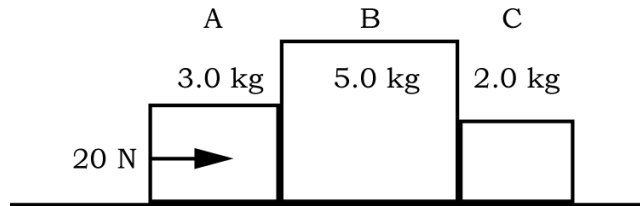


第1問 問1～9に答えなさい。

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

A, B, C の質量は $3.0+5.0+2.0=10.0\text{kg}$

一緒に動くということは、同じ加速度 a で動いているので、

運動方程式 $F = ma$ より

$$20 = 10 a$$

よって

$$a = 2 \text{ m/s}^2$$

質量 2.0 kg の C が加速度 $a = 2 \text{ m/s}^2$ で動いているので

運動方程式 $F = ma$ より

$$F = 2 \cdot 2 = 4 \text{ N}$$

正解は ① 4.0 N

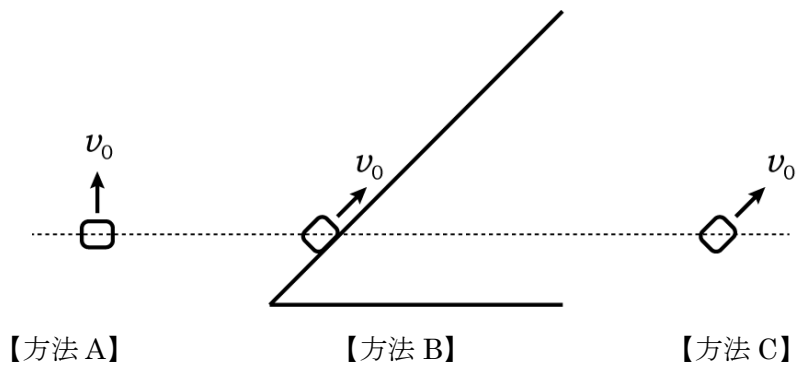
問2 質量 m の小物体を次の A, B, C の方法で、同じ初速 v_0 で打ち出した。それぞれの最高点の高さを比較して、最も高くなるのはどの方法か。最も適当なものを、下の①～⑦の中から1つ選びなさい。

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

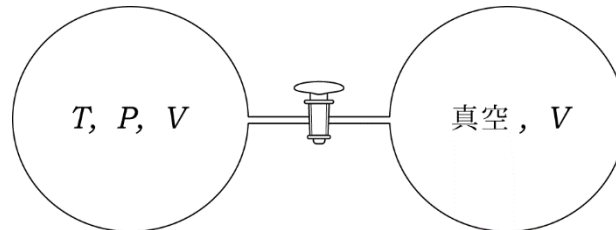
方法 A と方法 B では力学的エネルギー保存則より、初速度 v_0 のもつ運動エネルギーと同じ位置エネルギーの高さまで上がる。

方法 C では、初速度 v_0 のもつ運動エネルギーは鉛直方向と水平方向に分解され、水平方向の速さは変わらないため、方法 A と方法 B の高さまでは上がらない。

正解は ④ A と B

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。

気体が膨張するので仕事をして温度が低下すると思われるかもしれませんが、気体は真空に対して拡散していくので仕事はしていません。したがって、内部エネルギーの変化は無く、温度は一定です。体積は倍になりますので、圧力は半分になります。

