

Η διδασκαλία στοιχείων Φύσης της Επιστήμης.

1. Τίτλος

Η διδασκαλία στοιχείων Φύσης της Επιστήμης (ΦΤΕ). Η περίπτωση του πειράματος της σταγόνας λαδιού του Millikan

2. Λέξεις κλειδιά

Φύση της Επιστήμης, Ιστορία της Επιστήμης, Επιστημονική διαμάχη, Millikan, Ehrenhaft, στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο, ηλεκτρόνιο.

3. Ομάδες εφαρμογής

Μαθητές Λυκείου ηλικίας 15-16

4. Συγγραφείς και Ιδρύματα

Ελένη Παρασκευοπούλου, Εκπ/ρια Γείτονα, eparask62@gmail.com

Δημήτρης Κολιόπουλος, ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών, dkoliop@upatras.gr

5. Περίληψη

Η συγκεκριμένη μελέτη (case study) αναφέρεται σε μια διδασκαλία η οποία απευθύνεται σε μαθητές 15-16 ετών που παρακολουθούν ένα μάθημα φυσικής στα πλαίσια του παραδοσιακού προγράμματος σπουδών του Λυκείου. Στη διδασκαλία αυτή χρησιμοποιείται η ιστορία των επιστημών και συγκεκριμένα η διαμάχη του Millikan και Ehrenhaft για τη φύση του ηλεκτρικού φορτίου με στόχο την κατανόηση από τους μαθητές στοιχείων Φύσης της Επιστήμης (ΦΤΕ).

6. Περιγραφή της Διδασκαλίας

Σκοπός αυτής της μελέτης περίπτωσης ήταν να μετασχηματισθούν οι βασικές ιδέες για τη σχέση του ιστορικού γεγονότος της διαμάχης Millikan και Ehrenhaft με την ανάδειξη χαρακτηριστικών της ΦΤΕ, σε μια διδακτική ακολουθία ενοτήτων η οποία θα έδινε τη δυνατότητα σε μαθητές ηλικίας 15-16 ετών να προσεγγίσουν βασικά χαρακτηριστικά της ΦΤΕ στα πλαίσια ενός παραδοσιακού προγράμματος σπουδών φυσικής.

Οι βασικές καθοδηγητικές αρχές της προτεινόμενης διδακτικής παρέμβασης ήσαν οι εξής:

- η ρητή διδασκαλία στοιχείων ΦΤΕ ως διαδικασίας ενσωματωμένης μέσα στο πλαίσιο του επιστημονικού περιεχομένου. Τα στοιχεία της ΦΤΕ που κρίθηκε ότι είναι δυνατόν να διδαχθούν μέσα από τη διαμάχη των δύο ερευνητών ήσαν: (α) ο προσωρινός χαρακτήρας της επιστημονικής γνώσης, (β) η διάκριση παρατήρησης – συμπερασμού, (γ) ο καθοριστικός ρόλος των εμπειρικών δεδομένων στη διαμόρφωση εννοιών των φυσικών επιστημών, (δ) ο υποκειμενικός χαρακτήρας των φυσικών επιστημών, και (ε) ο ρόλος της φαντασίας και της δημιουργικότητας του επιστήμονα στη διαμόρφωση της θεωρίας.

- η δημιουργία σύντομων ιστοριών (short-stories) μέσω των οποίων παρουσιαζόταν η συγκεκριμένη διαμάχη πάνω στην κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου. Κατασκευάστηκαν τέσσερις σύντομες ιστορίες που είχαν σα στόχο να αναδειχθεί το συγκεκριμένο επιστημονικό περιεχόμενο και να βοηθηθούν οι μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τα χαρακτηριστικά της ΦΤΕ που είχαν επιλεγεί για να

διδαχθούν.

- η υιοθέτηση ενός τροποποιημένου διδακτικού μοντέλου που έχουν προτείνει οι Monk & Osborn (1997) σύμφωνα με το οποίο οι πρωταρχικές αντιλήψεις των μαθητών πάνω σε ένα θέμα αντιπαρατίθενται με τις απόψεις που ιστορικά έχουν διατυπωθεί από τους επιστήμονες σε σχέση με αυτό.

7. Ιστορικό και φιλοσοφικό background που περιέχει Φύση της Επιστήμης

Το ιστορικό γεγονός που χρησιμοποιείται στην προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση είναι η διαμάχη των Millikan-Ehrenhaft για την ύπαρξη του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου, που συχνά αναφέρεται ως η 'μάχη για το ηλεκτρόνιο'. Τα γεγονότα διαδραματίζονται γύρω στο 1910 και οδηγούν τους δύο πρωταγωνιστές τους σε δύο αντιδιαμετρικά αντίθετες κατευθύνσεις, τον έναν στην επιτυχία και το βραβείο Nobel και τον άλλον στην αποτυχία και την αφάνεια. Πρόκειται για τον Αμερικάνο R. Millikan άγνωστο τότε καθηγητή σε ένα νέο πανεπιστήμιο, το πανεπιστήμιο του Chicago, έναν άντρα 50 χρόνων περίπου, με λίγες επιστημονικές δημοσιεύσεις και για τον Ευρωπαίο F. Ehrenhaft διάσημο φυσικό και καθηγητή σε ένα φημισμένο πανεπιστήμιο, το πανεπιστήμιο της Βιέννης, έντεκα χρόνια νεότερο από το Millikan.

Ο Millikan πίστευε στην υπόθεση ότι υπήρχε ένα ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο, αυτό του ηλεκτρονίου. Εξέφραζε την εκδοχή του ατομισμού για τον ηλεκτρισμό, την αντίληψη δηλαδή ότι υπήρχε στη φύση ένα στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο από το οποίο αποτελούνταν όλα τα σώματα. Ο Millikan δούλευε πάνω σε μια ερευνητική παράδοση που ανέτρεχε στη διατύπωση του G. J. Stoney το 1881 για μια ατομική μονάδα ηλεκτρισμού, την οποία αργότερα ονόμασε 'ηλεκτρόνιο'. Ο J. J. Thomson συνέβαλε σημαντικά σε αυτήν την ερευνητική παράδοση όταν το 1897 έδειξε ότι οι καθοδικές ακτίνες αποτελούνταν από ατομικές μονάδες, τις οποίες αποκάλεσε «corpuscles» και έπειτα συνέχισε για να προσδιορίσει την αναλογία e/m για αυτά. Ο Ehrenhaft αντίθετα πίστευε ότι δεν υπήρχε ελάχιστο φορτίο και ότι υπήρχαν μικρά σωματίδια που το φορτίο τους ήταν κλάσμα του φορτίου του ηλεκτρονίου. Εξέφραζε την εκδοχή της συνέχειας για τον ηλεκτρισμό. Ο Ehrenhaft ήταν επηρεασμένος από το φιλοσοφικό ρεύμα της συνέχειας για τη δομή της ύλης, που άνθιζε στην Ηπειρωτική Ευρώπη, κύριος εκφραστής του οποίου ήταν ο Mach. Οι οπαδοί αυτού του φιλοσοφικού ρεύματος ήθελαν μια φυσική απαλλαγμένη από άχρηστες μεταφυσικές υποθέσεις τέτοιες όπως ο ατομισμός (Holton, 1978). Συγκεκριμένα ο Mach απέρριπτε την ύπαρξη των μη παρατηρήσιμων οντοτήτων και ισχυριζόταν ότι η επιστήμη θα έπρεπε να ασχολείται μόνο με οντότητες που θα μπορούσαν να είναι παρατηρήσιμες με εμπειρικά μέσα (Matthews, 1994). Και οι δύο επιστήμονες αναγνώριζαν ότι το αντικείμενο της έρευνας τους όπως επίσης και η ουσία της διαμάχης τους, άγγιζε τα θεμέλια της επιστήμης.

