

物理チャレンジ 2019

第1チャレンジ

理論問題コンテスト

2019年7月7日（日）

13 : 30 ~ 15 : 00

理論問題コンテストにチャレンジする前に、次の＜注意事項＞をよく読んでください。
問題は第1問から第6問で構成されています。どの問題から取り組んでも結構です。
最後まであきらめず、チャレンジしてください。

＜注意事項＞

1. 開始の合図があるまで、問題冊子（全20ページ）を開けてはいけません。
2. スマートフォン（携帯電話などを含む）を時計として使用することもできません。スマートフォン（携帯電話などを含む）は必ず電源を切って鞆の中にしまってください。
3. 電卓を使用することはできません。
4. 参考図書（教科書、参考書、問題集、ノート、専門書）を使用することができます。
5. 開始の合図の前に、**解答用紙（マークシート用紙）に、第1チャレンジ番号、氏名を必ず記入（マーク）**してください。
6. 問題ごとに解答欄が **1**， **2**， ... **29**， と指定されていますので、**必ず、その番号の解答欄にマークしてください。**
7. 次の頁（表紙裏）に物理定数等の一覧表があります。必要ならばそれらの値を用いてください。そのとき必要な桁まで利用してください。
8. 終了の合図があるまで、監督者の許可なしに部屋の外に出ることはできません。
9. 気分が悪くなったとき、トイレに行きたくなったときは、手を挙げて監督者に知らせてください。
10. 他の参加者の迷惑にならないように静粛に解答をすすめてください。迷惑行為があった場合は退出してもらう場合があります。
11. 終了後、退出の際に問題冊子は持ち帰ってください。

基礎物理定数

真空中の光速	$c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$
電気定数(真空の誘電率)	$\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
磁気定数(真空の透磁率)	$\mu_0 = 1.2566370614 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$
万有引力定数	$G = 6.67408(31) \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
プランク定数	$h = 6.626070150(69) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
電気素量(素電荷)	$e = 1.6021766341(83) \times 10^{-19} \text{ C}$
リュードベリ定数	$R_y = 1.0973731568508(65) \times 10^7 \text{ /m}$
アボガドロ定数	$N_A = 6.022140758(62) \times 10^{23} \text{ /mol}$
ボルツマン定数	$k_B = 1.38064903(51) \times 10^{-23} \text{ J/K}$
気体定数	$R = 8.3144598(48) \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$
電子の質量	$m_e = 9.10938356(11) \times 10^{-31} \text{ kg}$
陽子の質量	$m_p = 1.672621898(21) \times 10^{-27} \text{ kg}$
陽子 - 電子質量比	$m_p/m_e = 1836.15267245(75)$
統一原子質量単位	$1 \text{ u} = 1.660538921(73) \times 10^{-27} \text{ kg}$

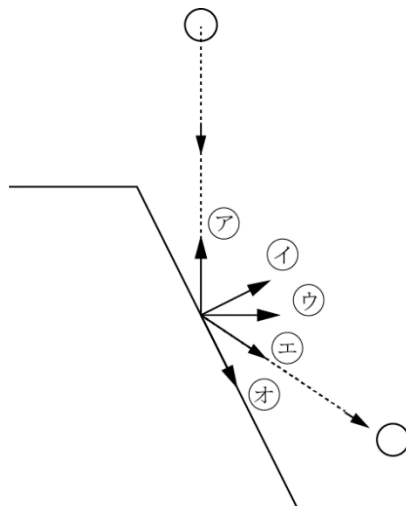
その他の物理量

標準重力加速度	$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$
静電気力の クーロンの法則の定数	$k = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$
静磁気力の クーロンの法則の定数	$k_m = 6.33 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{Wb}^2$
電子ボルト	$1 \text{ eV} = 1.602176566 \times 10^{-19} \text{ J}$
標準大気圧	$1 \text{ atm} = 1013.25 \text{ hPa}$

第 1 問 次の問 1～12 に答えなさい。

問 1 図のように、滑らかな斜面に向かって小物体を鉛直下向きに落下させたところ、㊦の向きに跳ねた。小物体が斜面から受ける力の向きとして最も適当なものを、次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。

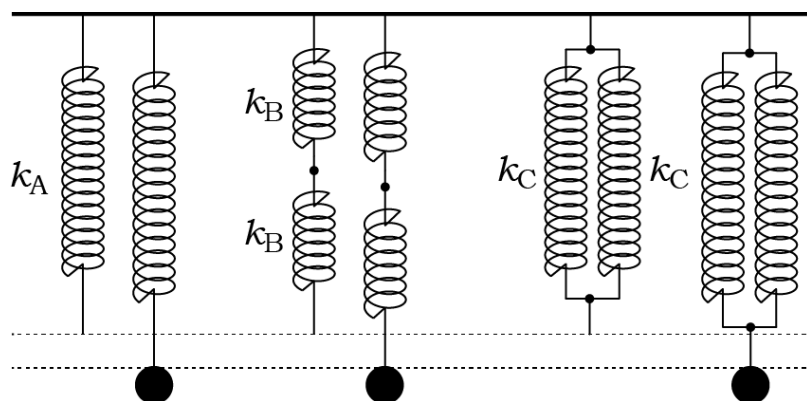
1



- ① 鉛直上向き (㊦の向き)
- ② 斜面に対して垂直の上向き (㊦の向き)
- ③ 水平方向右向き (㊦の向き)
- ④ 小物体が跳ねた向き (㊦の向き)
- ⑤ 斜面に沿って下向き (㊦の向き)

問 2 図のように、おもりをばね定数 k_A の 1 本のばねで吊した場合、ばね定数 k_B の 2 本のばねを直列にして吊した場合、ばね定数 k_C の 2 本のばねを並列にして吊した場合の 3 つを考える。これらの下端に同じ質量のおもりを吊るしたところ、伸びはすべて同じになった。 k_A , k_B , k_C の大小関係はどうなるか。最も適当なものを、下の ①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

