No. of Printed Pages : 16 **BPHET–141**

BACHELOR OF SCIENCE

(GENERAL) (BSCG)

Term-End Examination

June, 2025

BPHET-141 : ELEMENTS OF MODERN PHYSICS

Time : 2 Hours *Maximum Marks : 50*

Note : *(i) Attempt all questions. The marks for each question are indicated against it.*

(ii) Symbols have their usual meanings.

(iii) You may use a calculator.

(iv) The values of physical constants are given at the end.

---

1. Answer any ***five*** parts : 5×2=10

   (a) State the *two* postulates of special theory of relativity. 1+1

   (b) By what factor does the mass of a relativistic particle increase from its rest mass when it travels at a speed 0.8 c ? 2

   (c) Calculate the wavelength of a particle of mass 2.0×10^{-29} kg and kinetic energy 40.0 MeV. 2

   (d) Can a quantum particle have a well-defined path ? Explain. 2

   (e) Determine the eigen value of the operator $\hat{p}_y$ for the wave function : 2

$$\psi(y,t) = \mathrm{N}\, e^{i(ky-\omega t)}$$

(f) Write the time-independent Schrödinger equation for a particle of energy E in a step potential which has a step V_0 for $x > 0$. 2

(g) An element characterized by A = 238 and Z = 92 loses 8 alpha and 6 beta particles in a decay process. What will the final stable product be ? 2

(h) Define multiplication factor k. For what values of k is a nuclear reactor (i) critical and (ii) subcritical ? 1+1

2. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) Write the Lorentz transformation equations for a frame S′ travelling parallel to another frame of reference S in the x-direction, with velocity V.

Hence, determine the coordinates of an object in S′, given that its coordiantes in S are : 2+3

$x = 1.2 \times 10^9$ m, $y = 0$, $z = 0$, $t = 4.0$ s and $V = 0.6c$

(b) Derive the relativistic energy-momentum relation for a free massless particle. 5

(c) A particle having rest mass 2.0 kg has an initial speed of 2.4×10^8 ms^{-1}. A constant relativistic force of magnitude 2.0×10^6 N is exerted on the particle for 100 s. Calculate the magnitudes of its initial and final relativistic momenta.

2+3

3. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) What observation in the Davisson-Germer experiment confirmed the existence of matter waves ? Suppose, a beam of neutrons is incident on a crystal with an interatomic spacing of ~1.5 Å . What effect would be observed if the neutron temperature were 300 K ? Explain. 1+4

(b) Determine the normalization constant N for the following wave function : 5

$$\psi(x,t) = \begin{cases} \mathrm{N}(c-x)e^{-i\omega t} & , \quad 0 \le x \le c \\ 0 & , \quad \text{elsewhere} \end{cases}$$

where c is a constant.

(c) Calculate $\langle x \rangle$ for the wave function : 5

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{\mathrm{L}}}\cos\left(\frac{\pi x}{\mathrm{L}}\right), \quad 0 < x < \mathrm{L}$$

4. Answer any *one* part : 1×10=10

(a) Write the time-independent Schrödinger equation for a free particle of mass m confined in a length L. What are the boundary conditions for the problem ? Obtain the solution of the Schrödinger equation for these boundary conditions. Determine the energy eigen values for the particle.

1+1+4+4

(b) Define the potential function for a particle of mass m in the one-dimensional finite potential well of finite energy V_0 for $x < L$ and $x > L$ and zero elsewhere. Obtain the general solutions of the time-independent Schrödinger equation in all three regions. 2+8

5. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) Define activity of a radioactive substance. The half-life of a radioactive substance (200_X) is 8×10^4 years. Calculate the decay constant (in s^{-1}) and the rate of disintegration of 1 g of the substance. 1+2+2

(b) Draw the schematic diagram of a nuclear fission reactor showing all its constituents. State the functions of moderator and safety rods in a nuclear fission reactor. 3+2

(c) Calculate the atomic number (Z) for the most stable nucleus at a given mass number, from the semi-empirical mass formula. Calculate Z_0 for A = 60.

Take $r = 23.7, \delta = 0.71$. 3+2

Values of physical constants :

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J-s

$\hbar = 1.054 \times 10^{-34}$ J-s

$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ J

$m_n = 1.675 \times 10^{-27}$ kg

$k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ JK^{-1}

Avogadro's number $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ mol^{-1},

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

BPHET–141

विज्ञान स्नातक (सामान्य) (बी. एस. सी. जी.)

सत्रांत परीक्षा

जून, 2025

बी.पी.एच.ई.टी.–141 : आधुनिक भौतिकी के तत्व

समय : 2 घण्टे *अधिकतम अंक : 50*

नोट : *(i) सभी प्रश्न हल कीजिए। प्रत्येक प्रश्न के अंक उसके सामने दिए गए हैं।*

(ii) प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं।

(iii) आप कैल्कुलेटर का उपयोग कर सकते हैं।

(iv) भौतिक नियतांकों के मान अंत में दिए गए हैं।

---

1. किन्हीं **पाँच** भागों के उत्तर दीजिए : $5\times2=10$

(क) विशिष्ट आपेक्षिकता सिद्धान्त के **दो** अभिगृहीतों का कथन दीजिए। 1+1

(ख) जब एक आपेक्षिकीय कण $0.8c$ की चाल से चलता है, तो उसका द्रव्यमान, उसके विराम द्रव्यमान से कितने गुना अधिक हो जाता है ? 2

(ग) द्रव्यमान $2.0\times10^{-29}\text{kg}$ और गतिज ऊर्जा 40.0 MeV वाले कण की तरंगदैर्घ्य परिकलित कीजिए। 2

