

# 物理チャレンジ 2011

## 第1チャレンジ

### 理論問題コンテスト

2011年6月19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5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1冊に限り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, ... ④⑩, 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。**解答用紙の解答欄はすべて①~⑥の6つですが、選択肢の数は各問題によって異なりますので注意して下さい。
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 **A** (問1, 2), **B** (問3, 4), **C** (問5, 6), **D** (問7~11)

に答えなさい。

**A** 図1のように、長さ  $L$  の糸に質

量  $m$  のおもりのついた振り子がある。

空気の影響や支持部の摩擦はいずれも無視できるとし、重力加速度の大きさを  $g$  とし、各問いに答えなさい。

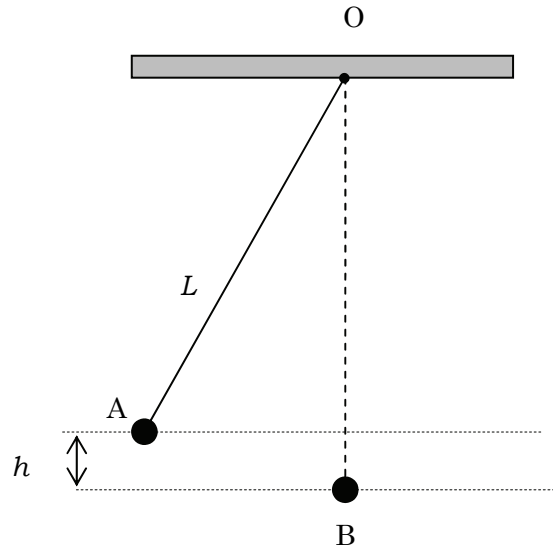


図1

**問1** 最下点からの高さ  $h$  の位置 A でおもりを静かに離す。おもりが最下点 B に達した瞬間の速さはどれか。最も適当なものを、次の①~④の中から 1 つ選びなさい。 **1**

- ①  $\sqrt{2gh}$       ②  $mgh$       ③  $\sqrt{mgh}$       ④  $2gh$

**問2** 糸の長さ  $L$  が十分に長い場合を考える。おもりの質量  $m = 100\text{g}$  で、最下点 B からの高さ  $h = 20\text{ cm}$  の点 A からおもりを静かに離す。最下点 B には質量  $m = 100\text{g}$  の物体を置いてあり、最下点に達したおもりは物体に衝突し、一体となって運動した。一体となったおもりと物体は、最下点から何 cm の高さまで上がるか。最も適当な値を、次の①~④の中から 1 つ選びなさい。 **2**

- ① 4 cm      ② 5 cm      ③ 10 cm      ④ 20 cm

**B** 5つの玉を一直線上になるようにつるした図2のようなおもちゃがある。図3のように1つの玉を持ち上げ、手を離し、ぶつけると、図4のように反対側に玉1つが飛び出し、ほぼ持ち上げた高さまで反対側の玉が上がる。

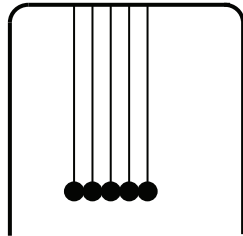


図2

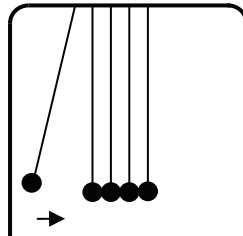


図3

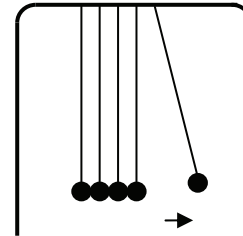


図4

**問3** 図2の状態から、左の玉2つを持ち上げて手を離して残りの3つの玉にぶつけると、どうなるか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

**3**

- ① 1番右側の玉1つが、玉を持ち上げた高さの約2倍の高さに飛び出す。
- ② 右側から玉2つが一緒になって、玉を持ち上げた高さと同じ高さに飛び出す。
- ③ 最初に一番右側の玉1つが、次に右から2番目の玉が飛び出して、最も高いところで1番目の玉に追いつき2つの玉が一緒になる。最も高いところは、玉を持ち上げた高さと同じである。
- ④ 2つの玉がぶつかり、すべての玉がばらばらになって動く。

**問4** 図2の状態から、左側から玉4つ同時に持ち上げて手を離して、1つの球にぶつけると、どうなるか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

**4**

- ① 一番右の玉1つが、左側4つの玉を持ち上げた高さの約4倍の高さに飛び出す。
- ② 右側から玉4つが一緒になって、玉を持ち上げた高さと同じ高さに飛び出す。
- ③ 一番右の玉が、つぎに右から2番目の玉が、そして順番に4つの玉が飛び出して、最も高いところで1番目の玉に追いつき4つの玉が一緒になる。最も高いところは、玉を持ち上げた高さと同じである。
- ④ 4つの玉がぶつかり、すべての玉がばらばらに動く。

**C** 図5のように、軽いつる巻きばねの上端を固定し、下端に小球をつるすと、ばねは自然長より  $a$  だけ伸びてつり合った。この位置から小球をさらに  $a$  だけ下に引いて静かに離した。重力加速度の大きさを  $g$  として、次の各問いに答えなさい。

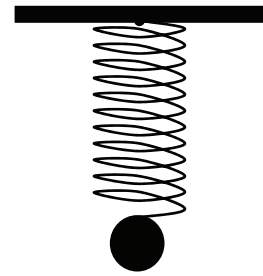


図5

**問5** このばねのばね定数はいくらか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

5

- ①  $\frac{a}{mg}$       ②  $\frac{mg}{a}$       ③  $\frac{ag}{m}$       ④  $\frac{am}{g}$

