物　　　　　理

（解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{22}$）

第1問　次の問い（問1～5）に答えよ。（配点　25）

問1　一様な円板の中心に穴をあけ，図1のような装置を作った。円板は，鉛直面（紙面）内で，中心Oに通した回転軸のまわりに回転できる。ただし，穴と回転軸の間の摩擦は小さいものとする。

質量の等しいおもりAとおもりBをOから等距離の位置に取りつけた。円板から手をはなしたところ，図1のように，おもりAとBが同じ高さになる位置で円板が静止した。この状態で，円板上にOを通る水平な線分LL′を描いた。

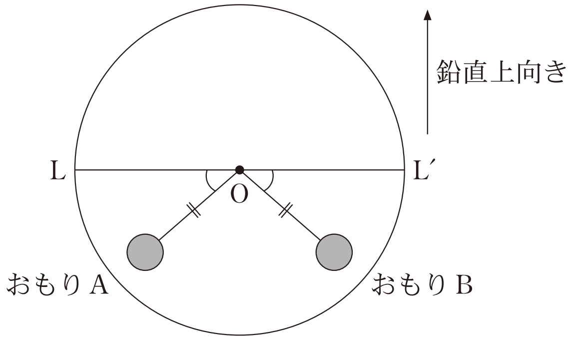


図　1

　次に，円板を手で支えて，おもりＢだけを鉛直上向きにずらし，図２のようにＯと同じ高さに取りつけた。円板から静かに手をはなすと，円板はどのような状態になるか。状態を表した図として最も適当なものを，後の①～⑤のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 1 \quad}$

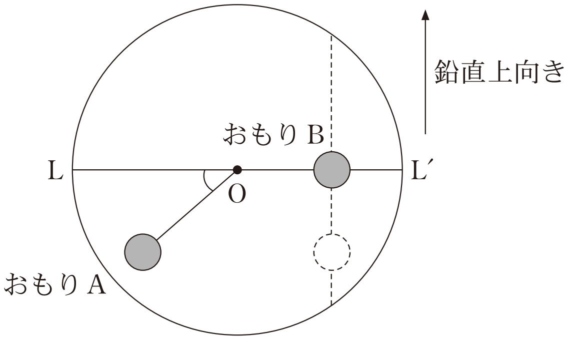
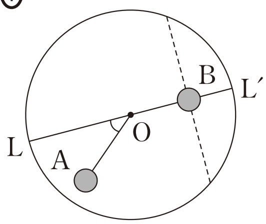


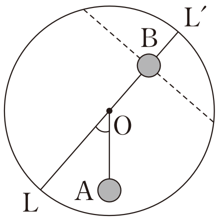
図　２

①



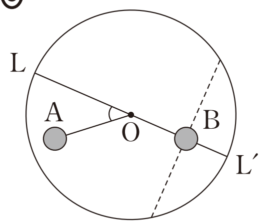
Ａが少しだけ
下がった位置で静止する

②



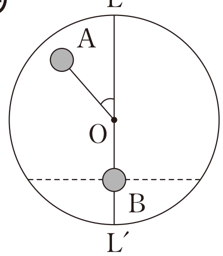
ＡがＯの真下に
きた位置で静止する

③



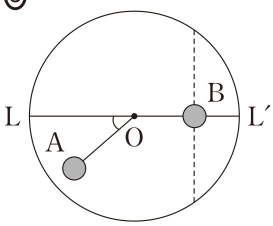
ＡとＢが同じ高さに
なった位置で静止する

④



ＢがＯの真下に
きた位置で静止する

⑤



変化しない

物　理

問 2　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ・ $\boxed{\text{イ}}$ に入れる式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。 $\boxed{2}$

ウランやラジウムなどの不安定な原子核は，放射線を放出して別の種類の原子核に崩壊する。陽子の数が Z，中性子の数が N の原子核がある。この原子核が α 崩壊した。崩壊により生じた原子核はさらに β 崩壊して電子を放出した。この β 崩壊後の原子核に含まれる陽子の数は $\boxed{\text{ア}}$ ，中性子の数は $\boxed{\text{イ}}$ である。

	ア	イ
①	$Z-1$	$N-2$
②	$Z-1$	$N-3$
③	$Z-1$	$N-4$
④	$Z-2$	$N-2$
⑤	$Z-2$	$N-3$
⑥	$Z-2$	$N-4$

問 3　次の文章中の空欄 **ウ** ・ **エ** に入れる数値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。 **3**

