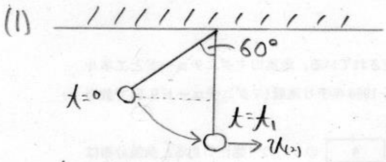
北大物理 2014 解答

$\boxed{\text{I}}$

問1 $\theta=0$ の場合

(1)



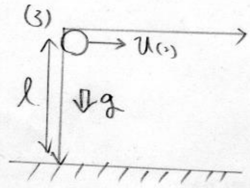
高さの差 $= l - l\cos 60^\circ = \frac{1}{2}l$

位置エネルギーの差 $= mg\frac{1}{2}l = \frac{1}{2}mgl$ //

(2) エネルギー保存則から

$\frac{1}{2}mgl = \frac{1}{2}mv_{(2)}^2$　　$\therefore v_{(2)} = \sqrt{gl}$ //

(3)



放物運動より
y方向について考える
y方向初速 $=0$ より

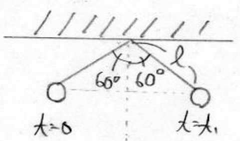
$l = 0\cdot t + \frac{1}{2}gt_{(3)}^2$

$t_{(3)} = \sqrt{\frac{2l}{g}}$ //

(4) x方向は等速運動である。

$d = v_{(2)}t_{(3)} = \sqrt{gl}\sqrt{\frac{2l}{g}} = \sqrt{2}\,l$ //

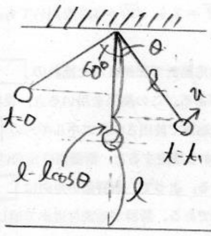
(5) $\theta = \frac{\pi}{3}$ の場合



時刻 t_1 のときの
おもりの速度 $=0$

$\rightarrow d = \frac{\sqrt{3}}{2}l$ //

問2



(6) 最下点と $t=t_1$ 時との
おもりの高さの差は

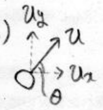
$l - l\cos\theta$

エネルギー保存則より

$mg\frac{l}{2} = \frac{1}{2}mv^2 + mg(l - l\cos\theta)$

$\therefore v = \sqrt{gl(2\cos\theta - 1)}$ //

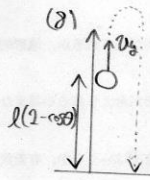
(a)(b)



$\therefore \begin{cases} v_x = v\cos\theta \\ v_y = v\sin\theta \end{cases}$ //

(7) 上図より $l + l - l\cos\theta = l(2-\cos\theta)$ //

(8)



鉛直投げ上げ運動と考える。

$l(2-\cos\theta) = v_y t_{(8)} - \frac{1}{2}gt_{(8)}^2$

$\rightarrow t_{(8)} = \dfrac{v_y \pm \sqrt{v_y^2 + 2gl(2-\cos\theta)}}{g}$

ただし「−」はNG　$\therefore t_{(8)} = \dfrac{v_y + \sqrt{v_y^2 + 2gl(2-\cos\theta)}}{g}$ //

(9)

$v_y = v\sin\theta$, $v = \sqrt{gl(2\cos\theta - 1)}$ を代入

$\rightarrow \sqrt{\frac{l}{g}}\left(\sqrt{2\cos\theta - 1}\cdot\sin\theta + \sqrt{3 + \cos^2\theta - 2\cos^3\theta}\right)$ //

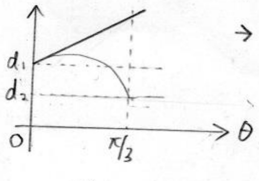
※問3

$\theta = 0$ では $d = d_1 = \sqrt{2}\,l$

$\theta = \frac{\pi}{3}$ では $d = d_2 = \frac{\sqrt{3}}{2}l$　$(d_1 > d_2)$

d_3 において θ の近似をすると $d \fallingdotseq (2\theta + \sqrt{2})l$ となる。

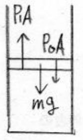
これは θ に対して増加関数である。



→ $0 \sim \frac{\pi}{3}$ のどこかで
極大を向かえ
減少に転じる。

2

問1



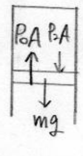
(1) 力のつりあいより $mg + P_0A = P_1A$

∴ $P_1 = P_0 + \frac{mg}{A}$

(2) 理想気体の状態方程式より

$P_1V_{(2)} = nRT_a$ ∴ $V_{(2)} = \frac{nRT_a}{P_1}$

(3)

