

(2013年度)

# 物 理 問 題 (90分)

(この問題冊子は12ページ, 4問である。)

## 受験についての注意

1. 監督の指示があるまで, 問題冊子を開いてはならない。
2. 試験開始前に, 監督から指示があったら, 解答用紙の右上の番号が自分の受験番号と一致することを確認し, 所定の欄に氏名を記入すること。次に, 解答用紙の右側のミシン目にそって, きれいに折り曲げてから, 受験番号と氏名が書かれた切片を切り離し, 机上に置くこと。
3. 監督から試験開始の指示があったら, この問題冊子が, 上に記したページ数どおりそろっていることを確かめること。
4. 筆記具は, HかFかHBの黒鉛筆またはシャープペンシルに限る。万年筆・ボールペンなどを使用してはならない。時計に組み込まれたアラーム機能, 計算機能, 辞書機能などを使用してはならない。
5. 解答は解答用紙の各問の選択肢の中から正解と思うものを選んで, そのマーク欄をぬりつぶすこと。その他の部分には何も書いてはならない。
6. マークをするとき, マーク欄からはみ出したり, 白い部分を残したり, 文字や番号, ○や×をつけてはならない。
7. 訂正する場合は, 消しゴムでていねいに消すこと。消しきずはきれいに取り除くこと。
8. 解答用紙を折り曲げたり, 破ったりしてはならない。
9. 試験時間中に退場してはならない。
10. 解答用紙を持ち帰ってはならない。
11. 問題冊子, 計算用紙は必ず持ち帰ること。

1

なめらかな床の上に質量  $2m$ 、長さ  $l$  の板が置いてあり、その右端に質量  $m$  の小さなおもりを置いた。おもりと板との間の静止摩擦係数を  $\frac{1}{2}$ 、動摩擦係数を  $\frac{1}{3}$  とし、重力加速度を  $g$  とする。

- 図1のように、板を水平方向右向きに力  $F$  で引っ張る実験を行う。まず、 $F = mg$  とすると、板とおもりは一体となって右方向に加速度 [ 1 ]  $\times g$  で動き出した。このとき、おもりと板の間に働いている摩擦力の大きさは [ 2 ]  $\times mg$  となっている。力  $F$  を少しずつ大きくして同じ実験を行うと、 $F$  が [ 3 ]  $\times mg$  を超えたところで、はじめておもりは板の上を滑ることがわかる。いま、その条件を満たすように  $F = 3mg$  として実験を行うと、板は加速度 [ 4 ]  $\times g$ 、おもりは加速度 [ 5 ]  $\times g$  で動き出した。このとき、おもりと板の間に働いている摩擦力の大きさは [ 6 ]  $\times mg$  となっている。この実験では、おもりは動き始めてから [ 7 ]  $\times \sqrt{\frac{l}{g}}$  の時間で板の左端から落下した。このときまでに力  $F$  の行った仕事は [ 8 ]  $\times mgl$  であり、そのうち [ 9 ]  $\times mgl$  が摩擦で失われた。
- 次に、板をハンマーでたたいて、図2のように水平方向右向きに小さな初速度  $V$  を与えた。するとおもりは板の上を [ 10 ]  $\times \frac{V}{g}$  の時間だけ滑って板の上に静止し、その後はおもりと板は一体となって [ 11 ]  $\times V$  の速さで動いた。この実験で、おもりが板の上で静止するまでに板の動いた距離は [ 12 ]  $\times \frac{V^2}{g}$  であり、おもりが板の上を滑った距離は [ 13 ]  $\times \frac{V^2}{g}$  になっている。また、摩擦で失われたエネルギーは [ 14 ]  $\times mV^2$  である。

