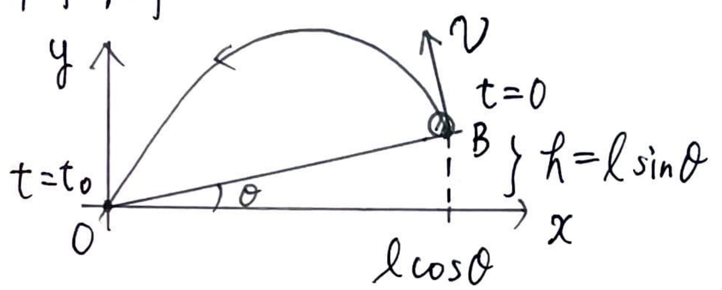
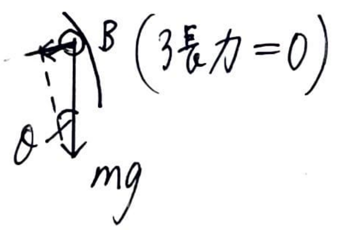
医学部専門予備校　クエスト　解答速報

東京医科大学　物理　　試験日2月8日（水）

第1問





上図のようにx−y軸を設定する。
また、物理量や時刻なども図のようにおく。

運動方程式（以下、EOMと略記）より、

$$m\frac{v^2}{l} = mg\sin\theta \quad \cdots ㋐$$

エネルギー保存則（以下、エネ保と略記）より、

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mgl(1+\sin\theta) \quad \cdots ㋑$$

また、小球が点Oを通ることを定式化すると、

$$\begin{cases} x: & l\cos\theta = v\sin\theta\cdot t_0 \quad \cdots ㋒ \\ y: & 0 = v\cos\theta\cdot t_0 - \frac{1}{2}gt_0^2 + l\sin\theta \quad \cdots ㋓ \end{cases}$$

（あとは数学、物理は終わり）

㋒より、

$$t_0 = \frac{l\cos\theta}{v\sin\theta} \quad \cdots ㋒'$$

㋓に代入して、

$$0 = v\cos\theta\cdot\frac{l\cos\theta}{v\sin\theta} - \frac{1}{2}g\frac{l^2\cos^2\theta}{v^2\sin^2\theta} + l\sin\theta$$

辺々 $2v^2\sin\theta$ 倍して、

$$2v^2\sin\theta\cos^2\theta - gl\cos^2\theta + 2v^2\sin^3\theta = 0$$

ここで、㋐より、

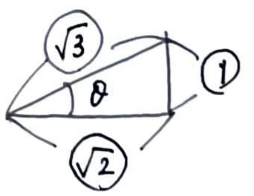
$$v^2 = gl\sin\theta$$

この2式から v^2 を消して、

$$2gl\sin^2\theta\cos^2\theta - gl\cos^2\theta + 2gl\sin^4\theta = 0$$

$$\Longleftrightarrow 2\sin^2\theta(1-\sin^2\theta) - (1-\sin^2\theta) + 2\sin^4\theta = 0$$

$$\therefore \sin\theta = \frac{1}{\sqrt{3}}$$



$$\therefore h = l\sin\theta$$

$$= l\frac{1}{\sqrt{3}}$$

$\boxed{1}$ ⑦

㋐より、$v^2 = gl\sin\theta$

$$= gl\frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{gl}{\sqrt{3}}}$$

$\boxed{2}$ ⑦

㋒′より、$t_0 = \dfrac{l}{v\tan\theta}$

$$= \frac{l}{\sqrt{\frac{gl}{\sqrt{3}}}\frac{1}{\sqrt{2}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2\sqrt{3}\,l}{g}}$$

