

第 1 問

問 1

小物体が静止しているときの、小物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさと静止摩擦力の大きさをそれぞれ N 、 f とすると、小物体にはたらく力のつり合いより、

$$N = mg \cos \theta$$

$$f = mg \sin \theta$$

となる。よって、小物体が静止し続けるための条件は、静止摩擦係数を μ_0 として、

$$f \leq \mu_0 N \quad \therefore \boxed{\tan \theta} \leq \mu_0$$

問 2

小物体にはたらく斜面方向の力を考慮して、運動方程式より、

$$ma = F - mg(\sin \theta + \mu \cos \theta) \quad \therefore a = \boxed{\frac{F}{m} - g(\sin \theta + \mu \cos \theta)}$$

問 3

等加速度直線運動の公式より、 $v_0 = \boxed{aT}$ 、 $s = \boxed{\frac{1}{2}aT^2}$

問 4

時間 T の間、小物体は距離 s だけ斜面上を移動する。外力 F と移動方向が同じ向きであるので、求める仕事を W とすると、

$$W = \boxed{Fs}$$

また、時間 t の間にした仕事が W であったとき、平均の仕事率は $\frac{W}{t}$ で求めることができるので、求める仕事率を P とすると、

$$P = \frac{W}{t} = \boxed{\frac{Fs}{T}}$$

問 5

外力 F を取り除いた後の小物体の斜面上向きの加速度を a' とすると、斜面平行方向の運動方程式より、

$$ma' = -mg(\sin \theta + \mu \cos \theta) \quad \therefore a' = -g(\sin \theta + \mu \cos \theta)$$

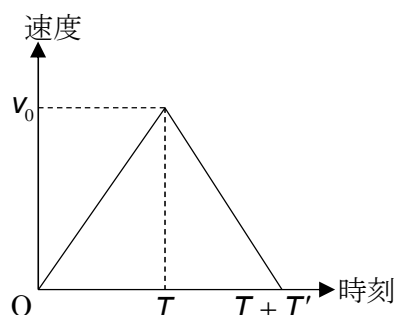
よって、等加速度直線運動の公式より、

$$0 = v_0 + a'T' \quad \therefore T' = \boxed{\frac{v_0}{g(\sin \theta + \mu \cos \theta)}}$$

問 6

$v-t$ グラフの傾きは加速度を表すので、時刻 $t=0$ から $t=T$ までの傾きは一定値 a (>0)、時刻 $t=T$ から $t=T+T'$ までの傾きは一定値 a' (<0) となる。よって、右図のようになる。

<注> グラフの概形が合っていれば正答とする。



問 7

問 5 の結果の T' の式に問 2, 問 3 の結果を代入すると,

$$T' = \left\{ \frac{F}{mg(\sin \theta + \mu \cos \theta)} - 1 \right\} T$$

となる。よって、 $v-t$ グラフの面積が移動距離であることを考慮すると、小物体に外力 F がはたらいっている間に、小物体が移動した距離と、外力 F を取り除いた後に小物体が移動した距離が等しいとき、問 6 の $v-t$ グラフで外力が加わっている時刻 $t=0$ から $t=T$ までの面積と、外力を取り除いてからの時刻 $t=T$ から時刻 $t=T+T'$ までの面積が等しくなるので、 $T=T'$ となる。以上から、

$$F = \boxed{2mg(\sin \theta + \mu \cos \theta)}$$

第2問 (35点：問1～4 各6点，問5 電流，抵抗値 各3点，問6 各1点)

