

【解説】

物理チャレンジ 2017 第1チャレンジ

理論問題コンテスト

2017年7月9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20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。スマートフォンなどを時計として使用することはできません。スマートフォン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。
4. 開始の合図の前に、**解答用紙(マークシート用紙)に、第1チャレンジ番号と氏名を必ず記入(マーク)してください。**
5. 問題ごとに解答欄が **1**， **2**， ... **32**， 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1～11 に答えなさい。

問1 地球を半径 $6.4 \times 10^6 \text{ m}$ の球体, 地表での大気圧を $1.0 \times 10^3 \text{ hPa}$ として, 地球の大気の質量はいくらか。最も適当なものを, 次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 1

- ① $5.0 \times 10^{10} \text{ kg}$ ② $5.0 \times 10^{12} \text{ kg}$ ③ $5.0 \times 10^{14} \text{ kg}$
④ $5.0 \times 10^{16} \text{ kg}$ ⑤ $5.0 \times 10^{18} \text{ kg}$ ⑥ $5.0 \times 10^{19} \text{ kg}$

【解説】

大気圧は単位面積当たりの地表上空に存在する大気の重さとみなせる。したがって, 地球の半径を R , 大気圧を P_0 , 重力加速度を g として, 大気の総質量 M は,

$$M = 4\pi R^2 \times \frac{P_0}{g} = 4 \times 3.14 \times (6.4 \times 10^6)^2 \times \frac{1.0 \times 10^3}{9.8} = 5 \times 10^{18} \text{ kg}$$

と算出される。よって, 正答は⑤である。

問2 滑らかで水平なテーブルの上を, 質量 2.0 kg の物体が, 速さ 2.5 m/s で等速直線運動をしている。この物体に 9.0 N の一定の力を進行方向に加えながら 4.0 m 移動したとき, 物体の速さはいくらになるか。最も適当なものを, 次の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし, 空気抵抗および物体とテーブルの間の摩擦は考えないものとする。 2

- ① 8.5 m/s ② 7.5 m/s ③ 6.5 m/s ④ 5.5 m/s ⑤ 4.5 m/s

【解説】

運動エネルギーの変化と仕事の関係 $\Delta K = W = F \cdot x$ より,

$$\frac{1}{2} \cdot 2.0 \cdot v^2 = 9.0 \cdot 4.0 + \frac{1}{2} \cdot 2.0 \cdot 2.5^2$$

$$v = 6.5 \text{ m/s}$$

よって, 正答は③である。

問 3 図 1，図 2 のように，月が地球と太陽を結ぶ線上来たとき，地球が月におよぼす万有引力の大きさ $F_{\text{地球}}$ と，太陽が月におよぼす万有引力の大きさ $F_{\text{太陽}}$ の関係について，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，地球の質量は $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ ，月の質量は $7.0 \times 10^{22} \text{ kg}$ ，太陽の質量は $2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$ ，地球と月の距離は $3.8 \times 10^8 \text{ m}$ ，地球と太陽の距離は $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ とする。

3

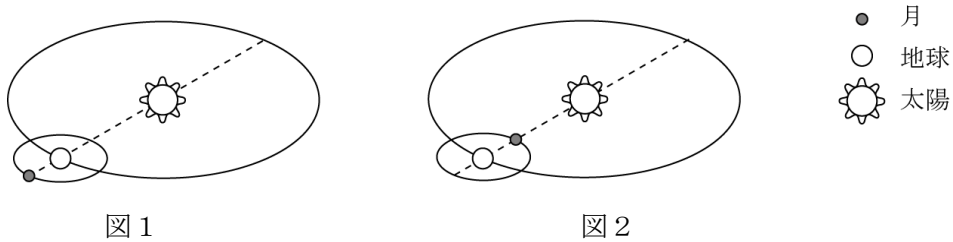


	図 1	図 2
①	$F_{\text{地球}} < F_{\text{太陽}}$	$F_{\text{地球}} > F_{\text{太陽}}$
②	$F_{\text{地球}} < F_{\text{太陽}}$	$F_{\text{地球}} < F_{\text{太陽}}$
③	$F_{\text{地球}} > F_{\text{太陽}}$	$F_{\text{地球}} > F_{\text{太陽}}$
④	$F_{\text{地球}} > F_{\text{太陽}}$	$F_{\text{地球}} < F_{\text{太陽}}$
⑤	$F_{\text{地球}} > F_{\text{太陽}}$	$F_{\text{地球}} = F_{\text{太陽}}$

【解説】
 図 1 と図 2 で，太陽と月の距離は大きく変わるようにみえるが，実際には太陽と地球の距離に対する月と地球の距離は 1000 分の 3 ほどなので，ほとんど変化しない。よって，太陽が月に及ぼす万有引力の大きさは，図 1，図 2 でほぼ同じ大きさで，太陽と地球の距離を用いて計算することができる。

$$F_{\text{地球}} = G \frac{7.0 \times 10^{22} \times 6.0 \times 10^{24}}{(3.8 \times 10^8)^2}$$

$$F_{\text{太陽}} = G \frac{7.0 \times 10^{22} \times 2.0 \times 10^{30}}{(1.5 \times 10^{11})^2}$$

$$F_{\text{地球}} < F_{\text{太陽}}$$

よって，正答は②である。

問 4 絶対温度 T の理想気体に、一定の圧力のもとで熱を加えて温度を $2T$ まで上昇させた。このとき、この気体の単位体積あたりの内部エネルギーは上昇させる前の何倍となるか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。

4

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

【解説】

内部エネルギーは温度に比例するため、上昇後の内部エネルギーは上昇前の 2 倍になる。一定の圧力のもとでの変化のため、上昇後の体積は上昇前の 2 倍になる。今回求める値は体積あたりの内部エネルギーであるため、上昇後は上昇前と変わらない。よって、正答は③である。

問 5 温度 20°C 、湿度 50% の静止した大気中に、同じ気圧、同じ温度で、湿度 60% の静止した空気塊 A が生じた。この空気塊 A はどのような動きをするか。最も適当なものを、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

5

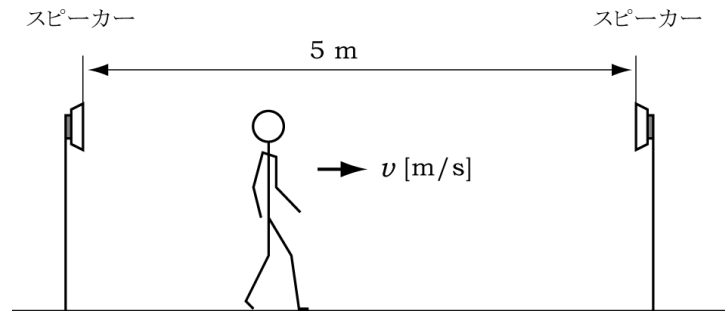
- ① 上昇する。
② 下降する。
③ 上昇も下降もしない。
④ 気圧によって上昇したり、下降したりする。

【解説】

空気を構成する主な気体分子は、窒素分子（分子量 28）、酸素分子（分子量 32）であるが、水蒸気の分子量は 18 のため、水蒸気の方が主な空気の構成分子よりは分子量が小さい。よって、密度が小さくなるため、正答は①である。