正解 ② $T' = T, P' = \frac{P}{2}$

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。 |

屈折光は、入射角が大きくなり、ある角度（臨界角）になると光線の強度は0になる。入射角が臨界角に近づくと光線の強度は減少する。

反射光は、入射角が大きくなるにつれ、光線の強度は増加する。全反射が起こると、強度は変化しない。

正解 ⑤

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 |

1 番目の式は、一般の波動の式で進行波を表している。

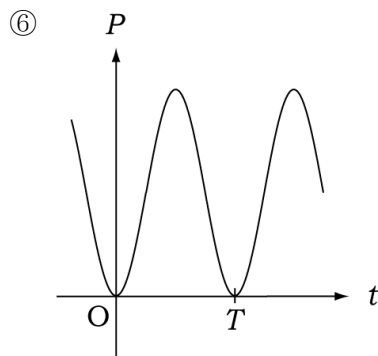
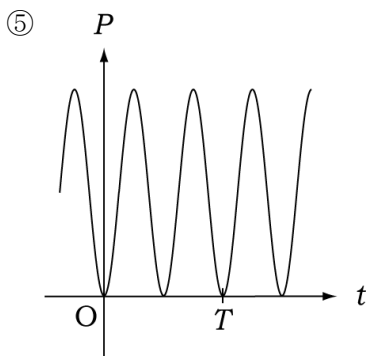
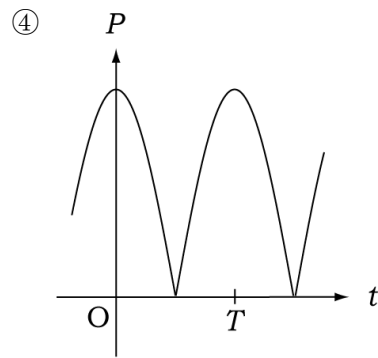
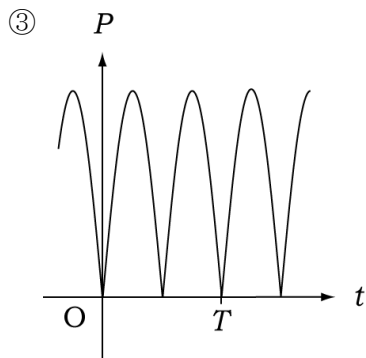
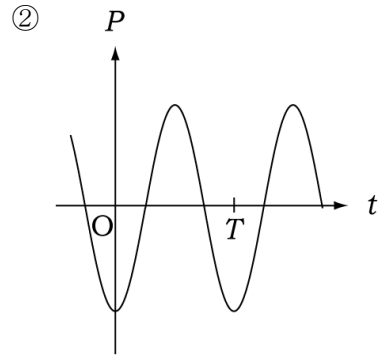
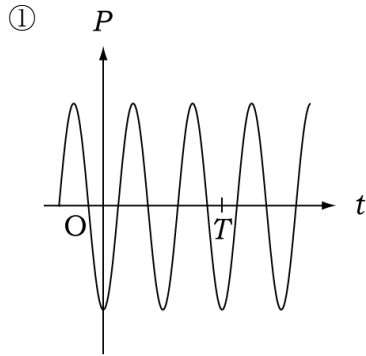
2 番目の式は、時間の項と位置の項の積となっていて、定常波を表す。

3 番目の式は、異なる振動数の波の重ねあわせで、うなりを表す。

正解 ④

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



消費電力 $P=IV=V^2/R$ で常に正である。

$V = V_0 \sin (2 \pi t / T)$ の時、 $P = V_0^2 / R \times \sin^2 (2 \pi t / T)$ となる。

正解 ⑤

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

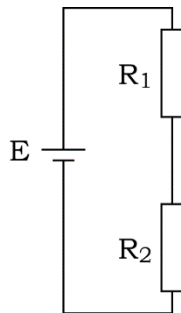


図 1

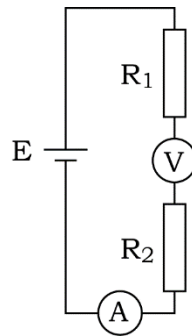


図 2

| | 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 |

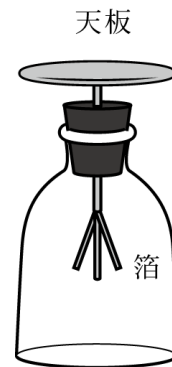
電圧計の内部抵抗は理想的には無限大である。そのため、回路にはほとんど電流は流れない。電流が流れないので、電圧降下も起こらないと考えられる。したがって、電圧計は電源の電圧を示す。