**問6** 小球がつり合いの位置を通る時の速さはいくらか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

6

- ①  $\sqrt{2ga}$       ②  $a\sqrt{g}$       ③  $g\sqrt{a}$       ④  $\sqrt{ga}$

**D** 次の問7～11に答えなさい。

**問7** ダイコンを半分にしてくれるように八百屋で頼んだところ、図6のような重心を通る面で二つに切り分けてくれた。この切り分けられたダイコンは、太い方と、細い方で、どちらが重いか。最も適当なものを、次の①～③の中から1つ選びなさい。

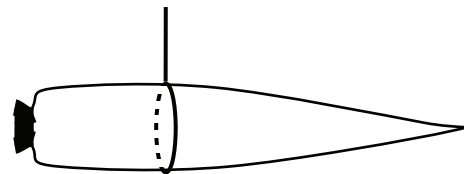


図6

7

- ① 同じ      ② 太い方      ③ 細い方

**問8** 水平な地表面から  $45^\circ$  斜め上方に、物体をある初速度で投げ上げたところ、物体は放物線を描いて運動し、3秒後に地表面に落下した。落下点は、投げ上げ地点から何 m の地点か。重力加速度の大きさを  $9.8 \text{ m/s}^2$  とし、空気の抵抗は無視できるものとして計算しなさい。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

8

- ① 22 m      ② 33 m      ③ 44 m      ④ 55 m      ⑤ 66 m

**問9** 空気中で落下する物体は空気の抵抗を受け、物体の速度は一定値に近づく。この一定速度を終端速度という。空気の抵抗力が速度の2乗に比例する場合、終端速度はどのように与えられるか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とし、物体の質量を  $m$ 、比例定数を  $k$  とする。

9

- ①  $\frac{k}{mg}$       ②  $\frac{mg}{k}$       ③  $\sqrt{\frac{k}{mg}}$   
 ④  $\sqrt{\frac{mg}{k}}$       ⑤  $\left(\frac{k}{mg}\right)^2$       ⑥  $\left(\frac{mg}{k}\right)^2$

**問10** 図のように、空中で固定した板の上に箱を載せ、箱の中にばねを入れ、ばねの下端を箱の底に固定した。ばねの上端には皿を固定し、皿の上に物体を置いて静止させる。この板を瞬間的に取り去ると、箱は落下し始めた。そのとき、この物体は、どのような運動をするか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

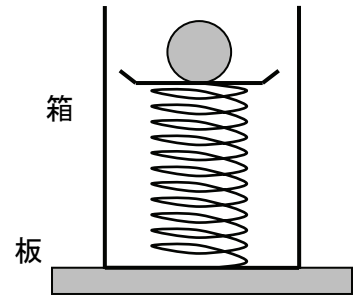


図7

10

- ① ばねの伸びは変わらないまま、物体は箱と一緒に落下する。  
 ② 物体は、皿の上にとったまま、振動をしながら、箱と一緒に落下する。  
 ③ 物体は、いったん箱から飛び出して、再び皿の上に戻り、これを繰り返す。  
 ④ 物体は、箱から飛び出し、皿の上には戻ってこない。

**問11** 日本の静止衛星「ひまわり5号」は、地球の赤道、地上  $3.6 \times 10^4 \text{ km}$  の上空を、地球の自転と同じ角速度で、地球の周りを周回している。このとき、「ひまわり5号」の速さ  $[\text{km/h}]$  はいくらか。最も適当な値を、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。ただし、地球の半径を  $6.4 \times 10^3 \text{ km}$  とする。

11

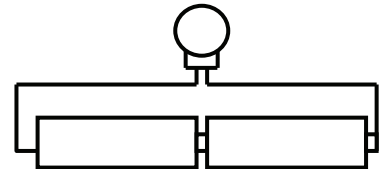
- ①  $1.6 \times 10^3 \text{ km/h}$       ②  $7.9 \times 10^3 \text{ km/h}$       ③  $9.4 \times 10^3 \text{ km/h}$   
 ④  $1.1 \times 10^4 \text{ km/h}$       ⑤  $2.8 \times 10^7 \text{ km/h}$       ⑥  $4.0 \times 10^7 \text{ km/h}$

第2問 **A** (問1, 2), **B** (問3, 4), **C** (問5, 6), **D** (問7, 8),

**E** (問9, 10), **F** (問11, 12) に答えなさい。

**A** 図8のように、乾電池2つを直列につなぎ豆電球を点灯させた。

図8



問1 図9 (a), (b) のように、さらに乾電池1つをつなぐと豆電球はどのようになるか。最も適当なものを、下の①~④の中から1つ選びなさい。 12

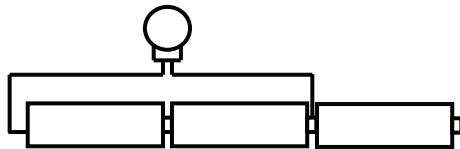


図9 (a)

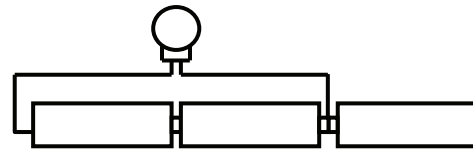


図9 (b)

- ① (a) では豆電球は点いたままだが、(b) では消えた。
- ② (b) では豆電球は点いたままだが、(a) では消えた。
- ③ (a), (b) とも点いたままである。
- ④ (a), (b) とも消えた。

問2 図10 (a), (b) のように、電池の両端を導線で結んだ。豆電球はどのようになるか。最も適当なものを、下の①~④の中から1つ選びなさい。 13

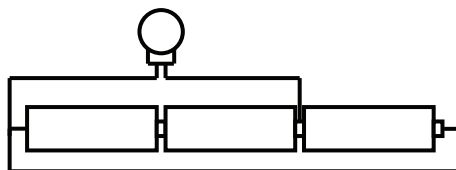


図10 (a)

