令和２年度前期日程入学試験【物理】

導出過程は一通りではないので省略してあります．論述による解答は例示です．

$\boxed{1}$

問１ (1) $x = v_0 t \cos\theta$

$y = v_0 t \sin\theta - \dfrac{1}{2} g t^2$

(2) $y = x \tan\theta - \dfrac{g}{2v_0^2 \cos^2\theta} x^2$

(3) $h = -\dfrac{g\ell^2}{2v_0^2} \tan^2\theta + \ell \tan\theta - \dfrac{g\ell^2}{2v_0^2}$

(4) (3) の結果より，$h = -\dfrac{g\ell^2}{2v_0^2}(\tan\theta - \dfrac{v_0^2}{g\ell})^2 + \dfrac{v_0^2}{2g} - \dfrac{g\ell^2}{2v_0}$．したがって，$\tan\theta_{\mathrm{H}} = \dfrac{v_0^2}{g\ell}$

問２ (1) 弾む直前の小球の運動量の x，y 成分はそれぞれ，$mv_0 \cos\theta$，$-mv_0 \sin\theta$

弾んだ直後の小球の運動量の x，y 成分はそれぞれ，$mv_0 \cos\theta$，$emv_0 \sin\theta$

(2) 弾んだときに小球が失った力学的エネルギーは

$\dfrac{1}{2} m(-v_0 \sin\theta)^2 - \dfrac{1}{2} m(ev_0 \sin\theta)^2 = \dfrac{1-e^2}{2} mv_0^2 \sin^2\theta$

(3) 原点 O から点 C までの距離は $\dfrac{2v_0^2 \sin\theta \cos\theta}{g}$．点 C から点 D までの距離は $\dfrac{2ev_0^2 \sin\theta \cos\theta}{g}$．
したがって，原点 O から点 D までの距離は $\dfrac{2(1+e)v_0^2 \sin\theta \cos\theta}{g}$

(4) 原点 O から小球が等速直線運動を始める点までの距離は

$$\frac{2(1+e+e^2+\cdots)v_0^2 \sin\theta \cos\theta}{g} = \frac{2v_0^2 \sin\theta \cos\theta}{g} \sum_{n=0}^{\infty} e^n = \frac{2v_0^2 \sin\theta \cos\theta}{(1-e)g}$$

$\boxed{2}$

問 1 (1) 水平左向き

(2) オームの法則より，電流の大きさは $\dfrac{V}{R_0}$

(3) 力のつり合いの式 $mg = \dfrac{V}{R_0}BL$ より，$R_0 = \dfrac{VBL}{mg}$

問 2 (1) $mg > \dfrac{V}{R}BL$ より，$R_0 < R$

(2) 導体棒に流れる電流の大きさを I とすると，キルヒホッフの法則より，$V + vBL = RI$.

したがって，$I = \dfrac{V + vBL}{R}$

(3) 力は鉛直下向きにはたらき，その大きさは

$$mg - IBL = mg - \frac{VBL + vB^2L^2}{R} = mg - \frac{VBL}{R} - \frac{vB^2L^2}{R}$$

(4) (3) の結果で力の大きさを 0 とすると，$v_1 = \dfrac{mgR}{B^2L^2} - \dfrac{V}{BL}$

(5) 落下にかかる時間 Δt は $\Delta t = \dfrac{h}{v_1}$ であり，抵抗を流れる電流の大きさ I_1 は $I_1 = \dfrac{mg}{BL}$ なので，

発生するジュール熱は $RI_1^2\Delta t = \dfrac{mgh}{1 - \frac{BLV}{mgR}} = mgh + mgh\dfrac{\frac{BLV}{mgR}}{1 - \frac{BLV}{mgR}}$

3

問 1 (ア) 0 　(イ) $\dfrac{3}{2}nR\Delta T$ 　(ウ) $\dfrac{3}{2}R$ 　(エ) $pV = nRT$

(オ) $nR\Delta T$ 　(カ) $\dfrac{3}{2}nR\Delta T$ 　(キ) $\dfrac{5}{2}R$

問 2 (1) 1 サイクルの間に理想気体が外部にする正味の仕事は $(x-1)p_0V_0$

(2) 単原子分子理想気体の状態方程式を用いて

$$T_\mathrm{B} = x\frac{p_0V_0}{nR} = xT_0, \quad T_\mathrm{C} = 2x\frac{p_0V_0}{nR} = 2xT_0, \quad T_\mathrm{D} = 2\frac{p_0V_0}{nR} = 2T_0$$

(3) 定積モル比熱 $C_V = \frac{3}{2}R$ を用いて

$$Q_{\mathrm{A}\to\mathrm{B}} = nC_V(T_\mathrm{B} - T_0) = \frac{3}{2}nR(xT_0 - T_0) = \frac{3}{2}(x-1)nRT_0$$
$$Q_{\mathrm{C}\to\mathrm{D}} = nC_V(T_\mathrm{D} - T_\mathrm{C}) = \frac{3}{2}nR(2T_0 - 2xT_0) = -3(x-1)nRT_0$$

(4) 定圧モル比熱 $C_p = \frac{5}{2}R$ を用いて

$$Q_{\mathrm{B}\to\mathrm{C}} = nC_p(T_\mathrm{C} - T_\mathrm{B}) = \frac{5}{2}nR(2xT_0 - xT_0) = \frac{5}{2}xnRT_0$$
$$Q_{\mathrm{D}\to\mathrm{A}} = nC_p(T_0 - T_\mathrm{D}) = \frac{5}{2}nR(T_0 - 2T_0) = -\frac{5}{2}nRT_0$$

(5) 上の問題の結果より，サイクルの熱効率は $e = \dfrac{(x-1)nRT_0}{\frac{3}{2}(x-1)nRT_0 + \frac{5}{2}xnRT_0} = \dfrac{2(x-1)}{8x-3}$

(6) (5) の結果より，$x = 2$ のときの熱効率は $e = \dfrac{2}{13}$，$x = 10$ のときの熱効率は $e = \dfrac{18}{77}$

グラフは下図.