ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2015)

4ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»

Εισαγωγή στην Υπεραγωγιμότητα, Προσομοιώσεις και Διδακτικά Σενάρια για την Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

Ε. Αλεξανδρόπουλος, Χ. Πολάτογλου

Βιβλιογραφική αναφορά:

Αλεξανδρόπουλος Ε., & Πολάτογλου Χ. (2022). Εισαγωγή στην Υπεραγωγιμότητα, Προσομοιώσεις και Διδακτικά Σενάρια για την Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 199–208. ανακτήθηκε από https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/4217

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 26/02/2026 12:49:34

Εισαγωγή στην Υπεραγωγιμότητα, Προσομοιώσεις και Διδακτικά Σενάρια για την Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

Ε. Αλεξανδρόπουλος[1], Χ. Πολάτογλου[2]

[1] 1ο ΓΕΛ Μοσχάτου, gcc1@otenet.gr
[2] Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, hariton@auth.gr

Περίληψη

Έρευνες στο εξωτερικό έχουν δείξει ότι η υπεραγωγιμότητα είναι από τα πλέον κατάλληλα θέματα σύγχρονης φυσικής για διδασκαλία στην τελευταία τάξη της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Στην εργασία αυτή παρουσιάζουμε την υλοποίηση προσομοιώσεων, καθώς και τα αντίστοιχα διδακτικά σενάρια. Ο στόχος είναι το σύνολο να αποτελέσει το πειραματικό μέρος ενός σχετικού κεφαλαίου του αναλυτικού προγράμματος. Ειδικότερα παρουσιάζονται δύο διδακτικά σενάρια α) «Κρίσιμη θερμοκρασία και κρίσιμο μαγνητικό πεδίο - προσομοίωση φαινομένου Meissner για υπεραγωγούς τύπου Ι» και β) «Παραμένοντα ρεύματα - κβάντωση μαγνητικής ροής - προσομοίωση υπεραγώγιμου κυκλικού δακτυλίου εντός μαγνητικού πεδίου». Η γλώσσα προγραμματισμού των προσομοιώσεων είναι η Scratch2, η οποία είναι γλώσσα ανοιχτού κώδικα και η οποία χρησιμοποιεί διαδικτυακή διασύνδεση.

Λέξεις κλειδιά: *υπεραγωγιμότητα, προσομοιώσεις*

1. Εισαγωγή

Η χρήση Λογισμικών Ηλεκτρονικού Υπολογιστή διευκολύνει τη μελέτη δύσκολα υλοποιούμενων πειραμάτων, που η παρατήρηση τους είναι αδύνατη με πραγματικά πειράματα, δίνοντας ακριβείς μετρήσεις και απομονώνοντας παράγοντες που προκαλούν σύγχυση (Ψύλλος, Χατζηκρανιώτης & Μπισδικιάν, 2014).

Η Διδασκαλία Σύγχρονης Φυσικής είναι μια πρόκληση για την Εκπαίδευση της Φυσικής και περιλαμβάνει πολυδιάστατες προοπτικές (PE, 2000; Johansson & Milstead, 2008). Η ανάγκη να συμπεριληφθεί ένα μεγάλο μέρος της Σύγχρονης Φυσικής στο Αναλυτικό Πρόγραμμα της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης απαιτεί τη διδασκαλία θεμάτων, που αποτελούν γέφυρες μεταξύ αυτών που ήδη γνωρίζουν οι μαθητές και στα νέα θέματα της Σύγχρονης Φυσικής που πρέπει να εισαχθούν (Johansson & Milstead, 2008). Μία τέτοια γέφυρα θα μπορούσε να αποτελέσει η υπεραγωγιμότητα που περιλαμβάνει ενδιαφέροντα φαινόμενα για μαθητές χάρη στις σπουδαίες τεχνολογικές της εφαρμογές (Τραίνα Μαγνητικής Αιώρησης,, υπερμαγνήτες για έρευνα και ιατρικές εξετάσεις MNR). Η υπεραγωγιμότητα προσφέρει ένα δεσμό μεταξύ επιστήμης και τεχνολογίας και μια κριτική επανεξέταση

της γνώσης των μαθητών για τις μαγνητικές και τις ηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών (Michelini & Viola, 2011) .

