2018年度大学入試センター試験 解説〈物理〉

第1問　小問集合

問1　右向きを正として一体となった後の二つの物体の速度を V とすると，衝突前後での運動量保存則より，

$$M\cdot 0+mv=(M+m)V \qquad ゆえに,\ V=\frac{mv}{M+m}$$

よって，一体となった物体の運動エネルギーは，

$$\frac{1}{2}(M+m)V^2=\frac{1}{2}(M+m)\left(\frac{mv}{M+m}\right)^2=\frac{m^2v^2}{2(M+m)}$$

（答） $\boxed{1}$ …⑤

問2　①…誤　気温が一定であれば，振動数が変化しても音の速さは変化しない。

②…誤　音を1オクターブ高くすると，振動数が2倍になる。

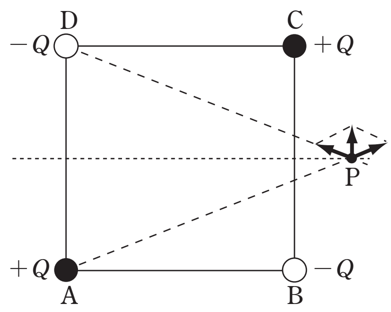
③…正　音が障害物の背後にまわりこむ現象を回折という。

④…誤　振動数がわずかに異なる二つの音波が重なると，うなりが生じる。

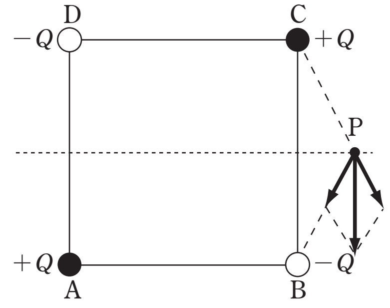
⑤…誤　ドップラー効果の式より，音源が観測者に近づく速さが大きいほど，観測者が聞く音の振動数は大きくなる。

（答） $\boxed{2}$ …③

問3　点Pにおいて，点電荷A，Dによる合成電場は図2の上向きになる。



点電荷B，Cによる合成電場は図2の下向きになる。



点電荷 B，C による合成電場のほうが大きいので，点 P での合成電場は⑦の向きになる。

（答）$\boxed{3}$…⑦

問 4　**ア，イ**　絶対温度 T の気体分子の平均運動エネルギーは，ボルツマン定数を k として $\frac{3}{2}kT$ と表され，絶対温度に比例し，分子量によらない。

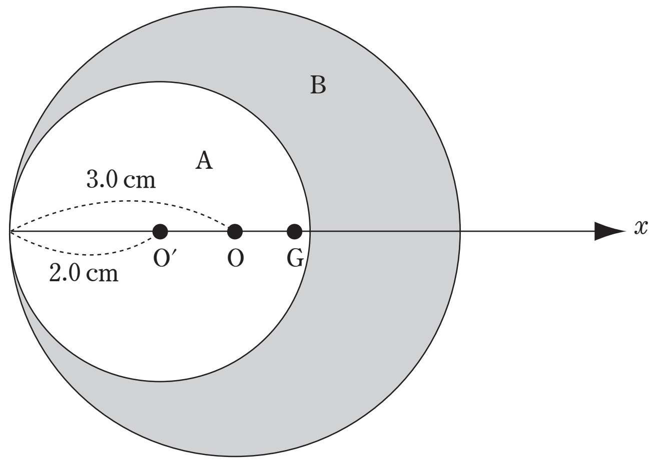
ウ　気体分子のモル質量を M，気体定数を R とすると，気体分子の 2 乗平均速度 $\sqrt{\overline{v^2}}$ は，