図 3 のように，一辺の長さが L の立方体の容器 A と一辺の長さが $2L$ の立方体の容器 B がある。容器 A には，質量 m の単原子分子 N 個からなる理想気体，容器 B には，質量 $5m$ の単原子分子 N 個からなる理想気体が入っている。二つの容器内の気体の温度(絶対温度)は等しい。このとき，容器 B の気体分子 1 個あたりの運動エネルギーの平均値は，容器 A の気体分子 1 個あたりの運動エネルギーの平均値の **ウ** 倍となり，容器 B の気体分子の二乗平均速度(根平均二乗速度)は，容器 A の気体分子の二乗平均速度の **エ** 倍となる。

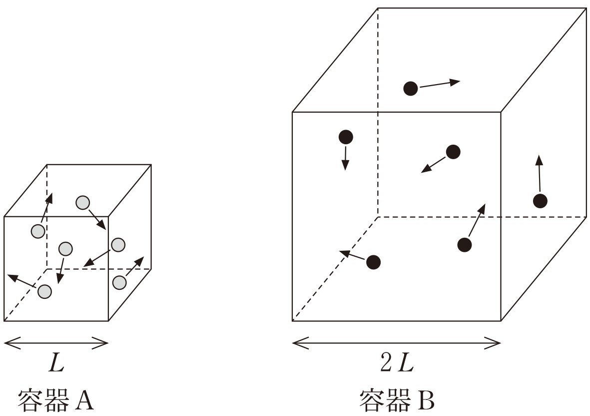


図　3

	①	②	③	④	⑤	⑥
ウ	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	1	1	8	8
エ	$\frac{1}{\sqrt{5}}$	$\sqrt{5}$	$\frac{1}{\sqrt{5}}$	$\sqrt{5}$	$\frac{1}{\sqrt{5}}$	$\sqrt{5}$

物　理

問 4　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{オ}}$ ・ $\boxed{\text{カ}}$ に入れる式と語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。 $\boxed{4}$

球形の水滴が空気中に浮いている。図 4 のように，ある波長の可視光線が，水滴の中心 O を含む平面内を進む。この可視光線は，球面上の点 A から入射・屈折して，点 B で反射し，点 C で再び屈折して水滴の外に出射する。境界が曲面の場合，入射点で曲面に接する平面で，屈折および反射の法則が成り立つ。点 A での入射角を α，屈折角を β とし，入射光線と出射光線を延長した直線の交点を D とする。∠ADC を γ とし，ここでは反射角と呼ぶ。また，空気に対する水の屈折率を n とする。このとき，屈折率 n と α，β の関係は $n = \boxed{\text{オ}}$ となる。

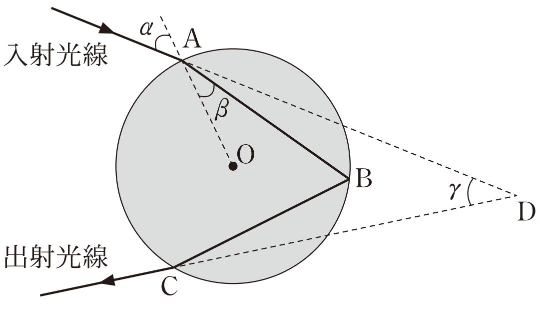


図　4

赤色と紫色の光線が図 4 の点 A に同じ入射角 α で入射する場合を考える。幾何学的考察から，$\gamma = 4\beta - 2\alpha$ の関係がある。この関係式を利用し，屈折率 n は赤色の方が紫色より小さいことを考えると，赤色に対する反射角は紫色に対する反射角より $\boxed{\text{カ}}$ 。

	①	②	③	④	⑤	⑥
オ	$\sin\alpha\sin\beta$	$\sin\alpha\sin\beta$	$\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}$	$\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}$	$\dfrac{\sin\beta}{\sin\alpha}$	$\dfrac{\sin\beta}{\sin\alpha}$
カ	大きい	小さい	大きい	小さい	大きい	小さい

問 5　真空中に電気量 $Q\,(Q > 0)$ の点電荷を固定した。点電荷から距離 R だけ離れた位置に，電気量 $q\,(q > 0)$ の荷電粒子を静かに置いた。その後，荷電粒子は静電気力のみを受けて，点電荷から離れていった。十分に離れたときの荷電粒子の運動エネルギーは K であった。真空中のクーロンの法則の比例定数を k_0 としたとき，距離 R を q，Q，K，および k_0 で表した式として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。$R = \boxed{\ 5\ }$

① $\sqrt{\dfrac{2k_0Qq}{K}}$　② $\sqrt{\dfrac{k_0Qq}{K}}$　③ $\sqrt{\dfrac{k_0Qq}{2K}}$

