試験開始の指示があるまで，この問題冊子の中を見てはいけません。

物　　理

（100点　60分）

注　意　事　項

1　解答用紙に，正しく記入・マークされていない場合は，採点できないことがあります。特に，解答用紙の**解答科目欄にマークされていない場合又は複数の科目にマークされている場合は，0点**となります。

2　この問題冊子は，26ページあります。

　試験中に問題冊子の印刷不鮮明，ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は，手を高く挙げて監督者に知らせなさい。

3　解答は，解答用紙の問題番号に対応した解答欄にマークしなさい。例えば，**第2問**の $\boxed{1}$ と表示のある問いに対して③と解答する場合は，次の（例1）のように**問題番号** $\boxed{2}$ の**解答番号**1の**解答欄**の③に**マーク**しなさい。

（例1）

2	解答欄											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	a	b
1	①	②	●③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⓪	ⓐ	ⓑ

　また，「すべて選べ」や「二つ選べ」などの指示のある問いに対して，複数解答する場合は，同じ解答番号の解答欄に**複数マーク**しなさい。例えば，**第3問**の $\boxed{2}$ と表示のある問いに対して①，④と解答する場合は，次の（例2）のように**問題番号** $\boxed{3}$ の**解答番号**2の**解答欄**の①，④に**それぞれマーク**しなさい。

（例2）

3	解答欄											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	a	b
2	●①	②	③	●④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⓪	ⓐ	ⓑ

4　問題冊子の余白等は適宜利用してよいが，どのページも切り離してはいけません。

5　問題冊子は最後に回収します。監督者の指示に従って返却しなさい。

物　　理

（全　問　必　答）

第１問　次の問い（問１〜６）に答えよ。

〔解答番号 $\boxed{1}$ 〜 $\boxed{7}$ 〕

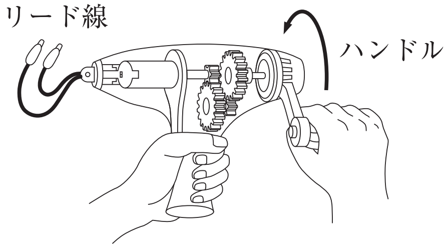
問１　次の文章中の空欄 $\boxed{1}$ ・ $\boxed{2}$ に入れる数値として正しいものを，下の①〜⑤のうちから一つずつ選べ。ただし，同じものを繰り返し選んでもよい。
$\boxed{1}$ $\boxed{2}$

水平なあらい面上で物体をすべらせ，すべり始めてから停止するまでの距離が初速度または動摩擦係数によってどのように変わるかを考える。動摩擦係数が同じ場合，初速度が２倍になると，停止するまでの距離は $\boxed{1}$ 倍になる。一方，初速度が同じ場合，動摩擦係数が $\frac{1}{2}$ 倍になると，停止するまでの距離は $\boxed{2}$ 倍になる。

① 1　　② $\sqrt{2}$　　③ 2

④ $2\sqrt{2}$　　⑤ 4

問 2　手回し発電機は，ハンドルを回転させることによって起電力を発生させる装置である。リード線に図1に示す **a** ～ **c** のような接続を行い，いずれの接続の場合でも同じ起電力が発生するように，同じ速さでハンドルを回転させた。**a** ～ **c** の接続について，ハンドルの手ごたえが軽いほうから重いほうに並べた順として正しいものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。 **3**