$\boxed{3}$ ④

㋑より、

$$v_0^2 = v^2 + 2gl(1+\sin\theta)$$

$$= \frac{gl}{\sqrt{3}} + gl\left(1+\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$$

$$\therefore v_0 = \sqrt{(2+\sqrt{3})gl}$$

$\boxed{4}$ ⑤

本試験で最も解きにくかったかも知れない。それは何故か？物理量を自分で設定しなければならなかったからである（本問は、θを設定しなければ手が止まったままで終わったのではないか）。
日頃から、「問題に飼い慣らされる」ことなく自ら様々考えて解いてきた人向きの問題であった（そんな人が何%いることでしょう）。

第2問

問1

EOMより、

$$m(R+H)\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2=\frac{GMm}{(R+H)^2}$$

$$\Leftrightarrow\ (R+H)^3=\frac{GMT^2}{4\pi^2}$$

$$\therefore\ H=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}-R$$

$\boxed{5}$ 11

問2

EOMより、

$$m\frac{V^2}{R+H}=\frac{GMm}{(R+H)^2}$$

$$\therefore\ V^2=\frac{GM}{R+H}$$

$$=\frac{GM}{\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}}\quad(\because 問1)$$

$$=\sqrt[3]{\frac{G^3M^3\cdot 4\pi^2}{GMT^2}}$$

$$=\sqrt[3]{\left(\frac{2\pi GM}{T}\right)^2}$$

$$\therefore\ V=\sqrt[3]{\frac{2\pi GM}{T}}$$

$\boxed{6}$ 10

問3

ケプラー第2法則より、

$$\frac{1}{2}v(R+H)=\frac{1}{2}v_1(R+h)$$

エネ保.より、

$$\frac{1}{2}mv^2-\frac{GMm}{R+H}=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{GMm}{R+h}$$

2式から v^2 を消して、

$$v_1^2\left(\frac{R+h}{R+H}\right)^2-\frac{2GM}{R+H}=v_1^2-\frac{2GM}{R+h}$$

$$\Leftrightarrow\ v_1^2\left\{1-\left(\frac{R+h}{R+H}\right)^2\right\}=2GM\left(\frac{1}{R+h}-\frac{1}{R+H}\right)$$

$$\Leftrightarrow\ v_1^2\,\frac{(R+H)^2-(R+h)^2}{(R+H)^2}=2GM\,\frac{H-h}{(R+h)(R+H)}$$

