No. of Printed Pages : 12 **BPHCT-135**

BACHELOR OF SCIENCE (GENERAL) (BSCG)

Term-End Examination

June, 2022

BPHCT-135 : THERMAL PHYSICS AND STATISTICAL MECHANICS

Time : 2 Hours *Maximum Marks : 50*

Note : (*i*) *All questions are compulsory. However, internal choices are given.*

(*ii*) *You can use a calculator.*

(*iii*) *Symbols have their usual meanings.*

(*iv*) *The marks for each question are indicated against it.*

1. Attempt any ***five*** parts : 2×5=10

(a) Define degree of freedom of a molecule. Calculate the degree of freedom for a rigid diatomic molecule.

(b) The coefficient of viscosity of helium is 18.6×10^{-6} Nsm^{-2}, M = 4 kg K mol^{-1} and $C_V = 12.5 \times 10^3$ JK mol^{-1}. Calculate thermal conductivity of helium.

(c) Define entropy and state second law of thermodynamics in terms of entropy.

(d) Planck's law is given by :

$$u_\lambda d_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\left[\frac{1}{\exp\ hc / \lambda k_B T\ - 1}\right] d\lambda$$

Using this relation deduce Rayleigh-Jean's law.

(e) Write *one* example each of (i) diathermal and (ii) adiabatic boundary of a thermodynamic system.

(f) Write down the differential form of the first law of thermodynamics explaining all the parameters.

(g) What do you understand by a phase space ?

(h) Show that in the high energy range, the Bose-Einstein distribution reduces to the Maxwell-Boltzmann distribution.

2. Answer any ***two*** parts :

(a) The expression of the number of molecules in Maxwellian gas having speeds in the range v to $v + dv$ is given by :

$$dN_V = 4\pi N\left[\frac{m}{2\pi k_B T}\right]^{3/2} v^2 \exp\left[-\left(\frac{mv^2}{2k_B T}\right)\right]dv$$

Using this expression, show that the expression of the most probable speed v_p of a molecule in a Maxwellian gas is : 5

$$v_p = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}}.$$

(b) Derive the survival equation :

$$N\ x = N_0 \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)$$

for distribution of free paths. Hence, plot distribution of free paths as a function of $\frac{x}{\lambda}$. 5

(c) What is Brownian motion ? Write any *four* characteristics of Brownian motion. 1+4

3. Attempt any ***two*** parts :

(a) Obtain the values of isothermal compressibity β_T and coefficient of volume expansion α for an ideal gas. 3+2

(b) Is work a function of the state ? Explain its path dependent behaviour with the help of an indicator diagram. 1+4

(c) Three moles of an ideal gas at STP is expanded isothermally to twice its volume. It is then made to undergo isochoric change to attain its original pressure. Calculate the total work done in these processes. (Given : $R = 8.3\ JK^{-1}\ mol^{-1}$). 5

4. Attempt any ***two*** parts :

(a) A freezer operates between –13°C and 33°C. Calculate (i) maximum value of coefficient of performance (w) of this refrigerator and (ii) the amount of electrical energy required to freeze 0.5 kg of water, initially at 0°C. It is given that : Latent heat of fusion = 334 kJ kg^{-1}. 2+3

(b) Using Maxwell's relations, obtain first and second energy equations. 5

(c) State Stefan-Boltzmann's law. Write its mathematical expression. Plot spectral energy density of a black body with wavelength at different temperatures.

2+1+2

5. Attempt any ***two*** parts :

(a) Suppose two indistinguishable particles are placed in four states. Enumerate the possible macrostates and the corresponding microstates. 5

(b) Write down the expression for the single-particle partition function in μ space. Use this relation to derive expressions for entropy and pressure. 1+2+2

(c) Derive Planck's law using the Bose-Einstein's distribution law for photons. 5

BPHCT-135

विज्ञान स्नातक (सामान्य) (बी.एस.सी.जी.)

सत्रांत परीक्षा

जून, 2022

बी.पी.एच.सी.टी.-135 : ऊष्मीय भौतिकी और सांख्यिकीय यांत्रिकी

समय : 2 घण्टे *अधिकतम अंक : 50*

नोट : (*i*) सभी प्रश्न अनिवार्य हैं। लेकिन आंतरिक विकल्प दिए गए हैं।

(*ii*) आप कैल्कुलेटर का प्रयोग कर सकते हैं।

(*iii*) प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं।

(*iv*) प्रत्येक प्रश्न के अंक उसके सामने दिए गए हैं।

---

1. कोई ***पाँच*** भाग हल कीजिए : 2×5=10

(क) अणु की स्वातंत्र्य कोटि को परिभाषित कीजिए। दृढ़ (rigid) द्विपरमाणुक अणु की स्वातंत्र्य कोटि परिकलित कीजिए।