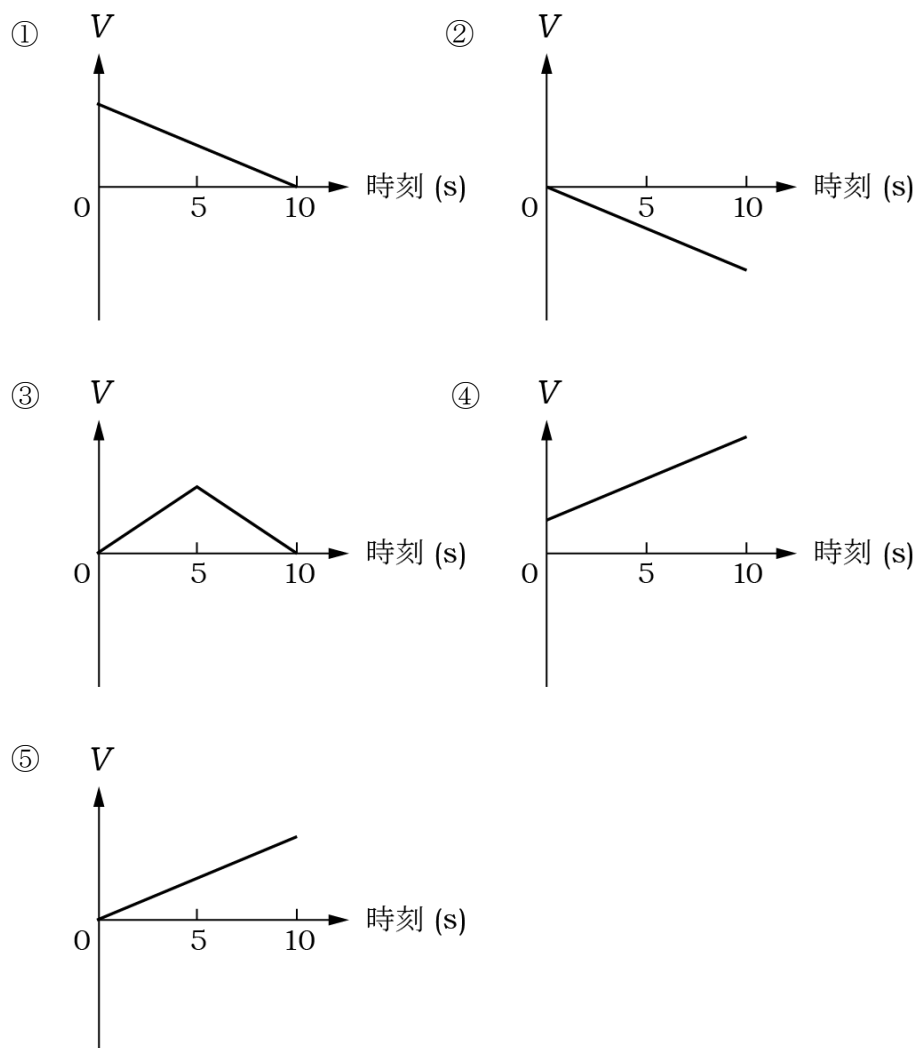
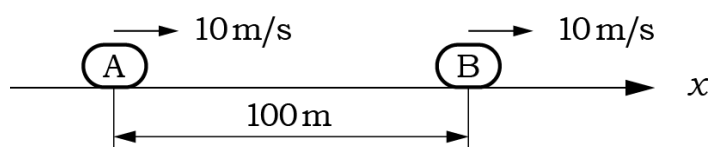
2



- ① $k_A > k_B > k_C$
- ② $k_A > k_C > k_B$
- ③ $k_B > k_A > k_C$
- ④ $k_B > k_C > k_A$
- ⑤ $k_C > k_A > k_B$
- ⑥ $k_C > k_B > k_A$

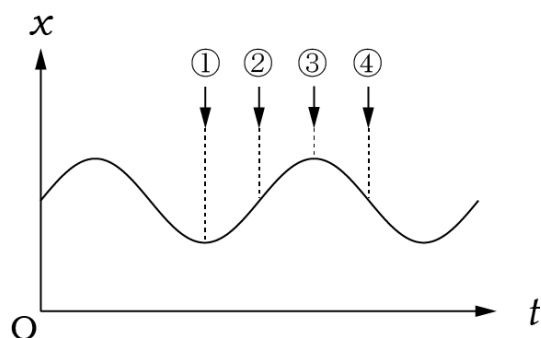
問3 図のように、物体 A, B が x 軸上をともに正の向きに速さ 10 m/s で等速直線運動している。A, B 間の距離は 100 m である。時刻 0 s で B のみが負の向きに 2.0 m/s^2 の加速度で等加速直線運動を始めた。B から見た A の相対速度を V とすると、時刻 0 s から 10 s までの V の時間変化を表すグラフはどれか。最も適当なグラフを、下の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。

3



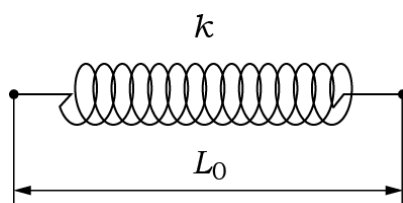
問 4 次のグラフはある運動における小物体の位置 x を時刻 t の関数として表したものである。小物体の加速度が正の値として最も大きくなる時刻はいつか。グラフの中の①～④の中から、最も適当なものを1つ選びなさい。

4



問 5 ばね定数 k , 自然長 L_0 のばねを, 自然長から $\frac{L_0}{10}$ だけ伸ばすのに力がした仕事を W_1 , さらに $\frac{L_0}{10}$ だけ伸ばすのに力がした仕事を W_2 とする。 W_1 と W_2 の関係はどうなるか。最も適当なものを, 下の①～④の中から 1 つ選びなさい。

