

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΘΕΜΑΤΑ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Κ. ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΥ

1. Γιατί στους κρυστάλλους των στερεών παρατηρούνται συνεχείς ενεργειακές ζώνες αντί για τις διακριτές ενεργειακές στάθμες που χαρακτηρίζουν τα άτομα και τα μόρια; Γιατί οι ζώνες με μεγαλύτερη ενέργεια έχουν και μεγαλύτερο εύρος;
2. Μία ζώνη ενός κρυστάλλου είναι πλήρης από ηλεκτρόνια, ενώ μία άλλη ζώνη του ίδιου κρυστάλλου είναι μερικώς συμπληρωμένη σε κάθε θερμοκρασία. (α) Ποια ζώνη έχει το μεγαλύτερο εύρος; (β) Τι μπορείτε να πείτε για τις ηλεκτρικές και τις οπτικές ιδιότητες του κρυστάλλου;
3. Έχουμε δύο διαμάντια, ένα μικρό και ένα μεγάλο. Να συγκριθεί το εύρος των αντίστοιχων ενεργειακών ζωνών των δύο κρυστάλλων.
4. Να περιγραφεί η δομή των ενεργειακών ζωνών στα μέταλλα, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Πώς η δομή αυτή ερμηνεύει την ηλεκτρική αγωγιμότητα και τις οπτικές ιδιότητες (διαφάνεια - αδιαφάνεια) των στερεών αυτών; Πού οφείλεται η διαφορά αγωγιμότητας ανάμεσα στο διαμάντι και το γερμάνιο; Πώς εξηγείτε το ότι το διαμάντι είναι διαφανές, ενώ το νάτριο και το γερμάνιο είναι αδιαφανή; (Φωτόνια ορατής ακτινοβολίας: $1.5 - 3 \text{ eV}$)
5. Να περιγραφούν οι φυσικές σημασίες των παρακάτω εννοιών:
 - (α) Ζώνη αγωγιμότητας μετάλλου.
 - (β) Ζώνη σθένους και ζώνη αγωγιμότητας ημιαγωγού.
 - (γ) Ενεργειακό χάσμα ημιαγωγού.
 - (δ) Οπή σε ημιαγωγό.
6. Με βάση την γενική μορφή του νόμου του Ohm για ένα μέταλλο, να αποδειχθεί η ειδική μορφή του νόμου, $I=V/R$, για ένα μεταλλικό σύρμα σταθερής διατομής.
7. Με βάση τον νόμο του Ohm και τις εκφράσεις της ειδικής αγωγιμότητας, να εξηγηθεί γιατί ένα μέταλλο είναι πολύ πιο αγωγίμο από έναν καθαρό ημιαγωγό.
8. Να περιγραφεί η επίδραση της θερμοκρασίας στην αγωγιμότητα των μετάλλων και των ημιαγωγών. Ποιοι φυσικοί μηχανισμοί λαμβάνουν χώρα σε κάθε περίπτωση; Πώς επηρεάζονται από τη θερμοκρασία οι αντίστοιχες ειδικές αγωγιμότητες; (Εξηγήστε αναλυτικά.) Σε τι διαφέρουν οι υπεραγωγοί από τα κοινά μέταλλα;
9. Να περιγραφούν οι φυσικοί μηχανισμοί με τους οποίους οι προσμειζεις τύπων n και p συμβάλλουν στην αγωγιμότητα ενός ημιαγωγού, και να σχεδιαστούν τα αντίστοιχα ενεργειακά διαγράμματα. Ποιοι είναι οι φορείς μειονότητας σε κάθε περίπτωση; Τι καλούμε δότες, και τι αποδέκτες;
10. Να διατυπωθεί ο νόμος δράσεως των μαζών. Με βάση αυτόν, να εξηγηθεί γιατί μία πρόσμειξη σε καθαρό ημιαγωγό αυξάνει την αγωγιμότητα του ημιαγωγού.

11. Θεωρούμε δείγμα μοναδιαίου όγκου κρυστάλλου καθαρού γερμανίου (Ge) σε σταθερή θερμοκρασία. Το πλήθος των ηλεκτρονίων αγωγιμότητας στο δείγμα είναι ίσο με A . Αντικαθιστούμε, τώρα, N άτομα Ge με άτομα φωσφόρου (P,15), και δεκαπλάσια άτομα Ge με άτομα βορίου (B,5). Ποιο θα είναι το νέο πλήθος των ηλεκτρονίων αγωγιμότητας; (Υπόδειξη: Τι τύπος ημιαγωγού προκύπτει μετά τις προσμεϊξεις;)

12. Σε τι διαφέρουν ως προς τα αίτια της δημιουργίας τους τα ρεύματα διάχυσης από εκείνα που υπακούουν στον νόμο του Ohm; Να δοθούν οι εκφράσεις των ρευμάτων διάχυσης ηλεκτρονίων και οπών και να εξηγηθεί η επιλογή των προσήμων στις εκφράσεις αυτές. (Θεωρήστε, για ευκολία, ότι οι συγκεντρώσεις των φορέων μεταβάλλονται μόνο κατά τη διεύθυνση x .)

