CIVIL SERVICES (MAIN) EXAM-2022

CRNA–F–PHY

भौतिकी (प्रश्न-पत्र–I)

निर्धारित समय : तीन घण्टे

अधिकतम अंक : 250

प्रश्न-पत्र सम्बन्धी विशेष अनुदेश

(उत्तर देने के पूर्व निम्नलिखित निर्देशों को कृपया सावधानीपूर्वक पढ़िए)

इसमें **आठ** प्रश्न हैं जो दो खण्डों में विभाजित हैं तथा **हिन्दी** एवं **अंग्रेजी** दोनों में छपे हुए हैं।

परीक्षार्थी को कुल **पाँच** प्रश्नों के उत्तर देने हैं।

प्रश्न संख्या **1** और **5** अनिवार्य हैं तथा बाकी प्रश्नों में से प्रत्येक खण्ड से कम-से-कम **एक** प्रश्न चुनकर **तीन** प्रश्नों के उत्तर दीजिए।

प्रत्येक प्रश्न/भाग के लिए नियत अंक उसके सामने दिए गए हैं।

प्रश्नों के उत्तर उसी प्राधिकृत माध्यम में लिखे जाने चाहिए, जिसका उल्लेख आपके प्रवेश-पत्र में किया गया है, और इस माध्यम का स्पष्ट उल्लेख प्रश्न-सह-उत्तर (क्यू० सी० ए०) पुस्तिका के मुखपृष्ठ पर निर्दिष्ट स्थान पर किया जाना चाहिए। प्राधिकृत माध्यम के अतिरिक्त अन्य किसी माध्यम में लिखे गए उत्तर पर कोई अंक नहीं मिलेंगे।

यदि आवश्यक हो, तो उपयुक्त आँकड़ों का चयन कीजिए तथा उनको निर्दिष्ट कीजिए।

जब तक उल्लिखित न हो, संकेत तथा शब्दावली प्रचलित मानक अर्थों में प्रयुक्त हैं।

प्रश्नों के उत्तरों की गणना क्रमानुसार की जाएगी। यदि काटा नहीं हो, तो प्रश्न के उत्तर की गणना की जाएगी चाहे वह उत्तर अंशतः दिया गया हो। प्रश्न-सह-उत्तर पुस्तिका में खाली छोड़ा हुआ पृष्ठ या उसके अंश को स्पष्ट रूप से काटा जाना चाहिए।

PHYSICS (PAPER–I)

Time Allowed : Three Hours

Maximum Marks : 250

QUESTION PAPER SPECIFIC INSTRUCTIONS

(Please read each of the following instructions carefully before attempting questions)

There are EIGHT questions divided in two Sections and printed both in HINDI and in ENGLISH.

Candidate has to attempt FIVE questions in all.

Question Nos. **1** and **5** are compulsory and out of the remaining, THREE are to be attempted choosing at least ONE question from each Section.

The number of marks carried by a question/part is indicated against it.

Answers must be written in the medium authorized in the Admission Certificate which must be stated clearly on the cover of this Question-cum-Answer (QCA) Booklet in the space provided. No marks will be given for answers written in a medium other than the authorized one.

Assume suitable data, if considered necessary, and indicate the same clearly.

Unless and otherwise indicated, symbols and notations carry their usual standard meanings.

Attempts of questions shall be counted in sequential order. Unless struck off, attempt of a question shall be counted even if attempted partly. Any page or portion of the page left blank in the Question-cum-Answer Booklet must be clearly struck off.

भौतिक नियतांक

प्रकाश का वेग (c) = 3×10^{8} m/s

बोल्ट्ज़मान नियतांक (k) = $1\cdot38\times10^{-23}$ J/K

प्लांक नियतांक (h) = $6\cdot627\times10^{-34}$ J s

मुक्त आकाश की विद्युत्शीलता (परावैद्युतांक) (ε_0) = $8\cdot854\times10^{-12}$ F/m

मुक्त आकाश की पारगम्यता (μ_0) = $4\pi\times10^{-7}$ H/m

इलेक्ट्रॉन का आवेश (e) = $1\cdot6\times10^{-19}$ C

इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान (m_e) = $9\cdot1\times10^{-31}$ kg

सार्वत्रिक गैस नियतांक (R) = $8\cdot3$ J/gm mole/K

सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण नियतांक (G) = $6\cdot66\times10^{-11}$ N m^{2}/kg^{2}