④ $\dfrac{2k_0Qq}{K}$　⑤ $\dfrac{k_0Qq}{K}$　⑥ $\dfrac{k_0Qq}{2K}$

物　理

第2問　次の文章（**A**・**B**）を読み，後の問い（**問1～6**）に答えよ。（配点　25）

A　図1に示したように，なめらかな水平面上に質量Mの平板Aを置き，その上に質量mの物体Bを置く。平板Aと物体Bの間には摩擦がある。図の右向きを，力，加速度，速度の正の向きとする。時刻$t = 0$で平板Aに初速度V_0，物体Bに初速度v_0を与えた。ここで，V_0とv_0は水平面から見た速度であり，$0 < V_0 < v_0$である。その後，平板A，物体Bの速度は同じになった。ただし，物体Bは常に平板Aの上にある。また，空気抵抗は無視できるものとする。

問1　平板A，物体Bが同じ速度となる理由について正しい説明となるように，次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{ウ}}$ に入れる語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。 $\boxed{\ 6\ }$

平板Aと物体Bとの間に $\boxed{\text{ア}}$ 摩擦力がはたらく。このとき，平板Aにはたらく摩擦力は $\boxed{\text{イ}}$ の向き，物体Bにはたらく摩擦力は $\boxed{\text{ウ}}$ の向きである。この二つの力により，平板Aと物体Bの速度の差が減少し，ある時刻で同じになる。

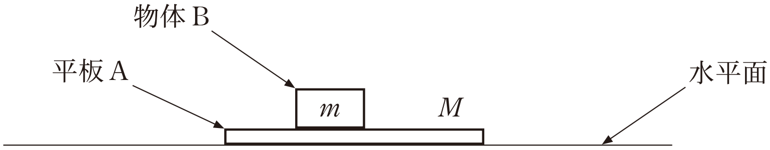


図　1

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	静止	静止	静止	静止	動	動	動	動
イ	正	正	負	負	正	正	負	負
ウ	正	負	正	負	正	負	正	負

問 2　平板Aと物体Bの間にはたらく摩擦力の大きさをFとする。このとき，平板Aから見た物体Bの加速度を表す式として最も適当なものを，次の①〜⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{7}$

① $-\dfrac{F}{M}$　② $-\dfrac{F}{m}$　③ $-\dfrac{mF}{M(M+m)}$

④ $-\dfrac{(M+m)F}{Mm}$　⑤ $-\dfrac{MF}{m(M+m)}$　⑥ $-\dfrac{F}{M+m}$

問 3　平板Aと物体Bの速度が同じになったときのA，Bの速度を表す式として最も適当なものを，次の①〜⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{8}$

① $v_0 - V_0$　② $V_0 + v_0$

③ $\dfrac{MV_0 - mv_0}{M+m}$　④ $\dfrac{(M+m)(V_0+v_0)^2}{2MV_0}$

⑤ $\dfrac{MV_0 + mv_0}{M+m}$　⑥ $\dfrac{(M+m)(V_0+v_0)^2}{2mv_0}$

B　X 線を用いて結晶構造を調べる実験について考えよう。

問 4　X 線に関する次の文(a)～(d)から正しいものを二つ選んだ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。 $\boxed{9}$

(a)　可視光より，波長が短く，透過力が強い。
(b)　電場(電界)によって曲げられない。
(c)　磁場(磁界)によって曲げられる。
(d)　電離作用をもつ荷電粒子の流れである。

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

問 5　次の文章中の空欄 $\boxed{\quad エ \quad}$ ・ $\boxed{\quad オ \quad}$ に入れる式と数値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。 $\boxed{\ 10\ }$

波長 $\lambda = 1.5 \times 10^{-10}$ m の X 線を結晶に当てたところ，図 2 のように反射 X 線が，透過 X 線の進む向きと 60° をなす向きに進み，X 線フィルム上の点として観測された。

この結晶中では，図 3 のように原子を連ねた平面(格子面)が等間隔 d で平行に並んでいると考えることができる。波長 λ の X 線が，格子面と角度 θ をなす向きから入射すると，X 線は格子面内の多くの原子によって散乱されて，いろいろな向きに進む。散乱された X 線が干渉して強めあうのは，ある格子面に対して反射の法則を満たす向きに散乱される場合で，さらに，隣りあう二つの格子面で反射された X 線が同位相になる場合である。これが反射 X 線に相当する。隣りあった格子面で反射される X 線の経路差は $\boxed{\quad エ \quad}$ となる。この経路差が λ に等しいと考えると，$d = \boxed{\quad オ \quad}$ m となる。

