

物理チャレンジ 2016

第1チャレンジ

理論問題コンテスト

2016年7月10日(日)

13:30~15:00

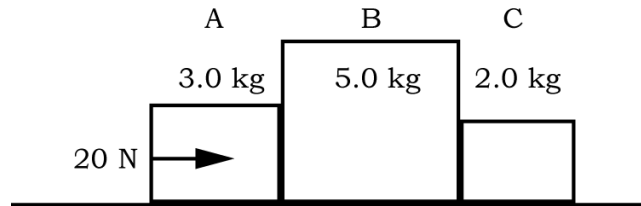
理論問題コンテストにチャレンジする前に下記の<注意事項>をよく読んでください。
問題は第1問から第7問で構成されています。どの問題から取り組んでも結構です。
最後まであきらめず、チャレンジしてください。

<注意事項>

1. 開始の合図があるまで、問題冊子(全18ページ)を開けてはいけません。
2. 電卓を使用することはできません。携帯電話などを時計として使用することはできません。携帯電話などは必ず電源を切ってかばんの中にしまってください。
3. 参考図書(教科書、参考書、問題集、ノート、専門書)を持ち込むことができます。解答用紙の指定の欄に、持ち込んだ参考図書名を記入してください(参考図書を持ち込まなかった場合は「なし」と書いてください)。
4. 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、氏名と持ち込んだ参考図書名を必ず記入(マーク)してください。**
5. 問題ごとに解答欄が①, ②, ... ③⑩と指定されているので、**必ず、その番号の解答欄にマークしてください。**
6. 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。
7. 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。
8. 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場合があります。
9. 退出の際に問題冊子は持ち帰ってください。

第1問 問1～9に答えなさい。

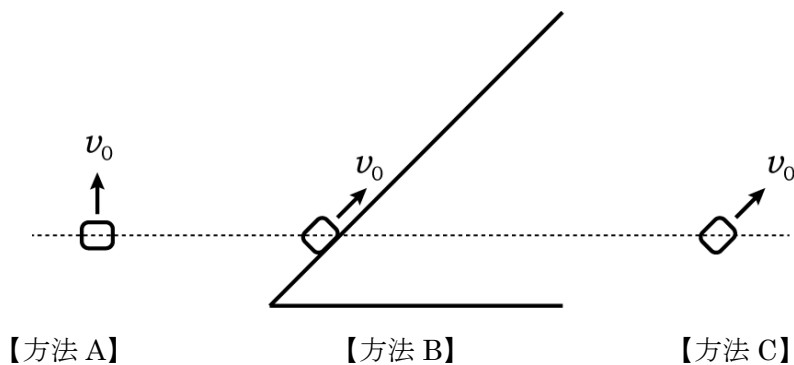
問1 図のように、なめらかで水平な床の上に、3つの物体A、B、Cが、お互い接するように置かれている。Aを水平右向きに20 Nの力で押すと、A、B、Cは床に接したまま一体となって右向きに動きだした。A、B、Cの質量はそれぞれ3.0 kg、5.0 kg、2.0 kgである。BがCを押し力の大きさはいくらか。最も適当なものを、下の①～④の中から1つ選びなさい。 1



- ① 4.0 N ② 5.0 N ③ 10 N ④ 20 N

問2 質量 m の小物体を次のA、B、Cの方法で、同じ初速 v_0 で打ち出した。それぞれの最高点の高さを比較して、最も高くなるのはどの方法か。最も適当なものを、下の①～⑦の中から1つ選びなさい。 2

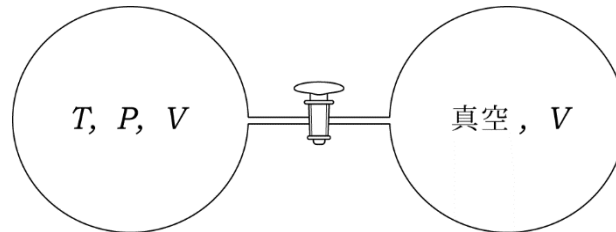
- A: 鉛直上向きに打ち出す。
 B: 水平から角度 45° のなめらかな十分に長い斜面上で斜面に沿って打ち出す。
 C: 水平より角度 45° 上方に打ち出す。