Physical Constants

Velocity of light (c) = 3×10^{8} m/s

Boltzmann constant (k) = $1\cdot38\times10^{-23}$ J/K

Planck constant (h) = $6\cdot627\times10^{-34}$ J s

Permittivity of free space (ε_0) = $8\cdot854\times10^{-12}$ F/m

Permeability of free space (μ_0) = $4\pi\times10^{-7}$ H/m

Charge of electron (e) = $1\cdot6\times10^{-19}$ C

Mass of electron (m_e) = $9\cdot1\times10^{-31}$ kg

Universal gas constant (R) = $8\cdot3$ J/gm mole/K

Universal gravitational constant (G) = $6\cdot66\times10^{-11}$ N m^{2}/kg^{2}

खण्ड—A / SECTION—A

1. *(a)* एक इलेक्ट्रॉन, परमाणु क्रमांक Z के बिंदु नाभिक के प्रभाव में गतिमान है। दर्शाइए कि इलेक्ट्रॉन की कक्षा एक दीर्घवृत्त है।

An electron is moving under the influence of a point nucleus of atomic number Z. Show that the orbit of the electron is an ellipse. 10

(b) दर्शाइए कि ऊर्जा-संरक्षी सरल आवर्त कम्पन तंत्रों की औसत गतिज और स्थितिज ऊर्जा बराबर हैं।

Show that the mean kinetic and potential energies of non-dissipative simple harmonic vibrating systems are equal. 10

(c) एक रेलवे प्लेटफॉर्म पर एक प्रेक्षक ने देखा कि जैसे ही एक ट्रेन स्टेशन से 108 km/hr की गति से गुजरती है, सीटी की आवृत्ति में 350 Hz की कमी प्रतीत होने लगती है। सीटी की आवृत्ति ज्ञात कीजिए। (वायु में ध्वनि का वेग = 380 m s^{-1})

An observer on a railway platform observed that as a train passed through the station at 108 km/hr, the frequency of the whistle appeared to drop by 350 Hz. Find the frequency of the whistle. (Velocity of sound in air = 380 m s^{-1}) 10

(d) दर्शाइए कि बहुत कम वेग के लिए गतिज ऊर्जा का समीकरण $K = \Delta mc^2$, $K = \frac{1}{2} m_0 v^2$ हो जाता है, जहाँ संकेतों का अपना सामान्य अर्थ होता है।

Show that for very small velocity, the equation for kinetic energy, $K = \Delta mc^2$ becomes $K = \frac{1}{2} m_0 v^2$, where notations have their usual meanings. 10

(e) क्वाट्‌र्ज की एक कला मंदन प्लेट की मोटाई 0·1436 mm है। दृश्य क्षेत्र में किस तरंगदैर्घ्य के लिए यह एक-चौथाई तरंग प्लेट के रूप में कार्य करेगी? दिया गया है, $\mu_O = 1{\cdot}5443$ और $\mu_E = 1{\cdot}5533$.

A phase retardation plate of quartz has thickness 0·1436 mm. For what wavelength in the visible region will it act as quarter-wave plate? Given that $\mu_O = 1{\cdot}5443$ and $\mu_E = 1{\cdot}5533$. 10

2. *(a)* दो निर्देश तंत्र S और S' हैं, जिनका उभयनिष्ठ मूलबिंदु O है। S' तंत्र एकसमान $\vec{\omega} = 3a_x$ rad s^{-1} से स्थिर तंत्र S के सापेक्ष घूम रहा है। स्थिति सदिश $\vec{r} = 7a_x + 4a_y$ m पर इकाई द्रव्यमान का एक प्रक्षेप्य $\vec{v} = 14a_y$ m s^{-1} के साथ गतिमान है। घूर्णन तंत्र S' में प्रक्षेप्य पर निम्नलिखित बलों की गणना कीजिए :

(i) ऑयलर बल

(ii) कॉरिऑलिस बल

(iii) अपकेंद्री बल

Consider two frames of reference S and S' having a common origin O. The frame S' is rotating with respect to the fixed frame S with a uniform $\vec{\omega} = 3a_x$ rad s^{-1}. A projectile of unit mass at position vector $\vec{r} = 7a_x + 4a_y$ m is moving with $\vec{v} = 14a_y$ m s^{-1}. Calculate in the rotating frame S' the following forces on the projectile :

