No. of Printed Pages : 8 **PHE-06/BPHE-106**

BACHELOR OF SCIENCE (B. SC.)
Term-End Examination
December, 2022
PHE-06/BPHE–106 : THERMODYNAMICS AND STATISTICAL MECHANICS

Time : 2 Hours *Maximum Marks : 50*

Note : *(i) All questions are compulsory, but 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.

(v) The valuesof the physical constants are mentioned at the end.

1. Answer any *three* parts :

3.5×10^{-10} m. Calculate mean free path at temperature 27°C and pressure one atm. ($k = 1.38 \times 10^{-23}$ m^2 kg/s^2 K). 5

(b) Obtain expression for mean translational energy per degree of freedom for the

molecules following a Maxwellian distribution given by : 5

$$f(v_x)\,dv_x = \mathrm{A}\exp\left(-\mathrm{B}v_x^2\right)dv_x$$

where $\mathrm{A} = \sqrt{\frac{\mathrm{B}}{\pi}}$.

(c) State zeroth law of thermodynamics and use it to establish the concept of temperature. What are 'extensive' and 'intensive' variables in Thermodynamics ? 1+2+2

(d) A reversible engine takes-in heat from a reservoir of heat at 527°C and gives-out heat to sink at 127°C. How many calories per second must it take from the reservoir to produce useful mechanical work at the rate of 750 W ? 5

(e) Starting with the equation of motion of a linear harmonic oscillator, show that its phase space is an ellipse. 5

2. Using van der Waals gas equation, obtain the expressions for critical constants of the gas ($\mathrm{P}_c, \mathrm{V}_c$ and T_c). 5

Or

Show that : 5

$$\mathrm{C}_p - \mathrm{C}_v = \left[\left(\frac{\partial \mathrm{U}}{\partial \mathrm{V}}\right)_{\mathrm{T}} + \mathrm{P}\right]\left(\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial \mathrm{T}}\right)_{\mathrm{P}}$$

3. Attempt any *two* parts :

   (a) If the average energy of helium molecules is 2.5×10^{-21} J, calculate :

   (i) Average speed

   (ii) Root-mean-square speed

   (Given that : $f = 3$, $m_{He} = 6.7 \times 10^{-27}$ kg)

   (b) With the help of a schematic diagram, explain the construction of a platinum resistance thermometer. Write any *two* of its merits. 3+2

   (c) Write down the expression for adiabatic lapse rate. If the rate of fall in temperature is 9.8 K per km with height, estimate $\gamma \left(= C_p/C_v \right)$. Given that : $m = 28.94$. 1+4

4. Write the expressions for the four thermodynamic potentials. Derive Maxwell's four thermodynamic relations using these expressions. 4+6

Or

Explain the phenomenon of adiabatic demagnetization. Describe the experimental arrangement to produce very low temperatures using this phenomenon.

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

   (a) Obtain Boltzmann relation of thermodynamic probability. 5

(b) State Dulong and Petit's law. Using Einstein's theory, derive the expression for the constant volume heat capacity. 1+4

(c) State Gibbs' paradox. How can it be resolved by using Sackur-Tetrode equation ? 1+4

Physical constants :

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

$$1 \text{ atm} = 1.05 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.673 \times 10^{-27} \text{ K}$$

$$g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$$

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

PHE-06/BPHE-106

विज्ञान स्नातक (बी. एस-सी.)

सत्रांत परीक्षा

दिसम्बर, 2022

पी. एच. ई.-06/बी. पी. एच. ई.-106 : ऊष्मागतिकी तथा सांख्यिकीय यांत्रिकी

समय : 2 घण्टे *अधिकतम अंक : 50*

नोट : (*i*) सभी प्रश्न अनिवार्य हैं, परन्तु 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।

(*v*) भौतिक नियतांकों के मान अंत में दिए गए हैं।

---

1. किन्हीं **तीन** भागों के उत्तर दीजिए :

(क) नाइट्रोजन के अणुओं का व्यास 3.5×10^{-10} m है। तापमान 27°C और दाब 1 atm पर माध्य मुक्त पथ परिकलित कीजिए। 5

