

物理チャレンジ 2015

第1チャレンジ

理論問題コンテスト

2015年7月12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8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17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。
携帯電話などの電源は切ってください。
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、氏名と持ち込んだ図書を必ず記入(マーク)してください。**
5. 問題ごとに□1, □2, ... □29, 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いただきます。
9. 退出の際に問題冊子は持ち帰ってください。

第1問 問1～12に答えなさい。

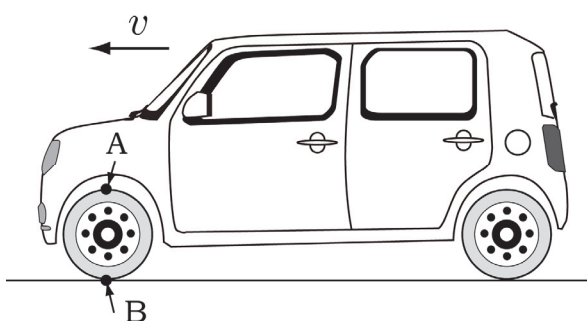
問1 バasketボールの公式球は、1.8 mの高さから静かにコート上に落としたときに1.2～1.4 mの範囲に跳ね上がるように空気圧が調整されている。次の中で公式球の条件を満たしている反発係数はどれか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。 1

- ① 0.45 ② 0.55 ③ 0.65 ④ 0.75 ⑤ 0.85

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。

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。

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

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。

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 $1.5\times 10^{11}\text{ m}$ 、太陽の直径は $1.4\times 10^9\text{ m}$ 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

