

# G 3 物 理

この冊子は、物理の問題で 1 ページより 25 ページまであります。

## [注 意]

- (1) 試験開始の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
- (2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら、解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し、さらに受験番号をマークしてください。
- (3) 解答は、所定の解答用マークシートにマークしたものが採点されます。
- (4) 解答用マークシートについて
  - ① 解答用マークシートは、絶対に折り曲げてはいけません。
  - ② マークには黒鉛筆(HBまたはB)を使用してください。  
指定の黒鉛筆以外でマークした場合、採点できないことがあります。
  - ③ 誤ってマークした場合は、消しゴムで丁寧に消し、消しくずを完全に取除いたうえ、新たにマークしてください。
  - ④ 解答欄のマークは、横 1 行について 1 箇所に限ります。  
2 箇所以上マークすると採点されません。  
あいまいなマークは無効となるので、はっきりマークしてください。
  - ⑤ 解答用マークシートに記載されている解答上の注意事項を、必ず読んでから解答してください。
- (5) 試験開始の指示があったら、初めに問題冊子のページ数を確認してください。  
ページの落丁・乱丁、印刷不鮮明等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- (6) 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

# 特 許 公 報

特許第 〇〇〇〇号 特許権の存続期間満了の通知

## 特 許 者

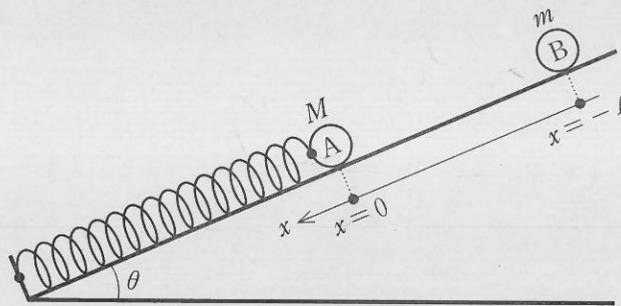
〇〇〇〇株式会社  
〒〇〇〇〇〇〇 〇〇〇〇 〇〇〇

特許第 〇〇〇〇号 特許権の存続期間満了の通知



- 1 次の問題の  の中に入れるべき正しい答えを解答群の中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。必要なら、同一番号を繰り返し用いてよい。(30点)

図のように、傾角  $\theta$  [rad] を持つなめらかな斜面上に、ばね定数  $k$  [N/m] のばねがおかれている。そのばねの下端は固定され、上端には質量  $M$  [kg] の物体 A がつながれている。斜面下向きを正に  $x$  軸をとり、物体 A が静止している位置を原点 ( $x = 0$ ) とする。また、質量  $m$  [kg] の物体 B が、 $x = -\ell$  [m] の位置に固定してある。ここで、ばねの質量、物体 A と B の大きさ、空気抵抗の影響は無視でき、ばねはたわまないものとする。速度および加速度は、 $x$  軸の正方向を正にとる。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] として、以下の問いに答えなさい。



図

- (1) 物体Bの固定をはずして静かにすべらせたところ、原点で物体Aと弾性衝突した。衝突直後に物体Bが斜面の原点より上方にはね返るとすると、衝突直後の物体Aの速度 $V_A$  [m/s]は $V_A = \boxed{\text{ア}}$ 、物体Bの速度 $V_B$  [m/s]は $V_B = \boxed{\text{イ}}$ となり、物体AとBの質量は $\boxed{\text{ウ}}$ の関係を満たす必要がある。この衝突によりばねは縮み、物体Aは斜面上を原点より下方へ運動する。このとき、物体Aの斜面上の最下点の $x$ 座標を $x_A$  [m]とすると $x_A = \boxed{\text{エ}}$ の位置である。 $x_A$ 点に達した物体Aは、ばねの復元力により、斜面上の上方へ向かって運動する。この運動は、斜面上の原点を振動中心として、周期 $T_A$  [s]、振幅 $\boxed{\text{キ}}$  [m]の単振動である。一方、物体Aと衝突してから、物体Bが最高点に達するまでの時間を $T_B$  [s]とすると $T_B = \boxed{\text{カ}}$ である。

(ア) (イ)の解答群

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 0 | 0   | 1 | $\sqrt{gl \sin \theta}$                   |
| 2 | $\sqrt{2 gl \sin \theta}$                 | 3 | $\frac{2m}{M+m} \sqrt{2 gl \sin \theta}$  |
| 4 | $\frac{-2m}{M+m} \sqrt{gl \sin \theta}$   | 5 | $\frac{2M}{M+m} \sqrt{2 gl \cos \theta}$  |
| 6 | $\frac{m-M}{M+m} \sqrt{gl \sin \theta}$   | 7 | $\frac{2M}{M+m} \sqrt{gl \sin \theta}$    |
| 8 | $\frac{m-M}{M+m} \sqrt{2 gl \sin \theta}$ | 9 | $\frac{m-M}{M+m} \sqrt{2 gl \cos \theta}$ |

(ウ)の解答群

- 0  $m = M$                       1  $m > M$                       2  $m < M$

(エ)の解答群

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| 0 | $\frac{M}{M+m} \sqrt{\frac{Mgl \sin \theta}{k}}$   | 1 | $\frac{m}{M+m} \sqrt{\frac{Mgl \sin \theta}{k}}$    |
| 2 | $\frac{2m}{M+m} \sqrt{\frac{2Mgl \sin \theta}{k}}$ | 3 | $\frac{4M}{M+m} \sqrt{\frac{2Mgl \sin \theta}{k}}$  |
| 4 | $\frac{M-m}{M+m} \sqrt{\frac{Mgl \sin \theta}{k}}$ | 5 | $\frac{2m}{M+m} \sqrt{\frac{Mgl \sin \theta}{k}}$   |
| 6 | $\frac{2M}{M+m} \sqrt{\frac{Mgl \sin \theta}{k}}$  | 7 | $\frac{M-m}{M+m} \sqrt{\frac{2Mgl \sin \theta}{k}}$ |
| 8 | $\frac{2M}{M+m} \sqrt{\frac{mgl \sin \theta}{k}}$  | 9 | $\frac{4m}{M+m} \sqrt{\frac{mgl \sin \theta}{k}}$   |