Ο Millikan στην αρχή (1908) χρησιμοποίησε τη μέθοδο του Wilson, η οποία βασιζόταν στη μελέτη νέφωσης υδρατμών, που κινούνταν υπό την επίδραση βαρυτικού και ηλεκτρικού πεδίου. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο ο Millikan και ο μαθητής του Louis Begeman βρήκαν μια μέση τιμή του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου που ήταν κάπως μικρότερη από την αναμενόμενη και με ένα μεγάλο εύρος τιμών. Το μεγάλο εύρος θα μπορούσε να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι το φορτίο

μπορεί να πάρει οποιεσδήποτε τιμές και ότι δεν υπάρχουν ακέραια πολλαπλάσια του ελάχιστου ηλεκτρικού φορτίου. Ο ίδιος ο Millikan σημειώνει ότι : «Πράγματι η αστάθεια, η παραμόρφωση και η απροσδιοριστία της κορυφής της νέφωσης ήταν κάπως απογοητευτική και τα αποτελέσματα δεν θεωρήθηκαν άξια να δημοσιευθούν» (Millikan, 1947, p. 55-57). Το πειραματικό αυτό



αποτέλεσμα αντί να οδηγήσει το Millikan στο συμπέρασμα ότι η υπόθεσή του για την κβάντωση του φορτίου ήταν εσφαλμένη τον οδηγεί στην ανάγκη βελτίωσης της πειραματικής μεθόδου που χρησιμοποιούσε. Μετά από συνεχείς βελτιώσεις της πειραματικής μεθόδου ο Millikan επιτυγχάνει να υπολογίσει μια τιμή για το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο πολύ κοντά στην αναμενόμενη τιμή και το 1910 κάνει τη πρώτη σημαντική δημοσίευση των αποτελεσμάτων του. Σ' αυτήν την πρώτη δημοσίευση ο Millikan εξηγούσε τον τρόπο με τον οποίο αξιολογούσε τις μετρήσεις του. «Οι παρατηρήσεις που ήταν σημειωμένες με ένα τριπλό αστέρι ήταν αυτές οι οποίες ήταν σημειωμένες ως οι 'καλύτερες' στο σημειωματάριο μου...Οι παρατηρήσεις με διπλό αστέρι ήταν σημειωμένες ως 'πολύ καλές'. Αυτές που σημειώνονται με ένα αστέρι ήταν σημειωμένες ως 'καλές' και οι άλλες 'μέτριες'» (Millikan, 1910. p..220). Και επίσης «... δεν έλαβα υπόψη μου τρεις μετρήσεις που πήρα σε σταγόνες που δεν ισορροπούσαν» (στο Holton, 1978, p.38)

Η διαμάχη αρχίζει όταν στο άρθρο του αυτό ο Millikan κάνει κριτική για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που είχε δημοσιεύσει ο Ehrenhaft, παρ' όλο που και τα αποτελέσματα και η μέθοδος που χρησιμοποιούσε έμοιαζαν με τα δικά του. Ο Ehrenhaft απάντησε στην κριτική του Millikan με ένα επόμενο άρθρο στο οποίο υπολόγισε το φορτίο της κάθε σταγόνας για κάθε παρατήρηση του Millikan χωριστά. Το αποτέλεσμα ήταν ένα πολύ μεγάλο εύρος τιμών του φορτίου της σταγόνας, που δεν ήταν όλες ακέραιο πολλαπλάσιο του στοιχειώδους. Αυτό το αποτέλεσμα εξασθενούσε τον ισχυρισμό για την ύπαρξη του ελάχιστου ηλεκτρικού φορτίου. Η άποψη του Ehrenhaft ήταν ότι η ισχυρή αντίληψη του Millikan για την ύπαρξη του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου τον οδηγούσε να παρουσιάζει ένα υψηλό επίπεδο λάθους στις τιμές. Η άποψη του Millikan για τον τρόπο με τον οποίο ο Ehrenhaft χειρίστηκε τα δεδομένα είναι ότι «επιθυμούσε με όλη του δύναμη να γυρίσει την πλάτη του σε ένα βασικό γεγονός της φύσης –τον αδιαίρετο χαρακτήρα του e [του φορτίου του ηλεκτρονίου]» (Holton, 1978, p. 69).

Η αντιπαράθεση ανάμεσα στις δύο πλευρές ήταν ισχυρή. Ο Ehrenhaft έγραψε 12 περίπου άρθρα μέσα σε τέσσερα χρόνια, όλα εντελώς στοχευμένα στην αμφισβήτηση των μετρήσεων του Millikan. Ο Millikan επίσης μέσα από άρθρα αντίκρουσε τα επιχειρήματα του Ehrenhaft.

