BACHELOR OF SCIENCE (B.Sc.)

Term-End Examination

February, 2021

PHYSICS

PHE-07 : ELECTRIC AND MAGNETIC PHENOMENA

Time : 2 hours *Maximum Marks : 50*

Note : *All questions are* ***compulsory****. Marks allotted for each question are indicated against it. You may use calculators. Symbols have their usual meanings. The values of physical constants are given at the end.*

1. Attempt any ***five*** parts : *5×4=20*

(a) Hydrogen atom consists of an electron and a proton separated by an average distance of $5{\cdot}3 \times 10^{-11}$ m. Calculate the magnitude of the electrostatic force between them and compare it with the magnitude of the gravitational force between them.

(b) Calculate the electric flux linked with a surface of area 200 units, lying in the y – z plane, if the electric field $\vec{E}$ is given by $\vec{E} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - 5\hat{k}$.

(c) A solenoid of length 1 m and area of cross-section 0·05 m^2 has 5000 turns of wire. A current of 200 mA flowing in it is reduced steadily to zero in 2·0 ms. Calculate the magnitude of back emf in the solenoid.

(d) A stream of protons and deuterons in a vacuum chamber enters a uniform magnetic field. Both protons and deuterons have been subjected to same accelerating potentials, hence their kinetic energies are same. If the ion stream is perpendicular to the magnetic field and the protons move in a circular path of radius 0·15 m, calculate the radius of the circular path traversed by the deuterons. It is given that the mass of a deuteron is twice that of a proton.

(e) A charged particle moving in a uniform magnetic field perpendicular to it penetrates a layer of lead and thereby loses half of its kinetic energy. What is the ratio of the radii of curvature of its new path and original path ? Consider the motion to be non-relativistic.

(f) A plane electromagnetic sinusoidal wave has the following parameters :

(i) It is travelling in the negative x-direction.

(ii) Its frequency is 10 MHz.

(iii) The electric field is perpendicular to the y-axis and has magnitude 100 Vm^{-1}.

Write down the expressions for the electric and magnetic fields associated with the wave.

(g) Calculate the effective capacitance of three capacitors arranged in such a way that two of them C_1 (= 1 μF) and C_2 (= 1 μF) are in series and third C_3 (= 0·5 μF) is parallel with this series combination.

(h) Compare the precession frequency and the cyclotron frequency of the proton for the same value of magnetic field B. It is given that g = 1.

2. Attempt any ***four*** parts : *4×5=20*

(a) Derive the expression for the capacitance of a parallel plate capacitor given that the electric field between the plates is $E = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}$, where + Q is the charge on the top plate and A, its area. Calculate its capacitance if the area of the plates is 4·0 cm^2 and their separation is $4{\cdot}0 \times 10^{-4}$ m. What will its capacitance be if a dielectric material of dielectric constant 2 is inserted between the plates ? *3+1+1*

(b) Distinguish between the polarisation of polar and non-polar dielectrics due to an applied external electric field. Calculate the bound volume charge density of a block of dielectric for which $\vec{P} = A(x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k})$, where A is a constant. *3+2*

(c) Calculate the loss of electrostatic energy when a droplet of radius 'a' carrying charge q splits into two droplets of equal volume and charge q/2. Assume that the droplets are repelled to a large distance compared to their radius due to electrostatic repulsion.

(d) Draw the B – H curves for diamagnetic and ferromagnetic materials. On the basis of the B – H curve, explain saturation and remanence for ferromagnetic materials. *1+2+2*

(e) Two parallel wires A and B are placed at a separation of 6 cm carrying electric currents 5 A and 2 A in opposite directions, respectively. Determine the location of the point at which the net magnetic field due to these two wires is zero. Draw an appropriate diagram. *4+1*

(f) With the help of a diagram, explain the concept of molecular (local) field in a uniformly polarised dielectric. Express it in terms of (i) the dipole moment at a given point, and (ii) the polarisation given that there are N molecules per unit volume in the dielectric. *3+1+1*

3. Attempt any ***one*** part : *1×10=10*

(a) State Gauss's law for electrostatics. Using the law, determine the electric field due to a uniformly charged non-conducting sphere of radius R having volume charge density ρ at a point lying (i) outside the sphere, and (ii) inside it. What would the corresponding electric fields be if the sphere were metallic ? Give reasons for your answer. *1+3+4+2*

(b) (i) Explain how Maxwell generalised Ampere's law to arrive at the following equation : *5*

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

(ii) The electric field of a uniform plane electromagnetic wave is given by

$$\vec{E_I} = 200\ \hat{z}\ \cos(\omega t - 4\pi x)\ Vm^{-1}.$$

The wave is incident from a region having $\varepsilon_1 = 4\varepsilon_0$, $\mu_1 = \mu_0$ normal to the plane surface of a material having $\varepsilon_2 = 9\varepsilon_0$, $\mu_2 = 4\mu_0$. Write the complete expression for the reflected electric field. *5*

Physical Constants :

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

$m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$m_p = 1{\cdot}7 \times 10^{-27}$ kg

$G = 6{\cdot}7 \times 10^{-11}$ $Nm^2\ kg^{-2}$

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$ $Nm^2\ C^{-2}$

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

$\mu_0 = 1{\cdot}26 \times 10^{-6}$ $N\ A^{-2}$

$\varepsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ $C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$

विज्ञान स्नातक (बी.एस सी.)

