



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας
Μεταπτυχιακή Ειδίκευση Καθηγητών Φυσικών Επιστημών

Διπλωματική Εργασία

Εισαγωγή στοιχείων Ιστορίας Φυσικών Επιστημών στην διδασκαλία.
Η περίπτωση της ατομικής θεωρίας στην Δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Αναστάσιος Βιδαλάκης

Επιβλέπουσα Α' : Κωνσταντίνα Στεφανίδου

Επιβλέπουσα Β' : Ιωάννα Κατσιαμπούρα

Χανιά, Σεπτέμβριος 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Εισαγωγή στοιχείων Ιστορίας Φυσικών Επιστημών στην διδασκαλία.
Η περίπτωση της ατομικής θεωρίας στην Δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Αναστάσιος Βιδαλάκης

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Κωνσταντίνα Στεφανίδου

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Ιωάννα Κατσιαμπούρα

Χανιά, Σεπτέμβριος 2024

*Αφιερώνω αυτή τη Διπλωματική Εργασία στη σύζυγό μου,
Λήδα, για τη συνεχή υποστήριξη και κατανόησή της
κατά τη διάρκεια αυτής της απαιτητικής διαδικασίας,
καθώς και στα αγαπημένα μου παιδιά,
Γιώργο, Ελένη και Δημήτρη,
για την αγάπη και την υπομονή τους.*

«Ευχαριστίες ή Αφιέρωση»

Περίληψη

Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση αντιμετωπίζει προκλήσεις στην καλλιέργεια του ενδιαφέροντος και της κατανόησης των μαθητών. Οι παραδοσιακές μέθοδοι συχνά εστιάζουν στη μετάδοση πληροφοριών, χωρίς να ενισχύουν επαρκώς την κατανόηση της επιστημονικής μεθοδολογίας. Αυτή η διπλωματική εργασία εξετάζει την ενσωμάτωση της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών στη διδασκαλία, με εστίαση στην ατομική θεωρία, ως μέσο για την ενίσχυση της κριτικής σκέψης και της βαθύτερης κατανόησης των μαθητών.

Η ατομική θεωρία, η οποία εξελίχθηκε από τις αρχαίες φιλοσοφικές αναζητήσεις μέχρι τις σύγχρονες επιστημονικές εξελίξεις, προσφέρει ένα ιδανικό πλαίσιο για την κατανόηση της επιστημονικής γνώσης. Η εργασία προτείνει ότι η ιστορική αναδρομή και η ανάλυση των διαφόρων μοντέλων του ατόμου μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν όχι μόνο τις τελικές επιστημονικές έννοιες, αλλά και τη διαδικασία μέσω της οποίας αυτές εξελίχθηκαν και αναθεωρήθηκαν.

Η εργασία περιλαμβάνει τέσσερα βασικά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο εξετάζει την ενσωμάτωση ιστορικών στοιχείων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Παρουσιάζει την ιστορική εξέλιξη της ένταξης της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Επιστημών (ΙΦΕ) στη διδασκαλία και αναλύει τους λόγους για τους οποίους μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών από τους μαθητές. Επίσης, αναφέρονται οι προκλήσεις και τα εμπόδια στην εφαρμογή της ΙΦΕ στα εκπαιδευτικά προγράμματα, καθώς και οι τρόποι εισαγωγής της στη διδασκαλία. Σημειώνονται επίσης οι προσπάθειες και τα προγράμματα που εφαρμόστηκαν στην Ελλάδα για την προώθηση αυτής της προσέγγισης. Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει την ιστορία της ατομικής θεωρίας, από την αρχαία Ελλάδα έως τις σύγχρονες θεωρίες, με έμφαση στην εξέλιξη της δομής του ατόμου και στον ρόλο των ατομικών φασμάτων.

Το τρίτο κεφάλαιο εστιάζει στις παρανοήσεις που αντιμετωπίζουν οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με την ατομική θεωρία, μέσα από την ανάλυση τριών αντιπροσωπευτικών ερευνών από διαφορετικές χώρες και δεκαετίες.

Παρουσιάζονται οι δυσκολίες στην κατανόηση της ατομικής δομής, καθώς και οι διδακτικές προκλήσεις που εντοπίζονται διεθνώς. Επιπλέον, εξετάζονται αδημοσίευτες διδακτικές προτάσεις από εκπαιδευτικούς και φορείς, που έχουν αναρτηθεί στο διαδίκτυο, οι οποίες προτείνουν καινοτόμες προσεγγίσεις για τη βελτίωση της διδασκαλίας της ατομικής θεωρίας.

Το τέταρτο κεφάλαιο προτείνει μια αναλυτική προσέγγιση για τη διδασκαλία της ατομικής θεωρίας, με διδακτικούς στόχους, φύλλα εργασίας που ενσωματώνουν ιστορικά στοιχεία και προσομοιώσεις.

Συνολικά, η ενσωμάτωση ιστορικών στοιχείων στη διδασκαλία της ατομικής θεωρίας προσφέρει ένα πρότυπο για εκπαιδευτικές παρεμβάσεις, προωθώντας βαθύτερη κατανόηση και εκτίμηση της επιστήμης από τους μαθητές. Μέσα από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και εφαρμογή των προτεινόμενων μεθόδων, η εργασία επιδιώκει να αποδείξει την αξία αυτής της προσέγγισης και να συμβάλει στην αναβάθμιση της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες.

Λέξεις – Κλειδιά

- Ιστορία της Επιστήμης
- Ατομική Θεωρία
- Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση
- Διδακτική των Φυσικών Επιστημών

Introducing elements of the History of natural sciences into teaching. The case of the atomic theory in High School Education.

Anastasios Vidalakis

Abstract

The teaching of Natural Sciences in High School Education has many challenges in the context of cultivating students' interest and understanding. The traditional methods often focus on just imparting information, without enhancing the understanding of scientific methodology. This thesis examines the integration of the History of Science into teaching, focusing on the atomic theory, as a means of enhancing students' critical thinking and developing their deeper understanding.

The atomic theory, which has evolved from the ancient philosophical thoughts to the modern scientific developments, offers an ideal framework for understanding scientific knowledge. This thesis suggests that the historical background as well as the analysis of the various models of the atom can help students understand not only the scientific concepts, but also the process through which they were developed and revised.

The thesis includes four main chapters. The first chapter examines the integration of the historical perspective into the teaching of Natural Sciences. It presents the historical development of the integration of the History and Philosophy of Science in teaching and analyzes the reasons why it can enhance students' understanding of scientific concepts. It also describes the challenges and the obstacles to the implementation of the History and Philosophy of Science in the educational programs as well as the ways of its introduction into teaching. Finally, it refers to the efforts and programs that were implemented in Greece in order to promote this approach.

The second chapter presents the history of the atomic theory, from ancient Greece to modern theories, with an emphasis on the evolution of the structure of the atom and the role of the atomic spectra.

The third chapter focuses on the misconceptions that are faced by the secondary school students regarding the atomic theory, through the analysis of three representative studies derived from different countries and decades. The difficulties in understanding the atomic structure as well as the teaching challenges are presented. In addition, unpublished teaching proposals from researchers and educators, posted online, are examined which include innovative approaches to improve the teaching of the atomic theory.

The fourth chapter proposes an analytical approach to teaching atomic theory, including the learning objectives, various worksheets that also incorporate historical evidence and simulations.

Overall, incorporating historical elements into the teaching of the atomic theory offers an educational model, which promotes students' deeper understanding and appreciation of science. Through a review of the literature and application of the proposed methods, the thesis aims to demonstrate the value of this approach and contribute to the education of Natural Science.

Keywords

- The History of Science
- Atomic theory
- High School
- Science Education

Περιεχόμενα

Περίληψη	v
Abstract	viii
Περιεχόμενα	x
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	xii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xiii
1. Εισαγωγή στοιχείων Ιστορίας Φυσικών Επιστημών στην διδασκαλία	1
1.1 Σύντομη αναδρομή της εισαγωγής ιστορικών στοιχείων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	1
1.2 Λόγοι για την εισαγωγή ιστορικών και φιλοσοφικών στοιχείων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	4
1.3 Έρευνες για την αποτελεσματικότητα εισαγωγής στοιχείων Ιστορίας Φυσικών Επιστημών στη διδασκαλία	7
1.4 Προκλήσεις και εμπόδια στην ενσωμάτωση της Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Φυσικής Επιστήμης στη διδασκαλία	9
1.5 Προβληματισμοί και κριτική για τη χρήση ιστορικών στοιχείων στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	10
1.6 Τρόποι εισαγωγής στοιχείων Ιστορίας Φυσικών Επιστημών στη διδασκαλία	12
1.7 Εφαρμογές της ΙΦΕ στη μη τυπική και άτυπη εκπαίδευση	13
1.8 Ελληνική πραγματικότητα	17
2 Από τη Φιλοσοφία στην Επιστήμη: Η διαμόρφωση της ατομικής θεωρίας	20
2.1 Η ατομική θεωρία στην αρχαία Ελλάδα	20
2.2 Η εξέλιξη της ατομικής θεωρίας	21
2.2.1 Ατομική θεωρία του Dalton	21
2.2.2 Ατομικό μοντέλο του Thomson	22
2.2.3 Ατομικό μοντέλο του Rutherford	23
2.2.4 Ατομικό μοντέλο του Bohr	25
2.2.5 Ατομικά φάσματα αερίων: Κλειδιά για την ατομική δομή	26
3 Η διδασκαλία της ατομικής θεωρίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση	29
3.1 Μελέτες για την τρέχουσα κατάσταση σχετικά με τη διδασκαλία της ατομικής θεωρίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση	29
3.2 Αδημοσίευτες διδακτικές προτάσεις από φορείς και εκπαιδευτικούς που έχουν αναρτηθεί στο διαδίκτυο	36
4 Πρόταση διδασκαλίας	39
4.1 Η οργανική ενσωμάτωση της ιστορίας και των επιστημονικών μεθόδων στη διδασκαλία της ατομικής θεωρίας	39
4.2 Διδακτικοί στόχοι και προσέγγιση	40
4.2.1 Διδακτικοί στόχοι	40
4.2.2 Ανάλυση πρωτογενών πηγών και προσέγγιση	43
4.2.3 Εμπλοκή μαθητών	49
4.3 Φύλλα εργασίας	51
4.3.1 Πειράματα και συμπεράσματα Thomson	51

4.3.2	Το μοντέλο του Thomson	62
4.3.3	Τα πειράματα Geiger και Marsden	64
4.3.4	Το πλανητικό μοντέλο του Rutherford.....	67
4.3.5	Ατομικά φάσματα αερίων.....	71
4.3.6	Το ατομικό μοντέλο του Bohr	75
4.3.7	Η «εσωτερική πάλη» του Bohr με την Κβαντική θεωρία	90
4.3.8	Αξιολόγηση των ιδεών του Bohr από τον Rutherford	91
4.3.9	Η θεωρία του ηλεκτρονίου και η επιστημονική εξέλιξη	92
5	Συμπεράσματα.....	94
	Βιβλιογραφία.....	96

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1: Εξώφυλλο A New System of Chemical Philosophy John Dalton 1808.....	21
Εικόνα 2: Ο αυθεντικός καθοδικός σωλήνας με τον οποίον ο Thomson ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο στο Εργαστήριο του Cavendish του Πανεπιστημίου του Cambridge.....	23
Εικόνα 3 Πηγή: Chemical Principles Steven S. Zum 1.....	24
Εικόνα 4: Γραμμικό φάσμα εκπομπής υδρογόνου	26
Εικόνα 5: Γραμμικά φάσματα εκπομπής υδρογόνου, υδραργύρου και νέου	27
Εικόνα 6: Σταυρός Μάλτας τοποθετημένος σε σωλήνα Crookes.....	52
Εικόνα 7: Εκτροπή καθοδικών ακτίνων από μαγνητικό πεδίο.....	53
Εικόνα 8: Προσομοίωση κίνησης ηλεκτρονίων σε ομογενές μαγνητικό πεδίο	54
Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση του σωλήνα που χρησιμοποίησε ο Thomson.....	56
Εικόνα 10: Προσομοίωση πειράματος Thomson.....	61
Εικόνα 11: Προσομοίωση προτύπου Thomson	63
Εικόνα 12 Προσομοίωση μοντέλου Thomson	63
Εικόνα 13: Δημοσίευση Geiger και Marsden 1909.....	64
Εικόνα 14: Προσομοίωση πειράματος Geiger-Marsden.....	65
Εικόνα 15 «The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom»	67
Εικόνα 16: Σημειώσεις Rutherford.....	68
Εικόνα 17: Προσομοίωση σκέδασης σωματιδίου α από πυρήνα χρυσού	70
Εικόνα 18: Προσομοίωση ανάλυσης λευκού φωτός	71
Εικόνα 19: Προσομοίωση φασμάτων εκπομπής αερίων	72
Εικόνα 20: Δακτυλική και φασματική «υπογραφή».....	73
Εικόνα 21: Προσομοίωση φασμάτων εκπομπής	74
Εικόνα 22: Δημοσίευση Bohr (1913) στο Philosophical Magazine	76
Εικόνα 23 Σπειροειδή τροχιά ηλεκτρονίου	79
Εικόνα 24: Προσομοίωση διέγερσης	81
Εικόνα 25: Προσομοίωση ενεργειακού διαγράμματος ατόμου υδρογόνου	81
Εικόνα 26: Προσομοίωση διέγερσης με απορρόφηση ακτινοβολίας	83
Εικόνα 27: Προσομοίωση ιονισμού	87
Εικόνα 28 Σκάλα ανάβασης ή κατάρβασης	89
Εικόνα 29: Επιστολή Bohr στον Richardson	90
Εικόνα 30: Philosophical Magazine 1914.....	91
Εικόνα 31 Εξώφυλλο «The electron theory of matter».....	92

Συνομογραφίες & Ακρωνύμια

ΙΦΦΕ	Ιστορία και Φιλοσοφία των Φυσικών Επιστημών
ΙΦΕ	Ιστορία Φυσικών Επιστημών
ΙτΕ	Ιστορία της Επιστήμης
ΔΦΕ	Διδακτική των Φυσικών Επιστημών
ΦτΕ	Φύση της Επιστήμης
ΦΕ	Φυσικές Επιστήμες
ΗΡΡC	Harvard Project Physics Course ΗΡΡC
ΡSSC	Physical Science Study Committee

1. Εισαγωγή στοιχείων Ιστορίας Φυσικών Επιστημών στην διδασκαλία

1.1 Σύντομη αναδρομή της εισαγωγής ιστορικών στοιχείων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Ο πρώτος που υποστήριξε ότι είναι αναγκαία η εισαγωγή ιστορικών και φιλοσοφικών στοιχείων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών ήταν ο φιλόσοφος και φυσικός Ernst Mach (1838-1916). Το 1887 ίδρυσε το περιοδικό «Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht» το οποίο είχε ως θέμα τη διδασκαλία μαθημάτων Φυσικής και Χημείας, όπου υπήρχαν στοιχεία εισαγωγής ιστορικών στοιχείων (Στεφανίδου, 2013).

Σύμφωνα με τον Mach, «Για να κατανοήσουμε μια έννοια είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε την ιστορική της εξέλιξη» (Σκορδούλης Κ. , 2014).

Τον Ιουλίου 1917, στην Ετήσια Συνεδρία του British Association for the Advancement of Science-(BAAS), παρουσιάστηκε η Έκθεση της Επιτροπής για τις Φυσικές Επιστήμες στα σχολεία Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης η οποία υποστήριξε ότι η εκπαίδευση στην επιστήμη θα ήταν πιο αποδοτική και ενδιαφέρουσα εάν περιλάμβανε μαθήματα Ιστορίας της Επιστήμης (ΙτΕ), βιογραφίες σημαντικών επιστημόνων και μελέτες των επιτυχιών και αποτυχιών τους. Αντί να εστιάζουν αποκλειστικά σε απρόσωπο και συχνά βαρετό επιστημονικό υλικό, τα μαθήματα θα πρέπει να κατευθύνουν την προσοχή των μαθητών στην επιστημονική πρόοδο και τη σύνδεσή της με τη σύγχρονη ζωή. Η ιστορία μπορεί να προσφέρει μια ολιστική κατανόηση της επιστήμης καθώς γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ φιλολογικών σπουδών και φυσικών επιστημών (BAAS, 1917).

Τη δεκαετία του 1930, υπήρχαν διαθέσιμα κάποια μαθήματα για την ΙτΕ για τους εκπαιδευτικούς, ενώ απονέμονταν και κάποια ανώτερα πτυχία σε σχέση με αυτή. Ωστόσο, η ΙτΕ δεν κατέλαβε ποτέ σημαντική θέση στα σχολεία (Sherratt, 1983).

Υπάρχει ένα αξιοσημείωτο κενό κατά τις δεκαετίες του 1940 και του 1950, καθώς υπάρχουν λίγες προτάσεις σχετικά με τη χρήση της ιστορίας στη διδασκαλία της Φυσικής. Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι παρόλο που δεν υπάρχουν προτάσεις από Ευρωπαίους ερευνητές, εκπαιδευτικούς και σχεδιαστές προγραμμάτων σπουδών κατά τη

διάρκεια αυτής της περιόδου, έχει καταγραφεί ισχυρή επιρροή από την ΙτΕ στην ανάπτυξη των προγραμμάτων σπουδών στις ΗΠΑ (Seroglou & Koumaras, 2001).

Η δεκαετία του 1950 χαρακτηρίστηκε από έντονη πολιτική και τεχνολογική αντιπαλότητα μεταξύ των δύο υπερδυνάμεων της εποχής, των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής και της Σοβιετικής Ένωσης, στο πλαίσιο του Ψυχρού Πολέμου. Ένα από τα σημαντικότερα γεγονότα της εποχής αυτής ήταν η εκτόξευση τον Οκτώβριο του 1957 του πρώτου τεχνικού δορυφόρου Sputnik I από τη Σοβιετική Ένωση. Η εκτόξευση του Sputnik I από τη Σοβιετική Ένωση ώθησε τις ΗΠΑ να προχωρήσουν σε σημαντικές μεταρρυθμίσεις στην εκπαίδευση των Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, καθώς και στην αύξηση των επενδύσεων στην επιστημονική έρευνα. Τα προγράμματα Physical Science Study Committee (PSSC) και Harvard Project Physics Course (HPPC) ήταν δύο σημαντικές εκπαιδευτικές πρωτοβουλίες που αναπτύχθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 με στόχο την αναμόρφωση της διδασκαλίας της φυσικής (Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021).

Το πρόγραμμα PSSC, που αναπτύχθηκε από την ομάδα του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης (MIT) υπό την καθοδήγηση του Jerrold Zacharias (Holton, 2003), αναγνώρισε την ανάγκη μελέτης λιγότερων θεμάτων με έμφαση σε μια νέα προσέγγιση διδασκαλίας, όπου κυριαρχούσε το πνεύμα της έρευνας και η διερευνητική μάθηση (Lewis, 1972) και είχε προσανατολιστεί αποκλειστικά στην προετοιμασία των μαθητών για την τριτοβάθμια εκπαίδευση (Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021). Έρευνα έδειξε ότι το πρόγραμμα προσέλκυσε περίπου το 4% των μαθητών της τελευταίας τάξης του λυκείου, ενώ το συνολικό ποσοστό των μαθητών που παρακολουθούσαν οποιοδήποτε μάθημα φυσικής ήταν κάτω από 20% (Holton, 2003).

Στη δεκαετία του 1960, ως εναλλακτική προσέγγιση στο πρόγραμμα PSSC του MIT, αναπτύχθηκε το Harvard Project Physics Course για τη διδασκαλία της Φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Οι συγγραφείς του προγράμματος ήταν οι G. Holton, F. Watson και J. Rutherford, ο οποίος σήμερα διευθύνει το πρόγραμμα Project 2061 (Σκορδούλης Κ. , 2014). Το HPPC προήγαγε την έννοια «Φυσικές Επιστήμες για όλους» και στηριζόταν σε μια ιστορικο-φιλοσοφική προσέγγιση της επιστήμης (Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021).

Ο Wayne Welch συντόνισε μια έρευνα για την αξιολόγηση του προγράμματος HPP η οποία πραγματοποιήθηκε στις ΗΠΑ για τέσσερα χρόνια. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που δημοσίευσαν, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στο γνωστικό επίπεδο μεταξύ μαθητών που παρακολούθησαν το πρόγραμμα και αυτών που δεν το παρακολούθησαν. Η μοναδική επιτυχία του προγράμματος ήταν η μείωση του στίγματος δυσκολίας της Φυσικής. Συνολικά, τα συμπεράσματα της αξιολόγησης ανέφεραν ότι το Project Physics εκπληρώνει εν μέρει τους στόχους που είχαν τεθεί από τους δημιουργούς του μαθήματος (Welch, 1973). Τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας αμφισβητήθηκαν το 1974 από τον Aikenhead, ο οποίος ανέλαβε μια αναθεωρημένη ανάλυση της έρευνας αφαιρώντας αστείες και ανεπαρκείς απαντήσεις κατέληξε ότι η ομάδα των μαθητών που είχε παρακολουθήσει το πρόγραμμα HPP είχε σημαντική γνωστική πρόοδο σε σχέση με αυτή που δεν είχε παρακολουθήσει το πρόγραμμα (Aikenhead, 2003).

Μετά το 1965, υπάρχει σημαντικός αριθμός ανάλογων προτάσεων, με στόχο την παρουσίαση της διασύνδεσης της επιστήμης και της κοινωνίας (Seroglou & Koumaras, 2001). Στη δεκαετία του 1970, υπήρξε έντονος προβληματισμός και διάλογος σχετικά με το κατά πόσον η Ιστορία της Φυσικής είχε ενσωματωθεί επιτυχώς στα διδακτικά εγχειρίδια των φυσικών επιστημών. Το 1983, η Βρετανική Ένωση για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες πρότεινε μια διδακτική προσέγγιση που ονομάζεται “Science in the Social Context” . Αυτό το πρόγραμμα σπουδών έθεσε τις βάσεις για τα ευρέως υιοθετημένα προγράμματα «Επιστήμης, Τεχνολογίας και Κοινωνίας» (Science, Technology and Society – STS), σε σχολεία και πανεπιστήμια. Αυτά τα προγράμματα ενσωματώνουν την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης στην επιστημονική εκπαίδευση, προωθώντας την ιδέα της «Επιστήμης ως Κουλτούρα» και επαναπροσδιορίζοντας τους στόχους για μια επιστημονική εκπαίδευση προσβάσιμη σε όλους τους πολίτες. Η European Physical Society, που ιδρύθηκε το 1968, διοργανώνει το 1983 το 1^ο Συνέδριο για την Ιστορία και διδασκαλία της Φυσικής. Το 1992 ιδρύθηκε το International History Philosophy and Science Teaching Group και ξεκίνησε η κυκλοφορία του περιοδικού Science & Education. Στο πρώτο τεύχος του περιοδικού, ο M. R. Matthews δημοσίευσε μια εκτενή ιστορική ανασκόπηση του πεδίου, θέτοντας τις ερευνητικές κατευθύνσεις για τα επόμενα χρόνια. Το 1994, ο ίδιος συγγραφέας εξέδωσε το βιβλίο History, Philosophy and Science Teaching, το οποίο καταγράφει συστηματικά

τις εμπειρίες και καθορίζει σαφώς τη θέση της κοινότητας σε σχέση με άλλα παραδείγματα στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (Σκορδούλης Κ. , 2014).

Τη δεκαετία του 1990, αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν πολλά προγράμματα σπουδών στις τάξεις, εστιάζοντας στον ρόλο της ιστορίας της Φυσικής στη διδασκαλία της Φυσικής. Η έρευνα για την κατάρτιση των εκπαιδευτών για την ενσωμάτωση της ιστορίας της φυσικής στη διδασκαλία τους ξεκίνησε περίπου δέκα χρόνια νωρίτερα και συνεχίστηκε παράλληλα με την εφαρμογή αυτών των προγραμμάτων σπουδών (Seroglou & Koumaras, 2001).

Σήμερα προτείνονται συγκεκριμένες ιδέες για την ενσωμάτωση της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στα υφιστάμενα αναλυτικά προγράμματα, καθώς και σε αυτά που σχεδιάζονται για το μέλλον, όπως το Science for All Americans, το American Project 2061 και το Danish National School Curriculum . Μέσα από αυτά τα προγράμματα, είναι σαφές ότι οι θεωρητικές καινοτομίες των προγραμμάτων STS έχουν επηρεάσει τη γενική σχέση μεταξύ της ΙτΕ και της Διδακτικής της Φυσικής (Σκορδούλης Κ. , 2014).

Το Project 2061 προωθεί το επιχείρημα και παραθέτει δέκα ανακαλύψεις και αλλαγές που πρέπει να γνωρίζουν και να εκτιμούν όλοι οι μαθητές, γιατί αποτελούν παραδείγματα της εξέλιξης και του αντίκτυπου της επιστημονικής γνώσης. Αυτά είναι: η Γη ως πλανήτης, η παγκόσμια βαρύτητα, η σχετικότητα, ο γεωλογικός χρόνος, οι τεκτονικές πλάκες, η διατήρηση της ύλης, η ραδιενέργειας και η πυρηνικής σχάση, η εξέλιξης των ειδών, η φύση των ασθενειών και η Βιομηχανική Επανάσταση (Matthews, 2015).

1.2 Λόγοι για την εισαγωγή ιστορικών και φιλοσοφικών στοιχείων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Οι κυριότεροι λόγοι για την εισαγωγή ιστορικών και φιλοσοφικών στοιχείων κατά τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών είναι οι εξής:

1. Μελετώντας την ιστορία στοχεύουμε στη βαθύτερη κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και των μεθόδων. Η μελέτη της ιστορίας ενός τομέα είναι ο καλύτερος τρόπος

κατανόησης των εννοιών του. Μόνο ακολουθώντας τη δύσκολη διαδρομή, κατά την οποία αυτές οι έννοιες επεξεργάστηκαν - γνωρίζοντας τις προηγούμενες λανθασμένες θεωρίες που έπρεπε να διαψευστούν ή μια μετά την άλλη, δηλαδή γνωρίζοντας τα λάθη που έγιναν στο παρελθόν – είναι δυνατό να περιμένει κανείς ότι θα αποκτήσει μια πραγματικά εμπειριστατωμένη γνώση. Στην επιστήμη μαθαίνουμε από τα δικά μας λάθη, αλλά παράλληλα και από τα λάθη που έκαναν άλλοι (Mayr, 1982).

2. Η μελέτη της ΙτΕ συνδέεται με την ανάπτυξη της ατομικής σκέψης και η ανάπτυξη των επιστημονικών ιδεών. Γνωρίζοντας το αργό και δύσκολο μονοπάτι που διανύθηκε στην ιστορική εξέλιξη συγκεκριμένων επιστημών μπορεί ο εκπαιδευτικός να βοηθηθεί στη σχεδίαση και οργάνωση ενός προγράμματος, την επιλογή των πειραμάτων και δραστηριοτήτων, την «επανάληψη» πρωτότυπων πειραμάτων και την αναβίωση ιστορικών ερμηνειών και συζητήσεων σχετικά με τα πειράματα (Matthews, 2015).

3. Η ΙτΕ προσφέρει στρατηγική γνώση για το πώς εξελίχθηκε, τροποποιήθηκε και διαδόθηκε μια επιστημονική αναπαράσταση. Συνεπώς, αν ενσωματωθεί κατάλληλα στη διδασκαλία μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην κατανόηση των φυσικών εννοιών. Οι μαθητές, συγκρίνοντας και αντιπαραβάλλοντας τις σύγχρονες επιστημονικές απόψεις με τις παλαιότερες ιστορικές θεωρίες, μπορούν να υπερβούν αντίστοιχες προσωπικές τους αντιλήψεις και να υιοθετήσουν το σύγχρονο επιστημονικό πρότυπο (Wandersee J. , 1986).

4. Οι επιστήμονες, όπως και κάθε παρατηρητής, έχουν αμέτρητες προ-αντιλήψεις και προκαταλήψεις όσον αφορά στον τρόπο λειτουργίας του κόσμου. Αυτές οι ιδέες επιδρούν υποσυνείδητα στην ικανότητα των ανθρώπων να παρατηρεί αντικειμενικά. Συνεπώς, δεν είναι δυνατό να συλλεχθούν και να ερμηνευτούν δεδομένα τελείως αντικειμενικά. Στην ιστορία υπήρξαν πλήθος περιπτώσεων όπου οι επιστήμονες αγνόησαν συγκεκριμένες παρατηρήσεις στην τελική αναφορά τους. Αυτό δεν συνέβη από δολιότητα, αλλά λόγω των υπάρχουσών προκαταλήψεων. Είτε οι επιστήμονες δεν αντελήφθησαν κάποια δεδομένα είτε δεν τα σπουδαιολόγησαν εξαιτίας των αρχικών προσδοκιών τους. Εξετάζοντας τα ίδια δεδομένα, δύο επιστήμονες δεν αναμένεται υποχρεωτικά να συμπεράνουν τα ίδια. Εκτός από τη δημιουργικότητα του επιστήμονα, που οπωσδήποτε παίζει ρόλο, η προσωπική παρατήρηση καθώς είναι φορτισμένη από τις ατομικές ιδεοληψίες έχει ως αποτέλεσμα να περιπλέκεται ακόμα περισσότερο η κατάσταση (McComas W. F., 2008).

5. Η ιστορία, μελετώντας τη ζωή και τα έργα συγκεκριμένων επιστημόνων, εξοικειώνει τους μαθητές με το αντικείμενο της επιστήμης, καθώς αυτό παύει να είναι αφηρημένο και έτσι γίνεται πιο ελκυστικό. Η ζωή των επιστημόνων, ανεξαρτήτου σπουδαιότητάς τους, παρουσιάζει κατά κανόνα πολύ ενδιαφέροντα γεγονότα και θέματα, για τα οποία οι μαθητές ενημερώνονται, και μπορούν να τα συζητήσουν ή και να τα αναπαραστήσουν (Matthews, 2015).

6. Σύμφωνα με την Στεφανίδου, η συμμετοχή σε ζητήματα που αφορούν την κοινωνία, την επιστήμη, την τεχνολογία και το περιβάλλον είναι προαπαιτούμενο για μια δημοκρατική κοινωνία. Η Ιστορία και Φιλοσοφία της Επιστήμης (ΙΦΕ) μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να ενημερωθούν για κοινωνικά ζητήματα που επηρεάζουν την επιστήμη και να γίνουν πιο ενεργοί. Μπορεί να τους βοηθήσει να νιώσουν ότι γράφουν τώρα τη δική τους ιστορία. Αυτή η συμμετοχή απαιτεί ένα ορισμένο επίπεδο γνώσης για το πώς αναπτύσσεται και λειτουργεί η επιστήμη, αλλά και για την ανάπτυξη μιας επιστημονικής συλλογικής συνείδησης και την πολιτικοποίηση των επιστημόνων, όσον αφορά τη συμμετοχή τους στις πολιτικές αποφάσεις. Στο πλαίσιο αυτό, η ΙΦΕ μπορεί να ενισχύσει την επικοινωνία μεταξύ επιστήμης και δημοκρατίας, ιδίως όσον αφορά την πολιτική συμμετοχή των πολιτών. Αποκαλύπτει τα στάδια από τα οποία πέρασε η ανθρωπότητα στην πορεία της προς τον τρέχοντα τόπο και χρόνο, όπου η επιστήμη και η τεχνολογία είναι τόσο ανεπτυγμένες. Η ΙΦΕ μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές τόσο να ενημερωθούν για τα κοινωνικά ζητήματα που επηρεάζουν την επιστήμη όσο και να γίνουν πιο ενεργοί· μπορεί να τους βοηθήσει να αισθανθούν ότι γράφουν τώρα τη δική τους ιστορία. Σε αυτό το πλαίσιο, η ΙΦΕ μπορεί να επιτρέψει την επικοινωνία μεταξύ επιστήμης και δημοκρατίας σε όρους ιθαγένειας (Stefanidou, 2019).

7. Η ιστορική ανάλυση της επιστήμης αποκαλύπτει τη σημασία της εξέτασης των λανθασμένων θεωριών του παρελθόντος, θεωρώντας τις εξίσου πολύτιμες με την αναγνώριση των επιστημονικών επιτευγμάτων. Οι θεωρίες που σήμερα φαίνονται ανακριβείς ή πρωτόγονες, όπως η ερμηνεία του Αριστοτέλη για την πτώση των σωμάτων, ήταν προοδευτικές και καλά αιτιολογημένες σύμφωνα με τα δεδομένα και τις γνώσεις της εποχής τους. Η σύγχρονη επιστημονική πρόοδος βασίζεται στη συσσωρευμένη γνώση προηγούμενων γενιών, επιτρέποντας στους σύγχρονους επιστήμονες να αποκτούν μια πιο ολοκληρωμένη και βαθιά κατανόηση του κόσμου. Εξάλλου, η εξέλιξη της επιστήμης είναι

άρρηκτα συνδεδεμένη με τις συνθήκες της εποχής των επιστημόνων που την επηρεάζουν (Costa, 1983).

8. Η ιστορία δημιουργεί συνδέσεις μεταξύ των επιστημονικών κλάδων, αναδεικνύοντας την αλληλεξάρτηση που υπάρχει στα ανθρώπινα επιτεύγματα. Η επιστήμη αναπτύσσεται συνδυάζοντας τη φιλοσοφία, τα μαθηματικά, την τεχνολογία, τη θεολογία, την τέχνη και τη λογοτεχνία. Η ιστορία επιτρέπει στους μαθητές να αποκαλύπτουν κάτι από αυτή την πλούσια αλληλεπίδραση και προκαλεί την εκτίμησή τους για τη διασύνδεση των ανθρώπινων πνευματικών και πρακτικών προσπαθειών (Matthews, 2015).

9. Οι μαθητές που θα κατανοήσουν ότι η "επιστημονική μέθοδος" είναι ένας μύθος θα είναι λιγότερο πιθανό να βλέπουν την επιστήμη ως μια διαδικασία με αυστηρούς, προκαθορισμένους κανόνες και πιο ικανοί να εκτιμήσουν την πολυπλοκότητα και τον ενθουσιασμό της επιστημονικής πρακτικής (Griesemer, 1985).

1.3 Έρευνες για την αποτελεσματικότητα εισαγωγής στοιχείων Ιστορίας Φυσικών Επιστημών στη διδασκαλία.

Δεν υπάρχουν όμως μόνο ισχυρισμοί, αλλά υπάρχουν και αρκετές έρευνες που αποδεικνύουν ότι η χρήση ιστορικών προσεγγίσεων δεν βοηθά μόνο τους μαθητές να αναπτύξουν καλύτερη κατανόηση του επιστημονικού περιεχομένου, αλλά συμβάλλει επίσης στην καλύτερη κατανόηση της ΦτΕ, της επιστημονικής μεθόδου και της συνολικής επιστημονικής σκέψης.