正解 ③

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。



解説 正に帯電した棒を近づけると箔が一旦閉じたことより、箔は負に帯電していたことが分かる。絶縁シートを挟んで天板と金属円板で平行平板コンデンサーが構成される。指で触れることにより金属円板は接地され、負に帯電した天板の対向電極である金属円板は正に充電される。したがって、金属円板は正に、箔は負に帯電している。

正解 ③

問 9 国際単位系(SI)は、長さ[m]、質量[kg]、時間[s]、電流[A]、温度[K]、物質質量[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 | $\text{kg} \cdot \text{m}^3 / \text{s}^2$ | $\text{kg} \cdot \text{m} / (\text{s}^2 \cdot \text{A}^2)$ |

万有引力の式 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ より $G = F \frac{r^2}{m_1 m_2}$

F の単位は kg m s^{-2} なので G の単位は $\text{kg m s}^{-2} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ kg}^{-1} = \text{m}^3 / (\text{kg s}^2)$

磁場（磁束密度）中に電流が受ける力は $F = IBl$ より $B = \frac{F}{Il}$

F の単位は kg m s^{-2} なので B の単位は $\text{kg m s}^{-2} / (\text{A m}) = \text{kg} / (\text{s}^2 \text{ A})$

正解 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

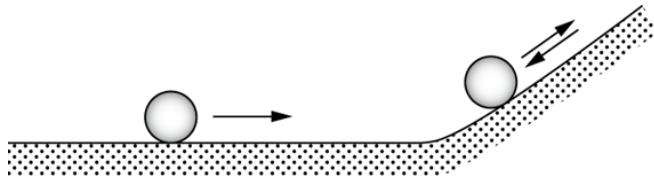
- ① $(2\pi)^2 \frac{l}{(T_0-T)^2}$ ② $(2\pi)^2 \frac{l}{(T_0+T)^2}$ ③ $(2\pi)^2 \frac{l}{(T-T_0)^2}$
④ $(2\pi)^2 l \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2} \right)$ ⑤ $(2\pi)^2 l \left(\frac{1}{T^2} + \frac{1}{T_0^2} \right)$ ⑥ $(2\pi)^2 l \left(\frac{1}{T_0^2} - \frac{1}{T^2} \right)$

解説 $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ と $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{a+g}}$ より l を消去

正解 ④

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

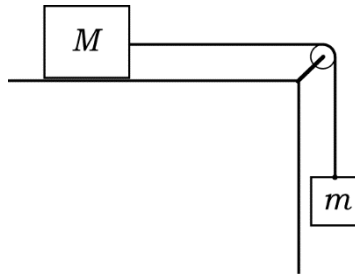


- ① 上るときも、下るときも、斜面に沿って上向き。
- ② 上るときも、下るときも、斜面に沿って下向き。
- ③ 上るときは斜面に沿って下向き。下るときは斜面に沿って上向き。
- ④ 上るときは斜面に沿って上向き。下るときは斜面に沿って下向き。

摩擦が無いと考えると、登るときは最高点で回転を続ける。摩擦があると、この回転のエネルギーが位置エネルギーに変換されるのでより高いところまで上がる。したがって、登る際の摩擦力は上向きと考えられる。下る際は、摩擦があると位置エネルギーは並進運動と回転運動に変換される。よって、下向きの運動が抑制されるので、力は上向きに働いていると考えられる。

正解 ①

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 $f = T, T = mg$

等速直線運動するということから、物体に働く力の合力は0。
 従って $f = T$ 張力も $T = mg$

正解 ⑤

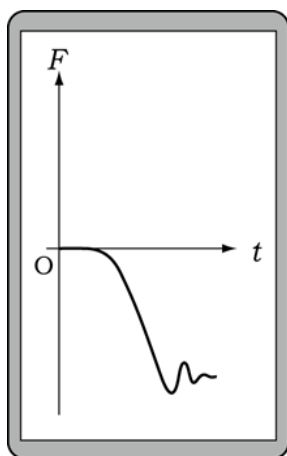
問 4 スマートフォンには重力をもとにしてスマートフォンの向きを判別するセンサーが内蔵されている。この内蔵センサーを使って、そのスマートフォン自体が受けている力(合力)をリアルタイムで計測するアプリケーションをつくった。