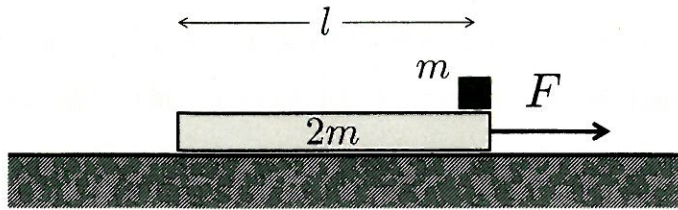


図 1

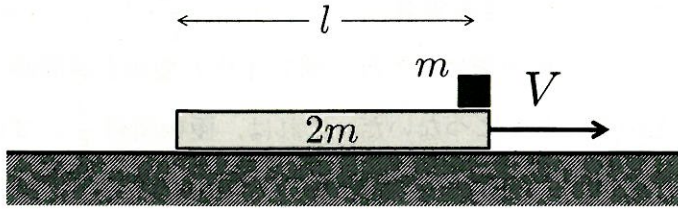


図 2

[ 1 ] ~ [ 14 ] の選択肢

a) 1      b) 2      c) 3      d) 4      e) 6      f) 8

g) 9      h)  $\frac{1}{2}$       i)  $\frac{3}{2}$       j)  $\frac{5}{2}$       k)  $\frac{1}{3}$       l)  $\frac{2}{3}$

m)  $\frac{4}{3}$       n)  $\frac{5}{3}$       o)  $\frac{1}{4}$       p)  $\frac{3}{4}$       q)  $\frac{5}{4}$       r)  $\frac{1}{6}$

s)  $\frac{5}{6}$       t)  $\frac{7}{6}$       u)  $\sqrt{2}$       v)  $\sqrt{3}$       w)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$       x)  $\frac{\sqrt{3}}{3}$

2

図1のように、一辺の長さが  $a$  の正方形の極板 A, B からなる平行板コンデンサーを考える。極板間隔  $d$  は  $a$  に比べて十分小さいとし、極板の端における電場の乱れは無視してよい。また、真空の誘電率を  $\epsilon_0$  とする。

- はじめにコンデンサーの極板間は真空とすると、このコンデンサーの電気容量は [ 1 ]  $\times \frac{\epsilon_0 a^2}{d}$  である。また、これと同じコンデンサーを3個直列につなぐと、その合成容量は [ 2 ]  $\times \frac{\epsilon_0 a^2}{d}$  になる。次に、図1のコンデンサーの極板間に、これと同じ4枚の極板を等間隔で挿入し、それらを図2のようにつないだ。これは、極板間隔  $\frac{d}{5}$  の3個のコンデンサーを直列につないだものとみなすことができ、その合成容量は [ 3 ]  $\times \frac{\epsilon_0 a^2}{d}$  となる。一方、図2において挿入した極板に替えて、厚さ  $\frac{d}{5}$  の2枚の導体を図3のように挿入すると、全体の電気容量は [ 4 ]  $\times \frac{\epsilon_0 a^2}{d}$  となる。
- 図1のコンデンサーの極板 A に  $Q$ 、極板 B に  $-Q$  の電荷を与えた後、その電気量を一定に保ったまま図4のように厚さ  $\frac{d}{3}$  の誘電体を極板中央に挿入する。この状態で誘電分極により誘電体の極板 A 側の上面に  $Q'$  の分極電荷が生じているとすると、極板 B 側の下面には [ 5 ]  $\times Q'$  の分極電荷が生じている。このとき、極板 A と誘電体の間の真空中における電場の大きさは [ 6 ] であり、誘電体中の電場の大きさは [ 7 ] となる。すると、誘電体の比誘電率は  $Q$  と  $Q'$  で  $\epsilon_r =$  [ 8 ] と表せる。この比誘電率  $\epsilon_r$  を使うと、誘電体の上面と下面の間の電位差は [ 9 ]  $\times \frac{dQ}{\epsilon_0 a^2}$ 、極板 AB 間の電位差は [ 10 ]  $\times \frac{dQ}{\epsilon_0 a^2}$  と表せ、このコンデンサーの電気容量は [ 11 ]  $\times \frac{\epsilon_0 a^2}{d}$  となる。いま、この状態で極板 B と誘電体を固定し、極板 A にゆっくりと力を加えながら極板間隔を  $x$  だけ広げた。この過程でコンデンサーに蓄えられたエネルギーは [ 12 ]  $\times \frac{Q^2 x}{\epsilon_0 a^2}$  だけ増加し、極板 A に加えた力の大きさは [ 13 ]  $\times \frac{Q^2}{\epsilon_0 a^2}$  である。