- ① A ② B ③ C
 ④ AとB ⑤ BとC ⑥ AとC ⑦ すべて同じ

問 3 図のような、同じ容積 V の断熱容器が細いパイプでつながれ、コックで遮断されている。左側の容器には温度 T 、圧力 P の理想気体が入っている。右側の容器は真空中に保たれている。コックを開いて十分時間が経過した後の気体の温度 T' と圧力 P' はいくらか。組み合わせとして最も適当なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし、パイプやコックの容積は無視でき、これらも断熱されているとする。

3



- ① $T' = T, P' = P$ ② $T' = T, P' = \frac{P}{2}$ ③ $T' = \frac{T}{2}, P' = P$
 ④ $T' = \frac{T}{2}, P' = \frac{P}{2}$ ⑤ ①～④のいずれでもない。

問 4 ガラス中から空気中に光線を入射させたとき、屈折光と反射光の明るさ(光量)について考える。入射角を 0° から増加させていくとき、屈折光と反射光の光量はどうか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

4

	屈折光の光量	反射光の光量
①	入射角がある角度までは一定で変化しないが、ある角度以上になると0となる。	減少していくが、ある角度以上になると増加する。
②	入射角がある角度までは一定で変化しないが、ある角度以上になると0となる。	ある光量になるまで増加していき、その後は一定で変化しない。
③	入射角がある角度までは一定で変化しないが、ある角度以上になると0となる。	一定で変化しない。
④	減少していき、入射角がある角度以上になると0となる。	減少していくが、ある角度以上になると増加する。
⑤	減少していき、入射角がある角度以上になると0となる。	ある光量になるまで増加していき、その後は一定で変化しない。
⑥	減少していき、入射角がある角度以上になると0となる。	一定で変化しない。

問 5 x 軸上の波について考える。この波の時刻 t , 位置 x における変位 y を表す式を次に示した。それぞれの式が表す波は、どのような波であるか。そ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。ただし、 A_1, A_2, A_3 は定数、 f, f_1, f_2 は振動数 (f_1 と f_2 の差は小さい)、 $\lambda, \lambda_1, \lambda_2$ は波長を表す。 5

$$y = A_1 \sin \left\{ 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right) \right\}$$

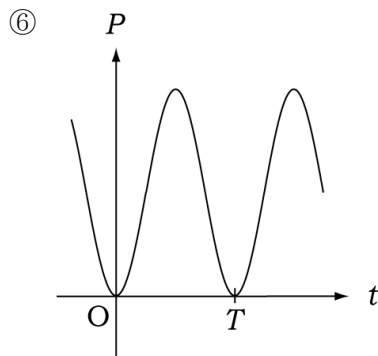
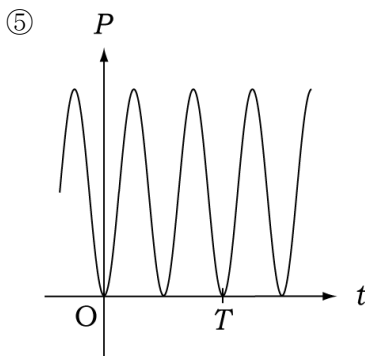
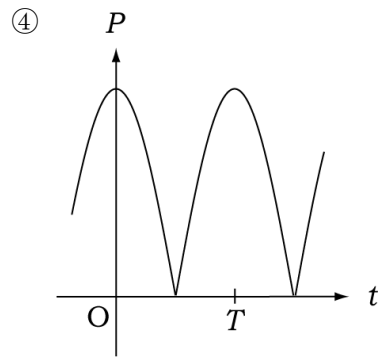
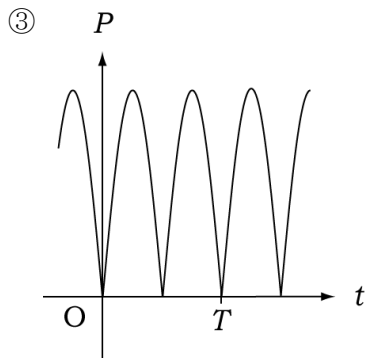
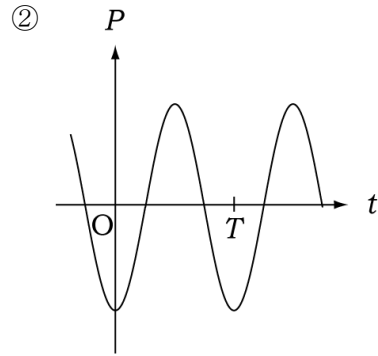
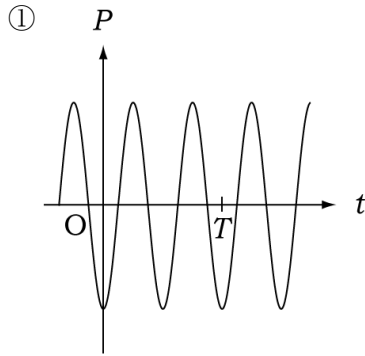
$$y = A_2 \sin(2\pi ft) \cos(2\pi \frac{x}{\lambda})$$