手回し発電機

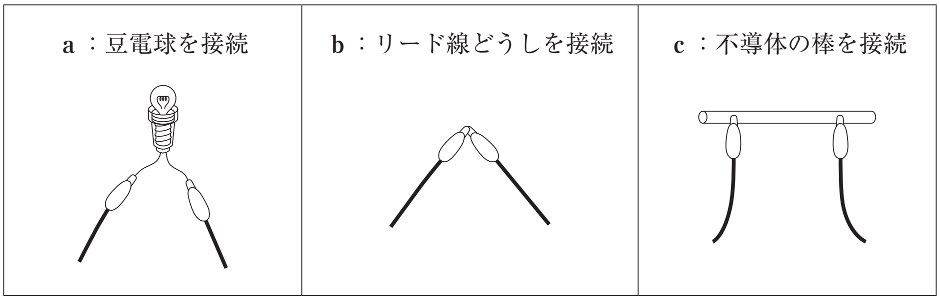


図　1

	ハンドルの手ごたえ 軽　い	⟶	重　い
①	a	b	c
②	a	c	b
③	b	a	c
④	b	c	a
⑤	c	a	b
⑥	c	b	a

問 3　池に潜り，深さ h の位置から水面を見上げ，水の外を見ていた。図2のように，光を通さない円板が水面に置かれたので，外が全く見えなくなった。そのとき円板の中心は，潜っている人の目の鉛直上方にあった。このように外が見えなくなる円板の半径の最小値 R を与える式として正しいものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，空気に対する水の屈折率(相対屈折率)を n とし，水面は波立っていないものとする。また，円板の厚さと目の大きさは無視してよい。$R =$ $\boxed{\ 4\ }$

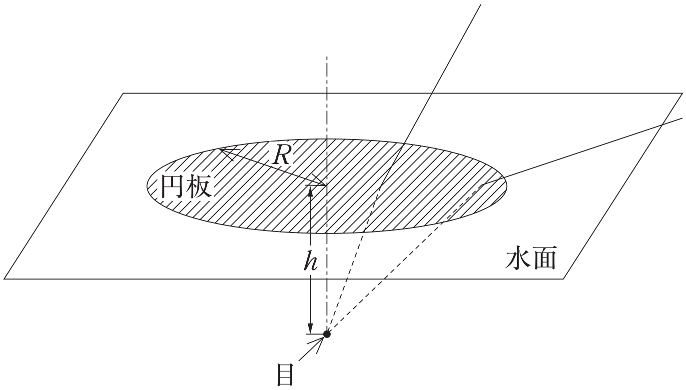


図　2

① $\dfrac{h}{\sqrt{1-\dfrac{1}{n}}}$　② $\dfrac{h}{n-1}$　③ $\dfrac{h}{\sqrt{n-1}}$

④ $\dfrac{h}{\sqrt{1-\dfrac{1}{n^2}}}$　⑤ $\dfrac{h}{n^2-1}$　⑥ $\dfrac{h}{\sqrt{n^2-1}}$

問 4　図3のように，一方の端を閉じた細長い管の開口端付近にスピーカーを置いて音を出す。音の振動数を徐々に大きくしていくと，ある振動数fのときに初めて共鳴した。このとき，管内の気柱には図のような開口端を腹とする定常波ができている。そのときの音の波長をλとする。さらに振動数を大きくしていくと，ある振動数のとき再び共鳴した。このときの音の振動数f'と波長λ'の組合せとして最も適当なものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{5}$

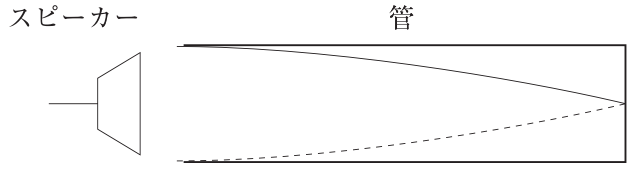


図　3

	f'	λ'
①	$\frac{3f}{2}$	$\frac{\lambda}{3}$
②	$\frac{3f}{2}$	$\frac{2\lambda}{3}$
③	$2f$	$\frac{3\lambda}{2}$
④	$2f$	$\frac{\lambda}{2}$
⑤	$3f$	$\frac{2\lambda}{3}$
⑥	$3f$	$\frac{\lambda}{3}$

問 5　図 4 はある小規模な水力発電所の概略を示す。川から供給される水は貯水槽に貯えられたあと，導水管を通って 17 m の高さを落下し，毎秒 30 kg の水が発電機に導かれる。この発電所で実際に得られた電力は 2.2 kW であった。この大きさは，貯水槽と発電機の間における水の位置エネルギーの減少分が，すべて電気エネルギーに変換された場合に得られる電力の大きさの約何％か。最も適当な数値を，下の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし，重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。 $\boxed{\ 6\ }$ ％