5



- ① $W_1 = W_2$ ② $2W_1 = W_2$ ③ $3W_1 = W_2$ ④ $4W_1 = W_2$

問 6 地上の空気の圧力を p_1 , 温度を T_1 , 密度を ρ_1 とする。高層ビルの屋上での空気の圧力を p_2 , 温度を T_2 とすると, 密度 ρ_2 はいくらになるか。最も適当なものを, 次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

6

- ① $\frac{p_2 T_2}{p_1 T_1} \rho_1$ ② $\frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} \rho_1$ ③ $\frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} \rho_1$ ④ $\frac{p_1 T_1}{p_2 T_2} \rho_1$

問 7 次の文は、フェーン現象によって気温が上昇することについての説明である。空欄 [A], [B]にあてはまる語句の組み合わせとして最も適当なものを、下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

7

湿った空気が山の斜面に沿って上昇すると、標高が高くなるにしたがって気温が下がり、飽和水蒸気量が減り、水蒸気が水滴に変わる。その際、[A]により気温低下が緩和される。乾燥した空気が山を越え下降気流となると[B]により、気温が非常に高くなる。

	A	B
①	蒸発熱	断熱圧縮
②	蒸発熱	断熱膨張
③	蒸発熱	定積変化
④	凝縮熱	断熱圧縮
⑤	凝縮熱	断熱膨張
⑥	凝縮熱	定積変化

問 8 弦を張って 440 Hz の高さの音を出したい。440 Hz の音を出す音源の近くで弦をはじくとうなりが聞こえ、音源の音と比べると少し高い音だった。この弦の振動数を 440 Hz に近づけるにはどうしたらよいか。弦の長さのみの操作と張力のみの操作について、正しい答えの組み合わせとして最も適当なものを、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

8

	弦の長さに対する操作	張力に対する操作
①	長くする	大きくする
②	長くする	小さくする
③	短くする	大きくする
④	短くする	小さくする

問9 宇宙が膨張していることは、遠い銀河ほど地球から速く遠ざかっていることからわかる。銀河が遠ざかる速さは、光のスペクトルのずれから求めることができる。7億光年離れた かんむり座から届いた波長 600 nm の光が 44 nm ずれて観測された。この銀河が遠ざかる速はいくらか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。ただし、光のドップラー効果の式として、音のドップラー効果の式を用いて考えなさい。

9

- ① 22 m/s ② 2.2 km/s ③ 220 km/s ④ 22000 km/s

問10 長さ 1 km 、質量 0.1 kg の銅線の電気抵抗は $1.6\text{ k}\Omega$ である。長さ 3 km 、質量 1.6 kg の銅線の電気抵抗はいくらか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

10

- ① $300\text{ }\Omega$ ② $900\text{ }\Omega$ ③ $3\text{ k}\Omega$ ④ $15\text{ k}\Omega$

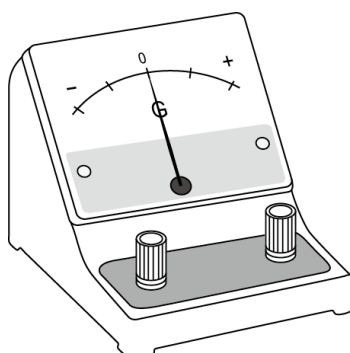
問11 図に示す検流計は、端子に何も接続しない状態で左右に動かすと指針が大きく振れる。この検流計を使って次の2つの操作を行った。

I. 端子間に抵抗の無視できる導線を接続して、検流計を左右に動かした。

II. 端子間に $100\text{ k}\Omega$ の抵抗を接続して、検流計を左右に動かした。

I と II で検流計の指針の振れはそれぞれどうなるか。最も適当なものを、下の①～④の中から1つ選びなさい。

11



- ① I, II のどちらでも指針は大きく振れる。
 ② I では指針は大きく振れる。II では指針はほとんど振れない。
 ③ I では指針はほとんど振れない。II では指針は大きく振れる。
 ④ I, II のどちらでも指針はほとんど振れない。

問 12 ある水力発電所ではダムから毎秒 100 m^3 の水が落差 500 m を落下する。この水力発電所では水の位置エネルギーがすべて電気エネルギーに変換されるものとする。1 世帯あたりの 1 か月 (30 日) の消費電力量を 360 kWh とするとき, この水力発電所は何世帯に電力を供給できるか。最も適当なものを, 次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

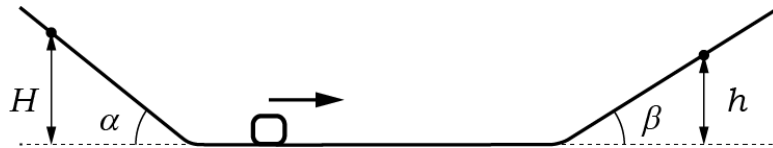
12

- ① 490 世帯 ② 980 世帯 ③ 49 万世帯 ④ 98 万世帯

第2問 次の問1～5に答えなさい。

問1 図のように、それぞれ水平面より角度 α と β のあらい斜面が、摩擦のない水平面を挟んで滑らかに接続されている。質量 m の物体を、高さ H の位置から静かにすべり落としたところ、摩擦のない水平面を通過して、反対側の斜面を上り、高さ h の位置に達して折り返した。このとき、 H に対する h の比 $\frac{h}{H}$ はいくらか。最も適当なものを、下の①～④の中から1つ選びなさい。なお、両斜面と物体の間の動摩擦係数を μ とする。