Μια έρευνα των Mamlok-Naaman et al. (2005) χρησιμοποίησε μια ιστορική προσέγγιση στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών με στόχο τη βελτίωση της στάσης των μαθητών που δεν είχαν πρόθεση να ακολουθήσουν σπουδές που έχουν σχέση με τις φυσικές επιστήμες. Στην έρευνα συμμετείχαν 90 μαθητές της 10ης τάξης από Λύκεια του κεντρικού Ισραήλ προερχόμενοι από μεσαία και ανώτερα κοινωνικοοικονομικά στρώματα. Οι μαθητές μελέτησαν τη δομή της ύλης χρησιμοποιώντας την ενότητα

"Επιστήμη: Μια διαρκώς αναπτυσσόμενη οντότητα" (Mamlok 1995). Τα αποτελέσματά της εν λόγω έρευνας κατέδειξαν σημαντική βελτίωση στη στάση των μαθητών που αρχικά είχαν αρνητική στάση απέναντι στις φυσικές επιστήμες. Η προσέγγιση αυτή βελτίωσε την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών μέσω ποικίλων διδακτικών μεθόδων, όπως προσομοιώσεις και ταινίες. Οι μαθητές εκτίμησαν περισσότερο το έργο των επιστημόνων και τη φύση της επιστημονικής έρευνας, έγιναν πιο ενήμεροι για τη σημασία των επιστημονικών ανακαλύψεων και εξέφρασαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την αλληλεπίδραση επιστήμης και τεχνολογίας. Η θετική ανατροφοδότηση από τους μαθητές ανέδειξε ότι η ιστορική προσέγγιση έκανε την εκμάθηση πιο ελκυστική και ενίσχυσε το ενδιαφέρον τους για την επιστήμη (Mamlok-Naaman, Ben-Zvi, Hofstein, Meni, & Erduran, 2005).

Μια άλλη μελέτη - έρευνα από τους Igal Galili και Amnon Hazan (2001) εξέτασε την επίδραση ενός μαθήματος οπτικής που βασίζεται στην ιστορία στις αντιλήψεις των μαθητών λυκείου σχετικά με την επιστήμη. Η μελέτη περιλάμβανε δύο ομάδες μαθητών από διάφορα λύκεια, την πειραματική ομάδα και την ομάδα ελέγχου. Η πειραματική ομάδα χρησιμοποίησε ειδικά σχεδιασμένο υλικό βασισμένο στην ιστορία, ενώ η ομάδα ελέγχου ακολούθησε το παραδοσιακό πρόγραμμα σπουδών. Η πειραματική ομάδα έδειξε μια αξιοσημείωτη μετατόπιση προς μια πιο εξελιγμένη κατανόηση της επιστήμης. Οι μαθητές της πειραματικής ομάδας αναγνώρισαν τη δυναμική, την αβεβαιότητα και την αντιπαράθεση που είναι εγγενείς στην επιστημονική πρόοδο, σε αντίθεση με τις πιο αφελείς και υπεραπλουστευμένες απόψεις της ομάδας ελέγχου. Η πειραματική ομάδα εκτίμησε την αξία των ιστορικών επιστημονικών θεωριών και το ρόλο τους στην ανάπτυξη της σύγχρονης επιστήμης, ενώ η ομάδα ελέγχου συχνά θεωρούσε την παρελθούσα επιστήμη ως πρωτόγονη και άσχετη. Η μελέτη κατέληξε ότι μια προσέγγιση βασισμένη στην ιστορία στη διδασκαλία της οπτικής ενισχύει σημαντικά την κατανόηση της Φύσης της Επιστήμης (ΦτΕ) από τους μαθητές και τους βοηθά να εκτιμήσουν το ιστορικό πλαίσιο και την εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών, προωθώντας την κριτική τους άποψη για τη γνώση της επιστήμης. (Galili & Hazan, 2001).

Μια άλλη μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Whitton School, ένα μεικτό δευτεροβάθμιο σχολείο στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το θέμα της μελέτης αφορούσε τη βελτίωση της κατανόησης των μαθητών σχετικά με τη ΦτΕ μέσω της διδασκαλίας της ΙτΕ και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη συμβατική διδασκαλία της επιστήμης. Μαθητές της 9^{ης} τάξης χωρίστηκαν σε δύο παράλληλες ομάδες με παρόμοιες ικανότητες και επιστημονικό υπόβαθρο. Οι δύο ομάδες μελέτησαν μια ενότητα με πανομοιότυπο επιστημονικό περιεχόμενο με τη διαφορά ότι στην πρώτη ομάδα είχε ενσωματωθεί ιστορικό υλικό, ενώ η δεύτερη ομάδα μελέτησε μια ενότητα με πανομοιότυπο επιστημονικό περιεχόμενο χωρίς καμία αναφορά στην ιστορία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπήρξε διαφορά στην κατανόηση του σύγχρονου επιστημονικού περιεχομένου μεταξύ των δύο ομάδων, ωστόσο υπήρξαν σημαντικές διαφορές στον τρόπο που αντιλαμβάνονταν τη φύση της επιστημονικής γνώσης. Ο Irwin υποστηρίζει ότι η ιστορική προσέγγιση παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στην κατανόηση της ΦτΕ από τους μαθητές. Όταν οι μαθητές βλέπουν τις προκλήσεις μέσα στο ιστορικό τους πλαίσιο, αντισταθμίζεται η περιφρονητική στάση που υιοθετούν αρκετοί μαθητές προς τους επιστήμονες του παρελθόντος, καθώς τους βλέπουν από τη δική τους ανώτερη οπτική γωνία στην ιστορία. Η εκτίμηση του δημιουργικού ρόλου που έπαιξαν οι μεγάλοι επιστήμονες του παρελθόντος λειτουργεί ως αντίδοτο στον υπερβολικό ρεαλισμό και ντετερμινισμό που χαρακτηρίζει πολλούς μαθητές (Irwin, 2000).

1.4 Προκλήσεις και εμπόδια στην ενσωμάτωση της Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Φυσικής Επιστήμης στη διδασκαλία

Η ένταξη της Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Φυσικής Επιστήμης (ΙΦΦΕ) στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών αντιμετωπίζει τέσσερα βασικά εμπόδια:

1. Η διδασκαλία της Φυσικής χαρακτηρίζεται από μια ιδιαίτερη κουλτούρα, η οποία συχνά επικεντρώνεται στην αυστηρή παρουσίαση επιστημονικών αρχών και στη μαθηματική επίλυση προβλημάτων. Η ενσωμάτωση της ΙΦΦΕ, ωστόσο, απαιτεί μια πιο αφηγηματική και διεπιστημονική προσέγγιση. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για

πολλούς εκπαιδευτικούς που είναι εξοικειωμένοι με πιο παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας και δεν έχουν συνηθίσει να εφαρμόζουν τέτοιες προσεγγίσεις.

2. Πολλοί καθηγητές Φυσικής ενδέχεται να μην αισθάνονται επαρκώς καταρτισμένοι για να διδάξουν ΙΦΦΕ ή να θεωρούν ότι η ενσωμάτωση αυτού του περιεχομένου δεν είναι απαραίτητη για την κατανόηση της Φυσικής. Αυτές οι αντιλήψεις μπορεί να τους αποθαρρύνουν από την ενσωμάτωση τέτοιων στοιχείων στη διδασκαλία τους.

3. Τα εκπαιδευτικά συστήματα συχνά διαμορφώνουν αυστηρά καθορισμένα προγράμματα σπουδών, με έμφαση στη μετάδοση συγκεκριμένων επιστημονικών γνώσεων. Η ενσωμάτωση της ΙΦΦΕ μπορεί να θεωρηθεί ως πρόσθετο φορτίο, για το οποίο δεν υπάρχουν διαθέσιμοι χρόνος ή πόροι για την επαρκή κάλυψη.

4. Τα περισσότερα σχολικά εγχειρίδια Φυσικής επικεντρώνονται αποκλειστικά στις επιστημονικές έννοιες και αρχές, παραλείποντας τις ιστορικές και φιλοσοφικές διαστάσεις. Αυτή η έλλειψη περιεχομένου καθιστά δύσκολη την ενσωμάτωση της Ιστορίας, Φιλοσοφίας και Φυσικών Επιστημών (ΙΦΦΕ) στη διδασκαλία από τους καθηγητές (Höttecke & Silva, 2011).

1.5 Προβληματισμοί και κριτική για τη χρήση ιστορικών στοιχείων στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Η ένταξη ιστορικών στοιχείων στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών προκαλεί διάφορους προβληματισμούς και αντιδράσεις.

Ο Martin Klein υποστηρίζει ότι οι εκπαιδευτικοί των ΦΕ που χρησιμοποιούν ιστορικό διδακτικό υλικό το κάνουν με στόχο να εκπληρώσουν σύγχρονους επιστημονικούς ή παιδαγωγικούς στόχους. Αυτή η επιλογή, όμως, έρχεται σε αντίθεση με τους κανόνες της καλής ιστορίας και μπορεί να οδηγήσει σε κακή ιστορία, καθώς ο μαθητής δεν αποκτά πλήρη κατανόηση των προβλημάτων που απασχόλησαν τους παρελθόντος επιστήμονες και τα πλαίσια στα οποία εργάστηκαν. Επιπλέον, ο Klein επισημαίνει ότι υπάρχει μια βασική διαφορά μεταξύ της επιστήμης και της ιστορίας, η οποία καθιστά δύσκολο τον

συνδυασμό τους. Αυτή η δυσκολία οφείλεται στην πολυπλοκότητα των ιστορικών γεγονότων σε σύγκριση με την απλότητα και ακρίβεια που επιδιώκει η επιστημονική έρευνα (Matthews, 2015).

Ο Stephen Brush στη δημοσίευση του με τίτλο ‘Should the History of Science be Rated X?’ προτείνει ότι ο εκπαιδευτικός που επιθυμεί να εμβαθύνει τους μαθητές του στον παραδοσιακό ρόλο του επιστήμονα, ως αντικειμενικού εξερευνητή των γεγονότων, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιήσει ιστορικό υλικό όπως εκείνο που προετοιμάζεται τώρα από ιστορικούς της επιστήμης: γιατί δεν θα εξυπηρετήσει το σκοπό του. Αντίθετα, εκείνοι οι δάσκαλοι που επιθυμούν να αντιδράσουν στον δογματισμό των εγχειριδίων και να μεταφέρουν μια κατανόηση της επιστήμης ως μια δραστηριότητας που δεν μπορεί να απομονωθεί από μεταφυσικές ή αισθητικές σκέψεις μπορούν να βρουν κάποια ενθάρρυνση στη νέα ιστορία της επιστήμης. Η ιστορία της επιστήμης θα μπορούσε να βοηθήσει τη διδασκαλία της επιστήμης δείχνοντας ότι "τέτοιες μπερδεμένες έννοιες όπως η δύναμη, η ενέργεια κ.λπ., είναι κατασκευάσματα του ανθρώπου που εξελίχθηκαν με μια κατανοητή ακολουθία ανταπόκρισης σε αισθητά και πραγματικά προβλήματα. Δεν παραδόθηκαν από κάποιον θεϊκό συγγραφέα για τον οποίο ήταν αυτονόητες".

Ο Whitaker αναφέρει τον όρο "ψευδο-ιστορία" (quasi history) για να περιγράψει τον τρόπο που η ιστορία παρουσιάζεται σε εγχειρίδια, τρόπο ο οποίος παρέχει ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο τα επιστημονικά γεγονότα ταιριάζουν εύκολα. Ο τρόπος που παρουσιάζεται το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στα εγχειρίδια είναι ένα ενδεικτικό παράδειγμα αυτής της ψευδο-ιστορίας όπου η ιστορική πραγματικότητα διαστρεβλώνεται για να εξυπηρετήσει όχι μόνο παιδαγωγικούς σκοπούς αλλά είναι υποταγμένη και στην επιστημονική ιδεολογία του συγγραφέα του εγχειριδίου (Kragh, 1992).

Σύμφωνα με τον Τσελφέ, η ανάπτυξη των γνωστικών δομών διαφέρουν από άτομο σε άτομο, και ο τρόπος με τον οποίο μια δομή αναπτύχθηκε από τους δημιουργούς της δεν αντικατοπτρίζει απαραίτητα τον τρόπο που οι μαθητές την αναπτύσσουν σήμερα. Επιπλέον, οι μαθητές και οι επιστήμονες ξεκινούν τη σκέψη τους από διαφορετικές αφετηρίες και έχουν διαφορετικά γνωστικά υπόβαθρα, γεγονός που εγείρει το ερώτημα

γιατί θα πρέπει να ακολουθούν παρόμοιες εννοιολογικές διαδρομές. Επίσης, τα επιστημονικά μοντέλα αναπτύχθηκαν σε ένα πλαίσιο πολύ διαφορετικό από το σύγχρονο, όπου ζουν και εκπαιδεύονται οι μαθητές. Το σύγχρονο κοινωνικό περιβάλλον παρέχει στους μαθητές γνώσεις και εμπειρίες από όργανα και φαινόμενα που οι επιστήμονες των προηγούμενων αιώνων δεν είχαν γνωρίσει (Τσελφές, 1991).

Στο έργο του "Δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων", ο Kuhn επισημαίνει ότι στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών, η Ιστορία της Επιστήμης συχνά παραμορφώνεται, παρουσιάζοντας παλαιότερους επιστήμονες σαν να εργάζονται για τα ίδια προβλήματα που απασχολούν και τους σύγχρονους επιστήμονες. Ο Kuhn αναφέρει επίσης ότι η παρουσίαση της Ιστορίας στους μαθητές μπορεί να εξασθενήσει τις πεποιθήσεις που θεωρούνται απαραίτητες για μια επιτυχημένη εκμάθηση των φυσικών επιστημών. Η προοπτική του φυσικού και του ιστορικού σχετικά με ένα συγκεκριμένο πρόβλημα διαφέρει σημαντικά. Είναι δύσκολο να συνδυαστεί η πολυπλοκότητα του ιστορικού γεγονότος με τη σαφήνεια που απαιτεί ο φυσικός. Ο Kuhn καταλήγει ότι η ιστορική προσέγγιση μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στους μαθητές, καθώς αμφισβητεί τις σταθερές πεποιθήσεις του επιστημονικού δόγματος, οι οποίες είναι σημαντικές για την ενίσχυση του ενδιαφέροντος και του ενθουσιασμού για τη Φυσική (Σκορδούλης Κ. , 2014).

1.6 Τρόποι εισαγωγής στοιχείων Ιστορίας Φυσικών Επιστημών στη διδασκαλία

Ο Heilbron αναλύει τη σημασία της ενσωμάτωσης της ΙτΕ στην εκπαίδευση και προτείνει προσεγγίσεις που μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς να αποσπούν την προσοχή από το κύριο επιστημονικό περιεχόμενο. Οι προτάσεις του περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Εκτενείς Ιστορικές Μελέτες Περίπτωσης, οι οποίες χρησιμοποιούν αναλυτικές ιστορικές μελέτες για να αναδειχθεί η εξέλιξη των επιστημονικών θεωριών και η αντιμετώπιση των προκλήσεων στις μετρήσεις και τις θεωρητικές προβλέψεις. Αυτές οι

μελέτες βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης και τις διαδικασίες της επιστημονικής έρευνας.

2. Ενσωμάτωση σημαντικών ιστορικών γεγονότων και ανακαλύψεων στο πρόγραμμα σπουδών. Περιλαμβάνεται η διδασκαλία σημαντικών πειραμάτων και θεωριών που έχουν διαμορφώσει την επιστημονική σκέψη, και βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν την εξέλιξη και βελτίωση των επιστημονικών ιδεών.

3. Αναγνώριση και διόρθωση ανακρίβειών ή απλουστεύσεων στα σχολικά βιβλία, που ενδέχεται να παραπλανούν τους μαθητές σχετικά με την πραγματική φύση της επιστημονικής έρευνας και ανάπτυξης.

4. Χρήση σύντομων αφηγήσεων που περιγράφουν σημαντικά επιστημονικά γεγονότα ή τις ζωές διάσημων επιστημόνων. Αυτές οι αφηγήσεις μπορούν να καταστήσουν τη διδασκαλία πιο ελκυστική, βοηθώντας τους μαθητές να κατανοήσουν το ανθρώπινο στοιχείο της επιστήμης και τις προκλήσεις που αντιμετώπισαν οι επιστήμονες.

5. Προφορική παρουσίαση σύντομων ιστοριών (historical vignettes) για τη ζωή και το έργο διακεκριμένων επιστημόνων κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Αυτές οι ιστορίες, διάρκειας 5-10 λεπτών, προσφέρουν μια πιο προσωπική εικόνα των εμπειριών των επιστημόνων και της εξέλιξης της επιστημονικής σκέψης, και συνοδεύονται από ερωτήματα προς τους μαθητές. Ένα καλά επιλεγμένο ιστορικό απόσπασμα στην τάξη μπορεί να συνδέσει τα διδακτικά περιεχόμενα με τα ενδιαφέροντα των μαθητών, λειτουργώντας ως κίνητρο και ενθάρρυνση για περαιτέρω μελέτη της επιστήμης και των επιστημόνων. (Heilbron, 2002)

1.7 Εφαρμογές της ΙΦΕ στη μη τυπική και άτυπη εκπαίδευση

Για να κατανοήσουμε πλήρως την εκπαίδευση των μαθητών στην επιστήμη, πρέπει να εξετάσουμε όχι μόνο τη μάθηση που λαμβάνει χώρα στο σχολείο, αλλά και αυτή που συμβαίνει εκτός σχολείου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, λαμβάνοντας υπόψη ότι το 85% του χρόνου που οι μαθητές είναι ξύπνιοι βρίσκονται εκτός αιθουσών διδασκαλίας. Η εξωσχολική μάθηση μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, την μη τυπική και την άτυπη εκπαίδευση. Η άτυπη εκπαίδευση είναι εντελώς αυθόρμητη και μπορεί να

πραγματοποιηθεί παντού, ενώ η μη τυπική μάθηση σχεδιάζεται και συνδυάζεται με την τυπική εκπαίδευση (Eshach, 2007). Η άτυπη μάθηση αφορά τη διαδικασία με την οποία κάθε άτομο αποκτά γνώσεις, δεξιότητες, και αναπτύσσει στάσεις και αξίες μέσα από την καθημερινή εμπειρία και αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον του. Σε αυτήν τη μορφή μάθησης περιλαμβάνονται δραστηριότητες όπως επισκέψεις σε μουσεία φυσικών επιστημών, συμμετοχή σε εργαστήρια φυσικών επιστημών και τεχνολογίας, παρακολούθηση εκθέσεων φυσικών επιστημών, ανάγνωση επιστημονικών κειμένων και παρακολούθηση επιστημονικών ραδιοφωνικών εκπομπών και τηλεοπτικών ταινιών, καθώς και η χρήση της αφήγησης και του θεάματος (Κολιόπουλος, 2017).

Έχουν καταγραφεί αρκετές προσπάθειες πλαισίωσης ιστορικών επιστημονικών οργάνων στην άτυπη εκπαίδευση. Στο Deutsches Museum, που ιδρύθηκε το 1903 ως μουσείο των "έργων τέχνης της επιστήμης και τεχνολογίας", τα ιστορικά επιστημονικά όργανα που εκτίθενται ενσωματώνονται στις εκπαιδευτικές προσπάθειες του μουσείου αντί να χρησιμεύουν αποκλειστικά ως αναμνηστικά αντικείμενα. Το μουσείο προσφέρει και εκπαιδευτικά προγράμματα διαμονής και υλικό μελέτης για εκπαιδευτικούς και μαθητές. Το εκπαιδευτικό υλικό καλύπτει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων που σχετίζονται με την επιστήμη, την τεχνολογία και την ιστορία, δίνοντας έμφαση στις πολιτιστικές πτυχές των τεχνολογικών εξελίξεων. Οι προσπάθειες του μουσείου στην εκπαίδευση και την έρευνα υπογραμμίζουν τη σημασία της ενσωμάτωσης ιστορικών πλαισίων στην κατανόηση της επιστήμης και της τεχνολογίας. (Teichmannn, 1981)

Δύο ακόμα σημαντικά μουσεία που παρουσιάζουν την ΙτΕ χρησιμοποιώντας στοιχεία από επιστημονικές συλλογές είναι στο Ηνωμένο Βασίλειο το «Museum of the History of Science» στην Οξφόρδη, που ιδρύθηκε το 1924, με τη δωρεά της συλλογής του Lewis Evans στο Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης, και το «Whipple Museum of the History of Science» στο Πανεπιστήμιο του Κέιμπριτζ, ιδρυμένο το 1956 για να φιλοξενήσει τη συλλογή επιστημονικών οργάνων και σπάνιων βιβλίων του Robert Whipple (Filippoupoliti & Koliopoulos, 2014).

Στο ίδιο πνεύμα πραγματοποιήθηκε έρευνα με στόχο να διερευνηθεί τον ρόλο που μπορούν να παίξουν τα ιστορικά επιστημονικά όργανα του Μαρασλείου Διδασκαλείου, τόσο στην ΙτΕ όσο και στη σύγχρονη επιστημονική εκπαίδευση. Τα αποτελέσματα

υποδηλώνουν ότι η ιστορία της εργαστηριακής εκπαίδευσης στη φυσική, μαζί με μια συλλογή ιστορικών επιστημονικών οργάνων, μπορούν να αποτελέσουν πρόσφορο έδαφος για την εφαρμογή εκπαιδευτικών προγραμμάτων STEM, καθώς επίσης και να προωθήσουν τις πολιτιστικές και διαδικαστικές πτυχές της επιστήμης (Lazos, Stefanidou, & Skordoulis, 2024).

Παρόμοια έρευνα πραγματοποιήθηκε στο Λύκειο Gioberti στο Τορίνο το οποίο χρονολογείται από το 1822 που αρχικά ονομάζονταν "Collegio San Francesco da Paola", σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Τορίνο. Στην έρευνα αυτή συμμετείχαν 188 μαθητές της 12ης και της 13ης τάξης. Η έρευνα αυτή είχε ως στόχο την τεκμηρίωση και μελέτη αυτών των συλλογών, την επιλογή σημαντικών οργάνων, την αξιολόγηση των γνώσεων των μαθητών μέσω ερωτηματολογίων, τη δημιουργία πειραματικών δραστηριοτήτων με βάση την ιστορία της φυσικής και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους. Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν θετικά τόσο για την ιστορική προσέγγιση που υιοθετήθηκε στο πρόγραμμα, όσο και για την κατανόηση και το ενδιαφέρον των μαθητών (Rinaudo & Leone, 2019).

Πρόγραμμα Εκπαίδευσης Φυσικών Επιστημών λειτουργεί στο ιστορικό «Σχολείο Χίου», όπου στεγάζεται μια πολύτιμη συλλογή επιστημονικών οργάνων του 19ου-20ου αιώνα για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Από το 2003 έως το 2008, δημιουργήθηκαν εκπαιδευτικά σενάρια βασισμένα σε ιστορικά επιστημονικά έγγραφα, περιλαμβάνοντας εκθέματα επιστημονικών οργάνων. Αυτά τα εκθέματα έγιναν κεντρικά σημεία διαλέξεων-επιδείξεων που συνδύαζαν αφήγηση, οπτικοακουστική παρουσίαση και πειραματική εκτέλεση. Κατά την περίοδο 2007-2008, οι επιτόπιες μαθησιακές δραστηριότητες εμπλουτίστηκαν, προσκαλώντας μαθητές και ενήλικες να αναγνωρίσουν τα όργανα, να πραγματοποιήσουν πειράματα και να ανακατασκευάσουν απλό εξοπλισμό, στο πλαίσιο δύο ευρωπαϊκών προγραμμάτων. Παράλληλα, δημιουργήθηκε εκπαιδευτικό υλικό για τη στήριξη τόσο των διαλέξεων όσο και της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης (Paparou, 2011).

Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν τις ανακατασκευές σε ειδικά σχεδιασμένες αίθουσες που παρουσιάζουν την επιστήμη είτε ως εντυπωσιακή είτε ως γεμάτη δυσκολίες, τις θεατρικές δράσεις στο μουσείο Επιστημών Baaken, και τις ανακατασκευές πειραμάτων ηλεκτρισμού από τον Peter Heering, που επιτρέπουν στους επισκέπτες να διεξάγουν

πειράματα υπό καθοδήγηση. Αυτές οι προσεγγίσεις διευκολύνουν την εισαγωγή του ιστορικού πλαισίου και πολλών πτυχών της ΦτΕ μέσω συζητήσεων (Παναγοπούλου & Στεφανίδου, 2023). Η Ιστορία και Φιλοσοφία της Επιστήμης περιλαμβάνει παραδείγματα επιστημόνων με έργο που είχε θετικό ή αρνητικό κοινωνικό αντίκτυπο. Το Δράμα μπορεί να παρουσιάσει επιστημονικές έννοιες και συμπεριφορές σε ευρύ κοινό. Με βάση το παραπάνω σκεπτικό οργανώθηκε μία μελέτη που αποτελείται από μία θεατρική παράσταση, στα πλαίσια ενός δημοσίου Λυκείου στην Αθήνα, όπου οι μαθητές διαδραμάτισαν το έργο "Life of Galileo" του Bertolt Brecht, επικοινωνώντας στοιχεία της επιστημονικής κουλτούρας με τη σχολική και την τοπική κοινότητα. Η μελέτη αυτή ήταν μία μελέτη περίπτωσης και η εκπαιδευτική πρόταση αποσκοπούσε στην κατανόηση του αν η Ιστορία και Φιλοσοφία της Επιστήμης και το Δράμα μπορούν να ενισχύσουν την επιστημονική ιθαγένεια των μαθητών. Στη μελέτη συμμετείχαν εθελοντικά 23 μαθητές Λυκείου από τους οποίους οι 18 εμφανίστηκαν στην παράσταση ενώ οι υπόλοιποι συμμετείχαν στις πρόβες και σε δραστηριότητες, όπως η ανάλυση του κειμένου και η παρουσίαση του θεατρικού έργου. Οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές είχαν επιδόσεις κάτω του μετρίου στα επιστημονικά σχολικά μαθήματα. Η οργάνωση της παράστασης έγινε από τη συγγραφέα και επιστημονική καθηγήτρια των μαθητών. Η ανάλυση των δεδομένων είχε ποιοτικό χαρακτήρα και αφορούσε διαλόγους της ερευνήτριας με τους μαθητές, καθώς και μεταξύ των μαθητών. Το περιεχόμενο των διαλόγων που μελετήθηκαν σχετιζόταν με τη σχέση της επιστήμης με την κοινωνία όπως αυτή παρουσιάζεται στο θεατρικό κείμενο (Stefanidou, 2019).

Η ΙτΕ μπορεί να εισαχθεί στα πλαίσια της άτυπης εκπαίδευσης και στα Φεστιβάλ Επιστήμης. Μια διαδραστική αφήγηση εμπνευσμένη από τον Διάλογο του Γαλιλαίου χρησιμοποιήθηκε στο Φεστιβάλ Επιστήμης της Αθήνας το 2019 την οποία παρακολούθησαν μία τάξη γυμνασίου και μία λυκείου, με στόχο να εμπλέξει τους μαθητές στην ΙτΕ και να ενισχύσει την αντίληψη τους για τα πολιτιστικά στοιχεία της επιστήμης (Panagoulou, Stefanidou, Chalkidis, Skordoulis, & Gazeas, 2019).

Στην επίσημη σελίδα του Ιδρύματος Ευγενίδου Ντοκιμαντέρ - ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ ([Ντοκιμαντέρ - ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ \(eef.edu.gr\)](http://www.eef.edu.gr)) διατίθενται τρία ντοκιμαντέρ: «Τρεις σπουδαίοι αστρονόμοι: Κοπέρνικος, Μπράχε, Κέπλερ», «Γαλιλαίος, η Μάχη στην Αυγή

της Σύγχρονης Επιστήμης» και «Νεύτων, η Δύναμη του Θεού». Τα ντοκιμαντέρ αυτά χρησιμοποιούν ερευνητικό υλικό για να αναδείξουν τις συνθήκες υπό τις οποίες εξελίχθηκε η επιστήμη εκείνη την ιστορική περίοδο.

Η ιστορία και η φιλοσοφία της επιστήμης μπορούν να χρησιμεύσουν ως μια γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ μαθητών από διαφορετικούς πολιτισμούς. Μια μελέτη διεξήχθη σε ένα δημόσιο γυμνάσιο στην Αθήνα και είχε στόχο να προωθήσει τον αντιρατσισμό και την ευαισθητοποίηση στους μαθητές του, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προέρχονται από καταυλισμό προσφύγων. Στην μελέτη συμμετείχαν κατά το 1/2 μαθητές από το τοπικό σχολείο και κατά το άλλο 1/2 πρόσφυγες ηλικίας 13-16 ετών. Η μελέτη διήρκεσε ένα σχολικό έτος και επικεντρώθηκε στη συνεργασία, τα εκπαιδευτικά δικαιώματα για τους πρόσφυγες και τις αντιρατσιστικές δραστηριότητες. Σε μια από τις φάσεις, οι μαθητές μελέτησαν το πλαίσιο στο οποίο αναπτύχθηκε η αραβική επιστήμη και τεχνολογία, χρησιμοποιώντας το βιβλίο με τίτλο "Ιστορία της Επιστήμης και της Τεχνολογίας" (Αραμπατζής, Γαβρόγλου, Διαλέτης, Χριστιανίδης, Κανδεράκης, & Βερνίκος, 1999) το οποίο απευθύνεται σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και εκδόθηκε από το Υπουργείο Παιδείας της Ελλάδας. Επίσης, μελέτησαν το εκπαιδευτικό υλικό του "1001 Εφευρέσεις", ενός διεθνώς βραβευμένου οργανισμού επιστημονικής και πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι μαθητές μελέτησαν και άντλησαν ιδέες και δραστηριότητες από τον αντίστοιχο οδηγό για εκπαιδευτικούς ("1001 Εφευρέσεις", 2017), τις οποίες στη συνέχεια υλοποίησαν με την ομάδα των προσφύγων (Gkiolmas, Stefanidou, & Skordoulis, 2020).

1.8 Ελληνική πραγματικότητα

Η πρώτη καταγεγραμμένη αναφορά για την ανάγκη ενσωμάτωσης στοιχείων της Ιστορίας της Φυσικής στη διδασκαλία της Φυσικής στην Ελλάδα εντοπίζεται το 1980. Κατά τη διάρκεια του 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Φυσικής ο Α. Κασσέτας έκανε την ακόλουθη παρέμβαση:

"Η ιστορική ανάπτυξη της Φυσικής θα πρέπει να θεωρηθεί ως βασικό μέρος στη διδασκαλία της. Σε αυτό το πλαίσιο, η Φυσική θα πάψει να παρουσιάζεται ως «έτοιμη»

και εξοπλισμένη με τη δύναμη της απόλυτης αλήθειας, ενώ ταυτόχρονα η σχέση που είχε η ιστορική της ανάπτυξη και συνεχίζει να έχει με άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες και κυρίως με τη Φιλοσοφία και με την οικονομική παραγωγή θα πρέπει να αποσαφηνιστεί."

Μερικά χρόνια αργότερα, ο Α. Κασσέτας με την ομάδα του έγραψαν τα σχολικά βιβλία Φυσικής για την Α' και Β' τάξη του Ενιαίου Πολυκλαδικού Λυκείου. Η συγγραφή τους έγινε ακολουθώντας τη γενική γραμμή του Προγράμματος του Harvard, με ορισμένες παραλλαγές και τροποποιήσεις, αντανακλώντας τη μοναδική συμβολή των συγγραφέων στη διδασκαλία της Φυσικής. Οι περισσότεροι Έλληνες καθηγητές Φυσικής, ωστόσο, δεν ήταν διατεθειμένοι να διδάξουν το ιστορικό υλικό των βιβλίων, καθώς δεν είχαν επίσημη εκπαίδευση στην ΙτΕ ή στη λογική του «Harvard Project». Η επίσημη εισαγωγή των βιβλίων πυροδότησε επίσης και μια σειρά επιθέσεων, όχι μόνο από φυσικούς αλλά και από άλλους επιστήμονες και εκπαιδευτικούς. Το κύριο επιχείρημα τους ήταν ότι η ιστορία της φυσικής είναι μια περιττή πολυτέλεια σε ένα σχολικό πρόγραμμα σπουδών που θα πρέπει να επικεντρώνεται στη διδασκαλία των θεμελιωδών αρχών και νόμων της φυσικής. Όλα αυτά είχαν ως αποτέλεσμα την αναθεώρησή των βιβλίων το 1996, κατά την οποία πολλά ιστορικά στοιχεία παραλήφθηκαν και τελικά την αντικατάστασή τους με άλλα βιβλία το 2000.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 ο εξελίξεις ήταν ραγδαίες. Αποκορύφωμα αυτών των εξελίξεων ήταν η ίδρυση του Τμήματος Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, η ίδρυση της Ελληνικής Εταιρείας Ιστορίας της Επιστήμης και της Τεχνολογίας και η έκδοση του περιοδικού Νεύσις (Skordoulis & Halkia, 2005).

Το 1^ο συνέδριο «Ιστορία, Φιλοσοφία και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών» ξεκίνησε ως συμπόσιο στη Θεσσαλονίκη το 2001, με τίτλο «Η συμβολή της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών». Εκεί, τέθηκαν ερωτήματα σχετικά με το πώς η ΙΦΦΕ μπορεί να αναμορφώσει τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και να συμβάλει στην εκπαίδευση επιμορφωτών και εκπαιδευτικών. Το συμπόσιο αυτό εξελίχθηκε σε συνέδριο που διοργανώνεται κάθε δύο χρόνια σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας και της Κύπρου. Το συνέδριο αυτό διατηρεί

ζωντανή τη συζήτηση που ξεκίνησε στο πρώτο συμπόσιο και προωθεί διάφορες τάσεις, ερευνητικά ρεύματα και διδακτικές εφαρμογές, τα οποία καταγράφονται στα Πρακτικά του (Κολιόπουλος, Μέλη, Αραπάκη, Σισσαμπέρη, Γεωργοπούλου, & Παππά, 2022).

Η Ελλάδα συμμετείχε επίσης στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα History and Philosophy of Science Teaching (HIPST) που αναπτύχθηκε μεταξύ του 2008 και του 2010. Σε αυτό το πρόγραμμα συμμετείχαν δέκα εταίροι από επτά ευρωπαϊκές χώρες και το Ισραήλ. Ένας από τους κύριους στόχους του προγράμματος HIPST ήταν η ενίσχυση της διδασκαλίας και της μάθησης για τη ΦΤΕ με την ΙΦΕ. Αναπτύχθηκαν και δοκιμάστηκαν περισσότερα από τριάντα προγράμματα διδασκαλίας με πλήρη καθοδήγηση για τους εκπαιδευτικούς προκειμένου να τους ενθαρρύνουν και να τους επιτρέψουν να διδάσκουν επιστήμη με τη χρήση της ΙΦΕ έχοντας ως κεντρικό στόχο την δημόσια κατανόηση της επιστήμης (Höttecke, 2012).

Η πρώτη επισκόπηση στον ελληνόφωνο χώρο από τους Κολιόπουλο & Ψύλλο (1981) εντοπίζει τρία βασικά πεδία εφαρμογής στην εκπαίδευση της Ιστορίας της Φυσικής. Το πρώτο πεδίο αφορά τον ουμανιστικό προσανατολισμό της διδασκαλίας της Φυσικής, όπου η ιστορία συμβάλλει στην καλλιέργεια μιας γενικής παιδείας για τους μαθητές, καθιστώντας τη φυσική ως εργαλείο κατανόησης του κόσμου. Το δεύτερο πεδίο εστιάζει στην κατανόηση από τους μαθητές των μεθοδολογικών στοιχείων της Φυσικής, κυρίως μέσω αντιθετικιστικών επιστημολογικών προσεγγίσεων. Το τρίτο πεδίο αφορά την έρευνα στη Διδακτική της Φυσικής Επιστήμης (ΔΦΕ), που εξετάζει τις νοητικές παραστάσεις των μαθητών για τα φυσικά φαινόμενα και τις έννοιες, και πώς αυτές χρησιμοποιούνται στη διδασκαλία. Αυτό το πεδίο αποτελεί ένα σημαντικό ερευνητικό ρεύμα στην ελληνική εκπαίδευση, με άμεσες συνέπειες στον σχεδιασμό, την αξιολόγηση και τη διάχυση διδακτικών προγραμμάτων που οδηγούν σε διαπιστωμένη γνωστική πρόοδο των μαθητών (Κολιόπουλος, Μέλη, Αραπάκη, Σισσαμπέρη, Γεωργοπούλου, & Παππά, 2022).