$$y = A_3 \sin \left\{ \pi(f_1 + f_2)t - \pi \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \right) x \right\} \cos \left\{ \pi(f_1 - f_2)t - \pi \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) x \right\}$$

$y =$	$A_1 \sin \left\{ 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right) \right\}$	$A_2 \sin(2\pi ft) \cos(2\pi \frac{x}{\lambda})$	$A_3 \sin \left\{ \pi(f_1 + f_2)t - \pi \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \right) x \right\}$ $\times \cos \left\{ \pi(f_1 - f_2)t - \pi \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) x \right\}$
①	うなり	進行波	定常波
②	うなり	定常波	進行波
③	進行波	うなり	定常波
④	進行波	定常波	うなり
⑤	定常波	うなり	進行波
⑥	定常波	進行波	うなり

問 6 交流電源に抵抗器をつないだ。縦軸を抵抗器で消費される電力 P 、横軸を時刻 t としてグラフを描くと、どのようになるか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。ただし、電圧の周期を T とする。

6



問 7 図1のように、起電力が 3.0 V の電池 E 、 $130\ \Omega$ の抵抗 R_1 と $300\ \Omega$ の抵抗 R_2 を直列に接続した回路を作った。この回路に流れる電流と抵抗 R_2 の両端の電圧を測定しようと、理科室にあったアナログの電流計、電圧計を接続した。しかし、間違えて図2のように接続してしまった。このとき、電圧計と電流計の示す値はいくらか。そ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

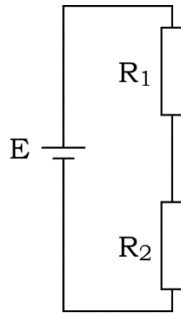


図 1

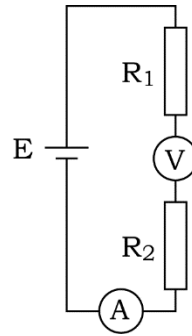


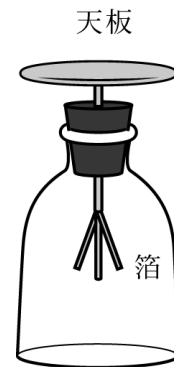
図 2

	電圧 [V]	電流 [mA]
①	ほとんど 0	ほとんど 0
②	2.1	ほとんど 0
③	3.0	ほとんど 0
④	ほとんど 0	7.0
⑤	2.1	7.0
⑥	3.0	7.0

問 8 図のように、箔が帯電して開いている箔検電器がある。正に帯電した棒をこの箔検電器の天板にゆっくりと近づけていくと、箔は一度閉じて、再び開いた。次に、この帯電した棒を遠ざけて、帯電していない薄い絶縁シートで天板を覆った。さらに、絶縁シートの上に天板と同じ大きさの金属円板をのせ、金属円板を指で触った。このとき箔の開きはやや小さくなったが、閉じることはなかった。上にのせた金属円板と箔の帯電状態はどうなっているか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

8

- ① 金属円板は正に帯電している。箔は正に帯電している。
- ② 金属円板は負に帯電している。箔は負に帯電している。
- ③ 金属円板は正に帯電している。箔は負に帯電している。
- ④ 金属円板は負に帯電している。箔は正に帯電している。
- ⑤ 金属円板は帯電していない。箔は正に帯電している。
- ⑥ 金属円板は帯電していない。箔は負に帯電している。



