

# 物 理

(解答番号 1 ~ 22)

**第1問** 次の問い(問1~5)に答えよ。(配点 25)

**問1** 図1(i)のように、同じ厚さ同じ幅をもつ長さ $L$ と $2L$ の二つの直方体の板AとBを、左端をそろえて貼り合わせ、水平な台の上に、板の左端と台の右端が平行になるように置く。二つの板の密度は一樣で等しい。図1(ii)のように、台の右端から板Bの重心までの水平方向の距離を $x$ とする。貼り合わせた板全体の重心が台の右端よりも左側にあれば、板は台から落下しない。板の左端を、台の右端と平行に保ったまま、台の右端に向かってゆっくりと押していったとき、板が落下しない $x$ の最大値を表す式として正しいものを、後の①~⑧のうちから一つ選べ。 1

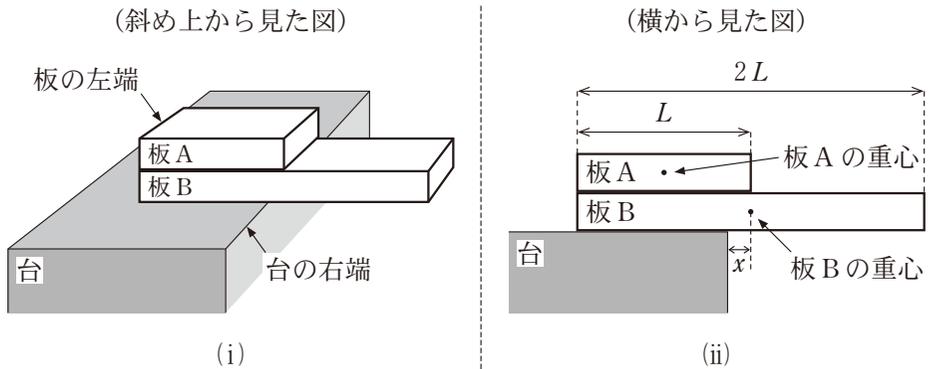


図 1

- |                 |                  |                  |                 |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| ① 0             | ② $\frac{L}{16}$ | ③ $\frac{L}{12}$ | ④ $\frac{L}{8}$ |
| ⑤ $\frac{L}{6}$ | ⑥ $\frac{L}{4}$  | ⑦ $\frac{L}{3}$  | ⑧ $\frac{L}{2}$ |

問 2 図 2 のように、容積  $V$  の容器 A と容積  $2V$  の容器 B が、コックのついた細管でつながれている。コックを閉じた状態で、容器 A に物質量  $3n$  の単原子分子理想気体を、容器 B に物質量  $n$  の単原子分子理想気体を閉じ込めたところ、容器 A 内の気体の圧力は  $3p$ 、容器 B 内の気体の圧力は  $\frac{p}{2}$  になった。コックを開くと、やがて熱平衡に達し、二つの容器内の気体の圧力は等しくなった。このときの絶対温度を表す式として正しいものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、気体定数を  $R$  とし、容器や細管の壁は熱を通さず、細管内の気体の体積は無視できるものとする。

2

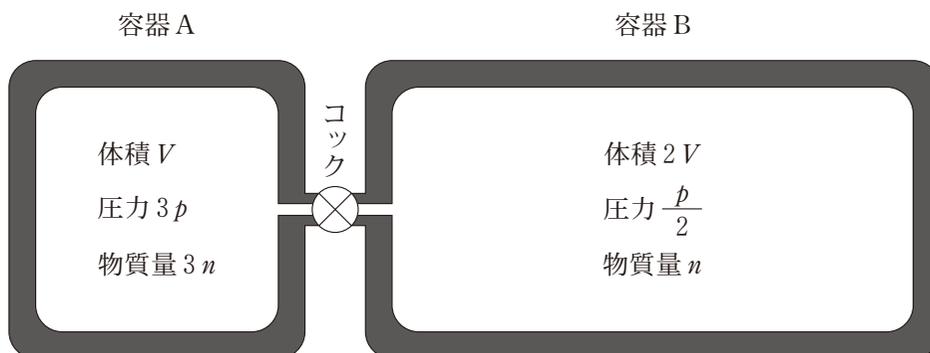


図 2

- ①  $\frac{pV}{4nR}$                       ②  $\frac{pV}{3nR}$                       ③  $\frac{pV}{2nR}$
- ④  $\frac{pV}{nR}$                         ⑤  $\frac{2pV}{nR}$                       ⑥  $\frac{4pV}{nR}$

# 物 理

問 3 次の文章中の空欄  ・  に入れる語と記号の組合せとして最も  
適当なものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。

