

第1問 問1～12に答えなさい。

問1 バasketボールの公式球は、1.8 mの高さから静かにコート上に落としたときに1.2～1.4 mの範囲に跳ね上がるように空気圧が調整されている。次の中で公式球の条件を満たしている反発係数はどれか。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 0.45 ② 0.55 ③ 0.65 ④ 0.75 ⑤ 0.85

解説（正解⑤）

反発係数はボールが床に衝突する速さ v_1 と跳ね返る速さ v_2 の比 $e = v_2/v_1$ で与えられる。高さ h から静止したボールが落下したとき床に衝突する速さは $\sqrt{2gh}$ なので、反発係数はボールの落とす高さ h_1 と跳ね上がる高さ h_2 を使って $e = \sqrt{h_2/h_1}$ である。数値を代入すると $0.816 \sim 0.882$ となる。したがって正解は⑤である。（解答では h_2/h_1 の範囲が $0.67 \sim 0.78$ と計算して $e^2 = h_2/h_1$ と比較する方法が容易。）

問 2 ボールを水平方向からある角度で投げ上げたところ、放物線を描いて運動した。摩擦や空気の影響がないときに、投げたあとのボールにはたらく力について、最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

2

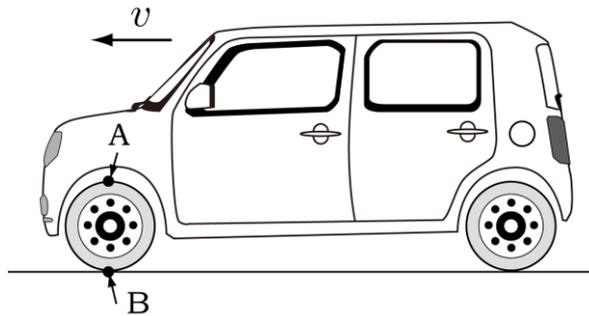
- ① 投げたときの力と重力の合力が、放物線の接線の向きにはたらいている。
- ② 投げたときの力と重力の合力が、投げた時のボールの運動の向きにはたらいている。
- ③ 鉛直方向の力が、最高点までは上向きに、最高点では 0、それ以降は下向きにはたらいている。
- ④ 重力のみがはたらいている。

解説（正解④）

物体の運動を変化させるのが力(合力)である。放物線を描いて運動するボールの運動の変化は鉛直方向のみであり、これはボールにはたらく重力による。したがって正解は④である。

問3 次の図のように一定の速度 v で自動車走っている。タイヤの最上点 A と最下点 B の速度について、最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

3



- ① A と B の速度は自動車と同じ。
- ② A の速度は自動車と同じで、B の速度は自動車と同じ速さで逆向き。
- ③ A の速度は自動車と同じで、B の速度は 0。
- ④ A の速度は自動車の2倍で、B の速度は自動車と同じ。
- ⑤ A の速度は自動車の2倍で、B の速度は自動車と同じ速さで逆向き。
- ⑥ A の速度は自動車の2倍で、B の速度は 0。

解説（正解⑥）

B は地面のある点に接していることから速度 0 であることがわかる。またタイヤの車軸は自動車と同じ速度で運動していることから、A は2倍の速度で前方に運動していなければならない。したがって正解は⑥である

問 4 熱容量を無視できる断熱容器に 10°C の水 200 mL を入れて、出力 420 W の電子レンジで加熱する。 70°C まで加熱するのにかかる時間はいくらか。水の比熱は $4.2\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ である。ただし、マイクロ波のエネルギーはすべて水に吸収され、水は均一に加熱されるとする。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。 4

- ① 1分 ② 2分 ③ 3分 ④ 4分 ⑤ 5分

解説（正解②）

200 mL の水を 10°C から 70°C まで加熱するのに必要な熱量は $4.2\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K}) \times 200\text{ g} \times (70 - 10)\text{ K} = 50400\text{ J}$ である。一方 420 W は 1 s に 420 J をあたえる仕事率であるから、 $50400\text{ J}/420\text{ W} = 120\text{ s}$ と計算される。したがって正解は②である。

問 5 水を入れたコップを真空装置内に置いて、装置内の空気を真空ポンプで減圧する。コップの水にはどのようなことが起こるか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 5

- ① 水には変化が起きない。
- ② 水の温度は上昇して、水は沸騰する。
- ③ 水の温度は上昇するが、水は沸騰しない。
- ④ 水の温度は下降して、水は沸騰する。

解説（正解④）

一般に物質の沸点は圧力により変化し、低圧では沸点の温度が下がることが知られている。また、物質が液体から気体に状態が変化するときは気化熱が必要であり吸熱が起こる。真空ポンプで減圧をすると吸熱により水温が下がり、また沸点の温度が下がったことで沸騰も起こる。したがって正解は④である。

問6 直径 10 cm, 焦点距離 10 cm の虫めがねを使って太陽光線をスクリーン上に集光させた。最も集光されたとき, 明るい部分の直径はおよそいくらか。太陽までの距離は 1.5×10^{11} m, 太陽の直径は 1.4×10^9 m 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。 6

- ① 0.01 mm ② 0.1 mm ③ 1 mm ④ 10 mm

解説 (正解③)

太陽光線は平行光ではない。凸レンズで作られる実像は焦点距離を f , 物体と実像までの距離を a と b とすると $1/a + 1/b = 1/f$ の関係があり, また倍率は $m = b/a$ である。ここで, 太陽までの距離は焦点距離と比較して十分に大きいので b はほぼ焦点距離の大きさとなる。したがって像の大きさ d は $d = (\text{太陽の直径}) \times m = 1.4 \times 10^9 \text{ m} \times 0.1 \text{ m} / 1.5 \times 10^{11} \text{ m} = 0.00093 \text{ m}$ となる。したがって正解は③である。

問7 次の①～⑤の色について説明した文の中から誤っているものを1つ選びなさい。

7

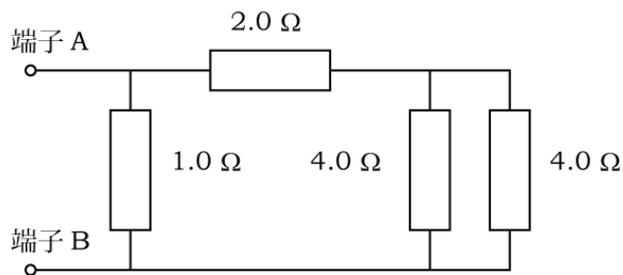
- ① 夕日が赤く見えるのは、太陽光に含まれる青い光が大気中で散乱され、散乱されにくい赤い光が目によく届くためである。
- ② 色セロハンを透過した光に色がついて見えるのは、セロハンで光が透過すると波長が変わるためである。
- ③ 虹が色の帯に見えるのは、雨滴(水)の屈折率が光の波長により異なるためである。
- ④ DVD の記録面がさまざまな色に輝いて見えるのは、光の干渉のためである。
- ⑤ カラー印刷で色が見えるのは、インクの種類により光の吸収が異なるためである。

