# BACHELOR OF SCIENCE (B.Sc.)

## Term-End Examination

## June, 2022

## 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 calculator. Symbols have their usual meanings. The values of physical constants are given at the end.*

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

(a) Four equal positive charges are placed at the corners of a square. Determine the net electric field at the centre of the square.

(b) An electron moves in a circular orbit of radius 1·0 nm with a speed of $2{\cdot}0 \times 10^6$ $ms^{-1}$. Calculate its frequency and the current in the orbit.

(c) A loop of radius r carries a uniformly distributed charge. Assuming the electric potential at infinity to be zero, determine the ratio of electric potentials at the heights 2r and 3r from the axis of the loop.

(d) A circular plane sheet of radius 0·10 m is placed in an electric field of magnitude 100 $NC^{-1}$ making an angle of 60° with the field. Calculate the electric flux through the sheet.

(e) Calculate the capacitance of a parallel plate capacitor having plates of area 0·01 $m^2$ with a separation of $2{\cdot}0 \times 10^{-4}$ m between the plates. What is its capacitance when a dielectric of dielectric constant 4 is filled in the gap between the plates of the capacitor ?

(f) A uniformly charged disc of radius R carries charge Q and is rotating with constant angular speed $\omega$. Show that the magnetic dipole moment has the magnitude $(Q\omega R^2)/4$.

(g) The pole faces of a cyclotron magnet are 2·0 m in diameter. The magnetic field between the pole faces is 1·0 T. Calculate the kinetic energy in eV and the speed of a proton as it emerges from the cyclotron.

(h) An electromagnetic wave propagating in free space is given by

$$E_x = E_0 \sin(\omega t - kz)\,\hat{i}$$

$$B_y = B_0 \sin(\omega t - kz)\,\hat{j}$$

Show that the Poynting vector for the field is given by

$$\vec{S} = \left(\frac{E_x^2}{\mu_0 c}\right)\hat{k}$$

$$= \left(\frac{B_y^2 c}{\mu_0}\right)\hat{k}$$

**2.** Answer any ***two*** parts : *2×5=10*

(a) Derive the expression for the electric potential due to an electric dipole at a point off its axis. *5*

(b) Determine the electric field due to an infinite sheet of charge of surface charge density $\sigma$. *5*

(c) A parallel plate capacitor has n similar plates of area A at equal spacing d, with the alternate plates connected together. Show that its capacitance is

$$(n - 1)\,\varepsilon_0 A/d.$$ *5*

**3.** Answer any ***two*** parts : *2×5=10*

(a) State Biot-Savart law. Use the law to calculate the magnetic field due to a long straight current-carrying wire. *5*

(b) A long cylindrical wire of radius R carries a steady current I which is uniformly distributed over its cross-sectional area. Determine the magnetic field at a distance $r < R$ from the axis of the wire. *5*

(c) Starting from the expression $\vec{E}_M = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\varepsilon_0}$ for the molecular electric field, derive the Clausius-Mossotti equation. *5*

**4.** Answer any ***two*** parts : *2×5=10*

(a) Derive the electromagnetic wave equation for the $\vec{E}$ field, from Maxwell's equations in vacuum. *5*

(b) A uniform plane electromagnetic wave has a wavelength of 5 cm in free space and 3 cm in dielectric for which $\mu = 4{\cdot}7 \times 10^{-7}\ NA^{-2}$. Determine the dielectric constant of the dielectric. *5*

(c) A long coaxial cable carries current I which flows down the surface of the inner cylinder of radius a and back along the outer cylinder of radius b. Obtain the energy stored in a section of length $l$ of the cable. It is given that magnetic field between the cylinders is of magnitude $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ and zero elsewhere. Hence, show that the self-inductance per unit length of the cable is given by $\frac{\mu_0}{2\pi} ln\left(\frac{b}{a}\right)$. *3+2*

***Physical constants :***

Mass of electron = $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

Mass of proton = $1{\cdot}7 \times 10^{-27}$ kg

Charge of electron = $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

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

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N $A^{-2}$

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

# विज्ञान स्नातक (बी.एस सी.)

## सत्रांत परीक्षा

## जून, 2022

## 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 कैल्कुलेटर का उपयोग 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 : *5×4=20*

(क) चार समान धनात्मक आवेशों को एक वर्ग के कोनों पर रखा जाता है । वर्ग के केन्द्र पर नेट विद्युत्-क्षेत्र की गणना कीजिए ।

(ख) एक इलेक्ट्रॉन $1{\cdot}0$ nm त्रिज्या की वृत्ताकार कक्षा में $2{\cdot}0 \times 10^6$ $ms^{-1}$ की चाल से गतिमान है । उसकी आवृत्ति और कक्षा में धारा परिकलित कीजिए ।

(ग) त्रिज्या r के लूप पर आवेश एकसमानत: वितरित है । यह मानते हुए कि अनंत पर विद्युत् विभव शून्य है, लूप के अक्ष से ऊँचाइयों 2r और 3r पर विद्युत् विभवों का अनुपात ज्ञात कीजिए ।

(घ) त्रिज्या 0·10 m की एक वृत्ताकार समतल शीट को $100\ NC^{-1}$ परिमाण वाले विद्युत्-क्षेत्र में, क्षेत्र से $60^\circ$ के कोण पर रखा जाता है । शीट से होकर जाने वाला वैद्युत अभिवाह परिकलित कीजिए ।

(ङ) एक समांतर प्लेट संधारित्र की धारिता की गणना कीजिए जिसकी प्लेटों का क्षेत्रफल $0{\cdot}01\ m^2$ है और उनके बीच की दूरी $2{\cdot}0 \times 10^{-4}$ m है । यदि डाइइलेक्ट्रिक नियतांक (dielectric constant) 4 वाला एक डाइइलेक्ट्रिक उसकी प्लेटों के बीच भर दिया जाता है, तो संधारित्र की धारिता क्या होगी ?