透明なフィルムに等間隔に平行な細かい溝(例えば、1 mm あたり数十～数百本)を引くと、透過型の回折格子ができる。図3のように、縦方向に溝を引いた回折格子に垂直にレーザー光をあてると、回折格子に平行なスクリーンに回折像ができた。

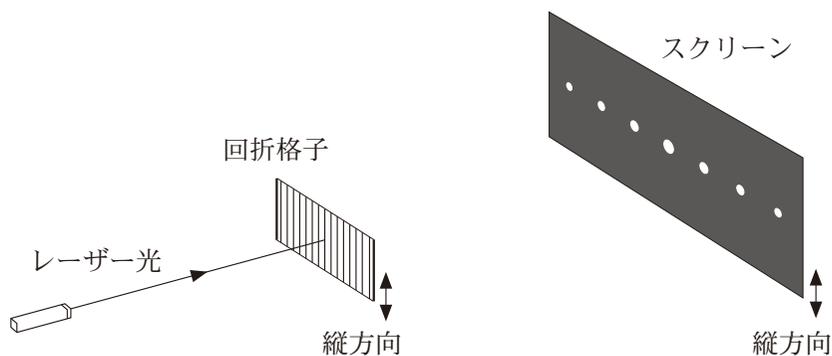


図 3 (模式図)

レーザー光を緑色から赤色に変更すると、回折像の光の点の間隔は  になった。

次に、図3の回折格子を、図4の左側のような横方向にも縦方向と同じ間隔で等間隔に溝を引いた回折格子に置き換えた。このとき、レーザー光を回折格子に垂直にあてると図4の右側に示す回折像が得られた。

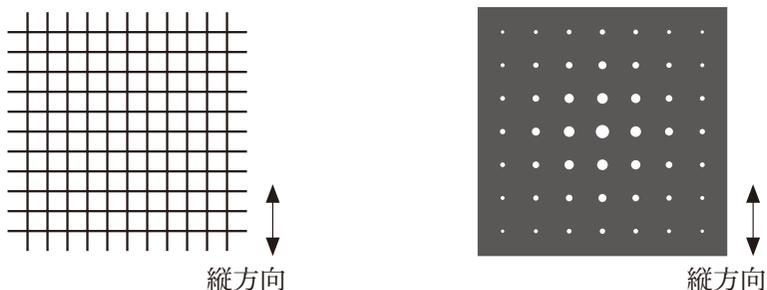


図 4

さらに、図5の **イ** のような回折格子に垂直にレーザー光をあてると、  
図6のような、光の点の縦横の間隔が異なる回折像が得られた。

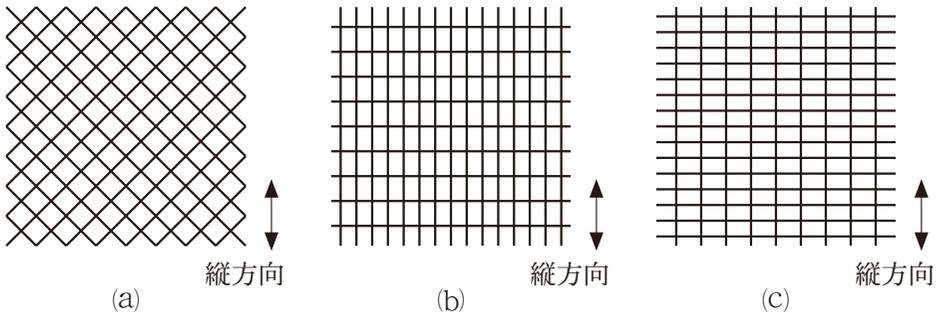


図 5

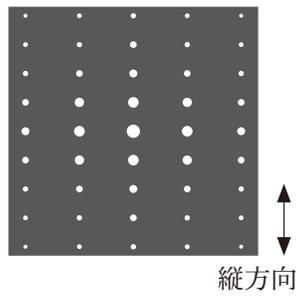


図 6

**3** の選択肢

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	広 <	広 <	広 <	狭 <	狭 <	狭 <
イ	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)

## 物 理

問 4 図7のように、2本の同じ長さの軽い糸のそれぞれの一端に正の電気量を与えた小球を付け、糸の他端を天井に取り付けたところ、2本の糸が $90^\circ$ の角度を保って静止した。糸は伸びず、電気を通さないものとする。

この状態で、時刻 $t = 0$ に2本の糸を天井から同時に切り離すと、二つの小球は落下を始めた。図7の水平右向きに $x$ 軸、鉛直下向きに $y$ 軸をとる。小球の運動はこの $xy$ 平面内で起きるものとする。右側の小球の速度の $x$ 成分 $v_x$ および $y$ 成分 $v_y$ の時間変化を表すグラフとして最も適当なものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、空気および磁場(磁界)の影響は無視できるものとする。