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。

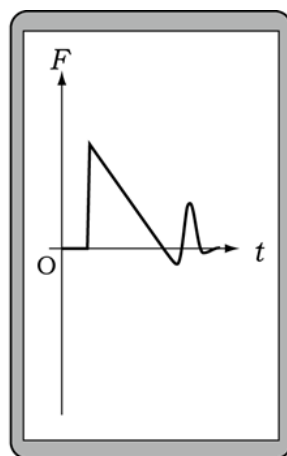
スマートフォンを画面が上向きになるように水平に保持し、このアプリケーションのグラフ描画を起動した。このとき、力は0を示した。この後、静かに手を放してスマートフォンを自由落下させ、床に敷いたクッションの上に落とした。落下中、スマートフォンは水平に保たれ、回転はしなかったものとする。力の画面に垂直方向の成分のグラフはどのように表示されるか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

13

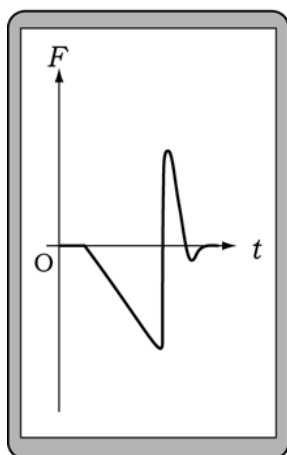
①



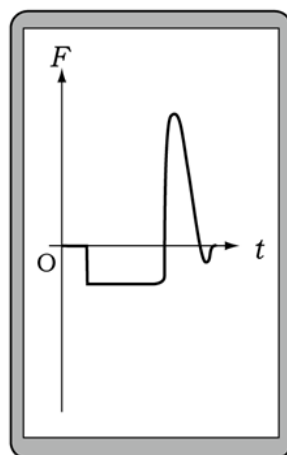
②



③



④



落下しているときには、一定の重力が働き、地面（クッション）に到達したとき、逆向きの力を受ける。

正解 ④

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 $330\text{ J}/\text{g}$ 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

100gの氷が -15°C から 0°C になるために必要な熱量は

$$15\text{K} \times 100\text{g} \times 2.2\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K}) = 3300\text{J}$$

50gの氷が水になるために必要な熱量は

$$50\text{g} \times 330\text{ J}/\text{g} = 16,500\text{ J}$$

25°C の水 $x[\text{g}]$ が 0°C になる際に放出する熱量は、

$$25\text{K} \times 4.2\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K}) \times x[\text{g}]$$

これが $3300\text{J} + 16,500\text{ J}$ に等しいので、 $x[\text{g}]$ を求めると 188 g

正解 ②

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。

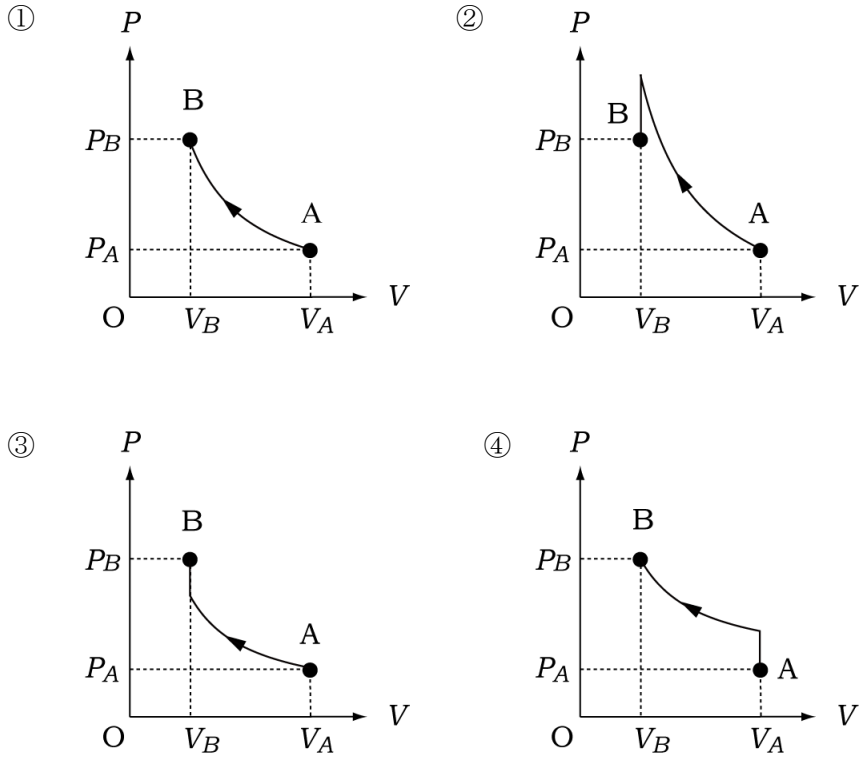
- (ア)
(イ)
(ウ)