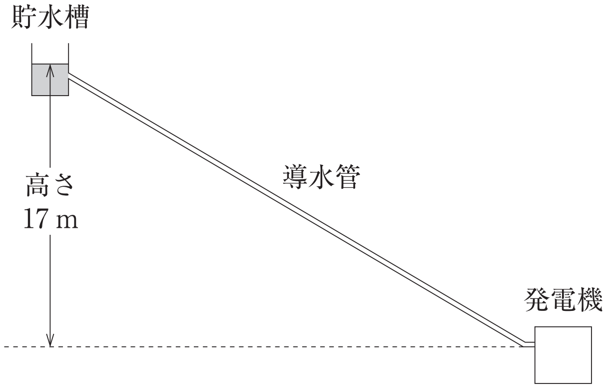
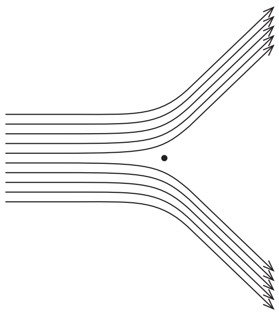


図　4

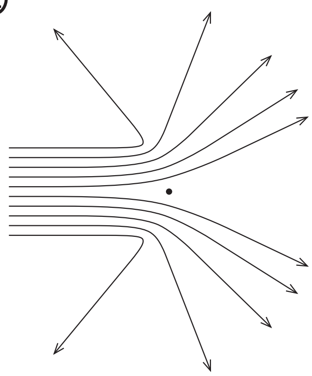
①　11　　②　26　　③　37　　④　44　　⑤　50

問 6 金箔(きんぱく)に照射した α 粒子(電気量 $+2e$, e は電気素量)の散乱実験の結果から，ラザフォードは，質量と正電荷が狭い部分に集中した原子核の存在を突き止めた。金の原子核による α 粒子の散乱の様子を示した図として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，図中の黒丸は原子核の位置を，実線は原子核の周辺での α 粒子の飛跡を模式的に示している。 $\boxed{7}$

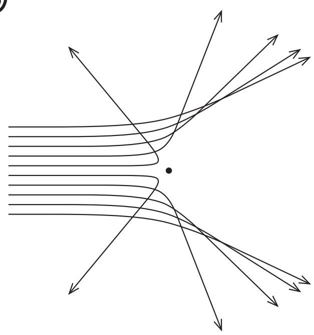
①



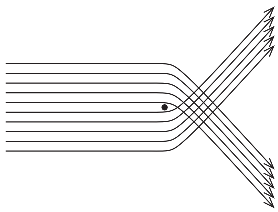
②



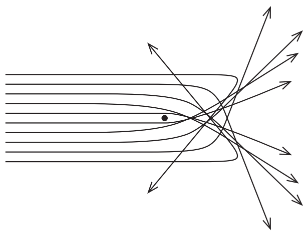
③



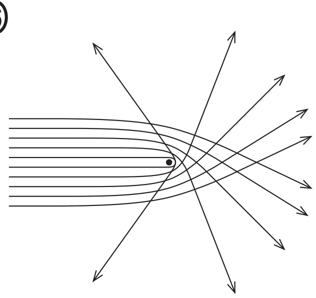
④



⑤



⑥



第2問　次の文章を読み，下の問い(**問1〜5**)に答えよ。

〔**解答番号** $\boxed{1}$ 〜 $\boxed{5}$〕

放課後の公園で，図1のようなブランコがゆれているのを，花子は見つけた。高校の物理で学んだばかりの単振り子の周期 T の式

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad \cdots\cdots(1)$$

を，太郎は思い出した。L は単振り子の長さ，g は重力加速度の大きさである。二人はこの式についてあらためて深く考えてみることにした。

図　1

問1　二人はブランコにも式(1)が適用できることを前提に，その周期をより短くする方法を考えた。その方法として適当なものを，次の①〜⑤のうちから**すべて選べ**。ただし，該当するものがない場合は⓪を選べ。空気の抵抗は無視できるものとする。 $\boxed{1}$