問1

図2より，抵抗 A に 2.0 V の電圧を加えると 0.20 A の電流が流れることがわかる。オームの法則より，抵抗 A の抵抗値を R_A [Ω] として，

$$R_A = \frac{2.0}{0.20} = \boxed{10\Omega}$$

問2

図2より，抵抗 B に 3.0 V の電圧を加えると 0.10 A の電流が流れることがわかる。オームの法則より，抵抗 B の抵抗値を R_B [Ω] として，

$$R_B = \frac{3.0}{0.10} = 30\Omega$$

抵抗 A, B を直列に接続したときの合成抵抗を R_{AB} [Ω] とすると，抵抗の直列合成の公式より，

$$R_{AB} = R_A + R_B = 10 + 30 = \boxed{40\Omega}$$

問3

起電力 100 V の電池に 40 Ω の抵抗 1 つが接続されていると考えてよい。よって，電池を流れる電流を I_E [A] として，オームの法則より，

$$I_E = \frac{100}{40} = \boxed{2.5\text{ A}}$$

問4

抵抗 A, B は直列に接続されているので，2 つの抵抗に流れる電流は等しく，その大きさは問3で求めた値となる。消費電力の公式 $P = RI^2$ より，

$$P_A : P_B = R_A I_E^2 : R_B I_E^2 = R_A : R_B = \boxed{1:3}$$

問5

図3より，白熱電球 X の両端電圧が 1.0 V のとき， $\boxed{0.10\text{ A}}$ の電流が流れることがわかる。このときの白熱電球 X の抵抗値を R_1 [Ω] とすると，オームの法則より，

$$R_1 = \frac{1.0}{0.10} = \boxed{10\Omega}$$

問6

- (ア) 電圧が大きくなると，消費電力の公式 $P = IV$ より，生じる $\boxed{⑦: \text{ジュール熱}}$ が大きくなる。
- (イ) 白熱電球 X で生じるジュール熱が大きくなると，それに伴い温度が $\boxed{④: \text{上昇}}$ する。
- (ウ) 温度が上昇すると，フィラメント内部の原子の熱運動が $\boxed{⑨: \text{激しく}}$ なる。
- (エ) フィラメント内部の陽イオンの熱運動が激しくなると，フィラメント内部を運動する $\boxed{⑪: \text{自由電子}}$ の運動が妨げられる。
- (オ) 自由電子の運動が妨げられると，白熱電球 X の抵抗値は $\boxed{②: \text{大きく}}$ なる。

第3問 (35 点 : 各 7 点)

問 1

気体が外部からされた仕事は -2.0 kJ とすればよいから、熱力学第一法則より、

$$3.0 = Q_{AB} + (-2.0) \quad \therefore Q_{AB} = \boxed{5.0 \text{ kJ}}$$

問 2

問題文より、気体の内部エネルギー変化は 0 であり、気体が外部からされた仕事は -2.8 kJ とすればよいから、熱力学第一法則より、

$$0 = Q_{BC} + (-2.8) \quad \therefore Q_{BC} = \boxed{2.8 \text{ kJ}}$$

問 3

気体の内部エネルギー変化は -4.5 kJ ，気体が吸収した熱量は $-Q_{CD}$ $[\text{kJ}]$ とすればよいから、熱力学第一法則より、

$$-4.5 = (-Q_{CD}) + 3.0 \quad \therefore Q_{CD} = \boxed{7.5 \text{ kJ}}$$

問 4

問題文より、気体が外部からされた仕事は 0 であるから、熱力学第一法則より、

$$1.5 = Q_{DA} + 0 \quad \therefore Q_{DA} = \boxed{1.5 \text{ kJ}}$$

問 5

熱機関の熱効率 e は、熱機関が高温の熱源から吸収した熱量を Q_{in} ，低温の熱源に放出した熱量を Q_{out} とすると、

$$e = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \quad \dots \textcircled{1}$$

である。気体の状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を熱機関として用いたとき、気体が吸収した熱量 Q_{in} は、

$$Q_{in} = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{DA} = 5.0 + 2.8 + 1.5 = 9.3 \text{ kJ}$$

気体が放出した熱量 Q_{out} は、

$$Q_{out} = Q_{CD} = 7.5 \text{ kJ}$$

これらを①に代入して、

$$e = \frac{9.3 - 7.5}{9.3} = \frac{1.8}{9.3} \doteq \boxed{0.19}$$