2024年度大学入学共通テスト 解説〈物理〉

第１問　小問集合

問１　点Ａまわりの板に働く力のモーメントのつり合いより，

$$L\times F=\frac{2}{3}L\times Mg \qquad \therefore\quad F=\frac{2Mg}{3}$$

（答）$\boxed{\quad 1 \quad}$…⑤

問２　ボルツマン定数を k とすれば，温度 T の原子核の運動エネルギーの平均 K は，

$$K=\frac{3}{2}kT$$

である。これは原子でも変わらない。ゆえに1500万Kのヘリウム原子核の運動エネルギーの平均は，300Kのヘリウム原子の運動エネルギーの平均の

$$\frac{1500\times 10000\ \mathrm{K}}{300\ \mathrm{K}}=50000\ (倍)$$

である。

（答）$\boxed{\quad 2 \quad}$…⑤

熱平衡が起きており，温度が等しければ水素原子核でもヘリウム原子核でも運動エネルギーの平均は等しい。ゆえに，

（答）$\boxed{\quad 3 \quad}$…③

原子核ならば，質点とみなし並進運動のみを考えればよい。仮に水素とヘリウムが分子であったとしても「並進運動のエネルギーの平均」は同じ温度 T ならどちらも $\frac{3}{2}kT$ である。

問３　屈折の法則より，

$$n\sin\theta=n'\sin\theta'=\sin\theta''$$

$n'>n$ であるため，水とガラスの境界において全反射は起きない。全反射が起きるならばガラスと空気$\boxed{ア}$の境界面である。このとき，$\theta=\theta_{\mathrm{C}}$ で $\theta''=\frac{\pi}{2}$ となるため，

$$n\sin\theta_{\mathrm{C}}=1 \qquad \therefore\quad \sin\theta_{\mathrm{C}}=\frac{1}{n}\ \boxed{イ}$$

（答）$\boxed{\quad 4 \quad}$…④

問４　一様磁場中で荷電粒子が円運動する場合，磁場の向きは円軌道平面に垂直である。ゆえに xy 平面で円運動するならば磁場の方向は z 軸$\boxed{ウ}$に平行である。

一様磁場中で荷電粒子が直線運動する場合，磁場の向きは直線軌道に平行である。ゆえに x 軸に平行に直線運動するならば磁場の方向は x 軸$\boxed{エ}$に平行である。

（答）$\boxed{\quad 5 \quad}$…⑦

問５　反応前の陽子と炭素12の質量の合計は，

$$1.0073\ \mathrm{u}+11.9967\ \mathrm{u}=13.0040\ \mathrm{u}$$

であり，反応後の窒素 13 の質量 13.0019 u より大きい。核反応では質量減少に対応する反応熱が生じるため，この反応では核エネルギーが<u>放出された</u>$\boxed{オ}$ことになる。

$\dfrac{1}{16}=\left(\dfrac{1}{2}\right)^4$ であるため, 40 分は半減期の 4 倍である。すなわち, 窒素 13 の半減期は <u>10 分</u>$\boxed{カ}$ である。

(答) $\boxed{6}$ …⑦

第２問　力学

ペットボトルロケットの推進

問１　非圧縮性流体に関する流量保存則を説明する設問である。

Δt は短い時間であるため，この間の水の速さは一定とみなせる。ノズルから噴出する水の速さが u であるため，ノズル開口部を時間 Δt の間に通過する水の長さは $u\Delta t$ であり，ノズルの断面積は s であるから，噴出する体積 ΔV は,

$$\Delta V=u\Delta t\cdot s=\underline{su\Delta t}\ \boxed{ア}$$

と表せる。

ペットボトル内で下降する水面の速さは u_0 であるから，ペットボトル内の水の入った部分にある水平な断面を時間 Δt の間に通過する水の長さは $u_0\Delta t$ であり，ペットボトルの断面積は S_0 であるから，噴出する体積 ΔV は,

$$\Delta V=u_0\Delta t\cdot S_0=S_0u_0\Delta t$$

とも表せる。これらが等しいことから水面の下降の速さ u_0 は,

$$su\Delta t=S_0u_0\Delta t \qquad \therefore\ \ u_0=\underline{\frac{s}{S_0}u}\ \boxed{イ}$$

となる。

(答) $\boxed{7}$ …⑥

問２　噴出した水の体積が ΔV で密度が ρ_0 であるから噴出した水の質量 Δm は,

$$\Delta m=\rho_0\Delta V$$

(答) $\boxed{8}$ …②

Δt は微小時間であるから，この間の圧縮空気の圧力変化は無視することができるため，圧縮空気がした仕事 W' は,

$$W'=p\Delta V$$

(答) $\boxed{9}$ …①

問３　圧縮空気がした仕事 W' はペットボトル内の水の運動エネルギーや，ノズルから噴出する水の運動エネルギー，あるいは噴出する水が大気を下方に動かすために用いられる。ノズルの断面積がペットボトルの断面積より十分に小さければ，ペットボトル内の水の運動エネルギーは無視できる。また，大気圧の影響は無視しているため，大気にする仕事は考えない。ゆえに解

答選択肢の中では噴出した水の(c)運動エネルギー $\boxed{ウ}$ が適切である。

仕事 W' が質量 Δm の噴出した水の運動エネルギーに等しいとすれば，

$$\frac{1}{2}\Delta m u^2 = W' \qquad \therefore \quad u = \sqrt{\frac{2W'}{\Delta m}} \;\boxed{エ}$$