解説（正解②）

目に入る光の波長が異なると、異なる色として見える。①短い波長の光(青色)は長い波長の光(赤色)より散乱されやすいことが知られている。③虹が色の帯になるのは、水の屈折率が波長により異なることで、雨滴中の光の行路が変わることが原因である。④光は波であり、波の重ね合わせが起こる。CD の溝の間隔と反射の方向によって特定の波長に強めあい(干渉)が起こり色が見える。⑤反射する光にある特定の波長の光が多いまたは少ないことで色が見える。以上①、③～⑤は正しい。②色セロハンを透過しても光の波長は変わらないので正しくない。色セロハンはある範囲の波長の光を吸収しないので散乱光や透過光は色がついて見える。したがって正解は②である。

問 8 次の図のように抵抗を組み合わせて回路を作った。端子 AB 間の合成抵抗の値 R はいくらか。最も適当な範囲を、次の①～⑤から 1 つ選びなさい。

8



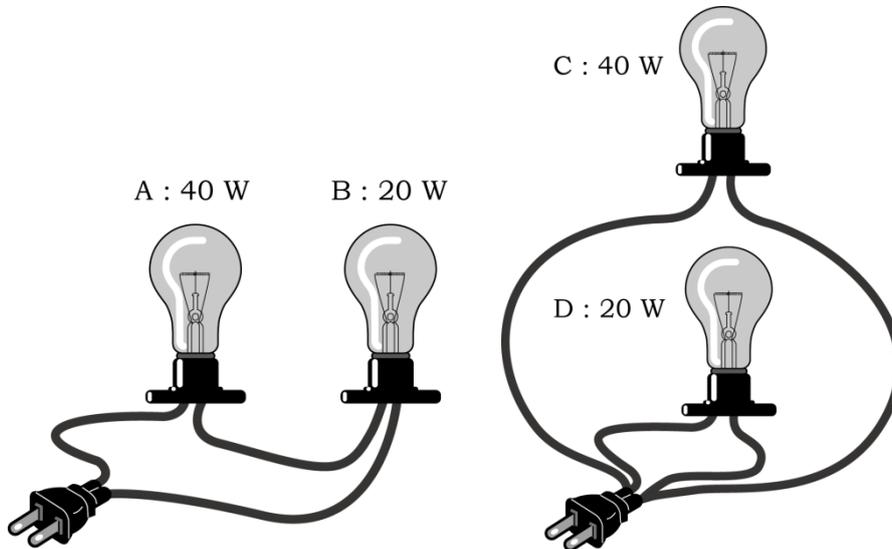
- ① $R < 1.0 \Omega$ ② $1.0 \Omega \leq R < 2.0 \Omega$ ③ $2.0 \Omega \leq R < 3.0 \Omega$
 ④ $3.0 \Omega \leq R < 4.0 \Omega$ ⑤ $4.0 \Omega \leq R$

解説 (正解①)

2つの抵抗 R_1 と R_2 を直列に接続するときの合成抵抗は $R_1 + R_2$ 、並列に接続するときには $R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ である。合成抵抗の大きさは、直列ではそれぞれの抵抗よりも大きく、並列ではそれぞれの抵抗よりも小さい。図の回路は 1.0Ω と残りの抵抗で作られる合成抵抗との並列接続であり、その値は 1.0Ω より小さい。したがって正解は ① である。

問9 次の2つの図のように、40 Wと 20 W の電球で回路を作り、100 V のコンセントにつないだ。電球 A から D の中で最も明るい電球は「ア」で、最も暗い電球は「イ」である。「ア」と「イ」の組み合わせとして最も適当なものを、①～⑥の中から1つ選びなさい。

9

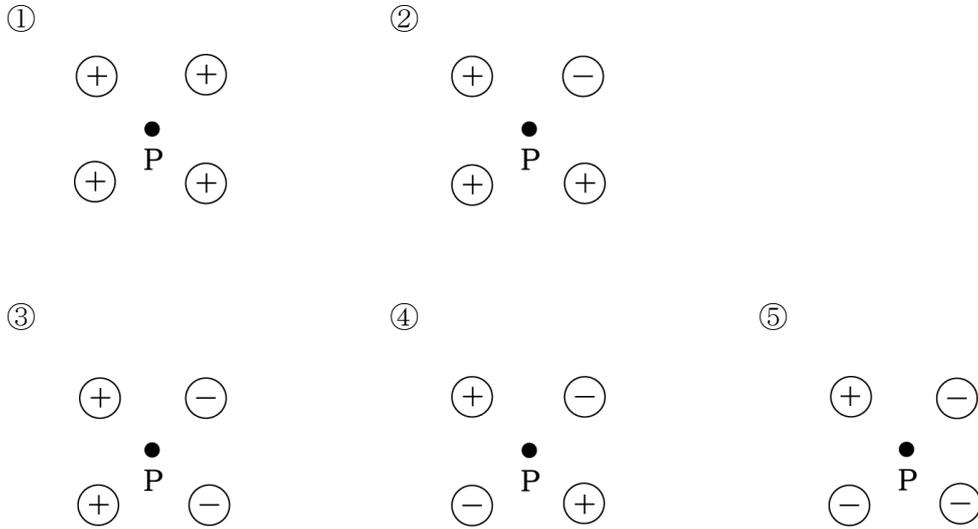


	ア(最も明るい)	イ(最も暗い)
①	A	B
②	A	C
③	A	D
④	C	A
⑤	C	B
⑥	C	D

解説 (正解④)

電球のワット数は 100 V の電圧を加えたときの消費電力を表している。加えた電圧を V 、電球の抵抗を R とすると消費電力は V^2/R で与えられるので、40 W と 20 W の電球では 40 W の電球の抵抗値が小さい。図1は電球の直列接続であるから、2つの電球の電流は等しい。抵抗の大きさが小さい A が消費電力が小さく B より暗い。図2は並列接続で2つの電球に加わる電圧は等しい。したがって C が明るい。また、図1と図2で回路を流れる電流の大きさを比較すると、最も明るいものは C、最も暗いものが A である。したがって正解は④である。

