

2025

## PHYSICS — MDC

Paper : CC-5

(Electromagnetism)

Full Marks : 75

Candidates are required to give their answers in their own words  
as far as practicable.

প্রান্তলিখিত সংখ্যাগুলি পূর্ণমান নির্দেশক।

১ নং প্রশ্নের উত্তর দাও এবং বাকি প্রশ্নগুলির মধ্যে থেকে যে-কোনো পাঁচটি প্রশ্নের উত্তর দাও।

১। যে-কোনো পাঁচটি প্রশ্নের উত্তর দাও :

- (ক) একটি সমান্তরাল পাতবিশিষ্ট ধারক 200 ভোল্ট বিভব প্রয়োগ করে রক্ষিত হয়েছে। যদি পাতদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব 1 মিমি এবং পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল 20 বর্গসেমি. হয়, তবে  $1 \mu\text{s}$  সময়ে প্রতিস্থাপন তড়িৎপ্রবাহ (displacement current) নির্ণয় করো। ৩
- (খ) আধান সংরক্ষণ সূত্র থেকে আধান প্রবাহ ধারাবাহিকতা সমীকরণ (charge current continuity equation) নির্ণয় করো। ৩
- (গ) দেখাও যে, একটি আদর্শ আবেশকের উপর প্রয়োগকৃত পরিবর্তী প্রবাহিত বিভবের তুলনায় পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ  $45^\circ$  কোণে পশ্চাদপদ হয়। ৩
- (ঘ) প্রতিস্থাপন তড়িৎপ্রবাহের (displacement current) ভৌত তাৎপর্য কী? ৩
- (ঙ)  $L-R$  শ্রেণি বর্তনীতে আবেশকাল ধ্রুবক (inductive time constant) বলতে কী বোঝায়? ব্যাখ্যা করো কেন একটি আদর্শ আবেশক DC উৎসে শর্ট সার্কিট হয়। ২+১
- (চ) ফ্যারাডের তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সূত্রটি লেখো এবং এর অবকলীয় রূপ নির্ণয় করো। ১+২
- (ছ) চৌম্বকীকরণ  $\vec{M}$ -এর সংজ্ঞায়িত করো। এর একক কী? চৌম্বকীয় স্পর্শকতার পরিপ্রেক্ষিতে চৌম্বকীকরণের অভিব্যক্তি লেখো। ১+১+১

২। (ক) একটি বিন্দু আধান  $q$ -কে একটি অপারিসীম পরিবাহী তলের (grounded) উপরে  $h$  উচ্চতায় স্থাপন করা হয়েছে। Image পদ্ধতি ব্যবহার করে —

(অ) তলের উপরে একটি বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করো।

(আ) তলের উপর প্ররোচিত পৃষ্ঠ আধান ঘনত্ব নির্ণয় করো।

(খ) তড়িৎ মেরুকরণ  $\vec{P}$ , তড়িৎক্ষেত্র  $\vec{E}$  এবং তড়িৎ স্পর্শকতা  $\chi_e$ -র মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করো।

(গ) একটি সমান্তরাল পাতবিশিষ্ট ধারক সম্পূর্ণভাবে একটি রৈখিক বৈদ্যুতিক নিরোধক (dielectric) পদার্থ দ্বারা পূর্ণ। এতে  $2 \times 10^5 \text{ V/m}$  মানের তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয়েছে। বৈদ্যুতিক নিরোধক (dielectric)-এর তড়িৎ স্পর্শকতা  $\chi_e = 3$ ।

Please Turn Over

(2741)

(অ) বৈদ্যুতিক নিরোধক (dielectric) পদার্থের permittivity নির্ণয় করো।

(আ) তড়িৎ প্রতিস্থাপন (electric displacement) ভেক্টর  $\vec{D}$ -এর মান নির্ণয় করো।

(ই) মেরুকরণ ভেক্টর  $\vec{P}$ -এর মান নির্ণয় করো।

(৩+৩)+৩+(১+১+১)

৩। (ক) ব্যবহৃত প্রতীকগুলির অর্থ ব্যাখ্যা করে শূন্যস্থান-এ ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণসমূহ লেখো।

(খ) ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণ ব্যবহার করে শূন্যস্থানে পরিবাহিত একটি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের  $E$ -ক্ষেত্র ভেক্টরের জন্য তরঙ্গ সমীকরণ নির্ণয় করো।

(গ)  $\vec{E} = E_m \sin(\omega t - \beta z) \hat{j}$  শূন্যস্থানে দেওয়া আছে।  $\vec{H}$  নির্ণয় করো এবং দেখাও যে  $\vec{E}$  এবং  $\vec{H}$  পরস্পরের লম্ব। প্রতীকগুলির প্রচলিত অর্থ অনুসরণ করে।

(ঘ) একটি সমতল তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গে চৌম্বক ও তড়িৎশক্তির মধ্যে সমবন্টন রয়েছে, তা প্রমাণ করো।  $২+৪+(২+১)+৩$

৪। (ক) পয়েন্টিং ভেক্টর কী?