13

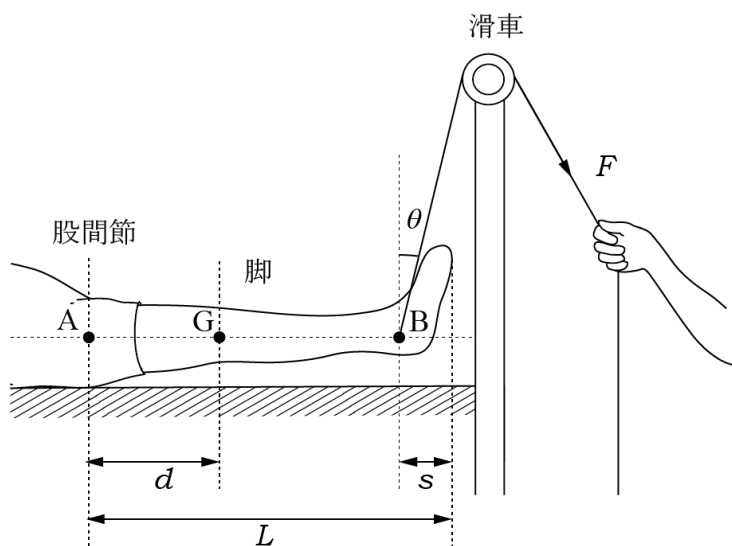


- ① $\frac{1 - \frac{\mu}{\tan \alpha}}{1 + \frac{\mu}{\tan \beta}}$ ② $\frac{1 - \frac{\mu}{\tan \alpha}}{1 - \frac{\mu}{\tan \beta}}$ ③ $\frac{1 - \mu \tan \alpha}{1 - \mu \tan \beta}$ ④ $\frac{1 - \mu \tan \alpha}{1 + \mu \tan \beta}$

問2 理学療法に、患者の脚を持ち上げて関節を動かす治療体操がある。この動きは股関節を中心とした回転運動とみなせる。患者の脚を伸び縮みしない丈夫なひもを使って引き上げ、図のように水平にした。患者の脚を変形しない剛体とみなし、股関節 A 点から足先までの長さ $L = 0.70 \text{ m}$ 、脚の質量 $m = 9.0 \text{ kg}$ とする。A 点から脚の重心 G までの長さを $d = 0.30 \text{ m}$ 、足先からひもで脚を吊る位置 B 点までの長さを $s = 0.10 \text{ m}$ とする。

脚が水平で止まっているとき、吊りひもを引く力 F はいくらか。最も適当なものを、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし、脚が水平になったときの吊りひもと鉛直のなす角を θ とし、 $\sin\theta = 0.40$ 、 $\cos\theta = 0.90$ と近似して計算しなさい。

14



① 42 N

② 49 N

③ 65 N

④ 110 N

問3 国際宇宙ステーション (ISS) は地上約400 km の軌道上を約90分で周回している。ISS内では、ほぼ重さの無い状態が実現されている。ISS内の日本実験棟内にある細胞培養装置では、重力の大きさを人工的に変えて実験することが可能である。具体的には、培養室をターンテーブルに取り付けて回転させることで、人工的な重力を発生させている。ターンテーブルの回転中心から培養室までの距離を0.10 m、培養室は等速円運動するものとする。培養室で 1.5G の状態 (地表の重力加速度の大きさの1.5倍) をつくりだすためには、ターンテーブルを毎秒何回転の速さで回転させる必要があるか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

15

① 0.5 回/秒

② 1 回/秒

③ 2 回/秒

④ 4 回/秒

問 4 質量 $M = 0.50 \text{ kg}$ のおもりと質量 $m = 0.40 \text{ kg}$ のおもりを長さ 1 m の糸でつないだ。質量 m のおもりを持って振り回し、図 1 の状態で手を離した。質量 m のおもりの初速度は 0 m/s であった。質量 m のおもりの軌跡はどのようなになるか。最も適当なものを、図 2 のグラフ①～④中から 1 つ選びなさい。ただし、2 つのおもりの運動は同じ鉛直平面内にあるとする。

16

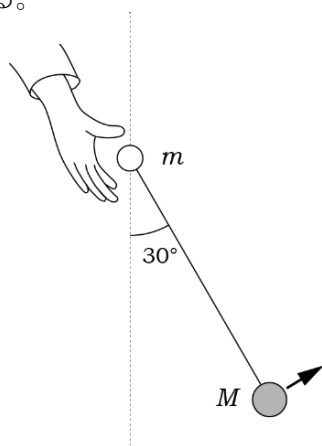


図 1

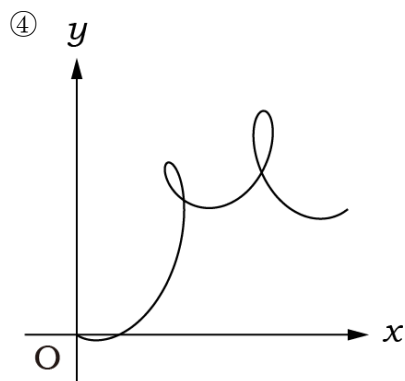
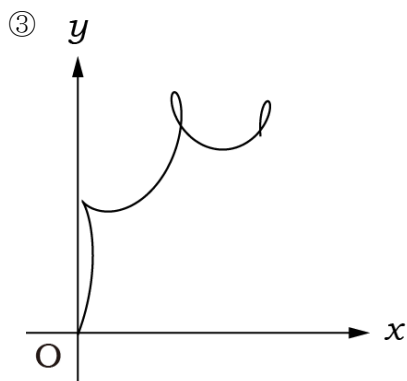
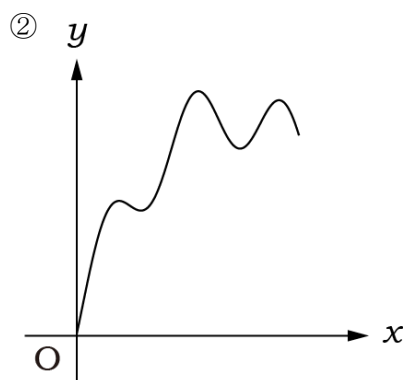
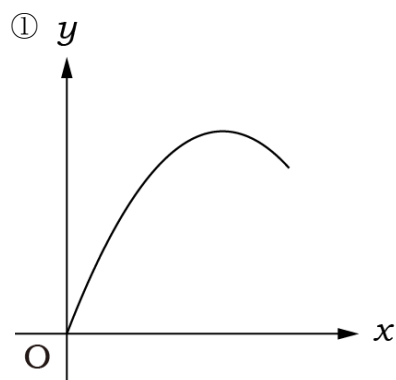