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

断熱圧縮、定積膨張に必要なエネルギーは $3/2 R \Delta T$
定圧膨張に必要なエネルギーは $5/2 R \Delta T$
但し $R = 8.3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ $\Delta T = 3 \text{ K}$

正解は 、は ③、は ④

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



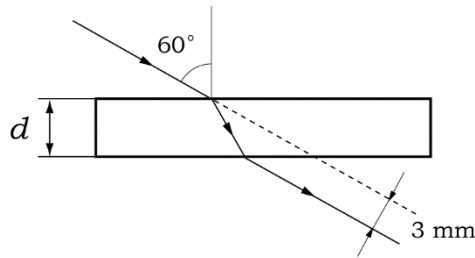
急激に圧縮すると、圧縮した瞬間は、気体の温度が上がり、圧力が回りの温度で一定になったときよりも大きくなる。その後、熱が放出され、回りの温度と等しくなり、回りの温度に対する圧力まで下がる。

正解 ②

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3mm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

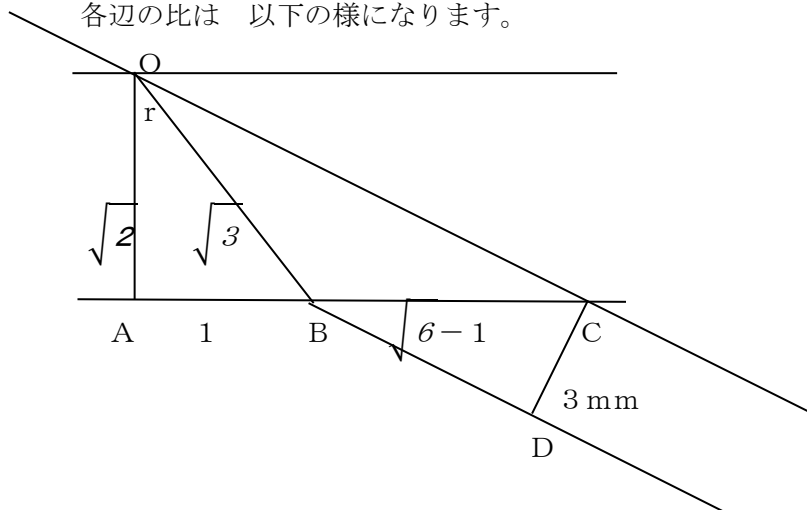
数式で解くと複雑ですが、 60° ですので、幾何の図形で辺の比で解く方が楽です。

スネルの法則より $\sin r = 1/\sqrt{3} = AB/OA$

$AB=1$ として、 OA の部分は三平方より $\sqrt{2}$

OAC は 60° の直角三角形で $AC=\sqrt{6}$

各辺の比は以下のようになります。



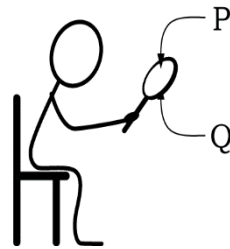
三角形BCDで、BCが6mmなので、 $\sqrt{6-1}$ の部分が6mmです。