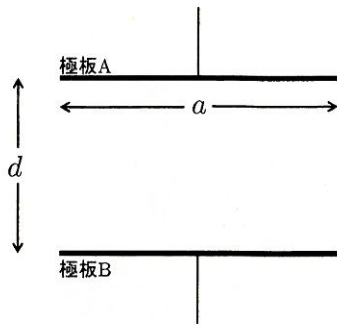


図 1

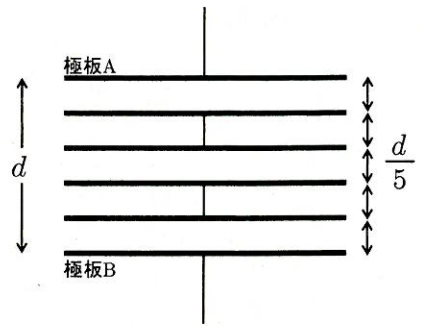


図 2

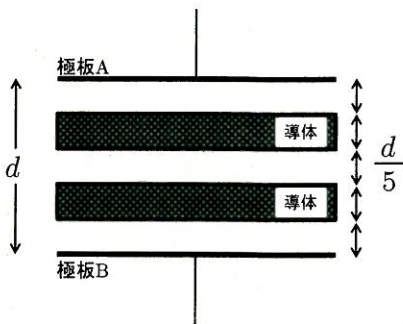


図 3

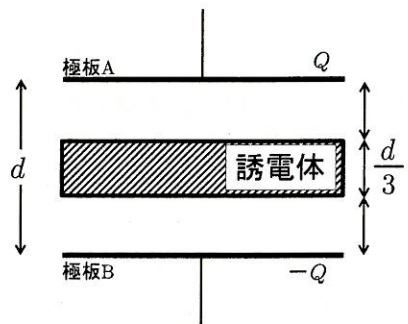


図 4

[ 1 ] ~ [ 5 ] の選択肢

- |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| a) 0             | b) 1             | c) 2             | d) 3             | e) -1            | f) -2            | g) -3            |
| h) $\frac{1}{2}$ | i) $\frac{3}{2}$ | j) $\frac{5}{2}$ | k) $\frac{1}{3}$ | l) $\frac{2}{3}$ | m) $\frac{4}{3}$ | n) $\frac{5}{3}$ |
| o) $\frac{1}{4}$ | p) $\frac{3}{4}$ | q) $\frac{5}{4}$ | r) $\frac{1}{5}$ | s) $\frac{2}{5}$ | t) $\frac{3}{5}$ |                  |

[ 6 ], [ 7 ] の選択肢

- |                                     |  |  |                                  |                                    |
|-------------------------------------|--|--|----------------------------------|------------------------------------|
| a) 0                                | b) $\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$          | c) $\frac{Q}{3\epsilon_0 a^2}$         | d) $\frac{2Q}{3\epsilon_0 a^2}$  | e) $\frac{4Q}{3\epsilon_0 a^2}$    |
| f) $\frac{Q'}{\epsilon_0 a^2}$      | g) $\frac{Q'}{3\epsilon_0 a^2}$        | h) $\frac{2Q'}{3\epsilon_0 a^2}$       | i) $\frac{4Q'}{3\epsilon_0 a^2}$ | j) $\frac{Q + Q'}{\epsilon_0 a^2}$ |
| k) $\frac{Q + Q'}{3\epsilon_0 a^2}$ | l) $\frac{2(Q + Q')}{3\epsilon_0 a^2}$ | m) $\frac{4(Q + Q')}{3\epsilon_0 a^2}$ |                                  |                                    |