2 Από τη Φιλοσοφία στην Επιστήμη: Η διαμόρφωση της ατομικής θεωρίας

2.1 Η ατομική θεωρία στην αρχαία Ελλάδα

Η απαρχή της ελληνικής φιλοσοφίας εντοπίζεται στις αρχές του 6ου αιώνα π.Χ. Η ιδέα του ατόμου προήλθε από συζητήσεις μεταξύ αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων, με πρωτοπόρους τον Λεύκιππο και τον Δημόκριτο. Αυτοί υποστήριζαν ότι ο κόσμος αποτελείται από το κενό (μη-ον) και το πλήρες (ον). Το ον είναι γεμάτο και στερεό ενώ το μη ον άδειο και αραιό (Russell, 1946). Αποδέχθηκαν ότι το κάθε άτομο είναι απολύτως αμετάβλητο, δηλαδή δεν επιδέχεται τομή, με αποτέλεσμα τα άτομα να μη δημιουργούνται ούτε να καταστρέφονται. Θεώρησαν ότι τα άτομα είναι άπειρα το πλήθος, διαφέρουν μεταξύ τους κατά μέγεθος και σχήμα και κινούνται τυχαία σ' ένα άπειρο κενό. Σύμφωνα με τη θεωρία τους η πληθώρα ουσιών και πολύπλοκων φαινομένων που παρατηρούμε οφείλονται στις κινήσεις, στις συγκρούσεις και στις παροδικές τους διαμορφώσεις. Αυτή η εικόνα του κόσμου καταπολεμήθηκε από τον Πλάτωνα, τον Αριστοτέλη και τους μαθητές τους (Lindberg, 1997).

Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη η θέση των ατομιστών ήταν παράλογη. Συγκεκριμένα, ο Αριστοτέλης αμφισβήτησε την πίστη σε ένα κενό, πλήρως απαλλαγμένο από ύλη, μέσα από το οποίο θα μπορούσαν να ταξιδέψουν τα άτομα. Κατά τον Αριστοτέλη, κενό δεν υπάρχει, ο κόσμος είναι παντού πλήρης. Σύμφωνα με την άποψή του τα αντικείμενα για να διατηρούν την κίνηση τους σε ευθεία γραμμή απαιτούν συνεχή δύναμη. Στο κενό, δεν θα υπήρχε τίποτα που να αντιστέκεται στα άτομα, οπότε θα ήταν αδύνατη η κίνησή τους (Smith, 2013). Ο Επίκουρος εμπνευσμένος από τον Δημόκριτο, προσέφερε μια ατομική θεώρηση της ύλης και του κόσμου, υποστηρίζοντας την ύπαρξη ατόμων και κενού. Τα άτομα συνδυάζονται για να δημιουργούν τα φαινόμενα που παρατηρούμε στη Γη και στον ουρανό, με το σύμπαν να είναι άπειρο και να περιέχει άπειρους κόσμους. Ωστόσο, διαφοροποίησε την ατομική θεωρία του Δημόκριτου, επεξεργαζόμενος την περαιτέρω. Σημαντικά προβλήματα που αντιμετώπισε ήταν ο τρόπος συνδυασμού των ατόμων για τη δημιουργία σταθερών συστημάτων και η κατανόηση της φυσικής πραγματικότητας. Τα άτομα δεν έχουν ιδιότητες όπως χρώμα ή γεύση, αλλά μπορούν να αναδείξουν

αντανακλάσεις, που ερμηνεύονται από τις αισθήσεις μας. Ο Επίκουρος, αντίθετα με την άποψη του Δημόκριτου, υποστήριξε τη βαρύτητα των ατόμων και την κίνησή τους προς τα κάτω (Τριανταφυλόπουλος, 1999).

2.2 Η εξέλιξη της ατομικής θεωρίας

Η ατομική θεωρία, που είχε προταθεί στην αρχαία Ελλάδα, στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε για περίπου 2.000 χρόνια, αν και η αναφορά σε άτομα ή μικρά “σωματίδια” δεν είχε εντελώς ξεχαστεί στους επιστημονικούς κύκλους. Για παράδειγμα, ο Ισαάκ Νεύτων αναφερόταν συχνά σε άτομα, αν και όχι με το όνομά τους (Scerri, 2020).

Σε αντίθεση με τη φιλοσοφική θεωρία των αρχαίων Ελλήνων για το άτομο, η σύγχρονη ατομική θεωρία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε πειραματικά στοιχεία και ενσωματώνει θεωρητικά πλαίσια, νοητικά πειράματα και εμπεριέχει διορατικότητα για να διαμορφώσει την κατανόησή μας για τα σωματίδια, τα μόρια, τα ιόντα και τα άτομα (Harrison, 2002).

2.2.1 Ατομική θεωρία του Dalton

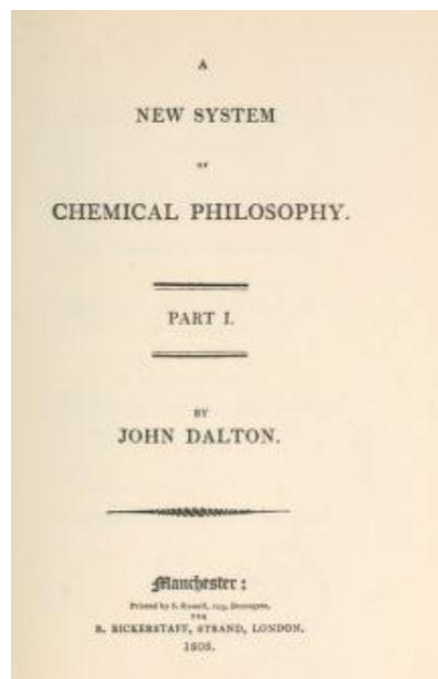
Το 1801, ο Άγγλος εκπαιδευτικός John Dalton (1766–1844), δημοσίευσε ένα άρθρο για τη μετεωρολογία, που ήταν ένα από τα κύρια επιστημονικά του ενδιαφέροντα. Αυτή η εργασία αποτέλεσε την απαρχή της επαναφοράς της ατομικής θεωρίας στην επιστήμη. (Scerri, 2020)

Το 1808 δημοσίευσε το έργο "A New System of Chemical Philosophy" (Εικόνα 1), στο οποίο παρουσίασε τη θεωρία των ατόμων. Σύμφωνα με το μοντέλο που πρότεινε:

α. Κάθε στοιχείο αποτελείται από μικρά σωματίδια που ονομάζονται άτομα.

β. Τα άτομα ενός συγκεκριμένου στοιχείου είναι πανομοιότυπα.

γ. Τα άτομα διαφορετικών στοιχείων διαφέρουν μεταξύ τους σε σχήμα και σε μέγεθος.



Εικόνα 1: Εξώφυλλο A New System of Chemical Philosophy John Dalton 1808

- δ. Οι χημικές ενώσεις δημιουργούνται όταν τα άτομα συνδυάζονται μεταξύ τους.
- ε. Οι χημικές αντιδράσεις είναι αναδιάταξη των ατόμων στον τρόπο που συνδέονται μεταξύ τους, χωρίς να αλλάζουν (Zumdahl, 2009).

2.2.2 Ατομικό μοντέλο του Thomson

Οι καθοδικές ακτίνες ανακαλύφθηκαν το 1858 από τον Julius Plücker. Η συζήτηση για τη φύση τους ξεκίνησε το 1879. Ο William Crookes παρατήρησε απόκλιση τους από ένα μαγνητικό πεδίο, η οποία θεωρήθηκε ισχυρή ένδειξη για τη σωματιδιακή φύση των καθοδικών ακτίνων (Niaz, 1998).

Το 1883, ο Heinrich Hertz πραγματοποίησε πειράματα με σκοπό να καθορίσει εάν φέρουν ηλεκτρικό φορτίο. Ο Hertz συνέκλινε ότι οι καθοδικές ακτίνες δε φέρουν ηλεκτρικό φορτίο και, συνεπώς, δεν αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια (McComas & Kampourakis, 2015).

Το 1897, ο Wiechert ερμηνεύοντας τα πειράματά του κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι καθοδικές ακτίνες δεν είναι τα γνωστά άτομα της Χημείας, γιατί η μάζα των κινούμενων σωματιδίων είναι πολύ μικρότερη από του ατόμου του υδρογόνου, του ελαφρύτερου από τα γνωστά χημικά άτομα. Την ίδια χρονιά, ο Walter Kaufmann μέτρησε τον λόγο φορτίου προς μάζα των καθοδικών ακτίνων και βρήκε ότι ήταν ίδιος για κάθε αέριο του σωλήνα, ένα γεγονός που τον μπέρδεψε αλλά δεν τον οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το σωματίδιο θα μπορούσε να είναι κοινό συστατικό όλων των ατόμων (Scerri, 2020).

Αποτέλεσμα αυτών ήταν να ξεσπάσει μια διαμάχη σχετικά με τη φύση των καθοδικών ακτίνων (οι Γερμανοί φυσικοί υποστήριζαν τη θεωρία του αιθέρα για την προέλευσή τους, ενώ οι Βρετανοί επιχειρήσαν να αποδείξουν την σωματιδιακή τους φύση), αλλά η ανακάλυψη των ακτίνων X, το 1895, ήταν αυτή που ενέπνευσε το ενδιαφέρον του J.J. Thomson για τις καθοδικές ακτίνες (Chamizo & Garritz, 2014).

Η ανακάλυψη των ακτίνων X από τον Röntgen έδωσε μια νέα μέθοδο ιονισμού των αερίων. Στηριζόμενος ο Thomson στην καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των ιόντων των αερίων άρχισε να ερευνά τη φύση των καθοδικών ακτίνων (Segre, 1983).

Οι πειραματικές έρευνες του Thomson σχετικά με τις καθοδικές ακτίνες αντιπροσωπεύουν ένα κρίσιμο στιγμιότυπο στην ιστορία της φυσικής (Niaz, 1998). Στις αρχές του 1897 διεξήγαγε μια σειρά πειραμάτων (Εικόνα 2), τα οποία παρουσιάστηκαν αρχικά σε μια ομιλία στο Royal Institution τον Απρίλιο του 1897, και τελικά δημοσιεύτηκαν στο Philosophical Magazine τον Οκτώβριο του ίδιου έτους. Ο Thomson επισήμανε ότι οι καθοδικές ακτίνες είναι οι ίδιες ανεξάρτητα από το αέριο μέσα από το οποίο περνούν και το υλικό του ηλεκτροδίου από το οποίο παράγονται και κατέληξε ότι είναι σωματίδια αρνητικά φορτισμένα. Από τις πιο σημαντικές πειραματικές του συνεισφορές πρέπει να θεωρηθεί ο καθορισμός της τιμής του λόγου μάζας προς φορτίο (m/e) των καθοδικών ακτίνων (Chamizo & Garritz, 2014).



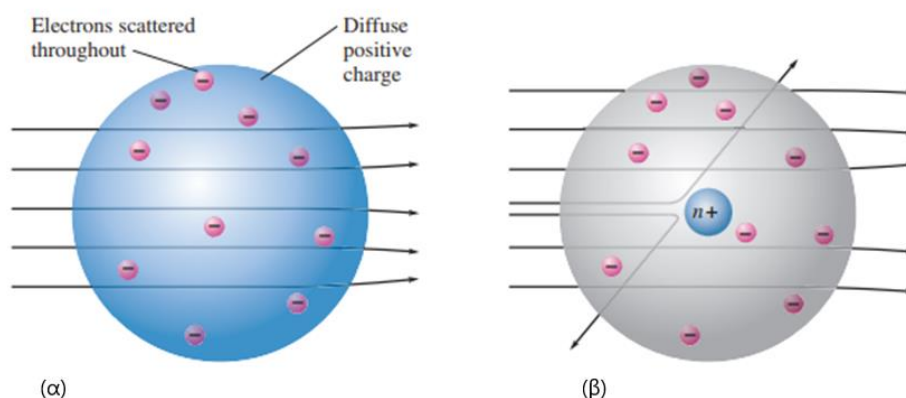
Εικόνα 2: Ο αυθεντικός καθοδικός σωλήνας με τον οποίον ο Thomson ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο στο Εργαστήριο του Cavendish του Πανεπιστημίου του Cambridge.

Ο Thomson προχωράει ακόμη περισσότερο και προτείνει το 1907 ένα ατομικό μοντέλο σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρόνια διασκορπίζονται μέσα σε ένα θετικά φορτισμένο μέσο. Η ιδέα του ονομάστηκε “plum pudding model”, καθώς τα ηλεκτρόνια ήταν διασκορπισμένα σε όλη τη θετικά φορτισμένη ατομική μάζα σαν τις σταφίδες στη πουτίγκα, το παραδοσιακό Χριστουγεννιάτικο επιδόρπιο της Αγγλίας (Reid-Smith, 2013).

2.2.3 Ατομικό μοντέλο του Rutherford

Το ατομικό μοντέλο του Thomson δεν επιβίωσε για πολύ. Ο Rutherford και οι συνεργάτες του Geiger και Marsden βομβάρδισαν λεπτά φύλλα χρυσού χρησιμοποιώντας σωματίδια α και διαπίστωσαν ότι τα περισσότερα σωματίδια α διαπερνούσαν το λεπτό φύλλο χρυσού σαν να μην υπήρχε. Ορισμένα εκτρέπονταν κατά μεγάλη γωνία ενώ κάποια επέστρεφαν πίσω (Γραμματικάκης, 2006). Τα αποτελέσματα αυτά ήταν πολύ διαφορετικά και εντελώς απροσδόκητα από αυτά που θα έπαιρναν αν ίσχυε το πρότυπο του Thomson

(Εικόνα 3α) . Αυτό το μικρό τμήμα σωματιδίων α που σκεδαζόταν ήταν ασυμβίβαστο με το πρότυπο του Thomson, σύμφωνα με το οποίο το θετικό φορτίο του ατόμου ήταν διασκορπισμένο σε ολόκληρο τον όγκο του ατόμου. Σε ένα τέτοιο άτομο, το ηλεκτρικό πεδίο δεν ήταν αρκετά ισχυρό ώστε να σκεδάσει σημαντικά ένα μέρος σωματιών α μεγάλης ταχύτητας. Τα ηλεκτρόνια επίσης, εξαιτίας της μικρής τους μάζας, ήταν αδύνατον να είναι υπεύθυνα για μεγάλες αποκλίσεις (Ford, 1980).



(α) Τα αναμενόμενα αποτελέσματα του πειράματος με μεταλλικό φύλλο αν το μοντέλο του Thomson ήταν σωστό.
(β) Πραγματικά αποτελέσματα

Εικόνα 3 Πηγή: Chemical Principles Steven S. Zum 1

Ο Rutherford ερμήνευσε τα αποτελέσματα των πειραμάτων διαμορφώνοντας το δικό του ατομικό μοντέλο (Εικόνα 3β). Σύμφωνα με αυτό, το άτομο συγκροτείται από μια πολύ μικρή περιοχή όπου είναι συγκεντρωμένη σχεδόν όλη μάζα του ατόμου, η οποία είναι θετικά φορτισμένη, και την οποία ονόμασε πυρήνα, και τα ηλεκτρόνια, τα οποία βρίσκονται σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις από τον πολύ μικρό θετικά φορτισμένο πυρήνα. Τα ηλεκτρόνια περιφέρονται σε τροχιές γύρω από τον πυρήνα, ακριβώς όπως οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο. Αν δεν συνέβαινε αυτό λόγω της ηλεκτροστατικής έλξης θα έπεφταν σε αυτόν (Young, 1992). Την ίδια περίοδο (1913) ο Bohr δημοσιεύει μια εργασία του για την ατομική δομή στηριζόμενος σε τρία κύρια αποτελέσματα προηγούμενων εργασιών που δεν είχαν καταφέρει να συνδυαστούν μέχρι τότε με επιτυχία. Το πρώτο ήταν η κβάντωση της

ενέργειας του Planck, σύμφωνα με την οποία κάθε φωτόνιο συχνότητας f μεταφέρει ενέργεια $E = hf$, όπου h μια σταθερά, η οποία ονομάζεται σταθερά του Planck. Το δεύτερο ήταν η εμπειρική θεωρία της φασματοσκοπίας. Το τρίτο ήταν το νέο μοντέλο του ατόμου (πλανητικό) που είχε προτείνει ο Rutherford (Ford, 1980).

2.2.4 Ατομικό μοντέλο του Bohr

Ο Bohr δεν απέρριψε τη βασική ιδέα του μοντέλου του Rutherford, αλλά έθεσε αξιωματικά ως συνθήκη ότι το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται σε ορισμένες ευσταθείς τροχιές στις οποίες έχει καθορισμένη ενέργεια (Young, 1992). Έχοντας υπόψη του το γραμμικό φάσμα του υδρογόνου, το οποίο ήταν αδύνατον να ερμηνευτεί με τις αντιλήψεις που επικρατούσαν έως τότε, πρότεινε ένα δικό του μοντέλο, το οποίο αποδέχεται στη βάση του το μοντέλο του Rutherford με δύο επιπλέον συνθήκες:

1^η Συνθήκη: Το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου υδρογόνου δεν μπορεί να περιφέρεται σε οποιαδήποτε τροχιά γύρω από τον πυρήνα, αλλά μόνο σε καθορισμένες κυκλικές τροχιές.

Η ακτίνα αυτών των τροχιών καθορίζεται από τη σχέση: $mvr = n \frac{h}{2\pi} = n \hbar$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση η στροφορμή $L = mvr$ του ηλεκτρονίου, λόγω περιστροφής του γύρω από τον πυρήνα, είναι κβαντισμένη. Δηλαδή μπορεί να πάρει μόνο τιμές που είναι ακέραια πολλαπλάσια της ποσότητας $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

2^η Συνθήκη: Το ηλεκτρόνιο όταν κινείται σε κάποια από τις καθορισμένες τροχιές δεν εκπέμπει ακτινοβολία, παρά μόνο όταν μεταπέσει από μια τροχιά υψηλότερης ενέργειας σε μια άλλη χαμηλότερης ενέργειας. Αν E_i και E_f είναι η ολική ενέργεια του ατόμου του υδρογόνου στην αρχική και τελική τροχιά του ηλεκτρονίου τότε η διαφορά $E_i - E_f$ θα μας δίνει την ενέργεια hf του εκπεμπόμενου φωτονίου, δηλαδή θα ισχύει: $E_i - E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}$ (Γραμματικάκης, 2006).

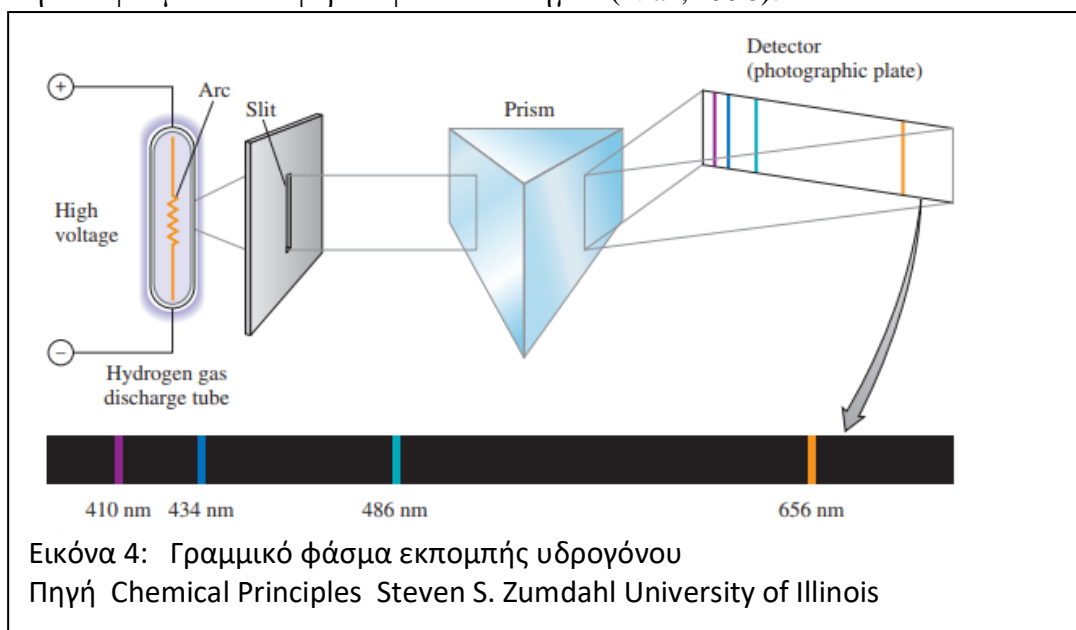
Οι αδυναμίες του ατομικού μοντέλου του Bohr: Η θεωρία του Bohr γνώρισε αρχικά σημαντικές επιτυχίες καθώς προέβλεπε σωστά τα φάσματα εκπομπής των υδρογονοειδών

ιόντων και προσέγγιζε αρκετά αυτά των αλκαλικών ατόμων. Σύντομα όμως φάνηκαν και οι αδυναμίες της, μερικές από τις οποίες ήταν οι εξής:

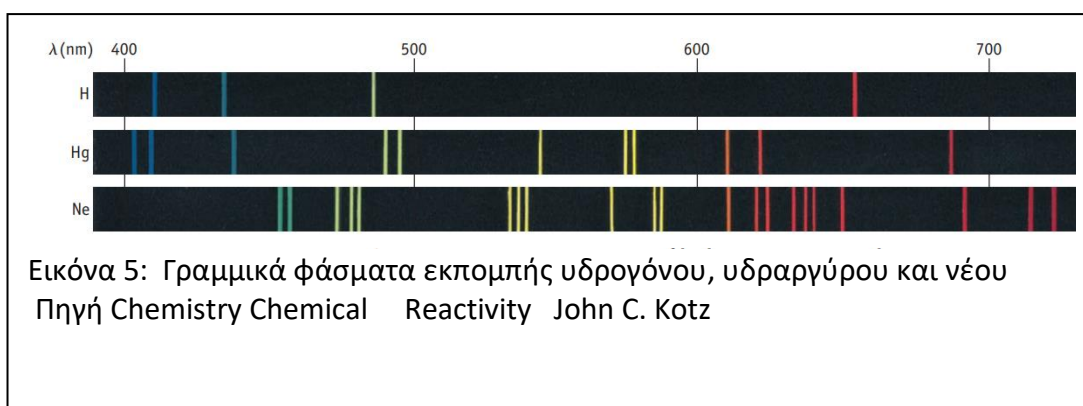
Τα φάσματα των μη αλκαλικών ατόμων διέφεραν αρκετά από το φάσμα του υδρογόνου. Επίσης, η θεωρία του δεν μπορούσε να ερμηνεύσει τη σχετική ένταση των φασματικών γραμμών, ούτε γιατί τα ηλεκτρόνια κινούνται σε συγκεκριμένες τροχιές ή γιατί δεν εκπέμπουν συνεχώς ενέργεια, όπως προβλέπεται από την κλασική φυσική. Η επιλογή των σταθερών τροχιών και η μη εκπομπή ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της κίνησης των ηλεκτρονίων ήταν αυθαίρετη. Τις παραπάνω αδυναμίες ήρθε να λύσει η κβαντομηχανική θεωρία που αναπτύχθηκε κατά τη δεκαετία του 1920 από φυσικούς όπως οι E. Schrödinger, W. Heisenberg, M. Born, αντικαθιστώντας την κίνηση των ηλεκτρονίων σε σταθερές τροχιές με μια προσέγγιση που βασίζεται σε πιθανότητες και κυματικές συναρτήσεις. Αυτή η προσέγγιση επέτρεψε να εξηγηθούν αποτελεσματικά φαινόμενα όπως οι φασματικές γραμμές των πιο σύνθετων ατόμων, η συμπεριφορά των ηλεκτρονίων σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (Τραχανάς, 2021).

2.2.5 Ατομικά φάσματα αερίων: Κλειδιά για την ατομική δομή

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, είχε παρατηρηθεί ότι κάθε αέριο παρουσιάζει γραμμικό φάσμα, κάθε γραμμή του οποίου αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο μήκος κύματος και συχνότητα (Εικόνα 4). Στα τέλη του αιώνα οι φυσικοί ασχολούνταν ιδιαίτερα με τη μελέτη των φασμάτων διαφόρων φωτεινών πηγών (Niaz, 1998).



Είχαν παρατηρήσει ότι κάθε στοιχείο έχει ένα μοναδικό φάσμα εκπομπής, όπως φαίνεται από τα φάσματα για το υδρογόνο, τον υδράργυρο και το νέον (Εικόνα 5). Αυτές οι χαρακτηριστικές γραμμές στο φάσμα εκπομπής ενός στοιχείου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη χημική ανάλυση, τόσο για την ταυτοποίηση του στοιχείου όσο και για τον προσδιορισμό της ποσότητάς του σε ένα μείγμα. Ένας στόχος των επιστημόνων στα τέλη του 19ου αιώνα ήταν να εξηγήσουν γιατί τα διεγερμένα αέρια άτομα εκπέμπουν φως μόνο σε ορισμένες συχνότητες. Μία προσέγγιση ήταν να αναζητήσουν μοτίβα στις φασματικές γραμμές που θα μπορούσαν να περιγραφούν μαθηματικά. Αυτό επιτεύχθηκε για το υδρογόνο από τον Ελβετό μαθηματικό Johann Balmer, ο οποίος το 1885 ανακάλυψε έναν απλό τύπο που σχετίζει τα μήκη κύματος των ορατών γραμμών στο φάσμα του υδρογόνου. Ο τύπος του Balmer επεκτάθηκε αργότερα από τον Johannes Rydberg για να συμπεριλάβει τα μήκη κύματος των γραμμών σε άλλες περιοχές του φάσματος του υδρογόνου.



Εικόνα 5: Γραμμικά φάσματα εκπομπής υδρογόνου, υδραργύρου και νέου
Πηγή Chemistry Chemical Reactivity John C. Kotz

Τα φάσματα εκπομπής δεν είναι τα μόνα φάσματα που αποκαλύπτουν τις καταστάσεις εσωτερικής ενέργειας των ατόμων. Παρόμοιες πληροφορίες μπορούμε να λάβουμε για αυτές τις καταστάσεις, αν μεταξύ της πηγής του λευκού φωτός και του φασματοσκοπίου παρεμβάλουμε ένα αέριο. Τα περισσότερα από τα φωτόνια του λευκού φωτός περνούν μέσα από το αέριο και εμφανίζονται στο φάσμα της φωτογραφικής πλάκας. Παρατηρούμε όμως ότι η συνεχής χρωματιστή ταινία διακόπτεται από κάποιες σκοτεινές γραμμές. Αυτό το φάσμα ονομάζεται γραμμικό φάσμα απορρόφησης του αερίου. Ο λόγος που συμβαίνει

αυτό είναι ότι ορισμένα φωτόνια απορροφούνται από τα άτομα του αερίου, προκαλώντας μια μετάβαση από μια ενεργειακή στάθμη σε μια άλλη. Αυτές οι γραμμές μας δίνουν πληροφορίες για τις καταστάσεις εσωτερικής ενέργειας των ατόμων και εμφανίζονται ακριβώς στις ίδιες συχνότητες που εμφανίζονται και οι φωτεινές γραμμές του φάσματος εκπομπής του ίδιου αερίου (Schain, Dodge, & Walter, 1993).

3 Η διδασκαλία της ατομικής θεωρίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση

3.1 Μελέτες για την τρέχουσα κατάσταση σχετικά με τη διδασκαλία της ατομικής θεωρίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Διάφορες μελέτες των τελευταίων δεκαετιών καταδεικνύουν ότι ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών, ανεξαρτήτως ηλικίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, αντιμετωπίζει παρανοήσεις σχετικά με την ατομική θεωρία και δυσκολεύεται να κατανοήσει τις σχετικές έννοιες. Λόγω της πληθώρας των μελετών σε συνδυασμό με τον περιορισμό έκτασης της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκαν προς ανάλυση τρεις αντιπροσωπευτικές έρευνες με την έννοια ότι υλοποιήθηκαν:

- α) σε διαφορετικές χώρες (και ηπείρους), συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας και συνεπώς στηρίζονται σε διαφορετικά προγράμματα σπουδών,
- β) σε διαφορετικές δεκαετίες και
- γ) χρησιμοποιώντας διαφορετικό τρόπο αξιολόγησης (ερωτηματολόγια/συνεντεύξεις).

Ειδικότερα, μία μελέτη που αφορά την Ελλάδα (Papageorgiou, Markos, & Zarkadis, 2016), διερεύνησε τις ιδέες των μαθητών για το άτομο και, γενικότερα, τη δομή του λαμβάνοντας υπ' όψιν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά υποομάδας μαθητών που παρουσιάζουν σχετικές παρανοήσεις, όπως η ηλικία, το πρόγραμμα σπουδών της τάξης, καθώς και βασικές δεξιότητες.

Στην έρευνα συμμετείχαν 421 εθελοντές-μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (189 αγόρια και 232 κορίτσια), οι οποίοι χωρίστηκαν στις ακόλουθες υποομάδες:

- 1η ομάδα: 127 (30,2%) μαθητές της Β' Γυμνασίου (ηλικία ~13 ετών)
- 2η ομάδα: 167 (39,7%) μαθητές της Α' Λυκείου (ηλικία ~15 ετών)
- 3η ομάδα: 82 (19,5%) μαθητές «τεχνολογικής κατεύθυνσης» της Γ' Λυκείου (ηλικία ~17 ετών)
- 4η ομάδα: 45 (10,7%) μαθητές της «κατεύθυνσης θετικών επιστημών» της Γ' Λυκείου (ηλικία ~17 ετών)

Όλοι οι μαθητές εντός της κάθε ομάδας χρησιμοποίησαν το ίδιο εγχειρίδιο σύμφωνα με το Εθνικό Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών. Στην Ελλάδα, το άτομο και οι σχετικές έννοιες διδάσκονται τόσο στην κατώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ηλικίες 13-14 ετών) όσο και στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ηλικίες 15-18 ετών), στο πλαίσιο της διδασκαλίας της Χημείας, καθώς και κατά την τελευταία τάξη του λυκείου στην οποία οι μαθητές επιλέγουν «κατεύθυνση» βάσει των ενδιαφερόντων τους, στο πλαίσιο της διδασκαλίας της Φυσικής. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν κατά το τελευταίο εξάμηνο του σχολικού έτους μέσω τεσσάρων ερωτηματολογίων (ένα για τα χαρακτηριστικά του ατόμου και τρία για προσωπικά χαρακτηριστικά). Στο πρώτο ερωτηματολόγιο που αφορούσε την επιστημονική γνώση, οι μαθητές έπρεπε να επιλέξουν μια απάντηση και στη συνέχεια να την εξηγήσουν ή/και να την αιτιολογήσουν. Ενδεικτικά, σε μία ερώτηση οι μαθητές έπρεπε να επιλέξουν ανάμεσα στο αν υπάρχει ή όχι κάποια ουσιαστική διαφορά όταν χρησιμοποιούν τις λέξεις «άτομο», «μόριο» και «ión» ή αν πρόκειται για το ίδιο σωματίδιο που περιστασιακά ονομάζεται με εναλλακτικούς τρόπους. Αν επέλεξαν ότι πράγματι, υπάρχει διαφορά, τους ζητούσαν να εξηγήσουν αυτές τις διαφορές και να περιγράψουν τα επιμέρους σωματίδια. Αντίθετα, αν επέλεξαν ότι δεν υπάρχει διαφορά, τους ζητούσαν να γράψουν τους πιθανούς λόγους για τη χρήση διαφορετικών λέξεων για το ίδιο σωματίδιο. Όλες οι απαντήσεις αξιολογήθηκαν από δύο ανεξάρτητους ερευνητές, ως προς την ορθότητα και πληρότητά τους και ομαδοποιήθηκαν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- Κατηγορία Α: Επιστημονικά αποδεκτή
- Κατηγορία Β: Παρανοήσεις
- Κατηγορία Γ: Ασαφής ή καμία απάντηση

Τα επόμενα τρία ερωτηματολόγια, που αξιολογούσαν τις ατομικές διαφορές μεταξύ των μαθητών, βασίστηκαν στις αγγλικές εκδόσεις τριών γνωστικών τεστ (Beaton, Bombardier, Guillemin, & Ferraz, 2000). Οι αναλύσεις των απαντήσεων των ερωτηματολογίων έδειξαν ότι το ποσοστό των μαθητών που δίνουν επιστημονικά αποδεκτές απαντήσεις τείνει γενικά να αυξάνεται από την 1η προς την 4η ομάδα, ενώ οι λανθασμένες αντιλήψεις και οι ασαφείς απαντήσεις τείνουν να μειώνονται. Οι πιο αξιοσημείωτες διαφορές είναι αυτές μεταξύ των μαθητών της 4ης ομάδας ως προς τις άλλες τρεις ομάδες. Το γεγονός ότι

υπάρχουν τέτοιες διαφορές ακόμη και μεταξύ αυτής (4η) και της 3ης ομάδας («τεχνολογική κατεύθυνση»), υποδεικνύει ότι το πρόγραμμα σπουδών παίζει σημαντικό ρόλο. Ωστόσο, από την ανάλυση φάνηκε ότι οι μαθητές έχουν σημαντικές παρανοήσεις σχετικά με τα χαρακτηριστικά του ατόμου σε όλες τις ομάδες, συμπεριλαμβανομένης και της 4ης ομάδας, στην οποία θα ήταν πιθανώς αναμενόμενο το αντίθετο με βάση την τάξη, την ηλικία και το αντίστοιχο πρόγραμμα σπουδών. Έτσι, παρόλο που οι επιδόσεις των μαθητών στην 4η ομάδα ήταν σημαντικά υψηλότερες σε σύγκριση με τις άλλες ομάδες, δε μπορεί να παραλειφθεί ότι υπήρχαν παρανοήσεις σε σημαντικό βαθμό.

Από μία άλλη μεγάλη μελέτη (Kaya, 2023) που πραγματοποιήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2022-2023 στην Τουρκία και η οποία βασίστηκε σε ερωτηματολόγιο που απαντήθηκε από 288 μαθητές ηλικίας 14-18 ετών, φάνηκε ότι σημαντικό ποσοστό μαθητών είχε παρανοήσεις σχετικά με τα άτομα και δεν μπορούσε να κατανοήσει την αντίστοιχη έννοια. Επιπλέον, η συγκεκριμένη μελέτη εξέτασε τις δυσκολίες στη διδασκαλία, τις παρανοήσεις και τα αίτια και προτείνει τρόπους επίλυσής τους. Το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήσαν οι ερευνητές αποτελείται από δύο τμήματα. Στο πρώτο τμήμα περιλαμβάνονται δύο ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και μία ερώτηση πολλαπλής επιλογής, οι οποίες προέρχονται από τη βιβλιογραφία ((Malkawi, Obeidat, Al-Rawashdeh, Tit, & Obaidat, 2018)Ehabetal., 2018; (Kaya, 2010)).