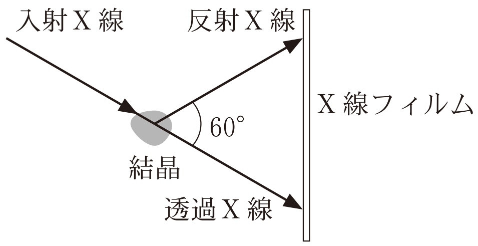


図　2

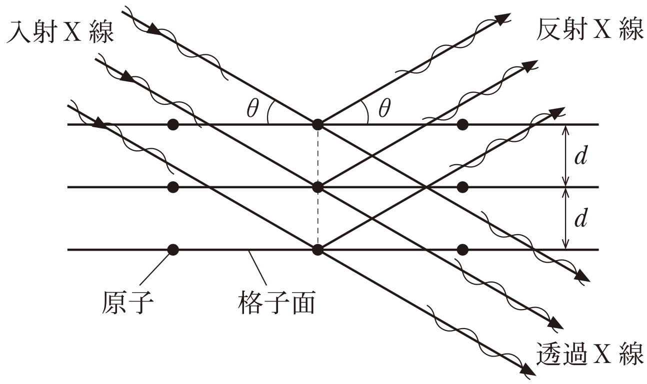


図　3

	エ	オ
①	$2d\sin\theta$	3.8×10^{-11}
②	$2d\sin\theta$	8.7×10^{-11}
③	$2d\sin\theta$	1.5×10^{-10}
④	$\dfrac{2d}{\sin\theta}$	3.8×10^{-11}
⑤	$\dfrac{2d}{\sin\theta}$	8.7×10^{-11}
⑥	$\dfrac{2d}{\sin\theta}$	1.5×10^{-10}

問 6　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{カ}}$ ・ $\boxed{\text{キ}}$ に入れる語句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。 $\boxed{11}$

問 5 の実験のために，X 線を X 線管で発生させる。X 線管内は真空で，陰極から放出される熱電子が，電圧 V によって加速されて陽極に衝突し，X 線が発生する。このとき，電子の運動エネルギーの一部(もしくは全部)が X 線のエネルギーになる。図 4 は，発生する X 線の強さと波長の関係をグラフに描いたもので，最も短い波長を λ_1，強さが最大となる波長を λ_2 とする。ここで，電圧 V を大きくすると，波長 λ_1 は $\boxed{\text{カ}}$ ，また，波長 λ_2 は $\boxed{\text{キ}}$ 。

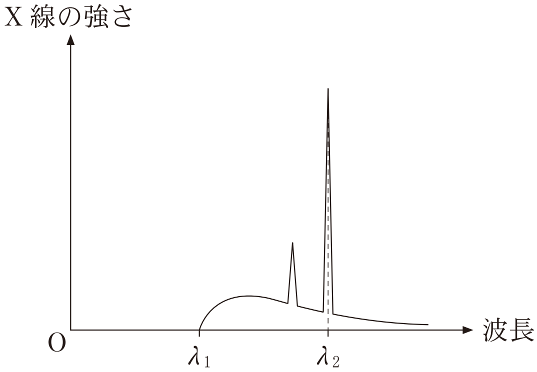


図　4

	カ	キ
①	小さくなり	小さくなる
②	小さくなり	変わらない
③	小さくなり	大きくなる
④	変わらず	小さくなる
⑤	変わらず	変わらない
⑥	変わらず	大きくなる
⑦	大きくなり	小さくなる
⑧	大きくなり	変わらない
⑨	大きくなり	大きくなる

物　理

第3問　次の文章を読み，後の問い(**問1～6**)に答えよ。(配点　25)

図1(a)のように，なめらかに動く軽いピストンのついた断面積Sのシリンダーを大気中に鉛直に置いた。シリンダーの底面にはヒーターが備わっている。シリンダーは断熱材で覆われているが，その一部は取り外すことができる。また，ピストンは断熱材で作られている。

シリンダーの中に物質量nの単原子分子理想気体が入っている。ここで，大気の圧力はp_0，温度(絶対温度)はT_0である。また，気体定数をRとし，シリンダー，ピストン，ヒーターの熱容量は無視できるものとする。