① ブランコに座って乗っていた場合，板の上に立って乗る。

② ブランコに立って乗っていた場合，座って乗る。

③ ブランコのひもを短くする。

④ ブランコのひもを長くする。

⑤ ブランコの板をより重いものに交換する。

小学校で振り子について学んだときのことを思い出した二人は，物理実験室に戻り，その結果や実験方法を見直してみることにした。

二人は実験方法について，次のように話し合った。

太郎：振り子が 10 回振動する時間をストップウォッチで測定し，周期を求めることにしよう。
花子：小学校のときには振動の端を目印に，つまり，おもりの動きが向きを変える瞬間にストップウォッチを押していたね。
太郎：他の位置，たとえば中心でも，目印をしておけばきちんと測定できると思う。
花子：端と中心ではどちらがより正確なのかしら。実験をして調べてみましょう。

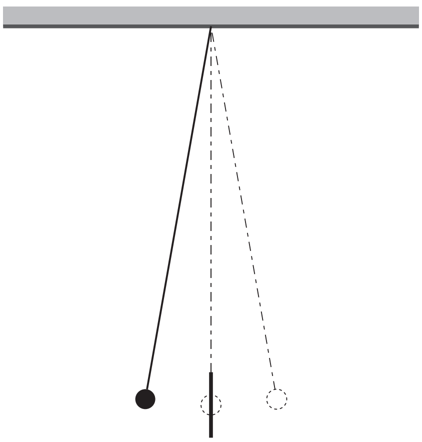


図　2

二人は長さ 50 cm の木綿の糸と質量 30 g のおもりを用いて振り子をつくった（図 2 ）。振れはじめの角度を 10° にとって振り子を振動させ，目印の位置に最初に到達した瞬間から，10 回振動して同じ位置に到達した瞬間までの時間を測定し，振動の周期の 10 倍の値を求めた。振動の端を目印にとる場合と，中心に目印を置く場合のそれぞれについて，この測定を 10 回繰り返し，表 1 のような結果を得た。

表１　測定結果

振動の端で測定した場合

測定〔回目〕	周期 × 10〔s〕
1	14.22
2	14.44
3	14.31
4	14.37
5	14.35
6	14.19
7	14.25
8	14.47
9	14.22
10	14.35
平均値	14.32

振動の中心で測定した場合

測定〔回目〕	周期 × 10〔s〕
1	14.32
2	14.31
3	14.32
4	14.31
5	14.31
6	14.31
7	14.32
8	14.28
9	14.32
10	14.28
平均値	14.31

問２　表１の結果からこの振り子の周期の測定について考えられることとして適当なものを，次の①～⑤のうちから**すべて**選べ。ただし，該当するものがない場合は⓪を選べ。 $\boxed{2}$

① 振動の端で測定した方が，測定値のばらつきが大きく，より正確であった。

② 振動の端で測定した方が，測定値のばらつきが小さく，より正確であった。

③ 振動の中心で測定した方が，測定値のばらつきが大きく，より正確であった。

④ 振動の中心で測定した方が，測定値のばらつきが小さく，より正確であった。

⑤ 振り子が静止している瞬間の方が，より正確にストップウォッチを押すことができた。

式(1)の右辺には振幅が含まれていない。この式が本当に成り立つのか，疑問に思った二人は，振れはじめの角度だけを様々に変更した同様の実験を行い，確かめることにした。表2はその結果である。

表2　実験結果(平均値)

振れはじめの角度	周期〔s〕
10°	1.43
45°	1.50
70°	1.56

問 3　表2の結果に基づく考察として合理的なものを，次の①～③のうちから**すべて選べ**。ただし，該当するものがない場合は⓪を選べ。 $\boxed{\mathbf{3}}$

① 式(1)には，振幅が含まれていないので，振幅を変えても周期は変化しない。したがって，表2のように，振幅によって周期が変化する結果が得られたということは測定か数値の処理に誤りがある。

