



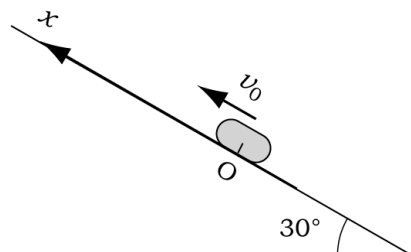
全国物理コンテスト
物理チャレンジ **2021**

第1 チャレンジ理論問題コンテスト 問題

2021年7月11日（日）13:30～15:00 オンライン **CBT** 形式

基礎総合 問 1～問 14 に答えなさい。

問 1 図のように、水平となす角 30° の摩擦のある斜面上で、質量 m の物体を時刻 $t = 0$ に斜面に沿って上向きに初速 v_0 で打ち出した。斜面と物体の間の動摩擦係数を μ' とする。斜面に沿って上向きを正に x 軸をとり、物体を打ち出した点を原点 O とする。



物体が最高点に達する時刻はいくらか。最も適切なものを、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

① $\frac{v_0}{(1 + \sqrt{3}\mu')g}$

② $\frac{v_0}{(1 - \sqrt{3}\mu')g}$

③ $\frac{2v_0}{(1 + \sqrt{3}\mu')g}$

④ $\frac{2v_0}{(1 - \sqrt{3}\mu')g}$

問2 問1の問題で、物体が最高点に達したときの位置はいくらか。最も適切なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

① $\frac{v_0^2}{(1+\sqrt{3}\mu')g}$

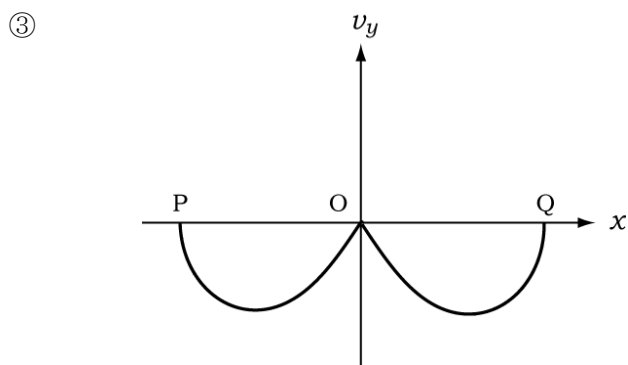
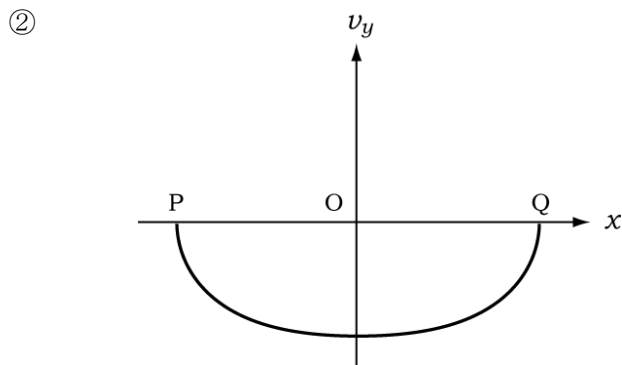
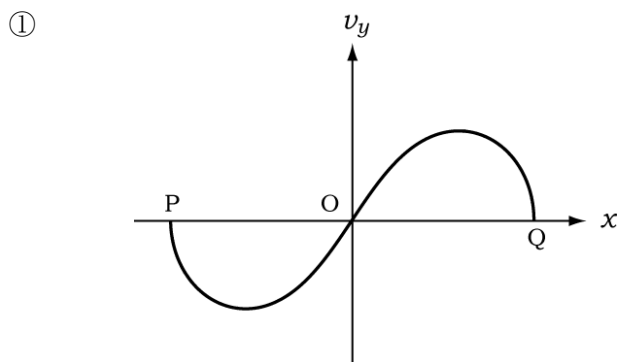
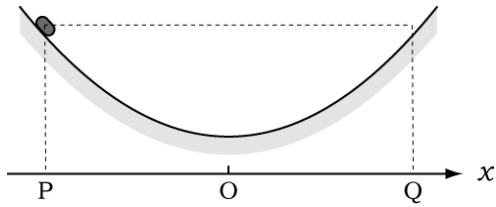
② $\frac{v_0^2}{(1-\sqrt{3}\mu')g}$

③ $\frac{2v_0^2}{(1+\sqrt{3}\mu')g}$

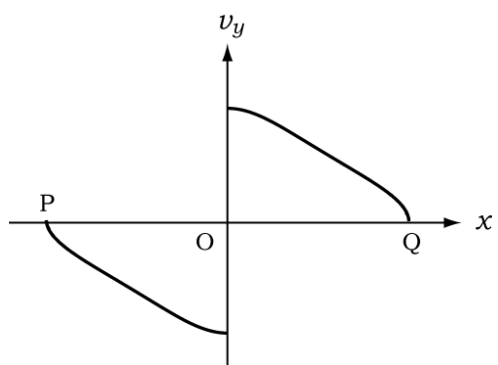
④ $\frac{2v_0^2}{(1-\sqrt{3}\mu')g}$

問 3 図のように、左右対称で内側が滑らかな曲面上のある位置 (x 座標を P とする) から小さな物体をすべらせたところ、反対側の同じ高さの位置 (x 座標を Q とする) まで上がった。

