

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7日(水)

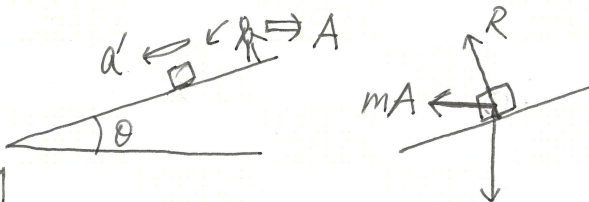


第1問

小物体をどこから見るか?

本問解答では「台Wから見る」「床から見る」の2視点で見える。

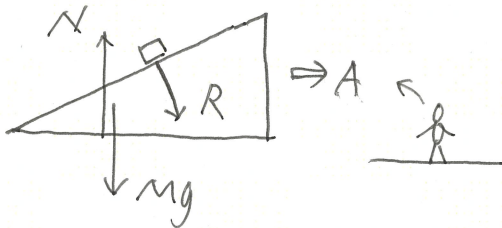
<台Wから見る>



内1

運動方程式(以下、EOM.と略記)を立てると、

$$\begin{cases} ma' = mg \sin \theta + mA \cos \theta \quad \dots \textcircled{4} \\ 0 = R + mA \sin \theta - mg \cos \theta \quad \dots \textcircled{5} \end{cases}$$



$$\begin{cases} MA = R \sin \theta \quad \dots \textcircled{3} \\ 0 = N - Mg - R \cos \theta \quad \dots \textcircled{2} \end{cases}$$

③より、 $A = \frac{R \sin \theta}{M}$

これを⑤に代入し、

$$R + m \frac{R \sin \theta}{M} \sin \theta = mg \cos \theta$$

$$\therefore R = \frac{mMg \cos \theta}{M + m \sin^2 \theta} \quad [N]$$

③

これを②に代入し、

$$N = \frac{(M+m)Mg}{M + m \sin^2 \theta} \quad [N]$$

② ⑤

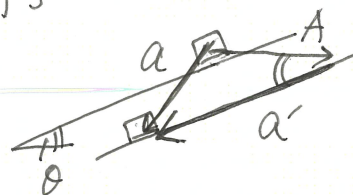
内2

③にRの値を代入し、

$$A = \frac{\sin \theta}{M} \cdot \frac{mMg \cos \theta}{M + m \sin^2 \theta} \quad [m/s^2]$$

③ ⑩

内3



等速運動より上図がかけ、余弦定理より、

$$\cos \theta = \frac{a'^2 + A^2 - a^2}{2a'A}$$

$$a = \sqrt{a'^2 + A^2 - 2AA' \cos \theta}$$

∴
1

$$a' = A \cos \theta + g \sin \theta$$

$$= \frac{mg \sin \theta \cos^2 \theta}{M + m \sin^2 \theta} + g \sin \theta$$

$$= \frac{m \cos^2 \theta + M + m \sin^2 \theta}{k} g \sin \theta$$

$$= \frac{M + m}{k} g \sin \theta$$

∴
2

$$a \cdot \sqrt{a \cdot a} = \frac{(M + m)^2 g^2 \sin^2 \theta}{k^2} + \frac{m^2 g^2 \sin^2 \theta \cos^2 \theta}{k^2} - 2 \frac{(M + m) g \sin \theta \cdot mg \sin \theta \cdot \cos^2 \theta}{k^2}$$

$$= \frac{g^2 \sin^2 \theta}{k^2} \{ M^2 + 2Mm + m^2 + m^2 \cos^2 \theta - 2(M + m)m \cos^2 \theta \}$$

$$= \frac{g^2 \sin^2 \theta}{k^2} \{ M^2 + m^2(1 - \cos^2 \theta) + 2Mm(1 - \cos^2 \theta) \}$$

$$= \frac{g^2 \sin^2 \theta}{k^2} \{ M^2 + m \sin^2 \theta (m + 2M) \}$$

(何か何か大変)

