

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ο Ρόλος του Πειράματος στην Επιστήμη και στη Διδασκαλία-Μάθηση

6.1. Το πείραμα στην επιστήμη

ΠΡΟΚΕΙΜΕΝΟΥ να διερευνήσουμε το ρόλο του πειράματος στην επιστήμη, θα μπορούσαμε να αρχίσουμε τη συζήτηση διατυπώνοντας ορισμένους προβληματισμούς:

1. Είχε το πείραμα σημαντική συμβολή στη μέχρι τότε πρόοδο της επιστήμης; Βοήθησε στην ανακάλυψη νέων φαινομένων και στην επίλυση γνωσιολογικών ζητημάτων;
2. Ποιά είναι ακριβώς η σχέση πειράματος και θεωρίας;
3. Τι εννοούμε λέγοντας επιστημολογία του πειράματος;
4. Μπορούμε να μιλάμε για επαγωγική προσέγγιση στην ανακάλυψη της γνώσης;

Από ιστορική άποψη το πείραμα απέκτησε σημαντική θέση στην εξέλιξη της επιστήμης στην εποχή της επιστημονικής επανάστασης. Ο F. Bacon στο βιβλίο του *Novum Organum* (1620) υποστηρίζει ότι η φύση πρέπει να ερμηνευθεί μέσω των αισθήσεων, βοηθούμενων με πειράματα.

Ο ίδιος έλεγε ότι την κατάλληλη γνώση την αποκτάει κανείς όχι

με την παθητική θέαση, αλλά με το πείραμα. Βασικά στοιχεία της ρουτίνας της πραγματικής έρευνας που αναπτύχθηκε κατά τον 17ο αιώνα ήταν η πειραματική μέθοδος, τα ίδια τα πειράματα, τα όργανα, η στάση του πειραματιστή και οι προσδοκίες του. Η πειραματική μέθοδος περιέγραφε τι θεωρείτο δυνατό στο εργαστήριο και τι αξία να δοθεί στα αποτελέσματα. Τα όργανα έγιναν απαραίτητο μέρος της ανακάλυψης. Σημείο αναφοράς της ανάπτυξης της πειραματικής φιλοσοφίας ήταν οι συζητήσεις γύρω από τα όρια της γνώσης καθώς επίσης και η ισχύς των εμπειριών μέσω των αισθήσεων (Gooding D. et al., 1989).

Ο Bacon υποστηρίζει ότι το πειραματικό όργανο είναι ένα είδος επέκτασης των αισθητηρίων του ανθρώπου, είναι όργανο ενεργητικής διαμεσολάβησης ανάμεσα στον ερευνητή και στη φύση. Κατ' αυτόν με το πείραμα, που είναι μια στιγμή της γνωστικής διαδικασίας, ο ερευνητής ρωτάει τη φύση και την αναγκάζει να του απαντήσει (Robertson, 1970).

Η εξέλιξη της τεχνολογίας είχε σημαντική συμβολή στην ανάπτυξη του πειραματισμού, αφού κατασκευάστηκαν αρκετά όργανα ακριβείας, όπως η πυξίδα, ο αστρολάβος, το μηχανικό ρολόι, ο ζυγός κ.λπ. που βοήθησαν στην παρατήρηση και τη μέτρηση βάζοντας το ποσοτικό στοιχείο στον πειραματισμό. Ο Bacon έλεγε ότι η λεπτότητα των οργάνων είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ό,τι των ίδιων των αισθήσεων.

Μπορούμε άραγε να εμπιστευόμαστε τις αισθήσεις για την παρατήρηση και την παραγωγή γνώσης; Αλλά τότε προκύπτει ένα άλλο ερώτημα πιο κρίσιμο από το πρώτο. Μπορούμε να εμπιστευόμαστε τα φαινόμενα που παράγονται επαγωγικά από όργανα; Ερωτήσεις αυτού του τύπου αγνοήθηκαν συστηματικά από τους πειραματιστές κατά τη διάρκεια των ερευνών τους. Ο πειραματιστής ποτέ δεν θα βγει έξω από τον κύκλο των αναπαραστάσεων του για να είναι σίγουρος ότι ανταποκρίνονται στον πραγματικό κόσμο όπως τον παρατηρούμε. Κάθε έλεγχος των αναπαραστάσεων είναι μία νέα αναπαράσταση.

Μέχρι σήμερα δεν άλλαξε τίποτα στις απόψεις μας για τη σημα-

σία του πειράματος στην παραγωγή της επιστημονικής γνώσης. Κατά τον Γκράμσι, το επιστημονικό πείραμα αποτελεί μοντέλο διαλεκτικής διαμεσολάβησης ανάμεσα στον άνθρωπο και στη φύση και χρησιμεύει όχι μόνο να επεκτείνουμε με υλικά μέσα τη γνώση μας για τη φύση, αλλά και για να ελέγξουμε την εγκυρότητα των θεωριών. Σε αυτό τον έλεγχο η μαρτυρία του πειράματος είναι ουσιαστική στον έλεγχο των υποθέσεών μας. Γιατί, ενώ η παρατήρηση είναι περίπου μια παθητική θέαση των γεγονότων, το πείραμα αποτελεί ενεργητική παρέμβαση του επιστήμονα στην πορεία των γεγονότων.

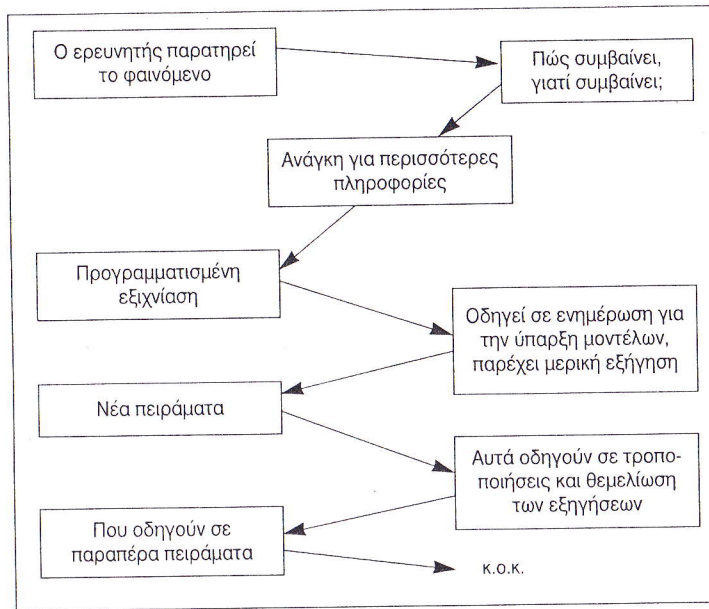
Το πείραμα αποτελεί μια μορφή πράξης και γι' αυτό η σημασία του στην παραγωγή της γνώσης είναι σημαντική (ΕΣΣΔ, Ινστιτούτο Φιλοσοφίας, 1980). Όπως είναι γνωστό, η πράξη μετασχηματίζει τη φύση. Προϋποθέτει γνώση και ταυτόχρονα είναι πηγή γνώσης. Η ένταξη της πράξης στη γνωσιολογία οδηγεί στον υλισμό. Η πράξη θέτει στους επιστήμονες προβλήματα, για τη λύση των οποίων κατασκευάζουν θεωρίες. Η πράξη δεν είναι μόνο η βάση της γνώσης, το κίνητρο, αλλά και το κριτήριο της αλήθειας των γνώσεών μας. Στην πορεία της πρακτικής δράσης τελειοποιούνται τα εργαλεία εργασίας, η τεχνική, τα μέσα πειραματισμού.

Το γεγονός ότι το πείραμα είναι μορφή πράξης συμβάλλει στην ανάπτυξη της σκέψης, γιατί το μυαλό αναπτύσσεται μέσω της πράξης.

Από ιστορική άποψη το πείραμα ήταν μια δοκιμή σε μεγάλη κλίμακα. Όμως από τη στιγμή που χρησιμοποιήθηκε η μέτρηση, όχι μόνο αναπαράγονται οι δοκιμές με ακρίβεια, αλλά πραγματοποιήθηκε το τολμηρό βήμα της διεξαγωγής τους σε μικρή κλίμακα.

Αυτό το σε μικρή κλίμακα ή πρότυπο πείραμα είναι το βασικότερο χαρακτηριστικό της νεότερης επιστήμης. Γιατί δουλεύοντας σε μικρή κλίμακα μπορούμε να εκτελέσουμε πολύ περισσότερες δοκιμές και πολύ φτηνά.

Ο τρόπος με τον οποίο ο πειραματισμός συναρτάται με τις άλλες διαδικασίες φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Κόκκοτας 1988

Η πειραματική εργασία αφήνει πολλά γραπτά ίχνη, όπως γραφικές παραστάσεις, εργαστηριακές σημειώσεις, πίνακες μετρήσεων, περιληπτικές αναφορές (reports), άρθρα σε περιοδικά και βιβλία.