曲面の中央を原点とし、水平方向を x 軸、鉛直方向を y 軸とする。 P から Q までの位置 x に対する物体の速度の y 成分 v_y の関係を表した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。



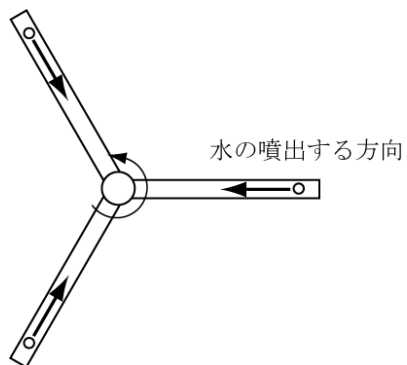
④



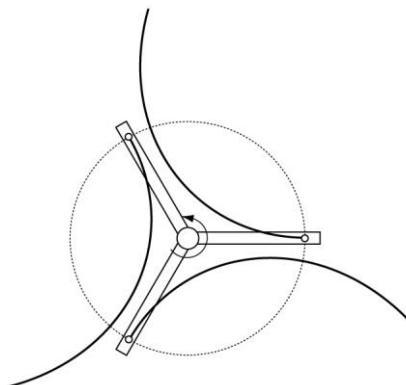
問 4 ある高さから 2 つの小物体を同じ速さで下向きと水平方向に投げた。地面にぶつかる時の小物体の速さについて、最も適切な説明を、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし、空気の抵抗は無視できるものとする。

- ① 下向きに投げた小物体の速さは、水平方向に投げた小物体の速さより大きい。
- ② 下向きに投げた小物体の速さは、水平方向に投げた小物体の速さより小さい。
- ③ 下向きに投げた小物体と水平方向に投げた小物体の速さは等しい。
- ④ 投げ出した高さによって、2 つの小物体の速さの大小関係は変化する。

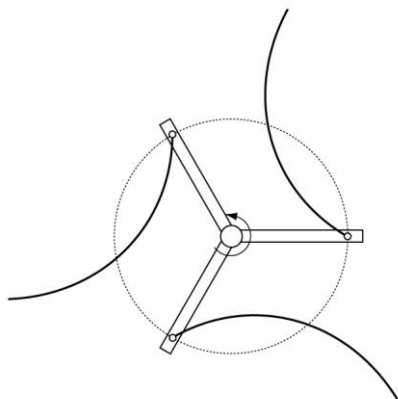
問 5 図のように、散水用スプリンクラーを回転の中心に向かって水が噴出するようにした。このスプリンクラーを一定の角速度で反時計回りに回転させたとき、噴出された水の軌跡はどうなるか。最も適切なものを、下の図の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし、空気の流れの影響は無視できるものとする。



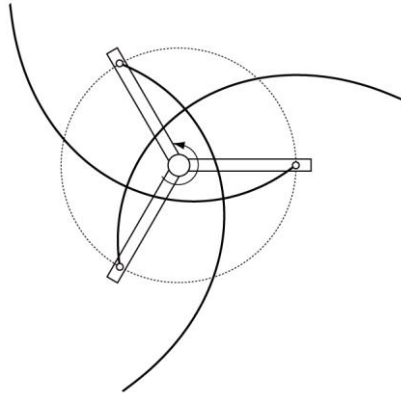
①



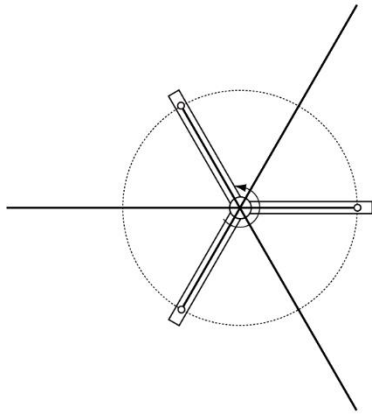
②



③



④



問 6 人の基礎代謝量を 1500 kcal/日 とすると、何 W 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。1 cal を 4.2 J としなさい。

- ① 17 W
- ② 73 W
- ③ 170 W
- ④ 360 W

問7 窒素ガスの標準状態（温度 273.15 K, 1013 hPa）における密度はいくらか。最も適切なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

- ① 0.600 kg/m³
- ② 0.625 kg/m³
- ③ 0.650 kg/m³
- ④ 1.20 kg/m³
- ⑤ 1.25 kg/m³
- ⑥ 1.30 kg/m³

問 8 熱に関する正しい記述を，次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

- ① 断熱容器の中に入れた 20°C の水の中に，水と同じ質量で 80°C の銅球を沈めた。熱平衡に達したときの水温は 50°C より高くなる。
- ② フェーン現象に関わるのは，空気が山を上昇するときの断熱膨張，空気が山を下降するときの断熱圧縮，および空気中の水分の凝縮である。
- ③ 人の額に向けて体温を測定する非接触型の温度計は，額から出る紫外線を主として測定して温度を計測する放射型温度計である。
- ④ 一定量の気体の温度を 1°C 上昇させるのに，体積一定で行うより，圧力一定で行う方が必要な熱量は小さい。

問 9 水面下 0.70 m の位置に小さな光源が置かれている。光源の真上の水面に円盤を置き、水上のどこの位置から見ても光源が直接見えないようにする。水の屈折率を 1.33 として、必要な最小の円盤の半径を求めなさい。最も適切なものを、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