Η υπεραγωγιμότητα είναι ένα μακροσκοπικό κβαντομηχανικό φαινόμενο όπως προκύπτει από την θεωρία των Ginzburg-Landau (1950) καθώς και από την θεωρία BCS (1957). Παρά το γεγονός αυτό σημαντικές ιδιότητες της υπεραγωγιμότητας (φαινόμενο Meissner, μαγνητική αιώρηση κ.ά.) μπορούν να εξηγηθούν φαινομενολογικά με τη βοήθεια του ηλεκτρομαγνητισμού με αποτέλεσμα να μπορούν να γίνουν κατανοητές από μαθητές που έχουν βασικές γνώσεις ηλεκτρομαγνητισμού και επαγωγής.

Σε ορισμένα σχολεία Ευρωπαϊκών χωρών έχει εισαχθεί πειραματικά στα κεφάλαια του ηλεκτρομαγνητισμού η υπεραγωγιμότητα με την υποστήριξη του Ευρωπαϊκού προγράμματος MOSEM[1] και MOSEM[2] (πιλοτική διδασκαλία της υπεραγωγιμότητας στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση μέσω πειραματικού συνόλου), σκοπός του οποίου απετέλεσε η δημιουργία υποστηρικτικού υλικού για τη διδασκαλία της υπεραγωγιμότητας στις τελευταίες τάξεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Kedzierska et al., 2010).

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας παρουσιάζονται λόγω χώρου δύο διδακτικά σενάρια, από ένα σύνολο έξι, ακολουθώντας με προσομοιώσεις λογισμικού τις πειραματικές προτάσεις της ενότητας “Properties of superconductors” των οδηγιών του προγράμματος MOSEM[2].

2. Πλαίσιο

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν, η «Κρίσιμη θερμοκρασία και το κρίσιμο μαγνητικό πεδίο - προσομοίωση του φαινομένου Meissner για υπεραγωγούς τύπου Ι» (προσομοίωση 1) με κριτήριο το γεγονός ότι η μελέτη του φαινομένου Meissner μπορεί να αποτελέσει εισαγωγικό μάθημα στις μαγνητικές ιδιότητες των υπεραγωγών και τα «Παραμένοντα ρεύματα-κβάντωση μαγνητικής ροής-προσομοίωση υπεραγώγιμου κυκλικού δακτυλίου εντός μαγνητικού πεδίου» (προσομοίωση 2) με κριτήριο το γεγονός ότι η κβάντωση της μαγνητικής ροής αποκαλύπτει τον κβαντομηχανικό χαρακτήρα της υπεραγωγιμότητας.

Για την υλοποίηση των προσομοιώσεων επιλέχθηκε το Scratch2 επειδή, διαθέτει πολλές δυνατότητες γραφικών, είναι ανοιχτού κώδικα και οι εφαρμογές της εκτελούνται σε διαδικτυακή πλατφόρμα του Πανεπιστημίου MIT (www.scratch.mit.edu)

Η Διερευνητική Μέθοδος Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών (Inquiry-Based Science Education) που ακολουθείται στην πρώτη προσομοίωση είναι αναγνωρισμένη επίσημα μέσω της έκθεσης Rocard αλλά και άλλων ερευνών διεθνώς και εντάσσεται στο εποικοδομητικό μοντέλο μάθησης με μεταβαλλόμενο βαθμό εκπαιδευτικής καθοδήγησης (Anderson, 2002). Ένας τυπικός διαχωρισμός

περιλαμβάνει: τη δομημένη, την καθοδηγούμενη, την ανοιχτή και τη συνδυαστική διερεύνηση (Levy, 2011).