$$\therefore\ v_1=\sqrt{\frac{2GM(R+H)}{(R+h)(2R+H+h)}}$$

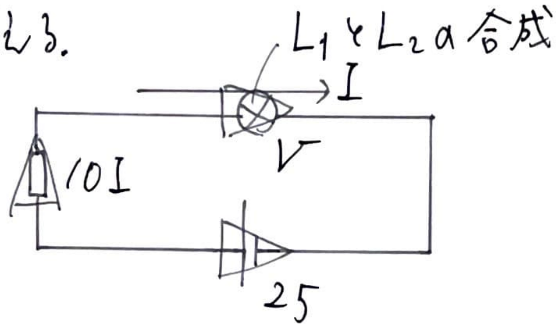
$\boxed{7}$ 7

ひねりも何もないごく普通の問題。完答したい。

第3問

問1

図2,3とも以下のような等価回路を考える。



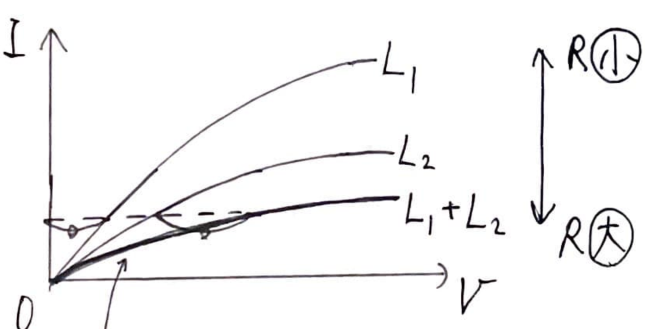
キルヒホッフ第2法則(以下、キ2と略記)より、

$$25 = 10I + V$$

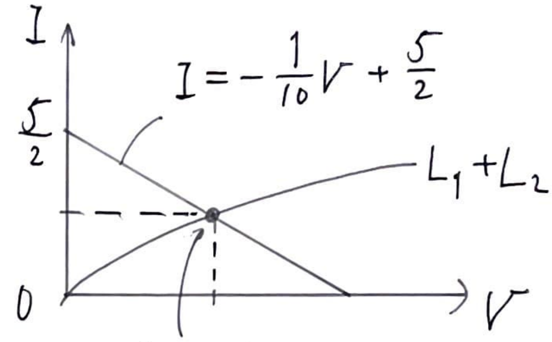
$$\therefore\ I = -\frac{1}{10}V + \frac{5}{2}$$

ここで、L_1とL_2の合成を考える。

・図2は直列つなぎゆえ、電流共通。
また、$I = \frac{1}{R}V$ において Rが大になるゆえ、グラフはL_2よりも下になるはず。



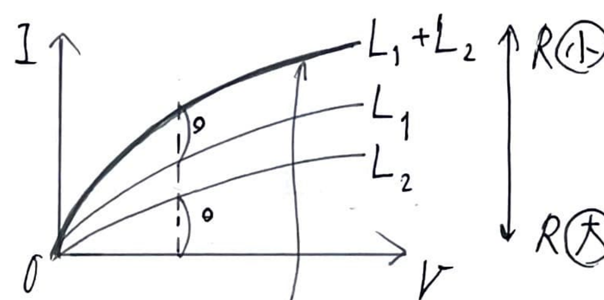
このグラフを描く。
(I共通が手がかり)



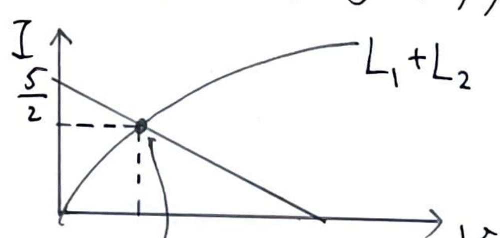
$I = 0.8$A くらい

$\boxed{8}$ ③

・図3は並列つなぎゆえ、電圧共通。
また、$I = \frac{V}{R}$ において Rが小になるゆえ、グラフはL_1よりも上になるはず。



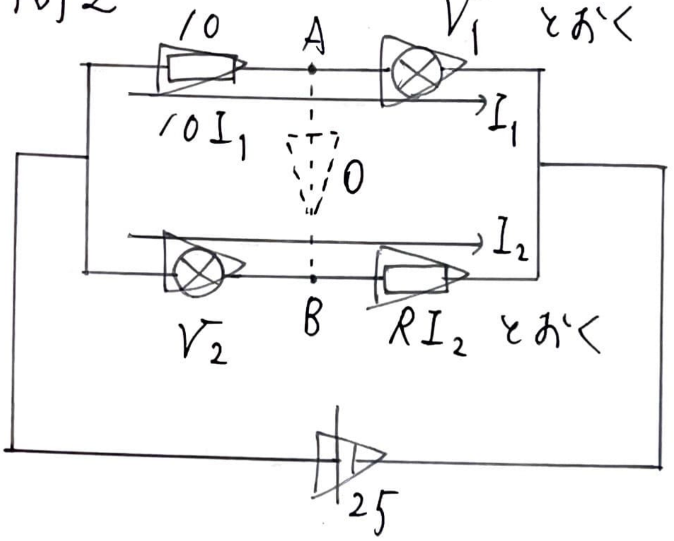
このグラフを描く。
(V共通が手がかり)