6.2. Οι χρήσεις του πειράματος

Το πείραμα στη διαδικασία παραγωγής της γνώσης έχει διαφορετικές λειτουργίες όπως π.χ.

1. Δοκιμάζεται η αλήθεια μιας υπόθεσης.
2. Δοκιμάζεται συνολικά μια θεωρία.
3. Αναζητούνται νέα φαινόμενα που προβλέφθηκαν θεωρητι-

κά. (Η ανακάλυψη του πλανήτη Ποσειδώνα, για παράδειγμα, έγινε ύστερα από την πρόβλεψη του Leverrier).

4. Δημιουργούνται νέα υλικά, όπως συνέβη π.χ. σε μεγάλη έκταση στη Χημεία.
5. Δημιουργούνται νέα αντικείμενα (Κόκκοτας, 1988).
6. Μελετώνται αναλογίες και πρότυπα πειράματα.

Η αντίληψη για τις κανονικότητες που παρατηρούνται στις φυσικές διαδικασίες έγινε η βάση για δύο ισχυρά τεχνάσματα:

α) της χρήσης της αναλογικής συζήτησης στο σχηματισμό των θεωριών για την εξήγηση της φύσης και

β) το πρότυπο (μοντέλο) πείραμα όπου οι φυσικές συνθήκες δημιουργήθηκαν στο εργαστήριο μέσω των προτύπων υπό κλίμακα: όταν οι αστηρές επαγωγικές διαδικασίες δεν μπορούσαν να εφαρμοστούν ή όταν δεν ήταν δυνατή η απευθείας πειραματική παρέμβαση. Ο Νεύτωνας χρησιμοποίησε την τεχνική της αναλογίας, όταν ερευνούσε τις ιδιότητες του φωτός και το φάσμα του λευκού φωτός. Για το πρώτο χρησιμοποίησε ως ανάλογο τον ήχο και για το δεύτερο τη μέξι των χρωμάτων. Όσον αφορά τα πειράματα μίμησης της φύσης, αυτά προήλθαν από την ανάγκη που δημιουργήθηκε από τις άμεσες παρατηρήσεις με όργανα και από την ανάλογη συζήτηση που απεικονίσθηκαν με εννοιολογικά μοντέλα που οδηγήσαν σε δύο διαφορετικούς τύπους πειραμάτων. Το πρώτο αποτελείται από διαδικασίες εργαστηριακού τύπου, όπου απομονώνονται ορισμένα φαινόμενα και προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά τους. Το δεύτερο από εργαστηριακά πρότυπα (μοντέλα) με τα οποία γίνεται απομίμηση των φαινομένων, όπως αυτά γίνονται αντιληπτά (Hackmann, 1989).

Ο Γαλιλαίος, που είναι από τους θεμελιωτές της μεθοδολογίας της έρευνας της φύσης, θεωρούσε το πείραμα απαραίτητο για τη διατύπωση και τον έλεγχο των θεωριών. Δηλαδή για την επαλήθευση ή απόρριψη υποθέσεων και την παροχή ακριβών και αριθμητικά μετρήσιμων στοιχείων. Αυτός εισήγαγε το υποθετικό πείραμα.

Αν ρωτήσει κάποιος, γιατί κάνουν οι επιστήμονες πειράματα, η απάντηση φαίνεται ίσως προφανής: για να ανακαλύψουν πράγματα για τη φύση. Πώς όμως σχηματίζουμε τις πιο αποτελεσματικές ερωτήσεις και πώς συλλαμβάνουμε αυτό που φαίνεται ότι αποτελεί την απάντηση; Το πρόβλημα είναι ότι το πλαίσιο των ιδεών συναρτάται άμεσα με το πλαίσιο των γεγονότων, χωρίς κάποιο προϋδεασμό για το τι πιθανόν να υπάρχει το οποίο να ανακαλυφθεί με το πείραμα. Οι επιστήμονες δε θα γνώριζαν τι να αναζητήσουν στα πειραματικά αποτελέσματα, αλλά και δε θα ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν ούτε να αξιολογήσουν κάποιο πειραματικό εύρημα. Το σημείο αυτό φαίνεται καθαρά στον τρόπο που τυχαία γεγονότα οδήγησαν σε σημαντικές ανακαλύψεις. Μόνο ο ερευνητής που είναι προετοιμασμένος να αναγνωρίσει τη σπουδαιότητα αυτού που τυχαία συνάντησε μπορεί να κάμει μια ανακάλυψη από αυτό.

Εφνείς πειραματιστές, όπως ο Faraday, γνώριζαν επακριβώς τι να αναμένουν από τα πειράματά τους, επειδή οι θεωρίες τους ήταν πολύ ισχυρές. Αυτοί είναι εκείνοι οι πειραματιστές που προσπαθούν και επιμένουν μέχρι να πετύχει το πείραμα. Όταν ο Pasteur ανακάλυψε τα εμβόλια, ένα τυχαίο γεγονός είχε σημασία γι' αυτόν και πιθανόν μόνο γι' αυτόν. Αγωνιζόταν για χρόνια για να κατανοήσει τη διαδικασία των ασθενειών και τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι και τα ζώα προσβάλλονται από αυτές.

6.3. Η καθυστέρηση του πειραματισμού έναντι του θεωρητικού συλλογισμού

ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΕ κανείς να διερωτηθεί για ποιους λόγους η πειραματική μελέτη της φύσης καθυστέρησε τόσο πολύ να αναπτυχθεί.

Όπως είπαμε, η πειραματική μελέτη της φύσης άρχισε συστηματικά κατά την εποχή της επιστημονικής επανάστασης, που ήταν συνάρτηση της βιομηχανικής επανάστασης. Ωστόσο, κατά τον Piaget, η καθυστέρηση της ανάπτυξης του πειραματισμού έναντι του πα-

ραγωγικού συλλογισμού οφείλεται στις αντικειμενικές δυσκολίες, τις οποίες εντοπίζει σε τρεις κυρίως λόγους.

Πρώτα, γιατί το πνεύμα έχει από τη φύση του την κλίση να συλλαμβάνει εποπτικά το πραγματικό και να συμπεραίνει, όχι όμως και να πειραματίζεται, γιατί ο πειραματισμός δεν είναι ελεύθερη ή τουλάχιστον αυθόρμητη και άμεση κατασκευή του νου, όπως ο παραγωγικός συλλογισμός, αλλά προϋποθέτει την υποταγή σε εξωτερικές απαιτήσεις που επιβάλλουν πολύ μεγαλύτερη εργασία εφαρμογών.

Ο δεύτερος λόγος, που προεκτείνει και εξηγεί τον προηγούμενο, είναι πως στο πεδίο του παραγωγικού συλλογισμού οι πιο στοιχειώδεις ή οι πιο πρωτόγονες ενέργειες είναι ταυτόχρονα και οι πιο απλές. Στο πεδίο των πειραμάτων, αντίθετα, το άμεσο δεδομένο είναι πολύ περίπλοκο και το προκαταρκτικό πρόβλημα είναι πάντα ο διαχωρισμός των παραγόντων μέσα από τούτο το μέρδεμα.

Ο τρίτος λόγος, που εξηγεί την καθυστέρηση του πειραματισμού απέναντι στην παραγωγική μέθοδο, έχει ακόμα πιο βασική σημασία, γιατί η λεγόμενη ανάγνωση του πειράματος δεν είναι ποτέ απλή ανάγνωση, αλλά προϋποθέτει μια δράση πάνω στο πραγματικό, αφού πρέπει να διαχωριστούν οι παράγοντες και συνεπάγεται μια λογική ή μαθηματική δόμηση. Με άλλα λόγια, είναι αδύνατο να πετύχουμε το πειραματικό αποτέλεσμα χωρίς κάποιο λογικομαθηματικό πλαίσιο και είναι επομένως σωστό ότι πρέπει να διαθέτουμε πρώτα ορισμένα πλαίσια παραγωγικής μεθόδου για να μπορούμε να πειραματιστούμε (Piaget, 1972).

Τέλος, ακόμα και στη σύγχρονη εποχή η αλληλεπίδραση μεταξύ οργάνων, πειραμάτων και της ανάπτυξης των επιστημονικών εννοιών είναι υπερβολικά δύσκολη. Για να τις μελετήσει κανείς έχει ανάγκη από μια ποικιλία προσεγγίσεων από απλές λεπτομερείς περιπτώσεις που έμειναν ιστορικές έως τις κοινωνιολογικές αναλύσεις του πειραματισμού ως μιας ομαδικής δραστηριότητας.