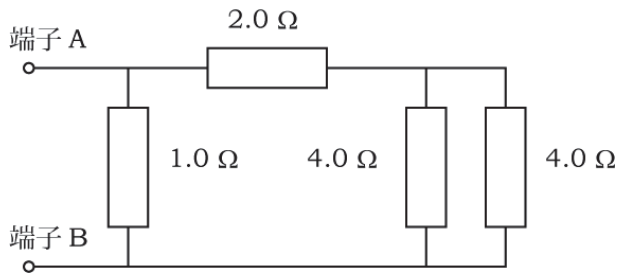
- ① 0.01 mm ② 0.1 mm ③ 1 mm ④ 10 mm

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。

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。

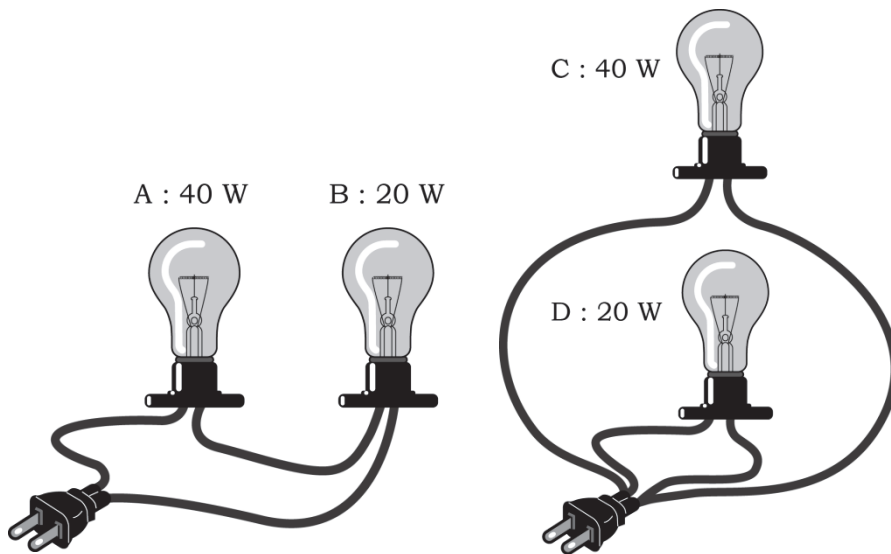
8



- 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 $4.0 \Omega \leq R$

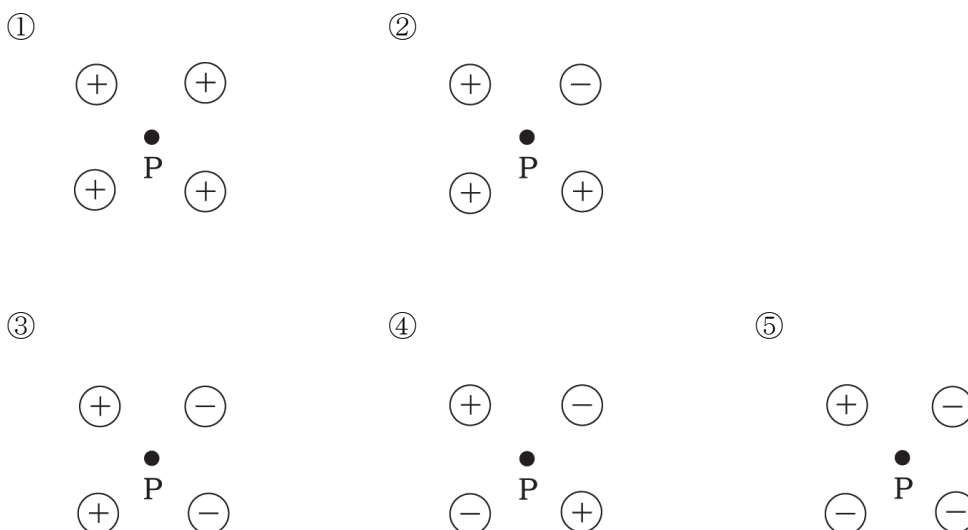
問 9 次の2つの図のように、40 W と 20 W の電球で回路を作り、100 V のコンセントにつないだ。電球 A から D の中で最も明るい電球は「ア」で、最も暗い電球は「イ」である。「ア」と「イ」の組み合わせとして最も適当なものを、①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

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

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



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。

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 $\frac{6}{R}$

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**

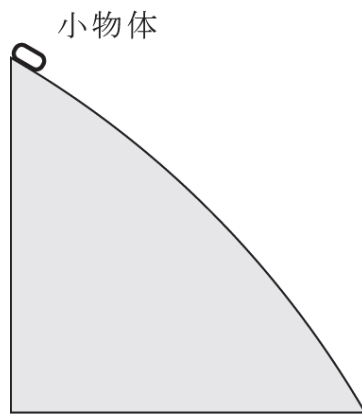


図1

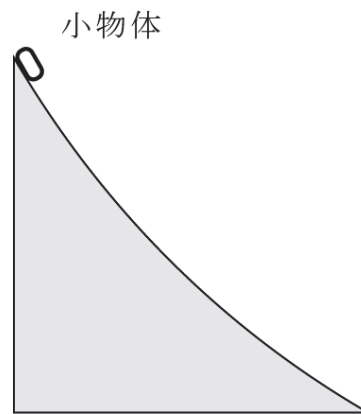
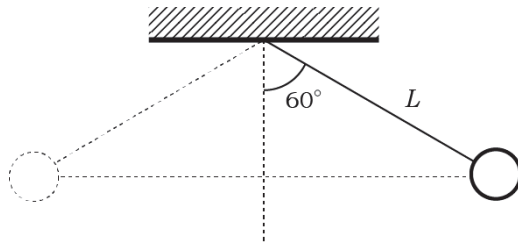


図2

- 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。

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 $\sqrt{2gL}$ |

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

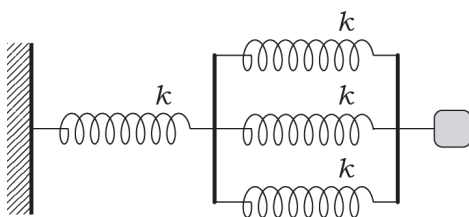


図 1

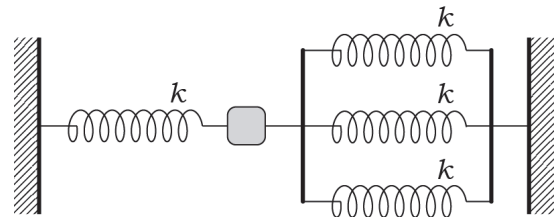


図 2

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

第3問 **A** (問1), **B** (問2) に答えなさい。

A

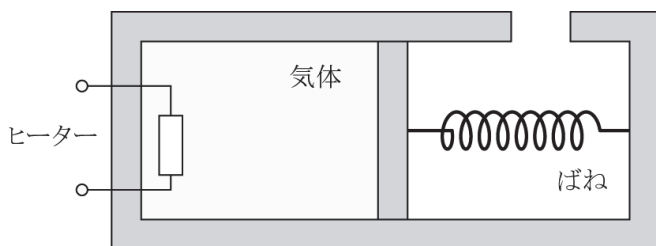
問1 空気の体積 2000 m^3 , 質量 400 kg (空気の質量は除く) の熱気球を地上から離陸させるための熱気球内の空気の平均温度はいくらか。外気温は 7°C で, このときの空気の密度は 1.3 kg/m^3 とする。最も適当なものを, 次の①～⑤の中から1つ選びなさい。 16