従って d は $6 \times \{ \sqrt{2} / (\sqrt{6-1}) \} = 6 \times (2\sqrt{3} + \sqrt{2}) / 5 = 5.8$

正解は ④

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



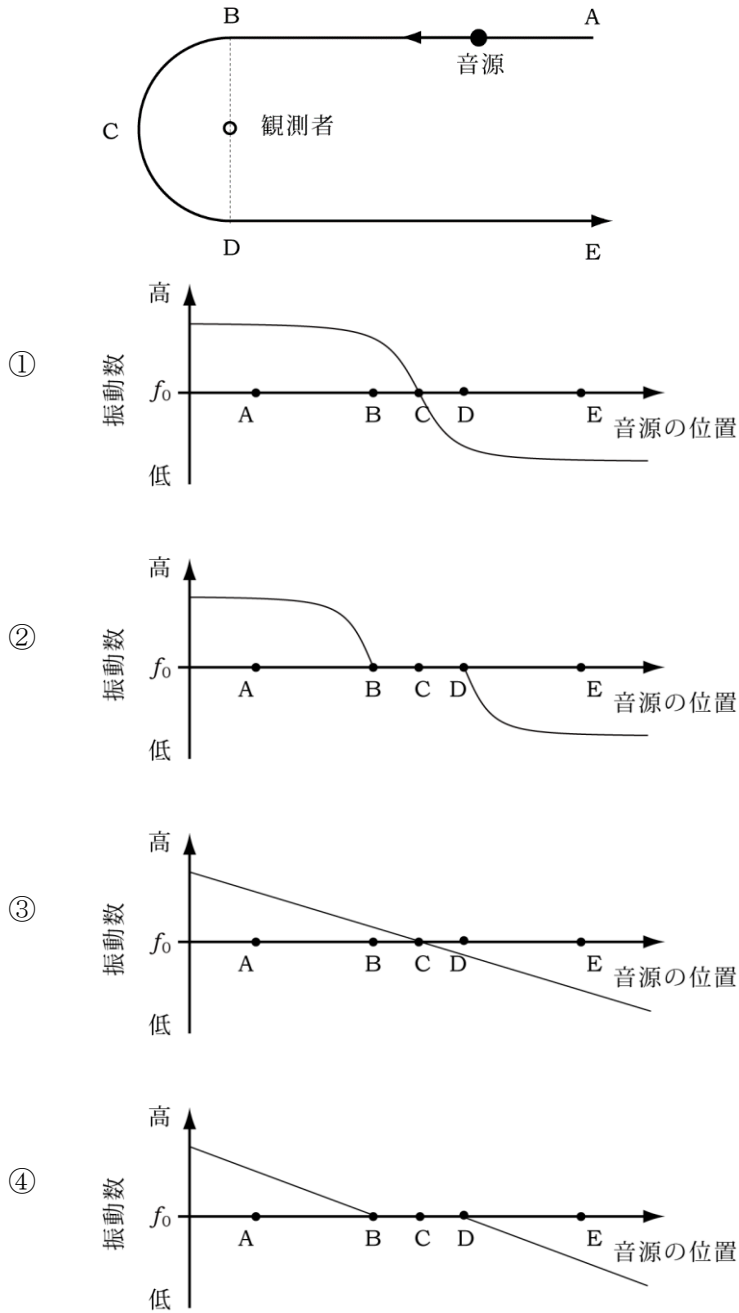
- ① 凸レンズによる実像と、凸レンズの手前の曲面 P による虚像。
- ② 凸レンズによる実像と、凸レンズの向こう側の曲面 Q による実像。
- ③ 凸レンズによる虚像と、凸レンズの手前の曲面 P による虚像。
- ④ 凸レンズによる虚像と、凸レンズの向こう側の曲面 Q による実像。
- ⑤ 凸レンズの手前の曲面 P による虚像と、向こう側の曲面 Q による実像。