4

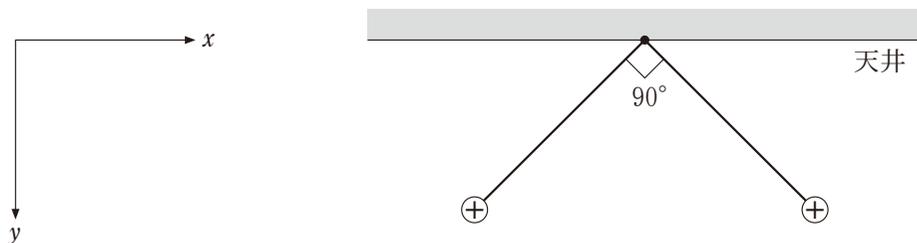
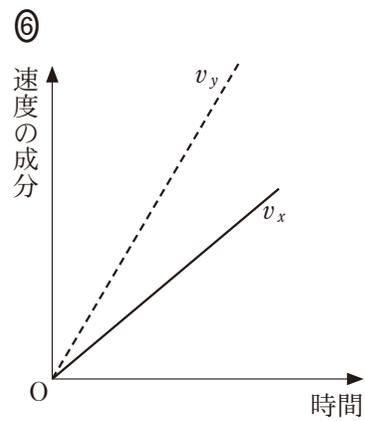
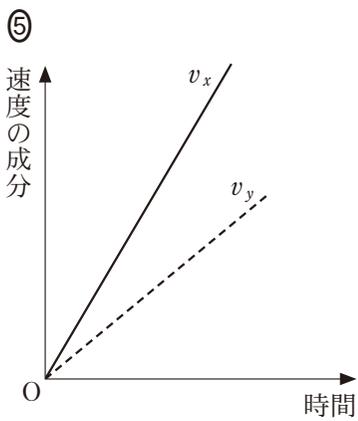
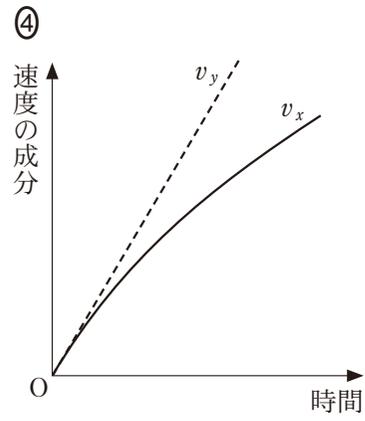
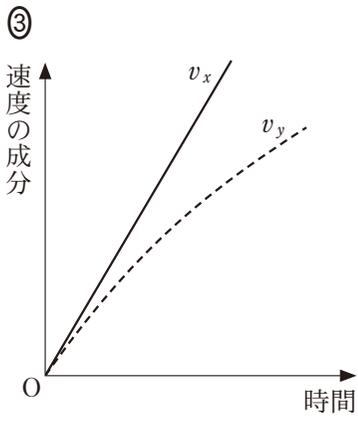
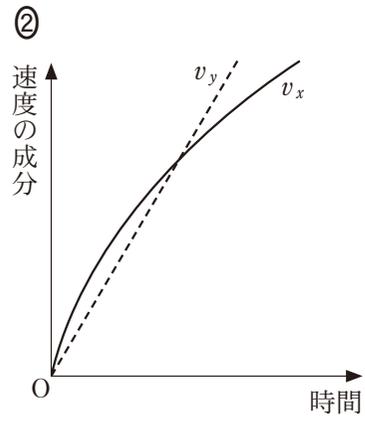
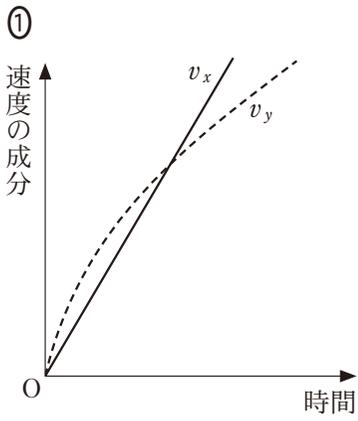


図 7



# 物 理

問 5 次の文章中の空欄  ・  に入れる式と値の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、電気素量を  $e$  ( $e > 0$ ) とする。

クォーク模型によると、陽子は、図 8 のように、2 個のアップクォーク (u) と 1 個のダウンクォーク (d) からなり、中性子は、1 個の u と 2 個の d からなると考えられる。このことから d の電荷を求めると、 となる。また、 $\pi^+$  という中間子は、1 個の  $\bar{d}$  (d の反粒子 : d と質量が等しく、電荷の符号が反対の粒子) と、 個の u からなり、 $+e$  の電荷をもつ。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ウ	$-\frac{2}{3}e$	$-\frac{2}{3}e$	$-\frac{1}{3}e$	$-\frac{1}{3}e$	$+\frac{1}{3}e$	$+\frac{1}{3}e$	$+\frac{2}{3}e$	$+\frac{2}{3}e$
エ	1	2	1	2	1	2	1	2