3. Σύντομη παρουσίαση των προσομοιώσεων και των αντίστοιχων διδακτικών σεναρίων.

3.1 Φαινόμενο Meissner για υπεραγωγούς τύπου Ι

Το διδακτικό σενάριο με χρήση της αντίστοιχης προσομοίωσης 1 https://scratch.mit.edu/projects/23295341/#editor περιλαμβάνει τους παρακάτω στόχους:

1. Να αντιληφθούν την εξάρτηση της διαμαγνητικής ικανότητας ενός υπεραγωγού από δύο παράγοντες, την ένταση του μαγνητικού πεδίου και τη θερμοκρασία.
2. Να διαπιστώσουν ότι η μαγνητική συμπεριφορά του υπεραγωγού χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη της κρίσιμης θερμοκρασίας και του κρίσιμου μαγνητικού πεδίου που εξαρτάται από τη θερμοκρασία.
3. Να κατασκευάσουν το διάγραμμα $B_c(T)$ με τη θερμοκρασία T και από αυτό να υπολογίσουν την $B_c(0)$ ενός υπεραγώγιμου στοιχείου.
4. Να ασκηθούν στους χειρισμούς αντικειμένων στο εικονικό εργαστήριο.
5. Να εξοικειωθούν με τη χρήση των εικονικών εργαστηρίων ως μέσου επιστημονικής μελέτης των φαινομένων.

Το προτεινόμενο σενάριο έχει ως πυρήνα δύο φύλλα εργασίας και η μέθοδος που ακολουθείται είναι η δομημένη διερεύνηση. Το μάθημα ξεκινάει με πρόκληση ενδιαφέροντος. Ο διδάσκων προβάλλει video στο οποίο παρουσιάζονται πειράματα που επιδεικνύουν τις βασικές ιδιότητες των υπεραγωγών Στο πρώτο φύλλο διερευνάται η εξάρτηση της διαμαγνητικής ικανότητας διαφόρων υπεραγώγιμων στοιχείων με μεταβολή τόσο της έντασης του μαγνητικού πεδίου όσο και της θερμοκρασίας.

Ερωτώνται οι μαθητές για την μαγνητική συμπεριφορά του Nb όταν αρχικά ψυχθεί κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία και στην συνέχεια εφαρμοστεί μαγνητικό πεδίο με ένταση μικρότερη και μεγαλύτερη από την αντίστοιχη κρίσιμη. Ζητείται επίσης να κάνουν πρόβλεψη για την μορφή των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου με την αυξομείωση της έντασης του (Σχήμα 1).

Προκαλείται συζήτηση για τον τρόπο που αποβάλλεται το μαγνητικό πεδίο από το εσωτερικό του Nb

Οι μαθητές οδηγούνται στο συμπέρασμα ότι στο εσωτερικό του υπεραγωγού δημιουργούνται επιφανειακά υπερρεύματα που δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που εξουδετερώνει το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.

Στη συνέχεια καλούνται να διατυπώσουν την άποψη τους για την μαγνητική συμπεριφορά του υπεραγωγού όταν πρώτα εφαρμοστεί μαγνητικό πεδίο και μετά ψυχθεί ο υπεραγωγός κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία του. Προκαλείται

γνωστική σύγκρουση με τις απόψεις τους για την επαγωγή, όταν πειραματικά διαπιστώσουν τον μηδενισμό του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του υπεραγωγού. Καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η κλασσική φυσική δεν μπορεί να ερμηνεύσει την υπεραγώγιμη συμπεριφορά της αποβολής του μαγνητικού πεδίου όταν πρώτα εφαρμοστεί το μαγνητικό πεδίο και μετά ψηχθεί ο υπεραγωγός..