$I = 1.75$A くらい

$\boxed{9}$ ⑩

問2



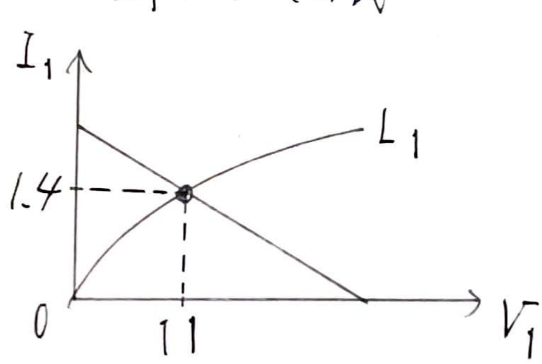
AとBが等電位であることを式化すると、

$$\begin{cases} 10I_1 = V_2 \cdots ㋐ \\ V_1 = RI_2 \cdots ㋑ \end{cases}$$

また、図2より、

$$10I_1 + V_1 = 25 \cdots ㋒$$

$$\therefore \underbrace{I_1 = -\frac{1}{10}V_1 + \frac{5}{2}}_{L_1\text{についての式}}$$



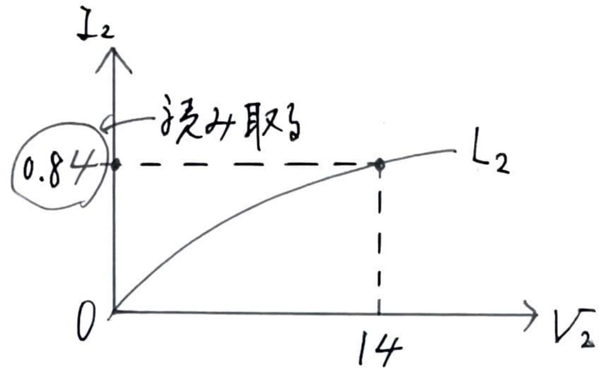
グラフの交点を読み取って、

$V_1 = 11\,\mathrm{V}$, $I_1 = 1.4\,\mathrm{A}$

これらを㋐、㋑に代入して、

$$\underbrace{\begin{cases} V_2 = 14 \\ RI_2 = 11 \end{cases}}$$

L_2についての式（でもある）

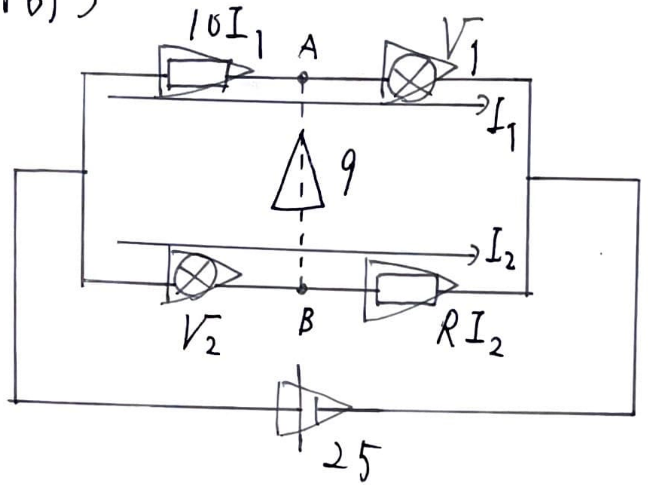


$$R = \frac{V_1}{I_2} = \frac{11}{0.84}$$

$$\approx 13\,\Omega$$

$\boxed{10}$ ⑤

問3



$\phi_B - \phi_A = 9$ V であることを定式化すると（キ2と同じように考えればよい）、

$$\begin{cases} 9 + V_2 - 10I_1 = 0 \cdots \text{エ} \\ V_1 + 9 - RI_2 = 0 \cdots \text{オ} \end{cases}$$