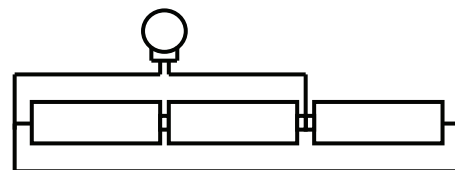


図10 (b)

- ① (a) では豆電球は図8より暗く、(b) では点いていない。
- ② (b) では豆電球は図8より暗く、(a) では点いていない。
- ③ (a), (b) ともに図8の明るさで点いている。
- ④ (a), (b) ともに点かない。

**B** 真空中に半径  $a$  の金属球があり、  
この金属球は電気量  $Q$  の電荷を蓄えている。

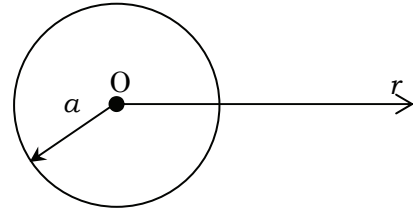
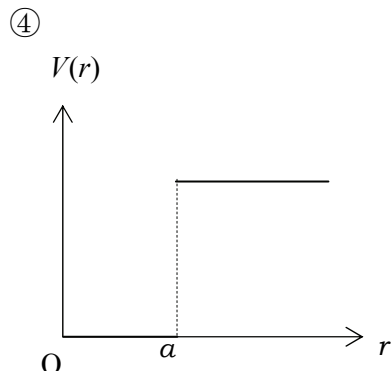
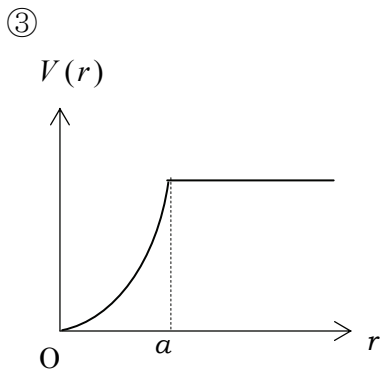
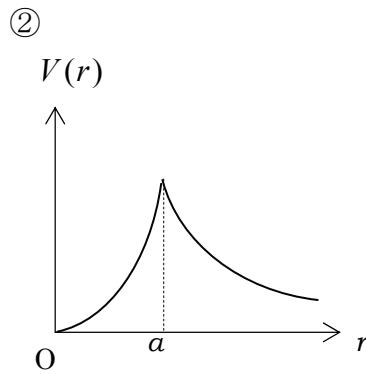
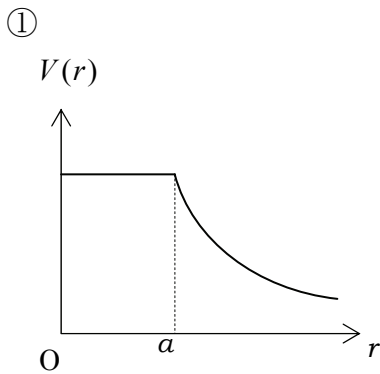


図 11

**問 3** 次の①～④の文章のうち、最も適当なものを 1 つ選びなさい。 14

- ① 電荷は表面に一様に分布し、球の内部に、表面と逆符号の電荷が生じ電場をつくっている。
- ② 電荷は表面に一様に分布し、球の内部に、電場は存在しない。
- ③ 電荷は表面の一部に偏って存在し、他の部分にはそれと逆符号の電荷が生じる。
- ④ 電荷は表面には存在せず、球内部に一様に分布している。

**問 4** 金属の中心からの距離を  $r$  としたとき、電位  $V(r)$  のグラフ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。 15



**C** 図 12 のように、長さ  $L$ 、断面積  $S$  の導体の棒に電圧  $V$  をかけて電流を流した。導体棒は自由電子の密度  $n$  [個/m<sup>3</sup>] の一様な材質で、一様な電場  $E$  から力を受けて自由電子が運動する。自由電子は熱振動している陽イオンと衝突を繰り返して進む。この衝突によって速さ  $v$  に比例する抵抗力  $kv$  ( $k$  は定数) がはたらくものとする。また、電気素量を  $e$  とする。

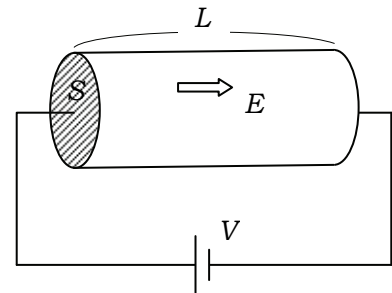


図 12

**問 5** 自由電子が一定の速さで運動しているとき、その速さはいくらか。最も適当なものを、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。 16

- ①  $\frac{eV}{kL}$       ②  $\frac{e^2V}{kL}$       ③  $\frac{kL}{eV}$       ④  $\frac{kL}{e^2V}$

**問 6** 自由電子が一定の速さで運動しているとき、導体棒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。 17

- ①  $\frac{enS}{kL}$       ②  $\frac{e^2nS}{kL}$       ③  $\frac{kL}{enS}$       ④  $\frac{kL}{e^2nS}$

**D** 図 13 のように、異なる 3 つの抵抗、 $R_A$  ( $20\Omega$ )、 $R_B$  ( $30\Omega$ )、 $R_C$  ( $50\Omega$ ) を直列に接続して、全体の両端に  $10V$  の直流電源をつないだ。

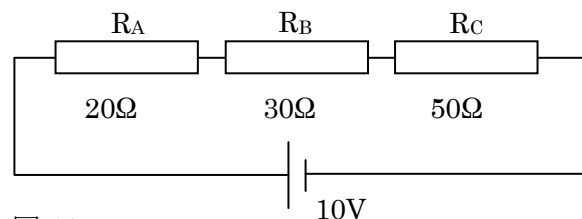


図 13

**問 7**  $R_A$  の両端の電位差を  $V_A$ 、 $R_C$  の両端の電位差  $V_C$  とすると、比  $V_C/V_A$  の値はいくらか。最も適当な値を、次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。 18