Μια νέα διάσταση στη διαμάχη Millikan-Ehrenhaft προστέθηκε όταν ο Holton ανακάλυψε δύο εργαστηριακά τετράδια σημειώσεων του Millikan στα Αρχεία στο Ινστιτούτο της Τεχνολογίας στην Καλιφορνία. Οι σημειώσεις αυτές (28 Οκτωβρίου 1911, ως 16 Απριλίου 1912, περίπου 175 σελίδες) δίνουν μια σπάνια ευκαιρία να δει κανείς τη δουλειά ενός επιστήμονα στο εργαστήριό του. Αυτές οι σημειώσεις είχαν ανεπεξέργαστα δεδομένα και από αυτά φάνηκαν κάποιες από τις διαδικασίες επιλογής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στο άρθρο που δημοσιεύθηκε στο Physical Review (Millikan, 1913). Από την άλλη μεριά οι σημειώσεις του Ehrenhaft, χάθηκαν στο δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, όταν αυτός μετανάστευσε στις Ηνωμένες

Πολιτείες μετά την κατάκτηση της Αυστρίας από τους Nazi. Στις εργαστηριακές σημειώσεις του Millikan υπήρχαν μετρήσεις για 140 σταγόνες και τα δημοσιευμένα αποτελέσματα το 1913 αναφέρουν με έμφαση ότι υπήρχαν μετρήσεις για 58 σταγόνες. Τι συνέβη με τις άλλες 82 σταγόνες; Ο Millikan δεν χρησιμοποίησε τις τιμές του φορτίου του ηλεκτρονίου που ήταν ενάντια στην αρχική του αντίληψη και φαίνεται ότι ο λόγος για τον οποίο δεν έλαβε υπόψη του τα περισσότερο από τα μισά δεδομένα ήταν οι καθοδηγητικές υποθέσεις που αυτός είχε.

Όπως φαίνεται από τα προηγούμενα, το ιστορικό γεγονός της διαμάχης Millikan – Ehrenhaft είναι δυνατόν να αναδείξει διάφορες όψεις και χαρακτηριστικά της ΦτΕ, ορισμένα από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως διδακτικοί στόχοι στο συγκεκριμένο case study.

8. Ομάδες εφαρμογής, Συνάφεια με το Αναλυτικό πρόγραμμα και Διδακτικά οφέλη

Η συγκεκριμένη διδακτική ακολουθία απευθύνεται σε μαθητές της Β' Λυκείου του ελληνικού σχολείου (ηλικίας 15-16 ετών) οι οποίοι παρακολουθούν ένα πρόγραμμα φυσικής που απευθύνεται σε μαθητές που έχουν επιλέξει ως κατεύθυνση μελλοντικών σπουδών τις φιλολογικές σπουδές. Οι μαθητές δεν έχουν διδαχθεί πριν τη διδακτική παρέμβαση στοιχεία ΦτΕ ενσωματωμένα στο επιστημονικό περιεχόμενο. Στο παραδοσιακό πρόγραμμα σπουδών αναφέρεται απλώς ότι «το φορτίο του ηλεκτρονίου είναι η μικρότερη ποσότητα αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου που εμφανίζεται ελεύθερη στη φύση», ενώ οι μαθητές καλούνται να λύσουν ορισμένα σχετικά μαθηματικά προβλήματα. Η προτεινόμενη διδασκαλία αφ' ενός ανασυνθέτει το περιβάλλον μέσα στο οποίο γεννήθηκε η συγκεκριμένη επιστημονική γνώση και αφ' ετέρου αναδεικνύει στοιχεία ΦτΕ, η απουσία των οποίων δημιουργεί στους μαθητές μια εικόνα ότι η επιστήμη είναι αντικειμενική, μόνιμη, προϊόν ρουτίνας και εφαρμογής συγκεκριμένων κανόνων ή οδηγιών. Έτσι, επιδιώκεται οι μαθητές να προσεγγίσουν τη συγκεκριμένη επιστημονική γνώση με ενδιαφέροντα τρόπο, να αποκτήσουν μια θετική στάση προς τις φυσικές επιστήμες (ιδιαίτερως εκείνοι που δεν θα ακολουθήσουν σπουδές φυσικών επιστημών) και να αποκτήσουν μια κριτική αντίληψη για τη λειτουργία των φυσικών επιστημών. Εναλλακτικά, η προτεινόμενη διδασκαλία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επιμόρφωση εκπαιδευτικών που διδάσκουν φυσικές επιστήμες σε διάφορες βαθμίδες της εκπαίδευσης με τους ίδιους στόχους.

9. Δραστηριότητες, Μέθοδος διδασκαλίας και Μέσα διδασκαλίας

Η δομή και το περιεχόμενο της διδασκαλίας

Η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση (βλέπε **πίνακα**) αποτελείται από πέντε διδακτικές ενότητες. Στην πρώτη διδακτική ενότητα παρουσιάστηκε στους μαθητές το ιστορικό-πολιτιστικό πλαίσιο μέσα στο οποίο αναδείχθηκε το ερώτημα της κβάντωσης ή όχι του ηλεκτρικού φορτίου. Για το σκοπό αυτό δόθηκε στους μαθητές ένα κείμενο με τίτλο «Ιστορικό πλαίσιο». Αναφέρθηκαν επίσης οι δύο καθοδηγητικές υποθέσεις της κβάντωσης και της συνέχειας του ηλεκτρικού φορτίου, που διατυπώθηκαν από το Millikan και τον Ehrenhaft, αντίστοιχα. Στην δεύτερη διδακτική ενότητα, αφού παρουσιάστηκε στους μαθητές το ιστορικό πείραμα της σταγόνας λαδιού του Millikan, τους δόθηκε φύλλο εργασίας με υποθετικά δεδομένα

του πειράματος και κλήθηκαν να απαντήσουν σε ερωτήσεις οι οποίες στόχευαν να τους εμπλέξουν σε μια συζήτηση για τις διαφορετικές ερμηνείες που μπορούν να λάβουν τα ίδια δεδομένα και, κατά συνέπεια, για το ρόλο που παίζουν η υποκειμενικότητα, η φαντασία και η δημιουργικότητα κατά τη διαδικασία οικοδόμησης της επιστημονικής γνώσης. Επίσης δίνεται εδώ η ευκαιρία να επισημανθεί ότι τα δεδομένα από μόνα τους δεν λένε στον επιστήμονα τι να σκεφτεί, αλλά αντίθετα εκείνος πρέπει να αναπτύξει ιδέες για την ερμηνεία των δεδομένων. Με αυτό τον τρόπο αναδεικνύεται ο ρόλος της φαντασίας και της δημιουργικότητας της επιστημονικής γνώσης.

Στην τρίτη, τέταρτη και πέμπτη διδακτική ενότητα εισάγονται σύντομες ιστορίες σχετικές με τη διαμάχη Millikan και Ehrenhaft, η κάθε μια από τις οποίες συνοδεύεται από ερωτήσεις που επικεντρώνουν την προσοχή των παιδιών σε ένα διαφορετικό χαρακτηριστικό της ΦτΕ.

Πίνακας: Μοντέλο διδακτικής διαδικασίας

Βλέπε στο τέλος

1. Ιστορικό πλαίσιο

Στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ου αιώνα...