- ① 8.3°C ② 35°C ③ 48°C
 ④ 58°C ⑤ 91°C



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



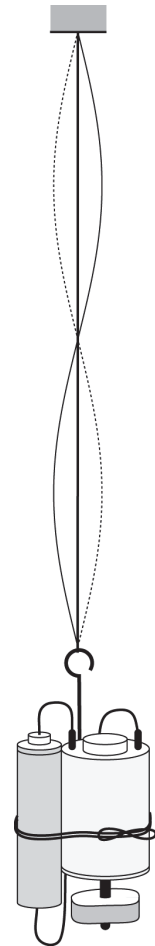
- ① 310 J ② 400 J ③ 410 J ④ 600 J ⑤ 610 J

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**

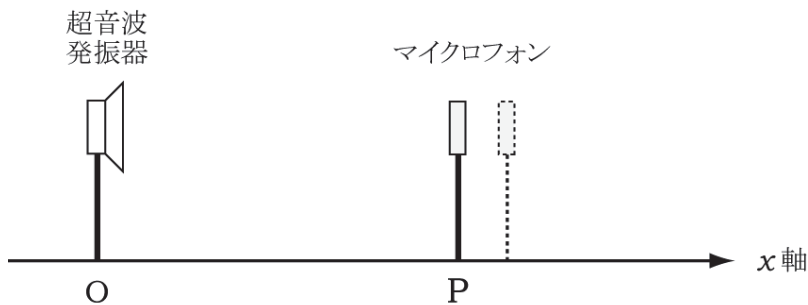
- ① 4.7 回/s ② 10 回/s ③ 24 回/s
④ 35 回/s ⑤ 47 回/s



