令和８年度入学者選抜試験問題
物理基礎・物理（後期日程）〔解答例〕

問題１

（1）反発係数の式 $e=-\frac{v_1{}'-v_2{}'}{v_1-0}$ より，$v_1{}'=v_2{}'-ev_1$ …①

運動量保存則より，$m_1v_1=m_1v_1{}'+m_2v_2{}'$ …②

②に①を代入して整理すると，$v_2{}'=\frac{m_1(1+e)}{m_1+m_2}v_1$

これを①に代入して整理すると，$v_1{}'=\frac{m_1-em_2}{m_1+m_2}v_1$ …③

（2）（1）で求めた③の右辺より，$m_1-em_2<0$

これを整理して，$e>\frac{m_1}{m_2}$

（3）運動量保存則より，$m_2v_2{}'=(m_2+m_3)v_3$

これを整理して，$v_3=\frac{m_2}{m_2+m_3}v_2{}'$

（4）小物体と傾斜台斜面の間の垂直抗力の大きさを N とする。
傾斜台Ａの水平右向きの運動方程式より，$m_3a_3=N\sin\theta$…④
小物体の斜面下向きの運動方程式より，$m_2a_2=m_2a_3\cos\theta+m_2g\sin\theta$…⑤
小物体の斜面垂直方向の力のつりあいより，$N+m_2a_3\sin\theta=m_2g\cos\theta$…⑥
④より，$N=\frac{m_3a_3}{\sin\theta}$

これを⑥に代入して整理すると，$a_3=\frac{m_2g\cos\theta\sin\theta}{m_3+m_2\sin^2\theta}$

これを⑤に代入して整理すると，$a_2=\frac{(m_3+m_2)g\sin\theta}{m_3+m_2\sin^2\theta}$…⑦

傾斜台の左端から小物体が最高点に達したときまでの斜面の長さを L とする。

$L=\frac{h}{\sin\theta}$であるから，等加速度直線運動の公式より，$\frac{h}{\sin\theta}=0\cdot t+\frac{1}{2}a_2t^2$

これを整理して，$t=\sqrt{\frac{2h}{a_2\sin\theta}}$

これに⑦を代入して整理すると，$t=\sqrt{\frac{2h(m_3+m_2\sin^2\theta)}{(m_3+m_2)g\sin^2\theta}}$

（5）小物体についての力学的エネルギーの変化と仕事より，

$$\frac{1}{2}m_2v_2{}'^2=m_2gl\sin\theta+\mu' m_2g\cos\theta\cdot l+\frac{1}{2}m_2V^2$$

これを整理して，$V=\sqrt{{v_2}'^2-2gl(\sin\theta+\mu'\cos\theta)}$
ただし，${v_2}'^2-2gl(\sin\theta+\mu'\cos\theta)>0$である必要があるから，${v_2}'>\sqrt{2gl\,(\sin\theta+\mu'\cos\theta)}$

[別解]　動摩擦力は斜面方向下向きに$\mu' m_2 g\cos\theta$
小物体の加速度 a を斜面方向上向きに正とすると，
斜面方向の小物体の運動方程式より，$m_2 a=-m_2 g\sin\theta-\mu' m_2 g\cos\theta$
これを整理して，$a=-g(\sin\theta+\mu'\cos\theta)$ …⑧
また，等加速度直線運動の公式より，$V^2-{v_2}'^2=2al$
これに⑧を代入して整理すると，$V=\sqrt{{v_2}'^2-2gl(\sin\theta+\mu'\cos\theta)}$

傾斜台右側面の最下部を鉛直方向 y=0（上向きに正），傾斜台から小物体の飛び出した時刻を t=0 とすると，鉛直投げ上げ運動の公式から，$y-l\sin\theta=V\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$

この式の y=0 となる t を求めると，$t=\frac{V\sin\theta\pm\sqrt{V^2\sin^2\theta+2gl\sin\theta}}{g}$

