2017年度 センター試験 本試験 物理

第 1 問　小問集合

出題範囲	小問集合
難易度	★★★☆☆
所要時間	10 分
傾向と対策	第 1 問は例年通り小問集合である。力学，電磁気学，光や波の性質など高校物理の幅広い知識が要求されている。 **問 1**　衝突前後で運動量が保存していることにまず気づく必要がある。また，運動量保存則を立てる際は，問題文をしっかり読んで，物体の運動量の正負にも気を配っておきたい。 **問 2**　剛体が静止していることを用いて立式する問題である。今回は，点 A まわりの力のモーメントのつり合いを考えると解ける。 **問 3**　電気力線の様子に関する知識を問う問題である。基本的な電気力線の性質を把握していれば，消去法で解くことができるだろう。 **問 4**　凸レンズにできる実像に関する問題である。本解ではレンズの公式を用いて考えているが，図が与えられているので，物体が遠ざかったときの倒立実像を作図して考えた受験生も多かったと思われる。 **問 5**　音速に関する知識と，それをもとに物理現象を考えさせる問題である。本問のように，現実世界での物理現象に関する問いは，特に第 1 問では頻繁に問われている。このように，高校物理の教科書に載っているような基礎的な現象については，センター試験に限らず他の入試に臨む際にも，教科書を読んでひと通りさらっておくとよいだろう。

問 1　$\boxed{1}$　**正解は③**

難易度　★★☆☆☆

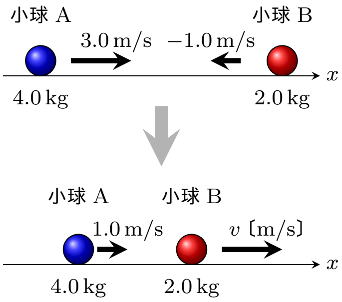
解説

ポイント

運動量保存則　：複数の物体のまとまり（系という）に対して外力がはたらいていないとき，系全体の運動量は変化しない。つまり，以下の式が成り立つ。

$$m_1v_1 + m_2v_2 + \cdots = \text{一定}$$

衝突後の小球Bの速度を v とする。このとき衝突前後で運動量は保存しているので，運動量保存則を立てて，



$$4.0\,\mathrm{kg}\cdot 3.0\,\mathrm{m/s}+2.0\,\mathrm{kg}\cdot(-1.0\,\mathrm{m/s})$$
$$=4.0\,\mathrm{kg}\cdot 1.0\,\mathrm{m/s}+2.0\,\mathrm{kg}\cdot v\,〔\mathrm{m/s}〕$$

これを解いて，

$$v=3.0\,\mathrm{m/s}$$

x 軸正の向きを速度の正の向きとしているので，速さも $3.0\,\mathrm{m/s}$ である。

以上より，答えは③。

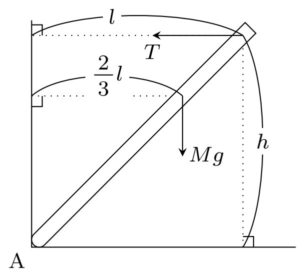
問 2 $\boxed{2}$ **正解は②**

難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント	
力のモーメント	：力のモーメント M〔N・m〕は，力の大きさを F〔N〕，うでの長さを l〔m〕とすると， $$M=Fl$$
剛体のつり合いの条件	：以下の 2 つがともに成り立つことである。 • 力のベクトルの和が $\vec{0}$（並進運動しない条件） $$\vec{F_1}+\vec{F_2}+\cdots=\vec{0}$$ • 任意の点のまわりの力のモーメントの和が 0（回転運動しない条件） $$M_1+M_2+\cdots=0$$

棒は静止しているから，点Aまわりの力のモーメントのつり合いを考える。ただし反時計周りを正とする。



$$Mg\cdot\frac{2}{3}l-T\cdot h=0$$

$$\therefore\quad T=\frac{2l}{3h}Mg$$

以上より，答えは②。

※注

物体には 2 本の糸からの張力のほかに，点Aで抗力 R がはたらいている。上記の解法でこの力 R を考慮していないのは，R の作用点は点Aであるため，R の点Aまわりのモーメントは 0 になるからである。このように，未知の力や考慮する必要のない力のはたらいている作用点（または作用線上の点）まわりでのモーメントのつり合いの式を立てると，簡潔に答えにたどり着けることが多い。

問 3 3 **正解は⑥**

難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント	
電気力線	：電場の中で正電荷が受ける力の向きを矢印つきで図示したもののこと。電場の大きさが E〔N/C〕の点においては，電場の方向と垂直な断面を $1\,\mathrm{m}^2$ あたり E 本の電気力線が貫く。また，電気力線には以下の性質がある。 • 電気力線は正電荷からのみ湧き出して負電荷にのみ吸い込まれる。 • 電気力線上の任意の点における接線は，その点における電場の向きである。 • 電場が大きいと電気力線は密になる。 • 電気力線は交差しない。

電気力線は，正の点電荷のあらゆる方向から出て，負の点電荷へ向かう（もしくは無限遠点に向かう）。また，電気力線の性質として，点電荷以外の点で急に途切れたり始まったりすることはなく，また交差することもない。これらの性質から④，⑥に絞られるが，電気力線はなめらかであるので，④も正答ではない。