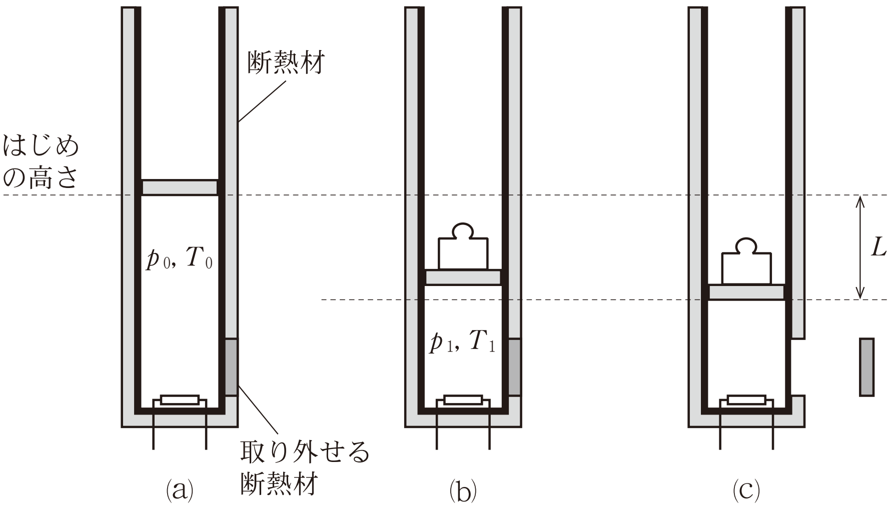


図　1

図1(a)は，はじめの状態であり，気体の圧力はp_0，温度はT_0で，ピストンは静止していた。ここで，ピストンの位置がゆっくりと変化するように，おもりを手で支えながらピストンの上に置いた。おもりから手をはなしたとき，ピストンは図1(b)の位置で静止した。このとき，気体の圧力は$p_1 = 2p_0$，温度はT_1であった。

問 1　図 1 (b)の気体の体積は，図 1 (a)の状態の体積の何倍か。正しいものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。 $\boxed{12}$ 倍

① $\frac{1}{2}$　② $\frac{T_0}{T_1}$　③ $\frac{T_0}{2T_1}$　④ $\frac{T_1}{T_0}$　⑤ $\frac{T_1}{2T_0}$

問 2　次の文章中の空欄 $\boxed{ア}$ ・ $\boxed{イ}$ に入れる語の組合せとして正しいものを，後の①～⑨のうちから一つ選べ。 $\boxed{13}$

図 1 (a)の状態から図 1 (b)の状態までに気体が外部にした仕事は $\boxed{ア}$ ，気体の内部エネルギーの変化は $\boxed{イ}$ である。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
ア	正	正	正	0	0	0	負	負	負
イ	正	0	負	正	0	負	正	0	負

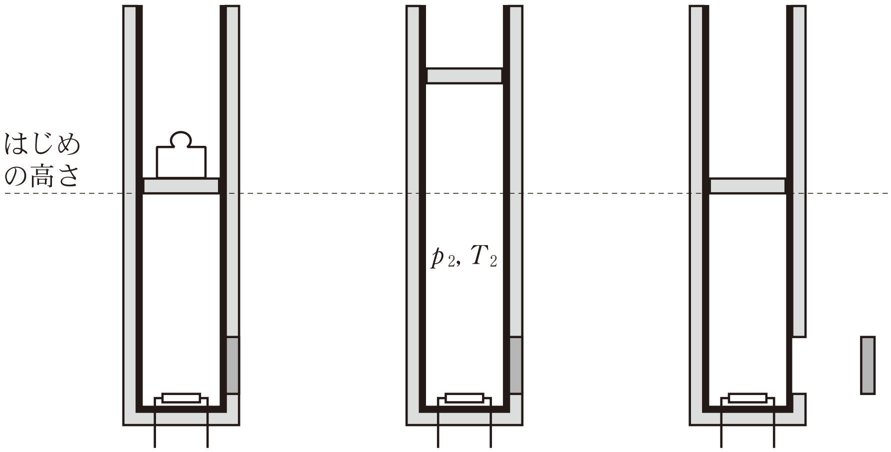
次に，図 1 (b)の状態から断熱材を取り外すと，ピストンはゆっくり下がった。十分に時間が経つとピストンは静止して図 1 (c)の状態になった。このとき，気体の温度は T_0 であり，また，ピストンは，はじめの高さから L だけ下の位置にあった。