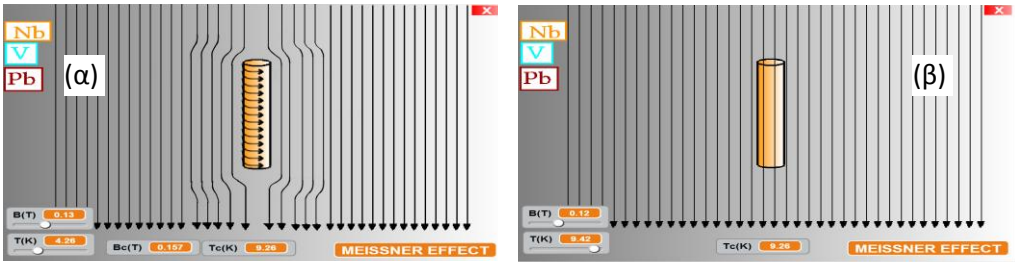
Ολοκληρώνεται η πρώτη ώρα του σεναρίου με την συμπλήρωση του φύλλου αξιολόγησης από τους μαθητές στο οποίο ζητείται να προσδιοριστεί η κρίσιμη ένταση Bc για το στοιχείο V σε θερμοκρασία 4K και για τον Pb στους 2K..

Την δεύτερη ώρα ζητείται από τους μαθητές να ξεκινήσουν το Meissner effect exercise.sb2 το οποίο δεν εμφανίζει στην οθόνη την Bc(T) και να συμπληρώσουν ένα πίνακα τιμών Bc(T)-T για το στοιχείο Nb και να απεικονίσουν την αντίστοιχη γραφική παράσταση (Σχήμα 2).. Για τον σκοπό αυτό ερωτώνται οι μαθητές για την σχέση T, Bc(T) για την οποία είχε γίνει συζήτηση την προηγούμενη ώρα. Επίσης καλούνται να συζητήσουν πως με την βοήθεια της μορφής της γραφικής παράστασης θα μπορέσουν να καθορίσουν με καλή προσέγγιση την Bc(0) καθότι το 0K είναι απρόσιτο σημείο. Στη συνέχεια τίθεται το ερώτημα για την θέση ποιοτικά που θα έχει το αντίστοιχο διάγραμμα για το στοιχείο V και τον Pb.

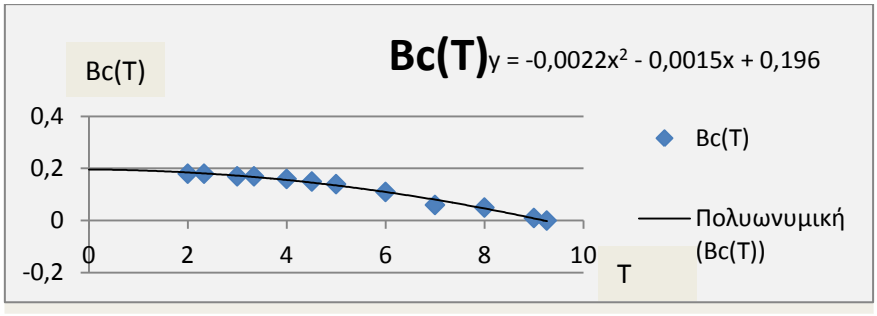
Τέλος δίνεται ο τύπος (1) της εξάρτησης της έντασης του κρίσιμου μαγνητικού πεδίου από την θερμοκρασία

$$\mathrm{Bc(T)} = \mathrm{Bc(0)}\left[1 - \left(\frac{T}{Tc}\right)^2\right] \qquad \textbf{(1)}$$

και ζητείται το επί τοις εκατό σφάλμα στον υπολογισμό της $Bc(0)$. με πραγματική τιμή Bc(0)=0,1991T για το Nb



***Σχήμα 1**: Στιγμιότυπα (α) υπεραγωγού τύπου I στην υπεραγώγιμη κατάσταση και (β) στην κανονική κατάσταση*



Σχήμα 2: *Γραφική παράσταση $B_c(T)$,T για τον προσδιορισμό του $B_c(0)$ του Nb. Πραγματική τιμή $B_c(0)$=0,1991 T Πειραματική τιμή $B_c(0)$=0,1961 T Σφάλμα=2%*