以上より，答えは⑥。

問 4 $\boxed{4}$ **正解は⑤**

難易度 ★★☆☆☆

解説

ポイント	
レンズの式（写像公式）	：凸レンズと物体との距離を a，凸レンズと像との距離を b，レンズの焦点距離を f とすると，次の関係式が得られる。 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$ また，物体に対する像の大きさの比 m（倍率）は次のようになる。 $m=\frac{b}{a}$
凸レンズ	：凸レンズの光軸に平行な光線は凸レンズ後方の 1 点（焦点）に集まる。逆に，焦点から出る光は凸レンズ通過後，光軸に対して平行に進む。また，凸レンズの中心を通る光線はその方向に関係なく直進する。
凸レンズによる実像	：凸レンズの焦点の外側に物体を置いたときにレンズ後方にできる，実際に物体からの光が集まってできる像を実像という。この実像の向きは物体と反対になり，倒立像という。

凸レンズでは，物体が焦点の外側に置かれているとき，生じる実像は倒立である。凸レンズから焦点までの距離を f，物体までの距離を a，倒立実像までの距離を b とすると，レンズの公式より

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

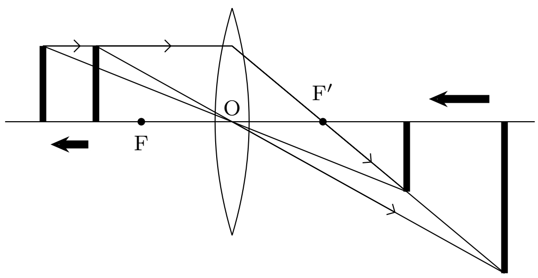
この式で，a が大きくなる（= 物体を遠ざける）と，f は一定なので，b は小さくなる。

以上より，答えは⑤。

別解

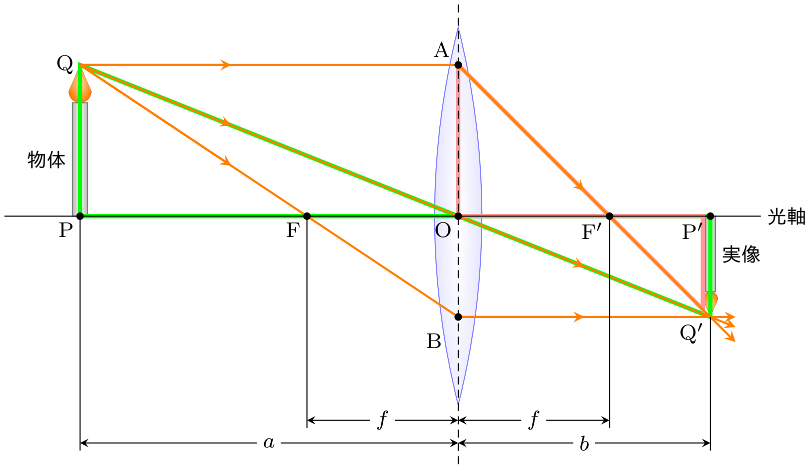
倒立実像は作図することができる。物体を凸レンズから遠ざけたときにできる実像も作図すると，右図のようになる。右図より，倒立実像は凸レンズに近づいている。

以上より，答えは⑤。



◆ **Check!!**

レンズの式の導出



上図を考える。緑色の三角形の相似 $\triangle \mathrm{OPQ} \backsim \triangle \mathrm{OP'Q'}$ より，物体に対する像の大きさの比 m（倍率）は，

$$m = \frac{\mathrm{P'Q'}}{\mathrm{PQ}} = \frac{\mathrm{OP'}}{\mathrm{OP}} = \frac{b}{a}$$

であり，ピンク色の三角形の相似 $\triangle \mathrm{AOF'} \backsim \triangle \mathrm{Q'P'F'}$ より，

$$\frac{\mathrm{P'Q'}}{\mathrm{PQ}} = \frac{\mathrm{P'Q'}}{\mathrm{OA}} = \frac{b-f}{f}$$

以上より，

$$\frac{b}{a} = \frac{b-f}{f}$$

であるから，

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

というレンズの式（写像公式）が成り立つ。

問 5 $\boxed{\quad 5 \quad}$ **正解は⑤**

難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント

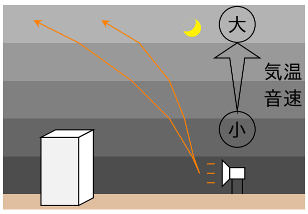
音速　：空気中を伝わる音の速さは，温度が高くなると大きくなる。1 気圧，t〔°C〕の空気中での音の速さ V〔m/s〕は次のようになる。

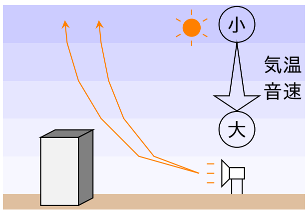
$$V = 331.5\,\mathrm{m/s} + 0.6t\,〔\mathrm{m/s}〕$$

音の屈折　：音波はほかの波と同様に異なる媒質間の境界面で屈折する。また，同じ媒質中でも温度などの違いにより部分的に速さが異なることで屈折する。

屈折の法則　：入射角を θ_1，屈折角を θ_2，媒質 1， 2 での波の速さおよび波長をそれぞれ v_1，v_2，λ_1，λ_2，媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率を n_{12} とすると，以下の関係が成り立つ。

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{12}$$





空気の密度が一定の場合，気温が高いほど音速は速くなる。この問題では，「上空に比べて地表付近の気温が低くなる」とあるので，地表付近の音速のほうが上空の音速に比べて遅くなる。これより，$\boxed{\quad ウ \quad}$から⑤，⑥に絞られる。

後半部に関しては，屈折の法則を考えればよい。上空に比べて地表付近の方が気温が低いので，温度の異なる部分で音波が屈折すると考えると，屈折の法則により入射角よりも反射角のほうが大きいと見なせる。つまり，左側の図のように音は地表に向かう向きに屈折するようになり，地表付近の気温が上空よりも高い昼間よりも，夜のほうが遠くの音が聞こえやすくなる。