問6 2つのスピーカーを5 m 離して向かい合わせに置き、各スピーカーから振動数 680 Hz の音を出した。一方のスピーカーからもう一方のスピーカーへ向かって、観測者が一定の速度 v [m/s] でゆっくり歩いていくと、音の大きさが繰り返し変化して聞こえた。音が小さく聞こえる回数は1秒あたりどれくらいか。音速を 340 m/s とし、最も適当なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。

6



- ① $\frac{5}{v}$ ② $\frac{10}{v}$ ③ v ④ $2v$ ⑤ $4v$

【解説】

スピーカー間では定常波が生じている。半波長ごとに音が小さく聞こえるので、音が小さく聞こえる時間間隔 Δt は

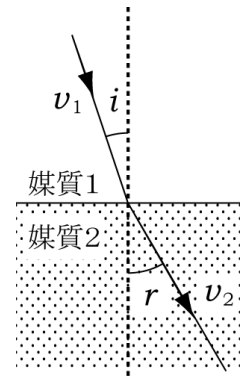
$$\Delta t = \frac{\lambda}{v} = \frac{1}{2} \cdot \frac{340}{680} \cdot \frac{1}{4v}$$

1秒間あたりの聞く回数は時間間隔 Δt の逆数になるため、 $4v$ 回である。よって、正答は⑤である。

※なお、ドップラー効果が起きるとして、前方からと後方からの音のうなり（周期的な音の大小が生じる）の振動数（1秒あたりの回数）を計算しても同じ結果になる。

問 7 媒質 1 から媒質 2 へ平面波が屈折して進む。媒質 1, 媒質 2 での波の速さはそれぞれ v_1, v_2 である。入射角 i よりも、屈折角 r の方が大きいとき、媒質 1 における波と媒質 2 における波を比べた。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

7



- ① $v_1 < v_2$ で、波長は変わらない。
- ② $v_1 > v_2$ で、波長は変わらない。
- ③ $v_1 < v_2$ で、振動数は変わらない。
- ④ $v_1 > v_2$ で、振動数は変わらない。

【解説】

媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率 n_{12} は波の伝わる速さや角度を用いて次のように表される。

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin i}{\sin r} = \text{一定}$$

$i < r$ より、 $v_1 < v_2$ である。また、媒質の境界面で波は接続しなければならないので、振動数は変化しない。よって、正答は③である。

問 8 月まで届く電気抵抗の無視できる長い電線で図のような回路を組む。電源とスイッチは地球にあり、電球は月にある。スイッチを入れた時刻を基準にして月面上の電球が点灯するまでの時間はどのようになるか。最も適当な記述を、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし、点灯の確認は月で行うものとする。

8



- ① 電流が電線を伝わる速さはほぼ光速である。月と地球間を往復するのにかかる約 2.5 秒後に点灯する。
- ② 電場が電線を伝わる速さはほぼ光速である。月と地球間の片道を伝わるのにかかる約 1.3 秒後に点灯する。
- ③ 電線中の電子は一斉に動くので、スイッチを入れた瞬間に点灯する。
- ④ 電源が電流を流せる距離には限界があり、月までは届かないのでいつまでたっても点灯することはない。

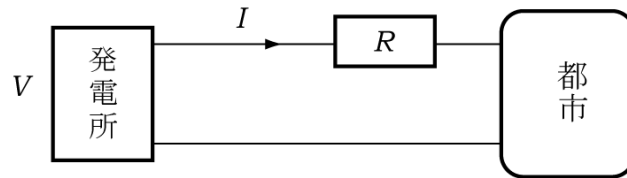
【解説】

電磁場のエネルギーの流れはポインティングベクトル（電場と磁場のベクトル積）で表される。電源を接続された電線には電位差が生じ変位電流が流れる、これにより電線に磁場が発生しこの磁場と電場に直交した方向すなわち電線の方に電磁場のエネルギーが伝搬する。電場が伝わる速度は、電線の伝送路としての特性により光速より遅くなるが、ほぼ光速とみなせる。したがって月面上の電球が点灯するのは電磁場のエネルギーが回路の端に到達する約 1.3 秒後となる。正答は②である。

普段スイッチを入れると明かりは瞬時に点くが、電子が電線中を光速で移動するのではなく、ところてん式に電流が流れるわけでもない。

問 9 図は発電所から都市への送電モデルである。途中の送電線の抵抗を R とし、都市の消費電力は一定とする。発電所からの送電量 W は送電電圧 V と送電電流 I の積、 $W = V \times I$ である。送電による損失を小さくするにはどうすればよいか。最も適当なものを、下の①～④の中から 1 つ 選びなさい。

9



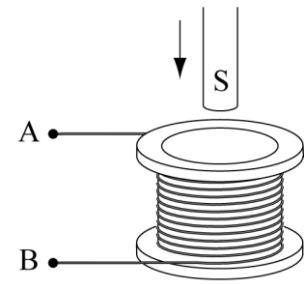
- ① V を高くする。
- ② V を低くする。
- ③ $V \times I$ を大きくする。
- ④ どのようにしても損失は変えられない。

【解説】

抵抗 R を電流 I が流れるときに電力損失が生じる。 $W = V \times I$ が一定であるため、電流 I を小さくするには電圧 V を大きくすればよい。よって、正答は①である。

問 10 図のように巻かれたコイルの中央に棒磁石の S 極をすばやく差し込み、S 極がちょうどコイルの中心に来たところで急に止めて、そのまましばらく放置した。S 極が近づいてくるときと、止まった後の端子 A, B の電位について、最も適当な記述を、次の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

10



- ① S 極が近づいてくるときは B が高電位となり、止まった後は A と B が等電位となる。
- ② S 極が近づいてくるときは A が高電位となり、止まった後は A と B が等電位となる。
- ③ S 極が近づいてくるときは B が高電位となり、止まった後もそのままの電位を維持する。
- ④ S 極が近づいてくるときは A が高電位となり、止まった後もそのままの電位を維持する。
- ⑤ S 極が近づいてくるときは B が高電位となり、止まった後は A が一瞬高電位になる。
- ⑥ S 極が近づいてくるときは A が高電位となり、止まった後は B が一瞬高電位になる。

【解説】

電磁誘導の問題である。S 極をコイルに差し込むとコイル内の上向きの磁束が増加するため、それを相殺する向きにコイルに電流が誘導される。コイルは両端開放なので、誘導された電流によって電荷の偏りが生じ、結果、B が高電位となる。磁束の変化がとまれば電荷の偏りが解消され、A と B は等電位となる。よって、正答は①である。

問 11 自然放射性原子核から出る放射線には α 線、 β 線、 γ 線がある。この3種の放射線について誤っている記述を、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

11

- ① 電離作用の最も強い放射線は α 線である。
- ② 最も透過しやすい放射線は γ 線である。
- ③ β 線は γ 線よりも透過しづらい。
- ④ 電離作用の最も強い放射線の実体は電子である。
- ⑤ 実体がヘリウム原子核である放射線は遮蔽がもっとも容易である。

【解説】

α 線、 β 線、 γ 線の特徴から判断する。電離作用がもっとも強いのは、ヘリウム原子核である α 線である。よって、正答は④である。

第2問 問1～5 に答えなさい。

問 1 ゆるやかな斜面上の同じ高さに、中空構造のバスケットボールと内部が詰まったボウリングの球を置いた。滑らせることなく静止状態から同時に転がすとき、どちらが早く斜面の最下点に到達するか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