問 10 次の図のように絶対値が等しい4つの正と負の電荷を、同じ大きさの正方形の各頂点に固定した。正方形の中央の点 P での電場の大きさが最も大きいものはどれか。最も適当なものを、①～⑤の中から1つ選びなさい。 10



解説（正解③）

電場は重ね合わせの原理が成り立ち、それぞれの電場ベクトルの和が合成電場である。図の①では等しい電荷が4頂点にあり合成電場が0となる。同様に、図の②, ④, ⑤では対角の位置に並ぶ2つの同じ正(負)の電荷による電場は打ち消しあう。したがって図の③が最も大きい。したがって正解は③である。

問 11 亜鉛板を用いて光電効果の実験を行った。実験結果を正しく説明しているものはどれか。最も適当なものを、①～④の中から1つ選びなさい。

11

- ① 強い紫外線を照射した場合は亜鉛板から電子は飛び出したが、弱い紫外線を照射した場合は電子は飛び出さなかった。
- ② 強い紫外線を照射した場合も弱い紫外線を照射した場合も、亜鉛板から電子は飛び出した。
- ③ 強い赤外線を照射した場合は亜鉛板から電子は飛び出したが、弱い赤外線を照射した場合は電子は飛び出さなかった。
- ④ 強い赤外線を照射した場合も弱い赤外線を照射した場合も、亜鉛板から電子は飛び出した。

解説（正解②）

光は波動とともに粒子としての性質を持ち、電子にエネルギーを与えるときは光の振動数を ν とすると $h\nu$ のかたまり(光子)が単位となる。ここで h はプランク定数である。紫外線と赤外線を比較すると、赤外線は振動数が小さく光子のエネルギーも小さい。赤外線の光子より電子に与えられるエネルギーでは、電子は亜鉛板から飛び出すことはできないことが知られている。一方、紫外線の光子のエネルギーは大きく、電子は亜鉛板から飛び出すことができる。このとき紫外線の強弱によって電子に与えられるエネルギーは変わらず、どんな弱い紫外線でも電子は亜鉛板から飛び出す。したがって正解は②である。

問 12 水素原子の線スペクトルの波長 λ は、自然数 m, n とリュードベリ定数 R を使って次の式で表される。

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

可視光の線スペクトルで最も長い波長をリュードベリ定数 R を使って表すとどうなるか。最も適当なものを、①～⑤の中から1つ選びなさい。 12

- ① $\frac{4}{R}$ ② $\frac{9}{2R}$ ③ $\frac{36}{5R}$ ④ $\frac{100}{21R}$ ⑤ $\frac{6}{R}$

解説（正解③）

水素原子の線スペクトルは $m = 1 (n > m)$ の場合がライマン系列で紫外領域、 $m = 2 (n > m)$ の場合がバルマー系列で可視領域、 $m = 3 (n > m)$ の場合がパッシェン系列で赤外領域となる。ここで可視領域であることから $m = 2$ 、波長が最も長いためには許される n で最も小さな値である $n = 3$ が選ばれ、 $1/\lambda = 5R/36$ となる。したがって正解は③である。

第2問 **A** (問1), **B** (問2), **C** (問3) に答えなさい。

A

問1 図1と図2のような2つの斜面を用意した。図1の斜面は上に凸であり、図2の斜面は図1の斜面を垂直から 45° の直線で折り返して作られている。斜面の上端から小物体を静かにすべらすとき、小物体はどちらの斜面でも斜面から離れず下端まですべり降りた。ただし、小物体と斜面の間に摩擦力ははたらかないとし、空気の抵抗は無視する。小物体が下端まですべる時間の説明で最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 13

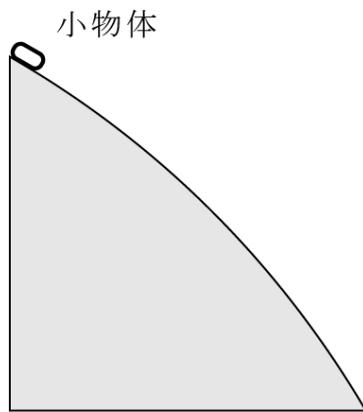


図1

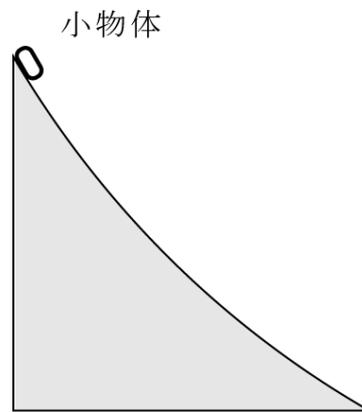


図2

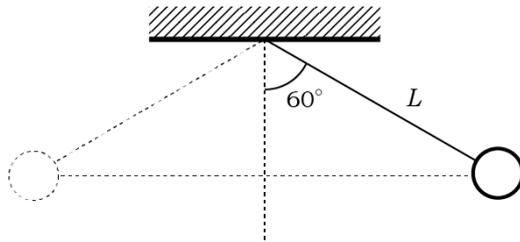
- ① 小物体が図1の斜面をすべる時間は、図2の斜面よりも必ず長い。
- ② 小物体が図1の斜面をすべる時間は、図2の斜面と等しい。
- ③ 小物体が図1の斜面をすべる時間は、図2の斜面よりも必ず短い。
- ④ 図1と図2の斜面の曲率により、小物体が斜面をすべる時間の大小関係は変化する。

解説 (正解①)

小物体が図1と図2の同じ高さまですべり落ちたとき、その速さは等しい。また、すべり初めからの距離が等しい位置では図1の斜面が高く、速さは遅い。これらから小物体が図1の斜面をすべる時間は図2の斜面よりも必ず長い。したがって正解は①である。

B

問2 次の図のように、長さ L の軽くて伸びない糸で質量 m のおもりを天井から吊るし、鉛直方向から糸のなす角を 60° に保った。この状態でおもりに初速度を与えたところ、おもりは水平面内で円運動をした。このときの初速度の大きさはいくらか。重力加速度の大きさを g とする。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 14



① $\frac{\sqrt{3gL}}{2}$

② $\sqrt{\frac{3gL}{2}}$

③ $\sqrt{3gL}$

④ $\frac{\sqrt{2gL}}{3}$

⑤ $\sqrt{\frac{2gL}{3}}$

⑥ $\sqrt{2gL}$

解説（正解②）

このおもりは円錐振子の運動をする。鉛直方向の力の釣り合いは、糸の張力を T として $T\cos(60^\circ) = mg$ である。また糸の張力の水平成分は円運動の向心力となる。円運動の条件から $mv^2/(L\sin(60^\circ)) = T\sin(60^\circ)$ が得られる。これらをまとめると $v^2 = Lg \times \sin^2(60^\circ) / \cos(60^\circ)$ が得られる。したがって正解は②である。

