



<参考>

【三角比】

直角三角形の直角でない角の大きさが1つ決まれば、3辺の比が決まる。図1のように3辺の長さや角の大きさをそれぞれ  $a, b, c, \theta$  とすると、正弦 (sin : サイン), 余弦 (cos : コサイン), 正接 (tan : タンジェント) は以下のように定義される。

$$\text{正弦} \quad \sin \theta = \frac{a}{c} \quad \text{余弦} \quad \cos \theta = \frac{b}{c} \quad \text{正接} \quad \tan \theta = \frac{a}{b}$$

これらを三角比という。

また、直角三角形の1つの辺の長さや1つの角の大きさが決まれば、残りの辺の長さを三角比を用いて表すことができる。

例  $a = c \sin \theta$  ,  $b = c \cos \theta$

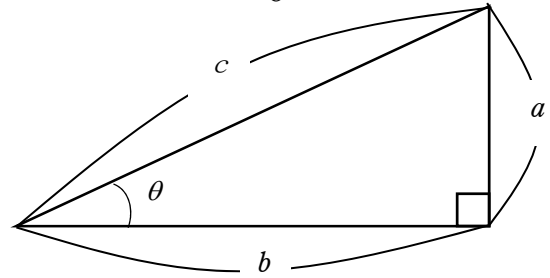


図1

【弧度法】

角度を表すのに、 $180^\circ$  や  $360^\circ$  のように、 $[\ ]$  という単位を使って表す度数法は日常生活で広く使われている。一方、物理では、弧度法と呼ばれる表し方を用いる場合が多い。この表し方は次のように定義される。

半径と等しい長さの弧を持つおうぎ形の中心角の大きさを1ラジアン (記号 : rad) という。この rad を単位とした角の表し方を弧度法という。1つのおうぎ形において、弧の長さは中心角に比例するので、図2のような半径  $r$  のおうぎ形において、中心角  $\theta$  [rad] に対する弧の長さを  $x$  とすると、

$$x = r \theta \quad \left( \text{または} \quad \theta = \frac{x}{r} \right)$$

したがって、半径  $r$  の円では、円周は  $2\pi r$  であるから、

$$\theta = \frac{x}{r} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{ [rad]}$$

よって、度数法との間に次の関係が成り立つ。

$$360^\circ = 2\pi \text{ [rad]}$$

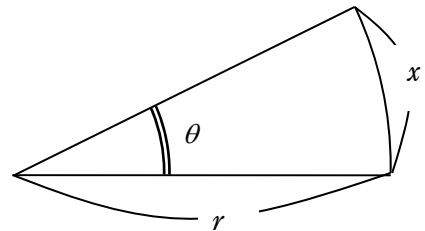


図2

【単位の主な接頭語】

記号 (読み)	大きさ	記号 (読み)	大きさ
G (ギガ)	$10^9$	c (センチ)	$10^{-2}$
M (メガ)	$10^6$	m (ミリ)	$10^{-3}$
k (キロ)	$10^3$	$\mu$ (マイクロ)	$10^{-6}$
h (ヘクト)	$10^2$	n (ナノ)	$10^{-9}$

## 第1問

東京ーロサンゼルス間の航空機による飛行時間は、東向きに吹く偏西風の影響を受け往路と復路で時間差が生じる。航空機の速さを  $750 \text{ km/h}$ 、偏西風の速さを  $150 \text{ km/h}$  とし、仮に往路は偏西風と同じ向きに、復路は偏西風と逆の向きに飛行したとする。図1のように東京とロサンゼルスの間を同じルートで往復した場合の平均の速さは何  $\text{km/h}$  か。正しいものを、次の①～④から1つ選べ。

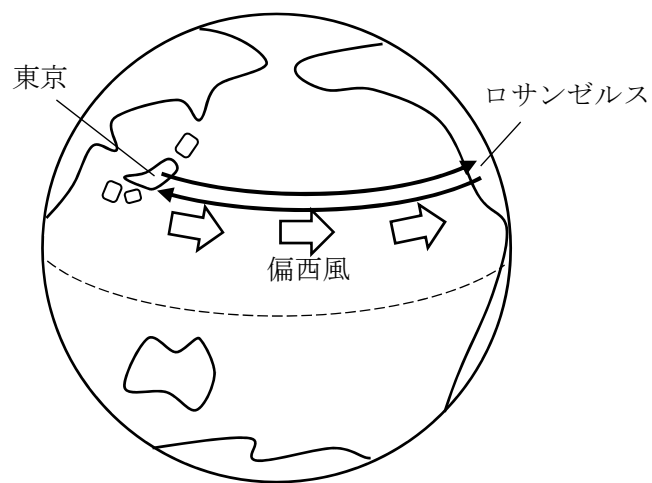


図1

- ①  $600 \text{ km/h}$
- ②  $720 \text{ km/h}$
- ③  $750 \text{ km/h}$
- ④  $900 \text{ km/h}$

## 第2問

図2のように半径  $2r$  の定滑車を床に固定し、半径  $2r$  と半径  $r$  の2つの滑車で構成した複滑車の上端  $O$  をバネはかりにつるして、全体を静止させた。1 Nのおもり2つを付けた軽い糸を滑車に通して図2のように取り付けたとき、バネはかりは何 N を示すか。次の①～④から1つ選べ。ただし、複滑車と糸の質量は無視できるものとする。