3.2 Παραμένοντα ρεύματα-κβάντωση μαγνητικής ροής-προσομοίωση υπεραγώγιμου κυκλικού δακτυλίου εντός μαγνητικού πεδίου

Το διδακτικό σενάριο με χρήση της αντίστοιχης προσομοίωσης 2 https://scratch.mit.edu/projects/26016395/#editor περιλαμβάνει τους παρακάτω στόχους:

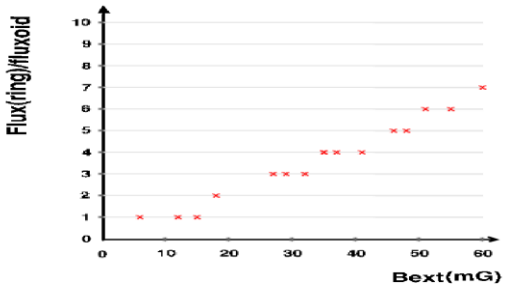
1. Να κατανοήσουν την μαγνητική συμπεριφορά (υπεραγώγιμη, επαγωγική) του υπεραγωγού σε θερμοκρασία χαμηλότερη της κρίσιμης.
2. Να αξιοποιούν τις γραφικές παραστάσεις στη μελέτη φαινομένων.
3. Να διαπιστώσουν την κβάντωση της μαγνητική ροής.
4. Να υπολογίσουν το υπερρεύμα που δημιουργείται στον υπεραγωγό στην υπεραγώγιμη κατάσταση από τις μεταβολές του πεδίου.

Το προτεινόμενο σενάριο έχει ως πυρήνα τέσσερα φύλλα εργασίας στα οποία διερευνώνται τα παραμένοντα ρεύματα σ' έναν υπεραγώγιμο δακτύλιο καθώς και η κβάντωση της μαγνητικής ροής μέσα από την οπή του βρόχου.

Δίνεται στους μαθητές το 1ο φύλλο εργασίας και με την πρώτη δραστηριότητα οι μαθητές αντιλαμβάνονται ότι ο υπεραγωγός σε θερμοκρασία ανώτερη της κρίσιμης συμπεριφέρεται σαν κανονικό μέταλλο (Σχήμα 4α^{α}). Στη συνέχεια με την δεύτερη δραστηριότητα επιδιώκουμε να διαπιστώσουν την αποβολή του μαγνητικού πεδίου μέσα από τον υπεραγωγό αλλά και την διατήρηση του μαγνητικού πεδίου μέσα από την οπή του δακτυλίου όταν ο δακτύλιος ψυχθεί κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία (Σχήμα 4β^{α}). Καλούνται επίσης να εξηγήσουν με τη βοήθεια της επαγωγής την φορά του επιφανειακού υπερρεύματος, που αποτελεί την αιτία της αποβολής του μαγνητικού πεδίου από τον υπεραγωγό αλλά και τη διατήρηση πρακτικά της μαγνητικής ροής μέσα από την οπή.

Ο διδάσκων εισάγει την έννοια του κβάντου της μαγνητικής ροής (fluxoid) $Φ_0$ για την μαγνητική ροή μέσα από την οπή σε κατάσταση υπεραγωγιμότητας και με τη 3η

δραστηριότητα και συγκεκριμένα με το διάγραμμα Φ/Φ_0=f(Bext) επιδιώκεται να



Σχήμα 3: Γραφική παράσταση του πηλίκου Φ/Φ_0 ως προς B_{ext}.

κατανοήσουν οι μαθητές την κβάντωση της μαγνητικής ροής σε πολλαπλάσια της Φ_0. Αναλυτικότερα οι μαθητές για 30 τιμές της Bext σε θερμοκρασία 298K θα ψύχουν τον υπεραγωγό σε θερμοκρασία χαμηλότερη της κρίσιμης και κάνοντας κλικ στο "Store values for graph" θα αποθηκεύουν τις τιμές της Φ και της Bext. Η εφαρμογή επιτρέπει τιμές Bext μικρότερες από Bc(T).