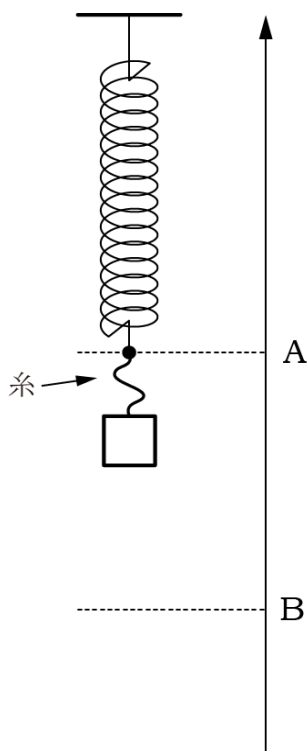
図 2

問 5 バンジージャンプを次のようなモデルで考える。図のように、ばね定数 k のばねの上端を固定し、その下端に質量 m の小物体を長さ L の伸びない糸でつないだ。自然な状態でのばねの下端を点 A とする。

小物体を点 A に静止させた状態から静かに落下させると、 L だけ落下した地点で糸がぴんと張りそこからばねが伸び始める。点 B で落下速度が最大となり、最下点まで到達した後、今度は上昇し始めた。以下、点 A からスタートし最初に最下点に到達するまでの運動を考える。ばねと糸の質量は無視できるものとし、重力加速度の大きさを g とする。

- (1) 点 B で、小物体にはたらく力の記述として、最も適当なものを、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

17



- ① 重力がはたらき始める。
- ② 重力と糸の張力の合力がゼロになる。
- ③ 重力と糸の張力の合力の大きさが最大になる。
- ④ 糸の張力の大きさが最大になる。

- (2) 点 B で、小物体の速さはいくらか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。

18

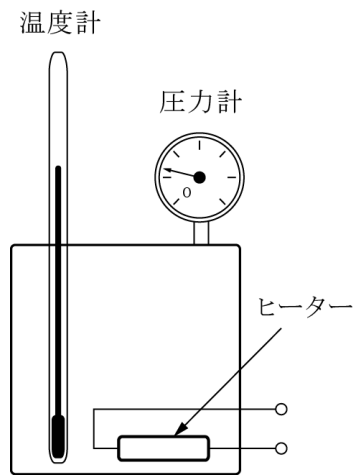
- ① $\sqrt{\frac{1}{2}gL}$
- ② $\sqrt{2gL}$
- ③ $\sqrt{g(L + \frac{mg}{k})}$
- ④ $\sqrt{g(2L + \frac{mg}{k})}$
- ⑤ $\sqrt{2g(L + \frac{mg}{k})}$

第 3 問 次の問 1～3 に答えなさい。

問 1 容器に温度計，圧力計，ヒーターを入れて密閉し，容器内の空気を温める。ヒーターの発熱量を一定にして，圧力と温度の変化を計測した。

時間に対する温度の変化についての記述 **I 群**（ア，イ）と，温度に対する圧力の変化についての記述 **II 群**（A～C）で，正しい記述はどれか。最も適当な組み合わせを，下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

19



I 群

- ア 温度は時間に対して直線的に上昇する。
イ 温度は時間に対して上昇の割合が次第に小さくなる。

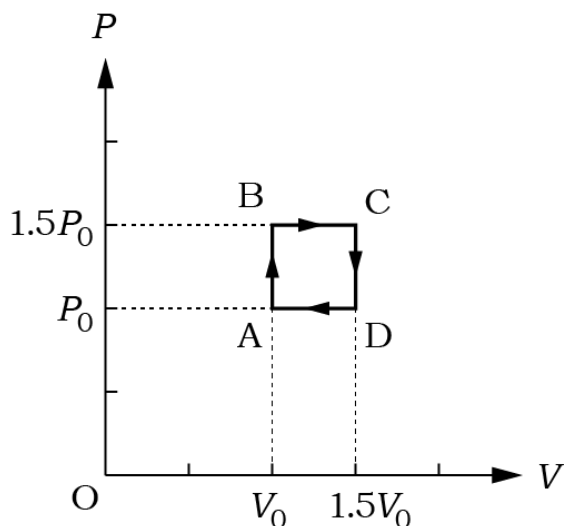
II 群

- A 圧力は温度に対して直線的に上昇する。
B 圧力は温度に対して上昇の割合が次第に小さくなる。
C 圧力は温度に対して上昇の割合が次第に大きくなる。

	I 群	II 群
①	ア	A
②	ア	B
③	ア	C
④	イ	A
⑤	イ	B
⑥	イ	C

問 2 図は、1 モルの単原子分子からなる理想気体の状態変化を示している。はじめ、気体は状態 A (P_0, V_0, T_0) にあり、その後状態 B ($1.5P_0, V_0, T_B$), C ($1.5P_0, 1.5V_0, T_C$), D ($P_0, 1.5V_0, T_D$), A とゆっくりと状態を変化させる。過程 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を一巡させたときの熱効率はいくらか。最も適当なものを、下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