C

問 3 等しいばね定数 k を持つばねと質量 m の小物体を図1, 図2のように組み合わせた。小物体の位置をばねの長さ方向に動かして, 組み合わせたばねのばね定数(合成ばね定数)を測定する。図1の合成ばね定数を k_1 , 図2の合成ばね定数を k_2 とするとき, k_2/k_1 の値はいくらか。最も適当なものを, 次の①~⑤の中から1つ選びなさい。 15

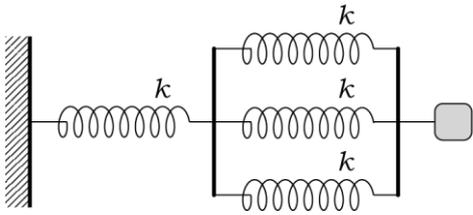


図 1

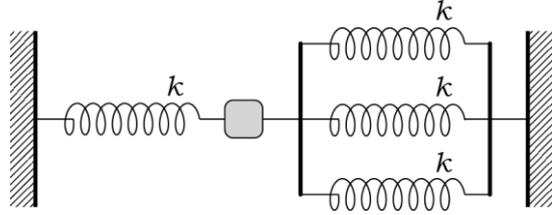


図 2

- ① $\frac{16}{3}$ ② $\frac{8}{3}$ ③ 1 ④ $\frac{3}{8}$ ⑤ $\frac{3}{16}$

解説 (正解①)

2つのばね定数 k_1 と k_2 のばねを並列に接続して小物体を Δx だけを動かすとき, 小物体には2つのばねからの力の和(力の大きさ $|k_1\Delta x + k_2\Delta x|$) が加わるので, 合成ばね定数は $k_1 + k_2$ になる。一方, 直列に接続して小物体を Δx だけを動かすとき2つのばねの力が等しく ($|k_1\Delta x_1| = |k_2\Delta x_2|$), その大きさが小物体にはたらく力であること, また Δx は2つのばねの伸びの和 ($\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$) であることより, 合成ばね定数は $k_1 k_2 / (k_1 + k_2)$ になる。図1では3本が並列接続, 1本がこれと直列接続となっており全体では $3k \times k / (3k + k) = k/4$ のばね定数となる。一方, 図2では左右のばねは並列接続であり $4k$ のばね定数となる。したがって正解は①である。

第3問 **A** (問1), **B** (問2) に答えなさい。

A

問1 空気の体積 2000 m^3 , 質量 400 kg (空気の質量は除く) の熱気球を地上から離陸させるための熱気球内の空気の平均温度はいくらか。外気温は 7°C で, このときの空気の密度は 1.3 kg/m^3 とする。最も適当なものを, 次の①~⑤の中から1つ選びなさい。 16

- ① 8.3°C ② 35°C ③ 48°C
④ 58°C ⑤ 91°C

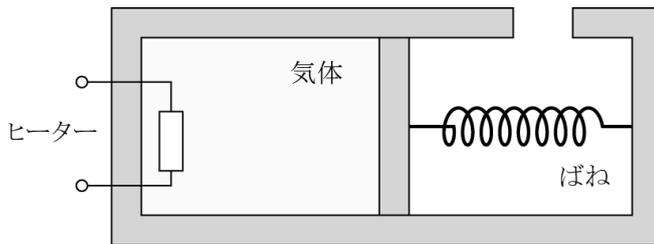


解説 (正解④)

外気と気球内の空気の密度の差より浮力が生ずる。必要な密度差は $400 \text{ kg}/2000 \text{ m}^3 = 0.2 \text{ kg/m}^3$ である。気体の体積は一定圧力のもとでは絶対温度に比例して増加する。したがって気体の密度 ρ は, 基準の温度を T_0 とそのときの密度 ρ_0 として, $\rho = \rho_0 T_0 / T$ となる。これらから $T = (1.3 \text{ kg/m}^3 / 1.1 \text{ kg/m}^3) \times 280 \text{ K} = 331 \text{ K} = 58^\circ\text{C}$ である。したがって正解は④である。

B

問2 次の図のように、ばね定数 500 N/m のばねがついたなめらかに動くピストンをもつ断熱容器に、2原子分子理想気体を入れた。はじめ、ばねは自然の長さで、気体の体積は $4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 、温度は 300 K であった。その後、ゆっくりと加熱したところ、ピストンが 0.20 m だけ動いた。ピストンの断面積は $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 、大気圧は $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ である。ただし、2原子分子理想気体の定積モル比熱は $5R/2$ で、 R は気体定数である。気体に加えた熱量はいくらか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。 17



- ① 310 J ② 400 J ③ 410 J ④ 600 J ⑤ 610 J

解説（正解⑤）

気体に加えた熱は気体が外部にした仕事と気体の内部エネルギーの増加となる。気体が外部にした仕事は(1)大気にした仕事、(2)ばねにした仕事の2つである。(1) 気体の体積の増加は $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ であるので、 $W_1 = P\Delta V = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 100 \text{ J}$ 。(2)ばねの仕事は $W_2 = kx^2/2 = 500 \text{ N/m} \times (0.20 \text{ m})^2/2 = 10 \text{ J}$ 。内部エネルギーの増加は定積熱容量と温度上昇で与えられ $U = n(5R/2)\Delta T$ である。モル数 n は PV/RT より求まる。温度上昇は、加熱後の圧力はばねの力を加えて $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ の加熱前の 1.2 倍、体積は 1.25 倍となることから $\Delta T = 150 \text{ K}$ である。以上より $U = (5/2) \times (pV) \times (\Delta T/T) = 500 \text{ J}$ 。 $Q = U + W_1 + W_2 = 610 \text{ J}$ となる。したがって正解は⑤である。

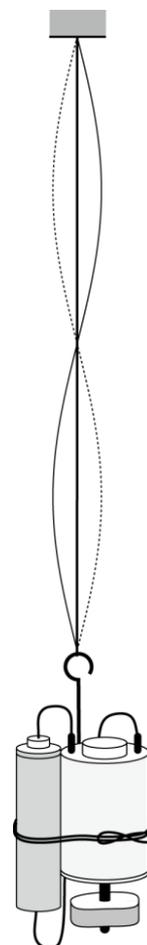
第4問 **A** (問1), **B** (問2) に答えなさい。

A

問1 右の図のように、消しゴムを回転軸に刺した電池付きの模型用モーターを糸の先に結んで鉛直に吊るした。モーターを振動源として定常波をつくる実験を行ったところ、糸の長さが 30 cm のとき、腹が 2 個の定常波ができた。電池と消しゴムを含んだモーターの質量は 40 g、糸の質量は長さ 1.0 m あたり 2.0 g、重力加速度の大きさは 9.8 m/s^2 である。定常波ができたときのモーターの回転数はおよそいくらか。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 4.7 回/s ② 10 回/s ③ 24 回/s
 ④ 35 回/s ⑤ 47 回/s

