

医学部専門予備校 クエスト 解答速報

日本大学（2期）1次 物理 試験日 3月4日（月）



I

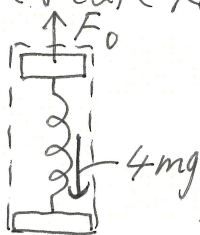
(1) Aについて運動方程式(以下、EOMと略記)を立て、

$$0 = kd - mg$$

$$\therefore k = \frac{mg}{d}$$

1 ①

(2) 全体とまとめて見る。



EOMより、

$$0 = F_0 - 4mg$$

$$\therefore F_0 = 4mg$$

2 ②

(3) のびと x とする。

BについてEOMを立てると、

$$0 = F_0 - kx - mg$$

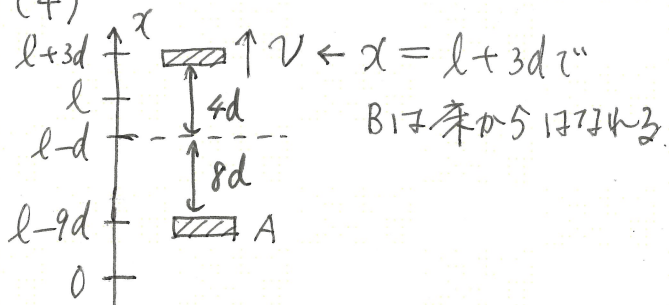
$$\therefore x = \frac{F_0 - mg}{k}$$

$$= \frac{3mg \cdot d}{kd}$$

$$= 3d \quad (\because kd = mg)$$

3 ⑤

(4)



エネルギー保存則(以下、E-保と略記)より、

$$\frac{1}{2} k(8d)^2 = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k(4d)^2$$

$$\therefore v = 4\sqrt{3gd}$$

4 ⑤

II

$$(1) \rho = \frac{\text{質量}}{\text{体積}}$$

$$= \frac{hW}{V_0}$$



$$(2) PV = nRT$$

$$= \frac{PV}{W} RT \quad ((1) \text{において、} V_0 \rightarrow V \text{ とした})$$

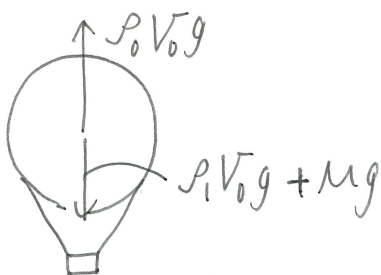
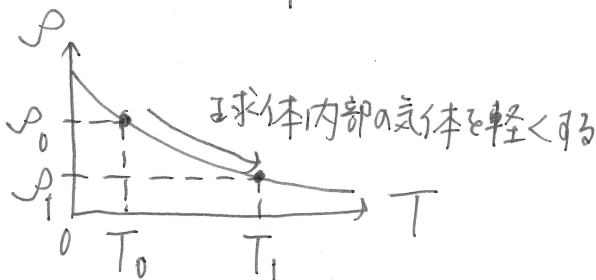
$$\therefore \frac{PT}{P} = \frac{W}{R} = (\text{一定}) \dots \textcircled{*}$$



(3) $\textcircled{*}$ より、

$$\frac{P_0 T_0}{P_0} = \frac{P_1 T_1}{P_0}$$

$$\therefore T_1 = \frac{P_0}{P_1} T_0$$



EOM より、

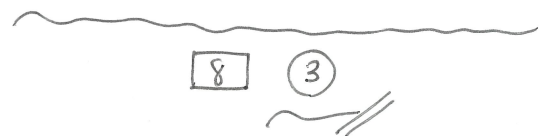
$$0 = \rho_0 V_0 g - (\rho_1 V_0 g + Mg)$$

$$\therefore \rho_1 V_0 = \rho_0 V_0 - M$$

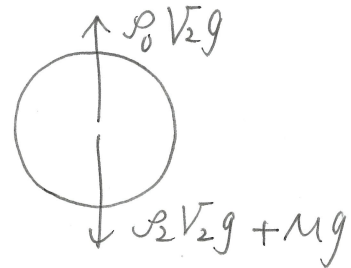
より、

$$T_1 = \frac{\rho_0 V_0}{\rho_1 V_0} T_0$$

$$= \frac{\rho_0 V_0}{\rho_0 V_0 - M} T_0$$



(4)