像が見えたのが凸レンズの手前であることから、像は凸レンズを透過した光の実像ではなく、レンズを通して見た像では無いので、凸レンズの虚像ではない。
従って、凸レンズの前面、後面の曲面による反射でできた像になる。

正解 ⑤

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



音源が BCD を通過する際は、観測者に近づきも遠ざかりもしないので、ドップラー効果は起こらない。A→B では、音源は観測者に近づき、D→E では、音源は観測者から遠ざかる。近づく、遠ざかる速さの変化は直線的では無い。

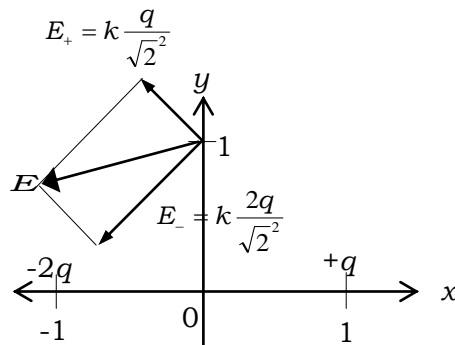
正解 ②

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

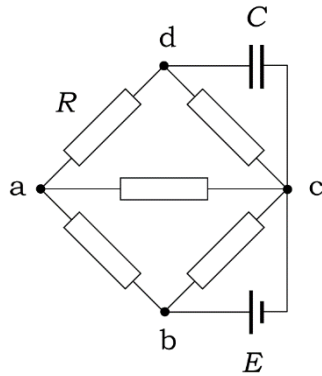
- ① $\frac{kq}{4}$ ② $\frac{kq}{2}$ ③ $\frac{\sqrt{5}}{2}kq$ ④ $\sqrt{\frac{3}{2}}kq$ ⑤ $\frac{3}{2}kq$

解説 $+q$ の電場 E_+ と $-2q$ の電場 E_- の重ね合わせで算出できる。図のようにクーロンの法則から E_+ と E_- を求めベクトルの合成により E の大きさを算出する。



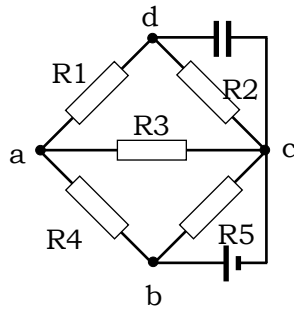
正解は ③

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



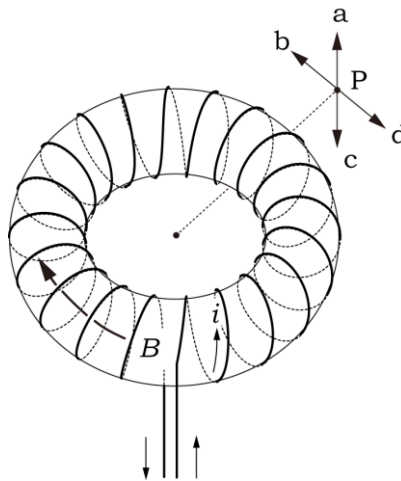
- ① $\frac{1}{5}CE$ ② $\frac{1}{4}CE$ ③ $\frac{1}{3}CE$ ④ $\frac{3}{5}CE$ ⑤ $\frac{2}{3}CE$

解説 抵抗に図のように番号を付ける。コンデンサーにかかる電圧は cd 間抵抗 R_2 の電圧である。 R_1, R_2, R_3 の合成抵抗は $2R/3$ なので bac 間の抵抗は $5R/3$ であり、 a 点の電流は $3E/5R$ 、 d 点の電流は $E/5R$ である。したがってコンデンサーにかかる電圧は $E/5$ であり、充電される電荷量は $CE/5$ である。



正解は ①

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

解説 トロイダルコイルは実用上外部への磁束の漏れが少なくインダクタンスの安定性が高い特徴がある。磁束はコイル内で円を描き閉じているので外部には磁場が存在しないように思われるだろうが、トーラスに沿った円周方向の電流成分が存在するのでトーラスの外では下向きの、内側では上向きの磁場が存在する。無限に長いソレノイドも同様である。