- ① 0.53 m
- ② 0.70 m
- ③ 0.80 m
- ④ 0.93 m

問 10 図 1 は x 軸正の方向に進む波の時刻 $t = 0$ の波形を示している。図中の点 A と点 B の位置での、 $t = 0$ 以後の振動を表すグラフの組み合わせとして、最も適切なものを、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。

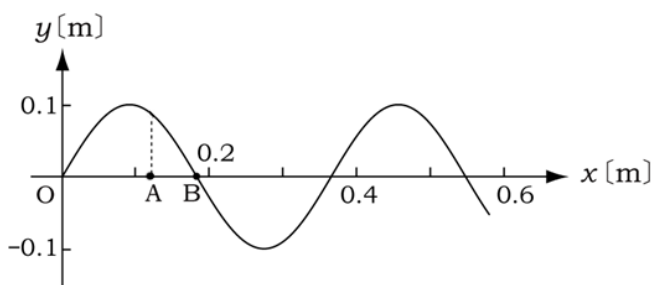
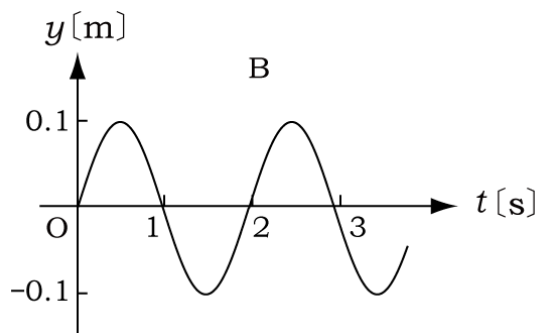
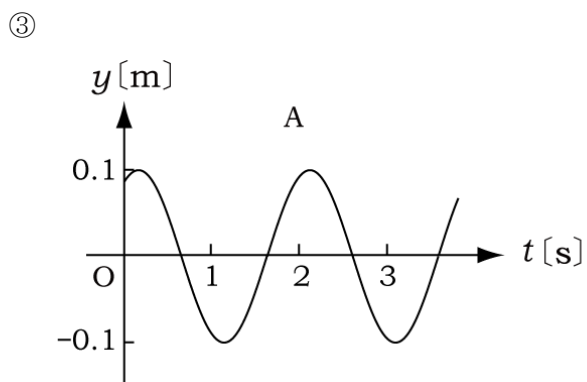
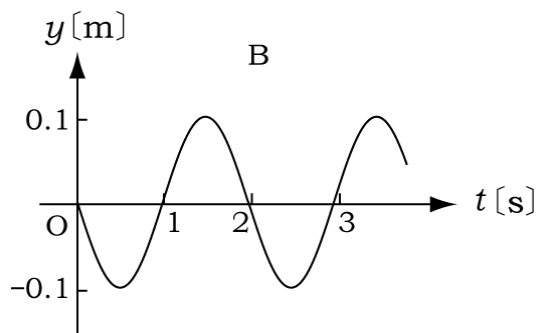
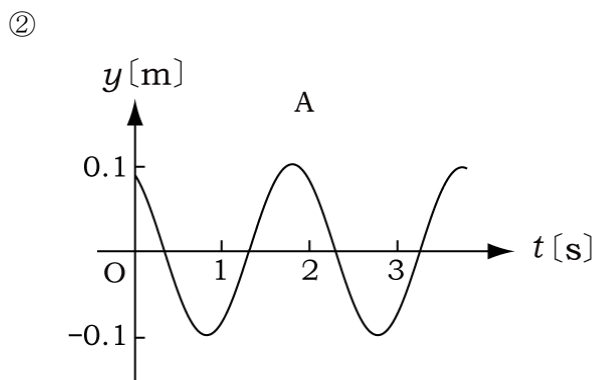
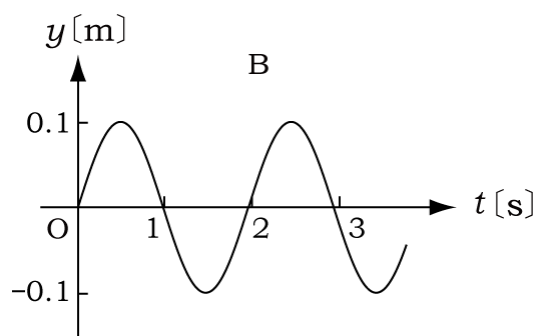
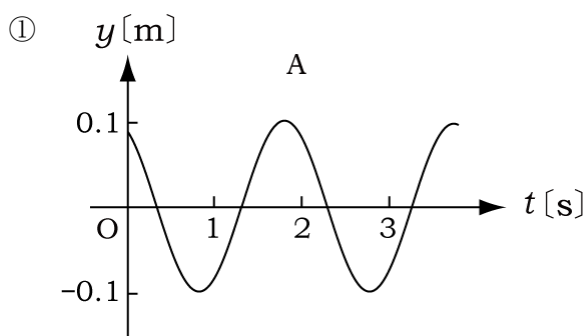
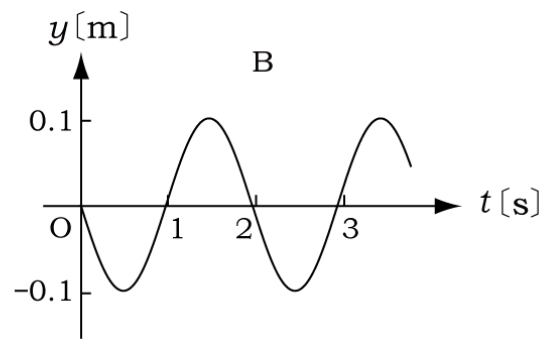
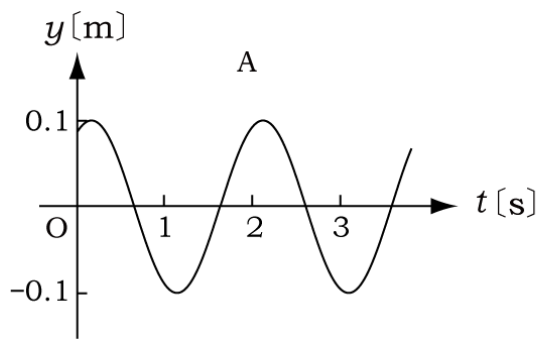


