2025

PHYSICS — MDC

Paper : CC-4

(Modern Physics)

Full Marks : 75

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

প্রান্তলিখিত সংখ্যাগুলি পূর্ণমান নির্দেশক।

১ নং প্রশ্ন আবশ্যিক এবং প্রতিটি **বিভাগ** থেকে অন্তত ***একটি*** করে প্রশ্ন নিয়ে ***যে-কোনো পাঁচটি*** প্রশ্নের উত্তর দাও।

১। ***যে-কোনো পাঁচটি*** প্রশ্নের উত্তর দাও ঃ ৩×৫

(ক) মহাকাশযান A পৃথিবীর সাপেক্ষে 0.90 C বেগে গতিশীল। মহাকাশযান B যদি A-কে একই দিকে 0.50 C আপেক্ষিক বেগে অতিক্রম করতে চায়, তবে পৃথিবীর সাপেক্ষে B-র বেগ কত হওয়া উচিত?

(খ) 100 MeV ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো।

(গ) 46 g গলফ্ বলের গতিবেগ 30 m/s হলে এর ডি. ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো।

(ঘ) $\frac{d^2}{dx^2}$ সংকারকের আইগেনফলন, $\psi = e^{2x}$ হলে, এর সম্পর্কিত আইগেনমান নির্ণয় করো।

(ঙ) $\left[L\hat{x}, p\hat{x}\right]$ ক্রমবিনিময়কের মান নির্ণয় করো।

(চ) তিরশ্চৌম্বকতা, উপচুম্বকতা ও অয়শ্চুম্বকতার তুলনামূলক ব্যাখ্যা দাও।

(ছ) B – H বক্রের ব্যবহারিতা ব্যাখ্যা করো।

(জ) একটি ঘন কেলাসের (100) তল থেকে 1.54 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট X-রশ্মির জন্য প্রথম ক্রমের প্রতিফলন কোণের মান 18°। ঐ কেলাসটির (100) এবং (111) তলের মধ্যেকার দূরত্ব নির্ণয় করো।

বিভাগ - ক

২। (ক) প্রমাণ করো যে, $\frac{v}{c} << 1$-এর জন্য একটি গতিশীল বস্তুর গতিশক্তি, K-র স্থির ভর শক্তি m_0c^2 তুলনায় অনেক কম হবে।

(খ) গতি v-র কোন্ মানের জন্য দৈর্ঘ্যজনিত গ্যালিলীয় ও লোরেন্টজীয় সমীকরণের মধ্যে 1% পার্থক্য হয়?

(গ) স্থির অবস্থায় μ-মেসনের গড় আয়ু 2.3×10^{-6} s। পরীক্ষাগারে মাপলে μ-মেসনের গড় আয়ু 6.9×10^{-6} s পাওয়া যায়। পরীক্ষাগারে মেসনের বেগ কত?

(ঘ) s-র সাপেক্ষে $\sqrt{1-s^2}$ ও $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-s^2}}$ অপেক্ষক দুটির লেখচিত্র অঙ্কন করো। ২+২+৪+(২+২)

৩। (ক) কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ সম্পর্কিত প্ল্যাঙ্কের সূত্রটি বিবৃত করো।

(খ) আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের সঙ্গে নিরোধী-বিভবের লেখচিত্র অঙ্কন করো।

(গ) কম্পটন এফেক্টের তাৎপর্য ব্যাখ্যা করো। কম্পটন সরণ $\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\varphi)$ সূত্রটি নির্ণয় করো, যেখানে φ হল বিক্ষেপণ কোণ। ২½+২½+(২+৫)

৪। (ক) দেখাও যে, একটি কণার ডি. ব্রগলি ও কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত হয় $\sqrt{\left(\frac{C}{v}\right)^2 - 1}$।

(খ) পরমাণুর মধ্যবর্তী একটি ইলেকট্রন উত্তেজিত অবস্থায় এর পরবর্তী শক্তিস্তরে গমন করে এবং 10^{-8} s ধরে সেই স্তরে থাকার পরে পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসে। এই প্রক্রিয়ায় অতিরিক্ত শক্তি ফোটনের আকারে নির্গত হয়। ফোটনের কম্পাঙ্কের অনিশ্চয়তা নির্ণয় করো।

(গ) সরলরেখা বরাবর গতিশীল একটি কণার গতিকে $\psi(x) = \frac{(x+ix)}{(1+ix^2)}$ আকারে প্রকাশ করা যায়। $\psi^*(x)$ নির্ণয় করো।

