２０２５年度　私大医学部入試

２０２５年２月１日　実施

日本医科大学

医学部　前期　**物理**

（制限時間　理科２科１２０分）

解答速報

医学部専門予備校　D組

解　答

第１問

(1)	ア	$\sqrt{5gr}$	イ	$2r$	ウ	6
	エ	3	オ	$\frac{2}{3}R$		
(2)	カ	8	キ	$\sqrt{\frac{GM}{R}}$		

第２問

(1)	ア	1.7	イ	2.0	ウ	4.5
(2)	エ	$k\frac{Q}{r^2}$	オ	0	カ	解なし
	キ	解なし				

第３問

(1)	ア	$\frac{633}{64}$	イ	$\frac{633}{64}$
(2)	ウ	$\frac{27}{8}$	エ	$\frac{405}{64}$
(3)	オ	$\frac{95}{16}$	カ	$\frac{253}{633}$

解　　説

第１問

(1) 小球が点Cに達したときの速さをvとすると，この瞬間の垂直抗力が0であることから，円運動の方程式より，

$$m\frac{{v_\mathrm{C}}^2}{r}=mg \qquad \therefore \quad v_\mathrm{C}=\sqrt{gr}$$

点Oから放たれた小球の速さをv_0とすれば，点Oと点Cの間での力学的エネルギー保存の法則より，

$$\frac{1}{2}m{v_\mathrm{C}}^2+mg\cdot 2r=\frac{1}{2}m{v_0}^2 \qquad \therefore \quad v_0=\underbrace{\sqrt{5gr}}_{ア}$$

点Cからの落下時間をtとすれば，鉛直方向の等加速度運動に注目して，

$$\frac{1}{2}gt^2=2r \qquad \therefore \quad t=2\sqrt{\frac{r}{g}}$$

この時間で水平方向に進んだ距離として，

$$\overline{\mathrm{OA}}=v_\mathrm{C}t=\sqrt{gr}\cdot 2\sqrt{\frac{r}{g}}=\underbrace{2r}_{イ}$$

OA間の水平等速運動において小球が床から受けていた垂直抗力の大きさNは，鉛直方向の力のつり合いより，

$$N=mg$$

点Aを通過直後の垂直抗力の大きさをN'とすれば，円運動の方程式より，

$$m\frac{{v_0}^2}{r}=N'-mg \qquad \therefore \quad N'=mg+m\frac{5gr}{r}=6mg=\underbrace{6}_{ウ}N$$

点Bを通過する瞬間の小球の速さv_Bは，点Bと点Cの間での力学的エネルギー保存の法則より，

$$\frac{1}{2}m{v_\mathrm{B}}^2=\frac{1}{2}m{v_\mathrm{C}}^2+mgr=\frac{3}{2}mgr \qquad \therefore \quad v_\mathrm{B}=\sqrt{3gr}$$

よって円筒の中心軸まわりに小球とともに回転する観測者から見た場合，小球が点Bを通過する瞬間に受ける遠心力の大きさは，

$$m\frac{{v_\mathrm{B}}^2}{r}=3mg=\underbrace{3}_{エ}N$$

続いて小球が半球上面を滑ることを考える。小球が半球から離れる位置と半球の中心を結ぶ直線が鉛直線となす角をθとすれば，離れる位置での小球の速さをvとして，

力学的エネルギー保存の法則：$\dfrac{1}{2}mv^2=mgR(1-\cos\theta)$

円運動の方程式：$m\dfrac{v^2}{R}=mg\cos\theta$

vを消去すれば$\cos\theta = \dfrac{2}{3}$である。ゆえに離れる位置の床面からの高度$h$は,

$$h = R\cos\theta = \underbrace{\frac{2}{3}R}_{\text{オ}}$$

(2) 惑星A，Bの公転周期をT_A，T_Bとし，軌道半径をr_A，$4r_A$とすると，ケプラーの第三法則より,

$$\frac{{T_A}^2}{{r_A}^3} = \frac{{T_B}^2}{(4r_A)^3} \qquad \therefore \quad \frac{T_B}{T_A} = \underbrace{8}_{\text{カ}}$$

惑星Aの質量をm，軌道半径をR，公転の速さをvとおけば，円運動の方程式より,

$$m\frac{v^2}{R} = G\frac{Mm}{R^2} \qquad \therefore \quad v = \underbrace{\sqrt{\frac{GM}{R}}}_{\text{キ}}$$

第２問

(1) 物体Pについての力学的エネルギー保存の法則より,

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2 > qV \qquad \therefore \quad v_0 > \sqrt{\frac{2qV}{m}} = \sqrt{\frac{2\cdot 1.50\,\mathrm{C}\cdot 1.00\,\mathrm{V}}{1.00\,\mathrm{kg}}} \fallingdotseq \underbrace{1.7}_{\text{ア}}\,\mathrm{m/s}$$

原点$x = 0$と位置$x = 6.00\,\mathrm{m}$は等電位であるから，位置$x = 6.00\,\mathrm{m}$での物体Pの速度は原点$x = 0$での速度$\underbrace{2.0}_{\text{イ}}\,\mathrm{m/s}$に等しい。

区間$1.50\,\mathrm{m} < x < 3.00\,\mathrm{m}$での物体Pの等速度運動の速さ$v$は，力学的エネルギー保存の法則より,

$$\frac{1}{2}mv^2 + qV = \frac{1}{2}m{v_0}^2$$

$$\therefore \quad v = \sqrt{{v_0}^2 - \frac{2qV}{m}} = \sqrt{(2.00\,\mathrm{m/s})^2 - 3.00\,\mathrm{m^2/s^2}} = 1.00\,\mathrm{m/s}$$