また、キ2より、

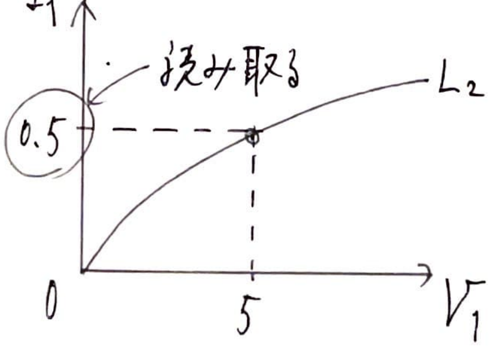
$$10I_1 + V_1 = 25 \cdots \text{ウ}$$

問2と同じゆえ、

$$V_1 = 11\,\text{V},\ I_1 = 1.4\,\text{A}$$

エに代入して、

$$V_2 = 10I_1 - 9$$
$$= 5\,\text{V}$$



オより、

$$R = \frac{V_1 + 9}{I_2}$$
$$= \frac{11 + 9}{0.5}$$
$$= 40\,\Omega$$

$\boxed{11}$ ⑧

問4

エネ保より、

電池の仕事率 ＝ 全消費電力 P

ゆえ、

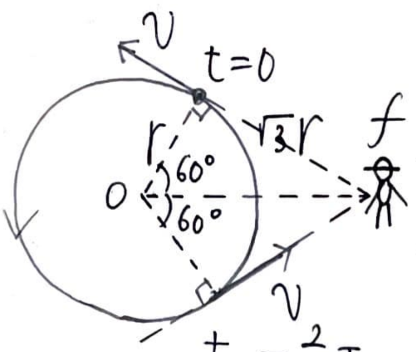
$$P = 25 \times (I_1 + I_2)$$
$$= 25 \times (1.4 + 0.5)$$
$$\approx 48\,\text{W}$$

$\boxed{12}$ ③

問1は、非線形抵抗の仕方を知らないときつかっただろう（何の物理量が共通かと考えて合成できた人がいたとしたら素晴らしい！）。

問2以降は基本レベルであろう。

第4問



$t = \frac{\sqrt{3}r}{V} \equiv t_1$

$t = \frac{2}{3}\tau + \frac{\sqrt{3}r}{V}$

$\equiv t_2$

問1

上図のように物理量や時刻などを設定する。

$\tau = \frac{2\pi r}{v}$

$t_2 - t_1 = 26.8\,s$ ゆえ、

$\left(\frac{2}{3}\tau + \frac{\sqrt{3}r}{V}\right) - \frac{\sqrt{3}r}{V} = 26.8$