(ख) हीलियम का श्यानता गुणांक 18.6×10^{-6} Nsm^{-2}, $M = 4\,\text{kg K mol}^{-1}$ है और $C_V = 12.5 \times 10^3\ \text{JK mol}^{-1}$ है। हीलियम की ऊष्मा चालकता परिकलित कीजिए।

(ग) एण्ट्रॉपी को परिभाषित कीजिए और एन्ट्रॉपी के पदों में ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का कथन लिखिए।

(घ) प्लांक का नियम निम्नलिखित व्यंजक द्वारा दिया जाता है :

$$u_\lambda d_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\left[\frac{1}{\exp\ hc/\lambda k_B T\ - 1}\right] d\lambda$$

इस संबंध का उपयोग कर रैले–जीन के नियम का निगमन कीजिए।

(ङ) ऊष्मागतिकी तंत्र की (i) ऊष्मापार्य और (ii) रुद्धोष्म परिसीमाओं का **एक–एक** उदाहरण लिखिए।

(च) सभी प्राचलों की व्याख्या करते हुए ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का अवकल रूप लिखिए।

(छ) प्रावस्था समष्टि से आप क्या समझते हैं ?

(ज) सिद्ध कीजिए कि उच्च ऊर्जा के लिए, बोस–आइन्स्टीन बंटन मैक्सवेल–बोल्ट्समान बंटन में परिवर्तित हो जाता है।

2. कोई ***दो*** भाग हल कीजिए :

(क) चाल के v से $v + dv$ परिसर में मैक्सवेली गैस में अणुओं की संख्या का व्यंजक निम्नलिखित द्वारा दिया जाता है :

$$dN_V = 4\pi N\left[\frac{m}{2\pi k_B T}\right]^{3/2} v^2 \exp\left[-\left(\frac{mv^2}{2k_B T}\right)\right]dv$$

इस संबंध का उपयोग कर सिद्ध कीजिए कि मैक्सवेली गैस के लिए प्रायिकतम चाल v_p का व्यंजक $v_p = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}}$ है। 5

(ख) मुक्त पथों के बंटन के लिए अतिजीविता समीकरण $N\ x = N_0 \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)$ व्युत्पन्न कीजिए। $\frac{x}{\lambda}$ के फलन के रूप में मुक्त पथों के बंटन का आरेख खींचिए। 5

(ग) ब्राऊनी गति क्या होती है ? ब्राऊनी गति के कोई **चार** अभिलक्षण लिखिए। 1+4

3. कोई ***दो*** भाग हल कीजिए :

(क) आदर्श गैस के लिए समतापी संपीड्यता β_T और आयतन प्रसार गुणांक α के मान प्राप्त कीजिए। 3+2

(ख) क्या कार्य अवस्था का फलन है ? सूचक आरेख की सहायता से इसकी पथ निर्भरता की व्याख्या कीजिए। 1+4

(ग) मानक ताप और दाब STP पर तीन मोल आदर्श गैस को समतापी प्रक्रम से उसके मूल आयतन से दुगुने आयतन तक प्रसारित किया जाता है। इसके बाद उसे समायतनिक प्रक्रम से अपने मूल दाब तक परिवर्तित किया जाता है। इन प्रक्रमों में किया गया कुल कार्य परिकलित कीजिए। (दिया है : $R = 8.3\,JK^{-1}mol^{-1}$)। 5

4. कोई **दो** भाग हल कीजिए :

(क) एक फ्रीजर $-13°C$ और $33°C$ के बीच चलता है। (i) इसके निष्पादन गुणांक w का अधिकतम मान और (ii) $0°C$ पर रखे 0.5 kg जल को संलयित करने के लिए आवश्यक विद्युत ऊर्जा का मान परिकलित कीजिए। दिया है : जल की विशिष्ट संलयन गुप्त ऊष्मा = 334 kJ kg^{-1}। 2+3

(ख) मैक्सवेल संबंधों का उपयोग करके, प्रथम और द्वितीय ऊर्जा समीकरण प्राप्त कीजिए। 5

(ग) स्टीफन-बोल्ट्ज़मान नियम का कथन लिखिए। इसका गणितीय व्यंजक लिखिए। विभिन्न तापों पर कृष्णिका के स्पेक्ट्रमी ऊर्जा घनत्व का तरंगदैर्घ्य के फलन के रूप में आलेख खींचिए। 2+1+2

5. कोई **दो** भाग कीजिए :

(क) मान लीजिए कि दो अविभेद्य कणों को चार कोष्ठिकाओं में रखा जाता है। संभावित स्थूल अवस्थाओं तथा संगत सूक्ष्म अवस्थाओं की गणना कीजिए। 5

(ख) μ–समष्टि में एकल कण के लिए संवितरण फलन लिखिए। इस व्यंजक का उपयोग करके एण्ट्रॉपी एवं दाब के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। 1+2+2

(ग) फोटॉनों के लिए बोस–आइन्स्टोन बंटन नियम का प्रयोग करते हुए प्लांक नियम व्युत्पन्न कीजिए। 5