$\left(k = 1.38 \times 10^{-23} \mathrm{m^2 kg/s^2 K}\right)$ लें।

(ख) निम्नलिखित मैक्सवेली वितरण का अनुसरण करने वाले गैस के अणुओं के लिए प्रति स्वातंत्र्य कोटि माध्य स्थानांतरी ऊर्जा का व्यंजक प्राप्त कीजिए :

$$f\left(v_x\right) dv_x = \mathrm{A} \exp\left(-\mathrm{B}v_x^2\right) dv_x$$

जहाँ $\mathrm{A} = \sqrt{\frac{\mathrm{B}}{\pi}}$ है।

(ग) ऊष्मागतिकी के शून्य कोटि नियम का कथन लिखिए और इसका उपयोग कर ताप की संधारणा को स्थापित कीजिए। ऊष्मागतिकी में 'विस्तारात्मक' चर और 'अविस्तारात्मक' चर क्या होते हैं ? 1+2+2

(घ) एक उत्क्रमणीय ऊष्मा इंजन 527°C वाले ऊष्मा भंडार से ऊष्मा लेता है और 127°C पर अभिगम को ऊष्मा देता है। 750 W की दर से उपयोगी यांत्रिक कार्य करने के लिए यह इंजन भण्डार से कितनी कैलोरी प्रति सेकंड लेगा ? 5

(ङ) सरल आवर्ती दोलक की गति के समीकरण से प्रारम्भ कर सिद्ध कीजिए कि उसकी प्रावस्था समष्टि एक दीर्घवृत्त है। 5

2. वाण्डर वाल्स गैस समीकरण का उपयोग कर गैस के क्रांतिक अचरांक ($\mathrm{P}_c, \mathrm{V}_c$ और T_c) के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए। 5

अथवा

सिद्ध कीजिए कि : 5

$$C_p - C_v = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P\right]\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

3. किन्हीं **दो** भागों के उत्तर दीजिए :

(क) हीलियम अणुओं की माध्य ऊर्जा 2.5×10^{-21} J है। हीलियम अणुओं की (i) माध्य चाल, (ii) मूल माध्य वर्ग चाल परिकलित कीजिए। (दिया है : $f = 3$ और

$m_{H_e} = 6.7 \times 10^{-27}$ kg)।

3+2

(ख) व्यवस्था चित्र की सहायता से प्लैटिनम प्रतिरोध तापमापी की संरचना समझाइए। इसके कोई **दो** लाभ लिखिए। 3+2

(ग) रुद्धोष्म ह्रास दर का व्यंजक लिखिए। यदि तापमान में ऊँचाई के साथ गिरावट की दर 9.8 K प्रति km है, तो $\gamma\left(= C_p/C_v\right)$ का मान परिकलित कीजिए। दिया है : $m = 28.94$ ।

1+4

4. ऊष्मागतिक विभव के चार व्यंजकों को लिखिए। इन व्यंजकों का उपयोग कर मैक्सवेल के चारों ऊष्मागतिक संबंधों को व्युत्पन्न कीजिए। 4+6

अथवा

रुद्धोष्म विचुंबकन परिघटना को समझाइए। इस परिघटना का उपयोग कर निम्न ताप प्राप्त करने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था की व्याख्या कीजिए। 5+5

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

(क) ऊष्मागतिक प्रायिकता के बोल्ट्जमान संबंध को प्राप्त कीजिए। 5

(ख) ड्यूलाँ–पेटिट नियम का कथन लिखिए। आइन्स्टीन सिद्धांत का उपयोग कर अचर आयतन ऊष्माधारिता का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। 1+4

(ग) गिब्स़ विरोधाभास का कथन लिखिए। जाकर–टेट्रोड समीकरण का उपयोग कर इसका समाधान (resolved) कैसे निकाला जा सकता है ? 1+4

भौतिक नियतांक :

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

$$1 \text{ atm} = 1.05 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.673 \times 10^{-27} \text{ K}$$

$$g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$$

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$