(i) Euler's force

(ii) Coriolis force

(iii) Centrifugal force 15

(b) द्रव्यमान m_1 का एक कण P, विरामावस्था में स्थित द्रव्यमान m_2 के दूसरे कण Q से टकराता है। कण P और Q, P की प्रारम्भिक दिशा के सापेक्ष क्रमशः कोण θ और ϕ पर प्रगमन करते हैं। θ के अधिकतम मान के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए।

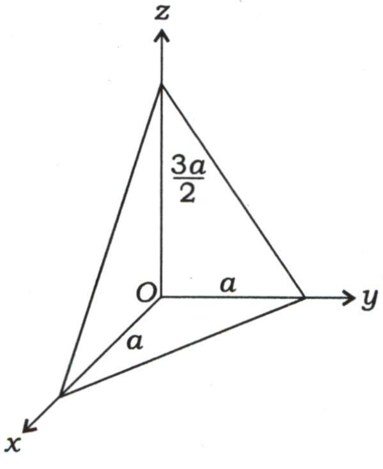
A particle P of mass m_1 collides with another particle Q of mass m_2 at rest. The particles P and Q travel at angles θ and ϕ, respectively, with respect to the initial direction of P. Derive the expression for the maximum value of θ. 15

(c) मोटे लेंस का तंत्र आव्यूह ज्ञात कीजिए और पतले लेंस का सूत्र प्राप्त कीजिए।

Obtain the system matrix for a thick lens and derive the thin lens formula. 20

3. *(a)* एक समांगी समत्रिकोणीय पिरामिड, जिसका आधार पार्श्व a और जिसकी ऊँचाई $\frac{3a}{2}$ है, नीचे चित्र में दिखाया गया है। पिरामिड का जड़त्व-आघूर्ण प्रदिश (टेन्सर) ज्ञात कीजिए :

A homogeneous right triangular pyramid with the base side a and height $\frac{3a}{2}$ is shown below. Obtain the moment of inertia tensor of the pyramid :



20

(b) न्यूटन के वलय (रिंग) 100 cm वक्रता-त्रिज्या की एक गोलाकार सतह और समतल काँच की प्लेट के मध्य देखे जाते हैं। 4वें और 15वें दीप्त वलयों के व्यास क्रमशः 0·314 cm और 0·574 cm हैं। 24वें और 36वें दीप्त वलयों के व्यास और प्रयुक्त प्रकाश के तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।

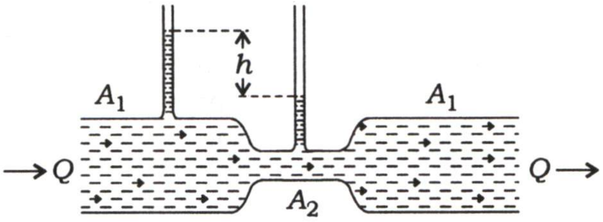
Newton's rings are observed between a spherical surface of radius of curvature 100 cm and a plane glass plate. The diameters of 4th and 15th bright rings are 0·314 cm and 0·574 cm, respectively. Calculate the diameters of 24th and 36th bright rings and also the wavelength of light used. 15

(c) He-Ne लेज़र में He गैस की क्या भूमिका है? He-Ne लेज़र के लिए ऊर्जा स्तर आरेख की सहायता से उत्तर स्पष्ट कीजिए।

In He-Ne laser, what is the function of He gas? Explain the answer with the help of energy level diagram for He-Ne laser. 15

4. *(a)* नीचे दिए गए आरेख पर विचार कीजिए, जिसमें Q जल-प्रवाह दर है। दाबमापी (मैनोमीटर) की ऊँचाइयों में अन्तर h तथा अनुप्रस्थ-काट क्षेत्रफलों A_1 और A_2 के सापेक्ष Q के मान के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए :

Consider the diagram below with a water flow rate Q. Derive the expression for Q in terms of the difference in the manometer heights h and the cross-section areas A_1 and A_2 :



15

(b) एकल स्लिट फ्रॉनहोफर विवर्तन की परिघटना पर चर्चा कीजिए और दर्शाइए कि क्रमिक उच्चिष्ठ की तीव्रताओं का लगभग अनुपात है

$$1 : \frac{4}{9\pi^2} : \frac{4}{25\pi^2} : \frac{4}{49\pi^2}$$

Discuss the phenomenon of Fraunhofer diffraction at a single slit and show that the intensities of successive maxima are nearly in the ratio

$$1 : \frac{4}{9\pi^2} : \frac{4}{25\pi^2} : \frac{4}{49\pi^2}$$ 20

(c) दो अंतरिक्ष-यान एक-दूसरे के पास पहुँच रहे हैं। पृथ्वी पर एक स्थिर प्रेक्षक द्वारा मापा जाता है कि दोनों एक ही गति से गतिमान हैं। उनकी सापेक्ष गति $0{\cdot}7c$ है। पृथ्वी पर स्थिर प्रेक्षक द्वारा मापे गए प्रत्येक अंतरिक्ष-यान के वेग का निर्धारण कीजिए।