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

分子量が大きいほどモル質量 M が大きくなるので，2 乗平均速度はヘリウムの方が大きい。

（答）$\boxed{4}$…①

問 5　点 O を原点，図 3 の右向きを正として x 軸をとり，物体 B の重心 G の x 座標を x とする。



円板 A，物体 B の面積比が質量の比になるので，円板 A，物体 B の質量をそれぞれ m_A [kg]，m_B [kg] とすると，

$$m_A : m_B = 2.0^2 : (3.0^2 - 2.0^2) = 4 : 5 \quad \cdots\cdots (1)$$

もとの円板の重心は点 O にあるので，重心の式より，

$$0 = \frac{m_A \times (-1.0\,[\mathrm{cm}]) + m_B x}{m_A + m_B}$$

x について解いて (1) を用いると，

$$x = \frac{m_A \times 1.0\,[\mathrm{cm}]}{m_B} = 0.8\,[\mathrm{cm}]$$

（答）$\boxed{5}$…②

第２問　電磁気

A

問１　スイッチをa側に入れた直後，コンデンサーには電荷が蓄えられていないので，導線と同様に考えてよい。コンデンサーに電荷が蓄えられるにつれて電流が小さくなり，十分に時間が経過すると，コンデンサーが完全に充電されて電流が流れなくなる。したがって，①のようなグラフになる。

（答）$\boxed{1}$…①

問２　スイッチをb側に入れる直前，コンデンサーには $\dfrac{CV^2}{2}$ の静電エネルギーが蓄えられている。

スイッチをb側に入れると，すべて抵抗でのジュール熱として発生する。

（答）$\boxed{2}$…⑧

B

問３　一様な磁場中を落下するため，コイルに生じる誘導起電力はコイルを貫く磁束の面積 S の単位時間あたりの変化 $\dfrac{\Delta S}{\Delta t}$ に比例する。落下する速度が一定なので，$0 \leqq t \leqq T$ では $\dfrac{\Delta S}{\Delta t}$ は一定であり，誘導起電力は一定となる。$t > T$ では $\dfrac{\Delta S}{\Delta t} = 0$ なので，誘導起電力は生じない。

　また，レンツの法則より，$0 \leqq t \leqq T$ ではadcbaの向きに誘導電流が流れるので，グラフは④のようになる。

（答）$\boxed{3}$…④

問４　$0 \leqq t \leqq T$ でコイルに流れる誘導電流の大きさを I とすると，辺abに生じる誘導起電力の大きさが vBw なので，

$$I = \frac{vBw}{R}$$

　このとき，磁場からコイルを流れる電流にはたらく力の大きさを F とすると，辺bc，daにはたらく力は打ち消しあうので，辺abのみ考えて，

$$F = IBw = \frac{vB^2w^2}{R}$$

　フレミングの左手の法則より，力は鉛直上向きである。鉛直下向きを正として，コイルにはたらく力のつりあいより，

$$0 = mg - \frac{vB^2w^2}{R} \qquad \text{ゆえに，}\quad v = \frac{mgR}{B^2w^2}$$

（答）$\boxed{4}$…④

第３問　波動

A

問１　図1より，0.1 s間に$\dfrac{1}{4}$波長分だけ進行している。1波長分を進行する時間が周期に等しいので，

$T=0.1\,[\mathrm{s}]\times 4=0.4\,[\mathrm{s}]$

また，問題で与えられた式に$t=0\,[\mathrm{s}]$を代入すると，

$y=0.1\sin\alpha$

図1の上図より，$t=0\,[\mathrm{s}]$のとき$y=0.1\,[\mathrm{m}]$なので，

$\sin\alpha=1$　　ゆえに，$\alpha=\dfrac{\pi}{2}$

（答）$\boxed{1}$…⑥

問２　**ア**　図2の入射波と反射波を合成して定常波を考えると，$-0.2\,[\mathrm{m}]\leqq x\leqq 0.2\,[\mathrm{m}]$の範囲では，$x=-0.2\,[\mathrm{m}]$，$0\,[\mathrm{m}]$，$0.2\,[\mathrm{m}]$が腹，$x=-0.1\,[\mathrm{m}]$，$0.1\,[\mathrm{m}]$が節とわかる。