以上より，答えは⑤。

（ 森本亮太，松井浩介 ）

2017 年度 センター試験 本試験 物理

第 2 問　平行板コンデンサーの基本事項／ファラデーの電磁誘導の法則

出題範囲	コンデンサー／ファラデーの法則
難易度	★★★☆☆
所要時間	10 分
傾向と対策	第 2 問 A は平行板コンデンサーに関する問題。公式を思い出せば解くことができるが，導体が置かれたときに電場がどうなるかしっかり思い出そう。 **問 1**　平行板コンデンサーの極板間の電位に関する問題である。導体内部では静電誘導によって電場が存在しないことに注意すればよい。 **問 2**　導体が置かれたときにコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーの大きさがどうなるかを考える問題。極板間の間隔が，導体が挿入されることにより実質的に変化していることに気づけば解ける。本解では静電容量を用いて考えたが，別解のように極板に蓄えられる電荷を考えて解いてもよい。また，比を求めるような問題では実際に物理量を求めなくとも，変化している変数の比で議論ができ，時間短縮になることも覚えておくとよいだろう。
	第 2 問 B はダイオードが絡んだ電磁誘導に関する問題。ダイオードの整流作用については覚えておきたいが，万が一忘れていても問題文中で説明されているので焦らず解きたい。 **問 3**　電磁誘導に関する定性的な問題。磁束密度が変化するとき電流が流れることがわかっていれば解ける。 **問 4**　ファラデーの電磁誘導の法則の公式を用いる問題。ダイオードの整流作用により流れる向きが決まっていることに気をつけよう。なお，実は電流が流れる向きさえわかれば次元を考えることで解ける。

A

問 1

1　**正解は①**

難易度　★★☆☆☆

2　**正解は③**

難易度　★★★☆☆

解説

ポイント	
一様な電場と電位	：強さと向きが空間のどこでも一定の電場においては電位差を V〔V〕，電場の大きさを E〔V/m(= N/C)〕，距離を d〔m〕として，$V = Ed$ が成り立つ。
導体と電場	：電場の中に導体を置くと，導体内の自由電子が電場の向きと逆向きの力を受け，外部の電場と反対向きの電場が生じ，外部の電場と打ち消し合う。つまり，導体内部には電場がなく導体内は等電位となる。
平行板コンデンサー	：極板どうしが平行なコンデンサーを平行板コンデンサーという。平行板コンデンサーでは 2 つの極板の電荷により一様な電場が生じているから，上述の「一様な電場と電位」で挙げた式が成り立つ。

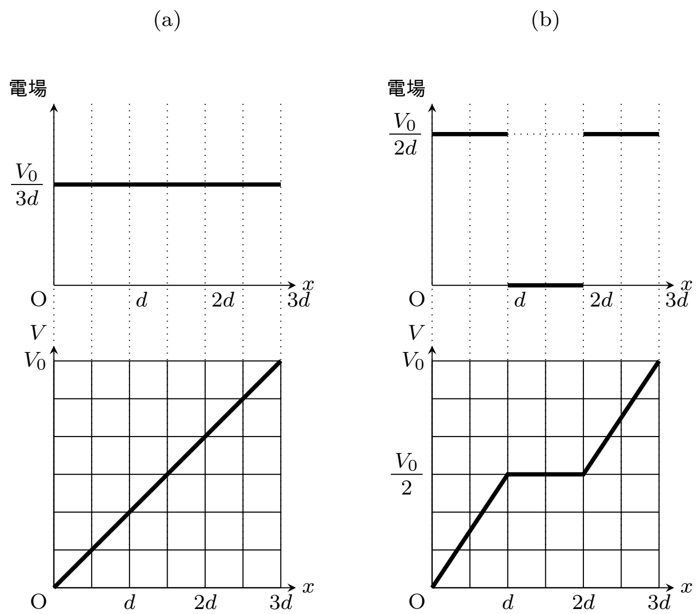


図 1 (a) の場合では極板間距離が $3d$，極板間電位差が V_0 であるから，極板間の電場の強さは $0 \leqq x \leqq 3d$ に

おいて $\dfrac{V_0}{3d}$ で一定となる。よって V と x の関係を表すグラフは直線であり，それにあてはまる選択肢は①。

一方，図 2 (b) の場合では，電場が極板間において $0 \leqq x \leqq d$，$2d \leqq x \leqq 3d$（合計距離 $2d$）の部分にできる。したがって電場がある部分での電場の大きさは $\dfrac{V_0}{2d}$ で一定である。また，導体である金属板内では電場が 0 なので電位は一定値を取り，かつ $0 \leqq x \leqq 3d$ において電位は連続的に変化する。極板間の電位差は電池が V_0 に保っており，電位は $x = 0$ を基準としているので，あてはまる V と x の関係を表すグラフは③である。

以上より，答えは (a) ：①，(b) ：③。

別解

ここまで難しく考えなくても，図 1 (a) の場合では $0 \leqq x \leqq 3d$ において電場が一定で極板間の電位差が V_0 であることから $\boxed{\ 1\ }$ が①であるとわかり，図 1 (b) の場合では $0 \leqq x \leqq d$ と $2d \leqq x \leqq 3d$ において電場が一定で導体内部 $d \leqq x \leqq 2d$ では電場が 0 であることから電位差が 0 であり，極板間の電位差がやはり V_0 で電位は連続な値をとることに注意すれば $\boxed{\ 2\ }$ が③であるとわかる。

