2022年度

物　　理

（100 点　60 分）

1　以下の問いに答えなさい。解答欄には，答えのみを書きなさい。

(問 1)　傾角 θ のまさつのある斜面上を質量 m の物体が運動している。この物体に作用する動摩擦力の大きさを求めなさい。ただし，重力加速度の大きさを g とし，物体と斜面の間の動摩擦係数を μ' とする。

(問 2)　電荷量 Q が充電されている静電容量 C の平行平板コンデンサーがある。この平行平板コンデンサーの極板間に比誘電率 ε_r の誘電体をゆっくりすき間なく挿入した。誘電体を挿入後のコンデンサーの極板間の電位差は，挿入前の電位差の何倍か答えなさい。

(問 3)　自己インダクタンス L のコイルに，交流電源を接続して $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$ の交流電圧を加えた。コイルに流れる電流の実効値を求めなさい。

(問 4)　-18 ℃ の氷 2.0 g を全て 0.0 ℃ の水に変えるために必要な熱量を J（ジュール）の単位で求めなさい。ただし，氷の 1 g あたりの熱容量は 2.1 J/K，氷の融解熱は 335 J/g とする。

(問 5)　振動数 1550 Hz の音波を出す音源が，静止している観測者に向かって速さ 30 m/s で近づいている。このとき，観測者が聞く音の振動数を求めなさい。ただし，音速を 340 m/s とする。

(問 6)　長さ 15 cm の閉管内の気柱の固有振動において，3 倍振動の振動数を求めなさい。ただし，音の速さを 340 m/s とし，開口端補正は無視できるものとする。

2　図のように，なめらかな水平面より高さ h の段差の端点から，小球 P（質量 m）を速さ v_0，水平面からの角度 θ で斜方投射した。小球は放物線を描きながら運動したのち，図中 A 点において水平面に衝突した。衝突後，P は図のように速さ V，水平面からの角度 ϕ ではね返った。鉛直上向きおよび右向きを運動の正の向き，高さの基準を水平面とする。また，重力加速度の大きさを g，P と水平面の間のはねかえり係数を e（$0 < e < 1$）として以下の問いに答えなさい。解答欄には，答えと必要に応じて計算式も書きなさい。

はじめに，P が水平面と衝突する前の運動について考える。

(問 1)　初速度の水平成分と鉛直成分を v_0 および θ を用いて表しなさい。

(問 2)　P が最高点に到達したときの高さを H とする。最高点における力学的エネルギーを m，v_0，H，g および θ を用いて表しなさい。

(問 3)　H を v_0，h，g，および θ を用いて表しなさい。

(問 4)　A 点に到達するまでに要する時間を v_0，h，g および θ を用いて表しなさい。

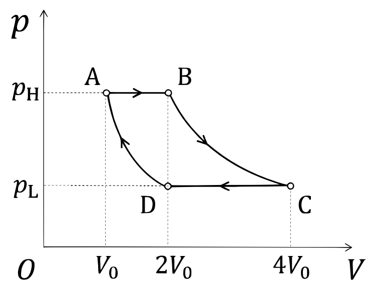
次に，P が水平面と衝突した前後について考える。

(問 5)　$\tan\phi$ を e，v_0，h，g および θ を用いて表しなさい。

(問 6)　P が水平面から受ける力積を e，m，v_0，h，g および θ を用いて表しなさい。

(問 7)　衝突前後の運動エネルギーの変化を e，m，v_0，h，g および θ を用いて表しなさい。

$\boxed{3}$　シリンダーとピストンからなる熱機関を考えよう。シリンダー内には，単原子分子理想気体が n [mol] 封入されている。気体定数を R [J/(mol・K)] とする。この熱機関は圧力 − 体積図 ($p-V$ 図) 中で，下図のように，A → B → C → D → A というサイクルで変化する。状態変化 A → B および C → D は等圧変化，B → C および D → A は断熱変化であーる。気体の状態を気体の圧力 p [Pa] と体積 V [m^3] を組にして (p, V) であらわすと，状態 A : (p_H, V_0)，状態 B : $(p_\mathrm{H}, 2V_0)$，状態 C : $(p_\mathrm{L}, 4V_0)$，および状態 D : $(p_\mathrm{L}, 2V_0)$ である。



以下の問いに答えなさい。ただし，気体が膨張するときの仕事を正であらわし，収縮するときを負とする。また，熱の符号は，気体が加熱される場合を正とし，冷却される場合を負とする。

(問 1)　状態 A の気体の絶対温度を求めなさい。

(問 2)　状態変化 A → B において，気体の内部エネルギーの変化 ΔU_AB [J] と気体のする仕事 W_AB [J] を求めなさい。ただし，状態 A と B の内部エネルギーをそれぞれ，U_A，U_B とするとき，$\Delta U_\mathrm{AB} = U_\mathrm{B} - U_\mathrm{A}$ をあらわすものとする。

