

# 第20回全国物理コンテスト 物理チャレンジ2024

## 第1チャレンジ 理論問題コンテスト

実施日時 2024年7月7日（日）10：00～11：30  
オンライン IBT 形式

### 問題



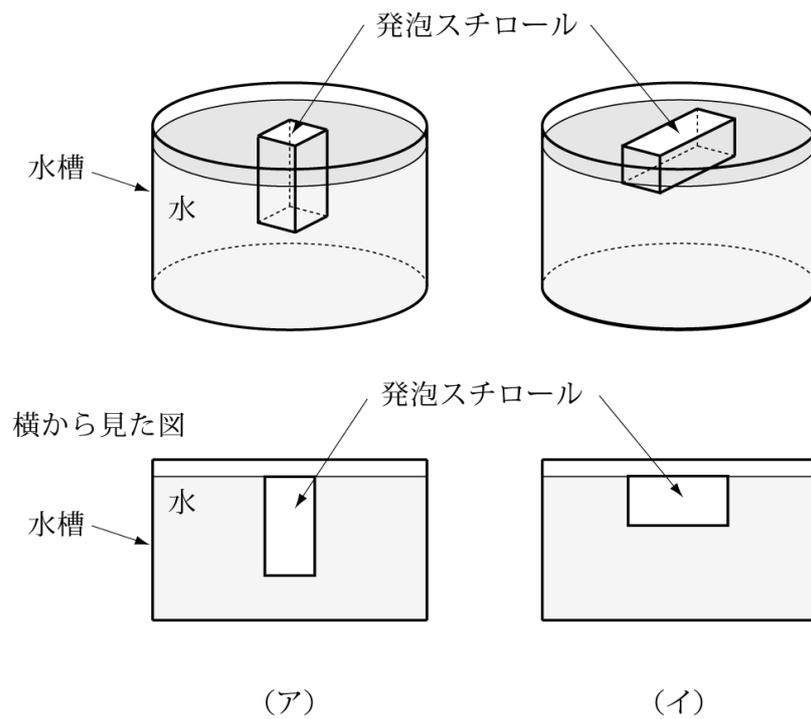
©公益社団法人 物理オリンピック日本委員会

# 基礎総合

問1～問14に答えなさい。

## 問1

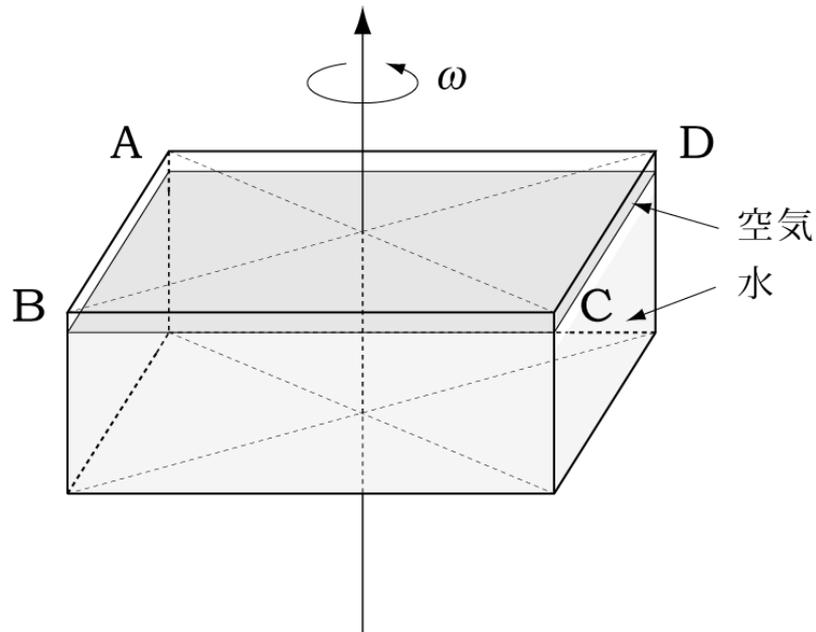
発泡スチロールでできた  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$  の直方体がある。この直方体を、図のように水をはった水槽に入れて、水面まで沈める。直方体を縦に沈める（ア）に必要な仕事は、横に沈める（イ）に必要な仕事の何倍か。ただし、水槽は十分に大きいものとする。最も適切なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。



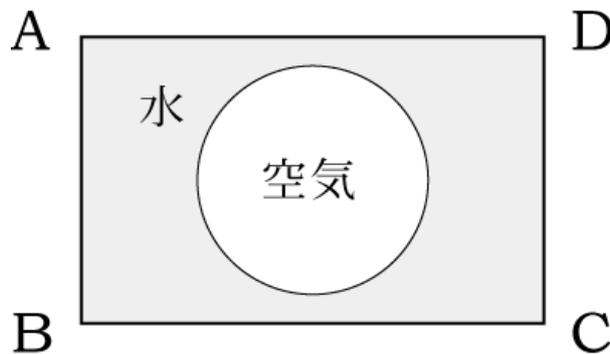
- ① 0.5 倍
- ② 1.0 倍
- ③ 1.5 倍
- ④ 2.0 倍
- ⑤ 2.5 倍

## 問2

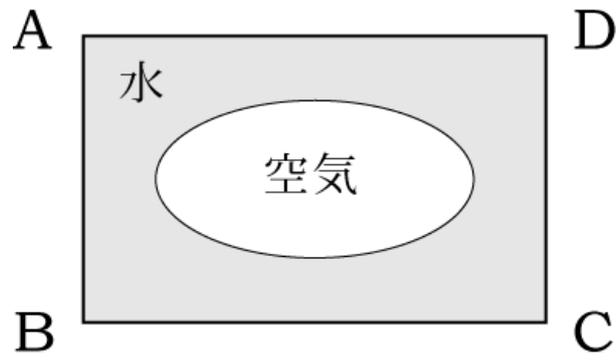
図のように、透明な直方体の密封容器に水と空気が入っている。密封容器の中心を軸として（対角線 AC, BD の交点を通る鉛直な軸）一定の角速度  $\omega$  で回転させた。このとき、回転によって水と空気が移動した。容器上部から見た水と空気は、どのようなになるか。容器上面に接している水と空気の図として、最も適切なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。



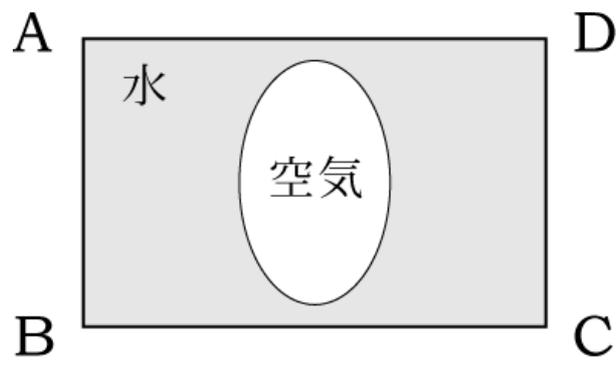
①



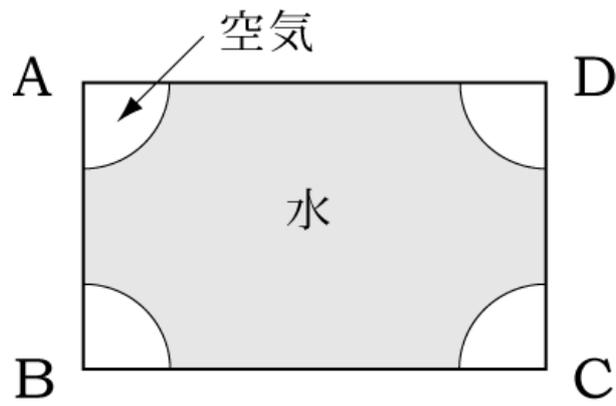
②



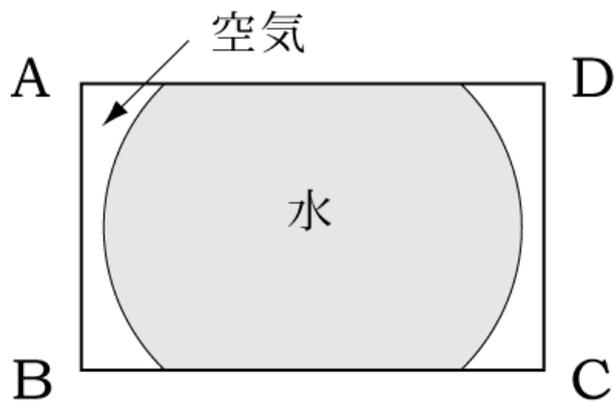
③



④

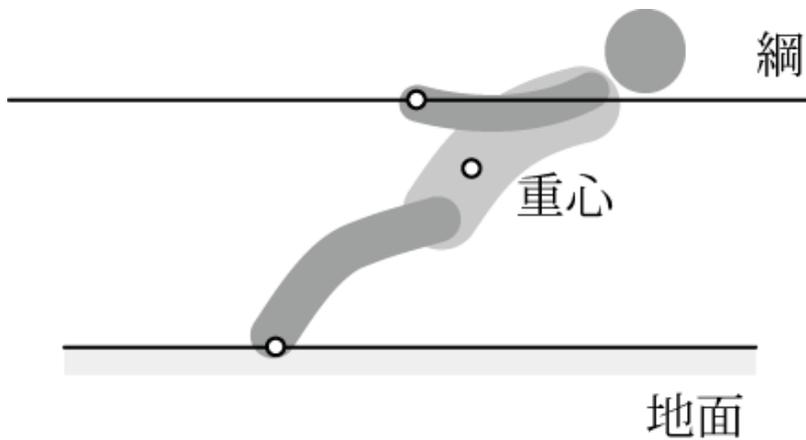


⑤

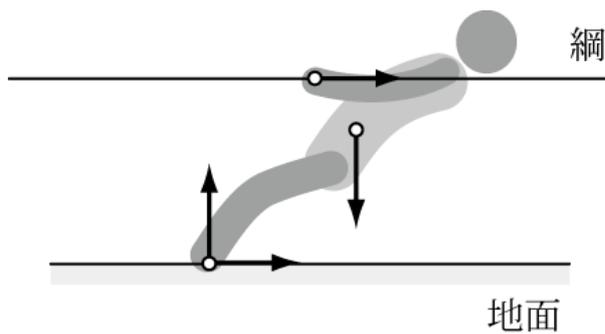


問3

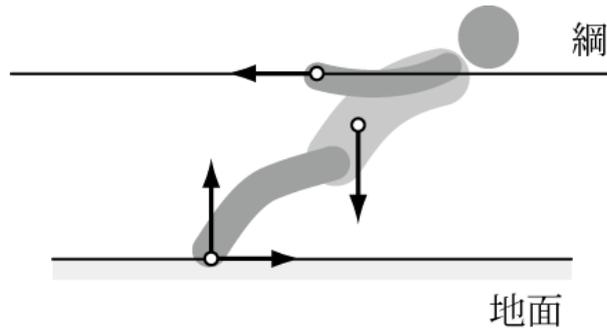
綱引きをしている人が受ける力を考える。次の図は、人が綱を水平右向きに引いて、綱と人は静止している場合を表している。人が受ける力を矢印で表したとき、矢印の向きが最も適切な図を、下の①～④の中から1つ選びなさい。



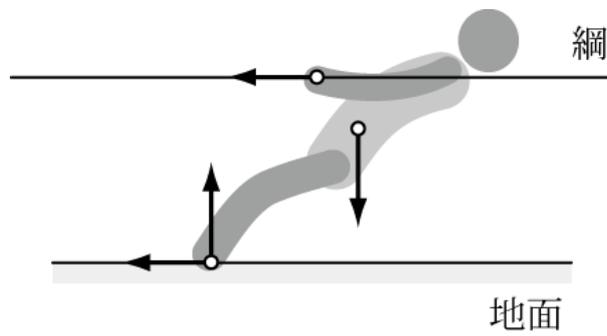
①



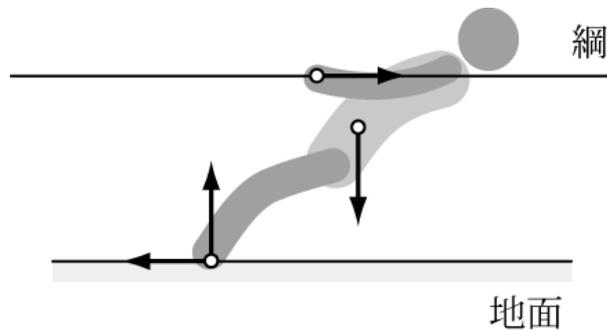
②



③



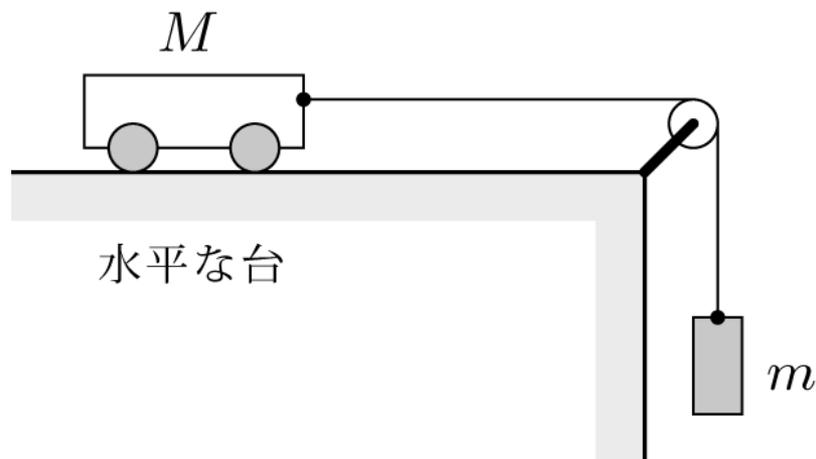
④



問4

図のように、質量  $M$  の台車にひもを取り付け、滑車を通して質量  $m$  のおもりを吊るした。ただし、台は水平で、台と台車の摩擦は無視できるものとし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。このとき、台車を引く力の大きさの説明として、最も適切なものを、下の ①～④の中から1つ選

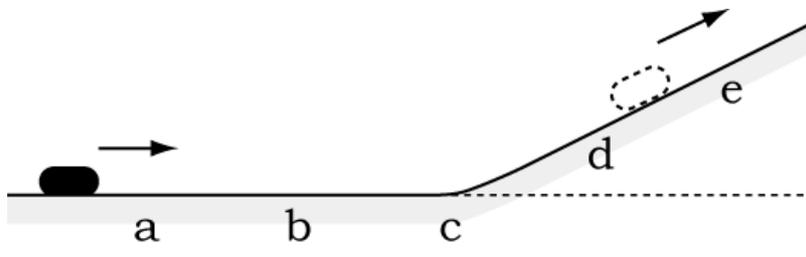
びなさい。



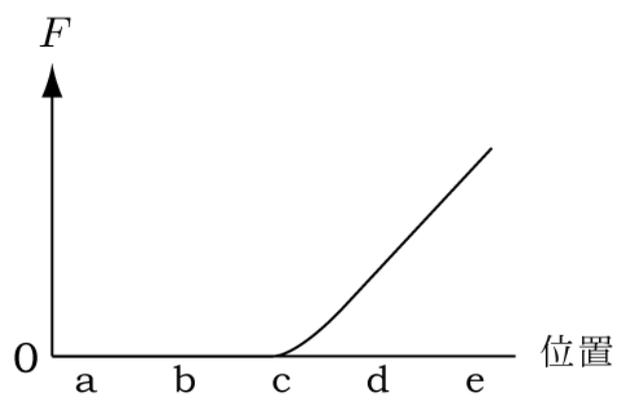
- ① 台車をおもりの重力で引いているので、力の大きさは  $mg$  である。
  - ② 台車とおもりをおもりの重力で引いているので、力の大きさは  $mg$  より大きくなる。
  - ③ 台車とおもりをおもりの重力で引いているので、力の大きさは  $mg$  より小さくなる。
  - ④ 台車の質量  $M$  とおもりの質量  $m$  との大小関係で、力の大きさは  $mg$  より大きいか小さいかが決まる。
- 
- 
- 

## 問5

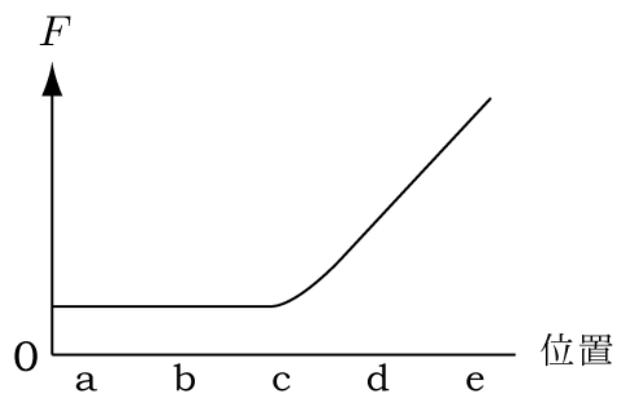
図のように、水平面の先に斜面がなめらかにつながっている台がある。この台で小物体を一定の速さで進ませたい。小物体と台の間の摩擦は無視できるものとする。図の a から e の各位置での、小物体に作用させる面に平行な向きの力の大きさを表すグラフとして、最も適切なものを、下の①～⑥の中から1つ選びなさい。



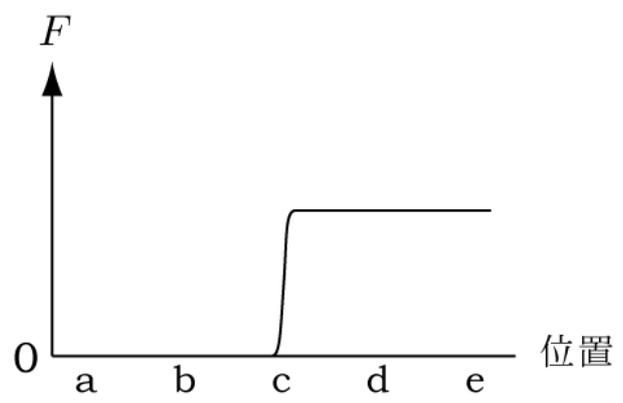
①



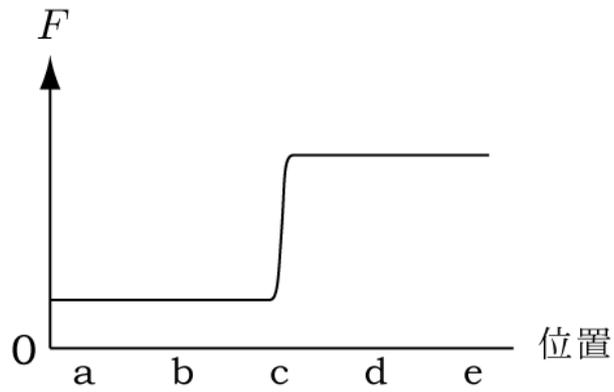
②



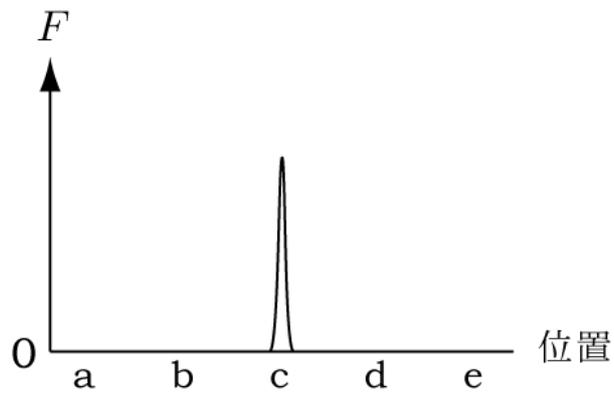
③



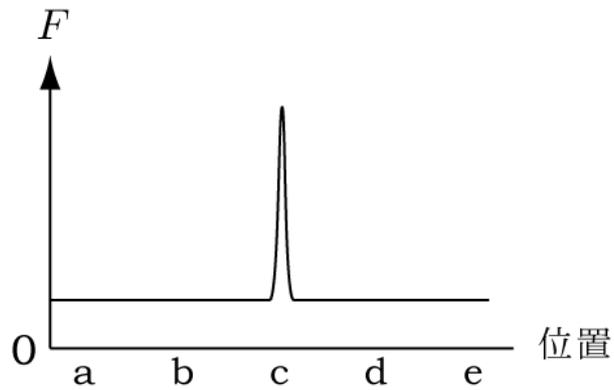
④



⑤



⑥



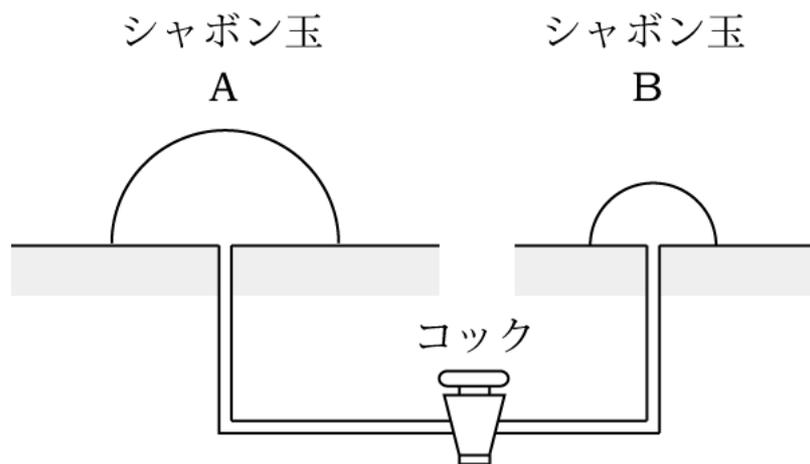
## 問6

温度  $-10.0^{\circ}\text{C}$ 、質量  $1.10\text{ kg}$  の氷を  $15.0^{\circ}\text{C}$  の水にするには、どれだけの熱を吸収させなければならないか。ただし、氷の比熱を  $2.22\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、水の比熱は  $4.19\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、氷の融解熱を  $334\text{ kJ}/\text{kg}$  として計算しなさい。最も適切なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

- ① 61.0 kJ
  - ② 69.0 kJ
  - ③ 94.0 kJ
  - ④ 380 kJ
  - ⑤ 460 kJ
- 
- 

## 問7

図のように、大きな半球シャボン玉 A と小さな半球シャボン玉 B の 2 つがコック付きの管でつながっている。コックを開けてシャボン玉内部の気体が自由に移動できるようにすると、半球シャボン玉 A と B の大きさはどうなるか。説明として、最も適切なものを、下の ① ~ ⑤ の中から 1 つ選びなさい。ただし、管は十分細いとする。



- ① A は膨らみ, B は縮む。
  - ② B は膨らみ, A は縮む。
  - ③ 同じ半径になるまで, A は縮み, B は膨らむ。
  - ④ A, B とも膨らんだり縮んだりを繰り返す。
  - ⑤ A の大きさも B の大きさも変わらない。
- 
-

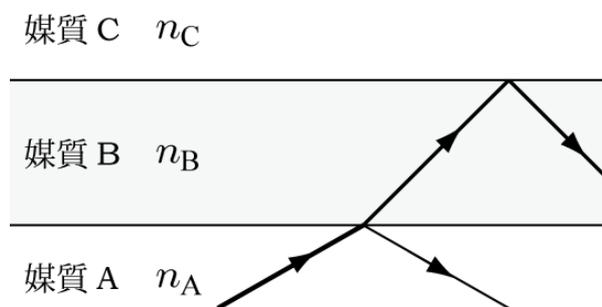
## 問8

長さ 96.0 cm, 98.4 cm の2つの一端が閉じたオルガンパイプを鳴らしたところ、基本振動により1秒間あたり2.00回のうなりが生じた。音速はいくらか。最も適切なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。ただし、開口端補正は無視できるものとする。

- ① 157 m/s
  - ② 240 m/s
  - ③ 315 m/s
  - ④ 340 m/s
- 
- 
- 

## 問9

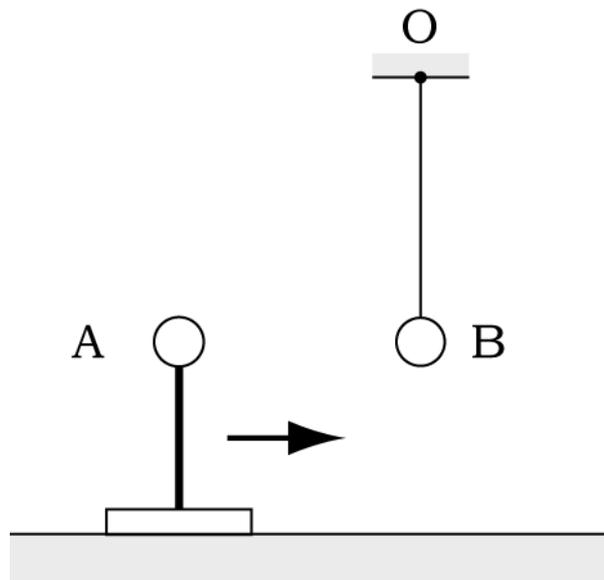
屈折率  $n_A$  の媒質 A, 屈折率  $n_B$  の媒質 B, 屈折率  $n_C$  の媒質 C を図のように配置した。単色光線を A から B に入射したところ、図のように光線は B と C の境界で全反射した。 $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$  の大きさを比べるとどうなるか。最も適切なものを、下の①～⑥の中から1つ選びなさい。



- ①  $n_A > n_B > n_C$
- ②  $n_A > n_C > n_B$
- ③  $n_B > n_A > n_C$
- ④  $n_B > n_C > n_A$
- ⑤  $n_C > n_A > n_B$
- ⑥  $n_C > n_B > n_A$

## 問10

図の A は絶縁された支柱の上に取り付けられた金属球で、B は絶縁性の糸で吊るされた軽い金属球である。A を正に帯電させ、帯電していない B にゆっくりと近づけていき、A と B が接触したところで A を止める。B の動きはどうなるか。ただし、図の A と B の中心は同じ高さにあるものとし、空気中への電荷の移動はないものとする。最も適切な文を、下の ①～⑤の中から1つ選びなさい。



- ① B は A が近づいても表面に電荷が現れないので動かないが、A と接触すると正に帯電するので A から離れた位置でやがて静止する。
- ② B は A が近づくと静電誘導で表面に電荷が現れるが、それらに作用する力は相殺するので B は動かない。A と接触すると正に帯電するので A から離れた位置でやがて静止する。
- ③ B は A が近づくと静電誘導で表面に電荷が現れて A に引き寄せられるが、A と接触すると B に現れていた電荷が相殺するので元の位置に戻って静止する。
- ④ B は A が近づくと静電誘導で表面に電荷が現れて A に引き寄せられるが、A と接触すると正に帯電するので A から離れた位置でやがて静止する。

⑤ BはAが近づくと静電誘導で表面に電荷が現れてAに引き寄せられるが、Aと接触してもそれらがAの電荷と引き合い接触したままとなる。

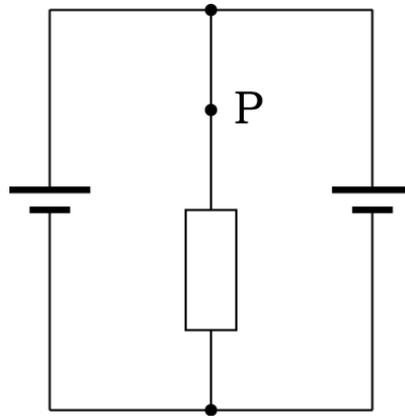
---

---

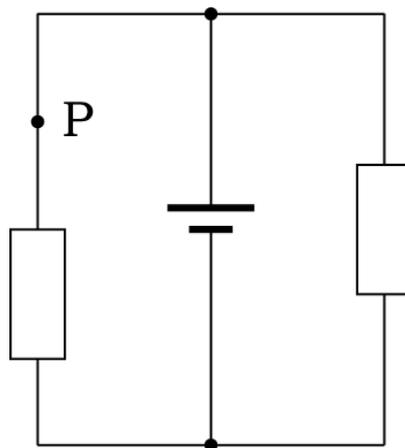
### 問11

起電力の等しい電池と抵抗値の等しい抵抗を用いて、解答の選択肢①～④に示す回路を作った。導線上の点Pを流れる電流の大きさが他の3つの回路と異なるものはどれか。ただし、電池の内部抵抗は無視できるものとする。最も適切なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

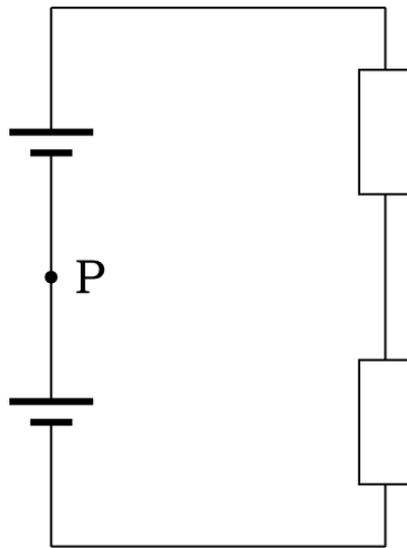
①



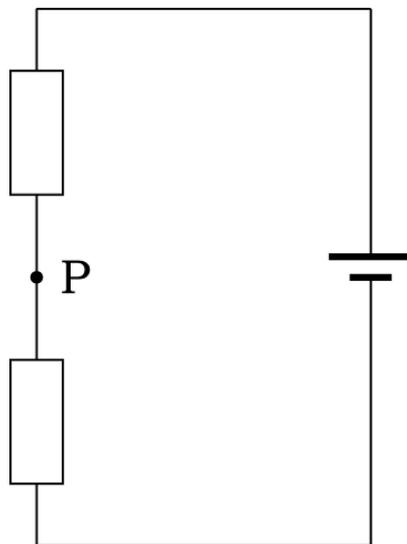
②



③

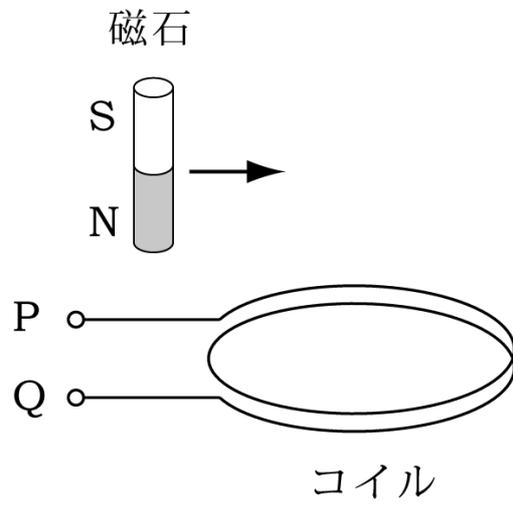


④

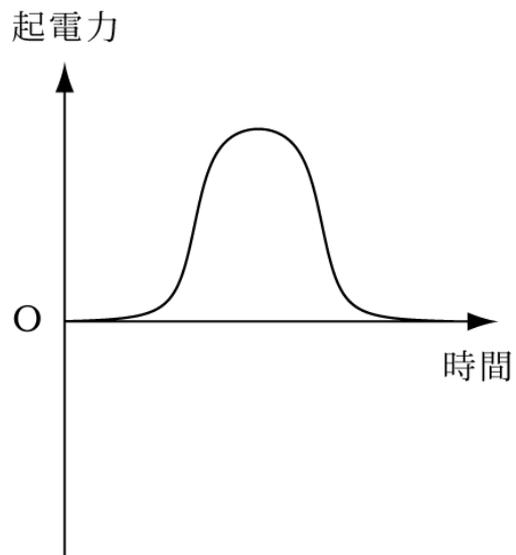


## 問12

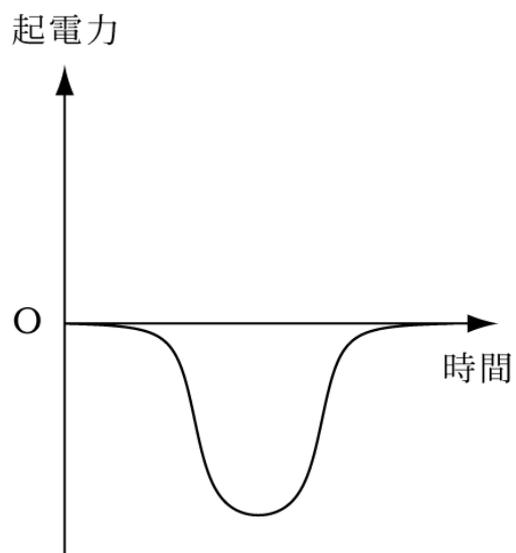
図のように、水平に置いたコイル上を、水平右向きにN極を下にした棒磁石を一定の速さで動かした。コイルのP端を電圧計の+端子に、Q端を一端子に接続して、コイルに生じる起電力の時間変化を計測した。起電力の時間変化を表すグラフとして、最も適切なものを、下の①～⑥の中から1つ選びなさい。



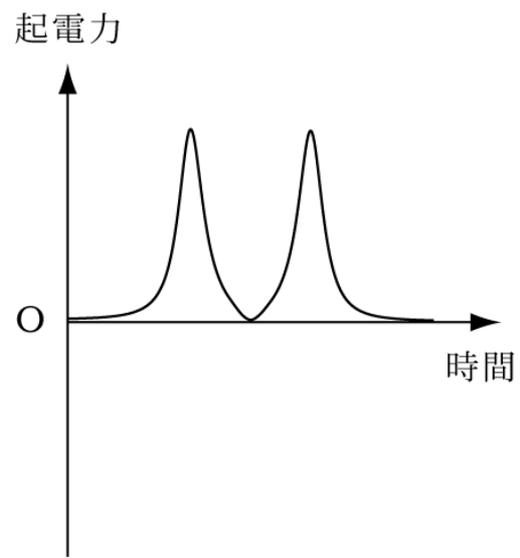
①



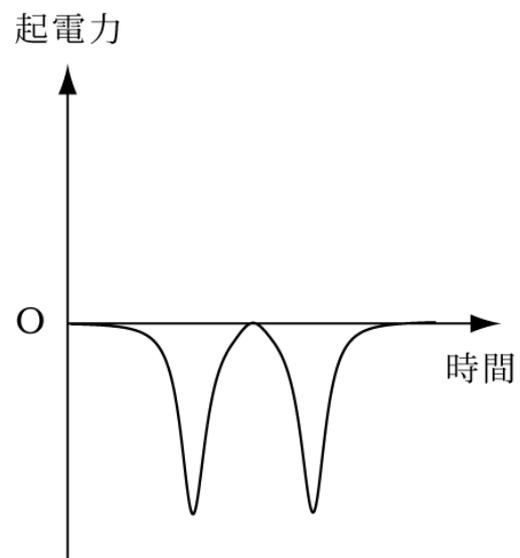
②



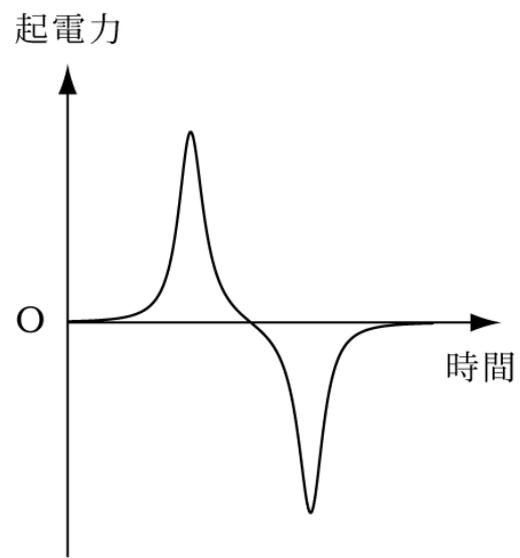
③



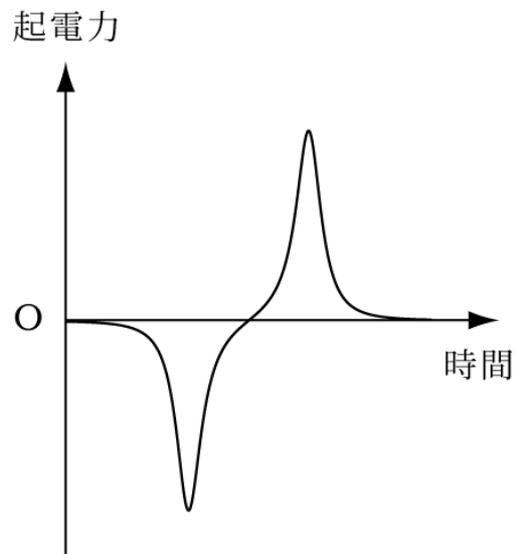
④



⑤

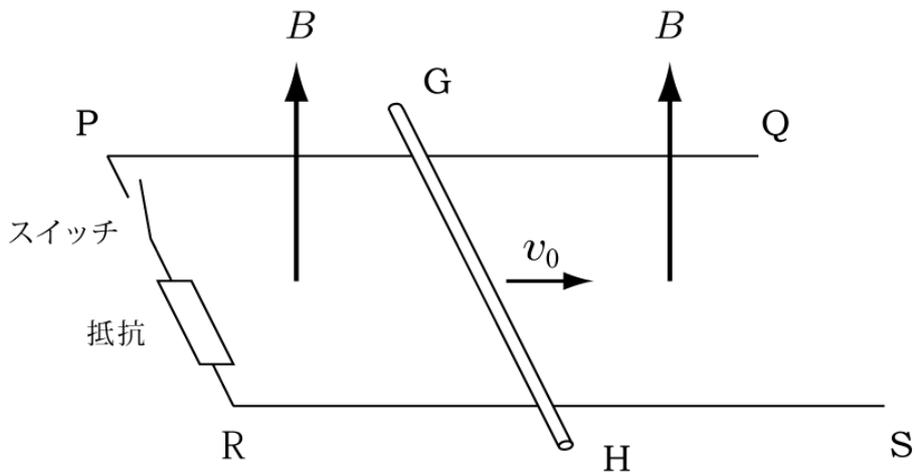


⑥



### 問13

鉛直上向きの一様な磁束密度  $B$  の磁場がある。図のように、水平面内に2本の電気抵抗の無視できる導体レール（PQ と RS）を平行に固定して、PR 間にスイッチと抵抗を取り付ける。2本の導体レールに垂直に電気抵抗の無視できる導体棒 GH を渡した。はじめ、スイッチを開いた状態で、導体棒に図の向きに速さ  $v_0$  を与える。導体レールは十分に長いものとし、導体棒との摩擦は無視する。導体棒の運動について述べた最も適切な文を、下の①～④の中から1つ選びなさい。



① スイッチが開いていても閉じていても導体棒に起電力は発生するが、導体棒の両端に現れる電荷のため電流が流れないので、 $v_0$ のまま等速で運動する。

② スイッチが開いているときは導体棒に起電力が発生せず、閉じると起電力が発生して電流が流れだす。その電流に磁場から作用する力が導体棒のブレーキになるので、スイッチを閉じると減速する。

③ スイッチが開いているときから導体棒には起電力は発生していて、閉じると電流が流れだす。その電流に磁場から作用する力が導体棒のブレーキになるので、スイッチを閉じると減速する。

④ スイッチが開いているときから導体棒には起電力は発生していて、閉じると電流が流れだす。その電流に磁場から作用する力の向きが  $v_0$  と同じ向きになるので、スイッチを閉じると導体棒は加速する。

---

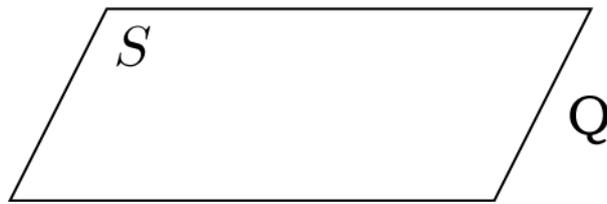
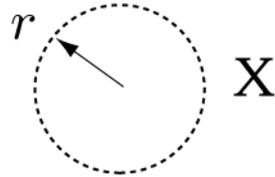
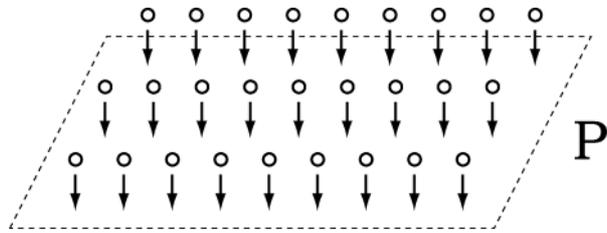
---

---

## 問14

図のように、微粒子を放射面から垂直な向きに一様に放出する装置 P と微粒子を検出する装置 Q がある。P の放射面と Q の検出面は平行で面積は共に  $S$  である。

P から放出された微粒子を Q で検出すると、単位時間に  $N$  個の微粒子が検出された。この P と Q の間に半径  $r$  の球体 X を置いたところ、単位時間に  $n$  個の微粒子が Q で検出された。 $r$  の推定値はいくらか。最も適切なものを、下の ①～⑥の中から1つ選びなさい。ただし、球体 X のふちに当たってから Q で検出される粒子の数は無視できるものとする。



- ①  $\sqrt{\frac{N}{n} \frac{S}{\pi}}$
- ②  $\sqrt{\frac{n}{N} \frac{S}{\pi}}$
- ③  $\sqrt{\frac{N-n}{N} \frac{S}{\pi}}$
- ④  $\sqrt{\frac{N+n}{N} \frac{S}{\pi}}$
- ⑤  $\sqrt{\frac{n}{N+n} \frac{S}{\pi}}$
- ⑥  $\sqrt{\frac{N+n}{n} \frac{S}{\pi}}$

## 力学

問15～18に答えなさい。

## 問15

図1のような斜面と水平面を接続した経路ACBと、図2のような斜面だけでできた経路A'B'がある。AO = A'O' = h, OB = O'B' = lである。小物体が図1のAからBまで移動する時間をT, 図2のA'からB'まで移動する時間をT'とする。ただし、斜面と水平面の接続(C)で小物体は滑らかに動き、摩擦は無視できるものとする。移動時間がT < T'となるときの、L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>が満たす条件として、最も適切なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。

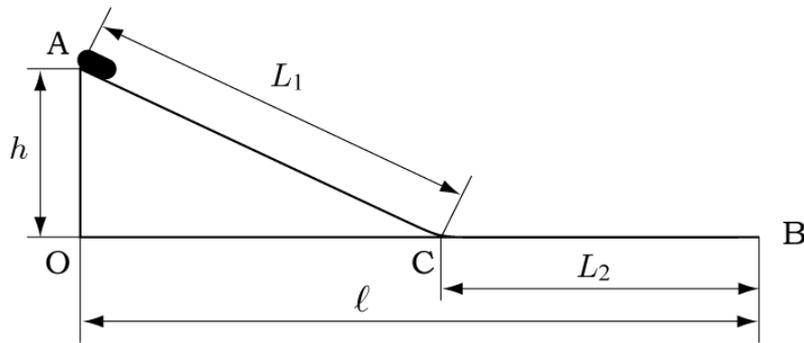


図1

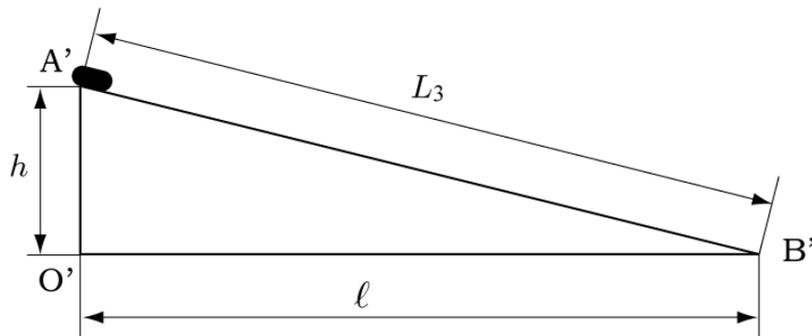


図2

① 条件なしにいつでも $T < T'$ となるので条件を満たす解はない

②  $L_1 + \frac{L_2}{2} < L_3$

③  $L_1 + \frac{L_2}{2} > L_3$

④  $\frac{L_1}{2} + L_2 < L_3$

$$\textcircled{5} \quad \frac{L_1}{2} + L_2 > L_3$$

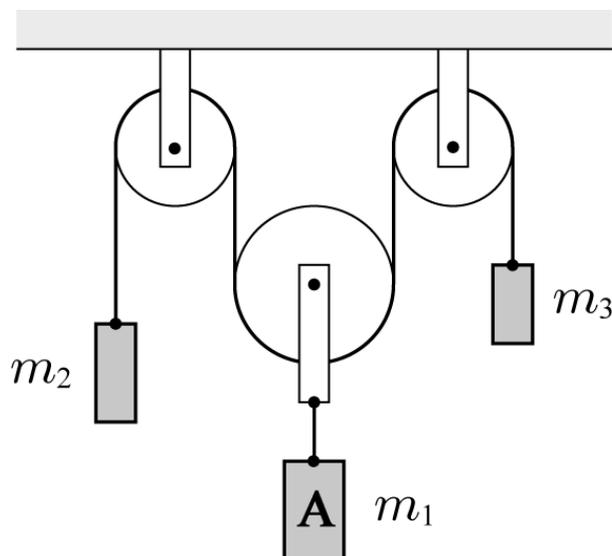

---



---

### 問16

図のように、動滑車に質量  $m_1$  のおもり A を軽いひもでつるし、この動滑車も、質量  $m_2$  と  $m_3$  の2つのおもりをひもに結び、定滑車2つを使ってつるした。ただし、滑車の質量は無視でき、動滑車をつるしている両端のひもは鉛直であり、ひもはたるんでいないとする。A が静止または等速度運動するための  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$  の間に成り立つ関係式はどうか。最も適切なものを、下の①～④の中から1つ選びなさい。



$$\textcircled{1} \quad \frac{1}{m_1} = \frac{1}{m_2} + \frac{1}{m_3}$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{2}{m_1} = \frac{1}{m_2} + \frac{1}{m_3}$$

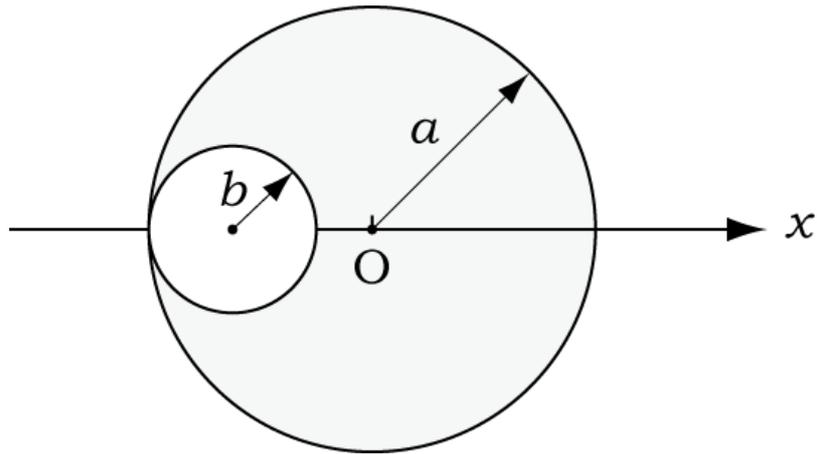
$$\textcircled{3} \quad \frac{3}{m_1} = \frac{1}{m_2} + \frac{1}{m_3}$$

$$\textcircled{4} \quad \frac{4}{m_1} = \frac{1}{m_2} + \frac{1}{m_3}$$

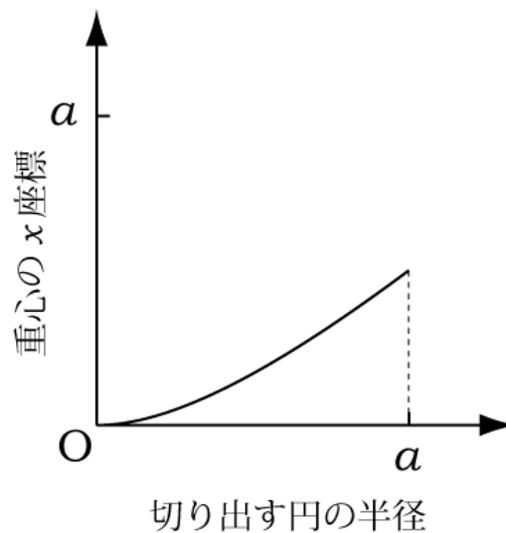

---

### 問17

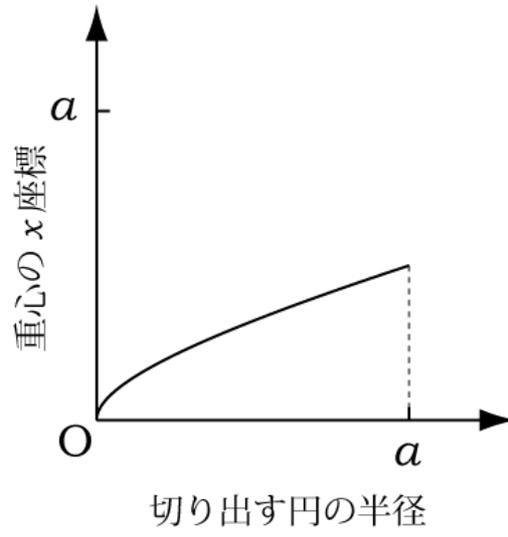
図のように、半径  $a$  の一様な円板があり、その中心を  $x$  軸上の原点  $O$  とする。この円板から、円周が  $x$  軸の  $x = -a$  に接するように半径  $b$  の円板を切りとる。半径  $b$  の大きさを変えたときの、円板を切りとった板の重心の  $x$  座標を表すグラフについて、最も適切なものを、下の ① ~ ⑥ の中から 1 つ選びなさい。



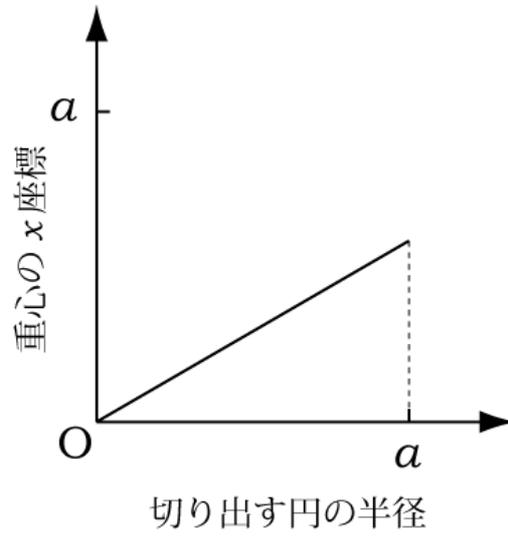
①



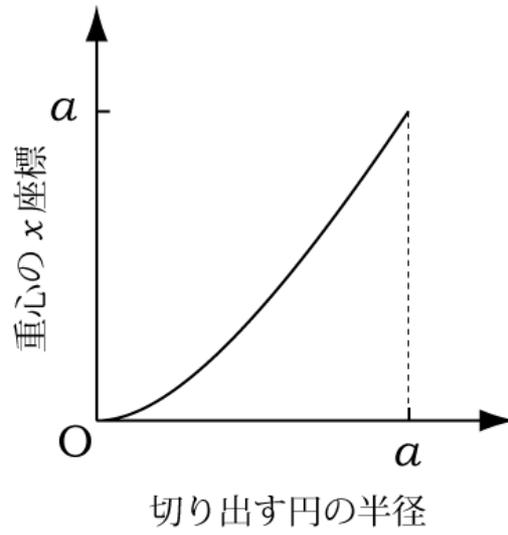
②



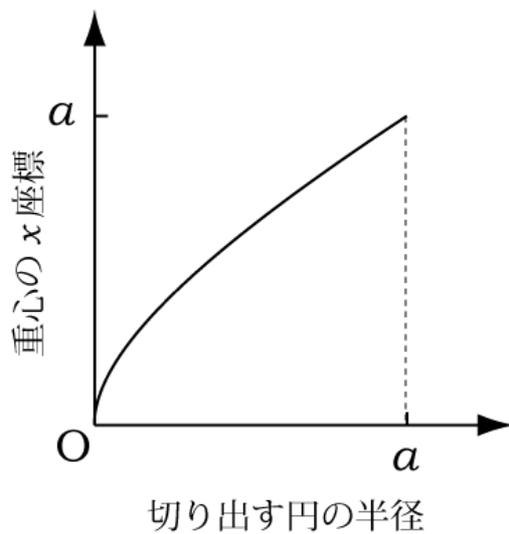
③



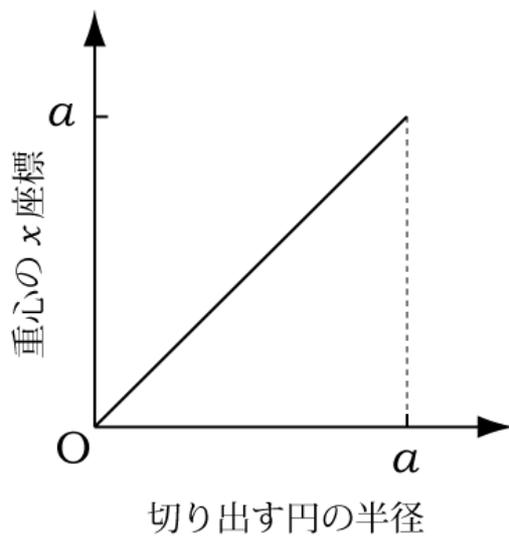
④



⑤



⑥



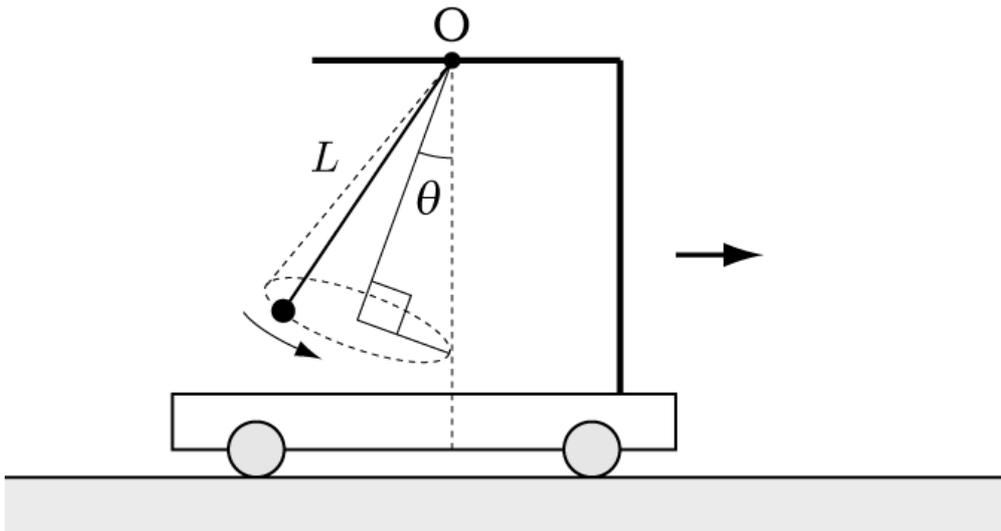

---



---

### 問18

図のように、おもりの質量  $m$ 、糸の長さ  $L$  の円すい振り子が、台車に取り付けたスタンドの点  $O$  に固定されている。この台車を水平面上で一定の加速度で運動させた。このとき、おもりは、水平面となす角が  $\theta$  の面内で、点  $O$  から引いた鉛直線を通る円周上を運動した。円すい振り子の周期はいくらか。ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。最も適切なものを、下の ①～⑧の中から 1 つ選びなさい。



①  $2\pi\sqrt{\frac{L \sin \theta}{g}}$

②  $2\pi\sqrt{\frac{L}{g \sin \theta}}$

③  $2\pi\sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$

④  $2\pi\sqrt{\frac{L}{g \cos \theta}}$

⑤  $2\pi \sin \theta \sqrt{\frac{L}{g}}$

⑥  $\frac{2\pi}{\sin \theta} \sqrt{\frac{L}{g}}$

⑦  $2\pi \cos \theta \sqrt{\frac{L}{g}}$

⑧  $\frac{2\pi}{\cos \theta} \sqrt{\frac{L}{g}}$

---

---

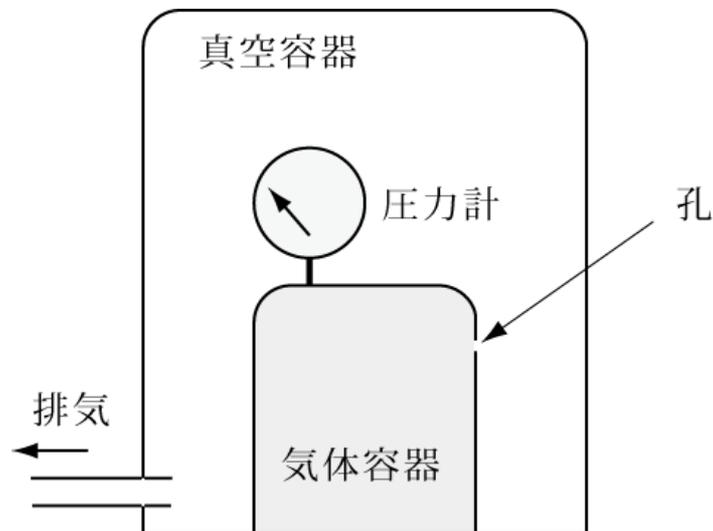
## 熱力学

問19～20に答えなさい。

---

### 問19

図のように、大きな真空容器の中に、圧力計を付けた小さな容器を入れた。この小さな容器に気体を入れ、その薄い壁に小さな孔を開けて気体の圧力がはじめの圧力の  $\frac{1}{2}$  となる時間を測定した。ただし、気体は理想気体である。正しくない振る舞いとして、最も適切なものを、下の①～④の中から1つ選びなさい。



- ① 気体の体積を大きくすると時間は長くなる。
  - ② 気体の圧力を高くすると時間は短くなる。
  - ③ 気体の温度を高くすると時間は短くなる。
  - ④ 壁に開けた孔を大きくすると時間は短くなる。
- 
-

---

## 問20

シリンダーに封じた理想気体を，圧力を一定に保ちながら圧縮する方法として，最も適切なものを，次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

- ① ピストンをすばやく押し込む。
  - ② ピストンをゆっくり押し込む。
  - ③ ピストンを押し込むのに必要な仕事と等しい熱量をうばう。
  - ④ ピストンを押し込むのに必要な仕事より大きなある適切な熱量をうばう。
  - ⑤ ピストンを押し込むのに必要な仕事より小さなある適切な熱量をうばう。
- 
- 

## 波動

問21～問22に答えなさい。

---

### 問21

長さ  $L$  の弦を弾き振動させると基本振動の音がよく聞こえる。ただし，その音には両端が節となるいくつかの倍振動も含まれている。弦を弾いた直後に端から  $\frac{2}{3}L$  のところを軽く押さえると，基本振動を含めた倍振動の一部が消えることで音の高さ（音程）が変化した。このとき，弦を伝わる波の速さを  $v$  として，音の振動数はいくらか。最も適切なものを，次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

- ①  $\frac{3v}{2L}$
- ②  $\frac{2v}{3L}$
- ③  $\frac{v}{3L}$

④  $\frac{3v}{L}$

⑤  $\frac{4v}{3L}$

⑥  $\frac{3v}{4L}$

## 問22

図1のように、直線偏光した光線を理想的な偏光板に入射させたとき透過する強度  $I$  は、入射光の強度を  $I_0$  とすると、 $I = I_0 \cos^2 \theta$  と表される。ここで  $\theta$  は偏光と透過軸のなす角である。図2のように  $10^\circ$  ずつ透過軸を時計回りに順に回転させた理想的な偏光板を9枚重ねたとき、透過光の強度  $I$  はいくらになるか。最も適切なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし、 $\cos 10^\circ = 0.985$  とする。

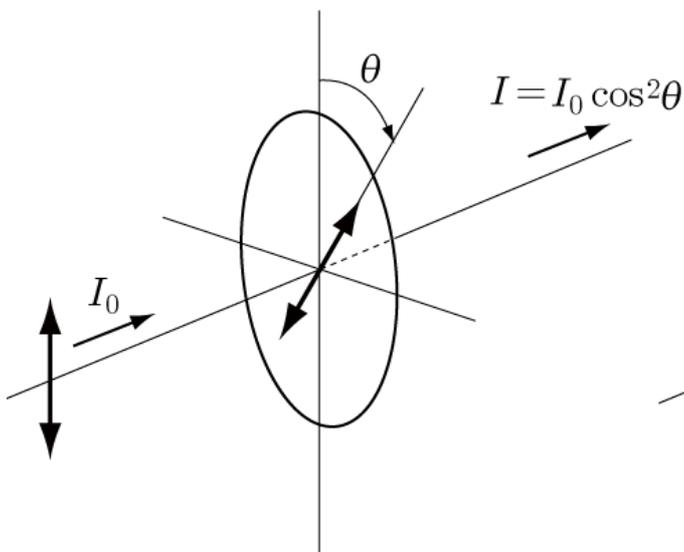


図1

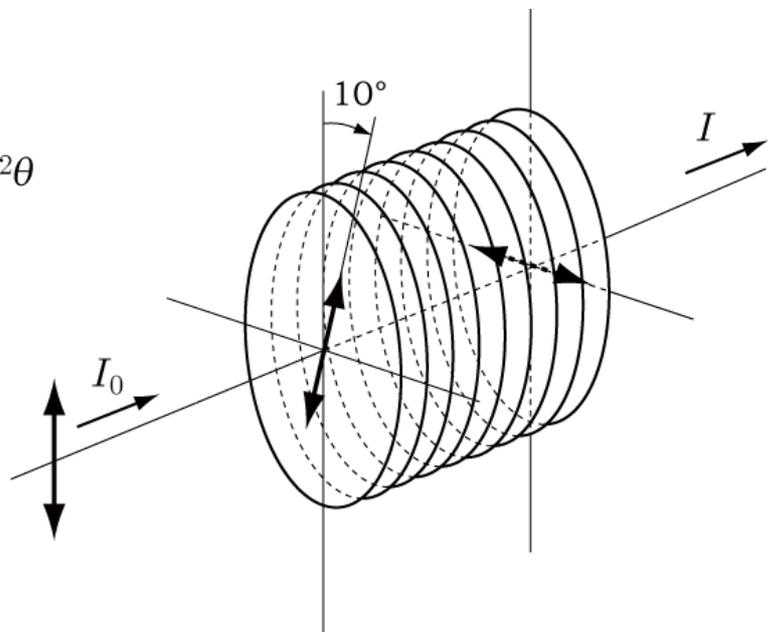


図2

①  $I_0$

②  $0.76 I_0$

③  $0.50 I_0$

④  $0.24 I_0$

⑤ 0

---

---

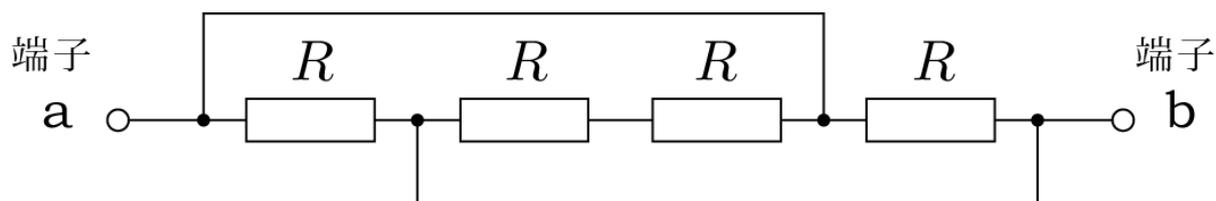
## 電磁気学

問23～26に答えなさい。

---

### 問23

図のように、抵抗値  $R$  の4個の抵抗が接続されている。端子 a, b 間の合成抵抗はいくらか。最も適切なものを、下の①～⑧の中から1つ選びなさい。



① 0

②  $\frac{1}{4}R$

③  $\frac{2}{5}R$

④  $\frac{1}{2}R$

⑤  $R$

⑥  $2R$

⑦  $\frac{5}{2}R$

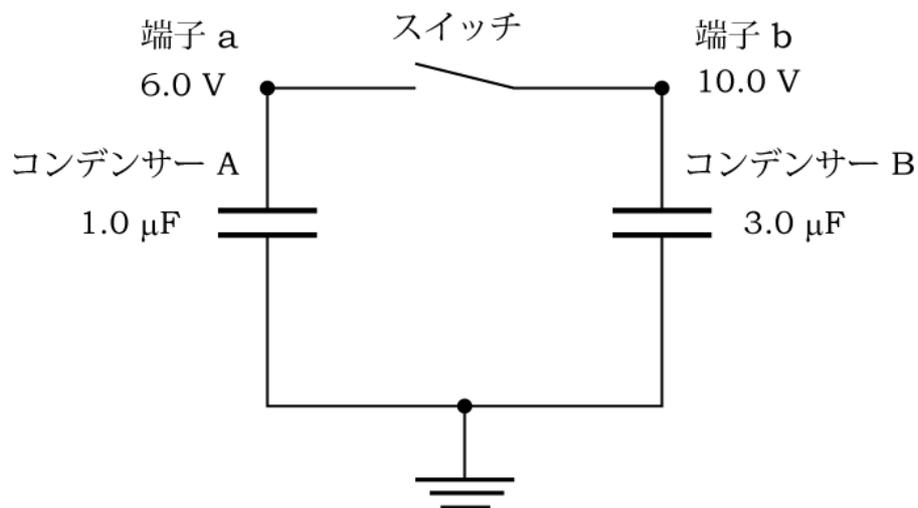
⑧  $4R$

---

---

### 問24

図のように、電気容量  $1.0 \mu\text{F}$  のコンデンサー A、電気容量  $3.0 \mu\text{F}$  のコンデンサー B、スイッチからなる回路がある。はじめ、スイッチは開いていて、端子 a の電位は  $6.0 \text{ V}$ 、端子 b の電位は  $10.0 \text{ V}$  であった。スイッチを閉じたあとの端子 a の電位はいくらか。最も適切なものを、下の ①～⑦の中から1つ選びなさい。



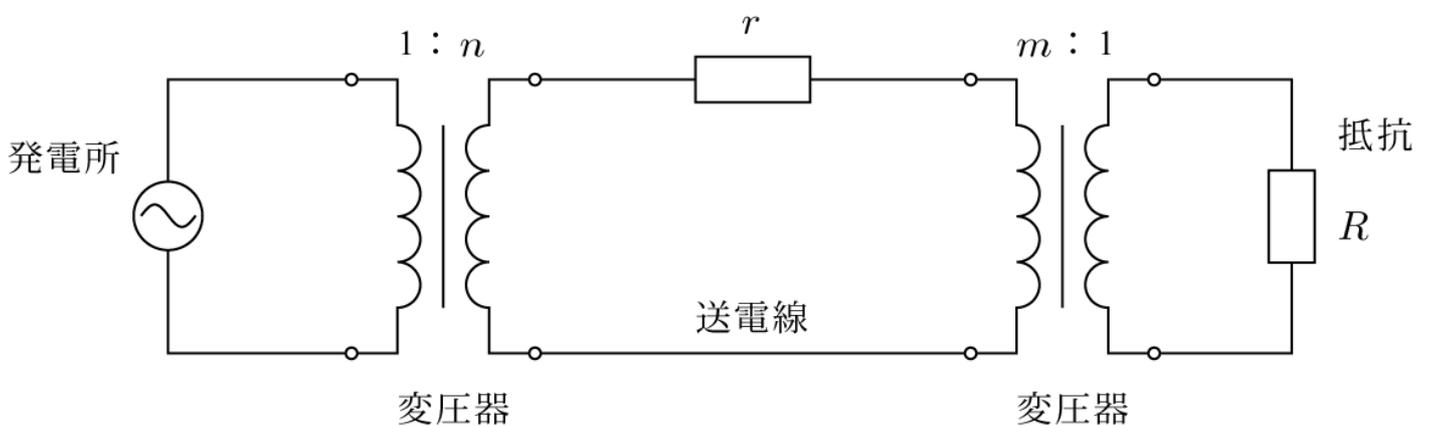
①  $6.5 \text{ V}$

②  $7.0 \text{ V}$

- ③ 7.5 V
- ④ 8.0 V
- ⑤ 8.5 V
- ⑥ 9.0 V
- ⑦ 9.5 V

### 問25

家庭で使用する電気は、図のように、発電所から変圧器で電圧を高くして送電し、変圧器で電圧を低くして供給されている。電圧を高くする際の変圧器の巻き数の比を  $1:n$ 、低くする際の巻き数の比を  $m:1$  とすると、送電線の抵抗値  $r$  の抵抗で消費する電力  $W_r$  と抵抗値  $R$  の抵抗で消費する電力  $W_R$  の比  $\frac{W_r}{W_R}$  はいくらか。ただし、変圧器で失われるエネルギーは無視する。最も適切なものを、下の①～⑥の中から1つ選びなさい。



- ①  $\frac{r}{R}$
- ②  $\frac{1}{m} \frac{r}{R}$
- ③  $\frac{1}{m^2} \frac{r}{R}$

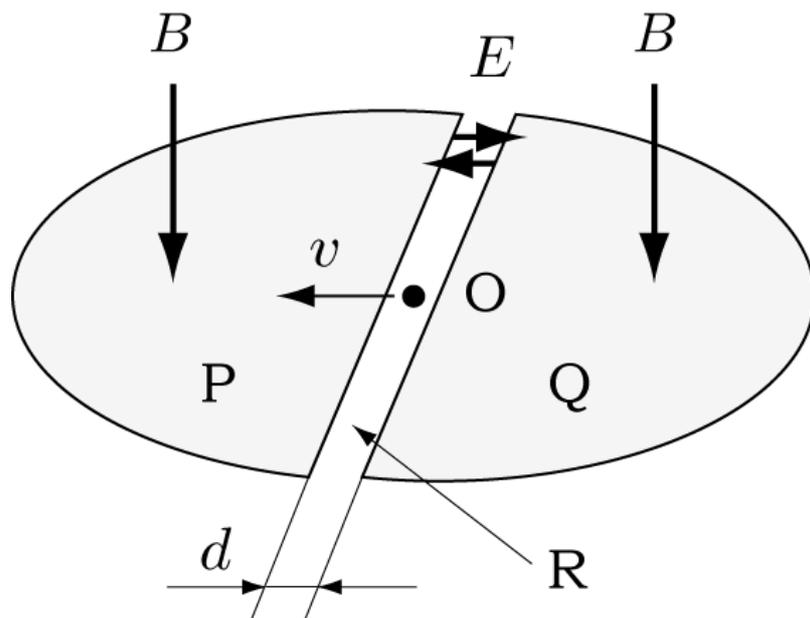
$$\textcircled{4} \quad \frac{1}{n} \frac{r}{R}$$

$$\textcircled{5} \quad \frac{1}{n^2} \frac{r}{R}$$

$$\textcircled{6} \quad \frac{1}{(mn)^2} \frac{r}{R}$$

### 問26

図のように、水平面内にある間隔  $d$  離れた半円形の2つの領域を P と Q、これらの間の長方形の領域を R とする。P と Q には鉛直下向きで磁束密度の大きさ  $B$  の一様な磁場がある。R に、長方形の短辺に平行な方向に大きさ  $E$  の一様な電場を加える。質量  $m$ 、正の電荷  $q$  のイオンを、速さ  $v$  で R の中心 O から電場と同じ向きに打ち出す。時間間隔  $T$  で電場の向きを逆にすると、イオンは R を通過するたびに加速された。質量  $4m$ 、電荷  $2q$  のイオンを同様に打ち出して、R を通過するたびにイオンを加速させるには、電場の向きを逆にする時間間隔を  $T$  の何倍にすればよいか。最も適切なものを、下の ① ~ ⑤ の中から 1 つ選びなさい。



$$\textcircled{1} \quad \frac{1}{4} \text{ 倍}$$

②  $\frac{1}{2}$  倍

③ 1 倍

④ 2 倍

⑤ 4 倍

---

---

## 原子

問27に答えなさい。

---

### 問27

不安定な原子核の中には、安定な原子になるまで  $\alpha$  崩壊、 $\beta$  崩壊を続けて、次々に新しい原子核に変わるものがある。ある原子核は、



と変化する。原子核 A の半減期は 2.0 時間、原子核 B の半減期は 2.5 日、原子核 C の半減期が 10 日である。原子核 M の半減期はこれらに比べて非常に長い。十分な量の原子核 M を用意して放置すると、崩壊が起こり、原子核 A の数  $N_A$  に対する原子核 B の数  $N_B$  の比の値  $\frac{N_B}{N_A}$  はある値になった。この値はいくらか。最も適切なものを、下の ①～⑦の中から 1 つ選びなさい。

① 0.0083

② 0.033

③ 0.80

④ 1.0

⑤ 1.25

⑥ 30

⑦ 120

---

---



公益社団法人 物理オリンピック日本委員会

物理チャレンジは、応用物理学会（応用物理学学術・教育奨励基金）、日本物理学会、日本物理教育学会のほか、多くの団体や企業からの協力を得て運営されています。