- ① 1 N
- ② 2 N
- ③ 4 N
- ④ 8 N

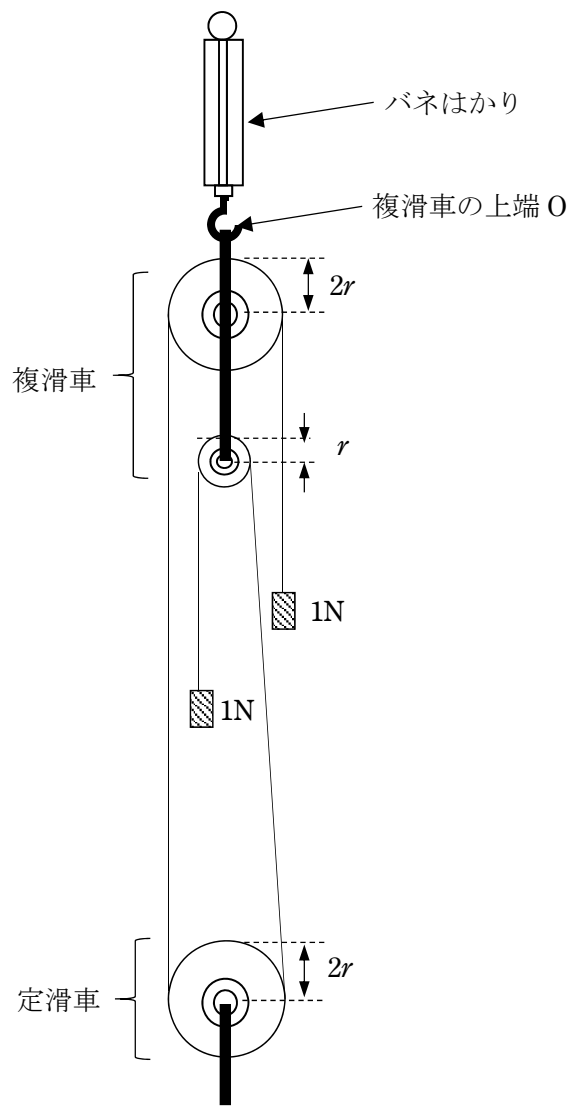


図2

### 第3問

次の文章の (1) , (2) に入る最も適切な組み合わせを, 次の①～⑨から1つ選べ。

ゴムひもに力  $F$  を加えたときの伸び  $x$  は,  $F = kx$  の関係になる。この式の比例定数  $k$  を求めてみよう。

ゴムひもを天井からぶら下げたところ, まっすぐな状態にならなかった。ゴムひもの自然長がわからなかった (a)。そこで, ゴムひもに質量  $m$  の小球を1つ取り付け, 小球の重みでゴムひもをまっすぐに伸ばした。このときゴムひもはすでにある程度伸びて全体は静止している (b)。

次に質量  $m$  の小球の下に, 軽くて伸び縮みしない糸を用いて2つ目の質量  $m$  の小球を取り付けたところ, ゴムひもはさらに  $L$  だけ伸びて全体が静止した (c)。このことから, 重力加速度の大きさを  $g$  としたとき, 比例定数  $k$  は (1) となることがわかる。

この状態から3つ目の質量  $m$  の小球を取り付けた。このときゴムひもはさらに (2) だけ伸びて全体は静止した (d)。

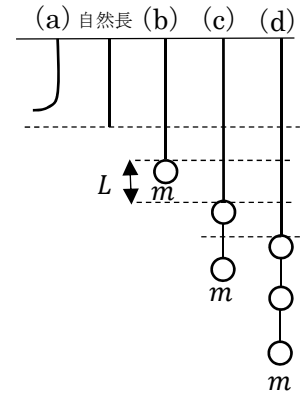


図3

- ア  $\frac{2mg}{L}$       イ  $\frac{mg}{L}$       ウ  $\frac{mg}{2L}$
- エ  $L$       オ  $\frac{L}{2}$       カ  $2L$

	(1)	(2)
①	ア	エ
②	ア	オ
③	ア	カ
④	イ	エ
⑤	イ	オ
⑥	イ	カ
⑦	ウ	エ
⑧	ウ	オ
⑨	ウ	カ

## 第4問

ばね定数が $k$ と $2k$ の2つのばねを、軽くてまっすぐな棒の両端 A、B にそれぞれ取り付け、棒が水平となるように天井からつるした。図4のように、棒のある一点 P におもりを取り付けると、棒は水平を保ったまま下がった。この2つのばねを1つのばねとして考えたとき、全体のばね定数として正しいものを、次の①～⑦から1つ選べ。

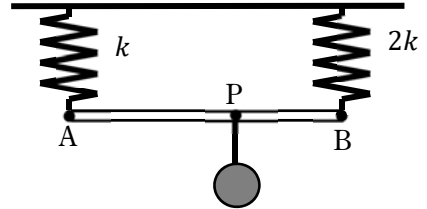


図4

①  $\frac{2}{5}k$

②  $\frac{2}{3}k$

③  $k$

④  $\frac{3}{2}k$

⑤  $2k$

⑥  $\frac{5}{2}k$

⑦  $3k$

## 第5問

図5のように、水槽の水に、細い棒を取り付けた立方体を少しだけ沈めている。この状態から、細い棒をまっすぐに押し下げながら、水槽の底までゆっくりと立方体を沈めていく。この間に立方体にはたらく浮力の大きさの変化を表すグラフとして、最も適切なものを次の①～⑥から1つ選べ。ただし、水の深さは立方体の高さよりも十分深いものとする。

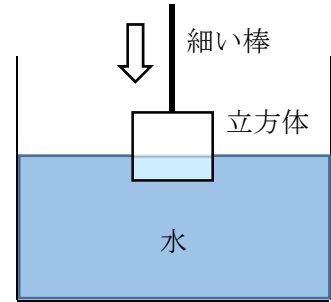
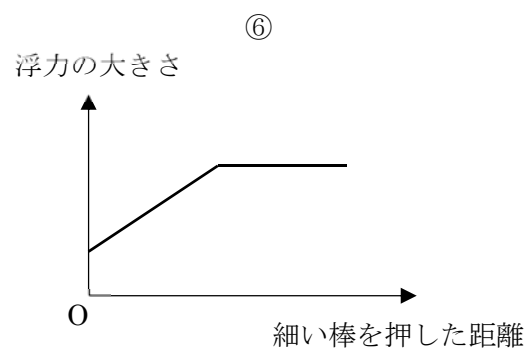
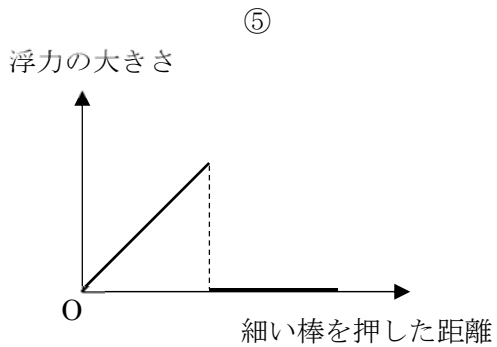
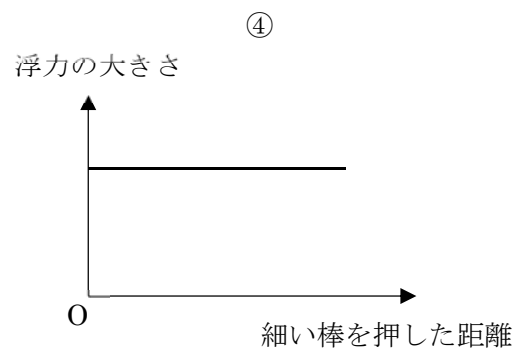
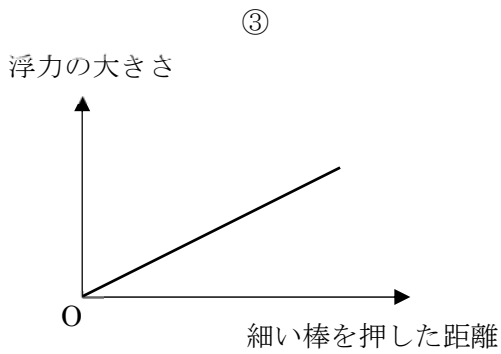
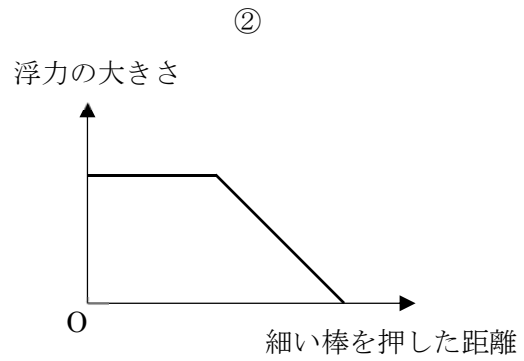
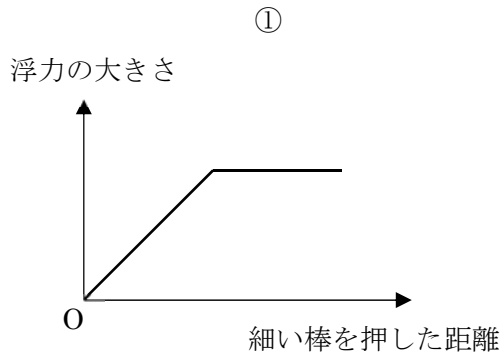


図5



## 第6問

図6-1のように、静止している電車のつり革は傾いていない。図6-2のように、矢印の向きを電車の進行の向きとする。電車が加速や減速、等速直線運動を繰り返しながら一直線上を進んで行くと、図6-3、図6-4、図6-5のように、つり革は(A) 傾かない、(B) 進行の向きに傾く、(C) 進行の向きと逆向きに傾く、のいずれかになる。運動の状態とつり革の傾きの様子として、最も適切な組み合わせを、次の①～⑧から1つ選べ。

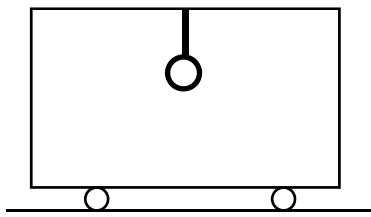


図6-1

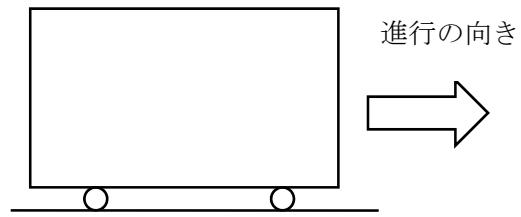


図6-2

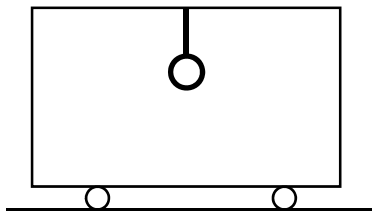


図6-3 傾かない  
(A)

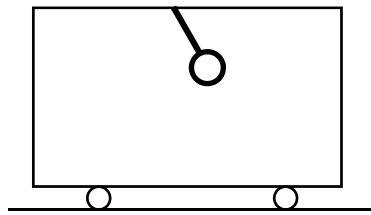


図6-4 進行の向きに傾く  
(B)

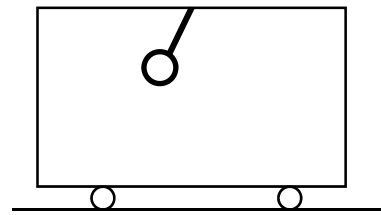


図6-5 進行の向きと  
逆向きに傾く  
(C)

	加速	減速	等速直線運動
①	(B)	(B)	(A)
②	(B)	(C)	(A)
③	(C)	(B)	(A)
④	(A)	(C)	(A)
⑤	(A)	(B)	(B)
⑥	(C)	(B)	(B)
⑦	(B)	(A)	(C)
⑧	(C)	(A)	(C)



## 第7問

円軌道の人工衛星は、高度が高いほど地球を1周する時間が長くなり、高度約36,000kmでは24時間となる。そこで、人工衛星を、赤道上空約36,000kmの円軌道上で地球の自転と同じ向きに運動させると、地上からは一日中、天球上の一点にとどまって見えるため、静止衛星と呼ばれる。

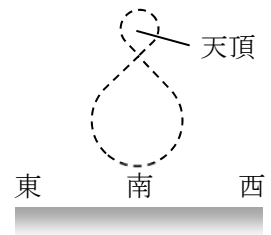
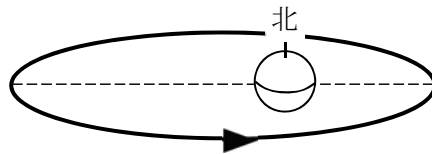


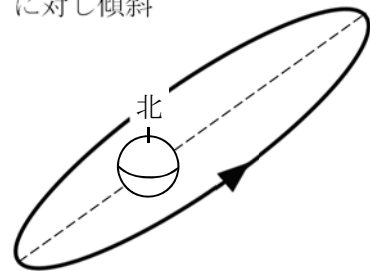
図7

一方、日本版GPS衛星である「みちびき」のうち3機は、平均高度約36,000kmの「だ円軌道」を地球の自転と同じ向きに運動させることで、日本から一日中見え、かつ、天頂近くに長時間見えるようにしてある。このため、これら3機の「みちびき」は、日本から図7のように天球上の南の空に24時間で「8の字」を描いて見える。これら3機の「みちびき」の、軌道および日本から見た「8の字」の下側を動く向きとして、最も適切な模式図の組み合わせを、次の①～⑥から1つ選べ。なお、「だ円軌道」上の人工衛星の速さは、力学的エネルギー保存の法則により、地球に近いときは速くなる。また、模式図は分かりやすいよう誇張してある。

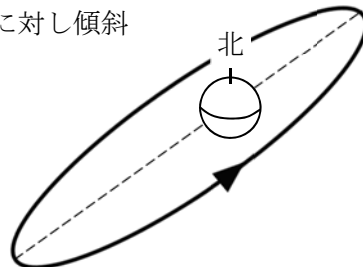
【軌道】 ア 軌道面が地球の赤道面と同一



イ 軌道面が地球の赤道面に対し傾斜



ウ 軌道面が地球の赤道面に対し傾斜



【日本から見た「8の字」の下側を動く向き】



	軌道	日本から見た動く向き
①	ア	A
②	イ	A
③	ウ	A

	軌道	日本から見た動く向き
④	ア	B
⑤	イ	B
⑥	ウ	B

## 第8問

容器内の水に氷を浮かべ、図8のように電子てんびんで質量を測定した。しばらく観察を続けていると、次第に氷が溶けていき、最終的に全ての氷が溶けた。湿度は十分に低く、観察をしている間に容器表面に結露は起こらなかった。このときの水面の高さと電子てんびんの示す値の変化として正しいものを、次の①～⑥から1つ選べ。ただし、氷が溶けている間の水の蒸発は考えないものとする。

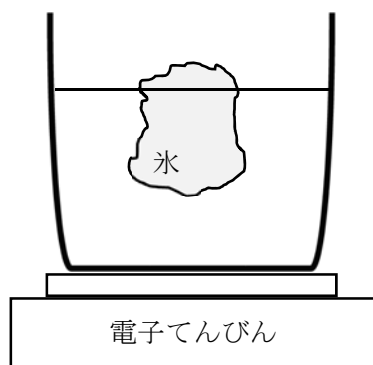


図8

- ① 水面は上昇していき、電子てんびんの示す値は増加していった。
- ② 水面は上昇していくが、電子てんびんの示す値は変化しなかった。
- ③ 水面は上昇していき、電子てんびんの示す値は減少していった。
- ④ 氷が溶けても水面の高さは変化しなかったが、電子てんびんの示す値は増加していった。
- ⑤ 氷が溶けても水面の高さは変化しなかったが、電子てんびんの示す値は減少していった。
- ⑥ 氷が溶けても、水面の高さ、電子てんびんの示す値はいずれも変化しなかった。

## 第9問

浴槽に  $44\text{ }^{\circ}\text{C}$  の湯が  $120\text{ L}$  入っている。このままでは熱いので水を加えたところ、全体の温度が  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  になった。加えた水の温度は  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  である。何  $\text{L}$  の水を加えたか。正しいものを、次の①～④から1つ選べ。ただし、熱は湯と水の間だけでやりとりされるとする。

①  $12\text{ L}$

②  $20\text{ L}$

③  $30\text{ L}$

④  $33\text{ L}$

## 第 10 問

熱の伝わり方は、伝導・対流・放射の3つに大別される。次の A~E で挙げた現象は、それぞれ、この3つの伝わり方のどれに関係が深いか。最も適切な組み合わせを、次の①~⑥から1つ選べ。

- A 太平洋には、日本付近の黒潮を含み、ハワイを大きく取り囲むように循環する強い海流がある。
- B よく晴れた夜の明け方は、かなり冷え込む。
- C 窓ガラスを、空気層を間にはさんだペアガラスにすると、冷暖房の効率が良くなる。
- D コップに水を入れて氷を浮かべると、氷の下側の表面付近から下へ向かう水の流れができる。
- E 温室は、太陽からの可視光線は通しやすいが、温室内の暖まった地面から出る赤外線は通しにくい。このため、冬の晴れた日には温室内は暖かい。

	伝導	対流	放射
①	A と D	B	C と E
②	B	C と E	A と D
③	C	A と D	B と E
④	B と C	A と D	E
⑤	C と D	A	B と E
⑥	C と E	A	B と D

## 第 11 問

電気ストーブは、電気エネルギーを直接、熱に変えて放出している。一方、エアコン（暖房時）は、熱機関（外部からのエネルギーを使って外部に仕事をする装置）を逆向きに運転して、熱を放出している。熱機関の動作原理は図 11-1、エアコン（暖房時）の動作原理は図 11-2 に示している。

エアコン（暖房時）が使う電気エネルギーと、エアコンが室内に放出する熱エネルギーの関係について、正しいものを、次の①～④から 1 つ選べ。

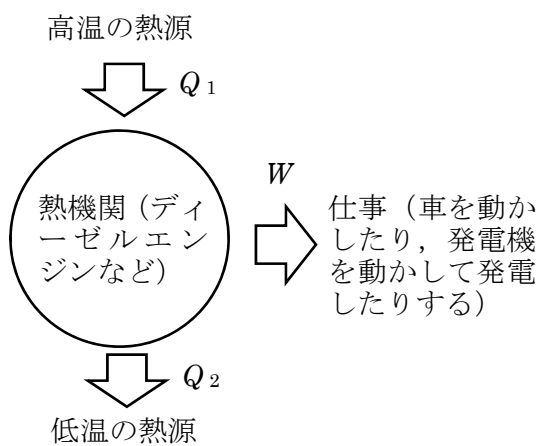


図 11-1 熱機関の動作原理

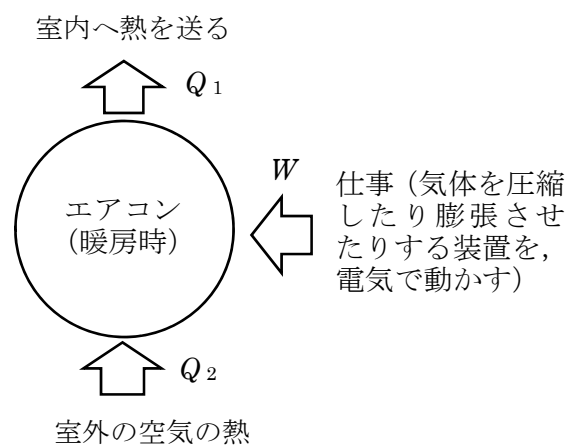


図 11-2 エアコン（暖房時）の動作原理

3つの矢印の熱エネルギーの大きさや仕事の大きさをそれぞれ  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $W$  とすると,

$$Q_1 = Q_2 + W \text{ が成立している。}$$

- ① 使う電気エネルギーと室内に放出する熱エネルギーは等しい。
- ② 使う電気エネルギーの方が室内に放出する熱エネルギーより大きい。
- ③ 使う電気エネルギーの方が室内に放出する熱エネルギーより小さい。
- ④ 使う電気エネルギーと室内に放出する熱エネルギーの大小関係は設定温度によって異なる。

## 第12問

ふたを閉めて密封することができる容器の中に、図12のように、ふくらませたゴム風船と音を鳴らした状態の電子オルゴールを入れて、容器のふたを閉めた。はじめ、電子オルゴールの音は容器の外に聞こえていた。その状態から真空ポンプを使って容器の中の空気を抜いていく。このときの変化の様子について最も適切なものを、次の①～⑥から1つ選べ。

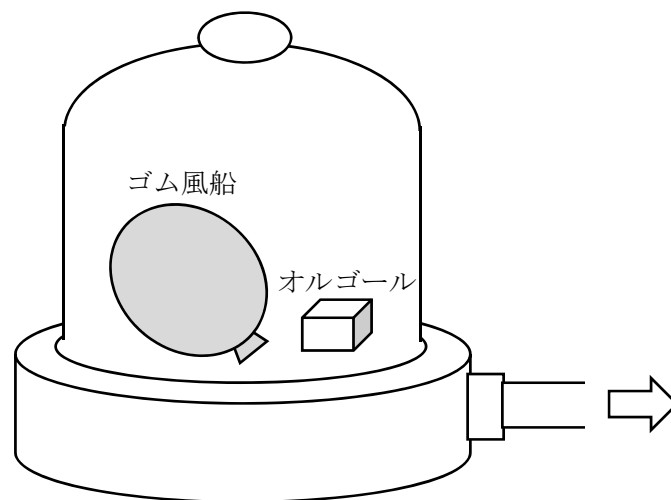


図12

- ① 電子オルゴールの音は次第に小さくなっていき、ゴム風船はふくらんでいく。
- ② 電子オルゴールの音は次第に大きくなっていき、ゴム風船はふくらんでいく。
- ③ 電子オルゴールの音は次第に小さくなっていき、ゴム風船はしぼんでいく。
- ④ 電子オルゴールの音は次第に大きくなっていき、ゴム風船はしぼんでいく。
- ⑤ 電子オルゴールの音は次第に小さくなっていき、ゴム風船はふくらみながら浮き上がる。
- ⑥ 電子オルゴールの音は次第に大きくなっていき、ゴム風船はふくらみながら浮き上がる。

## 第13問

図13のように、焦点距離が $f$ のレンズがある（ $F$ は焦点）。レンズからの距離が $2f$ のところに光源  $PQ$  を置くと、光源とは反対側に像  $P' Q'$  ができた。この状態で、レンズのすぐ左にあるついたて  $A$  を下ろしていく（操作1）と、スクリーンにできる像は同じ形のまま全体的に暗くなっていく。また、光源  $PQ$  のすぐ右にあるついたて  $B$  を下ろしていく（操作2）と、スクリーンにできる像は、像の明るさはほとんど変わらず、 $P'$  から消え始めた。

光源とレンズの真ん中にあるついたて  $C$  を下ろしていく（操作3）と、スクリーンにできる像はどのように変化していくか。最も適切なものを、次の①～⑥から1つ選べ。

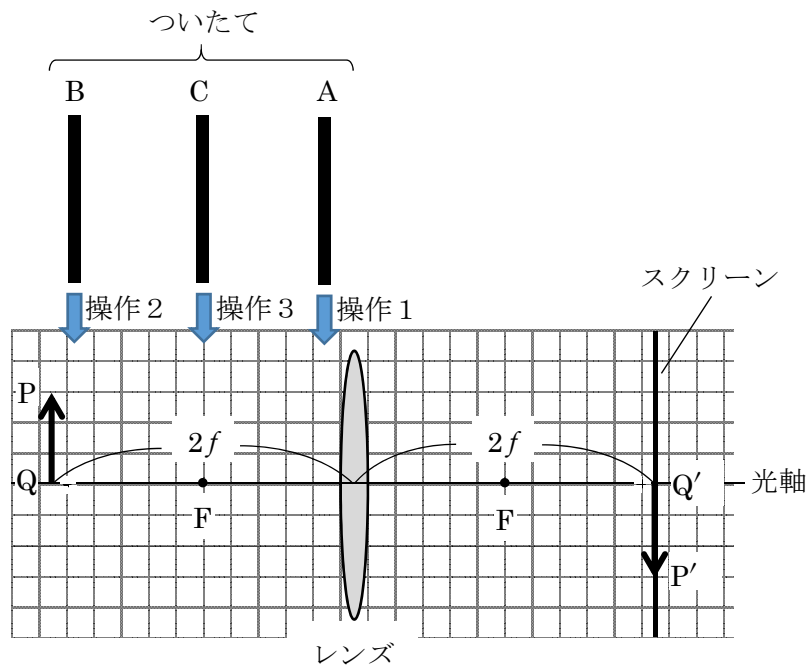


図13

- ① 像は徐々に暗くなりながら、ついたての下端が光軸を過ぎると  $P'$  から消え始める。
- ② 像の明るさはほとんど変わらず、ついたての下端が光軸を過ぎると  $P'$  から消え始める。
- ③ 像は徐々に暗くなりながら、ついたての下端が光軸を過ぎると  $Q'$  から消え始める。
- ④ 像の明るさはほとんど変わらず、ついたての下端が光軸を過ぎると  $Q'$  から消え始める。
- ⑤ 像は徐々に暗くなりながら、ついたての下端が光軸を過ぎると全体が同時に消える。
- ⑥ 像の明るさはほとんど変わらず、ついたての下端が光軸を過ぎると全体が同時に消える。

## 第 14 問

図 14-1 のように鏡の前に右手を挙げて立つと、鏡に映った像は 1 人で、その像は、左手を挙げているように見える。

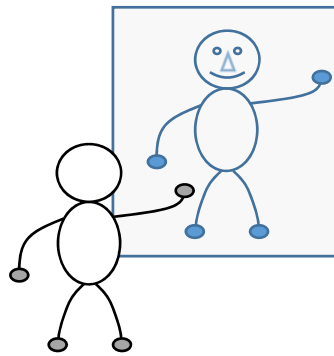


図 14-1

2 枚の鏡の角度を図 14-2 のように  $60^\circ$  にして、鏡の間の中央に右手を挙げて立った。鏡に映った像は何人見えるか。また、その像の中で、左手を挙げているように見えるのは何人か。正しい組み合わせを、次の①～⑥から 1 つ選べ。

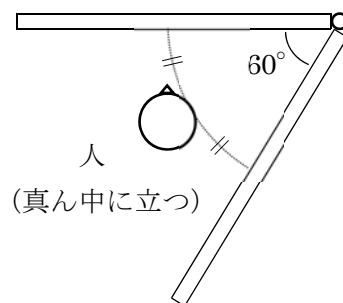


図 14-2

	鏡に映った像の人数	左手を挙げている像の人数
①	5	1
②	5	2
③	5	3
④	6	1
⑤	6	2
⑥	6	3



## 第 15 問

3つの同じ豆電球 A, B, C, スイッチおよび電池で図 15-1 のような回路を作ると, A と B の豆電球が点灯した。

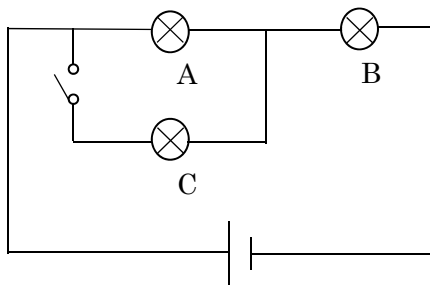


図 15-1

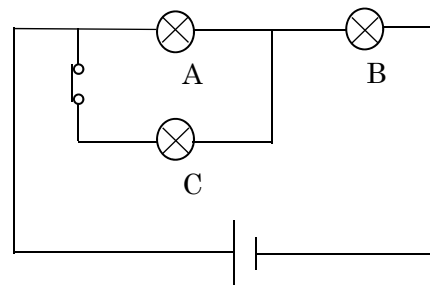


図 15-2

その後, 図 15-2 のようにスイッチを入れると 3つの豆電球はすべて点灯した。この時, 図 15-1 のときの A の豆電球の明るさと比べて, 図 15-2 のときの A~C の豆電球の明るさは, それぞれどのようなになるか。正しい組み合わせを, 次の①~⑨から 1つ選べ。

明 : 図 15-1 のときの A の豆電球の明るさと比べて明るい

暗 : 図 15-1 のときの A の豆電球の明るさと比べて暗い

同 : 図 15-1 のときの A の豆電球の明るさと同じ

	A	B	C
①	明	明	明
②	明	同	明
③	明	暗	明
④	同	明	同
⑤	同	暗	同
⑥	暗	暗	明
⑦	暗	明	暗
⑧	暗	暗	暗
⑨	同	同	同

## 第 16 問

金属でできた棒磁石の中心に電気を通さない糸を取り付け、天井からつるして全体を静止させた。次に図 16 のように、この棒磁石の N 極に、負に帯電した物体を近づけると、物体と棒磁石は引きあつた。この引力の原因は磁力ではなく、物体にある電荷と、静電誘導によって棒磁石の表面に現れた電荷との間にはたらく静電気力によるものである。

そこで、同じ棒磁石を用いていろいろな条件のもとで実験を行ったときの、近づけた物体と棒磁石の様子として、最も適切な組み合わせを、次の①～④から 1 つ選べ。

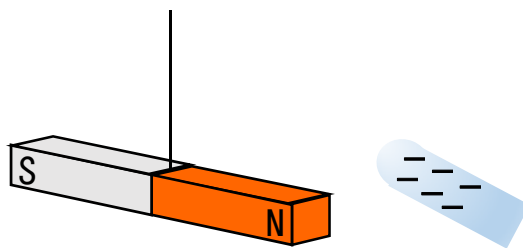


図 16

	N 極に正に帯電した物体を近づける	S 極に正に帯電した物体を近づける
①	引きあつた	引きあつた
②	引きあつた	反発しあつた
③	反発しあつた	引きあつた
④	反発しあつた	反発しあつた

## 第 17 問

図 17 のように、「手回し発電機 A」－「豆電球 B」－「手回し発電機 C」の順に 3 つを直列につなぐ。A と C を別々の人が手に取り、A のハンドルをゆっくり回転させると、C のハンドルも回転し始めた。その後、A のハンドルをだんだん速く回転させていくと、C のハンドルの回転も速くなり、B がわずかに点灯するようになった。この状態で A のハンドルの回転数を一定に保つように回し続けながら、C のハンドルを止め固定した。このときの変化として最も適切な組み合わせを、次の①～⑨から 1 つ選べ。

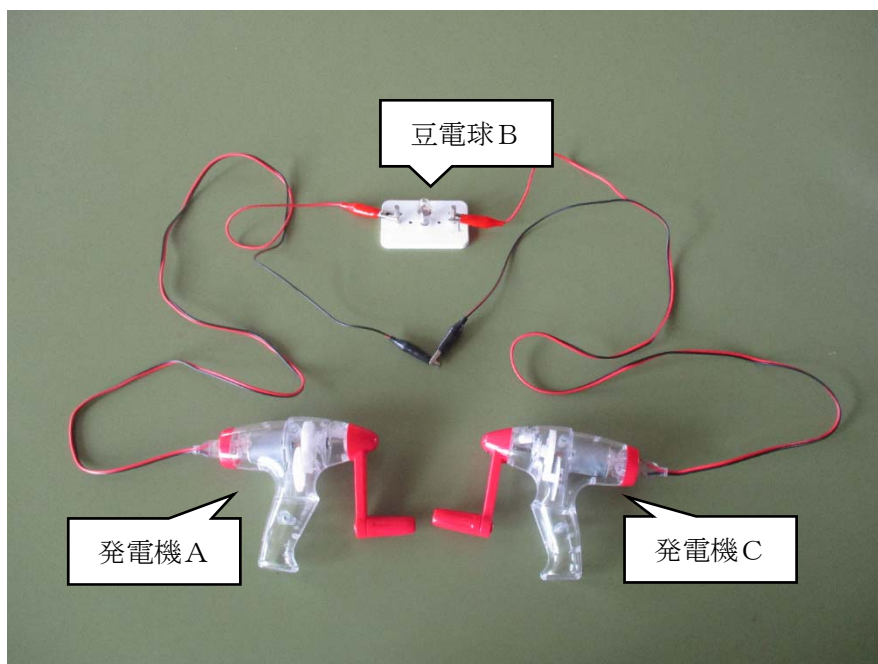


図 17

	B の明るさの変化	A を同じ回転数で回し続けるときのハンドルの重さ
①	変わらない	変わらない
②	変わらない	重くなる
③	変わらない	軽くなる
④	明るくなる	変わらない
⑤	明るくなる	重くなる
⑥	明るくなる	軽くなる
⑦	暗くなる	変わらない
⑧	暗くなる	重くなる
⑨	暗くなる	軽くなる

## 第 18 問

遺跡から出土した木片の年代を測定する方法として「放射性炭素年代測定法」がある。木片の炭素の量を調べることにより、その木が生きていたおおよその年代を知ることができる。通常の炭素は質量数が 12 の  $^{12}\text{C}$  がほとんどであるが、同位体として、質量数が 14 の  $^{14}\text{C}$  が自然界にはごくわずかに存在している。この  $^{14}\text{C}$  の原子核は、時間とともに放射線を出しながら崩壊し、窒素 ( $^{14}\text{N}$ ) に変わっていく。 $^{14}\text{C}$  の半減期 (初めに存在していた個数の半分になるまでの時間) を 5,700 年とすると、図 18 のグラフのように  $^{14}\text{C}$  の個数が減っていく (半減期を  $T$  とする)。自然界の  $^{12}\text{C}$  に対する  $^{14}\text{C}$  の割合は古代から現在まで変わらないものとする、木片中での  $^{12}\text{C}$  に対する  $^{14}\text{C}$  の割合が、どのくらい小さくなっているかを測定することによって年代を推定することができる。

今、 $^{12}\text{C}$  に対する  $^{14}\text{C}$  の割合が、自然界 (元の割合) の  $1/8$  になっている木片が出土したとする。この木片は、今から何年前のものか。最も適切なものを、次の①～⑥から 1 つ選べ。