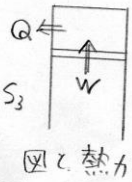


力のつりあいより

$mg + P_2A = P_0A$

∴ $P_2 = P_0 - \frac{mg}{A}$

(4) $T_a > T_b$ である。



定圧変化であることから

$Q_{(4)} = nC_p(T_a - T_b)$

$\Delta U = nC_v(T_b - T_a)$

図て、熱力学第一法則より

$W_{(5)} = \Delta U + Q$

$= -nC_v(T_a - T_b) + nC_p(T_a - T_b)$

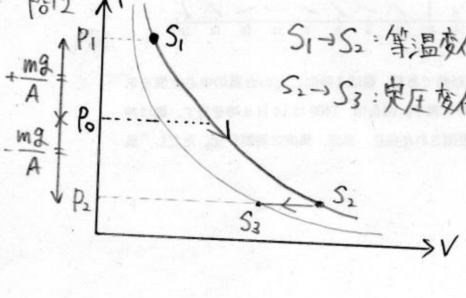
$= n(C_p - C_v)(T_a - T_b)$

∴ $W_{(5)} = nR(T_a - T_b)$ (マイヤーの式より)

(6) $\Delta U = nC_v(T_b - T_a)$

∴ $\Delta U = n(C_p - R)(T_b - T_a)$

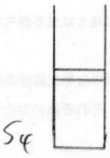
問2



$S_1 \rightarrow S_2$：等温変化

$S_2 \rightarrow S_3$：定圧変化

※問3 断熱変化



S_4の内圧はS_1の内圧と等しい。

($mg + P_0A = P_4A$
$\rightarrow P_4 = P_1$)

断熱変化なので

$P_2 V_{S3}^{\gamma} = P_1 V_{(7)}^{\gamma} \rightarrow V_{(7)} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}} V_{S3}$

ここで気体の状態方程式より (S_3)

$P_2V_{S3} = nRT_b \rightarrow V_{S3} = \frac{nR}{P_2}T_b$

よって $V_{(7)} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot \frac{nR}{P_2}T_b$

S_4時の気体の状態方程式より

$P_1 \cdot V_{(7)} = nRT_{(8)}$

$\rightarrow \frac{P_1}{P_2}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}} T_b = T_{(8)}$

(9)

S_1での温度はT_aなので $T_{(8)} = T_a$ より

$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma} - 1} T_b = T_a$ ∴ $T_b = T_a\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma} - 1}$

(10) 温度は $T_b \rightarrow T_a$ にかわった

∴ $\Delta U_{(10)} = nC_v(T_a - T_b)$

$\boxed{3}$

問1. 図1の破線に注目.

(1) $(V, I) = (1, 0.06)$ を通ること.

オームの法則: $V = IR$ より

$$R_{20} = \frac{V}{I} = \frac{1}{0.06} = 16.6\cdots \fallingdotseq 17\,[\Omega]$$

(2) 理想: 0.24 [A]

現実: 0.16 [A] より.

R_t は R_{20} の $\frac{0.24}{0.16} = 1.5$ [倍] である

※抵抗: 電流の流れにくさの値のコト

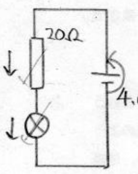
(3)

$$\frac{R_{20}}{R_0} = 1.1. \quad (図2より)$$

$$\frac{R_t}{R_0} = \frac{R_{20}}{R_0}\cdot\frac{R_t}{R_{20}} = 1.1\times1.5 = 1.65 \fallingdotseq 1.7$$

これより 求める温度は 130°

次に…



電位の式より

$$4.0 = 20I + R_{\otimes}I.$$

$\rightarrow R_{\otimes}I = V_{\otimes}$ とおくと

$V_{\otimes} = 4 - 20I$ である

図1の実線と $V_{\otimes}$ が表すグラフの交点に注目する.

交点より $I_{(3)} = 0.1$ [A]

抵抗値 $= \frac{2}{0.1} = 20\,[\Omega]$ である。

(4)

1秒間に $I\cdot V = 0.1\cdot 2 = 0.2$ [J]

のジュール熱を出す。

問2.

(5) $\frac{V}{\ell}$ [V/m]

(6) DからC

(7) 自由電子がうける力 $= e\frac{V}{\ell}$ より.

自由電子がうける加速度 $a = \frac{e}{m}\cdot\frac{V}{\ell}$ である。

その自由電子が T[s] かけて加速するので

$$v_{(6)} = aT = \frac{eV}{m\ell}T$$ となる.

(7) $I = en\bar{v}_{(6)}S = en\frac{1}{2}v_{(6)}S$

$$\therefore I_{(7)} = e^2n\frac{VT}{2m\ell}S$$

(8)

$$R_{(8)} = \frac{V}{I_{(7)}} = \frac{2m\ell}{e^2nTS}$$

(9)

$$\Delta K = \frac{1}{2}mv_{(6)}^2\cdot\frac{1}{T} = \frac{1}{2}\cdot\frac{e^2V^2}{m\ell^2}T$$

(10)

$$J_{(10)} = I_{(7)}V = \frac{e^2nV^2T}{2m\ell}S$$