② 式(1)は，振動の角度が小さい場合の式なので，振動の角度が大きいほど実測値との差が大きい。

③ 実験の間，糸の長さが変化しなかったとみなしてよい場合，「振り子の周期は，振幅が大きいほど長い」という仮説を立てることができる。

次に二人は，式(1)をより詳しく確かめるため，これまでの考察を生かしつつ，次の手順の実験を行うことにした。今度は物理実験室にあった球形の金属製のおもりとピアノ線を用いた。

手順：

(1)　おもりの直径をノギスで測る。

(2)　ピアノ線の一端をおもりに取りつけ，他端を鉄製スタンドのクランプではさんで固定する。

(3)　ピアノ線の長さ(クランプとおもりの上端の距離)を測定する。

(4)　振れはじめの角度を 10° にして単振り子を振動させ，周期を測定する。

(5)　ピアノ線の長さをもう一度測定し，(3)で測定した値との平均値を求める。

(6)　(5)で求めた平均値におもりの半径を加え，その値を単振り子の長さとする。

単振り子の長さを約 1 m から始めておよそ 25 cm ずつ減らして，以上の実験を行ったところ，表 3 のような結果が得られた。

表 3　実験結果

単振り子の長さ〔m〕	周期〔s〕
0.252	1.01
0.501	1.42
0.750	1.74
1.008	2.01

問 4　グラフ用紙を使って，表３の実験結果をグラフに描くことにした。グラフの横軸と縦軸の変数の組合せをどのように選べば式(1)を確認しやすいか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ，⑤～⑧のうちから一つ，合計二つ選べ。 $\boxed{\ 4\ }$

	横軸にとる変数
①	単振り子の長さ
②	単振り子の長さの２乗
③	単振り子の長さの３乗
④	単振り子の長さの逆数

	縦軸にとる変数
⑤	周　期
⑥	周期の２乗
⑦	周期の３乗
⑧	周期の対数

問 5　この実験で，単振り子が振動の左端から振動の中心を通過して右端に達するまでの間に，ピアノ線の張力の大きさはどのように変化したか。最も適当なものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 5\ }$

	左　端	中　心	右　端
①	0	最　大	0
②	最　大	0	最　大
③	最　大	最　小	最　大
④	最　小	最　大	最　小
⑤	最　大	減　少	最　小
⑥	最　小	増　大	最　大
⑦	最　大	減　少	0
⑧	0	増　大	最　大
⑨	変化しない		

第3問　高校の授業で道路計画や自動車の物理について探究活動を行うことになった。次の文章(A・B)を読み，下の問い(**問1～6**)に答えよ。
〔**解答番号** $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 14\ }$〕

A　道路計画を考えるには，まず自動車の運動を考えなくてはいけない。そこでみんなで次のように話し合った。

「実際に道路を走る自動車には速度制限があるね。」
「それでは仮に制限速度を 25 m/s にしてみよう。」
「急な加速や急な減速は危ないから，直線部分での加速度の大きさは $2.0\ \mathrm{m/s^2}$ 以下にしよう。」
「道路はまっすぐとは限らない。円運動しているときは，向心加速度というのがあったね。」
「向心加速度の大きさは $1.6\ \mathrm{m/s^2}$ 以下にしよう。」
「じゃあ，これまで出てきた三つの条件を満たしながら走るときの自動車の運動と，道路の形の関係を考えていこう。」

問 1　図 1 のように，直線状の道路が A 地点で円弧状の道路に滑らかにつながり，B 地点で再び直線状の道路に滑らかにつながっている。1 目盛りの長さは 100 m である。下の文章中の空欄 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{6}$ に入れる数字として最も適当なものを，下の①～⓪のうちから一つずつ選べ。ただし，同じものを繰り返し選んでもよい。$\boxed{1}$ ～ $\boxed{6}$