ゆえにこの区間の通過時間は$\dfrac{1.50\,\mathrm{m}}{v} = 1.50\,\mathrm{s}$である。

区間$0 < x < 1.50\,\mathrm{m}$における物体Pの加速度aは運動方程式より,

$$ma = q\frac{V}{d} \qquad \therefore \quad a = -\frac{qV}{md} = -\frac{1.50\,\mathrm{C}\cdot 1.00\,\mathrm{V}}{1.00\,\mathrm{kg}\cdot 1.50\,\mathrm{m}} = -1.00\,\mathrm{m/s^2}$$

ゆえにこの区間の通過時間は$\dfrac{v - v_0}{a} = 1.00\,\mathrm{s}$である。

図１より区間$3.00\,\mathrm{m} < x < 6.00\,\mathrm{m}$における電場強度は区間$0 < x < 1.50\,\mathrm{m}$での半分だから，物体Pの加速度$a$は$a = 0.5\,\mathrm{m/s^2}$である。ゆえにこの区間の通過時間は

$\dfrac{v_0 - v}{a} = 2.00\,\mathrm{s}$である。

以上の合計より，原点から位置$x = 6.00\,\mathrm{m}$までの全区間の通過時間は,

$$1.00\,\mathrm{s}+1.50\,\mathrm{s}+2.00\,\mathrm{s}=\underbrace{4.5}_{ウ}\ \mathrm{s}$$

(2) 導体球殻内の正電荷は合計でQであるから，導体球殻の外である$r>R$の範囲の電場強度Eは，球の対称性とガウスの法則より，

$$E=\underbrace{k\frac{Q}{r^2}}_{エ}$$

静的な状態で導体内には電場は生じないので$r_1<r<R$の範囲では，

$$E=\underbrace{0}_{オ}$$

以下，負電荷$-q$を導体球殻の外側から打ち出すことを考える。

> 負電荷の電気量の大きさがいかに小さくても，負電荷の影響で導体球殻上の電荷分布には偏りが生じる。例えば初期位置では負電荷$-q$のある導体球殻上の位置に$+q$が誘導される。$-q$と$+q$の距離は0であるため，これらの間の静電気力による位置エネルギーは発散し，負電荷$-q$が導体球殻上を飛び出すことはないことになる。初期位置が導体球殻の表面から少しでも離れていれば大学で学習する鏡像法を用いた解法が考えられる。
>
> 好意的に解釈し，高校生に解けるようにモデル化するならば，導体球殻上の電荷分布に変化が起きないように，導体であることをやめなければいけない。以下，導体ではないとして，球殻の内側と外側の電荷分布が一様で変化しないものとして計算することにする。

高さhまで達する場合は，力学的エネルギー保存の法則より，

$$-k\frac{qQ}{R+h}=\frac{1}{2}m{v_0}^2-k\frac{qQ}{R}$$

与えられた近似式を適用して，

$$-k\frac{qQ}{R}\left(1-\frac{h}{R}\right)=\frac{1}{2}m{v_0}^2-k\frac{qQ}{R}\qquad\therefore\quad h=\frac{m{v_0}^2R^2}{2kqQ}=\underbrace{\frac{{v_0}^2}{2A}}_{カ}$$

無限遠まで達する場合は，力学的エネルギー保存の法則より，

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2-k\frac{qQ}{R}>0\qquad\therefore\quad v_0>\sqrt{\frac{2kqQ}{mR}}=\underbrace{\sqrt{2AR}}_{キ}$$

第３問

(1) 等積過程 $\mathrm{A} \to \mathrm{B}$ では気体は外部に仕事をしないため，気体が外部から吸収する熱量 Q_{in} と内部エネルギーの変化 ΔU_{AB} は等しく，ともに

$$Q_{\mathrm{in}} = \Delta U_{\mathrm{AB}} = \frac{3}{2}(P_2 - P_1)V_1 = \frac{3}{2}\left(\frac{243}{32} - 1\right)P_1V_1 = \underbrace{\frac{633}{64}}_{\text{ア，イ}} \times P_1V_1$$

(2) 過程 $\mathrm{B} \to \mathrm{C}$ は断熱過程であるから，与えられたポアソンの式より，

$$P_2{V_1}^{\frac{5}{3}} = P_1{V_2}^{\frac{5}{3}} \qquad \therefore \quad V_2 = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{3}{5}} V_1 = \left(\frac{243}{32}\right)^{\frac{3}{5}} V_1 = \underbrace{\frac{27}{8}}_{\text{ウ}} \times V_1$$

である。過程 $\mathrm{B} \to \mathrm{C}$ で気体が外部にする仕事 W_{BC} は内部エネルギーの減少量に等しく，

$$W_{\mathrm{BC}} = \frac{3}{2}(P_2V_1 - P_1V_2) = \frac{3}{2}\left(\frac{243}{32} - \frac{27}{8}\right)P_1V_1 = \underbrace{\frac{405}{64}}_{\text{エ}} \times P_1V_1$$

(3) 過程 $\mathrm{C} \to \mathrm{A}$ は等圧過程であり，この過程で気体は放熱している。放熱量 Q_{out} は，

$$Q_{\mathrm{out}} = \frac{5}{2}P_1(V_2 - V_1) = \frac{5}{2}\left(\frac{27}{8} - 1\right)P_1V_1 = \underbrace{\frac{95}{16}}_{\text{オ}} \times P_1V_1$$

である。この熱機関の熱効率 e は，

$$e = 1 - \frac{Q_{\mathrm{out}}}{Q_{\mathrm{in}}} = 1 - \frac{\frac{95}{16}P_1V_1}{\frac{633}{64}P_1V_1} = \underbrace{\frac{253}{633}}_{\text{カ}}$$