(খ) দেখাও কীভাবে শূন্যস্থানে ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণ স্থানীয় আধান সংরক্ষণ নির্দেশ করে।

(গ) দেখাও যে, সময় পরিবর্তী তড়িৎক্ষেত্র সংরক্ষণশীল নয়। অতঃপর বা অন্যভাবে সময় পরিবর্তী তড়িৎক্ষেত্রকে ভেক্টর ও স্কেলার বিভব দ্বারা প্রকাশ করো।

(ঘ) একটি রেডিও স্টেশন 10 কিলোওয়াট ক্ষমতায় 100 MHz-তে সংকেত প্রেরণ করে। ধরা যাক, এটি একটি বিন্দু উৎস হিসেবে বিকিরণ করে। অ্যান্টেনা থেকে 1 কিমি দূরত্বে বৈদ্যুতিক ও চৌম্বকক্ষেত্রের মান এবং 10 সেমি পাশে একটি বর্গ প্লেটে 5 মিনিটে আপতিত শক্তি নির্ণয় করো।  $২+৩+(১+৩)+(১+১+১)$

৫। (ক) সংক্ষিপ্তভাবে বোঝাও কেন সব AC স্পন্দই পর্যায়বৃত্ত কিন্তু সব পর্যায়বৃত্ত স্পন্দ AC নয়।

(খ) একটি কুণ্ডলীর রোধ  $10 \Omega$  এবং আবেশ  $0.2 H$ । এটি  $100 V, 50 Hz$  সরবরাহের সাথে যুক্ত।

(অ) কুণ্ডলীর প্রতিবন্ধকতা (impedance) নির্ণয় করো।

(আ) কুণ্ডলীর আবেশীয় রিঅ্যাকট্যান্স (reactance) নির্ণয় করো।

(ই) কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহমাত্রা নির্ণয় করো।

(ঈ) তড়িৎপ্রবাহ এবং প্রয়োগকৃত বিভবের মধ্যবর্তী দশা পার্থক্য নির্ণয় করো।

(গ)  $i(t) = I_m \sin \omega t$  দ্বারা প্রদত্ত একটি পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহের r.m.s. মান নির্ণয় করো। ব্যাখ্যা করো কেন 220 V AC জীবদেহের জন্য 220 V DC অপেক্ষা বেশি ক্ষতিকর।

(ঘ) যদি একটি 100 ওয়াটের বৈদ্যুতিক বাতিতে 1 ঘণ্টায় 120 V ধ্রুবক (constant) বিভব প্রয়োগ করা হয়, তবে ওই সময়ে একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে কতগুলি ইলেকট্রন প্রবাহিত হয়?  $২+(২+১+১+১)+(২+১)+২$

৬। (ক) LCR শ্রেণি বর্তনীতে অনুরণন কী?

(খ) LCR শ্রেণি বর্তনীতে অনুরণনের শর্ত নির্ণয় করো এবং অনুরণন কম্পাঙ্ক-এর রাশিমালার সমীকরণ প্রকাশ করো, যেখানে AC উৎসের কম্পাঙ্ক  $\omega$ ।

- (গ) LCR শ্রেণির অনুরণিত বর্তনীর গুণমান গুণক (Q-factor)-এর জন্য একটি অভিব্যক্তি নির্ণয় করো।
- (ঘ) একটি শ্রেণিকৃত LCR বর্তনীর  $L = 0.1 \text{ mH}$ ,  $C = 100 \mu\text{F}$  এবং  $R = 5 \Omega$  হলে, অনুরণন কম্পাঙ্ক এবং Q-factor নির্ণয় করো।
- (ঙ) ক্ষমতা গুণক (power factor) বলতে কী বোঝায়? AC বর্তনীতে এর গুরুত্ব আলোচনা করো।

২+(২+১)+২+(১+১)+(২+১)

- ৭। (ক) একটি নিরবচ্ছিন্ন তড়িৎপ্রবাহের জন্য চৌম্বকক্ষেত্রের ক্ষেত্রে Biot-Savart সূত্রটি উল্লেখ করো ও ব্যাখ্যা করো। এই সূত্র ব্যবহার করে একটি বর্তনীর কেন্দ্রে চৌম্বকক্ষেত্রের রাশিমালা নির্ণয় করো যেখানে তড়িৎপ্রবাহমাত্রা  $I$ ।
- (খ) Biot-Savart সূত্র ব্যবহার করে দেখাও যে,  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ , যেখানে  $\vec{B}$  হল চৌম্বকক্ষেত্র। এই ফলাফলের ভৌত তাৎপর্য ব্যাখ্যা করো।
- (গ) চৌম্বক ভেক্টর বিভব  $\vec{A}$  সংজ্ঞায়িত করো।

(২+৪)+(৩+১)+২

### [English Version]

*The figures in the margin indicate full marks.*

Answer **question no. 1** and **any five** questions from the rest.