[ 8 ] の選択肢

- |                      |                       |                          |                          |
|----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| a) $\frac{Q}{Q'}$    | b) $\frac{3Q}{Q'}$    | c) $\frac{3Q}{2Q'}$      | d) $\frac{3Q}{4Q'}$      |
| e) $\frac{Q'}{Q}$    | f) $\frac{3Q'}{Q}$    | g) $\frac{3Q'}{2Q}$      | h) $\frac{3Q'}{4Q}$      |
| i) $\frac{Q}{Q+Q'}$  | j) $\frac{3Q}{Q+Q'}$  | k) $\frac{3Q}{2(Q+Q')}$  | l) $\frac{3Q}{4(Q+Q')}$  |
| m) $\frac{Q'}{Q+Q'}$ | n) $\frac{3Q'}{Q+Q'}$ | o) $\frac{3Q'}{2(Q+Q')}$ | p) $\frac{3Q'}{4(Q+Q')}$ |

[ 9 ] ~ [ 13 ] の選択肢

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| a) 0  | b) 1   | c) $\frac{1}{2}$                            | d) $\frac{1}{3}$                              |
| e) $\frac{2}{3}$                            | f) $\frac{1}{\varepsilon_r}$                   | g) $\frac{1}{3\varepsilon_r}$               | h) $\frac{2}{3\varepsilon_r}$                 |
| i) $\frac{1}{3} + \frac{1}{3\varepsilon_r}$ | j) $\frac{1}{3} + \frac{2}{3\varepsilon_r}$    | k) $\frac{1}{3} + \frac{1}{6\varepsilon_r}$ | l) $\frac{2}{3} + \frac{1}{3\varepsilon_r}$   |
| m) $\frac{1}{6} + \frac{1}{6\varepsilon_r}$ | n) $\frac{1}{6} + \frac{5}{6\varepsilon_r}$    | o) $\frac{2}{\varepsilon_r + 1}$            | p) $\frac{2\varepsilon_r}{\varepsilon_r + 1}$ |
| q) $\frac{3}{2\varepsilon_r + 1}$           | r) $\frac{3\varepsilon_r}{2\varepsilon_r + 1}$ | s) $\frac{\varepsilon_r + 1}{2}$            | t) $\frac{\varepsilon_r + 1}{2\varepsilon_r}$ |
| u) $\frac{2\varepsilon_r + 1}{3}$           | v) $\frac{2\varepsilon_r + 2}{3\varepsilon_r}$ |   |   |

以下余白

次頁へ続く

3

図1のように、両端が閉じられた断面積  $S$  のシリンダーがあり、内部はなめらかに移動できるピストンによって左右に仕切られている。ピストンの左の空間には1モルの単原子分子理想気体が封じこめられ、加熱用のヒーターが備えられている。また、ピストンの右の空間は真空であり、ピストンがばね定数  $k$  のばねでシリンダーの右端につながっている。ピストンの位置は図1のように、シリンダーの左端を原点  $O$  とした  $x$  軸上の位置で表すものとし、 $x = 0$  のときばねは自然の長さになっているものとする。この実験において、シリンダーとピストンは断熱材でできており、ヒーターの熱容量は無視できる。また、気体定数を  $R$  とする。

図1のように、はじめの状態では、ばねが  $l$  だけ縮んだ  $x = l$  の位置でピストンがつりあっている。このとき、気体の圧力は  $P_0 = [ 1 ] \times [ 2 ]$ 、温度は  $T_0 = [ 3 ] \times [ 4 ]$  と表すことができる。このとき気体の内部エネルギーは  $[ 5 ] \times [ 6 ]$  であり、ばねに蓄えられている弾性エネルギーは気体の温度  $T_0$  を用いて  $[ 7 ] \times RT_0$  と表せる。