13. Φανταστείτε έναν «ανάποδο» κόσμο όπου τα ηλεκτρόνια θα ήταν μποζόνια ενώ τα φωτόνια θα ήταν φερμιόνια. (α) Τι βαθμό θα παίρνατε στο μάθημα της Χημείας; (β) Πόσο θα κόστιζε ένας κοινός φακός laser; [Υπόδειξη: (α) Τα μποζόνια δεν υπακούουν στην απαγορευτική αρχή του Pauli. Έτσι, τα ηλεκτρόνια θα είχαν την τάση να συσσωρεύονται στην χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη, δηλαδή στην πρώτη υποστοιβάδα. Ποια θα ήταν τότε η δομή του ατόμου; Θα υπήρχαν χημικές αντιδράσεις; (β) Μία ακτίνα laser είναι ένα τεράστιο σύστημα όμοιων φωτονίων, δηλαδή φωτονίων που βρίσκονται στην ίδια (περίπου) κβαντική κατάσταση. Θα ήταν κάτι τέτοιο εφικτό αν τα φωτόνια υπάκουαν στην απαγορευτική αρχή του Pauli;]

14. Να οριστεί η έννοια της *συνάρτησης πιθανότητας* $f(E)$ για τα ηλεκτρόνια ενός συστήματος. Να δοθεί η έκφραση των Fermi–Dirac για το $f(E)$ και να περιγραφεί η φυσική σημασία της ενέργειας Fermi E_F . Να εξαχθεί η έκφραση της συνάρτησης πιθανότητας $f_p(E)$ για τις οπές σε έναν ημιαγωγό. Ποια είναι η φυσική της σημασία;

15. Να εξαχθεί η έκφραση της ενέργειας Fermi E_F για ένα μέταλλο. Ποια είναι η φυσική σημασία της E_F στην περίπτωση αυτή; Ποια διαφορά παρατηρούμε σε σύγκριση με την κλασική θεωρία των ιδανικών αερίων;

16. Πού τοποθετείται στο ενεργειακό διάγραμμα η στάθμη Fermi ενός καθαρού ημιαγωγού; Θα πρέπει να μας ενοχλεί η παρουσία της στάθμης αυτής μέσα στην απαγορευμένη ζώνη; (Δείξτε ότι η θέση της στάθμης στο ενεργειακό διάγραμμα οδηγεί σε αποδεκτά φυσικά συμπεράσματα, εξετάζοντας χωριστά τις περιπτώσεις $T=0$ και $T>0$.) Πού τοποθετείται ενεργειακά η στάθμη Fermi στους ημιαγωγούς προσμεϊξεως τύπων n και p ;

17. Θεωρούμε κρύσταλλο ημιαγωγού τύπου n . Περιγράψτε την τροποποίηση της στάθμης Fermi του συστήματος αν (α) προσθέσουμε επιπλέον άτομα δότη, (β) προσθέσουμε άτομα αποδέκτη, (γ) αυξήσουμε τη θερμοκρασία.

18. Θεωρούμε κρύσταλλο ημιαγωγού τύπου n . Θυμίζουμε ότι ο δότης εισάγει μία νέα ενεργειακή στάθμη E_D στην απαγορευμένη ζώνη, κάτω από τη ζώνη αγωγιμότητας. Σε απόλυτη θερμοκρασία $T=0$ η στάθμη E_D είναι κατειλημμένη από το 5^ο ηλεκτρόνιο σθένους του ατόμου του δότη (σε χαμηλές θερμοκρασίες τα άτομα του δότη δεν είναι ιονισμένα). Εξηγήστε γιατί στο όριο $T \rightarrow 0$ η στάθμη Fermi του συστήματος μετακινείται πάνω από την E_D .