問 9 国際単位系 (SI) は、長さ[m]、質量[kg]、時間[s]、電流[A]、温度[K]、物質[mol]、光度[cd] を基本単位としている。これらの基本単位を組み合わせ、万有引力定数の単位と、磁束密度を表す単位はどうなるか。その組み合わせとして、最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

9

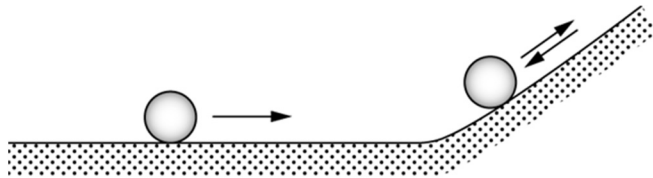
	万有引力定数	磁束密度
①	$\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s}^2)$	A/m
②	$\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s}^2)$	$\text{kg}/(\text{s}^2\cdot\text{A})$
③	$\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s}^2)$	$\text{kg}\cdot\text{m}/(\text{s}^2\cdot\text{A}^2)$
④	$\text{kg}\cdot\text{m}^3/\text{s}^2$	A/m
⑤	$\text{kg}\cdot\text{m}^3/\text{s}^2$	$\text{kg}/(\text{s}^2\cdot\text{A})$
⑥	$\text{kg}\cdot\text{m}^3/\text{s}^2$	$\text{kg}\cdot\text{m}/(\text{s}^2\cdot\text{A}^2)$

第2問 問1～4に答えなさい。

問1 止まっているエレベーターの中で、長さ l の振り子の周期を測定したところ T_0 であった。このエレベーターが、止まっているところから一定の加速度で上昇を始めたとき、振り子の周期を測定すると T であった。このエレベーターの加速度の大きさはいくらか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 10

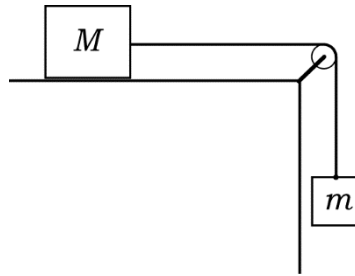
- ① $(2\pi)^2 \frac{l}{(T_0 - T)^2}$ ② $(2\pi)^2 \frac{l}{(T_0 + T)^2}$ ③ $(2\pi)^2 \frac{l}{(T - T_0)^2}$
 ④ $(2\pi)^2 l \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2} \right)$ ⑤ $(2\pi)^2 l \left(\frac{1}{T^2} + \frac{1}{T_0^2} \right)$ ⑥ $(2\pi)^2 l \left(\frac{1}{T_0^2} - \frac{1}{T^2} \right)$

問2 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、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、最も適当なものを、下の①～④の中から1つ選びなさい。 11



- 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 3 図のように、質量 M の物体を水平な机の上に置き、物体に糸を取り付け、軽い滑車を通して他端に質量 m のおもりを吊した。物体におもりを吊している方向に初速を与えたところ、物体は等速直線運動をした。物体にはたらく糸の張力の大きさ T と、物体にはたらく摩擦力の大きさ f 、おもりにはたらく重力の大きさ mg の関係を表したものとして、最も適当なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし、 g は、重力加速度の大きさとする。 12