(オ)の解答群

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| 0 | $\frac{M-m}{M+m} \sqrt{\frac{\ell}{g \sin \theta}}$     | 1 | $\frac{M-m}{M+m} \sqrt{\frac{2\ell}{g \sin \theta}}$ |
| 2 | $\sqrt{\frac{\ell}{g \sin \theta}}$                     | 3 | $\sqrt{\frac{2\ell}{g \sin \theta}}$                 |
| 4 | $\frac{Mm}{(M+m)^2} \sqrt{\frac{2\ell}{g \sin \theta}}$ | 5 | $\frac{M-m}{M+m} \sqrt{\frac{\ell}{g \cos \theta}}$  |
| 6 | $\frac{M-m}{M+m} \sqrt{\frac{2\ell}{g \cos \theta}}$    | 7 | $\sqrt{\frac{\ell}{g \cos \theta}}$                  |
| 8 | $\sqrt{\frac{2\ell}{g \cos \theta}}$                    |   |  |

右のページは白紙です。



(2) 物体 A が 1 回目の衝突で  $x_A$  点に達した後、はじめて原点に戻ったとき、物体 B と 2 回目の衝突を起こした。この結果より、 $T_A$  と  $T_B$  には  $T_A = \boxed{\text{(カ)}} \times T_B$  の関係がなりたち、ばね定数  $k$  [N/m] は  $M, m, \theta, l, g$  などを用いて  $k = \boxed{\text{(キ)}}$  と表すことができる。この 2 回目の衝突直後の物体 A の速度  $V_{A'}$  [m/s] は  $V_{A'} = \boxed{\text{(ク)}}$ 、物体 B の速度  $V_{B'}$  [m/s] は  $V_{B'} = \boxed{\text{(ケ)}}$  となり、物体 A の斜面上の最下点の  $x$  座標を  $x_{A'}$  [m] とすると  $x_{A'} = \boxed{\text{(コ)}}$ 、物体 B の斜面上の最高点の  $x$  座標を  $x_{B'}$  [m] とすると  $x_{B'} = \boxed{\text{(サ)}}$  となる。

2 回目の衝突からしばらく時間が経過したとき、物体 A と B の衝突現象を表す説明としてもっとも適しているものは、 $\boxed{\text{(シ)}}$  である。

右のページは白紙です。

解答の順序  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\frac{M \sin \theta}{m - M} \cdot \frac{M \sin \theta}{m - M}$$

$$\sqrt{2g \cos \theta} \cdot \sqrt{2g \cos \theta}$$

解答の順序  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

$$\frac{2m \sin \theta}{\pi(m + M)}$$

(カ)の解答群

$$0 \quad \frac{1}{4} \qquad 1 \quad \frac{1}{2} \qquad 2 \quad 1 \qquad 3 \quad 2 \qquad 4 \quad 3 \qquad 5 \quad 4$$

(キ)の解答群

$$\begin{array}{ll} 0 \quad \frac{M\pi g \sin \theta}{4 \ell} \left( \frac{M+m}{M-m} \right) & 1 \quad \frac{M\pi^2 g \sin \theta}{8 \ell} \left( \frac{M+m}{M-m} \right) \\ 2 \quad \frac{M\pi g \sin \theta}{4 \ell} \left( \frac{M+m}{M-m} \right)^2 & 3 \quad \frac{M\pi^2 g \sin \theta}{8 \ell} \left( \frac{M+m}{M-m} \right)^2 \\ 4 \quad \frac{M\pi \ell}{4 g \sin \theta} \left( \frac{M-m}{M+m} \right) & 5 \quad \frac{M\pi \ell}{4 g \sin \theta} \left( \frac{M-m}{M+m} \right)^2 \\ 6 \quad \frac{M\pi^2 \ell}{8 g \sin \theta} \left( \frac{M+m}{M-m} \right) & 7 \quad \frac{M\pi^2 \ell}{8 g \sin \theta} \left( \frac{M+m}{M-m} \right)^2 \\ 8 \quad \frac{M\pi g \sin \theta}{2 \ell} \left( \frac{M+m}{M-m} \right) & 9 \quad \frac{M\pi^2 g \sin \theta}{2 \ell} \left( \frac{M+m}{M-m} \right)^2 \end{array}$$

(ク), (ケ)の解答群

$$\begin{array}{lll} 0 \quad 0 & 1 \quad \sqrt{2 g \ell \cos \theta} & 2 \quad \sqrt{g \ell \sin \theta} \\ 3 \quad \sqrt{2 g \ell \sin \theta} & 4 \quad -\sqrt{2 g \ell \cos \theta} & 5 \quad -\sqrt{g \ell \sin \theta} \\ 6 \quad -\sqrt{2 g \ell \sin \theta} & & \end{array}$$

(コ), (サ)の解答群

$$\begin{array}{llll} 0 \quad 0 & 1 \quad -\frac{1}{2} \ell & 2 \quad -\frac{1}{3} \ell & 3 \quad -\ell \\ 4 \quad \frac{-2 m \ell}{(M-m)\pi} & 5 \quad \frac{2 m \ell}{(M-m)\pi} & 6 \quad \frac{-4 m \ell}{(M+m)\pi} \\ 7 \quad \frac{4 m \ell}{(M+m)\pi} & 8 \quad \frac{2 m(M-m)\ell}{(M+m)^2 \pi} & 9 \quad \frac{8 m(M-m)\ell}{(M+m)^2 \pi} \end{array}$$

(シ)の解答群

- 0 2回目の衝突の時点で、衝突は止まる。
- 1 衝突を繰り返すたびに、ばねの弾性力による位置エネルギー分だけ物体Aの運動エネルギーが減少していき、衝突は斜面下方の位置 $x_A$ 点近くで起きるようになる。
- 2 衝突を繰り返すたびに、物体Aの運動エネルギーにばねの弾性力による位置エネルギーが加わり、衝突は斜面上の原点より上方で起きるようになる。
- 3 物体Aのばねの弾性力による位置エネルギーや物体Bの重力による位置エネルギーの変化により、斜面上の原点を含む任意の位置で物体AとBの不規則な衝突が起きる。
- 4 衝突前後の物体AとBの全運動量と力学的エネルギーが保存されるため、常に原点での衝突を繰り返す。
- 5 衝突前後の物体AとBの力学的エネルギーが保存されるため、衝突は原点から $\frac{1}{2} \ell$  [m]だけ離れた斜面上方の位置で起きるようになる。

- 2 次の問題の  の中に入れるべき正しい答えを解答群の中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。必要なら、同一番号を繰り返し用いてよい。(30点)