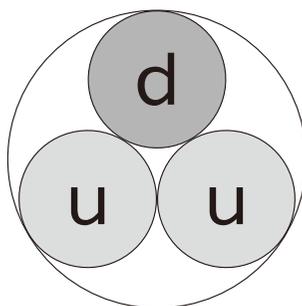


図 8

## 物 理

### 第 2 問 次の文章を読み、後の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。(配点 25)

落下した小球が水平な床と弾性衝突し、鉛直上方にはねかえる運動について考える。重力加速度の大きさを  $g$  とし、速度は鉛直上向きを正の向きにとる。また、空気抵抗は無視する。

まず、一つの小球の運動を考える。床からの高さ  $h$  の位置から、小球を速さ  $v_0$  ( $v_0 > 0$ ) で鉛直方向に投げ上げる場合と、投げ下ろす場合を考える。

問 1 投げ上げても、投げ下ろしても、小球が床に到達する直前の速さは同じになる。その速さを表す式として正しいものを、次の①~⑤のうちから一つ選べ。

6

- ①  $\sqrt{2gh + v_0^2}$       ②  $\sqrt{2gh - v_0^2}$       ③  $\sqrt{2gh} + v_0$   
④  $\sqrt{2gh} - v_0$       ⑤  $\sqrt{2gh}$

問 2 小球は床ではねかえり、その後、最高点に到達する。この最高点の高さについて述べた文として正しいものを、次の①~⑤のうちから一つ選べ。

7

- ① 投げ上げた場合は  $h$  より大きく、投げ下ろした場合は  $h$  より小さい。  
② 投げ下ろした場合は  $h$  より大きく、投げ上げた場合は  $h$  より小さい。  
③ 投げ上げても、投げ下ろしても、 $h$  より大きい。  
④ 投げ上げても、投げ下ろしても、 $h$  より小さい。  
⑤ 投げ上げても、投げ下ろしても、 $h$  に等しい。

次に、質量  $m$  の小球 A と、より軽い質量  $km$  ( $0 < k < 1$ ) の小球 B を用意する。図 1 (i) のように A の真上に B がくるようにし、A と B の間に少しだけ隙間をあけて静止させてから、同時に自由落下させる。図 1 (ii) のように、A は床ではねかえり、直後に落下してきた B と弾性衝突する。B と衝突する直前の A の速度を  $v$  とする。A と衝突する直前の B の速度は  $-v$  としてよい。ただし、A と B は衝突後も同一鉛直線上を運動し、二つの小球の衝突において運動量の和は変わらないものとする。

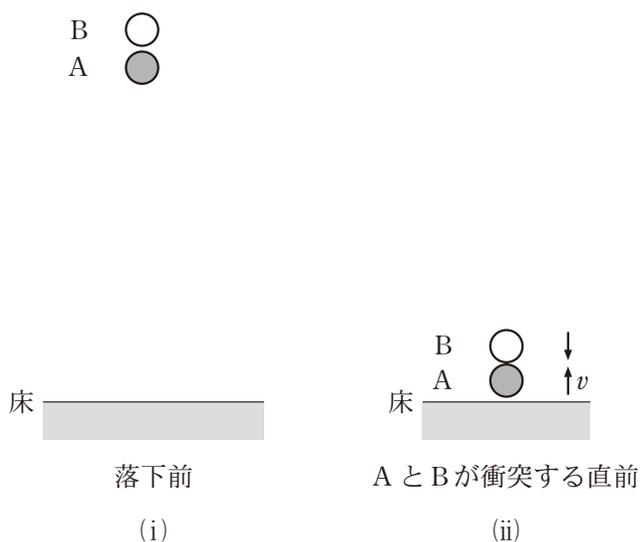


図 1

## 物 理

問 3 次の文章中の空欄  に入れる式として正しいものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。

二つの小球が衝突した直後の A の速度  $v_A$  と B の速度  $v_B$  は、 $k$  と、床からはねかえった直後の A の速度  $v$  を用いてそれぞれ次のように書ける。

$$v_A = \text{}$$
$$v_B = \frac{3-k}{1+k}v$$

- ①  $\frac{1-3k}{1+k}v$                       ②  $-\frac{3-k}{1+k}v$                       ③  $\frac{3-k}{1+k}v$   
④  $\frac{1-3k}{1-k}v$                       ⑤  $-\frac{3-k}{1-k}v$                       ⑥  $\frac{3-k}{1-k}v$

