

Ε.Μ.Π., Τομέας Φυσικής - ΣΕΜΦΕ, 6^ο Εξάμηνο

Ακαδ. Έτος 2006-2007

**ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ-ΟΠΤΙΚΕΣ, ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
ΤΗΣ ΓΛΗΣ ΚΑΙ ΥΠΕΡΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ**

Ημερομηνία εξέτασης: 09/10/2007

Διδάσκων: Επικ. Καθ. Γ. Βαρελογιάννης

Η εξέταση διαρκεί 2½ ώρες με ανοικτό το βιβλίο του μαθήματος μόνον.

Μέρος Α:

Οι απαντήσεις πρέπει μεν να είναι σύντομες, όμως θα θεωρηθούν σωστές μόνον εάν είναι επαρκώς τεκμηριωμένες (χωρίς πράξεις).

A.1: Χρησιμοποιούμε το πρότυπο *Drude* για την περιγραφή της οπτικής συμπεριφοράς ενός υλικού, είναι δυνατόν να παρατηρηθεί παραμαγνητισμός του *Rauhi* στο υλικό αυτό ;

A.2: Γίνονται οπτικές μετρήσεις πάνω σε υλικό το οποίο δείχνει μια υπεραγωγική μετάβαση. Κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία της μετάβασης, θα ισχύουν οι σχέσεις *Kramers – Kronig* για τη διηλεκτρική συνάρτηση του συστήματος ; Υποθέτουμε ότι βρισκόμαστε πάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία, μπορούν να υπάρξουν ηλεκτρομαγνητικές διεγέρσεις για τις οποίες δεν θα ισχύουν οι σχέσεις αυτές ;

A.3: Σε ένα υλικό το οποίο δείχνει μια σιδηροηλεκτρική μετάβαση, ποιά αναμένεται να είναι η οπτική του συμπεριφορά συναρτήσει της συχνότητας διεγερσης αμέσως πριν τη μετάβαση (αμέσως πάνω από το T_c) ;

A.4: Σε ένα κλασσικό υπεραγωγό, αμέσως πάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία, ποιός είναι ο μέσος αριθμός των ηλεκτρονίων που βρίσκονται σε κάθε μία από τις προσπελάσιμες καταστάσεις ενός ηλεκτρονίου του συστήματος ; Εάν εφαρμόσουμε ένα ασθενές ηλεκτρικό πεδίο θα υπάρξουν αλλαγές ; (αν ναι περιγράψτε ποιές και πώς υπολογίζονται, αν όχι εξηγήστε γιατί).

A.5: Φοιτητές της ΣΕΜΦΕ παράγγααν νέο υλικό το οποίο δείχνει μια μετάβαση από μια σιδηρομαγνητική κατάσταση σε μια υπεραγωγική κατάσταση και αντίστροφα σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας. Μπορούν να κατασκευάσουν μια θεωρία *Landau* με μια μόνον παράμετρο τάξης για να μοντελοποιήσουν τη μετάβαση αυτή ;

A.6: Σε ένα κλασσικό υπεραγωγό, αν με μαγικό τρόπο θεωραζόταν πλήρως (μηδενιζόταν) η αλληλεπίδραση *Coulomb* ανάμεσα στους φορείς, θα εξακολουθούσε να υφίσταται η υπεραγωγική κατάσταση ;

Μέρος Β:

Ενα από τα πιο ενδιαφέροντα σημερινά προβλήματα στον τομέα των ηλεκτρονικών υλικών είναι η παρατήρηση των ονομαζόμενων *πολυσιδηρικών* (*multiferroics*) υλικών και νανοδομών. Πρόκειται για συστήματα που παρουσιάζουν συγχρόνως σιδηρομαγνητική (ή αντισιδηρομαγνητική) και σιδηροηλεκτρική συμπεριφορά.

B.1: Θεωρούμε ένα διδιάστατο τετραγωνικό πλέγμα στις κορυφές του οποίου βρίσκονται N_m μαγνητικές ροπές με $J = S = 1/2$. Οι ροπές έχουν μια αλληλεπίδραση ανταλλαγής ζ με τους κοντινότερους γείτονες και η με τους αμέσως επόμενους. Κάτω από μια κρίσιμη θερμοκρασία το σύστημα δείχνει *σιδηρομαγνητισμό*. Κάνοντας μια προσέγγιση Μέσου ή Μοριακού πεδίου του *Weiss*, να βρείτε την εξίσωση αυτοσυνέπειας για την αυθόρμητη μαγνήτιση, την επικριτικότητα και την κρίσιμη θερμοκρασία της μετάβασης *συναρτήσει των αλληλεπιδράσεων ανταλλαγής ζ, η* . Να απαντήσετε στα ίδια ερωτήματα εάν το σύστημα έδειχνε αντισιδηρομαγνητισμό.

B.2: Προκειμένου να μοντελοποιήσουμε εντελώς σχηματικά ένα *πολυσιδηρικό* υλικό, υποθέτουμε ότι λόγω της μικροσκοπικής του ιδιαιτερότητας η εμφάνιση μιας μέσης μαγνήτισης M (η αντίστοιχη η εφαρμογή ενός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου) πάντα συνοδεύεται από ένα ηλεκτρικό πεδίο $E = \alpha M$ και αντίστροφα. Να δώσετε τις εξισώσεις αυτοσυνέπειας στα πλαίσια μιας προσέγγισης τύπου *Weiss* για τη μέση πολωσιμότητα και τη μέση μαγνήτιση του συστήματος. Απαντήστε στο ίδιο ερώτημα εάν οι μαγνητικές ροπές είναι ιόντα Νεοδυμίου Nd^{3+} το καθένα από τα οποία έχει 3 ηλεκτρόνια τύπου f ($l = 3$) στην εξωτερική του στιβάδα.

Μέρος Γ:

Σε έναν υπεραγωγό το ανεξάρτητο της επιλογής βαθμίδας ρεύμα δίνεται από τη σχέση

$$\mathbf{J}(\mathbf{r}) = \frac{i\hbar e}{2m} (\Psi^* \nabla \Psi - \Psi \nabla \Psi^*) - \frac{2e^2}{m} \Psi^* \Psi \mathbf{A}$$

όπου \mathbf{A} είναι το διανυσματικό δυναμικό και $\Psi(\mathbf{r}) = |\Psi(\mathbf{r})| e^{i\theta(\mathbf{r})}$ είναι η χωρική-χρονική συνάρτηση των ζευγών *Cooper* που παίζει το ρόλο της παραμέτρου τάξεως.

α. Να δείξετε (παραθέτοντας τις πράξεις) ότι έχουμε ισοδύναμα

$$\mathbf{J}(\mathbf{r}) = -\frac{e}{m} |\Psi(\mathbf{r})|^2 (\hbar \nabla \theta + 2e\mathbf{A})$$

β. Κάνοντας ένα μετασχηματισμό βαθμίδας στο διανυσματικό δυναμικό $\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{A} + \nabla \alpha$ να δείξετε ότι το αναλλοίωτο του ρεύματος στην επιλογή βαθμίδας επιβάλλει στην παράμετρο τάξης τον μετασχηματισμό $\Psi(\mathbf{r}) \rightarrow \Psi(\mathbf{r}) e^{-i2e\alpha/\hbar}$.

γ. Με βάση το παραπάνω αποτέλεσμα και ότι γνωρίζετε για τη θεωρία *Landau*, εξηγήστε γιατί μόνον άριτες δυνάμεις της παραμέτρου τάξης εμφανίζονται στη συναρτησιακή *Ginzburg – Landau*.