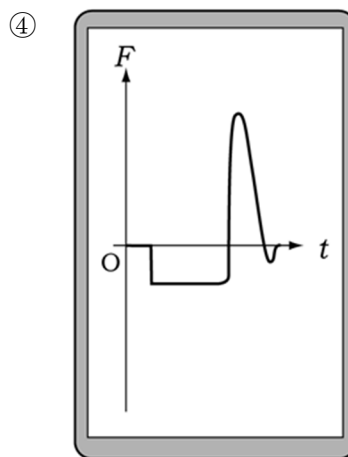
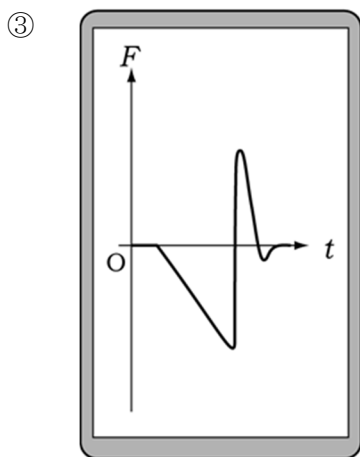
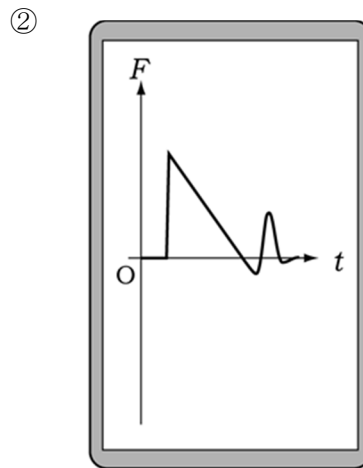
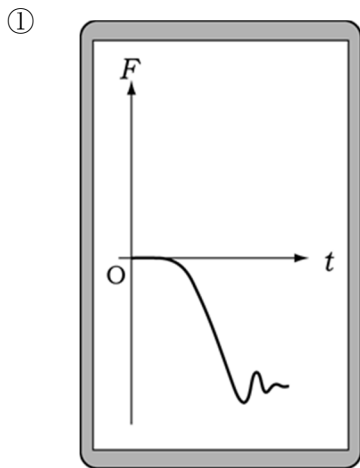
- ① $f < T, T < mg$ ② $f < T, T = mg$ ③ $f = T, T < mg$
 ④ $f = T, T > mg$ ⑤ $f = T, T = mg$

問 4 スマートフォンには重力をもとにしてスマートフォンの向きを判別するセンサーが内蔵されている。この内蔵センサーを使って、そのスマートフォン自体が受けている力(合力)をリアルタイムで計測するアプリケーションをつくった。

アプリケーション画面には、時間を横軸、画面に垂直な方向の力の成分を縦軸にとったグラフが表示される。力の成分の符号は画面に垂直に裏から表の向きが正である。

スマートフォンを画面が上向きになるように水平に保持し、このアプリケーションのグラフ描画を起動した。このとき、力は0を示した。この後、静かに手を放してスマートフォンを自由落下させ、床に敷いたクッションの上に落とした。落下中、スマートフォンは水平に保たれ、回転はしなかったものとする。力の画面に垂直方向の成分のグラフはどのように表示されるか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

13



第3問 問1～3に答えなさい

問1 断熱容器に -15°C の氷 100 g を入れ、 25°C の水を加えて平衡状態にする。このとき半分の氷を解かして容器内を氷水の状態にするのに必要な水の量はいくらか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし、水の比熱を $4.2\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ 、氷の比熱を $2.2\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ 、 0°C の氷の融解熱を 330 J/g とし、断熱容器の熱容量は考えないものとする。

14

- ① 100 g ② 190 g ③ 280 g ④ 370 g ⑤ 460 g

問2 同じ3つの容器に、それぞれ圧力 $1.0\times 10^5\text{ Pa}$ の同じ単原子の分子理想気体を 1.0 mol ずつ封入し、次の(ア)、(イ)、(ウ)の方法において、気体の状態を変化させたところ、気体の温度はすべて 3.0 K 上昇した。

- (ア)の方法 : 断熱で圧縮する
(イ)の方法 : 体積を一定にして加熱する
(ウ)の方法 : 圧力を一定にして加熱する

それぞれの気体の状態変化のためのエネルギーは外界から与えられたものとして、必要なエネルギーの値を計算しなさい。(ア)、(イ)、(ウ)それぞれについて、最も適当な値を、下の①～⑥の中から各々1つずつ選びなさい。(ア)、(イ)、(ウ)に同じ番号を選んでもよい。ただし、気体定数を $8.3\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ とする。