19. Να γραφούν οι εξισώσεις του Maxwell σε *διαφορική* μορφή και να περιγραφεί σύντομα η φυσική τους σημασία. Ποιοι σημαντικοί *νόμοι διατήρησης* απορρέουν από τις εξισώσεις αυτές; Πώς γράφεται και τι εκφράζει από φυσική άποψη η *εξίσωση συνέχειας* για το ηλεκτρικό φορτίο; Να δοθεί η έκφραση και να περιγραφεί η φυσική σημασία του διανύσματος *Poynting*.
20. Να γραφεί η εξίσωση του *ηλεκτρομαγνητικού κύματος* στον κενό χώρο, και να περιγραφεί η φυσική της σημασία.
21. Να δοθεί η μαθηματική έκφραση και να περιγραφούν τα *φυσικά χαρακτηριστικά* ενός μονοχρωματικού επίπεδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Πώς σχετίζεται η κατεύθυνση διάδοσής του κύματος με εκείνη του διανύσματος *Poynting*; Εξηγήστε.
22. Να περιγραφούν τα φαινόμενα που συνοδεύουν την πρόσπτωση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στην επιφάνεια ενός *αγώγιμου* μέσου. Τι είναι το *επιδερμικό βάθος* και πώς εξαρτάται αυτό από την αγωγιμότητα του μέσου και την συχνότητα του κύματος; Τι καλούμε *συχνότητα πλάσματος* του αγώγιμου μέσου; Πώς εξηγείτε το γεγονός ότι χρησιμοποιούμε το *sonar* και όχι το *radar* για υποθαλάσσιες ανιχνεύσεις σε μεγάλα βάθη;
23. Δύο επίπεδα κύματα χαμηλών συχνοτήτων ω_1 και $\omega_2=2\omega_1$ προσπίπτουν στην επιφάνεια ενός αγώγιμου μέσου. Ποιο κύμα θα διεισδύσει βαθύτερα στο μέσο;
24. Θεωρούμε δύο μέταλλα M_1 και M_2 . Τα επιδερμικά βάθη στα μέταλλα αυτά για την ορατή περιοχή του φάσματος της Η/Μ ακτινοβολίας ικανοποιούν την ανισοτική σχέση $\Delta_1 \ll \Delta_2$. Ποιο από τα δύο μέταλλα θα χρησιμοποιούσατε για να κατασκευάσετε έναν καθρέφτη; Εξηγήστε.
25. Μία καλοκαιρινή μέρα κλεινόμαστε μέσα σε ένα σκοτεινό μεταλλικό δωμάτιο. Θα χρειαστεί να έχουμε μαζί το αντηλιακό μας; (Για τα περισσότερα μέταλλα η συχνότητα πλάσματος είναι στην περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας.)
26. Ποιος είναι ο ρόλος της *ιονόσφαιρας* στη διάδοση των ραδιοκυμάτων AM; Γιατί δεν είναι χρήσιμη η ιονόσφαιρα στη διάδοση ραδιοκυμάτων FM και μικροκυμάτων;
27. Ο Maxwell αναλαμβάνει κυβερνήτης σε φρεγάτα. Το πλοίο διαθέτει (α) *radar*, (β) *sonar*, (γ) αναμεταδότη ραδιοκυμάτων AM, και (δ) αναμεταδότη ραδιοκυμάτων FM. Η αποστολή του είναι (1) να ανιχνεύσει τυχόν εχθρικά υποβρύχια σε μεγάλο βάθος, (2) να ανιχνεύσει την ύπαρξη εχθρικών πλοίων στη θαλάσσια περιοχή ευθύνης του, (3) να αναμεταδώσει τη ραδιοφωνική περιγραφή ενός ποδοσφαιρικού αγώνα σε ένα φιλικό υποβρύχιο σε κατάδυση 5 m, και (4) να αναμεταδώσει τον ίδιο αγώνα σε ένα διαστημόπλοιο σε τροχιά γύρω από τη Γη. Ποια συσκευή θα χρησιμοποιήσει σε κάθε περίπτωση;
28. Φανταστείτε τον κόσμο μας αν η συχνότητα πλάσματος της ιονόσφαιρας ήταν ίση με αυτήν της θάλασσας. Πόσες ώρες θα μελετούσατε το μάθημα της Φυσικής κατά τη διάρκεια της μέρας, και πόσες κατά τη διάρκεια της νύχτας; [*Υπόδειξη*: Η συχνότητα πλάσματος της θάλασσας είναι πολύ υψηλότερη από τις συχνότητες της ορατής ακτινοβολίας.]

29. Τι είναι η *ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία* και με ποιους τρόπους παράγεται; Για κάθε ένα από τα παρακάτω φυσικά συστήματα, εξετάστε αν ακτινοβολεί ή όχι και εξηγήστε γιατί: (α) Ένα κυκλικό ρεύμα σταθερής έντασης. (β) Ένα ηλεκτρόνιο που εκτελεί *ομαλή* κυκλική κίνηση. (γ) Ένα ηλεκτρόνιο που κινείται στον χώρο χωρίς να δέχεται εξωτερικές αλληλεπιδράσεις.

30. Πώς εξηγείται η απορρόφηση της ενέργειας ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο εσωτερικό ενός *μη-αγώγιμου* (διηλεκτρικού) μέσου; Τι είναι το φαινόμενο της *σκέδασης* της Η/Μ ακτινοβολίας; Πώς ερμηνεύεται το παρατηρούμενο μπλε χρώμα του ουρανού κατά τη διάρκεια της ημέρας; Γιατί ο Ήλιος φαίνεται κιτρινωπός κατά την ημέρα και κοκκινωπός κατά το σούρουπο;