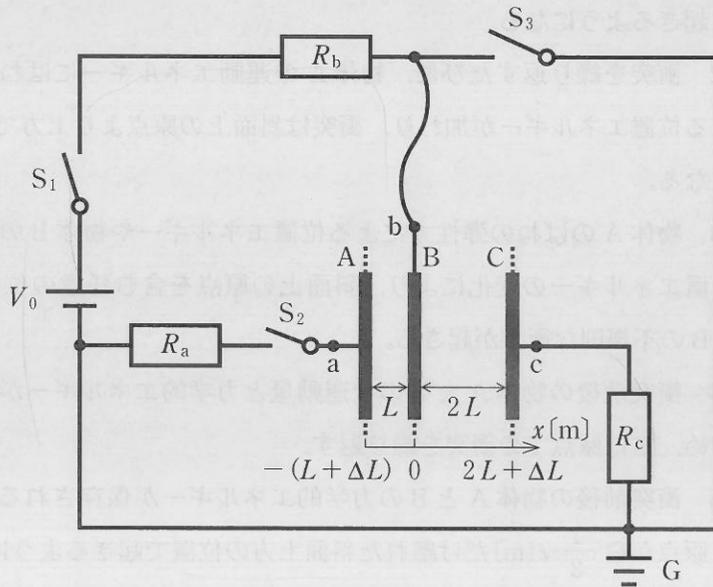


図 1

厚さ  $\Delta L$  (m)、面積  $S$  (m<sup>2</sup>) をもつ 3 枚の同じ大きさの正方形金属板 A, B, C が、互いに平行に向かい合って並べられている。図 1 のように、右向きに  $x$  軸をとる。金属板 A と C の中心は図 1 の位置に固定されているが、金属板 B は金属板 A, C と平行を保ちながら  $x$  軸に沿って動かすことができる。はじめ金属板 B の中心は、 $x = 0$  m の原点に固定されているとする。つまり、この配置では向かい合った面の間隔は、AB 間で  $L$  (m)、BC 間で  $2L$  (m) となっている。これら 3 枚の金属板は、内部抵抗を無視できる起電力  $V_0$  (V) の電池、3 種類の抵抗値  $R_a$  (Ω)、 $R_b$  (Ω)、 $R_c$  (Ω) の抵抗、およびスイッチ  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  からなる回路に接続されている。また、電池の負極側および  $R_a$  (Ω)、 $R_c$  (Ω) の抵抗の一端は接地されており、接地点 G の電位は 0 V であるとする。

以下では、金属板の 1 辺の長さは、金属板間隔に比べてじゅうぶんに長く、金属板の端における電場(電界)の乱れは無視でき、金属板間では一様な電場ができ

ているとする。さらに、向かい合った金属板の面の間隔が  $L$  (m) であるとき、その2枚の金属板で作られる平行板コンデンサーの電気容量を  $C_0$  (F) として、以下の(1)~(3)の問いに答えなさい。

- (1) はじめスイッチ  $S_1$  は開いており、スイッチ  $S_2$  と  $S_3$  は閉じている。その後、 $S_2$  と  $S_3$  が開かれ  $S_1$  が閉じられた。その直後に  $R_b$  ( $\Omega$ ) の抵抗を流れる電流の大きさは  [A] であった。そして、じゅうぶんに時間が経ち充電されたとき、金属板 B に蓄えられている電気量は  [C] であった。ここで、定常状態に達するまでに電池が供給したエネルギーは  [J] であり、このうち  % が抵抗を流れる電流によりジュール熱として失われた。

(ア)の解答群

- |   |                               |   |                         |   |                               |   |                         |
|---|-------------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------|
| 0 | 0                             | 1 | $\frac{V_0}{R_b}$       | 2 | $\frac{V_0}{R_b + R_c}$       | 3 | $\frac{V_0}{R_a + R_c}$ |
| 4 | $\frac{V_0}{R_a + R_b + R_c}$ | 5 | $\frac{V_0}{R_a + R_b}$ | 6 | $\frac{R_a + R_b + R_c}{V_0}$ |   |                         |
| 7 | $\frac{R_b}{V_0}$             | 8 | $\frac{R_a + R_c}{V_0}$ | 9 | $\frac{R_b + R_c}{V_0}$       |   |                         |

(イ)の解答群

- |   |                     |   |                     |   |                     |   |                     |   |                     |
|---|---------------------|---|---------------------|---|---------------------|---|---------------------|---|---------------------|
| 0 | 0                   | 1 | $\frac{C_0 V_0}{2}$ | 2 | $\frac{C_0 V_0}{4}$ | 3 | $\frac{V_0}{2 C_0}$ | 4 | $\frac{C_0}{2 V_0}$ |
| 5 | $\frac{2 V_0}{C_0}$ | 6 | $\frac{2 C_0}{V_0}$ | 7 | $C_0 V_0$           | 8 | $2 C_0 V_0$         | 9 | $3 C_0 V_0$         |

(ウ)の解答群

- |   |                       |   |                         |   |                       |   |                       |
|---|-----------------------|---|-------------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
| 0 | 0                     | 1 | $C_0 V_0^2$             | 2 | $2 C_0 V_0^2$         | 3 | $4 C_0 V_0^2$         |
| 4 | $\frac{V_0^2}{2 C_0}$ | 5 | $\frac{V_0^2}{4 C_0}$   | 6 | $\frac{C_0 V_0^2}{2}$ | 7 | $\frac{C_0 V_0^2}{4}$ |
| 8 | $\frac{C_0 V_0^2}{8}$ | 9 | $\frac{3 C_0 V_0^2}{4}$ |   |                       |   |                       |

(エ)の解答群

- |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
|---|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|
| 0 | 0  | 1 | 10 | 2 | 20 | 3 | 25 | 4 | 40  |
| 5 | 50 | 6 | 60 | 7 | 75 | 8 | 80 | 9 | 100 |

(2) (1)の最後の状態から引き続き、スイッチ  $S_1$  を開き、その後スイッチ  $S_2$  を閉じた。 $S_2$  を閉じた時刻を  $t = 0$  s とする。図1の a 点の電位  $v_a(t)$  [V]、b 点の電位  $v_b(t)$  [V]、c 点の電位  $v_c(t)$  [V] および3つの金属板上に蓄えられている電荷の分布は、時間の経過とともに変化した。じゅうぶんに時間が経過し定常状態になったとき、b 点の電位は   $\times V_0$  [V] となり、このときの金属板 B の電荷分布の説明として最も適しているものは、 である。ここで、定常状態になるまでの回路に流れる電流の説明として最も適しているものは、「電流は  」である。