図 1

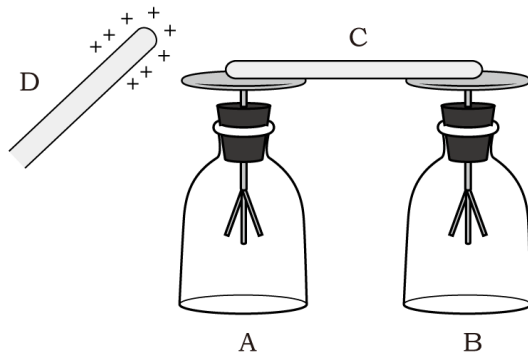


④



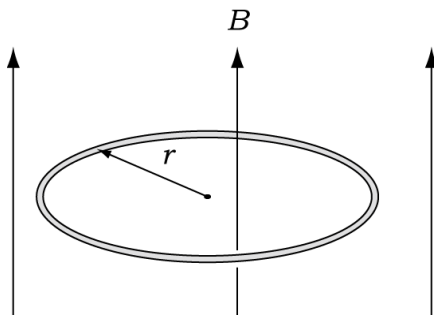
問 11 箔検電器 A と B の天板は導体 C で接続されていて、はじめ 2 つの箔検電器の箔は閉じている。正に帯電したガラス棒 D を、図のように A の天板に近づけると A と B の箔が両方とも開いた。この状態で帯電していない絶縁体を用いて C を取り除き、その後、D を遠ざけると、A と B の箔はともに開いた状態になった。

この状態の A と B の天板それぞれに正に帯電したガラス棒 D を再度近づけると箔はどうか。最も適切なものを、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。



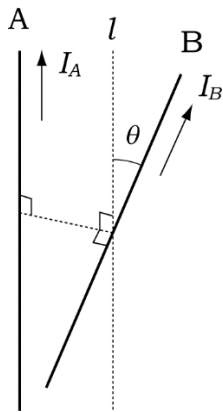
- ① A の箔も B の箔もより大きく開く。
- ② A の箔も B の箔もいったん閉じるが、さらに D を近づけるとどちらも開く。
- ③ A の箔はいったん閉じるが、さらに D を近づけると開く。B の箔はより大きく開く。
- ④ A の箔はより大きく開く。B の箔はいったん閉じるが、さらに D を近づけると開く。

問 12 鉛直方向の一様な磁場の中に、図のように水平に金属リングが置かれている。磁場の強さを増加させているとき金属リングにどのような力がはたらくか。最も適切なものを、下の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。



- ① 半径を小さくする力がはたらく
- ② 半径を大きくする力がはたらく
- ③ 水平から傾ける力がはたらく
- ④ 鉛直上向きの力がはたらく
- ⑤ 力のはたらかない

問 13 導線 A に電流 I_A ，導線 B に電流 I_B が流れている。B は，図のように A に平行な点線 l から角度 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) 傾いたねじれの位置にある。 I_A の向きを逆にした場合，A と B にはたらく力の向きはどうなるか。最も適切なものを，下の①～④の中から 1 つ選びなさい。



- ① 変化しない。
- ② A にはたらく力の向きだけが逆になる。
- ③ B にはたらく力の向きだけが逆になる。
- ④ A と B とも，はたらく力の向きが逆になる。

問 14 ある金属の表面に光を当てたときの現象（光電効果）についての説明で、最も適切なものを次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

- ① 当てる光の振動数が一定のまま光を強くしていくと、光電子の最大運動エネルギーが増える。
- ② 当てる光の振動数が一定のまま光を強くしても、光電子の数は変わらない。
- ③ 限界振動数はどの金属でも一定である。
- ④ 紫外線より X 線の方が、光電子の運動エネルギーの最大値は大きい。

力学 問 15～問 18 に答えよ。

問 15 一様な板が、2つのくさび形の支柱のエッジ P と Q で支えられている。板の中央に直方体の物体を載せた。板と物体の重心（図中の黒点）は同じ鉛直線上にある。このとき、P と Q で板を支える力 N と R の大きさは等しい。

図 1 のように、この物体の点 A に水平左向きに力 F を作用させたとき物体は動かなかった。また、図 2 のように、点 B に水平左向きに同じ大きさの力 F を作用させたときも物体は動かなかった。それぞれの場合で P に作用する垂直抗力を N_A , N_B , Q に作用する垂直抗力を R_A , R_B とする。このとき、力の大きさの大小関係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。