6.4. Η επιστημολογία του πειράματος

Οι θεωρίες και τα πειράματα, οι ιδέες και τα δεδομένα εξαρτώνται το ένα από το άλλο. Επειδή αυτές οι αλληλοεξαρτήσεις είναι τόσο περίπλοκες, οι θεωρητικοί δίνουν έμφαση σε διαφορετικές πλευρές αυτών των παραγόντων. Ίσως αυτή είναι η αιτία ότι υπάρχουν πολλές θεωρίες κατά το μάλλον ή ήττον διαφορετικές μεταξύ τους που προσπαθούν να ερμηνεύσουν το ρόλο του πειράματος στις Φυσικές Επιστήμες. Μπορεί κανείς να διακρίνει τα εξής κύρια ρεύματα:

Επαγωγισμός

Η χρήση της παρατήρησης και του πειράματος φαίνεται ότι οριοθετούν την επιστημονική προσέγγιση στην έρευνα της φύσης από το θρησκευτικό ή μαγικό τρόπο ερμηνείας του κόσμου. Ξεκινώντας από αυτό μερικοί φιλόσοφοι της επιστήμης υποστηρίζουν ότι οι νόμοι και οι θεωρίες παράγονται στη σκέψη των επιστημόνων κατά μια διαδικασία που αρχίζει με τα δεδομένα που ανακάλυψαν οι πειραματιστές. Αυτά τα δεδομένα παρακινούν τους ερευνητές να δοκιμάσουν μια υπόθεση.

Η διαδικασία της ανακάλυψης φαίνεται ότι ξεκινάει από τον κόσμο των πραγμάτων και των συμβάντων, όπως αυτά αποκαλύπτονται με το πείραμα και περνάει στον κόσμο των πίστσεων και των θεωριών. Ο τεχνικός όρος που χρησιμοποιείται για αυτό το υποτιθέμενο πέρασμα από τα δεδομένα στις θεωρίες και τους νόμους είναι η επαγωγή (induction).

Έτσι υποστηρίζεται (Hagge, 1981) ότι οι επιστήμονες φθάνουν στους νόμους και τις θεωρίες από τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους, τα οποία ελέγχουν με άλλα πειράματα. Οι παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα των πειραμάτων αποτελούν τα δεδομένα (data) τα οποία παρέχουν μια στέρεη βάση για την ανέγερση εύθραυστου οικοδομήματος της επιστημονικής σκέψης.

Οι υποστηρικτές της επαγωγικής ανακάλυψης της γνώσης θεωρούσαν τους νόμους της φύσης ως γενίκευση των δεδομένων και της συσσώρευσης δεδομένων ως υποστηρικτικό στοιχείο αυτών των νόμων.

Πολλοί απορρίπτουν την επαγωγική μέθοδο ως μέθοδο ανακάλυψης των νόμων της φύσης. Ο R. Hagge υποστηρίζει (Hagge, 1981) ότι υπάρχουν δύο λόγοι για τους οποίους πρέπει να απορριφθεί η επαγωγική μέθοδος.

Πρώτον, οι νόμοι και οι θεωρίες κατά διάφορους τρόπους προχωρούν πέρα από τα αποτελέσματα των πειραμάτων, τα πειράματα γίνονται εδώ και τώρα ακριβώς με μερικά μόνο δείγματα. Οι νόμοι υποτίθεται ότι ισχύουν παντού και σε όλες τις εποχές και για όλα τα δείγματα και τις ουσίες. Η πειραματική βάση είναι πολύ αδύνατη να στηρίξει μια τόσο εκτεταμένη προοπτική. Δεν μπορεί να είμαστε σίγουροι ότι στο παρελθόν ή στο μέλλον και σε απομονωμένες περιοχές κάποια πειράματα δε θα έδιναν διαφορετικά αποτελέσματα από εκείνα πάνω στα οποία στηρίζαμε τους νόμους και τις θεωρίες μας. Στην περίπτωση αυτή και οι νόμοι της φύσης θα φαινόταν ότι είναι διαφορετικοί. Οι νόμοι και οι θεωρίες προχωρούν πέρα από τις εμπειρίες επεκτείνοντας μια θεωρία, οι επιστήμονες ομιλούν για κρυμμένες διαδικασίες που παράγουν παρατηρήσιμα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, το φάσμα των ρινισμάτων σιδήρου που σχηματίζεται γύρω από ένα μαγνήτη είναι ορατό. Δεν είναι όμως ορατό το μαγνητικό πεδίο, που όπως υποστηρίζει η θεωρία υποχρεώνει τα ρινίσματα του σιδήρου να συμπεριφέρονται κατ'αυτόν το χαρακτηριστικό τρόπο.

Πώς είναι δυνατόν πειράματα σε παρατηρήσιμες ιδιότητες των υλικών σωμάτων να παρέχουν τη βάση για τους νόμους της συμπεριφοράς των πραγμάτων και των διαδικασιών που ποτέ δεν μπορεί να παρατηρηθούν (Hagge, 1972);

Ωστόσο, υπάρχει και δεύτερος σοβαρός λόγος για τον οποίο πρέπει να θεωρηθεί λανθασμένη η επαγωγική λογική. Δηλαδή ότι από τα πειραματικά δεδομένα μπορεί κάποιος να καταλήξει σε νόμους και θεωρίες. Ας υποθέσουμε ότι ένας πειραματιστής συλλέγει μια σειρά πειραματικών δεδομένων. Κατ' αρχήν δεν υπάρχει ακριβώς μια θεωρία που ερμηνεύει αυτά τα πειραματικά δεδομένα, αλλά υπάρχουν πάρα πολλές από τις οποίες μπορούν να εξαχθούν σωστά συμπεράσματα για αυτά. Λογικά δεν πειράζει αν

κάποιες θεωρίες είναι σωστές ή λανθασμένες, αρκεί να ερμηνεύσουν τα πειραματικά δεδομένα. Κατά συνέπεια μόνη η ερμηνεία κάποιων πειραματικών δεδομένων δεν οδηγεί στην αποδοχή των θεωριών.

Για τη λογική βάση της επαγωγής υπάρχουν πολλές αντιρρήσεις. Είναι δύσκολο να καταλήξει κανείς σε γενικεύσεις ξεκινώντας από απλές παρατηρήσεις, όσο μεγάλος και αν είναι ο αριθμός τους.

Όπως γράφει ο Popper, άσχετα από το πόσο πολλούς λευκούς κύκνους μετρήσαμε, αυτό δικαιολογεί το συμπέρασμα ότι όλοι οι κύκνοι είναι λευκοί. Αυτός, απορρίπτοντας την επαγωγική μέθοδο, θεωρεί ότι η δυνατότητα επαλήθευσης δεν αποτελεί κριτήριο ελέγχου των επιστημονικών προτάσεων. Δεν μπορούμε λεία από ατομικές προτάσεις να καταλήξουμε σε καθολικές. Η επαγωγή, δηλαδή η εξαγωγή συμπερασμάτων, που βασίζονται σε πολλές παρατηρήσεις, είναι ένας μύθος. Δεν είναι ούτε ψυχολογικό γεγονός ούτε γεγονός της καθημερινής ζωής ούτε ένα γεγονός επιστημονικής διαδικασίας. Κατά τον Popper, η επαγωγική μέθοδος κάνει τις θεωρίες μάλλον πιθανές παρά βέβαιες.

Κατά τον Medawar, υπάρχουν τρεις λόγοι που η επαγωγική μέθοδος ως μέθοδος ανακάλυψης επιστημονικών αληθειών πρέπει να απορριφθεί. Πρώτος και βασικός λόγος είναι η αρχή της μεθόδου. Η έννοια «απλή παρατήρηση» έχει και φυσιολογική διάσταση, γιατί δεν μπορεί να νοηθεί χωρίς κάποια προκατάληψη. Κάθε πράξη παρατήρησης είναι σχεδιασμένη και δεν είναι τυχαία. Ό,τι βλέπουμε ή αισθανόμαστε είναι συνάρτηση αυτού που έχουμε δει ή αισθανθεί στο παρελθόν.

Ο δεύτερος λόγος είναι ότι η επιστημονική ανακάλυψη ή η γέννηση επιστημονικών ιδεών, από το ένα μέρος, και η επίδειξη ή απόδειξη από το άλλο, είναι δύο διαφορετικές ενέργειες. Ο J.S. Mill υποστηρίζει ότι η επαγωγή είναι η πράξη της ανακάλυψης και απόδειξης γενικών προτάσεων σαν μια ενέργεια του μυαλού να έκανε και τις δύο. Στην πραγματικότητα όμως πρόκειται για δύο πλήρως αποχωρισμένες ενέργειες του νου.

Ο τρίτος και κυριότερος λόγος είναι το γεγονός ότι δεν είναι λογικά δυνατό να καταλήξει κανείς με βεβαιότητα σε οποιαδήποτε γενίκευση που να περιέχει περισσότερες πληροφορίες από το άθροισμα των αρχικών δηλώσεων πάνω στις οποίες αυτή η γενίκευση θεμελιώθηκε. Δεν μπορεί μια μόνη ενέργεια του μυαλού να οδηγήσει στην ανακάλυψη νέων πληροφοριών. Θα παραβίαζε ένα νόμο τόσο θεμελιώδη, σαν αυτόν της διατήρησης της ύλης, το νόμο της διατήρησης των πληροφοριών.