Το τοπίο στη φυσική

Η μηχανική ήταν σε πλήρη ανάπτυξη. Η μπαταρία είχε περίπου 100 χρόνια ζωής. Είχε επιτευχθεί η ενοποίηση ηλεκτρισμού-μαγνητισμού με τη βοήθεια των πειραμάτων του Faraday. Είχε αποδοθεί η φύση του φωτός σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία χρησιμοποιούνταν για την αναπαραγωγή όλων των φαινομένων της Οπτικής (ανάκλαση, διάθλαση, κ.λπ.). Η θεωρία για τη συμπεριφορά των αερίων είχε φθάσει στο αποκορύφωμά της.



Η έννοια του ατόμου δεν ήταν πλήρως αποδεκτή. Αρκετοί επιστήμονες ακόμη και το 1905 ατέρριπταν κατηγορηματικά τη σωματιδιακή θεωρία της ύλης. Κάποιοι μπορεί να αναγνώριζαν τη χρησιμότητά της για την εξήγηση κάποιων φαινομένων, αλλά τη θεωρούσαν απομακρυσμένη από την πραγματικότητα.

Μολονότι οι χημικοί γνώριζαν τα άτομα 100 χρόνια πριν και οι φυσικοί, μέσω της συμπεριφοράς των αερίων, είχαν επίσης κάνει εκτεταμένη χρήση των ατομικών υποθέσεων, **τίποτα δεν ήταν γνωστό γύρω από την ατομική σύσταση και δομή.**

Περί το 1895 και δύο τρία χρόνια αργότερα η Φυσική έκανε μια αποφασιστική στροφή: μερικές πειραματικές ανακαλύψεις άνοιξαν το δρόμο για τη μικροσκοπική έρευνα του ατομικού κόσμου. Σημαντική βοήθεια προς την κατεύθυνση αυτή αποτέλεσε η πρόοδος που έγινε στη δημιουργία κενού.

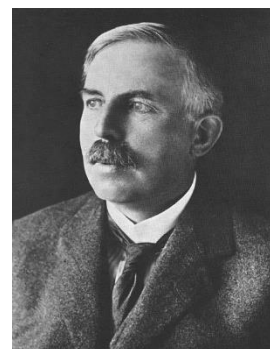
Εκείνη την εποχή έχουμε την ανακάλυψη των ακτίνων X από το Γερμανό Rontgen και της ραδιενέργειας από τους Γάλλους Μπεκερέλ και το ζεύγος Κιουρί. Ο J. J. Thomson διευθυντής του εργαστηρίου Cavendish του Κέμπριτζ επιβεβαιώνει ότι η φύση των καθοδικών ακτίνων είναι μικροσκοπικά σωματίδια. Ο Άγγλος Ράδερφορντ

μαζί με το Γκάιγκερ (1908) μετά από πειράματα καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η ακτινοβολία α που εκπέμπεται από το ραδιενεργό ουράνιο είναι πυρήνες ηλίου και υπολογίζουν τον αριθμό Avogadro, το φορτίο του ηλεκτρονίου και άλλες σταθερές που είχαν ήδη μετρηθεί από εντελώς διαφορετικά πειράματα π.χ. την εκπομπή του μέλανος σώματος (Planck). Αυτά τα πειράματα έπεισαν και τους πιο δύσπιστους (Mach, Ostwald) για την ύπαρξη των ατόμων.

Το 1911 ο Bohr εισάγει το δικό του ατομικό μοντέλο.

Ο Einstein το 1905 ολοκληρώνει την ειδική θεωρία της σχετικότητας από την οποία πηγάζει η φημισμένη εξίσωση $E=mc^2$. Την ίδια χρονιά δημοσιεύει δύο ακόμα δουλειές του, τη μελέτη της κίνησης Brown όπου προέβλεπε την ύπαρξη μικροσκοπικών σωματιδίων που έπρεπε να κινούνται άτακτα σε αιωρήματα προσिता στο μικροσκόπιο και την εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Στο δυτικό κόσμο, όπου η γνώση της ατομικής δομής άρχισε να αναπτύσσεται στο χώρο της επιστήμης, εξέχουσα θέση κατείχαν η Αγγλία, η Γαλλία και η Γερμανία. Την εποχή εκείνη και μέχρι το 1930 στην Αμερική στον τομέα της φυσικής υπήρχαν κυρίως πειραματικοί επιστήμονες παρά θεωρητικοί. Ένας τέτοιος πειραματικός φυσικός ήταν και ο Michelson που μαζί με το Morley ήταν οι πρώτοι Αμερικανοί επιστήμονες που πήραν Nobel (1907). Γενικά το 19ο αιώνα και στις αρχές του 20ου Αμερικανοί επιστήμονες έρχονταν στην Ευρώπη και κυρίως στη Γερμανία για να αναπτύξουν τις ερευνητικές τους δραστηριότητες.

Στις αρχές του 20ου αιώνα το ζήτημα για την ύπαρξη του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου και τη φύση του ηλεκτρισμού απασχολούσε έντονα την επιστημονική κοινότητα των Φυσικών. Κάποιοι επιστήμονες υποστήριζαν την άποψη ότι υπάρχει μια στοιχειώδης μονάδα του ηλεκτρικού φορτίου και ότι το ηλεκτρικό φορτίο δεν μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή, και άλλοι ότι το ηλεκτρικό φορτίο είναι οσοδήποτε μικρό και μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή. Η πρώτη υπόθεση για τη σωματιδιακή φύση του ηλεκτρισμού είχε γίνει από το μεγάλο Αμερικανό φυσικό Benjamin Franklin το 1750: «*Η ηλεκτρική ύλη αποτελείται από σωματίδια εξαιρετικά λεπτά, αφού αυτά μπορούν να εισδύουν στη συνηθισμένη ύλη,, με τέτοια ελευθερία και ευκολία σαν να μην δέχεται αξιοσημείωτη αντίσταση*».



Το κοινωνικό-πολιτιστικό τοπίο

Η νέα Φυσική ανέτειλε σε μια εποχή που κυριαρχούσε ένας νέος ριζοσπαστικός τρόπος σκέψης, όχι μόνο στο χώρο της επιστήμης αλλά σε πολλούς τομείς. Ήταν χρόνια κοινωνικού και πνευματικού αναβρασμού. Στη λογοτεχνία έχουμε εξύψωση της ατομικότητας, στην τέχνη εξέγερση κατά του ακαδημαϊσμού. Κοινωνικά κινήματα οργανώνονταν παντού, ενώ ο αναρχισμός έφθασε στο αποκορύφωμα της βίας, δολοφονώντας μέλη βασιλικών οικογενειών.