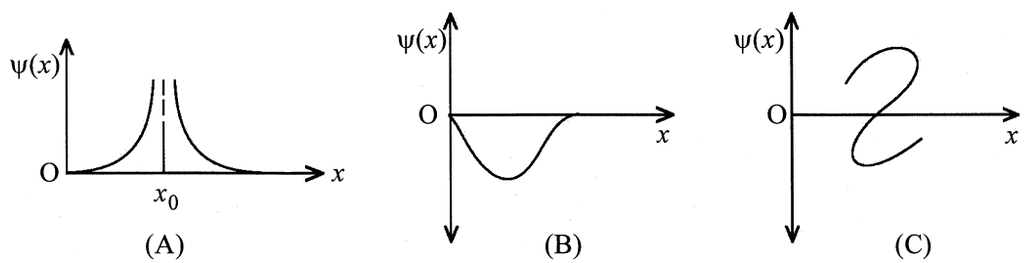
(ঘ) নীচের একমাত্রিক তরঙ্গ-অপেক্ষককে পরিমিত করো ঃ

$$\psi(x) = Ae^{-\alpha x}, \; x > 0\text{-র জন্য}$$
$$= Ae^{+\alpha x}, \; x < 0\text{-র জন্য},$$

যেখানে α হল একটি ধনাত্মক ধ্রুবক। ৩+৩+২+৪

বিভাগ - খ

৫। (ক) নীচের ছবিতে দেখানো তরঙ্গ-অপেক্ষকগুলির কোনগুলির ওই নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে ভৌত তাৎপর্য নেই? কেন?



(A) (B) (C)

(খ) নীচের তরঙ্গ-অপেক্ষকটির সম্ভাব্যতা ঘনত্ব নির্ণয় করো ঃ

$$\Psi(x,t) = Ae^{-\left(\sqrt{cm}/2\hbar\right)x^2} e^{-\left(\frac{i}{2}\right)\sqrt{\frac{c}{m}}t}$$

(গ) (অ) শ্রোডিংগার সমীকরণের সাহায্যে নীচের তরঙ্গ-অপেক্ষকটির শক্তির আইগেনমান, E নির্ণয় করো ঃ

$$\Psi(x,t) = A\cos\frac{\pi x}{a}e^{-iEt/\hbar}, \quad \left(-\frac{a}{2} < x < +\frac{a}{2}\right)$$
$$= 0, \qquad \left(x \le -\frac{a}{2} \text{ বা, } x \ge +\frac{a}{2}\right)$$

যেখানে, A যে-কোনো একটি ধ্রুবক এবং E কণাটির মোট শক্তি।

(আ) উপরের কণাটির ভৌম অবস্থায় তরঙ্গ-অপেক্ষকের লেখচিত্র অঙ্কন করো। ৩+৩+(৪+২)

৬। (ক) সময় নিরপেক্ষ একমাত্রিক শ্রোডিংগার তরঙ্গ সমীকরণ নির্ণয় করো।

(খ) তরঙ্গ-অপেক্ষকের ভৌত ব্যাখ্যা করো।

(গ) নিম্নলিখিত তরঙ্গ-অপেক্ষকের পরিমিত করো ঃ

$$\psi_n(x) = A\sin\frac{n\pi x}{L},$$

যেখানে কণাটি আবদ্ধ $0 < x < L$ এর মধ্যে।

(ঘ) n-তম আইগেন শক্তি বের করো। ৪+২+৩+৩

৭। (ক) (অ) কেলাসের মধ্যেকার একটি তলের x, y ও z-অক্ষের ছেদিতাংশগুলির মান যথাক্রমে 6a, 4b, 2c হলে তলটির মিলার সূচকগুলির মান নির্ণয় করো।

(আ) এই মিলার সূচকসম্পন্ন তলটির উভয়দিকের দুটি তলের ছেদিতাংশ নির্ণয় করো।

(খ) 'a' দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট ঘনকাকার একটি জালকের (hkl) তলের আন্তঃতলীয় ব্যবধান নির্ণয় করো।

(গ) Ag-র K_α-রেখার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য হল 0.563 Å। Ag-ঘাতবহ থেকে নির্গত বিকিরণকে ব্র্যাগ স্পেকট্রোমিটারের সাহায্যে ক্যালসাইট কেলাস ব্যবহার করে (ক্যালসাইট হল একটি সরল ঘনক যার জালক ধ্রুবকের মান হল 3.02945 Å) বিশ্লেষণ করা হল।

(অ) প্রথম ক্রমের জন্য প্রতিফলন কোণ কত?

