

物 理

I

■出題のねらい

熱気球から発射される小物体の運動を題材として、放物運動についての基礎的な知識を問いました。さらに、応用問題としてこの小物体を加速度運動する熱気球から見る立場で考察し、非慣性系での考え方の理解度を確かめました。

■採点講評

(1) は、地上に静止した人から見た熱気球および小物体の運動、すなわち、慣性系の運動を考える問題です。熱気球は、鉛直上向きに一定の加速度 a で上昇していますので、時刻 T_0 のときの速さ ア は、等加速度直線運動の式から求まります。この空所は、正答率が非常に高かったです。問1から問5は、図2に示した速さ v_y のグラフを参考として考える問題です。問1は、 v_y が正から負になる時ですから、上昇から下降に転じるとき、すなわち、地面から最も高い位置にあるとなります。位置エネルギーが最大などの類似の解答も正答としました。問3は、時刻 T_0 までは原点を頂点とする下に凸の放物線、時刻 T_0 以降は時刻 τ で頂点となる上に凸の放物線で、この二つが時刻 T_0 でなめらかにつながるグラフとなります。小物体が熱気球とともに上昇している間の運動が考慮されていない解答が多くみられ、正答率は低かったです。問4は、小物体が地面に落下する時刻 T を τ を用いて表す問いであり、式①から求まりますが、正答率は低かったです。式①をそのまま使うと T の二次方程式となりますが、

$$\frac{1}{2} \tau a T_0 = \frac{1}{2} g (T - \tau)^2 \Rightarrow \sqrt{\tau a T_0} = \sqrt{g} (T - \tau)$$

と変形すれば、簡単に求められます。問5は、式②の T_0 を式③に代入して求められますが、その過程で必要となる有理化ができていない解答が多く見られ、正答率は低かったです。

(2) は、鉛直上向きに等加速度直線運動をする熱気球に乗った人から見た小物体の運動、すなわち、非慣性系の運動を考える問題でした。まず、熱気球から発射された小物体にはたらいっているように見える力に関する空所 イ は慣性力のほか、見かけの力も正答としました。この空所は、正答率が非常に高かったです。問6は、時刻 τ において地面の速度と交わる直線が描けていない誤答が多く見られ正答率は低かったです。また、小物体が地面に落下したときに成立する式⑤は、左辺が熱気球から見た地面までの距離、右辺が熱気球から見た小物体までの距離を表しており、それぞれ、図3と問6で描いた $v-t$ グラフの面積から読み取ることができます。したがって、右辺の空所の ウ は $(g+a)(T-T_0)$ となりますが、正答率は低かったです。問8は、式③より $(T-T_0)$ を求めて式⑤に代入すると求まりますが、

$$\frac{1}{2} a T^2 = \frac{g+a}{2} (T-T_0)^2 \Rightarrow T = \sqrt{\frac{g+a}{a}} (T-T_0)$$

としておけば、計算は簡単です。残念ながら、正答率は非常に低かったです。

(3) は、もう一度初めから解き直すのかと戸惑った人もいたかもしれません。しかし、式④で T_0 を T_1 とおいて a について解けばよいのです。文字式で解析をすると、このように全く違

う設定にしてもその結果を使うことできるという利点があることを分かってもらいたいと考えた設問ですが、正答率は非常に低かったです。

今回出題した小物体の運動は、力学の基本的な分野となりますが、物理現象を理解するためには公式を覚えるだけでなく、グラフの作成、読み取り能力、観察力を養うことが重要です。それらを意識し、学習するように努めてください。

II

■出題のねらい

相互作用として電磁気力は重力に比べて強いことを直感的に理解しているかを試すために、クーロン力に関する基本的な出題をしました。また、ガウスの法則を理解し、実際の問題に適用できるかを問いました。工学で重要になる数値的な計算を正確にできるかを試すとともに、応用力を問う問題を出題をしました。

■採点講評

(1) の問 1～3 はクーロン力と重力に関する問題で基本事項です。ほとんどの受験者が正答すると期待していましたが、不正答も少なからずありました。法則や公式はしっかりと覚えて、使えるようにしておくことが大事です。問 4 は電磁気学とは直接関係はありませんが、問題の意味を捉えることができれば正答できます。1 C の電荷を得るには何個の水素分子が必要か、その気体水素はどれくらいの体積になるか、と考えていけば容易にわかるはずです。残念ながら正答率は 10% にも達しませんでした。また、これらの問題を通じて電磁気力が重力に比べて非常に強いこと、物質には多くの電荷が内在していることを実感できたでしょうか。計算をするだけでなく、日頃から物理的な考察をする姿勢を身につけてください。