1. Answer **any five** questions :

- (a) Consider a parallel plate capacitor which is maintained at potential of 200 V. If the separation distance between the plates of the capacitor is 1 mm and area of the plates are  $20 \text{ cm}^2$ , calculate the displacement current for the time in  $1 \mu\text{s}$ . 3
- (b) Derive the charge current continuity equation from the principle of conservation of charge. 3
- (c) Show that the alternating current lags behind the applied AC voltage across an ideal inductor by  $45^\circ$ . 3
- (d) What is the physical significance of displacement current? 3
- (e) What do you mean by inductive time constant of an  $L - R$  series circuit? Explain why an ideal inductor becomes short circuit with DC voltage source. 2+1
- (f) State Faraday's law of electromagnetic induction. Derive its differential form. 1+2
- (g) Define magnetization  $\vec{M}$ . What is its unit? Write down the expression of magnetization in terms of magnetic susceptibility. 1+1+1

2. (a) A point charge  $q$  is placed at a height  $h$  above an infinite grounded conducting plane. Using the method of Images, find (i) the potential at a point above the plane, (ii) the induced surface charge density on the plane.
- (b) Derive the relation between electric polarisation  $\vec{P}$ , electric field  $\vec{E}$  and electric susceptibility  $\chi_e$ .

**Please Turn Over**

- (c) A parallel-plate capacitor is filled completely with a linear dielectric material. An electric field of magnitude  $2 \times 10^5$  V/m is applied across the plates. The electric susceptibility of the dielectric is  $\chi_e = 3$ .
- Calculate the permittivity of the dielectric material.
  - Find the magnitude of the electric displacement vector  $\vec{D}$ .
  - Determine the magnitude of the polarization vector  $\vec{P}$ . (3+3)+3+(1+1+1)
3. (a) Write down Maxwell's equations in free space by clearly explaining the meanings of the symbols used therein.
- (b) Using Maxwell's equations, derive the wave equation corresponding to the  $E$ -field vector of the electromagnetic wave propagating through vacuum.
- (c) Given  $\vec{E} = E_m \sin(\omega t - \beta z) \hat{j}$  in free space. Calculate  $\vec{H}$ . Hence show that  $\vec{E}$  and  $\vec{H}$  are mutually perpendicular. The symbols have their usual meanings.
- (d) Prove that EM energy is equipartitioned between the magnetic and electric energies for a plane EM wave in linear dielectric medium. 2+4+(2+1)+3
4. (a) What is Poynting vector?
- (b) Show how Maxwell's equations in free space imply local conservation of charge.
- (c) Show that time varying electric field is non-conservative. Hence or otherwise express the time varying electric field in terms of vector and scalar potentials.
- (d) A radio station transmits a 10 kW signal at a frequency of 100 MHz. Assume it radiates as a point source. At a distance of 1 km from the antenna, find the amplitude of the electric and magnetic field strengths, and the energy incident normally on a square plate of side 10 cm in 5 min. 2+3+(1+3)+(1+1+1)
5. (a) Explain briefly why all AC pulses are periodic but all periodic pulses are not AC.
- (b) The coil having a resistance of  $10 \Omega$  and an inductance of  $0.2$  H is connected to a  $100$  V,  $50$ -Hz supply. Calculate (i) the impedance of the coil, (ii) the reactance of the coil, (iii) the current taken and (iv) the phase difference between the current and the applied voltage.
- (c) Calculate the r.m.s. value of an AC current given by  $i(t) = I_m \sin \omega t$ . Explain why  $220$  V AC is more dangerous to living body compared to  $220$  V DC.
- (d) How many electrons pass a fixed point in a  $100$ -watt light bulb in  $1$  hour if the applied constant voltage is  $120$  V? 2+(2+1+1+1)+(2+1)+2
6. (a) What is resonance in a series LCR circuit?
- (b) Derive the condition for resonance and the expression for resonant frequency of a series LCR circuit in an AC supply of frequency  $\omega$ .
- (c) Derive an expression for the quality factor (Q-factor) of a resonant series LCR circuit.

(5)

**D(4th Sm.)-Physics-MDC/CC-5/CCF**

- (d) A series LCR circuit has  $L = 0.1$  mH,  $C = 100$   $\mu$ F, and  $R = 5$   $\Omega$ . Calculate the resonant frequency and the Q-factor of this circuit.
- (e) What is meant by power factor? Discuss its importance in AC circuits.

2+(2+1)+2+(1+1)+(2+1)

7. (a) State and explain Biot-Savart law for the magnetic field due to a steady current. Using Biot-Savart law, derive an expression for the magnetic field at the center of a circular loop carrying current  $I$ .
- (b) Using Biot-Savart law, show that  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ , where  $\vec{B}$  is the magnetic field. Explain the physical significance of this result.
- (c) Define the magnetic vector potential  $\vec{A}$ .

(2+4)+(3+1)+2