上記の定常状態になるまでの時刻  $t$  [s] での AB 間の電位差  $v_b(t) - v_a(t)$  を  $V_{AB}$  [V]、BC 間の電位差  $v_b(t) - v_c(t)$  を  $V_{BC}$  [V]、金属板 B の左側表面に蓄えられている電気量を  $q$  [C] とすると、それらは時間の経過とともに変化する。また、 $V_{AB}$  と  $V_{BC}$  は  $q$  の関数とみなすことができるが、その関係を図示したとき最も適しているものは、それぞれ  と  である。よって、 $t = 0$  s から電荷の移動が終了するまでに  $R_a$  [ $\Omega$ ]、 $R_c$  [ $\Omega$ ] の抵抗で発生した全熱量は  [J] とわかる。

(オ)の解答群

- |   |               |   |               |   |               |   |               |   |               |
|---|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|
| 0 | 0             | 1 | 1             | 2 | 2             | 3 | 3             | 4 | 4             |
| 5 | $\frac{1}{4}$ | 6 | $\frac{3}{4}$ | 7 | $\frac{1}{3}$ | 8 | $\frac{2}{3}$ | 9 | $\frac{1}{2}$ |

右のページは白紙です。



(カ)の解答群

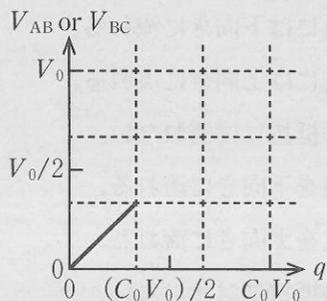
- 0 金属板 B の内部および左右表面に一樣な密度で電荷が分布し、その中に含まれる全電気量は  $\boxed{\text{イ}}$   $\times 2$  [C] であった。
- 1 金属板 B の内部には電荷は存在しないが、全電気量が  $\boxed{\text{イ}}$   $\times 2$  [C] の電荷が、金属板 B の左右表面に一樣な面密度で分布していた。
- 2 金属板 B の内部に  $\boxed{\text{イ}}$  [C] の全電気量が分布し、表面には電荷は現れなかった。
- 3 金属板 B の右側表面に  $\boxed{\text{イ}}$   $\times \frac{1}{3}$  [C] の電気量、左側表面に  $\boxed{\text{イ}}$   $\times \frac{2}{3}$  [C] の電気量がそれぞれの表面で一樣な面密度で分布し、内部には電荷は存在していなかった。
- 4 金属板 B の右側表面に  $\boxed{\text{イ}}$   $\times \frac{2}{3}$  [C] の電気量、左側表面に  $\boxed{\text{イ}}$   $\times \frac{1}{3}$  [C] の電気量がそれぞれの表面で一樣な面密度で分布し、内部には電荷は存在していなかった。
- 5 金属板 B の右側表面に  $\boxed{\text{イ}}$   $\times \frac{1}{2}$  [C] の電気量、左側表面に  $\boxed{\text{イ}}$   $\times \frac{1}{2}$  [C] の電気量が一樣な面密度で分布し、内部には電荷は存在していなかった。
- 6 金属板 B の左側表面に  $\boxed{\text{イ}}$  [C] の電気量全てが一樣な面密度で分布し、内部および右側表面には電荷は存在していなかった。
- 7 金属板 B の右側表面に  $\boxed{\text{イ}}$  [C] の電気量全てが一樣な面密度で分布し、内部および左側表面には電荷は存在していなかった。

(キ)の解答群

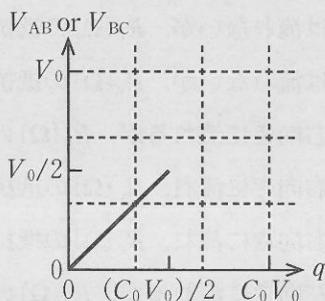
- 0  $R_a[\Omega]$ の抵抗にも,  $R_c[\Omega]$ の抵抗にも流れない。
- 1  $R_a[\Omega]$ の抵抗には流れないが,  $R_c[\Omega]$ の抵抗には下向きに流れる。
- 2  $R_a[\Omega]$ の抵抗には流れないが,  $R_c[\Omega]$ の抵抗には上向きに流れる。
- 3  $R_a[\Omega]$ の抵抗を右向きに流れるが,  $R_c[\Omega]$ の抵抗には流れない。
- 4  $R_a[\Omega]$ の抵抗を右向きに流れ,  $R_c[\Omega]$ の抵抗を下向きに流れる。
- 5  $R_a[\Omega]$ の抵抗を右向きに流れ,  $R_c[\Omega]$ の抵抗を上向きに流れる。
- 6  $R_a[\Omega]$ の抵抗を左向きに流れるが,  $R_c[\Omega]$ の抵抗には流れない。
- 7  $R_a[\Omega]$ の抵抗を左向きに流れ,  $R_c[\Omega]$ の抵抗を下向きに流れる。
- 8  $R_a[\Omega]$ の抵抗を左向きに流れ,  $R_c[\Omega]$ の抵抗を上向きに流れる。