(আ) সর্বোচ্চ কোন্ ক্রমের জন্য এটা পরিলক্ষিত হতে পারে? (২+৩)+৩+(২+২)

৮। (ক) ম্যাগনেশিয়াম ও অক্সিজেনের মধ্যে বন্ধন গঠনের চিত্রসহ ব্যাখ্যা করো। এটি কী ধরনের বন্ধন?

(খ) নিম্নলিখিত বন্ধনগুলিকে তাদের শক্তির ঊর্ধ্বক্রমানুসারে সাজাও এবং প্রতি ক্ষেত্রে একটি করে উদাহরণ লেখো ঃ

(অ) আয়নিক বন্ধন (আ) ভ্যান্ডারওয়াল বন্ধন (ই) সমযোজী বন্ধন।

(গ) ব্যান্ডগ্যাপ কী? পরিবাহী, অর্ধ পরিবাহী ও অন্তরকের ব্যান্ডগ্যাপের মান তুলনা করো।

(ঘ) n- ও p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর ফার্মি শক্তিস্তরের উপর ডোপ্যান্টের গাঢ়ত্বের ভূমিকা কী? (২+১)+৩+(১+৩)+২

Please Turn Over

৯। (ক) ল্যাঞ্জেভিন তত্ত্ব থেকে উপচুম্বকতা বিষয়ক কুরির সূত্র ব্যুৎপন্ন করো।

(খ) (অ) ডোমেন বা অঞ্চল কী?

(আ) তিরশ্চৌম্বক পদার্থের মধ্যে অঞ্চলের অস্তিত্ব ভৌতভাবে ব্যাখ্যা করো।

(ই) উপরের প্রশ্নের উত্তরের স্বপক্ষে সরাসরি পরীক্ষামূলক প্রমাণ দাও।

(ঈ) অঞ্চল ধারণার ব্যবহারিক প্রয়োগের উদাহরণ দাও।

(গ) ঘরের উষ্ণতায় Fe_2O_3-র উপচৌম্বকগ্রাহীতা 1.4×10^{-3}। প্রতিটি পরমাণুর দ্বিমেরু ভ্রামকের মান যদি বোর ম্যাগনেটনের ক্রমে হয়, তবে পদার্থটির প্রতি একক আয়তনে পরমাণুর সংখ্যা গণনা করো। দেওয়া আছে, এক বোর ম্যাগনেটন = 9.27×10^{-24} Am^2।

৪+(১+২+১+১)+৩

[English Version]

The figures in the margin indicate full marks.

Answer ***question no.*** **1** which is compulsory and ***any five*** questions, taking at least ***one*** question from each **Group**.

1. Answer ***any five*** questions : 3×5

(a) Spacecraft A is moving at 0.90 C with respect to the earth. If spacecraft B is to pass A at a relative speed of 0.50C in same direction, what speed must B have with respect to the earth?

(b) Find the wavelength and frequency of a 100 MeV photon.

(c) Find the de Broglie wavelength of a 46 g golf ball with a velocity of 30 m/s.

(d) An eigenfunction of the operator $\frac{d^2}{dx^2}$ is $\psi = e^{2x}$. Find the corresponding eigenvalue.

(e) Evaluate the commutator $\left[L\hat{x}, p\hat{x}\right]$.

(f) Give a comparative study of dia, para and ferromagnetism.

(g) Explain the usefulness of B-H curves.

(h) The first order reflection angle is 18° from (100) plane of a cubic crystal using X-rays of wavelength 1.54 Å. Determine the distance between the (100) planes and the (111) planes of crystal.

Group - A

2. (a) Prove that if $\frac{v}{c} << 1$, the kinetic energy K of a moving particle will always be much less than its rest energy m_0c^2.

(b) At what speed v will the Galilean and Lorentz expressions for length differ by 1%?

(c) The average lifetime of μ-mesons at rest is 2.3×10^{-6} s. A laboratory measurement on μ-mesons yields an average lifetime of 6.9×10^{-6} s. What is the speed of the mesons in the laboratory?

(d) Plot the functions $\sqrt{1-s^2}$ and $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-s^2}}$ as a function of s. 2+2+4+(2+2)

3. (a) State Planck's law of blackbody radiation.

(b) Draw the curve of stopping potential with the frequency of incident light.

(c) Explain the physical significance of Compton effect. Derive the formula of Compton shift $\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\varphi)$, where φ is scattering angle. 2½+2½+(2+5)

4. (a) Show that the ratio of the de Broglie wavelength to the Compton wavelength of a particle is $\sqrt{\left(\frac{C}{v}\right)^2 - 1}$.