問 2 $\boxed{\ 3\ }$ **正解は⑤**

難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント	
コンデンサーの電気容量	：C〔F〕をコンデンサーの電気容量，ε〔F/m〕を誘電率，S〔m^2〕を極板の面積，d〔m〕を極板の間隔とすると，コンデンサーの電気容量は次のように表される。 $C = \varepsilon \dfrac{S}{d}$ なお，クーロンの法則の比例定数を k とすると $\varepsilon = \dfrac{1}{4\pi k}$ である。
コンデンサーに蓄えられる静電エネルギー	：U〔J〕をコンデンサーに蓄えられる静電エネルギー，Q〔C〕をコンデンサーの電気量，V〔V〕を極板間の電位差，C〔F〕をコンデンサーの電気容量とすると，静電エネルギーは以下のように表される。 $U = \dfrac{1}{2}QV = \dfrac{1}{2}CV^2 = \dfrac{Q^2}{2C}$

一般に，誘電率が ε，極板間距離が d，極板間電圧が V，コンデンサーの電気容量が C であるとき，コンデンサーに蓄えられる電場のエネルギー U は，

$$U = \frac{1}{2}CV^2$$

であり，問 1 より図 1 (a) のコンデンサーの極板の間隔は $3d$，図 1 (b) のコンデンサーの極板の間隔の合計は $2d$ である。図 1 (a) のコンデンサーの静電容量を C_a，図 1 (b) のコンデンサーの静電容量を C_b とすると，その比は，

$$\frac{C_\mathrm{b}}{C_\mathrm{a}} = \frac{\varepsilon\dfrac{S}{2d}}{\varepsilon\dfrac{S}{3d}} = \frac{3}{2}$$

であり，極板間の電位差はともに V_0 で等しいから，

$$\frac{U_b}{U_a} = \frac{\dfrac{1}{2}C_\mathrm{b}{V_0}^2}{\dfrac{1}{2}C_\mathrm{a}{V_0}^2} = \frac{3}{2}$$

以上より，答えは⑤。

別解 1

極板に蓄えられる電荷の大きさを Q〔C〕とすると，電場に関する式 $E = \dfrac{Q}{\varepsilon S}$ より $Q = \varepsilon ES$ を用いると，$V = Ed$ も用いて，

$$Q = \frac{\varepsilon S}{d}V$$

と表される。問 1 より，図 1 (a) の場合では $Q_\mathrm{a} = \dfrac{\varepsilon S}{3d}V_0$，図 1 (b) の場合では $Q_\mathrm{b} = \dfrac{\varepsilon S}{2d}V_0$ であるから，

$$\frac{U_b}{U_a} = \frac{\dfrac{1}{2}Q_\mathrm{b}V_0}{\dfrac{1}{2}Q_\mathrm{a}V_0} = \frac{\dfrac{\varepsilon S}{2d}V_0}{\dfrac{\varepsilon S}{3d}V_0} = \frac{3}{2}$$

以上より，答えは⑤。

別解 2

一般に，誘電率が ε，極板間距離が l，極板面積が S であるとき，電場の存在する領域は $V = Sl$ で，コンデンサーに蓄えられる電場 E のエネルギー U は，

$$U = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 \cdot Sl$$

である。本問では，電場は (b) が (a) の $\frac{3}{2}$ 倍であり，電場のある体積は (b) が (a) の $\frac{2}{3}$ 倍であるから，

$$\frac{U_b}{U_a} = \left(\frac{3}{2}\right)^2 \cdot \frac{2}{3} = \frac{3}{2}$$

以上より，答えは⑤。

B

問 3 4 **正解は③**

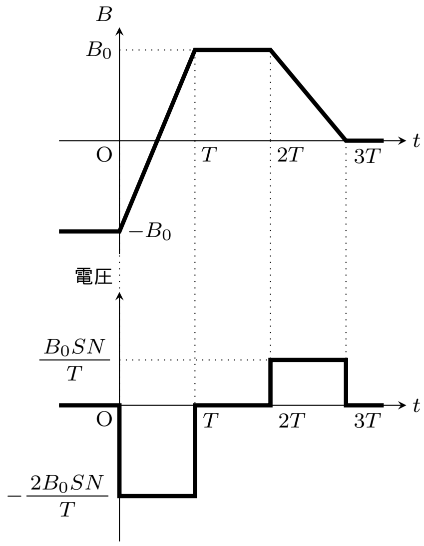
難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント	
ファラデーの電磁誘導の法則	： 1 巻きのコイルを貫く磁束（磁場）が，時間 Δt〔s〕の間に $\Delta\Phi$〔Wb〕だけ変化するとき生じる誘導起電力 ε〔V〕は，磁場の正の方向を定め，その向きに右ねじが進むように右ねじが回る向きを正とすると， $$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$ となる。負の符号は磁束の変化を妨げる向きに誘導起電力が生じること（レンツの法則という）を示している。コイルが N 回巻きのときには 1 巻きのコイルが直列につながっていると考えればよい。以上をまとめると，ファラデーの電磁誘導の法則は次の式で表される。 $$\varepsilon = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$ なお，N 回巻きコイルについては，1 巻きのコイルの N 倍の強さの磁束の 1 巻きコイルが存在すると考えてもよい。

コイルや円電流では，磁場の正の方向を定め，その向きに右ねじが進むように右ねじが回る向きを正とする。磁場（または磁束）Φ の変化に対してファラデーの電磁誘導の法則より，起電力 $V = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ が発生する。つまり，磁場の変化があれば，誘導起電力が発生し，コイルと抵抗器のみを含む回路では電流が流れる。