(ク), (ケ)の解答群

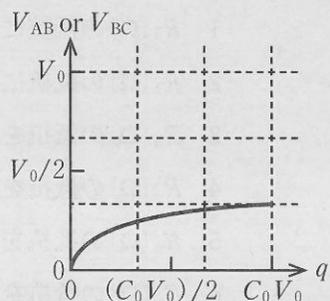
0



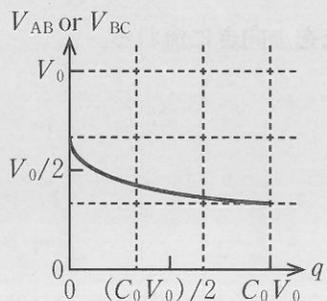
1



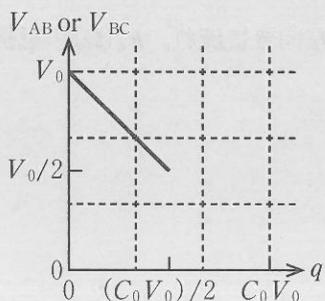
2



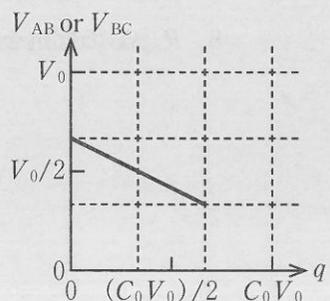
3



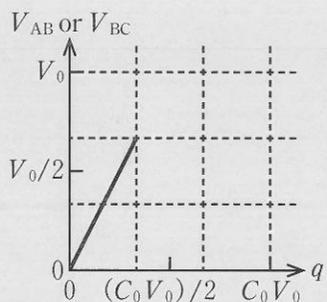
4



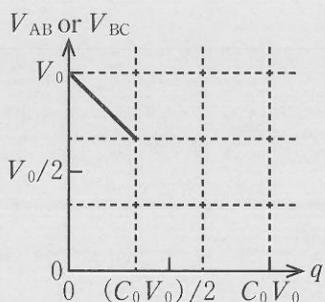
5



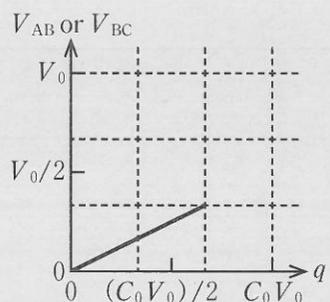
6



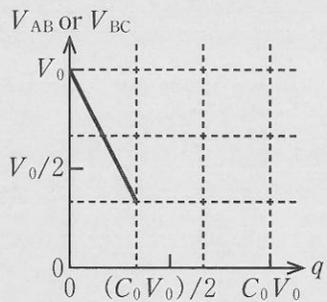
7



8

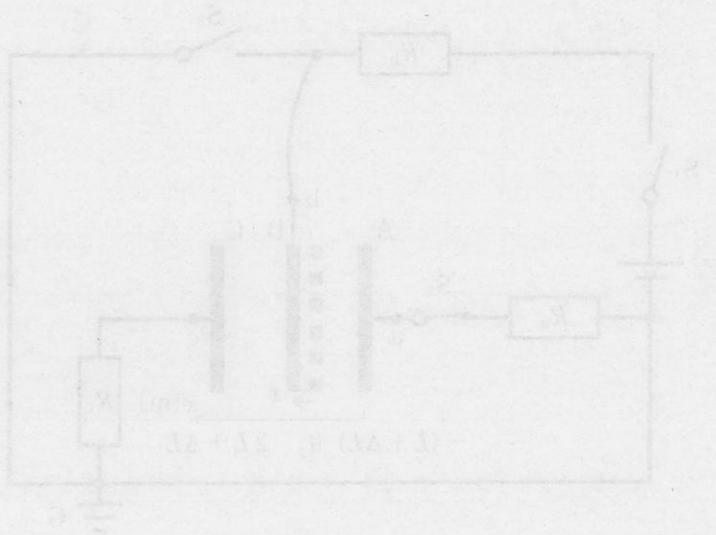


9



(コ)の解答群

- |   |                         |   |                       |   |                        |   |                         |
|---|-------------------------|---|-----------------------|---|------------------------|---|-------------------------|
| 0 | 0                       | 1 | $\frac{C_0 V_0^2}{2}$ | 2 | $\frac{C_0 V_0^2}{3}$  | 3 | $\frac{C_0 V_0^2}{4}$   |
| 4 | $\frac{C_0 V_0^2}{6}$   | 5 | $\frac{C_0 V_0^2}{9}$ | 6 | $\frac{C_0 V_0^2}{18}$ | 7 | $\frac{3 C_0 V_0^2}{8}$ |
| 8 | $\frac{2 C_0 V_0^2}{9}$ | 9 | $C_0 V_0^2$           |   |                        |   |                         |



- (3) (2)の最後の状態から引き続き、図2のように、 $x$ 軸原点に固定されていた金属板Bを右向きに $x$ [m]だけ移動させた。移動後、定常状態ではb点の電位は   $\times V_0$ [V]となった。これを用いて、AB間およびBC間の電場とすべての金属板に蓄えられている電気量を求めることができる。ここで得られた結果より、この位置で金属板Bが電場から受ける力 $F$ [N]は、右向きを正とすると $F =$   [N]と表すことができる。したがって、金属板Bに右向きの力が加わるようになるための条件は  である。