イ　定常波の隣りあう腹と腹の間隔が0.2 mである。$x=0.2\,[\mathrm{m}]$の腹から$x=1.0\,[\mathrm{m}]$までの距離は$0.2\,[\mathrm{m}]\times 4$なので，$x=1.0\,[\mathrm{m}]$も定常波の腹となる。反射する位置が定常波の腹になるとき，自由端反射である。

（答）$\boxed{2}$…②

問３　基本振動では，$t=\dfrac{4T}{8}$で変位の大きさが最大となるので，$t=\dfrac{5T}{8}$の波形は，$t=\dfrac{3T}{8}$の波形に戻って(a)となる。

2倍振動では，$t=\dfrac{4T}{8}$ですべての変位が0となるので，$t=\dfrac{5T}{8}$の波形は，$t=\dfrac{3T}{8}$の波形を上下反転させた(c)になる。

$t=\dfrac{5T}{8}$の合成波の波形は，(a)，(c)を重ね合わせて(e)となる。

（答）$\boxed{3}$…①

B

問４　**ウ**　真空の屈折率は1であるので，真空より屈折率の大きなガラスとの境界面での反射では，位相がπだけ変化（反転）する。

エ　ガラス板A，Bの間隔をdから徐々に大きくすると強めあわなくなり，間隔が$d+\dfrac{\lambda}{2}$になると光の経路差が$\dfrac{\lambda}{2}\times 2=\lambda$だけ増加して再び強めあう。この間，光の経路差が$\dfrac{\lambda}{2}$だけ増加したときに一度弱めあう。

（答）$\boxed{4}$…④

問 5　ガラス板 A，B で反射する経路の光は，2 回固定端反射するので位相は変化しない。また，光の経路差は $2d$ なので，強めあう条件式は，

$$2d = m\lambda$$

波の基本式より $\lambda = \dfrac{c}{f}$ なので，代入すると，

$$2d = m\frac{c}{f} \quad ゆえに， \quad f = m\frac{c}{2d} \quad \cdots\cdots (1)$$

（答）$\boxed{5}$…③

振動数を f から $f + \Delta f$ にしたとき再び強めあうので，(1) において m から $m+1$ になる。したがって，

$$f + \Delta f = (m+1)\frac{c}{2d} \quad \cdots\cdots (2)$$

(2)－(1) より，

$$\Delta f = \frac{c}{2d} = \frac{3.0 \times 10^8\,[\mathrm{m/s}]}{2 \times 0.10\,[\mathrm{m}]} = 1.5 \times 10^9\,[\mathrm{Hz}]$$

（答）$\boxed{6}$…⑥

第４問　力学・熱力学

A

問 1　位置 x で小物体にはたらく静止摩擦力を f とすると，小物体の水平方向での力のつりあいより，

$$0 = f - kx$$

$f \leqq \mu mg$ より，

$$kx \leqq \mu mg \qquad \text{ゆえに，} x \leqq \frac{\mu mg}{k}$$

よって，$x_{\mathrm{M}} = \dfrac{\mu mg}{k}$

（答）$\boxed{1}$…②

問 2　**ア**　小物体は左向きに動いているので，動摩擦力は右向き（x 軸の正の向き）である。したがって，小物体にはたらく力の水平成分 F は，

$$F = -kx + \mu' mg = -k\left(x - \frac{\mu' mg}{k}\right)$$

イ　小物体の加速度を a とすると，運動方程式は $ma = -k\left(x - \dfrac{\mu' mg}{k}\right)$ となるので，小物体の単振動の周期は $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ である。動き始めてから次に速度が 0 になるまでは $\dfrac{1}{2}$ 周期なので，$t_1 = \pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ である。

