παρακολούθηση και κατανόηση ενός μαθήματος. Οι μαθητές/ριες αποκτούν τα κατάλληλα προσόντα για να χρησιμοποιούν λειτουργικά τις έννοιες της εξήγησης, του πειράματος και του μοντέλου (Seroglou, Koumaras, 2001). Η έκθεση σε ανταγωνιστικές ιδέες και υποκειμενικές αντιλήψεις στην επιστήμη, εξανθρωπίζει το περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης και απομακρύνει την ανεπιθύμητη αυστηρότητα και ακαμψία της διδασκαλίας. Αυτό αλλάζει τη συνηθισμένη απωθητική εικόνα των θετικών μαθημάτων που έχουν τα παιδιά, κάνοντας την επιστήμη πιο ελκυστική σε μεγαλύτερο μαθητικό κοινό (Galili, Hazan, 2000 – Seroglou, Koumaras, 2001).

Παράλληλα, το διδακτικό υλικό της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης εμπεριέχει συχνά ιστορίες και ανέκδοτες αφηγήσεις αφηγηματικής μορφής. Το περιεχόμενό αυτό, λοιπόν, απέχοντας πολύ από μία αυστηρά επιστημονική μορφή, ενσωματώνει κοινωνικούς παράγοντες, ανθρώπινα πάθη και αγώνα, αισθήματα, σκέψεις, δισταγμούς, λάθη και δυσκολίες. Έτσι, η ελκυστικότητά του και η αποδοχή του από τα παιδιά είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από υλικό της συμβατικής διδασκαλίας, καθώς το ενδιαφέρον τους κεντρίζεται πολύ περισσότερο (Galili, Hazan, 2001). Επιπλέον, η ιστορία αποκαλύπτει ότι η επιστημονική πρόοδος δεν μπορεί να υποβιβαστεί σε μία γραμμική τυπικά λογική εξέλιξη, αλλά προϋποθέτει καινοτόμες εννοιολογικές αλλαγές. Τα επιχειρήματα που χρησιμοποιήθηκαν σε περασμένες εποχές από τους επιστήμονες, υπέρ ή εναντίον συγκεκριμένων θεωριών, παραμένουν ζωντανά και πειστικά και για το/η σύγχρονο/η μαθητή/ρια (Galili, Hazan, 2001), βοηθώντας τον να εμπεδώσει καλύτερα τις καινούριες έννοιες που καλείται να μάθει.

Ένα τελευταίο πλεονέκτημα, που δε σχετίζεται τόσο με τα άμεσα αποτελέσματα της διδασκαλίας, είναι και η σημασία της συνειδητοποίησης από την πλευρά των μαθητών, ότι ο επιστημονικός κλάδος μπορεί να αποτελέσει και θεμιτό επαγγελματικό στόχο, προσφέρει επιπλέον κίνητρο στα παιδιά, διαφορετικό από την γενική αναζήτηση της γνώσης και την επιτυχία στο σχολείο. Η έκθεση στην πραγματικότητα της επιστημονικής ζωής, μπορεί να βοηθήσει τους/ις μαθητές/ριες να αποφασίσουν αν μία τέτοια επαγγελματική προοπτική ικανοποιεί τα ενδιαφέροντά τους (Galili, Hazan, 2001).

1.3 Ανασκόπηση των προσπαθειών για την εισαγωγή διδακτικού υλικού βασισμένου στην επιστημολογία

Οι κινήσεις των παιδαγωγών που θεωρούσαν απαραίτητο χαρακτηριστικό στη διδασκαλία της επιστήμης, την αναφορά στην ιστορία και τη φιλοσοφία της, χρονολογούνται από πολύ παλιά. Ήδη, από το 1884, κάποιος γνωστός αμερικανός επιστήμονας διακήρυττε ότι η εκπαίδευση θα έπρεπε να αναδιοργανωθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε ο πυρήνας της να γίνει η διδασκαλία της μεθοδολογίας της επιστήμης (Rudolph, 2005). Αρχικά η ανάγκη αυτή πήρε μορφή όταν στα αμερικανικά σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης εισήχθη, σε κάποιο βαθμό, η εργαστηριακή μέθοδος της διδασκαλίας. Όπως προκύπτει από την αναφορά της «Επιτροπής των δέκα, για τα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης»,

που δημοσιεύτηκε το 1893, τονίζεται η σπουδαιότητα μιας επιστημονικής εκπαίδευσης για όλους τους μαθητές, ανεξάρτητα από το αν αυτοί θα ακολουθήσουν ακαδημαϊκή καριέρα ή όχι, η επιστήμη λαμβάνει έναν σημαντικό ρόλο στα πλαίσια του αναλυτικού προγράμματος και κυρίως σημειώνεται ή «απόλυτη αναγκαιότητα της εργαστηριακής δουλειάς» (Rudolph, 2005).

Αρχικά, βέβαια, η μέθοδος αυτή υπερεκτιμήθηκε και περιορίστηκε σε ποσοτικές κυρίως πλευρές της μάθησης. Οι ασκήσεις ήταν, σε υψηλό βαθμό, ποσοτικές, απαιτούσαν προσεκτικές παρατηρήσεις και ακριβείς μετρήσεις, ενώ προωθούσαν τον επαγωγικό τρόπο σκέψης. Αυτά ήταν, άλλωστε, τα χαρακτηριστικά της επιστήμης στην Αμερική του 19^{ου} αιώνα. Σύντομα υπήρξαν φωνές που αντιδρούσαν στον αρτηριοσκληρωτικό τρόπο με τον οποίο διδασκόταν η επιστημονική μέθοδος. Οι μεταρρυθμιστές επιζητούσαν μεγαλύτερη προσωπική και κοινωνική διάσταση στη διδασκαλία της Φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, μετατοπίζοντας παράλληλα την έμφαση από την ποσοτική στην ποιοτική εργαστηριακή δουλειά, έτσι ώστε το αντικείμενο να γίνει περισσότερο ενδιαφέρον και με πιο πολλά κίνητρα για τους μαθητές (Rudolph, 2005).

Απάντηση στις φωνές των μεταρρυθμιστών δόθηκε σε μεγάλο βαθμό από τον John Dewey, ο οποίος άσκησε μεγάλη επιρροή στην αμερικανική δευτεροβάθμια εκπαίδευση, αλλά και στην παιδαγωγική γενικότερα. Ο Dewey επικέντρωσε την προσοχή του στη διαδικασία της δόμησης της γνώσης, παρά στη γνώση αυτή καθ'εαυτή. Θεωρούσε ότι το πρόβλημα με την υπάρχουσα δομή της εκπαίδευσης ήταν ότι «η επιστήμη διδάσκεται, σε μεγάλο βαθμό, σαν μία συσώρευση έτοιμου υλικού, το οποίο οι μαθητές πρέπει να μάθουν, κι όχι ως ένας τρόπος σκέψης. [... Οι διδασκόμενοι την επιστήμη, μπορούν να κατανοήσουν τη δύναμη της, μόνο] παίρνοντας μέρος στην κατασκευή της γνώσης, μετατρέποντας τις εικασίες και την προσωπική γνώμη σε πίστη, που τεκμηριώνεται από την έρευνα.» (Dewey, 1910).

Βλέπουμε, ότι ήδη από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, δίνεται έμφαση από σημαντικούς παιδαγωγούς στη σπουδαιότητα της επιστημολογίας στην εκπαίδευση. Παρότι η παιδαγωγική ακολούθησε άλλους δρόμους στις δεκαετίες που ακολούθησαν, η κινητικότητα για το ζήτημα αυτό δε σταμάτησε ουσιαστικά ποτέ. Είναι, όμως, αλήθεια, ότι οι προσπάθειες για την εισαγωγή κατάλληλου εκπαιδευτικού υλικού για τη

μεθοδολογία και τη φιλοσοφία της επιστήμης, συνήθως έμεναν ημιτελείς. Ένας λόγος για το γεγονός αυτό είναι ότι οι καθηγητές/ριες που διδάσκουν Φυσική και θετικά αντικείμενα γενικότερα, αντιλαμβάνονται την επιστήμη ως ένα κατεστημένο σώμα γνώσης και τεχνικών, που απαιτούν ελάχιστη τεκμηρίωση και δικαιολόγηση. Ακόμα κι όταν έχουν ξεκάθαρες και ολοκληρωμένες απόψεις για την επιστημονική διαδικασία και έρευνα, δε σχεδιάζουν τη διδασκαλία τους με αντίστοιχο τρόπο (Monk, Osborne, 1997).

Μία εξήγηση για την απροθυμία αυτή, δίνουν οι παρακάτω δυσκολίες που πρέπει να αντιμετωπιστούν, προκειμένου η εισαγωγή διδακτικού υλικού βασισμένου στην επιστημολογία να έχει θετικό αποτέλεσμα:

- Οι διδάσκοντες/ουσες χρειάζεται να αποκτήσουν καινούριες γνώσεις, στο πεδίο της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης.
- Είναι αναγκαία η αλλαγή του τρόπου και της μεθοδολογίας της αξιολόγησης.
- Υπάρχει αντιπαράθεση με κατεστημένες αντιλήψεις, που επικρατούν στο χώρο της εκπαίδευσης.
- Είναι αναγκαίος περισσότερος διδακτικός χρόνος για να καλυφθεί περισσότερη ύλη, η κανονική συν της επιστημολογίας.
- Χρειάζεται να δημιουργηθούν καινούριο, εξειδικευμένο και κατάλληλο διδακτικό υλικό.
- Υπάρχουν αντιρρήσεις, που έχουν να κάνουν με την αοριστία και την περιορισμένη ακρίβεια, αλλά και τις επιστημονικά λανθασμένες αντιλήψεις που ενυπάρχουν σε επιστημονικές θεωρίες του παρελθόντος, και οι οποίες συμπεριλαμβάνονται σε τέτοιου είδους υλικό.

(Galili, Hazan, 2001).

