2021 年度　前期日程　[理　科]　　物理基礎・物理 出題意図

$\boxed{1}$

剛体に働く力のつり合い，運動の法則，仕事を題材として，力学の基本的な知識と理解について問う。

$\boxed{2}$

電磁誘導の問題を題材として，電磁気学の基礎的な知識と理解について問う。

$\boxed{3}$

定積比熱，定圧比熱と状態図の関係を題材として，熱力学の基本的な知識と理解について問う。

2021年度　前期日程　[理　科]　物理基礎・物理　解答例

1

問1.

F_0 が最大摩擦力より大きくなると物体は滑り始める。最大摩擦力は静止摩擦力であるから，

$F_0 = \mu_0 mg$ を得る。

答え：$\mu_0 mg$ [N]

問2.

物体が傾く限界の状態では点Aのまわりの力のモーメントの和は0に等しいから，

$$F_0 h - mg\frac{d}{2} = 0$$ となる。

上式を F_0 について解くと，

$$F_0 = \frac{mgd}{2h}$$ を得る。

また，この時の F_0 の大きさは最大摩擦力以上である必要がある。最大摩擦力は静止摩擦力であり，問1で求めた $\mu_0 mg$ だから，

$$\frac{mgd}{2h} \geqq \mu_0 mg$$ が要請される。

これより，

$$\mu_0 \leqq \frac{d}{2h}$$ を得る。

答え：$\dfrac{d}{2h}$

問3.

(1)

物体の加速度を a とすると，運動方程式は，

$$ma = F_1 - \mu_1 mg$$ となる。

これを a について解くと，

$$a = \frac{F_1 - \mu_1 mg}{m}$$ を得る。

答え：$\dfrac{F_1 - \mu_1 mg}{m}$ [m/s^2]

(2)

物体は等加速度直線運動をするので，時刻 t における物体の速さ v_t は，

$$v_t = \frac{F_1 - \mu_1 mg}{m}t$$ となる。

答え：$\frac{F_1 - \mu_1 mg}{m}t$ [m/s]

(3)

物体の等加速度直線運動における時刻 t の時の距離 L は，初速が 0 の時，加速度をaとすると，

$$L = \frac{1}{2}at^2$$

で表される。加速度 a に (1) で求めた $a = \frac{F_1 - \mu_1 mg}{m}$ を代入して，

$$L = \frac{1}{2}\frac{F_1 - \mu_1 mg}{m}t^2$$

を得る。

答え：$\frac{1}{2}\frac{F_1 - \mu_1 mg}{m}t^2$ [m]

(4)

非保存力である動摩擦力がした仕事 W を求める。動摩擦力を F' とすると，$F' = \mu_1 mg$だから，

$$\begin{aligned} W &= -F' \cdot L \\ &= -\mu_1 mg \frac{1}{2}\frac{F_1 - \mu_1 mg}{m}t^2 \\ &= -\frac{1}{2}\mu_1 g(F_1 - \mu_1 mg)t^2 \end{aligned}$$

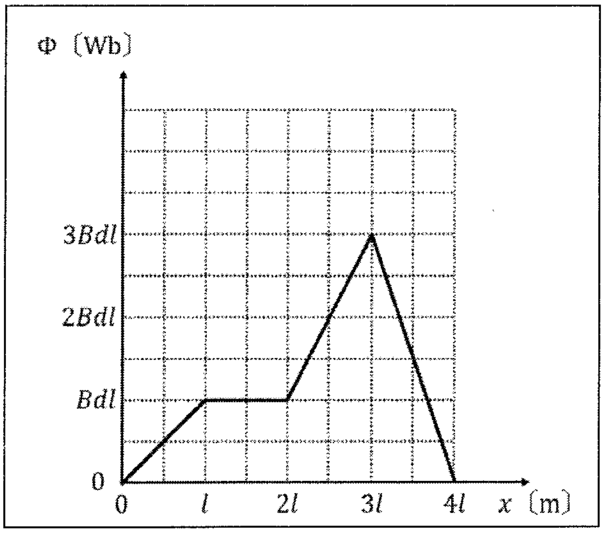
を得る。

答え：$-\frac{1}{2}\mu_1 g(F_1 - \mu_1 mg)t^2$ [J]

2

問１

［答え］



問２

［計算過程］

起電力の大きさは，$V=\left|-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$ であるから，$I=\frac{V}{R}$ より，電流は，向きを考慮して，以下のようになる：

（ア）$V=\left|\frac{(B-0)dl}{l/v}\right|=Bdv \to I=\frac{Bdv}{R}$

［答え］ 電流 $\frac{Bdv}{R}$ [A]

（イ）$V=\left|\frac{(B-B)dl}{l/v}\right|=0 \to I=0$

［答え］ 電流 0 [A]

（ウ）$V=\left|\frac{(3B-B)dl}{l/v}\right|=2Bdv \to I=2\frac{Bdv}{R}$

［答え］ 電流 $2\frac{Bdv}{R}$ [A]

（エ）$V=\left|\frac{(0-3B)dl}{l/v}\right|=3Bdv \to I=-3\frac{Bdv}{R}$

［答え］ 電流 $-3\frac{Bdv}{R}$ [A]

問３．

［計算過程］

コイル内のすべての荷電粒子がローレンツ力を受けるが，コイルが受ける正味のローレンツ力は電流のキャリア粒子の速度成分のうち，コイルの各辺に平行な成分（つまり電流）が担う。一方，垂直な成分によるローレンツ力は起電力となる。辺 QR と辺 SP の受ける力はキャンセルするから，電流とローレンツ力の向きを考慮すれば，x 軸の負方向を正として，コイルの受ける力 F は以下のようになる：

