

2025 年度一般選抜（コア試験・プラス試験）

出題ポイント

物理基礎＋物理

解答及び解説

第1問 (a) 円運動の運動方程式から, $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R_1}}$. (b) 運動量保存則より, $v_3 = \frac{v_1 - \varepsilon v_2}{1 - \varepsilon}$. (c) 物体2は無限遠で0以上の力学的エネルギーを持つ必要があるので, エネルギー保存則より, $v_0 = \sqrt{\frac{2GM}{R_1}}$. (d) 面積速度一定の法則により, $v'_2 = \frac{R_1}{R_2} v_2$. (e) 面積速度一定の法則とエネルギー保存則を連立することにより, $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{2R_2}{R_1 + R_2}}$. (f) (e) の答の R_2 を R_3 に置き換えれば良いので, $\frac{v_3}{v_1} = \sqrt{\frac{2R_3}{R_1 + R_3}}$. (g) (e), (f) の答を (b) で立てた運動量保存則の式に代入することにより, $\varepsilon = \frac{1 - \sqrt{\frac{2R_3}{R_1 + R_3}}}{\sqrt{\frac{2R_2}{R_1 + R_2}} - \sqrt{\frac{2R_3}{R_1 + R_3}}}$.

第2問 (a) オームの法則から回路に流れる電流の大きさは $I = \frac{V_0}{R + R_0}$ となる。(b) 抵抗器Bの両端の電圧はオームの法則から $V = \frac{RV_0}{R + R_0}$ となるので, $R = \frac{V R_0}{V_0 - V}$ である。(c) 電源電圧が V_0 のとき $V = \frac{RV_0}{R + R_0}$ である。よって, 電源電圧が $V_0 + \Delta V_0$ のときは $V = \frac{R(V_0 + \Delta V_0)}{R + R_0}$ となる。(d) 上の (b) で求めた式に (c) の答えを代入すると測定誤差の含まれる推定値 R' が得られる。よって, $R + \Delta R = \frac{R R_0 (V_0 + \Delta V_0)}{R_0 V_0 - R \Delta V_0}$ となるので, $\Delta R = \frac{R R_0 (V_0 + \Delta V_0)}{R_0 V_0 - R \Delta V_0} - R$ である。さらに近似式を使って式を整理すれば, $\Delta R = \frac{R \Delta V_0 (R + R_0)}{V_0 R_0}$ となる。(e) 上の (d) で得た答えに数値を代入すれば $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta V_0}{V_0} \times (1 + \frac{R}{R_0}) = 0.02$ となる。

第3問 (a) $\frac{mv^2}{r} = \frac{k_0 Z e^2}{r^2}$ より, $r = \frac{k_0 Z e^2}{mv^2}$. (b) $2\pi r = n \frac{h}{mv}$ より, $v = \frac{nh}{2\pi m r}$. (c) (a), (b) の答えを r, v についてとくことにより, $v = \frac{2\pi k_0 Z e^2}{nh}$, $r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k_0 m Z e^2}$. (d) $E_{n,Z} = \frac{mv^2}{2} - \frac{k_0 Z e^2}{r} = -\frac{2\pi^2 k_0^2 m Z^2 e^4}{n^2 h^2}$. (e) $E_{n,Z} = \frac{Z^2}{n^2} E_{1,1}$ に注意して, $E_{2,2} - E_{1,2} = E_{1,1} - 4E_{1,1} = -3E_{1,1} = 3|E_{1,1}|$. (f) $E_{1,1} = -\frac{k_0 e^2}{2r}$ より, $r = -\frac{k_0 e^2}{2E_{1,1}} = 5.2 \times 10^{-11} \text{ m}$.