- ① 0.5      ② 1.0      ③ 1.5      ④ 2.0      ⑤ 2.5

**問 8**  $R_A$  を流れる電流を  $i_A$ 、 $R_B$  を流れる電流を  $i_B$ 、 $R_C$  を流れる電流  $i_C$  とすると、比  $i_C/i_A$  の値はいくらか。最も適当な値を、次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。 19

- ① 0.5      ② 1.0      ③ 1.5      ④ 2.0      ⑤ 2.5





次の問9～10に答えなさい。

**問9** 起電力  $E = 1.6\text{V}$  の電池に抵抗  $R = 10\Omega$  を接続し、抵抗の両端の電圧  $V$  を測定したところ、 $V = 1.5\text{V}$  であった。この電池の内部抵抗  $r$  は何  $\Omega$  か。最も適当な値を、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし、流れた電流を  $i$  とすると、 $V = E - r \times i$  の関係が成り立つ。 20

- ①  $0.1\Omega$                       ②  $0.3\Omega$                       ③  $0.7\Omega$   
 ④  $1.0\Omega$                       ⑤  $1.5\Omega$

**問10** 図14のように、4個の抵抗  $R_1, R_2, R_3, R$  を接続し、CD間に検流計  $G$  を接続した回路を考える。 $R_1, R_2$  の抵抗値は既知であり、 $R_3$  は可変抵抗で、 $R$  の抵抗値を測定したい。AB間に直流電源をつなぎ、 $R_3$  の抵抗値を変化させ、CD間を流れる電流が0となれば、C点とD点は等電位である。 $R_1, R_2$  の抵抗値をそれぞれ  $10\Omega, 20\Omega$  とし、 $R_3$  の抵抗値を  $30\Omega$  にしたとき、 $G$  は0を示した。この  $R$  の抵抗値は何  $\Omega$  か。最も適当な値を、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。 21

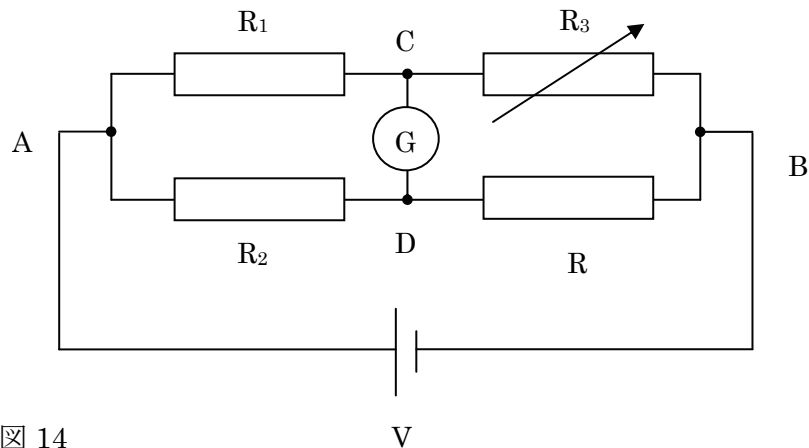


図14

- ①  $15\Omega$       ②  $20\Omega$       ③  $30\Omega$       ④  $45\Omega$       ⑤  $60\Omega$

**F** 現代のエレクトロニクスを大きく発展させたものの1つに、半導体がある。半導体に不純物を混入してP型とN型の2種類をつくり、これらを組み合わせて各種のデバイスがつくられる。

**問 11** 半導体の種類に関する次の①～④の記述のうち、最も適当なものを1つ選びなさい。 22

- ① P型はSiの単結晶にGeを、N型はGeの単結晶にSiを混入してつくることができる。
- ② P型はSi、N型はGeの単結晶である。
- ③ Siの単結晶に、P型はAlを、N型はPを混入してつくることができる。
- ④ Siの単結晶に、P型はPを、N型はAlを混入してつくることができる。

**問 12** 半導体の性質に関する次の①～③の記述のうち、最も適当なものを1つ選びなさい。 23

- ① P型は、混ぜた不純物原子の数だけ、結合に必要な電子が余り、N型は、混ぜた不純物原子の数だけ、結合するための電子が不足する。これらが正・負の電荷をもった粒子のように、結晶中を動く。
- ② P型は、混ぜた不純物原子の数だけ、結合するための電子が不足し、N型は、混ぜた不純物原子の数だけ、結合に必要な電子が余る。これらが正・負の電荷をもった粒子のように、結晶中を動く。
- ③ P型もN型も、もともとある自由電子が動き回ることで電荷を運んでいる。

第3問 **A** (問1, 2), **B** (問3, 4), **C** (問5, 6) に答えなさい。

**A** 次の問1, 2に答えなさい。

問1 水の沸騰に関する記述として最も適当なものを, 次の①~⑤の文章の中から1つ選びなさい。 24

- ① 水は  $100^{\circ}\text{C}$  になるといつでも沸騰する。
- ② 水の蒸気圧と大気圧が等しくなったときに水は沸騰する。
- ③ 山の上でご飯がうまく炊けないのは, 水が沸騰しないからである。
- ④ 水の沸騰は地球上で起こる現象であるが, 宇宙ステーションの中では沸騰しない。
- ⑤ 湿度が高いほど, 沸点が高い。

問2 温度が A :  $15^{\circ}\text{C}$ , B :  $25^{\circ}\text{C}$ , C :  $35^{\circ}\text{C}$  の水がある。A と B を混ぜると  $21^{\circ}\text{C}$  になり, B と C を混ぜると  $32^{\circ}\text{C}$  になった。A と C を混ぜると何 $^{\circ}\text{C}$ になるか。最も適当な値を, 次の①~⑤の中から1つ選びなさい。 25