12

- ① バスケットボールの方が早く到達する。
- ② ボウリングの球の方が早く到達する。
- ③ バスケットボールとボウリングの球は同時に到達する。
- ④ どちらが早く到達するかは条件により変わる。

【解説 1】

今回、ボウリングのボールとバスケットボールが転がるということで、いわゆる質点ではなく、剛体であるという条件で考える。

フィギュアスケーターがスピンの映像を見ると、スケーターは腕を広げたり縮めたりすることで回転のスピードを調節している。手が回転軸である体の中心から遠ざかると回転スピードが落ち回転しづらくなる。

物体が回転しながら斜面を落ちることを考えると、回転軸から離れた場所に物質が位置する中空のボールと、中心から密に物質が位置していく中身の詰まったボールでは、中空のボールの方が回転しづらく、回転するためのエネルギーがより多く必要となる。その結果、中空のボールの方が落下するスピードがあがりにくい傾向があると考えられる。

ボールが転がるためには、回転を起こすための力が必要で、その力としてボールに作用する摩擦を考えることができる。この力は、垂直抗力の大きさに関係するので、中空のボールの方が落下するスピードがあがりにくい傾向は、ボールの質量によらないとすることができる。そのため、中空のバスケットボールより、ボウリングのボールのほうが早く最下点に到達できる。よって、正答は②になる。

【解説 2】

滑ることなく球形の物体が斜面を転がり下りる加速度 a は物体の重心回りの慣性モーメントを I とすると、運動方程式は以下のように表される。

$$ma = mg \sin \theta - f$$

$$I\alpha = rf$$

ここで、 θ は斜面の傾斜角、 f は斜面との摩擦力、 α は重心回りの回転の角加速度である。また、滑らない条件より、

$$a = r\alpha$$

なので、加速度は、

$$a = \frac{mr^2}{I + mr^2} g \sin \theta$$

である。内部の詰まったボウリングの球と内部に空洞のあるバスケットボールの慣性モーメントはそれぞれ、

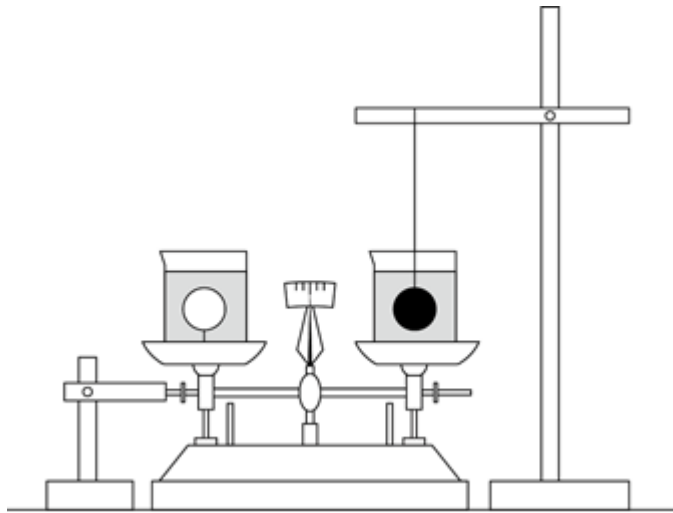
$$I_{\text{ボウリング}} = \frac{2}{5}mr^2$$

$$I_{\text{バスケットボール}} = \frac{2}{3}mr^2$$

である。したがって、ボウリングの球の加速度がバスケットボールより大きいことが分かる。落下の加速度は物体の質量や半径に依存しない。よって、正答は②である。

問 2 同じ量の水が入ったビーカーを2つ用意し、上皿てんびんに載せたところつりあった。次にストッパーをかけててんびんが動かないようにしてから、図のように、左のビーカーでは容器の底に固定した糸にピンポン玉をつなぎ水中に沈めた。右のビーカーではピンポン玉と同じ大きさの鉛をスタンドから糸でつるして水中に沈めた。この状態でストッパーを外し、てんびんが自由に動くようにすると、どのようになるか。最も適当なものを、下の①～③の中から1つ選びなさい。ただし、糸の質量は無視できるものとする。

13

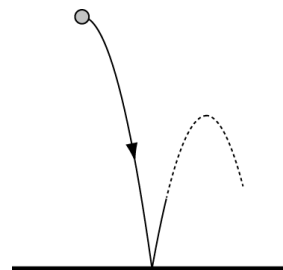


- ① 左右がつり合っている。 ② 左が下がる。 ③ 右が下がる。

【解説】

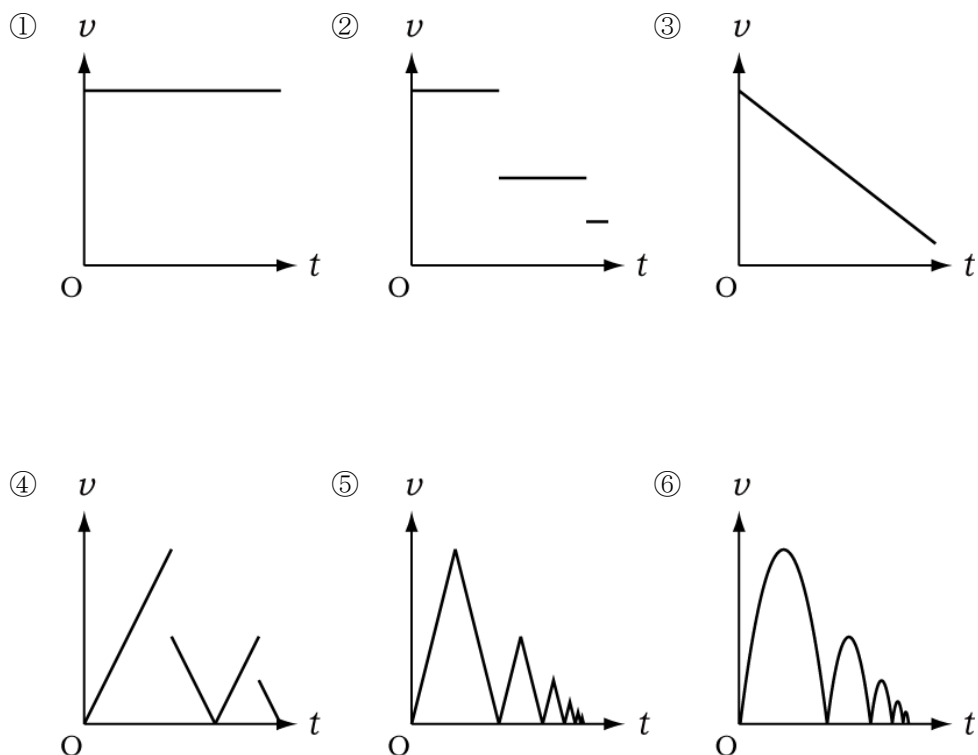
天秤の左にはピンポン玉と水入りビーカーの質量による重力がはたらき、右には、水入りビーカーの質量による重力と鉛玉にはたらく浮力の反力が下向きにはたらく。ピンポン玉の重量とピンポン玉の体積に相当する水の重量を比較すると明らかに後者が大きい（左のビーカー内でピンポン玉は浮き上がっている）ので、したがって右が下がる。正答は③である。

問3 小球を、高さ h から初速 v_0 で水平に投げだしたところ、図のように弾んだ。床はなめらかで、小球と床のはねかえり係数(反発係数)は $e < 1$ とする。小球の運動について次の(ア)と(イ)に答えなさい。