सत्रांत परीक्षा

फरवरी, 2021

भौतिक विज्ञान

पी.एच.ई.-07 : वैद्युत और चुंबकीय परिघटनाएँ

समय : 2 घण्टे *अधिकतम अंक : 50*

नोट : *सभी प्रश्न **अनिवार्य** हैं । प्रत्येक प्रश्न के अंक उसके सामने दिए गए हैं । आप कैल्कुलेटरों का उपयोग कर सकते हैं । प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं । भौतिक नियतांकों के मान अंत में दिए गए हैं ।*

1. कोई ***पाँच*** भागों के उत्तर दीजिए : *5×4=20*

(क) हाइड्रोजन परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन और एक प्रोटॉन हैं जिनके बीच की औसत दूरी $5{\cdot}3 \times 10^{-11}$ m है । उनके बीच लग रहे स्थिर-वैद्युत बल का परिमाण ज्ञात कीजिए और उसकी तुलना उनके बीच लग रहे गुरुत्वाकर्षण बल के परिमाण से कीजिए ।

(ख) क्षेत्रफल 200 इकाई वाले $y - z$ समतल में स्थित क्षेत्र की सतह से जुड़े विद्युत् अपवाह की गणना कीजिए जबकि दिया गया है कि विद्युत्-क्षेत्र $\vec{E} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - 5\hat{k}$ है ।

(ग) लंबाई 1 m और परिच्छेद क्षेत्रफल $0{\cdot}05\ m^2$ वाले सोलेनॉइड में तार के 5000 फेरे हैं । उसमें बह रही 200 mA की धारा को 2·0 ms में शून्य कर दिया जाता है । सोलेनॉइड में विरोधी विद्युत्-वाहक बल की गणना कीजिए ।

(घ) एक निर्वात कक्ष में प्रोटॉन और ड्यूटेरॉन कणों का पुंज एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में प्रवेश करता है । इन दोनों प्रकार के कणों को त्वरित करने वाला विभव समान है । अत: इनकी गतिज ऊर्जाएँ समान हैं । यदि आयन पुंज चुंबकीय क्षेत्र के लंबवत् हो और प्रोटॉन त्रिज्या $0{\cdot}15$ m के वृत्ताकार पथ पर गतिमान हों, तो ड्यूटेरॉनों द्वारा चले गए वृत्ताकार पथ की त्रिज्या परिकलित कीजिए । दिया गया है कि ड्यूटेरॉन का द्रव्यमान प्रोटॉन के द्रव्यमान का दुगुना है ।

(ङ) एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में क्षेत्र के लंबवत् गतिमान एक आवेशित कण सीसे की परत को भेदता है और इस प्रक्रिया में उसकी गतिज ऊर्जा आधी रह जाती है । उसके नए पथ और मूल पथ की वक्रता त्रिज्याओं का अनुपात क्या है ? मान लीजिए कि गति आपेक्षिकीय नहीं है ।

(च) एक समतल विद्युत्-चुम्बकीय ज्यावक्रीय तरंग के निम्नलिखित प्राचल हैं :

(i) वह ऋणात्मक x-दिशा में संचरण कर रही है ।

(ii) उसकी आवृत्ति 10 MHz है ।

(iii) उसका विद्युत्-क्षेत्र y-अक्ष के लंबवत् है और विद्युत्-क्षेत्र का परिमाण $100\ Vm^{-1}$ है ।

तरंग से संबद्ध विद्युत् और चुंबकीय क्षेत्रों के व्यंजक लिखिए ।

(छ) तीन संधारित्रों की प्रभावी धारिता की गणना कीजिए जबकि उन्हें इस तरह जोड़ा जाता है कि उनमें से दो संधारित्र $C_1 (= 1\ \mu F)$ और $C_2 (= 1\ \mu F)$ श्रेणी में जुड़े हैं और तीसरा संधारित्र $C_3 (= 0{\cdot}5\ \mu F)$ इस श्रेणी संयोजन के समांतर है ।

(ज) समान चुंबकीय क्षेत्र B के लिए प्रोटॉन की पुरस्सरण आवृत्ति और साइक्लोट्रॉन आवृत्ति की तुलना कीजिए । दिया गया है कि $g = 1$ है ।