Παρά τις δυσκολίες αυτές, η επιχειρηματολογία υπέρ της ενσωμάτωσης στη διδασκαλία της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης, εμπεριέχονται και στα αναλυτικά

εκπαιδευτικά προγράμματα αρκετών χωρών. Παράδειγμα αποτελεί το αγγλικό αναλυτικό πρόγραμμα (Science in the National Curriculum). Υπάρχουν δύο ενότητες στην αρχή του προγράμματος σπουδών, οι οποίες αναφέρονται στο γεγονός ότι όλοι/ες οι μαθητές/ριες θα πρέπει να έχουν την ευκαιρία να αντιληφθούν το πώς δουλεύει η επιστήμη και τη φύση των επιστημονικών ιδεών. Ειδικότερα το πρόγραμμα ορίζει ότι είναι αναγκαίο, οι μαθητές/ριες να έχουν τη δυνατότητα να:

- αναπτύξουν την κατανόησή τους για το πώς οι επιστημονικές ιδέες γίνονται αποδεκτές ή απορρίπτονται στη βάση εμπειρικών αποδείξεων, και πώς επιστημονικές διαμάχες μπορούν να προκύψουν εξαιτίας διαφορετικών ερμηνειών τέτοιων πειραματικών τεκμηρίων.
- αντιληφθούν τους τρόπους με τους οποίους οι επιστημονικές ιδέες μπορούν να επηρεαστούν από τον κοινωνικό και ιστορικό περίγυρο, μέσα στον οποίο αναπτύσσονται, και πώς αυτός ο περίγυρος μπορεί να καθορίσει το αν οι ιδέες θα γίνουν αποδεκτές ή όχι.

(Monk, Osborne, 1997).

Άλλο παρόμοιο παράδειγμα αποτελεί το αναλυτικό πρόγραμμα του Χάρβαρντ για τη διδασκαλία της Φυσικής (Harvard Project Physics Course, HPPC), το οποίο αναπτύχθηκε από τους Rutherford, Holton και Watson (1970), και είναι ίσως το πιο γνωστό εκπαιδευτικό σχέδιο που είναι τόσο πλούσιο σε περιεχόμενο σχετιζόμενο με την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης. Αυτό ήταν το αποτέλεσμα της ανάγκης να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα Φυσικής με ανθρωπιστικό προσανατολισμό, που να ελκύει και να δίνει κίνητρα σε ένα πλατύτερο κύκλο μαθητών για να ασχοληθούν με τη Φυσική, όπως άλλοι ασχολούνται με την ιστορία και τη λογοτεχνία. Η αξιολόγηση του προγράμματος έδειξε ότι οι μαθητές/ριες όντως βελτίωσαν τη στάση τους απέναντι στη Φυσική (Galili, Hazan, 2001).

Θα παραθέσουμε στη συνέχεια κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα προσπαθειών που έγιναν τα τελευταία κυρίως χρόνια, ή και παλιότερα, για τη δημιουργία διδακτικού υλικού που χρησιμοποιεί αποσπάσματα και έννοιες από την ιστορία και τη φιλοσοφία της

επιστήμης, την αποδοχή που είχαν από το μαθητικό πληθυσμό και το βαθμό επιτυχίας τους, σε σχέση με τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα.

1.4 Παραδείγματα εισαγωγής στη διδασκαλία εκπαιδευτικού υλικού βασισμένο στην ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης

Οι *Niaz και Rodriguez* επισημαίνουν ότι ορισμένες φυσικές θεωρίες υπήρξαν αντικείμενο έντονης διαμάχης μεταξύ των επιστημόνων την εποχή που πρωτοδιατυπώθηκαν. Θεωρούν, λοιπόν, ότι η παρουσίαση στην τάξη τέτοιων παραδειγμάτων, μπορεί να πυροδοτήσει συζητήσεις μεταξύ των μαθητών/ριων και του διδάσκοντα, που αποβαίνουν ιδιαίτερα χρήσιμες στη διαδικασία της μαθήσης, καθώς προξενούν το ενδιαφέρον των μαθητών, ενώ ταυτόχρονα υποδεικνύουν στα παιδιά τον τρόπο με τον οποίο προχωρά στην πραγματικότητα η έρευνα στην επιστήμη της Φυσικής. Αναφέρονται ως παραδείγματα: η αμφισβητήσιμη φύση του ατομικού μοντέλου του Bohr, οι διαμάχες μεταξύ Rutherford – Thomson για τη δομή του ατόμου, μεταξύ Millikan – Ehrenhaft για το ηλεκτρικό φορτίο και οι αντιδικίες κατά την αναζήτηση για στοιχειώδη σωματίδια με κλασματικό ηλεκτρικό φορτίο (quarks). Οι συγγραφείς τονίζουν ότι η βιβλιογραφία επιβεβαιώνει ότι τέτοιου είδους ιστορικά παραδείγματα, κατάλληλα τροποποιημένα για μία διδακτική παρέμβαση, τα οποία συνδέονται με διάφορα αντικείμενα του αναλυτικού προγράμματος, μπορούν να υποκινήσουν εποικοδομητικές συζητήσεις μέσα στην τάξη. Τέτοιες συζητήσεις μπορούν να δώσουν στους/ις μαθητές/ριες τη δυνατότητα να γνωρίσουν την επιστημονική έρευνα, εμποτισμένη με επιχειρήματα, διαμάχες και τον ανταγωνισμό μεταξύ αντίπαλων θεωριών (Niaz, Rodriguez, 2002).

Οι *Reigosa και Jiménez-Aleixandre* υποστηρίζουν ότι είναι αναγκαίο οι μαθητές/ριες να εξασκηθούν σε σημαντικές πλευρές της επιστημονικής εργασίας, όπως είναι η φύση και η δόμηση της επιστημονικής γνώσης, καθώς και οι μεθοδολογικές αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια μιας πειραματικής διαδικασίας. Για το σκοπό αυτό, όμως, είναι απαραίτητο να εργαστούν σε προβλήματα και δραστηριότητες, οι οποίες να παρουσιάζονται με πιο «ανοικτό» τρόπο απ' ό,τι συνήθως.

Δεδομένου ότι η επιστήμη περικλείει αμφισβητήσεις και αξιολόγηση εναλλακτικών προτάσεων, τα παιδιά θα έπρεπε να εμπλέκονται σε δραστηριότητες που να τα βοηθάει να

αποκτούν και τέτοιου είδους δεξιότητες. Οι συγγραφείς θεωρούν ότι η παραδοσιακή ενασχόληση με το εργαστήριο στο σχολείο αποτυγχάνει σε αυτό το στόχο, επειδή το παιδί ακολουθεί προδιαγεγραμμένες ρουτίνες, αλγόριθμους στην ουσία, στο πλαίσιο των οποίων δεν μπορούν να προωθηθούν επιστημολογικές ή μεθοδολογικές συζητήσεις. Για το λόγο αυτό, προτείνουν να ανατίθενται εργασίες, σε μικρές ομάδες μαθητών/ριων, η επιτυχής ολοκλήρωση των οποίων να προϋποθέτει τη λήψη αποφάσεων πάνω σε μεθοδολογικά ζητήματα, έτσι ώστε παράλληλα να αναπτύσσεται και η ικανότητα επιχειρηματολογίας, από την πλευρά των εμπλεκόμενων μαθητών/ριων (Reigosa, Jiménez-Alexandre, 2001).

Για την επίτευξη αυτών των στόχων, τέτοιες δραστηριότητες θα έπρεπε απαραίτητα να συμπεριλαμβάνουν:

- Ακριβή ορισμό του προς επίλυση προβλήματος και παράθεση πιθανών εναλλακτικών λύσεων.
- Προβληματισμό για τις αποδείξεις που μπορούν να συγκεντρωθούν για να υποστηρίξουν τις ποικίλες πιθανές λύσεις, κάτι το οποίο απαιτεί συλλογικό σχεδιασμό για την απόκτηση δεδομένων από παρατηρήσεις.
- Δικαιολόγηση και αξιολόγηση των επιχειρημάτων που απαιτούνται για να υποστηρίξουν μία δεδομένη λύση.
- Το σχεδιασμό μεθόδων, κατασκευή εννοιών και κριτηρίων, και την αποδοχή συγκεκριμένων τρόπων επίλυσης του προβλήματος, με ταυτόχρονες επιστημολογικές δεσμεύσεις, απαραίτητες για την κατασκευή των αποδείξεων από τις παρατηρήσεις.

Μία έρευνα που διενήργησαν οι συγγραφείς, όπου μαθητές/ριες ενός γυμνασίου της Ισπανίας προσπαθούσαν να διευκρινίσουν τι είδους κίνηση (ομαλή, ομαλά επιταχυνόμενη ή κάποια άλλη μορφή) εκτελεί μία μπάλα που κυλιέται σε κεκλιμένο επίπεδο, αποφασίζοντας οι ίδιοι/ες ποια βήματα θα ακολουθούσαν για την επίλυση του προβλήματος, έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά τους επιδιωκόμενους στόχους (Reigosa, Jiménez-Alexandre, 2001).

Οι **Lin, Hung και Hung** δημιούργησαν δύο εκπαιδευτικά πακέτα, πλούσια σε ιστορικό υλικό. Και στα δύο πακέτα δινόταν έμφαση στην ανάπτυξη μιας επιστημονικής έννοιας ή θεωρίας. Οι λεπτομέρειες τού πώς κάποιοι επιστήμονες συζήτησαν, λογομάχησαν και έκαναν υποθέσεις, καθώς και το πώς σχεδιάσαν και εκτέλεσαν τα πειράματά τους, εξηγήθηκαν στους/ις μαθητές/ριες. Επιπρόσθετα, επιδείξεις πειραμάτων, ανάλογων με αντίστοιχα που έγιναν από παλιούς επιστήμονες έγιναν μπροστά στα παιδιά, όποτε αυτό κρινόταν απαραίτητο και εφικτό. Σε συνδιασμό με την περιγραφή των ιστορικών γεγονότων, έγιναν διάφορες επιδείξεις στους μαθητές, προκειμένου να δουν και να νιώσουν πώς ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση. Επίσης, μέσω της ιστορικής αναδρομής, τα παιδιά γνώρισαν τη θεωρία για το ατομικό βάρος (Lin, Hung, Hung, 2002).

Η έρευνα απέδειξε ότι η ιστορία της επιστήμης μπορεί να ενισχύσει την ικανότητα των μαθητών/ριων να επιλύουν προβλήματα. Παράλληλα, όμως, διαπιστώθηκε ότι μία μικρή περίοδος της διδακτικής παρέμβασης, πιθανόν να μην είναι αρκετή και αποτελεσματική για τη βελτίωση των επιδόσεων των παιδιών στη Φυσική (Lin, Hung, Hung, 2002).