(ア) 小球の水平方向の速さ v と時間 t の関係を示すグラフとして、最も適当なものを、下の①～⑥の中から1つ選びなさい。 14

(イ) 小球の鉛直方向の速さ v と時間 t の関係を示すグラフとして、最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 15



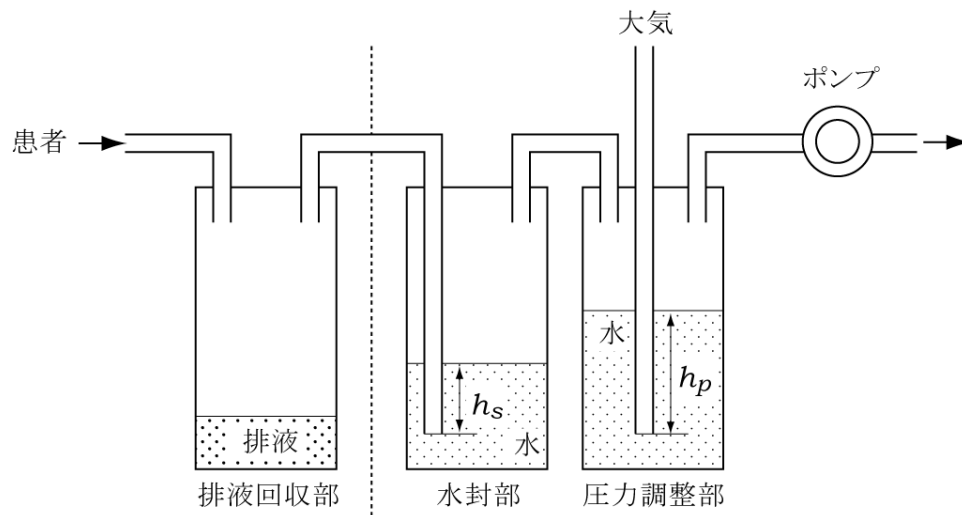
【解説】

(ア) 床がなめらかであるので、水平方向の速さは変化しない。よって、正答は①である。

(イ) 鉛直方向には重力による運動(等加速度運動)をするため、速さのグラフは斜めの直線で構成される。**速さ**であることと、床に衝突するたびに e 倍になることに注意すると正答は④である。

問 4 医療現場で使われている電動低圧持続吸引器は、ポンプの回転数の変動によらずに、一定の吸引圧(大気圧 P_0 との差)を維持するため、図のように水封部と圧力調整部の水深で調節する仕組みになっている。水封部は、排液の隔離と患者の体内への大気の逆流を防ぐために付けられている。 h_s 、 h_p は水面からパイプ下端までの深さである。このときの吸引圧として、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、重力加速度の大きさを g 、水の密度を ρ とする。

16



- ① $P_0 - \rho g h_p$ ② $P_0 - \rho g h_s$ ③ $(h_p - h_s) \rho g$
 ④ $(h_p + h_s) \rho g$ ⑤ $P_0 - (h_p + h_s) \rho g$

【解説】

液体の水面の高さの差 $\times \rho g$ が水面での気圧の差である。また、圧力調整部と水封部は直接つながっているのと同じ気圧である。患者が感じる吸引圧は、大気圧と排液回収部の圧力差である。以上のことから、

$$\text{大気圧} = \text{圧力調整部の気圧} + \rho g h_p$$

$$\text{排液回収部の気圧} = \text{水封部の気圧} + \rho g h_s$$

であり、辺々引き算をすれば、

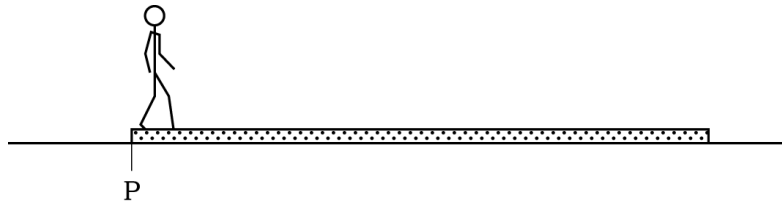
$$\text{大気圧} - \text{排液回収部の気圧} = (h_p - h_s) \rho g$$

となる。よって、正答は③である。

水面の高さを使って圧力を調節しているので、ポンプの回転数が変動してポンプの吸引が強くなっても、圧力調整部の管から大気が吸い込まれることによって一定の圧力が保たれ、患者の吸引圧が上昇することはなく安全が確保されている。

問 5 図のように、水平でなめらかなスケートリンクの氷面上に質量 60 kg 、長さ 12 m の一様な板が置かれ、左端に体重 60 kg の人が静止している。左端は氷面上の点 P にある。この人が板の上を歩いて右端で止まったとき、点 P に対する人の様子を示しているものとして、最も適当なものを、下の①～⑥の中から1つ選びなさい。

17



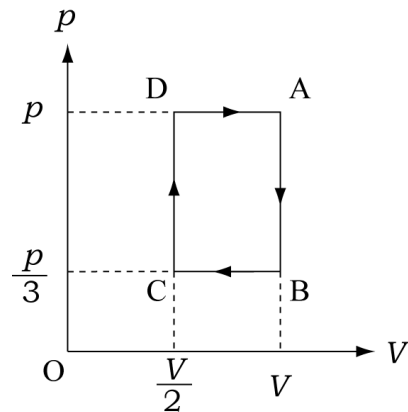
- ① 人は点 P の右 12 m のところに静止している。
- ② 人は点 P の右 6 m のところに静止している。
- ③ 人は点 P の右 12 m のところにいて、点 P から右へゆっくりと遠ざかっている。
- ④ 人は点 P の右 6 m のところにいて、点 P から右へゆっくりと遠ざかっている。
- ⑤ 人は点 P の右 12 m のところにいて、点 P にゆっくりと近づいている。
- ⑥ 人は点 P の右 6 m のところにいて、点 P にゆっくりと近づいている。

【解説】

外力がはたらかない系で最初静止しているので、人と板全体の重心は固定である。人と板の質量は等しいため、重心位置は P 点の右 3 m の位置に常にある。人が板の右端に達したとき、人と板全体の重心は人から左に 3 m である。また、重心位置は P 点の右 3 m の位置に固定されているため、このとき人の位置は P 点の右 6 m の位置である。また、板上で静止すれば、板も静止する。よって、正答は②である。

第3問 次の A (問 1, 問 2), B (問 3) に答えなさい

A ピストン付きシリンダーに単原子分子理想気体を閉じ込めた熱機関がある。内部の気体は初め、圧力 p , 体積 V の状態 A にある。この熱機関について、図の p - V 図に示すように状態を変化させるサイクル $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を考える。次の問 1, 問 2 に答えなさい。



問 1 図に示した $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$ の各過程のうち、熱機関内部の気体が外部にする仕事が正になるのはどの区間か。最も適当なものを、次の①～⑧の中から 1 つ選びなさい。

18

- ① $A \rightarrow B$ ② $B \rightarrow C$ ③ $C \rightarrow D$ ④ $D \rightarrow A$
 ⑤ $A \rightarrow B$ と $B \rightarrow C$ ⑥ $C \rightarrow D$ と $D \rightarrow A$ ⑦ $B \rightarrow C$ と $D \rightarrow A$ ⑧ $A \rightarrow B$ と $C \rightarrow D$