Κατά τον Medawar, η επιστημονική ανακάλυψη δεν μπορεί να στηρίζεται στην επαγωγική μέθοδο, δηλαδή σε μια λογικά μηχανιστική διαδικασία σκέψης, η οποία ξεκινώντας από απλές δηλώσεις γεγονότων που προκύπτουν από αποδείξεις που στηρίζονται στις αισθήσεις μπορεί δήθεν να μας οδηγήσει με βεβαιότητα στην αλήθεια των γενικών νόμων (Κόκκοτας, 1988).

Η σφαλερότητα (Fallibilism)

Έχει υποστηριχθεί κατά καιρούς ότι ένα πείραμα που αποτυγχάνει να επαληθεύσει μια θεωρία είναι ίσως χρησιμότερο από κάποιο άλλο που επιβεβαιώνει μια υπόθεση. Γιατί στη δεύτερη περίπτωση η υπόθεση από την οποία δοκίμασε πρέπει να απορριφθεί.

Κατά τον Popper, δεν πρέπει να σκεφτόμαστε ότι οι έρευνες παρέχουν δεδομένα που οδηγούν οπωσδήποτε σε νόμους και θεωρίες. Αντίθετα, πρέπει να σκεφτόμαστε ότι τα πειραματικά αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις ως μέσα ελέγχου για την απόδειξη νόμων ή θεωριών είναι μόνο εικασίες.

Σύμφωνα με τη θεωρία της σφαλερότητας οι θεωρητικοί της επιστήμης συζητούν για την πιθανότητα της ορθότητας των νόμων και των θεωριών (και όχι τη βεβαιότητα) και με βάση αυτό βγάζουν τα λογικά τους συμπεράσματα. Αν μια πρόβλεψη επιβεβαιωθεί, δε σημαίνει κατ' ανάγκη ότι η αντίστοιχη θεωρία είναι σωστή. Είναι δυνατό να είναι λανθασμένη. Αλλά αν η πρόβλεψη είναι λανθασμένη και γνωρίζουμε τις συνθήκες κάτω από τις οποίες εφαρμόστηκε ο νόμος ή η θεωρία, τότε αυτός ο νόμος ή η θεωρία πρέπει να είναι λανθασμένη.

Θα μπορούσε να υποστηρίξει κανείς ότι και το κριτήριο της σφαλερότητας δεν είναι ασφαλές. Πώς είναι δυνατό ένας επιστήμονας να απορρίπτει ή να αποδέχεται ένα νόμο ή μια θεωρία στηριζόμενος μόνο σε πειραματικά δεδομένα; Σίγουρα το κάνει γιατί θεωρεί ότι τα πειράματα που ισχύουν εδώ και τώρα, θα ισχύουν πατού και στο μέλλον. Αυτό όμως δεν μπορεί κανείς να το εγγυηθεί.

Επιπλέον, υπάρχει και άλλο ένα πρόβλημα με τη σφαλερότητα των νόμων ή των θεωριών. Από μόνοι τους οι νόμοι δεν έχουν πειραματικά ελεγμένες συνέπειες. Για να γίνει μια πρόβλεψη με βάση κάποιο νόμο απαιτούνται και κάποιες άλλες βοηθητικές υποθέσεις, στις οποίες περιλαμβάνονται και αυτές που έχουν σχέση με το σχεδιασμό και τη λειτουργία των οργάνων (R. Harre, 1972).

Συμβατισμός (conventionalism)

Τόσο ο επαγωγισμός όσο και η σφαλερότητα υποθέτουν ότι οι νόμοι της φύσης είναι εμπειρικές προτάσεις που μπορεί να είναι είτε σωστές είτε λανθασμένες. Η κρίσιμη ερώτηση (Harre, 1981) δεν είναι αν οι νόμοι είναι σωστοί ή λανθασμένοι, αλλά κάτω από ποιες προϋποθέσεις αυτοί παρέχουν την πιο οικονομική, αποδοτική και διαφωτιστική περιγραφή της πραγματικότητας. Με αυτή την έννοια τα πειράματα δεν παρέχουν δεδομένα από τα οποία θα εξαχθούν επαγωγικά οι νόμοι, ούτε λειτουργούν ως τέστ αναζήτησης της αλήθειας ή διάψευσης των υποθέσεων (R. Harre, 1972).

Ο ρόλος του πειράματος είναι διαφωτιστικός. Επιτρέπει στον επιστήμονα να δείξει την ισχύ της θεωρίας του, όχι ως μια συλλογή αληθειών, αλλά ως μια δέσμη ιδεών. Η επιτυχία ενός πειράματος σημαίνει απλώς ότι ο τρόπος περιγραφής του κόσμου μέσω της συγκεκριμένης θεωρίας αποδεικνύεται χρήσιμος. Όταν το πείραμα αποτυγχάνει, αυτό δείχνει ότι η θεωρητική πρόταση ήταν ανεπαρκής.

Το Παραγωγικό μοντέλο (deductive model)

Ο πειραματισμός με τη σύγχρονη έννοια είναι κριτική, είναι μια πράξη που γίνεται με απώτερο σκοπό να ελέγξουμε μια υπόθεση και δεν έχει την παλιά έννοια που του έδινε ο Bacon, όπου ένα πεί-

ραμα ήταν μια επινοητική εμπειρία, που στόχευε να μεγεθύνει τις γνώσεις μας. Στο παραγωγικό μοντέλο ανάπτυξης της επιστημονικής γνώσης σημαντικό ρόλο παίζει ο έλεγχος των υποθέσεων με τη βοήθεια του πειράματος. Ο επιστήμονας στηριζόμενος σε κάποια θεωρία σχηματίζει μια υπόθεση, της οποίας αναζητεί τη διάψευση. Αν θελήσουμε να προχωρήσουμε σε μια, βήμα προς βήμα, τέτοια προσέγγιση θα λέγαμε ότι:

Ο επιστήμονας σχηματίζει μια υπόθεση Υ1 από μια θεωρία έστω Θ1.

Η Υπόθεση Υ1 πρέπει να ελεγχθεί πειραματικά. Για το σκοπό αυτό σχεδιάζει ένα υποθετικό πείραμα ΠΥ και προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα πειραματικά ευρήματα, ώστε να επαληθεύεται η υπόθεση. Στη συνέχεια, σχεδιάζει την πειραματική διάταξη και προσπαθεί να πραγματοποιήσει το πείραμα με το οποίο θα ελέγξει την υπόθεση που έχει κάνει. Αν τα πειραματικά αποτελέσματα Π1, Π2, Π3 ταυτίζονται με τα αποτελέσματα του υποθετικού πειράματος ΠΥ που επαληθεύει τη θεωρία του. Αν $\text{ΠΥ} = \text{Π1} = \text{Π2} = \text{Π3}$. Δηλαδή αν τα πειραματικά ευρήματα συμφωνούν με τα αποτελέσματα του υποθετικού πειράματος ΠΥ που επαληθεύουν την υπόθεση Υ1 με την οποία ελέγχεται η ορθότητα της θεωρίας Θ1, τότε η θεωρία Θ1 είναι αποδεκτή.

Παρόλο που οι φιλόσοφοι των Φ.Ε. και οι Φυσικοί Επιστήμονες συμφωνούν ότι οι Φ.Ε. βασίζονται στην παρατήρηση και το πείραμα, μέχρι σήμερα έχει δοθεί λίγη προσοχή στην ερώτηση πώς πιστεύουμε λογικά σε ένα πειραματικό αποτέλεσμα ή με άλλα λόγια στο πρόβλημα της επιστημολογίας του πειράματος. Πώς ξεχωρίζουμε ένα γνήσιο αποτέλεσμα από ένα αποτέλεσμα που είναι δημιουργία της πειραματικής συσκευής; (Franklin A., 1989).

Υποστηρίζεται ότι υπάρχει μια επιστημολογία του πειράματος που συνίσταται σε μια δέσμη στρατηγικών οι οποίες παρέχουν μια εύλογη πίστη στην αξιοπιστία ενός πειραματικού αποτελέσματος. Οι στρατηγικές αυτές μπορούν να διακρίνουν μια αξιόπιστη παρατήρηση ή μέτρηση από ένα τεχνητό αποτέλεσμα (artifact) που δημιουργεί η πειραματική συσκευή και περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Πειραματικούς ελέγχους και βαθμολογία (καλιμπράρισμα) κατά τα οποία η συσκευή παράγει γνωστά φαινόμενα.
2. Την αναπαραγωγή τεχνητών αποτελεσμάτων (artifacts) που είναι προκαταβολικώς γνωστή η ύπαρξή τους.
3. Παρεμβάσεις με τις οποίες ο πειραματιστής επηρεάζει το υπό παρατήρηση αντικείμενο.
4. Ανεξάρτητη επιβεβαίωση του φαινομένου με τη χρήση διαφορετικών πειραμάτων.
5. Τον περιορισμό των πιθανών πηγών λάθους και εναλλακτικές ερμηνείες των αποτελεσμάτων.
6. Τη χρησιμοποίηση των ίδιων των αποτελεσμάτων για την υπεράσπιση της ισχύος τους.
7. Τη χρησιμοποίηση μιας ανεξάρτητα καλά τεκμηριωμένης θεωρίας των φαινομένων για την εξήγησή τους.
8. Τη χρησιμοποίηση πειραματικής συσκευής, η λειτουργία της οποίας στηρίζεται σε καλά τεκμηριωμένη θεωρία. Ο Hacking υποστηρίζει (Hacking J., 1983) ότι στα περισσότερα σύγχρονα πειράματα χρησιμοποιούνται πολύπλοκες συσκευές με αποτέλεσμα τα αποτελέσματα να είναι επιβαρυνμένα με τη θεωρία της πειραματικής συσκευής.
9. Τη χρήση στατιστικών δεδομένων για την υπεράσπιση της επιχειρηματολογίας.