Στο πλαίσιο της πρώτης ερώτησης, οι μαθητές έπρεπε να ορίσουν τα άτομα και να εξηγήσουν τη δομή τους, ενώ στη δεύτερη ερώτηση τους ζητήθηκε να σχεδιάσουν το σχήμα των ατόμων όπως τα φαντάζονται. Για την τρίτη ερώτηση, στους μαθητές παρασχέθηκαν τέσσερα οπτικά στοιχεία που σχετίζονται με τα ατομικά μοντέλα που υπάρχουν στα σχολικά βιβλία και τους ζητήθηκε να επιλέξουν αυτό που εκπροσωπεί καλύτερα το άτομο. Στο δεύτερο τμήμα του ερωτηματολογίου, δόθηκαν 34 σχετικές με το άτομο έννοιες στο πλαίσιο ερωτήσεων τύπου Σωστό-Λάθος οι οποίες όμως είχαν και μία τρίτη επιλογή, που έλεγε "Δεν έχω ιδέα". Για να διασφαλιστεί η εγκυρότητα του ερωτηματολογίου, πέντε ακαδημαϊκοί με αυτό το γνωστικό αντικείμενο εξέτασαν τις ερωτήσεις με βάση το περιεχόμενο και την κάλυψη και μερικές ερωτήσεις αναθεωρήθηκαν, τρεις έννοιες που θεωρήθηκαν ότι επαναλαμβάνουν το ίδιο θέμα

αφαιρέθηκαν και τελικά το ερωτηματολόγιο ολοκληρώθηκε μετά την προσθήκη πέντε εννοιών. Η ερώτηση "Τι είναι ένα άτομο;" απαντήθηκε σωστά μόνο από 11 από τους 288 μαθητές. Η πλειονότητα των μαθητών (209) απάντησε στην ερώτηση ως εξής: "είναι το μικρότερο δομικό στοιχείο της ύλης". Άλλες απαντήσεις περιλάμβαναν "είναι το μικρότερο αδιαίρετο δομικό στοιχείο της ύλης" (2), "είναι το μικρότερο δομικό στοιχείο ενός κυττάρου" (15), "είναι η πρωταρχική ύλη" (1) και "τα άτομα δεν μπορούν να διαιρεθούν" (15). Μεταξύ των μαθητών, 36 δεν απάντησαν σε αυτή την ερώτηση. Σχετικά με τη δομή ενός ατόμου, περισσότεροι από τους μισούς μαθητές (166) απάντησαν ότι ένα άτομο αποτελείται από πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια, και τα πρωτόνια και τα νετρόνια βρίσκονται στον πυρήνα, ενώ τα ηλεκτρόνια βρίσκονται γύρω από τον πυρήνα. Επιπλέον, υπήρχαν διαφορετικές απόψεις που εκφράστηκαν από μερικούς μαθητές (73) σχετικά με το πού κινούνται τα ηλεκτρόνια. Υπάρχουν τρεις σχετικές απαντήσεις: "τα ηλεκτρόνια βρίσκονται στα τροχιακά" (23), "τα ηλεκτρόνια βρίσκονται στις τροχιές" (30) και "τα ηλεκτρόνια μοιάζουν με σύννεφα" (20). Άλλοι μαθητές χρησιμοποίησαν εκφράσεις σχετικά με τη δομή του ατόμου, όπως "ένα άτομο αποτελείται από πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια και κουάρκς" και "ένα άτομο αποτελείται από πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια, τροχιά και πυρήνα" (5). Εκτός από τα κουάρκς, οι μαθητές δεν ανέφεραν άλλες υποατομικές μονάδες. Μόνο 29 μαθητές εξέφρασαν άποψη για το σχήμα του ατόμου. Μερικοί μαθητές είπαν ότι "έχει σχήμα σφαίρας" (17), "είναι στρογγυλό" (3) και "τα περισσότερα μέρη του είναι κενά" (6). Ένας μαθητής το περιέγραψε να έχει ελλειπτικό σχήμα και ένας άλλος ως μια άδεια σφαίρα στο εσωτερικό. Οι μαθητές ακολούθως κλήθηκαν να σχεδιάσουν το σχήμα του ατόμου που ορίστηκε στην πρώτη ερώτηση. Τα περισσότερα από τα σχέδια των ατόμων (254) που έκαναν οι μαθητές ήταν παρόμοια με τα σχήματα που είδαν στα σχολικά βιβλία. Σχεδιάστηκαν τα μοντέλα του Bohr (102), το σύγχρονο ατομικό μοντέλο (91) και το μοντέλο του Rutherford (61). Επιπλέον, 24 μαθητές δεν σχεδίασαν κανένα σχήμα, ενώ 10 μαθητές σχεδίασαν σχήματα που φαντάστηκαν. Το ατομικό μοντέλο του Thomson δεν σχεδιάστηκε από κανέναν μαθητή. Τέσσερις μαθητές δεν απάντησαν σε αυτή την ερώτηση. Επίσης, οι μαθητές κλήθηκαν να εξηγήσουν γιατί προτίμησαν το σχήμα του ατόμου που σχεδίασαν. Μόνο 26 μαθητές απάντησαν σε αυτή την ερώτηση. Υπήρχαν τρεις απαντήσεις: "Τα ηλεκτρόνια περιβάλλουν τον πυρήνα σαν νέφος αερίου" (6), "Δεν μπορείς να βρεις τα ηλεκτρόνια" (4)

και "Τα ηλεκτρόνια είναι στα τροχιακά" (3). Βασισμένοι στο μοντέλο ατόμου του Rutherford, οι απαντήσεις ήταν "τα ηλεκτρόνια είναι σε συγκεκριμένες τροχιές" (3), "οι τροχιές δεν έχουν κυκλικό σχήμα" (2) και "είναι το σχήμα που είδα πιο κοντά στο άτομο" (1) και "αυτό μας έχουν διδάξει" (19). Όσον αφορά το μοντέλο ατόμου του Bohr, οι απαντήσεις ήταν "τα ηλεκτρόνια κινούνται σε τροχιές" (4), "τα πρωτόνια είναι στο κέντρο και τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω τους" (1) και "ο πυρήνας είναι στο κέντρο και οι τροχιές τον περιβάλλουν" (2). Από τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται ότι η πλειοψηφία των μαθητών ορίζουν εσφαλμένα το άτομο ως το μικρότερο δομικό στοιχείο της ύλης και γενικά ότι υπάρχουν πολλές παρανοήσεις. Έχει ενδιαφέρον ότι στην ίδια μελέτη αναλύθηκαν και απαντήσεις 20 εκπαιδευτικών οι οποίοι τόνισαν ότι η διδασκαλία των ατομικών μοντέλων με ιστορική χρονολογική σειρά δημιουργεί σύγχυση και δυσκολία κατανόησης στους μαθητές.

Μία άλλη μελέτη που προέρχεται από τον Καναδά (Griffiths & Preston, 1992) χρησιμοποίησε συνεντεύξεις σε μαθητές οι οποίες συνοδεύονταν από σχέδια που έκαναν οι μαθητές για να δείξουν τη δομή, τους δεσμούς και τη φύση των ατόμων. Αυτή η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις: την πιλοτική, που περιλάμβανε συνέντευξη από έξι μαθητές και είχε σκοπό την δημιουργία ενός οδηγού συνέντευξης και την κύρια φάση στην οποία το δείγμα αποτελούνταν από 30 μαθητές (18 αγόρια και 12 κορίτσια) της τελευταίας τάξης από 10 λύκεια. Το δείγμα χωρίστηκε σε τρεις ομάδες των 10 μαθητών: στην πρώτη ανήκαν μαθητές που είχαν ένα συνολικό βαθμό $\geq 75\%$ και είχαν ολοκληρώσει ή ολοκλήρωναν τρία μαθήματα φυσικών επιστημών, στη δεύτερη μαθητές με συνολικό βαθμό $\geq 75\%$ αλλά δεν είχαν κατεύθυνση φυσικών επιστημών και στην τρίτη ομάδα μαθητές με βαθμό $\leq 75\%$ που επίσης δεν είχαν κατεύθυνση φυσικών επιστημών. Κάθε συνέντευξη διαρκούσε περίπου 30 λεπτά, πραγματοποιήθηκε κατά τις σχολικές ώρες, μαγνητοφωνήθηκε, απομαγνητοφωνήθηκε και ακολούθησε περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων. Η πρώτη ομάδα ερωτήσεων της συνέντευξης είχε σκοπό να διερευνήσει το βαθμό κατανόησης των μαθητών σχετικά με τη δομή, τη σύσταση, το μέγεθος, το σχήμα, το βάρος, τους δεσμούς και την ενέργεια των μορίων, ενώ η δεύτερη ομάδα ερωτήσεων στόχευε στις γνώσεις σχετικά με τη δομή, το μέγεθος και το βάρος του ατόμου καθώς και το αν χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της ζωής. Εστιάζοντας στις απαντήσεις της

δεύτερης ομάδας ερωτήσεων, ενδεικτικά, αναφέρονται οι παρανοήσεις που αφορούν τη δομή/ το σχήμα των ατόμων. Ειδικότερα, όταν ζητήθηκε από τους μαθητές να σχεδιάσουν τι θα έβλεπαν αν μπορούσαν να πάρουν ένα άτομο και να το κοιτάξουν σε ένα μικροσκόπιο τόσο ισχυρό ώστε να είναι ευδιάκριτες όλες οι λεπτομέρειες του ατόμου, οι ερευνητές εντόπισαν τρεις παρανοήσεις σε συγκρίσιμα ποσοστά στις απαντήσεις και των τριών ομάδων μαθητών: η πρώτη ήταν ότι ένα άτομο μοιάζει με μια σφαίρα με συστατικά στο εσωτερικό του, η δεύτερη ότι ένα άτομο μοιάζει με μια συμπαγή σφαίρα και η τρίτη ότι ένα άτομο μοιάζει με πολλές κουκκίδες ή κύκλους, που κατανέμονται τυχαία. Στην ερώτηση αν υπάρχουν και αν μπορούν να προσδιορίσουν τυχόν μικρότερα συστατικά των ατόμων, οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν ότι τα άτομα περιέχουν όντως μικρότερα συστατικά, κανένας μαθητής δεν υπέδειξε οτιδήποτε άλλο εκτός από τα ηλεκτρόνια, τα νετρόνια και τα πρωτόνια. Δύο άλλες λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με τη δομή των ατόμων ήταν ότι τα άτομα είναι επίπεδα, γεγονός που πιθανώς δείχνει την επίδραση των δισδιάστατων διαγραμμάτων που συνήθως χρησιμοποιούνται, και ότι υπάρχει ύλη μεταξύ των ατόμων. Όταν ζητήθηκε από τους μαθητές να περιγράψουν τι μπορεί να υπάρχει μεταξύ των ατόμων, η πιο συνηθισμένη απάντηση ήταν «αέρας» αλλά και «διαφορετικά υλικά . . . αέρια . . . οξυγόνο» και «ηλεκτρικά φορτία». Συνολικά 14 μαθητές είχαν παρανοήσεις στο συγκεκριμένο θέμα και γενικά είχαν δυσκολία να κατανοήσουν τον κενό χώρο μεταξύ των ατόμων.

Οι υπόλοιπες έρευνες που αναφέρθηκαν στην αρχή αυτής της υποενότητας χρησιμοποιούν παρόμοιες προσεγγίσεις αξιολόγησης της κατανόησης των μαθητών και γενικά τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουν οι έρευνες αυτές σχετικά με τις παρανοήσεις των μαθητών για τα άτομα και την ατομική θεωρία, συνάδουν μεταξύ τους.

Δεδομένου του ότι πολλοί μαθητές αναπτύσσουν έναν τρόπο σκέψης για την ατομική φύση της ύλης, ο οποίος δεν συνάδει με τις σύγχρονες ιδέες στο πεδίο της χημείας/φυσικής και ο οποίος δρα ανασταλτικά στην περεταίρω εκμάθηση των αρχών της χημείας/φυσικής, είναι φυσικό να αναρωτηθούμε πώς και γιατί συμβαίνει αυτό. Παρόλο που ορισμένες εναλλακτικές αντιλήψεις μπορεί να προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από την προσχολική και την εκτός σχολείου εμπειρία, θα πρέπει παράλληλα να εξεταστεί εάν αυτός ο τρόπος σκέψης οφείλεται, τουλάχιστον εν μέρει, στον τρόπο που το αντίστοιχο εκπαιδευτικό υλικό παρουσιάζεται στην τάξη, δηλαδή στον τρόπο διδασκαλίας (Taber,

2003). Ενδεικτικά, μία καταγεγραμμένη στη βιβλιογραφία πρακτική διδασκαλία στην τάξη αφορά έναν καθηγητή που εισάγει τους μαθητές (13-14 ετών) στην ιδέα της σωματιδιακής φύσης της ύλης (Wightman, Green, & Scott, 1986). Κάποιοι από τους μαθητές ήδη γνώριζαν τους όρους «άτομα» και «μόρια». Στο πλαίσιο μιας ομαδικής συζήτησης, ένας μαθητής αναφέρθηκε σε «μόρια» και ο καθηγητής ρώτησε αν θα μπορούσε να γράψει στον πίνακα τη λέξη άτομα αντί για μόρια επειδή (στην αγγλική γλώσσα) ο όρος άτομα γράφεται πιο εύκολα γιατί είναι μικρότερη λέξη από τα μόρια. Ένας μαθητής δεν συμφώνησε με αυτό και δήλωσε ότι τα άτομα και τα μόρια «δεν ήταν πάντα τα ίδια πράγμα», αλλά ο καθηγητής αποφάσισε ότι τελικά θα χρησιμοποιήσουν τη λέξη «άτομα». Σε επόμενο μάθημα, αυτός ο καθηγητής παρουσίασε μια εικόνα διάχυσης σε διαλύματα και αναφέρθηκε στα μπλε «άτομα» θειικού χαλκού και στα άχρωμα «άτομα» νερού που στριφογυρίζουν αργά το ένα δίπλα στο άλλο, καθώς επίσης και στο πώς σε ένα αέριο «τα άτομα δεν συνδέονται μεταξύ τους» (Wightman, Green, & Scott, 1986). Οι καθηγητές ακολουθούν κατά κανόνα ένα μοντέλο διδασκαλίας με βάση τα προγράμματα σπουδών της χώρας τους. Ωστόσο, κάθε καθηγητής τελικά προσαρμόζει τη διδασκαλία του στο δικό του επιστημονικό υπόβαθρο, τις παιδαγωγικές γνώσεις που διαθέτει και την προσωπική του αξιολόγηση σχετικά με την ικανότητα των μαθητών να συλλάβουν νέες ιδέες (Taber, 2000).

Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι οι μαθητές δεν σχηματίζουν επιστημονικές ιδέες που να συνάδουν με την σύγχρονη χημεία: η επιστήμη «περνάει» από επιτροπές στο πλαίσιο σχεδιασμού των προγραμμάτων σπουδών και ακολούθως ερμηνεύεται μέσω των εκπαιδευτικών καθώς και μέσω των υπάρχουσών ιδεών των μαθητών (Gilbert, Roger, & Fensham, 1982).

3.2 Δημοσιεύτες διδακτικές προτάσεις από φορείς και εκπαιδευτικούς που έχουν αναρτηθεί στο διαδίκτυο.

Μετά από εκτενή έρευνα στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας τη μηχανή αναζήτησης Google, εντοπίστηκαν ενδιαφέρουσες προτάσεις διδασκαλίας της ατομικής θεωρίας από διάφορους φορείς, οι οποίες δεν έχουν δημοσιευτεί σε βιβλία ή επιστημονικά περιοδικά.

Για την αναζήτηση χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός λέξεων-κλειδίων όπως, “teaching atomic theory”, “high school”, “history”, “grade 9-12” κ.λπ. Ορισμένες από αυτές τις προσεγγίσεις διδασκαλίας είναι ελεύθερα προσβάσιμες, ενώ άλλες παρέχουν κάποια βασικά στοιχεία και απαιτούν συνδρομή ή αγορά περαιτέρω πρόσβασης. Ενδεικτικά, παρατίθενται επιλεγμένες τέτοιες προτάσεις διδασκαλίας βάσει της πληρότητας, της προσέγγισης που εφαρμόζουν και της πρωτοτυπίας.

Το National Science Teaching Association (<https://www.nsta.org/>), ένας οργανισμός με έδρα στο Richmond της Βιρτζίνια των Η.Π.Α. που στελεχώνεται από 60 άτομα πλήρους απασχόλησης, έχει δημιουργήσει μία κοινότητα 35.000 μελών στην οποία συμμετέχουν καθηγητές φυσικών επιστημών και επαγγελματίες οι οποίοι ενημερώνουν σχετικά με καλές πρακτικές στη διδασκαλία στο πεδίο των φυσικών επιστημών, της τεχνολογίας και των μαθηματικών. Μεταξύ άλλων δημοσιεύουν βιβλία, περιοδικά για τις διαφορετικές βαθμίδες εκπαίδευσης, ένα διαδικτυακό περιοδικό, τρία ηλεκτρονικά ενημερωτικά δελτία και την ιστοσελίδα τους. Το πλήρες περιεχόμενο είναι διαθέσιμο κατόπιν συνδρομής, ωστόσο υπάρχουν ελεύθερα διαθέσιμες ενδιαφέρουσες πληροφορίες σχετικά με την προτεινόμενη δομή του μαθήματος. Πιο συγκεκριμένα, για τη διδασκαλία της ατομικής θεωρίας, η προτεινόμενη δομή της διδασκαλίας θεωρείται κατάλληλη για μαθητές ηλικίας 14-18 ετών (high school) και περιλαμβάνει την καθοδήγηση των μαθητών στην ιστορία της ατομικής δομής αλλά και στο ευρύτερο πνεύμα της διερευνητικής (ανακαλυπτικής) μάθησης χρησιμοποιώντας παράλληλα δεδομένα από ιστορικά πειράματα. Έτσι, η προτεινόμενη ιστορία ξεκινάει από την εποχή του Δημόκριτου τον 5ο αιώνα π.Χ. και φτάνει έως την εποχή του Moseley στις αρχές του 1900 και στο πλαίσιο αυτής οι μαθητές μαθαίνουν για την εξέλιξη του μοντέλου του ατόμου. Παράλληλα με την εκμάθηση των μοντέλων του ατόμου και των θεμελιωδών σωματιδίων της ύλης, συστήνεται η καλλιέργεια κριτικής σκέψης στους μαθητές μέσω αξιολόγησης και ερμηνείας των

δεδομένων από ιστορικά πειράματα (σωλήνας καθόδου, πείραμα Rutherford με φύλλο χρυσού κ.λπ.) και επιλογής του πιο κατάλληλου μοντέλου ατόμου με βάση, βέβαια τα δεδομένα της αντίστοιχης εποχής. Επιπλέον, υπάρχουν διαθέσιμοι οι μαθησιακοί στόχοι καθώς και μία αντίστοιχη, καλά οργανωμένη, παρουσίαση σε power point.

Το Carolina Knowledge Centre (<https://knowledge.carolina.com/>) είναι ένας φορέας που διαθέτει για αγορά kits για την πραγματοποίηση στην τάξη διαφόρων πειραμάτων και επιδείξεων στους τομείς της βιοτεχνολογίας, βιολογίας, φυσικής, χημείας κ.λπ., συμπεριλαμβανομένης της διδασκαλίας της ατομικής θεωρίας. Τα kits και το λοιπό επιστημονικό υλικό είναι διαθέσιμα μόνο για σχολεία ή επιχειρήσεις και δρουν ιδιαίτερα υποστηρικτικά στη διδασκαλία καθώς, βάσει προσωπικής αξιολόγησης των διαθέσιμων προϊόντων, αποτελούν υλικό που ένας εκπαιδευτικός πολύ δύσκολα θα μπορούσε να δημιουργήσει μόνος του. Ειδικότερα, στο πεδίο της ατομικής θεωρίας και δομής του ατόμου υπάρχουν τόσο απλούστερα, όσο και πιο πολύπλοκα kits. Για παράδειγμα, ένα απλό kit περιλαμβάνει μαγνητικό σετ μοντέλου ατόμου το οποίο μοντελοποιεί ιόντα και ισότοπα τοποθετώντας μαγνητικά κόκκινα (πρωτόνια), πράσινα (νετρόνια) και μπλε (ηλεκτρόνια) κομμάτια στις σωστές θέσεις σε λευκό πίνακα και παρακινεί τους μαθητές να συσχετίσουν την ατομική δομή με τον ατομικό αριθμό, τη μάζα τον αριθμό και το φορτίο και να συγκρίνουν πώς γεμίζουν τα τροχιακά καθώς προστίθενται τα ηλεκτρόνια. Το μειονέκτημα αυτής της εταιρείας είναι ότι δεν έχει πειραματική επίδειξη των διαθέσιμων προϊόντων και ότι παρόλο που έχει ανοιχτά προσβάσιμα webinars, αυτά είναι σχετικά περιορισμένα.

Σε αντίστοιχο πλαίσιο, το American association of Chemistry teachers, μια κοινότητα εκπαιδευτικών χημείας που μοιράζονται στρατηγικές, βρίσκουν υποστήριξη, κάνουν ερωτήσεις προσπαθώντας να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις στην τάξη έχει χαμηλού κόστους εγγραφή για το πλήρες περιεχόμενο (<https://teachchemistry.org/>) αλλά διαθέτει και συγκεκριμένο εκπαιδευτικό υλικό όπως το πλάνο μαθήματος, ελεύθερα προσβάσιμο.

Στις ελεύθερα προσβάσιμες ιστοσελίδες, ενδιαφέρον παρουσιάζει το εκπαιδευτικό υλικό από μία εκπαιδευτικό σε σχολείο της Λουιζιάνα (<https://www.cpsb.org/Page/8777>). Αυτό, εκτός από τα μαθησιακά αποτελέσματα, περιλαμβάνει συνδέσεις σε ερωτήσεις τύπου πολλαπλής επιλογής, εναλλακτικές προτάσεις προσέγγισης της μάθησης (π.χ. δημιουργία

ενός βίντεο τύπου διαφήμισης 60 δευτερολέπτων που θα αφορά έναν επιστήμονα που συνεισέφερε στην ατομική θεωρία και θα περιλαμβάνει στοιχεία για τη συνεισφορά του και αξιολόγηση της σημασίας της συνεισφοράς του), κτλ. Σε αυτό το πλαίσιο είναι και το blog από μία εκπαιδευτικό χημείας στις Η.Π.Α η οποία προτείνει 5 τρόπους διδασκαλίας της ατομικής θεωρίας χρησιμοποιώντας καραμέλες, μπαλάκια κ.λπ.

Γενικά υπάρχουν αρκετές τέτοιες ιστοσελίδες, αλλά οι περισσότερες απαιτούν συνήθως μία, χαμηλού κόστους, συνδρομή για επιπλέον περιεχόμενο. Ωστόσο, σταχυολογώντας με προσοχή τις διαθέσιμες πληροφορίες, μπορεί να προκύψουν ενδιαφέρουσες ιδέες και προσεγγίσεις.

4 Πρόταση διδασκαλίας

4.1 Η οργανική ενσωμάτωση της ιστορίας και των επιστημονικών μεθόδων στη διδασκαλία της ατομικής θεωρίας

Η ιστορία και οι επιστημονικές μέθοδοι θεωρούνται εργαλεία για τη βελτίωση της μάθησης και όχι ως ανεξάρτητα θέματα. Ξεκινώντας με πειράματα και προχωρώντας σε συζητήσεις για την επιστημονική γνώση, όλοι οι μαθητές μπορούν να συμμετέχουν αποτελεσματικά. Τα ιστορικά πειράματα επιλέγονται με βάση τη χρησιμότητά τους στη διδασκαλία φυσικών εννοιών, με προτίμηση στη διατήρηση της ιστορικής ακολουθίας όπου είναι εφικτό. Ενώ το ιστορικό πλαίσιο είναι πολύτιμο, είναι απαραίτητο να εξισορροπηθεί με παιδαγωγικούς στόχους για τη βέλτιστη μάθηση των μαθητών.

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση της ιστορίας οργανικά σε ένα μάθημα φυσικής αποτελεί το κλειδί και δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα πρόσθετο εργαλείο. Η κατανόηση της ΦτΕ μέσω της ιστορικής εξερεύνησης είναι πιο πιθανό να εμπλέξει τους εκπαιδευτικούς όταν παρουσιάζεται παράλληλα με τον πρακτικό πειραματισμό. Τα ιστορικά πειράματα όχι μόνο συμβάλλουν στην κατανόηση του αντικειμένου αλλά και κάνουν την ιστορία πιο ελκυστική στην τάξη (Kirpis, 1995).

Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα διπλωματική εργασία προτείνει μια εκπαιδευτική πρόταση για τη διδασκαλία της ατομικής θεωρίας, καθοδηγώντας τους μαθητές όχι μόνο στην ιστορία της ατομικής θεωρίας, αλλά κυρίως στη διερευνητική μάθηση. Περιλαμβάνονται κείμενα των Thomson, Rutherford, Bohr και προσομοιώσεις πειραμάτων, καθώς και προτεινόμενες ερωτήσεις κριτικής σκέψης που βασίζονται σε αυτά.

Έχει γίνει αποφυγή της εκτενούς χρήσης τύπων, ενώ περιλαμβάνονται ελάχιστοι υπολογισμοί. Αντ' αυτών χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός ανάλυσης ιστορικών γεγονότων και εξελίξεων στις θεωρίες που σχετίζονται με τη δομή του ατόμου. Περιλαμβάνονται αναλύσεις πρωτότυπων κειμένων και εκτέλεση εικονικών πειραμάτων, παρόμοιων ή πανομοιότυπων με τα πειράματα που είχαν διεξαχθεί εκείνη τη περίοδο.

4.2 Διδακτικοί στόχοι και προσέγγιση

4.2.1 Διδακτικοί στόχοι

Με τη διδασκαλία μας επιδιώκουμε οι διδασκόμενοι μετά το τέλος του μαθήματος:

Στόχοι Στάσεων

1. Να διαμορφώσουν θετική στάση για τις ΦΕ.
2. Να υιοθετήσουν μια θετική προσέγγιση προς τον επιστημονικό τρόπο σκέψης και της επιστημονικής μεθόδου ως μέσου διερεύνησης.
3. Να αναγνωρίσουν τις ΦΕ ως αναπόσπαστο κομμάτι του κοινωνικού, τεχνολογικού και πολιτισμικού γίνεσθαι.
4. Να ενδυναμώσουν τη συνεργασία, την ανταλλαγή σκέψεων και την κριτική εξέταση ή απόρριψη των αντιλήψεων των άλλων.
5. Να συζητούν και να αξιολογούν διαφορετικές απόψεις βασισμένες σε λογικά επιχειρήματα.
6. Να εκτιμήσουν την αξία της συνεργασίας και να αξιολογήσουν τη δική τους συμβολή στην ομαδική προσπάθεια.

Στόχοι Δεξιοτήτων

1. Να αντιλαμβάνονται και να υλοποιούν τις οδηγίες που τους παρέχονται.
2. Να κατανοήσουν την ιστορική εξέλιξη της επιστήμης.
3. Να εξοικειωθούν με τη χρήση προσομοιώσεων για τη μελέτη φυσικών φαινομένων και να τις αξιοποιούν ως εκπαιδευτικά εργαλεία.
4. Να εξασκηθούν στην εκτίμηση μεγεθών, στη διεξαγωγή μετρήσεων και την ανάλυση τους για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στόχοι που σχετίζονται με τη ΦτΕ

1. Να κατανοήσουν και να αναγνωρίσουν τη διαδικασία της επιστημονικής έρευνας, από την αρχική παρατήρηση και τη διατύπωση υποθέσεων έως την τελική επαλήθευση των αποτελεσμάτων.
2. Να αντιληφθούν τη σημασία της ακρίβειας, της επαναληψιμότητας και της αντικειμενικότητας στην επιστημονική διαδικασία και να κατανοήσουν πώς αυτές οι αρχές ενισχύουν την αξιοπιστία και την εγκυρότητα των επιστημονικών αποτελεσμάτων.
3. Να συνειδητοποιήσουν ότι η επιστήμη αποτελεί μια διαρκή διαδικασία αναθεώρησης και βελτίωσης, όπου οι θεωρίες τροποποιούνται και εξελίσσονται με βάση τις νέες ανακαλύψεις και τεχνολογικές προόδους.
4. Να ενισχύσουν την ικανότητά τους για κριτική σκέψη σχετικά με τις επιστημονικές θεωρίες, τα δεδομένα και τις μεθόδους, εξετάζοντας διαφορετικές ερμηνείες και εντοπίζοντας πιθανά σφάλματα.
5. Να κατανοήσουν τη διαδικασία της επιστημονικής μεθόδου, η οποία περιλαμβάνει τη διαμόρφωση υποθέσεων, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, καθώς και την εξαγωγή συμπερασμάτων.
6. Να αναγνωρίσουν τη σημασία της επιστημονικής έρευνας και της πειραματικής διαδικασίας για την επέκταση της γνώσης και την επίλυση προβλημάτων.
7. Να αναπτύξουν δεξιότητες για την αποτελεσματική παρουσίαση επιστημονικών ιδεών, δεδομένων και ευρημάτων σε διάφορα ακροατήρια, χρησιμοποιώντας κατάλληλη επιστημονική γλώσσα και μορφές παρουσίασης.
8. Να κατανοήσουν τη σύνδεση μεταξύ της επιστήμης και της κοινωνίας, καθώς και να αναγνωρίσουν τον τρόπο με τον οποίο οι επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις επηρεάζουν την κοινωνική και πολιτισμική διάσταση της ζωής.

Γνωστικοί στόχοι:

1. Να έχουν την ικανότητα να περιγράφουν τα πειράματα του Thomson.
2. Να μπορούν να περιγράφουν το πρότυπο του Thomson για το άτομο.

3. Να αναγνωρίσουν τη συμπεριφορά της κίνησης μιας δέσμης θετικών φορτίων, καθώς περνά μέσα από ένα άτομο σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson.
4. Να μπορούν να περιγράψουν το πείραμα των Geiger και Marsden και να εξάγουν συμπεράσματα.
5. Να περιγράψουν το πλανητικό μοντέλο του Rutherford και να το συγκρίνουν με εκείνο του ηλιακού συστήματος.
6. Να κατανοούν ότι το φάσμα που παράγεται από ένα αέριο δεν είναι συνεχές αλλά γραμμικό και εξαρτάται από το είδος του αερίου.
7. Να αναγνωρίζουν ότι κάθε αέριο έχει το δικό του μοναδικό φάσμα εκπομπής, το οποίο αποτελεί τη φασματική του "υπογραφή".
8. Να κατανοούν τη διαφορά μεταξύ φάσματος εκπομπής και φάσματος απορρόφησης, αναγνωρίζοντας ότι οι σκοτεινές γραμμές στο φάσμα απορρόφησης συμπίπτουν με τις φωτεινές γραμμές στο φάσμα εκπομπής.
9. Να αντιλαμβάνονται ότι ένα αέριο απορροφά μόνο τις ακτινοβολίες που μπορεί να εκπέμπει.
10. Να αναγνωρίζουν τη δομή του ατόμου σύμφωνα με το μοντέλο του Bohr και τις βασικές υποθέσεις που το στηρίζουν.
11. Να εξηγούν τη διαφορά μεταξύ των μοντέλων του Thomson, του Rutherford και του Bohr.
12. Να συσχετίζουν το γραμμικό φάσμα του υδρογόνου με τις ενεργειακές στάθμες του ατόμου και την εκπομπή-απορρόφηση φωτονίων.
13. Να αναλύουν τον μηχανισμό διέγερσης, αποδιέγερσης και ιονισμού του ατόμου του υδρογόνου και να υπολογίζουν τις αντίστοιχες ενεργειακές μεταβολές.
14. Να κατανοούν τον ρόλο της κβαντομηχανικής στις εξηγήσεις των ατομικών φαινομένων που δεν μπορούσαν να εξηγηθούν με την κλασική φυσική.
15. Να αναγνωρίζουν πώς η θεωρία του Bohr συνέβαλε στη μετάβαση από την κλασική στη κβαντική μηχανική και στην κατανόηση της δομής των ατόμων.

4.2.2 Ανάλυση πρωτογενών πηγών και προσέγγιση

Τα τέσσερα πρώτα κείμενα αποτελούν μέρος της δημοσίευσης του Thomson στο «*Philosophical Magazine*» το 1897.

Αρχικά οι μαθητές διαβάζουν το 1^ο κείμενο, το οποίο αναδεικνύει την επιστήμη ως διαδικασία που βασίζεται σε πειράματα, θεωρίες, αντιπαραθέσεις, κριτική και συνεχή αναζήτηση για την αλήθεια μέσω επιστημονικής ανάλυσης και διαλόγου. Αρχικά αναφέρεται η ύπαρξη διαφορετικών απόψεων μεταξύ των επιστημόνων που μελετούν τη φύση των καθοδικών ακτίνων, η οποία αποδεικνύει την ανοικτή και συνεχώς εξελισσόμενη ΦτΕ. Οι συζητήσεις και οι διαφωνίες βοηθούν στην πρόοδο της επιστήμης. Αναφέρονται τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για να δοκιμαστούν οι δύο αντίθετες θεωρίες για τη φύση των καθοδικών ακτίνων. Οι μαθητές, μέσα από αυτό το κείμενο, μπορούν να αντιληφθούν ότι η επιστήμη χρησιμοποιεί πειραματικές δοκιμές για να επαληθεύσει ή να απορρίψει θεωρίες και να καταλήξει σε συμπεράσματα. Αναφέρονται επιστημονικές αναλύσεις και επιχειρήματα που χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν τη μία ή την άλλη θεωρία. Αυτό καταδεικνύει τη διαδικασία επιστημονικής κριτικής και αξιολόγησης των δεδομένων. Στη συνέχεια με βάση το κείμενο και τρεις προσομοιώσεις απαντούν στο φύλλο εργασίας.

Στο 2^ο κείμενο, ο Thomson αναφέρει ότι επανέλαβε το πείραμα του Jean Perrin για να επιβεβαιώσει τα αποτελέσματα και να ενισχύσει την αποδοχή της θεωρίας του περί ηλεκτρικών σωματιδίων, γνωστά σήμερα ως ηλεκτρόνια. Μέσα από αυτό το κείμενο οι μαθητές μπορούν να αντιληφθούν ότι στην επιστημονική έρευνα τα πειράματα επαναλαμβάνονται και από άλλους ερευνητές, με σκοπό να επιβεβαιώσουν τα αποτελέσματα ώστε να θεωρηθούν αξιόπιστα. Με την επανάληψη του πειράματος, ο Thomson ήθελε να διασφαλίσει ότι τα αποτελέσματα του Perrin ήταν ακριβή και επαναλήψιμα. Η επιτυχής επανάληψη του πειράματος του Perrin θα ενίσχυε τη θεωρία του και θα παρείχε πρόσθετη εμπειρική υποστήριξη.

Στο 3^ο κείμενο, οι μαθητές διαπιστώνουν ότι η αρχική αμφισβήτηση της παρατήρησης ότι οι καθοδικές ακτίνες δεν εκτρέπονται υπό την επίδραση μιας ηλεκτροστατικής δύναμης οδήγησε σε περαιτέρω πειράματα για να διερευνηθεί αυτή η συμπεριφορά. Μια αρχική υπόθεση ήταν ότι οι καθοδικές ακτίνες δεν εκτρέπονται λόγω της αγωγιμότητας του αερίου. Αυτή η υπόθεση ελέγχθηκε με πειράματα σε υψηλές αραιώσεις αερίου και τα αποτελέσματα έδειξαν μια διαφορετική συμπεριφορά των καθοδικών ακτίνων, δηλαδή την εκτροπή τους υπό την επίδραση ηλεκτροστατικής δύναμης. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων μετρήθηκαν με ακρίβεια, χρησιμοποιώντας κλίμακα και συσκευές μέτρησης, για να εξακριβωθεί η εκτροπή των καθοδικών ακτίνων. Οι μαθητές διαπιστώνουν ότι η επιστήμη βασίζεται στην παρατήρηση και στα πειράματα για να εξάγει συμπεράσματα.