$\Leftrightarrow \frac{2}{3}\cdot\frac{2\pi r}{v} = 26.8$

$\therefore v = \frac{2}{3}\cdot\frac{2\times3.14\times100}{26.8}$

$\approx 15.6\,s$

$\boxed{13}$ ⑦

問2

$f_{min} = \frac{V}{V+v}f_0$

$\therefore f_0 = \frac{V+v}{V}f_{min}$

$= \frac{340+15.6}{340}\times676$

$\approx 707\,Hz$ $\boxed{14}$ ⑤

問3

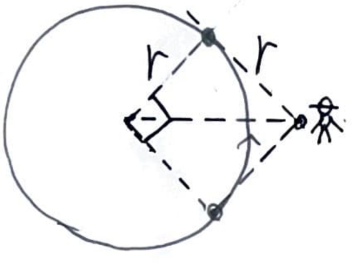
$f_{max} = \frac{V}{V-v}f_0$

$= \frac{340}{340-15.6}\times707$

$\approx 741\,Hz$

$\boxed{15}$ ③

問4



問1と同じように考えて、

$\frac{1}{4}\tau = \frac{1}{4}\times\frac{2\pi r}{v}$

$= \frac{1}{4}\times\frac{2\times3.14\times100}{15.6}$

$\approx 10.1\,s$

$\boxed{16}$ ⑤

定期テストレベルである。完答必須。

第5問

問1

干渉条件より、

$$2nd\cos r=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m=0,1,\cdots)$$

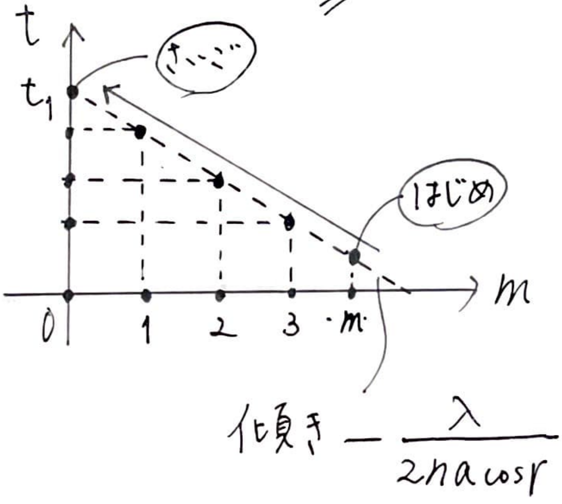
$$\Leftrightarrow 2n(d_0-at)\cos r=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$\therefore t=\frac{4nd_0\cos r-(2m+1)\lambda}{4na\cos r}$$

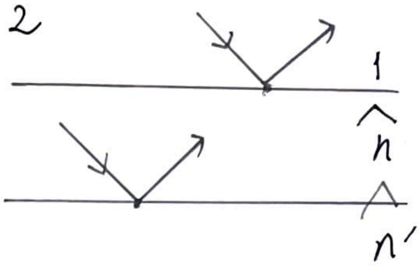
$m=0$として、

$$t_1=\frac{4nd_0\cos r-\lambda}{4na\cos r}$$

$\boxed{17}$ ⑧



問2



反射時に位相のずれなし

干渉条件より、

$$2nd\cos r=m\lambda$$
$$(m=1,2,3,\cdots)$$

($d>0$として考えているので、$m=0$は不適.)

$$\therefore 2n\left(d_0-\frac{a}{2}t\right)\cos r=m\lambda$$

$$\therefore t=\frac{2nd_0\cos r-m\lambda}{na\cos r}$$

$$\therefore t_2=\frac{2nd_0\cos r-\lambda}{na\cos r}\quad(m=1)$$

ここで、問1より、

$$\frac{1}{na\cos r}=\frac{4t_1}{4nd_0\cos r-\lambda}$$

ゆえ、

$$t_2=\frac{4t_1(2nd_0\cos r-\lambda)}{4nd_0\cos r-\lambda}$$

$\boxed{18}$ ⑧

問3

②：×L/n → ○nL

③：×固定端 → ○自由端

$\boxed{19}$ ①と④

薄膜が時間とともに薄くなっていくという、あまり見たことのない内容であった(本大学では珍しいことである)。しかし、やることはいつも通りであり、答えやすい問題ではあっただろう。

第6問

A：$p_0V_0 = nRT_0$ とする.

問1　A→Bは V一定ゆえ、

$$Q_{AB} = \frac{3}{2}nR\Delta T$$
$$= \frac{3}{2}\Delta p \cdot V_0$$
$$= \frac{3}{2}(a-1)p_0V_0$$

$\boxed{20}$ ④

問2　C→Aは P一定ゆえ、

$$\Delta U_{CA} = \frac{3}{2}nR\Delta T$$
$$= \frac{3}{2}p_0\Delta V$$
$$= \frac{3}{2}p_0(1-a)V_0 \quad (<0)$$

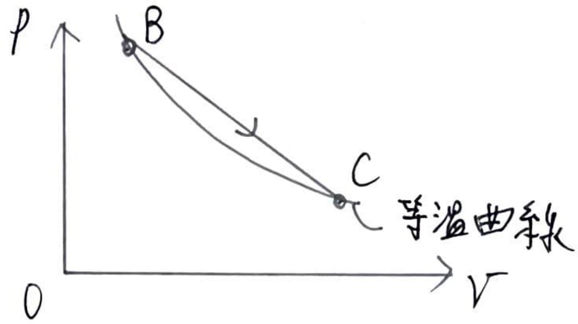
$\boxed{21}$ ③

問3　1サイクルでした仕事＝外部に対してした正味の仕事を求める.