問 3　L を表す式として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{14}$

① $\frac{nRp_0}{2ST_0}$　② $\frac{nRp_0}{ST_0}$　③ $\frac{2nRp_0}{ST_0}$

④ $\frac{nRT_0}{2p_0S}$　⑤ $\frac{nRT_0}{p_0S}$　⑥ $\frac{2nRT_0}{p_0S}$

図 1 (c)の状態から，再び断熱材を取りつけて，ヒーターでシリンダー内部の気体を加熱すると，ピストンがゆっくりと上がった。ピストンの位置がはじめの高さになったところで加熱をやめるとピストンが静止し，次ページの図 2 (d)の状態になった。



(d)　(e)　(f)

図　2

問 4　図 1 (c)の状態から図 2 (d)の状態までに気体に加えられた熱量 Q を表す式として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。$Q =$ **15**

① $\frac{1}{2}nRT_0$　② $\frac{3}{2}nRT_0$　③ $\frac{5}{2}nRT_0$

④ nRT_0　⑤ $3\,nRT_0$　⑥ $5\,nRT_0$

次に，図 2 (d)の状態から，ピストンの位置がゆっくりと変化するように手で支えながらおもりを取り除いた。おもりを完全に取り除いたとき，ピストンは図 2 (e)の位置で静止した。

問 5　次の文章中の空欄 **ウ** ・ **エ** に入れる記号の組合せとして正しいものを，後の①～⑨のうちから一つ選べ。 **16**

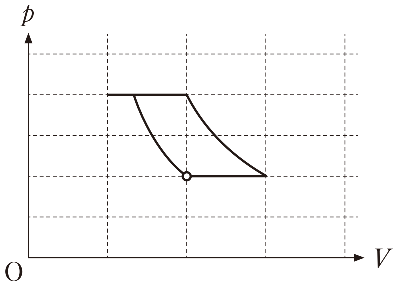
図 2 (e)の状態での気体の圧力と温度をそれぞれ p_2，T_2 とすると，p_2 **ウ** p_0，および T_2 **エ** T_0 が成り立つ。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
ウ	<	<	<	＝	＝	＝	>	>	>
エ	<	＝	>	<	＝	>	<	＝	>

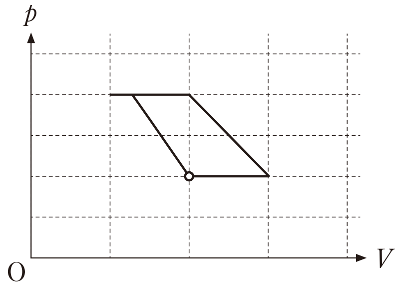
最後に，図 2(e)の状態から再び断熱材を取り外すと，ピストンはゆっくり下がった。十分に時間が経つとピストンは静止して図 2(f)の状態になった。このとき，気体の温度は T_0 となった。

問 6　図 1(a)から図 2(f)までの一連の過程を，縦軸を圧力 p，横軸を体積 V とした p–V 図に表したものはどれか。最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，グラフ中の白丸は図 1(a)の状態を示している。 $\boxed{17}$

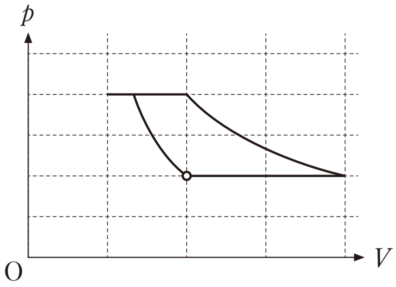
①



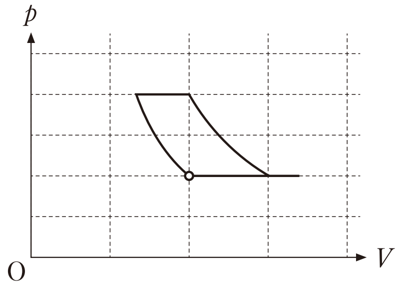
②



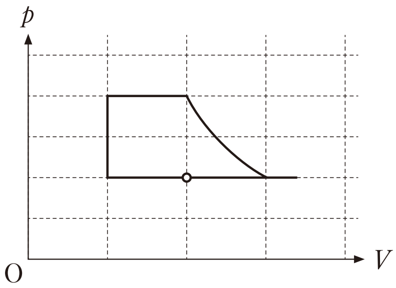
③



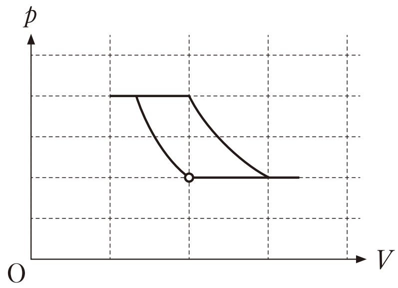
④



⑤



⑥



物　理

第４問　コイル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)