問 4 二つの小球の運動に関する文として正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 二つの小球の力学的エネルギーの総和は、自由落下開始から二つの小球の衝突前まで保存されているが、衝突後は保存されない。  
② 二つの小球の力学的エネルギーの総和は、落下とともに増大し、二つの小球が衝突したとき、最大になる。  
③ A の運動エネルギーは、床との衝突で変わらない。  
④ B の運動エネルギーは、A との衝突で変わらない。

問 5 A と衝突した後の B の運動に関する文として正しいものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 10

- ①  $k$  が大きいほど B は高く上がるが、自由落下前の高さまで到達することはない。
- ②  $k$  が大きいほど B は高く上がり、自由落下前の高さを必ず超える。
- ③  $k$  の値によらず、B が到達する最高点は、必ず自由落下前の高さとなる。
- ④  $k$  が小さいほど B は高く上がるが、自由落下前の高さまで到達することはない。
- ⑤  $k$  が小さいほど B は高く上がり、自由落下前の高さを必ず超える。

## 物 理

### 第 3 問 音の速さと温度の関係について、後の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。

(配点 25)

AさんとBさんが先生を交えて空気中を伝わる音の速さについて議論している。

Aさん：空気中を伝わる音の速さは、気温が $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 上がると $0.6\text{ m/s}$ だけ大きくなると習ったけど、どうして音の速さは温度によって変化するんだろう？

Bさん：音の波を伝える媒質は空気だから、理想気体の状態方程式から考えてみよう。

問 1 理想気体の状態方程式に関する次の文(a)~(c)から正しいものをすべて選んだ組合せとして最も適当なものを、後の①~⑦のうちから一つ選べ。ただし、気体定数の値は与えられているものとする。 

11
----

- (a) 温度と圧力と体積が与えられれば、気体分子の質量を求めることができる。
- (b) 温度と圧力と体積が与えられれば、気体分子の質量が与えられなくても、物質質量を求めることができる。
- (c) 温度と体積が与えられれば、気体分子の物質質量が与えられなくても、圧力を求めることができる。

- ① (a)                      ② (b)                      ③ (c)
- ④ (a)と(b)                ⑤ (a)と(c)                ⑥ (b)と(c)
- ⑦ (a)と(b)と(c)

先 生：物理量の間関係を見つけないときは、物理量の単位に着目するとよいでしょう。長さの単位 m，質量の単位 kg，時間の単位 s を組み合わせて、理想気体の状態方程式に現れる物理量と音の速さの単位を比較してみましょう。

Aさん：音は疎密波として空气中を伝わるからその速さは気体の圧力  $p$  と関係があるのかな。圧力  $p$  は単位面積あたりの力の大きさで表されるから、圧力の単位 Pa は  $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$  となります。

先 生：圧力  $p$  の単位には kg が入っていますが、音の速さの単位には入っていませんね。音の速さを状態方程式に現れる物理量を用いて表すには、単位に kg を含む他の物理量も必要です。

Bさん：それでは、気体の単位体積あたりの質量である密度  $\rho$  を組み合わせてみよう。

問 2 m, kg, s を組み合わせて単位を表すとき、速さと同じ単位になる量を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 12

①  $\frac{\rho}{p}$       ②  $\frac{p}{\rho}$       ③  $\sqrt{\rho p}$       ④  $\sqrt{\frac{\rho}{p}}$       ⑤  $\sqrt{\frac{p}{\rho}}$

## 物 理

Aさん：いま求めた量と状態方程式を使えば音の速さと温度の関係式が得られそうです。

先生：素晴らしい。その式に温度などによらない係数として単位をもたない定数  $C$  をかけて、1 モルあたりの質量  $M$  を使って書き換えると、

$$v = C \sqrt{\frac{RT}{M}} \quad (1)$$

となりますね。ここで、 $R$  は気体定数、 $T$  は絶対温度です。

問 3 次の文章中の空欄 **ア** ・ **イ** には、それぞれの直後の { } 内の文のいずれか一つが入る。文章が正しくなるような記号の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑨のうちから一つ選べ。 **13**

式(1)における定数  $C$  の値が等しい2種類の理想気体 X と Y がある。同じ温度でそれぞれの音の速さを測定したところ、気体 X の方が大きかった。この測定から、1 モルあたりの質量について、

**ア**  $\left\{ \begin{array}{l} \text{(a) 気体 X の方が大きいことがわかる} \\ \text{(b) 気体 Y の方が大きいことがわかる} \\ \text{(c) どちらが大きいかはわからない} \end{array} \right\}$ 。また、温度が  $T_1$  のとき

の音の速さと、温度が  $T_2 (T_2 > T_1)$  のときの音の速さの差をみると、その差

の大きさは、**イ**  $\left\{ \begin{array}{l} \text{(d) 気体 X の方が大きい} \\ \text{(e) 気体 X と気体 Y で等しい} \\ \text{(f) 気体 Y の方が大きい} \end{array} \right\}$ 。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
ア	(a)	(a)	(a)	(b)	(b)	(b)	(c)	(c)	(c)
イ	(d)	(e)	(f)	(d)	(e)	(f)	(d)	(e)	(f)