(問 3)　状態変化 A → B で，気体が得る熱量 Q_AB [J] を求めなさい。

(問 4)　状態変化 $\mathrm{B} \to \mathrm{C}$ において，気体の内部エネルギーの変化を ΔU_{BC} [J]，気体のする仕事を W_{BC} [J] とするとき，W_{BC} を ΔU_{BC} であらわしなさい。また，ΔU_{BC} を求めなさい。

(問 5)　この熱機関が 1 サイクルのあいだに得る熱量の合計を求めなさい。

(問 6)　この熱機関が 1 サイクルのあいだにする仕事の合計を求めなさい。

(問 7)　この熱機関の熱効率を求めなさい。

(問 8)　単原子分子理想気体の断熱変化では，$pV^{\frac{5}{3}}$ が一定に保たれることが知られている。p_{H} と p_{L} の関係を式であらわしなさい。また，この熱機関の熱効率を数値で求めなさい。必要であれば，$2^{\frac{2}{3}} = 1.6$ を利用しなさい。

令和4年度

物理

一般B(2/26)
解答用紙

受験番号						
生年月日	年		月		日	

採点欄	1	2	3

1

(問1) $\mu' mg\cos\theta$	(問2) $\dfrac{1}{\varepsilon_r}$	(問3) $\dfrac{V_0}{\sqrt{2}\omega L}$
(問4) 7.1×10^2 J	(問5) 1700 Hz	(問6) 34 Hz

2

(問1)

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_0\cos\theta \\ v_0\sin\theta \end{pmatrix}$$

(問2)

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2\cos^2\theta + mgH$$

(問3)

力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2 + mgh = \frac{1}{2}m{v_0}^2\cos^2\theta + mgH\,.$$

$$\therefore\ H = \frac{{v_0}^2}{2g}\sin^2\theta + h\,.$$

(問4)

$0 = h + v_0 t\sin\theta - \frac{1}{2}gt^2 + mgH$ を解いて，

$$t = \frac{v_0\sin\theta + \sqrt{{v_0}^2\sin^2\theta + 2gh}}{g}\,.$$

(問5)

$$v_{\mathrm{A}} = v_0\sin\theta - gt = -\sqrt{{v_0}^2\sin^2\theta + 2gh}\,.$$

$$\therefore\ \tan\phi = \frac{e\sqrt{{v_0}^2\sin^2\theta + 2gh}}{v_0\cos\theta}\,.$$

(問6)

$$I = me|v_{\mathrm{A}}| - m\cdot(-v_{\mathrm{A}})$$

$$= (1+e)m\sqrt{{v_0}^2\sin^2\theta + 2gh}\,.$$

(問7)

$$\frac{1}{2}m(ev_{\mathrm{A}})^2 - \frac{1}{2}m{v_{\mathrm{A}}}^2$$

$$= -\frac{1}{2}(1-e^2)m({v_0}^2\sin^2\theta + 2gh)$$

3

(問1)

$$T = \frac{p_{\mathrm{H}}V_0}{nR}$$

(問2)

$$W_{\mathrm{AB}} = p_{\mathrm{H}}V_0$$

(問3)

$$Q_{\mathrm{AB}} = \frac{5}{2}p_{\mathrm{H}}V_0$$

(問4)

$Q = 0$ より，$W_{\mathrm{BC}} = -\Delta U_{\mathrm{BC}}$.

$$\Delta U_{\mathrm{BC}} = 3(2p_{\mathrm{L}} - p_{\mathrm{H}})V_0$$

(問5)

$$Q = Q_{\mathrm{AB}} + Q_{\mathrm{CD}}$$

$$= \left(\frac{5}{2}p_{\mathrm{H}} - 5p_{\mathrm{L}}\right)V_0$$

(問6)

$W = Q$ より，

$$W = \left(\frac{5}{2}p_{\mathrm{H}} - 5p_{\mathrm{L}}\right)V_0$$

(問7)

$$\eta = \frac{\left(\frac{5}{2}p_{\mathrm{H}} - 5p_{\mathrm{L}}\right)V_0}{\frac{5}{2}p_{\mathrm{H}}V_0}$$

$$= 1 - 2\frac{p_{\mathrm{L}}}{p_{\mathrm{H}}}$$

(問8)

$p_{\mathrm{H}}V_0^{\frac{5}{3}} = p_{\mathrm{L}}(2V_0)^{\frac{5}{3}}$ より，

$p_{\mathrm{H}} = 2^{\frac{5}{3}}p_{\mathrm{L}}$.

$$\therefore\ \eta = 1 - 2^{-\frac{5}{3}} = \frac{3}{8}\,.$$