20



- ① 0.095 ② 0.133 ③ 0.286 ④ 0.400 ⑤ 0.667 ⑥ 1.000

問 3 2 原子分子理想気体の定積モル比熱 C_v と定圧モル比熱 C_p は、気体定数を R とすると、それぞれ $5R/2$ と $7R/2$ である。この気体の断熱変化では、気体の圧力 p 、体積 V 、比熱比 $\gamma = C_p/C_v$ とすると、ポアソンの法則 $pV^\gamma = \text{一定}$ が成り立つ。

シリンダーに詰めた空気をピストンで瞬間的に圧縮する。最初の温度を 300 K として、体積を $1/10$ に圧縮すると空気の温度はいくらになるか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。ただし、空気を 2 原子分子理想気体として考えなさい。

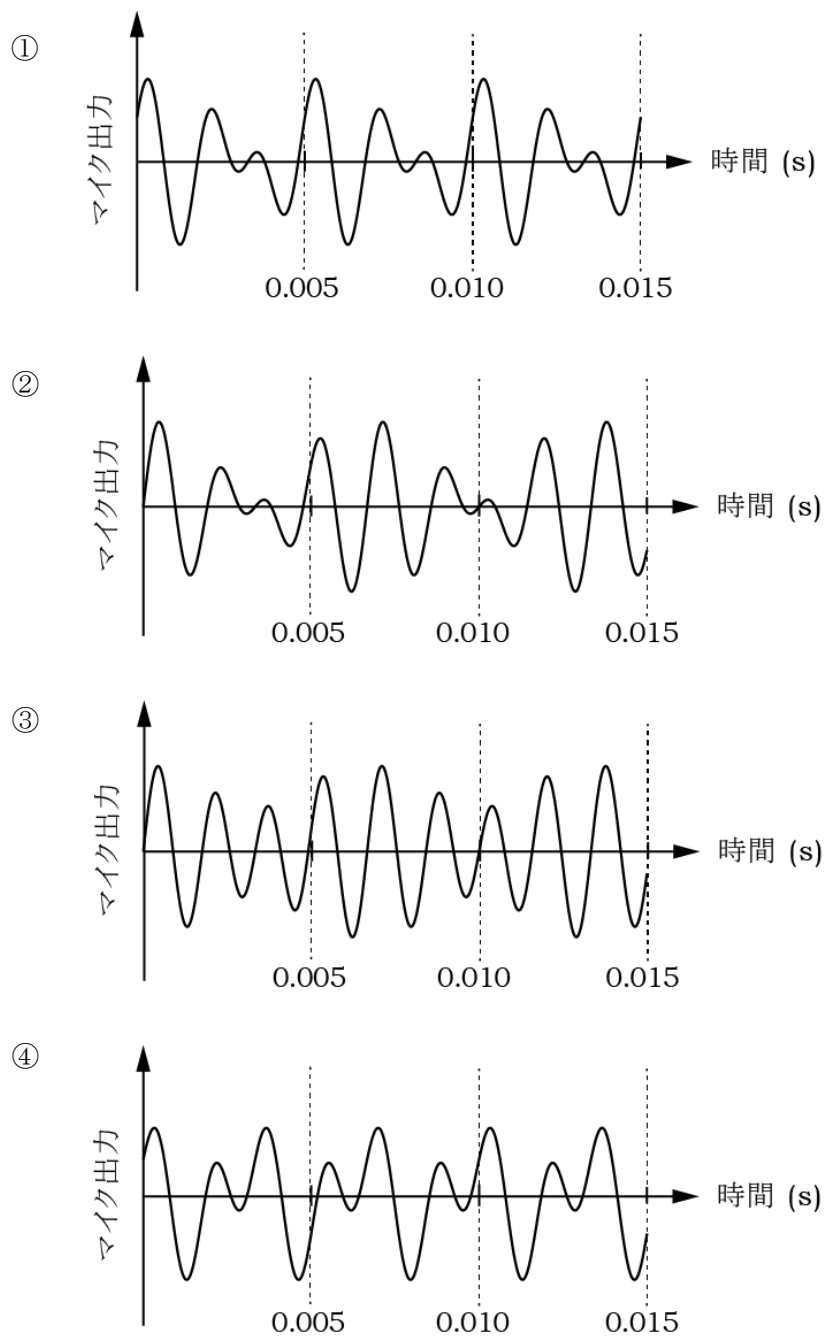
21

- ① 600 K ② 750 K ③ 900 K ④ 1200 K ⑤ 1500 K

第4問 次の問1, 2に答えなさい。

問1 400 Hz と 600 Hz の2つの正弦波の音が同時に鳴っているとき、マイクとオシロスコープを使って音波の波形を観察した。観察される波形はどうなるか。最も適当なグラフを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

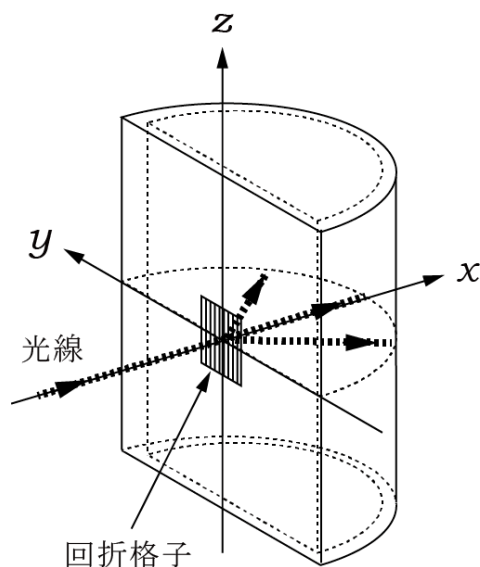
22



問2 図のような半径10 cmの半円筒の透明な水槽がある。最初、空の水槽を水平な台上に置き、半円筒の平らな側面の中心部内側に回折格子を密着させる。この回折格子に、図の x 軸に沿ってレーザー光を照射したところ、円筒部に 0次, 1次, … の回折した明点が観測された。1次の明点の1つは, $(x, y) = (8.1 \text{ cm}, 5.9 \text{ cm})$ に観測された。