（答）$\boxed{2}$…⑤

B

問 3　ばねの自然の長さからの縮みを l とすると，$V_0 = Sl$ より $l = \dfrac{V_0}{S}$

右向きを正として，ピストンにはたらく水平方向の力のつりあいより，

$$0 = p_0 S - kl \qquad \text{ゆえに，}\ k = \frac{p_0 S}{l} = \frac{p_0 S^2}{V_0}$$

また，ばねに蓄えられたエネルギーを U_k とすると，状態方程式 $p_0 V_0 = nRT_0$ を用いて，

$$U_k = \frac{1}{2}kl^2 = \frac{1}{2} \times \frac{p_0 S^2}{V_0} \times \left(\frac{V_0}{S}\right)^2 = \frac{1}{2}p_0 V_0 = \frac{1}{2}nRT_0$$

（答）$\boxed{3}$…④

問 4　温度変化は $T - T_0$ なので，

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\,(T - T_0)$$

（答）$\boxed{4}$…⑨

問 5　圧力 − 体積グラフにおいて，気体がした仕事はグラフと横軸で囲まれた面積に等しいので，⑤のようになる。

（答）$\boxed{5}$…⑤

第５問　力学

問１　近日点と遠日点での面積速度一定の法則より，

$$\frac{1}{2}r_1v_1=\frac{1}{2}r_2v_2 \qquad \text{ゆえに，}\ r_1v_1=r_2v_2$$

（答）$\boxed{\ 1\ }$…⑥

問２　惑星の万有引力による位置エネルギーを U とすると，

$$U=-G\frac{Mm}{r} \quad \cdots\cdots(1)$$

となり，位置エネルギーのグラフは (d) となる。

また，力学的エネルギー保存則より運動エネルギーと位置エネルギーの和は一定なので，運動エネルギーのグラフは (a) となる。

（答）$\boxed{\ 2\ }$…③

問３　**ア**　軌道 A での惑星の円運動の運動方程式より，

$$m\frac{v^2}{r}=G\frac{Mm}{r^2} \qquad \text{ゆえに，}\ v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$$

イ　(1) より，軌道 B の遠日点での惑星の万有引力による位置エネルギーは，軌道 A よりも大きい。力学的エネルギー保存則より，軌道 B で惑星が遠日点に達するためには，近日点で軌道 A よりも大きな運動エネルギーが必要となる。したがって，軌道 A に比べて軌道 B の方が，惑星の力学的エネルギーは大きい。

（答）$\boxed{\ 3\ }$…⑦

第６問　原子

問１　①…誤　中性子は電気的に中性であり，陽子とクーロン力によって結びついているわけではなく，核力によって結びついている。

②…正　原子核の質量よりもばらばらの核子の質量の和の方が，質量欠損の分だけ大きい。

③…誤　陽子はアップクォーク２個とダウンクォーク１個が結びついている。また，電子やニュートリノなどのレプトンは，クォークとともに素粒子と呼ばれる。

④…誤　クォークは電荷をもっている。

⑤…誤　自然界に存在する基本的な力は重力，強い力，弱い力，電磁気力の４種類であると考えられている。

（答）$\boxed{1}$…②

問２　α 崩壊が x 回，β 崩壊が y 回起こったとすると，

質量数の変化：　$238-4x=206$

原子番号の変化：　$92-2x+y=82$

ゆえに，$x=8$，$y=6$

（答）$\boxed{2}$…⑨

問３　**ウ**　１回さいころをふるたびに，$\frac{1}{6}$ の確率でさいころを取り除く。したがって，t 分が経過したとき，残ったさいころの数を N とすると，

$$N=1000\left(\frac{5}{6}\right)^t$$

時間 T 後に $N=1000-500=500$ になるとするので，

$$500=1000\left(\frac{5}{6}\right)^T \qquad \text{ゆえに，}\left(\frac{5}{6}\right)^T=\frac{1}{2}$$

よって，

$$N=1000\left(\frac{5}{6}\right)^t=1000\left\{\left(\frac{5}{6}\right)^T\right\}^{\frac{t}{T}}=1000\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

したがって，半減期のグラフと同じ形の (c) になる。

エ　$t=2T$ のとき，

$$N=1000\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2T}{T}}=250$$

（答）$\boxed{3}$…⑦