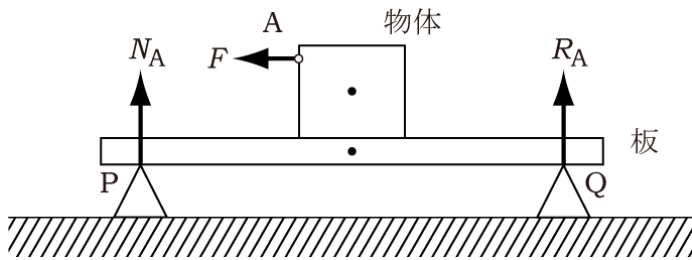


図 1

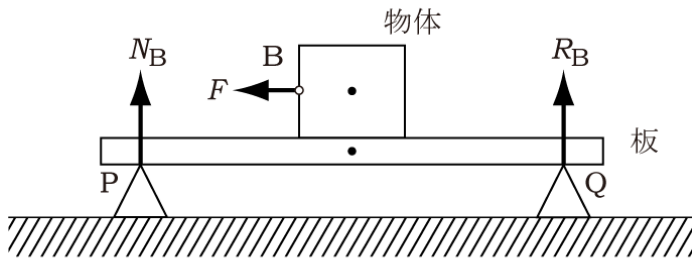
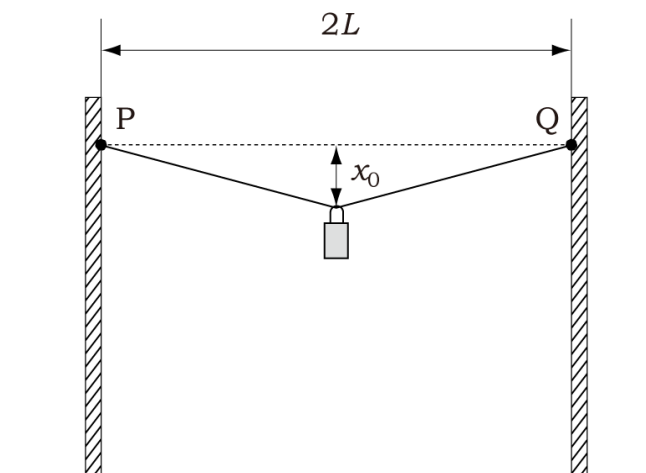


図 2

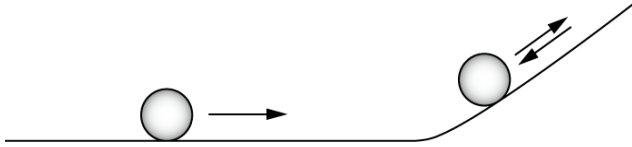
- ① $N_A > N_B > R_B > R_A$
- ② $N_B > N_A > R_A > R_B$
- ③ $R_A > R_B > N_B > N_A$
- ④ $R_A > N_B > R_B > N_A$
- ⑤ $N_A > N_B > R_A > R_B$
- ⑥ $R_B > N_B > R_A > N_A$

問 16 図のように距離 $2L$ 離れた支柱の同じ高さの点 P, Q の間に、重さの無視できる糸を水平に張る。その中点に質量 m のおもりを付けたところ、 x_0 だけ下がった位置でつりあった。このおもりをつりあいの位置からさらに d だけ鉛直下向きに引っ張って手を離したところ、おもりは鉛直方向に単振動を始めた。おもりの振動の周期 T 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。ただし、糸の張力 S は一定で、 x_0 と d は $2L$ と比べて十分に小さいとする。また、十分小さな角度 θ (ラジアン) に対しては、 $\sin\theta \doteq \theta$, $\tan\theta \doteq \theta$ の近似ができる。



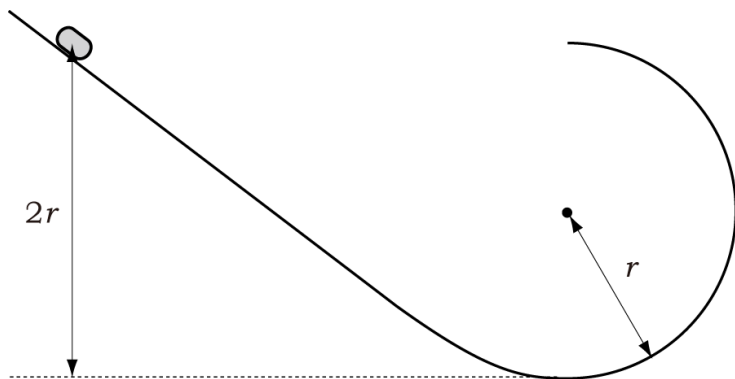
- ① $2\pi\sqrt{\frac{mL}{2S}}$
- ② $2\pi\sqrt{\frac{mx_0}{2S}}$
- ③ $2\pi\sqrt{\frac{md}{2S}}$
- ④ $2\pi\sqrt{\frac{mL}{S}}$
- ⑤ $2\pi\sqrt{\frac{mx_0}{S}}$
- ⑥ $2\pi\sqrt{\frac{md}{S}}$

問 17 図のように，球形の物体が水平面上を転がっている。この物体が，摩擦のある斜面をすべらずに転がり上がり，最高点に達した後，またすべらずに転がり下りてきた。斜面を上るときと，下るときに物体にはたらく摩擦力の向きを説明したものとして，最も適切なものを，下の①～④の中から 1 つ選びなさい。