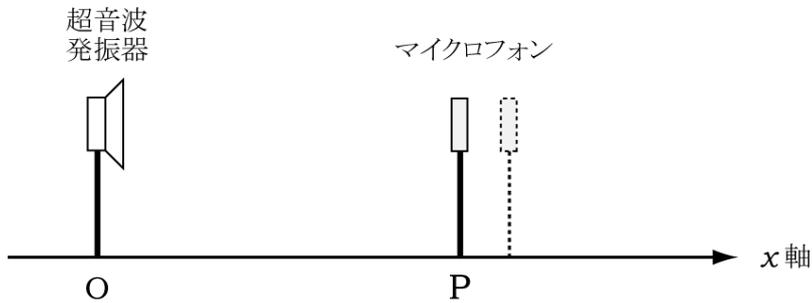


解説 (正解⑤)

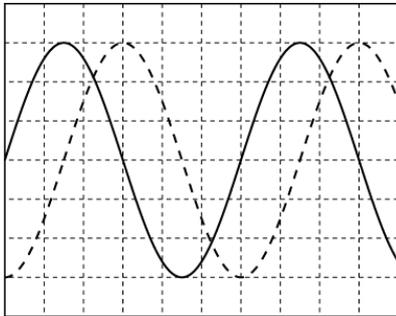
波が伝わる速さ v は、糸の張力 T と線密度 ρ を使って $v = \sqrt{T/\rho}$ と与えられる。また波長 λ と振動数 f を使って $v = f\lambda$ と与えられる。これらの関係をまとめて $f = (1/\lambda) \sqrt{T/\rho}$ が得られる。腹が 2 個の定常波の波長は 0.30 m、張力は $9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.040 \text{ kg} = 0.392 \text{ N}$ 、線密度は $2.0 \times 10^{-3} \text{ kg}$ を代入して、46.7 Hz と求まる。したがって正解は⑤である。

B

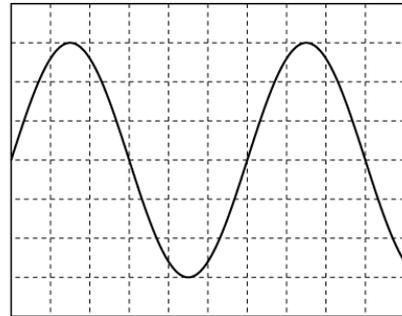
問2 次の図のように原点($x = 0$)に周波数 34 kHz の超音波発振器を固定し、 x 軸上を進行する超音波をマイクロフォンで受信する。オシロスコープの画面上に発振器からの信号とマイクロフォンからの信号を時間軸を一致させて表示させる。マイクロフォンの位置が P のとき、信号の大きさを調整することで、2つの信号が重なった。その後、マイクロフォンの位置を x 軸上で P から 5.0 mm だけ遠ざけた。オシロスコープの画面上では2つの信号はどのように表れるか。実線は発振器からの信号で、破線はマイクロフォンからの信号を表す。音速は 340 m/s とする。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 9



①

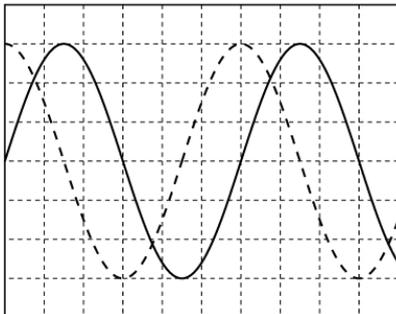


②

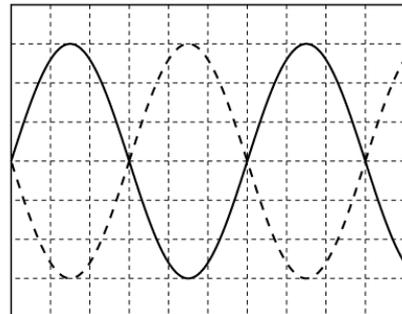


破線は実線と重なっている。

③



④



解説（正解④）

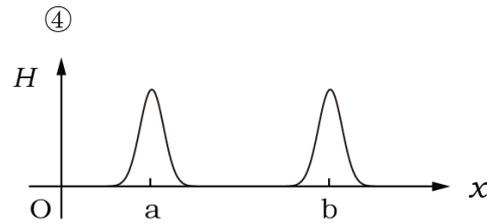
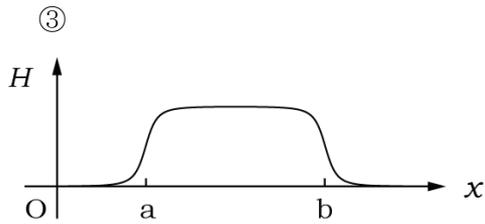
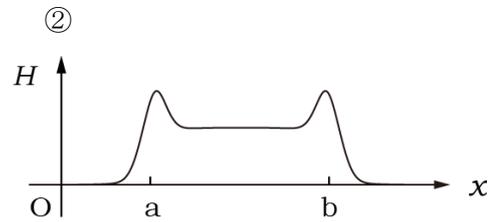
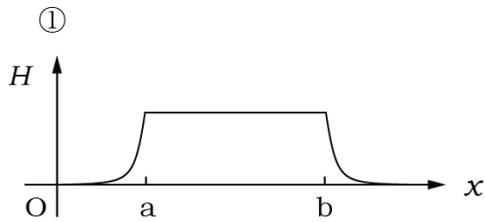
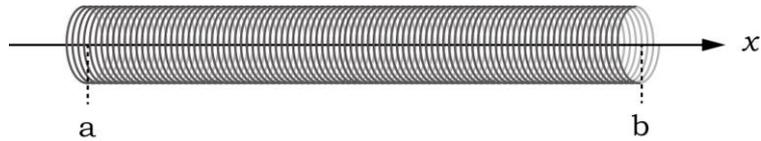
波長 λ は、音速 v と周波数 f を使って $\lambda = v/f$ と表される。音速 340 m/s と周波数 40 kHz から超音波の波長は 8.5 mm と求まる。4.25 mm は 1/2 波長に対応し、マイクロフォンの信号は 1/2 波長遅れることとなる。したがって正解は④である。