次に内部の気体にゆっくりとヒーターで熱を加えると、図2のようにばねはさらに  $\frac{l}{2}$  だけ縮んでつりあった。この状態で気体の圧力は  $[ 8 ] \times P_0$ 、温度は  $[ 9 ] \times T_0$  になっている。この加熱過程で、気体の内部エネルギーの変化量は  $[ 10 ] \times [ 6 ]$  であり、気体がした仕事  $[ 11 ] \times [ 6 ]$  は、ばねの弾性エネルギーの増加分に等しい。以上により、この過程でヒーターから気体に加えられた熱量は  $[ 12 ] \times [ 6 ]$  であることがわかる。



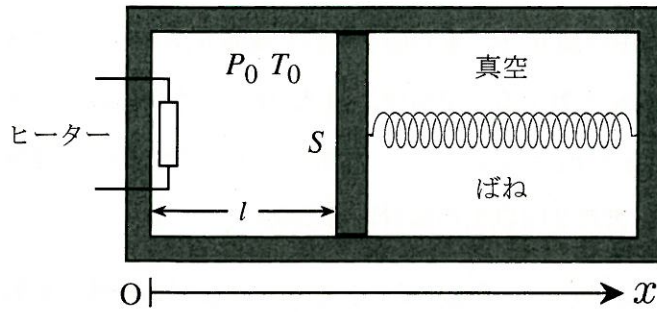


図 1

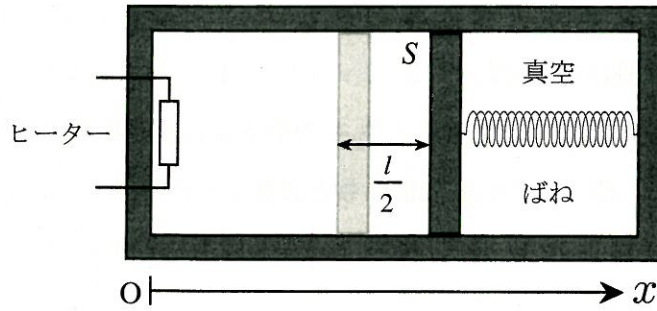


図 2

[ 1 ], [ 3 ], [ 5 ], [ 7 ] ~ [ 12 ] の選択肢

- |                  |                  |                  |                  |                   |                   |
|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| a) 0             | b) 1             | c) 2             | d) 3             | e) $\frac{1}{2}$  | f) $\frac{3}{2}$  |
| g) $\frac{5}{2}$ | h) $\frac{1}{3}$ | i) $\frac{2}{3}$ | j) $\frac{4}{3}$ | k) $\frac{1}{4}$  | l) $\frac{3}{4}$  |
| m) $\frac{5}{4}$ | n) $\frac{7}{4}$ | o) $\frac{9}{4}$ | p) $\frac{1}{6}$ | q) $\frac{5}{6}$  | r) $\frac{7}{6}$  |
| s) $\frac{1}{8}$ | t) $\frac{3}{8}$ | u) $\frac{5}{8}$ | v) $\frac{7}{8}$ | w) $\frac{11}{8}$ | x) $\frac{15}{8}$ |

[ 2 ], [ 4 ], [ 6 ] の選択肢

- |           |                     |                     |                     |                      |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| a) $kl$   | b) $\frac{kl}{S}$   | c) $\frac{k}{Sl}$   | d) $\frac{kl}{R}$   | e) $\frac{kl}{RS}$   |
| f) $kl^2$ | g) $\frac{kl^2}{S}$ | h) $\frac{k}{Sl^2}$ | i) $\frac{kl^2}{R}$ | j) $\frac{kl^2}{RS}$ |