$g>0$，$l\sin\theta>0$より，$V\sin\theta<\sqrt{V^2\sin^2\theta+2gl\sin\theta}$

求める t の解は$t>0$より，$t=\frac{V\sin\theta+\sqrt{V^2\sin^2\theta+2gl\sin\theta}}{g}$ …⑨

水平方向の成分は等速直線運動より，$d=V\cos\theta\cdot t$

これに⑨を代入して，$d=\frac{V\cos\theta}{g}\left(V\sin\theta+\sqrt{V^2\sin^2\theta+2gl\sin\theta}\right)$

問題２

（1）向き： 端面 2 から端面 1 へ向かう方向，　大きさ： ev_0B

（2）v_0B　　　（3）$v_0B\ell$

（4）$\dfrac{v_0Bd}{R}$　　［ℓ ではなく d である点に注意］

（5）向き： 左向き（進行方向とは反対向き），　大きさ： IBd

（6）金属棒が速度 v で移動中，金属棒に流れる電流の値は $I=\dfrac{vBd}{R}$ 。この電流に働くローレンツ力は右向きを正にとれば $-IBd=-\dfrac{v(Bd)^2}{R}$ 。従って，金属棒は v に比例した加速度 $a=-\dfrac{v(Bd)^2}{mR}$ で減速する。速度 v の減少とともに加速度も小さくなるので，v–t 曲線は v の値が 0 に漸近する下に凸な形状となる。

（7）金属棒が速度 v で移動中，金属棒に流れる電流の値は $I'=\dfrac{(vBd-V)}{R}$ 。この電流に働くローレンツ力は右向きを正にとれば，$-I'Bd=-\dfrac{(vBd-V)Bd}{R}$ 。従って，$v_0<\dfrac{V}{Bd}$ であれば $t=0$ 以降，金属棒は加速度 $a=\dfrac{(V-vBd)Bd}{mR}$ で増速する。金属棒の速度が $v_\mathrm{F}=\dfrac{V}{Bd}$ に近づくにつれて加速度は 0 に近づくため，v–t 曲線は v の値が $\dfrac{V}{Bd}$ に漸近する上に凸な形状となる。

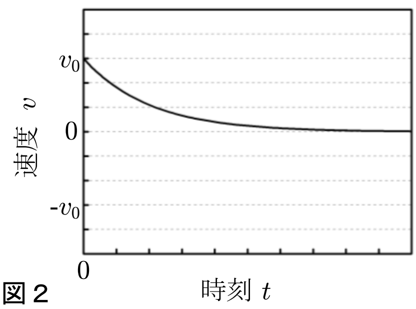


図２

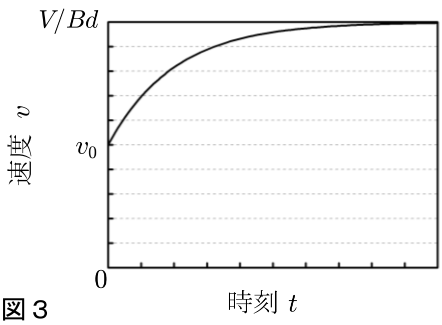


図３

令和8年度入学者選抜試験問題
物理基礎・物理（後期日程）〔解答例〕

問題3

（1）各状態の圧力、体積をそれぞれ$P_{\mathrm{A}}, V_{\mathrm{A}}, P_{\mathrm{B}}, V_{\mathrm{B}}, P_{\mathrm{C}}, V_{\mathrm{C}}, P_{\mathrm{D}}, V_{\mathrm{D}}$とすると、各状態におけるシリンダー内の気体の状態方程式は以下のようになる。

A: $P_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}} = nRT_{\mathrm{A}}$, B: $P_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{B}} = nRT_{\mathrm{B}}$, C: $P_{\mathrm{C}}V_{\mathrm{C}} = nRT_{\mathrm{C}}$, D: $P_{\mathrm{D}}V_{\mathrm{D}} = nRT_{\mathrm{D}}$