第5問 **A** (問1), **B** (問2), **C** (問3), **D** (問4) に答えなさい。

A

問1 次の図のようにソレノイドの中心軸を x 軸とし、 x 軸上の磁場の強さ H をグラフに描いた。ソレノイドの端面は a と b の位置にある。最も適当なグラフを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

20



解説 (正解③)

ソレノイドの電流は円形の電流を軸上に並べたものと考えることができる。重ね合わせの原理が成り立つので、円形の電流のつくる磁場を重ねることを考えればよい。円形の電流のつくる中心軸上の磁場は、円のある平面上がもっと大きく平面から離れると次第に弱くなる。したがって正解は③である。

B

問 2 白熱電球はタングステンで作られたフィラメントに電流を流し、高温に加熱することで発光させる。金属の電気抵抗は温度で変化し、ある温度での電気抵抗 R は室温の電気抵抗を R_0 、室温との温度差を T としたとき、次の式で表される。

$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

ここで、 α は電気抵抗の温度係数でタングステンの値は 0.0045 K^{-1} である。(ただし $[\text{K}^{-1}]$ は $[1/\text{K}]$ を表す。)

定格 100 V 、 50 W の白熱電球を室温で電気抵抗を測定すると $20 \text{ } \Omega$ であった。 100 V を加えたときの白熱電球のフィラメントの温度はいくらか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

21

- ① 800°C ② 1500°C ③ 2000°C ④ 3000°C ⑤ 4000°C

解説（正解③）

消費電力を W 、抵抗値を R 、電圧を V とすると $W = V^2/R$ の関係がある。 100 V 、 50 W となる抵抗値は $200 \text{ } \Omega$ である。 $200 \text{ } \Omega = 20 \text{ } \Omega \times (1 + \alpha T)$ より室温からの温度差は 2000 K 、温度はセ氏で表すと $2000 \text{ } ^\circ\text{C}$ である。したがって正解は③である。

C

問3 図1のように、同じ向きに巻いた2つの同じコイルを上下に近づけて固定する。コイル1に図2の時間変化をする振動電流 I を流す。電流の向きは、端子 a から b に電流が流れるときを正とする。コイル2に発生する誘導起電力 V を端子 c を基準として測定する。 V の時間変化の最も適当なグラフを、①～⑥の中から1つ選びなさい。 22

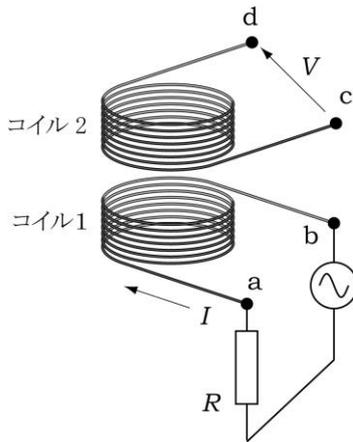


図1

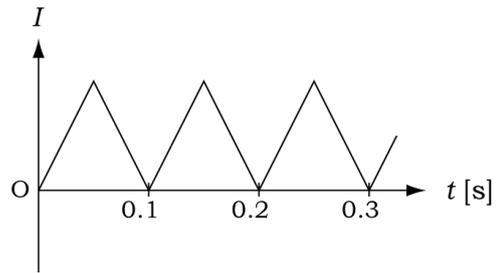
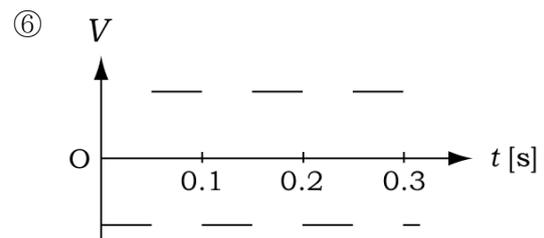
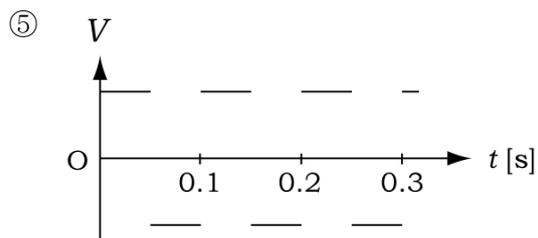
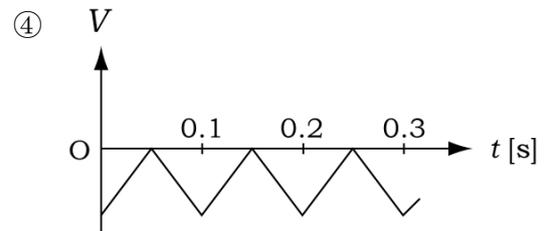
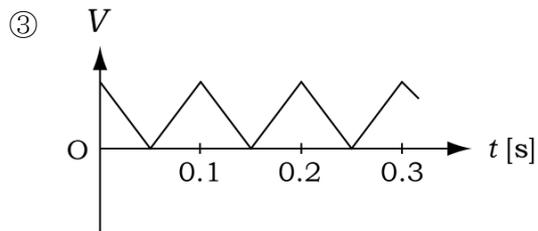
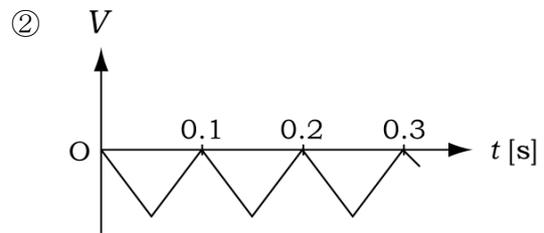
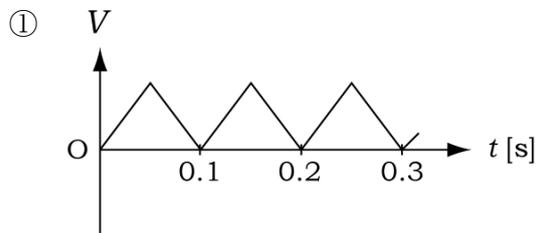