[4] ④

問4



$$\frac{h}{\sin \theta} = \frac{1}{2} a' t^2$$

$$\therefore t = \sqrt{\frac{2h}{a' \sin \theta}}$$

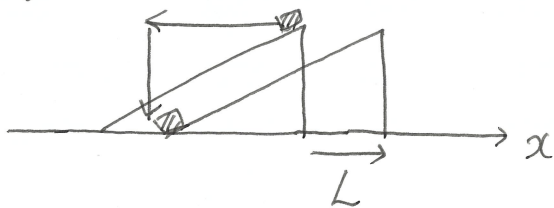
$$\therefore V = At$$

$$= \frac{mg \sin \theta \cos \theta}{k} \sqrt{\frac{k \cdot 2h}{(M + m)g \sin \theta \cdot \sin \theta}}$$

$$= \sqrt{\frac{2m^2 g h \cos^2 \theta}{k(M + m)}} \quad [m/s]$$

[5] ⑧

問5



$$\begin{cases} \text{台: } L = \frac{1}{2} A t^2 \\ \text{小: } \frac{h}{\sin \theta} = \frac{1}{2} a' t^2 \end{cases}$$

辺々消して、

$$\begin{aligned} L &= \frac{h}{\sin \theta} \frac{A}{a'} \\ &= \frac{h}{\sin \theta} \frac{mg \sin \theta \cos \theta}{(M+m)g \sin \theta} \\ &= \frac{m \cos \theta}{(M+m) \sin \theta} h \text{ [m]} \end{aligned}$$

⑥ ⑨

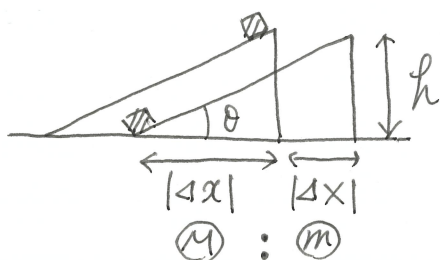
or

• 水平方向に外力なし

⇒ 運動量保存則成立

$$m \frac{\Delta x}{\Delta t} + M \frac{\Delta X}{\Delta t} = 0 \text{ (右向き正)}$$

$$\therefore |\Delta x| : |\Delta X| = M : m$$



④ : ⑤

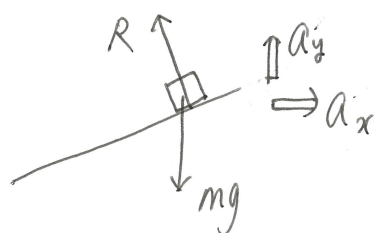
束縛条件より、

$$|\Delta x| + |\Delta X| = \frac{h}{\tan \theta}$$

④ : ⑤

この2式から $|\Delta x|$ と消して $|\Delta X|$ と求めればよい。

<床から見る>



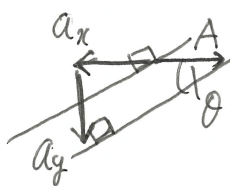
$$\begin{cases} m a_x = -R \sin \theta \\ m a_y = R \cos \theta - mg \end{cases}$$

x, y 軸の向きに合わせておくとこのような加速度になるが、小物体の動きを考えれば以下の設定がよさそう。

$$a_x \leftarrow \downarrow a_y$$

$$\begin{cases} m a_x = R \sin \theta \dots \textcircled{a} \\ m a_y = mg - R \cos \theta \dots \textcircled{b} \end{cases}$$