いま，スイッチを P 側につなげているので，回路にはコイル



と抵抗器のみ存在し，磁場に変化がある時間範囲では誘導起電力が生じ，電流が発生する。具体的には $0 < t < T$ では電流が流れ，$T < t < 2T$ では電流が流れず，$2T < t < 3T$ では電流が流れる。

以上より，答えは③。

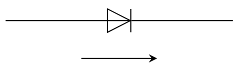
問 4 $\boxed{5}$ **正解は⑤**

難易度 ★★★★☆

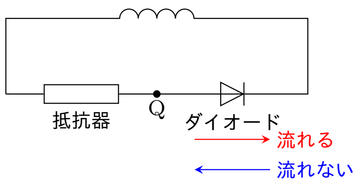
解説

ポイント

ダイオード：一方向にのみ電流を流す作用（整流作用）をもつ電子部品（電子素子）である。電圧を加えると電流が流れる方向を順方向，反対に電圧を加えても電流が流れない方向を逆方向という。



ダイオードの電気用図記号は上図である。上図のように回路にダイオードが置かれたとき，矢印の方向にのみ電流を流す。



スイッチをQ側につないだとき，ダイオードによって電流が流れるのは紙面上反時計回りのみである。本問では起電力 V は紙面上時計回りを正としており，これより電流が流れるのは $V < 0$ のとき，つまり，$V = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ を踏まえれば磁場が増加するときである。これは $0 < t < T$ のときに対応し，この間磁束密度は $-B_0$ から B_0 まで増加する（増加量は $2B_0$）。よって，巻き数 N のコイルを貫く磁束の単位時間あたりの増加量は $\dfrac{2B_0SN}{T}$ である。

以上より，答えは⑤。

※注

実は，電磁誘導について完全に理解をしていなくとも，次のようにして解くことができる。それぞれの選択肢の次元解析を行う（単位を考える）と，電圧（単位は V）を表しているものは②と⑤のみである。さらに，$0 < t < T$ の間の磁束密度の変化量が $2B_0$ であるから，答えは係数に 2 を含む選択肢である⑤であるとわかる。

（楊博，松井浩介）

2017 年度 センター試験 本試験 物理

第 3 問　波の干渉とその条件／定積・等温・定圧過程とそのグラフ

出題範囲	波の干渉／状態変化（グラフ）
難易度	★★★☆☆
所要時間	10 分
傾向と対策	第 3 問Aは波の干渉の問題。波が干渉して強め合う条件を考えれば解答できるが，自分で θ を設定するなどしてガラス板A，Bの間隔を考えなければならなかったり，x 座標を設定して隣り合う明線の間隔を考えなくてはならなかったりする点で，なじみのない人にはやや難しかったかもしれない。問 2 に関しては，屈折の法則を思い出せば解けるだろう。 第 3 問Bでは例年，波の問題が出題されていたが本年は熱力学の状態変化に関する問題が出題された。傾向が変化したものの，状態方程式や熱力学第一法則などで解ける，基本的なことが問われている。状態変化の方向や熱量の符号に注意しよう。

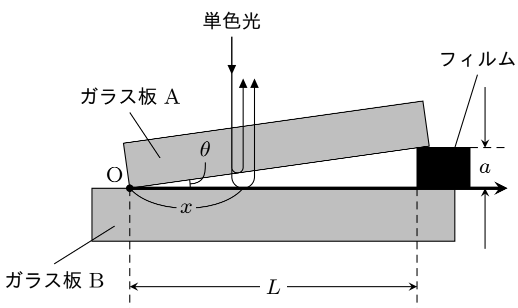
A

問 1　1　**正解は②**

難易度　★★★★☆

ポイント	
明線ができる条件	位相が等しいときは光路差が半波長の偶数倍のとき，位相が π だけ（半波長分だけ）ずれているときには光路差が半波長の奇数倍のとき，干渉によって明線ができる。
屈折率が異なる媒質の境界面での反射	屈折率が小さい媒質を進んできた光が屈折率のより大きな媒質との境界面で反射するとき，位相が反転（π だけ，つまり半波長分だけ変化）する。

点 O を原点とし，水平右方向を正とする x 軸を考える。座標 x_m となる点において原点 O から数えて m 番目の明線ができるとし，ガラス板 A，B のなす角を θ とおくと，



$$\tan\theta = \frac{a}{L}$$

であるから，点 x_m でのガラス板 A，B 間の距離を l とし，明線ができる条件（強め合う条件）は，ガラス板 B の上面で

は反射するときに位相が反転（π だけ変化）することに注意すると，

$$2l = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \cdots)$$

$$2x_m \tan\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$2x_m \frac{a}{L} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$\therefore \quad x_m = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{L\lambda}{2a}$$

したがって，

$$d = x_{m+1} - x_m$$

$$d = \left(m + \frac{3}{2}\right)\frac{L\lambda}{2a} - \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{L\lambda}{2a}$$

$$\therefore \quad d = \frac{L\lambda}{2a}$$

以上より，答えは②。

問 2 $\boxed{2}$ **正解は⑥**

難易度 ★★★★☆

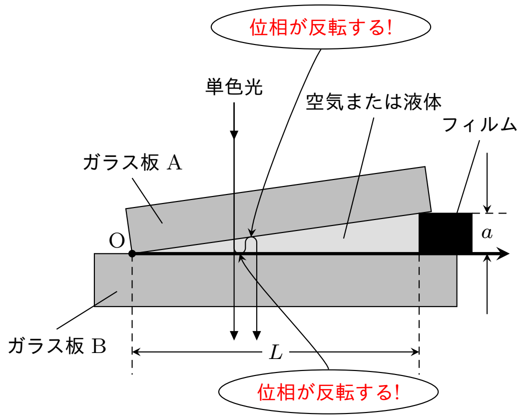
解説

ポイント	
屈折の法則	： 媒質 1，2 の屈折率を n_1，n_2，媒質 1 に対する媒質 2 の相対屈折率を n_{12} とすると，$$n_{12} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$となる。
暗線ができる条件	： 位相が等しいときは光路差が半波長の奇数倍のとき，位相が π だけ（半波長分だけ）ずれているときには光路差が半波長の偶数倍のとき，干渉によって暗線ができる。