Η σπουδαιότερη και ευρέως χρησιμοποιούμενη στρατηγική είναι αυτή των πειραματικών ελέγχων και του καλιμπράρισματος. Ο πειραματιστής ελέγχει αν η πειραματική συσκευή μπορεί να αναπαράγει γνωστά αποτελέσματα. Παραδείγματος χάριν, αν ο πειραματιστής θέλει να μελετήσει το φάσμα που δίνει μια ουσία, πρώτα πρέπει να ελέγξει αν το φασματοσκόπιο που χρησιμοποιεί είναι αξιόπιστο. Δηλαδή, αν αυτό αναπαράγει, για παράδειγμα, τη σειρά Balmer στο φάσμα του υδρογόνου. Αν η σειρά αυτή αναπαράγεται σωστά από το συγκεκριμένο φασματοσκόπιο, τότε η πίστη του για την ορθότητα του φάσματος που παρατηρεί ενισχύεται.

Οι τρεις πρώτες στρατηγικές είναι απλές περιπτώσεις ελέγχου

της υπόθεσης ότι η πειραματική συσκευή λειτουργεί καλά. Γενικώς η παρατήρηση της απόδειξης που επιβάλλεται από μια υπόθεση ενδυναμώνει την πίστη μας στην απόδειξη.

Οι παραπάνω στρατηγικές μπορούν να ενσωματωθούν στη φιλοσοφία των Φυσικών Επιστημών. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν τις στρατηγικές αυτές στην προσπάθειά τους να γνωρίσουν τη φύση.

Αλληλεξάρτηση Θεωρίας - Πειράματος

Από πρώτη άποψη, η θεωρία και το πείραμα φαίνονται ως δύο ανεξάρτητες πηγές παραγωγής γνώσης στο χώρο των Φ.Ε. Ωστόσο, υπάρχει στενή σχέση αλληλοκαθορισμού. Τα φυσικά φαινόμενα οριοθετούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα η οποία περιλαμβάνει το συλλογισμό και τη θεωρητική προσέγγιση, που να μην είναι απαραίτητα γι' αυτό, αλλά δεν είναι αρκετά. Για την αναλυτική φιλοσοφία η σχέση θεωρίας - πειράματος είναι μια λογική σχέση μεταξύ προτάσεων. Το πείραμα είναι το μέσο παραγωγής δηλώσεων μετά από παρατήρηση που έχουν μια λογική σχέση με τις προτάσεις που προκύπτουν από τη θεωρία. Επιπλέον, ο πειραματισμός είναι μια σκόπιμη και λογική δραστηριότητα που με την εσωτερική συζήτηση παίρνει τη μορφή μιας λογικής σειράς προτάσεων (Gooding D., 1990).

Ο επιστήμονας που ασχολείται με τον πειραματισμό μετακινείται από το πρακτικό πλαίσιο της προσωπικής εμπειρίας σε μια γενική συζήτηση, όπου οι αμφισβητήσεις, οι γενικεύσεις και η κριτική είναι πολύ πιθανά πράγματα. Πώς όμως οι παρατηρήσεις κάνουν αυτή τη μετακίνηση; Για να απαντήσει κανείς σ' αυτό το ερώτημα πρέπει να ξεφύγει από το πλαίσιο του επεξηγηματικού και της δηλωτικής γνώσης και να κινηθεί στα όρια του παρατηρήσιμου, όπου η εμπειρία εκτιμάται και όπου θεωρούνται σημαντικές οι διαδικασίες πραγματοποίησής του και επικοινωνίας της.

Οι νοητικές διαδικασίες και οι χειρισμοί των υλικών συμπληρώνουν το ένα το άλλο. Το μέσο με το οποίο οι πειραματιστές επικοινωνούν τις αναπαραστάσεις και η συζήτηση που μεταφέρει τη νέα εμπειρία αγκαλιάζει και τα δύο. Έτσι το πείραμα αναδύεται ως μια

πρακτική μορφή της συζήτησης και αυτό συνεπάγεται μια διαφορετική αντίληψη για τη θεωρία.

Το γεγονός ότι οι ιστορικοί και οι φιλόσοφοι της επιστήμης έχουν απορρίψει την επαγωγική μεθοδολογία της επιστήμης είχε ως αποτέλεσμα αφ' ενός την παραμέληση της πειραματικής έρευνας και αφ' ετέρου την απόρριψη της παραγωγικής (generative) μεθοδολογίας για χάρη της άποψης που υπερεκτιμά το ρόλο της υπόθεσης στην επιστημονική έρευνα. Έτσι οι παραγωγικοί (generativists) υποστηρίζουν ότι οι θεωρητικοί ισχυρισμοί μπορούν να εξαχθούν μερικές φορές από τα φαινόμενα, ενώ οι υπέρμαχοι της υπόθεσης (hypotheticalists) το αρνούνται αυτό και περιορίζουν την πειραματική έρευνα στον έλεγχο των θεωρητικών ισχυρισμών (Nickles Th., 1989).

Κατά τον Franklin (1986), το πείραμα έχει συχνά τη δική του ζωή, είναι δηλαδή ανεξάρτητο από τη θεωρία. Κατ' αυτόν ο ρόλος του πειράματος είναι πολλαπλός. Πρώτον, ένας ρόλος του είναι να επιβεβαιώνει ή να ενδυναμώνει μια θεωρία. Δεύτερον, μας παρέχει τους λόγους για τους οποίους πρέπει να δεχθούμε μια θεωρία. Τρίτον, βοηθά κάποιον να επιλέξει μεταξύ δύο θεωριών. Τέταρτον, το πείραμα μπορεί να κάμει σαφή την ανάγκη για μια νέα θεωρία. Ωστόσο, υπάρχει μια πολύπλοκη σχέση ανατροφοδότησης μεταξύ της θεωρητικής εξήγησης και της πειραματικής παρατήρησης.

Αλλά το πείραμα δεν είναι ανεξάρτητο από τη θεωρία: το γεγονός ότι τα πολλά πειράματα είναι ποσοτικά, δείχνει ακριβώς αυτή την εξάρτηση, αφού τις περισσότερες φορές η θεωρία είναι αυτή που καθορίζει γιατί μας ενδιαφέρουν οι ποσότητες. Επιπλέον, τα πειράματα αυτά δεν αποτελούν το μέσο διά του οποίου ελέγχεται η ορθότητα μιας θεωρίας. Έτσι, για παράδειγμα, βρίσκουμε σημαντικές προσπάθειες των επιστημόνων για την ανάπτυξη της φασματοσκοπίας τόσο κατά τον δέκατο ένατο αιώνα, όπου δεν υπήρχε καμία σχετική θεωρία, όσο και κατά τον εικοστό, όπου η θεωρία του Bohr και η Κβαντική Μηχανική ερμήνευσαν τα πειραματικά δεδομένα και αύξησαν τη σπουδαιότητά τους (Franklin A., 1986).

Ένα πρόβλημα που έχει τεθεί κατά καιρούς είναι αν οι θεωρητικές προκαταλήψεις του πειραματιστή επηρεάζουν τα αποτελέσματα του πειράματος. Υπάρχει η πιθανότητα οι θεωρητικές προκαταλήψεις του πειραματιστή να τον οδηγήσουν να αναζητεί αυτά που έχει στο μυαλό του, αγνοώντας αυτά για τα οποία οι αισθήσεις του τον πληροφορούν.

6.5. Η σημασία του πειράματος στη διδασκαλία

Η ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ του πειράματος στη διδακτική πράξη είχε αναγνωριστεί από πολύ παλιά. Ο Edgeworths στο βιβλίο του *Essays on Practical Education Johnson*, London 1811, υποστηρίζει ότι οι μαθητές νιώθουν μεγάλη ικανοποίηση όταν αποκτούν πειραματικά τη γνώση και ότι τα πειράματα ταιριάζουν υπερβολικά στις ικανότητές τους. Δεν αγαπούν μόνο να βλέπουν, αλλά και να κάνουν πειράματα. Θα εκπλαγούμε, λέει, αν μελετήσουμε τον τρόπο με τον οποίο συλλογίζονται, γιατί δεν έχουν προκαταλήψεις και χρησιμοποιούν όλες τους τις αισθήσεις στη μάθηση. Προτού αποκτήσουν μερικές γνώσεις γύρω από τα φαινόμενα δεν είναι σε θέση να μελετήσουν τις αιτίες. Η παρατήρηση πρέπει να προηγείται του συλλογισμού και καθώς η κρίση δεν είναι τίποτα περισσότερο από την αντίληψη των αποτελεσμάτων της σύγκρισης, δεν πρέπει ποτέ να πιέζουμε τους μαθητές μας να βγάζουν συμπεράσματα, προτού αποκτήσουν κάποια εμπειρία. Όπως βλέπει κανείς, οι απόψεις αυτές δε διαφέρουν από τα πορίσματα της σύγχρονης Ψυχολογίας και θα ήταν πολύ χρήσιμο αν τις υιοθετούσαν οι διδάσκοντες τις Φ.Ε. σ' όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης (Κόκκοτας, 1988).