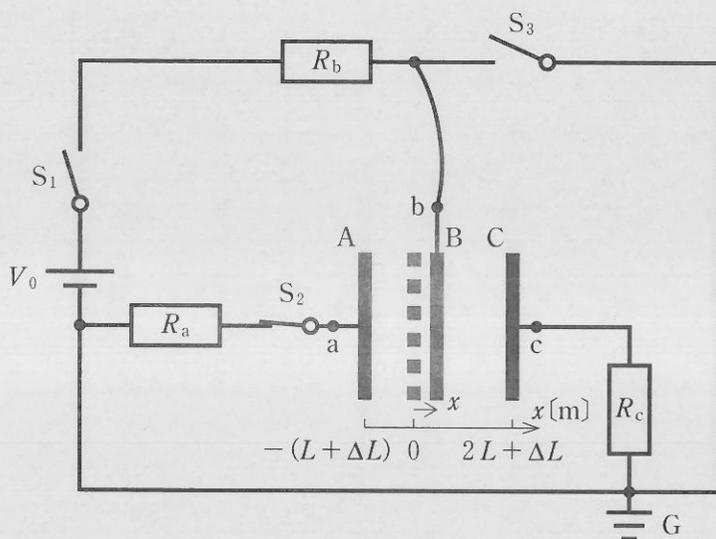


図2

(サ)の解答群

0 1                      1 2

2  $\frac{1}{2}$                       3  $\frac{L}{L+x}$

4  $\frac{L}{2L-x}$

5  $\frac{(L+x)(2L-x)}{6L^2}$

6  $\frac{6L^2}{(L+x)(2L-x)}$

7  $\frac{(L+x)(2L-x)}{L^2}$

8  $\frac{L^2}{(L+x)(2L-x)}$

9  $\frac{(L-x)(2L+x)}{6L^2}$

(シ)の解答群

0  $\frac{C_0V_0^2(L+x)^2}{72L^3}$

1  $\frac{C_0V_0^2(2L-x)^2}{72L^3}$

2  $\frac{C_0V_0^2}{24L^2}(L-2x)$

3  $\frac{C_0V_0^2}{24L^2}(2x-L)$

4  $\frac{C_0V_0^2}{36L^2}(L-2x)$

5  $\frac{C_0V_0^2}{36L^2}(2x-L)$

6  $\frac{C_0V_0^2}{48L^2}(L-2x)$

7  $\frac{C_0V_0^2}{48L^2}(2x-L)$

8  $\frac{C_0V_0^2}{12L^2}(L-2x)$

9  $\frac{C_0V_0^2}{12L^2}(2x-L)$

(ス)の解答群

0  $x=0$

1  $0 < x < 2L$

2  $-L < x < 0$

3  $x = \frac{L}{2}$

4  $\frac{L}{2} < x < 2L$

5  $-L < x < \frac{L}{2}$

6  $\frac{L}{2} \leq x < 2L$

7  $x = -\frac{L}{2}$

8  $-\frac{L}{2} < x < \frac{L}{2}$

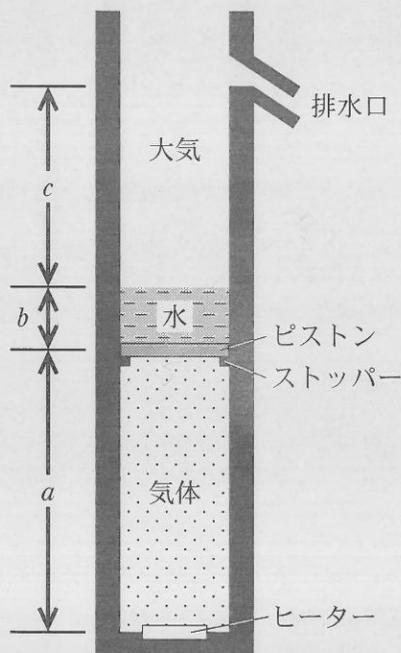
9  $-L < x \leq -\frac{L}{2}$

次の2ページは白紙です。





- 3 次の問題の  の中に入れるべき正しい答えを解答群の中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。必要なら、同一番号を繰り返し用いてよい。(20点)



図

図に示されるように、断熱材で作られたシリンダーが大気中に鉛直に置かれている。シリンダー内には、シリンダーの底面から  $a$  [m] の位置にあるストッパーより上側に、気密を保ちながら上下になめらかに動くことのできる断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] の断熱性のピストンがあり、定積モル比熱  $\frac{5}{2} R$  [J/(mol·K)]、定圧モル比熱  $\frac{7}{2} R$  [J/(mol·K)] の単原子分子ではない理想気体が閉じ込められている。ここで、 $R$  [J/(mol·K)] は気体定数である。ピストンの上側には密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] の水が  $b$  [m] の高さだけ入っていて、この水をシリンダーの底面から  $a + b + c$  [m] の位置にある排水口から流し出すことができる。シリンダーの底の内側にはヒーターがあり、気体に熱を与えることができる。ただし、ピストンはじゅうぶんに薄く、その厚さおよび質量を無視でき、ストッパーおよびヒーターの体積も無視できるとする。さらに水の蒸発は考えないものとする。

はじめ、ピストンはストッパーに支えられて静止している(状態0)。このとき、気体の圧力は大気圧  $p_0$  [Pa] に等しく、その温度は  $T_0$  [K] であった。この装置を使い、以下の(i)~(iv)の操作を行った。

- (i) ヒーターのスイッチを入れて加熱し、しばらく経つとピストンがゆっくりと上昇しはじめた。この瞬間を状態1とする。
- (ii) そのまま加熱を続けると、ピストンはゆっくりと上昇し、水の表面が排水口の位置に達した。この瞬間を状態2とする。
- (iii) さらに加熱すると、ピストンはゆっくりと上昇するとともに水が排水口から流れ出し、やがて全ての水が排水された。この瞬間を状態3とする。
- (iv) 状態3になった瞬間に、ヒーターのスイッチを切り、質量  $m$  [kg] の小さなおもりを静かにピストンに載せると、ピストンはゆっくりと下降した。しばらく経つと、ピストンはストッパーに接しない位置で静止した。この状態を状態4とする。

この問いの中で使われている理想気体に対する断熱変化では、圧力と体積の間には  $pV^{\frac{7}{5}} = (\text{一定})$  の関係が成り立つ。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とし、以下の問いに答えなさい。

(i)の操作により理想気体の圧力は、状態0の $p_0$ [Pa]から状態1で $p_1 = \boxed{\text{ア}}$  [Pa]へ変化した。ここで、状態0から状態1に変化させるのに加えた熱量は $\boxed{\text{イ}}$  [J]であった。また、(ii)の操作により状態1から状態2へ変化させるのに加えた熱量は $\boxed{\text{ウ}} \times p_1$  [J]であった。

(iii)の操作中、ピストンが状態2の位置から上に $h$  [m] ( $0 < h < b$ )だけ上昇した状態を考えてみる。 $0 < h < b$ の範囲では、理想気体の閉じ込められている空間の体積および圧力は $h$ の関数となるので、その体積を $V_{2 \rightarrow 3}$  [m<sup>3</sup>]、圧力を $p_{2 \rightarrow 3}$  [Pa]と書くことにすると、圧力と体積の間には $p_{2 \rightarrow 3} = \boxed{\text{エ}}$ の関係式が成立する。この結果より、状態2から状態3への変化で、気体がした仕事は $\boxed{\text{オ}}$  [J]と求まる。この気体がした仕事のうち、水の位置エネルギーの増加に $\boxed{\text{カ}}$  [J]が使われている。

状態4では、ピストンはシリンダーの底面から

$$X = \boxed{\text{キ}} \times (a + b + c) \text{ [m]}$$

の位置( $X > a$ )で静止しており、気体の温度は $\boxed{\text{ク}} \times T_0$  [K]であった。

右のページは白紙です。



(ア)の解答群

- |                   |                     |             |                      |
|-------------------|---------------------|-------------|----------------------|
| 0 $p_0$           | 1 $\rho bgp_0$      | 2 $\rho bg$ | 3 $(1 + \rho bg)p_0$ |
| 4 $p_0 + \rho bg$ | 5 $\rho agp_0$      | 6 $\rho ag$ | 7 $(1 + \rho ag)p_0$ |
| 8 $p_0 + \rho ag$ | 9 $\rho(b + c)gp_0$ |             |                      |

(イ)の解答群

- |                          |                          |                      |                          |
|--------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| 0 $ap_0S$                | 1 $3ap_0S$               | 2 $\frac{3}{2}ap_0S$ | 3 $\frac{5}{2}ap_0S$     |
| 4 $\frac{7}{2}ap_0S$     | 5 $\rho abgS$            | 6 $3\rho abgS$       | 7 $\frac{3}{2}\rho abgS$ |
| 8 $\frac{5}{2}\rho abgS$ | 9 $\frac{7}{2}\rho abgS$ |                      |                          |

(ウ)の解答群

- |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0 $\frac{7aS}{2}$ | 1 $\frac{7cS}{2}$ | 2 $\frac{5aS}{2}$ | 3 $\frac{5cS}{2}$ | 4 $\frac{3aS}{2}$ |
| 5 $\frac{3cS}{2}$ | 6 $aS$            | 7 $cS$            | 8 $4aS$           | 9 $4cS$           |