束縛条件より、



$$\tan \theta = \frac{a_y}{a_x + A} \dots \textcircled{c}$$

$$\therefore \tan \theta = \frac{g - \frac{R \cos \theta}{m}}{\frac{R \sin \theta}{m} + \frac{R \sin \theta}{M}} \quad (\because \textcircled{3} \textcircled{4} \textcircled{5})$$

$$\Leftrightarrow \frac{M+m}{mM} R \sin \theta \cdot \tan \theta = \frac{mg - R \cos \theta}{m}$$

$$\times mM \cos \theta$$

$$(M+m) R \sin^2 \theta = mMg \cos \theta - MR \cos^2 \theta$$

$$\therefore R = \frac{mMg \cos \theta}{M + m \sin^2 \theta} \equiv k$$

[1]

問3

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \text{ を求めたい。}$$

$\Rightarrow \textcircled{6}$ と $\textcircled{7}$ に R の値を代入する

$$\begin{aligned} \textcircled{6} \text{ より、} a_x &= \frac{R \sin \theta}{m} \\ &= \frac{Mg \cos \theta \sin \theta}{k} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{7} \text{ より、} a_y &= g - \frac{R \cos \theta}{m} \\ &= g - \frac{Mg \cos^2 \theta}{k} \\ &= \frac{(M+m)g \sin^2 \theta}{k} \end{aligned}$$

よって、

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{k} \sqrt{(Mg \cos \theta \sin \theta)^2 + ((M+m)g \sin^2 \theta)^2} \\ &= \frac{g \sin \theta}{k} \sqrt{M^2 \cos^2 \theta + (M^2 + 2mM + m^2) \sin^2 \theta} \\ &= \frac{g \sin \theta}{k} \sqrt{M^2 + m(2M+m) \sin^2 \theta} \end{aligned}$$

[4]

問4

$$V = At$$

ここで、

$$h = \frac{1}{2} a_y t^2$$

$$\therefore t = \sqrt{\frac{2h}{a_y}}$$

ゆえ、

$$\begin{aligned} V &= \frac{mg \sin \theta \cos \theta}{k} \sqrt{\frac{k}{(M+m)g \sin^2 \theta} \cdot 2h} \\ &= \sqrt{\frac{m^2 g \cos^2 \theta \cdot 2h}{k(M+m)}} \end{aligned}$$

[5]

典型問題だから解き切るのは難しい。

多くの人は問3以降解けなかったのでは
ないだろうか。

(15分程度で解き切れなかったら、演習
不足・理解不足である。)

第2問

問1

$$\begin{cases} \lambda = 2L \\ V = \sqrt{\frac{mg}{\rho}} \end{cases}$$

より、

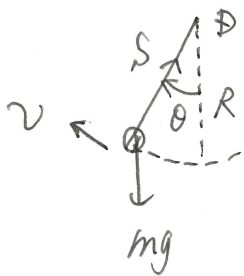
$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{V}{\lambda} \\ &= \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{mg}{\rho}} \text{ [Hz]} \end{aligned}$$

7 ⑤

問2

おもり E は円運動する

⇒ $\begin{cases} \text{EOM.} \\ \text{エネルギー保存則} \end{cases}$ の立式



$$\begin{cases} m \frac{v^2}{R} = S - mg \cos \theta \\ -mgR \cos \theta_0 = \frac{1}{2}mv^2 - mgR \cos \theta \end{cases}$$

(重力による位置エネルギーの基準点を D とした)

この2式から mv^2 を消去し、

$$S = mg(3 \cos \theta - 2 \cos \theta_0)$$

$$\begin{aligned} \therefore f &= \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{mg}{\rho} (3 \cos \theta - 2 \cos \theta_0)} \\ &= f_0 \sqrt{3 \cos \theta - 2 \cos \theta_0} \text{ [Hz]} \end{aligned}$$

8 ⑧

問3

問2より、

$$f \text{ は } \begin{cases} \theta = 0^\circ \text{ で最大} \\ \theta = \theta_0 \text{ で最小} \end{cases}$$

$$\therefore \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \sqrt{\frac{3 - 2 \cos \theta_0}{\cos \theta_0}} = 1.1$$