6.5.1. Ο ρόλος της πράξης στη μάθηση

Όπως υποστηρίζεται, η διαλεκτική των εννοιών παράγεται από τη διαλεκτική των πραγμάτων και όχι αντίστροφα. Κατ' αυτό τον τρόπο η γνώση δεν αποσπάται από το υλικό της υπόστρωμα. Κατά τον Piaget ο ρόλος της πράξης είναι πολύ σημαντικός. Κατ' αυτόν, σκο-

πός του φυσικού πειράματος δεν είναι να πάρουμε απλά και μόνο μια αναπαραστατική εικόνα της πραγματικότητας, αλλά να κατανοήσουμε ότι η γνώση η οποία προκύπτει με την αφαίρεση των αντικειμένων συνίσταται στο να δρούμε επάνω τους για να τα μετασχηματίσουμε, ώστε να διακρίνουμε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται αυτός ο μετασχηματισμός. Κατά συνέπεια, η γνώση δεν είναι η μετάδοση μιας παραστατικής εικόνας, αλλά συνίσταται πάντα σε ενεργητικές διαδικασίες που καταλήγουν στο μετασχηματισμό του πραγματικού. Επομένως συνδέεται αναπόσπαστα με τη δράση πάνω στα αντικείμενα. Στη διδασκαλία των Φ.Ε. το πείραμα κατέχει μοναδική θέση, γιατί βοηθάει τη διανοητική ανάπτυξη του παιδιού. Κατά τον Piaget, υπάρχουν τέσσερις παράγοντες που επηρεάζουν τη διανοητική ανάπτυξη του παιδιού. Ο Piaget υποστηρίζει ότι οι ψηλαφητοί χειρισμοί των αντικειμένων στο περιβάλλον σχηματίζουν τις πιο σπουδαίες εντυπώσεις στο παιδί. Εξάλλου, τα βασικά σχήματα που αναπτύχθηκαν στο παιδί δεν είναι δυνατόν να επεκταθούν ή να αναθεωρηθούν χωρίς τη φυσική εμπειρία στο περιβάλλον, το οποίο παρέχει ή δημιουργεί τις δυνάμεις προσαρμογής. Ας πάρουμε ως παράδειγμα το νόμο του Hooke. Για να τον κατανοήσει ο μαθητής πρέπει να τον μελετήσει πειραματικά. Η ακρίβεια του νόμου αυτού μπορεί να ελεγχθεί με τη μέτρηση της επιμήκυνσης ενός ελατηρίου, όταν σ' αυτό εφαρμοστεί μια γνωστή δύναμη και δεν μπορεί να ελεγχθεί με τα Μαθηματικά ή με τη λογική ή με την αίσθηση ή την ηθική και τα δόγματα του παρελθόντος. Ο νόμος αυτός είναι μια αλήθεια που αποδεικνύεται πειραματικά, όταν υπάρχουν ορισμένες προϋποθέσεις, αν δηλαδή η δύναμη που εφαρμόζουμε δεν υπερβαίνει το όριο ελαστικότητας του ελατηρίου. Γίνεται φανερό ότι η εμπειρική έρευνα είναι ένας από τους λίγους τρόπους με τους οποίους ο άνθρωπος εξετάζει το περιβάλλον του.

Η μύηση σ' αυτόν τον τρόπο κατανόησης και τις απαραίτητες ιδέες του, τις λογικές του δομές, τις μεθοδολογίες και τα κριτήρια με τα οποία μπορούν να εξακριβώσουν την αλήθεια, είναι σπουδαίο χαρακτηριστικό του μορφωμένου και πλήρους ανθρώπου.

Η πράξη αυτή καθαυτή σημαίνει ενεργό συμμετοχή, γεγονός που δημιουργεί το ενδιαφέρον που με τη σειρά του θα συμβάλει στη μάθηση. Γιατί όπου υπάρχει ενδιαφέρον, εκεί μπορεί να υπάρξει αληθινή και μόνιμη μάθηση που με τη σειρά της οδηγεί σε ενσυνείδητη δράση. Υποστηρίζεται (Χολτ, 1978) ότι αληθινή μάθηση πετυχαίνεται μόνο όταν ο μαθητής παίζει διπλό ρόλο, όταν είναι συγχρόνως μαθητής και δάσκαλος, δημιουργός και κριτικός, ακροατής και ομιλητής. Η μάθηση ως βιολογικό φαινόμενο προϋποθέτει ότι ο μαθητής συλλέγει και ερμηνεύει τις πληροφορίες για να χτίσει τη δική του γνώση και δεν τις αντιγράφει απόφρες, όπως φθάνουν στις αισθήσεις του (Flavell, 1977). Κατά συνέπεια η πράξη είναι απαραίτητη στη μάθηση, αφού τότε ο μαθητής ταυτίζει τον εαυτό του με ιδέες και αντικείμενα. Όταν δρώντας, βρίσκει τα δικά του μέσα έκφρασης και αυτά γίνονται το καύσιμο που θα αναπτύξει τη δημιουργικότητά του.

Το πείραμα στη σχολική πράξη παρουσιάζεται με δύο μορφές πολύ διαφορετικές: το φυσικό πείραμα και το λογικό μαθηματικό πείραμα. Το πρώτο χαρακτηρίζεται από το να επιδορά κανείς πάνω στα αντικείμενα και να ανακαλύπτει χαρακτηριστικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, ζυγίζοντας τα αντικείμενα διαπιστώνουμε ότι τα πιο βαριά δεν είναι και τα πιο μεγάλα. Το δεύτερο χαρακτηρίζεται επίσης από το να δρα κανείς πάνω στα αντικείμενα, τη φορά αυτή όμως να αποκαλύπτει αφαιρετικά ιδιότητες, ξεκινώντας όχι από τα ίδια τα αντικείμενα, αλλά από τις δράσεις πάνω σ' αυτά.

Η σύγχρονη ψυχολογία διδάσκει ότι για την παραγωγή της γνώσης είναι απαραίτητη η αλληλεπίδραση μεταξύ της δραστηριότητας και της σκέψης του ατόμου. Έτσι, ούτε ο απλός εμπειρισμός αλλά ούτε και ο απλός ρασιοναλισμός είναι σε θέση να δώσουν αληθινή γνώση. Αν η γνώση παράγεται από τις πράξεις του δρώντος ατόμου, τότε ο ρόλος του πειράματος είναι ουσιαστικός στη γνωστική διαδικασία.

6.5.2. Το πείραμα από το μαθητή

Το πείραμα λόγω των σκοπών που υπηρετεί είναι τελείως απαραίτητο, ανεξάρτητα από την ηλικία των μαθητών. Γιατί, εκτός από την κατανόηση της θεωρίας, συμβάλλει και στην ανάπτυξη τεχνικών δεξιοτήτων που είναι απαραίτητες στο σύγχρονο άνθρωπο. Τέτοιες δεξιότητες είναι η σωστή χρησιμοποίηση συσκευών, η κατανόηση και εκτέλεση οδηγιών, ειδικές δεξιότητες των χεριών κ.λπ. Κατά συνέπεια η μέθοδος των διαλέξεων που εφαρμόζεται σε μεγάλη έκταση στα σχολεία είναι ξεπερασμένη. Ο μαθητής ξεχνάει γρήγορα αυτά που ακούει, ενώ τα θυμάται όταν είναι αποτελέσματα πειραματικών διαδικασιών. Εκτελώντας πειράματα είναι υποχρεωμένος να εργαστεί μόνος του, να κάμει υποθέσεις, να επιλέξει τα μέσα που θα χρησιμοποιήσει, να παρατηρήσει προσεκτικά, να κάμει μετρήσεις, να εφαρμόσει τρόπους, να καταλήξει σε συμπεράσματα τα οποία και να επαληθεύσει. Με τον τρόπο αυτό συνηθίζει στην επιστημονική μεθοδολογία. Επιπλέον, συνηθίζει και στη νοοτροπία του επιστήμονα, αποκτώντας επωφελείς συνήθειες, όπως επιμονή, υπομονή, θάρρος, μαθαίνει να παίρνει πρωτοβουλίες και να βασίζεται στις δικές του δυνάμεις. Το πείραμα του διεγείρει και του διατηρεί το ενδιαφέρον, του προκαλεί την ευχαρίστηση που νιώθει ο δημιουργικά εργαζόμενος και του μαθαίνει να είναι αντικειμενικός.