- ①  $25^{\circ}\text{C}$     ②  $27^{\circ}\text{C}$     ③  $29^{\circ}\text{C}$     ④  $31^{\circ}\text{C}$     ⑤  $33^{\circ}\text{C}$

**B** 種々の金属の比熱を表1に示す。こ

れらの金属の比熱は温度によらず一定であるとして, 以下の問いに答えなさい。

問3 これらの金属の質量が等しいとき, 温度を  $25^{\circ}\text{C}$  から  $1^{\circ}\text{C}$  上げるのに要する熱量が最も少なくてすむのはどれか。最も適当なものを, 次の①~⑤の中から1つ選びなさい。 26

表1 金属の比熱

	比熱 [ $\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ ]
金	0.130
銀	0.236
鉄	0.437
チタン	0.528
アルミニウム	0.900

- ① アルミニウム    ② チタン    ③ 銀    ④ 金    ⑤ 鉄

**問4** 表1の各金属 100 g をそれぞれ 70°C に加熱して、0°C, 1 L (リットル) の水に入れ、じゅうぶん時間が経過した後の水温を比較する。このとき、水温が最も上昇するのは、どの金属を入れたときか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。 27

- ① アルミニウム    ② チタン    ③ 銀    ④ 金    ⑤ 鉄

**C** 断面積が等しいピストン付き円筒容器 A, B 内に等量の同じ気体を入れ、A, B を図 15 のように床に固定し、ピストンどうしをつなぐ。このときの両容器内の気体の温度はともに  $T_0$  [K], 圧力は  $P_0$  [N/m<sup>2</sup>], 体積  $V_0$  [m<sup>3</sup>] であった。

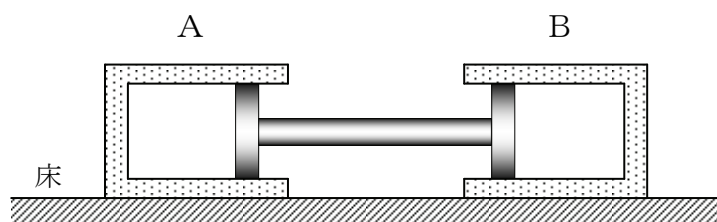


図 15

A 内の気体の温度を  $T_0$  [K] に保ったまま、B 内の気体の温度を  $T$  [K] に上昇させた。このときの容器 A, B 内の気体について、次の各問いに答えなさい。

**問5** 容器 A の圧力の大きさはいくらか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 28

- ①  $\frac{T+T_0}{T} P_0$     ②  $\frac{T+T_0}{T_0} P_0$     ③  $\frac{T_0}{T+T_0} P_0$     ④  $\frac{T}{T+T_0} P_0$

**問6** A の気体の体積はいくらか。最も適当なものを次の①～④の中から1つ選びなさい。 29

- ①  $\frac{2T_0}{T+T_0} V_0$     ②  $\frac{2T}{T+T_0} V_0$     ③  $\frac{T+T_0}{2T_0} V_0$     ④  $\frac{T+T_0}{2T} V_0$

第4問 次の問い（問1～5）に答えなさい。

問1 振動数が変えられる音源がある。一端が閉じた長さ85cmの筒を、図16のように、この音源に向けて置いた。音源の出す音の振動数を50Hzから高い方へゆっくりと変えていった。最初に共鳴した振動数は、100Hzであった。次に共鳴を起こす振動数は何Hzか。最も適当な値を、下の①～④の中から1つ選びなさい。

30

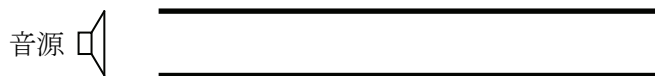


図16

- ① 200 Hz      ② 250 Hz      ③ 300 Hz      ④ 350 Hz

問2 図17のように、プリズムの一方の面に細いスリットを通して白色光を当てると、プリズムの他方の面から虹色に分かれた光が出てきた。この現象の理由を最も適切に説明している文を、下の①～④から1つ選びなさい。

31

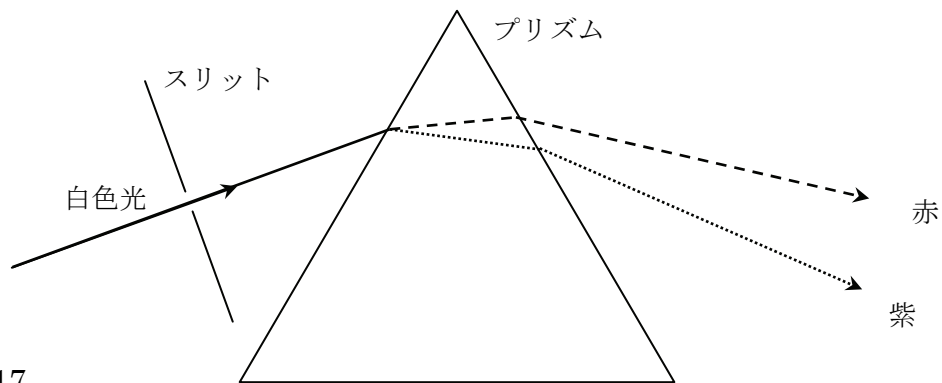


図17

- ① プリズムは色のついた光だけを通すから。  
② 白色光は7色の光が混ざってできているから。  
③ 白色光に含まれる光の色によって屈折率が異なるから。  
④ 白色光に含まれる光の色によって透過率が異なるから。

**問3** 図18のように、ある透明物質側から空気との境界面に単色光を入射した。入射角を次第に大きくしていったとき、入射角が $45^\circ$ のときに全反射が起きた。この単色光に対する、透明物質の屈折率として、最も適当な値を、次の①～⑥の中から一つ選びなさい。ただし、空気の屈折率は1.0として求めよ。