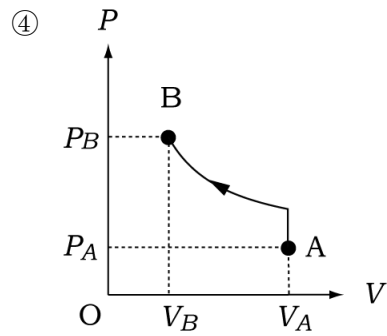
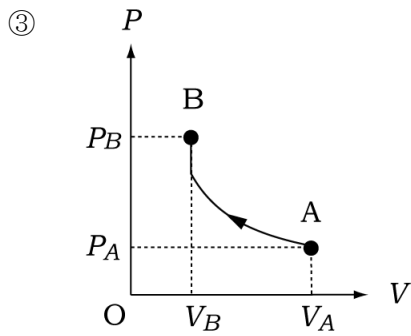
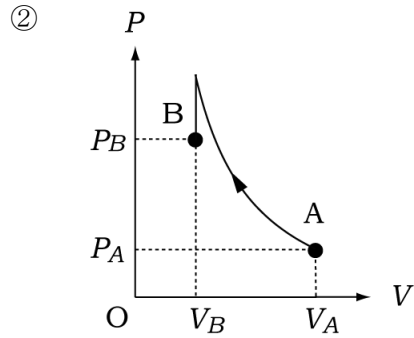
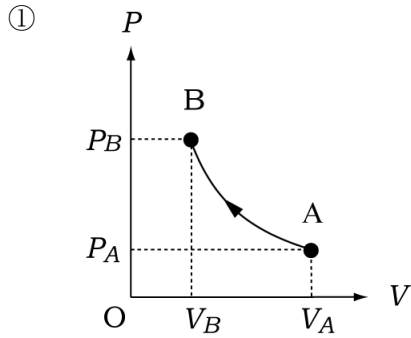
(ア) 15

(イ) 16

(ウ) 17

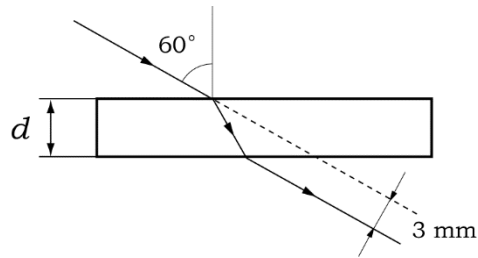
- ① 13 J ② 25 J ③ 37 J ④ 62 J
⑤ 87 J ⑥ 計算できない。

問3 熱の出入り可能なシリンダーに理想気体を入れ、周囲の温度 T は変化しないものとして、状態 $A (P_A, V_A, T)$ からピストンで気体を急激に圧縮して体積を V_B にした。圧力と体積はどのように変化するか。ただし、グラフに示した B の状態は (P_B, V_B, T) である。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 18



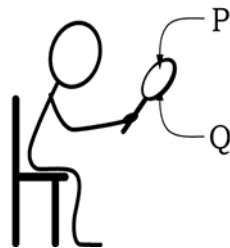
第4問 問1～3に答えなさい。

問1 屈折率1.5のガラス板に入射角 60° で光を入射させた。ガラス板を出た光線は、入射光の延長線と3 mm変位した。ガラス板の厚さ d 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。 19



- ① 3 mm ② 4 mm ③ 5 mm ④ 6 mm

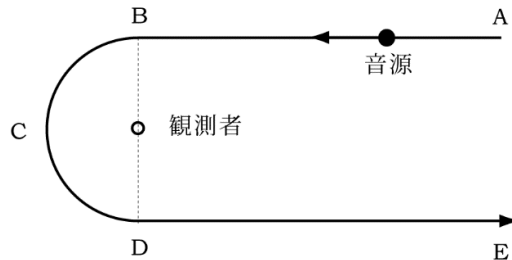
問2 図のような位置で、口径の大きな虫眼鏡(両凸レンズ)を、眼から離して見たところ、後方にある明るい電球の像が2つ見えた。これらの像についての説明として、最も適当なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。 20



- ① 凸レンズによる実像と、凸レンズの手前の曲面 P による虚像。
- ② 凸レンズによる実像と、凸レンズの向こう側の曲面 Q による実像。
- ③ 凸レンズによる虚像と、凸レンズの手前の曲面 P による虚像。
- ④ 凸レンズによる虚像と、凸レンズの向こう側の曲面 Q による実像。
- ⑤ 凸レンズの手前の曲面 P による虚像と、向こう側の曲面 Q による実像。