問 4 次の会話文中の空欄 14 に入れる式として最も適当なものを、直後の { } で囲んだ選択肢のうちから一つ選べ。

先 生：式(1)において定数  $C$  がわからなかったとしても、ある絶対温度  $T_0$  での音の速さ  $v_0$  がわかれば、絶対温度  $T$  での音の速さは、

$$v = v_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

と表すことができます。

Bさん： $T$  は絶対温度だから、セ氏温度(セルシウス温度)で表したときの数値  $t$  を使った式にするためには、 $T$  を  $t$  で書き換える必要があるね。

Aさん：教科書に載っている  $0^\circ\text{C}$  ( $273\text{ K}$ ) での音の速さ  $v_0$  を基準にしましょう。平方根が残りますがどうすればいいですか。

先 生： $|x|$  が 1 より十分に小さいときの近似式  $\sqrt{1+x} \doteq 1 + \frac{1}{2}x$  が使えます。

Bさん：その近似式を使えば、音の速さの温度変化を表す式

$$v \doteq \left. \begin{array}{ll} \textcircled{1} v_0 \left(1 + \frac{t}{546}\right) & \textcircled{2} v_0 \left(1 - \frac{t}{546}\right) \\ \textcircled{3} v_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) & \textcircled{4} v_0 \left(1 - \frac{t}{273}\right) \\ \textcircled{5} v_0 \left(1 + \frac{t}{2}\right) & \textcircled{6} v_0 \left(1 - \frac{t}{2}\right) \end{array} \right\}$$

が得られるね。

Aさん： $v_0$  の値を代入したら、気温が  $1^\circ\text{C}$  上がると音の速さが約  $0.6\text{ m/s}$  だけ大きくなる関係式が得られました。

## 物 理

問 5 次の文章中の空欄 15 に入れる語句として最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。

物体に向けて音波を出し、それが反射して戻ってくるまでの時間と、 $20^{\circ}\text{C}$ における音の速さを用いて、物体までの距離を測る装置がある。気温が $20^{\circ}\text{C}$ よりも $5^{\circ}\text{C}$ 上がったとき、気温による音の速さの変化が考慮されていないため、この装置は距離を約 15 見積もってしまうことになる。

- |             |             |
|-------------|-------------|
| ① 0.1 % 小さく | ② 0.1 % 大きく |
| ③ 1 % 小さく   | ④ 1 % 大きく   |
| ⑤ 5 % 小さく   | ⑥ 5 % 大きく   |
| ⑦ 10 % 小さく  | ⑧ 10 % 大きく  |

## 物 理

**第 4 問** 手回し発電機の原理に関する次の文章を読み、後の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。(配点 25)

手回し発電機では、ハンドルを回転させることによって直流電圧を発生させることができる。発生する直流電圧はハンドルの回転数だけで決まり、同じ速さでハンドルを回すと、接続するものによらず電圧は同じになるものとする。

手回し発電機にコンデンサーと抵抗器を直列に接続して、一定の回転数を保ちながらハンドルを回し、コンデンサーを充電していると、ハンドルの手ごたえは徐々に軽くなる。

**問 1** 次の文章中の空欄 **16** に入れる式として最も適当なものを、直後の { } で囲んだ選択肢のうちから一つ、空欄 **17** に入れるグラフとして最も適当なものを、後の選択肢のうちから一つ選べ。

手回し発電機を、端子電圧が一定値  $V_0$  の電源とみなして、図 1 のような回路を用いてコンデンサーを充電することを考える。初めにコンデンサーには電荷が蓄えられていないものとし、時刻  $t = 0$  にスイッチを入れる。充電中のコンデンサーの電圧を  $V$ 、抵抗を流れる電流の大きさを  $I$  とすると、 $I$  は

**16**  $\left\{ \begin{array}{l} \text{① } V \\ \text{② } V_0 \\ \text{③ } V_0 - V \\ \text{④ } V_0 + V \end{array} \right\}$  に比例する。コンデンサーを充電している間の  $I$  の

時間変化のグラフは **17** のようになる。

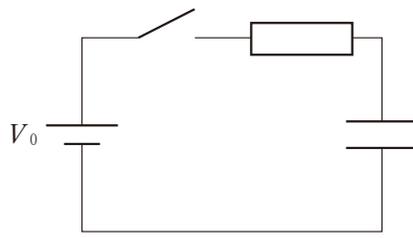
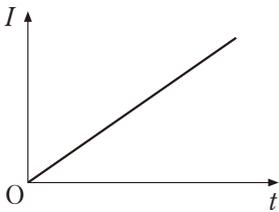