Στο 4^ο κείμενο αρχικά οι μαθητές κατανοούν πώς η χρήση ομογενών ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών των σωματιδίων. Η περιγραφή δύο διαφορετικών πειραματικών μεθόδων για την επαλήθευση και ενίσχυση των επιστημονικών ευρημάτων, ώστε να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, παρέχει ένα παράδειγμα του πώς οι επιστήμονες σχεδιάζουν και εκτελούν πειράματα για την επίλυση προβλημάτων. Στην συνέχεια στο κείμενο αναφέρεται ότι σε διαφορετικές συνθήκες η τιμή του m/e είναι σταθερή, επισημαίνοντας στους μαθητές πώς αυτή η σταθερότητα συμβάλλει στη διαμόρφωση γενικότερων θεωριών στη φυσική. Η σημασία της μέτρησης φυσικών μεγεθών για την εξαγωγή συμπερασμάτων, όπως στο κείμενο με τον υπολογισμό της ταχύτητας των καθοδικών ακτίνων, που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι καθοδικές ακτίνες είναι σωματίδια και όχι κύματα, καταδεικνύει στους μαθητές τη διαδικασία της επιστημονικής μεθόδου και της ανάλυσης δεδομένων. Τέλος μέσω της ευχαριστίας του Thomson προς τον Evertit, οι μαθητές κατανοούν τη σημασία της συνεργασίας καθώς και την σημασία της αναγνώρισης της συνεισφοράς των άλλων επιστημόνων στην επιστημονική έρευνα.

Στο 5^ο κείμενο ο Thomson, που αποτελεί απόσπασμα από το βιβλίο του «*Electricity and matter*», περιγράφει το μοντέλο του για το άτομο, και η ανάλυση του περιλαμβάνει την κατανόηση της επιστημονικής μεθόδου, την εξέλιξη των επιστημονικών θεωριών και την

ανάπτυξη της κριτικής σκέψης. Αυτές οι έννοιες είναι κεντρικές στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και στην καλλιέργεια της επιστημονικής σκέψης στους μαθητές.

Το 6ο κείμενο είναι ένα επιστημονικό άρθρο που δημοσιεύτηκε το 1909 στα πρακτικά της Royal Society του Ηνωμένου Βασιλείου. Το άρθρο περιγράφει τα πειράματα των Geiger και Marsden, καθώς και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων από τον Rutherford. Μέσα από αυτό το κείμενο, οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν την εξέλιξη των επιστημονικών θεωριών και τη σημασία των πειραματικών δεδομένων τόσο στην ανατροπή όσο και στην ανάπτυξη νέων θεωριών.

Το 7ο κείμενο περιλαμβάνει αποσπάσματα από το άρθρο του Rutherford με τίτλο «*The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom*», που δημοσιεύτηκε στο «*Philosophical Magazine*» το 1911. Σε αυτό το άρθρο, ο Rutherford ερμήνευσε τα πειραματικά αποτελέσματα, αναδεικνύοντας τη σημασία της επιστημονικής σκέψης. Οι μαθητές ενθαρρύνονται να κατανοήσουν πώς οι επιστήμονες χρησιμοποιούν θεωρητικές υποθέσεις για να εξηγήσουν πειραματικά δεδομένα και να αναπτύξουν μοντέλα. Το κείμενο προσφέρει μια ιστορική προοπτική, επιτρέποντας στους μαθητές να παρακολουθήσουν την εξέλιξη από το μοντέλο του Thomson στο μοντέλο του Rutherford, αναδεικνύοντας τη σημασία της επιστημονικής έρευνας στην πρόοδο της κατανόησης της ατομικής δομής. Η ανάλυση των θεωρητικών προβλέψεων και η σύγκρισή τους με τα πειραματικά αποτελέσματα διδάσκει τους μαθητές πώς να αξιολογούν και να κρίνουν επιστημονικές θεωρίες. Η επιστήμη δεν περιορίζεται μόνο στη συλλογή δεδομένων και την παρατήρηση φυσικών φαινομένων. Αντίθετα, η ανάπτυξη επιστημονικών θεωριών απαιτεί ουσιαστική δημιουργική σκέψη και τη χρήση της φαντασίας, προκειμένου να συνδεθούν τα δεδομένα με νέες υποθέσεις και μοντέλα που παρέχουν συνεκτικές εξηγήσεις για τα φαινόμενα που παρατηρούνται στο φυσικό κόσμο.

Το επόμενο μέρος αφορά τη μελέτη των φασμάτων των αερίων. Μέσα από αυτήν τη διαδικασία, οι μαθητές εξοικειώνονται με τις βασικές έννοιες της φασματικής ανάλυσης, αναγνωρίζοντας τις διαφορές μεταξύ συνεχών και γραμμικών φασμάτων.

Πραγματοποιούν επιστημονικές παρατηρήσεις, καταγράφουν δεδομένα και εξάγουν συμπεράσματα βασισμένα σε αυτές τις παρατηρήσεις. Επιπλέον, κατανοούν ότι τα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης είναι μοναδικά για κάθε αέριο, παρόμοια με τα δακτυλικά αποτυπώματα των ανθρώπων. Αυτό τους βοηθάει να συνειδητοποιήσουν τη σημασία της φασματικής ανάλυσης για την αναγνώριση στοιχείων. Μέσω της αλλαγής του είδους του αερίου και της παρατήρησης των διαφορών στα φάσματα, μαθαίνουν να κάνουν συγκρίσεις και να αναγνωρίζουν πρότυπα. Τέλος, εξασκούνται στην πρόβλεψη και επαλήθευση των προβλέψεών τους με βάση τα πειραματικά δεδομένα.

Τα κείμενα από το 8^ο μέχρι και το 13^ο αποτελούν αποσπάσματα από το άρθρο του Bohr «*On the Constitution of Atoms and Molecules*», που δημοσιεύτηκε στο «*Philosophical Magazine*» το 1913.

Στο 8ο κείμενο, οι μαθητές παρακολουθούν τον Bohr να δικαιολογεί και να υποστηρίζει τη σημασία του μοντέλου του Rutherford για την κατανόηση της δομής των ατόμων. Υπογραμμίζει την αναγκαιότητα της ύπαρξης του πυρήνα για την ερμηνεία των πειραματικών αποτελεσμάτων, αναδεικνύοντας έτσι την επαναστατική φύση της θεωρίας του Rutherford και την ανάγκη αποδοχής ενός νέου μοντέλου για την κατανόηση της δομής των ατόμων.

Στο 9ο κείμενο, ο Bohr παρουσιάζει τη σημασία των νέων ατομικών μοντέλων, συγκρίνοντας τα μοντέλα του Thomson και του Rutherford. Τονίζει ότι η εξέλιξη της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας και η εισαγωγή της σταθεράς του Planck (κβάντο δράσης) είναι καθοριστικές για τη σταθερή κατανομή των ηλεκτρονίων στα άτομα. Αυτές οι νέες ιδέες οδηγούν σε μια θεωρία της σύστασης των ατόμων και των μορίων, επιτρέποντας την εξήγηση του φάσματος του υδρογόνου. Τέλος, εκφράζει ευχαριστίες στον Rutherford για την υποστήριξή του, δείχνοντας τη συνεργασία στην επιστημονική κοινότητα και την σημασία των νέων επιστημονικών προσεγγίσεων.

Ο Bohr, στο 10^ο κείμενο, εξηγεί την ανεπάρκεια της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας στην περιγραφή της σταθερότητας των ατόμων, όπως στο μοντέλο του Rutherford, το οποίο προέβλεπε αστάθεια στις τροχιές των ηλεκτρονίων. Εισάγει την

έννοια των κβαντισμένων ενεργειακών σταθμών, όπου τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν σταθερές τροχιές χωρίς να εκπέμπουν ενέργεια. Η ενέργεια εκπέμπεται ή απορροφάται μόνο όταν το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει μεταξύ τροχιών. Τέλος, ο Bohr αναφέρει ότι οι θεωρητικές του προβλέψεις συμφωνούν με τις πειραματικές παρατηρήσεις, εντός των αβεβαιοτήτων, λόγω πειραματικών σφαλμάτων, αναδεικνύοντας έτσι τη σημασία της θεωρίας και του πειράματος στην επιστημονική πρόοδο.

Στο 11^ο κείμενο, οι μαθητές κατανοούν τον μηχανισμό απορρόφησης ακτινοβολίας, μαθαίνοντας πώς η ενέργεια του φωτονίου πρέπει να είναι ίση με την ενέργεια μετάβασης του ατόμου για να προκαλέσει απορρόφηση. Αξιολογούν αν οι θεωρητικές υποθέσεις για την απορρόφηση συμφωνούν με πειραματικά δεδομένα και αναλύουν την επίδραση φωτονίων με διάφορες ενεργειακές τιμές στην κατάσταση του ατόμου. Μέσω προσομοιώσεων, συγκρίνουν τις θεωρητικές προβλέψεις με τα πειραματικά αποτελέσματα, κατανοώντας την έννοια της διέγερσης, δηλαδή της μετάβασης από χαμηλότερη σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση.

Στο 12^ο κείμενο που βασίζεται σε κείμενο του Bohr, οι μαθητές αρχικά, εξετάζουν τα προβλήματα που προκύπτουν από τα πειράματα με ακτίνες χ , αναγνωρίζοντας τους περιορισμούς της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας στην εξήγηση της απορρόφησης και εκπομπής ακτινοβολίας, καθώς και της ενέργειας που ανταλλάσσεται κατά τη σύγκρουση ηλεκτρονίων. Στη συνέχεια, μελετούν πώς οι υπολογισμοί του Rutherford σχετικά με την ενέργεια των ηλεκτρονίων από ραδιενεργές πηγές έδειξαν την ανάγκη για νέες θεωρητικές υποθέσεις. Αναλύουν την υπόθεση του Bohr ότι η απορρόφηση και εκπομπή ενέργειας σχετίζεται με διακριτές ποσότητες ενέργειας (quanta) και κατανοούν την αναγκαιότητα αυτής της προσέγγισης για την εξήγηση των παρατηρούμενων φαινομένων. Τέλος, αξιολογούν πώς οι νέες θεωρητικές υποθέσεις του Bohr δεν έρχονται σε αντίθεση με την κλασική μηχανική και την κυματική θεωρία του φωτός, αλλά προσφέρουν μια ανανεωμένη βάση για την εξήγηση φαινομένων που η κλασική προσέγγιση δεν μπορούσε να καλύψει πλήρως.

Στο 13^ο κείμενο, οι μαθητές κατανοούν τη διαδικασία ιονισμού ενός ατόμου μέσω απορρόφησης φωτονίων, διαπιστώνοντας την ακριβή ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από το άτομο. Εξετάζουν την περίπτωση που το φωτόνιο έχει μεγαλύτερη ενέργεια από την απαραίτητη για τον ιονισμό και, με τη χρήση προσομοιώσεων, αναλύουν πειραματικά δεδομένα για την κατανόηση του φαινομένου..

Στο 14^ο κείμενο, οι μαθητές εξετάζουν τον μηχανισμό απορρόφησης και εκπομπής ακτινοβολίας από ένα άτομο, συνδέοντάς τον με τις γραμμές φάσματος που παρατηρούνται πειραματικά. Αναγνωρίζουν τη σημασία των διακριτών τροχιών και ενεργειακών σταθμών για την περιγραφή των ατόμων και των σχετικών φαινομένων. Τέλος, κατανοούν ότι, όπως στη σκάλα δεν υπάρχει ενδιάμεση θέση για να σταθεί το πόδι, έτσι και τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να έχουν ενέργεια ενδιάμεσων τιμών, αλλά μόνο συγκεκριμένες, διακριτές τιμές, οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα ενεργειακά επίπεδα.

Στο 15^ο κείμενο, η επιστολή του Bohr προς τον Richardson αναδεικνύει διάφορα σημαντικά σημεία για τη φύση της επιστημονικής έρευνας. Αποδεικνύεται ότι η επιστήμη δεν είναι μια απλή, γραμμική πορεία προς την αλήθεια. Η επιστημονική έρευνα συνοδεύεται από αμφιβολίες και αβεβαιότητα, καθώς οι νέες ιδέες συχνά αμφισβητούν τις υπάρχουσες θεωρίες. Οι θεωρίες εξελίσσονται και αναθεωρούνται με την εμφάνιση νέων δεδομένων και ιδεών. Η παραδοχή του Bohr ότι ασχολείται με εργασίες που μπορεί τελικά να μην δημοσιευτούν υπογραμμίζει ότι η αποτυχία είναι αναπόσπαστο μέρος της επιστημονικής διαδικασίας. Η επιστημονική γνώση είναι προσωρινή και όχι απόλυτη, απαιτώντας τόσο τις παλαιότερες θεωρίες όσο και τα εμπειρικά δεδομένα για την εξέλιξή της.

Στο 16^ο κείμενο, παρουσιάζεται η άποψη του Rutherford για τις ιδέες του Bohr, όπως δημοσιεύτηκαν το 1914 σε άρθρο του στο *Philosophical Magazine*. Μέσα από αυτό το κείμενο, οι μαθητές αντιλαμβάνονται ότι το πρότυπο του Bohr θεωρείται σημαντικό λόγω της ικανότητάς του να εξηγεί και να προβλέπει τα γραμμικά φάσματα των αερίων.

Επιπλέον, η διαφωνία σχετικά με τις υποθέσεις του Bohr αναδεικνύει τη σημασία του διαλόγου και της κριτικής ανάλυσης στη συνεχή εξέλιξη της επιστήμης.

Το τελευταίο κείμενο είναι ένα απόσπασμα από το βιβλίο του Owen Richardson «*The electron theory of matter*», ο οποίος αφιέρωσε ολόκληρη την επιστημονική του καριέρα στο ηλεκτρόνιο. Αυτό το απόσπασμα δείχνει ότι η επιστήμη είναι μια διαδικασία συνεχούς αναζήτησης, επανεξέτασης και εμπάθυνσης της γνώσης μέσω μεθοδολογικών και επαναλαμβανόμενων πειραμάτων.

4.2.3 Εμπλοκή μαθητών

Η ατομική θεωρία, από τις πρώτες φιλοσοφικές αναζητήσεις στην αρχαία Ελλάδα μέχρι τα σύγχρονα επιστημονικά μοντέλα, έχει αποτελέσει τη βάση για πολλές από τις τεχνολογικές εφαρμογές που επηρεάζουν σημαντικά την καθημερινή μας ζωή. Ο εκπαιδευτικός μπορεί να εμπλέξει τους μαθητές στο προς μελέτη θέμα, χρησιμοποιώντας ερωτήματα που συνδέονται με αυτές τις τεχνολογίες, οι οποίες είναι οικείες στους μαθητές μέσω των καθημερινών τους εμπειριών. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές περιλαμβάνουν:

1. Νανοτεχνολογία: Η κατανόηση της ατομικής δομής έθεσε τα θεμέλια για την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας. Αυτή η τεχνολογία ασχολείται με το χειρισμό της ύλης, επιτρέποντας τη δημιουργία νέων υλικών και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Οι εφαρμογές της ποικίλουν, από τη στοχευμένη χορήγηση φαρμάκων στην ιατρική, μέχρι τη δημιουργία κβαντικών υπολογιστών, που υπόσχονται να φέρουν επανάσταση στην πληροφορική.
2. Φασματοσκοπία: Η ανακάλυψη των γραμμικών φασμάτων οδήγησε στην ανάπτυξη της φασματοσκοπίας, μιας μεθόδου που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της σύστασης των υλικών. Η φασματοσκοπία έχει ευρεία εφαρμογή στην αστροφυσική, επιτρέποντας τον

εντοπισμό στοιχείων σε μακρινούς αστέρες και πλανήτες, καθώς και σε διάφορες βιομηχανικές και ερευνητικές εφαρμογές.

3. Μαγνητική τομογραφία (MRI): Η έρευνα πάνω στην ατομική και πυρηνική δομή συνέβαλε στην ανάπτυξη της μαγνητικής τομογραφίας, μιας τεχνολογίας που παράγει λεπτομερείς εικόνες των εσωτερικών οργάνων του σώματος και αποτελεί αναπόσπαστο εργαλείο στη σύγχρονη ιατρική διάγνωση.

4. Ηλεκτρονικά μικροσκόπια: Η ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία ηλεκτρονικών μικροσκοπίων. Αυτά τα μικροσκόπια χρησιμοποιούν ηλεκτρόνια αντί για φως, επιτρέποντας στους επιστήμονες να μελετήσουν υλικά σε ατομικό επίπεδο. Αυτή η ικανότητα είναι κρίσιμη για την επιστήμη των υλικών, τη βιολογία και την ιατρική έρευνα.

5. Πυρηνική ενέργεια: Οι μελέτες σχετικά με την πυρηνική δομή του ατόμου, οδήγησαν στην κατανόηση της πυρηνικής σχάσης, μια διαδικασία που αποτέλεσε το θεμέλιο για την ανάπτυξη των πυρηνικών αντιδραστήρων, οι οποίοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Παρά τις ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η πυρηνική ενέργεια παραμένει μια από τις κύριες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως.

Αυτές οι αναφορές στις τεχνολογικές εφαρμογές της ατομικής θεωρίας αναδεικνύουν τη σημασία της όχι μόνο ως επιστημονική έννοια, αλλά και ως θεμέλιο για την ανάπτυξη τεχνολογιών που επηρεάζουν καθοριστικά τον σύγχρονο κόσμο. Παρουσιάζοντας αυτές τις εφαρμογές, οι μαθητές μπορούν να εμπλακούν πιο ενεργά στη μάθηση, αναγνωρίζοντας τη διαχρονική αξία της επιστημονικής έρευνας και την επίδρασή της στην καθημερινή τους ζωή. Αυτή η προσέγγιση βοηθά στην καλλιέργεια του ενδιαφέροντος και της περιέργειας για το αντικείμενο της ατομικής θεωρίας.

4.3 Φύλλα εργασίας

4.3.1 Πειράματα και συμπεράσματα Thomson

Οι καθοδικές ακτίνες ανακαλύφθηκαν από τον Plücker το 1858, πολλά χρόνια πριν αρχίσει ο Thomson να ενδιαφέρεται γι' αυτές. Ο Thomson, επηρεασμένος από τη διαμάχη μεταξύ του Crooke, ο οποίος υποστήριζε ότι οι καθοδικές ακτίνες αποτελούνται από σωματίδια, και του Lenard, ο οποίος ισχυριζόταν ότι αποτελούνται από κάποια άγνωστη μέχρι τότε ακτινοβολία, πραγματοποίησε πειράματα στα τέλη του 1896, ενώ είχαν αναπτυχθεί τεχνικές δημιουργίας υψηλού κενού (Arons, Οδηγός διδασκαλίας της Φυσικής, 1990).

Τα πειράματα αυτά και τα σχετικά συμπεράσματα δημοσιεύτηκαν στο «*Philosophical Magazine*» τον Οκτώβριο του 1897.

Μελετήστε το παρακάτω απόσπασμα:

Κείμενο 1

«...Υπάρχουν διαφορετικές απόψεις ως προς τη φύση των καθοδικών ακτίνων. Σύμφωνα με τη σχεδόν ομόφωνη γνώμη των Γερμανών φυσικών, οφείλονται σε κάποια διαδικασία στον αιθέρα καθώς η πορεία τους είναι κυκλική και όχι ευθύγραμμη σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο. Η άλλη άποψη είναι ότι είναι σωματίδια, τα οποία ακολουθούν τις διαδρομές των σωματιδίων που φέρουν αρνητικό φορτίο. Φαίνεται εκ πρώτης όψεως ότι δεν θα έπρεπε να είναι δύσκολο να γίνει διάκριση μεταξύ τόσο διαφορετικών απόψεων, ωστόσο η εμπειρία δείχνει ότι αυτό δε συμβαίνει, καθώς μεταξύ των φυσικών που έχουν μελετήσει πιο βαθιά το θέμα μπορούν να βρεθούν υποστηρικτές και των δυο θεωριών. Η θεωρία των ηλεκτρισμένων σωματιδίων έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα έναντι της θεωρίας του αιθέρα (κυματική θεωρία), αφού είναι καλά ορισμένη και τα συμπεράσματα της μπορούν να ελεγχθούν. Με την κυματική θεωρία, είναι αδύνατο να προβλεφθεί τι θα συμβεί υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, καθώς με αυτή τη θεωρία ασχολούμαστε με φαινόμενα που

είναι μέχρι τώρα άγνωστα και αδύνατον να παρατηρηθούν. Τα ακόλουθα πειράματα έγιναν για να ελεγχθούν μερικές από τις συνέπειες της θεωρίας των ηλεκτρισμένων σωματιδίων...» (Thomson J. J., 1897).

Σύμφωνα με το προηγούμενο κείμενο:

1. Ποιες είναι οι δύο αντικρουόμενες απόψεις των φυσικών σχετικά με τη φύση των καθοδικών ακτίνων;

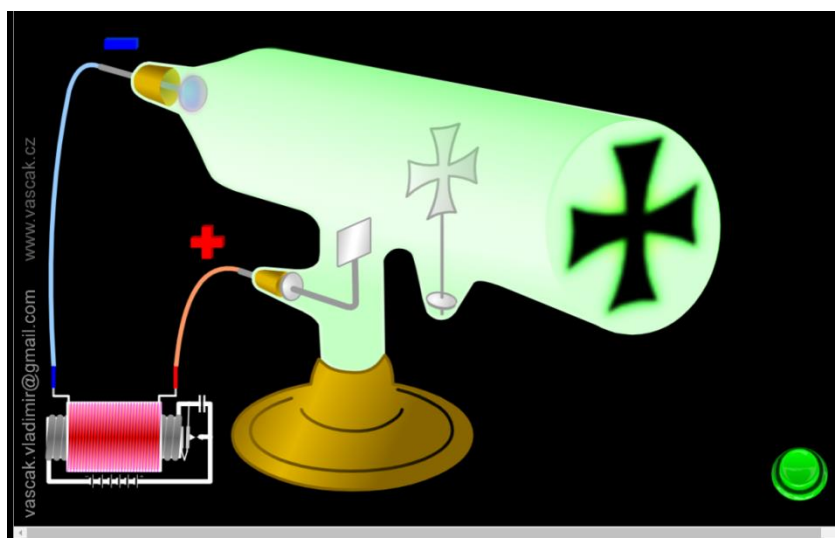
.....

2. Γιατί ο Thomson αναφέρει ότι η διάκριση μεταξύ των διαφορετικών απόψεων για τις καθοδικές ακτίνες δεν είναι τόσο εύκολη όσο μπορεί να φαίνεται;

.....

3. Ανοίξτε την παρακάτω προσομοίωση (Εικόνα 6):

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=elplyn_maltezsky_kriz&l=gr



Εικόνα 6: Σταυρός Μάλτας τοποθετημένος σε σωλήνα Crookes

Παρατηρείστε τον σωλήνα Crookes στο εσωτερικό του οποίου είναι τοποθετημένος ένας σταυρός Μάλτας. Ο σωλήνας είναι ενεργοποιημένος και καθοδικές ακτίνες κινούνται προς μια φθορίζουσα οθόνη.

α. Όταν ο σταυρός είναι όρθιος τι δημιουργείται στη φθορίζουσα οθόνη; Σε τι συμπέρασμα μπορούμε να καταλήξουμε για την τροχιά που ακολουθούν οι καθοδικές ακτίνες;

.....

β. Κατά την άποψη σας οι καθοδικές ακτίνες είναι ακτινοβολία ή σωματίδια;

.....

.....

4. Ποια από τις δυο απόψεις, κατά την γνώμη του Thomson, έχει πλεονέκτημα και τι έκανε για να την ελέγξει;

.....

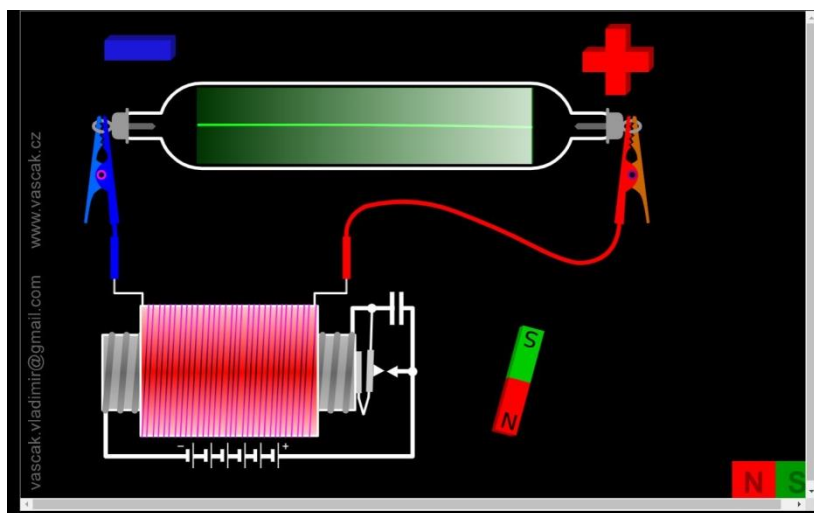
.....

5. Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί σε μια καθοδική ακτίνα αν πλησιάσουμε τον βόρειο πόλο ενός μαγνήτη; Αν πλησιάσουμε τον νότιο πόλο;

.....

6. Ανοίξτε την παρακάτω προσομοίωση (Εικόνα 7):

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=elplyn_magnet_el_ektron&l=cz



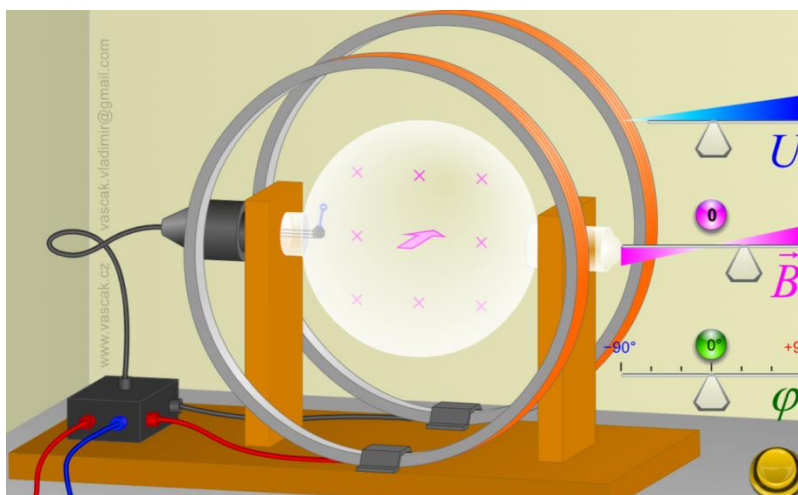
Εικόνα 7: Εκτροπή καθοδικών ακτίνων από μαγνητικό πεδίο

Πραγματοποιήστε το πείραμα που αναφέρεται στην προηγούμενη ερώτηση. Τι παρατηρείτε;

.....

8. Σε κάποιο σημείο του κειμένου ο Thomson αναφέρει ότι «... η πορεία τους (των καθοδικών ακτίνων) είναι κυκλική και όχι ευθύγραμμη σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο». Αφού ανοίξετε την παρακάτω προσομοίωση (Εικόνα 8):

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mag_wehnelt&l=gr



Εικόνα 8: Προσομοίωση κίνησης ηλεκτρονίων σε ομογενές μαγνητικό πεδίο

α. Μηδενίστε την ένταση \vec{B} του μαγνητικού πεδίου (πατώντας την τιμή 0). Πώς κινείται η δέσμη των καθοδικών ακτίνων;

.....

.....

β. Αυξήστε την τιμή της έντασης \vec{B} του μαγνητικού πεδίου (μετακινώντας τον δείκτη προς τα δεξιά). Ποιο είναι το είδος της τροχιάς που ακολουθεί η δέσμη των καθοδικών ακτίνων;

.....

.....

γ. Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί στην ακτίνα της κυκλικής τροχιάς αν αυξήσετε και άλλο την τιμή της έντασης \vec{B} ;

.....

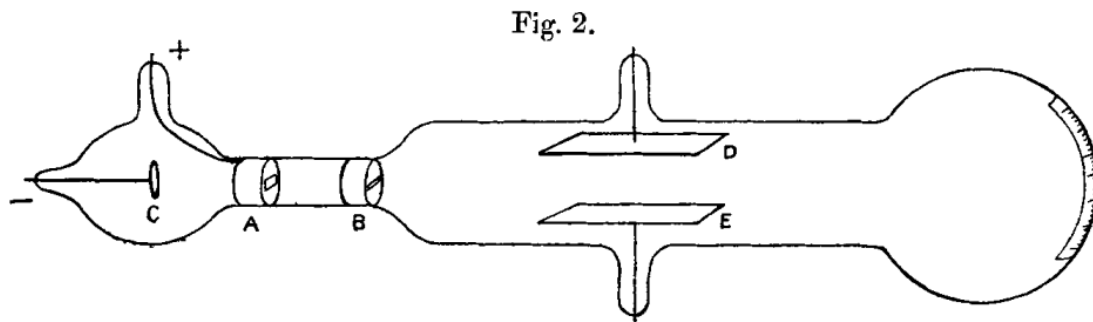
.....

δ. Πραγματοποιήστε το πείραμα. Τι παρατηρείτε;

Διαβάστε το παρακάτω απόσπασμα:

Κείμενο 3

«Μια πολύ γενική αντίρρηση ενάντια στην άποψη ότι οι καθοδικές ακτίνες είναι αρνητικά ηλεκτρισμένα σωματίδια, είναι ότι μέχρι στιγμής δεν έχει παρατηρηθεί εκτροπή των ακτίνων υπό μια μικρή ηλεκτροστατική δύναμη ... Ο Hertz έκανε τις ακτίνες να ταξιδεύουν ανάμεσα σε δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες τοποθετημένες μέσα σε ένα σωλήνα κενού, αλλά διαπίστωσε ότι δεν εκτρέπονταν όταν οι πλάκες συνδέονταν με μια μπαταρία. Επαναλαμβάνοντας αυτό το πείραμα, στην αρχή πήρα το ίδιο αποτέλεσμα, αλλά τα επόμενα πειράματα έδειξαν ότι η απουσία εκτροπής οφείλεται στην αγωγιμότητα που προσδίδεται στο αραιωμένο αέριο από τις καθοδικές ακτίνες. Κατά τη μέτρηση αυτής της αγωγιμότητας διαπιστώθηκε ότι μειώθηκε πολύ γρήγορα καθώς αυξανόταν η αραιώση του αερίου. Φάνηκε τότε ότι αν εκτελούσαμε το πείραμα του Hertz σε πολύ υψηλές αραιώσεις θα υπήρχε πιθανότητα ανίχνευσης της εκτροπής των καθοδικών ακτίνων από μια ηλεκτροστατική δύναμη. Η συσκευή που χρησιμοποιείται απεικονίζεται στο σχ. 2. (Εικόνα 9)



Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση του σωλήνα που χρησιμοποίησε ο Thomson

Οι ακτίνες από την κάθοδο C διέρχονται από μια σχισμή στην άνοδο A, στη συνέχεια περνούν από μια δεύτερη σχισμή B, ταξιδεύουν μεταξύ δύο παράλληλων πλακών αλουμινίου και τελικά πέφτουν στο άκρο του σωλήνα όπου παράγουν μια καλά καθορισμένη φωσφορίζουσα κηλίδα. Μια κλίμακα επικολλημένη στο εξωτερικό του σωλήνα χρησιμεύει για τη μέτρηση της εκτροπής αυτής της κηλίδας...

Σε υψηλά επίπεδα κενού, οι ακτίνες εκτρέπονταν όταν οι δύο αλουμινένιες πλάκες συνδέονταν με τους ακροδέκτες μιας μπαταρίας μικρών συσσωρευτών. Οι ακτίνες όταν η

άνω πλάκα συνδεόταν με τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας και η κάτω με τον θετικό εκτρέποταν προς τα κάτω, ενώ όταν η άνω πλάκα συνδεόταν με τον θετικό πόλο και η κάτω με τον αρνητικό πόλο εκτρέποταν προς τα πάνω. Η απόκλιση ήταν ανάλογη της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των πλακών, και μπορούσα να ανιχνεύσω απόκλιση ακόμα και όταν η διαφορά δυναμικού ήταν τόσο μικρή όσο δύο βολτ ...

Καθώς οι καθοδικές ακτίνες φέρουν αρνητικό φορτίο, εκτρέπονται από ηλεκτροστατική δύναμη σαν να ήταν αρνητικά ηλεκτρισμένες και επηρεάζονται από μια μαγνητική δύναμη ακριβώς με τον τρόπο που αυτή η δύναμη θα ενεργούσε σε ένα αρνητικά ηλεκτρισμένο σώμα που κινείται κατά μήκος της διαδρομής των καθοδικών ακτίνων. Δεν μπορώ να μην καταλήξω στο συμπέρασμα ότι οι καθοδικές ακτίνες είναι αρνητικά φορτία ηλεκτρισμού που μεταφέρονται από σωματίδια της ύλης.» (Thomson J. J., 1897)

1. Ποια ήταν η αρχική ένσταση στην άποψη ότι οι καθοδικές ακτίνες είναι αρνητικά φορτισμένα σωματίδια;

.....
.....

2. Τι παρατήρησε ο Hertz κατά την εκτέλεση του πειράματός του με τις καθοδικές ακτίνες μεταξύ δύο παράλληλων φορτισμένων μεταλλικών πλακών;

.....
.....

3. Πώς η επανάληψη των πειραμάτων από τον Thomson με την αραίωση του αερίου συνέβαλε στην αναθεώρηση των αρχικών παρατηρήσεων για την εκτροπή των καθοδικών ακτίνων;

.....
.....

4. Ποια είναι η σημασία της παρατήρησης ότι η αγωγιμότητα του αερίου μειώνεται με την αραίωσή του στην κατανόηση της συμπεριφοράς των καθοδικών ακτίνων;

.....
.....

5. Ποια είναι η σημασία του ποσοτικού μέτρου (όπως η αναλογία της απόκλισης με τη διαφορά δυναμικού) στην επιβεβαίωση των θεωριών στη Φυσική;

.....
.....

6. Ο Thomson περιγράφοντας το πείραμα αναφέρει: «Οι ακτίνες από την κάθοδο C διέρχονται ..., στη συνέχεια περνούν ..., ταξιδεύουν μεταξύ ... και τελικά πέφτουν στο άκρο του σωλήνα όπου παράγουν μια καλά καθορισμένη φωσφορίζουσα κηλίδα.» Εφόσον η κηλίδα είναι καλά καθορισμένη μπορείτε να υποθέσετε κάτι για το είδος των σωματιδίων των καθοδικών ακτίνων;

.....
.....

7. Πώς η συμπεριφορά των καθοδικών ακτίνων κάτω από την επίδραση των ηλεκτρικών και μαγνητικών δυνάμεων οδήγησε στο συμπέρασμα ότι είναι αρνητικά φορτισμένα σωματίδια;

.....
.....