ア

2 回反射したのち透過する光は屈折率が小から大になるような境界面での反射が 2 回あるので，結局この光は反射せずに透過する光と同位相になる。よって，真上から見たときと真下から見たときの 2 つの光路差は等しく，位相が反対である（π だけずれている）。

したがって，真上から見たとき明線のあった位置には暗線が見える。



イ

ガラス板 A，B 間の空気に対する屈折率 n（$1 < n < 1.5$）の液体で，すきまを満たされた部分での波長を λ' とすると，屈折の法則より，

$$\lambda = n\lambda'$$

$$\therefore \quad \lambda' = \frac{\lambda}{n}$$

真下から見たときも真上から見たときと同じく隣り合う明線の間隔は d であったので，問 1 の結果 $d = \dfrac{L\lambda}{2a}$ を用いることができる。そこで，λ を λ' に置き換えると，求める明線の間隔 d' は，

$$d' = \frac{L\lambda'}{2a} = \frac{L\lambda}{2a} \cdot \frac{1}{n} = \frac{d}{n}$$

以上より，答えは⑥。

B

問 3 3 **正解は③**

難易度 ★★☆☆☆

解説

ポイント	
単原子分子理想気体のモル比熱	：定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$，定圧モル比熱は $\frac{5}{2}R$ である。

単原子分子理想気体の内部エネルギー	：U〔J〕を内部エネルギー，R〔J/(mol · K)〕を気体定数，n〔mol〕を物質量，T〔K〕を絶対温度とすると， $U = \frac{3}{2}nRT$ である。また，一般の理想気体に対しては，定積モル比熱を C_V とすると，$U = nC_VT$ となる。

単原子分子の理想気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ であり，気体の物質量は n，状態 A での温度は T_0 であるから，状態 A における気体の内部エネルギー U は，

$$U = \frac{3}{2}nRT_0$$

以上より，答えは③。

◆ **Check!!**

マイヤーの関係

ポイントで定積モル比熱が $\frac{3}{2}R$，定圧モル比熱が $\frac{5}{2}R$ であることを紹介したが，一般に定積モル比熱を C_V〔J/(mol · K)〕，定圧モル比熱を C_p〔J/(mol · K)〕で表すと，気体定数を R として以下のマイヤーの関係が成り立つ。

$$C_p = C_V + R$$

問 4 $\boxed{\ 4\ }$ **正解は④**

難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント

理想気体の状態方程式	：p〔Pa〕を圧力，V〔V〕を体積，n〔mol〕を物質量，R〔J/(mol · K)〕を気体定数，T〔K〕を絶対温度とすると，以下の式が成り立つ。 $pV = nRT$

ボイル・シャルルの法則　：一定質量の気体の体積 V は圧力 p に反比例し，絶対温度 T に比例する。つまり，

$$\frac{pV}{T} = \text{一定}$$

状態 B での理想気体の状態方程式は，状態 B での気体の温度を T_1 とすると，

$$2p_0 \cdot V_0 = nRT_1$$

また，状態 A での理想気体の状態方程式は，

$$p_0V_0 = nRT_0$$

以上 2 式を辺々割ると，

$$2 = \frac{T_1}{T_0}$$

$$\therefore \quad T_1 = 2T_0$$

以上より，答えは④。

別解

ボイル・シャルルの法則より，

$$\frac{2p_0 \cdot V_0}{T_1} = \frac{p_0V_0}{T_0}$$

$$\therefore \quad T_1 = 2T_0$$

以上より，答えは④。

◆Check!!

ボイル・シャルルの法則とボイルの法則 & シャルルの法則

ボイル・シャルルの法則 $\dfrac{pV}{T} = \text{一定}$ については，

- 温度が一定のときには $pV = \text{一定}$ でボイルの法則となる
- 圧力が一定のときには $\dfrac{V}{T} = \text{一定}$ でシャルルの法則となる

◆ Check!!

理想気体の状態方程式

標準状態，つまり温度が $273\,\mathrm{K}$（$=0\,°\mathrm{C}$），圧力が物質量 $1.013\times10^5\,\mathrm{Pa}$ である状態では，物質量 $1\,\mathrm{mol}$ あたりの理想気体の体積は気体の種類によらず $22.4\,\mathrm{L/mol}$（$=2.24\times10^{-2}\,\mathrm{m^3/mol}$）になることが知られている。ゆえに，物質量 n〔mol〕の理想気体を考え，ボイル・シャルルの法則を考えると，

$$\frac{pV}{T}=\frac{(1.013\times10^5\,\mathrm{Pa})\cdot(2.24\times10^{-2}\,\mathrm{m^3/mol})}{273\,\mathrm{K}}\cdot n\,〔\mathrm{mol}〕$$

$$\fallingdotseq 8.31\,\mathrm{Pa}\cdot\mathrm{m^3/(mol\cdot K)}\times n\,〔\mathrm{mol}〕$$