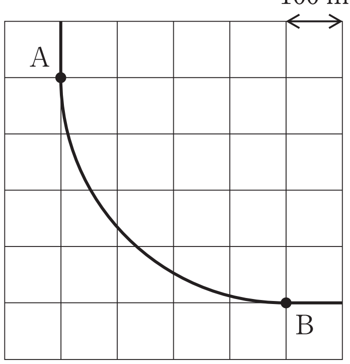


図　1

自動車が AB 間を走行するのに要する時間の最小値は，有効数字 2 桁で表すと，

$$\boxed{1}.\boxed{2}\times 10^{\boxed{3}}\ \mathrm{s}$$

となる。また，向心加速度の大きさは一定であり，有効数字 2 桁で表すと，

$$\boxed{4}.\boxed{5}\times 10^{\boxed{6}}\ \mathrm{m/s^2}$$

となる。

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5

⑥ 6　⑦ 7　⑧ 8　⑨ 9　⓪ 0

問 2　地形によっては，**問 1** よりも円弧部分が短い図 2 のような道路計画にすることもある。1 目盛りの長さは 100 m である。下の文章中の空欄 $\boxed{7}$ ～ $\boxed{9}$ に入れる数字として正しいものを，下の①～⓪のうちから一つずつ選べ。ただし，同じものを繰り返し選んでもよい。$\boxed{7}$ ～ $\boxed{9}$

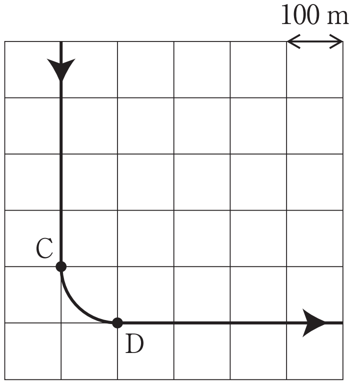


図　2

直線部分を C 地点に向かって 25 m/s で走る自動車が，ある地点から等加速度で減速し，C 地点を通過した。この運動をグラフにすると図 3 のようになる。最初に決めた条件を満たすためには，C 地点より少なくとも

$$\boxed{7}.\boxed{8} \times 10^{\boxed{9}}\ \mathrm{m}$$

以上の距離だけ手前で減速を始めなければならない。ただし，有効数字は 2 桁とする。

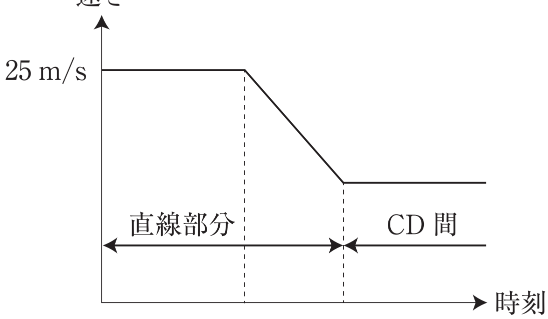


図　3

①　1	②　2	③　3	④　4	⑤　5
⑥　6	⑦　7	⑧　8	⑨　9	⓪　0

問 3　道路の円弧部分でも，最初に決めた条件を満たす範囲で速さを変えることができる。図 4 のような点 O を中心とする円弧状の道路で，減速しながら P 地点を通過する瞬間の自動車の加速度の向きとして最も適当なものを，下の①～⑧のうちから一つ選べ。記号 a ～ d は，図 4 に示したものである。 $\boxed{10}$

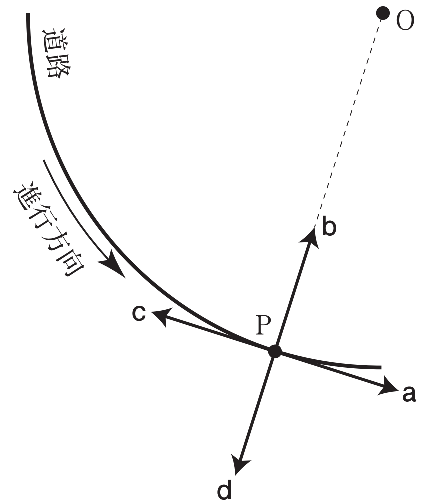


図　4

① a の向き
② a と b の間の向き
③ b の向き
④ b と c の間の向き
⑤ c の向き
⑥ c と d の間の向き
⑦ d の向き
⑧ d と a の間の向き