また、B→C と D→A は定圧変化なので$P_{\mathrm{B}} = P_{\mathrm{C}}, P_{\mathrm{A}} = P_{\mathrm{D}}$

気体は過程 B→C と過程 C→D で外部に仕事$W'_{\mathrm{BC}}, W'_{\mathrm{CD}}$をする。

B→C は定圧過程なので$W'_{\mathrm{BC}} = P_{\mathrm{B}}(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{B}}) = P_{\mathrm{B}}(nRT_{\mathrm{C}}/P_C - nRT_B/P_B) = nR(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}})$

C→D は断熱変化なので$Q_{\mathrm{CD}} = 0$、

熱力学第1法則より$\Delta U_{\mathrm{CD}} = Q_{\mathrm{CD}} - W'_{\mathrm{CD}}$なので、$W'_{\mathrm{CD}} = -\Delta U_{\mathrm{CD}} = -nC_V(T_{\mathrm{D}} - T_{\mathrm{C}})$

よって、気体が外部にした仕事は$W'_{\mathrm{BC}} + W'_{\mathrm{CD}} = \boldsymbol{nR(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}}) - nC_V(T_{\mathrm{D}} - T_{\mathrm{C}})}$

気体は過程 A→B と過程 D→A で外部から仕事W_{AB}、W_{DA}をされる。

A→B は断熱変化なので$Q_{\mathrm{AB}} = 0$、

熱力学第1法則より$\Delta U_{\mathrm{AB}} = Q_{\mathrm{AB}} + W_{\mathrm{AB}}$なので、$W_{\mathrm{AB}} = \Delta U_{\mathrm{AB}} = nC_V(T_{\mathrm{B}} - T_{\mathrm{A}})$

D→A は定圧過程なので$W_{\mathrm{DA}} = -P_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{D}}) = P_{\mathrm{A}}(nRT_{\mathrm{D}}/P_D - nRT_{\mathrm{A}}/P_A) = nR(T_{\mathrm{D}} - T_{\mathrm{A}})$

よって、気体が外部からされた仕事は$W_{\mathrm{AB}} + W_{\mathrm{DA}} = \boldsymbol{nC_V(T_{\mathrm{B}} - T_{\mathrm{A}}) + nR(T_{\mathrm{D}} - T_{\mathrm{A}})}$

（2）気体は過程 B→C のときにだけ、外部から熱を吸収する。

熱力学第1法則より$\Delta U_{\mathrm{BC}} = Q_{\mathrm{BC}} - W'_{\mathrm{BC}}, Q_{\mathrm{BC}} = \Delta U_{\mathrm{BC}} + W'_{\mathrm{BC}}$

$\Delta U_{\mathrm{BC}} = nC_{\mathrm{V}}(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}})$ なので $Q_{\mathrm{BC}} = \boldsymbol{nC_V(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}}) + nR(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}})}$

（3）$TP^{\frac{1-m}{m}} =$ 一定の関係より、$T_{\mathrm{A}}P_{\mathrm{A}}^{\frac{1-m}{m}} = T_{\mathrm{B}}P_{\mathrm{B}}^{\frac{1-m}{m}}$, $T_{\mathrm{C}}P_{\mathrm{C}}^{\frac{1-m}{m}} = T_{\mathrm{D}}P_{\mathrm{D}}^{\frac{1-m}{m}}$

また題意より、$P_{\mathrm{B}} = P_{\mathrm{C}}, P_{\mathrm{D}} = P_{\mathrm{A}}, P_{\mathrm{B}} = kP_{\mathrm{A}}$。