Οι **Galili και Hazan** δημιούργησαν ένα ειδικά προετοιμασμένο εγχειρίδιο για την οπτική, που αποτέλεσε την κύρια πηγή αναφοράς για τους/ις διδάσκοντες/ουσες και τους/ις μαθητές/ριες, σε μία έρευνα που διήρκεσε ένα χρόνο. Το χαρακτηριστικό του ήταν ότι το παιδί ερχόταν σε επαφή με την ιστορική ανάπτυξη της κατανόησης της όρασης, σε συνδιασμό με συζητήσεις για τη φύση και τη συμπεριφορά του φωτός. Στο περιεχόμενο του εγχειριδίου συμπεριλαμβάνονταν αρχαίες αραβικές, μεσαιωνικές αραβικές και πρώιμες σύγχρονες θεωρίες για την όραση, τη φύση του φωτός, τις φωτεινές ακτίνες, τη σκιά, φακούς και κάτοπτρα και την ταχύτητα του φωτός (Galili, Hazan, 2000).

Τα πλεονεκτήματα της πειραματικής διδασκαλίας ήταν φανέρα από κάθε άποψη, όπως φάνηκε στην αξιολόγηση. Όχι μόνο οι εναλλακτικές ιδέες των παιδιών διατηρήθηκαν λιγότερο στην πειραματική ομάδα, απ' ό,τι στην ομάδα ελέγχου (που ακολούθησε την παραδοσιακή διδασκαλία), αλλά και η ποιότητα της καινούριας γνώσης ήταν μεγαλύτερη στην πειραματική ομάδα. Αυτό το αποτέλεσμα εξηγήθηκε από τους ερευνητές ως συνέπεια του ότι οι μαθητές που εκτέθηκαν στις νέες ιδέες στο πλαίσιο της ιστορικής τους εξέλιξης, εξοικειώθηκαν με μία πιο επιστημονική αντιμετώπιση του θέματος, καθώς αυτό αναπτυσσόταν σε στάδια (Galili, Hazan, 2000). Όπως ανέφερε ένας από τους καθηγητές:

«Μιλώντας για επιστήμονες του παρελθόντος, οι μαθητές μπορούσαν να ελέγξουν τις δικές τους ιδέες για το θέμα, καθώς μοιράζονταν τις ίδιες δυσκολίες κατανόησης, με αυτές που υπήρχαν και στο παρελθόν. Σε μία συνηθισμένη τάξη, δεν υπάρχουν οι ευκαιρίες να χειριστείς επιστημονικά θέματα με τέτοιο τρόπο.».

Ο *Abd-El-Khalick* δημιούργησε ένα από τα πιο ενδιαφέροντα εκπαιδευτικά υλικά για τη διδακτική της Φυσικής, με τη βοήθεια της ιστορίας της επιστήμης και της επιστημολογίας. Κατά τη γνώμη του, η διδασκαλία της φύσης της επιστήμης είναι απαραίτητη και θεμελιώδης ως εκπαιδευτικός στόχος, ο οποίος επιτυγχάνεται πιο εύκολα και πιο αποτελεσματικά όταν αυτή ενσωματώνεται μέσα στη συνηθισμένη διδασκαλία του επιστημονικού περιεχομένου. Η τακτική αυτή, αφενός βοηθάει τους/ις μαθητές/ριες να κατανοήσουν καλύτερα τη φύση της επιστήμης, ενώ από την άλλη αντιμετωπίζει τα προβλήματα επάρκειας χρόνου που θα δημιουργούνταν, αν το συγκεκριμένο αντικείμενο εισαγόταν ανεξάρτητα στο αναλυτικό πρόγραμμα (*Abd-El-Khalick*, 2002).

Το υλικό είναι φτιαγμένο έτσι, ώστε να λαμβάνει υπόψη του όλες τις πλευρές της έννοιας «φύση της επιστήμης». Οι πλευρές και τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- Η παρατηρησιακή και συμπερασματική φύση της επιστημονικής γνώσης.
- Η διαφοροποίηση μεταξύ παρατήρησης και υπόθεσης.
- Τα χαρακτηριστικά των επιστημονικών μοντέλων.
- Ο ρόλος της δημιουργικότητας και της φαντασίας στη δημιουργία τέτοιων μοντέλων.

(*Abd-El-Khalick*, 2002).

Το κεφάλαιο που επιλέχτηκε είναι αυτό της δομής του ατόμου και το χρησιμοποιούμενο ιστορικό παράδειγμα, το πείραμα με το οποίο ο Rutherford κατέληξε στο γνωστό μοντέλο του ατόμου, όπου ο θετικά φορτισμένος πυρήνας καταλαμβάνει το κέντρο, ενώ τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω του και σε πολύ μεγάλη απόσταση από αυτόν. Το συγκεκριμένο παράδειγμα, βοηθάει ιδιαίτερα στην αλλαγή της λαθεμένης ιδέας που έχουν πολλά παιδιά (αλλά και ενήλικες), ότι οι επιστήμονες μαθαίνουν για τον τρόπο με τον οποίο είναι φτιαγμένο το άτομο (και πιθανά και άλλες οντότητες της φύσης), κοιτάζοντας μέσα από πολύ ισχυρά μικροσκόπια (*Abd-El-Khalick*, 2002).

Η μετατροπή του αυθεντικού πειράματος του Rutherford (στο οποίο πυρήνες ηλίου χτυπούσαν σε στόχο που αποτελούνταν από φύλλα χρυσού, και μετρούνταν η απόκλιση των πυρήνων του ηλίου από την ευθύγραμμη πορεία τους) σε μία πειραματική διαδικασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στην τάξη, έγινε με τον ακόλουθο τρόπο: μέσα σε ένα κλειστό, αδιαφανές, ορθογώνιο κουτί, στερεώθηκε μία διάταξη από ακλόνητα σφαιρίδια, σε καθορισμένες θέσεις. Στις δύο πλευρές του κουτιού τοποθετήθηκαν πλέγματα. Ένας εκτοξευτήρας για μπάλες του πικ – πογκ τοποθετήθηκε μπροστά από το ένα πλέγμα, ενώ από την άλλη πλευρά του κουτιού τοποθετήθηκε ένα πέτασμα. Έτσι, οι μπάλες του πικ – πογκ, μπορούσαν να διέλθουν από το πλέγμα, αλλά πόσες και ποιες θα έφταναν στο πέτασμα εξαρτώνταν από το αν θα χτυπούσαν ή όχι τα ακλόνητα σφαιρίδια. Από τους/ις μαθητές/ριες ζητήθηκε, αφού πραγματοποιήθηκε το πείραμα, να σχεδιάσουν ένα πλέγμα, το οποίο θα έδειχνε ποιες μπάλες πέρασαν και από ποιο σημείο του πλέγματος και ποιες όχι. Ένα παράδειγμα τέτοιου πλέγματος φαίνεται παρακάτω:

	A	B	Γ	Δ	E	Z
1	O	O	O	O	O	O
2	O	O	X	O	O	O
3	O	X	X	X	O	O
4	O	O	X	X	X	O
5	O	O	O	O	X	O
6	O	O	O	O	O	O

Στη συνέχεια οι μαθητές/ριες χωρίστηκαν σε ομάδες, από τις οποίες ζητήθηκε να σχεδιάσουν τι είδους διάταξη υπήρχε μέσα στο κουτί (το εσωτερικό του οποίου δεν μπορούσαν να δούν σε καμία φάση της διδασκαλίας), βασιζόμενοι/ες στα δεδομένα που είχαν συλλέξει (Abd-El-Khalick, 2002).

Είναι προφανείς οι ομοιότητες του σχολικού αυτού πειράματος με το πραγματικό πείραμα του Rutherford. Το σημαντικό όμως είναι, ότι μέσω της δραστηριότητας αυτής, επιτυγχάνονται ταυτόχρονα ποικίλοι διδακτικοί στόχοι. Καταρχάς, τα παιδιά μαθαίνουν για την ατομική δομή και το μοντέλο του Rutherford, που είναι και το τυπικό περιεχόμενο του μαθήματος. Επιπρόσθετα, όμως, αυξάνεται το ενδιαφέρον τους καθώς συμμετέχουν οι ίδιοι σε μία ερευνητική διαδικασία και ψάχνουν να βρουν τι μορφή έχει μία διάταξη, την

οποία δεν μπορούν να δουν. Αντιλαμβάνονται, έτσι, τη σημασία που έχει η φαντασία και η δημιουργικότητα κατά τη διατύπωση μιας επιστημονικής θεωρίας. Ταυτόχρονα, όμως, διαπιστώνουν ότι οι υποθέσεις τους δεν είναι τυχαίες, αφού βασίζονται σε συγκεκριμένα πειραματικά δεδομένα, οπότε τα μοντέλα που μπορούν να δημιουργηθούν δεν είναι όλα εξίσου κατάλληλα και πρέπει να υπακούουν σε κάποιους κανόνες. Εξάλλου, η εφαρμογή έχει δείξει, ότι τα μοντέλα που φτιάχνουν οι ομάδες των παιδιών, δεν είναι ίδια μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει τη σχετικότητα των προτεινόμενων επιστημονικών μοντέλων και το ότι αυτά δεν αποτελούν ακριβείς εικόνες της πραγματικότητας, οπότε φανερώνει στα παιδιά πτυχές της φύσης της επιστήμης, που δύσκολα θα μπορούσαν να κατανοήσουν μέσα από μία πιο συμβατική διδασκαλία. Τα αποτελέσματα της έρευνας του Abd-El-Khalick αποδεικνύουν ότι οι προηγούμενες παρατηρήσεις είναι βάσιμες, καθώς υποστηρίζονται από τα στατιστικά δεδομένα της έρευνας (Abd-El-Khalick, 2002).

Ο **S. Blatt**, το 1975, χρησιμοποιεί μία διαφορετική τακτική για να προκαλέσει το ενδιαφέρον των μαθητών του, προκειμένου αυτοί να κατανοήσουν βασικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθόδου. Θεωρεί ότι η ιστορία της έρευνας για την εξωαισθητηριακή αντίληψη (φαινόμενα ESP – τηλεπάθεια, τηλεκίνηση, πρόβλεψη μέλλοντος κ.α.) είναι ιδανική, προκειμένου να χρησιμεύσει ως αντι-παράδειγμα μη επιστημονικών μεθόδων, διατηρώντας παράλληλα το ενδιαφέρον των μαθητών σε υψηλά επίπεδα (Blatt, 1975). Η μελέτη, δηλαδή, των παραδοχών και των μεθόδων ενός μη επιστημονικού κλάδου, μπορεί να προσφέρει, μέσω της αντιπαράθεσης των διαφορετικών μεθόδων, μία καινούρια προοπτική στην κατανόηση των τρόπων που χρησιμοποιεί για την ανάπτυξή της η Φυσική (Blatt, 1975).