(ア) 辺 PQ の電流だけが磁場から力を受ける：

$$F = IBd = \frac{B^2d^2v}{R}$$

［答え］ 力の大きさ：$\frac{B^2d^2v}{R}$ [N]，　方向：x 軸の負方向

(イ) $F = IBd = 0$

［答え］ 力の大きさ：0 [N]，　方向：

(ウ) 辺 PQ と辺 RS がそれぞれ力を受ける：

$$F_{\mathrm{PQ}} = I(3B)d = \frac{2Bdv}{R}(3B)d = 6\frac{B^2d^2v}{R}, \qquad F_{\mathrm{RS}} = -IBd = -\frac{2Bdv}{R}Bd = -2\frac{B^2d^2v}{R}$$

$$\rightarrow F = F_{\mathrm{PQ}} + F_{\mathrm{RS}} = 4\frac{B^2d^2v}{R}$$

［答え］ 力の大きさ：$4\frac{B^2d^2v}{R}$ [N]，　方向：x 軸の負方向

(エ) 辺 RS だけが力を受ける：

$$F = -I(3B)d = \frac{3Bdv}{R}(3B)d = 9\frac{B^2d^2v}{R}$$

［答え］ 力の大きさ：$9\frac{B^2d^2v}{R}$ [N]，　方向：x 軸の負方向

問 4

［計算過程］

1 秒あたりのジュール熱は RI^2 であるから，各区間のジュール熱は通過時間を考慮すると，以下のようになる：

(ア) $RI^2\frac{l}{v}=R\left(\frac{Bdv}{R}\right)^2\frac{l}{v}=\frac{B^2d^2vl}{R}$

(イ) $RI^2\frac{l}{v}=0$

(ウ) $RI^2\frac{l}{v}=R\left(\frac{2Bdv}{R}\right)^2\frac{l}{v}=4\frac{B^2d^2vl}{R}$

(エ) $RI^2\frac{l}{v}=R\left(\frac{3Bdv}{R}\right)^2\frac{l}{v}=9\frac{B^2d^2vl}{R}$

従って，総量は $14\frac{B^2d^2vl}{R}$ となる。

［答え］ジュール熱の総量　　$14\frac{B^2d^2vl}{R}$ [J]

［答え］　ジュール熱の総量と外力との関係

コイルになされた仕事は外力によるものだけであり，コイルの速さは一定であるから，外力による仕事は全てジュール熱に消費される。実際，外力はコイルが磁場から受ける力と常に釣り合うので，全区間で外力のした仕事の総量は $14\frac{B^2d^2vl}{R}$ となり，ジュール熱の総量と一致する。

$\boxed{3}$

問1. 理想気体の状態方程式より，次の関係式が成り立つ。

$$p_0V_0 = RT_0, \qquad \therefore T_0 = \frac{P_0V_0}{R}$$

答え：$T_0 = \dfrac{P_0V_0}{R}$ [K]

問2. ボイル・シャルルの法則より，次の関係式が成り立つ。

$$\frac{3p_0}{T_\mathrm{B}} = \frac{p_0}{T_0}, \qquad \therefore T_\mathrm{B} = 3T_0$$

答え：$T_\mathrm{B} = 3T_0$ [K]

問3. 定積過程であるので，吸収した熱量は，$C_V \cdot (3T_0 - T_0) = 2C_VT_0$ であり，外部にした仕事は 0 である。

答え：吸収した熱量 $2C_VT_0$ [J]，外部にした仕事：0 [J]

問4. 定圧過程であるので，吸収した熱量は，$C_p \cdot (3T_0 - T_0) = 2C_pT_0$ であり，外部にした仕事は，$p_0(V_1 - V_0)$ である。

答え：吸収した熱量 $2C_pT_0$ [J]，外部にした仕事：$p_0(V_1 - V_0)$ [J]

問5. 状態 C における温度は，状態 B と同じであるので，状態方程式を用いて，

$$p_0V_1 = R \cdot 3T_0 \quad \text{より} \quad V_1 = \frac{3RT_0}{p_0} \quad \text{を得る。}$$

答え：$V_1 = \dfrac{3RT_0}{p_0}$ [m^3]

問6. B から C への変化は等温変化なので，内部エネルギーは変化しない。したがって，熱力学第 1 法則より，$Q = W$ である。

答え：$Q = W$

問7. 問6より，BとCの内部エネルギーは等しいので，問3, 4を用いて，

$$2C_V T_0 = 2C_p T_0 - p_0(V_1 - V_0)$$

が得られる。したがって，問5と状態Aについての状態方程式を用いると次の結果が得られる。

$$C_p - C_V = \frac{p_0}{2T_0}(V_1 - V_0) = \frac{p_0}{2T_0}\left(\frac{3RT_0}{p_0} - \frac{RT_0}{p_0}\right) = R$$

答え：$C_p - C_V = R$

問8. 状態A→Cは定圧変化なので，ボイル・シャルルの法則より，T は V に比例する。また，状態Cの体積 V_1 は，状態方程式より $V_1 = 3V_0$ となる。A→Bは定積過程，B→Cは等温過程であるから，それぞれ T 軸，V 軸に平行である。問題文および問2の結果と以上を考慮すると次のようになる。