Διαβάστε το παρακάτω απόσπασμα:

Κείμενο 4

«... Στη συνέχεια τίθεται το ερώτημα: Τι είναι αυτά τα σωματίδια; Είναι άτομα ή μόρια ή ύλη σε ακόμα πιο λεπτή κατάσταση υποδιαίρεσης; Για να ριζώ φως σε αυτό το ζήτημα, έχω κάνει μια σειρά μετρήσεων της αναλογίας της μάζας αυτών των σωματιδίων προς το φορτίο που φέρουν. Για να προσδιορίσω αυτή την ποσότητα, έχω χρησιμοποιήσει δύο ανεξάρτητες μεθόδους. Η πρώτη από αυτές είναι η εξής: Ας θεωρήσουμε μια δέσμη ομογενών καθοδικών ακτίνων. Πριν προχωρήσω στη συζήτηση των αποτελεσμάτων αυτών των μετρήσεων, θα περιγράψω την δεύτερη μέθοδο μέτρησης των ποσοτήτων m/e και της ταχύτητας v εντελώς διαφορετικού τρόπου από την προηγούμενη. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην εκτροπή των καθοδικών ακτίνων σε ένα ομογενές ηλεκτρικό πεδίο και σε ένα

ομογενές μαγνητικό πεδίο. Αν μετρήσουμε την απόκλιση των καθοδικών ακτίνων όταν διασχίζουν ένα δεδομένο μήκος σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο και την απόκλισή τους όταν διασχίζουν μια δεδομένη απόσταση σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο, μπορούμε να βρούμε τις τιμές των m/e και της ταχύτητας v ...

Στα ακόλουθα πειράματα ρυθμίστηκε έτσι ώστε η ηλεκτρική εκτροπή να είναι ίδια (αλλά αντίθετη) με τη μαγνητική...

Η κάθοδος στα πρώτα πέντε πειράματα ήταν από αλουμίνιο, στα δύο τελευταία πειράματα ήταν από πλατίνα..

... Από τα πειραματικά αποτελέσματα βλέπουμε ότι η τιμή του πηλίκου m/e είναι ανεξάρτητη της φύσης του αερίου και του υλικού της καθόδου και ότι η τιμή του είναι της τάξης του 10^{-7}Kg/C ... που είναι η μικρότερη τιμή αυτής της ποσότητας που ήταν προηγουμένως γνωστή, και η οποία είναι η τιμή για το ιόν υδρογόνου στην ηλεκτρόλυση

Επίσης η ταχύτητα των καθοδικών ακτίνων είναι της τάξης 10^9cm/sec ...

Η μικρή τιμή του m/e μπορεί να οφείλεται στη μικρότητα του m ή στο μεγάλο φορτίο e ή σε συνδυασμό αυτών των δύο....

...η τιμή m/e είναι ανεξάρτητη από τη φύση του αερίου και την πίεσή του, γιατί οι φορείς είναι οι ίδιοι ανεξάρτητα από το αέριο. ...

Αυτή η ύλη είναι η ουσία από την οποία δημιουργούνται όλα τα χημικά στοιχεία. Με συσκευές συνηθισμένου μεγέθους, η ποσότητα της ύλης που παράγεται στην κάθοδο είναι τόσο μικρή που σχεδόν αποκλείει τη δυνατότητα οποιασδήποτε άμεσης χημικής έρευνας των ιδιοτήτων της.

Η μικρή τιμή του λόγου m/e οφείλεται, νομίζω, στο μέγεθος του e καθώς και στη μικρότητα του m . Μου φαίνεται ότι υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι τα φορτία που μεταφέρονται από τα σωματίδια στο άτομο είναι μεγάλα σε σύγκριση με αυτά που μεταφέρονται από τα ιόντα ενός ηλεκτρολύτη. ...

Με μεγάλη χαρά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Everitt για τη βοήθειά του στην προηγούμενη έρευνα. Κέιμπριτζ, 7 Αυγούστου 1897» (Thomson J. J., 1897)

1. Ποια είναι η σημασία της μέτρησης της αναλογίας μάζας προς φορτίο (m/e) στην κατανόηση της φύσης των σωματιδίων;

.....

.....
2. Πώς μπορούν οι διαφορετικές πειραματικές μέθοδοι να επιβεβαιώσουν τα αποτελέσματα στη φυσική επιστήμη;
.....
.....

3. Γιατί είναι σημαντική η ανεξαρτησία του πηλίκου m/e από τη φύση του αερίου και του υλικού της καθόδου;
.....
.....

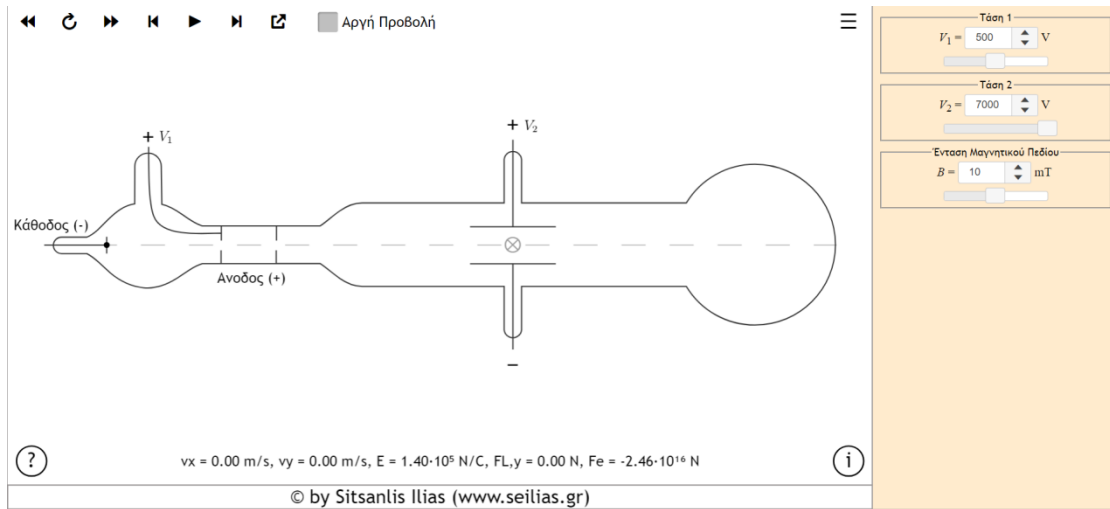
4. Πώς συμβάλλει η μικρή τιμή του m/e στην κατανόηση της φύσης της ύλης στις καθοδικές ακτίνες;
.....
.....

5. Η ταχύτητα των καθοδικών ακτίνων στα πειράματα του Thomson ήταν της τάξης του $10^9 cm/s$. Έχοντας υπόψη ότι η ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό και κατά προσέγγιση στον αέρα είναι ίση με $3 \cdot 10^8 m/s$ σε τι συμπέρασμα μπορείτε να καταλήξετε;
.....
.....

6. Στο τέλος της αναφοράς ο Thomson ευχαριστεί τον εργαστηριακό του συνεργάτη Everitt. Ποια είναι η σημασία της συνεργασίας και της συνεισφοράς άλλων επιστημόνων στη διαδικασία της έρευνας;
.....
.....

7. Ανοίξτε την παρακάτω εφαρμογή (Εικόνα 10)

<https://www.seilias.gr/images/stories/html5/thomson.html>



Εικόνα 10: Προσομοίωση πειράματος Thomson

Οι καθοδικές ακτίνες (ηλεκτρόνια) επιταχύνονται με τάση V_1 , αποκτούν ταχύτητα v και στην συνέχεια εισέρχονται σε χώρο όπου συνυπάρχει ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, που ονομάζεται φίλτρο ταχυτήτων. Μέσα στο φίλτρο τα ηλεκτρόνια δέχονται μια ηλεκτρική και μια μαγνητική δύναμη, που έχουν αντίθετη κατεύθυνση.

α. Πατήστε το κουμπί έναρξης και παρατηρήστε την πορεία τους.

β. Για να μην εκτρέπονται οι ακτίνες πόση πρέπει να είναι η συνισταμένη δύναμη που δέχονται;

.....

.....

γ. Για να συμβεί αυτό, τι σχέση πρέπει να έχουν η ηλεκτρική με την μαγνητική δύναμη, αν η βαρυτική δύναμη θεωρηθεί αμελητέα;

.....

.....

δ. Αυξήστε την τιμή της τάσης V_1 στα 566V. Τι παρατηρείται ως προς την εκτροπή των ηλεκτρονίων;

.....

.....

4.3.2 Το μοντέλο του Thomson

Ο Thomson δημοσίευσε το προτεινόμενο μοντέλο του για το άτομο το 1904 στην έκδοση του Μαρτίου του κορυφαίου βρετανικού επιστημονικού περιοδικού «*Philosophical Magazine*» και στο βιβλίο «*Electricity and matter*».

Διαβάστε το παρακάτω απόσπασμα του από το βιβλίο «*Electricity and matter*».

Κείμενο 5

«Ξεκινώντας από την υπόθεση ότι το άτομο αποτελείται από μια συγκέντρωση απλούστερων συστημάτων, ας εξετάσουμε ποια είναι η φύση ενός από αυτά τα συστήματα. Έχουμε δει ότι το *corpuscle* το οποίο έχει μάζα πολύ μικρότερη από το άτομο, είναι μέρος του ατόμου, είναι λογικό να θεωρήσουμε το *corpuscle* ως συστατικό του ατόμου πολλών διαφορετικών ουσιών. Το *corpuscle*, ωστόσο, φέρει μια συγκεκριμένη ποσότητα αρνητικού φορτίου, και εφόσον οποιοδήποτε φορτίο συσχετίζεται πάντα με ίσο φορτίο αντίθετου είδους, θα πρέπει να περιμένουμε ότι το αρνητικό φορτίο του *corpuscle* να συνδέεται με μια ίση ποσότητα θετικού φορτίου.... Για λόγους που θα φανούν αργότερα, θα υποθέσουμε ότι το όγκος στον οποίο εξαπλώνεται το θετικό φορτίο είναι πολύ μεγαλύτερος από τον όγκο του *corpuscle*...» (Thomson J. J., 1904).

1. Διαβάζοντας το παραπάνω απόσπασμα σε ποια συμπεράσματα οδηγούμαστε για τη δομή του ατόμου; Μπορείτε να δικαιολογήσετε το πρότυπο του Thomson για το άτομο, το οποίο αναφέρεται και ως μοντέλο σταφιδόψωμου;

.....
.....

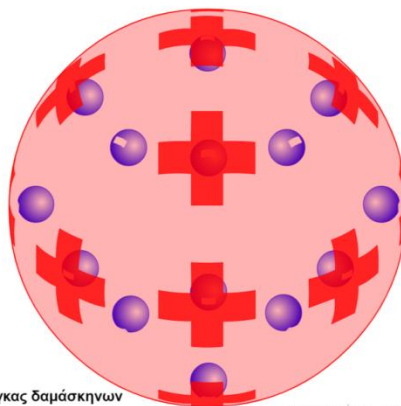
2. Κάντε ένα σχήμα το οποίο πιστεύετε ότι παριστάνει το παραπάνω μοντέλο.

.....
.....

3. Στην επόμενη προσομοίωση παρατηρήστε το μοντέλο του Thomson για το άτομο (Εικόνα 11).

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=atom_modely&l=gr

1897
Τζόζεφ
Τζον
Τόμσον



Μοντέλο - πουτίγκας δαμάσκημων

Εικόνα 11: Προσομοίωση προτύπου Thomson

4. Σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson τι θα συνέβαινε αν μια δέσμη θετικών φορτίων περνούσαν μέσα από ένα άτομο; Θα απέκλινε σημαντικά ή όχι, και γιατί;

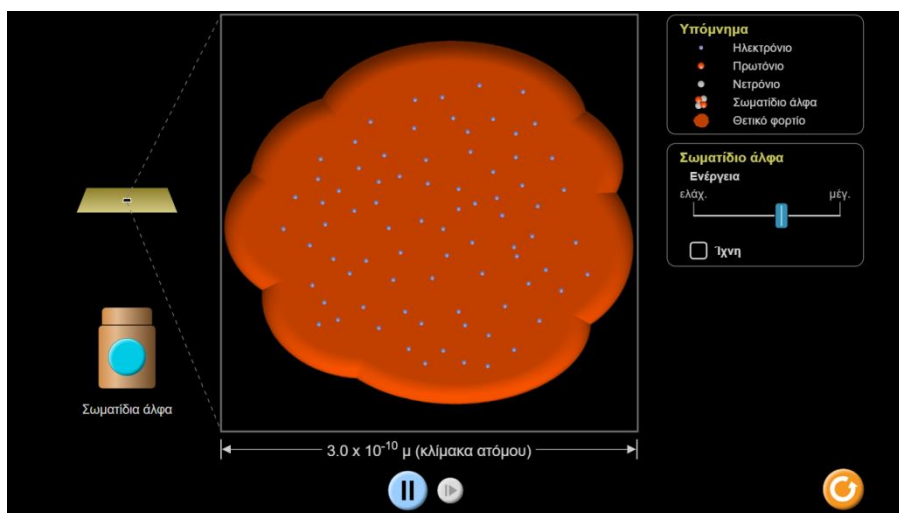
.....

.....

5. Αφού ανοίξετε τη παρακάτω προσομοίωση επιλέξτε το μοντέλο του Thomson (μοντέλο σταφιδόψωμου) (Εικόνα 12).

https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_all.html?locale=en

Στην συνέχεια πατήστε το μπλε κουμπί ώστε να εκτοξεύσετε σωματίδια α προς ένα λεπτό φύλλο. Παρατηρήστε την πορεία που ακολουθούν σύμφωνα με το μοντέλο αυτό.



Εικόνα 12 Προσομοίωση μοντέλου Thomson

Επιβεβαιώνεται η απάντηση που δώσατε στη προηγούμενη ερώτηση;

.....
.....

4.3.3 Τα πειράματα Geiger και Marsden

Η ανακάλυψη της ραδιενέργειας οδήγησε στη συνειδητοποίηση ότι το άτομο, που ονομάστηκε έτσι από την ιδέα ότι ήταν αδιαίρετο, μπορούσε στην πραγματικότητα να διασπαστεί σε πιο βασικά σωματίδια. Ο Rutherford ήταν ο πρώτος που προσπάθησε να "διαιρέσει το άτομο", κάτι που πέτυχε χρησιμοποιώντας ένα από τα πρόσφατα ανακαλυφθέντα προϊόντα ραδιενεργού διάσπασης, το σωματίδιο άλφα (Scerri, 2020).

Ο Rutherford μαζί με τους μαθητές του Geiger και Marsden ξεκίνησαν μια σειρά πειραμάτων προκειμένου να μελετήσουν την εσωτερική δομή του ατόμου. Το 1909 ο Hans Geiger και ο Ernest Marsden δημοσίευσαν ένα επιστημονικό άρθρο στα πρακτικά της Royal Society (Βασιλικής Εταιρείας) του Ηνωμένου Βασιλείου το 1909 (Εικόνα 13).

Κείμενο 6

«Στα ακόλουθα πειράματα βρέθηκαν πειστικά στοιχεία για την ύπαρξη ανακλούμενης ακτινοβολίας των σωματιδίων α . Ένα μικρό μέρος των σωματιδίων α που πέφτουν σε μεταλλική πλάκα αλλάζουν την κατεύθυνση κίνησής τους τόσο πολύ, ώστε να εμφανίζονται ξανά από την πλευρά της εισόδου....

Για να διαμορφωθεί μια ιδέα για τον τρόπο με τον οποίο συμβαίνει αυτό το φαινόμενο, διερευνήθηκαν οι εξής τρεις πτυχές:

On a Diffuse Reflection of the α -Particles.

By H. GEIGER, Ph.D., John Harling Fellow, and E. MARSDEN, Hatfield Scholar, University of Manchester.

(Communicated by Prof. E. Rutherford, F.R.S. Received May 19,—Read June 17, 1909.)

When β -particles fall on a plate, a strong radiation emerges from the same side of the plate as that on which the β -particles fall. This radiation is regarded by many observers as a secondary radiation, but more recent experiments seem to show that it consists mainly of primary β -particles, which have been scattered inside the material to such an extent that they emerge again at the same side of the plate.* For α -particles a similar effect has not previously been observed, and is perhaps not to be expected on account of the relatively small scattering which α -particles suffer in penetrating matter.†

In the following experiments, however, conclusive evidence was found of the existence of a diffuse reflection of the α -particles. A small fraction of the α -particles falling upon a metal plate have their directions changed to such an extent that they emerge again at the side of incidence. To form an idea of the way in which this effect takes place, the following three points were investigated:—

- (I) The relative amount of reflection from different metals.
- (II) The relative amount of reflection from a metal of varying thickness.
- (III) The fraction of the incident α -particles which are reflected.

* See Schmidt, 'Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik,' vol. 5, p. 471, 1908.

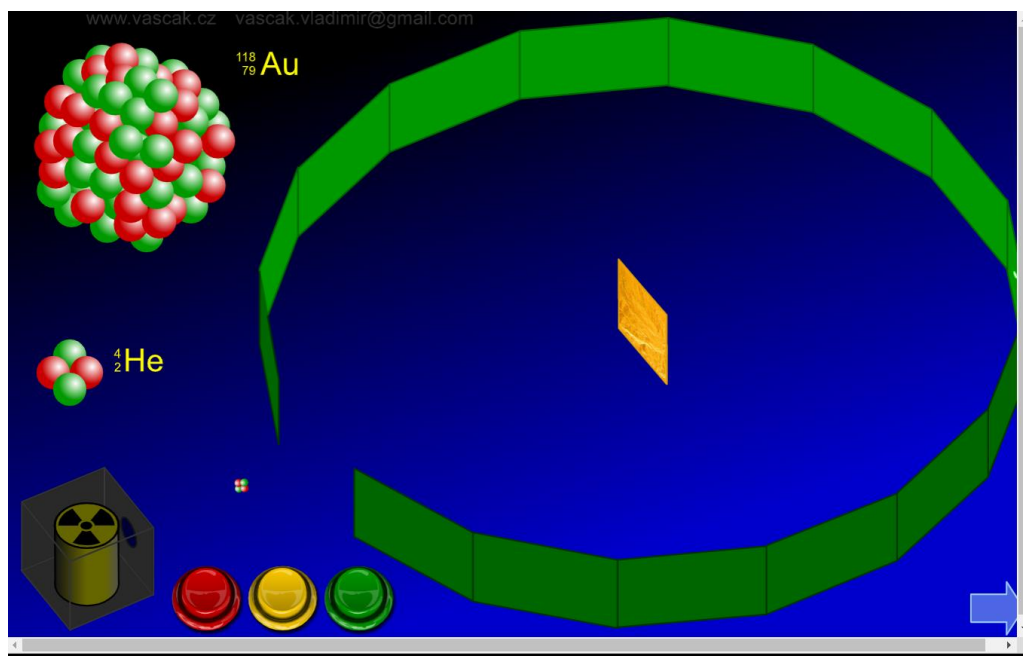
† Rutherford, 'Phil. Mag.,' vol. 12, p. 143, 1906; H. Geiger, 'Roy. Soc. Proc.,' A, vol. 81, p. 174, 1908.

**Εικόνα 13: Δημοσίευση Geiger και Marsden 1909
Πηγή Proceedings of the Royal Society**

- (I) Τον σχετικό αριθμό ανάκλασης από διάφορα μέταλλα.
(II) Τον σχετικό αριθμό ανάκλασης από μέταλλο με μεταβαλλόμενο πάχος.
(III) Το ποσοστό των α -σωματιδίων που ανακλώνται από την εισερχόμενη ακτίνα.

Αν ληφθούν υπόψη η υψηλή ταχύτητα και η μάζα του σωματιδίου α , φαίνεται εκπληκτικό ότι μερικά από τα α -σωματίδια, όπως δείχνουν τα πειράματα, μπορούν να στραφούν μέσα σε ένα στρώμα χρυσού πάχους $6 \times 10^{-5} \text{ cm}$ κατά μια γωνία 90° , και ακόμη περισσότερο. Για να παραχθεί ένα παρόμοιο αποτέλεσμα από ένα μαγνητικό πεδίο, θα απαιτείτο τεράστιο μαγνητικό πεδίο» (Geiger & Marsden, 1909)

1. Ανοίξτε την παρακάτω προσομοίωση (Εικόνα 14) και παρατηρήστε το πείραμα των Geiger και Marsden: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_rutherford&l=cz



Εικόνα 14: Προσομοίωση πειράματος Geiger-Marsden

Ο Rutherford σχολίασε αυτά τα αποτελέσματα: «Ήταν πραγματικά το πιο απίστευτο γεγονός που έχει συμβεί ποτέ στη ζωή μου. Ήταν σχεδόν τόσο απίστευτο όσο αν πυροβολούσες με ένα βλήμα 15 ιντσών ένα κομμάτι χαρτί και αυτό να επέστρεφε πίσω και να σε χτυπούσε» (Andrade, 1964).

2. Ποια είναι η σημασία των πειραμάτων για την επιστημονική γνώση;

.....
.....

3. Πώς βοηθούν οι παρατηρήσεις στην ανάπτυξη επιστημονικών θεωριών;

.....
.....

4. Ποιος είναι ο ρόλος των υποθέσεων και των θεωριών στην επιστημονική έρευνα;

.....
.....

5. Πώς συμβάλλουν οι ποσοτικές μετρήσεις στην επιστημονική έρευνα;

.....
.....

6. Πώς μπορεί η επιστημονική έρευνα να καταστήσει αναγκαία την αναθεώρηση ή την αντικατάσταση υπαρχουσών θεωριών;

.....
.....

7. Ποιος είναι ο ρόλος της επαναληψιμότητας των πειραμάτων στην επιστήμη;

.....
.....

8. Αν οι Geiger και Marsden είχαν αγνοήσει το 1 στα 8.000 οπισθοσκεδαζόμενα σωματίδια α και δεν είχαν ελέγξει αρκετές φορές τις «ασυνήθιστες αποκλίσεις» ο Rutherford θα είχε ένα σύνολο αποτελεσμάτων που θα ήταν σύμφωνα με την τρέχουσα επιστημονική σκέψη. Τι υποδηλώνει αυτό για τη σημασία της επιμονής και της προσεκτικής παρατήρησης στην επιστημονική έρευνα;

.....
.....

9. Από την εμπειρία σας στις κρούσεις σωμάτων στον μακρόκοσμο τι συμβαίνει όταν:
α. αντικείμενο μεγαλύτερης μάζας συγκρούεται με ακίνητο αντικείμενο μικρότερης μάζας;

.....
.....

β. αντικείμενο μικρότερης μάζας συγκρούεται με ακίνητο αντικείμενο μεγαλύτερης μάζας;

.....
.....

10. Σε τι συμπέρασμα θα καταλήγατε αν βρισκόσασταν στη θέση του Rutherford γνωρίζοντας ότι τα σωματίδια α είναι θετικά φορτισμένοι πυρήνες;

.....
.....

4.3.4 Το πλανητικό μοντέλο του Rutherford

Το 7ο κείμενο περιλαμβάνει αποσπάσματα από το άρθρο του Rutherford με τίτλο «*The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom*», που δημοσιεύτηκε στο «*Philosophical Magazine*» το 1911 (Εικόνα 15).

Κείμενο 7

«*Η θεωρία του Sir J. J. Thomson βασίζεται στην υπόθεση ότι η σκέδαση λόγω μιας μεμονωμένης ατομικής σύγκρουσης είναι μικρή και η συγκεκριμένη δομή που υποθέτει για το άτομο δεν επιτρέπει μια πολύ μεγάλη απόκλιση ενός σωματίου α κατά τη διέλευση από ένα μεμονωμένο άτομο, εκτός εάν υποτεθεί ότι η διάμετρος της σφαίρας που είναι θετικά φορτισμένη είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με τη διάμετρο της σφαίρας επιρροής του ατόμου.*»

LXXIX. *The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom.* By Professor E. RUTHERFORD, F.R.S., University of Manchester*.

§ 1. IT is well known that the α and β particles suffer deflexions from their rectilinear paths by encounters with atoms of matter. This scattering is far more marked for the β than for the α particle on account of the much smaller momentum and energy of the former particle. There seems to be no doubt that such swiftly moving particles pass through the atoms in their path, and that the deflexions observed are due to the strong electric field traversed within the atomic system. It has generally been supposed that the scattering of a pencil of α or β rays in passing through a thin plate of matter is the result of a multitude of small scatterings by the atoms of matter traversed. The observations, however, of Geiger and Marsden † on the scattering of α rays indicate that some of the α particles must suffer a deflexion of more than a right angle at a single encounter. They found, for example, that a small fraction of the incident α particles, about 1 in 20,000, were turned through an average angle of 90° in passing through a layer of gold-foil about 0.0004 cm. thick, which was equivalent in stopping-power of the α particle to 1.6 millimetres of air. Geiger ‡ showed later that the most probable angle of deflexion for a pencil of α particles traversing a gold-foil of this thickness was about $0^\circ.87$. A simple calculation based on the theory of probability shows that the chance of an α particle being deflected through 90° is vanishingly small. In addition, it will be seen later that the distribution of the α particles for various angles of large deflexion does not follow the probability law to be expected if such large deflexions are made up of a large number of small deviations. It seems reasonable to suppose that the deflexion through a large angle is due to a single atomic encounter, for the chance of a second encounter of a kind to produce a large deflexion must in most cases be exceedingly small. A simple calculation shows that the atom must be a seat of an intense electric field in order to produce such a large deflexion at a single encounter.

Recently Sir J. J. Thomson § has put forward a theory

* Communicated by the Author. A brief account of this paper was communicated to the Manchester Literary and Philosophical Society in February, 1911.

† Proc. Roy. Soc. lxxxii, p. 495 (1900).

‡ Proc. Roy. Soc. lxxxiii, p. 492 (1910).

§ Camb. Lit. & Phil. Soc. xv. pt. 5 (1910).

Εικόνα 15 «*The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom*»

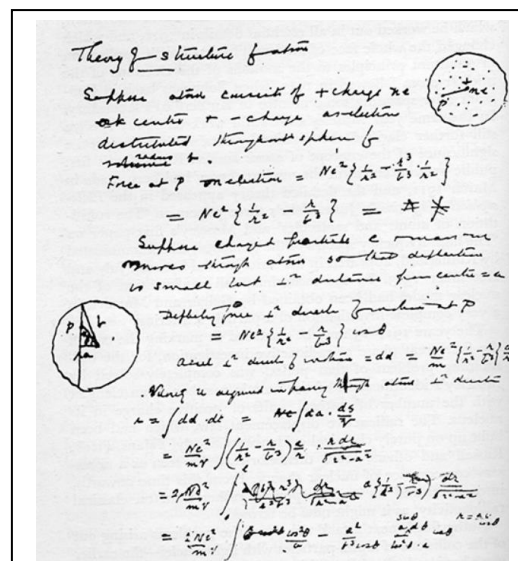
«Δεδομένου ότι τα σωματίδια α διασχίζουν το άτομο, θα πρέπει να είναι δυνατό, από μια λεπτομερή μελέτη της φύσης της απόκλισης, να σχηματίσουμε κάποια εικόνα για τη σύσταση του ατόμου, που προκαλεί τα παρατηρούμενα αποτελέσματα. Στην πραγματικότητα, η σκέδαση των ταχέως κινούμενων φορτισμένων σωματιδίων α από τα άτομα της ύλης είναι μία από τις πιο υποσχόμενες μεθόδους επίλυσης αυτού του προβλήματος. Η ανάπτυξη της μεθόδου καταμέτρησης των σπινθηρισμών των μεμονωμένων σωματιδίων α προσφέρει εξαιρετικές δυνατότητες για έρευνα, και οι έρευνες του Geiger με αυτή τη μέθοδο έχουν ήδη προσθέσει πολλά στη γνώση μας για τη σκέδαση των ακτίνων α από την ύλη.»

«Θα εξετάσουμε πρώτα θεωρητικά τις μεμονωμένες συγκρούσεις με ένα άτομο απλής δομής, το οποίο είναι σε θέση να...

Παράγουν μεγάλες αποκλίσεις ενός α σωματιδίου, και στη συνέχεια συγκρίνουν τα συμπεράσματα από τη θεωρία με τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα.

Σκεφτείτε ένα άτομο που περιέχει ένα φορτίο $+Ne$ στο κέντρο του, περιβαλλόμενο από μια σφαίρα ηλεκτρικού φορτίου που περιέχει ένα φορτίο $-Ne$, υποτιθέμενα ομοιόμορφα κατανεμημένο σε μια σφαίρα με ακτίνα R . Το e είναι η θεμελιώδης μονάδα φόρτισης,»

«Η εκτροπή των σωματιδίων α από ένα λεπτό μεταλλικό φύλλο προσφέρει μία από τις απλούστερες μεθόδους για τον έλεγχο της γενικής ορθότητας της θεωρίας. Αυτό έχει πραγματοποιηθεί πρόσφατα για τις ακτίνες α από τον Geiger, ο οποίος διαπίστωσε ότι η



Εικόνα 16: Σημειώσεις Rutherford

Μια σελίδα των πρώιμων, χωρίς ημερομηνία (1910 ή 1911), πρόχειρων σημειώσεων του Rutherford. Στις πρώτες γραμμές γράφει: "Θεωρία της δομής του ατόμου. Ας υποθέσουμε ότι το άτομο αποτελείται από $+$ φορτίο ne στο κέντρο και από $-$ φορτίο ως ηλεκτρόνιο κατανεμημένο σε όλη τη σφαίρα ακτίνας r ." Στη συνέχεια παρουσιάζει ιδέες για τον υπολογισμό της δύναμης εκτροπής σε ένα φορτισμένο σωματίδιο που διέρχεται κοντά σε αυτό το φορτισμένο κέντρο.

<https://history.aip.org/exhibits/rutherford/sections/alpha-particles-atom.html>

κατανομή για τα σωματίδια α που εκτρέπονται από ένα λεπτό φύλλο χρυσού συμφωνούνε ουσιαστικά με τη θεωρία.»

«Συγκρίνοντας τη θεωρία που περιγράφεται σε αυτό το άρθρο με τα πειραματικά αποτελέσματα, υποθέτουμε ότι το άτομο αποτελείται από μια κεντρική περιοχή που θεωρείται συγκεντρωμένο το φορτίο σε ένα σημείο και ότι οι μεγάλες αποκλίσεις των α σωματιδίων οφείλονται κυρίως στη διέλευσή τους κοντά από το ισχυρό κεντρικό φορτίο. Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ, Απρίλιος 1911.» (Rutherford, 1911)

1. Με δεδομένο ότι μέσα σε ομοιόμορφο σφαιρικό κέλυφος το πεδίο είναι παντού μηδενικό εξηγήστε γιατί κάποια λίγα σωματίδια α πλησιάζουν σε μια ελάχιστη απόσταση στον στόχο και στην συνέχεια επιστρέφουν πίσω ενώ τα περισσότερα διέρχονται σαν είναι ο χώρος κενός.

.....
.....

2. Σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Νεύτωνα, όταν η συνισταμένη των δυνάμεων που δέχεται ένα σώμα είναι διάφορη του μηδενός και το σώμα είναι αρχικά ακίνητο, τότε το σώμα:

- α) θα παραμείνει ακίνητο
- β) θα κινηθεί στην κατεύθυνση της δύναμης
- γ) θα κινηθεί σε αντίθετη κατεύθυνση από την δύναμη.

3. Ο Rutherford έζησε μετά τον Νεύτωνα. Γνωρίζοντας τον 2^ο νόμο του Νεύτωνα τι θα περίμενε να κάνουν τα ηλεκτρόνια του ατόμου αν ήταν ακίνητα;

.....
.....

4. Γνωρίζετε κάποια περίπτωση που ένα σώμα δέχεται δύναμη και παρόλα αυτά δεν κινείται στην διεύθυνση της; Ποια είναι αυτή;

.....
.....

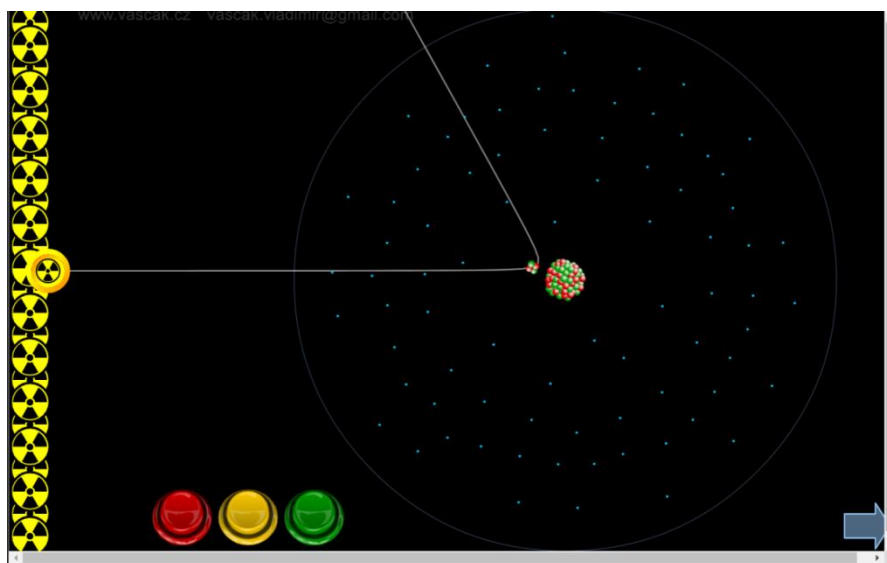
5. Ισχύει κάτι ανάλογο στο ηλιακό πλανητικό σύστημα;

.....
.....

6. Ο Rutherford σκέφτηκε ότι κάτι ανάλογο θα ισχύει και στο άτομο για αυτό το λόγο το πρότυπό του ονομάζεται καιμοντέλο, επειδή είναι σαν μια μικρογραφία του ηλιακού μας συστήματος.

7. Αφού ανοίξετε την παρακάτω προσομοίωση παρατηρείστε πως ερμηνεύεται το πείραμα των Geiger και Marsden σύμφωνα με το πρότυπο του Rutherford (Εικόνα 17).

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_rutherford&l=cz



Εικόνα 17: Προσομοίωση σκέδασης σωματιδίου α από πυρήνα χρυσού

4.3.5 Ατομικά φάσματα αερίων

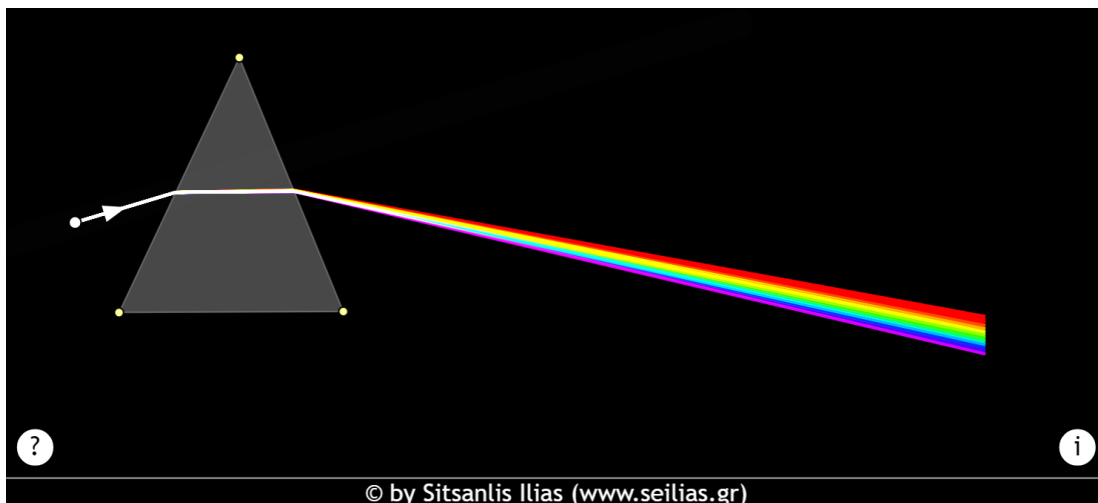
Τα ατομικά φάσματα των αερίων αποτελούν ένα κρίσιμο εργαλείο για την κατανόηση της δομής των ατόμων. Μέσω της παρατήρησης φασμάτων εκπομπής και απορρόφησης, μπορούμε να αναγνωρίσουμε τα στοιχεία και να μελετήσουμε τις ενεργειακές τους καταστάσεις. Αυτή η δραστηριότητα θα σας βοηθήσει να εξερευνήσετε και να κατανοήσετε τα φάσματα διαφορετικών αερίων.