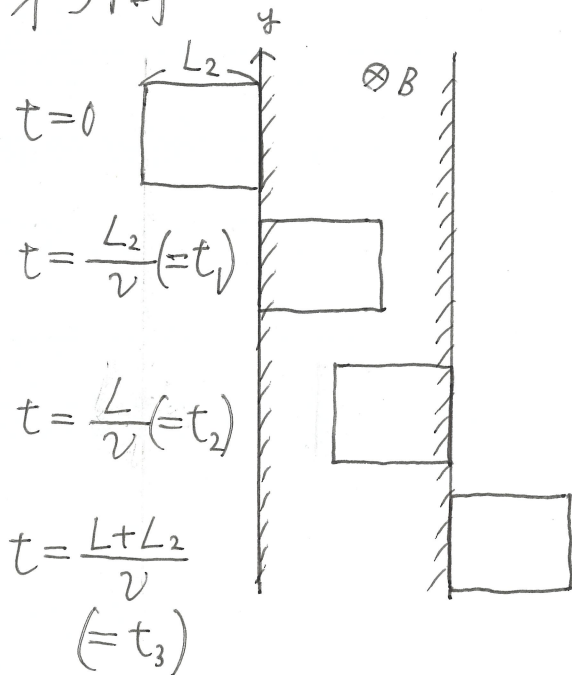
$$\therefore \cos \theta_0 = \frac{3}{3.21}$$

$$\approx 0.934 \dots$$

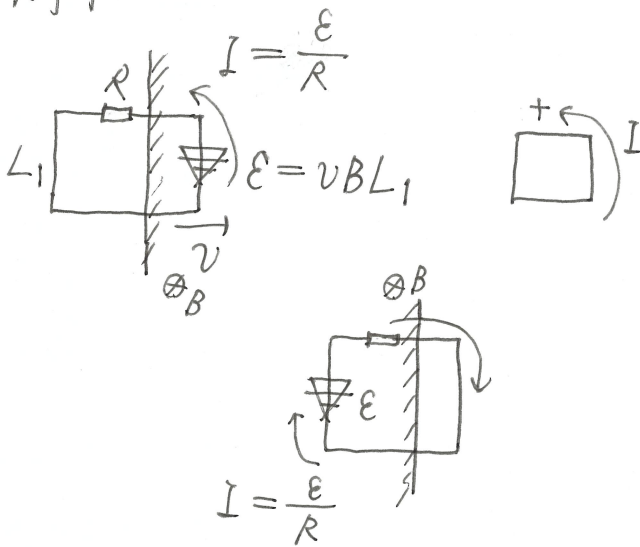
9 ③

全問解くべきレベル。

問3 問



問1



7777は ⑦
 10

問2

$$F = L_1 I B$$

$$= L_1 \frac{vBL_1}{R} B \text{ [N]}$$

11 ⑪

問3

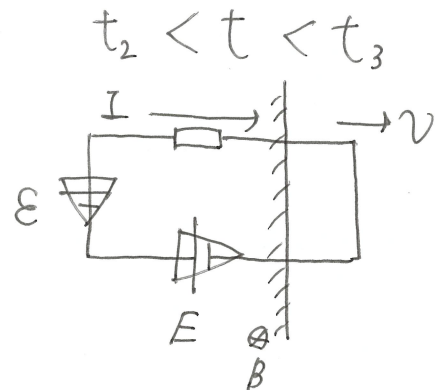
外力がはたしている時間は $0 \sim t_1$ と $t_2 \sim t_3$. この間にコイルは $2L_2$ 進むので、

$$W_{\text{外}} = F \cdot 2L_2$$

$$= \frac{v(BL_1)^2}{R} \cdot 2L_2 \text{ [J]}$$

12 ⑦

問4



$$I = \frac{\varepsilon + E}{R}$$

$$= \frac{vBL_1 + E}{R}$$

$$\therefore P = RI^2$$

$$= \frac{(vBL_1 + E)^2}{R} \text{ [W]}$$

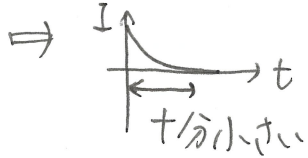
13 ⑩

問5

(この数値で最良の図いてはないだろうか)