Στα τέλη του 19ου αιώνα ανάμεσα στις χώρες της Ευρώπης υπάρχει ολοένα αυξανόμενος ανταγωνισμός σε οικονομικό επίπεδο, σε



εδαφικές διεκδικήσεις και σε επίπεδο αποικιών.

Η Βιέννη εκείνη την εποχή ήταν πολιτιστικό και επιστημονικό κέντρο.

Η Γερμανία, βρισκόταν σε μια ραγδαία άνοδο και με τη διακυβέρνηση των στρατιωτικών η χώρα είχε μπει σε μια ιμπεριαλιστική τροχιά. Ο Κάιζερ Γουλιέλμος ο Β΄ οδήγησε τη Γερμανία στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο (1914-1918).

Εκείνη την εποχή δεν υπήρχαν αεροπλάνα, ούτε τηλέφωνα και ο ηλεκτρισμός ήταν ελάχιστα διαδεδομένος. Επίσης δεν υπήρχαν αυτοκίνητα και οι μετακινήσεις γίνονταν με άμαξες και κάρρα.

Γενικά στα τέλη του 19ου αιώνα επικρατούσε αισιοδοξία και πίστη στην επιστήμη.

2. Οι σύντομες ιστορίες

Η πρώτη σύντομη ιστορία έχει σα στόχο να αναδείξει το γεγονός ότι η Επιστήμη αναζητά, παράγει και βασίζεται σε εμπειρικά δεδομένα. Έτσι αυτή η ιστορία αναφέρεται σε όλες τις προσπάθειες μέτρησης της στοιχειώδους μονάδας του ηλεκτρικού φορτίου από τον Townsend (1897) ως τα πρώτα αποτελέσματα των μετρήσεων του Millikan το 1910. Στην ιστορία αυτή αναδεικνύεται ότι ο κύριος στόχος όλων των προσπαθειών ήταν η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση και ότι στα 1908 η πιο κατάλληλη τιμή για τη μονάδα του ηλεκτρικού φορτίου εθεωρείτο η τιμή που είχε υπολογίσει ο Rutherford με μια εντελώς διαφορετική μέθοδο από εκείνη του Millikan και των υπολοίπων. Χρησιμοποιώντας τα λόγια του ίδιου του Rutherford αναδεικνύουμε ότι η συμφωνία των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων από δύο εντελώς διαφορετικούς τομείς της Φυσικής συμβάλλουν στην εδραίωση της θεωρίας της ύπαρξης του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου.

Η δεύτερη σύντομη ιστορία έχει σα στόχο να αναδείξει τη διάκριση 'παρατήρησης' και 'συμπερασμού'. Αυτή η ιστορία περιλαμβάνει ένα απόσπασμα από την αυτοβιογραφία του Millikan στο οποίο διακρίνονται εκείνα τα στοιχεία που αποτελούν προϊόν παρατήρησης κατά την πειραματική διαδικασία από εκείνα τα στοιχεία που είναι προϊόν σκέψης και συμπερασμού του επιστήμονα.

Η τρίτη ιστορία έχει σα στόχο την ανάδειξη του υποκειμενικού χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης. Πιο συγκεκριμένα η ιστορία αναφέρεται στη διαφορετική ερμηνεία που έδωσαν οι Millikan και Ehrenhaft στα παρόμοια πειραματικά δεδομένα που είχαν συλλέξει.

Η τέταρτη σύντομη ιστορία έχει σα στόχο στο να αναδείξει ότι ναι μεν η επιστημονική γνώση έχει υποκειμενικό χαρακτήρα όταν αυτή κατασκευάζεται, αλλά τελικά είναι η επιστημονική κοινότητα που στο τέλος θα αποδεχθεί ή όχι την όποια επιστημονική άποψη. Στην ιστορία αυτή αναφέρεται ότι η διαμάχη των Millikan και Ehrenhaft για την κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου εξελίσσεται σε ένα περιβάλλον στο οποίο κυριαρχεί η διαμάχη για την κβάντωση της ύλης και το οποίο, όπως φαίνεται και από τα λόγια του ίδιου του Rutherford, τείνει να αποδεχθεί τη θεωρία της ατομικότητας της ύλης και του ηλεκτρισμού.

3. Τα φύλλα εργασίας

3.1

Φύλλο εργασίας 1

Η μέτρηση του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου-Το πείραμα της σταγόνας λαδιού του Millikan

Έστω ότι από το πείραμα της σταγόνας λαδιού του Millikan προέκυψαν οι παρακάτω μετρήσεις για την τιμή του ηλεκτρικού φορτίου:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1η μέτρηση	2η μέτρηση	3η μέτρηση	4η μέτρηση	5η μέτρηση	6η μέτρηση	7η μέτρηση	8η μέτρηση	9η μέτρηση	10η μέτρηση	11η μέτρηση	12η μέτρηση
4	8,1	12,1	15,9	1,9	24	44	1,2	5,6	36	27,9	39,9

1.

a. Θεώρησε ότι δέχεσαι την καθοδηγητική υπόθεση του Millikan δηλαδή ότι υπάρχει μια ελάχιστη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου και όλες οι άλλες είναι ακέραια πολλαπλάσια αυτής. Πώς θα ερμήνευες αυτές τις μετρήσεις;

.....

b. Με βάση αυτήν την καθοδηγητική υπόθεση ποιο θα ήταν το ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο;

.....

c. Σε αυτό το πλαίσιο πώς θα ερμήνευες τις τρεις κόκκινες μετρήσεις;

.....

2. Θεώρησε ότι δέχεσαι την καθοδηγητική υπόθεση του Ehrenhaft δηλαδή ότι δεν υπάρχει ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο και ότι αυτό μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή. Τι θα μπορούσες να απαντήσεις στα επιχειρήματα του Millikan;

.....

3.2

Φύλλο Εργασίας 2

1η σύντομη ιστορία

Κατά τα τέλη του 19ου αιώνα πολλοί επιστήμονες πίστευαν στην ύπαρξη μιας

στοιχειώδους μονάδας του ηλεκτρικού φορτίου και είχαν επιδοθεί στην πειραματική της μέτρηση.

Ο J. J. Thomson το 1897 είχε επιβεβαιώσει ότι οι καθοδικές ακτίνες αποτελούνταν από ατομικές μονάδες, τις οποίες αποκάλεσε «corpuscles» και είχε υπολογίσει το λόγο του φορτίου προς τη μάζα τους (e/m). Το επόμενο βήμα θα έπρεπε να είναι ο υπολογισμός του φορτίου και της μάζας τους χωριστά.