4

図1のように、空気中に油 A, B, 水の層を重ねた媒質があり、そこにスピーカーから発生した音波を入射する。空気中、油 A, B 中、水中の音速はそれぞれ  $v_1, v_2, v_3, v_4$  ( $v_1 < v_2 < v_3 < v_4$ ) である。なお、スピーカーからの音波は十分に平行であるとし、また 2 回以上の反射は考えない。

- 図1においてスピーカーを固定すると、空気中を伝わる音波の振動数は  $f$ 、波長は  $\lambda$  であった。その音波が境界面に垂直に入射すると、油 A 中の振動数と波長はそれぞれ [ 1 ]  $\times f$ , [ 2 ]  $\times \lambda$  となり、水中での振動数と波長はそれぞれ [ 3 ]  $\times f$ , [ 4 ]  $\times \lambda$  となる。次に図1において、スピーカーを空気と油 A の境界面に垂直に速さ  $V$  で近づける。すると、油 A 中の音波の振動数と波長はそれぞれ [ 5 ]  $\times f$ , [ 6 ]  $\times \lambda$  となり、水中の音波の振動数と波長はそれぞれ [ 7 ]  $\times f$ , [ 8 ]  $\times \lambda$  となる。
- 次に、スピーカーを傾けて固定し、図2のように空気中から油 A の層に向けて、境界面に垂直な方向から  $\theta_1$  の角度で音波を入射する。 $\theta_1$  を  $\frac{\pi}{2}$  から徐々に小さくしていくと、はじめは空気と油 A の境界面で音波はすべて反射しているが、 $\sin \theta_1 < [ 9 ]$  を満たすようになって、はじめて音波は油 A の中へ伝わるようになる。さらに、 $\theta_1$  を小さくしていくと  $\sin \theta_1 < [ 10 ]$  を満たすようになって、はじめて音波は水中にまで伝わるようになる。その音波が、図2に示したように、油 A, B 中を通過した後境界面に垂直な方向から  $\theta_2$  の角度で水中に出るとすると、 $\theta_1$  と  $\theta_2$  は  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = [ 11 ]$  を満たす。
- 図2での油の種類を多くすることにより、図3のように空気との境界面からの深さ  $z (< a)$  における音速が  $\frac{v_1}{\sqrt{1 - (\frac{z}{a})^2}}$  のように連続的に変化する媒質を作った。図3に示したように、その媒質中に垂直方向から  $\theta_3$  の角度で入射した音波は、 $z = [ 12 ]$  までしか媒質中に進入できないことがわかる。