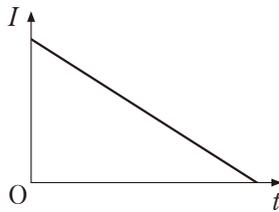
図 1

17 の選択肢

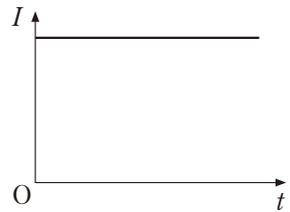
①



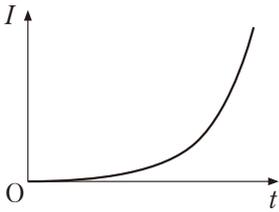
②



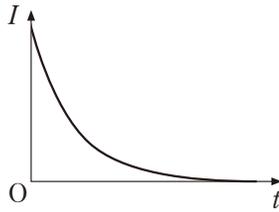
③



④



⑤



## 物 理

次に、豆電球を手回し発電機に接続して、一定の速さでハンドルを回し、豆電球を光らせてみる。

問 2 次の文章中の空欄 18 に入れるものとして最も適当なものを、直後の { } で囲んだ選択肢のうちから一つ選べ。

図 2 のように、同じ手回し発電機に、(i) 豆電球 1 個をつないだ場合と、(ii) 豆電球 2 個を並列につないだ場合とを比べる。(i)、(ii) ともに同じ速さでハ

ンドルを回すと、 18 { ① 回路の抵抗値が小さい (i)  
② 回路の抵抗値が小さい (ii)  
③ 回路の抵抗値が大きい (i)  
④ 回路の抵抗値が大きい (ii) } の方がハンドル

の手ごたえが重かった。ただし、豆電球はすべて同じものである。

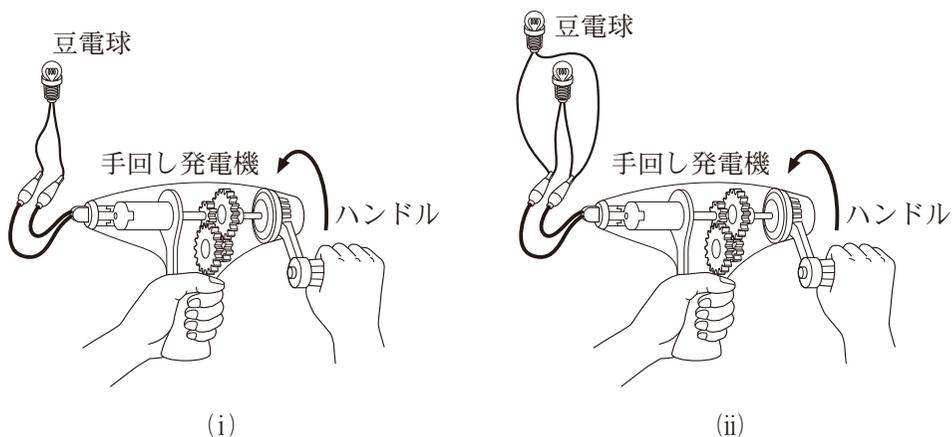


図 2

問 3 問 2 の実験で，図 2(i) の回路の消費電力  $P_1$  と，図 2(ii) の回路の消費電力  $P_2$  の関係を表す式として最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

19

①  $P_1 = \frac{1}{4} P_2$

②  $P_1 = \frac{1}{2} P_2$

③  $P_1 = P_2$

④  $P_1 = 2 P_2$

⑤  $P_1 = 4 P_2$

## 物 理

続いて、手回し発電機のハンドルの手ごたえを考えるために、内部のコイルを回転させるときの仕事率について考える。

簡単のため、図3のように、長方形のコイルを、磁束密度の大きさが  $B$  の一様な磁場(磁界)の中で、一定の角速度  $\omega$  で回転させることを考える。磁場はコイルの回転軸に垂直である。ここでは、QRST の順に流れる電流の向きを正の向き、QT の側から見たコイルの回転の向きは、反時計回りを正の向きとする。また、コイルに流れる電流による磁場の影響はないものとする。

