

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) なめらかで水平な床の上を質量 3.0 kg の物体が速さ 2.0 m/s で運動している。運動方向と逆向きに 4 N の力を加え続けたところ、距離 d だけ進んで物体は静止した。 d を求めなさい。

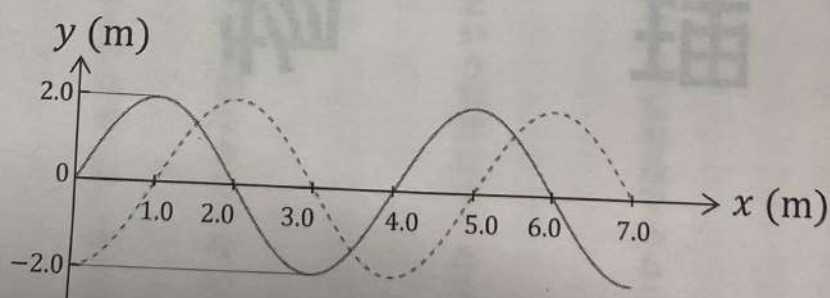
(問 2) 質量 m 、電荷量 q ($q > 0$) の電荷を大きさ E の一様な電場中にそっと置いたところ、電荷は電場の向きに沿って動き出した。距離 d だけ進んだ時の電荷の速さを v 、 m 、 q 、 E 、 d を用いて表しなさい。重力の影響は無視できるものとする。

(問 3) 導線のある断面を、1 分間に 18 mC の電荷が流れた。このとき導線を通る電流を求めなさい。

(問 4) 質量 20 g のある物質からなる物体に、熱を 190 J 加えたところ、この物体の温度が $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 上昇した。この物体を構成している物質の比熱を求めなさい。

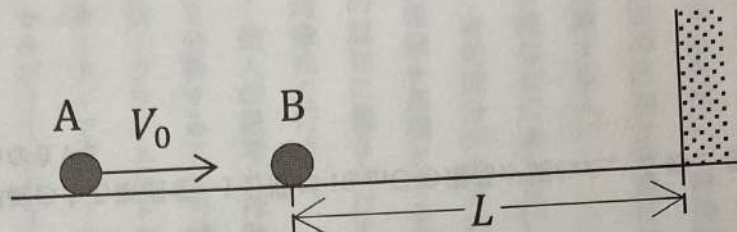
(問 5) 両端が固定された長さ L の弦に定常波がつくられるために波長 λ が満たす条件を、 L および自然数 n を用いて表しなさい。

(問 6) 図のように、 x 軸の正の向きに進む正弦波が、実線の波形から最初に破線の波形になるまでに 0.10 s かかった。この波の波長と速さをそれぞれ求めなさい。



2

図のように、水平面上を質点 A (質量 $3m$) が左方より速さ V_0 で、静止している B (質量 m) に弾性衝突 (1 回目) する運動を考える。最初、質点 B は右方にある壁から距離 L の位置に静止している。質点と床との間に摩擦はないものとする。以下の問いに答えなさい。ただし、運動の向きは「右向き」または「左向き」で答え、解答欄には、答えと必要に応じて計算式も書きなさい。



(問 1) 衝突直後の質点 A と質点 B の速さと運動の向きをそれぞれ求めなさい。

(問 2) 衝突直後の質点 A と質点 B の力学的エネルギーの和を求めなさい。

その後、質点 B は壁で弾性衝突してはね返り、ふたたび質点 A と 2 回目の弾性衝突をした。

(問 3) 質点 B が壁から受けた力積の大きさと向きを求めなさい。

(問 4) 2 回目の衝突直後の質点 A と質点 B の速さと運動の向きをそれぞれ求めなさい。

2021 年度

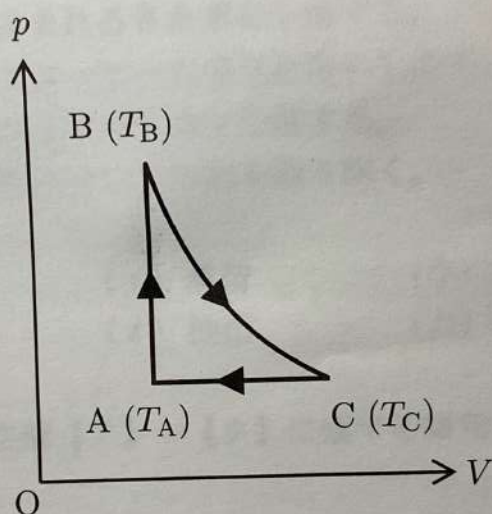
(問 5) 1 回目の衝突後, 2 回目の衝突が起こるまでの時間を求めなさい。

(100 点 60 分)