図１のように，端子A，Bをもち，長さa，断面積Sで，巻数Nのコイル(ソレノイド)が真空中にある。ただし，コイルの導線の抵抗値，およびコイルに抵抗器や電源を接続するための導線の抵抗値は無視でき，コイルは十分に長いものとする。

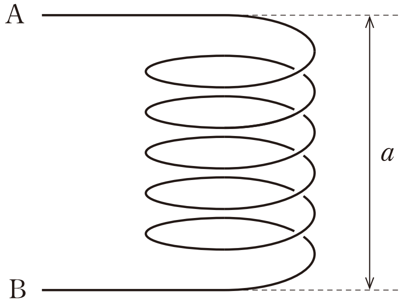


図　1

問１　次の文章中の空欄 ア ・ イ に入れる式と語句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。 18

図１のコイルに，AからBに向かって大きさIの直流電流を流す。コイルの内部には，強さ ア で，図１の イ の向きに磁場(磁界)が生じる。

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	NI	NI	$\frac{N}{a}I$	$\frac{N}{a}I$	$\frac{N}{aS}I$	$\frac{N}{aS}I$
イ	上から下	下から上	上から下	下から上	上から下	下から上

次に，図 2 のように，図 1 のコイルに抵抗器を接続した。

問 2　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ウ}}$ ・ $\boxed{\text{エ}}$ に入れる式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。 $\boxed{19}$

図 2 のコイルの内部を上から下に貫く磁束が，時間 Δt の間に $\Delta\Phi$ だけ変化するとき，コイルには磁束の変化を打ち消すように誘導起電力が生じ，誘導起電力を表す式は $\boxed{\text{ウ}}$ である。$\Delta t > 0$ で $\Delta\Phi > 0$ のとき，誘導起電力によって抵抗器に流れる電流は図 2 の $\boxed{\text{エ}}$ の向きである。

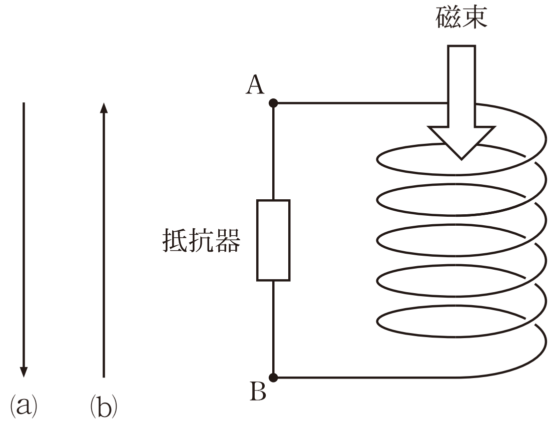


図　2

	①	②	③	④	⑤	⑥
ウ	$-N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$-N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$-\dfrac{N}{a}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$-\dfrac{N}{a}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$-\dfrac{N}{aS}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$-\dfrac{N}{aS}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
エ	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)

物　理

図 3 のように，最大電圧 V_0，角周波数 ω，周期 T で，時刻 t のときの電圧が $V_0 \sin \omega t$ の交流電源をコイルに接続し，交流電流を流すことを考える。ここで，図の矢印の向きを電流の正の向きとする。また，B を基準とした A の電位を電圧とする。

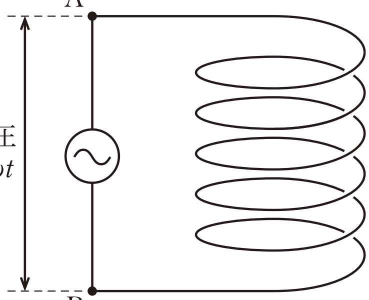
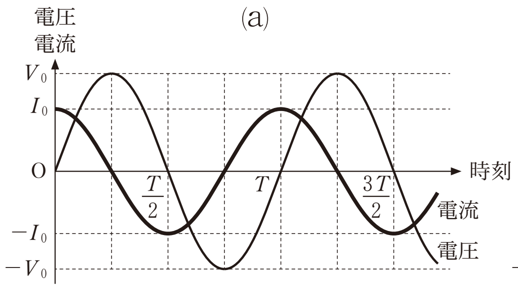


