解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

2021年度　東京医科大学

【 講 評 】

例年と同様、基本的な問題が多いが、数値計算が多い。処理に時間がかかる問題とそうでない問題の差が大きいため、時間のかからないものから解いて点数を稼ぐ選球眼も必要になってくるだろう。合格点は 7.5 割程度か。

第 1 問は円錐振り子の問題。基本的であり、素早く処理したい。

第 2 問は水圧の問題。これも基本的。問 3 は密度の比を用いると即座に解答できる。

第 3 問は斜面の衝突の問題。処理自体は典型的なものだが、三角関数表を参照する必要がある。

第 4 問はダイオード回路の問題。これも典型的だが、計算が面倒である。

第 5 問は点電荷の作る電場および電位の問題。基本的である。

第 6 問は電流同士の相互作用の問題。解説のように、電流同士の及ぼす力の性質を利用すると即座に解答が可能。

第 7 問はドップラー効果の問題。やや計算が面倒だが、内容は基本的である。

第 8 問は気体混合の問題。典型的なので、回り道せずに手早く処理したい。

第 9 問は原子核の崩壊の問題。安定同位体を覚えていない受験生は、鉛の質量数を選択肢から推定する必要がある。

【 解 答 ・ 解 説 】

第 1 問

解答

問 1　②　　問 2　⑧　　問 3　⑤

解説

問 1　糸の張力を T N、物体の質量 m kg とすると、鉛直方向の力のつり合いは、$T\cos\theta = mg$ となる。向心加速度は、

$$\frac{T\sin\theta}{m} = g\tan\theta = \frac{9.8}{\sqrt{3}} \fallingdotseq 5.7\ \mathrm{m/s^2}$$

となる。ただし、$\theta = 30^\circ$ を用いた。

問 2　向心加速度が $g\tan\theta$ であること、および円運動の半径が $2.0\sin\theta$ であることから、円運動の運動方程式より、角速度 ω /s として、

$$2.0\sin\theta \times \omega^2 = g\tan\theta$$

となる。角速度は、周期が 2.0 s であることから $\omega = \dfrac{2\pi}{2.0} = \pi$ /s となるので、

$$\cos\theta = \frac{g}{2.0\ \omega^2} \fallingdotseq 0.50$$

より、$\theta = 60^\circ$ となる。

問 3　問 1 の方程式より、$T = \dfrac{mg}{\cos\theta}$ だから、$m = 1.0$ kg および $\theta = 60^\circ$ より、$T \fallingdotseq 20$ N である。

第２問

解答

問１　⑤　　問２　⑥　　問３　⑥

解説

問１　水圧は、水の密度と深さと重力加速度の積となるので、
$(1.0\times10^3)\times3.0\times9.8 \fallingdotseq 2.9\times10^4$ Pa となる。これと大気圧 1.0×10^5 Pa の和を計算すれば、求める圧力は、およそ 1.3×10^5 Pa となる。

問２　物体の体積は 0.50^3 m^3 である。物体に働く浮力は、水の密度と物体の体積と重力加速度の積で表せ、これと重力及び糸の張力がつり合うため、糸の張力を T N とすれば、鉛直方向の力のつり合いは、

$$\left(6.0\times10^2\times0.50^3\times9.8\right)+T=1.0\times10^3\times0.50^3\times9.8$$

となる。これより、$T=490$ N である。

問３　水の密度と物体の密度の比が $5:3$ であるから、物体は水面から $2/5$ の割合だけ出る。よって、$0.5\times\dfrac{2}{5}=0.20$ m だけ出ている。

第３問

解答

問１　⑦　　問２　③　　問３　④　　問４　⑦

解説

問１　斜面上方向を x 軸、斜面に垂直に上方向を y 軸に取る。すると、x 方向の加速度は $-g\sin20^\circ$ $\mathrm{m/s^2}$ であり、y 方向の加速度は $-g\cos20^\circ$ $\mathrm{m/s^2}$ である。また、x 方向の初速は $8.0\cos\theta$ m/s であり、y 方向の初速は $8.0\sin\theta$ m/s である。
P 点に達するまでの時間を t s とすると、P 点で斜面に垂直に衝突することから、P 点での x 方向の速度成分は 0。よって、

$$8.0\cos\theta-g\sin20^\circ\times t=0$$

である。また、P 点で斜面に衝突することから、

$$8.0\sin\theta\times t-\frac{1}{2}g\cos20^\circ\times t^2=0$$

である。これらより、

$$\tan\theta=\frac{1}{2\tan20^\circ}\fallingdotseq1.37$$

であり、これと三角関数表より、$\theta\fallingdotseq54^\circ$ がわかる。

問２　前問の式より、

$$t=\frac{8.0\cos\theta}{g\sin20^\circ}\fallingdotseq\frac{8.0\times0.5878}{9.8\times0.3420}\fallingdotseq1.4\ \mathrm{s}$$