Συνεχές φάσμα λευκού φωτός

Επισκεφτείτε την παρακάτω σελίδα

<https://www.seilias.gr/images/stories/html5/prisma.html> και παρατηρήστε το φάσμα του λευκού φωτός (Εικόνα 18).

1. Τι παρατηρείτε για το φάσμα του, είναι συνεχές ή γραμμικό (διακόπτεται από σκοτεινές γραμμές) ;



Εικόνα 18: Προσομοίωση ανάλυσης λευκού φωτός

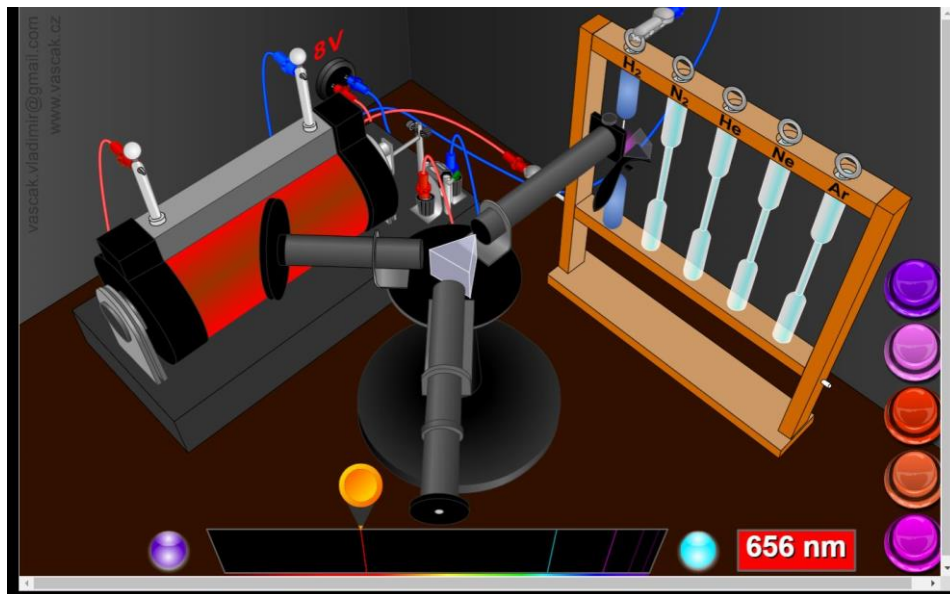
Απαντήστε σε συνεργασία στις ακόλουθες ερωτήσεις:

2. Αν αντί για το λευκό φως αναλύαμε το φως που προέρχεται από ένα σωλήνα που περιέχει κάποιο αέριο, το φάσμα θα ήταν πάλι συνεχές;

.....
3. Αν αλλάζαμε το είδος του αερίου στο εσωτερικό του σωλήνα, το φάσμα που θα παίρναμε θα ήταν ίδιο με το προηγούμενο;

.....
4. Επισκεφτείτε την παρακάτω σελίδα (Εικόνα 19):

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_spektrosko_p&l=cz



Εικόνα 19: Προσομοίωση φασμάτων εκπομπής αερίων

α. Παρατηρείστε το φάσμα του αερίου υδρογόνου H_2 . Είναι το φάσμα του είναι συνεχές ή γραμμικό;

.....
β. Στην συνέχεια, τι παρατηρείτε αλλάζοντας το είδος του αερίου διαδοχικά από υδρογόνο (H_2) σε άζωτο (N_2), ήλιο (He), νέο (Ne) και αργό (Ar);

.....
5. Με βάση τις παρατηρήσεις σας ποιές από τις προηγούμενες προβλέψεις σας επαληθεύονται;

Όπως ο κάθε άνθρωπος έχει τα δικά του δακτυλικά αποτυπώματα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώρισή του και τη διάκρισή του από τους άλλους ανθρώπους, έτσι και το κάθε αέριο έχει το δικό του μοναδικό φάσμα, τη δική του χαρακτηριστική «φασματική υπογραφή» (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Δακτυλική και φασματική «υπογραφή»

Εκτός από τα φάσματα εκπομπής υπάρχουν και τα φάσματα απορρόφησης. Όταν στέλνουμε λευκό φως μέσα από ένα αέριο και το αναλύουμε μετά με ένα φασματοσκόπιο, τότε παίρνουμε το φάσμα απορρόφησης.

6. Τι περιμένετε να είναι το φάσμα απορρόφησης του αερίου: συνεχές ή γραμμικό;

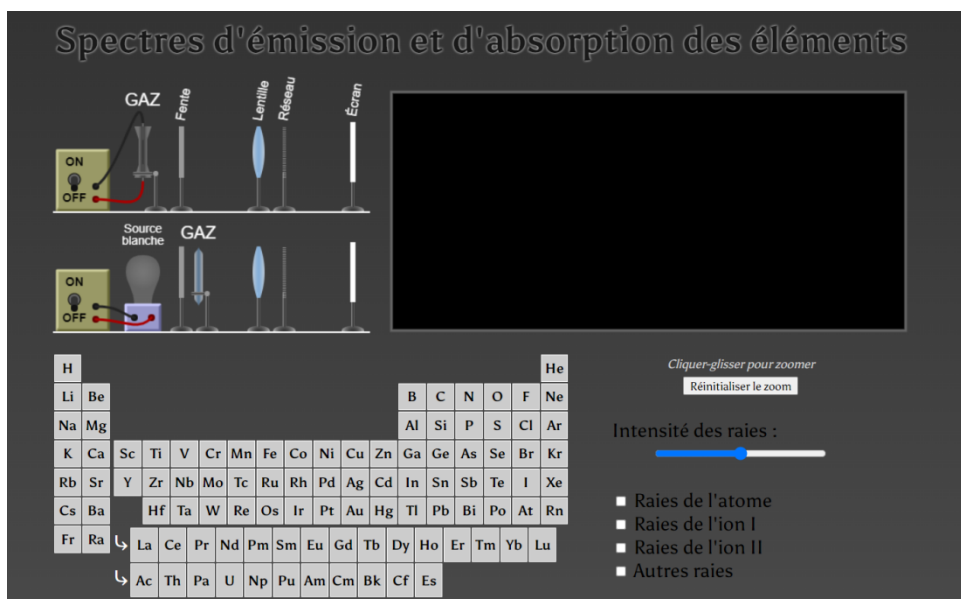
.....
.....

7. Θα παρουσιάζει κάποια διαφορά με το γραμμικό φάσμα εκπομπής που είδατε παραπάνω;

.....

8. Επισκεφτείτε την παρακάτω σελίδα (Εικόνα 21):

https://physique.ostalo.net/spectre_em_abs/



Εικόνα 21: Προσομοίωση φασμάτων εκπομπής

Από τον περιοδικό πίνακα επιλέξτε το υδρογόνο (H).

Στην επάνω πειραματική διάταξη μετακινήστε τον διακόπτη στη θέση «on».

α. Πώς ονομάζεται η εικόνα που παίρνουμε;

.....
.....

β. Στην κάτω πειραματική διάταξη, μετακινώντας τον διακόπτη στη θέση «on», αρχίζει η λάμπα να εκπέμπει λευκό φως το οποίο πριν το αναλύσουμε διέρχεται από ένα σωλήνα που περιέχει αέριο υδρογόνο. Ποιά διαφορά και ποιά ομοιότητα παρατηρείται με το φάσμα εκπομπής του;

.....
.....

γ. Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με το ήλιο (He). Τι παρατηρείτε;

.....
.....

9. Με βάση τις παρατηρήσεις σας ποιές από τις προηγούμενες προβλέψεις σας επαληθεύονται;

.....
.....

10. Το αέριο μπορεί να απορροφά και άλλες ακτινοβολίες εκτός από αυτές που εκπέμπει;

.....
.....

11. Αν γνωρίζετε το φάσμα εκπομπής ενός αερίου μπορείτε να προβλέψετε το φάσμα απορρόφησής του;

.....
.....

12. Συμπληρώστε τις παρακάτω προτάσεις ώστε αυτές να είναι επιστημονικά ορθές:

Τα φάσματα εκπομπής ή ενός αερίου αποτελούνται από ορισμένες φασματικές γραμμές που είναι του αερίου. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μήκος κύματος και σε συχνότητα. Κάθε σκοτεινή γραμμή του φάσματος του αερίου συμπίπτει με μια φωτεινή γραμμή του φάσματος Κάθε αέριο απορροφά τις ακτινοβολίες που μπορεί να εκπέμπει.

4.3.6 Το ατομικό μοντέλο του Bohr

Το ατομικό μοντέλο του Bohr αποτέλεσε μια επανάσταση στην κατανόηση της δομής των ατόμων. Βασισμένο στις παρατηρήσεις του Rutherford και επεκτείνοντας τις έννοιες της κβαντικής θεωρίας, το μοντέλο αυτό προσέφερε εξηγήσεις για τα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης των στοιχείων, ενώ έθεσε τα θεμέλια για την εξέλιξη της σύγχρονης κβαντικής μηχανικής. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τις βασικές υποθέσεις του μοντέλου του Bohr και θα διερευνήσουμε τη σημασία του μέσα από τα κείμενα και τις ασκήσεις που ακολουθούν.

Ακολουθούν αποσπάσματα από τα δημοσίευση του Bohr στο *Philosophical Magazine* το 1913 (Εικόνα 22).

Κείμενο 8

«Για να εξηγήσει τα αποτελέσματα των πειραμάτων για τη σκέδαση ακτίνων α από την ύλη, ο καθηγητής Rutherford έδωσε μια θεωρία της δομής των ατόμων. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, τα άτομα αποτελούνται από έναν θετικά φορτισμένο πυρήνα που περιβάλλεται από ένα σύστημα ηλεκτρονίων που διατηρούνται μαζί λόγω της ελκτικής δύναμης που δέχονται από τον πυρήνα. Το συνολικό αρνητικό φορτίο των ηλεκτρονίων είναι ίσο με το θετικό φορτίο του πυρήνα. Επιπλέον, στον πυρήνα θεωρείται ότι είναι συγκεντρωμένη σχεδόν όλη η μάζα του ατόμου και ότι οι διαστάσεις του είναι εξαιρετικά μικρές σε σύγκριση με τις διαστάσεις ολόκληρου του ατόμου. Μεγάλο ενδιαφέρον πρέπει να αποδοθεί σε αυτό το μοντέλο ατόμου, διότι όπως έδειξε ο Rutherford, η υπόθεση της ύπαρξης πυρήνων φαίνεται να είναι απαραίτητη προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα των πειραμάτων σχετικά με τη σκέδαση των ακτίνων α σε μεγάλη γωνία» (Bohr, 1913)

1. Πώς η θεωρία του Rutherford για τη δομή των ατόμων αλλάζει την κατανόησή μας για τη φύση της ύλης;

.....
.....

2. Ποιος είναι ο ρόλος των πειραμάτων σκέδασης σωματιδίων α στην ανάπτυξη της επιστήμης;

.....
.....

THE
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENCE.

[SIXTH SERIES.]

JULY 1913.

I. *On the Constitution of Atoms and Molecules.*
By N. BOHR, Dr. phil. Copenhagen*.

Introduction.

IN order to explain the results of experiments on scattering of α rays by matter Prof. Rutherford† has given a theory of the structure of atoms. According to this theory, the atoms consist of a positively charged nucleus surrounded by a system of electrons kept together by attractive forces from the nucleus; the total negative charge of the electrons is equal to the positive charge of the nucleus. Further, the nucleus is assumed to be the seat of the essential part of the mass of the atom, and to have linear dimensions exceedingly small compared with the linear dimensions of the whole atom. The number of electrons in an atom is deduced to be approximately equal to half the atomic weight. Great interest is to be attributed to this atom-model; for, as Rutherford has shown, the assumption of the existence of nuclei, as those in question, seems to be necessary in order to account for the results of the experiments on large angle scattering of the α rays‡.

In an attempt to explain some of the properties of matter on the basis of this atom-model we meet, however, with difficulties of a serious nature arising from the apparent

* Communicated by Prof. E. Rutherford, F.R.S.

† E. Rutherford, Phil. Mag. xxi. p. 669 (1911).

‡ See also Geiger and Marsden, Phil. Mag. April 1913.

Phil. Mag. S. 6. Vol. 26. No. 151. July 1913. B

Εικόνα 22: Δημοσίευση Bohr (1913) στο Philosophical Magazine

Κείμενο 9

«Σε μια προσπάθεια να εξηγήσουμε ορισμένες από τις ιδιότητες της ύλης με βάση αυτό το μοντέλο ατόμου, συναντάμε σοβαρές δυσκολίες που προκύπτουν από την εμφανή αστάθεια του συστήματος των ηλεκτρονίων, δυσκολίες που αποφεύχθηκαν σκόπιμα στα μοντέλα ατόμου που εξετάστηκαν προηγουμένως, όπως για παράδειγμα στο μοντέλο που προτάθηκε από τον Thomson. Σύμφωνα με τη θεωρία του τελευταίου, το άτομο αποτελείται από μια σφαίρα ομοιόμορφης κατανομής θετικού φορτίου, μέσα στην οποία τα ηλεκτρόνια κινούνται σε κυκλικές τροχιές. Η βασική διαφορά μεταξύ των μοντέλων ατόμου που προτάθηκαν από τους Thomson και Rutherford έγκειται στο γεγονός ότι οι δυνάμεις που δρουν στα ηλεκτρόνια στο ατομικό μοντέλο του Thomson επιτρέπουν ορισμένες διαμορφώσεις και κινήσεις των ηλεκτρονίων για τις οποίες το σύστημα είναι σε σταθερή ισορροπία. Ωστόσο, τέτοιες διαμορφώσεις δεν φαίνεται να υπάρχουν για το ατομικό μοντέλο του Rutherford. Η φύση της διαφοράς αυτής ίσως είναι πιο ξεκάθαρη όταν παρατηρήσουμε ότι μεταξύ των μεγεθών που χαρακτηρίζουν το πρώτο μοντέλο εμφανίζεται ένα μέγεθος - η ακτίνα της θετικής σφαίρας - με διαστάσεις μήκους και τάξης μεγέθους ίδια με τη γραμμική επέκταση του ατόμου, ενώ τέτοιο μήκος δεν εμφανίζεται μεταξύ των μεγεθών που χαρακτηρίζουν το δεύτερο μοντέλο, δηλαδή το ηλεκτρικό φορτίο και τη μάζα των ηλεκτρονίων και το θετικό πυρήνα, ούτε μπορεί να προσδιοριστεί μόνο με βοήθεια αυτών των μεγεθών.

Ο τρόπος με τον οποίο εξετάζεται ένα πρόβλημα τέτοιου είδους έχει ωστόσο υποστεί ουσιαστικές αλλαγές τα τελευταία χρόνια λόγω της ανάπτυξης της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας και της άμεσης επιβεβαίωσης των νέων υποθέσεων που εισήχθησαν σε αυτήν τη θεωρία, που βρέθηκαν μέσω πειραμάτων.... κ.λπ. Το αποτέλεσμα της συζήτησης αυτών των θεμάτων φαίνεται να είναι η γενική αναγνώριση της ανεπάρκειας της κλασικής ηλεκτροδυναμικής στην περιγραφή της συμπεριφοράς των συστημάτων ατομικού μεγέθους. Όποια και αν είναι η αλλαγή στους νόμους κίνησης των ηλεκτρονίων, φαίνεται απαραίτητο να εισαχθεί στους εν λόγω νόμους μια άγνωστη ποσότητα προς την κλασική ηλεκτροδυναμική, η σταθερά του Planck ή όπως συχνά αποκαλείται το στοιχειώδες κβάντο δράσης. Με την εισαγωγή αυτής της ποσότητας το ζήτημα της σταθερής κατανομής των ηλεκτρονίων στα άτομα αλλάζει ουσιαστικά, καθώς αυτή η σταθερά έχει τέτοιες διαστάσεις και μέγεθος, που μαζί με τη μάζα και το φορτίο των σωματιδίων, μπορεί να καθορίσει ένα μήκος της τάξης μεγέθους που απαιτείται.

Αυτό το άρθρο είναι μια προσπάθεια να δείξουμε ότι η εφαρμογή των παραπάνω ιδεών στο ατομικό μοντέλο του Rutherford παρέχει μια βάση για μια θεωρία της σύστασης των ατόμων. Θα δείξουμε επίσης ότι από αυτήν τη θεωρία οδηγούμαστε σε μια θεωρία της σύστασης των μορίων. Στο πρώτο μέρος του άρθρου συζητείται ο μηχανισμός της δέσμευσης των ηλεκτρονίων από ένα θετικό πυρήνα σε σχέση με τη θεωρία του Planck. Θα δείξουμε ότι από την οπτική γωνία που υιοθετούμε είναι δυνατόν να εξηγηθεί με απλό τρόπο το γραμμικό φάσμα του υδρογόνου.

Θέλω εδώ να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή Rutherford για τον ευγενικό και ενθαρρυντικό του ενδιαφέρον για αυτό το έργο.» (Bohr, 1913)

1. Ποιά είναι η βασική διαφορά μεταξύ των μοντέλων ατόμου του Thomson και του Rutherford, όπως περιγράφονται στο άρθρο του Bohr;

.....
.....

2. Σύμφωνα με το κείμενο, ποιές σημαντικές αλλαγές έχουν συμβεί στην κατανόηση των ατομικών συστημάτων τα τελευταία χρόνια και τι ρόλο παίζει η σταθερά Planck σε αυτές τις νέες θεωρίες;

.....
.....

3. Ποια είναι η σημασία του γραμμικού φάσματος του υδρογόνου;

.....
.....

4. Γιατί πιστεύετε ότι ο Bohr ευχαριστεί τον καθηγητή Rutherford;

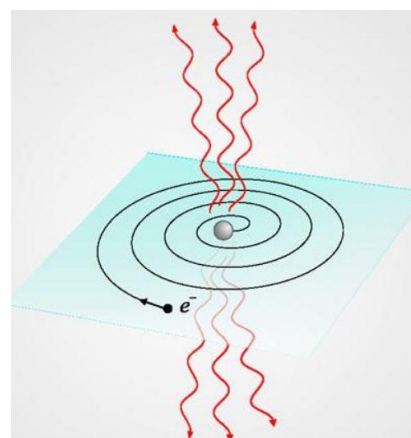
.....
.....

5. Όταν ένα σώμα εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση η ταχύτητά του παραμένει σταθερή; Αν όχι τι αποκτά το σώμα;

.....
.....

6. Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία κάθε επιταχυνόμενο φορτίο εκπέμπει ακτινοβολία. Στο μοντέλο του Rutherford τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται σε κυκλική τροχιά γύρω από τον πυρήνα, επομένως τι θα έκανε κάθε ηλεκτρόνιο του ατόμου (Εικόνα 23);

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



Εικόνα 23 Σπειροειδή τροχιά ηλεκτρονίου

7. Εφόσον το ηλεκτρόνιο χάνει ενέργεια η ακτίνα της κυκλικής του τροχιάς αυξάνεται, μειώνεται ή παραμένει σταθερή;

.....
.....

8. Σύμφωνα με το μοντέλο του Rutherford τα άτομα θα έπρεπε να εκπέμπουν συνεχές ή γραμμικό φάσμα;

.....
.....

Κείμενο 10

«Η ανεπάρκεια της κλασικής ηλεκτροδυναμικής στην εξήγηση των ιδιοτήτων των ατόμων όπως του Rutherford, γίνεται ξεκάθαρη αν θεωρήσουμε ένα σύστημα που αποτελείται από ένα θετικά φορτισμένο πυρήνα με πολύ μικρές διαστάσεις και ένα ηλεκτρόνιο που περιγράφει κλειστές τροχιές γύρω από αυτόν. Για απλότητα, ας υποθέσουμε ότι η μάζα του ηλεκτρονίου είναι αμελητέα σε σύγκριση με εκείνη του πυρήνα και επιπλέον, ότι η ταχύτητα του ηλεκτρονίου είναι μικρή σε σύγκριση με εκείνη του φωτός. Σε αυτήν την περίπτωση, το ηλεκτρόνιο δεν θα διαγράφει πλέον σταθερές τροχιές. Η ενέργεια θα αυξάνεται συνεχώς και το ηλεκτρόνιο θα πλησιάζει τον πυρήνα, διαγράφοντας ελλειπτικές τροχιές μικρότερων διαστάσεων και με μεγαλύτερη συχνότητα. Αυτή η διαδικασία θα συνεχιστεί μέχρι οι διαστάσεις της τροχιάς να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τις διαστάσεις του ηλεκτρονίου

ή του πυρήνα. Είναι προφανές ότι η συμπεριφορά ενός τέτοιου συστήματος είναι πολύ διαφορετική από εκείνη ενός ατομικού συστήματος που υπάρχει στη φύση. Πρώτον, τα πραγματικά άτομα στη στάσιμη κατάστασή τους φαίνεται να έχουν απολύτως σταθερές διαστάσεις και συχνότητες περιστροφής. Περαιτέρω, εάν λάβουμε υπόψη οποιαδήποτε μοριακή διαδικασία, το αποτέλεσμα φαίνεται πάντα να είναι ότι μετά την ακτινοβολία μιας ορισμένης ποσότητας ενεργειακής χαρακτηριστικής για τα εν λόγω συστήματα, το σύστημα θα ηρεμήσει και πάλι σε μια στάσιμη κατάσταση ισορροπίας....

Η ποσότητα ενέργειας που εκπέμπεται κατά τη μετάβαση του συστήματος από μια κατάσταση που αντιστοιχεί σε τροχιά ακτίνας r_2 σε τροχιά ακτίνας r_1 θα είναι ίση με $E_{r_2} - E_{r_1} = hf$, όπου h η σταθερά του Planck και f η συχνότητα της.

Η συμφωνία μεταξύ των θεωρητικών και των πειραματικών τιμών βρίσκεται εντός της αβεβαιότητας που οφείλεται σε πειραματικά σφάλματα στις σταθερές που εισάγονται στην έκφραση για τη θεωρητική τιμή. Θα επανέλθουμε σύντομα για να εξετάσουμε τη σημαντικότητα αυτής της συμφωνίας.» (Bohr, 1913)

1. Ποιο είναι το πρόβλημα της κλασικής ηλεκτροδυναμικής στην εξήγηση της σταθερότητας των ατομικών συστημάτων;

.....

2. Πώς η θεωρία του Bohr προτείνει λύση στο πρόβλημα της σταθερότητας των ατόμων;

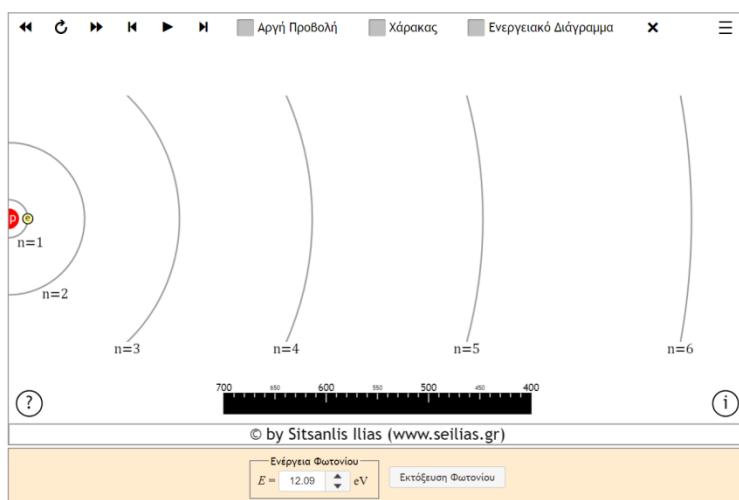
.....

3. Συμφωνεί η θεωρία του Bohr με τις πειραματικές παρατηρήσεις;

.....

4. Ανοίξτε την παρακάτω προσομοίωση (Εικόνα 24):

<https://www.seilias.gr/images/stories/html5/Bohr.html>



Εικόνα 24: Προσομοίωση διέγερσης



Εικόνα 25: Προσομοίωση ενεργειακού διαγράμματος ατόμου υδρογόνου

Επιλέξτε το ενεργειακό διάγραμμα. Τώρα βλέπετε τις τιμές των ενεργειακών καταστάσεων του ατόμου του υδρογόνου (Εικόνα 25).

α. Πώς μπορείτε να υπολογίσετε την ενέργεια που απαιτείται για να μεταβεί το ηλεκτρόνιο από μια κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας σε μια κατάσταση υψηλότερης;

.....

Αυτή η ενέργεια ονομάζεται ενέργεια διέγερσης.

β. Υπολογίστε την ενέργεια διέγερσης από την $n = 1$ στη $n = 2$ και από την $n = 1$ στη $n = 3$.

$$E_2 - E_1 = \dots\dots\dots$$

$$E_3 - E_1 = \dots\dots\dots$$

γ. Τις παραπάνω τιμές μπορείτε να τις υπολογίσετε σέρνοντας το ηλεκτρόνιο και μεταφέροντας το στην ενεργειακή κατάσταση που θέλετε. Επιβεβαιώστε τις τιμές που βρήκατε στο προηγούμενο ερώτημα με αυτόν τον τρόπο.

$$E_2 - E_1 = \dots\dots\dots$$

$$E_3 - E_1 = \dots\dots\dots$$

δ. Αφού μεταφέρετε το ηλεκτρόνιο από την $n = 1$ στη $n = 2$ πατήστε το κουμπί έναρξης. Όπως θα παρατηρήσετε το ηλεκτρόνιο μετά από λίγο επιστρέφει στη $n = 1$ εκπέμποντας ένα φωτόνιο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αποδιέγερση. Πόση είναι η ενέργεια του φωτονίου που εκπέμπεται;

.....
.....

Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία από την $n = 1$ στη $n = 3$. Πόση είναι η ενέργεια του φωτονίου που εκπέμπεται;

.....
.....

Συμφωνούν τα αποτελέσματά σας με τον ισχυρισμό του Bohr: «*Η ποσότητα ενέργειας που εκπέμπεται κατά τη μετάβαση του συστήματος από μια κατάσταση που αντιστοιχεί σε τροχιά ακτίνας r_2 σε τροχιά ακτίνας r_1 θα είναι ίση με $E_{r_2} - E_{r_1} = hf = E_{\text{φωτ}}$ » ;*

.....
.....

Κείμενο 11

«...είναι απαραίτητο να εισαχθούν υποθέσεις σχετικά με τον μηχανισμό απορρόφησης της ακτινοβολίας που αντιστοιχούν σε αυτές που χρησιμοποιήσαμε λαμβάνοντας υπόψη την εκπομπή. Επομένως, πρέπει να υποθέσουμε ότι ένα σύστημα που αποτελείται από έναν πυρήνα και ένα ηλεκτρόνιο που περιστρέφεται γύρω του, υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να απορροφήσει ακτινοβολία συχνότητας ίσης με τη συχνότητα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της μετάβασης του συστήματος μεταξύ διαφορετικών στάσιμων καταστάσεων. Αυτές οι υποθέσεις φαίνεται να συμφωνούν με τα πειράματα απορρόφησης στα αέρια. ...» (Bohr, 1913)

1. Σύμφωνα με το παραπάνω κείμενο ποιος είναι ο μηχανισμός απορρόφησης ακτινοβολίας;

.....
.....

2. Επιβεβαιώνονται οι υποθέσεις αυτές πειραματικά;

.....
.....

3. Για να διεγερθεί το άτομο από την $n = 1$ στη $n = 2$ απαιτείται ενέργεια $E_{\delta(1 \rightarrow 2)} = 10,2eV$ και από την $n = 1$ στη $n = 3$ $E_{\delta(1 \rightarrow 3)} = 12,09eV$.

Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί αν στο άτομο αυτό πέσει φωτόνιο με ενέργεια

α. $E_{\phi} = 10,1eV$;

.....
.....

β. $E_{\phi} = 10,2eV$;

.....
.....

γ. $E_{\phi} = 10,3eV$;

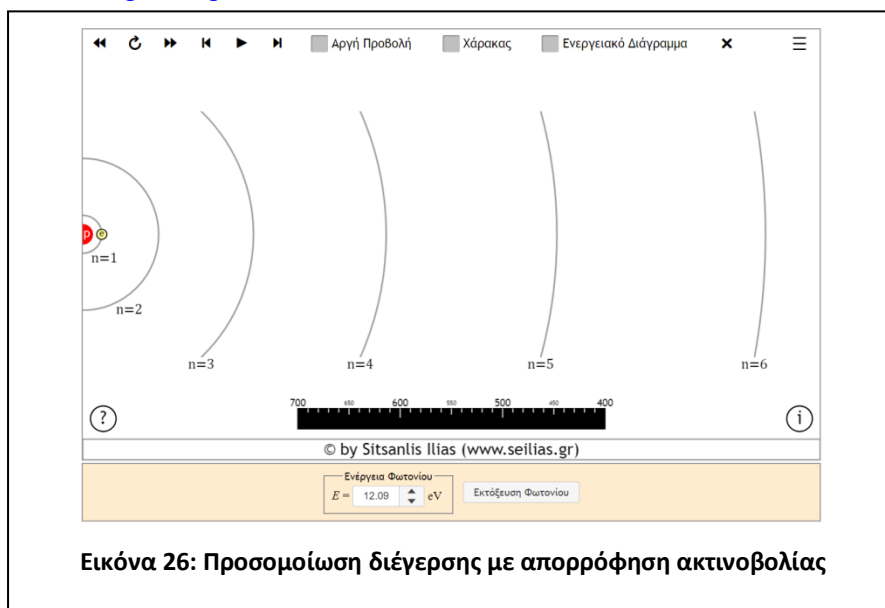
.....
.....

δ. $E_{\phi} = 12,09eV$

.....
.....

4. Ανοίξτε την παρακάτω προσομοίωση (Εικόνα 26):

<https://www.seilias.gr/images/stories/html5/Bohr.html>



Εικόνα 26: Προσομοίωση διέγερσης με απορρόφηση ακτινοβολίας

α. Δώστε στο φωτόνιο ενέργεια $10,1eV$ και στη συνέχεια πατήστε εκτόξευση φωτονίου.
Τι παρατηρείτε;

.....
.....

β. Ανανεώσετε την σελίδα και επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με ενέργεια φωτονίου
τώρα $10,2eV$. Τι παρατηρείτε;

.....
.....

γ. Ανανεώσετε την σελίδα και επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με ενέργεια φωτονίου
τώρα $10,3eV$. Τι παρατηρείτε;

.....
.....

δ. Ανανεώσετε την σελίδα και επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με ενέργεια φωτονίου
τώρα $12,09eV$. Τι παρατηρείτε;

.....
.....

ε. Συμφωνούν οι παρατηρήσεις σας με τις απαντήσεις που δώσατε στην προηγούμενη
ερώτηση;

.....
.....

5. Συμπληρώστε τα κενά στην παρακάτω πρόταση: Διέγερση ενός ατόμου ονομάζεται η
μετάβαση του από μια κατάσταση ενέργειας σε μία κατάσταση
ενέργειας.

6. Στη διέγερση ατόμου με απορρόφηση ακτινοβολίας από μια κατάσταση σε μια άλλη θα
πρέπει το φωτόνιο να έχει ενέργεια:

α. μικρότερη από την ενέργεια που απαιτείται για τη μετάβαση από τη μια κατάσταση
στην άλλη

β. ίση την ενέργεια που απαιτείται για τη μετάβαση από τη μια κατάσταση στην άλλη

γ. μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για τη μετάβαση από τη μια κατάσταση
στην άλλη

Ποια από τις παραπάνω προτάσεις είναι σωστή;

Κείμενο 12

«Πειράματα σχετικά με τα φαινόμενα των ακτίνων X υποδεικνύουν ότι όχι μόνο η εκπομπή αλλά και η απορρόφηση της ακτινοβολίας δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη βοήθεια της κλασικής ηλεκτροδυναμικής, αλλά ούτε και το αποτέλεσμα μιας σύγκρουσης μεταξύ δύο ηλεκτρονίων, από τα οποία το ένα είναι δεσμευμένο σε ένα άτομο. Αυτό γίνεται ίσως πιο ξεκάθαρο από ορισμένους υπολογισμούς σχετικά με την ενέργεια των σωματιδίων β (ηλεκτρόνια) που εκπέμπονται από ραδιενεργές ουσίες που δημοσιεύθηκαν πρόσφατα από τον Rutherford. Αυτοί οι υπολογισμοί υποδηλώνουν ισχυρά ότι ένα ηλεκτρόνιο με μεγάλη ταχύτητα, περνώντας μέσα από ένα άτομο συγκρούεται με τα δεσμευμένα ηλεκτρόνια, θα χάσει ενέργεια σε διακριτά ποσά (*quanta*). Όπως φαίνεται αμέσως, αυτό είναι πολύ διαφορετικό από αυτό που θα περιμέναμε αν το αποτέλεσμα των συγκρούσεων διέπεται από τους συνήθεις μηχανικούς νόμους. Η αποτυχία της κλασικής ηλεκτροδυναμικής σε ένα τέτοιο πρόβλημα θα μπορούσε επίσης να αναμένεται εκ των προτέρων από την απουσία οτιδήποτε παρόμοιου με την κατανομή της κινητικής ενέργειας μεταξύ των ελεύθερων ηλεκτρονίων και των δεσμευμένων ηλεκτρονίων σε άτομα.....

«Από την σκοπιά των "μηχανικών" καταστάσεων, βλέπουμε ωστόσο ότι η υπόθεση αυτή είναι σε θέση να εξηγήσει το αποτέλεσμα του υπολογισμού του Rutherford και την απουσία ισοκατανομής κινητικής ενέργειας: δύο συγκρούμενα ηλεκτρόνια, δεσμευμένα ή ελεύθερα, θα βρίσκονται, μετά τη σύγκρουση, όπως και πριν, σε μηχανικές καταστάσεις. Προφανώς, η εισαγωγή μιας τέτοιας υπόθεσης δεν θα απαιτούσε καμία αλλαγή στην κλασική αντιμετώπιση μιας σύγκρουσης μεταξύ δύο ελεύθερων σωματιδίων. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη μια σύγκρουση μεταξύ ενός ελεύθερου και ενός δεσμευμένου ηλεκτρονίου, το δεσμευμένο ηλεκτρόνιο δεν θα μπορούσε να αποκτήσει από τη σύγκρουση λιγότερη ενέργεια από τη διαφορά ενέργειας που αντιστοιχεί σε διαδοχικές σταθερές καταστάσεις και, συνεπώς, το ελεύθερο ηλεκτρόνιο που συγκρούεται με αυτό δεν θα μπορούσε να χάσει λιγότερη ενέργεια. Ο προκαταρκτικός και υποθετικός χαρακτήρας των παραπάνω σκέψεων δεν χρειάζεται να τονιστεί. Ωστόσο, η πρόθεση ήταν να δείξει ότι η γενίκευση της θεωρίας των στάσιμων καταστάσεων μπορεί ενδεχομένως να προσφέρει μια απλή βάση για την αναπαράσταση μιας σειράς πειραματικών γεγονότων τα οποία δεν μπορούν να εξηγηθούν με τη βοήθεια της κλασικής ηλεκτροδυναμικής, και ότι οι υποθέσεις που χρησιμοποιήθηκαν δεν

φαίνεται να είναι ασυνεπείς με τα πειράματα για τα οποία έχει δοθεί ικανοποιητική εξήγηση από την κλασική μηχανική και την κυματική θεωρία του φωτός.» (Bohr, 1913)

1. Ποιο είναι το κύριο ζήτημα που προκύπτει από τα πειράματα με τις ακτίνες X σύμφωνα με το κείμενο;

.....
.....