Μετά από αυτό επιστήμονες όπως ο Townsend (1897), έπειτα ο J. J. Thomson (1898) μαζί με το μαθητή του Charles Wilson ασχολήθηκαν με τη μέτρηση της τιμής του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου και είχαν δημοσιεύσει τα αποτελέσματά τους. Όταν το Φεβρουάριο του 1910 ο Millikan δημοσίευσε τα πρώτα πειραματικά του αποτελέσματα ήδη είχαν δημοσιευθεί τα αποτελέσματα του Ehrenhaft το 1909. Την ίδια εποχή (1908) η βιβλιογραφία ανέφερε σαν την πλέον κατάλληλη τιμή για το φορτίο του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου την τιμή του φορτίου του $e=4,657 \cdot 10^{-10} \text{esu}$, που είχαν υπολογίσει ο Rutherford και ο Geiger. Ο Rutherford και ο Geiger προσδιόρισαν το φορτίο των σωματίων α ίσο με $9,3 \cdot 10^{-10} \text{esu}$ και υπέθεσαν ότι ήταν ίσο με το διπλάσιο του φορτίου του ηλεκτρονίου. Έτσι το φορτίο του ηλεκτρονίου θα έπρεπε να ήταν $e=4,65 \cdot 10^{-10} \text{esu}$. Σε ένα άρθρο που είχε γράψει ο Rutherford με το Geiger αναφέρει τη δουλειά του Thomson, του Townsend, του Millikan, επαινεί τη δουλειά του Ehrenhaft για τη μέτρηση του φορτίου του ηλεκτρονίου με διαφορετικό από το δικό του τρόπο και ισχυρίζεται ότι αυτό είναι μια άλλη ένδειξη ότι «ο ηλεκτρισμός όπως και η ύλη έχει ατομική δομή».

Για την τιμή που υπολογίζει ο Ehrenhaft (1909), που είναι πολύ κοντά σε αυτή που υπολόγισε ο ίδιος με τον Geiger λέει ότι «είναι η καλύτερη πρόσφατη μέτρηση από πολύ διαφορετικό τρόπο η οποία είναι πολύ περισσότερο αξιόπιστη από τις παλιότερες εκτιμήσεις του Thomson, του Townsend, του Wilson» και συμπεραίνει ότι: «δεν είναι πια λογικό να πιστεύει κανείς ότι μια τέτοια συμφωνία (στις πειραματικές τιμές του φορτίου του ηλεκτρονίου ..., βασισμένες σε διαφορετικές θεωρίες) θα μπορούσε να δείξει ότι τα άτομα και τα φορτία τους δεν έχουν πραγματική υπόσταση». Έτσι αμφιβολίες που αφορούν την ατομική θεωρία της ύλης είναι «εντελώς λαθεμένες».

Ερώτηση: Τι υποδηλώνει το παραπάνω απόσπασμα για το ρόλο των εμπειρικών δεδομένων στην υπεράσπιση μιας υπόθεσης στις Φυσικές Επιστήμες;

.....

.....

.....

.....

3.3

Φύλλο Εργασίας 3

2η σύντομη ιστορία

Ο Millikan γράφει στην αυτοβιογραφία του ότι: «Βλέποντας τη μικρή σταγόνα λαδιού να κινείται προς τα πάνω (στο ηλεκτρικό πεδίο ενάντια στην βαρυτική έλξη) με τη μικρότερη ταχύτητα που αυτή θα μπορούσε να έχει, θα μπορούσα να ήμουν βέβαιος ότι ακριβώς ένα μεμονωμένο ηλεκτρόνιο είχε καθίσει στην πλάτη της. Η όλη πειραματική συσκευή τότε αντιπροσώπευε μια επινόηση για να εντοπίζω και ουσιαστικά να βλέπω ηλεκτρόνιο να ιππεύει σε μια σταγόνα λαδιού»

Επίσης όταν άλλαζε ξαφνικά η κίνηση της σταγόνας που παρατηρούσε, σημείωνε: «Είδα σε μια σταγόνα, που ισορροπούσε, ξαφνικά να κάθεται στην πλάτη της ένα ιόν από τον αέρα που υπήρχε γύρω».

Ερώτηση: Ποια από τα παραπάνω λόγια του Millikan θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν 'παρατήρηση' και ποια 'συμπερασμός';

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

3.4

Φύλλο Εργασίας 4

3η σύντομη ιστορία

Η θεωρητική βάση ήταν εντελώς φανερό στο Millikan: «όντας εντελώς σίγουρος ότι το πρόβλημα της τιμής του ηλεκτρικού φορτίου (το στοιχειώδες άτομο του ηλεκτρισμού του Franklin, προφανώς αμετάβλητο και αδιαίρετο, η υποτιθέμενη δομική μονάδα του ηλεκτρικού σύμπαντος), ήταν θεμελιωδώς σημαντικό, άρχισα με αυτό».

Ο Millikan αρχίζει τα πειράματα το 1908 και το 1910 δημοσιεύει τα πρώτα πειραματικά αποτελέσματα που θεώρησε αξιόπιστα.

Τα πειραματικά δεδομένα (τα κλασματικά φορτία $1/3e$, $2/3e$, $1/10e$ κ.ο.κ) που δεν υποστηρίζουν την άποψη του δεν διστάζει:

α) να τα αποδώσει σε πειραματικά σφάλματα, όπως:

- Η τάση της μπαταρίας είναι πεσμένη
- Συμβαίνει σφάλμα στο χρονόμετρο
- Η απόσταση πρέπει να κρατηθεί περισσότερο σταθερή

β) δεν τα λαμβάνει υπόψη του. Γι' αυτό ειδικά το γεγονός δέχεται κριτική από τον Ehrenhaft, στον οποίο απαντά ότι δεν είναι δυνατόν να λάβουν υπόψη τους όλα τα δεδομένα εξαιτίας του ότι στη μέθοδό τους υπεισέρχονται πάρα πολλοί αστάθμητοι παράγοντες, που οδηγούν σε πειραματικά σφάλματα.

Από την άλλη μεριά ο Ehrenhaft εφαρμόζοντας μια παρόμοια μέθοδο με το Millikan συλλέγει τα ίδια πειραματικά δεδομένα (φορτία που είναι ακέραια πολλαπλάσια ενός στοιχειώδους φορτίου και κλασματικά φορτία $1/3e$, $2/3e$, $1/10e$ κ.ο.κ.), από τα οποία βγάζει το συμπέρασμα ότι στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο στο επίπεδο που έχει υπολογίσει ο Millikan δεν υπάρχει και ότι τα αποτελέσματα του αυτά δεν είναι δυνατόν να αποδοθούν σε σφάλματα της πειραματικής του μεθόδου. Ο Ehrenhaft χρησιμοποίησε τα κλασματικά φορτία για να αρνηθεί (διαψεύσει) την ύπαρξη του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου.