熱効率は（外部にした正味の仕事）/（外部から吸収した熱量）なので、（1）、（2）の答より

$$熱効率 = \frac{nR(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}}) - nC_V(T_{\mathrm{D}} - T_{\mathrm{C}}) - \{nC_V(T_{\mathrm{B}} - T_{\mathrm{A}}) + nR(T_{\mathrm{D}} - T_{\mathrm{A}})\}}{nC_V(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}}) + nR(T_{\mathrm{C}} - T_B)}$$

$$= \frac{(nC_V + nR)(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}} - T_{\mathrm{D}} + T_{\mathrm{A}})}{(nC_V + nR)(T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}})} = 1 - \frac{T_{\mathrm{D}} - T_{\mathrm{A}}}{T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}}} = 1 - \frac{T_{\mathrm{C}}\left(\frac{P_{\mathrm{C}}}{P_{\mathrm{D}}}\right)^{\frac{1-m}{m}} - T_{\mathrm{B}}\left(\frac{P_{\mathrm{B}}}{P_{\mathrm{A}}}\right)^{\frac{1-m}{m}}}{T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}}}$$

$$= 1 - \frac{T_{\mathrm{C}}\left(\frac{P_{\mathrm{B}}}{P_{\mathrm{A}}}\right)^{\frac{1-m}{m}} - T_{\mathrm{B}}\left(\frac{P_{\mathrm{B}}}{P_{\mathrm{A}}}\right)^{\frac{1-m}{m}}}{T_{\mathrm{C}} - T_{\mathrm{B}}} = 1 - \left(\frac{P_{\mathrm{B}}}{P_{\mathrm{A}}}\right)^{\frac{1-m}{m}} = \boldsymbol{1 - k^{\frac{1-m}{m}}}$$

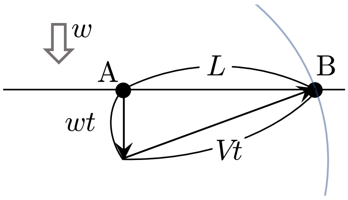
令和８年度入学者選抜試験(後期)（物理基礎・物理）解答例

問題４

(1) 実効的な音速が $V+w$ であるので，次式を得る。

$$f_1=\frac{V+w}{V+w-v}f_0$$

(2) 音源から放射された音が t 後に B に到達したと考える。この状況は，右図のように wt だけ移動した点から，Vt だけ離れた位置に B があるものと見なせる。三平方の定理から，L は以下のように求められる。

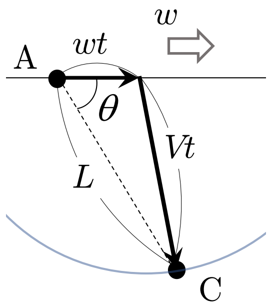


$$L=\sqrt{(Vt)^2-(wt)^2}=\sqrt{V^2-w^2}\ t$$

音源から B に向かう実効的な音速 V'は，L を t で除すことで求められる。それゆえ，

$$f_2=\frac{V'}{V'-v}f_0=\frac{\sqrt{V^2-w^2}}{\sqrt{V^2-w^2}-v}f_0$$

(3) 上記 (2) と同様に考える。余弦定理から次式が成立する。



$$(Vt)^2=L^2+(wt)^2-2Lwt\ \cos\theta$$

L を求めて t で除すことで，A から C に向かう実効的な音速 V'を求める。

$$V'=w\cos\theta\pm\sqrt{V^2-w^2\sin^2\theta}$$

$$f_3=\frac{V'}{V'-v\cos\theta}f_0=\frac{\sqrt{V^2-w^2\sin^2\theta}+w\cos\theta}{\sqrt{V^2-w^2\sin^2\theta}+w\cos\theta-v\cos\theta}f_0$$

【検証】f_3 において$w=0$ とすると，無風の場合の斜め方向のドップラーシフトの周波数が得られる。また，f_3 において$\theta=0^\circ$ とすると，追い風がある場合（実効的な音速が$V+w$）のドップラーシフトのf_1 が得られる。