686255

No. of Printed Pages : 12

PHE-13

BACHELOR OF SCIENCE (B. Sc.)

Term-End Examination

December, 2019

PHE-13 : PHYSICS OF SOLIDS

Time : 2 Hours *Maximum Marks : 50*

Note : *All questions are compulsory; however internal options are given. You may use a calculator. Symbols have their usual meanings. The values of the physical constants are given at the end.*

1. Attempt any *five* parts : 3 each

   (a) List all the symmetry elements of the PCl_3 molecule. (Note : PCl_3 has a trigonal pyramidal structure like NH_3).

   (b) In a crystal, a lattice plane intersects the three axes at $2a_1$, $3a_2$ and $4a_3$ respectively. Calculate the Miller indices of the plane. If the lattice constant is 5 Å. Also determine

the interplanar distance for this family of planes.

(c) Write down the electronic configuration of the $Si\,(Z = 14)$ atom. What type of bonding would you expect to find in Si ?

(d) Explain, how a linear monoatomic chain behaves as a low pass filter.

(e) The energy of the lowest allowed level for an electron in a 1-D box is 8.0 eV. Will the electron ever have an energy equal to 512 eV ?

(f) Determine the critical magnetic field required to destroy superconductivity in Pb at 5 K, given that $T_c = 7.2$ K and $B_{ac}\,(O) = 0.08$ T.

(g) Why are the properties of nano structures so different from their bulk counterparts ? What is the scanning probe method of nano structure fabrication ?

(h) With the help of appropriate diagrams, explain the difference between ferro-magnetic, anti-ferromagnetic and ferrite materials.

2. Answer any *two* parts : 5 each

(a) Sodium metal crystallizes in the bcc structure. If the atomic weight of sodium is 23 and density is 971 kg-m^{-3}, calculate the lattice constant and the nearest neighbour distance.

(b) Show that the reciprocal lattice of a simple cubic lattice is also a simple cubic structure.

(c) Determine the conditions governing the geometric structure factor for a bcc lattice and list two missing planes. 4 + 1

3. Answer any *one* part : 5

(a) Consider a linear chain of two different types of atoms of mass M and m placed at equal distances. Write down the equation of motion for the longitudinal vibrations of

the two masses. Draw the w-k dispersion curves depicting the normal mode frequencies for this system. Explain the characteristics of the optical and acoustic branches of the dispersion curve. 2 + 1 + 2

(b) Derive the expression for the heat capacity of a solid at a temperature T from Einstein's theory. [Note : You may use the identity :

$$e^{-x} + 2e^{-2x} + 3e^{-3x} + \ldots\ldots = \frac{1 + e^{-x} + e^{-2x} + \ldots}{e^{x} - 1}]$$

4. Answer any *two* parts : 5 each

(a) In the band theory of solids, starting from the expression for the group velocity $\left(v = \frac{d\omega}{dk}\right)$, derive the expression for the effective mass of the electron, m^*.

(b) The expression for the number of electrons in the energy interval E to E + dE in a

cubical box of side L, as per the Sommerfeld model is :

$$N(E)\,dE = \frac{\pi}{2}\left(\frac{8mL^2}{h^2}\right)^{3/2}(E)^{\frac{1}{2}}\frac{dE}{e^{\frac{E-E_F}{k_BT}}+1}$$

Starting from this expression obtain the expression for the Fermi energy at T = 0.

(c) An intrinsic semiconductor specimen is kept at absolute zero temperature. Calculate the energy of the intrinsic Fermi level if its band gap is 0.80 eV. How much will this value change when the temperature of the specimen is raised to room temperature ? Take the effective masses of the hole and the electron to be 0.62 m_e and 1.08 m_e respectively.

5. Answer any *two* parts : 5 each

(a) Draw a typical magnetisation cycle for a ferromagnet. Explain the dominant processes in different parts of the magnetisation cycle. What are remanence and coercivity ? 1, 2, 2

(b) What are transducers ? Explain the working of a peizoelectric pressure transducer.

(c) Describe with labelled diagrams, the different types of point defects in crystals.

Physical constants :

$h = 6.62 \times 10^{-34}$ J-s

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$ mol^{-1}

$1\,eV = 1.6 \times 10^{-19}$ J

$k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ JK^{-1}

$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

पी. एच. ई.-13

विज्ञान स्नातक (बी. एस-सी.)

सत्रांत परीक्षा

दिसम्बर, 2019

पी. एच. ई.-13 : घन अवस्था भौतिकी

समय : 2 घण्टे *अधिकतम अंक : 50*

नोट : *सभी प्रश्न अनिवार्य हैं, परन्तु आंतरिक विकल्प दिए गए हैं। आप कैल्कुलेटर का प्रयोग कर सकते हैं। प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं। भौतिक नियतांकों के मान अंत में दिए गए हैं।*

1. किन्हीं **पाँच** भागों के उत्तर दीजिए : प्रत्येक 3

   (क) PCl_3 अणु के सारे सममिति अवयव सूचीबद्ध कीजिए। (ध्यान दीजिए : NH_3 की तरह; PCl_3 की संरचना भी त्रिसमनताक्ष पिरामिडल होती है।)

   (ख) किसी क्रिस्टल में एक जालक समतल तीनों अक्षों को क्रमशः $2a_1, 3a_2$ और $4a_3$ पर विच्छेदित करती है। इस समतल के मिलर सूचकांक परिकलित कीजिए। यदि जालक स्थिरांक 5 Å हो, तो इन समतलों के समूह के लिए अंतरातलीय दूरी भी परिकलित कीजिए।

(ग) $Si\,(Z = 14)$ अणु के लिए इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखिए। Si में किस प्रकार का आबंधन संभव होगा?