EOM. より、

$$0 = \rho_0 V_2 g - (\rho_2 V_2 g + Mg)$$

より、球体中の気体の質量は不変で、

$$\rho_0 V_0 = \rho_2 V_2 \dots \textcircled{2}$$

この2式から、

$$0 = \rho_0 V_2 - (\rho_0 V_0 + M) \dots \textcircled{1}$$

$$\therefore V_2 = V_0 + \frac{M}{\rho_0} > V_0$$



• 図 1

温度を上げることで (○) 内の気体を軽くする。(V は不変ゆえ浮力は不変。) したがって、熱気球は浮く

$$\rho_0 V_0 g > \rho_0 V_0 g + Mg$$

↑
浮力 こと小さくする
(不変)

図 2

(○) 内の気体は軽くできない。つまり、「熱気球の質量 + (○) 内の気体の質量」は不変。これを浮かせるためには V を大きくし、浮力を大きくするしかない。

$$\rho_0 V_2 g > \rho_0 V_0 g + Mg$$

↑ 不変
こと大きくする

(5) ⊗ より、

$$\frac{\rho_0 T_0}{P_0} = \frac{\rho_2 T_2}{P_0}$$

$$\therefore T_2 = \frac{\rho_0}{\rho_2} T_0$$

$$= \frac{\rho_0 V_2}{\rho_2 V_2} T_0$$

$$= \frac{\rho_0 V_0 + M}{\rho_0 V_0} T_0 (\because \textcircled{7} \textcircled{1})$$

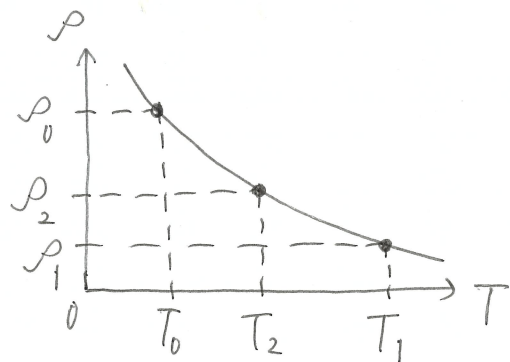
10 5 //

$$\begin{cases} T_1 = \frac{\rho_0 V_0}{\rho_0 V_0 - M} T_0 \\ T_2 = \frac{\rho_0 V_0 + M}{\rho_0 V_0} T_0 \end{cases}$$

より、

$$\begin{aligned} T_2 - T_1 &= \frac{(a+M)(a-M) - a^2}{a(a-M)} T_0 \\ &= - \frac{M^2}{a(a-M)} T_0 < 0 \\ &\quad (a \equiv \rho_0 V_0) \end{aligned}$$

$$\therefore T_2 < T_1$$



したがって、開口部を閉じておき低い温度で上昇せよめ5れることが分かる。

定期テストレベルである。

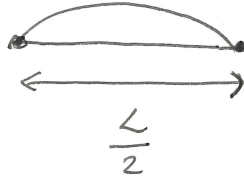
III

$$(1) \quad \frac{\lambda}{2} = L$$

$$\therefore \lambda = 2L$$

[11]

⑤



$$(2) \quad v = \sqrt{\frac{mg}{\rho}}, \quad \lambda = 2L \text{ 中}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{mg}{\rho}}$$

[12]