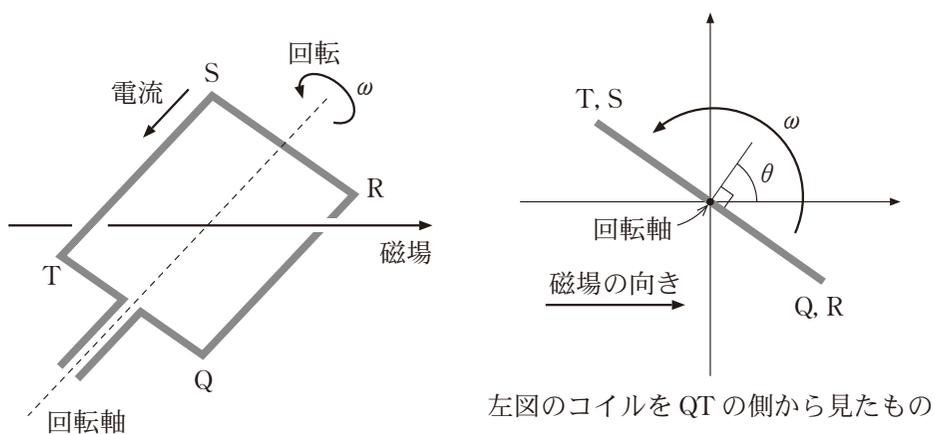
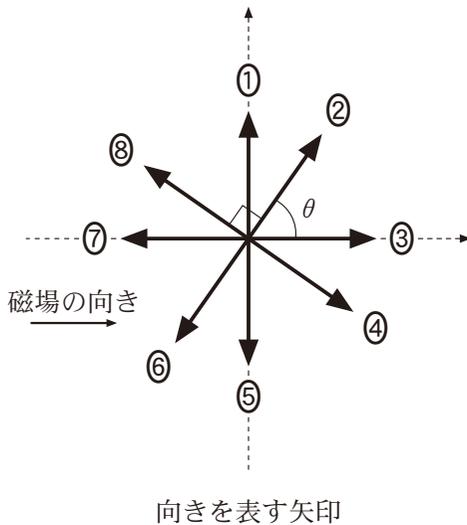


図 3

問 4 次の文章中の空欄  ・  に入れるものとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちからそれぞれ一つずつ選べ。ただし、同じものを繰り返し選んでもよい。

抵抗が接続されたコイルを正の向きに回転させると、誘導起電力によってコイルに電流が流れる。図3のように、コイルの面 QRST の法線と磁場のなす角度が  $\theta$  のとき、頂点 T の速度は、QT の側から見て  の向きになる。ST を流れる電流にはたらく力は、QT の側から見て  の向きになる。QR については、反対向きの同じ大きさの力がはたらく。



# 物 理

問 5 次の文章中の空欄 **ア** ・ **イ** に入れる式の組合せとして最も適切なものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。 **22**

ST と QR の、速度と受ける力から、仕事率が求められる。コイルが図4に示す位置にあるときを考えよう。RS と QT の長さを  $2a$  とする。コイルが一定の角速度  $\omega$  で回転しているとする、ST と QR の速さは **ア** になる。また、長さ  $L$  の ST と QR が磁場から受ける力を考えると、コイルを回すための仕事率の大きさは、コイルに流れる電流  $I$  を用いて **イ** と表される。この結果を用いると、ハンドルを回す力による力のモーメントが求められ、これがハンドルの手ごたえに相当する。

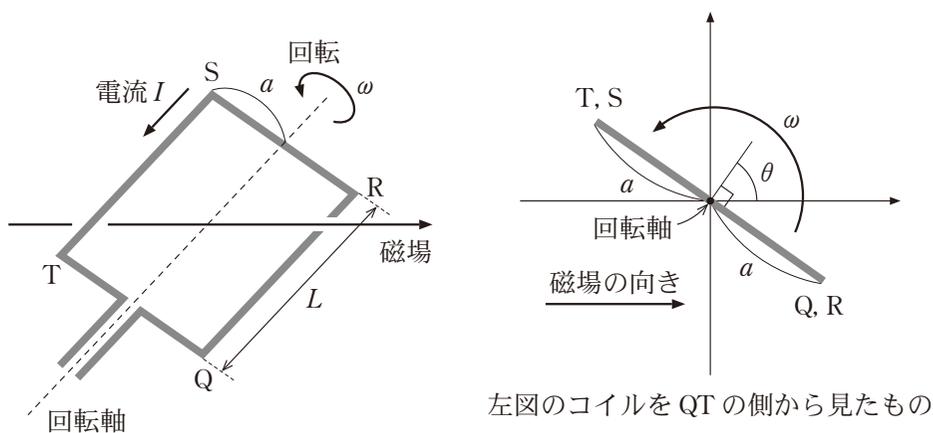


図4 (図3の再掲。ただし、 $a$  と  $L$  と  $I$  を書き加えた。)

	ア	イ
①	$a\omega$	$2 a\omega IBL$
②	$a\omega$	$2 a\omega IBL \sin \theta$
③	$a\omega$	$2 a\omega IBL \cos \theta$
④	$\frac{a}{\omega}$	$\frac{2 a IBL}{\omega}$
⑤	$\frac{a}{\omega}$	$\frac{2 a IBL}{\omega} \sin \theta$
⑥	$\frac{a}{\omega}$	$\frac{2 a IBL}{\omega} \cos \theta$