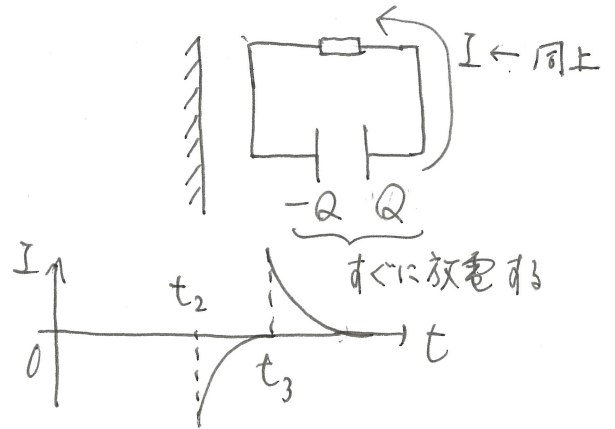
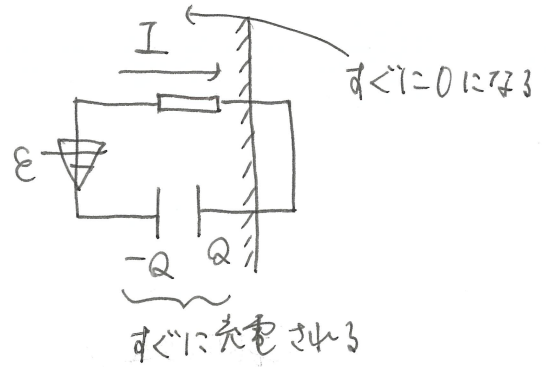
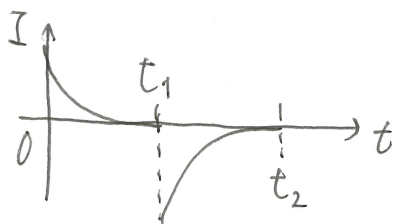
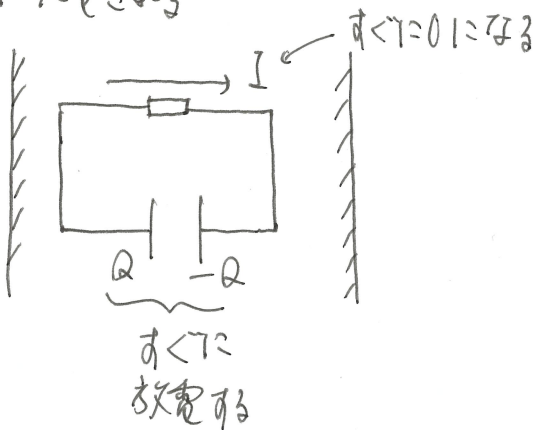
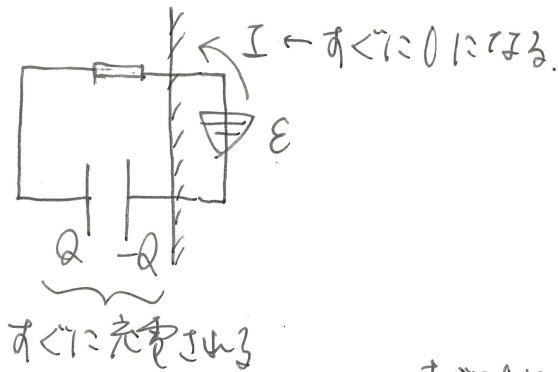
- コンデンサーはすぐに充電される