(エ)の解答群

- |  |  |
|--|--|
| 0 $p_0 + \frac{\rho g}{S}V_{2 \rightarrow 3}$                    | 1 $p_0 - \frac{\rho g}{S}V_{2 \rightarrow 3}$              |
| 2 $p_0 + \rho gV_{2 \rightarrow 3}$                              | 3 $p_0 - \rho gV_{2 \rightarrow 3}$                        |
| 4 $\rho(a + b + c)g + \frac{\rho g}{S}V_{2 \rightarrow 3}$       | 5 $\rho(a + b + c)g - \frac{\rho g}{S}V_{2 \rightarrow 3}$ |
| 6 $p_0 + \rho(a + b + c)g + \frac{\rho g}{S}V_{2 \rightarrow 3}$ |  |
| 7 $p_0 + \rho(a + b + c)g - \frac{\rho g}{S}V_{2 \rightarrow 3}$ |  |
| 8 $\frac{\rho g}{S}V_{2 \rightarrow 3}$                          | 9 $-\frac{\rho g}{S}V_{2 \rightarrow 3}$                   |

(オ)の解答群

- |  |   |
|--|---|
| 0 $(p_0 + \rho bg)bS$                      | 1 $(2p_0 + \rho bg)bS$                            |
| 2 $\left(p_0 + \frac{\rho bg}{2}\right)bS$ | 3 $\{p_0 + \rho(a + c)g\}bS$                      |
| 4 $\{2p_0 + \rho(a + c)g\}bS$              | 5 $\left\{p_0 + \frac{\rho(a + c)g}{2}\right\}bS$ |
| 6 $\{p_0 + \rho(a + b + c)g\}bS$           | 7 $\{2p_0 + \rho(a + b + c)g\}bS$                 |
| 8 $p_0bS$                                  | 9 $\rho b^2gS$                                    |

右のページは白紙です。



(カ)の解答群

- |                            |                       |                        |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| 0 $p_0 a S$                | 1 $p_0 b S$           | 2 $p_0 c S$            |
| 3 $p_0 (a + c) S$          | 4 $p_0 (a + b + c) S$ | 5 $\rho b^2 g S$       |
| 6 $\frac{\rho b^2 g S}{2}$ | 7 $\rho a b g S$      | 8 $\rho (a + c) b g S$ |
| 9 $\rho (a + b + c) b g S$ |                       |                        |

(キ)の解答群

- |  |  |
|--|--|
| 0 $\left(\frac{mg}{p_0 S}\right)^{-\frac{5}{7}}$     | 1 $\left(\frac{mg}{p_0 S}\right)^{-\frac{3}{5}}$     |
| 2 $\left(\frac{mg}{p_0 S}\right)^{-\frac{3}{4}}$     | 3 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{-\frac{5}{7}}$ |
| 4 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{-\frac{3}{5}}$ | 5 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{-\frac{3}{4}}$ |
| 6 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{-\frac{7}{5}}$ | 7 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{-\frac{2}{3}}$ |
| 8 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{-\frac{2}{7}}$ | 9 $\left(1 - \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{5}{7}}$  |

(ク)の解答群

- |   |   |
|---|---|
| 0 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{2}{3}}$                       | 1 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{2}{5}}$                       |
| 2 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{2}{7}}$                       | 3 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{2}{3}} \frac{(a + b + c)}{a}$ |
| 4 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{2}{5}} \frac{(a + b + c)}{a}$ | 5 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{2}{7}} \frac{(a + b + c)}{a}$ |
| 6 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{5}{7}} \frac{(a + b + c)}{a}$ | 7 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{3}{5}} \frac{(a + b + c)}{a}$ |
| 8 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{5}{7}}$                       | 9 $\left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right)^{\frac{3}{5}}$                       |

右のページは白紙です。



- 4 次の問題の  の中に入れるべき正しい答えを解答群の中から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。必要なら、同一番号を繰り返し用いてよい。(20点)

図1のように、ガラス板が空気中におかれている。ガラス板の表面には、一様な厚さ  $d$  [m] の薄い膜が付着されている。空気の屈折率を1、薄い膜の屈折率を  $n (> 1)$ 、ガラスの屈折率は薄い膜の屈折率より大きいとして、以下の問いに答えなさい。必要であれば、 $\theta$  がじゅうぶんに小さい時に成り立つ近似式  $\sin \theta \doteq \theta$ 、 $\cos \theta \doteq 1$ 、 $\tan \theta \doteq \theta$  を用いなさい。

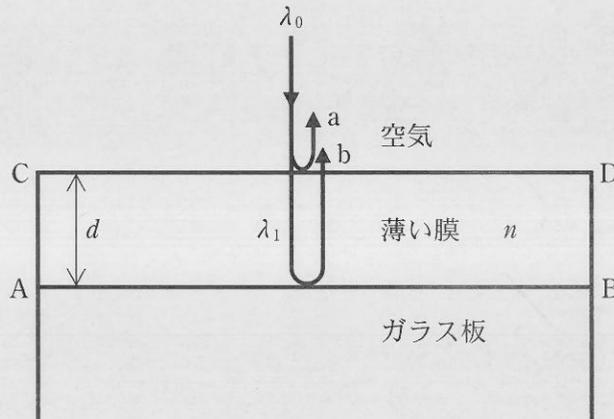


図1

(1) 図1のように、膜の表面(CD面)に波長 $\lambda_0$ [m]の単色光を入射したとき、膜の内部に入った単色光の波長を $\lambda_1$ [m]とすると $\lambda_1 =$   である。CD面での反射による光aの位相のずれは  [rad]、ガラス板の表面(AB面)での反射による光bの位相のずれは  [rad]である。このとき、光aと光bの光路差は  [m]である。以上より、光aと光bが干渉で弱め合う条件式は、 $m(m = 0, 1, 2, \dots)$ 、 $d$ 、 $n$ 、 $\lambda_0$ などを用いて表せば  =   $\times \lambda_0$ となる。この式より、光aと光bが弱めあうための最小の膜の厚さ $d_{\min}$ [m]は $d_{\min} =$   である。この薄い膜の厚さが $d_{\min}$ よりも小さくなったとき、CD面に現れる現象として最も適しているものは  である。

(ア), (オ)の解答群

- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0 $n\lambda_0$           | 1 $\frac{\lambda_0}{n}$  | 2 $\frac{2\lambda_0}{n}$ | 3 $\frac{3\lambda_0}{n}$ | 4 $\frac{4\lambda_0}{n}$ |
| 5 $\frac{\lambda_0}{2n}$ | 6 $\frac{\lambda_0}{4n}$ | 7 $\frac{n}{\lambda_0}$  | 8 $\frac{2n}{\lambda_0}$ | 9 $\frac{1}{n\lambda_0}$ |