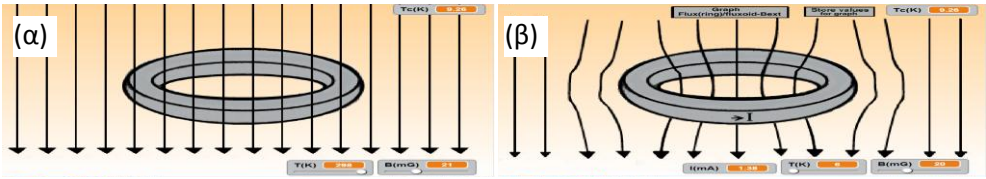
Τέλος κάνοντας κλικ στο "Graph Flux(ring)/fluxoid-Bext" το σενάριο παρουσιάζει την γραφική παράσταση Φ/Φ_0=f(Bext) (Σχήμα3) με τη βοήθεια του οποίου καλούνται οι μαθητές να διατυπώσουν τα συμπεράσματα τους για την σχέση Φ και Φ_0 . Αναμένουμε να διαπιστώσουν ότι $\Phi=n\Phi_0$ όπου n ακέραιος και κατά συνέπεια για πολύ παραπλήσιες τιμές της Bext προκύπτει η ίδια τιμή μαγνητικής ροής Φ.

Η πρώτη ώρα ολοκληρώνεται με το 4ο φύλλο εργασίας με το οποίο επιδιώκεται να κατανοήσουν οι μαθητές ότι αν πρώτα ψύξουμε τον υπεραγωγό και στη συνέχεια εφαρμόσουμε μαγνητικό πεδίο λόγω επαγωγικού υπερρεύματος θα αποβληθεί το μαγνητικό πεδίο μέσα από τον υπεραγωγό αλλά και μέσα από την οπή (Σχήμα5α).

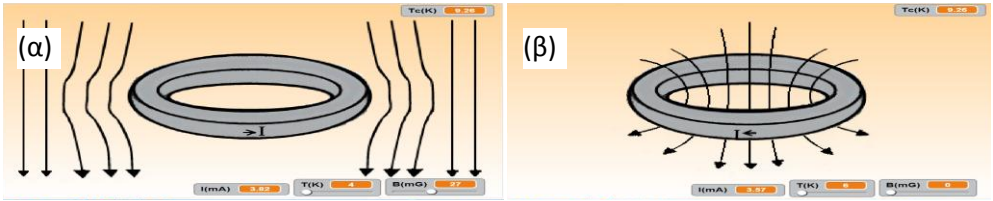
Την δεύτερη ώρα δίνεται στους μαθητές το 2ο φύλλο εργασίας . Ζητάμε από τους μαθητές να ξεκινήσουν την εφαρμογή με σκοπό να υπολογίσουν το υπερρεύμα I . Αναλυτικότερα, να καταγράψουν τις τιμές r1,L και αφού επιλέξουν και καταγράψουν την Bext να μειώσουν την θερμοκρασία κάτω από την κρίσιμη. και να σημειώσουν την τιμή του I που εμφανίζει η εφαρμογή. Να εφαρμόσουν τον νόμο του Faraday και να καταλήξουν στη σχέση (2)

$$\Phi-n\Phi_0=LI \qquad \textbf{(2)}$$

από την οποία θα υπολογίσουν θεωρητικά την τιμή του I , η οποία θα πρέπει να ταυτίζεται με την πειραματική.