出題の意図

理学部コア・文学部プラス, 物理では, 第1問は力学分野から, 第2問は電磁気学分野から, 第3問はそれ以外のものが例年出題されてきており, 今回もそれに従っています。

第1問 天体の運動を題材とした力学の問題です。円運動の運動方程式, 運動量及びエネルギー保存則, 万有引力下の運動における面積速度一定の法則など, 力学に現れる様々な概念の理解が必要となります。問われる内容が多岐に渡り, 力学の知識の広さと深い習熟度が試される問題です。

各問を順に見ていきます。(a) 万有引力のもとでの円運動の運動方程式を書き下すことができれば容易に解ける問題で, 多くの受験者が正しく答えていました。少数ですが, エネルギー保存則を立式して解こうとする方がいましたが, この問題を解くためには適切な方法ではありません。(b) この問題は万有引力とは関係がなく, 運動量保存則を正しく立式することができれば解くことができ, 実際に多くの方が正答を得ていました。惜しいのは式変形の段階でミスをして正答にたどり着けなかった答案が散見されたことです。運動量保存則の式が正しく立てられていれば, 半分の点を部分点として付けました。(c) 物体が無限遠方に飛び去ることができるためには, 分離直後の時点で, 無限遠方で静止しているとき以上の力学的エネルギーをもつ必要があります。すなわち, この問題はエネルギー保存則の応用問題として解くことができます。多くの方が正答を得ていましたが, 運動方程式に基づく解法を試み, 上手くいかなかった答案が散見されました。本問も (b) と同様に, エネルギー

保存則の立式が正しくできている段階で半分の点を部分点として付けました。(d) 本問以降は円運動に限定されない、一般の万有引力下の運動についての理解を問う問題になります。本問は面積速度一定の法則を正しく理解していることが正答を得るための鍵になります。面積速度一定の法則は高校の力学の課程では比較的后半に学習する内容と思いますが、多くの方が法則を正しく適用して正答を得ていました。(e) 本問を解くには (d) で用いた面積速度一定の法則とエネルギー保存則を連立する必要があります。数式処理がやや煩雑だったためか、保存則の式が正しく立てられていても、正しい答えにたどり着かない例が散見されました。複雑な計算を経て得られた答えには自信をもてないことがよくありますが、そのような時に助けになるのが、得られた量の次元を確かめること、それから答えが簡単に分かる特別な場合を考えてみることです。本問は速度の比を問う問題ですので、答えは無次元量になっていなければなりません。 R_1 や R_2 は長さの次元を持つ量ですから、例えば分母と分子でこれらの量の次数が異なってしまっていたら、その時点で正答の可能性は無くなります。また、簡単な例として、 $R_1 = R_2$ の場合を想定してみると、 $v_1 = v_2$ が成り立っていないといけないということになります。このような単純なやり方で答えを確かめる癖をつけると良いと思います。(f) 本問は実質的に (e) と同じ問題です。 R_2 を R_3 に置き換えるだけで、(e) の解答から (f) の答えを得ることができます。一見異なる問題の類似性に気づけることも大事な能力ですので、上記の置き換えによる方針を筋道立てて説明できた解答には部分点を与えました。その際、論理的な説明を行なう能力も評価対象として重視しておりますので、単に「(e) と同様に解けば」というような、解釈に曖昧さを残す表現に対しては部分点を付けませんでした。(g) 最後の問題は (e) と (f) の答えを (b) の答えに代入することによって正答を得ることができます。基本的に完答のみに点をつけました。

全体として、力学で学ぶ広範な内容を正しく理解していることが要求される決して易しくはない問題だったと思います。本問を解くのに必要な全ての知識を網羅的に習得することは容易ではなかったはずですが、受験者の 4% 程度の方が完答を果たし、受験生の学力の高さに感心しました。