(b) An electron in an atom is excited to next higher energy state. The electron stays in that excited state for 10^{-8} s and then goes to its previous state; in this process, the excess energy is emitted in the form of a Photon. Find the inherent uncertainty in the frequency of the Photon.

(c) A particle moving in a straightline is described by

$$\psi(x) = \frac{(x+ix)}{(1+ix^2)}.$$

Obtain $\psi^*(x)$.

(d) Normalise the following wave function in one-dimension :

$\psi(x) = Ae^{-\alpha x}$, for $x > 0$

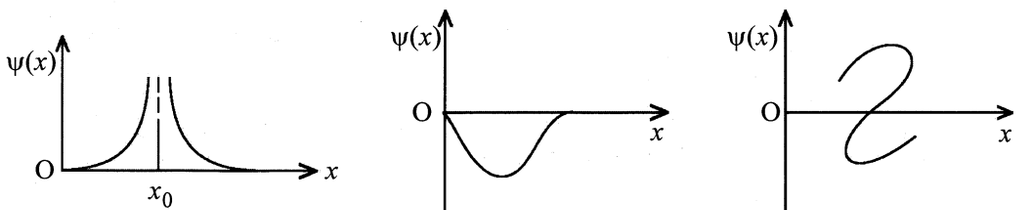
$= Ae^{+\alpha x}$, for $x < 0$,

where α is a positive constant. 3+3+2+4

Please Turn Over

Group - B

5. (a) Which of the wave functions is shown in Figures do not have physical significance in the interval shown? Why?



(A) (B) (C)

(b) Calculate the following probability density for the wave function :

$$\Psi(x,t) = Ae^{-\left(\sqrt{cm}/2\hbar\right)x^2} e^{-\left(\frac{i}{2}\right)\sqrt{\frac{c}{m}}t}$$

(c) (i) Apply Schrödinger equation to determine the energy eigenvalue, E for the wave function

$$\Psi(x,t) = A\cos\frac{\pi x}{a}e^{-iEt/\hbar}, \quad \left(-\frac{a}{2} < x < +\frac{a}{2}\right)$$

$$= 0, \qquad \left(x \le -\frac{a}{2} \text{ or, } x \ge +\frac{a}{2}\right),$$

where A is an arbitrary constant, E is the total energy of the particle.

(ii) Plot the ground state wave function, for the above problem. 3+3+(4+2)

6. (a) Derive time independent one-dimensional Schrödinger wave equation.

(b) State the physical interpretation of the wave function.

(c) Normalize the following wave function :

$\psi_n(x) = A\sin\frac{n\pi x}{L}$ for particle confined in a length $0 < x < L$.

(d) Find the eigenenergy value (E_n) for n-th state. 4+2+3+3

7. (a) (i) Find the Miller indices of a plane (in a crystal) having intercepts of 6a, 4b, 2c on the x, y and z-axes respectively.

(ii) Determine also the intercepts of two other planes one on each side of this plane and having these indices.

(b) Determine the interplanar spacing of plane (hkl) when the lattice is a cube of edge length a.

(c) The wavelength of the K_α line of Ag is 0.563 Å. The radiation from a Ag target is analysed with a Bragg Spectrometer using a Calcite crystal (a simple cube of lattice constant 3.02945 Å).

(i) Determine the angle of reflection for the first order.

(ii) What is the highest order for which this one may be observed? (2+3)+3+(2+2)

8. (a) Explain with the help of a diagram the process of bond formation between Magnesium and Oxygen. Name the bond.

(b) Arrange the following bonds in ascending order of their strength and write an example of each :

(i) Ionic bond (ii) van der Waals bond (iii) Covalent bond.

(c) What is bandgap? Compare the bandgap values of conductors, semiconductors and insulators.

(d) What is the role of dopant concentration on the Fermi energy of *n*- and *p*-type semiconductors? (2+1)+3+(1+3)+2

9. (a) Derive Curie's law of paramagnetism from Langevin's theory.

(b) (i) What are domains?

(ii) Explain the existence of domains in a ferromagnetic material.

(iii) Give a direct experimental evidence in support of your answer.

(iv) Also enumerate a practical application of the concept of domains.

(c) The paramagnetic susceptibility of Fe_2O_3 at room temperature is 1.4×10^{-3}. If the dipole moment of each atom is of the order of a Bohr magneton, calculate the number of atoms per unit volume of the material. Given, 1 Bohr magneton = 9.27×10^{-24} Am^2. 4+(1+2+1+1)+3