正解は ③

問4 自己インダクタンス 4.0 mH のコイル, 電気容量 10 μ 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

- ① 2.5 Ω ② 5.0 Ω ③ 8.0 Ω ④ 25 Ω ⑤ 50 Ω

コイルの誘導性リアクタンス X_L は

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 2000 \times 4^{-3} = 50.26 \Omega$$

正解は ⑤

(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

解説 自己インダクタンス L のコイルのリアクタンスは角振動数 ω として、 ωL で算出される。

$$\omega L = 2\pi \times 2000 \times 4.0 \times 10^{-3} = 50.2 \Omega$$

したがって、問1の正答は⑤。

容量 C のコンデンサーのリアクタンスは $1/(\omega C)$ で算出される。両者の値が等しくなるすなわち共振する周波数は、

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{4.0 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-6}}} = 796 \text{ Hz}$$

正解は ④

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 電子の波長は, エネルギーの大きさに正比例する。

電子の物質波の波長は運動量に反比例するので、エネルギーに正比例は誤り

正解は ⑤

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 $2.0 \times 10^2 \text{ nm}$

成層圏界面付近での酸素分子のイオン化の問題

イオン化エネルギーを ε とすると、 $\varepsilon = ch / \lambda$

$$\begin{aligned} \text{より、} \quad \lambda &= ch / \varepsilon \\ &= 3.0 \times 10^8 \times 6.6 \times 10^{-34} / 12 \times 1.6 \times 10^{-19} \\ &= 1.0 \times 10^{-7} \text{ m} \\ &= 1.0 \times 10^2 \text{ nm} \end{aligned}$$

太陽からの紫外線(波長 $1.0 \times 10^2 \text{ nm}$)を酸素分子は吸収して電離し、大気の色度が上昇している(地上約 50 km 上空に温度のピークがある。このピークの位置が成層圏界面。それより上空は中間圏で高度とともに温度は降下していく。)

正解は ①

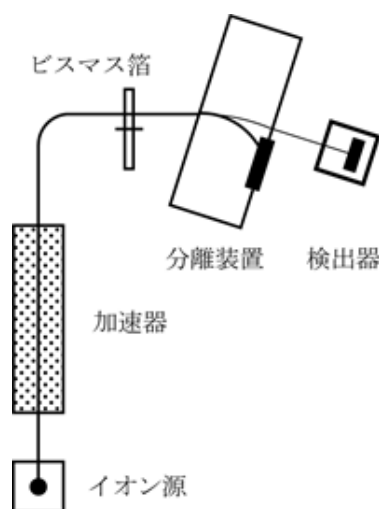
第7問 問1, 2 に答えなさい。

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($^{70}_{30}\text{Zn}$)イオンがつくられる。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 μm 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 $^{278}_{113}$ がつくられる。

このような方法でつくられる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
(理化学研究所 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。

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

29

円運動を行う場合の向心力は $F = mr\omega^2 = m \frac{v^2}{r}$ である。+12 価の電荷をもつ質量 m の粒子が、速さ v で磁束密度 B の一様な磁場を運動する際にうける力がこの向心力となる。+12 価の電荷が受ける力は、 $F = 12evB$ であるので、これを解くと $r = \frac{mv}{12eB}$ となる。

正解は ③

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

- ① ${}_{101}^{260}\text{Md}$ ② ${}_{101}^{254}\text{Md}$ ③ ${}_{107}^{254}\text{Bh}$ ④ ${}_{107}^{260}\text{Bh}$
⑤ ${}_{109}^{258}\text{Mt}$ ⑥ ${}_{109}^{113}\text{Mt}$

α 崩壊を 6 回起こして原子核 X に到達した。、 α 崩壊は He の原子核が放出されるので、原子番号は 2、質量数は 4 減少する。6 回では、原子番号が 12 質量数が 24 現象するので、それぞれ $113-12 = 101$, $278 - 24 = 254$ となるので、 ${}_{101}^{254}\text{Md}$ となる。

正解は ②