図2



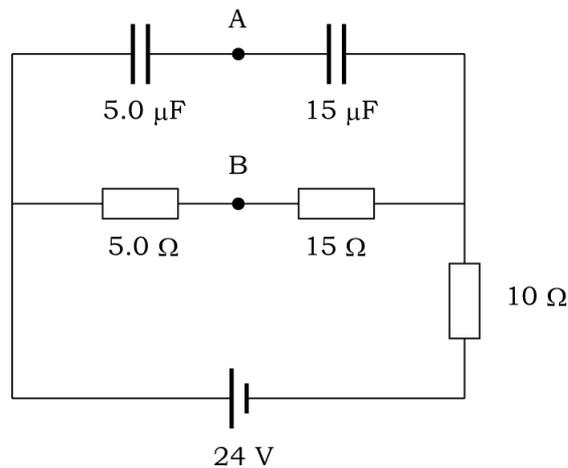
解説（正解⑥）

ファラデーの電磁誘導の法則より、誘導起電力の大きさはコイルの貫く磁束の時間変化に等しく、その向きは磁束の変化を妨げる向きである。コイル1の電流は $0 \sim 0.05 \text{ s}$ では直線的に増加し、 $0.05 \sim 0.1 \text{ s}$ では直線的に減少する。それに従い、コイル2を上から下向きに貫く磁束が $0 \sim 0.05 \text{ s}$ では増加し、 $0.05 \sim 0.1 \text{ s}$ では減少する。コイル1とコイル2は同じ向きに巻かれているので、 $0 \sim 0.05 \text{ s}$ では d から c 向きに電流が流れることで磁束の変化が抑えられ、また $0.05 \sim 0.1 \text{ s}$ では c から d 向きに電流が流れることで磁束の変化が抑えられる。したがって正解は⑥である。

D

問4 次の図のように、起電力が24 Vの電池、抵抗値が5.0 Ω, 10 Ω, 15 Ωの抵抗、電気容量が5.0 μF, 15 μFのコンデンサーで回路を作った。はじめはコンデンサーに電荷が蓄えられていない。また電池の内部抵抗は無視できる。十分に時間が経ったときの点Aと点Bの電位を V_A と V_B とすると、電位差 $V_A - V_B$ はいくらか。最も適当なものを、①～⑦の中から1つ選びなさい。

23



- ① 12 V ② 8.0 V ③ 4.0 V ④ 0.0 V
 ⑤ -4.0 V ⑥ -8.0 V ⑦ -12 V

解説（正解⑥）

十分に時間が経ったときには抵抗を結ぶ閉回路だけを電流が流れている。電池の負極を電位の基準に選ぶと、それぞれの抵抗の図の左側の電位は、左側の抵抗から24 V, 20 V, 8.0 Vである。したがって点Bは20 Vとなる。十分に時間が経ったとき蓄えられる電荷は2つのコンデンサーで等しい。5.0 μF, 15 μFのコンデンサーの電圧をそれぞれ V_1 と V_2 すると蓄えられた電荷が等しいことより $5.0 \mu\text{F} \times V_1 = 15 \mu\text{F} \times V_2$ が得られる。また、2つのコンデンサー全体の電位差は $V_1 + V_2 = 16 \text{ V}$ である。これらの関係より $V_1 = 12 \text{ V}$, $V_2 = 4.0 \text{ V}$ と求まる。点Aは10 Ωの抵抗もあることを考えて電位は12 Vとなる。これより電位差は-8.0 Vである。したがって正解は⑥である。

第6問 問1, 問2に答えなさい。

金属中では、金属原子に含まれる電子のうちいくつかは原子を離れ、自由に動きまわっている。この電子を自由電子と呼ぶ。銅の自由電子の数密度を 8.5×10^{28} 個/ m^3 として、次の各問いに答えなさい。

問1 金属棒の両端に電位差を与えると自由電子は金属中の電場から力を受けて運動する。断面積 1.0 mm^2 の銅線に 1.0 A の電流が流れるとき、自由電子の平均の速さ v_D はいくらか。電気素量は $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 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。

24

- ① $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ② $3 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ ③ 1 m/s ④ $3 \times 10 \text{ m/s}$

問2 自由電子は気体分子と同じく乱雑な運動もしている。温度 T での乱雑な運動の運動エネルギーは $\frac{3}{2} k_B T$ である。この運動の 300 K での平均の速さ v_T はいくらか。電子の質量は $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、ボルツマン定数は $k_B = 1.4 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 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。

25

- ① $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ② 1 m/s ③ $1 \times 10^3 \text{ m/s}$ ④ $1 \times 10^5 \text{ m/s}$

解説 (正解 24 は①, 25 は④)

電流の大きさ I は、電気素量 e 、電荷密度を ρ 、銅線の断面積を S 、電子の平均の速度 v_D とすると $I = e\rho S v_D$ と与えられる。ここで、それぞれの数値を代入すると $0.7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ となる。したがって 24 の正解は①である。

運動エネルギーは $\frac{1}{2} m v^2$ 、温度 T での乱雑な運動の運動エネルギーは $\frac{3}{2} k_B T$ である。これから平均の速さ $v_T = \sqrt{3 k_B T / m}$ となる。室温 300 K とそれぞれの数値を代入して $1.4 \times 10^5 \text{ m/s}$ となる。したがって 25 の正解は④である。

第7問 問1, 問2に答えなさい。

光は電場が振動する横波であることが知られている。図1は z 軸方向(紙面裏から表向き)に進む直線偏光の電場ベクトルの向きを描いている。直線偏光では電場ベクトルは1つの平面内で大きさを変える。一方、電場ベクトルは大きさを変えず z 軸まわりに回転してらせんを描く光がある。これは円偏光と呼ばれ、図2のように電場ベクトルの終点をつなぐと円になる。

直線偏光では図1に示す電場の向きが直交する2つの偏光状態は区別され、円偏光では図2に示す z 軸まわりのらせん回転が反時計回りと時計回りによって偏光状態は区別される。

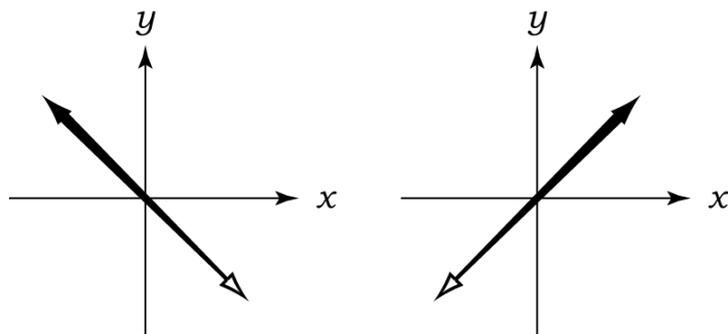


図1. 直線偏光

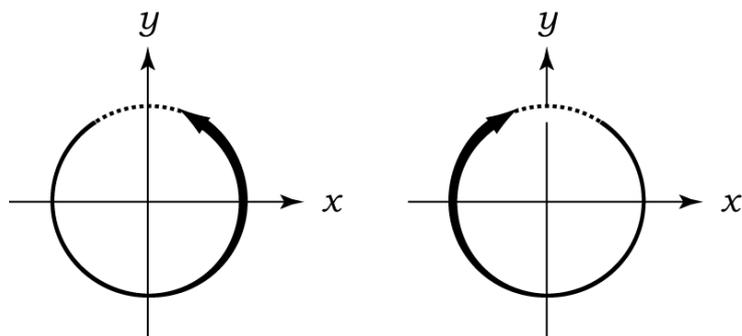


図2. 円偏光(右:時計回り円偏光, 左:反時計回り円偏光)