(घ) समझाइए कि एक एकपरमाण्विक रैखिक शृंखला, एक न्यून पारक फिल्टर की भाँति कैसे व्यवहार कर सकती है।

(ङ) एकविमीय बॉक्स में इलेक्ट्रॉन के न्यूनतम अनुमत स्तर की ऊर्जा का मान 8.0 eV है। क्या इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा का मान 512 eV हो सकता है?

(च) Pb में 5 K तापमान पर अतिचालकता को नष्ट करने के लिए आवश्यक क्रान्तिक चुम्बकीय क्षेत्र का मान परिकलित कीजिए, यदि दिया गया हो कि $T_c = 7.2$ K और $B_{ac}(O) = 0.8$ T हैं।

(छ) नैनो संरचनाओं के गुणधर्म उनके संगत स्थूल पदार्थों से इतने भिन्न क्यों होते हैं ? नैनो संरचनाओं को बनाने की क्रमवीक्षण अन्वेषण विधि क्या होती है?

(ज) उपयुक्त आरेखों की सहायता से लौहचुम्बक, प्रति-लौहचुम्बक और फेराइट पदार्थों के बीच अन्तर समझाइए।

2. किन्हीं **दो** भागों के उत्तर दीजिए : प्रत्येक 5

(क) सोडियम धातु की क्रिस्टल संरचना bcc होती है। यदि सोडियम का परमाणु भार 23 और घनत्व 971 kg m^{-3} हो, तो जालक स्थिरांक और नज़दीकी परमाणुओं के बीच की दूरी परिकलित कीजिए।

(ख) सिद्ध कीजिए कि एक सरल घनीय जालक के व्युत्क्रम जालक की संरचना भी सरल घनीय होती है।

(ग) bcc जालक के लिए ज्यामितीय संरचना गुणक निर्धारित करने वाले प्रतिबंधों की व्युत्पत्ति कीजिए और दो लुप्त समतलों को सूचीबद्ध कीजिए। 4+1

3. किसी **एक** भाग का उत्तर दीजिए : प्रत्येक 5

(क) द्रव्यमान M और m वाले, एक-दूसरे से बराबर दूरी पर स्थित दो भिन्न प्रकार के परमाणुओं की एक रैखिक शृंखला लीजिए। इन दो द्रव्यमानों के

अनुदैर्घ्य कम्पनों के लिए गति के समीकरण लिखिए। इस निकाय के लिए w-k परिक्षेपण वक्र आरेखित कीजिए जो प्रसामान्य विधा आवृत्तियों को चित्रित करे। इस परिक्षेपण वक्र की प्रकाशीय और ध्वनिक शाखाओं के अभिलक्षण बताइए। 2+1+2

(ख) आइन्स्टीन के सिद्धान्त से तापमान T पर एक ठोस की ऊष्मा-धारिता का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। [ध्यान दें : आप निम्नलिखित तत्समक का प्रयोग कर सकते हैं :

$$e^{-x} + 2e^{-2x} + 3e^{-3x} + \ldots\ldots = \frac{1 + e^{-x} + e^{-2x} + \ldots\ldots}{e^{x} - 1}]$$

4. किन्हीं दो भागों के उत्तर दीजिए : प्रत्येक 5

(क) ठोसों के बैंड सिद्धान्त में समूह वेग के व्यंजक $\left(v = \frac{d\omega}{dk}\right)$ से शुरू करते हुए, इलेक्ट्रॉन के प्रभावी द्रव्यमान m^*, का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए।

(ख) भुजा L वाले एक घनीय बॉक्स में, सोमरफैल्ड मॉडल के अनुसार, ऊर्जा परास E और $E+dE$ के बीच इलेक्ट्रॉनों की संख्या के लिए निम्नलिखित व्यंजक है :

$$N(E)\,dE = \frac{\pi}{2}\left(\frac{8mL^2}{h^2}\right)^{3/2}(E)^{\frac{1}{2}}\frac{dE}{e^{\frac{E-E_F}{k_BT}}+1}$$

इस व्यंजक से शुरू करते हुए $T=0$ पर फर्मी ऊर्जा का व्यंजक प्राप्त कीजिए।

(ग) एक नैज अर्धचालक को परम शून्य तापमान पर रखा गया है। नैज फर्मी स्तर की ऊर्जा का मान परिकलित कीजिए यदि बैंड अन्तराल 0.80 eV है। इसका मान कितना बदल जायेगा यदि प्रतिदर्श के तापमान को कोष्ठ ताप तक बढ़ाया जाए? होल और इलेक्ट्रॉन के प्रभावी द्रव्यमान क्रमशः $0.62\,m_e$ और $1.08\,m_e$ लीजिए।

5. किन्हीं **दो** भागों के उत्तर दीजिए : प्रत्येक 5

(क) एक लौहचुम्बक पदार्थ के लिए एक प्रतिरूपी चुम्बकन आवर्तन आरेखित कीजिए। इसके विभिन्न क्षेत्रों में होने वाले प्रमुख प्रक्रमों को

समझाइए। चुम्बकत्वावशेष और निग्राहिता क्या होते हैं? 1, 2, 2

(ख) ट्रान्सड्यूसर क्या होते हैं? एक दाब-विद्युत दाब ट्रान्सड्यूसर की कार्यविधि समझाइए।

(ग) चिन्हित आरेखों की सहायता से एक क्रिस्टल में पाये जाने वाले विभिन्न प्रकार के बिन्दु दोष समझाइए।

भौतिक नियतांक :

$h = 6.62 \times 10^{-34}$ J-s

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$ mol^{-1}

$1\,eV = 1.6 \times 10^{-19}$ J

$k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ JK^{-1}

$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg