



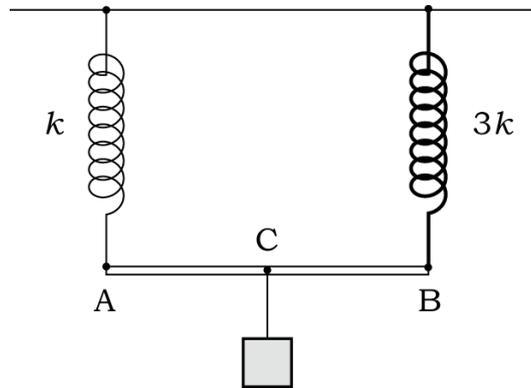
全国物理コンテスト
物理チャレンジ **2022**

第1チャレンジ理論問題コンテスト 問題

2022年7月10日（日）13:30～15:00 オンライン **IBT** 形式

基礎総合 問 1～問 14 に答えなさい。

問1 図のように、軽くてまっすぐな棒を両端の点Aと点Bに、同じ長さでばね定数が k と $3k$ の2つのばねを用いて天井からつるした。おもりを点Cにつり下げたところ、棒が水平になった。このとき、ACとCBの長さの比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 : 1
- ② 3 : 1
- ③ 4 : 1
- ④ 1 : 2
- ⑤ 1 : 3
- ⑥ 1 : 4

問2 全質量 M の気球が、鉛直下向きで大きさ α の加速度で落下している。このとき気球から静かにおもりを捨てた直後、気球の加速度は大きさ β で鉛直上向きになった。捨てたおもりの質量はいくらか。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、重力加速度の大きさを g とし、浮力の大きさは変わらないものとする。

① $\frac{\alpha + \beta}{g + \beta} M$

② $\frac{\alpha - \beta}{g - \beta} M$

③ $\frac{\alpha + \beta}{g - \beta} M$

④ $\frac{\alpha - \beta}{g + \beta} M$

問3 質量 m の小物体を時刻 $t = 0$ で自由落下させた。時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ の間に重力が小物体にした仕事として最も適切なものを、次の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

① $\frac{1}{2} m g^2 (2t + \Delta t) \cdot \Delta t$

② $\frac{1}{2} m g^2 (\Delta t)^2$

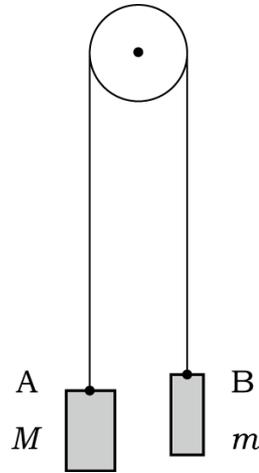
③ $m g^2 t \Delta t$

④ $\frac{1}{2} m g^2 t \Delta t$

⑤ $\frac{1}{2} m g^2 t (2t + \Delta t)$

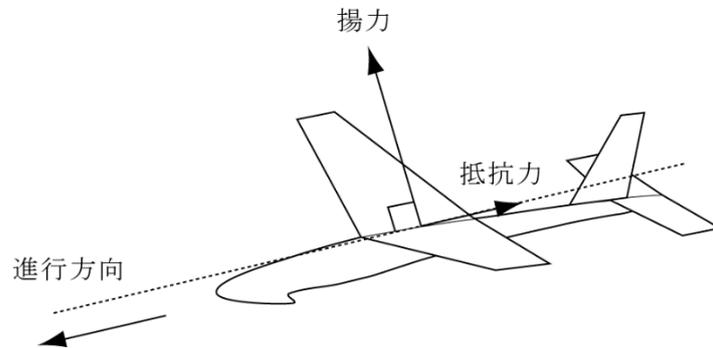
⑥ $m g^2 (2t + \Delta t) \cdot \Delta t$

問4 図のように、質量 M の物体 A と質量 m の物体 B を軽い糸でつなぎ、滑らかで軽い滑車にかけ、A が動かないように手で支えた。手を離れたところ、両物体は運動を始めた。運動している間の A と B の力学的エネルギーについて述べた説明の組み合わせ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、 $M > m$ とする。



- | | 物体 A の力学的エネルギー | 物体 B の力学的エネルギー |
|---|----------------|----------------|
| ① | 増加する | 増加する |
| ② | 増加する | 減少する |
| ③ | 減少する | 増加する |
| ④ | 減少する | 減少する |
| ⑤ | 変化しない | 変化しない |

問5 紙飛行機を無風状態のときに一定の速度で滑空させた。紙飛行機が空気から受ける力は、図のように、進行方向に対して後方向きの抵抗力と、進行方向に対して垂直上方向きの揚力がある。紙飛行機が水平から 8° 斜め下方に向かって滑空するとき、紙飛行機にはたらく揚力の大きさ L と重力の大きさ W の比の値 $\frac{L}{W}$ はいくらか。最も適切なものを下の①～⑤の中から1つ選びなさい。



- ① 1.99
- ② 1.01
- ③ 1.00
- ④ 0.99
- ⑤ 0.01

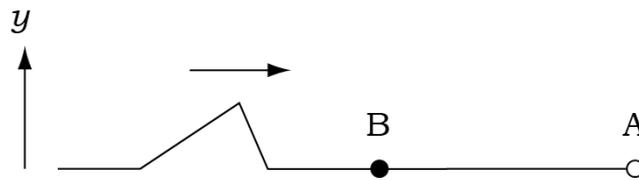
問6 時速 60 km で走っている質量 1300 kg の自動車がブレーキをかけて止まった。このとき発生する熱すべてを用いて、10°C の水 1.0 L を温めると何度になるか。最も適切なものを、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし、水の比熱は $4.2 \text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ とする。

- ① 23°C
- ② 33°C
- ③ 43°C
- ④ 53°C

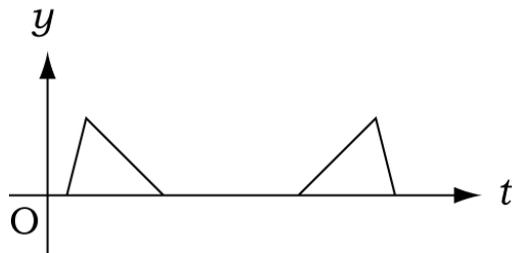
問7 圧力 3.0×10^5 Pa、温度 20°C において、窒素分子 10 g が占める体積はいくらか。最も適切なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。ただし、窒素の分子量は28とする。

- ① 0.20 L
- ② 1.0 L
- ③ 2.9 L
- ④ 8.0 L

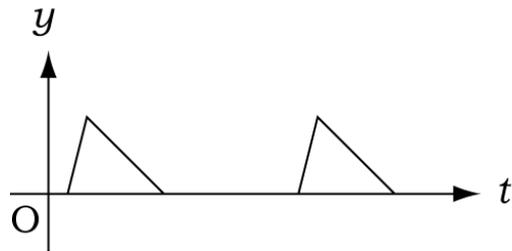
問 8 図のように y 方向に変位する横波が右向きに伝わっている。この波が、点 B を通過して、自由端である点 A で反射する。波を B で観測するとき、変位の時間変化はどうなるか。最も適切なものを、下の①～④の中から1つ選びなさい。



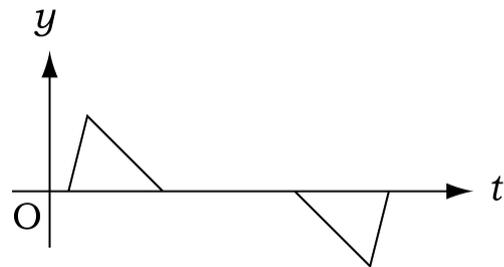
①



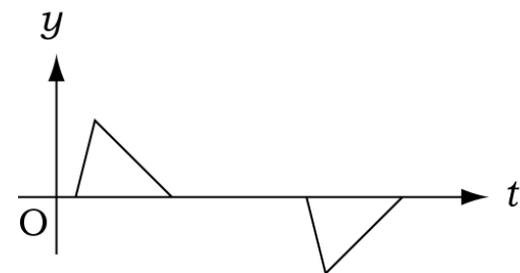
②



③



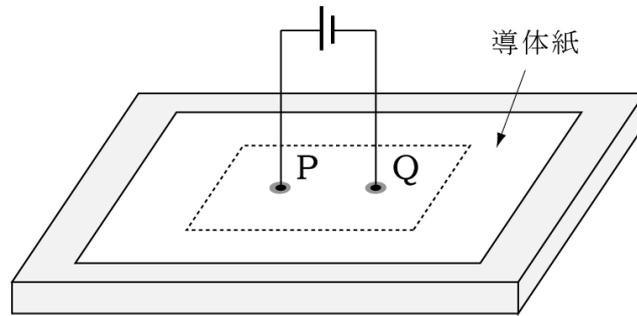
④



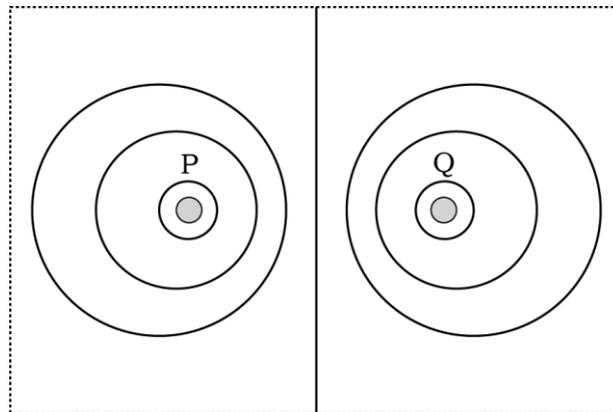
問9 静止している観測者に 72.0 km/h の速さで一定の振動数の音源が近づくと、音の高さが変化して聞こえる。逆にこの音源を静止させ、観測者が移動したとき、音源が近づいたときと同じ高さに聞こえるためには、観測者はどれだけの速さで近づけばよいか。最も適切なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。ただし、音速は 340 m/s とする。

- ① 67.5 km/h
- ② 72.0 km/h
- ③ 76.5 km/h
- ④ 80.0 km/h

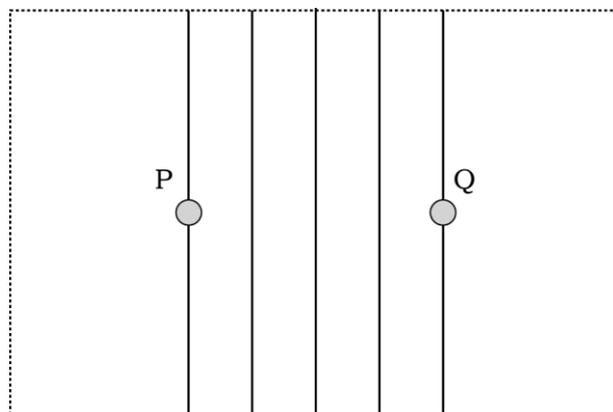
問 10 図のように、導体紙を机の上に置き、導体紙上の点 P と点 Q に電極をつないだ。P の電位は Q の電位より高い。導体紙上の点線内の領域に描ける等電位線として最も適切なものを、下の①～④の図の中から 1 つ選びなさい。



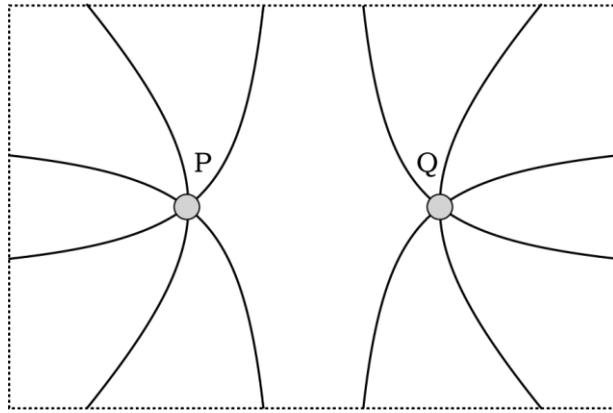
①



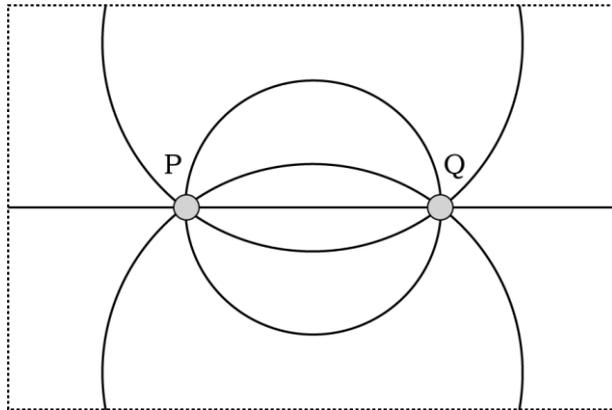
②



③

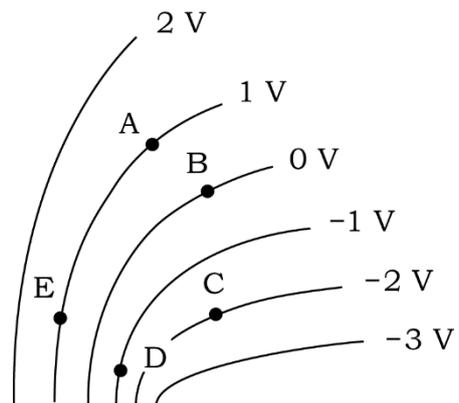


④



問 11 図のように水平な平面上に等電位線が描かれている。

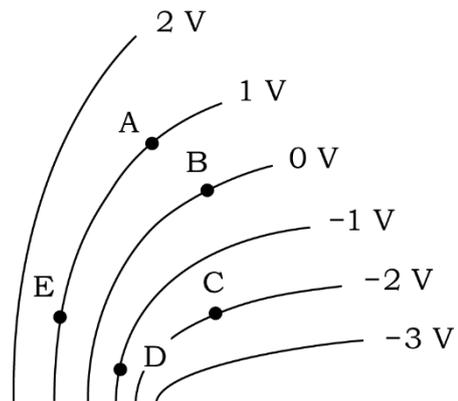
この平面内で電場の大きさが最も大きい点はどれか。最も適切なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。



- ① A
- ② B
- ③ C
- ④ D
- ⑤ E

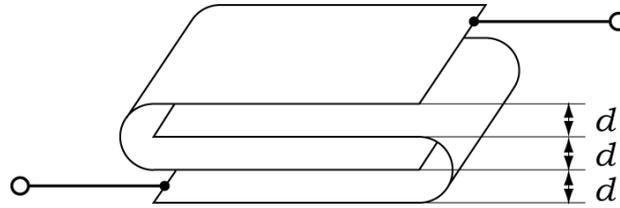
問 12 図のように水平な平面上に等電位線が描かれている (問 11 と同じ図である)。

平面内で $+1\text{ C}$ の電荷を A 点から B 点と C 点を通り D 点へ移動させるのに必要な仕事は何 J 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 -4 J
- ② -3 J
- ③ -2 J
- ④ 0 J
- ⑤ 2 J
- ⑥ 3 J
- ⑦ 4 J

問 13 図のように、面積 S の 2 枚の電極を半分に折りたたんで、間隔 d で等間隔に置いたコンデンサーをつくった。この電気容量はいくらか。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、電極面は十分大きく、端の影響は無視できるとする。また、真空の誘電率を ϵ_0 とする。



① $\epsilon_0 \frac{S}{4d}$

② $\epsilon_0 \frac{S}{2d}$

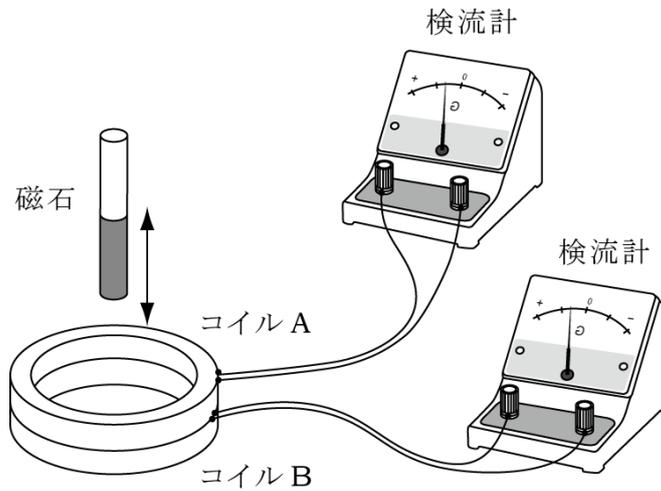
③ $\epsilon_0 \frac{S}{d}$

④ $\epsilon_0 \frac{3S}{2d}$

⑤ $\epsilon_0 \frac{2S}{d}$

問 14 100 回巻きのコイル A と 200 回巻きのコイル B を、同じ径の被覆銅線を使い、内径が同じになるようにしてつくった。図のように A、B をそれぞれ同じ規格の検流計に直接つなぎ、A と B を重ねて磁石を出し入れした。そのつど、検流計の読みを観察したところ、B につないだ検流計の示す電流値は、A につないだ検流計の示す電流値の約 2 倍の値であった。

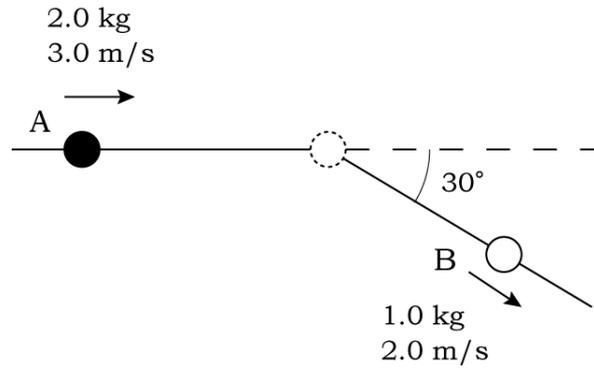
B に生じる起電力は A に生じる起電力の 2 倍であるが、B の抵抗は A の抵抗の 2 倍であるので電流値は等しくなるはずである。この実験結果を説明する文として最も適切なものを、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。



- ① 誘導電流は検流計の内部抵抗やコイルの抵抗の大小とは関係ないから。
- ② 検流計の内部抵抗とコイルの抵抗が同じくらいだから。
- ③ 検流計の内部抵抗がコイルの抵抗よりかなり大きいから。
- ④ 検流計の内部抵抗がコイルの抵抗よりかなり小さいから。

力学 問 15～問 17 に答えよ。

問 15 図のように、質量 2.0 kg の物体 A が速さ 3.0 m/s で、静止している質量 1.0 kg の物体 B に衝突した。B は A の進行方向から 30° の方向に速さ 2.0 m/s で飛ばされた。衝突後の A の速さはいくらか。最も適切なものを、下の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。

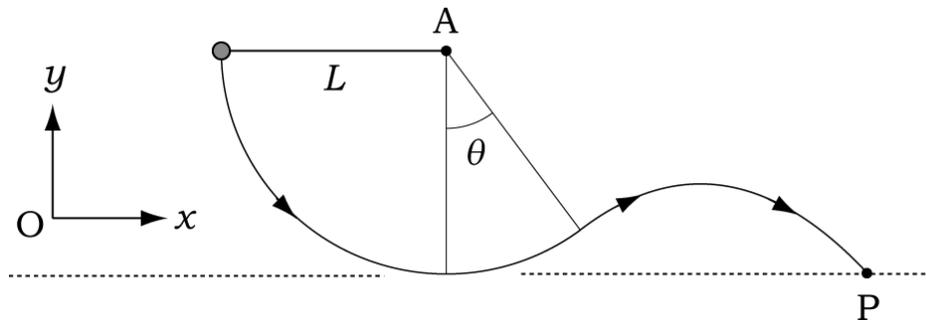


- ① 1.7 m/s
- ② 2.2 m/s
- ③ 2.7 m/s
- ④ 3.2 m/s
- ⑤ 3.7 m/s

問 16 質量 m の小さなおもりを長さ L の糸につけて、糸の他端を地上から高さ L の点 A に固定し、糸がびんと張った状態で A と同じ高さから静かに離す。おもりが A の真下を過ぎて糸が角度 θ だけ傾いた時点で糸を切った。おもりはその後、図のような軌跡をたどって地上に落ちた。地上

に落ちた時のおもりの速度の x 成分 v_x 、 y 成分 v_y の大きさの比 $\frac{|v_y|}{|v_x|}$ はいくらか。最も適切な

ものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし、おもりの大きさは無視できるものとする。



① $\sqrt{\frac{1-2\cos\theta}{\cos\theta}}$

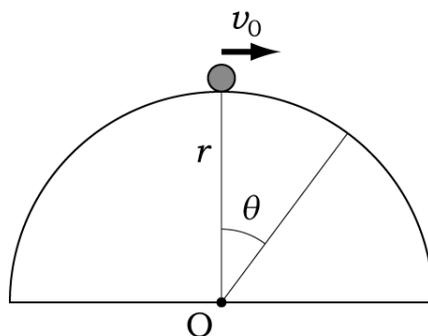
② $\sqrt{\frac{1-\cos\theta}{\cos\theta}}$

③ $\sqrt{\frac{1-2\cos^3\theta}{\cos^3\theta}}$

④ $\sqrt{\frac{1-\cos^3\theta}{\cos^3\theta}}$

⑤ $\sqrt{\frac{1-2\cos^5\theta}{\cos^5\theta}}$

問 17 図のように、中心が O で半径 r の表面が滑らかな半球を固定し、頂点から小球を水平方向に初速度 v_0 で滑らせた。小球は半球上を滑って図の角度 θ のところで半球から離れた。 $\cos\theta$ の値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。ただし、重力加速度の大きさを g とする。



① $\frac{2}{3} + \frac{v_0^2}{6gr}$

② $\frac{2}{3} + \frac{v_0^2}{5gr}$

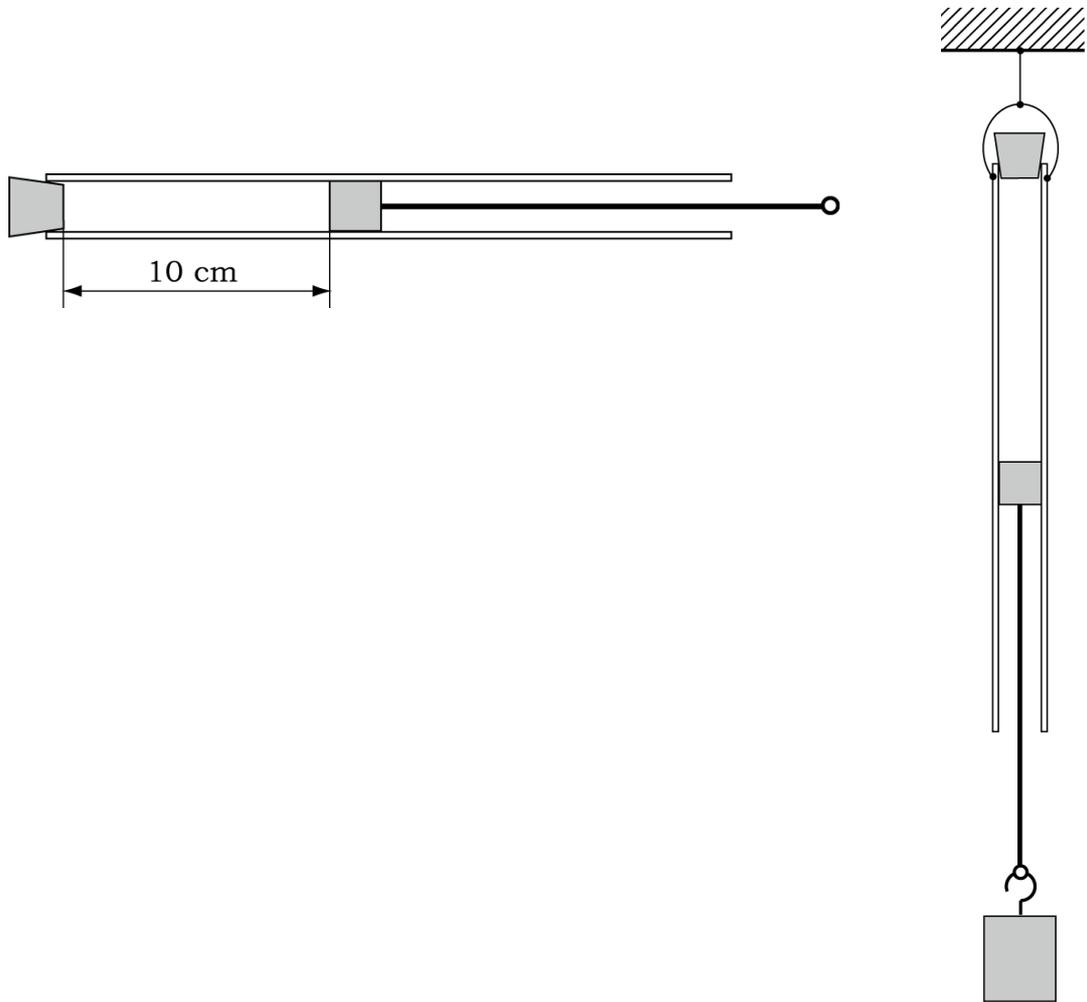
③ $\frac{2}{3} + \frac{v_0^2}{4gr}$

④ $\frac{2}{3} + \frac{v_0^2}{3gr}$

⑤ $\frac{2}{3} + \frac{v_0^2}{2gr}$

熱力学 問 18～問 19 に答えよ。

問 18 内径 2.0 cm、長さ 25 cm の円筒形のシリンダーに $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の空気を入れ、ピストンで密閉する。シリンダーを水平にしたとき、シリンダーの底からピストンまでの長さは 10 cm であった。このシリンダーを、ピストンを下にしてゆっくりと立てて、ピストンにおもりをつり下げた。ピストンとおもりの合計の質量は 0.50 kg であった。ピストンが下がった長さはいくらか。ただし、空気を理想気体とみなし、周囲の空気の圧力は $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 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。



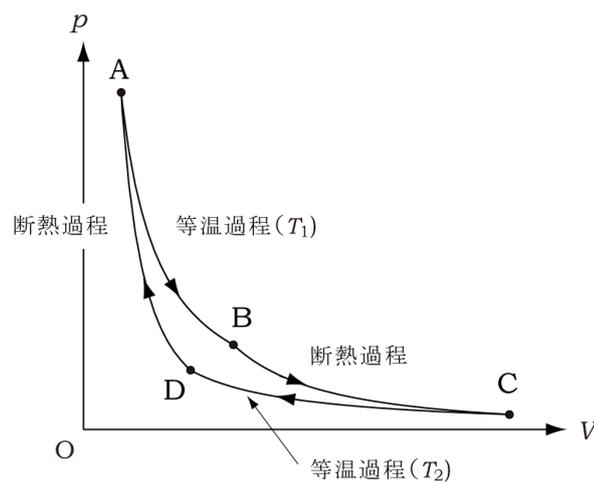
- ① 1.0 cm
- ② 2.0 cm
- ③ 5.0 cm
- ④ 10 cm
- ⑤ ピストンが抜け落ちる

問 19 理想気体を用いた熱機関がある。この熱機関のサイクルは下の p - V 図で表されている。A \rightarrow B と C \rightarrow D は等温過程で、A \rightarrow B の温度は T_1 、C \rightarrow D の温度は T_2 である。A \rightarrow B で気体が外部にする仕事を W_{AB} 、気体が受け取った熱量を Q_{AB} 、C \rightarrow D で外部が気体にする仕事を W_{CD} 、気体が放出した熱量を Q_{CD} とする。また、B \rightarrow C と D \rightarrow A は断熱過程で、B \rightarrow C で気体が外部にする仕事を W_{BC} 、D \rightarrow A で外部が気体にする仕事を W_{DA} とする。

サイクルの効率 η は、一般に全過程での仕事の総和 W と気体が受け取った熱量 Q_{AB} の比

$$\eta = \frac{W}{Q_{AB}} = \frac{W_{AB} + W_{BC} - W_{CD} - W_{DA}}{Q_{AB}}$$

で表される。等温過程の温度 T_1 、 T_2 の大小とサイクルの効率はどうなるか。最も適切なものを、下の①~④の中から 1 つ選びなさい。



- | | 温度の比較 | 効率 |
|---|-------------|-----------------------------|
| ① | $T_1 > T_2$ | $1 - \frac{W_{CD}}{W_{AB}}$ |
| ② | $T_1 > T_2$ | $1 - \frac{W_{DA}}{W_{BC}}$ |
| ③ | $T_1 < T_2$ | $1 - \frac{W_{CD}}{W_{AB}}$ |
| ④ | $T_1 < T_2$ | $1 - \frac{W_{DA}}{W_{BC}}$ |

波動 問 20～問 21 に答えよ。

問 20 図 1 のように、2 枚の偏光板 A と偏光板 B を置き、B を回転させて光源を観測したとき、回転角 θ に対して光の明るさは図 2 のように変化した。

次に、B の回転角を 90° に固定して、図 3 のように A と B の間にもう 1 枚の偏光板 C を挟んだ。C を回転させながら光源の光の明るさを観測した。C の回転角 ϕ に対して光の明るさの変化を表すグラフはどれか。最も適切なものを、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。

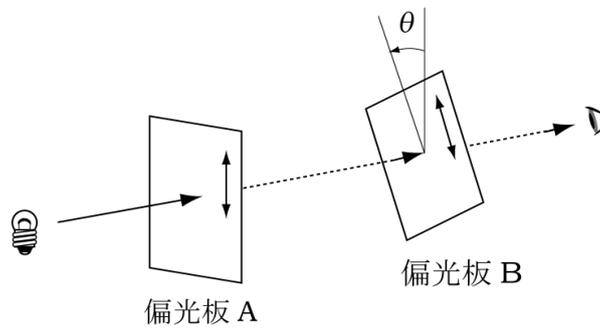


図 1

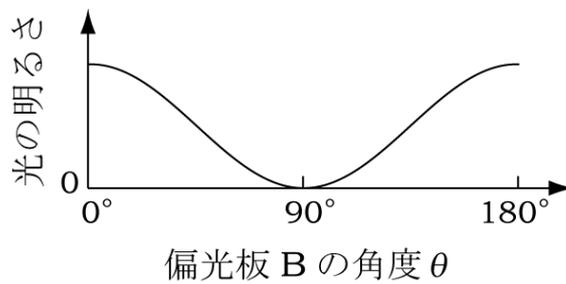


図 2

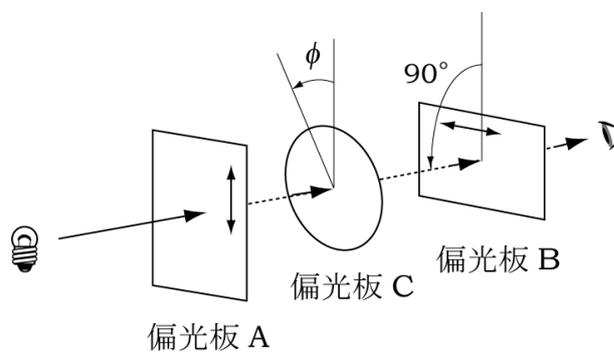
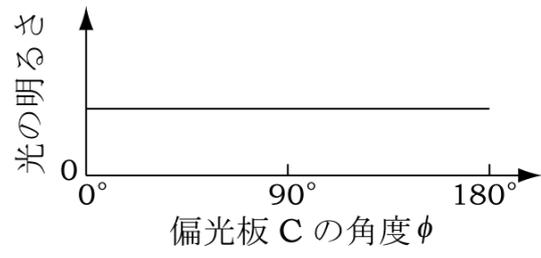
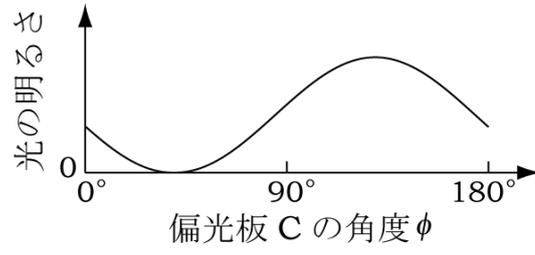


図 3

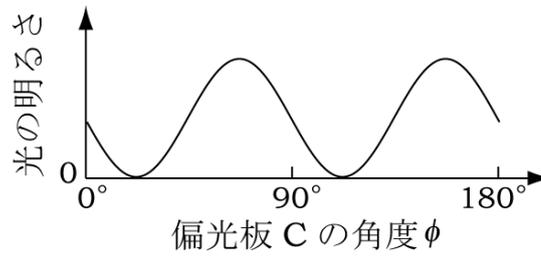
①



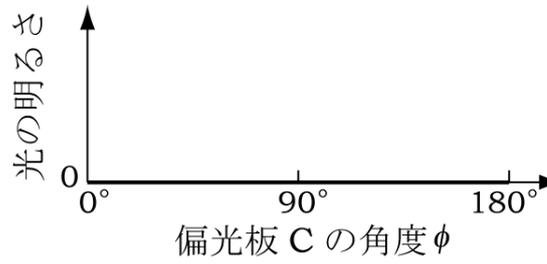
②



③

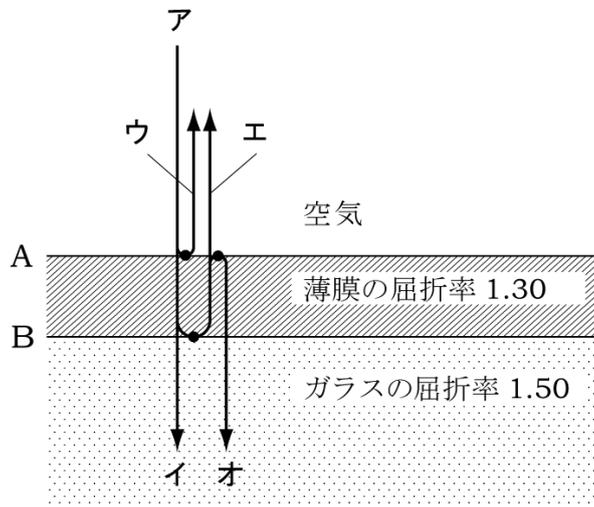


④



問 21 図のように、屈折率 1.50 のガラスの上に、厚さ $1.20 \times 10^{-7} \text{ m}$ 、屈折率 1.30 の薄膜がある。空気と薄膜の境界面を A、薄膜とガラスの境界面を B とする。波長 $6.24 \times 10^{-7} \text{ m}$ の単色光を空気側（上方）から薄膜に垂直に入射する。このとき、A での反射光 **ウ** と B での反射光 **エ** は強め合うのか弱め合うのか。また、薄膜からガラスへの透過光 **イ** と、B で反射した後、さらに A で反射して下方に向かう光 **オ** とは強め合うのか弱め合うのか。最も適切な組み合わせを、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。

ただし、光の入射光・反射光は一直線上を進むが、図では見やすくするために光の進路を少し横にずらして描いた。

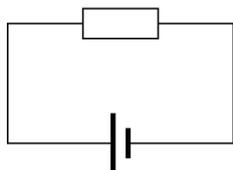


- | | ウとエ | イとオ |
|---|------------|------------|
| ① | 強め合う | 強め合う |
| ② | 強め合う | 弱め合う |
| ③ | 弱め合う | 強め合う |
| ④ | 弱め合う | 弱め合う |

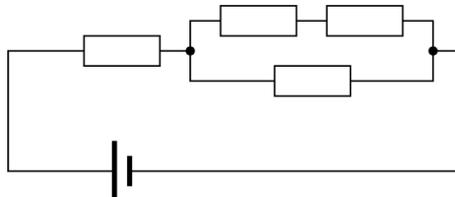
電磁気学 問 22～問 26 に答えよ。

問 22 下に示す2つの回路 A と回路 B について、B が消費する電力は A が消費する電力の何倍か。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、回路で使われている電池、抵抗はすべて同じであり、電池の内部抵抗は無視できるものとする。

回路 A

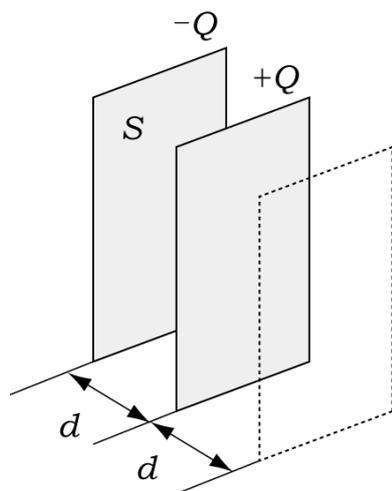


回路 B



- ① $\frac{3}{5}$ 倍
- ② $\frac{2}{3}$ 倍
- ③ $\frac{2}{5}$ 倍
- ④ $\frac{1}{3}$ 倍
- ⑤ $\frac{4}{5}$ 倍

問 23 面積 S 、間隔 d の平行平板コンデンサーに電池をつないで、電荷 Q を蓄えた。電池を外した状態で、このコンデンサーの電極の間隔を d だけ増加させるのに必要な仕事はいくらか。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、コンデンサーの電極の面積は十分大きく、端の影響は無視できるものとする。



① $\frac{Q^2 d}{\epsilon_0 S}$

② $\frac{Q^2 d}{2\epsilon_0 S}$

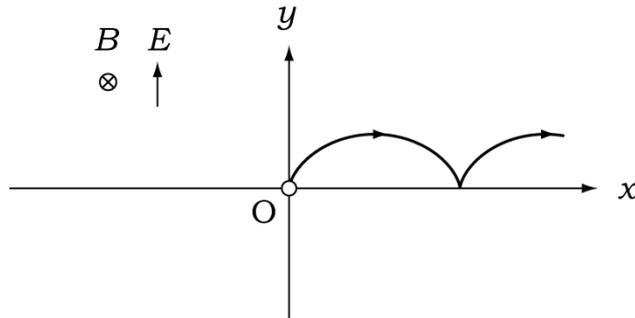
③ 0

④ $-\frac{Q^2 d}{2\epsilon_0 S}$

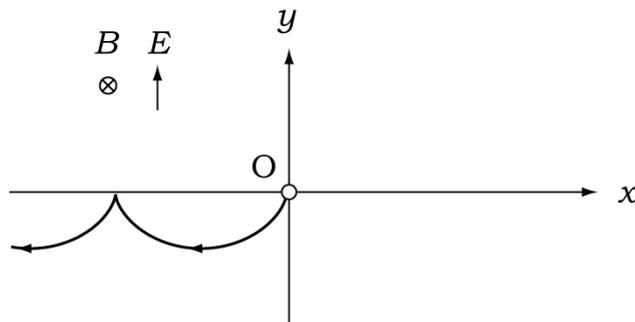
⑤ $-\frac{Q^2 d}{\epsilon_0 S}$

問 24 $+y$ 方向 (図の上向き) の一様な電場 E と紙面の表から裏へ向かう向きの一様な磁束密度 B の磁場がある。原点から負の電荷をもつ粒子を初速度 0 で離すと、粒子の軌跡はどうなるか。最も適切なものを、次の①~⑥の中から 1 つ選びなさい。

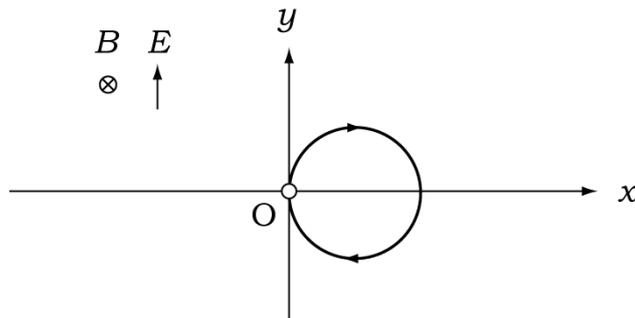
①



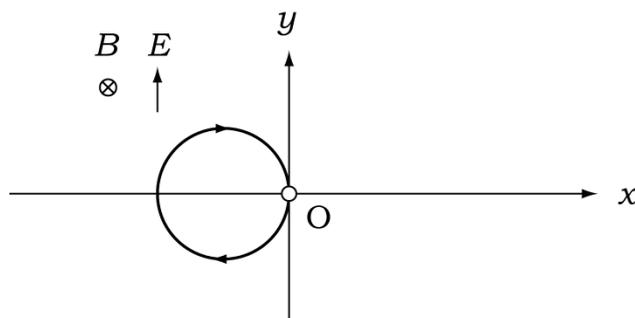
②



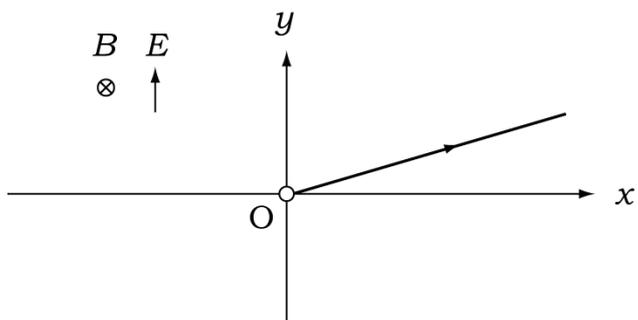
③



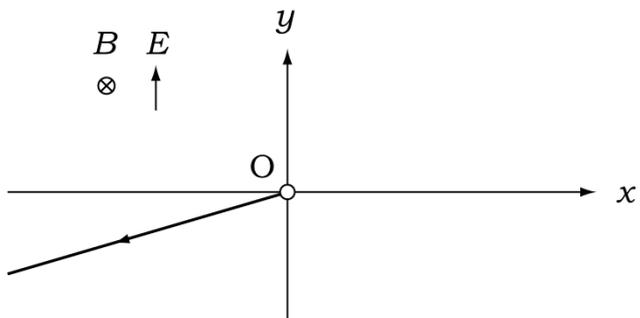
④



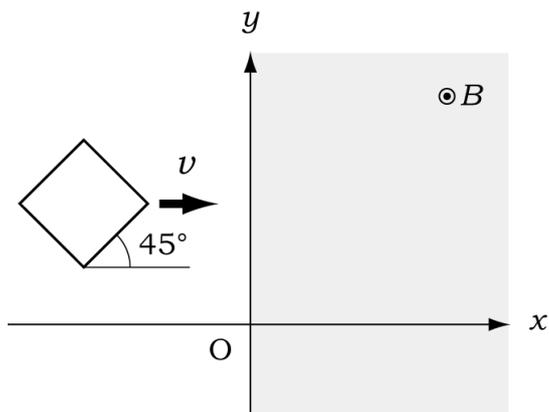
⑤



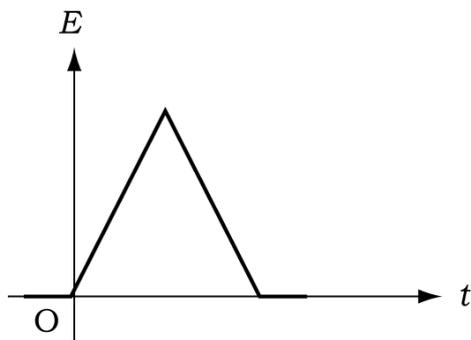
⑥



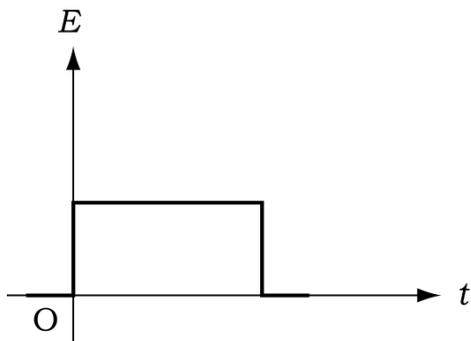
問 25 図のように $x > 0$ の領域に紙面に垂直に裏から表へ向きの一様な磁束密度 B の磁場がある。この領域を磁場領域とよぶ。一辺 a 、抵抗値 R の正方形の 1 回巻きコイルを、コイルで囲まれた面を紙面に平行に保ったまま一定の速さで図のように磁場領域へ動かした。コイルに生じる誘導起電力の時間に対するグラフとして最も適切なものを、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし、グラフはコイルが磁場領域に接した時刻を $t=0$ として描かれている。



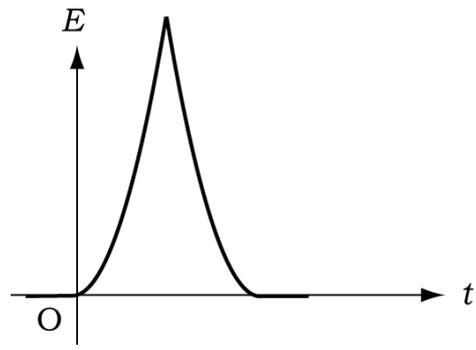
①



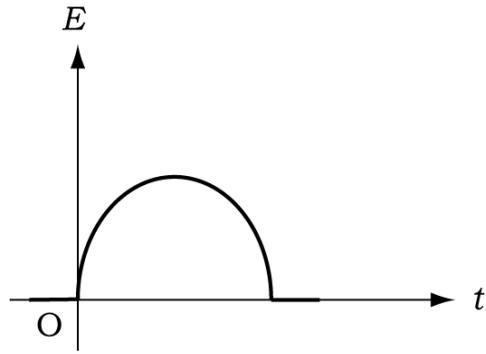
②



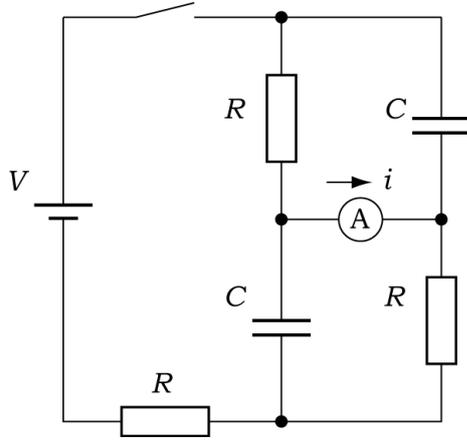
③



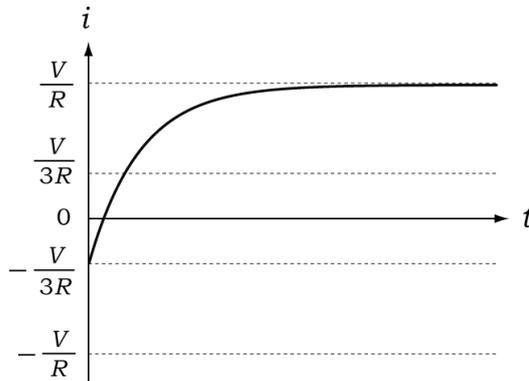
④



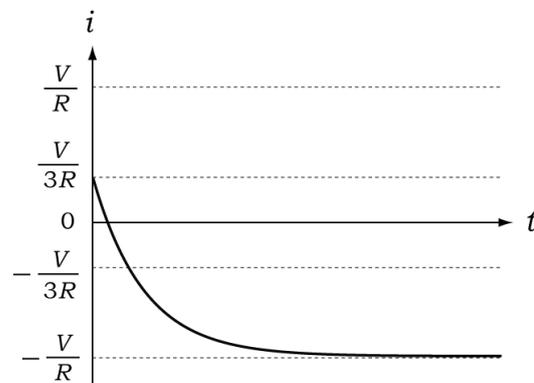
問 26 図のような、抵抗値 R の抵抗と電気容量 C のコンデンサー、起電力 V の電池、スイッチ、電流計からなる回路がある。スイッチを入れた瞬間から十分時間が経過するまでの、電流計に流れる電流 i の時間変化を表すグラフとして、最も適切なものを、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし、はじめにコンデンサーは充電されておらず、電池および電流計の内部抵抗は無視できるものとする。