⇒ 放電もまた早い



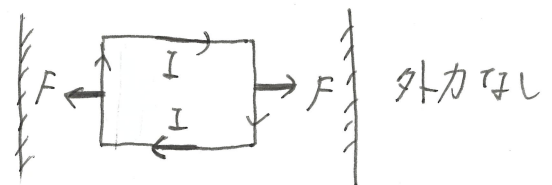
⇒ I はすぐに 0 になる

⇒ ⑩ ~ ⑯ のいずれか

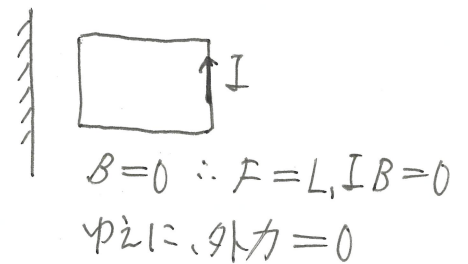


以上から、⑭ ⑮

- $F = L_1 I B$ を調べ、外力を求めよう。



⇒ $t_1 < t < t_2$ では 外力 = 0



⇒ $t_3 < t$ では 外力 = 0

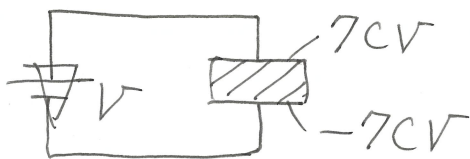
以上から、⑮ ⑩

問4 問

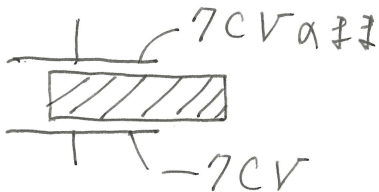
$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$= \frac{\epsilon_0 \times (1 \times 10^{-1})^2}{1 \times 10^{-2}}$$

$$= \epsilon_0 [F]$$



↓ SOFF



問1

$$C_0 = \frac{C}{3} + \frac{2}{3} C \times 7$$

$$= 5C$$

$$= 5\epsilon_0 [F]$$

16 ①

問2

$$V_0 = \frac{7C}{5C}$$

$$= 1.4 V [V]$$

17 ③

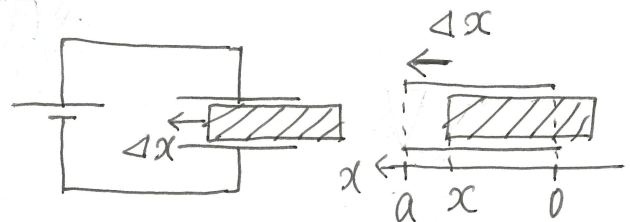
問3

$$U_0 = \frac{1}{2} \cdot 5C V_0^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 5C \left(\frac{7}{5} V\right)^2$$

$$= 4.9 \epsilon_0 V^2 [J]$$

18 ③



問4

$$\Delta Q = \Delta C \cdot V$$

∴

$$C = \frac{\epsilon_0 (a-x)a}{d} + \frac{7\epsilon_0 ax}{d}$$

$$\therefore \Delta C = -\frac{\epsilon_0 a \Delta x}{d} + \frac{7\epsilon_0 a \Delta x}{d}$$

$$= \frac{6\epsilon_0 a \Delta x}{d}$$

$$= 60 \epsilon_0 \Delta x$$

φin、

$$\Delta Q = 60 \epsilon_0 V \Delta x \text{ [C]}$$

19 12

問5

$$\Delta U = \frac{1}{2} \Delta Q \cdot V$$

問4

$$= 30 \epsilon_0 V^2 \Delta x \text{ [J]}$$

20 6

問6

エネルギー保存則:

$$\Delta U + H = W_{\text{電場}} + W_{\text{外力}}$$

より、

$$W_{\text{外力}} = \Delta U - W_{\text{電場}}$$

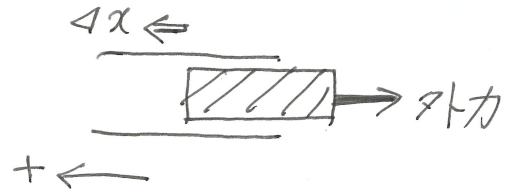
$$= -30 \epsilon_0 V^2 \Delta x$$

$$\therefore F' = \frac{W_{\text{外力}}}{\Delta x}$$

$$= -30 \epsilon_0 V^2 < 0$$

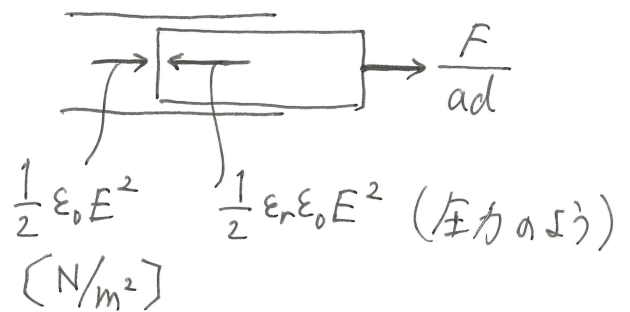
$$\therefore F = |F'| = 30 \epsilon_0 V^2 \text{ [N]}$$

21 6



or

次のように解いている人もいるかも
知らない(マクスウェル応力).



運動方程式を立て、

$$0 = \frac{1}{2} \epsilon_r \epsilon_0 E^2 - \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 - \frac{F}{ad} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

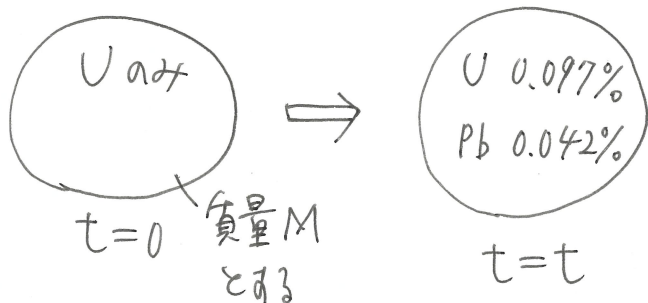
$$\therefore F = \frac{1}{2} (\epsilon_r - 1) \epsilon_0 \left(\frac{V}{d} \right)^2 ad$$

$$= \frac{1}{2} (7-1) \epsilon_0 \frac{a}{d} V^2$$

$$= 30 \epsilon_0 V^2 \text{ [N]}$$

時間的に全問解くのは難しいかも
知らないが、内容は定期テストレベル
である。

問5



$$\begin{cases} N_U = M \times \frac{0.097}{100} \times \frac{1}{238} \times N_A \quad \square \\ N_{Pb} = M \times \frac{0.042}{100} \times \frac{1}{206} \times N_A \quad \square \end{cases}$$

アボガドロ数

$$\therefore \frac{N_{Pb}}{N_U} = \frac{\frac{0.042}{206}}{\frac{0.097}{238}}$$

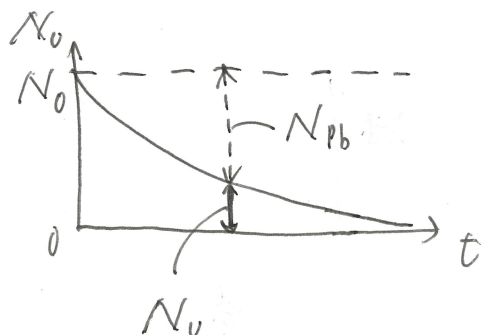
$$\approx 0.50$$

22

3

問2

$$N_U = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$



$$N_{Pb} = N_0 - N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

$$\frac{N_{Pb}}{N_U} = \frac{N_0 \left\{ 1 - \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \right\}}{N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}} = 0.50$$

$$\Leftrightarrow 2 \left\{ 1 - \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \right\} = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

$$\Leftrightarrow 3 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} = 2$$

$$\Leftrightarrow \log \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} = \log \frac{2}{3}$$

$$\Leftrightarrow \frac{t}{T} \log 2 = \log 3 - \log 2$$

$$\therefore t = \frac{\log 3 - \log 2}{\log 2} T$$

$$= 25.9 \dots \text{億年}$$

23

9

定期テストレベル。

第6問

問1

ポアソンの式: $PV^\gamma = \text{一定}$
 状態方程式: $PV = nRT$
 (EOS)