【解説】

外部にする仕事が正になるのは気体が膨張する時である。よって、正答は④である。

問 2 過程 $A \rightarrow B \rightarrow C$ において、気体の内部エネルギーの変化はいくらか。最も適当なものを、次の①～⑧の中から 1 つ選びなさい。

19

- ① $-\frac{17}{12}pV$ ② $-\frac{5}{4}pV$ ③ $-\frac{13}{12}pV$ ④ $-\frac{1}{4}pV$
⑤ $\frac{1}{4}pV$ ⑥ $\frac{13}{12}pV$ ⑦ $\frac{5}{4}pV$ ⑧ $\frac{17}{12}pV$

【解説】

点 A での温度を T_A 、点 C での温度を T_C とする。気体定数を R 、物質量を n [mol] とすると、気体の状態方程式より $pV = nRT_A$ 、 $\frac{p}{3} \cdot \frac{V}{2} = nRT_C$ であるため、 $T_C = \frac{1}{6}T_A$ である。内部エネルギーの変化 ΔU は、

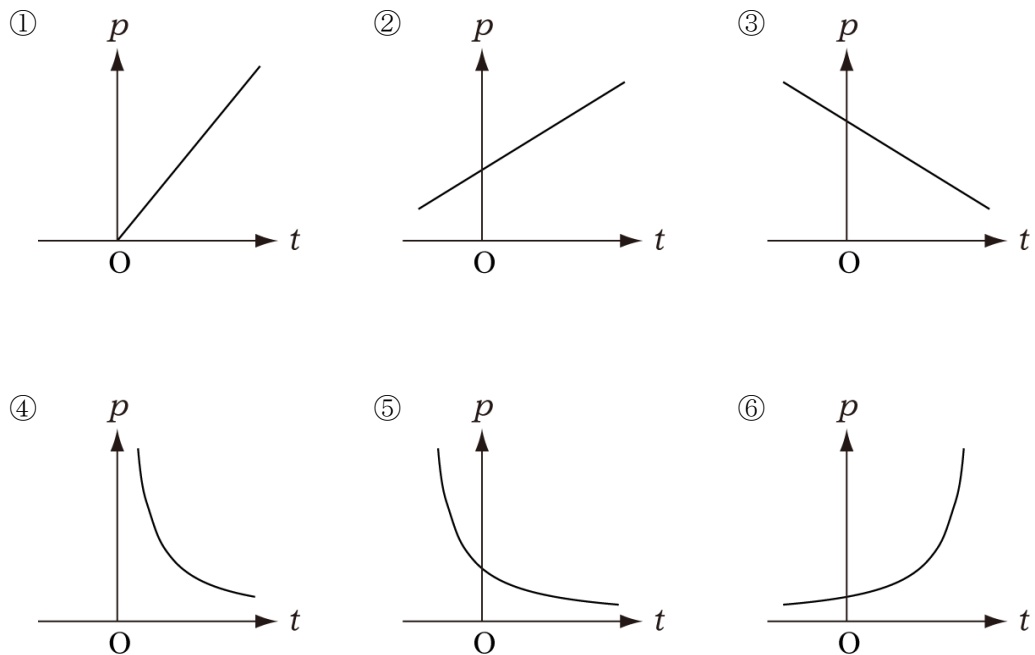
$$\Delta U = \frac{3}{2}nR(T_C - T_A) = -\frac{3}{2} \cdot \frac{5}{6}pV = -\frac{5}{4}pV$$

よって、正答は②である。

B 体積の変わらない容器に、一定量の理想気体を入れて密閉する。

問3 この理想気体の温度を変えたとき、セ氏温度 t と気体の圧力 p の関係はどうなるか。最も適当なグラフを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

20



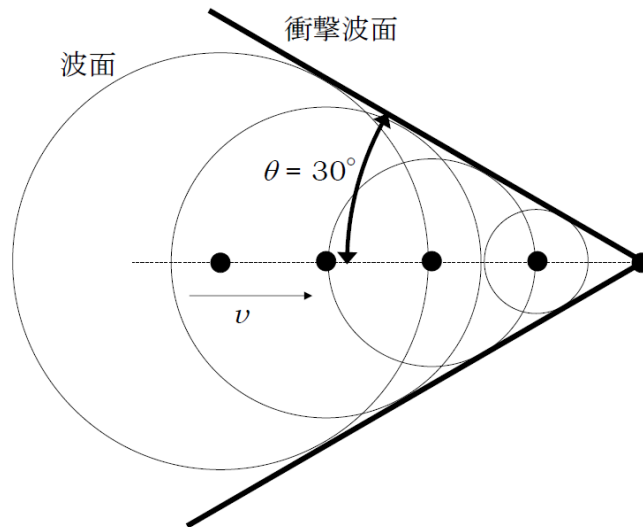
【解説】

定積変化であるので、温度が絶対温度で表されていれば、圧力と温度は比例関係である。しかし、この問題はセ氏温度であるため、 $t=0^{\circ}\text{C}$ では圧力 p は正の値をとる。よって、正答は②である。

第4問 問1～3 に答えなさい。

問 1 音速を超えて飛行するジェット機から出た音は強い衝撃波面を形成する。図中の点と円は、ジェット機の等時間間隔での位置とその位置で発せられた音波の波面を表す。図中の角度 θ が 30° であるとき、ジェット機の大気に対する速さは音速の何倍か。最も適当なものを、下の①～⑥の中から1つ選びなさい。

21



- ① 1.2 倍 ② 1.4 倍 ③ 1.7 倍 ④ 2.0 倍 ⑤ 2.4 倍 ⑥ 2.8 倍

【解説】

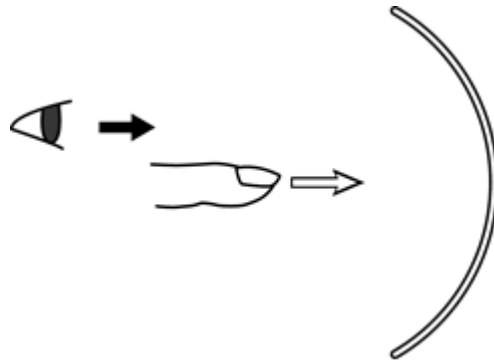
図のようにジェット機の速さを v とすると、 t 秒間で vt 進む。その間に、音は音速の大きさを V とすると半径 Vt の球面上へ進行する。角度が 30° であるとき、

$$\sin 30^\circ = \frac{Vt}{vt} = \frac{V}{v}$$

であるため、ジェット機の速さ v は音速 V の2倍である。よって正答は④である。

問 2 凹面鏡に、図のように指を遠くから鏡の面まで近づける。凹面鏡でできる指の像の向きと大きさはどのように変化するか。最も適当なものを、下の①～⑥の中から1つ選びなさい。

22



- ① ずっと倒立像で、徐々に大きくなっていく。
- ② ずっと正立像で、徐々に大きくなっていく。
- ③ 初め倒立像で、徐々に小さくなっていくが、ある場所で正立像に変わり、徐々に大きくなっていく。
- ④ 初め倒立像で、徐々に大きくなっていくが、ある場所で正立像に変わり、徐々に小さくなっていく。
- ⑤ 初め正立像で、徐々に小さくなっていくが、ある場所で倒立像に変わり、徐々に大きくなっていく。
- ⑥ 初め正立像で、徐々に大きくなっていくが、ある場所で倒立像に変わり、徐々に小さくなっていく。