Σχήμα 4: Στιγμιότυπα (α) κανονικά αγώγιμης συμπεριφοράς του υπεραγωγού ($T>T_c$) και (β) υπεραγώγιμης συμπεριφοράς όταν πρώτα επιδρά το μαγνητικό πεδίο και μετά $T<T_c$



Σχήμα 5: Στιγμιότυπο (α) υπεραγώγιμης συμπεριφοράς όταν πρώτα $T<T_c$ και στη συνέχεια επιδρά το μαγνητικό πεδίο καθώς και (β) όταν επιδρά το μαγνητικό πεδίο σε $T>T_c$ στη συνέχεια $T<T_c$ και τέλος B=0.

Τέλος δίνεται το 3ο φύλλο εργασίας με το οποίο οι μαθητές θα μελετήσουν τη παγίδευση της μαγνητικής ροής (Σχήμα 5β). Συγκεκριμένα ζητείται η πρόβλεψη τους σχετικά με τα αποτελέσματα του μηδενισμού της έντασης του μαγνητικού πεδίου όταν ο υπεραγωγός βρίσκεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη της κρίσιμης. Καλούνται στη συνέχεια με πείραμα να επιβεβαιώσουν ή όχι τις προβλέψεις τους.

Η δεύτερη δραστηριότητα ολοκληρώνει και την δεύτερη ώρα διδασκαλίας . Ζητείται από τους μαθητές να υπολογίσουν θεωρητικά με την βοήθεια του νόμου της επαγωγής το επαγωγικό υπερρεύμα που δημιουργείται κατά την κατάργηση του μαγνητικού πεδίου όταν ο δακτύλιος βρίσκεται στην υπεραγώγιμη κατάσταση.

4. Αποτελέσματα και συζήτηση

Πραγματοποιήθηκε δοκιμαστική διδασκαλία των σεναρίων σε 20 μαθητές. Ενδεικτικά αναφέρονται τα αποτελέσματα ορισμένων ερωτημάτων που απευθυνθήκαν στους μαθητές. Τους ζητήθηκε να προβλέψουν τη μεταβολή της κρίσιμης έντασης με την αύξηση της θερμοκρασίας (προσομοίωση 1). Σωστά απάντησαν 13 μαθητές 2 έδωσαν λανθασμένη απάντηση και 5 δεν απάντησαν. Στην συνέχεια ζητήθηκε από τους μαθητές να προβλέψουν τη φορά των υπερρευμάτων κατά την παγίδευση της μαγνητικής ροής όταν καταργείται το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο (προσομοίωση 2). Σωστά απάντησαν 16 μαθητές. Τέλος ζητήθηκε από τους μαθητές να υπολογίσουν θεωρητικά με τη βοήθεια του νόμου του Faraday την τιμή του υπερρεύματος με δεδομένο την κβάντωση της μαγνητικής ροής. Σωστή πρόβλεψη έκαναν 4 μαθητές, 5 απάντησαν ότι δεν μπορεί να γίνει ο υπολογισμός του και 11 έκαναν λάθος υπολογισμό. Μετά την εκτέλεση του πειράματος για την εύρεση

της σχέσης του πηλίκου της μαγνητικής ροής μέσα από τον δακτύλιο προς το κβάντο μαγνητικής ροής (Φ/Φ_0) σε συνάρτηση με την ένταση (B) του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου και την προβολή της γραφικής παράστασης του σχήματος 14 όλοι οι μαθητές μπόρεσαν να υπολογίσουν θεωρητικά τη τιμή του υπερρεύματος. Τα αποτελέσματα της διδασκαλίας της υπεραγωγιμότητας είναι ενθαρρυντικά καθότι με χρήση των προσομοιώσεων όλοι οι μαθητές κατανόησαν τα παραπάνω φαινόμενα, τα οποία και συμφωνούν με μια εφαρμογή πεδίου που πραγματοποιήθηκε στην Ιταλία χρησιμοποιώντας πραγματικά πειράματα με τη βοήθεια πειραματικού πακέτου του προγράμματος MOSEM, (Michelini & Viola, 2011), (MOSEM^2, 2011).