⑥

$$(3) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{3弦: } v = \sqrt{\frac{m'g}{\rho}} = f' \cdot 2L \dots \textcircled{P} \\ \text{気柱: } v = f' \cdot \lambda \dots \textcircled{Q} \end{array} \right.$$

f' は両方で共通

• A, B の振動で適当なのは、
イとエ, キとケ

$$\textcircled{P} \text{ より, } f' = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{m'g}{\rho}}$$

m' 大で f' 大

$$\therefore m' = \frac{9}{2} m \text{ かつ } f' \text{ 大}$$

このとき、①より波長入は①

上記を満たす組み合わせはイとケのみ。5

[13]

④

$$(4) \quad m' = 2m \text{ かつ}$$

$$\textcircled{P} \Rightarrow \sqrt{\frac{2mg}{\rho}} = f' \cdot 2L$$

$$\textcircled{Q} \Rightarrow v = f' \cdot \frac{2L}{\uparrow}$$

図イより

上記より、

$$v = \frac{L}{L} \sqrt{\frac{2mg}{\rho}}$$

[14]

②

$$(5) \quad m' \text{ 大で } f' \text{ 大} \therefore \lambda \text{ 小}$$

(3) の図を用いると、

イ → ケ → エ
④ → ⑧ → ④
の順で共鳴する

$$\textcircled{P} \Rightarrow \sqrt{\frac{m'g}{\rho}} = f' \cdot 2L$$

$$\textcircled{Q} \Rightarrow v = f' \cdot \frac{L}{\uparrow}$$

上記より、

$$\sqrt{\frac{m'g}{\rho}} \cdot \frac{L}{L} \sqrt{\frac{\rho}{2mg}} = \frac{2L}{L}$$

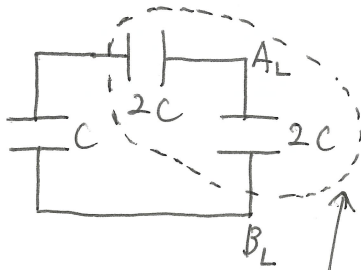
$$\therefore m' = 8m$$

以上より、[15]

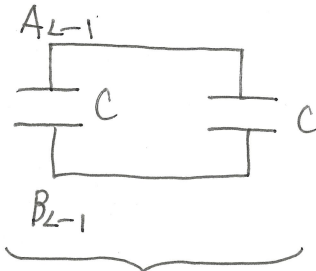
②

IV

(1)



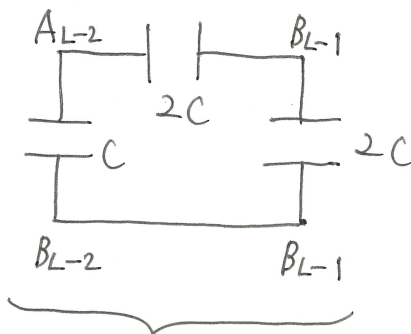
ここは電流共通かつ
 $-Q_L + q_L = 0$ かつ
 直列つなぎの式が使える。
 $\Rightarrow C$ になる。



電圧共通かつ並列つなぎ

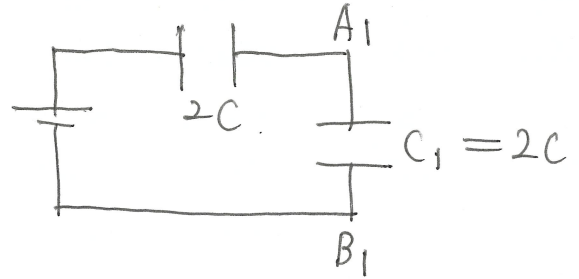
$\therefore C_{L-1} = 2C$
16 ⑤

(2)



$C_{L-2} = 2C$
 ((1)と同じ型)

$\downarrow$
 このときより反復していくと...