- ① 上るときも，下るときも，斜面に沿って上向き。
- ② 上るときも，下るときも，斜面に沿って下向き。
- ③ 上るときは斜面に沿って下向き，下るときは斜面に沿って上向き。
- ④ 上るときは斜面に沿って上向き，下るときは斜面に沿って下向き。

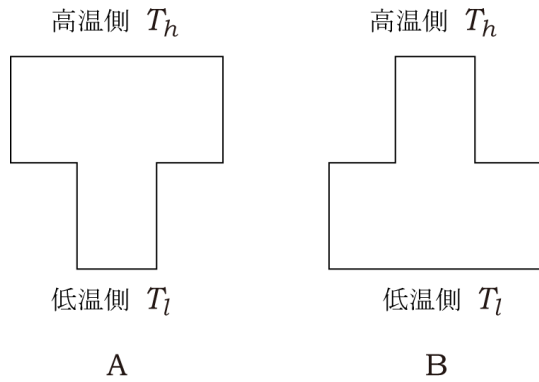
問 18 半円形（半径 r ）のレールに直線レールを滑らかに接続し，図のように，鉛直に立てた。直線レール上の $2r$ の高さから小物体を静かに離した。小物体は直線レール上を滑り下り，その後半円形のレールに沿って上った。小物体がレールから離れる高さはいくらか。最も適切なものを次の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし，小物体とレールの間には摩擦はないものとする。



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

熱力学 問 19～問 20 に答えよ。

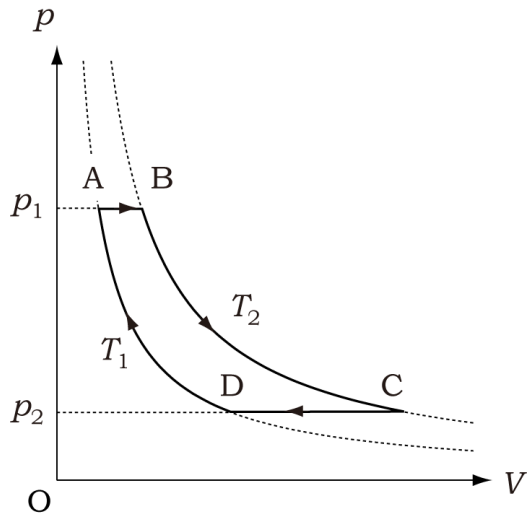
問 19 T 字形をした金属板がある。図のように、長い辺を高温 T_h 、短い辺を低温 T_l に保った場合を A、逆に短い辺を高温 T_h 、長い辺を低温 T_l に保った場合を B とする。熱の流れについて、最も適切な説明を、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし、熱の伝わり方は温度に依らず、熱は金属板から外へ逃げないとする。



- ① A の場合に流れる熱の総量は B の場合より大きい。
- ② A の場合に流れる熱の総量は B の場合より小さい。
- ③ A の場合と B の場合に流れる熱の総量は等しい。
- ④ 温度差 $(T_h - T_l)$ によって流れる熱の総量は、A の場合と B の場合で大小関係が変わる。

問 20 理想気体を、下の p - V 図のように、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の順で変化させた。ただし、 BC 、 DA は等温変化で、 BC の温度は T_2 、 DA の温度は T_1 ($T_2 > T_1$) である。また AB 、 CD は等圧変化で、 AB の圧力は p_1 、 CD の圧力は p_2 ($p_1 > p_2$) である。

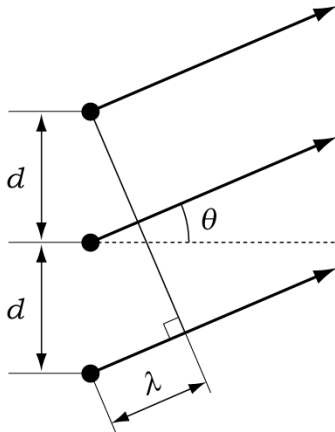
等圧変化 AB で気体が外にする仕事 W_1 と等圧変化 CD で外から気体がされる仕事 W_2 の大きさを比べるとどうなるか。最も適切なものを、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。



- ① $W_1 > W_2$
- ② $W_1 = W_2$
- ③ $W_1 < W_2$
- ④ 与えられた条件だけでは決められない。

波動 問 21～問 22 に答えよ。

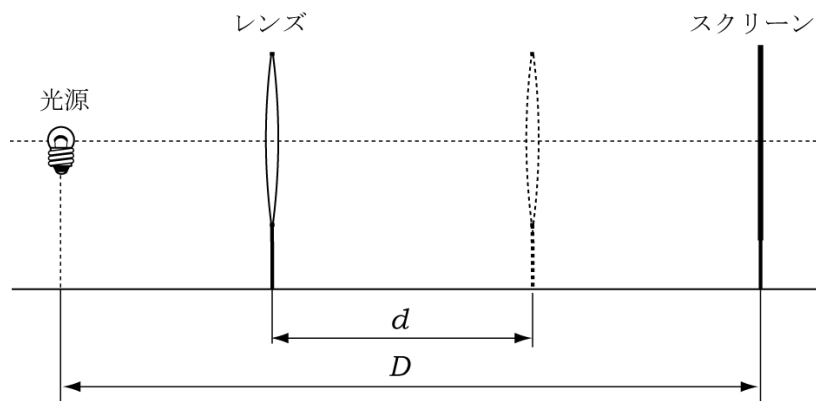
問 21 図のように鉛直に立てた 3 本のアンテナが間隔 d で一直線上に並んでいる。波長 λ の電波を同位相で送信する。 $\sin \theta = \frac{\lambda}{2d}$ を満たす θ 方向の十分遠いところで電波を受信する。下の a, b, c の条件で電波を送信した。受信した電波の強い順に a, b, c を並べるとどうなるか。最も適切なものを、下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。