Two spaceships approach each other, both moving with same speed as measured by a stationary observer on the Earth. Their relative speed is $0{\cdot}7c$. Determine the velocity of each spaceship as measured by the stationary observer on the Earth. 15

खण्ड—B / SECTION—B

5. *(a)* मान लीजिए कि पृथ्वी का वायुमंडल 300 K के तापमान पर ऊष्मागतिक साम्य में शुद्ध नाइट्रोजन है। समुद्र-तल से ऊँचाई की गणना कीजिए जिस पर वायुमंडल का घनत्व उसके समुद्र-तल मान का आधा है। (N_2 का आणविक भार 28 gm/mole है)

Assume that the Earth's atmosphere is pure nitrogen in thermodynamic equilibrium at a temperature of 300 K. Calculate the height above sea level at which the density of the atmosphere is one-half its sea level value. (Molecular weight of N_2 is 28 gm/mole) 10

(b) नियत ऊष्मा धारिता C_p और तापमान T_i का एक पिंड तापमान T_f पर एक भंडार (जलाशय) के सम्पर्क में आता है। अचल दाब पर पिंड और भंडार के बीच साम्यावस्था स्थापित होती है। कुल एन्ट्रॉपी परिवर्तन का निर्धारण कीजिए और सत्यापित कीजिए कि यह $[(T_f - T_i)/T_f]$ के किसी भी चिह्न के लिए धनात्मक है। मान लीजिए कि $\frac{|T_f - T_i|}{T_f} < 1$ है।

A body of constant heat capacity C_p and a temperature T_i is put into contact with a reservoir at temperature T_f. Equilibrium between the body and the reservoir is established at constant pressure. Determine the total entropy change and prove that it is positive for either sign of $[(T_f - T_i)/T_f]$. Consider $\frac{|T_f - T_i|}{T_f} < 1.$ 10

(c) विचारिए कि दो बिंदु कण जिनमें प्रत्येक का आवेश q है, d दूरी से पृथक्कृत और अनापेक्षिकीय वेग $\vec{v}$ से गति कर रहे हैं। यदि दोनों आवेशों को मिलाने वाली रेखा $\vec{v}$ के लम्बवत् है, तो दोनों कणों के बीच चुम्बकीय बल के लिए व्यंजक लिखिए और प्रत्येक कण पर बल की दिशा का वर्णन कीजिए।

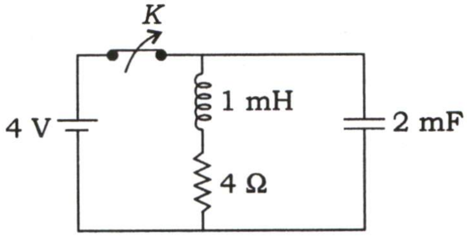
Consider two point particles of charge q each, separated by a distance d, and travelling at non-relativistic velocity $\vec{v}$. If the line joining the two charges is perpendicular to $\vec{v}$, then write an expression for the magnetic force between the two particles, and illustrate the direction of the force on each particle. 10

(d) 1·5 वोल्ट वि० वा० बल तथा 1 ओम आंतरिक प्रतिरोध का एक सेल और 2 वोल्ट वि० वा० बल तथा 2 ओम आंतरिक प्रतिरोध का दूसरा सेल 5 ओम के बाह्य प्रतिरोध के सिरों पर समांतर क्रम में जुड़े हुए हैं। परिपथ की प्रत्येक शाखा में धारा का मान ज्ञात कीजिए।

A cell of internal resistance 1 ohm, 1·5 volt e.m.f. and another cell of internal resistance 2 ohm, 2 volt e.m.f. are connected in parallel across the ends of an external resistance of 5 ohm. Find the current in each branch of the circuit. 10

(e) चित्र में दिखाए गए *R-L-C* परिपथ पर विचार कीजिए। परिपथ के *Q*-गुणक की गणना कीजिए। क्या परिपथ में अनुनादी आवृत्ति होती है? उत्तर का औचित्य दीजिए :