となる。ここで，$R=8.31\,\mathrm{Pa}\cdot\mathrm{m^3/(mol\cdot K)}$ という定数（気体定数）を考えると，結局，

$$pV=nRT$$

という理想気体の状態方程式が得られる。

問 5 $\boxed{5}$ **正解は⑥**

難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント

熱力学第一法則 ：ΔU〔J〕を内部エネルギー変化，Q〔J〕を気体が吸収した熱量，W〔J〕を気体が物体にした仕事とすると，以下の式が成り立つ。

$$Q=\Delta U+W$$

なお，この式は W を気体が物体にした仕事ではなく気体が物体からされた仕事として，

$$\Delta U=Q+W$$

と書くこともある。

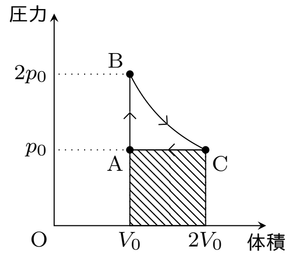
***P* - *V* 図の読み取り** ：P - V 図において，グラフで囲まれた部分は気体がした正味の仕事を表す。

過程 C → A において気体が放出する熱量を Q，内部エネルギー変化を $\varDelta U$，気体がした仕事を W とおく。状態 C の温度は過程 B → C の変化が等温変化より問 4 の結果から $2T_0$ であるから，内部エネルギー変化について，

$$\varDelta U = \frac{3}{2}nRT_0 - \frac{3}{2}nR\cdot 2T_0$$

$$\therefore \quad \varDelta U = -\frac{3}{2}nRT_0$$

気体がした仕事について，グラフの 4 点 $(V_0, 0)$，$(2V_0, 0)$，A，C に囲まれた部分の面積の分仕事をする。過程 C → A において気体が負の仕事をすることに注意すると，



$$W = -p_0V_0$$

であり，また，問 4 でも示したように，状態 A での理想気体の状態方程式は，

$$p_0V_0 = nRT_0$$

であるから，

$$W = -nRT_0$$

以上より，Q は気体が吸収する熱量ではなく放出する熱量であることに注意して，熱力学第一法則より，

$$-Q = \varDelta U + W$$

$$\therefore \quad Q = \frac{5}{2}nRT_0$$

以上より，答えは⑥。

※注

内部エネルギー変化は，状態 C の圧力 p_0，体積 $2V_0$ だから，

$$\varDelta U = \frac{3}{2}p_0V_0 - \frac{3}{2}p_0\cdot 2V_0$$

$$\therefore \quad \varDelta U = -\frac{3}{2}p_0V_0$$

として求めて，状態 A での理想気体の状態方程式，

$$p_0V_0 = nRT_0$$

を用いて解いてもよい。

（ 森本亮太，松井浩介 ）

2017 年度 センター試験 本試験 物理

第 4 問　円錐面内での円運動／慣性系と非慣性系

出 題 範 囲	エネルギー保存則・円運動／慣性力
難 易 度	★★★★☆
所 要 時 間	10 分
傾向と対策	A は円錐面上での物体の運動についての問題である。角度 θ の取り方に注意する。 **問 1**　成分を分解して等加速度直線運動の式を使えばよい。 **問 2**　水平面内で等速円運動が行われているため，鉛直方向で力がつり合っている。重力と垂直抗力だけでは，斜面に平行な方向や垂直な方向の力はつり合っていないので注意する（鉛直方向以外の力のつり合いには，遠心力を考える必要がある）。 **問 3**　複雑な運動であるが，問われているのは速さなので，エネルギー保存則で解くことができる。 B はエレベーター内で糸やばねにつながれた物体についての問題である。 **問 4**　2 つの物体で加速度の大きさが共通であることに気づけば難しくない。 **問 5**　慣性力を考えることで，単純な力のつり合いによって解くことができる。

A

問 1　$\boxed{1}$　**正解は⑦**

難易度　★★☆☆☆

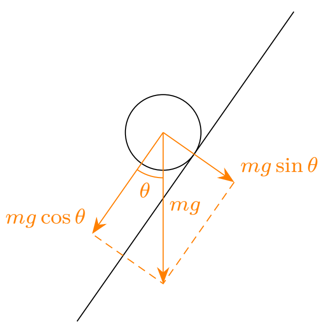
解説

ポイント	
等加速度直線運動の式	：加速度が一定である運動についての式。$v = v_0 + at$ と $x = v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2$ の 2 つは確実に覚えておこう。

重力を斜面に垂直な方向の成分と平行な方向の成分に分解すると右図のようになる。したがって，小物体の斜面に平行な方向の加速度を a とすると，運動方程式は，

$$ma = mg\cos\theta$$

$$\therefore \quad a = g\cos\theta$$



よって，斜面上を l 移動するのにかかる時間 t は，等加速度直線運動の式より，

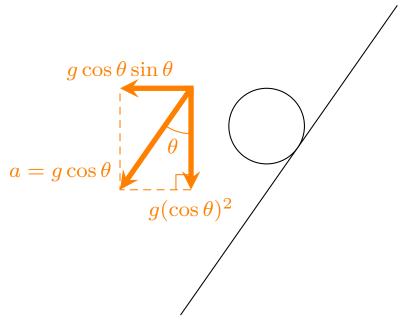
$$l = \frac{1}{2} g\cos\theta \cdot t^2$$

$$\therefore \quad t = \sqrt{\frac{2l}{g\cos\theta}}$$

以上より，答えは⑦。

別解

小物体の加速度を分解して鉛直方向の運動のみに注目する。つまり，加速度 $a\cos\theta = g(\cos\theta)^2$ で $l\cos\theta$ だけ移動するのにかかる時間を考える。