Η παρέμβαση στηρίζεται στην παρουσίαση στους/ις μαθητές/ριες «παιχνιδιών» με κάρτες, που αναδεικνύουν υποτίθεται φαινόμενα πρόβλεψης μέλλοντος, τηλεπάθειας και τηλεκίνησης. Αναφέρονται τρεις τέτοιες δραστηριότητες που επιδεικνύονται στην τάξη. Μετά το πέρας καθεμιάς από αυτές, ο διδάσκων εξηγεί στα παιδιά τον τρόπο με τον οποίο πέτυχε τα υποτιθέμενα εξω-αισθητηριακά αποτελέσματα, επικεντρώνοντας έτσι την προσοχή τους στη μη επιστημονικότητα των μεθόδων που ακολουθήθηκαν (Blatt, 1975).

Ο **Mark Lattery**, τέλος, εκμεταλλεύεται ιστορικά παραδείγματα νοητικών πειραμάτων για να δημιουργήσει διδακτικό υλικό, που απευθύνεται σε προπτυχιακούς φοιτητές/ριες. Κατά τη γνώμη του, τα νοητικά πειράματα έχουν παίξει βασικό ρόλο στην επιστημονική

επιχειρηματολογία, ωστόσο, δε χρησιμοποιούνται συνήθως σε μαθησιακές διαδικασίες. Ο ίδιος, παρουσιάζει ένα νοητικό πείραμα του Γαλιλαίου, σχετιζόμενο με το νόμο των χορδών. Στην παρουσίαση περιλαμβάνονται τόσο μοντέρνες, όσο και σύγχρονες του Γαλιλαίου όψεις του προβλήματος, ενώ κατόπιν ζητείται από τους φοιτητές να εξετάσουν κάποιες πλευρές του φαινομένου στο εργαστήριο, χρησιμοποιώντας δικά τους νοητικά πειράματα, αλλά και τεχνολογικά σύγχρονο υλικό. Τα μαθησιακά αποτελέσματα υπήρξαν θετικά, τόσο όσον αφορά το επιστημονικό περιεχόμενο, όσο και για τη μεθοδολογία της επιστήμης, και κατά τη γνώμη του συγγραφέα η συγκεκριμένη παρέμβαση μπορεί να τροποποιηθεί και για μαθητές/ριες της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Lattery, 2001).

1.5 Θεωρητικό υπόβαθρο

Κάθε υλικό που αναπτύσσεται για τη διδασκαλία, βασίζεται αναγκαστικά σε κάποια θεωρία για τη μάθηση, οπότε είναι φτιαγμένο κατά τρόπο που να ικανοποιεί τους περιορισμούς που θέτει η θεωρία αυτή. Θα δώσουμε αμέσως τα βασικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου, βάσει του οποίου θα προταθεί στη συνέχεια το διδακτικό υλικό.

Η βασική αρχή της διδασκαλίας που προτείνεται είναι ότι ο/η μαθητής/ρια πρέπει να είναι ενεργητικός/ή δημιουργός της γνώσης, κι όχι παθητικός/ή αποδέκτης της. Το παιδί πρέπει να συμμετέχει και να δραστηριοποιείται έντονα κατά την εκπαιδευτική διαδικασία, ενώ η τελευταία οφείλει να αναφέρεται στα ενδιαφέροντα του και να προσδίδει κατάλληλα κίνητρα, προκειμένου να αυξηθεί η προσοχή και η συγκέντρωση των υποκειμένων της μάθησης (Driver et. al., 1994 – Monk, Osborne, 1997 – Staver, 1998).

Η συνεργατικότητα, από την άλλη μεριά, είναι μία ιδέα σχετικά καινούρια στη διδακτική, η οποία όμως έχει τεκμηριωθεί επαρκώς τα τελευταία χρόνια. Τα παιδιά πρέπει να δουλεύουν σε μικρές κλειστές ομάδες των τριών ή τεσσάρων ατόμων, κατάλληλα διαμορφωμένες, για να προωθείται καλύτερα η γνώση. Τότε, η επίδοση και η παραγωγικότητα αυξάνονται σε σχέση με ανταγωνιστικές ή ατομικές προσπάθειες (Johnson & Johnson, 1995), επιτυγχάνονται καλύτερες διαπροσωπικές σχέσεις και αυξημένη κοινωνική υποστήριξη μεταξύ των μαθητών/ριών (Johnson & Johnson, 1995), ενώ βελτιώνεται η αυτό-εκτίμηση των παιδιών και η ψυχολογική τους υγεία (Johnson & Johnson, 1995). Επίσης, αναφέρονται οφέλη στις μεταγνωστικές δεξιότητες των παιδιών

και την εμπέδωση των πληροφοριών που λαμβάνουν, ακόμα και μετά από αξιόλογο χρόνο από τη διδασκαλία (Fleming & Alexander, 2001).

Τα όρια και οι προϋποθέσεις της συνεργατικής μεθόδου έχουν εντοπιστεί και αναλυθεί από διάφορους ερευνητές, (Hertz-Lazarowitz, 1995 - O'Donnell & Dansereau, 1995) καταλήγοντας σε διάφορα συμπεράσματα, κυριότερο ίσως των οποίων είναι, ότι η ακολουθούμενη μέσα στην τάξη διαδικασία θα πρέπει να έχει αναλυθεί και σχεδιαστεί πολύ προσεκτικά από τον/την διδάσκοντα/ούσα, βάσει πιθανώς ενός συγκεκριμένου σεναρίου διδασκαλίας. Οι έρευνες, εξάλλου, δείχνουν ότι τα πλεονεκτήματα της ομαδοσυνεργατικής μεθόδου απηχούν σε ποικίλα αντικείμενα, όπως η γραφή (Yarrow & Topping, 2001 – Nixon & Topping, 2001), η κατανόηση κειμένου (O'Donnell & Dansereau, 1995), η Φυσική (Σολομωνίδου & Κολοκοτρώνης, 2002 – Hennesy et al, 1995). Η αξία της μεθόδου αποδίδεται στο ότι τα παιδιά αναγκάζονται να επικοινωνήσουν με τους/ις συμμαθητές/ριες τους, και άρα να επεξηγήσουν κάποιες έννοιες, να υπερασπίσουν τις απόψεις τους, να υπεισέλθουν σε λεπτομέρειες, να αξιολογήσουν τις ιδέες τους και τελικά να συμφωνήσουν με τους/ις συμμαθητές/ριες τους (Staver, 1998).

Τέλος, αυτές οι θεωρίες δίνουν πολύ μεγάλη έμφαση στις λεγόμενες αρχικές αντιλήψεις ή εναλλακτικές ιδέες που τα παιδιά κουβαλούν μαζί τους κατά τη διδασκαλία (Galili, Hazan, 2001). Έχουν ήδη γίνει πολλές έρευνες προκειμένου να καταγραφούν και να κατανοηθούν αυτές οι αντιλήψεις (Monk, Osborne, 1997). Φαίνεται ότι οι ποικίλες εμπειρίες των παιδιών, όπως προσωπικές παρατηρήσεις, οι πολιτισμικές τους καταβολές, η γλώσσα, ο επηρεασμός από το οικογενειακό και φιλικό περιβάλλον, έχουν ως αποτέλεσμα να έχουν οι μαθητές/ριες δικές τους απόψεις για τα επιστημονικά θέματα που διδάσκονται στο σχολείο (Staver, 1998). Οι απόψεις αυτές, συνδυασμένες με τη διδασκαλία, οδηγούν σε εννοιολογικά σχήματα που απέχουν συνήθως αρκετά από το αποδεκτό επιστημονικό πρότυπο. Έτσι, ένα ζητούμενο της διδασκαλίας είναι να οδηγηθούν τα παιδιά σε μία γνωστική σύγκρουση, μέσω κατάλληλα σχεδιασμένων δραστηριοτήτων, έτσι ώστε να μπορέσει να επέλθει η προσδοκώμενη εννοιολογική αλλαγή (Staver, 1998), και να αποδεχθούν οι μαθητές/ριες ομαλά και ενεργητικά το επιστημονικό μοντέλο.

2. Φυλλάδια Εργασίας

1^ο Φυλλάδιο Εργασίας

Σύγκριση επιστημονικών και μη επιστημονικών μεθόδων

ΣΤΟΧΟΙ:

Οι διδακτικοί στόχοι της ενότητας αυτής είναι, οι μαθητές/ριες:

- να γνωρίσουν κάποιες από τις βασικές αρχές της επιστημονικής μεθοδολογίας, όπως η ανάγκη για πειραματικό έλεγχο, η εξαγωγή συμπερασμάτων να είναι βασισμένη σε παρατηρήσεις και πειράματα, η ακρίβεια των παρατηρήσεων αυτών κ.α.
- να διαπιστώσουν ότι συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας του κόσμου που μας περιβάλλει, τα οποία προκύπτουν από μία τέτοια μεθοδολογία, έχουν κύρος και αξιοπιστία, σε αντιδιαστολή με πορίσματα αντι-επιστημονικών τρόπων εργασίας.
- να έχουν την ευκαιρία να συγκρίνουν άμεσα δύο διαφορετικούς τρόπους εξαγωγής συμπερασμάτων, έναν επιστημονικό και έναν μη επιστημονικό.
- να διαπιστώσουν ότι η αστρολογία δε στηρίζεται σε επιστημονικούς τρόπους σκέψης και έρευνας.

1^ο Φυλλάδιο Εργασίας

Σύγκριση επιστημονικών και μη επιστημονικών μεθόδων

Όνοματεπώνυμο:

Τάξη:

Τμήμα:

Ομάδα:

Ημερομηνία:/...../2006

ΑΤΟΜΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

1. Τι γνωρίζεις για τις μεθόδους και τον τρόπο εργασίας που ακολουθούν οι επιστήμονες προκειμένου να καταλήξουν σε συμπεράσματα για το πώς λειτουργεί η φύση;

.....
.....
.....
.....

2. Γιατί κατά τη γνώμη σου τα πορίσματα των επιστημονικών ερευνών χαίρουν τόσο μεγάλης εκτίμησης στις σύγχρονες κοινωνίες, και γίνονται αποδεκτά από το σύνολο του κόσμου;

.....
.....
.....
.....

