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.*

---



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

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 $2.0 \times 10^{-29}$ 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

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



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

(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.



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

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 $2.4 \times 10^8$ ms$^{-1}$. A constant relativistic force of magnitude $2.0 \times 10^6$ N is exerted on the particle for 100 s. Calculate the magnitudes of its initial and final relativistic momenta.

2+3



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

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 $\sim 1.5\,\text{Å}$. 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

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

where *c* is a constant.

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

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



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

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



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

5. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) Define activity of a radioactive substance. The half-life of a radioactive substance (200x) is $8 \times 10^4$ 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.



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

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$^{-1}$.



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

# 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



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

(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 $2.0 \times 10^{-29}$ 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

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



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

(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 : 2×5=10

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



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

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

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

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



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

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 K हो, तो क्या प्रभाव प्रेक्षित किया जाएगा ? समझाइए। 1+4

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

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

जहाँ $c$ अचर है।



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

(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



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

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 : 2×5=10

(क) एक रेडियोधर्मी पदार्थ की सक्रियता की परिभाषा दीजिए। एक रेडियोधर्मी पदार्थ $(200_x)$ की अर्ध–आयु $8\times10^4$ वर्ष है। पदार्थ का क्षय नियतांक ( $s^{-1}$ में)और उसके 1 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



Downloaded from www.IGNOUBABA.com

(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$^{-1}$

× × × × ×



Downloaded from www.IGNOUBABA.com