を得る。

問３　OP 間の距離は、x 方向に着目して、

$$8.0\cos\theta\times t-\frac{1}{2}g\sin20^\circ\times t^2\fallingdotseq8.0\times0.5878\times1.4-\frac{1}{2}\times9.8\times0.3420\times1.4^2\fallingdotseq3.3\ \mathrm{m}$$

となる。

問４　x 方向の速度は変わらず、y 方向の速度の大きさが 0.78 倍となることから、再衝突にかかる時間が O→P の 0.78 倍となる。x 方向の変位は、初速 0 のとき時間の 2 乗に比例するため、求める距離は前問の 0.78^2 倍であり、$3.3\times0.78^2\fallingdotseq2.0$ m である。

$\boxed{\text{第 4 問}}$

解答

問 1　⑨　　問 2　③　　問 3　⑧　　問 4　④　　問 5　③

解説

問 1　ダイオードにかかる電圧を V V、ダイオードを流れる電流を I A とすれば、回路方程式は、$3.0 = 107I + V$ となる。これとダイオードの電流電圧特性のグラフを連立すると、交点は 1.5 V, 14 mA にあることがわかる。

問 2　消費電力は、$VI = 1.5 \times 14 = 21$mW である。

問 3　回路全体の消費電力は今回の回路では電源での仕事率に等しく、電源電圧と電源を通る電流の積であり、$3.0 \times 14 = 42$ mW である。

問 4　94 Ω の抵抗を上から下の方向に流れる電流は $\dfrac{V}{94}$ A であるから、回路方程式は、$3.0 = 107\left(I + \dfrac{V}{94}\right) + V$ であり、整理すると、$I \fallingdotseq -0.020V + 0.028$ A $= -20V + 28$ mA となる。これとダイオードの電流電圧特性のグラフを連立すると、交点は 1.1 V, 6.0 mA にあることがわかる。

問 5　電源を流れる電流は $\dfrac{1.1}{94} \times 10^3 + 6.0 \fallingdotseq 17.7$mA である。これと電源電圧の積が回路全体の消費電力なので、$3.0 \times 17.7 \fallingdotseq 53$ mW である。

$\boxed{\text{第 5 問}}$

解答

問 1　⑧　　問 2　⑥　　問 3　⑧

解説

問 1　点電荷の電気量の大きさ q C とすると、静電気力の大きさ F は $\dfrac{k_0 q^2}{1.0^2}$ となり、これが 1.0×10^{-13} N となることから、$q = \sqrt{\dfrac{1.0 \times 10^{-13}}{k_0}} = \sqrt{\dfrac{1.0 \times 10^{-13}}{8.988 \times 10^9}} \fallingdotseq 3.3 \times 10^{-12}$ C となる。

問 2　A の電荷が C に作る電場と B の電荷が C に作る電場の大きさはともに $\dfrac{k_0 \times 4.0 \times 10^{-15}}{(0.50 \times \sqrt{2})^2}$ であり、2 つの電場のなす角は $90°$ であるから、E はこの $2\cos 45°$ 倍である。よって、

$$E = \frac{k_0 \times 4.0 \times 10^{-15}}{(0.50 \times \sqrt{2})^2} \times 2\cos 45° \fallingdotseq \frac{8.988 \times 10^9 \times 4.0 \times 10^{-15}}{0.50} \times 1.4 \fallingdotseq 1.0 \times 10^{-4}\ \mathrm{N/C}$$

である。

問 3　求める電位は、それぞれの電荷の作る電位を足し合わせればよく、

$$\frac{k_0 \times 4.0 \times 10^{-15}}{0.50 \times \sqrt{2}} \times 2 \fallingdotseq 1.0 \times 10^{-4}\ \mathrm{V}$$