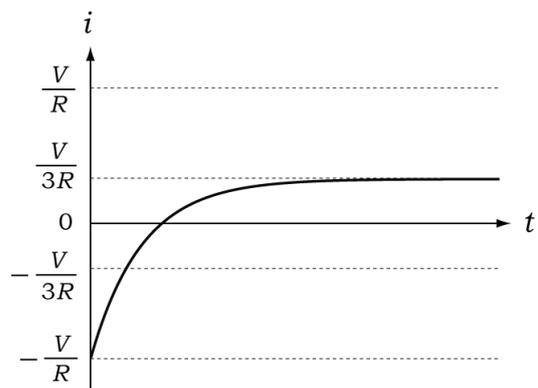
①



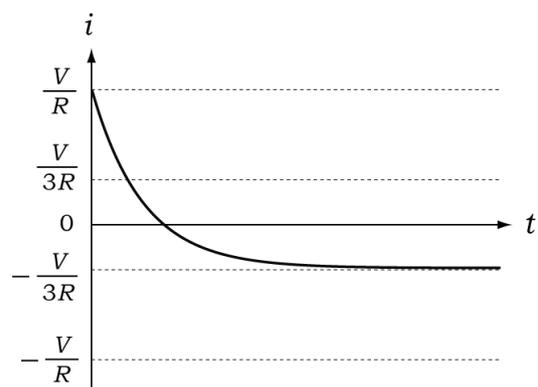
②



③



④

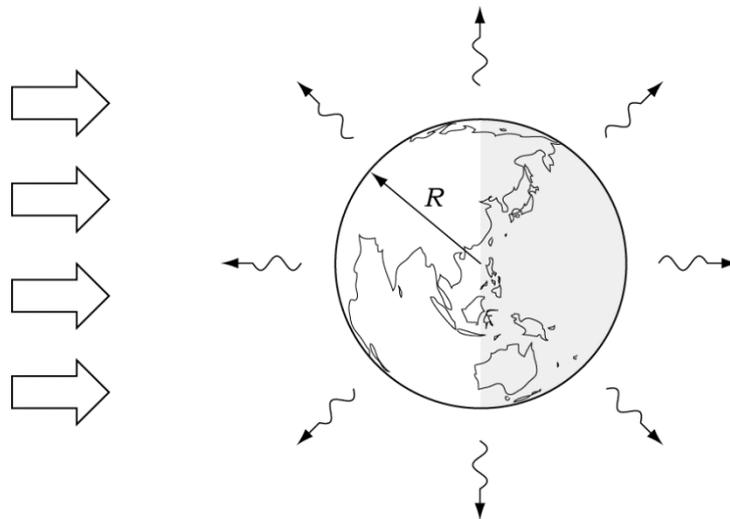


総合問題 問 27～問 28 に答えよ。

問 27 ステファン-ボルツマンの法則によれば、すべての物体はその絶対温度 T の 4 乗に比例する量のエネルギーを物体表面から電磁波として放射している。半径 r の球の表面から、単位時間あたりに放射されるエネルギー I は $I = 4\pi\sigma r^2 T^4$ で表される。ただし、 σ はステファン-ボルツマン定数 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ である。

地球が太陽から受けるエネルギーは、大気の上端で太陽光線に垂直な平面を考えると、単位時間・単位面積あたり $S_0 = 1.37 \times 10^3 \text{ W}/\text{m}^2$ である。

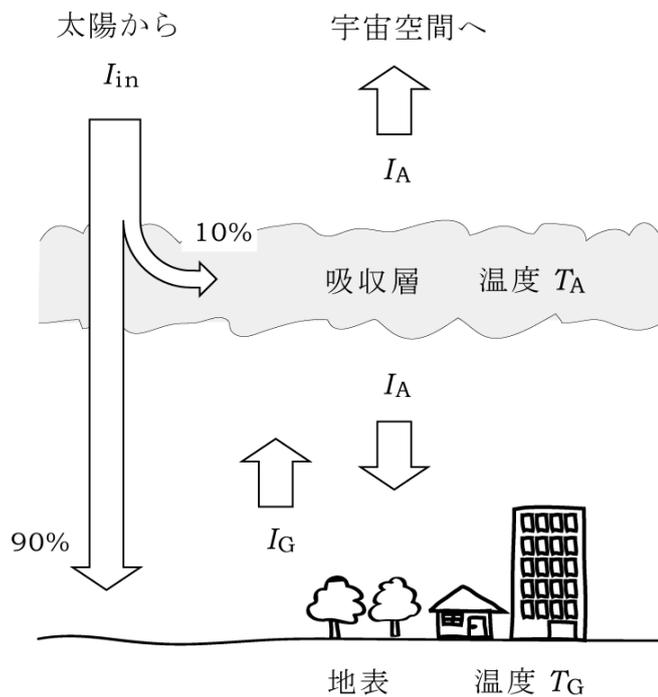
地球は太陽から受けたエネルギーの 70 % を吸収する。この単位時間あたりに地球全体が吸収するエネルギーを I_{in} とする。エネルギーの収支で考えると、地球は吸収したエネルギーと同じ量のエネルギーを宇宙空間に放出する。半径 R の地球は、太陽からのエネルギーを地球の断面積で受け、エネルギーの放出をその表面全体から行う。地球の表面温度が一様と考え、その温度はいくらか。最も適切なものを、下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。



- ① 225 K
- ② 240 K
- ③ 255 K
- ④ 270 K
- ⑤ 285 K
- ⑥ 300 K

問 28 温室効果ガスによる 1 層の吸収層を仮定して、地球温暖化現象を考える。図のように、温室効果ガスの影響を吸収層の効果として、地球全体の単位時間当たりのエネルギー収支モデルを考える。吸収層は I_{in} (問 27 で用いた) の 10% を吸収し、90% を地表に向けて通過させる。その一方で、吸収層は地表からの放射エネルギー I_G を 100% 吸収すると仮定する。太陽から地球が受け取るエネルギーの一部と I_G を吸収した吸収層は温度 T_A になり、エネルギー I_A を宇宙空間と地表の両方向に放出する。

このモデルにしたがい、吸収層と地表からの放出するエネルギー収支を考えて、地表の温度 T_G を求めなさい。最も適切なものを、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。



- ① 280 K
- ② 290 K
- ③ 300 K
- ④ 310 K