この状態で、水槽に屈折率1.3の水を満たしたところ、この明点の位置が移動した。このとき、この明点の位置の y 座標はいくらか。最も適当なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。

23

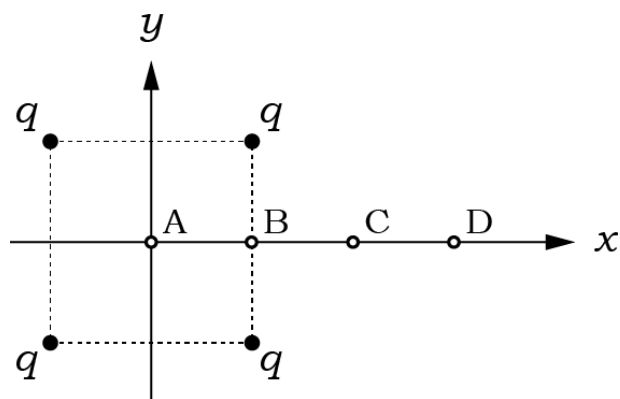


- ① 3.1 cm ② 4.5 cm ③ 5.3 cm ④ 6.9 cm ⑤ 7.7 cm

第5問 次の問1～4に答えなさい。

問1 図のように、正の点電荷 q が正方形の頂点にそれぞれ固定されている。図の x 軸上に等間隔に点 A, B, C, D をとる。この中で電場の大きさが最も大きくなる点はどこか。最も適当なものを、下の①～④の中から1つ選びなさい。

24



① A

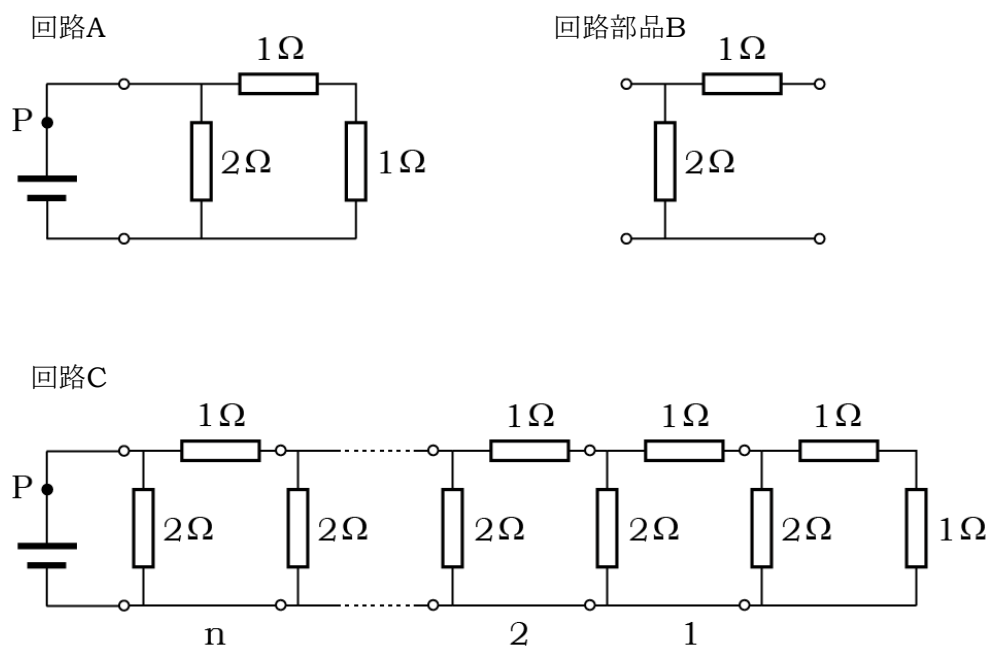
② B

③ C

④ D

問2 図のように、回路Aの中に回路部品Bを n 個組み入れて、回路Cをつくった。回路Aで点Pを流れる電流を I とすると、回路Cで点Pを流れる電流はどうか。最も適当なものを、下の①～⑥の中から1つ選びなさい。

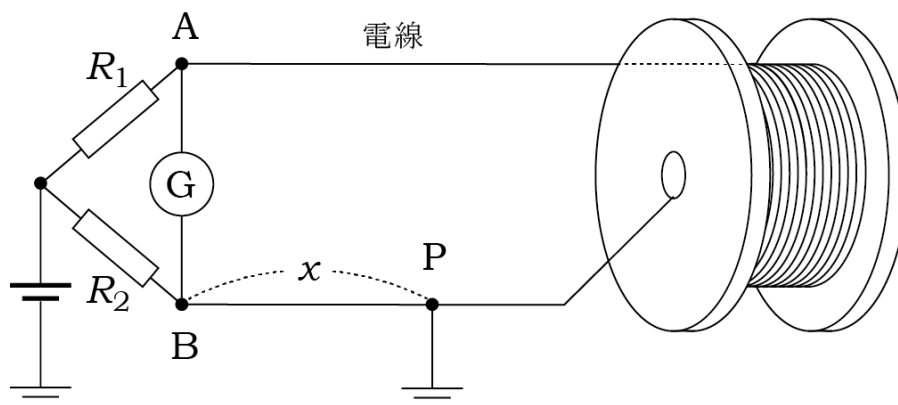
25



- | | | |
|-------------|------------|---------|
| ① nI | ② $(n+1)I$ | ③ I/n |
| ④ $I/(n+1)$ | ⑤ $(n-1)I$ | ⑥ I |

問 3 ドラムに巻いた長さ L の電線がある。電線の両端を A, B として、途中の点 P が接地されている。点 P の位置を調べるために、図のような配線をして、抵抗値 R_1 と R_2 を検流計 G に電流が流れないように調整した。BP の長さ x はいくらか。最も適当なものを、下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。ただし、電線の単位長さ当たりの抵抗は一樣であり、ドラムに巻いてあることの影響は考慮しなくてよい。