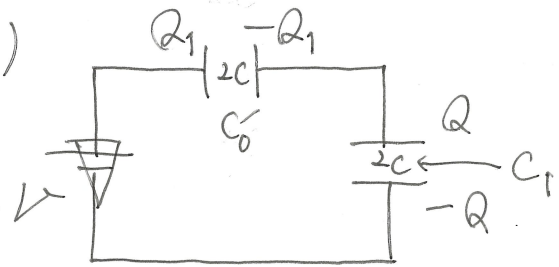


$$C_0 = \frac{C_1 \cdot 2C}{C_1 + 2C}$$

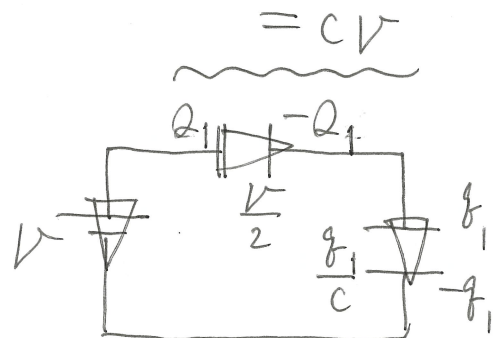
$$= C$$

17 ③

(3)



C_0' と C_1 は $2C$ であり、同じ
 性能、かつ、 $-Q_1 + Q = 0$ 。
 かつ、 $Q_1 = Q = 2C \cdot \frac{V}{2}$



キルヒホッフ第2法則 (以下、キ2と略記)