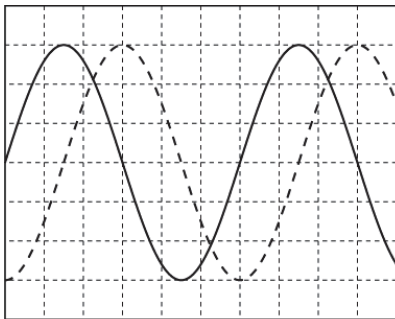
B

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。

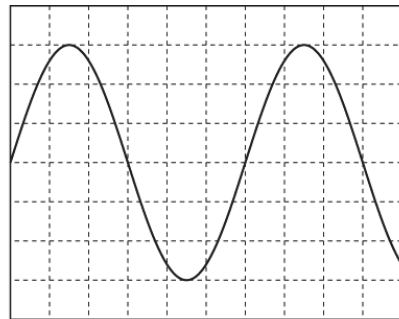
19



①

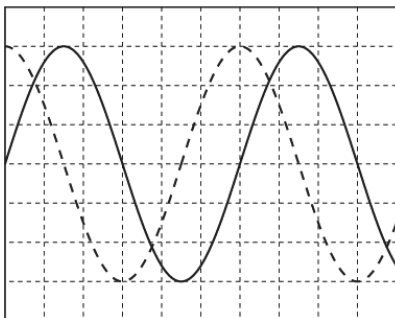


②

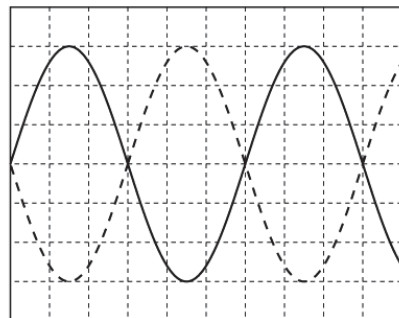


破線は実線と重なっている。

③



④

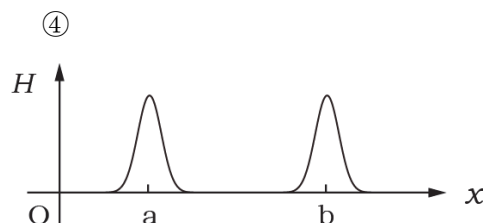
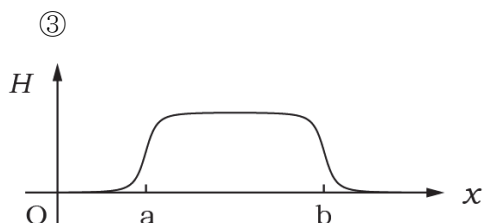
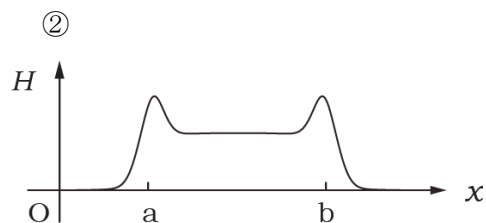
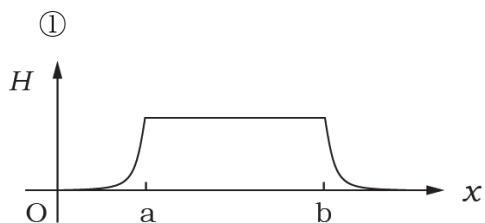
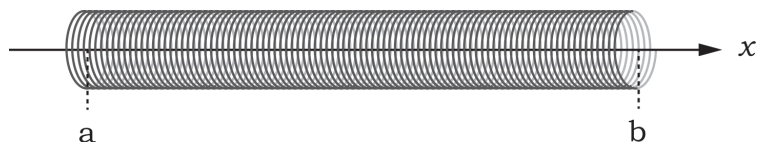


第5問 **A** (問1), **B** (問2), **C** (問3), **D** (問4) に答えなさい。

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



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

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

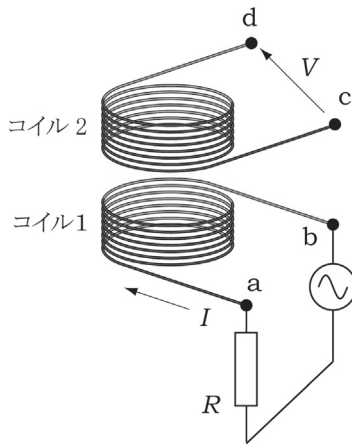


図1

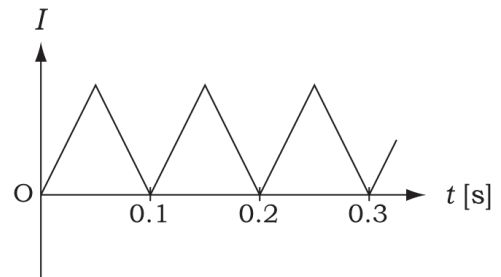
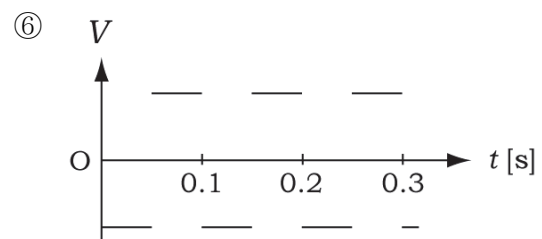
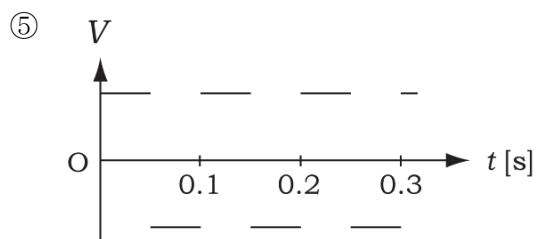
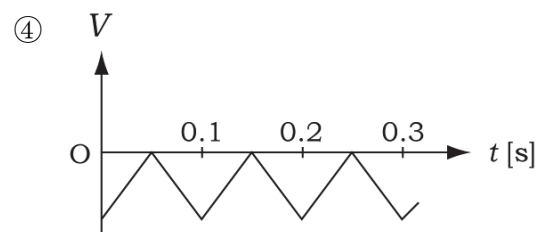
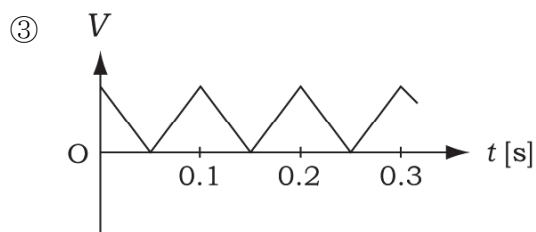
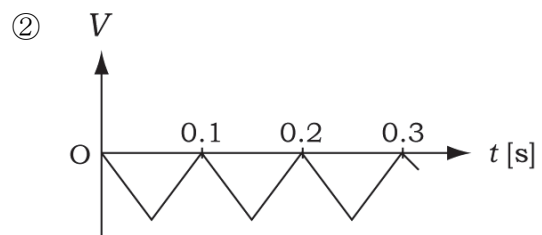
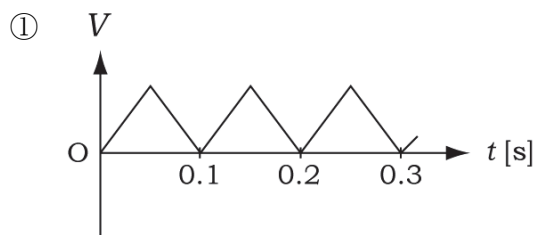