$$W_{正味} = \frac{1}{2}(a-1)^2 p_0V_0$$

$\boxed{22}$ ⑧

問4



$T_B = T_C$ ゆえ、$\Delta U_{BC} = 0$ J

熱力学第1法則より、

$$Q_{BC} = \Delta U_{BC} + W_{BC}^{した}$$

$= 0 +$ 

$$= \frac{1}{2}(a+1)p_0 \cdot (a-1)V_0$$
$$= \frac{1}{2}(a^2-1)p_0V_0$$

$\boxed{23}$ ⑫

なお、B→Cの途中で吸熱から放熱に切り換わる可能性がある. 切り換わるときの体積を V_x とすると、V_x は以下のようになる.

$$V_x = \frac{5(a^2-1)}{8(a-1)}V_0$$
$$= \frac{5}{8}(a+1)V_0 > \frac{5}{4}V_0$$

（「腕に覚えあり」の人は V_x を「公式化」してみよう.）

ここで、V_x と aV_0 の大小をくらべると、

$$V_x - aV_0 = \frac{-3a+5}{8}$$

よって、

$$-3a+5>0 \quad \therefore a<\frac{5}{3}$$

であれば、B→Cは吸熱のみ。

今回は $1<a<\frac{5}{3}$ のつもりで解いた。

問5

$$e=\frac{W_{正味}}{Q_{AB}+Q_{BC}}$$

ここで、$Q_{AB}+Q_{BC}$

$$=\frac{3}{2}(a-1)P_0V_0+\frac{1}{2}(a^2-1)P_0V_0$$

$$=\frac{1}{2}(a-1)(a+4)P_0V_0$$

ゆえ、

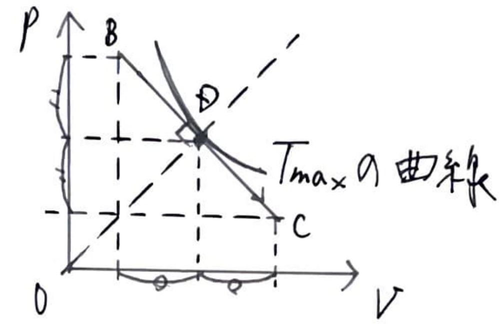
$$e=\frac{\frac{1}{2}(a-1)^2P_0V_0}{\frac{1}{2}(a-1)(a+4)P_0V_0}$$

$$=\frac{a-1}{a+4}$$

$\boxed{24}$ ⑧

基本レベル。完答したい。

問6



状態方程式より、

$$\begin{cases} D: \frac{a+1}{2}P_0\cdot\frac{a+1}{2}V_0=nRT_{max} \\ A: \quad P_0V_0=nRT_0 \end{cases}$$