3. Γνωρίζεις τι είναι και τι υποστηρίζει ότι κάνει η αστρολογία; Αν ναι, θα την χαρακτηρίζες επιστήμη όπως τη Φυσική ή τη Χημεία; Προσπάθησε να αιτιολογήσεις την απάντησή σου.

.....
.....
.....
.....
.....

ΟΜΑΔΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

4. Το παρακάτω κείμενο προέρχεται από έναν οδηγό για την αστρολογία και αναφέρεται σε ένα από τα χαρακτηριστικά της, το οποίο οι αστρολόγοι θεωρούν ιδιαίτερα σημαντικό για τη σύνταξη ενός ωροσκοπίου, τις γωνιακές αποστάσεις μεταξύ των πλανητών. Διάβασε το κείμενο, και μετά σε συνεργασία με τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας σου, προσπάθησε να απαντήσεις στις ερωτήσεις που θα ακολουθήσουν:

Από τις γωνιακές αποστάσεις ή όψεις μεταξύ των πλανητών, η σημαντικότερη είναι η σύννοδος, η οποία άλλοτε δίνει χαρίσματα και άλλοτε δημιουργεί συγκρούσεις, αναλόγως με τη φύση των πλανητών που συμμετέχουν στην όψη. Το εξάγωνο και το τρίγωνο είναι αρμονικές όψεις μεταξύ των πλανητών και η ύπαρξή τους δηλώνει τα ταλέντα που έχουμε, τα προτερήματά μας, τις δυνατότητές – γενικότερα – πάνω στις οποίες μπορούμε να βασιστούμε.

Το τετράγωνο και η αντίθεση είναι όψεις που δηλώνουν τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουμε, τις ανασφάλειές μας, τα σημεία απ' όπου προέρχονται οι συγκρούσεις. Σημεία τα οποία μας αναγκάζουν να ξεβολευτούμε και να αποφασίσουμε να δραστηριοποιηθούμε, προκειμένου να βελτιώσουμε τη ζωή μας. Είναι, λοιπόν, κατανοητό ότι ουσιαστικά δεν υπάρχουν δυσαρμονικές και αρμονικές όψεις, όπως συνήθως αναφέρονται, αλλά όψεις που δηλώνουν τη δική μας δύναμη ή αδυναμία χαρακτήρα και αντιμετώπισης των γεγονότων. [...]

Ο Ήλιος, η Σελήνη, ο Ερμής, η Αφροδίτη και ο Άρης ονομάζονται προσωπικοί πλανήτες. Ο Δίας και ο Κρόνος είναι οι πλανήτες ηθικής και οι εξωκρόνιοι πλανήτες αναφέρονται και ως πλανήτες γενιάς, επειδή χρειάζονται μεγάλο χρονικό διάστημα για να περάσουν από ένα ζώδιο, με αποτέλεσμα να σηματοδοτούν ολόκληρες γενιές. Επειδή οι προσωπικοί πλανήτες κινούνται γρήγορα όταν, κατά τη διέλευσή τους, σχηματίζουν μία όψη, δεν παραμένουν πολύ στην ίδια θέση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μη γίνονται η αφορμή για πολύ σημαντικά γεγονότα.

«Το μεγάλο λεξικό των ζωδίων», 1991.

5. Με ποιον τρόπο πιστεύετε ότι συνδέονται μεταξύ τους, οι σχέσεις μεταξύ των πλανητών που παρουσιάζονται στο παραπάνω απόσπασμα (σύννοδος, εξάγωνο,

τρίγωνο κ.τ.λ.), με τα ανθρώπινα χαρακτηριστικά που υπονοείται ότι επηρεάζουν (ταλέντα, ανασφάλειες, συγκρούσεις κ.τ.λ.);

6. Θεωρείτε ότι υπάρχει σαφής και επαρκής τεκμηρίωση των συμπερασμάτων που εμπεριέχονται στο απόσπασμα;
7. Ποιες μεθόδους πιστεύετε ότι ακολούθησαν οι αστρολόγοι, προκειμένου να καταλήξουν στα συμπεράσματα αυτά;

ΟΜΑΔΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

8. Διάβασε τα δύο παρακάτω κείμενα, και κατόπιν, προσπάθησε σε συνεργασία με τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας σου, να απαντήσεις στις επόμενες ερωτήσεις. Το πρώτο απόσπασμα αναφέρεται στην ανακάλυψη από το Γαλιλαίο τεσσάρων δορυφόρων του Δία. Το δεύτερο, στις πρώτες ενδείξεις για την ανακάλυψη από τη Μαρία Κιουρί ενός νέου χημικού στοιχείου, του ραδίου.

«Παραμένει το ζήτημα που κατά τη γνώμη μου θα πρέπει να θεωρείται το πιο σημαντικό στο έργο αυτό, δηλαδή να αποκαλύψω και να ανακοινώσω στον κόσμο το γεγονός ότι ανακάλυψα και παρατήρησα τέσσερις ΠΛΑΝΗΤΕΣ, τους οποίους δεν είχε δει ποτέ κανείς από την αρχή του κόσμου μέχρι σήμερα, τις θέσεις τους, καθώς και τις παρατηρήσεις που έκανα τους δύο τελευταίους μήνες σχετικά με τις κινήσεις τους και τις μεταβολές στο μέγεθός τους. Και καλώ όλους τους αστρονόμους να επιδοθούν στην εξέταση και στον προσδιορισμό των χρόνων περιφοράς τους, πράγμα που δε μου δόθηκε η ευκαιρία να κάνω μέχρι σήμερα, λόγω του περιορισμένου χρόνου που είχα στη διάθεσή μου. Πάντως, τους προειδοποιώ και πάλι, για να μην καταπιαστούν άδικα με μια τέτοια έρευνα, ότι θα χρειαστούν τηλεσκόπιο μεγάλης ακρίβειας, σαν αυτό που περιέγραψα στην αρχή της αφήγησής μου.»

Γαλιλαίος, «Αγγελιοφόρος των άστρων», 1610.

«Κατά την έρευνά μου, είχα την ευκαιρία να μελετήσω όχι μόνο απλές ενώσεις, άλατα και οξείδια, αλλά και μεγάλο αριθμό ορυκτών. Ορισμένα αποδείχτηκαν ραδιενεργά. Είναι εκείνα που περιέχουν ουράνιο και θόριο. Η ραδιενέργειά τους, όμως, φαινόταν

αφύσικη, διότι ήταν πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που ανέμενα με βάση την ποσότητα που είχα διαπιστώσει στο ουράνιο και στο θόριο.

Αυτή η ανωμαλία ήταν μεγάλη έκπληξη για μας. Αφού βεβαιώθηκα ότι δεν επρόκειτο για πειραματικό σφάλμα, κατέστη αναγκαίο να βρεθεί μία εξήγηση. Έκανα τότε την υπόθεση ότι τα μεταλλεύματα του ουρανίου και του θορίου περιέχουν σε μικρή ποσότητα μια ουσία πολύ πιο ραδιενεργή από τα δύο αυτά στοιχεία. Η ουσία αυτή δεν μπορούσε να είναι κάποιο από τα γνωστά στοιχεία, καθώς αυτά είχαν ήδη μελετηθεί. Έπρεπε επομένως να είναι ένα νέο χημικό στοιχείο.»

Μαρία Κιουρί, «Πιέρ Κιουρί», 1923.

9. Κατά τη γνώμη σας, υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δύο πιο πάνω αποσπασμάτων και του κειμένου της δραστηριότητας 4; Συζητήστε το στην ομάδα σας. Λάβετε υπόψη σας το ύφος των κειμένων, τον τρόπο τεκμηρίωσης των λεγομένων, τον τρόπο εργασίας κ.α.

10. Σημειώστε παρακάτω κάποιες λέξεις ή εκφράσεις που θεωρείτε ότι χαρακτηρίζουν περισσότερο τα κείμενα της δραστηριότητας 8. Αιτιολογήστε κατόπιν την επιλογή σας αυτή.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Αιτιολόγηση:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΤΑΞΗ

11. Ανακοινώστε τα συμπεράσματα που βγάλατε από τις ερωτήσεις 5, 6, 7, 9 και 10 στην τάξη. Συζητήστε με τους/ις συμμαθητές/ριες σας και με τη βοήθεια του/της καθηγητή/ριας σας τις βασικές διαφορές που νομίζετε ότι υπάρχουν μεταξύ των κειμένων που διαβάσατε.
12. Συζητήστε για το ποια είναι τα βασικά γνωρίσματα μιας μεθοδολογίας έρευνας που μπορεί να χαρακτηριστεί επιστημονική.
13. Η τηλεκίνηση είναι ένα φαινόμενο που πολλοί άνθρωποι θεωρούν ότι είναι υπαρκτό. Συζητήστε αν κατά τη γνώμη σας (και τις γνώσεις σας) ισχύει κάτι τέτοιο και προτείνετε τρόπους με τους οποίους θα μπορούσε να μελετηθεί με επιστημονικό τρόπο ένα τέτοιο φαινόμενο.

2^ο Φυλλάδιο Εργασίας
Δημιουργία μοντέλων για την εύρεση της δομής του ατόμου

ΣΤΟΧΟΙ:

Οι διδακτικοί στόχοι της ενότητας αυτής είναι, οι μαθητές/ριες:

- να γνωρίσουν και να κατανοήσουν το ατομικό μοντέλο του Rutherford,
- να κατανοήσουν την έννοια του «μοντέλου» για την επιστήμη,
- να εξασκηθούν οι ίδιοι/ες στο σχεδιασμό και την εύρεση ενός επιστημονικού μοντέλου, βασισμένοι σε ένα αυθεντικό πείραμα,
- να γνωρίσουν πλευρές της επιστημονικής μεθοδολογίας και να εργαστούν με τέτοιες μεθόδους,
- να συνειδητοποιήσουν ότι οι επιστήμονες δε βλέπουν πάντα αυτό για το οποίο μιλάνε,
- να αντιληφθούν ότι από κοινά δεδομένα μπορεί να προκύψουν διαφορετικά συμπεράσματα,
- να αναγνωρίσουν ότι η έννοια της επιστημονικής αλήθειας μπορεί να είναι σχετική.

2^ο Φυλλάδιο Εργασίας
Δημιουργία μοντέλων για την εύρεση της δομής του ατόμου

Όνοματεπώνυμο:

Τάξη:

Τμήμα:

Ομάδα:

Ημερομηνία:/...../2006

ΑΤΟΜΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

1. Τι γνωρίζεις για τις μικρότερες μονάδες της ύλης, τα άτομα; Πώς είναι δομημένα;

.....