2. कोई ***चार*** भागों के उत्तर दीजिए : *4×5=20*

(क) एक समांतर प्लेट संधारित्र की धारिता का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए जबकि दिया गया है कि प्लेटों के बीच विद्युत्-क्षेत्र $E = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}$, जहाँ + Q ऊपरी प्लेट पर आवेश है और A उसका क्षेत्रफल । यदि प्लेटों का क्षेत्रफल $4{\cdot}0\ cm^2$ हो और उनके बीच की दूरी $4{\cdot}0 \times 10^{-4}$ m हो, तो उसकी धारिता परिकलित कीजिए । यदि प्लेटों के बीच में डाइइलेक्ट्रिक नियतांक 2 वाला डाइइलेक्ट्रिक पदार्थ भरा हो, तो उसकी धारिता कितनी होगी ? *3+1+1*

(ख) एक आरोपित बाह्य विद्युत्-क्षेत्र में रखे ध्रुवीय और अध्रुवीय डाइइलेक्ट्रिक पदार्थों के ध्रुवण में अंतर बताइए । डाइइलेक्ट्रिक पदार्थ के एक खंड के लिए परिबद्ध आयतन आवेश घनत्व की गणना कीजिए जिसके लिए $\vec{P} = A(x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k})$, जहाँ A एक अचर है । *3+2*

(ग) आवेश q और त्रिज्या 'a' वाली एक बूँद, समान आयतन और आवेश q/2 वाली दो बूँदों में बँट जाती है । इस प्रक्रिया में स्थिर-वैद्युत ऊर्जा में हुई हानि की गणना कीजिए । मान लीजिए कि स्थिर-वैद्युत प्रतिकर्षण के कारण बूँदें अपनी त्रिज्या की तुलना में अधिक दूरी तक प्रतिकर्षित हो जाती हैं ।

(घ) प्रतिचुम्बकीय और लोह-चुंबकीय पदार्थों के लिए B – H वक्र आरेखित कीजिए । B – H वक्र के आधार पर लोह-चुंबकीय पदार्थों का संतृप्त होना और उनमें चुंबकत्वावशेष समझाइए । *1+2+2*

(ङ) दो समांतर तार A और B एक-दूसरे से 6 cm की दूरी पर रखे जाते हैं और उनमें विपरीत दिशाओं में क्रमश: 5 A और 2 A की धाराएँ बहती हैं । उस बिंदु की स्थिति ज्ञात कीजिए जिस पर इन दोनों तारों के कारण नेट चुम्बकीय क्षेत्र शून्य हो । समुचित चित्र बनाइए । *4+1*

(च) चित्र की सहायता से, एकसमान रूप से ध्रुवित डाइइलेक्ट्रिक पदार्थ में आण्विक (स्थानीय) क्षेत्र की अवधारणा समझाइए । उसे (i) किसी बिंदु पर द्विध्रुव आघूर्ण के पदों में, और (ii) ध्रुवण के पदों में व्यक्त कीजिए । दिया गया है कि डाइइलेक्ट्रिक पदार्थ के प्रति एकक आयतन में N अणु हैं । *3+1+1*

3. कोई ***एक*** भाग का उत्तर दीजिए : *1×10=10*

(क) स्थिरवैद्युतिकी के लिए गाउस का नियम लिखिए । इस नियम का उपयोग कर, त्रिज्या R और आयतन आवेश घनत्व ρ वाले एकसमान रूप से आवेशित अचालक गोले का (i) गोले से बाहर स्थित बिन्दु पर, और (ii) उसके भीतर किसी बिंदु पर विद्युत्-क्षेत्र ज्ञात कीजिए । यदि गोला धातु का बना हो तो इन दो बिंदुओं पर उसका विद्युत्-क्षेत्र क्या होगा ? अपने उत्तर के कारण दीजिए । *1+3+4+2*

(ख) (i) समझाइए कि निम्नलिखित समीकरण तक पहुँचने के लिए मैक्सवेल ने एम्पीयर नियम का व्यापकीकरण कैसे किया : *5*

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

(ii) एक एकसमान समतल विद्युत्-चुंबकीय तरंग का विद्युत्-क्षेत्र है :

$$\vec{E_I} = 200\ \hat{z}\ \cos(\omega t - 4\pi x)\ Vm^{-1}.$$

यह तरंग $\varepsilon_1 = 4\varepsilon_0$, $\mu_1 = \mu_0$ वाले प्रदेश से $\varepsilon_2 = 9\varepsilon_0$, $\mu_2 = 4\mu_0$ वाले पदार्थ के समतल पृष्ठ पर अभिलंबवत् आपतित होती है । परावर्तित विद्युत्-क्षेत्र का पूर्ण व्यंजक लिखिए । *5*

भौतिक नियतांक :

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

$m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$m_p = 1{\cdot}7 \times 10^{-27}$ kg

$G = 6{\cdot}7 \times 10^{-11}$ Nm^2 kg^{-2}

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$ Nm^2 C^{-2}

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

$\mu_0 = 1{\cdot}26 \times 10^{-6}$ N A^{-2}

$\varepsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ C^2 N^{-1} m^{-2}