第 2 問 回路に流れる電流、電圧、抵抗の関係を問う問題であり、電気回路の基本的な知識の確認に加え、思考力や計算力を試す意図があります。受験者全体の得点率は 5 割から 6 割程度であり、完全な答案もいくつか見られました。設問 (a) は基礎知識を問うもので、ほとんどの受験者が正解していました。一方で、並列接続の合成抵抗を求める公式を誤って適用する誤答も見られました。設問 (b) も (a) と同様に基本事項の確認であり、ほとんどの受験者が正しく回答していました。設問 (c) と (d) では、問題の設定を適切に読み解く力が求められました。(c) は、電源電圧の変化が電圧計の測定結果に及ぼす影響を考える問題であり、(a) や (b) と同様にオームの法則を使えば容易に解けます。設問 (d) は、電源電圧の変化が抵抗の間接測定に生じる測定誤差を考える問題であり、ここで正答率は大幅に下がりました。解答例のように近似式を用いることで簡潔に答えられますが、近似を用いていない解答も正解としました。設問 (e) では、(d) で得た式に数値を代入し、正確に計算できるかどうかを確認しました。

第 3 問 最近出題のなかった、ボーアの原子模型からの出題です。他の分野に比べて、物理量の次元の間違いに気が付きにくいと思います。出題パターンは限られているので、よく慣れておくのがよいです。第 3 問の総得点に関する上位層は、第 3 問を通じてまんべんなく得点できており、下位層はほとんど得点できていないという傾向がありました。(a) は遠心力とクーロン力の釣り合いから、

原子の半径を求める問題です。(b) は、電子の軌道の長さがド・ブローイ波長の自然数倍になるという量子条件を素直に用いれば良いです。(c) では、(a), (b) の結果を組み合わせることにより、電子の軌道半径と速さが同時に求まります。(d) は、電子の運動エネルギーと静電エネルギーの表式において、(c) の結果を代入すれば求まります。静電エネルギーの絶対値が運動エネルギーのちょうど 2 倍になることを知っていれば、計算を有利に進めることができるでしょう。(e) は $E_{n,Z}$ の n, Z 依存性がわかれば答えられます。(f) は数値計算の問題です。有効数字 1 桁で答えていても減点はしていません。原子の大きさのおおよその値は常識として知っておくと良いでしょう。

理学部プラス試験

解答及び解説

第 1 問 (a) ストロー内の液面の下の面の圧力は大気圧なので、ストロー内の気圧を下げるとストロー内の液面での圧力の不均衡により液面は上昇する。(b) $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (c) 試験管内に水銀を満たしてから、水銀の入った皿状の容器内に試験管の中に空気が入らないように逆さに立てる。試験管内の水銀は重力により下に下がり試験管の上部は真空となる。容器内の液面を基準位置として、基準位置から試験管内の液面までの距離を h と表す。試験管内の基準位置で釣り合いの式 $P_0 S = \rho S h g$ が成り立つ。ここで P_0 は大気圧、 S は試験管の断面積、 ρ は水銀の密度、 g は重力加速度を表す。これから h を測定することで大気圧 P_0 を求めることができる。 h はおよそ 0.8 m となるので 1 m 程度の長さの試験管が必要となる。(d) 試験管の気密性の悪さや水銀の気化により真空部分の真空度が悪くなる、気温の変化により水銀の密度が変わるなどの要因で測定誤差が生じる。それぞれ気密性の良い試験管を用いることや水銀の蒸気圧分を補正する、温度一定の環境下で測定をすることで精度を上げることができる。

第 2 問 $MA = N_1 \sin \theta \cdots (1)$, $0 = N_2 - Mg - N_1 \cos \theta \cdots (2)$ 。(b) $mB = -mg \sin \theta - mA \cos \theta \cdots (3)$, $0 = N_1 - mg \cos \theta + mA \sin \theta \cdots (4)$ 。(c) (1), (4) より, $N_1 = \frac{mMg \cos \theta}{M+m \sin^2 \theta}$ 。(2) より, $N_2 = \frac{Mg(M+m)}{M+m \sin^2 \theta}$ (d) (1), (4) より, $A = \frac{mg \sin \theta \cos \theta}{M+m \sin^2 \theta}$, (3) より, $B = -g \sin \theta - A \cos \theta = -\frac{(m+M)g \sin \theta}{M+m \sin^2 \theta}$ (e) $x(t) = vt \cos \theta + \frac{A+B \cos \theta}{2} t^2$, $y(t) = vt \sin \theta + \frac{B \sin \theta}{2} t^2$ (f) $v + Bt_1 = 0$ より, $t_1 = -\frac{v}{B}$ 。 $h = y(t_1)$ より, $h = \frac{(M+m \sin^2 \theta)v^2}{2(m+M)g}$ (g) $t = 2t_1$ における台の速度 V_x は $V_x = 2At_1 = -\frac{2A}{B}v$ 。斜面に対する物体の速度は $v_x = -v \cos \theta$ 。 $V_x + v_x$ が床に対する物体の x 方向の速度で, $V_x + v_x = -\frac{2A}{B}v - v \cos \theta = \frac{m-M}{m+M}v \cos \theta = 0$ より, $\frac{m}{M} = 1$ 。(h) 物体が斜面の下端に達する直前の物体の速度の y 方向の成分は, $v_y = -v \sin \theta$ 。このときの物体の運動エネルギー $\frac{mv^2 \sin^2 \theta}{2}$ が失われた。力学的エネルギーは、物体または床の熱エネルギー、または音波のエネルギーに変換したと考えられる。