より、 $V - \frac{V}{2} - \frac{q_1}{C} = 0$

$\therefore q_1 = \frac{1}{2} CV$

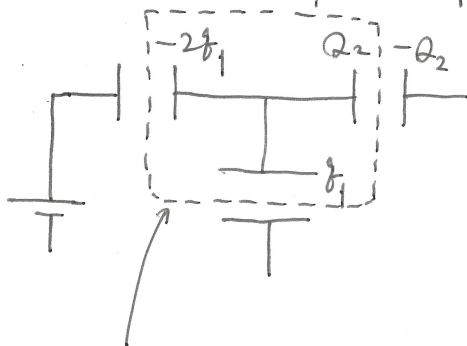
以上から、

$$\frac{q_1}{Q_1} = \frac{\frac{1}{2}CV}{CV}$$

$$= \frac{1}{2}$$

[18] ②

(4) (3)より、 $Q_1 = 2q_1$



電荷保存則 (以下、電保と略記) より、

$$-2q_1 + q_1 + Q_2 = 0$$

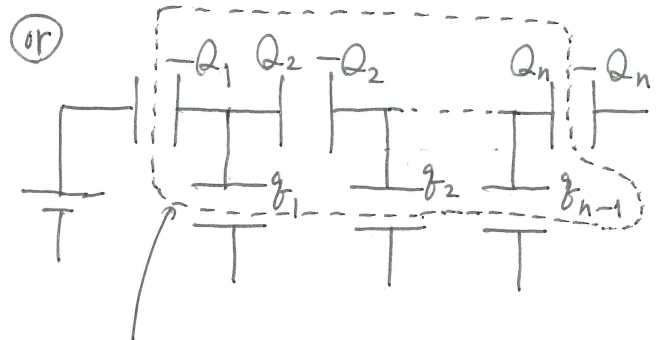
$$\therefore Q_2 = q_1$$

$$= \frac{1}{2}CV$$

$Q_1 = CV$, $Q_2 = \frac{1}{2}CV$ であることから類推し、

$$Q_n = \frac{1}{2^{n-1}} CV$$

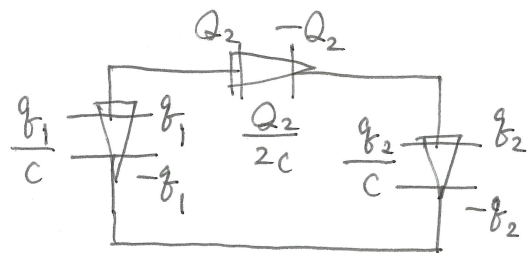
[19] ①



電保より、

$$-Q_1 + q_1 + q_2 + \dots + q_{n-1} + Q_n = 0 \dots \textcircled{P}$$

これから求める。



キルヒホッフより、

$$\frac{q_1}{C} - \frac{Q_2}{2C} - \frac{q_2}{C} = 0$$

$$\therefore q_2 = q_1 - \frac{Q_2}{2}$$

$$= q_1 - \frac{q_1}{2} (\because Q_2 = q_1)$$

$$= \frac{q_1}{2}$$

$$= \frac{1}{2^2} CV$$

$q_1 = \frac{1}{2}CV$, $q_2 = \frac{1}{2^2}CV$ であることから類推し、

$$q_n = \frac{1}{2^n} CV$$

ゆえに、

$$q_1 + q_2 + \dots + q_{n-1} \\ = \frac{\frac{1}{2} CV (1 - (\frac{1}{2})^{n-1})}{1 - \frac{1}{2}}$$

$$= CV (1 - (\frac{1}{2})^{n-1})$$

$$\therefore \textcircled{7} \Leftrightarrow Q_n = Q_1 - CV (1 - (\frac{1}{2})^{n-1}) \\ = CV - CV + \frac{1}{2^{n-1}} CV$$