B　自動車の加速・減速について考えた後，減速のときに使われるブレーキについても考えてみることにした。

表1は，鉄以外のいくつかの金属について，原子量 A とその逆数 A^{-1}，温度 293 K での比熱容量を示したものである。この表を考察するとき，必要があれば，次ページの方眼紙を使え。

表　1

元素記号	Mg	Al	Ti	Cu	Ag	Pb
原子量 A	24.3	27.0	47.9	63.5	107.9	207.2
A^{-1}	0.0411	0.0371	0.0209	0.0157	0.00927	0.00483
比熱容量〔J/(g·K)〕	1.03	0.900	0.528	0.385	0.234	0.130

問 4　表1から，この表中の金属について考察できることとして適当なものを，次の①～③のうちから**すべて選べ**。ただし，該当するものがない場合は⓪を選べ。 $\boxed{11}$

① 金属1gの温度を1Kだけ上昇させるのに必要なエネルギーは，原子量 A が小さいほど大きい。

② 金属の温度を1Kだけ上昇させるのに必要なエネルギーは，金属原子の数が同じであれば，ほぼ等しい。

③ 金属の温度を1Kだけ上昇させるのに必要なエネルギーは，金属の質量が同じであれば，ほぼ等しい。

問 5　速さ 20 m/s で走る質量 1000 kg の自動車にブレーキをかけ停止させる。このとき運動エネルギーはすべて，ブレーキの鉄でできた部品の温度上昇に使われるものとする。その部品の温度の上昇を 160 K 以下に抑えるためには，鉄の質量 m は何 kg 以上でなければならないか。次の式中の空欄 $\boxed{12}$ ・ $\boxed{13}$ に入れる最も適当な数値を，下の選択肢群のうちから一つずつ選べ。ただし，鉄の比熱容量は 293 K のときの値を用いるものとする。また，鉄の原子量は 55.8，その逆数は 0.0179 である。 $\boxed{12}$ $\boxed{13}$

$$m \geqq \boxed{12} \times 10^{\boxed{13}}\ \text{kg}$$

$\boxed{12}$ の選択肢：

① 1.0　② 2.0　③ 3.0　④ 4.0　⑤ 5.0
⑥ 6.0　⑦ 7.0　⑧ 8.0　⑨ 9.0

$\boxed{13}$ の選択肢：

① −4　② −3　③ −2　④ −1　⑤ 0
⑥ 1　⑦ 2　⑧ 3　⑨ 4

問 6 自動車を減速させるとき，失われる運動エネルギーを有効に利用する方法を考えて，みんなで案を出しあった。

「冬であれば，①ブレーキで発生した熱を車内の暖房に用いるってのはどうかな？」

「むしろその熱を次に加速するときのエネルギー源にしよう。②熱をすべて，自動車の運動エネルギーに戻すことだってできるんじゃない？」

「それより，③車軸に発電機をつないでバッテリーを充電するのはどうだろう？」

上の会話中の下線部①～③のうち，物理法則に**反する**ものを**すべて**選べ。ただし，該当するものがない場合は⓪を選べ。 $\boxed{14}$

第４問　次の文章を読み，下の問い(**問１・問２**)に答えよ。
〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{5}$〕

図１のように，絶縁体(不導体)の円板と，円板に固定された巻き数１のコイルが，中心の回転軸のまわりに角速度 $\dfrac{50}{3}\pi$ rad/s で回転している。コイルの直線部分のなす角は 90° である。回転軸を中心とした中心角 120° の扇形の範囲には，磁束密度 B の一様な磁場(磁界)が紙面に垂直に，裏から表の向きにかかっている。