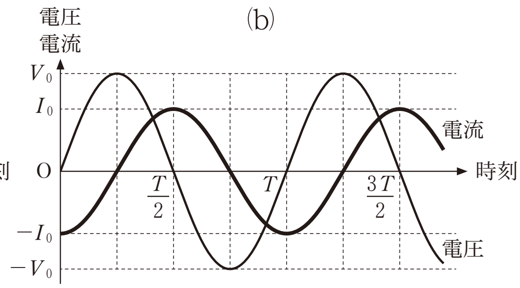
図　3

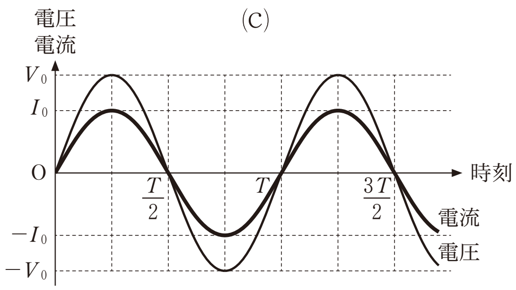
問 3　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{オ}}$・$\boxed{\text{カ}}$ に入れる記号と語句の組合せとして最も適当なものを，後の①～⑨のうちから一つ選べ。 $\boxed{20}$

図 3 の回路において，キルヒホッフの法則を適用すると，コイルに生じる誘導起電力 V' と交流電源によってコイルに加わる電圧 V の和はゼロになる。すなわち，$V = -V'$ である。また，時間 Δt の間に電流が ΔI 変化するときのコイルに流れる電流の変化の割合を $\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ とすると，誘導起電力 V' は $-\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ に比例する。よって，コイルに流れる電流の最大値を I_0 として，電圧 V とコイルに流れる電流 I の時間変化を示すグラフは $\boxed{\text{オ}}$ となり，電流の位相は電圧の位相 $\boxed{\text{カ}}$ 。

オ の選択肢







20 の選択肢

	オ	カ
①	(a)	より $\frac{\pi}{2}$ だけ進む
②	(a)	と等しい
③	(a)	より $\frac{\pi}{2}$ だけ遅れる
④	(b)	より $\frac{\pi}{2}$ だけ進む
⑤	(b)	と等しい
⑥	(b)	より $\frac{\pi}{2}$ だけ遅れる
⑦	(c)	より $\frac{\pi}{2}$ だけ進む
⑧	(c)	と等しい
⑨	(c)	より $\frac{\pi}{2}$ だけ遅れる

問 4　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{キ}}$ ・ $\boxed{\text{ク}}$ に入れる語句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。 $\boxed{21}$

交流電源の電圧の最大値 V_0 とコイルに流れる電流の最大値 I_0 の間には，抵抗器におけるオームの法則と同様な比例関係が成り立つ。コイルの自己インダクタンスを L とすると，L が大きいほど電流の時間変化を打ち消すような向きに大きな誘導起電力が生じ，電流が $\boxed{\text{キ}}$ 。また，電流の変化の速さ，すなわち角周波数の大きさと，抵抗に相当する量の大きさは $\boxed{\text{ク}}$ 。

	キ	ク
①	流れやすくなる	比例する
②	流れやすくなる	関係しない
③	流れやすくなる	反比例する
④	流れにくくなる	比例する
⑤	流れにくくなる	関係しない
⑥	流れにくくなる	反比例する

コイルによる電磁誘導の例として，非接触型 IC カードについて考える。IC カードは交通機関の定期券などに使われている。図 4 に IC カードの内部の模式図を示す。

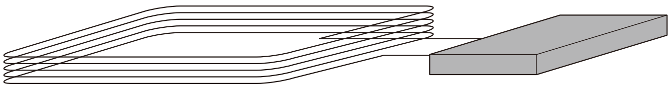


図　4

問 5　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ケ}}$ ・ $\boxed{\text{コ}}$ に入れる数値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。 $\boxed{22}$

IC カードの内部に，一辺が 5.0 cm の正方形の 5 回巻きのコイルが組み込まれているとする。コイルを使って誘導起電力を発生させて，IC チップに電力を供給する。IC チップは 5.0 V 以上の起電力で作動するとすると，コイルを貫く磁束が 1 秒間あたり最低 $\boxed{\text{ケ}}$ Wb の変化をすればよい。

IC カードの読み取り機に，磁束密度の大きさが 0 から最大値まで一定の割合で変化するのに 2.0×10^{-8} s かかる磁場が生じているとする。磁束密度の大きさの最大値が $\boxed{\text{コ}} \times 10^{-6}$ T であれば，この読み取り機に IC カードをかざしたときに，IC チップに 5.0 V の誘導起電力を発生させることができる。

	①	②	③	④	⑤	⑥
ケ	0.2	0.2	1.0	1.0	5.0	5.0
コ	1.0	8.0	1.0	8.0	1.0	8.0