Σημειώνει δε ότι τα πειράματά του παρείχαν μια κριτική εξέταση της υπόθεσης της ατομικής φύσης του ηλεκτρισμού και ότι ο τρόπος δουλειάς του θα ήταν να βασιστεί απ' ευθείας στα ίδια τα δεδομένα των πειραμάτων του.

Ερώτηση: Πώς θα μπορούσε να εξηγηθεί αυτή η διαφωνία μεταξύ των επιστημόνων για την ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων; Τι δείχνει για τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί Επιστήμη;

Φύλλο Εργασίας 5

4η σύντομη ιστορία

Στη μάχη για το ηλεκτρόνιο έπαιξε ρόλο ο ανταγωνισμός ανάμεσα σε δύο αντικρουόμενα θεωρητικά πλαίσια (καθοδηγητικές υποθέσεις) για την εξήγηση των ίδιων πειραματικών ευρημάτων. Η μια καθοδηγητική υπόθεση ήταν ότι το ηλεκτρικό φορτίο είναι κβαντισμένο, δηλαδή υπάρχει μια μονάδα ηλεκτρικού φορτίου και όλα τα άλλα φορτία είναι ακέραια πολλαπλάσια αυτού και η άλλη καθοδηγητική υπόθεση είναι ότι το φορτίο είναι συνεχές και επομένως στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο δεν υπάρχει και το ηλεκτρικό φορτίο μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή. Την ίδια εποχή συνυπάρχουν δύο καθοδηγητικές υποθέσεις για τη δομή της ύλης. Η μια είναι ο ατομισμός και η άλλη η συνέχεια της ύλης. Πειράματα που γίνονται σε άλλους τομείς της φυσικής (ακτινοβολία μέλανος σώματος, μελέτη ραδιενέργειας, φύση του φωτός) συνηγορούν στην ύπαρξη ασυνέχειας τόσο στην ύλη, όσο και στον ηλεκτρισμό.

Ο Rutherford υποστήριζε ότι «η πρόοδος στη Φυσική ενίσχυε την αξιοπιστία της ατομικής θεωρίας για την ύλη και τον ηλεκτρισμό» και πρόσθετε «η άρνηση της ατομικής θεωρίας δεν μας βοηθά να κάνουμε ανακαλύψεις». Τελικά η επιστημονική κοινότητα υιοθετεί την άποψη του Millikan και το 1923 αποδίδει σ' αυτόν το Nobel κυρίως για τη μέτρηση του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου.

Ερώτηση: Με βάση το παραπάνω απόσπασμα ποιοι θα μπορούσαν να ήταν οι λόγοι που η επιστημονική κοινότητα υιοθέτησε την άποψη του Millikan για τη φύση του ηλεκτρικού φορτίου;

10. Εμπόδια στη διδασκαλία και στη μάθηση

Η έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών έχει δείξει ότι οι μαθητές έχουν απλοϊκές απόψεις για τη ΦτΕ ανεξάρτητα από τις ερευνητικές προσπάθειες που χρησιμοποιήθηκαν για να βελτιώσουν τις αντιλήψεις τους σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της ΦτΕ. Οι Abd-El-Khalick & Lederman ισχυρίστηκαν ότι η αποτυχία των ερευνητικών προσπαθειών τις οποίες χαρακτήρισαν 'άρρητες' οφειλόταν στην υπόθεση ότι οι μαθητές θα μπορούσαν να οικοδομήσουν στοιχεία της ΦτΕ με αυτόματο τρόπο, σαν αποτέλεσμα της μελέτης επιστημονικών θεμάτων ή της εμπλοκής τους σε ερευνητικές δραστηριότητες. Αντί αυτού, αυτοί ισχυρίστηκαν ότι η κατανόηση της ΦτΕ θα έπρεπε να είναι κυρίαρχος διδακτικός στόχος και συνέστησαν ρητή αναφορά στα χαρακτηριστικά της ΦτΕ και έμφαση στην πληροφόρηση των μαθητών για τα χαρακτηριστικά της ΦτΕ που αναδεικνύονται

μέσα από τον αναστοχασμό πάνω σε ερευνητικές δραστηριότητες στις οποίες εμπλέκονται.

Η πλειοψηφία των μαθητών θεωρεί ότι το περιεχόμενο των ΦΕ δεν υπόκειται σε αλλαγές, είναι αντικειμενικό και προκύπτει άμεσα από τα πειραματικά δεδομένα. Τις ιδέες αυτές έρχεται να αντικρούσει η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση μέσα από μια ρητή ενσωματωμένη στο επιστημονικό περιεχόμενο διδασκαλία στοιχείων της ΦτΕ με επίκεντρο τη διαμάχη των Millikan και Ehrenhaft, για την ύπαρξη του στοιχειώδους φορτίου του ηλεκτρονίου.

11. Παιδαγωγικές δεξιότητες

Έρευνες δείχνουν ότι η γνώση για στοιχεία της ΦτΕ δεν προκύπτει αυτόματα από τη διδασκαλία επιστημονικού περιεχομένου. Στη συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση η διδασκαλία στοιχείων ΦτΕ είναι κεντρικός διδακτικός στόχος ο οποίος υλοποιείται με την εισαγωγή των σύντομων ιστοριών. Οι ερωτήσεις που υπάρχουν στο τέλος των ιστοριών αυτών βοηθούν τους μαθητές να επικεντρώσουν τη προσοχή τους σε ένα συγκεκριμένο στοιχείο της ΦτΕ που αναφέρεται ρητά. Οι μαθητές συζητούν, ανταλλάσσουν απόψεις, διατυπώνουν επιχειρήματα, αναστοχάζονται πάνω στη δομή και τη λειτουργία της Επιστήμης. Υποδύονται ρόλους και καλούνται μέσα από αυτούς να υπερασπίσουν τις απόψεις τους. Αποκτούν την αντίληψη ότι η Επιστήμη είναι ένα ανθρώπινο εγχείρημα, οι επιστημονικές έννοιες είναι ανθρώπινες κατασκευές και ως εκ τούτου υπόκειται σε αλλαγές. Αυτό τους δίνει τη δυνατότητα διερευνήσουν και να αξιολογήσουν επιστημονικούς ισχυρισμούς. Αναπτύσσουν κριτική σκέψη για να αναγνωρίσουν τις υποκείμενες αξίες και τις ασθενείς πλευρές της επιχειρηματολογίας που διατυπώνεται πάνω σε ένα ζήτημα επιστημονικής διαμάχης.