問3 一定の振動数 f_0 の音を発する音源が、図のように、経路 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ を一定の速さで運動している。経路 $B \rightarrow C \rightarrow D$ の部分は円弧で観測者はその中心点にいる。観測者が聞く音の振動数の変化を表しているグラフとして、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、風の影響は考えないものとする。

21



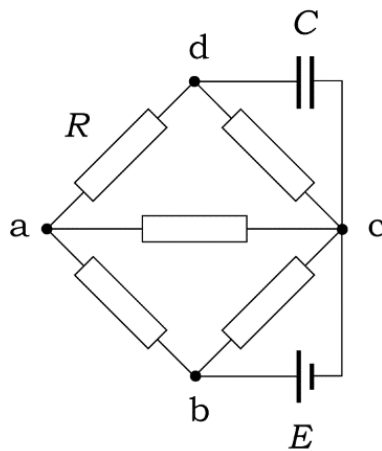
- ①
-
- ②
-
- ③
-
- ④
-

第5問 問1～4に答えなさい。

問1 xy 平面の座標 $(1, 0)$ の位置に $+q$ [C] の電荷, $(-1, 0)$ の位置に $-2q$ [C] の電荷を置くとき, $(0, 1)$ の位置での電場(電界)の強さはいくらか。最も適当なものを, 次の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし, k はクーロンの法則の比例定数である。 22

- ① $\frac{kq}{4}$ ② $\frac{kq}{2}$ ③ $\frac{\sqrt{5}}{2}kq$ ④ $\sqrt{\frac{3}{2}}kq$ ⑤ $\frac{3}{2}kq$

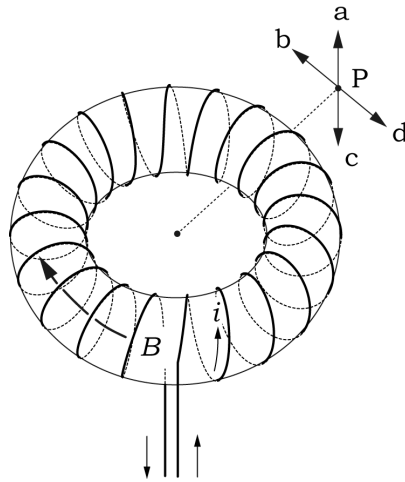
問2 図のように, 抵抗値 R の抵抗を5つ, 電気容量 C のコンデンサー, 起電力 E の電池を用いて回路を作った。十分時間が経過したとき, コンデンサーに蓄えられている電気量はいくらか。最も適当なものを, 下の①～⑤の中から1つ選びなさい。 23



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

問3 図のように、コイルの両端を合わせて円形のトロイダルコイルを作った。トロイダルコイルにおいて、導線は密に巻かれている。コイルに図中の i の矢印の向きに電流を流すと、コイル内には図中の B の矢印の向きに磁場が生じた。このコイルの外側 P 点における磁場(磁界)の向きはどちら向きか。最も適当なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。

24



- ① a の向き ② b の向き ③ c の向き ④ d の向き
 ⑤ 磁場はない

問4 自己インダクタンス 4.0 mH のコイル、電気容量 $10 \text{ }\mu\text{F}$ のコンデンサーと正弦波の発振器を直列に接続して回路を作った。次の(ア)と(イ)に答えなさい。

(ア) 発振器の周波数が 2000 Hz のとき、コイルのリアクタンスの大きさはいくらか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

25

- イ $2.5 \text{ }\Omega$ ② $5.0 \text{ }\Omega$ ③ $8.0 \text{ }\Omega$ ④ $25 \text{ }\Omega$ ⑤ $50 \text{ }\Omega$

(イ) この回路で、コイルとコンデンサーのリアクタンスの大きさが等しくなる発振器の周波数はいくらか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