(च) त्रिज्या R वाली एकसमानत: आवेशित चकती पर आवेश Q है और वह अचर कोणीय चाल $\omega$ से घूर्णन कर रही है । सिद्ध कीजिए कि चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण का परिमाण $(Q\omega R^2)/4$ है ।

(छ) एक साइक्लोट्रॉन के चुंबकीय ध्रुवों के फलकों का व्यास 2·0 m है । उनके बीच के चुंबकीय क्षेत्र का मान 1·0 T है । साइक्लोट्रॉन से निकलते समय एक प्रोटॉन की गतिज ऊर्जा eV में और चाल परिकलित कीजिए ।

(ज) मुक्त आकाश में संचरित हो रही विद्युत्-चुंबकीय तरंग से संबद्ध क्षेत्र हैं :

$$E_x = E_0 \sin(\omega t - kz)\,\hat{i}$$

$$B_y = B_0 \sin(\omega t - kz)\,\hat{j}$$

सिद्ध कीजिए कि क्षेत्र के लिए प्वाइन्टिंग सदिश का मान है :

$$\vec{S} = \left(\frac{E_x^2}{\mu_0 c}\right)\hat{k}$$

$$= \left(\frac{B_y^2 c}{\mu_0}\right)\hat{k}$$

**2.** किन्हीं ***दो*** भागों के उत्तर दीजिए : *2×5=10*

(क) एक वैद्युत द्विध्रुव के कारण एक बिंदु पर विद्युत् विभव का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए जो उसके अक्ष पर स्थित नहीं है । *5*

(ख) पृष्ठीय आवेश घनत्व $\sigma$ वाली आवेश की एक अनंत शीट का विद्युत्-क्षेत्र ज्ञात कीजिए । *5*

(ग) एक समांतर प्लेट संधारित्र में समान क्षेत्रफल A वाली एक-जैसी n प्लेटें हैं जिनके बीच समान दूरी d है । संधारित्र की एकांतर प्लेटों को एक-दूसरे से जोड़ दिया गया है । सिद्ध कीजिए कि इसकी धारिता $(n-1)\,\varepsilon_0 A/d$ है । *5*

**3.** किन्हीं ***दो*** भागों के उत्तर दीजिए : *2×5=10*

(क) बायो-सावर्ट नियम का कथन दीजिए । इस नियम का उपयोग कर एक लंबे सीधे धारावाही तार के कारण चुंबकीय क्षेत्र परिकलित कीजिए । *5*

(ख) त्रिज्या R वाले एक लंबे बेलनाकार तार में स्थायी धारा I बह रही है जो उसके अनुप्रस्थ-परिच्छेद क्षेत्रफल में एकसमानत: वितरित है । तार के अक्ष से दूरी $r < R$ पर चुंबकीय क्षेत्र ज्ञात कीजिए । *5*

(ग) आण्विक विद्युत्-क्षेत्र के व्यंजक $\vec{E}_M = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\varepsilon_0}$ से प्रारंभ कर क्लॉसियस-मोसोटी समीकरण व्युत्पन्न कीजिए । *5*

**4.** किन्हीं ***दो*** भागों के उत्तर दीजिए : *2×5=10*

(क) निर्वात में मैक्सवेल समीकरणों से विद्युत्-क्षेत्र $\vec{E}$ के लिए विद्युत्-चुम्बकीय तरंग समीकरण व्युत्पन्न कीजिए । *5*

(ख) एक एकसमान समतल विद्युत्-चुंबकीय तरंग की तरंगदैर्घ्य मुक्त आकाश में 5 cm है और डाइइलेक्ट्रिक में 3 cm है । डाइइलेक्ट्रिक के लिए $\mu = 4{\cdot}7 \times 10^{-7}\ NA^{-2}$ है । डाइइलेक्ट्रिक का डाइइलेक्ट्रिक नियतांक (परावैद्युतांक) ज्ञात कीजिए । *5*

(ग) एक लंबे समाक्ष केबल में धारा I त्रिज्या a वाले आंतरिक बेलन के पृष्ठ में अंदर की ओर प्रवाहित होती है और त्रिज्या b वाले बाह्य बेलन के अनुदिश लौट आती है । केबल के लंबाई $l$ के भाग में संचित ऊर्जा प्राप्त कीजिए । यह दिया गया है कि बेलनों के बीच चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ है और अन्यत्र शून्य है । अतएव सिद्ध कीजिए कि केबल की प्रति एकक लंबाई का स्वप्रेरकत्व $\frac{\mu_0}{2\pi} ln\left(\frac{b}{a}\right)$ है । *3+2*

*भौतिक नियतांक* :

इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान = $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

प्रोटॉन का द्रव्यमान = $1{\cdot}7 \times 10^{-27}$ kg

इलेक्ट्रॉन का आवेश = $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

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

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$

$\varepsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$