3D 映画は光の偏光が利用される。直線偏光を利用する場合も円偏光を利用する場合も、右目用と左目用のそれぞれ異なる2つの偏光状態の映像をスクリーンに同時に投影する。観客は特定の偏光状態の光を透過する専用の眼鏡を使って映像を鑑賞することで、立体視を楽しむことができる。

さて、3D 眼鏡をかけた状態で、左目を閉じて右目だけで同じ 3D 眼鏡をかけた隣の人を見ると、直線偏光用の 3D 眼鏡でも円偏光用の 3D 眼鏡でも、図3のように同じ偏光状態の光を透過する側である右目を見ることができ、左目側は暗く見える。次の各問に答えなさい。



図3. 同じ 3D 眼鏡をかけた隣の人見え方

問1 直線偏光用の 3D 眼鏡をかけて、左目を閉じて右目だけで鏡に映る自分を見た場合、どのように見えるだろうか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 26



問2 円偏光用の 3D 眼鏡をかけて、左目を閉じて右目だけで鏡に映る自分を見た場合、どのように見えるだろうか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 27



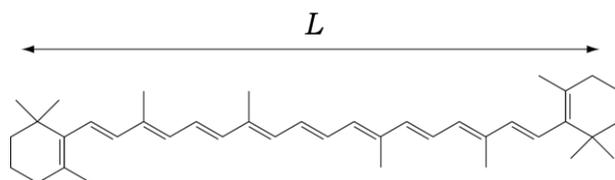
解説 (正解 26は③, 27は②)

鏡の反射によって電場ベクトルの向きは変わらないことから、直線偏光では振動面は変化しない。このことより右目側の眼鏡を通過した光は鏡で反射しても右目側の眼鏡を通過し、左目側の眼鏡を通過した光は右目側の眼鏡を通過しない。したがって 26の正解は③である。

円偏光では進行方向は変わること、時計まわり円偏光は反時計まわり円偏光に、反時計まわり円偏光は時計まわり円偏光に変化する。このことより右目側の眼鏡を通過した光は鏡で反射すると右目側の眼鏡を通過せず、左目側の眼鏡を通過した光は右目側の眼鏡を通過する。したがって 27の正解は②である。

第8問 問1, 問2に答えなさい。

β -カロテン($C_{40}H_{56}$)は植物に含まれる赤橙色色素で、体内に取り込むとビタミンAに変わる分子である。その分子構造はおよそ次の図のようになっている。



分子は炭素原子間の二重結合である π 結合が21個つながった細長い構造で、およそ2 nmの長さである。この π 結合に関する電子を π 電子といい、22個の π 電子がほとんど自由にこの分子の上を動くことができる。

電子は粒子だけでなく波としての性質を持ち、その波を「物質波」という。電子の運動量 p と物質波の波長 λ は $\lambda = h/p$ の関係がある。ここで h はプランク定数である。

β -カロテンの π 電子の性質を調べるために、はじめに弦の定常波を考えよう。両端を固定した長さ L の弦をはじくと弦は定常波で振動し、その定常波の波長 λ は

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

である。いま電子を長さ L の線上に閉じ込めると、電子の物質波も定常波となることが知られている。

問1 質量 m の電子が持つ運動エネルギー E は

$$E = \frac{p^2}{2m}$$

と表される。電子を長さ L の線上に閉じ込めたときの運動エネルギーは h, L, m, n を用いてどのように表されるか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 28

- | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| ① $E = \frac{h^2}{8mL} n^2$ | ② $E = \frac{h^2}{8mL^2} n^2$ | ③ $E = \frac{h}{8mL^2} n^2$ |
| ④ $E = \frac{h^2}{4mL} n^2$ | ⑤ $E = \frac{h^2}{4mL^2} n^2$ | ⑥ $E = \frac{h}{4mL^2} n^2$ |

このように長さ L の線の上に閉じ込められた電子の運動エネルギーはとびとびの値をとることが分かる。また電子は同じエネルギーの状態に2個しか入れない。 β -カロテンの22個の π 電子は、問1で求めた $n=1$ の最も低いエネルギーの状態 E_1 から、順番に $n=11$ の E_{11} までを占める。

このとき β -カロテンの π 電子が吸収する光子のエネルギーの最小値 E_{\min} は、 E_{11} にある π 電子1個が E_{12} に移るのに必要なエネルギーと等しく $E_{\min} = E_{12} - E_{11}$ である。また、エネルギー E_{\min} の光子の波長は $\lambda_0 = hc/E_{\min}$ の関係がある。ここで c は光速である。白色光が β -カロテンにあたった場合、波長が λ_0 以下の光が吸収されるので、 β -カロテンを多く含む野菜は吸収されなかった光の色に見えるのである。

問2 π 電子が自由に動ける長さ $L = 1.8 \times 10^{-9}$ m のとき λ_0 のおよその値はいくらか。ただし、 $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·s, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg, $c = 3.0 \times 10^8$ m/s である。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 29

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| ① 2.3×10^{-7} m | ② 4.0×10^{-7} m | ③ 4.7×10^{-7} m |
| ④ 7.8×10^{-7} m | ⑤ 9.3×10^{-7} m | ⑥ 11.2×10^{-7} m |

解説 (正解 28 は②, 29 は③)

電子が持つ運動エネルギー E は $E = p^2/(2m)$ であり、電子の運動量 p と物質波の波長 λ は $\lambda = h/p$ の関係で運動エネルギーを書き直すと、 $E = h^2/(2m\lambda^2)$ となる。一方、弦は定常波の波長 λ は $\lambda = 2L/n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) となるので代入することで②となる。したがって 28 の正解は②である。

光子のエネルギー E_{\min} は $E_{\min} = \frac{h^2}{8mL^2} (12^2 - 11^2)$ となる。したがって波長 λ は $\lambda = \frac{8mL^2}{23h}$ が得られる。この式に数値を代入して 4.66×10^{-7} m となる。したがって 29 の正解は③である。