$$= \frac{1}{2^{n-1}} CV$$

~~~~~ (大変!) ~~~~~

$$(5) U_n = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q_n^2}{2C} \\ = \frac{1}{2^2 C} \left( \frac{CV}{2^{n-1}} \right)^2 \\ = \frac{1}{2^{2n}} CV^2$$

$n=L$  で  $U_n$  最小

$$U'_n = \frac{q_n^2}{2C} \quad (n \leq L-1)$$

$$= \frac{1}{2C} \cdot \left( \frac{CV}{2^n} \right)^2$$

$$= \frac{CV^2}{2^{2n+1}} \leftarrow U_L \text{ とは異なる}$$

$q_n$  と  $q_L$  とでは電気容量が異なるので、

$$q_L = \frac{1}{2^L} CV$$

といひできなそう。

$\Rightarrow q_L$  も求めてみる



電・保り、  $-Q_L + q_L = 0$

$$\therefore q_L = Q_L$$

$$= \frac{1}{2^{L-1}} CV$$

このとき、

$$U'_L = \frac{q_L^2}{2 \cdot 2C} \\ = \frac{1}{2^2 C} \cdot \frac{C^2 V^2}{2^{2L-2}} \\ = \frac{CV^2}{2^{2L}} (= U)$$

つまり、静電エネルギーが最小値  
となるコンデンサは 2つ ある。

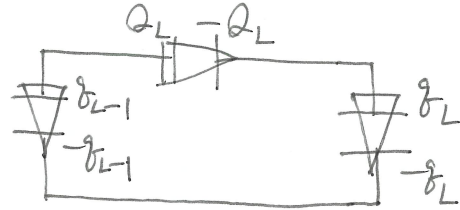
20 ①

(また、この値は  $\frac{CV^2}{2^{2L}}$  である)

$$\begin{cases} Q_n = \frac{1}{2^{n-1}} CV \quad (n \leq L) \\ g_n = \frac{1}{2^n} CV \quad (n \leq L-1) \\ g_L = \frac{1}{2^{L-1}} CV \end{cases}$$

ここで、 $Q_n$  や  $g_n$  の値はどんどん小さくなること分かる。

- $g_L$  は #2 か #5 も求まる。

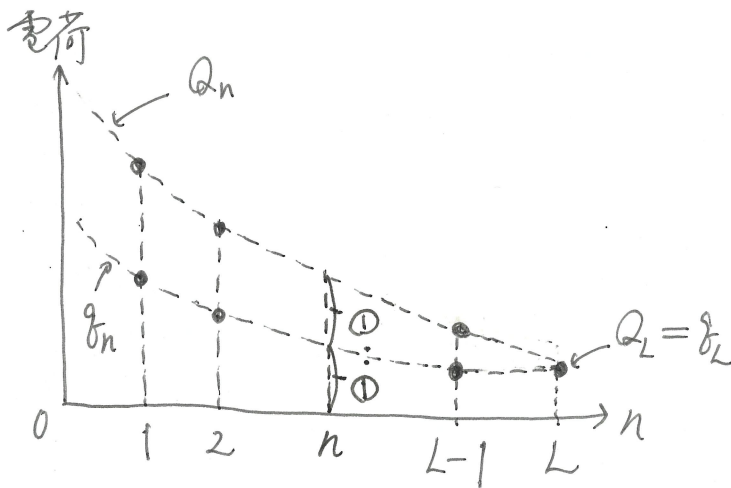


$$\frac{g_{L-1}}{C} - \frac{Q_L}{2C} - \frac{g_L}{2C} = 0$$

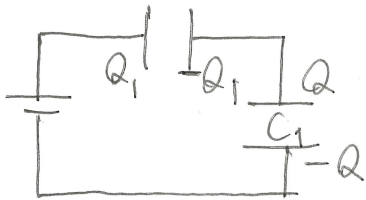
$$\therefore g_L = 2g_{L-1} - Q_L$$

$$= 2 \cdot \frac{CV}{2^{L-1}} - \frac{CV}{2^{L-1}}$$

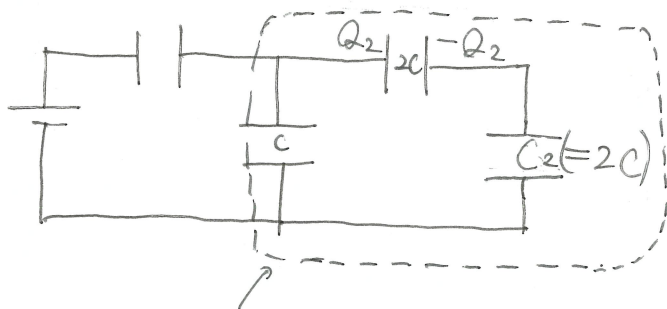
$$= \frac{CV}{2^{L-1}}$$



$Q_n, g_n$  はなぜ単調減少するのだろうか?



↓ 合成の逆



ここで  $Q$  を分画している。当然、 $2C$  や  $C_2$  が蓄えている電荷は  $Q$  よりも小さい。

以下、同じように「合成の逆」をくり返し

本試馬券で最も解きにくかったのはひょっとして推測する。図を見たり誘導に従えば、同型性ばかり見えるので手がつかないのかも、とは言え解きにくい。(4)(5) はできなかった人が多くいるのはひょっとしたら、(5) ができずに人はお見事!



V

$$(1) p = \frac{h}{\lambda}$$

21 ①

(2) 電子について運動量の定理を適用し、

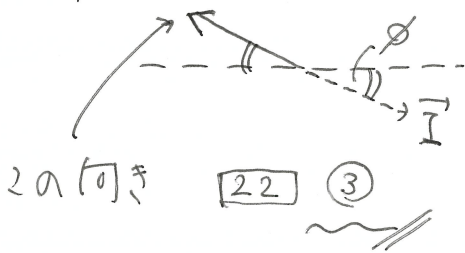
$$\vec{I} = m\vec{v}$$

つまり、電子は  $m\vec{v}$  の向きに力積  $\vec{I}$  と受けたことになる。



X線が受けた力積は、作用・反作用の法則より、 $\vec{I}$  と逆向きである。

ゆえに、



(3) E・I保より、

$$\frac{hc}{\lambda} = K + \frac{hc}{\lambda'} \dots (P)$$

$$\therefore K = hc \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right)$$