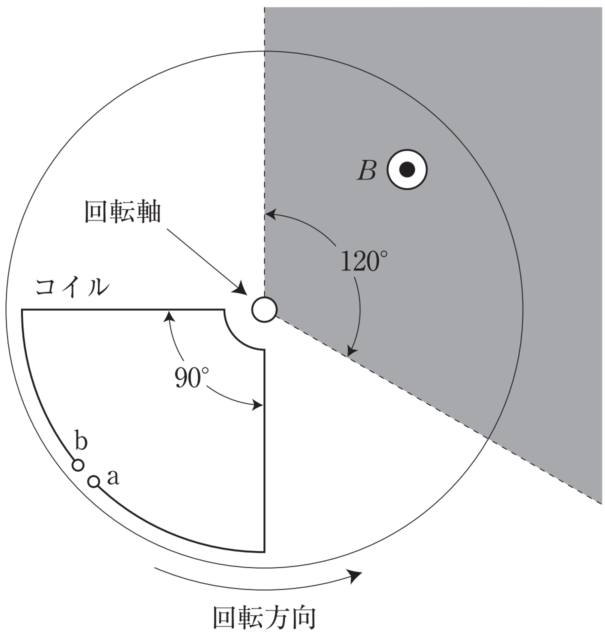


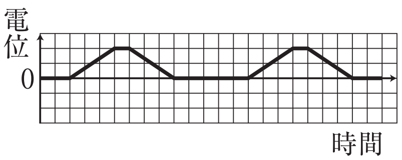
図　1

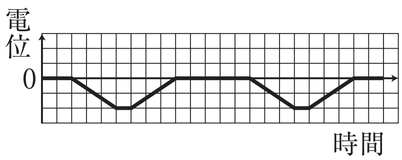
問 1　端子 a を基準とした端子 b の電位の時間変化を表すと，どのようなグラフになるか。また，そのグラフの横軸の 1 目盛りの大きさは何秒か。最も適当なものを，次の選択肢群のうちから一つずつ選べ。

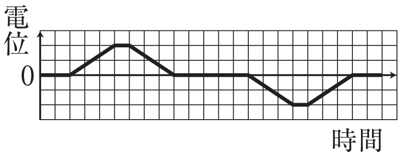
グラフ　：$\boxed{1}$

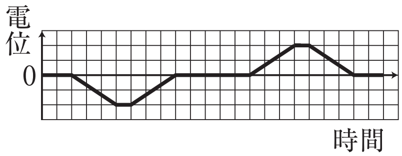
1 目盛り：$\boxed{2}$ s

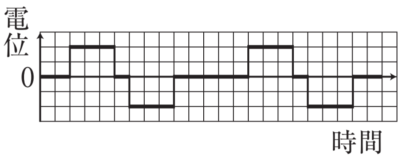
$\boxed{1}$ の選択肢：

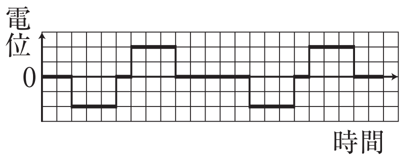
①


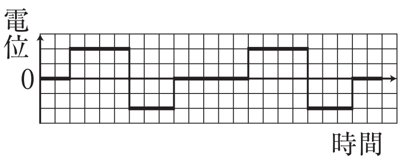
②


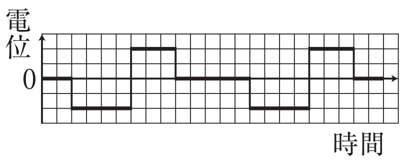
③


④


⑤


⑥


⑦


⑧


$\boxed{2}$ の選択肢：

① 0.0010　② 0.010　③ 0.10　④ 1.0

⑤ 0.00050　⑥ 0.0050　⑦ 0.050　⑧ 0.50

問 2　コイルで囲まれた部分の面積を 50 cm^2，磁束密度 B を 0.30 T とする。コイルに生じる起電力の大きさの最大値 V を有効数字 2 桁で表すとき，次の式中の空欄 $\boxed{3}$ ～ $\boxed{5}$ に入れる数字として最も適当なものを，下の①～⓪のうちから一つずつ選べ。ただし，同じものを繰り返し選んでもよい。

$\boxed{3}$ ～ $\boxed{5}$

$$V = \boxed{3}\,.\,\boxed{4} \times 10^{-\boxed{5}}\ \mathrm{V}$$

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5

⑥ 6　⑦ 7　⑧ 8　⑨ 9　⓪ 0