辺々わって、

$$T_{max}=\left(\frac{a+1}{2}\right)^2T_0$$

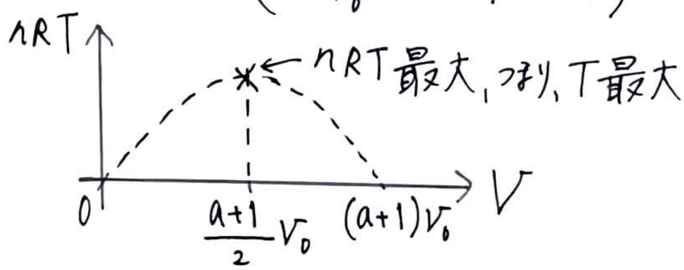
$\boxed{25}$ ⑪

or

$$\begin{cases} 直線AB: P=-\frac{P_0}{V_0}(V-V_0)+aP_0 \\ また、PV=nRT \end{cases}$$

2式からPを消して、

$$nRT=\left(-\frac{P_0}{V_0}(V-V_0)+aP_0\right)V$$



$V=\frac{a+1}{2}V_0$ のとき、

$$P=-\frac{P_0}{V_0}\left(\frac{a+1}{2}V_0-V_0\right)+aP_0$$

$$=\frac{a+1}{2}P_0$$

～→ あとは同じ

第7問

問1

① $\underbrace{h\nu = K_{max} + W}$

光の強さ（光子数に比例する）とは無関係の式

$\boxed{26}$ ①

問2

光電方程式より、

$$h\nu = eV_0 + W \cdots (*)$$

$$\therefore V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e}$$

また、グラフより、

$$V_0 = \frac{7}{1.7}\nu - \frac{7}{1.7}\times 1.26$$

この2式を比較して、

$$\frac{W}{e} = \frac{7}{1.7}\times 1.26$$

$$\approx 5.2\ \mathrm{eV}$$

$\boxed{27}$ ⑥

問3

(a) $h\nu = eV_0 + W\ [\mathrm{J}]$

$$\frac{h\nu}{e} = V_0 + \underbrace{\frac{W}{e}}_{1.9\mathrm{V}}\ [\mathrm{V}]$$

$$\therefore V_0 = \frac{6.6\times10^{-34}\times 8\times10^{14}}{1.6\times10^{-19}} - 1.9$$

$$\approx 1.4\ \mathrm{V}$$

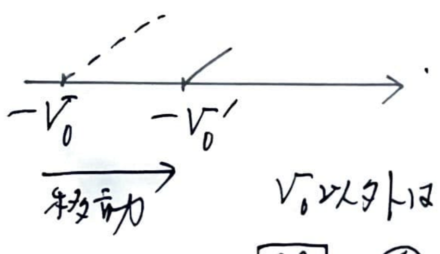
$\boxed{28}$ ①

(b) $(*)$より、

$$V_0 = \frac{h\nu - W}{e}$$

$\frac{h\nu}{e}$ 一定

W大でV₀小



V_0以外は不変

$\boxed{29}$ ④

基本レベル。数値計算も大したことないので完答したい。

第8問

問1 ②

$$\begin{cases} m\dfrac{v^2}{r} = \dfrac{ke^2}{r^2} \\ E = \dfrac{1}{2}mv^2 - \dfrac{ke^2}{r} \end{cases}$$

この2式から、

$$E = \frac{1}{2}\frac{ke^2}{r} - \frac{ke^2}{r} = -\frac{ke^2}{2r}$$

つまり、$E : K : U = -1 : 1 : -2$

$$\therefore K/U = -2$$

④ 原子核 → 不要

散乱される ⟶ 吸収される

$\boxed{30}$ ①と③

問2

振動数条件より、

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} \quad [\mathrm{J}] \quad \cdots ㊟$$

$$\Leftrightarrow (E_n - E_i) \times e = \frac{hc}{\lambda}$$
$$(i = 1, 2)$$

$\lambda = 3 \times 10^{-7}$ m は紫外線ゆえ、$i = 1$として、

$$(E_n - E_1) \times e = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\therefore E_n = E_1 + \frac{hc}{e\lambda}$$
$$= -13.6 + \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{1.6 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^{-7}}$$
$$\approx -9.47\ \mathrm{eV}$$

ところが、これを満たす E_n はない。

ゆえに、$i = 2$ で考えればよい。

㊟より、 $\lambda = \dfrac{hc}{\Delta E}$

$$\therefore \underbrace{3.8 \times 10^{-7}}_{\text{可視光ゆえ}} < \frac{hc}{(E_n - E_2)e} < 5.0 \times 10^{-7}$$

$$\Leftrightarrow -0.945 < E_n < -0.163$$

表1より、この範囲内にあるのは、

E_4, E_5, E_6

の3つである。つまり、本数は3本

$\boxed{31}$ ④

内容は基本的なものであるが、問2の数値計算はやや面倒であり、手が回らなかったかも知れない。