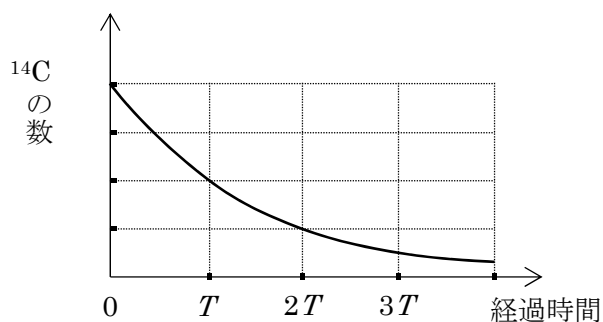


図 18

- ① 2,850 年前
- ② 5,700 年前
- ③ 11,400 年前
- ④ 17,100 年前
- ⑤ 22,800 年前
- ⑥ 45,600 年前

## 第19問

アインシュタインの一般相対性理論によると、質量の極めて大きい物体のまわりでは時空（時間と空間）が歪む。2つのブラックホールが互いのまわりを円運動するとき、時空の歪みが「重力波」という波となって伝わる。

国際プロジェクト「LIGO」研究チームは、2015年9月14日、史上初めて重力波の観測に成功した。解析の結果、13億光年の距離にあったブラックホール2つが、互いに公転しながら近づき、衝突・合体したときの重力波と判明した。

LIGOはアメリカ合衆国の、互いに3,000 km離れた2つの観測所から成っている。図19の2つのグラフは、それぞれの観測所のデータの模式図である。縦軸が時空の歪み、横軸が時間を表している。

2つの観測所の波形は、若干の時間差を経てほぼ一致していることから、ノイズや偶然によって生じたものではないことがわかる。そして、振幅は徐々に大きく、周期は短くなっていき、ある時刻から突然、振幅が小さくなり、やがてゼロになっている。

この結果からわかることとして、誤っているものを、次の①～⑤から1つ選べ。

\*グラフはLIGO Web ページ (<https://www.ligo.org>) の理論値データを基に作成

- ① 振幅が大きくなっていくことから、2つのブラックホールが近づくにつれて質量の和が急激に増加していったことがわかる。
- ② 周期が短くなっていくことから、ブラックホールが近づくにつれて互いに公転する周期が短くなっていったことがわかる。
- ③ リビングストーン観測所の波形の時刻の方がわずかに早いことから、この日時の地球は、リビングストーン観測所の方が、ハンフォード観測所よりもブラックホールに近いような向きであったことがわかる。
- ④ ある時刻に振幅が最大となり、以後、振幅がほぼゼロに収束していったことから、これら2つのブラックホールは、合体したことがわかる。
- ⑤ 振幅が最大となった後、わずかな時間、小さな振動が残っていることから、合体した後、しばらくブラックホールが不安定に振動していたことがわかる。

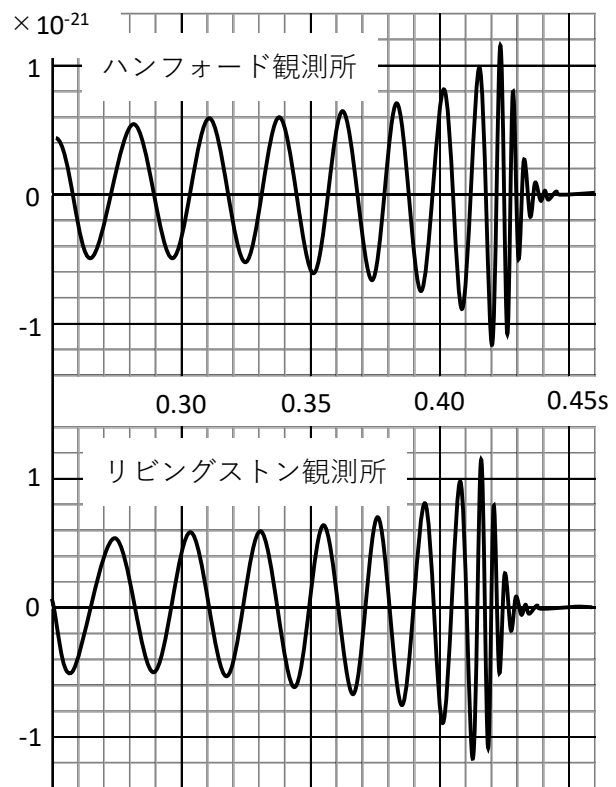


図19

## 第 20 問

1909 年，ミリカン（米，1868-1953）は 1 つの電子の電気量（電気素量）を求めるための実験を行い，その実験データから電気素量を求めることができた。この功績から 1923 年にミリカンはノーベル物理学賞を受賞した。ここではそのミリカンの実験の手法を参考に，1 つの鉄球の質量を求めてみよう。

形や大きさの同じ封筒が 6 個用意されている。図 20 のようにそれぞれの封筒の中に，形や大きさが同じ鉄球をいくつか入れていったが，どの封筒に何個入っているかわからなくなった。

封筒を開けずに鉄球 1 個の質量を知りたい。そこで，鉄球の入った封筒を A から F とし，その質量を電子てんびんで測定した。その値から封筒の質量を引いた値は，表のとおりであった。次の①～⑥のうち，鉄球 1 個の質量として最も適切なものを 1 つ選べ。

表 電子てんびんで測定した値から，封筒の質量を引いた値

A	B	C	D	E	F
72 g	40 g	52 g	16 g	60 g	32 g

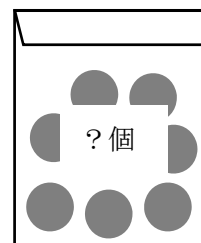


図 20 封筒

- ① 3 g
- ② 4 g
- ③ 5 g
- ④ 6 g
- ⑤ 7 g
- ⑥ 8 g



岡山県マスコット ももっち