.....

.....

.....

.....

2. Γνωρίζεις πώς κατέληξαν οι επιστήμονες που ασχολήθηκαν με το θέμα, στα συμπεράσματά τους για τη δομή του ατόμου; Οι επιστήμονες έχουν «δει» το άτομο με κάποιον τρόπο;

.....

.....

.....

.....

3. Θεωρείς ότι είναι δυνατό να υπάρχουν διαφορετικές ερμηνείες κάποιων πειραματικών αποτελεσμάτων, ή κάτι τέτοιο δεν μπορεί να συμβαίνει σε επιστημονικά θέματα;

.....

.....

.....

.....

ΟΜΑΔΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

4. ΠΕΙΡΑΜΑ

Θα παρακολουθήσετε την εκτέλεση ενός πειράματος από τον/την καθηγητή/ρια σας. Μπροστά σας υπάρχει μία διάταξη από πολύ μικρά κάτοπτρα (καθρέφτες), τα οποία βρίσκονται μέσα σε ένα ορθογώνιο, παραλληλεπίπεδο, αδιαφανές κουτί. Έτσι, εσείς δεν μπορείτε να δείτε πώς ακριβώς διατάσσονται τα κάτοπτρα μέσα στο κουτί (αραιά, συγκεντρωμένα σε κάποιο σημείο, διάσπαρτα κ.τ.λ.). Ο/Η καθηγητής/ρια σας είναι εφοδιασμένος με μία συσκευή λέιζερ, που μπορεί να εκπέμπει πολύ στενές ακτίνες φωτός και την οποία μπορεί να σταθεροποιεί σε συγκεκριμένα ύψη και πλάτη μπροστά από το κουτί. Προφανώς, οι ακτίνες του φωτός μπορούν είτε να διέλθουν ευθύγραμμα, αν δε συναντήσουν κάποιο κάτοπτρο και να πέσουν πάνω σε ένα πέτασμα (λευκό χαρτόνι) που βρίσκεται από την άλλη πλευρά, είτε να ανακλαστούν σε κάποιον από τους καθρέπτες, οπότε δε θα πέσουν στο πέτασμα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, η συσκευή του λέιζερ θα σαρώσει, όσο είναι δυνατό, την επιφάνεια του κουτιού που βρίσκεται ακριβώς μπροστά της.

Α. Κάντε ένα σχήμα, όπου να απεικονίζεται η πλευρά του κουτιού που βρίσκεται μπροστά από το λέιζερ, και σημειώστε από ποια σημεία πέρασαν ακτίνες και από ποια όχι:

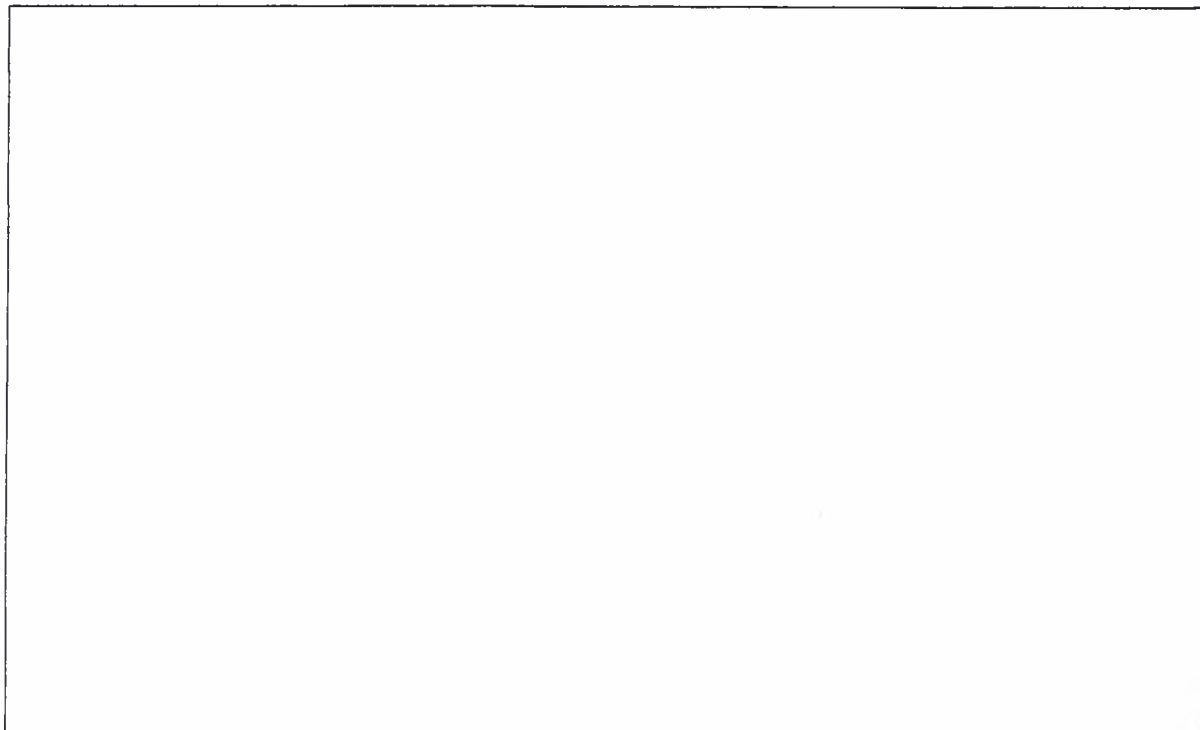
Β. Συζητήστε στην ομάδα σου το πείραμα που μόλις παρακολουθήσατε. Μπορείτε να βγάλετε κάποιο συμπέρασμα για τον τρόπο που είναι διατεταγμένα τα κάτοπτρα μέσα στο κουτί, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που σημειώσατε παραπάνω;

ΑΤΟΜΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

5. Κάνε ένα σχήμα στην επόμενη σελίδα, στο οποίο να δείχνεις ποια κατά τη γνώμη σου είναι η δομή στο εσωτερικό του κουτιού του προηγούμενου πειράματος, δηλαδή πώς διατάσσονται τα κάτοπτρα (μοντέλο). Χρησιμοποίησε τα δεδομένα σου και τα συμπεράσματα της συζήτησης που είχες με τα μέλη της ομάδας σου.

ΟΜΑΔΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

5. Σύγκρινε το σχήμα σου με αυτά των υπόλοιπων μελών της ομάδας σου και κατόπιν φτιάξτε από κοινού, στην επόμενη σελίδα, ένα σχήμα της εσωτερικής δομής του κουτιού του πειράματος.



--- Ανακοίνωση των αποτελεσμάτων της κάθε ομάδας στην τάξη.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΤΑΞΗ

7. Είναι τα σχήματα όλων των ομάδων πανομοιότυπα; Αν όχι, που νομίζεις ότι οφείλονται οι διαφορές, δεδομένου ότι όλες οι ομάδες επεξεργάστηκαν τα ίδια στοιχεία;

ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ

Ανάπτυξη του μοντέλου του Rutherford για τη δομή του ατόμου. Αναφορά στο μοντέλο του Thomson (σταφιδόψωμο). Εξήγηση της έννοιας «επιστημονικό μοντέλο».

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΤΑΞΗ

8. Το εσωτερικό του κουτιού έχει μείνει ακόμα αόρατο για σας. Πιστεύεις ότι κάποιο από τα σχήματα – μοντέλα της δομής του εσωτερικού του είναι το σωστό, και τα υπόλοιπα είναι λανθασμένα; Υπάρχει άλλη περίπτωση και αν ποια;

9. Ποιο είναι, κατά τη γνώμη σας, το βασικό κριτήριο για την επιλογή ενός μοντέλου;
10. Με βάση τις σημερινές εμπειρίες σας, μπορείτε να κατονομάσετε τα βασικά στάδια που ακολουθεί μία επιστημονική, ερευνητική διαδικασία;

2.3 Παρατηρήσεις επί των φυλλαδίων εργασίας

1^ο Φυλλάδιο Εργασίας

Το συγκεκριμένο φυλλάδιο εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα εισαγωγικό ωριαίο μάθημα στη διδασκαλία της Φυσικής της Α' Λυκείου, αν και αφού δεν περιέχει εξειδικευμένες γνώσεις μίας τάξης, μπορεί κάλλιστα να απευθυνθεί και σε μαθητές/ριες άλλων τάξεων του Λυκείου. Αναφερόμαστε σε λυκειακές τάξεις, επειδή είναι χρήσιμο να έχουν τα παιδιά κάποιο γνωστικό υπόβαθρο διδασκαλίας της επιστήμης από τις εμπειρίες τους στη Β' και Γ' Γυμνασίου.

Ο κορμός του υλικού στηρίζεται στην αντιπαράθεση δύο ειδών κειμένων, ενός ψευδοεπιστημονικού και δύο γραμμένων από πολύ γνωστούς φυσικούς, το Γαλιλαίο και τη Μαρία Κιουρί, των οποίων τα ονόματα είναι πιθανότατα γνωστά στους/ις μαθητές/ριες. Όπως έχουμε ήδη δει, μία τέτοια αντιπαράβολή έχει χρησιμοποιηθεί και από άλλους ερευνητές κατά τη διαδικασία ανάπτυξης διδακτικού υλικού. Το κείμενο για την αστρολογία επιλέγεται, επειδή η τελευταία είναι – δυστυχώς – πολύ γνωστή στα παιδιά μέσα από την τηλεόραση, τα περιοδικά και γενικότερα τα μέσα μαζικής επικοινωνίας. Αποτελεί λοιπόν και ευκαιρία για το/η διδάσκοντα/ουσα, παράλληλα με την παρουσίαση του επιστημονικού τρόπου σκέψης, να προβληθεί η αντι-επιστημονικότητα των μεθόδων της αστρολογίας. Βασικός στόχος πάντως παραμένει να γνωρίσουν τα παιδιά κάποιες βασικές αρχές της επιστημονικής μεθοδολογίας και εργασίας, όπως είναι η ανάγκη για πειραματισμό, οι ακριβείς και προσεκτικές παρατηρήσεις, η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων κ.α.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι τρεις πρώτες δραστηριότητες διερευνούν τις αρχικές αντιλήψεις των παιδιών για τα θέματα αυτά, έτσι ώστε να τις διατυπώσουν τα ίδια με σαφήνεια και να επέλθει αργότερα, κατά την εξέλιξη της διδασκαλίας η επιζητούμενη γνωστική σύγκρουση. Ακολουθούν οι δραστηριότητες 4 μέχρι 10, που όπως είπαμε αποτελούν το βασικό άξονα του φυλλαδίου και δίνουν έμφαση στις διαφορές μεταξύ του πρώτου αποσπάσματος και των δύο επόμενων, προκειμένου να γίνει φανερός στα παιδιά ο επιστημονικός τρόπος σκέψης, και οι περιορισμοί στην έρευνα και τη διατύπωση συμπερασμάτων που αυτός επιβάλλει.