- a. 端の 1 本のアンテナからの送信を止める。
- b. 中央のアンテナからの送信を止める。
- c. 3 本のアンテナから送信する。

- ① c, a, b
- ② b, c, a
- ③ a, b, c
- ④ c, b, a
- ⑤ b, a, c
- ⑥ a, c, b

問 22 図のように、薄いレンズの光軸上に光源を置いたところ、光源から距離 D のスクリーン上に結像した。レンズを光軸上で距離 d だけ移動させると再び光源の像がスクリーン上に結像した。レンズの焦点距離 f はいくらか。最も適切なものを、下の①～④の中から1つ選びなさい。



① $f = \frac{D^2 - d^2}{4D}$

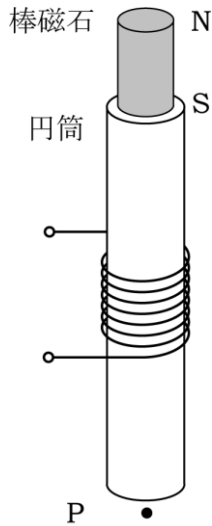
② $f = \frac{D - d}{2}$

③ $f = \sqrt{D^2 + d^2}$

④ $f = D - d$

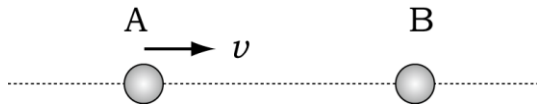
電磁気学 問 23～問 27 に答えよ。

問 23 細いプラスチック製円筒を鉛直に立て、中央部分にコイルを巻きつけた。図のように、小さな棒磁石を円筒上端から自由落下させた。コイルの両端を短絡した場合と、開放した場合で、円筒下端の点 P を通るときの磁石の速さはどうなるか。最も適切な記述を、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。



- ① 短絡した場合はコイルに電流が流れ、磁石は減速されるため、開放した場合より遅くなる。
- ② 短絡した場合はコイルに電流が流れるが、磁石の落下とは関係ないので速さは変わらない。
- ③ 短絡した場合はコイルに電流が流れるが、磁石がコイルに入るときと出るときで電流の向きが変わるので速さは変わらない。
- ④ 短絡した場合はコイルに電流が流れ、磁石は加速されるので、開放した場合より速くなる。

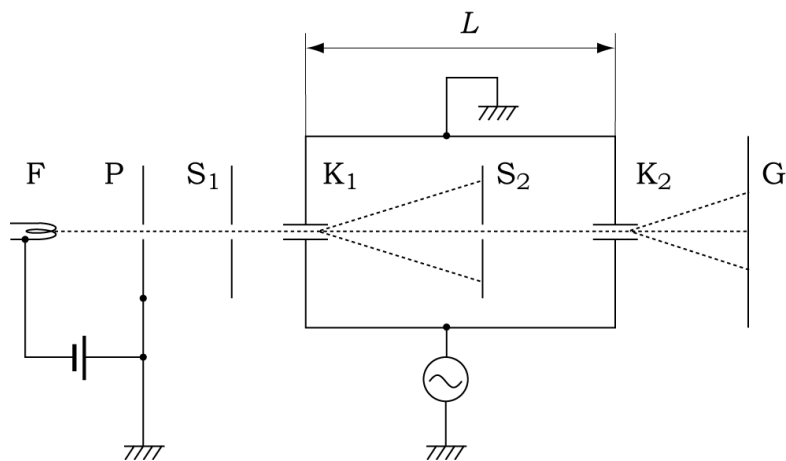
問 24 図のように、質量 m 、電荷 q の荷電粒子 A を、速さ v で、質量 m 、電荷 q の静止している荷電粒子 B に向けて打ち出した。A の速さを $2v$ にすると、A と B が最も近づく距離は、速さ v のときの何倍になるか。最も適切なものを、下の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。



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

問 25 図は電子（電荷 $-e$ 、質量 m ）の比電荷 e/m を求める実験装置の概念図である。F はフィラメントで、加熱により熱電子を放出する。P を陽極として FP 間に電圧 V をかけると、F で放出された熱電子が加速され、スリット S_1 を通った電子は、電子線として平行平板電極 K_1 の電極間に入射する。 S_2 はスリットで、 K_1 から距離 L 離れた位置にもう一つの平行平板電極 K_2 があり、 K_2 を通過した電子が蛍光板 G に当たって蛍光を発する。 K_1 と K_2 に振動数 f の交流電圧を同位相でかけると蛍光板上の輝点が上下対称に 2 つに分かれる。

V を変化させ、G 上の輝点を 1 点にする。このときの V に対して得られる e/m 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、 n は整数である。