23 ④

$$\bullet K > 0 \text{ より、} \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} > 0$$

$$\therefore \lambda < \lambda'$$

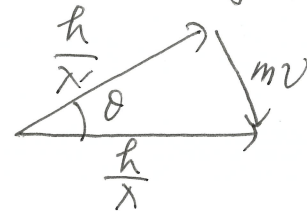
(4) 題意より、

$$K = \frac{h^2}{m\lambda\lambda'} (1 - \cos\theta) = hc \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right)$$

$$\therefore \lambda' - \lambda = \underbrace{\frac{h}{mc}}_{\text{コンプトン波長}} (1 - \cos\theta) \dots (Q)$$

24 ①

• 運動量保存則から下図がかけます。



余弦定理より、

$$\cos\theta = \frac{\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 - (mv)^2}{2 \frac{h}{\lambda} \frac{h}{\lambda'}}$$

$$\Leftrightarrow (mv)^2 = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 - 2 \frac{h^2}{\lambda\lambda'} \cos\theta$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} &= \frac{1}{\lambda^2} \left( 1 + \left( \frac{\lambda}{\lambda'} \right)^2 \right) \\ &\approx \frac{1}{\lambda^2} (1 + 1) \\ &\approx \frac{2}{\lambda\lambda'} \quad (\text{3点3! ?}) \end{aligned}$$

よって、

$$(mv)^2 \approx h^2 \frac{2}{\lambda\lambda'} - 2 \frac{h^2}{\lambda\lambda'} \cos\theta$$

$$\therefore K = \frac{(mv)^2}{2m} \approx \frac{h^2}{m\lambda\lambda'} (1 - \cos\theta)$$

これが (4) の式である。

(5) ㊦より、 $\frac{hc}{\lambda'}$  最小のとき  $K$  最大。

よって、 $\lambda'$  が最大になるときと考えればよい。

㊦より、 $\lambda'$  は  $\theta = \pi$  で最大になる。

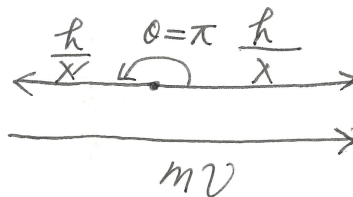
$$\text{このとき、} \lambda' = \lambda + \frac{2h}{mc}$$

$$\begin{aligned} \therefore K_{\max} &= \frac{h^2}{m\lambda(\lambda + \frac{2h}{mc})} (1 - \cos\pi) \\ &= \frac{2h^2 c}{\lambda(mc\lambda + 2h)} \end{aligned}$$

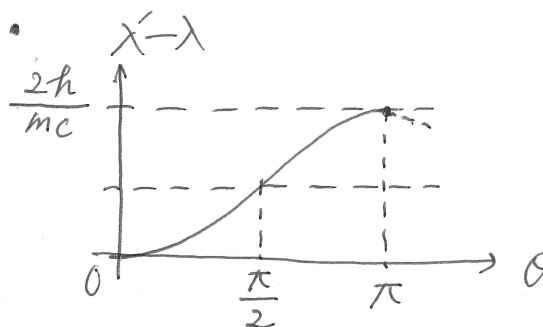
25 ④

㊦  $K$  が最大になるとき  $mv$  最大。  
( $\because K = \frac{(mv)^2}{2m}$  より)

$\theta = \pi$  のとき  $mv$  は最大になる。



あとは同様の計算とする。



(5) はやや難しかったらどうかな。

少なくとも (4) までは解きにい。

IV 以下はいずれも定期テストレベルであった。  
「物理強者」は 9割以上正答率と思われ。

IV は学びのある問題だろう。別解と様々考えよう。

2024年度受験生になる人は、「答えと出しは終わり」とするのではなく、答えと出しにあと色々考察してほしい。大げさに言えば、「物理は、答えと出しに後から考える」とさえるだろう。多くの受験生が「典型問題のパターン学習」といつまらない学習から飛躍できることを願っています。