(問 6) 2 回目の衝突が起こる位置と壁との間の距離を求めなさい。

3

n mol の単原子分子理想気体をなめらかに動くピストンがついたシリンダーの中に封入して、図に示すように体積 V と圧力 p を $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ と変化させた。 $A \rightarrow B$ は定積変化、 $B \rightarrow C$ は断熱変化、 $C \rightarrow A$ は定圧変化である。また状態 A , B , C における気体の絶対温度をそれぞれ、 T_A , T_B , および T_C とする。気体定数を R 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。



(問 1) $A \rightarrow B$ の変化において、気体が吸収する熱 $Q_{A \rightarrow B}$ と気体の内部エネルギーの変化が一致する。その理由を述べなさい。

(問 2) $Q_{A \rightarrow B}$ を求めなさい。

(問 3) $B \rightarrow C$ の変化における気体の内部エネルギーの変化を求めなさい。

(問 4) $B \rightarrow C$ の変化において、気体が外部にする仕事を求めなさい。

(問 5) $C \rightarrow A$ の変化において、気体が放出する熱を求めなさい。

(問 6) $C \rightarrow A$ の変化において、気体が外部からされる仕事を求めなさい。

(問 7) T_A , T_B , および T_C の大小関係を答えなさい。またその理由を説明しなさい。

(問 8) このサイクルの熱効率を求めなさい。

(問 1)	$\frac{3}{2} \text{ m}$	(問 2)	$\sqrt{\frac{2dqE}{m}}$	(問 3)	$3.0 \times 10^{-4} \text{ A} (= 0.30 \text{ mA})$
(問 4)	$3.8 \times 10^{-1} \left(= \frac{19}{50} \right) \text{ J/(K} \cdot \text{g)}$	(問 5)	$\frac{2L}{n}$	(問 6)	$\lambda = 4.0 \text{ m}$ $v = 10 \text{ m/s}$

(問 1) 衝突直後のAとBの速度をそれぞれ V_A, V_B とすれば、 運動量保存則: $3mV_0 = 3mV_A + mV_B$. また、弾性衝突であるからはねかえり係数は1: $1 = \frac{V_B - V_A}{V_0}$ 連立して解くと、 $\begin{cases} V_A = \frac{1}{2}V_0 \\ V_B = \frac{3}{2}V_0 \end{cases}$	(問 4) 2度目の衝突直後のAとBの速度をそれぞれ V_A', V_B' とすれば、 運動量保存則: $3m \cdot \frac{1}{2}V_0 + m \cdot \left(-\frac{3}{2}V_0\right) = 3mV_A' + mV_B'$ はねかえり係数: $1 = \frac{V_B' - V_A'}{2V_0}$. 連立して解くと、 $\begin{cases} V_A' = -\frac{1}{2}V_0 \\ V_B' = \frac{3}{2}V_0 \end{cases}$
(問 2) $\frac{1}{2} \cdot 3m \cdot \left(\frac{1}{2}V_0\right)^2 + \frac{1}{2}m \cdot \left(\frac{3}{2}V_0\right)^2 = \frac{3}{2}mV_0^2$	(問 5) B が壁に衝突するまでの時間は $2L/3V_0$. 衝突する時刻を t とすれば、次式が成り立つ: $L = \frac{1}{2}V_0t + \frac{3}{2}V_0(t - 2L/3V_0) \quad \therefore t = L/V_0$
(問 3) 右向きを正とすると、力積は運動量の変化分に等しい: に、$\therefore \left(-\frac{3}{2}mV_0\right) - \left(\frac{3}{2}mV_0\right) = -3mV_0$. 左向きに、力積の大きさ $3mV_0$.	(問 6) 第1回目の衝突後の A の運動に着目すれば、$\frac{1}{2}V_0 \cdot \frac{L}{V_0} = \frac{1}{2}L$.

(問 1) A → B の変化は定積変化であるため気体は仕事をせず、また仕事もされない。したがって熱力学第一法則から、吸収する熱と内部エネルギーの変化が等しいといえる。	(問 2) $\frac{3}{2}nR(T_B - T_A)$	(問 3) $\frac{3}{2}nR(T_C - T_B)$
	(問 4) $\frac{3}{2}nR(T_B - T_C)$	(問 5) $\frac{5}{2}nR(T_C - T_A)$
(問 6) $nR(T_C - T_A)$	(問 7) $T_B > T_C > T_A$ (理由) B → C の変化は断熱膨張で、気体は外部に仕事をすることから、$T_B > T_C$ である。 C → A の変化は定圧変化で、気体の体積が減少すること、およびシャルルの法則より、$T_C > T_A$ である。	(問 8) $\frac{\frac{3}{2}nR(T_B - T_A) - \frac{5}{2}nR(T_C - T_A)}{\frac{3}{2}nR(T_B - T_A)} = 1 - \frac{5(T_C - T_A)}{3(T_B - T_A)}$