【解説】

凹面鏡の特徴である。焦点より外側にあるとき、物体の像は倒立像である。焦点に近づくとつれて大きな像になり、飛び出してくるように見える。焦点を過ぎると正立像となり、鏡に近づくとつれて小さくなる。よって、正答は④である。きれいに磨いたおたまやスプーンなどでも観察できる。

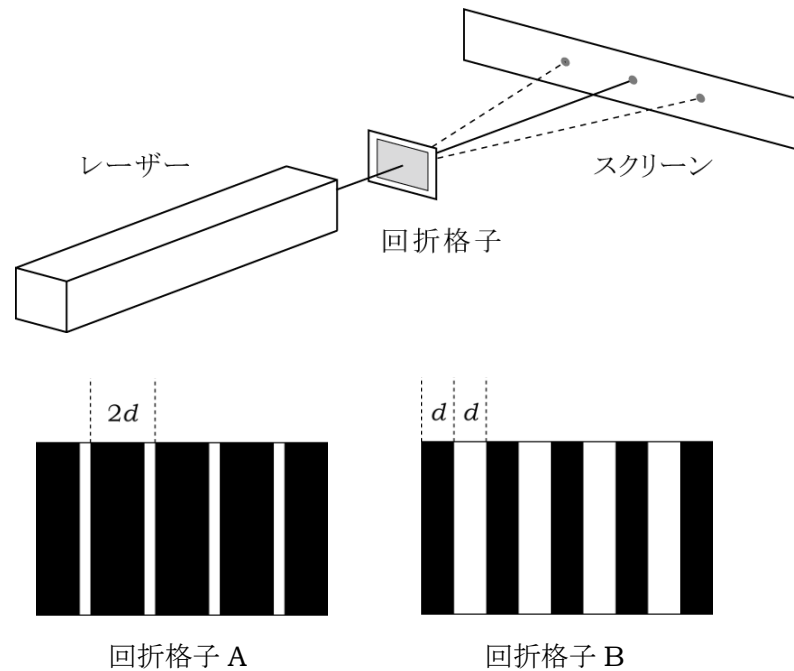
問 3 波長 λ のレーザー光に垂直に回折格子を置き、離れたところに置いた十分に大きいスクリーン上で、干渉パターンを観察した。格子間隔 $2d$ である回折格子2種類を用いた。

回折格子 A 格子間隔 $2d$ で透過する部分が狭いもの。

回折格子 B 格子間隔 $2d$ で光の透過する部分と遮光する部分とが同じ幅のもの。

干渉パターンは、中央の明点から離れるにつれ、暗くなっていく。その上で、2種類の回折格子を比較するとどのようなようになるか。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 同じである。
- ② B では A で見える 0 次回折光から偶数番目毎にあるはずの明点が見えなくなった。
- ③ B では A で見える 0 次回折光から奇数番目毎にあるはずの明点が見えなくなった。
- ④ A では B で見える 0 次回折光から偶数番目毎にあるはずの明点が見えなくなった。
- ⑤ A では B で見える 0 次回折光から奇数番目毎にあるはずの明点が見えなくなった。

【解説】

格子間隔 $2d$ の回折格子 A では、波長 λ において、回折角 θ は次の関係式を満足するとき明点となる。

$$2d \sin \theta = \frac{\lambda}{2} \cdot 2m$$

ここで m は、

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

である。

幅広開口の回折格子 B では、幅 d の単一スリット内での干渉により回折強度が弱まる回折角が存在する。

$$\frac{d}{2m} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$$

ここで m は、

$$m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

である。

回折格子として、

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{2d} \cdot m$$

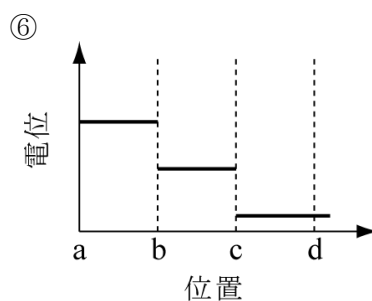
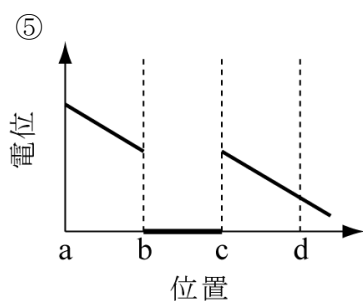
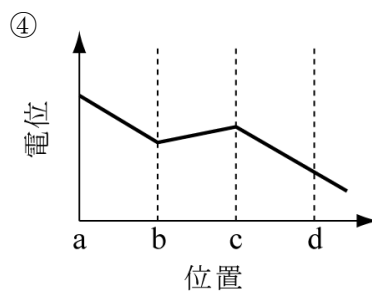
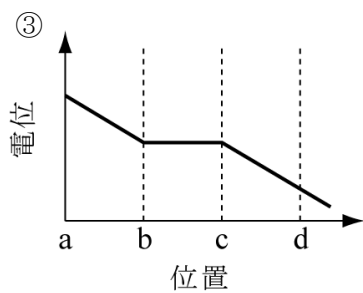
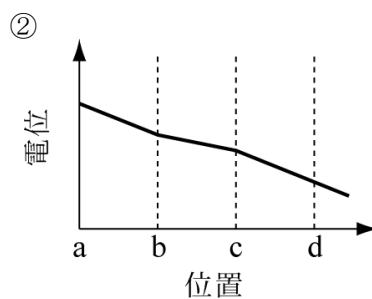
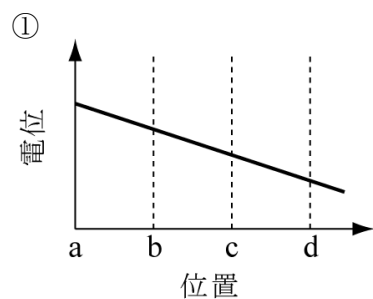
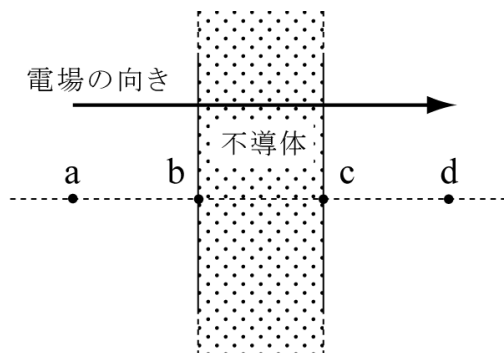
を満足する回折角に明点が表れるはずだが、単一のスリットで、

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{2d} \cdot 2m$$

を満足する回折角で弱め合うため、偶数番目の明点が消えることになる。したがって正答は、②である。

第5問 問1～4 に答えなさい。

問1 一様な電場(電界)中に, 厚さが一定の十分に広い不導体(絶縁体)を図のように置いた。図の点線上の電位はどうなるか。最も適当なものを, 下の①～⑥の中から1つ選びなさい。 24