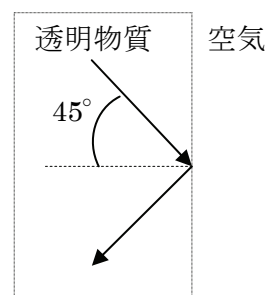


図18

32

- ① 1.2      ② 1.3      ③ 1.4      ④ 1.5      ⑤ 1.6      ⑥ 1.7

**問4** 虹ができるときに、図19のように二重の虹が見ることがある。これらの虹は、図20のように、空気中の水滴の中を太陽光が屈折と反射をしながら通ることによって見える。主虹の外縁の色と副虹の外縁の色の組み合わせとして適切なものを下の①～④から1つ選びなさい。

33

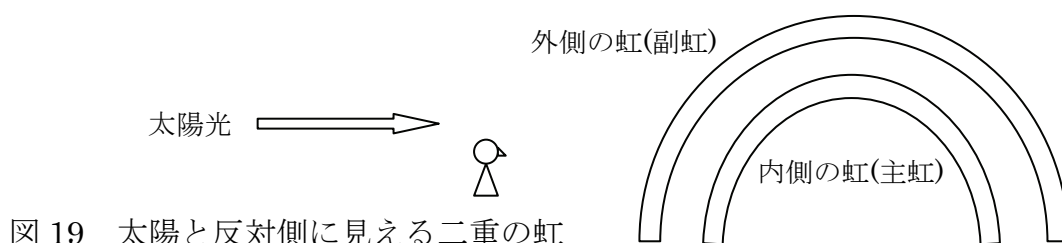


図19 太陽と反対側に見える二重の虹

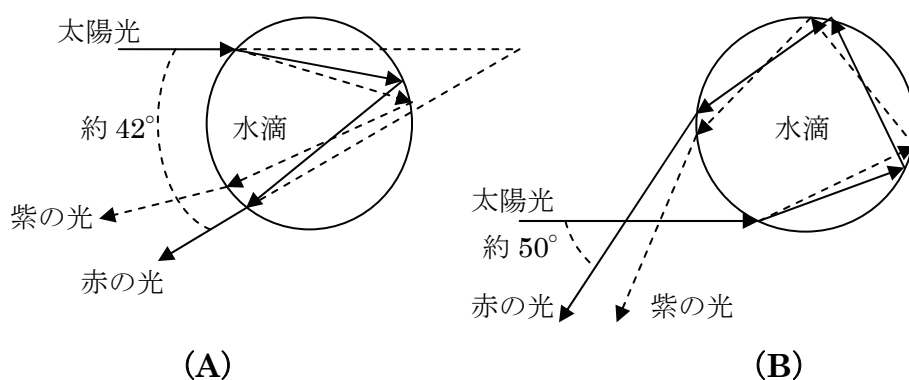


図20 光が水滴中を通過するようす (A) 主虹, (B) 副虹  
(紫色の光の屈折のようすは誇張して表している)

- ① 主虹も副虹も外縁の色は赤色である。  
 ② 主虹も副虹も外縁の色は紫色である。  
 ③ 主虹の外縁の色は赤色で、副虹の外縁の色は紫色である。  
 ④ 主虹の外縁の色は紫色で、副虹の外縁の色は赤色である。

問5 図 21 (a) (b)のように、回折格子に、波長 $\lambda$ の光をあてると、数  $m$  先のスクリーンに、レーザー光の明線が並んだ。回折格子の格子定数を  $d$ 、回折格子からスクリーンまでの距離を  $L$ 、スクリーン上の明線間隔を  $x$  とし、回折格子から明線に向かう光線の、回折格子の法線に対する角度を  $\theta$  とすると、

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

が成り立つ。回折格子の溝の数は 200 本/mm、スクリーンまでの距離  $L = 1.00\text{m}$  で測定すると、法線の隣の明線までの距離  $x = 12\text{cm}$  であった。このレーザー光の波長は何 nm か。最も適当な値を、次の①~④の中から 1 つ選びなさい。ただし、 $\theta$  が十分に小さいとき、 $\sin \theta \doteq \tan \theta$  として計算してよい。 34