である。

第6問

解答

問1　⑦　　問2　⑥　　問3　⑤

解説

問1　1 m はなれた 1 A の電流を流す無限の長さの直線導線同士は、導線の長さ 1 m あたり 2×10^{-7} N の力を及ぼし合う。これより、求める力は、

$$2\times10^{-7}\times\frac{aI_1I_2}{d}=2\times10^{-7}\times\frac{0.4\times1.5\times2.0}{0.5}=4.8\times10^{-7}\ \mathrm{N}$$

である。

問2　前問の $\dfrac{d}{d+b}=\dfrac{5}{7}$ 倍で、およそ 3.4×10^{-7} N である。

問3　問1の力と問2の力は逆向きであるから、求める力の大きさの合計は $4.8\times10^{-7}-3.4\times10^{-7}=1.4\times10^{-7}$ N である。

第7問

解答

問1　②　　問2　①　　問3　④

解説

問1　飛行機の速さは、350 km/h ≒ 97.2 m/s である。十分遠方では、飛行機は観測点の方向に向かっていると近似してよい。よって、飛行機が発した音の周波数 f kHz とすると、$\dfrac{350}{350-97.2}f=2.5$ kHz である。よって、$f\fallingdotseq1.8$ kHz である。

問2　$\dfrac{350}{350+97.2}f\fallingdotseq1.4$ kHz である。

問3　観測点から飛行機を見上げる仰角を θ とすると、$L=80$ m のとき $\tan\theta=0.50$ となる。このとき、観測される周波数は、

$$\frac{350}{350-97.2\cos\theta}f=\frac{350}{350-97.2\times2/\sqrt{5}}\fallingdotseq2.4\ \mathrm{kHz}$$

である。

第 8 問

解答

問 1　③　　問 2　⑨　　問 3　④　　問 4　⑦　　問 5　④　　問 6　⑦

解説

問 1　状態方程式より、$n_{\mathrm{A}} = \dfrac{P_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}}{RT_{\mathrm{A}}} = \dfrac{(2.5\times10^5)\times(2.0\times10^{-3})}{8.314\times350} \fallingdotseq 0.17$ mol である。

問 2　$n_{\mathrm{B}} = \dfrac{P_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{B}}}{RT_{\mathrm{B}}} = \dfrac{(3.5\times10^5)\times(3.0\times10^{-3})}{8.314\times280} \fallingdotseq 0.45$ mol である。

問 3　単原子分子理想気体の定積モル比熱は $\dfrac{3}{2}R$ であるから、$U_{\mathrm{A}} = \dfrac{3}{2}n_{\mathrm{A}}RT_{\mathrm{A}} = \dfrac{3}{2}P_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}} = 7.5\times10^2$ J である。

問 4　前問と同様、$U_{\mathrm{B}} = \dfrac{3}{2}P_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{B}} \fallingdotseq 1.6\times10^3$ J である。

問 5　断熱変化であるため、容器内の気体の合計エネルギーは保存する。よって、求める温度 T K とすれば、

$$\frac{3}{2}(n_{\mathrm{A}}+n_{\mathrm{B}})RT = U_{\mathrm{A}}+U_{\mathrm{B}}$$

これに前問までの値を代入すれば、$T \fallingdotseq 300$ K を得る。

問 6　状態方程式より、求める圧力 P Pa とすれば、$(n_{\mathrm{A}}+n_{\mathrm{B}})RT = P(V_{\mathrm{A}}+V_{\mathrm{B}})$ である。これに前問までの値を代入すれば、$P \fallingdotseq 3.1\times10^5$ Pa を得る。

第 9 問

解答

問 1　③，②　　問 2　③　　問 3　⑤，④

解説

問 1　α 崩壊 1 回につき、原子番号は 2、質量数は 4 減少する。また、β 崩壊 1 回につき、質量数は変化せず、原子番号が 1 増加する。${}^{238}_{92}\mathrm{U} \to {}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ では、質量数が 12、原子番号が 4 減少しているので、α 崩壊は 3 回、β 崩壊は 2 回起こっている。

問 2　質量数は α 崩壊によってしか変化しないため、ラジウムと鉛の質量数の差は 4 の倍数でなくてはならない。そのような質量数は、選択肢のうち 206 のみである。なお、鉛の同位体のうち安定同位体とされているのは、${}^{204}_{82}\mathrm{Pb}, {}^{206}_{82}\mathrm{Pb}, {}^{207}_{82}\mathrm{Pb}, {}^{208}_{82}\mathrm{Pb}$ である。

問 3　質量数が 20 減っているので α 崩壊は 5 回起きており、これと原子番号が 6 減っていることを考えると β 崩壊は 4 回起きている。