出題の意図

理学部プラス、物理は 2 つの大問で構成されています。第 1 問は基本的な物理量、測定の原理など、特定のテーマのもとで比較的自由に記述させる出題形式をとっています。第 2 問は一般的な問題形式をとっていますが、少し複雑な問題を時間をかけてじっくりと解いてもらう意図があります。

第 1 問 (a) はストローでチューチューと飲み物を飲むことができる理由を説明する問題ですが、

多くの人が正解でした。なかにはストロー内が真空になるためと書いている人がいましたが、化け物級の肺活量の持ち主でなければそれは不可能でしょう。(b) は 10^3 Pa という上空数十 km での低圧力から、地球のど真ん中の圧力をはるかに凌ぐ 10^{23} Pa という超ウルトラ高圧力まで解答はバリエーション豊かでした。物理学を志す者として基本的な物理量の大きさは単位を含めて知っておきたいものです。(c) は解答例に挙げたように水銀を使うと必要な試験管の長さは 1 m 程度ですが、水を使うと比重が 1/10 ですので 10 m の長さの外から液面の位置が視認できて、一方が密閉された管が必要になります。もっとも管を傾けたりするなどの工夫はできますが、いずれにしてもよほど時間と懐に余裕のある趣味人でないと気軽にできる実験ではなくなってしまいます。(d) 実験とは様々な要因で計算通りにはいかないものです。ただその原因を探るべく試行錯誤を繰り返す作業が意外と楽しかったりします。

第 2 問 床に固定されていない斜面上を物体が運動する問題です。加速度系における運動方程式を立てて運動を解く必要があり、計算力と思考力が必要です。(a) は斜面上の物体から力を受けて運動する、台の運動方程式を立てる問題です。第 2 問の総得点の上位 1/4 のグループで、(a) の平均得点率は 8 割を越えていたのに対し、下位 1/4 のグループでは 3 割に届きませんでした。(b) は加速度系における運動方程式を立てる問題です。見かけの力を考慮する必要があります。上位グループはほぼ全員が完答、下位グループはほぼ全員が不正解でした。(c), (d) は上の (a), (b) で立てた 4 本の運動方程式から 4 つの未知数を求める問題です。(c), (d) のどちらに関しても、上位グループの平均得点率は 8 割程度でした。(e) は静止系における物体の運動を記述する問題で、(a), (b), (c), (d) ができていなくても、仕切り直しができるようになっています。上位グループでは 8 割以上の得点率、下位グループでは 5 割弱の得点率となっていました。(f) は運動を理解していれば比較的簡単に答えられますが、完答するためには (d) で加速度 B の表式を得ている必要があります。上位グループで 6 割強、下位グループで 4 割の正答率となっていました。(g), (h) では、物体が斜面を降りる状況を考えています。そのために少し混乱している様子も見られました。(g) の正答率は上位グループではほぼ 10 割、下位グループでは 5 割でした。また、(h) の正答率は、上位グループ、下位グループのいずれも 5 割程度でした。