Οι τρεις τελευταίες δραστηριότητες έχουν ως στόχο την εμπέδωση και διασαφήνιση όλων των παραπάνω, καθώς και τη δυνατότητα μεταφορά της αποκτηθείσας γνώσης σε άλλες περιοχές.

2^ο Φυλλάδιο Εργασίας

Το δεύτερο φυλλάδιο εργασίας απευθύνεται σε μαθητές/ριες της Γ' Λυκείου, καθώς στην τάξη αυτή διδάσκεται η ατομική και πυρηνική Φυσική και η δομή του πυρήνα και αναφέρεται το πείραμα του Rutherford.

Η ιδέα για το περιεχόμενο αυτού του φυλλαδίου εργασίας προέρχεται από το άρθρο του Abd-El-Khalick, το οποίο αναφέρθηκε παραπάνω (Abd-El-Khalick, 2002). Κεντρικό ρόλο στο υλικό παίζει το πείραμα του Rutherford, κατά το οποίο πυρήνες ηλίου χτυπούσαν σε στόχο από φύλλα χρυσού, και με βάση τις αποκλίσεις από την ευθύγραμμη πορεία, ο Rutherford κατάφερε να προτείνει ένα μοντέλο για το άτομο, το οποίο χονδρικά έχει επιζήσει μέχρι τις ημέρες μας. Φυσικά, το συγκεκριμένο πείραμα έχει τροποποιηθεί κατά τέτοιο τρόπο, (ο οποίος περιγράφεται αναλυτικά στο φυλλάδιο εργασίας), ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στην τάξη. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει αυτός ο τρόπος διδασκαλίας είναι πολλαπλά:

- Χρησιμοποιείται ένα αυθεντικό παράδειγμα από την ιστορία της Φυσικής, με όλα τα συνεπαγόμενα οφέλη που αναφέρθηκαν στην αντίστοιχη παράγραφο.
- Κεντρικό σημείο της διδασκαλίας καταλαμβάνει ένα πείραμα που μπορούν να κατανοήσουν εύκολα και στο οποίο συμμετέχουν ενεργά τα παιδιά, έτσι ώστε να κεντριστεί το ενδιαφέρον τους, ειδικά μάλιστα αφού ψάχνουν να βρουν και να αποδώσουν σχηματικά κάτι, που δεν είναι σε θέση να δουν.
- Το παράδειγμα είναι ιδανικό για να γνωρίσουν οι μαθητές/ριες πραγματικούς τρόπους με τους οποίους λειτουργεί η επιστήμη, να αντιληφθούν ότι οι φράσεις «επιστημονική γνώση» και «επιστημονική» αλήθεια πολλές φορές έχουν σχετική έννοια, και να συνειδητοποιήσουν ότι οι επιστήμονες δε βλέπουν πάντα αυτό για το οποίο μιλάνε.
- Η διδασκαλία της μεθοδολογίας της επιστήμης λειτουργεί παράλληλα με τη διδασκαλία ενός γνωστικού αντικείμενου του αναλυτικού προγράμματος.

Έτσι, οι τρεις πρώτες δραστηριότητες διερευνούν τις αρχικές αντιλήψεις των παιδιών για τη δομή του ατόμου, αλλά και για πλευρές της μεθοδολογίας της επιστήμης. Ακολουθούν οι δραστηριότητες που σχετίζονται με το πείραμα, που έχουν ως στόχο την ανάπτυξη της έννοιας του μοντέλου, από την πλευρά των παιδιών, της γνωριμίας με την ατομική δομή και της συνειδητοποίησης του γεγονότος ότι με αφετηρία ένα δεδομένο πείραμα, μπορούν να υπάρξουν πολλές διαφορετικές ερμηνείες. Το σημείο αυτό επισημαίνεται ιδιαίτερα με τη δραστηριότητα 7. Ακολουθεί η αποσαφήνιση της θεωρίας για το ατομικό μοντέλο του Rutherford από το/η διδάσκοντα/ουσα, και το υλικό τελειώνει με τρεις δραστηριότητες που σκοπό έχουν να συνοψίσουν ξεκαθαρίσουν τις καινούριες γνώσεις.

3. Τελικά συμπεράσματα – Σχόλια

Στην εργασία αυτή έγινε μία προσπάθεια να αποτυπωθούν και να αναλυθούν κάποια σημεία της επιστημολογίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης, καθώς και να τεκμηριωθεί η ανάγκη, να εισαχθούν με τον κατάλληλο τρόπο στη διδασκαλία της επιστήμης στο σχολείο αυτά τα αντικείμενα. Για το σκοπό αυτό, προτάθηκαν στο τέλος δύο φυλλάδια εργασίας, που είναι δομημένα έτσι, ώστε να εμπερικλείουν σκέψεις και ιδέες που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Αυτό που θα πρέπει να επισημάνουμε, κλείνοντας, είναι ότι, αναμφίβολα, πρέπει να γίνουν πολλά ακόμα στην κατεύθυνση της διερεύνησης της χρησιμότητας της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης στην εκπαιδευτική διαδικασία, καθώς και στην παραγωγή του κατάλληλου διδακτικού υλικού. Φυλλάδια εργασίας όπως αυτά που προτάθηκαν στην παρούσα εργασία, αλλά και διαφορετικού είδους εκπαιδευτικό υλικό, πρέπει να γίνουν αντικείμενο έρευνας, με την εφαρμογή τους μέσα στη σχολική τάξη, ώστε να αναδειχθούν πιθανά πλεονεκτήματα και αδυναμίες τους, και να διαπιστωθεί αν τελικά επιτυγχάνουν τους στόχους, με βάση τους οποίους δημιουργήθηκαν.

Είναι πάντως σαφές, ότι η προσπάθεια αυτή πρέπει να συνεχιστεί, αφού η απόκτηση κριτικής (άρα επιστημονικής) σκέψης, η γνώση των μεθόδων που ακολουθεί η επιστήμη, και οι προβληματισμοί γύρω από θέματα αντικειμενικότητας και εγκυρότητας των πορισμάτων της, είναι δεξιότητες που είναι βασικές και αναγκαίες για τον άνθρωπο της σημερινής εποχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abd-El-Khalick, F, (2002): “Rutherford’s enlarged: a content-embedded activity to teach about nature of science”, *Physics Education*, 37 (1).
2. Alexander J, M, Fleming V, M, (2001), ‘The Benefits of Peer Collaboration: A Replication with a Delayed Posttest.’, *Contemporary Educational Psychology*, 26, 588 – 601.
3. Auletta, G, Tarozzi, G, (2004): “On the Physical Reality of Quantum Waves”, *Foundations of Physics*, Vol. 34, No. 11, November 2004.
4. Bartels, A, Lyre, H, Estfeld, M, (2004): ‘Holism in the philosophy of physics: an introduction’, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 35, p.597 – 599.
5. Belousek, D, (2005): “Underdetermination, Realism and Theory Appraisal: An Epistemological Reflection on Quantum Mechanics”, *Foundations of Physics*, Vol. 35, No. 4, April 2005.
6. Blatt, S., (1975): “ESP: Teaching ‘scientific method’ by counterexample”, *American Journal of Physics*, Vol. 43, No. 12, December 1975.
7. Bokulich, A, (2004): “Open or Closed? Dirac, Heisenberg, and the Relation between Classical and Quantum Mechanics”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 35, (3).
8. Checkland, P: “*Systems thinking, systems practice*”, John Wiley & Sons. 1981.
9. Curie, M. (1923): “Pierre Curie”, στο: Bolles, E, B (1997/98): «Η «εντολή» του Γαλιλαίου», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, σελ. 240.
10. D’Alembert, J, L, (1743): “Traite de dynamique”, στο: Heisenberg, W, (1955/97): «Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική», Τραυλός, Αθήνα.
11. D’Alembert, J, L, (1751): «Εισαγωγή στην εγκυκλοπαίδεια», στο: Heisenberg, W, (1955/97): «Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη φυσική», Τραυλός, Αθήνα, 136.
12. Dansereu F, D, O’Donnell A, (1995), “Scripted Cooperation in Student Dyads: A Method for Anylizing and Enhancing Academic Learning and Performance.”, στο Lazarowitz, R, H, Miller, N: “*Interaction in Cooperative Groups – The Theoretical Anatomy of Group Learning*”, Cambridge University Press, 120 – 144.
13. Davies, P, C, W, Brown, J, (1986/97): «Το φάντασμα στο άτομο – Μία συζήτηση για τα μυστήρια της κβαντικής φυσικής», Σύναλμα, Αθήνα.

14. Dewey, J, (1910): “Science as Subject Matter and as Method”, από μία ομιλία του σε μία σύνοδο της «αμερικανικής ένωσης για την πρόοδο της επιστήμης» (American Association for the Advancement of Science), το Δεκέμβριο του 1909, δημοσιευμένη στο: *Science*, 31, 122 – 125.
15. Driver, R.A., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994): “Constructing scientific knowledge in the classroom.”, *Educational Researcher*, 23, 5 – 12.
16. Duhem, P.: (1905/54), *The Aim and Structure of Physical Theory*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
17. Dyson, F, (1958): “Innovation in physics”, *Scientific American*, 129 (3), 74 – 82, [12, p. 76].
18. Egan, K. (1988). “*Teaching as story telling*.”, London: Routledge.
19. Einstein, A, Infeld, (1978): «*Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική*», Δωδώνη, Αθήνα.
20. Erduran, S, (1995): “Science or Pseudoscience? Does Science Education Demarcate? The Case of Chemistry and Alchemy in Teaching”, *Proceedings of the Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Vol. 1, p. 348 – 354, University of Minnesota, Minneapolis.
21. Feynman, R, (1967/90): «*Ο χαρακτήρας του φυσικού νόμου*», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
22. Feynman, R, (1995/98): «*Εξι εύκολα κομμάτια*», Κάτοπτρο, Αθήνα.
23. Forinash, K, Rumsey, W, (2000): “A first course in the history and philosophy of science”, *European Journal of Physics*, 21, 427 – 433.
24. Galilei, G, (1610): “Sidereus nuncios” (Ο αγγελιοφόρος των άστρων), στο: Bolles, E, B (1997/98): «*Η «εντολή» του Γαλιλαίου*», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, σελ. 135 – 136.
25. Galilei, G, (1632): “Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo” (Διάλογος επί των δύο κύριων κοσμικών συστημάτων), στο: Heisenberg, W, (1955/97): «*Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική*», Τραυλός, Αθήνα.
26. Galilei, G, (1638): “Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze” (Συζητήσεις και μαθηματικές αποδείξεις που αφορούν δύο νέες επιστήμες), στο: Heisenberg, W, (1955/97): «*Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική*», Τραυλός, Αθήνα.
27. Galili, I, Hazan, A, (2001): “Experts’ Views on Using History and Philosophy of Science in the Practice of Physics Instruction”, *Science & Education*, 10, 345 – 367.