26

- ① 200 Hz ② 400 Hz ③ 600 Hz
 ④ 800 Hz ⑤ 1000 Hz ⑥ 5000 Hz

第6問 問1, 2 に答えなさい。

問1 電子の性質についての説明で誤っているものを, 次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

27

- ① 電子を加速すると電磁波を放出する。
- ② 電子の質量は, 速度により変化する。
- ③ 電子の位置を定めると運動量は定まらない。
- ④ 電子は, 個々に区別できない。
- ⑤ 電子の一波長は, エネルギーの大きさに正比例する。

問2 成層圏界面付近では, 窒素分子や酸素分子が太陽からの紫外線を吸収して, イオン化する反応が起こっている。酸素分子のイオン化エネルギーを 12 eV とすると, 酸素分子が吸収している波長はいくらになるか。光速度を $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$, 素電荷を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, プランク定数を $6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ とし、最も適当なものを, 次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

28

- ① $1.0 \times 10^2 \text{ nm}$
- ② $1.2 \times 10^2 \text{ nm}$
- ③ $1.5 \times 10^2 \text{ nm}$
- ④ $1.8 \times 10^2 \text{ nm}$
- ⑤ $2.0 \times 10^2 \text{ nm}$

第7問 問1, 2 に答えなさい。

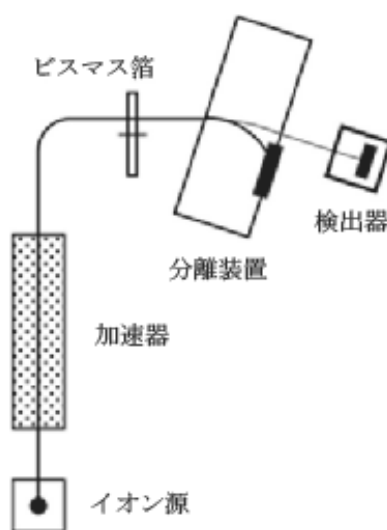
2015年12月、日本で発見された新元素が国際機関から「113番目の新元素」と認められ、発見グループは、その名前および元素記号を提案できる命名権を得た。

113番の新元素は図のような装置により作られた。イオン源では毎秒2.4兆個の亜鉛原子($^{70}_{30}\text{Zn}$)イオンが作られる。これを加速器により最適なエネルギーに加速して、毎分3000回転の円盤に取り付けた $0.5\ \mu\text{m}$ 厚のビスマス($^{209}_{83}\text{Bi}$)箔に衝突させる。このとき、非常に低い確率ではあるが、 $^{70}_{30}\text{Zn}$ と $^{209}_{83}\text{Bi}$ の原子核が衝突し、融合して、113番元素である $^{278}113$ が作られる。

このような方法で作られる113番元素は検出も難しい。113番元素の原子核は、ビスマス箔を通過する大量の亜鉛原子イオンのビームの中に混ざっている。

113番元素を含んだ亜鉛原子イオンビームがヘリウムガス中を通過すると、113番元素はヘリウム原子と電子をやり取りをして、+12価の陽イオンになる。このビームを分離装置の強力な磁場中を通過させることで113番元素だけを選別することができる。その後、選別した113番元素を検出器に導いた。

研究グループは、2004年7月23日に113番元素をはじめて作り、検出した。2005年4月2日に2回目の検出に成功した。検出器に入った元素の原子核は α 崩壊を4回起こしてドブニウム(Db)の原子核に変化したことを確認した。その後も実験を続け、2012年8月12日に3回目の検出に成功した。113番元素が間違いなくつくられた証拠は、 α 崩壊を6回起こして、知られている原子核Xに到達したことである。これにより113番の新元素の発見が認められた。



実験装置の概念図
(理研HPより)

問1 113番元素の選別には荷電粒子が磁場中で円運動をすることが利用された。+12価の電荷をもつ質量 m の粒子を、速さ v で磁束密度 B の一様な磁場に入射するとき、粒子の円軌道の半径はいくらか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。ただし、電子1個の持つ電荷の大きさを e とする。

29

- | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| ① $12evB$ | ② $\frac{\pi m}{6eB}$ | ③ $\frac{mv}{12eB}$ |
| ④ $\frac{1}{12evB}$ | ⑤ $\frac{12eB}{mv}$ | ⑥ $\frac{6eB}{\pi m}$ |

問 2 原子核 X は何か。最も適当なものを、次の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

30