12. Για περισσότερη ανάπτυξη

1. Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N.G.:2000, Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22, 665-701.
2. Clough, M.P.:2003, Explicit but insufficient: Additional considerations for successful NOS Instruction. Paper presented at the annual meeting of the Association for the Education of Teachers, St. Louis, MO.
3. Clough, M.P., & Olson, J.K.:2004, The Nature of Science: Always Part of the Science Story. *The Science Teacher* 71(9), 28-31.
4. Conant JB (ed) :1948, *Harvard case histories in experimental science*. Harvard University Press. Cambridge , MA.
5. Holton, G.:1978, *The scientific imagination: case studies*, Cambridge University Press, Cambridge.
6. Khishfe, R. & Lederman, N.:2006, Teaching Nature of Science within a Controversial Topic: Integrated versus Nonintegrated. *Journal of Research in Science Teaching*. 43(4). 395-418.
7. Kipnis, N.:2001, Scientific Controversies in Teaching Science: The Case of Volta. *Science & Education*, 10, 33-49.
8. Klassen, H :2009, Identifying and Addressing Student Difficulties with the Millikan Oil Drop Experiment. *Science & Education*, 18, 593-607.
9. Kolstø, S.D.:2008, Science education for democratic citizenship through the

- use of the history of science. *Science & Education*, 17(2).
10. Lakatos, H. A. :1970, Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 91-195). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
 11. Lederman, N.G., Wade, P. and Bell, R.:1998, Assessing Understanding of the Nature of Science: A Historical Perspective. In W. McComas (ed.). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
 12. Matthews, M.R. :1994, *Science teaching. The role of history and philosophy of science*. Routledge, New York.
 13. McComas, W. F. & Olson, J.:1998, The nature of science in international science education standards documents. In W. F. McComas (Ed.) *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Kluwer Academic Publishers. (pp. 41-52).
 14. McComas, W. F., Clough, M. P. & Almazroa, H.:1998, A review of the role and character of the nature of science in science education. In W. F. McComas (Ed.). *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Kluwer Academic Publishers. (pp. 3-39).
 15. McComas, W.F.:2004, Keys to teaching the nature of science. *The Science Teacher*, 71(9), 24-27.
 16. McComas, W.F.:2008, Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17(2).
 17. Millikan, R.A. (1910). A new modification of the cloud method of determining the elementary electrical charge and the most probable value of that charge. *Philosophical Magazine*, 19, 209-228.
 18. Millikan, R.A. (1911). The isolation of an ion, a precision measurement of its charge, and the correction of Stokes's law. *Physical Review*, 32(4), 349-397.
 19. Millikan, R.A. (1913). On the elementary electrical charge and the Avogadro constant. *Physical Review* (ser. 2), 2, 109-143.
 20. Millikan, R.A. (1947). *Electrons (+ and -), protons, photons, neutrons, mesotrons, and Cosmic rays* (2nd ed.). Chicago: University of Chicago Press. (Original work published 1935).
 21. Monk, M., & Osborne, J.:1997, Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development for pedagogy. *Science Education* 81(4), 405-424
 22. Niaz, M.:2000, The oil Drop Experiment: A rational Reconstruction of the Millikan-Ehrenhaft Controversy and Its Implications for Chemistry Textbooks. *Journal of Research in Science teaching*, 37(5), 480-508.

Πίνακας: Μοντέλο Διδακτικής παρέμβασης

	1η διδακτική ώρα		2η διδακτική ώρα	3η, 4η, και 5η διδακτική ώρα
Ενέργειες καθηγητή	<p>Θέτει το ερώτημα: «είναι το ηλεκτρικό φορτίο κβαντισμένο ή όχι; Υπάρχει ένα στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο και πόσο είναι αυτό;»</p> <p>Σκιαγραφεί το κοινωνικό-πολιτιστικό-επιστημονικό πλαίσιο μέσα στο οποίο τίθεται το ερώτημα μέσα από ένα κείμενο που δίνεται στους μαθητές.</p>	<p>Παρουσιάζει τις καθοδηγητικές υποθέσεις που ιστορικά έχουν διατυπωθεί</p>	<p>Παρουσιάζει στους μαθητές τη συσκευή Millikan.</p> <p>Παρουσιάζει το πείραμα της σταγόνας λαδιού με ppt και video, δίνει υποθετικά δεδομένα.</p>	<p>Εισάγει σύντομες ιστορίες, που καταλήγουν σε μια ερώτηση που επικεντρώνει την προσοχή των παιδιών σε ένα συγκεκριμένο στοιχείο της ΦτΕ</p>
Ενέργειες μαθητή	<p>Οι μαθητές καλούνται να αναφερθούν και να αναστοχαστούν πάνω σε χαρακτηριστικά γεγονότα της εποχής (αρχές του εικοστού αιώνα) που συμβαίνουν σε άλλους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας (ζωγραφική, μουσική, πολιτική) εκτός των φυσικών επιστημών και να τα συνδέσουν με αυτά που συμβαίνουν σε αυτές.</p>		<p>Συζητά επί των δυνατών συμπερασμάτων που μπορούν να παραχθούν από τα δεδομένα. Συμπλήρωση του φύλλου εργασίας 1</p>	<p>Διαβάζει τα short stories, γίνεται συζήτηση και απαντά γραπτώς στις ερωτήσεις που υπάρχουν στο τέλος κάθε σύντομης ιστορίας.</p>

<p>Αναμενόμενα γνωστικά αποτελέσματα</p>	<p>Αναμένεται οι μαθητές να αντιληφθούν τη σημασία του συγκεκριμένου ερωτήματος και να το συσχετίσουν με τα άλλα κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα της εποχής</p>	<p>Αναμένεται να αντιληφθούν ότι η ερμηνεία των εμπειρικών δεδομένων που προέρχονται από κάποιο πείραμα ερμηνεύονται με βάση τις θεωρητικές αντιλήψεις του ερευνητή.</p>	<p>Αναμένεται να αντιληφθούν το ρόλο των εμπειρικών δεδομένων στη διαμόρφωση μιας άποψης (φύλλο εργασίας 2), τη διάκριση συμπερασμού και παρατήρησης (φύλλο εργασίας 3), τον υποκειμενικό χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης (φύλλο εργασίας 4) και τον περιορισμό του υποκειμενικού χαρακτήρα από τη δημόσια συζήτηση και την κρίση των μελών της επιστημονικής κοινότητας αντίστοιχα (φύλλο εργασίας 5)</p>
--	---	--	---