26



① $L \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

② $L \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

③ $L \frac{R_1}{R_1 - R_2}$

④ $L \frac{R_2}{R_1 - R_2}$

⑤ $L \frac{R_1 - R_2}{R_1}$

⑥ $L \frac{R_1 - R_2}{R_2}$

問 4 図 1 のように、手回し発電機と風力発電機（直流出力）を抵抗に並列に接続した。風力発電機のスイッチだけを ON にして、羽根に風をあてた場合、抵抗両端の電圧の変化は図 2 のようになった。風力発電機の羽根にあてる風は一定とする。

次に、風力発電機のスイッチを OFF にして、手回し発電機のスイッチを ON にした場合、抵抗両端の電圧の変化は図 3 のようになった。図 2 と図 3 の横軸と縦軸のスケールは同じである。このまま風力発電機のスイッチを ON にし、風力発電機に流れる電流の向きと羽根の回転の速さはどうなるか。

電流についての記述 **I 群**（ア～ウ）と、風力発電機についての記述 **II 群**（A～C）の組み合わせとして、最も適当なものを、下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

27

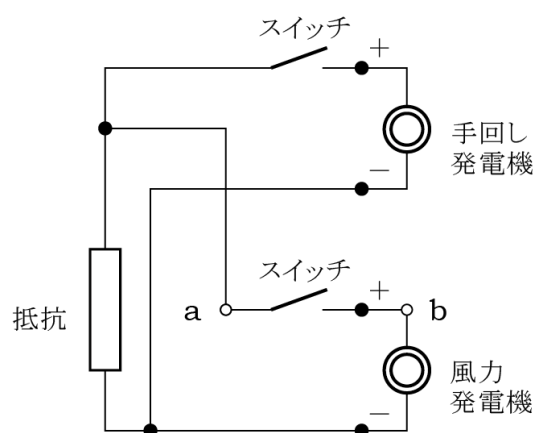


図 1

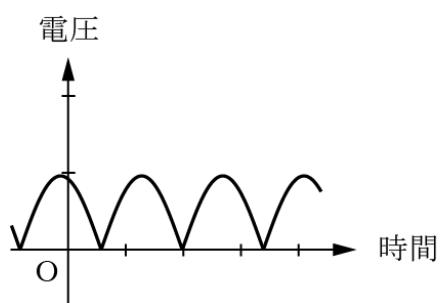


図 2

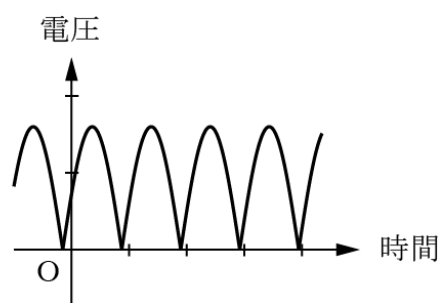


図 3

I 群

ア a からスイッチを通過して b の向きに流れる。

イ b からスイッチを通過して a の向きに流れる。

ウ 流れない。

II 群

A 速く回転する。

B 遅く回転する。

C 回転しない。

	I 群	II 群
①	ア	A
②	ア	B
③	イ	A
④	イ	B
⑤	ウ	A
⑥	ウ	C

第 6 問 次の問 1, 2 に答えなさい。

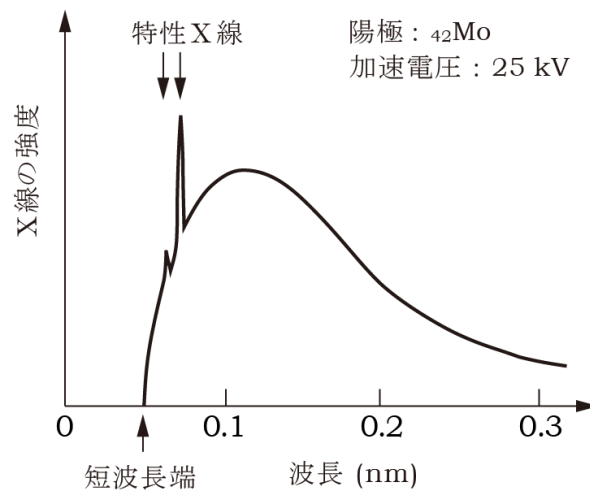
問1 放射性核種の窒素 ^{13}N の半減期を 10 分とする。1 g の ^{13}N は 5 分後に何 g になるか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

28

- ① 0.92 g ② 0.84 g ③ 0.71 g ④ 0.50 g

問2 電子を数 10 kV の電圧で加速し、陽極に衝突させると X 線が発生する。次の図は、加速電圧 25 kV、陽極を $_{42}\text{Mo}$ にしたときの実験結果である。同じ加速電圧で、陽極を $_{29}\text{Cu}$ に変えて、X 線が発生させたときは、どのような結果が得られるか。最も適当な説明を、下の①～⑨の中から1つ選びなさい。

29



- ① 短波長端の波長、特性 X 線の波長は変化しない。
② 短波長端の波長は変化しない。特性 X 線の波長は長波長側に移動する。
③ 短波長端の波長は変化しない。特性 X 線の波長は短波長側に移動する。
④ 短波長端の波長は長波長側に移動し、特性 X 線の波長は変化しない。
⑤ 短波長端の波長は長波長側に移動し、特性 X 線の波長は長波長側に移動する。
⑥ 短波長端の波長は長波長側に移動し、特性 X 線の波長は短波長側に移動する。
⑦ 短波長端の波長は短波長側に移動し、特性 X 線の波長は変化しない。
⑧ 短波長端の波長は短波長側に移動し、特性 X 線の波長は長波長側に移動する。
⑨ 短波長端の波長は短波長側に移動し、特性 X 線の波長は短波長側に移動する。