(2) は無限に広い平面的な電荷分布について電場や電位などの基本的な事項を問いました。電場の向き (問 5) はほとんどの受験者が正答を選んでいましたが、なかには面に平行な向きを答える受験者もいました。平面の対称性から電場の向きは面に垂直な方向になることを直感的に理解してください。問 6 はガウスの法則を用いて解きます。ガウスの法則は電磁気学の基本法則で非常に重要です。高校の学びでは対称性の良い簡単な場合しか扱わず、平面の場合も教科書の例題に出ているレベルなので、しっかりと正答してもらいたかったです。残念ながら正答率は 1 桁でした。問 7 は電位の問題です。平行板コンデンサーの場合でもわかるように、等電位面は面と平行になります。ただし下側にも同じように等電位面ができることに注意しましょう。

(3) はガウスの法則の物理的意味を理解しているかを問う問題です。昔は (実は現在でも) 地球が平板である、と考える受験者がいました。その場合に地球の「厚さ」がどれくらいであるかは、ガウスの法則を用いると求めることができます。いきなり問われると難しいかもしれませんが、問題文にしたがって考察を進めれば解き方がわかるはずです。問 9 は数値の問題なので計

算間違いに注意しましょう。ただ、その前段階の式の導出まで到達しない受験者がほとんどでした。また、正確に計算するとこの厚さは球状の地球の半径の2/3になります。確かめてみてください。

いずれも、問題を注意深く読めば正答にたどり着くことができます。公式をそのまま当てはめるのではなく、基本的なことを理解して自分で考える学習を心がけてください。

III

■出題のねらい

チャドウィックによる中性子の発見にいたる経緯を題材とし、衝突に関わる力学的知識を問うと共に、数式に基づく論理的思考力を確かめました。

■採点講評

(1) 運動量はベクトルです。光子の運動量は、衝突により向きが逆転しますので、式①の空所 では逆向きを示すマイナスをつけなければなりません。実は、次に出てくる式③を見ればこのことに気づいて訂正してくれるだろうと予想していたのですが、ヒントにはならなかったようです。与えられた式の意味を考える習慣をつけておくと、スムーズに問題を解くことができるでしょう。

問1はよくできていました。単純な計算問題と思ったかもしれませんが、陽子の速さが光の速さの0.1倍ということは、物理的には重要な結果です。1905年に発表されたアインシュタインの特殊相対性理論によれば、物質が光の速さに近づくとニュートン力学では説明できない振る舞いを示すようになります。この結果は、その効果が $0.1^2=0.01$ 、つまり1%で、チャドウィックの実験の精度の範囲内では無視してよいことを示しています。

問2も比較的良くできていましたが、47.25Mev等、有効数字を無視した解答が少なからずありました。938Mevを900Mevにして計算していることを意識しましょう。

(2) 問3は $\frac{E_x}{E_p} = \frac{M}{m_p} \left(\frac{V}{v_p} \right)^2 = \frac{(m_p + M)^2}{4m_p M}$ を示せという問題ですが、問4で $E_x \geq E_p$ を示すときに相加・相乗平均の関係が使える形に変形しました。 $\frac{E_x}{E_p} - 1 = \frac{(m_p - M)^2}{4m_p M} \geq 0$ または、 $E_x - E_p = \frac{(m_p - M)^2}{4m_p M} E_p \geq 0$ から直接示すこともできます。あまりできていませんでした。

問5では、単に小さいからという理由では説明になりません。小さくとも陽子や電子は霧箱の中に飛跡を残し、磁場をかけたときの曲がり方から運動量を求めることができます。このように、電荷をもつ粒子は電離作用をもつので、直接見ることができなくとも、間接的に観測することが可能です。中性子は電荷をもたないので霧箱中を通過しても、飛跡を残しません。見えない粒子の性質をいかにして調べるか、そこにチャドウィックの卓越したアイデアがあったのです。

問6で、そのアイデアに基づく中性子の質量測定方法を示しました。考える道筋をすぐに読み解くことは難しいでしょうが、必要な式に複雑なものはありませんから、解答すること自体はそ

れほど難しいものではないはずですが。問題文を丁寧に読み、与えられた式の意味を考え、指示に従って正確に計算する練習を積み重ねてください。また、日頃から、何を計算しているのかを考えながら問題を解くという意識をもって学習することが大切です。