2. Πώς οι δημοσιεύσεις του Rutherford συμβάλλουν στη διαπίστωση αυτή;

.....
.....

3. Ποια είναι η βασική υπόθεση που εξετάζει ο Bohr για την εξήγηση των παρατηρούμενων φαινομένων;

.....
.....

4. Γιατί ο Bohr θεωρεί ότι οι νέες υποθέσεις του δεν είναι ασυνεπείς με την κλασική μηχανική και την κυματική θεωρία του φωτός;

.....
.....

Κείμενο 13

«θα μπορούσαμε τώρα να αναμένουμε τη δυνατότητα απορρόφησης ακτινοβολίας, όχι μόνο αντιστοιχώντας στη μετάβαση του συστήματος μεταξύ δύο διαφορετικών στάσιμων καταστάσεων, αλλά επίσης αντιστοιχώντας στη μετάβαση μεταξύ μίας από τις στάσιμες καταστάσεις και μιας κατάστασης στην οποία το ηλεκτρόνιο είναι ελεύθερο. Όπως παραπάνω, θα μπορούσαμε να αναμένουμε ότι η συχνότητα αυτής της ακτινοβολίας καθορίζεται από την εξίσωση $E=hn$, όπου E είναι η διαφορά μεταξύ της συνολικής ενέργειας του συστήματος στις δύο καταστάσεις. Όπως θα φανεί, τέτοια απορρόφηση ακτινοβολίας είναι ακριβώς αυτό που παρατηρείται σε πειράματα ιονισμού...» (Bohr, 1913)

1. Ιονισμός ενός ατόμου ονομάζεται η μετάβαση του ηλεκτρονίου του ατόμου:

- α. σε τροχιά χαμηλότερης ενέργειας
- β. σε τροχιά υψηλότερης ενέργειας
- γ. σε τροχιά εκτός του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα

2. Η ενέργεια του ατόμου του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση ($n = 1$) είναι $E_1 = -13,6 \text{ eV}$.

α. Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί αν στο άτομο αυτό πέσει φωτόνιο με ενέργεια $E_\varphi = 13,6\text{eV}$;

.....

.....

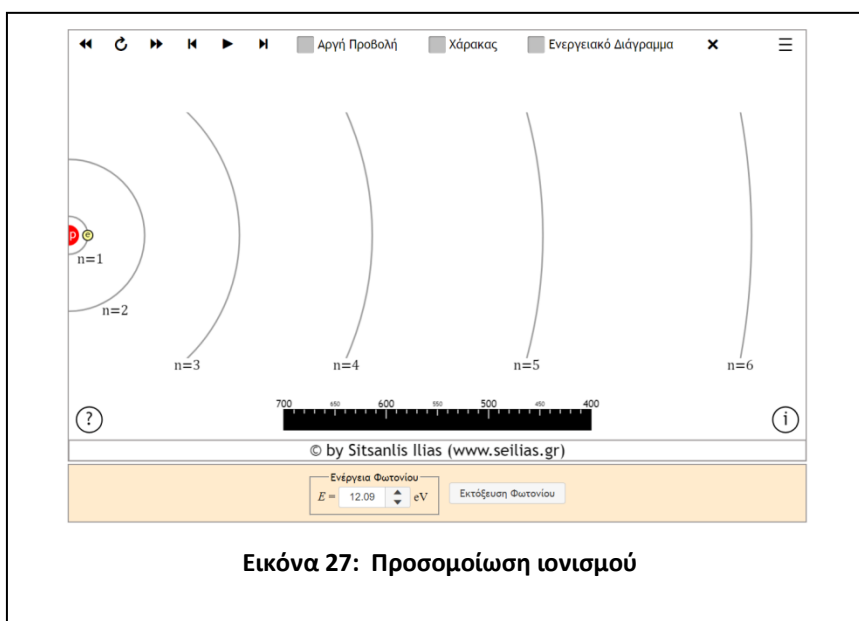
β. Αν το φωτόνιο έχει ενέργεια $13,7\text{eV}$;

.....

.....

3. Ανοίξτε την παρακάτω προσομοίωση (Εικόνα 27):

<https://www.seilias.gr/images/stories/html5/Bohr.html>



Εικόνα 27: Προσομοίωση ιονισμού

α. Δώστε στο φωτόνιο ενέργεια $13,6eV$ και στη συνέχεια πατήστε εκτόξευση φωτονίου. Τι παρατηρείτε;

.....
.....

β. Αφού ανανεώσετε την σελίδα επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με ενέργεια φωτονίου τώρα $13,7eV$. Τι παρατηρείτε;

.....
.....

Κείμενο 14

«... οδηγούμαστε στην ακόλουθη απλή γενίκευση "Σε ένα άτομο που αποτελείται από θετικούς πυρήνες και ηλεκτρόνια, στο οποίο οι πυρήνες είναι ακίνητοι και τα ηλεκτρόνια κινούνται σε κυκλικές τροχιές, η στροφορμή του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα σε μια στάσιμη κατάσταση του συστήματος είναι ίση με έναν ακέραιο πολλαπλάσιο μιας σταθερής ποσότητας ($\frac{h}{2\pi}$ όπου h η σταθερά του Planck), ανεξάρτητης από το φορτίο του πυρήνα.

Όπως αναφέρεται στην εισαγωγή, η παραπάνω υπόθεση θα χρησιμοποιηθεί σε μια επόμενη επικοινωνία ως βάση για μια θεωρία της σύστασης των ατόμων. Θα δειχθεί ότι οδηγεί σε αποτελέσματα τα οποία φαίνεται να είναι σύμφωνα με πειράματα σε διάφορα φαινόμενα.

Το θεμέλιο της υπόθεσης έχει βρεθεί εξ ολοκλήρου στη σχέση της με τη θεωρία του Planck για την ακτινοβολία. Με τη βοήθεια των σκέψεων που θα παρουσιαστούν αργότερα, θα επιχειρήσουμε να ριζούμε περαιτέρω φως στη θεμελίωση της από διαφορετική οπτική γωνία. 5 Απριλίου 1913.» (Bohr, 1913)

1. Τι υποθέτει ο Bohr σχετικά με την κίνηση των ηλεκτρονίων σε ένα άτομο;

.....
.....

2. Γιατί ο Bohr θεωρεί ότι η υπόθεσή του είναι σημαντική για τη θεωρία της σύστασης των ατόμων;

.....

.....

3. Πώς σχεδιάζει ο Bohr να επεκτείνει και να θεμελιώσει την υπόθεσή του στο μέλλον;

.....

.....

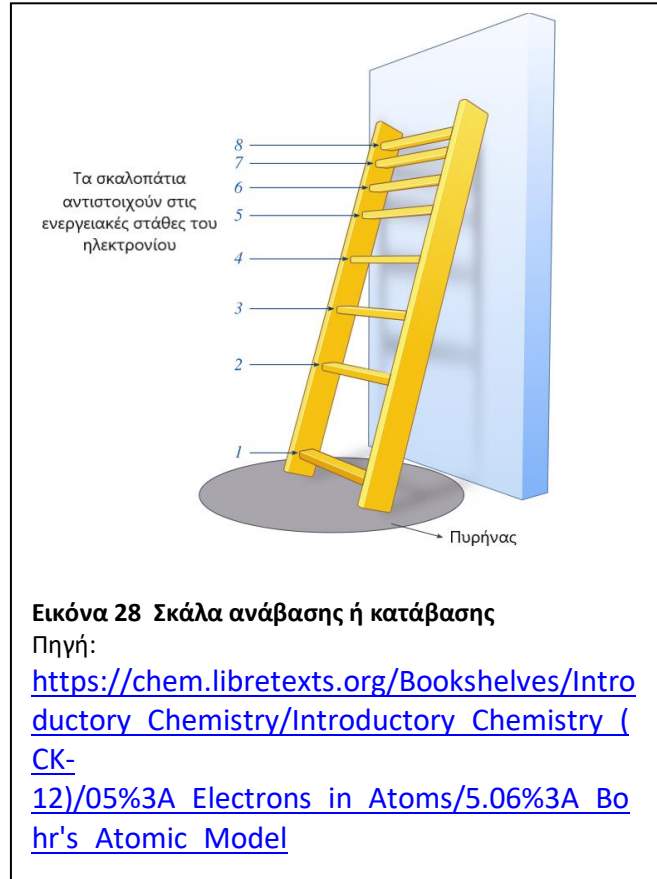
.....

.....

.....

.....

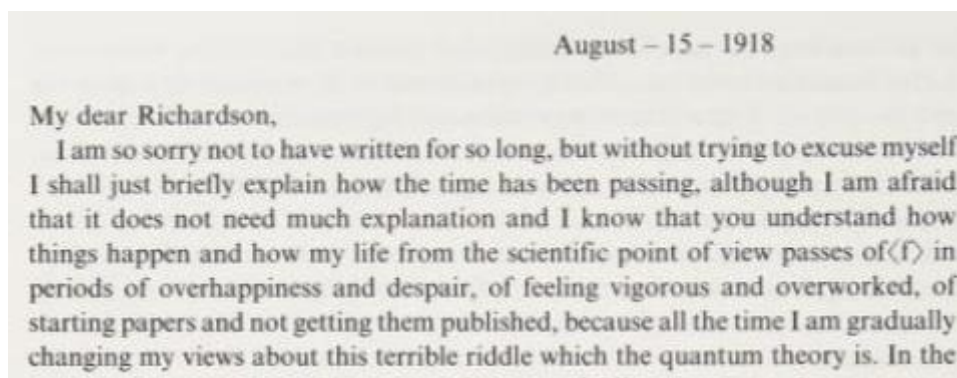
Κατά την ανάβαση ή την κατάβαση μιας σκάλας, δεν υπάρχει θέση «ενδιάμεσα» να ακουμπήσει το πόδι μας. Θα πρέπει να ακουμπήσουμε ακριβώς σε σκαλοπάτι. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και κατά τη διέγερση ή αποδιέγερση του ηλεκτρονίου ενός ατόμου (Εικόνα 28).



4.3.7 Η «εσωτερική πάλη» του Bohr με την Κβαντική θεωρία

Κείμενο 15

Σε μια επιστολή του Bohr (Εικόνα 29) στις 15 Αυγούστου 1918, γράφει στον φίλο του Richardson:



Εικόνα 29: Επιστολή Bohr στον Richardson

«Ξέρω ότι καταλαβαίνεις τι συμβαίνει στην επιστημονική μου ζωή καθώς περνάω από περιόδους ευτυχίας σε περιόδους απελπισίας, από περιόδους πνευματικής εγρήγορσης σε περιόδους αθυμίας, ώστε να ξεκινήσω εργασίες οι οποίες τελικά δεν θα δημοσιευτούν καθώς αλλάζω σταδιακά τις απόψεις μου για αυτό το τρομερό αίνιγμα που είναι η κβαντική θεωρία.» (Niels Bohr Collected Works (1918-1923) Volume 3, 1972)

1. Γιατί πιστεύετε ότι ο Bohr αναφέρει ότι αρχίζει εργασίες οι οποίες τελικά δεν θα δημοσιευτούν; Τι σημαίνει αυτό για τη διαδικασία της επιστημονικής έρευνας;

.....
.....

2. Ποια είναι η σημασία των αλλαγών στις απόψεις του Bohr για την κβαντική θεωρία; Πώς οι αλλαγές αυτές αντικατοπτρίζουν τη ΦτΕ;

.....
.....

4.3.8 Αξιολόγηση των ιδεών του Bohr από τον Rutherford

Η άποψη του Rutherford για τις ιδέες του Bohr δημοσιεύτηκαν το Φεβρουάριο του 1914 σε άρθρο του στο περιοδικό *Philosophical Magazine* (Εικόνα 30).

Κείμενο 16

«Ο Bohr έχει επιστήσει την προσοχή στις δυσκολίες της κατασκευής ατόμων βάσει της θεωρίας του "πυρήνα" και έχει δείξει ότι οι σταθερές θέσεις των εξωτερικών ηλεκτρονίων δεν μπορούν να συναχθούν από την κλασική μηχανική. Με την εισαγωγή μιας έννοιας που συνδέεται με το κβάντο του Planck, έχει δείξει ότι υπό ορισμένες υποθέσεις είναι δυνατόν να κατασκευαστούν απλά άτομα και μόρια από

Bohr * has drawn attention to the difficulties of constructing atoms on the "nucleus" theory, and has shown that the stable positions of the external electrons cannot be deduced from the classical mechanics. By the introduction of a conception connected with Planck's quantum, he has shown that on certain assumptions it is possible to construct simple atoms and molecules out of positive and negative nuclei, *e. g.* the hydrogen atom and molecule and the helium atom, which behave in many respects like the actual atoms or molecules. While there may be much difference of opinion as to the validity and of the underlying physical meaning of the assumptions made by Bohr, there can be no doubt that the theories of Bohr are of great interest and importance to all physicists as the first definite attempt to construct simple atoms and molecules and to explain their spectra.

University of Manchester,
February 1914.

Εικόνα 30: Philosophical Magazine 1914

θετικούς και αρνητικούς πυρήνες, π.χ. το άτομο και το μόριο υδρογόνου και το άτομο ηλίου, τα οποία συμπεριφέρονται σε πολλές περιπτώσεις όπως τα πραγματικά άτομα ή μόρια. Ενώ μπορεί να υπάρχει μεγάλη διαφορά απόψεων σχετικά με την εγκυρότητα και τη βασική φυσική σημασία των υποθέσεων που έκανε ο Bohr, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι οι θεωρίες του Bohr είναι μεγάλης σημασίας και ενδιαφέροντος για όλους τους φυσικούς, ως η πρώτη οριστική προσπάθεια κατασκευής απλών ατόμων και μορίων και εξήγησης των φασμάτων τους.

Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ » (Rutherford, 1914).

1. Πώς η θεωρία του Bohr για τα άτομα υπήρξε βήμα προόδου από την κλασική μηχανική προς την κβαντική μηχανική;

.....
.....

2. Ποιός είναι ο ρόλος των υποθέσεων στην επιστημονική μέθοδο;

.....
.....

3. Ποια είναι η σημασία της πειραματικής επιβεβαίωσης στις επιστημονικές θεωρίες;

.....
.....

4. Πώς η διαφωνία και ο διάλογος προωθούν την επιστημονική πρόοδο;

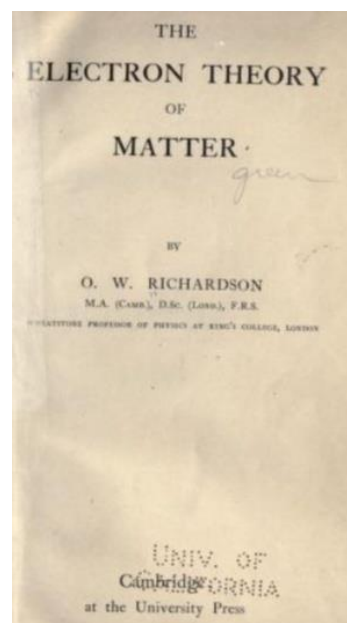
.....
.....

5. Ποιος είναι ο ρόλος των θεωρητικών μοντέλων στην κατανόηση της δομής των ατόμων;

.....
.....

4.3.9 Η θεωρία του ηλεκτρονίου και η επιστημονική εξέλιξη

Δεκαεπτά χρόνια μετά τα πειράματα και τα σχετικά συμπεράσματα του Thomson, για το ηλεκτρόνιο, που δημοσιεύτηκαν στο «*Philosophical Magazine*» το 1897, ο μαθητής του Owen Richardson, που αφιέρωσε ολόκληρη την επιστημονική του καριέρα στο ηλεκτρόνιο, στο βιβλίο του «*The electron theory of matter*» (Εικόνα 31) αναφέρει:



Εικόνα 31 Εξώφυλλο «*The electron theory of matter*» Owen Richardson 1914

Κείμενο 17

«Η θεωρία του ηλεκτρονίου μπορεί πλέον να ειπωθεί ότι έχει αναπτυχθεί πολύ πέρα από την περιοχή των υποθέσεων. Ανακάλυψη μετά από ανακάλυψη κατά τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια έχει αναμφίβολα καθιερωθεί η ύπαρξη ενός αρνητικού ηλεκτρονίου του οποίου οι ιδιότητες είναι ανεξάρτητες από την ύλη από την οποία προέρχεται...» (Richardson, 1914).

1. Ποια είναι η διαδικασία μέσω της οποίας μια επιστημονική ανακάλυψη, όπως η ανακάλυψη της ύπαρξης του ηλεκτρονίου, μεταβαίνει από την υπόθεση στην καθιερωμένη γνώση;

.....
.....

2. Πώς συμβάλλουν οι συνεχείς πειραματικές ανακαλύψεις στην επιβεβαίωση και την ενίσχυση μιας επιστημονικής θεωρίας;

.....
.....

5 Συμπεράσματα

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία διερεύνησε την ενσωμάτωση στοιχείων της Ιστορίας των Φυσικών Επιστημών, με εστίαση στη διδασκαλία της ατομικής θεωρίας στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Μέσα από την εξέταση της ιστορικής εξέλιξης της δομής του ατόμου, αναδείχθηκε η συμβολή σημαντικών επιστημόνων όπως οι Thomson, Rutherford και Bohr. Ο στόχος ήταν να αναδειχθεί ότι η Ιστορία της Φυσικής Επιστήμης δεν είναι απλώς ένα συμπληρωματικό στοιχείο, αλλά ένα ουσιαστικό εργαλείο για την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών.

Η εργασία υποστηρίζει ότι η ενσωμάτωση ιστορικών και φιλοσοφικών στοιχείων στη διδασκαλία ενισχύει την κριτική σκέψη των μαθητών, βοηθώντας τους να κατανοήσουν την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης μέσα από διαδικασίες αμφισβήτησης, αποτυχιών και επιτυχιών. Μέσω της ιστορικής ανάλυσης, οι μαθητές αντιλαμβάνονται την επιστήμη όχι ως μια στατική συλλογή δεδομένων, αλλά ως μια δυναμική διαδικασία που συνδέεται άρρηκτα με το πολιτισμικό και κοινωνικό πλαίσιο κάθε εποχής. Αυτή η προσέγγιση κάνει τις επιστημονικές έννοιες πιο προσιτές και κατανοητές, αυξάνοντας το ενδιαφέρον των μαθητών και προάγοντας μια συνεκτική και κριτική αντίληψη της επιστήμης και της σημασίας της στον σύγχρονο κόσμο.

Συμπερασματικά, η εργασία προτείνει ότι η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών μπορεί να ωφεληθεί σημαντικά από την ενσωμάτωση της ιστορικής διάστασης. Οι εκπαιδευτικοί, αξιοποιώντας την ιστορική προοπτική, μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να αντιληφθούν την επιστήμη ως μια ανθρώπινη δραστηριότητα γεμάτη προκλήσεις και δημιουργικότητα, ενισχύοντας έτσι την κατανόηση και το ενδιαφέρον για τη μάθηση.

Προτείνεται η διεξαγωγή εμπειρικών ερευνών σε διάφορα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα και με διαφορετικές ομάδες μαθητών, προκειμένου να αξιολογηθεί η εφαρμογή αυτών των μεθόδων και να αναπτυχθούν νέες διδακτικές προσεγγίσεις που συνδυάζουν την επιστημονική γνώση με την ιστορική κατανόηση. Επιπλέον, η ανάπτυξη εκπαιδευτικού

υλικού που ενσωματώνει την ιστορία της επιστήμης θα μπορούσε να παρέχει στους εκπαιδευτικούς τα απαραίτητα μέσα για να εφαρμόσουν αυτήν την προσέγγιση.

Η εργασία αυτή φιλοδοξεί να προωθήσει την Ιστορία των Φυσικών Επιστημών ως αναπόσπαστο κομμάτι της Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και να εμπνεύσει εκπαιδευτικούς και ερευνητές για περαιτέρω ανάπτυξη αυτής της προσέγγισης.

Βιβλιογραφία

- Aikenhead, G. (2003). Review of Research on Humanistic Perspectives in Science Curricula.
- Andrade, E. N. (1964). *Rutherford and the Nature of the Atom*. Washigton.
- Arons, A. (1990). *Οδηγός διδασκαλίας της Φυσικής*. (Κ. Ρέσσου, Επιμ., & Α. Βαλαδάκης, Μεταφρ.) John Wiley & Sons.
- Arons, A. (1990). *Οδηγός διδασκαλίας της Φυσικής*. (Ρ. Κωνσταντίνα, Επιμ., & Β. Ανδρέας, Μεταφρ.) John Wiley & Sons.
- BAAS. (1917). Ανάκτηση Μάιος 28, 2024, από <https://archive.org/details/reportofbritisha18adva/page/126/mode/2up?q=history&view=theater>
- Beaton, D. E., Bombardier, C., Guillemin, F., & Ferraz, M. b. (2000, Dec). Guidelines for the process of cross-cultural adaptation of self-report measures. *Spine* , σσ. 3186-3191.
- Bohr, N. (1913, Juli). On the Constitution of Atoms and Molecules. *Philosophical Magazine* , σσ. 1-25.
- Chamizo, J. A., & Garritz, A. (2014). Historical Teaching of Atomic and Molecular Structure. *Springer* .
- Costa, A. (1983). Do Uso da História da Química no seu Ensino. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química* , σσ. 12-15.
- Eshach, H. (2007, April). Bridging In-school and Out-of-school Learning: Formal, Non-Formal, and Informal Education. *Journal of Science Education and Technology* (16), σσ. 171-190.
- Filippoupoliti, A., & Koliopoulos, D. (2014). *Informal and Non-formal Education: An Outline of History of Science in Museums*. International Handbook of Research in History.
- Ford, K. (1980). *Κλασική και σύγχρονη φυσική* (Τόμ. 3). (Γ. Θεοδώρου, & Α. Θεοδώρου, Μεταφρ.) Αθήνα: Γ. Πνευματικού.
- Galili, I., & Hazan, A. (2001). The effect of a history-based course in optics on students' views about science. *Science & Education* (10), σσ. 7-32.
- Geiger, E., & Marsden, E. (1909). On a Diffuse Reflection of the α -Particles. *Proceedings of the Royal Society* , σσ. 495-500.
- Gilbert, J. K., Roger, O. J., & Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education* , 66 (4), σσ. 623-633.
- Gkiolmas, A., Stefanidou, C., & Skordoulis, C. (2020). Critical Pedagogy and the Acceptance of Refugees in Greece. Στο *The SAGE Handbook of Critical Pedagogies* (σσ. 1-14).
- Griesemer, J. (1985). Philosophy of Science and “the” Scientific Method. *The American Biology Teacher* , 47 (4), σσ. 211-215.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992, August). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching* , σσ. 611-628.
- Harrison, A. G. (2002). John Dalton's atomic theory: Using the history and nature of science to teach particle concepts? *Research in Education*. Brisbane.

- Heilbron, J. (2002, July). History in Science Education, with Cautionary Tales about the Agreement of Measurement and. *Science & Education* , σσ. 321-331.
- Holton, G. (2003). The Project Physics Course, Then and Now. *Science & Education* (12), σσ. 779-786.
- Höttecke, D. (2012, January). HIPST—History and Philosophy in Science Teaching: A European Project. *Science & Education* , σσ. 1229–1232.
- Höttecke, D., & Silva, C. C. (2010, August 9). Why implementing History and Philosophy in school science education is a a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education* , 20, σσ. 293-316.
- Höttecke, D., & Silva, C. C. (2011, March). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education* , 20 (3), σσ. 293-316.
- Irwin, A. (2000, January). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education* (84), σσ. 5-26.
- Kaya, A. (2010). Kaya, A. (2010). Determination of science teacher candidates' levels of understanding the concepts of light and atom. *Erzincan University Journal of Education Faculty* , 10, σσ. 15-37.
- Kipnis, N. (1995, October). Blending Physics with History.
- Kokotas, P., Malamitsa, K., & Rizaki, A. (2011). *Adapting Historical Knowledge*. Greece: National and Kapodistrian University of Athens.
- Kragh, H. (1992). A Sense of History: History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory. *Science & Education* , σσ. 349-363.
- Lazos, P., Stefanidou, C., & Skordoulis, C. (2024, January). Bridging the gap: From the laboratory science education of the 19 th century in Greece to STEM education. *European Journal of Science and Mathematics Education* , 12, σσ. 1-10.
- Lewis, J. (1972). *Teaching school physics*. London: Penguin Books-UNESCO.
- Lindberg, D. (1997). *Οι Απαρχές της Δυτικής Επιστήμης*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ.
- Malkawi, E. O., Obeidat, S. M., Al-Rawashdeh, N., Tit, N., & Obaidat, I. M. (2018). Misconceptions about Atomic Models Amongst the Chemistry Students. *International Journal for Innovation Education and Research* , 6 (2).
- Mamluk-Naaman, R., Ben-Zvi, R., Hofstein, A., Meni, J., & Erduran, S. (2005). Influencing students' attitudes towards science by exposing them to a historical approach. *International Journal of Science and Mathematics* , 3, σσ. 485-507.
- Matthews, M. (2015). *Science Teaching The Contribution of History and Philosophy of Science*. (Σ. ΦΑΝΗ, Επιμ., & Μ. ΑΓΓΕΛΙΚΗ, Μεταφρ.) ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ.
- Mayr, E. (1982). *The Growth of Biological Thought*. London: The Belknap Press of Harvard University Press Cambridge.
- McComas, W. F. (2008). Τα κυριότερα στοιχεία. Στο Α. Α. Βασίλης Κουλαϊδής (Επιμ.), *Η Φύση των Επιστημών Διδακτικές Προσεγγίσεις* (σ. 360). CHILD SERVICES.
- McComas, W., & Kampourakis, K. (2015, June). Using the History of Biology, Chemistry, Geology, and Physics to illustrate general aspects of Nature of Science.

- Niaz, M. (1998). From cathode rays to alpha particles to quantum of action: A rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. *Niels Bohr Collected Works (1918-1923) Volume 3* (Τόμ. 3). (1972). Amsterdam: North-Holland Pub. Co.
- Panagopoulou, M., Stefanidou, C., Chalkidis, A., Skordoulis, C., & Gazeas, K. (2019). A Science Festival approach to History of Science: The case of Galileo's Dialogue. *15th Conference of International History Philosophy and Science Teaching*. Thessaloniki.
- Papageorgiou, G., Markos, A., & Zarkadis, N. (2016). Understanding the atom and relevant misconceptions: Students' profiles in relation to three cognitive variables. *Science Education International*, σσ. 464-488.
- Papapou, F. (2011). 'Shall we Stroll to the Museum?': Educational Proposal for the Exploration of an Historic School Scientific Instrument Collection. *Science & Culture: Promise, Challenge and Demand, Proceedings of the 11th International IHPST Conference*. Thessaloniki, Greece.
- Reid-Smith, J. (2013). Historical short stories as nature of science instruction in secondary science classrooms: Report of the British Association for the Advancement of Science. (1918). *British Association for the Advancement of Science*.
- Richardson, O. (1914). *The Electron Theory of Matter*. Cambridge University Press.
- Rinaudo, M., & Leone, M. (2019). The dust catcher: transforming dusty collections of scientific instruments into tools of education. *15th International History, Philosophy and Science Teaching Conference IHPST 2019*. THESSALONIKI GREECE.
- Russell, B. (1946). *A history of western philosophy, and its connection with political and social circumstances from the earliest times to the present day*. New York: Simon and Schuster.
- Rutherford, E. (1911). The Scattering of a and b Particles by Matter and the Structure of the Atom. *Philosophical Magazine*, 6 (21), σσ. 669-688.
- Rutherford, E. (1911, May). The scattering of alpha and beta particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine*, 21 (6), σσ. 669-688.
- Rutherford, E. (1914, March). The structure of the atom. *Philosophical Magazine*, 27.
- Scerri, E. (2020). *The Periodic Table. Its Story and Its Significance*. New York: NY: Oxford University Press.
- Schain, U. H., Dodge, J., & Walter, J. (1993). *PSSC Φυσική* (6η Έκδοση εκδ.). (Κ. Θανάσης, Μεταφρ.) Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Segre, E. (1983). *Ιστορία της φυσικής*. Αθήνα: Δίαυλος.
- Seroglou, F., & Koumaras, P. (2001). The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. *Science & Education* 10.
- Sherratt, W. (1983). History of Science in the Science Curriculum: An Historical Perspective – Part II. *School Science Review*, 64 (228), σσ. 418-424.
- Skordoulis, C., & Halkia, K. (2005, November). Introduction: Notes on the Development of History, Philosophy and Science Teaching in Greece. *Science & Education* (14), σσ. 601-605.

- Smith, J. A. (2013). *Historical short stories as nature of science instruction in secondary science classrooms: Science teachers' implementation and students' reactions*. Iowa State University.
- Stefanidou, C. (2019, October). History and Philosophy of Science for Citizenship: The Life of Galileo by Bertolt Brech. *Proceedings of the 1st European Regional IHPST Conference - Flensburg Studies on the History and Philosophy of Science in Science Education* , σσ. 77-100.
- style, A. (2010). *δασδφασδ φασδφ ασδφ φ σδαα*. Ανάκτηση April 23, 2012, από <http://asdfs.gg.gsf>
- Taber, K. S. (2003). The atom in the chemistry curriculum: fundamental concept, teaching Model or Epistemological Obstacle?
- Taber, K. S. (2000, September 5). The Chemistry Education Research Group Lecture 2000: Molar and molecular conceptions of research into learning chemistry: towards a synthesis.
- Teichmann, J. (1981). Deutsches Museum, München--Science, Technology and History as an Educational Challenge. *European Journal of Science Education* , 3 (4), σσ. 473-478.
- Theodore Arabatzis, D. I. (2015). The role of models and analogies in the Bohr atom. Στο H. K. Finn Aaserud (Επιμ.), *One Hundred Years of the Bohr atom*. Scientia Danica. Series M: Mathematica et physica, vol. 1.
- Thomson, J. J. (1897). Cathode Rays. *Philosophical Magazine* (44).
- Thomson, J. J. (1904). *Electricity and matter*. Archibald Constable & Co. Ltd.
- Thomson, J. (1899). On the Masses of the Ions in Gases at Low Pressures. Στο *The London, Edinburgh and Dublin philosophical magazine and journal of science* (Τόμ. 48, σ. 630). London.
- Wandersee, J. (1986, October). Can the History of Science Help Science Educators Anticipate Students. *Journal of Research in Science Teaching* , 23 (17), σσ. 581-597.
- Wandersee, J. H. (1992). The historicity of cognition: Implications for science education research. *Journal of Research in Science Teaching* , 29 (4), σσ. 423-434.
- Welch, W. (1973). Review of the research and evaluation program of Harvard Project Physics. *Journal of Research in Science Teaching* , 10 (4), σσ. 365-378.
- Wightman, T., Green, P., & Scott, P. (1986). The construction of meaning and conceptual change in classroom settings : case studies on the particulate nature of matter. Center for Studies in Science and Mathematics Education University of Leeds.
- Young, H. (1992). *Πανεπιστημιακή Φυσική* (8η Έκδοση εκδ., Τόμ. Β). Εκδόσεις Παπαζήση.
- Zumdahl, S. (2009). *Chemical Principles* (Sixth Edition εκδ.). New York: HOUGHTON MIFFLIN COMPANY.
- Αραμπατζής, Θ., Γαβρόγλου, Κ., Διαλέτης, Δ., Χριστιανίδης, Γ., Κανδεράκης, Ν., & Βερνίκος, Σ. (1999). *Ιστορία της Επιστήμης και της Τεχνολογίας*. Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων.
- Γραμματικάκης, Ι. (2006). *Εισαγωγή στην Σύγχρονη Φυσική*. Αθήνα: Εκδοτικός όμιλος συγγραφέω καθηγητών.
- Κασσέτας, Α. (2004). *Το μήλο και το κουάρκ Διδακτική της Φυσικής*. Αθήνα, Ελλάδα: Εκδόσεις Σαββάλα.

- Κολιόπουλος Δημήτριος, Ψ. Δ. (1982). Ένα πολυδιάστατο εργαλείο της διδασκαλίας και μάθησης της φυσικής: Η ιστορία της φυσικής. *Σύγχρονη εκπαίδευση*, 9, σσ. 85-92.
- Κολιόπουλος, Δ. (2017). *Η διδακτική προσέγγιση του μουσείου φυσικών επιστημών*. (Κ. Γιανναδάκη, Επιμ.) Αθήνα: Μεταίχμιο.
- Κολιόπουλος, Δ., Μέλη, Κ., Αραπάκη, Ξ., Σισσαμπέρι, Ν., Γεωργοπούλου, Π., & Παππά, Ε. (2022). *Ειδικά θέματα Διδακτικής και Μουσειολογίας Φυσικών Επιστημών*. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
- Παναγοπούλου, Μ., & Στεφανίδου, Κ. (2023). Αξιοποίηση ιστορικών επιστημονικών οργάνων στη μη τυπική εκπαίδευση: Πρόταση επιμόρφωσης εκπαιδευτικών. Στο *Μουσείο Σχολείο Εκπαίδευση - Museum School Education - Θεματικό Τεύχος Μουσείο και Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες* (Τόμ. 3, σσ. 79-89). Μένανδρος.
- Πατάπης, Σ. (1995). *Μεθοδολογία διδασκαλίας της Φυσικής* (2η Έκδοση εκδ.). Αθήνα.
- Σκορδούλης, Κ. (2014). *Επιστημονική Γνώση*. Αθήνα: Τόπος.
- Σκορδούλης, Κ. (2014). *Επιστημονική Γνώση*. Αθήνα: Τόπος .
- Σκορδούλης, Κ. (n.d.). Το Harvard Project Physics Course και η συμβολή της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.
- Σκορδούλης, Κ. (n.d.). Το Harvard Project Physics Course και η Συμβολή της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας της Φυσικής στη Διδασκαλία της Φυσικής. *Σημειώσεις μεταπτυχιακού προγράμματος* .
- Σκορδούλης, Κ., & Στεφανίδου, Κ. (2021). *Διδακτική Μεθοδολογία των Φυσικών Επιστημών Θεωρία κα Πρακτική* (1η Έκδοση εκδ.). Προπομπός.
- Στεφανίδου, Κ. (2013). *Ο ρόλος της Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Τραχανάς, Σ. (2021). *Κβαντομηχανική Ι*. (Δ. Διονυσία, Επιμ.) Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Τριανταφυλόπουλος, Η. (1999). *Η ιστορία της Φυσικής από τον Αριστοτέλη έως τον Γαλιλαίο*. Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Τσελφές, Β. (1991). *Διδασκαλία Φυσικών Επιστημών στη Γενική Εκπαίδευση - Ιστορία Φυσικών Επιστημών: Ποια πιθανή σχέση;*. Θεσσαλονίκη.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.