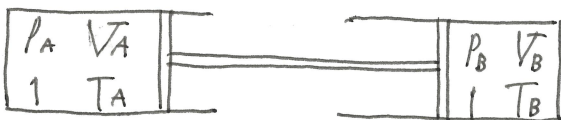
辺々わけて、

$$V^{\gamma-1} = \frac{\text{一定}}{nRT}$$

$$\therefore TV^{\gamma-1} = \text{一定}$$

24 (11)

問2



大気圧 P_0 とおす

• ピストンについてのEOM.より、

$$0 = P_A S - P_B S + P_0 S - P_0 S \dots (a)$$

• 束縛条件より、

$$V_A + V_B = 3V \dots (i)$$

• A: $T_A V_A^{\gamma-1} = T V^{\gamma-1} \dots (b)$

• B: $T_B V_B^{\gamma-1} = T (2V)^{\gamma-1} \dots (c)$

• EOS.より、

$$\begin{cases} A: P_A V_A = R T_A \dots (a) \\ B: P_B V_B = R T_B \end{cases}$$

(&とは腕力. なかなか大変!)

(a) より、 $P_A = P_B$

(a) に代入し、辺々わけて、

$$\frac{V_A}{V_B} = \frac{T_A}{T_B} \dots (a')$$

$$\frac{(b)}{(c)}: \frac{T_A}{T_B} \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{\gamma-1} = \frac{1}{2^{\gamma-1}}$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^\gamma = \frac{1}{2^{\gamma-1}} (\because (a'))$$

$$\therefore V_A = 2^{-\frac{\gamma-1}{\gamma}} V_B$$

(i) に代入して、

$$\left(2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} + 1 \right) V_B = 3V$$

$$\therefore V_B = \frac{3}{2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} + 1} V \text{ [m}^3\text{]}$$

26 (7)

よって、

$$V_A = 2^{\frac{1-r}{r}} V_B$$

$$= 2^{\frac{1-r}{r}} \frac{3}{2^{\frac{1-r}{r}} + 1} V$$

$$= \frac{3}{1 + \frac{1}{2^{\frac{1-r}{r}}}} V$$

$$= \frac{3}{1 + 2^{\frac{r-1}{r}}} V \text{ [m}^3\text{]}$$

[25] ⑪

$$= \left(\frac{2^{\frac{1}{r}} + 2}{3} \right)^{r-1} T \text{ [K]}$$

[27]

①

向2で6本の式も立てるのは大変だったろう。立てたとしてもその処理も大変である。向3まで解けたといえ十分素晴らしい。

向4

(向2,3の向いてどういふ、と思ひますね)

①に V_A の値を代入して、

$$T_A = \left(\frac{V}{V_A} \right)^{r-1} T$$

$$= \left(\frac{1 + 2^{\frac{r-1}{r}}}{3} \right)^{r-1} T \text{ [K]}$$

②に V_B の値に代入して、

$$T_B = \left(\frac{2V}{V_B} \right)^{r-1} T$$

$$= \left(\frac{2(2^{\frac{1-r}{r}} + 1)}{3} \right)^{r-1} T$$

向3向

向4までは難なく解けるだろう。

向5は少し難しかったと思われる。

(この向5は、この数年の本大学の問題の中で最良ではないだろうか。)

解けた人は精進庵に考えられる人である。