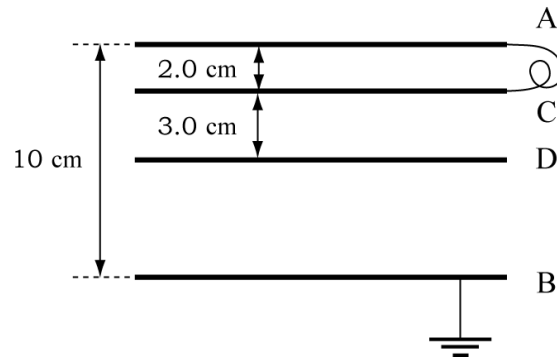


【解説】

何も置かれていなければ点 **a** から点 **d** まで斜めの直線で減少するグラフになる。不導体が入ると、導体のように電場=0 にならず、外部より弱い電場が生じる。そのため、不導体内部では、外部より傾きの大きさが小さいグラフになる。よって、正答は②である。

問2 図のように、大きな導体板 A, B を間隔 10 cm で平行に置いた。B を接地し、0 V とする。A に $+Q$ [C] の電気量を与え、AB 間に一様な電場をつくった。A, B と同じ形で、帯電していない薄い導体板 C, D を用意する。C を A から 2.0 cm, D を C から 3.0 cm 離れた位置に入れ、A と C を導線でつないだ。このとき D の電位は 15 V であった。C, D を入れる前の A の電位はいくらか。最も適当なものを、下の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。

25



- ① 5.0 V ② 7.5 V ③ 15 V ④ 24 V ⑤ 30 V

【解説】

電気量は固定なので、設問中の操作に対して電束は常に一定である。

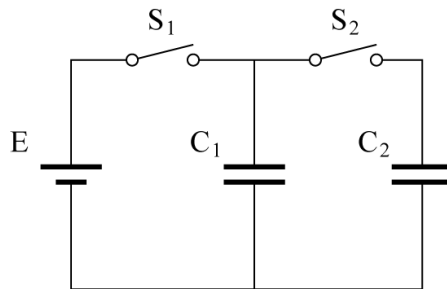
B から 5cm の距離の D の電位が 15V であれば、10cm の距離にある A のもともとの電位は倍の 30V であることが分かる。よって正答は⑤である。

※電束という言葉に馴染みがない場合、1 行めを次のように読んでも良い。

ガウスの法則 (Q [C] の電荷から出る電気力線の本数 $= 4\pi kQ$) を考えると、導体板間の電気力線の本数は常に一定である。

問 3 図のように、起電力 V の電池 E 、同じ電気容量 C の 2 つの帯電していないコンデンサー C_1 、 C_2 とスイッチ S_1 、 S_2 からなる回路がある。各素子は理想的な素子とし、導線に抵抗はない。スイッチ S_1 を閉じて C_1 を充電すると、 C_1 に蓄えられたエネルギーは $CV^2/2$ である。次に S_1 を開けて S_2 を閉じると、 C_1 と C_2 に蓄えられたエネルギーの和は $CV^2/4$ となる。この失われたエネルギーはどうなったか。最も適当な記述を、下の①～④の中から 1 つ選びなさい。

26



- ① 電磁波として空間に放出された。
- ② ジュール熱として失われた。
- ③ 回路全体ではエネルギーは保存されている。
- ④ コンデンサー間で電荷を移動させると一部の電荷が消費される。そのためエネルギーが半減する。

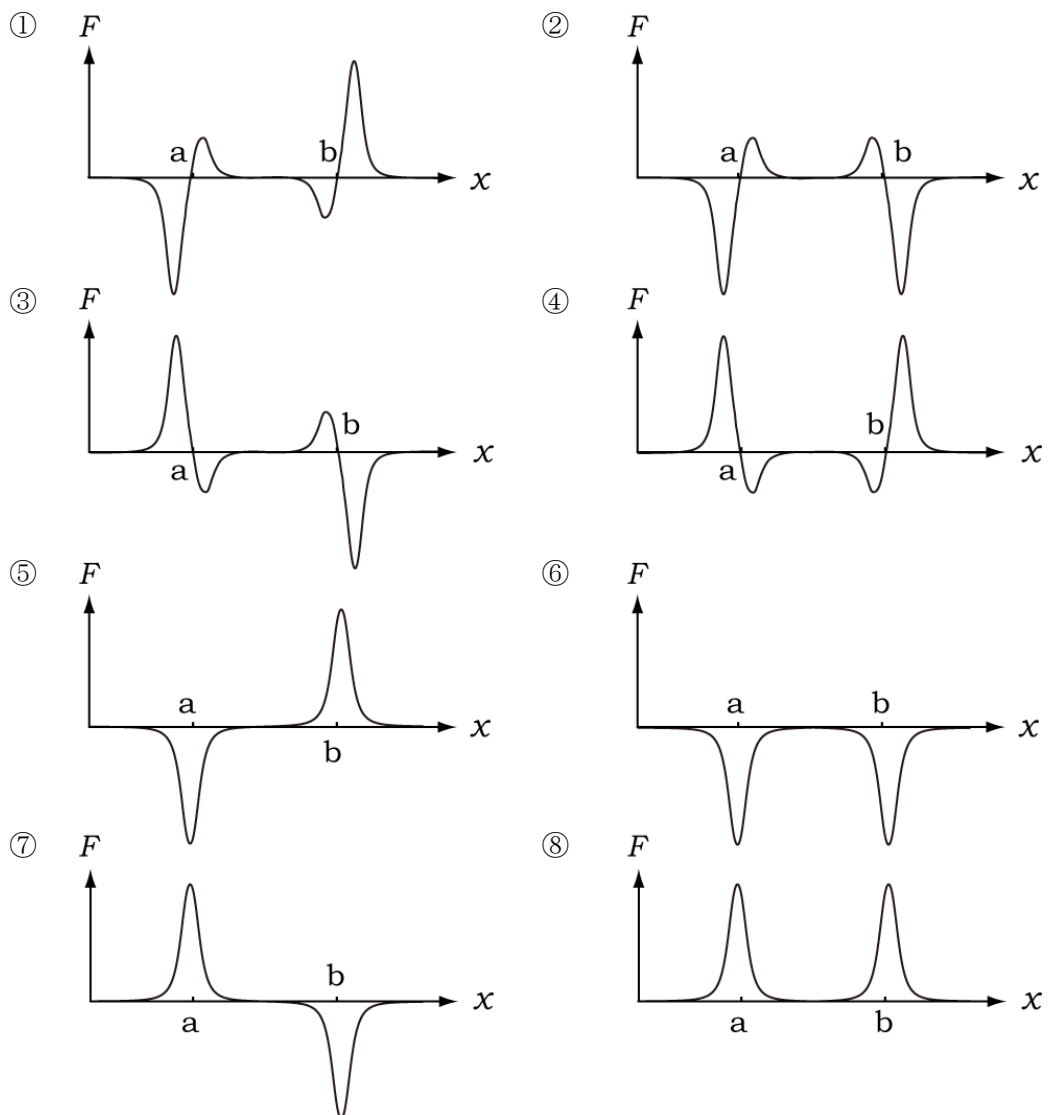
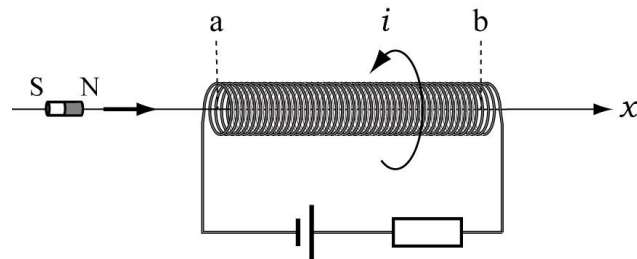
【解説】