（答）$\boxed{10}$ …⑨

問４　噴出前，ロケットと水は静止しているため運動量の和は 0 である。噴出後のロケットの質量は M，速さは Δv，噴出した水の質量は Δm，速さは u である。運動量保存則は鉛直上向きを正として，

$$M\Delta v - \Delta m u = 0$$

（答）$\boxed{11}$ …④

問５　推進力の大きさを F とすれば，時間 Δt における運動量と力積の関係より，

$$M\Delta v = F\Delta t \qquad \therefore \quad F = \frac{M\Delta v}{\Delta t}$$

題意は無重力下で計算されたこの推進力が，重力下でも同じように働くとせよ，ということだろう。ロケットに働く推進力の大きさが重力の大きさよりも大きくなるための条件は，

$$\frac{M\Delta v}{\Delta t} > Mg \qquad \therefore \quad \Delta v > g\Delta t$$

（答）$\boxed{12}$ …④

第３問　波動

金属弦の固有振動

問１　電流は磁場から，磁場および電流に直交する向き，すなわち z 軸 $\boxed{ア}$ に平行な向きに力を受ける。

弦が振動して定在波ができたとき，弦の中央部分は腹 $\boxed{イ}$ となると考えられる。このことは明らかとは言い難いが，図２に示されている通り，腹の数が奇数個の定在波しか発生していないため，弦の中央部分は腹になると考えればよいことがわかる。

（答）$\boxed{13}$ …⑤

問２　両端が固定された長さ L の弦に生じる n 個の腹を持つ定在波の波長 λ_n は，一般に

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

と表される。$n=3$ のとき，

$$\lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

である。

（答）$\boxed{14}$ …③

問3　弦を伝わる波の速さを V とすれば，波の基本式より，

$$V = f_n \lambda_n$$

が成り立つ。問2の λ_n の式を代入すれば，

$$V = f_n \frac{2L}{n} \qquad \therefore \quad f_n = \frac{V}{2L} n$$

となり，横軸を n，縦軸を f_n として描いたグラフの傾きは弦を伝わる波の速さ V に比例することがわかる。

（答）$\boxed{\ 15\ }$…②

問4　図3のグラフのうち，横軸を $\sqrt{S}$ として描いたグラフの点を結べば原点を通る直線となる。よって，f_3 と $\sqrt{S}$ の間には

$$f_3 = k\sqrt{S} \quad (k \text{ は比例定数})$$

という関係があることが推定される。

なお，弦を伝わる波の速さ V が，弦の張力 S と線密度 ρ を用いて

$$V = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

と表されることを知っていれば，$V = f_n \lambda_n$ の関係式から

$$f_n = \frac{1}{\lambda_n}\sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

となり，固有振動数 f_3 が $\sqrt{S}$ に比例することがわかる。

（答）$\boxed{\ 16\ }$…②

問5　表1の数値を読み取ると，

$$f_1 d = \text{一定},\ f_3 d = \text{一定},\ f_5 d = \text{一定}$$

の関係があることがわかる。よって，f_n と d の間には

$$f_n = \frac{k'_n}{d} \quad (k'_n \text{ は } n \text{ に応じて定まる比例定数})$$

という関係があることが推定される。

なお，弦を伝わる波の速さ V が，弦の張力 S と線密度 ρ を用いて

$$V = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

と表されることを知っていれば，$V = f_n \lambda_n$ の関係式から

$$f_n = \frac{1}{\lambda_n}\sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

となる。さらに，材質が同じであれば線密度 ρ は弦の断面積に比例する（$\rho = k'' d^2$）ことから，

$$f_n = \frac{1}{\lambda_n d}\sqrt{\frac{S}{k''}}$$

となり，固有振動数 f_n が $\dfrac{1}{d}$ に比例することがわかる。

（答）$\boxed{\ 17\ }$…④

第４問　電磁気学

導体紙内部の電場と電位

問１　正電荷と負電荷の間を電位 0 の等電位線が横切ることと，点電荷の付近で電場が急激に強くなることから，正しい図は②であることがわかる。

解答選択肢③も正解の選択肢に似ているが，図の中央付近に電場が強い箇所が生じており，不適切である。

（答）$\boxed{18}$…②

問２　一般に，電気力線は電場の向きに沿ってつないだ曲線であり，電場は等電位線に直交する向きに生じている。電気力線が密な場所では，電気力線に沿った向きに強い電場が生じている。等電位線が密な場所では，等電位線に直交する向きに強い電場が生じている。これらより，(a)，(c) は正しく，(b) は誤り。

（答）$\boxed{19}$…⑤

問３　電場の向きは等電位線に対して垂直であるから，辺の近くの電場はその辺に対して平行 $\boxed{ア}$ である。導体内部での定常状態においては，電流を構成する電子は概ね電場に沿って電場と逆向きに運動している。電流の向きとしては，電場に沿って電場と同じ $\boxed{イ}$ 向きである。したがって，辺の近くの電流はその辺に対して平行 $\boxed{ウ}$ に流れていることがわかる。

（答）$\boxed{20}$…①

問４　電場の強さは単位長さあたりの電位差で表されるため，横軸を位置 x，縦軸を電位 V にとったグラフの傾きとして表される。図 3 のグラフから，$x=0$ 付近で電位は概ね 30 mm ごとに 0.20 mV 上昇しているため，$x=0$ 付近の傾きは

$$\frac{0.20\ \mathrm{mV}}{30\ \mathrm{mm}} \fallingdotseq 7\times10^{-3}\ \mathrm{V/m}$$

である。

（答）$\boxed{21}$…⑥

問５　$x=0$ 付近の小さい幅 d の部分の抵抗を R，抵抗率を ρ とし，左右の端の電位差を V とすれば，

$$V=RI,\quad V=Ed,\quad R=\rho\frac{d}{S}$$

が成り立つ。これらより，V，R を消去して ρ について整理すれば，

$$\rho=\frac{SE}{I}$$

を得る。

（答）$\boxed{22}$…①