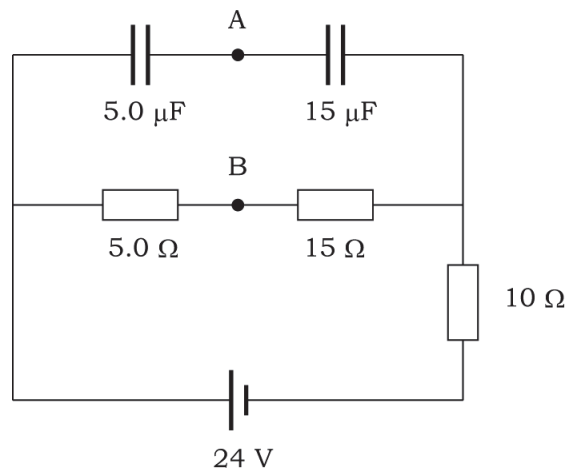
図2



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

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 $1 \times 10^5 \text{ m/s}$

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。

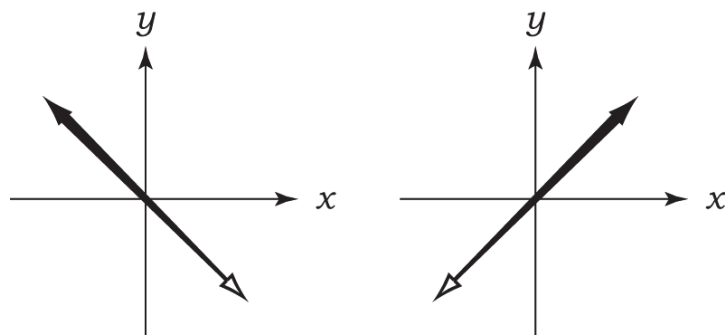


図1. 直線偏光

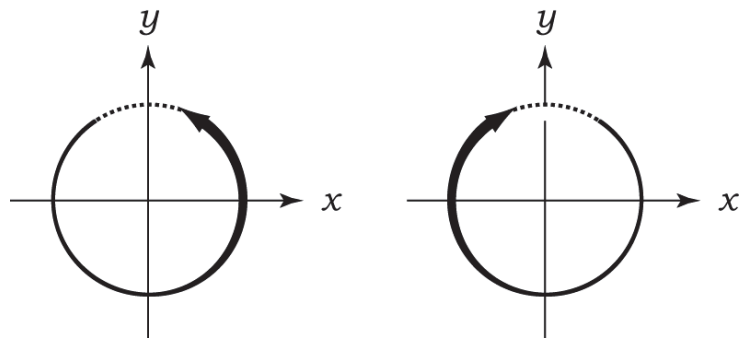


図2. 円偏光(左:反時計回り円偏光, 右:時計回り円偏光)

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に見える方

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

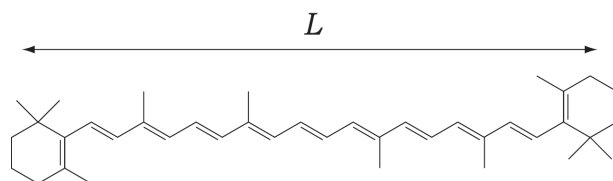


問 2 円偏光用の 3D 眼鏡をかけて、左目を閉じて右目だけで鏡に映る自分を見た場合、どのように見えるだろうか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 27



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 の線の上に閉じ込めると、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 の線の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 -カロテンに当たった場合、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 \cdot 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 |