Επειδή ένα μεγάλο μέρος της επικοινωνίας στο ακαδημαϊκό επίπεδο γίνεται με το γραπτό λόγο, το πείραμα είναι εξίσου απαραίτητο και για τους μεγαλύτερους μαθητές, αφού η εξάσκηση του σπουδαστή στην εκτέλεση γραπτών οδηγιών, στην κατανόηση του εξειδικευμένου λεξιλογίου, στο επιστημονικό στυλ, γίνεται πιο αποτελεσματικά, όταν εργάζεται μόνος του. Κατά τον ίδιο τρόπο, το γράψιμο ενός επιστημονικού δοκίμιου τον βοηθά να είναι σαφής, σύντομος και να καταλήγει σε σωστά συμπεράσματα.

Τέλος, η εκτέλεση των πειραμάτων από τους ίδιους του μαθητές έχει και άλλα πλεονεκτήματα. Π.χ. απελευθερώνεται ο δάσκαλος από την τήρηση πειθαρχίας, την υποχρέωση να μιλά ο ίδιος και βρίσκει το χρόνο για να δώσει οδηγίες, να επιβλέψει τη δουλειά κά-

θε μαθητή, ενώ παράλληλα υποχρεώνεται ο μαθητής να δουλέψει συνειδητά.

6.5.3. Το πείραμα επίδειξης

Η πειραματική επίδειξη στην τάξη περιλαμβάνει μια σειρά ενεργειών καλά προγραμματισμένων και σχεδιασμένων, που αποβλέπουν στην απεικόνιση ενός φαινομένου και την κατανόησή του από τους μαθητές. Μπορεί να γίνεται τόσο από το δάσκαλο, όσο και από μαθητές. Αν χρησιμοποιηθεί στην αρχή του μαθήματος, κάνει την παρουσίαση περισσότερο ζωντανή και προκαλεί το ενδιαφέρον των μαθητών. Με τη βοήθεια του πειράματος επίδειξης μπορεί να διδαχτεί μεγαλύτερος αριθμός μαθητών σε σύγκριση με την ερευνητική και ανακαλυπτική διδασκαλία.

Βέβαια, στο εργαστήριο πρέπει να επικρατούν οι καλύτερες δυνατές συνθήκες, ώστε ο μαθητής να μπορεί να βλέπει από τη θέση του ό,τι γίνεται στο τραπέζι της επίδειξης. Μικρές κινήσεις ή ενδείξεις μικρών οργάνων δυνατόν να μεγεθύνονται και να προβάλλονται σε οθόνη για να παρακολουθούν όλοι οι μαθητές. Ενώ διαρκεί η προβολή, οι μαθητές καλούνται να αποδώσουν γραφικά το φαινόμενο, να κάνουν προβλέψεις και εκτιμήσεις, να αναζητήσουν τις αιτίες που το προκαλούν κ.τ.λ. Με τον τρόπο αυτό το μάθημα αποκτά ενδιαφέρον και η μάθηση γίνεται αποδοτική. Με το πείραμα επίδειξης ο δάσκαλος πρέπει να προβληματίσει τους μαθητές, ζητώντας τους να καταγράψουν τις παρατηρήσεις τους, να κάμουν τις υποθέσεις τους και να βγάλουν τα συμπεράσματά τους. Διαφορετικά το κέρδος θα είναι πολύ μικρό (Π. Κόκκοτας, 1988).

Πολλές φορές είναι δυνατόν, ακόμα και όταν έχει γίνει σωστή προπαρασκευή, ένα σφάλμα να οδηγήσει στην αποτυχία του πειράματος, κάτι που οδηγεί στην αποτυχία όλου του μαθήματος. Αυτό είναι ο ουσιαστικός λόγος που μερικοί δάσκαλοι των Φυσικών μετά την αποτυχία ενός ή δύο πειραμάτων στην τάξη αποθαρρύνονται, εγκαταλείπουν την προσπάθεια για αυτοβελτίωση και δεν ξανακάνουν πειράματα, προφασιζόμενοι ότι τα όργανα είναι χαλασμένα, ότι δεν υπάρχουν όργανα κ.λπ. Αντίθετα, αν ο δάσκαλος

έχει καταξιωθεί ως πειραματιστής στα μάτια των μαθητών του, τότε με τη συνεργασία τους αρχίζει να ψάχνει για το σφάλμα. Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιεί τις διαδικασίες μάθησης, όπως παρατήρηση, υπόθεση, πειραματισμός κ.λπ. Αυτή ακριβώς είναι η μέθοδος που δίνει ουσία στο μάθημα και απαιτεί όλες εκείνες τις ικανότητες της εξυπνάδας, του συλλογισμού και της επιδεξιότητας, οι οποίες αποτελούν μέρος της σωστής εκπαίδευσης. Ένας καλός δάσκαλος των Φυσικών είναι δυνατόν να προκαλεί από καιρό σε καιρό ηθελιμένα λάθη στις διατάξεις πειραματισμού για να δίνει την ευκαιρία στους μαθητές να ερευνούν για την ανεύρεσή τους.

Ο εκπαιδευτικός με τη βοήθεια ερωτήσεων κατά τη διάρκεια της επίδειξης, μπορεί να κατευθύνει τη σκέψη των μαθητών σε μια προοχεδιασμένη πορεία που οδηγεί στη ζωντανή μάθηση.

Για τη σημασία του πειράματος επίδειξης στη διαδικασία της μάθησης μπορεί να συναντήσει κανείς τελείως αντιζουόμενες απόψεις. Άλλοι το κρίνουν απαραίτητο και θεωρούν ότι είναι αναγκαίο μερικά πειράματα να γίνονται με επίδειξη, π.χ. εκείνα για τα οποία απαιτούνται δαπανηρά όργανα ή δυσκολόχρηστες διατάξεις ή δεξιότητες χειρισμού που είναι πέρα από τις ικανότητες του μέσου μαθητή. Επιπλέον, αν δεχτούμε ότι ένας από τους στόχους της εργαστηριακής δουλειάς είναι η ανάπτυξη του ενδιαφέροντος, τότε γι' αυτό το στόχο το πείραμα επίδειξης είναι περισσότερο αποτελεσματικό παρά η διαδικασία του «καν' το μόνος σου». Δε λείπουν βέβαια και οι αντίθετες απόψεις. Συχνά ακούει κανείς δασκάλους των Φυσικών να υποστηρίζουν ότι το πείραμα επίδειξης αποτελεί προσβολή στην επιστημονική μέθοδο και για το λόγο αυτό δεν έχει θέση στη διδασκαλία. Βέβαια, στο παραδοσιακό σχολείο, το οποίο εργάζεται μόνο με εξηγήσεις, τα πειράματα, όταν γίνονται, λειτουργούν μόνο σαν αποδεικτικό συμπλήρωμα και κατά συνέπεια η εξήγηση ακόμα και όταν υποβοηθείται με την απόδειξη, επιφέρει την επιφανειακή και τυπική μόνο γνώση. Άλλοι παρομοιάζουν το τραπέζι των πειραμάτων επίδειξης με τη γέφυρα του καπετάνιου στο πλοίο, όπου ο δάσκαλος μπορεί να στέκεται και να επιβλέπει σειρές μαθητών, των οποίων τα βλέμματα είναι σηκωμένα πάνω

του, ψάχνοντας για τις πληροφορίες που κατά πάσα πιθανότητα θα τους χρειαστούν στις επόμενες εξετάσεις.

Είδαμε στα προηγούμενα ότι η γνώση είναι ουσιαστική, όταν το άτομο χρησιμοποιεί δημιουργικά τη φαντασία του· κατά συνέπεια το πείραμα επίδειξης περιορίζει την ελευθερία του ανθρώπου να χρησιμοποιεί το μυαλό του κατά έναν αδέσμευτο τρόπο. Ωστόσο, θα ήταν λάθος να υποβαθμίσει κανείς τη σημασία του κυρίως στις ανώτερες βαθμίδες της εκπαίδευσης και σε χώρες σαν τη δική μας, όπου η υπάρχουσα υλικοτεχνική υποδομή είναι ακόμα σε υποτυπώδη κατάσταση. Εδώ μόνο ένα καλά σχεδιασμένο και σωστά εκτελεσμένο πείραμα επίδειξης είναι δυνατόν να επιταχύνει τη σκέψη, να προκαλέσει σε συζήτηση τους μαθητές και να υποδείξει το επόμενο βήμα στη μελέτη ενός φαινομένου. Κατά συνέπεια, στο δικό μας σχολείο το πείραμα επίδειξης είναι αυτό που διαφοροποιεί τα Φυσικά από τα άλλα μαθήματα του αναλυτικού προγράμματος.