- ① 300 nm      ② 400 nm      ③ 500 nm      ④ 600 nm

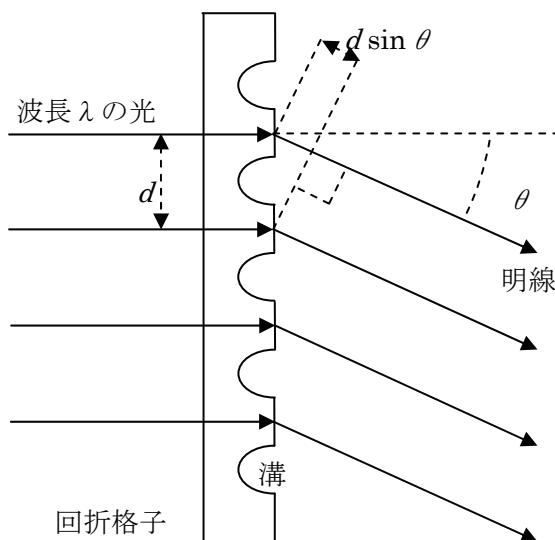


図 21 (a) 回折格子の細部における入射光の回折の様子

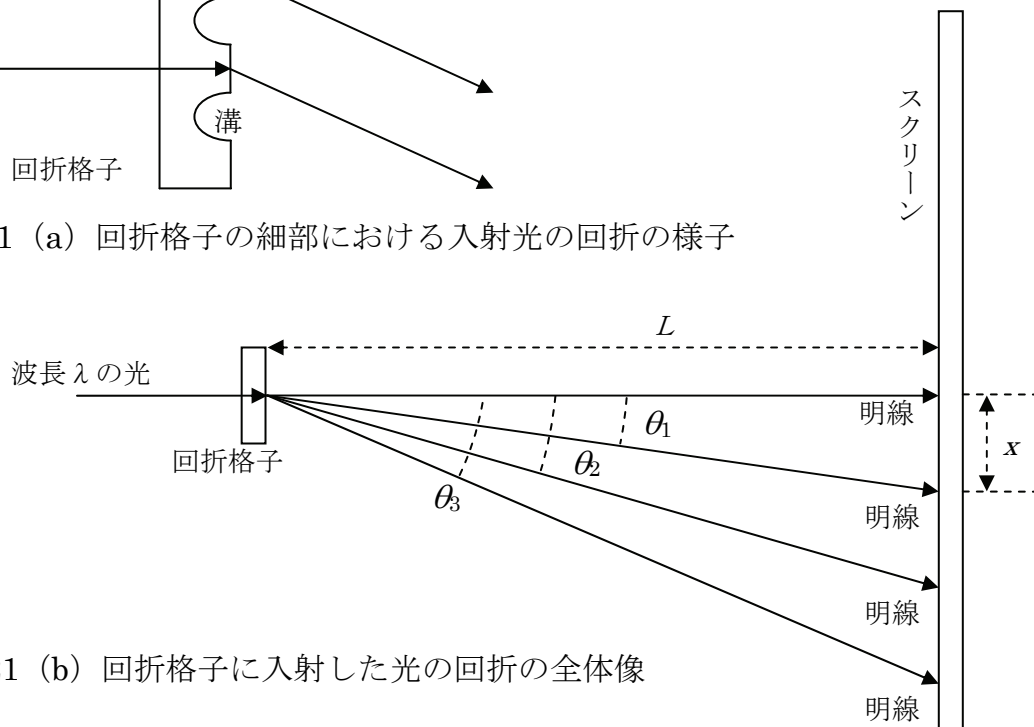


図 21 (b) 回折格子に入射した光の回折の全体像

第5問 **A** (問1～3), **B** (問4), **C** (問5, 6) に答えなさい。

**A** 2003年に旅立ってから約7年後の2010年6月, 小惑星イトカワからサンプルを採取して, 「はやぶさ」が地球に帰ってきた。この「はやぶさ」の航行に使われたのは, 従来型の化学推進と異なり, 推進剤をイオン化し, 静電加速して噴射することにより推力を得るイオンエンジンであった。そのイオンエンジンの推力を概算してみよう。

図22のような単純化したエンジンを考える。推進剤としてキセノン(Xe)を用い, その1価の正イオン( $Xe^+$ )を,  $V_0$ の電位差で静電加速する。グリッドへのイオンの衝突は考えないものとする。

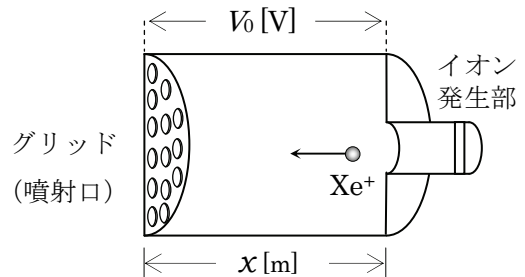


図22

**問1** 噴射口の単位面積あたりについて, 単位時間あたりのイオンガスの噴射量(質量)を $\mu$ , 噴射速度を $v$ とすると, 時間 $\Delta t$ の間に噴射されるイオンガスの得る運動量は,  $\Delta t$ の間にエンジンが受ける推力 $F$ の力積に等しいと考える。この推力 $F$ はどう表せるか。最も適当なものを, 次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

35

- ①  $\Delta t\mu V_0$     ②  $\mu V_0$     ③  $\Delta t\mu v$     ④  $\mu v$     ⑤  $\mu\Delta t$     ⑥  $v\Delta t$

**問2**  $Xe^+$ 1個の質量を $m_0$ , 電気素量 $e$ とすると, この $Xe^+$ の噴射速度 $v$ 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。

36

- ①  $\sqrt{2V_0 \frac{m_0}{e}}$     ②  $\sqrt{2V_0 \frac{e}{m_0}}$     ③  $\sqrt{5V_0 \frac{e}{m_0}}$     ④  $V_0 \sqrt{2 \frac{e}{m_0}}$     ⑤  $\sqrt{2V_0 e m_0}$

**問3** イオンガスの粒子密度 $N$ を,  $N = \frac{4}{9e} \beta \frac{V_0}{x^2}$ , ( $\beta$ は定数) とし,  $\mu = Nm_0 v$ に注意すると, 推力 $F$ はどう表せるか。最も適当なものを, 次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

37

- ①  $\frac{20}{9} \beta \left(\frac{V_0}{x}\right)^2$     ②  $\frac{8}{9} \beta V_0 \left(\frac{V_0}{x}\right)^2$     ③  $\frac{8}{9} \beta m_0 \left(\frac{V_0}{x}\right)^2$     ④  $\frac{8}{9} \beta \left(\frac{V_0}{x}\right)^2$     ⑤  $\frac{8}{9} \beta \left(\frac{m_0 V_0}{ex}\right)^2$



**B** 光は粒子の性質もあり、光の粒子を光子と呼ぶ。光の振動数を  $\nu$  とすると、その光の光子がもつエネルギーは、 $h\nu$  [J] で与えられる。ここに、 $h$  はプランク定数で  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  である。

**問4** 光子のエネルギーを表す単位として、普通ジュール [J] は大きすぎるので、電子ボルト [eV] を使う。eV と Jの間には、 $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$  の関係がある。波長 500 nm の光子のエネルギーは約何 eV か。最も適当な値を、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。光速  $c$  は  $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$  としてよい。 38