28. Galili, I, Hazan, A, (2001): "The influence of an historically oriented course on students' content knowledge in optics evaluated by means of facets-schemes analysis", *Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl.* 68 ~7!, July 2000.
29. Ghins, M, (2000): 'Empirical versus theoretical existence and truth', *Foundations of Physics*, Vol. 30, No. 10.
30. Glaser R. (1994): '*Application and Theory: Learning Theory and the Design of Learning Environments.*', Keynote, Address presented at the 23rd International Congress of Applied Psychology, July 17 – 22, Madrid, Spain.
31. Hawking, S, (1988/89): «*Το χρονικό του χρόνου – Από τη μεγάλη έκρηξη ως τις μαύρες τρύπες*», Κάτοπτρο, Αθήνα.
32. Heisenberg, W, (1955/97): «*Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική*», Τραυλός, Αθήνα.
33. Heisenberg, W, (1959/78): «*Φυσική και Φιλοσοφία*», Κάλβος, Αθήνα.
34. Heisenberg, W, (1983/95): «*Συναντήσεις με τον Αϊνστάιν*», Κάτοπτρο, Αθήνα.
35. Hennesy S., Twigger D., Driver R., O'Shea T., O'Malley E., Byard M., Draper S., Hartley R., Mohamed R., Scanlon E. (1995): "A classroom intervention using a computer-augmented curriculum for mechanics.", *International Journal of science in education*, Vol. 17, No. 2, 186 – 206.
36. Herz – Lazarowitz, R, (1995), : "Understanding Interactive Behaviors: Looking at Six Mirrors in the Classroom", στο Lazarowitz, R, H, Miller, N: (1995) "*Interaction in Cooperative Groups – The Theoretical Anatomy of Group Learning*", Cambridge University Press, 71 – 101.
37. Herz, H, (1876): «*Αρχές της Μηχανικής*», στο: Heisenberg, W, (1955/97): «*Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική*», Τραυλός, Αθήνα.
38. Huygens, C, (1690): «*Πραγματεία περί του φωτός*», στο: Heisenberg, W, (1955/97): «*Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική*», Τραυλός, Αθήνα.
39. Izquierdo-Aymerich, M, Aduriz-Bravo, A, (2003): 'Epistemological Foundations of School Science', *Science & Education* 12: 27 – 43.
40. Johnson, B, W, Johnson T, R, (1995), "Positive Interdependence: Key to Effective Cooperation.", στο Lazarowitz, R, H, Miller, N: "*Interaction in Cooperative Groups – The Theoretical Anatomy of Group Learning*", Cambridge University Press, 174 – 202.
41. Kepler, J, (1596): "Mysterium Cosmographicum", στο: Heisenberg, W, (1955/97): «*Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική*», Τραυλός, Αθήνα.

42. Lattery, M., (2001): "Thought Experiments in Physics Education: A Simple and Practical Example", *Science & Education*, 10: 485 – 492.
43. Lin, H, Hung, J, Hung, S, (2002): "Using the history of science to promote students' problem –solving ability", *International Journal of Science Education*, Vol. 24, No. 5, 453 – 464.
44. Losee, J, (1980/91): «Φιλοσοφία της επιστήμης», επιμέλεια – μετάφραση: Χρηστίδης, Θ, Βάνιας, Θεσσαλονίκη.
45. Maxwell, J, C, (1873): «Μόρια», από μία διάλεξη δημοσιευμένη στο Nature, 25, 1873, στο: Bolles, E, B, (1997/98): «Η «εντολή» του Γαλιλαίου», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
46. Monk, M, Osborne, J, (1997): "Placing the History and Philosophy of Science the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy", *Science Education*, 81, 405 – 424.
47. Newton, I, (1687): "Philosophiae naturalis principia mathematica" (Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας), στο: Heisenberg, W, (1955/97): «Σκέψεις για την εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική», Τραυλός, Αθήνα.
48. Niaz, M, Rodriguez, M, (2002): "Improving learning by discussing controversies in 20th century physics", *Physics Education*, 37 (1), January 2002.
49. Nicolescu, B, (2000): 'Levels of reality as source of quantum indeterminacy', *Determinismo e complessità Roma*, pp. 127-158, edited by F. Tito Arecchi.
50. Nixon, J, G, Topping, K, J, (2001), "Emergent Writing: the impact of structured peer interaction.", *Educational Psychology*, Vol. 21, No. 1.
51. Poincaré, H, (1905/97): «Η αξία της επιστήμης», Κάτοπτρο, Αθήνα.
52. Popper, K, (1968): "The logic of scientific discovery", New York: Harper and Row, Publishers.
53. Preece, P, Baxter J, H, (2000) : "Scepticism and gullibility: the superstitious and pseudo – scientific beliefs of secondary school students", *International Journal of Science Education*, Vol. 22, No. 11, 1147 – 1156.
54. Prigogine, I, (1993/03): «Οι νόμοι του χάους», Τραυλός, Αθήνα.
55. Reigosa, C, Jiménez-Alexandre, M, P, (2001): "Deciding how to observe and frame events in an open physics problem", *Physics Education*.
56. Rigden, S, J, (2005): "The mystique of Physics: Reluminate the Enlightenment", *American Journal of Physics*, 73, (12), 1094 – 1098.

57. Rudolph, J, (2005): “Epistemology for the Masses: The Origins of ‘The Scientific Method’ in American Schools”, *History of Education Quarterly*, Vol. 45, No. 3, Fall 2005.
58. Rutherford, E, (1933): “The Transmutation of the Atom” (Η μεταστοιχείωση του ατόμου), από μία διάλεξη στις 11/10/1933, στο: Bolles, E, B, (1997/98): «Η «εντολή» του Γαλιλαίου», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, σελ. 254.
59. Santos, E, (2005): “Bell ‘s theorem and the experiments: Increasing empirical support for local realism?”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 36, p. 544 – 565.
60. Seevinck, M, P, (2004): “Holism, physical theories and quantum mechanics”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 35, p. 693 – 712.
61. Segré, E, (1983/97): «Από τις ακτίνες X έως τα κουάρκ – Ιστορία της Φυσικής, τόμος Β’», Δίαυλος, Αθήνα.
62. Seldin, J, (2003): “Goedel, Kuhn and Feyerabend” (Extended Abstract), <http://people.uleth.ca/~jonathan.seldin/>, March 21, 2003.
63. Seroglou, F., Koumaras, P., (2001): “The contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review”, από το: “*Science Education and Culture: The Contribution of History and Philosophy of Science*”, Kluwer Academic Publishers, printed in the Netherlands.
64. Singh, S, (2004/05): «Big Bang: Η πιο σημαντική επιστημονική ανακάλυψη όλων των εποχών», Τραυλός, Αθήνα.
65. Solomonidou Ch, Kolokotronis, D, (2003): “A Step-by-Step Design and Development of an Integrated Educational Software to Deal with Students’ Empirical Ideas about Mechanical Interaction”, *Education and Information Technologies*, 8:3, 229 – 244.
66. Staver, J, R, (1998) : “Constructivism: Sound Theory for Explicating the Practice of Science and Science Teaching”, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 35, No. 5, pp. 501 – 520.
67. Stinner, A, (2003): “Scientific method, Imagination, and the teaching of Physics”, *Physics in Canada*, Vol. 59, No. 6, November/December 2003.
68. Stix, G, (2004): «Η πολύτιμη κληρονομιά μιας μεγαλοφυΐας», *Scientific American*, ελληνική έκδοση, σελ. 20 – 26, Δεκέμβριος 2004.
69. Svozil, K, (2004): ‘Feyerabend and physics’, *presented at the International Symposium ‘Paul Feyerabend 1924 – 1994. A philosopher from Vienna’*. University of Vienna, June 18 – 19.

70. Topping, K, J, Yarrow, F, (2001), 'Collaborative writing: The effects of metacognitive prompting and structured peer interaction.', *British Journal of Educational Psychology*, 71, 261 – 282.
71. Tsai, C, C, (1998): "An analysis of Taiwanese eighth graders' science achievement, scientific epistemological beliefs and cognitive outcomes after learning basic atomic theory", *International Journal of Science Education*, Vol. 20, No. 4, 413 – 425.
72. Tsai, C, C, (1999): "Laboratory Exercises Help Me Memorize the Scientific Truths': A Study of Eighth Graders' Scientific Epistemological Views and Learning in Laboratory Activities", *Science Education*, 83: 654 – 674.
73. Vicentini, M, (2001): "An epistemological framework for labwork in experimental sciences", First International GIREP Seminar Developing Formal Thinking, *fisica.uniud.it*.
74. Woolgar, S, (2003): «Επιστήμη – Η ιδέα καθ'αυτήν», Κάτοπτρο, Αθήνα.
75. Κόκκοτας, Π, Βλάχος, Γ, (2000): «Ο ρόλος του πειράματος στην επιστήμη και στη διδασκαλία – μάθηση», στο: Κόκκοτας, Π: «Διδακτικές προσεγγίσεις στις φυσικές επιστήμες – Σύγχρονοι προβληματισμοί», Τυπωθήτω, Αθήνα, σελ. 218 – 226.
76. Σωτηράκη, Σ, Ορφανίδου, Ε, Παναγιωτάκου, Μ,: «Το μεγάλο λεξικό των ζωδίων – Αστρολογία – Από το Α ως το Ω», Εκδόσεις «Έθνος», Αθήνα.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000089153