6.5.4. Συμβάλλει το πείραμα στην κατανόηση των εννοιών;

Το πείραμα περιλαμβάνει τη δημιουργία του περιβάλλοντος που είναι σχεδιασμένο να δώσει απάντηση σε μια ορισμένη ερώτηση γύρω από τις φυσικές διαδικασίες. Ο πειραματιστής καθορίζει πώς θα γίνει η παρατήρηση, ποιοι παράγοντες θα μεταβάλλονται, ποιοι θα κρατηθούν σταθεροί κ.τ.λ.

Τα ερωτήματα που θα μπορούσε να θέσει κάποιος σε σχέση με το ρόλο του πειράματος στη διδασκαλία είναι: Μπορεί το πείραμα να βοηθήσει στην κατανόηση της φυσικής έννοιας; Ακόμα και στην περίπτωση που αυτό γίνεται από τους μαθητές μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι βοηθάει στην κατανόηση της θεωρίας;

Έρευνες που έγιναν (Κουμαράς, 1989) πάνω στις ιδέες των μαθητών για το ηλεκτρικό κύκλωμα θέτουν υπό αμφισβήτηση τις καταφατικές απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα. Παραδείγματος χάρη, η δημιουργία των πειραμάτων μόνο με βάση τη θεωρία, χωρίς απώτερο σκοπό τη γνωστική σύγκρουση με τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών, είναι περιορισμένης αποτελεσματικότητας για

την κατανόηση των σχετικών εννοιών. Κατά τον Cartwright (1989) το πείραμα δεν βοηθάει τους μαθητές στην κατανόηση, αν ο δάσκαλος δεν βοηθήσει και δεν εξηγήσει τα διαδραματιζόμενα. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι στο μαθητή αλλά και στο δάσκαλο υπάρχουν δύο είδη αναπαραστάσεων: το ένα έχει να κάνει με τα χρησιμοποιούμενα όργανα αυτά καθαυτά, δηλαδή την εικόνα των χρησιμοποιούμενων οργάνων στη σκέψη του υποκειμένου. Το δεύτερο είδος είναι ένα σχηματικό μοντέλο των ίδιων οργάνων, που κατασκευάζεται με τη βοήθεια συμβόλων που παρέχουν οι θεωρίες και είναι αυτό το ιδανικό όργανο πάνω στο οποίο πρέπει να συγκεντρώσει τη σκέψη του και να εφαρμόσει τους νόμους και τους τύπους της Φυσικής.

Μεταξύ των αφηρημένων συμβόλων και ενός συγκεκριμένου γεγονότος μπορεί να υπάρξει αντιστοιχία, αλλά ποτέ δεν μπορεί να υπάρξει ισοτιμία. Τα αφηρημένα σύμβολα δεν μπορούν να αποτελέσουν επαρκή αναπαράσταση των συγκεκριμένων γεγονότων ή οργάνων. Αυτό σημαίνει ότι παρά την παρουσία των οργάνων και συσκευών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών το υποκείμενο πρέπει να εργαστεί στο αφηρημένο επίπεδο με τη χρήση συμβόλων και διαγραμμάτων. Ο ρόλος του πειράματος έγκειται στο να βοηθήσει το υποκείμενο να συλλάβει το αφηρημένο, χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο που είναι η πειραματική διάταξη. Ωστόσο, το πείραμα δίνει την ευκαιρία στο δάσκαλο να κάνει παραγωγικές ερωτήσεις, που υποτίθεται ότι οδηγούν σε ερμηνευτικές δραστηριότητες που όμως στην πράξη δεν οδηγούν πουθενά. Για παράδειγμα ερωτήσεις του τύπου: Τι γίνεται εδώ; Τι νομίζετε ότι συμβαίνει; Γράψτε τι συνέβη. Δυστυχώς αυτό το είδος της πρόσκλησης τοποθετεί το μαθητή όχι στον εύλογο ρόλο του ερμηνευτή αυτών που κάποιος προσπαθεί να πει, αλλά στον ακόμα δυσκολότερο ρόλο του ερμηνευτή της φύσης. Κάτι που είναι πέρα από τις δυνατότητες των μαθητών, αφού σοφοί επιστήμονες χρειάστηκαν δεκαετίες ολόκληρες για να ερμηνεύσουν τα ίδια φαινόμενα (Sutton, 1992). Η λύση είναι ίσως να σταματήσουμε να πιστεύουμε ότι η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών είναι μελέτη της φύσης. Οι Φυσικές Επιστήμες εί-

ναι μελέτη της φύσης, αλλά η διδασκαλία τους στις σχολικές τάξεις πρέπει να είναι η μελέτη αυτών που οι άνθρωποι είπαν και σκέφτηκαν για τη φύση.

Ο Sutton υποστηρίζει ότι πρέπει να εγκαταλείψουμε την πλέον παραδοσιακή άποψη στο θέμα της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών, δηλαδή αυτή που υποστηρίζει ότι οι ιδέες ξεπηδούν από το «βλέποντας τι γίνεται» στα πειράματα.

Κατ' αυτόν, για να επιτευχθούν οι σκοποί της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών πιο αποτελεσματικά και με μεγαλύτερη ικανοποίηση για το μαθητή και το δάσκαλο, πρέπει να βρεθεί μια καινούργια ισορροπία ανάμεσα στις δραστηριότητες που γίνονται στη σχολική τάξη.

Οι διδάσκοντες το μάθημα των Φ.Ε. αναμένουν από τους μαθητές τους να ερμηνεύσουν το πείραμα. Δυστυχώς οι τελευταίοι δεν ερμηνεύουν αυτό που παρατηρούν με τον τρόπο που θα επιθυμούσαν οι διδάσκοντες. Αυτό συμβαίνει, γιατί η θεωρία δε συσχετίζεται με ένα και μοναδικό τρόπο με τα δεδομένα. Οι δραστηριότητες με όργανα και συσκευές στην τάξη ή στο εργαστήριο δεν είναι αρκετές για να αναπτύξουν τα παιδιά τη σκέψη τους. Οι φιλόσοφοι των Φ.Ε. έχουν αναφερθεί στα όρια του λογικού εμπειρισμού για την κατανόηση των εννοιών. Φαίνεται ότι πράγματι η δραστηριότητα δεν είναι αρκετή από μόνη της για την κατανόηση, ίσως είναι η ερμηνεία που της δίνουμε, η οποία έχει αξία. Για το λόγο αυτό ίσως πρέπει να αφιερώνεται αρκετός χρόνος για να σκέφτονται οι μαθητές, τόσο ως μεμονωμένα άτομα, όσο και στα πλαίσια της ομάδας, για να ερμηνεύσουν τα πειραματικά δεδομένα.

Το πείραμα ανήκει στο φυσικό κόσμο, όπως οι μαθητές τον αντιλαμβάνονται με τις αισθήσεις τους. Ωστόσο, η κατανόηση και η ερμηνεία του πειράματος θα γίνουν στον «κόσμο» των συμβόλων, τον «κόσμο» των εννοιών, που είναι ένας κόσμος αφηρημένος. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί δυσκολεύονται να κατανοήσουν οι μαθητές όχι μόνο το πείραμα, αλλά γενικότερα την επιστήμη. Έτσι, άλλα αντιλαμβάνονται οι μαθητές και άλλα νομίζουν οι δάσκαλοι ότι αυτοί αντιλαμβάνονται.

Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι η κατανόηση των εννοιών και της θεωρίας δεν είναι ο μοναδικός σκοπός της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών, ώστε ο ρόλος του πειράματος να θεωρηθεί ήσσονος σημασίας. Υπάρχουν και άλλοι σκοποί της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών στην πραγμάτωση των οποίων το πείραμα συμβάλλει αποφασιστικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- HARRE, R. (1981), *Great Scientific experiments* Oxford Phaidon.
- HARRE, R. (1972), *The Philosophies of Science*, Oxford University Press, Oxford, New York.
- KARTWRIGHT, N. (1989), *Natures Capacities and Measurements*, Clarendon Press, Oxford.
- ΚΟΥΜΑΡΑΣ, Π. (1989), *Μελέτη της εποικοδομητικής προσέγγισης στην πειραματική διδασκαλία του Ηλεκτρισμού*, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- SUTTON (1992), *Words, Science and Learning*, Open University Press, Buckingham, Philadelphia.
- FLAVELL, J. (1977), *Cognitive Development* Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, N. Jersey, 1977.
- ΧΟΛΤ, Τ. (1978), *Το σχολείο φυλακής και η ελεύθερη μάθηση*, εκδ. Καστανιώτη, Αθήνα.
- HACKING, I. (1983), *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge
- WOODING, D. (1990), *Experiment and the Making of Meaning*, Kluwer Academic Publishers London, Boston.
- NICKLES, Th. (1989), *Justification and Experiment*. In GOODING, D. et al. (eds).
- FRANKLIN, A. (1986), *The Role of Experiment*, Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- ROBERTSON, J. (ed.) (1976), *The Philosophical works of F. Bacon*, Freeport N. York.
- ΚΟΚΚΟΤΑΣ, Π. (1989), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*, εκδ. Γρηγόρη, Αθήνα.