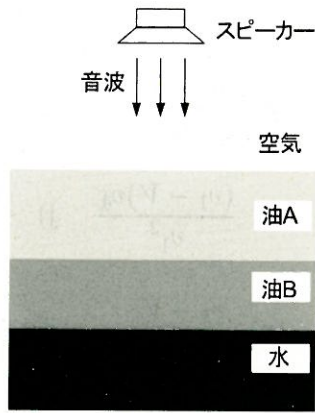


図 1

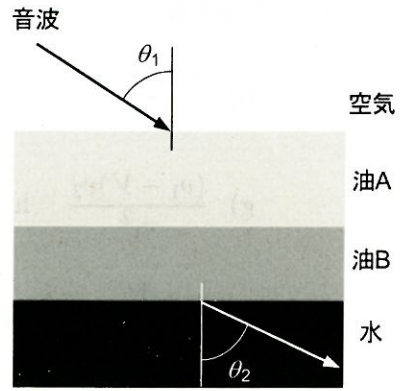


図 2

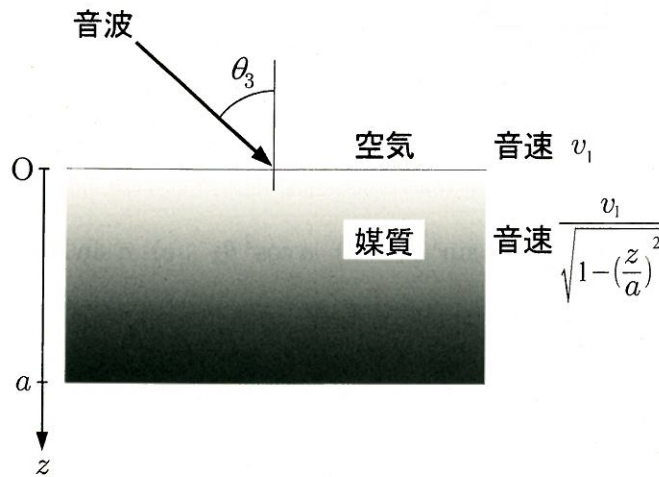


図 3

[ 1 ] ~ [ 4 ], [ 9 ] ~ [ 11 ] の選択肢

- |                                |                                |                                |                              |                              |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| a) 1                           | b) 2                           | c) 3                           | d) 4                         | e) 5                         | f) $\frac{v_2}{v_1}$           |
| g) $\frac{v_3}{v_1}$           | h) $\frac{v_4}{v_1}$           | i) $\frac{v_1}{v_2}$           | j) $\frac{v_3}{v_2}$         | k) $\frac{v_4}{v_2}$         | l) $\frac{v_1}{v_3}$           |
| m) $\frac{v_2}{v_3}$           | n) $\frac{v_4}{v_3}$           | o) $\frac{v_1}{v_4}$           | p) $\frac{v_2}{v_4}$         | q) $\frac{v_3}{v_4}$         | r) $\frac{v_2 v_3 v_4}{v_1^3}$ |
| s) $\frac{v_1 v_2 v_3}{v_4^3}$ | t) $\frac{v_1^3}{v_2 v_3 v_4}$ | u) $\frac{v_4^3}{v_1 v_2 v_3}$ | v) $\frac{v_3 v_4}{v_1 v_2}$ | w) $\frac{v_1 v_2}{v_3 v_4}$ |                                |

[ 5 ] ~ [ 8 ] の選択肢

- a)  $\frac{v_1 - V}{v_1}$     b)  $\frac{v_1 + V}{v_1}$     c)  $\frac{v_1 - V}{v_2}$     d)  $\frac{v_1 + V}{v_2}$     e)  $\frac{v_1 - V}{v_4}$
- f)  $\frac{v_1 + V}{v_4}$     g)  $\frac{(v_1 - V)v_2}{v_1^2}$     h)  $\frac{(v_1 + V)v_2}{v_1^2}$     i)  $\frac{(v_1 - V)v_4}{v_1^2}$     j)  $\frac{(v_1 + V)v_4}{v_1^2}$
- k)  $\frac{v_1}{v_1 - V}$     l)  $\frac{v_1 + V}{v_1 - V}$     m)  $\frac{v_1}{v_1 + V}$     n)  $\frac{v_1 - V}{v_1 + V}$     o)  $\frac{v_2^2}{(v_1 - V)v_1}$
- p)  $\frac{v_4^2}{(v_1 - V)v_1}$     q)  $\frac{v_2^2}{(v_1 + V)v_1}$     r)  $\frac{v_4^2}{(v_1 + V)v_1}$     s)  $\frac{(v_1 + V)v_2}{(v_1 - V)v_1}$     t)  $\frac{(v_1 + V)v_4}{(v_1 - V)v_1}$
- u)  $\frac{(v_1 - V)v_2}{(v_1 + V)v_1}$     v)  $\frac{(v_1 - V)v_4}{(v_1 + V)v_1}$

[ 12 ] の選択肢

- a)  $a \sin \theta_3$     b)  $a \cos \theta_3$     c)  $a \sin^2 \theta_3$     d)  $a \cos^2 \theta_3$     e)  $a \sin 2\theta_3$     f)  $a \cos 2\theta_3$