- ① 2.0 eV   ② 2.5 eV   ③ 3.0 eV   ④ 3.5 eV   ⑤ 4.0 eV   ⑥ 5.0 eV

**C** 次の説明を読んで、問5、問6に答えなさい。

**a. ブラッグの法則**

結晶の格子構造は、X線に対するブラッグの法則： $2d \sin \theta = m\lambda$  を使って、調べることができる。ここで、 $d$  は、X線を「反射」する平行な格子面と隣合う平行な格子面との距離で、格子定数（格子面間隔）と呼ばれる。結晶内に入射したX線は、個々の原子（格子）で散乱されるのではなく、原子（格子）が並ぶ平面（格子面）で反射されると考える。ここで、 $m$  は回折次数で、 $\theta$  は入射X線と格子面とのなす角であり、 $\lambda$  はX線の波長である。ブラッグの法則は、一般的にはブラッグの反射式、あるいは入射したX線が方向を変えて出てくるので、X線回折式という名で知られている。

**b. 金属棒の格子構造**

X線の波長は、結晶の格子定数と同程度の値であるので、通常ブラッグの回折実験は、X線を用いて行われている。しかし、より大きな格子定数をもつ結晶構造ではマイクロ波で回折が生じさせることができる。いま、マイクロ波を使ってブラッグの法則を確認するために、金属棒でつくられた格子を利用する。

図23に、金属棒格子の例を示す。図中  $xyz$  は座標軸を表し、 $z$  軸は鉛直上向きとする。ここで、金属棒は、鉛直な太線で示している。 $xy$  平面の対角線方向に沿った格子面を、影をつけた面で表している。

図24は、金属棒の格子を上から見た（ $z$  軸に沿って見下ろす）図を表し、ここでは、点が棒を示し、線が対角線方向の格子面を表している。

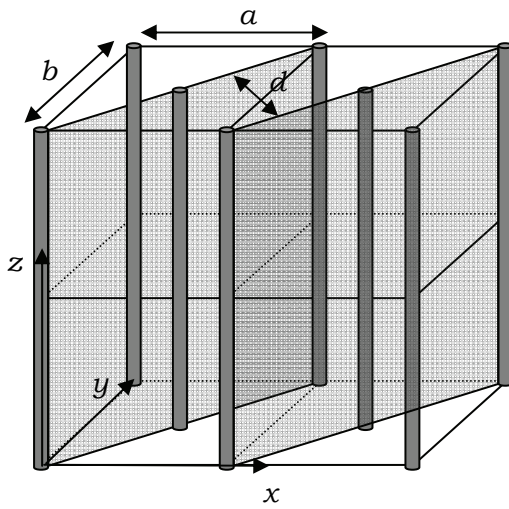


図 23 格子定数  $a$ ,  $b$  の金属棒格子,  
および格子面間隔  $d$

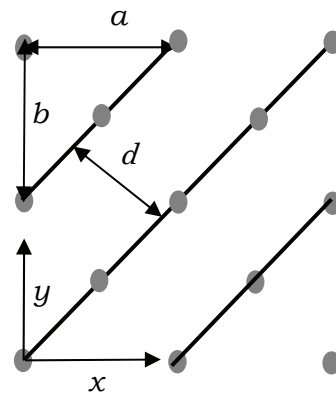


図 24 図 23 の金属棒の格子を真上から  
見たもの。直線は、格子の対角線  
の面を示している。ただし、図 23  
と図 24 は同じスケールではない。

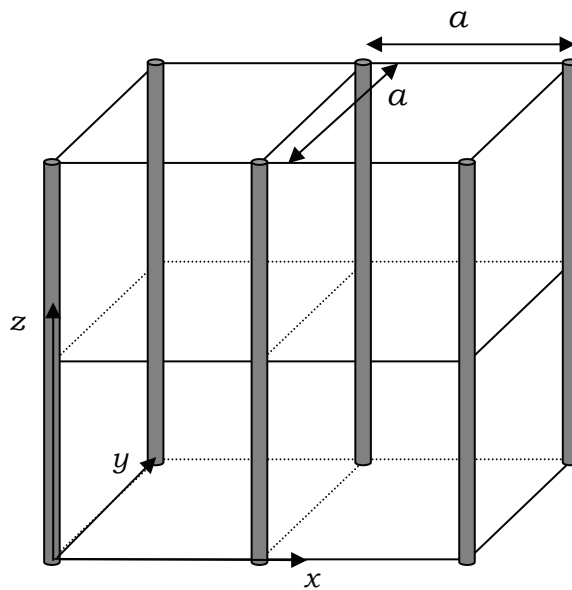


図 25 金属棒による正方格子

いま、図 25 に描かれているように、金属棒が単純な正方格子を作っているものが与えられている。この金属格子は、電波に影響を与えない材質の箱の中に密閉されており、この箱はブラックボックスで、開けることはできない。マイクロ波を使って、ブラッグ回折を測定することによって中の格子の格子定数  $a$  を導き出す。

**問5** 図 25 の格子で、格子定数  $a$  は、 $d$  (図 23, 図 24 と同様に格子面間隔とする) を用いてどのように表わせるか。最も適当なものを、次の①~④の中から 1 つ選びなさい。 39

- ①  $\sqrt{2}d$       ②  $\sqrt{2}d$       ③  $2d$       ④  $d$

**問6** 図 25 の格子で、測定により、回折角  $\theta = 30^\circ$  で回折光強度のピークが現れた。回折次数  $m = 1$  と見なすと、格子定数  $a$  の大きさはいくらか。最も適当な値を、次の①~④の中から 1 つ選びなさい。ただし、マイクロ波の波長は  $2.5\text{cm}$  とする。 40

- ①  $2.5\text{ cm}$       ②  $3.0\text{ cm}$       ③  $3.5\text{ cm}$       ④  $4\text{ cm}$