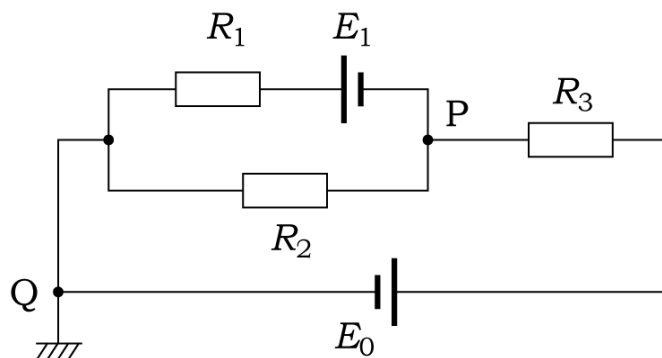
① $\frac{2f^2L^2}{n^2V}$

② $\frac{f^2L^2}{2n^2V}$

③ $\frac{f^2L^2}{n^2V}$

④ $\frac{8f^2L^2}{n^2V}$

問 26 図のように、 $R_1 = 5 \Omega$ と $R_2 = R_3 = 10 \Omega$ の 3 つの抵抗器，起電力 $E_0 = E_1 = 10 \text{ V}$ の 2 つの電池からなる回路がある。点 Q の電位を 0 V として，点 P の電位はいくらか。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，電池の内部抵抗は無視できるとする。



- ① -5.0 V
- ② -2.5 V
- ③ 0 V
- ④ 2.5 V
- ⑤ 5.0 V
- ⑥ 7.5 V

問 27 ある電圧に充電したコンデンサーを，図 1 の回路図に示すように抵抗値 R の抵抗を通して放電させる。このときの放電電流 i の時間変化を図 2 のグラフに示す。 i_0 はスイッチを閉じたときの電流値である。同じように充電した同じコンデンサーを R よりも大きな抵抗値の抵抗で放電させると，放電電流の時間変化のグラフはどうか。最も適切なものを，下の①～④の中から 1 つ選びなさい。選択肢の中に破線は図 2 の曲線である。

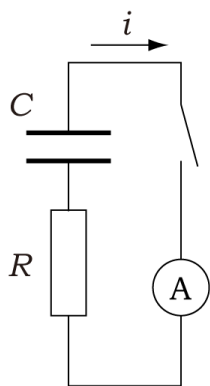


図 1

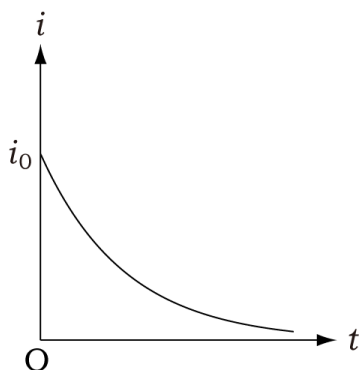
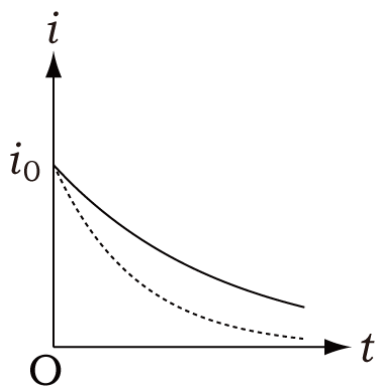
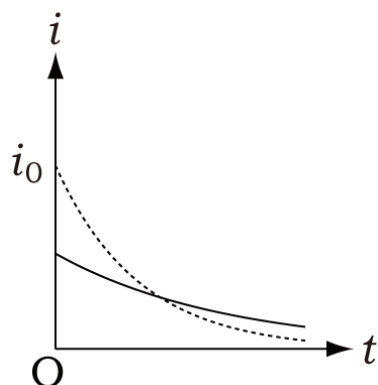


図 2

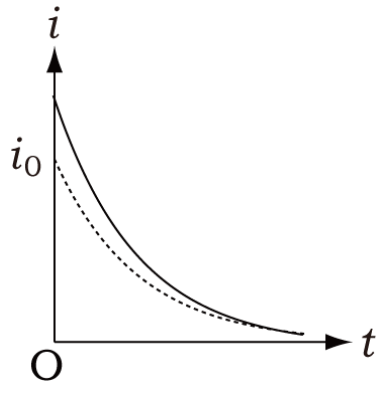
①



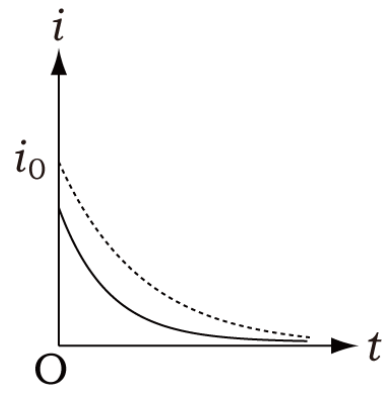
②



③



④



原子物理 問 28 に答えよ。

問 28 半減期が 3 日と 1 年の 2 種の放射性原子核がある。この 2 種の放射性原子核の混合物の放射能の強さが下表のようであった。

6 日後の放射能の強さ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、ある時刻の放射能の強さは放射性原子核の量に比例し、これら放射性原子核の崩壊によってできた原子核に放射性はないものとする。

時刻	放射能の強さ [Bq]
はじめ	400
3 日後	274
半年後	106
1 年後	75

- ① 148 Bq
- ② 179 Bq
- ③ 210 Bq
- ④ 224 Bq
- ⑤ 255 Bq