Consider the *R-L-C* circuit shown here. Calculate the *Q*-factor of the circuit. Does the circuit have a resonant frequency? Justify your answer :



10

6. *(a)* मैक्सवेल के समीकरण को अचालक माध्यम में नियत पारगम्यता और सुग्राहिता $(\rho = j = 0)$ के साथ लिखिए। दर्शाइए कि $\vec{E}$ और $\vec{B}$ दोनों तरंग समीकरण को सन्तुष्ट करते हैं, और तरंग वेग के लिए एक व्यंजक ज्ञात कीजिए। $\vec{E}$ और $\vec{B}$ के लिए समतल तरंग हल लिखिए और दर्शाइए कि $\vec{E}$ और $\vec{B}$ किस प्रकार संबंधित हैं।

Write down Maxwell's equations in a non-conducting medium with constant permeability and susceptibility $(\rho = j = 0)$. Show that $\vec{E}$ and $\vec{B}$ each satisfies the wave equation, and find an expression for the wave velocity. Write down the plane wave solutions for $\vec{E}$ and $\vec{B}$, and show how $\vec{E}$ and $\vec{B}$ are related. 15

(b) *(i)* गैस का एक मोल वान्डर वाल्स अवस्था समीकरण का पालन करता है। यदि इसकी मोलर आंतरिक ऊर्जा $u = cT - a/V$ है (जिसमें V मोलर आयतन, a अवस्था समीकरण में एक स्थिरांक और c एक स्थिरांक है), तो मोलर ऊष्मा धारिताओं C_v और C_p की गणना कीजिए।

One mole of gas obeys van der Waals equation of state. If its molar internal energy is given by $u = cT - a/V$ (in which V is the molar volume, a is one of the constants in the equation of state and c is a constant), calculate the molar heat capacities C_v and C_p. 10

(ii) हीलियम को संपीडित करने के लिए हवा को संपीडित करने हेतु अभिकल्पित एक संपीडित्र का उपयोग किया गया है। यह पाया गया है कि संपीडित्र ज्यादा गरम होता है। इस प्रभाव की व्याख्या कीजिए, यह मानते हुए कि संपीडन लगभग रुद्धोष्म है और दोनों गैसों के प्रारंभिक दाब समान हैं। $\left[\gamma_{\text{He}} = \frac{5}{3},\ \gamma_{\text{हवा}} = \frac{7}{5}\right]$

A compressor designed to compress air is used instead to compress helium. It is found that the compressor overheats. Explain this effect, assuming that the compression is approximately adiabatic and the starting pressure is same for both the gases. $\left[\gamma_{\text{He}} = \frac{5}{3},\ \gamma_{\text{Air}} = \frac{7}{5}\right]$ 10

(c) परस्पर क्रिया करने वाले परमाणुओं की एक गैस की अवस्था और स्थिर आयतन पर ऊष्मा धारिता के समीकरणों के व्यंजक निम्नानुसार हैं :

$$p(T, V) = aT^{1/2} + bT^3 + cV^{-2}$$
$$C_v(T, V) = dT^{1/2} + eT^2V + f\,T^{1/2}$$

जहाँ a से f नियतांक हैं जो T और V से स्वतंत्र हैं। आंतरिक ऊर्जा $dU(T, V)$ का अवकल मान dT और dV के पदों में ज्ञात कीजिए।

A gas of interacting atoms has an equation of state and heat capacity at constant volume given by the expressions

$$p(T, V) = aT^{1/2} + bT^3 + cV^{-2}$$
$$C_v(T, V) = dT^{1/2} + eT^2V + f\,T^{1/2}$$

where a through f are constants which are independent of T and V. Find the differential of the internal energy $dU(T, V)$ in terms of dT and dV. 15

7. *(a)* एक धातु के गिटार का तार 70 cm की लम्बाई के साथ 246·94 Hz की अपनी मूल आवृत्ति पर 10 T के एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र, जो कि तार के कम्पन-तल के लम्बवत् है, में कम्पन कर रहा है। माना कि कम्पन अवस्था का आयाम ज्यावक्रीय और तार का अधिकतम विस्थापन 3 mm तार के केंद्र में है। गिटार के तार की लम्बाई में उत्पन्न अधिकतम वि० वा० बल क्या है और किस समय तार की गति में ऐसा होता है? यदि वही गिटार का तार अपनी दूसरी संनादी आवृत्ति पर कम्पन करता है, तो वि० वा० बल क्या होगा? संक्षेप में विवेचना कीजिए।