(イ)の解答群

- |     |                   |                   |         |                    |
|-----|-------------------|-------------------|---------|--------------------|
| 0 0 | 1 $\frac{\pi}{4}$ | 2 $\frac{\pi}{2}$ | 3 $\pi$ | 4 $\frac{3\pi}{2}$ |
|-----|-------------------|-------------------|---------|--------------------|

(ウ)の解答群

- |                   |                   |                   |                  |                  |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 0 $\frac{1}{2}dn$ | 1 $\frac{3}{2}dn$ | 2 $dn$            | 3 $2dn$          | 4 $3dn$          |
| 5 $\frac{d}{n}$   | 6 $\frac{d}{2n}$  | 7 $\frac{2d}{3n}$ | 8 $\frac{2}{dn}$ | 9 $\frac{3}{dn}$ |

(エ)の解答群

- |                       |                        |                       |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 0 $\frac{1}{m}$       | 1 $m$                  | 2 $(m+1)$             |
| 3 $(m + \frac{1}{2})$ | 4 $(m + \frac{3}{2})$  | 5 $(m + \frac{5}{2})$ |
| 6 $2m$                | 7 $(2m + \frac{1}{2})$ |                       |

(カ)の解答群

- 0 弱め合う条件を満たしているため、暗くなる。
- 1  $\lambda_1$  の波長を持つ光のみが観測される。
- 2  $\lambda_1$  と  $\lambda_0$  の波長を持つ2つの光が観測される。
- 3 弱め合う条件を満たすように、 $\lambda_1$  と  $\lambda_0$  以外の異なる波長を持つ光が観測される。
- 4 弱め合う条件を満たさなくなり、膜の厚さが薄くなるとともに、明るくなっていく。

(2) 次に、図2のように、薄い膜の表面(EF面)がAB面に対して傾斜角 $\theta$ [rad]を持つ場合を考える。ここで、 $\theta$ [rad]はじゅうぶんに小さいものとする。AB面に垂直に波長 $\lambda_0$ [m]の単色光を入射して、EF面での明暗の干渉縞をAB面に垂直な上方の位置から観測したところ、Eの位置では暗線であった。そして入射光の波長を $\lambda_0$ [m]から少しずつ長くしていったところ、Eの位置の暗線は右側に移動していき、Eの位置に明線があらわれた。このときの波長は $\frac{3}{2}\lambda_0$ であった。以上のことを確かめた後、再び波長 $\lambda_0$ [m]の単色光を入射した。このとき、Eの位置での暗線を0番目として、Aの位置から $l$ [m]の位置での $k$ 番目( $k=0, 1, 2, \dots$ )の暗線について、光cと光eの光路差を $d, l, \theta, n$ などを用いて表せば  $(\ast)$  である。 $k$ 番目から $\Delta x$ [m]だけ離れた位置に $(k+1)$ 番目の暗線が観測されたとすると、 $(k+1)$ 番目において、光fと光hの光路差を $d, \Delta x, l, \theta$ などを用いて表せば  $(\kappa)$  である。 $k$ 番目と $(k+1)$ 番目の暗線の間隔 $\Delta x$ [m]は $\Delta x \doteq (\xi)$  である。これより、光fと光hが干渉で弱め合う条件式は、 $k, d, n, \lambda_0, \Delta x, l, \theta$ などを用いて表すと  $(\zeta) \doteq (\eta) \times \lambda_0$  である。

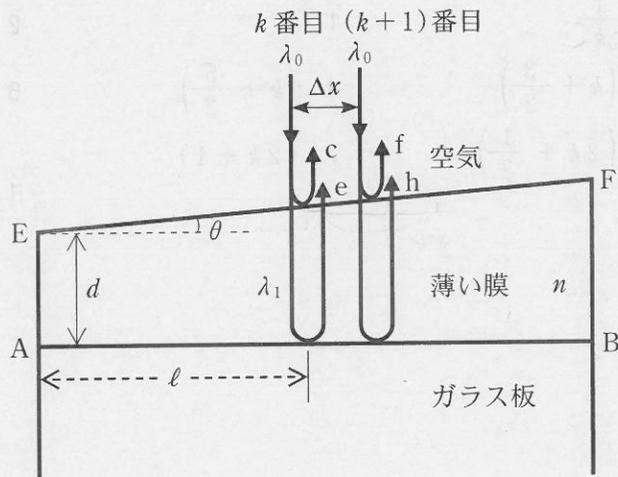


図2

(キ)の解答群

- |                        |                        |                  |
|------------------------|------------------------|------------------|
| 0 $dn$                 | 1 $2dn$                | 2 $\ell\theta n$ |
| 3 $2\ell\theta n$      | 4 $(d + \ell\theta)n$  | 5 $(2d + \ell)n$ |
| 6 $(2d + \ell\theta)n$ | 7 $2(d + \ell\theta)n$ |                  |

(ク)の解答群

- |   |   |
|---|---|
| 0 $\left(d + 2\ell\theta + \frac{\Delta x}{\theta}\right)n$ | 1 $\left\{2(d + \ell\theta) + \frac{\Delta x}{\theta}\right\}n$ |
| 2 $(d + \ell\theta + \Delta x\theta)n$                      | 3 $(2d + \ell + \Delta x\theta)n$                               |
| 4 $(2d + \ell\theta + \Delta x\theta)n$                     | 5 $2(d + \ell\theta + \Delta x\theta)n$                         |

(ケ)の解答群

- |                               |                                |                                |                                |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0 $\frac{\lambda_0}{n}$       | 1 $\frac{2\lambda_0}{n}$       | 2 $\frac{\lambda_0}{4n}$       | 3 $\frac{\lambda_0}{2n}$       | 4 $\frac{4\lambda_0}{n}$       |
| 5 $\frac{\lambda_0}{n\theta}$ | 6 $\frac{2\lambda_0}{n\theta}$ | 7 $\frac{4\lambda_0}{n\theta}$ | 8 $\frac{\lambda_0}{2n\theta}$ | 9 $\frac{\lambda_0}{4n\theta}$ |

(コ)の解答群

- |                                   |                                  |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 0 $\frac{1}{k}$                   | 1 $k$                            | 2 $\left(k + \frac{1}{2}\right)$ |
| 3 $\left(k + \frac{3}{2}\right)$  | 4 $\left(k + \frac{5}{2}\right)$ | 5 $2k$                           |
| 6 $\left(2k + \frac{1}{2}\right)$ | 7 $(2k + 1)$                     |                                  |