Τα αναλυτικά προγράμματα των 15 Ευρωπαϊκών χωρών στις οποίες εφαρμόστηκε το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα MOSEM 1-2 δεν έχουν περιλάβει την υπεραγωγιμότητα στην διδακτέα ύλη τους. Ωστόσο πραγματοποιούνται επιμορφωτικά σεμινάρια καθηγητών σε θέματα υπεραγωγιμότητας, επισκέψεις μαθητών σε ερευνητικά κέντρα (CERN) που χρησιμοποιούν υπεραγωγούς, καθώς και μαθητικά projects με θέμα την υπεραγωγιμότητα. Στα πλαίσια του προγράμματος MOSEM 1-2 κατασκευάστηκαν εκπαιδευτικά πειραματικά πακέτα (educational kits) (MOSEM^2, 2011), δεν έχει όμως κατασκευαστεί καμία άλλη πειραματική εκπαιδευτική προσομοίωση επιπέδου δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με θέμα την υπεραγωγιμότητα.

5. Συμπεράσματα και προτάσεις

Τα αποτελέσματα της διδασκαλίας των δύο σεναρίων με τη βοήθεια των αντίστοιχων προσομοιώσεων έδειξαν ότι οι μαθητές μπορούν να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους από τον ηλεκτρομαγνητισμό για να ερμηνεύσουν τα διάφορα φαινόμενα της υπεραγωγιμότητας . Δυσκολίες παρουσιάστηκαν στην κατανόηση της κβάντωσης της μαγνητικής ροής. Οι δύο προσομοιώσεις που περιγράφονται στην εργασία αυτή αντιστοιχούν σε δύσκολα υλοποιήσιμα πραγματικά πειράματα και ικανοποιούν τους στόχους των αντίστοιχων διδακτικών σεναρίων. Είναι επίσης πρωτότυπες σε διεθνές επίπεδο. Η πρόταση είναι να δοκιμαστούν σε Πρότυπο Πειραματικό Λύκειο είτε στα πλαίσια ομίλων είτε με τροποποίηση του αναλυτικού προγράμματος.

Βιβλιογραφία

Anderson, R.D. (2002). Reforming Science Teaching: What Research says about Inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12.

Arons, A.B. (1990). *A guide to introductory physics teaching*. New York: John Wiley & Sons:.

Johansson, K.E., Milstead, D. (2008). Uncertainty in the Classroom --Teaching Quantum Physics. *Phys. Educ*. 43(2), 173-179.

Kedzierska, E., Esquembre, F., Konicek, L., Peeters, W., Stefanel, A. & Farstad, V., S. (2010). MOSEM 2 project: Integration of data acquisition, modelling,

simulation and animation for learning electromagnetism and superconductivity. *Il Nuovo Cimento*, 33(3), 65-74.

Levy, P., Lameras, P., McKinney, P. & Ford, N. (2011). Project Title: *The pathway to Inquiry Based Science Teaching*. Ανακτήθηκε την 07-03-2015 από http://www.pathwayuk.org.uk/uploads/9/3/2/1/9321680/_the_features_of_inquiry_learning_theory_research_and_practice_eusubmitted.pdf

Michelini, M. & Viola, R. (2011). Research-oriented training for Italian teachers involved in the European MOSEM Project**.** *Il Nuovo Cimento*, 5, 255-275.

MOSEM2 (2011). *Τμήμα του Ευρωπαϊκού Κοινοτικού Προγράμματος Leonardo da Vinci*. Ανακτήθηκε την 07-03-2015 από: http://mosem.eu/wp-content/uploads/2011/08/MO2_Teacher_Guide_sample.pdf

PE. (2000). *Special Issues of Am.J. Phys. Educ.* 35(6).

Ψύλλος, Δ., Χατζηκρανιώτης, Ε. & Μπισδικιάν, Γ. (2014). *Ανάπτυξη Εικονικού Εργαστηρίου Θερμότητας.* Ανακτήθηκε την 11-12-2014 από http://www.clab.edc.uoc.gr/AESTIT/4th/PDF/237.pdf