この問題ではコンデンサーを結ぶ導線の抵抗は無いものとされ、コンデンサーも理想的素子とされているので回路を構成する素子内でのジュール熱によるエネルギー散逸は想定されていない。スイッチ S_2 を閉じた状態ではループが構成されこれがインダクタンス（コイル）として機能する。したがって、回路は LC 共振器として電磁波を空間に放出し、そのため定常状態になるまでエネルギーを失う。よって、正答は①である。

導線に抵抗がある場合は、空間に放出される電磁波のエネルギーの他に導線でジュール熱としてエネルギーが失われる。

問 4 図のように、ソレノイドに x 軸の正の側から見て時計回りに電流を流す。 x 軸上を小さな棒磁石(右側が N 極)をゆっくり動かし、ソレノイドから磁石にはたらく力 F を測定する。力と磁石の中心位置を表すグラフを描くとどうなるか。最も適当なものを、下の①～⑧の中から 1 つ選びなさい。ただし、力が x 軸の正の向きを向いているときを正とする。

27



【解説】

ソレノイドの左の **a** 端が **N** 極, 右の **b** 端が **S** 極とみなしてよい。したがって, 左から **N** 極を右にした磁石を近づけると, **a** までは **N** 極同士で反発し負の方向の力を受ける。ソレノイド内部では磁束の勾配は無いので磁石は x 軸に沿った力を受けない。**b** 端に達すると **S** 極同士で反発し正の向きに力がはたらく。磁束の勾配はソレノイドの端より幾分内側から始まることを考慮して, 正答は⑤である。

第6問

地球大気表面で、太陽光線に垂直な単位面積が、単位時間あたりに受け取る太陽の放射エネルギーは $1.4 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ である。地球と太陽の距離を $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ 、光速を $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ として、次の問 1、問 2 に答えなさい。

問 1 太陽が宇宙空間に放出する 1 秒あたりのエネルギーとして、最も適当なものを、次の①～④の中から 1 つ選びなさい。

28

- ① $1.3 \times 10^{15} \text{ W}$ ② $2.1 \times 10^{26} \text{ W}$ ③ $4.0 \times 10^{26} \text{ W}$ ④ $2.0 \times 10^{37} \text{ W}$

【解説】

太陽を中心として、地球と太陽の距離を半径とする球の表面積を S とする。単位時間に地球の大気表面で単位面積あたり受け取るエネルギーの値を P とすると、単位時間に太陽が放出するエネルギー E の大きさは $E = PS = 4\pi \times (1.5 \times 10^{11})^2 \times 1.4 \times 10^3 = 4.0 \times 10^{26} \text{ W}$ によって、正答は③である。

問 2 前問のエネルギー放出による太陽の 1 秒あたりの質量減少として、最も適当なものを、次の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

29

- ① $4.3 \times 10^6 \text{ kg/s}$ ② $4.4 \times 10^9 \text{ kg/s}$ ③ $3.3 \times 10^{17} \text{ kg/s}$
④ $6.6 \times 10^{20} \text{ kg/s}$ ⑤ $1.2 \times 10^{32} \text{ kg/s}$ ⑥ $1.8 \times 10^{43} \text{ kg/s}$

【解説】

太陽の放射エネルギーは核融合反応によるものであり、前問のエネルギー放出によって太陽は質量が減少する。 $\Delta E = \Delta mc^2$ より、1 秒あたりの質量の減少分 Δm は、

$$\Delta m = \frac{4.0 \times 10^{26}}{(3.0 \times 10^8)^2} = 4.4 \times 10^9 \text{ kg}$$

よって、正答は②である。

第7問

がん検査に使われるPETは Positron Emission Tomography（陽電子放射断層撮影法）の略称で、 β^+ 崩壊で放出される陽電子が対消滅したときに生成される光子を使ってがんの位置を特定する検査法である。

がん細胞は通常細胞の数倍のブドウ糖を消費する性質があり、体内にブドウ糖を投与するとがん細胞に集まる現象がみられる。したがってブドウ糖にトレーサーを付けて体内に投与すると、体内でのトレーサーの分布を調べることでがんの部位を見つけることができる。

例えばトレーサーとして使われる ^{18}F は β^+ 崩壊し、陽電子(e^+)とニュートリノ(ν)を放出する。陽電子は電子(e^-)の反粒子で、正の電荷を持ち、質量と電荷の大きさは電子と同じである。陽電子は、電子と対消滅して2個の光子を生成する。電子は体内の普通の物質にたくさんあるので、トレーサーから放出された陽電子は放出後直ちに対消滅する。このとき、放出される一対の光子から陽電子の生成場所であるがんの部位を3次元的に特定することができる。

^{18}F などトレーサーに使われる放射性物質は半減期が短いので、PET 検査を行う病院では、専用の加速器(小型サイクロトロン)を備え病院内で放射性薬剤を作っていることが多い。次の問 1～問 3 に答えなさい。

問 1 ^{18}F の β^+ 崩壊の核反応式 $^{18}\text{F} \rightarrow () + e^+ + \nu$ において、()に入る最も適切なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

30

- ① ^{20}Na ② ^{19}Ne ③ ^{18}Ne ④ ^{18}O ⑤ ^{17}O ⑥ ^{16}N

【解説】

β^+ 崩壊では、原子核中の1個の陽子が一つ中性子に変わるため、質量数は変わらないが、原子番号は1つ減る。よって、正答は④である。

問2 陽電子と電子が対消滅し2個の光子が生成されるとき、生成される光子の波長として、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、対消滅する陽電子や電子の運動は無視する。また、プランク定数を $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、電子の質量を $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、光速を $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ とする。

31

- ① $1.7 \times 10^{-12} \text{ m}$ ② $2.3 \times 10^{-12} \text{ m}$ ③ $4.6 \times 10^{-12} \text{ m}$
 ④ $7.3 \times 10^{-4} \text{ m}$ ⑤ $2.2 \times 10^5 \text{ m}$

【解説】

2個の同じ質量（電子質量）の粒子が、2個の光子のエネルギーとなる。そのため、1個電子質量に相当する質量が、光子のエネルギーに変換される。

$$E = mc^2 = h\nu, \quad c = \lambda\nu \quad \text{より}$$

$$\lambda = \frac{hc}{mc^2} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}^2} = 2.32 \times 10^{-12} \text{ m}$$

よって、正答は②である。

問3 放射能の強さは、1秒あたりに崩壊する原子核の個数で表され、単位はBq（ベクレル）である。PETによるがん検査のために ^{18}F を含む検査薬（ ^{18}F -FDG）を $2.00 \times 10^8 \text{ Bq}$ 投与した場合、2日後（48時間後）には体内の検査薬の放射能の強さはいくらになっているか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし、 ^{18}F の β^+ 崩壊の半減期を2時間、 2^{10} を1000として計算しなさい。

32

- ① $8.3 \times 10^6 \text{ Bq}$ ② $4.2 \times 10^6 \text{ Bq}$ ③ $5.0 \times 10^4 \text{ Bq}$
 ④ 12.5 Bq ⑤ $7.8 \times 10^{-7} \text{ Bq}$

【解説】

48時間は半減期である2時間の24倍なので原子核の個数は、 $\left(\frac{1}{2}\right)^{24}$ 倍になる。

$$2.0 \times 10^8 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{24} = 2.0 \times 10^8 \div 2^{10} \div 2^{10} \div 2^4 \cong 12.5 \text{ Bq}$$

よって、正答は④である。