A metal guitar string with a length of 70 cm vibrates at its fundamental frequency of 246·94 Hz in a uniform magnetic field of 10 T oriented perpendicular to the plane of vibration of the string. Assume a sinusoidal form for the amplitude of the vibrational mode, and a maximum displacement of 3 mm at the centre of the string. What is the maximum e.m.f. generated across the length of the guitar string, and at what point in time in the string's motion does that occur? What would be the e.m.f. if the same guitar string vibrates at its second harmonic frequency? Briefly explain. 20

(b) एक ऊष्मारोधी सिलेंडर, जो दोनों सिरों से बंद है, में एक घर्षणहीन ऊष्मा-चालक पिस्टन लगाते हैं जो सिलेंडर को दो भागों में विभाजित करता है। प्रारम्भ में, पिस्टन को केंद्र में रोका जाता है, जिसमें एक तरफ एक लीटर हवा 200 K और 2 atm दाब पर और दूसरी तरफ एक लीटर हवा 300 K और 1 atm दाब पर होती है। पिस्टन को छोड़ा जाता है और निकाय दाब तथा तापमान में साम्यावस्था में पहुँच जाता है, साथ में पिस्टन नई स्थिति में आ जाता है। अंतिम दाब और तापमान की गणना कीजिए।

A thermally insulated cylinder, closed at both ends, is fitted with a frictionless heat-conducting piston which divides the cylinder in two parts. Initially, the piston is clamped in the centre, with one litre of air at 200 K and 2 atm pressure on one side and one litre of air at 300 K and 1 atm pressure on the other side. The piston is released and the system reaches equilibrium in pressure and temperature, with the piston at a new position. Compute the final pressure and temperature. 15

(c) एक धारा पटल $z = 0$ पर स्थित है, जिसमें $\vec{K} = 9 \cdot 0 a_y$ A m^{-1} है। क्षेत्र 1, $z < 0$, $\mu_{r_1} = 4$ और क्षेत्र 2, $z > 0$, $\mu_{r_2} = 3$ के बीच अंतरापृष्ठ (इंटरफेस) है। दिया गया है, $\vec{H}_2 = 14 \cdot 5 a_x + 8 \cdot 0 a_z$ A m^{-1}. $\vec{H}_1$ और $\vec{B}_1$ का मान ज्ञात कीजिए।

A current sheet having $\vec{K} = 9 \cdot 0 a_y$ A m^{-1} is located at $z = 0$. The interface is between the region 1, $z < 0$, $\mu_{r_1} = 4$, and region 2, $z > 0$, $\mu_{r_2} = 3$. Given that $\vec{H}_2 = 14 \cdot 5 a_x + 8 \cdot 0 a_z$ A m^{-1}. Find $\vec{H}_1$ and $\vec{B}_1$. 15

8. (a) एक आंशिक चालन माध्यम में $\varepsilon_r = 18 \cdot 5$, $\mu_r = 800$ और $\sigma = 1$ S m^{-1} है। 10^9 Hz आवृत्ति के लिए α, β, η और वेग u ज्ञात कीजिए। $\vec{H}(z, t)$ ज्ञात कीजिए। दिया गया है, $\vec{E}(z, t) = 50 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta a_z) a_y$ V m^{-1}.

In a partially conducting medium, $\varepsilon_r = 18 \cdot 5$, $\mu_r = 800$ and $\sigma = 1$ S m^{-1}. Find α, β, η and the velocity u, for a frequency of 10^9 Hz. Determine $\vec{H}(z, t)$. Given, $\vec{E}(z, t) = 50 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta a_z) a_y$ V m^{-1}. 20

(b) ऋणात्मक तापमान से आप क्या समझते हैं? ऋणात्मक तापमान की अवधारणा को सार्थक बनाने के लिए एक निकाय पर विभिन्न प्रतिबंधों को लिखिए और समझाइए।

What do you understand by negative temperature? Write and explain various restrictions on a system for the concept of negative temperature to be meaningful. 15

(c) बेलनाकार ध्रुवीय निर्देशांक निकाय में लाप्लास समीकरण से शुरू करके और चरों के पृथक्करण की विधि का उपयोग करके विभव के घटकों r, ϕ और z के हलों के लिए अवकल समीकरण प्राप्त कीजिए।

Starting from the Laplace's equation in a cylindrical polar coordinate system and using the method of separation of variables, obtain the differential equations for the solutions of r, ϕ and z components of the potential. 15

★ ★ ★