(घ) क्या एक क्वांटम कण का सटीक रूप से परिभाषित पथ संभव है ? समझाइए। 2

(ङ) तरंग फलन के लिए संकारक $\hat{p}_y$ का आइगेन मान प्राप्त कीजिए : 2

$$\psi(y,t)=\text{N}\,e^{i(ky-\omega t)}$$

(च) ऊर्जा E वाले एक कण के लिए जो सोपान V_0 ($x > 0$ के लिए) के सोपान विभव में स्थित है, काल-स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण लिखिए। 2

(छ) $A = 238$ और $Z = 92$ वाले तत्व के क्षय प्रक्रम में 8 अल्फा और 6 बीटा कण उत्सर्जित होते हैं। अंतिम स्थायी उत्पाद क्या होगा ? 2

(ज) गुणन कारक k की परिभाषा दीजिए। k के किन मानों के लिए एक नाभिकीय रिएक्टर (i) क्रांतिक और (ii) उपक्रांतिक होगा ? 1+1

2. किन्हीं **दो** भागों के उत्तर दीजिए : $2 \times 5 = 10$

(क) x -दिशा में तंत्र S के सापेक्ष वेग V से गतिमान तंत्र S' के लिए लॉरेन्ज रूपांतरण समीकरण लिखिए।

अतएव, तंत्र S' में एक पिंड के निर्देशांक ज्ञात कीजिए जबकि S में उसके निर्देशांक हैं : 2+3

$x = 1.2 \times 10^9 \text{ m}$, $y = 0, z = 0, t = 4.0 \text{ s}$ और

$V = 0.6c$

(ख) एक मुक्त द्रव्यमान रहित कण के लिए आपेक्षिकीय ऊर्जा–संवेग संबंध व्युत्पन्न कीजिए। 5

(ग) विराम द्रव्यमान 2.0 kg वाले एक कण की आरंभिक चाल $2.4 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ है। कण पर 100 s के लिए परिमाण $2.0 \times 10^6 \text{N}$ वाला अचर आपेक्षिकीय बल आरोपित किया जाता है। उस कण के आरंभिक और अंतिम आपेक्षिकीय संवेगों की गणना कीजिए। 2+3

3. किन्हीं **दो** भागों के उत्तर दीजिए : $2\times5=10$

(क) डेविसन–गर्मर प्रयोग के किस प्रेक्षण से द्रव्य तरंगों का अस्तित्व स्थापित हुआ ? मान लीजिए कि एक न्यूट्रॉन पुंज एक क्रिस्टल पर आपतित होता है जिसकी अन्तर–परमाण्वीय दूरी $\sim 1.5\text{Å}$ है। यदि न्यूट्रॉन तापमान $300\ \text{K}$ हो, तो क्या प्रभाव प्रेक्षित किया जाएगा ? समझाइए। 1+4

(ख) निम्नलिखित तरंग–फलन के लिए प्रसामान्यीकरण नियतांक N प्राप्त कीजिए : 5

$$\psi(x,t)=\begin{cases}\text{N}(c-x)e^{-i\omega t} & , \quad 0\le x\le c\\ 0 & , \quad \text{अन्यथा}\end{cases}$$

जहाँ c अचर है।

(ग) निम्नलिखित तरंग फलन के लिए $\langle x \rangle$ की गणना कीजिए : 5

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right), 0 < x < L$$

4. किसी **एक** भाग का उत्तर दीजिए : 1×10=10

(क) लम्बाई L में परिरुद्ध द्रव्यमान m के एक मुक्त कण के लिए काल-स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण लिखिए। इस समस्या के लिए परिसीमा प्रतिबंध क्या हैं ? इन परिसीमा प्रतिबंधों के लिए श्रोडिंगर समीकरण के हल प्राप्त कीजिए। कण के ऊर्जा आइगेन मान ज्ञात कीजिए। 1+1+4+4

(ख) द्रव्यमान m वाले कण के लिए, जो $x < L$ और $x > L$ में परिमित ऊर्जा V_0 और अन्यत्र शून्य ऊर्जा

वाले एकविमीय परिमित विभव कूप में स्थित है, विभव फलन की परिभाषा दीजिए। इन तीनों क्षेत्रों में, काल–स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण के व्यापक हल प्राप्त कीजिए। 2+8

5. किन्हीं **दो** भागों के उत्तर दीजिए : $2\times5=10$

(क) एक रेडियोधर्मी पदार्थ की सक्रियता की परिभाषा दीजिए। एक रेडियोधर्मी पदार्थ (200_{X}) की अर्ध–आयु 8×10^{4} वर्ष है। पदार्थ का क्षय नियतांक (s^{-1} में)और उसके $1\ \mathrm{g}$ की क्षयता दर की गणना कीजिए। 1+2+2

(ख) एक नाभिकीय विखंडन रिएक्टर का, उसके सभी घटक दर्शाते हुए, व्यवस्था आरेख खींचिए। नाभिकीय विखंडन रिएक्टर में विमन्दक और सुरक्षा दंडों के प्रकार्य लिखिए। 3+2

(ग) सामि-आनुभविक (अर्ध-अनुभवजन्य) द्रव्यमान सूत्र से सर्वाधिक स्थायी नाभिक के लिए परमाणु क्रमांक (Z) की गणना कीजिए, जिसकी द्रव्यमान संख्या दी गई हो। $A = 60$ के लिए Z_0 की गणना कीजिए। $r = 23.7,\ \delta = 0.71$ लीजिए। 3+2

भौतिक नियतांकों के मान :

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J-s

$\hbar = 1.054 \times 10^{-34}$ J-s

$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ J

$m_n = 1.675 \times 10^{-27}$ kg

$k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ JK^{-1}

आवोगाद्रो संख्या $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ mol^{-1},

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

× × × × ×