この場合の等加速度直線運動の式より，

$$l\cos\theta = \frac{1}{2} g(\cos\theta)^2 t^2$$

$$\therefore \quad t = \sqrt{\frac{2l}{g\cos\theta}}$$

以上より，答えは⑦。

問 2 $\boxed{1}$ **正解は⑦**

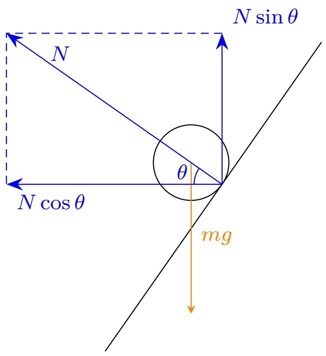
難易度 ★★★★☆

解説

ポイント	
水平面上の円運動	：静止する観測者から見ると，鉛直方向には力がつり合っていて，水平方向には円運動の中心に向かって力がはたらいている。

小物体にはたらく垂直抗力を N とする。

小物体は水平面上を等速円運動するので，鉛直方向の力はつり合っている。小物体にはたらく力は下図のようになっているので，力のつり合いの式より，



$$N\sin\theta = mg$$

$$\therefore \quad N = \frac{mg}{\sin\theta}$$

向心方向の円運動の運動方程式より，

$$m\frac{{v_0}^2}{a} = N\cos\theta$$

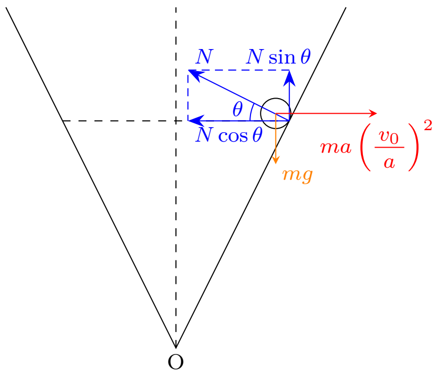
ここで，$N = \dfrac{mg}{\sin\theta}$ を代入すると，

$$m\frac{{v_0}^2}{a} = \frac{mg\cos\theta}{\sin\theta}$$

$$\therefore \quad a = \boldsymbol{\frac{{v_0}^2\tan\theta}{g}}$$

以上より，答えは⑦。

別解



遠心力による力のつり合いを考える。

円運動の角速度は $\dfrac{v_0}{a}$ と表される。小物体とともに運動する観測者から見ると，小物体には円の外向きに大きさ $ma\left(\dfrac{v_0}{a}\right)^2$ の遠心力がはたらいている。

小物体とともに運動する観測者から見ると，小物体にはたらく力はどの方向もつり合っているので，鉛直方向と水平方向でそれぞれ力のつり合いの式より，

鉛直方向： $N\sin\theta = mg$

水平方向： $N\cos\theta = ma\left(\dfrac{v_0}{a}\right)^2$

これらの 2 式から N を消去して a を求めると，

$$a = \frac{{v_0}^2\tan\theta}{g}$$

以上より，答えは⑦。

問 3 1 **正解は④**

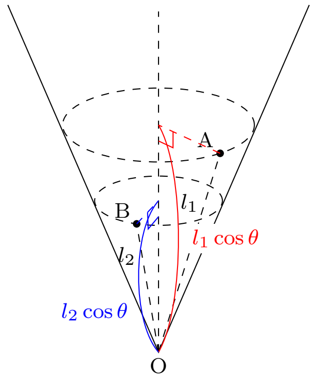
難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント	
力学的エネルギー保存の法則	： 保存力のみが仕事をするとき，物体のもつ位置エネルギーと運動エネルギーの和は一定になる。本問の場合，$mgl\cos\theta+\dfrac{1}{2}mv^2=$ 一定 が成り立つ。

求める速さを v_2，重力による位置エネルギーの基準を頂点 O とする。

A から B の過程において仕事をするのは重力のみであるから，力学的エネルギー保存の法則より，



$$mgl_1\cos\theta+\frac{1}{2}m{v_1}^2=mgl_2\cos\theta+\frac{1}{2}m{v_2}^2$$

$$\therefore\quad v_2=\sqrt{\boldsymbol{{v_1}^2+2g(l_1-l_2)\cos\theta}}$$

以上より，答えは④。

B

問 4 4 **正解は⑥**

難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント	
糸につながれた物体の運動	： 糸がぴんと張った状態でつながれた 2 つの物体は，速さと加速度の大きさがそれぞれ等しい。

2 つの物体は糸につながれていて常に速さが等しいので，加速度の大きさも等しい。この加速度の大きさを a とする。

$M>m$ なので質量 M の物体は鉛直下向きに，質量 m の物体は鉛直上向きに運動する。

したがって，糸に沿って質量 m の物体から質量 M の物体へ向かう方向を加速度の正の向きとすると，2 つの物体の運動方程式はそれぞれ，

質量 M の物体 ： $Ma=Mg-T$

質量 m の物体 ： $ma=T-mg$

となる。この 2 式から a を消去して T を求めると，

$$T = \frac{2Mm}{M+m}g$$

以上より，答えは⑥。

別解

鉛直上向きを加速度の正の向きとすると，質量 M の物体と質量 m の物体は加速度の大きさが等しく向きが反対となる。今回は質量 m の物体が鉛直上向きに進むので，2 つの物体の運動方程式はそれぞれ，

質量 M の物体 ： $M(-a) = T - Mg$

質量 m の物体 ： $ma = T - mg$

となる。これらを解いても同じ答えが得られる。

問 5 $\boxed{5}$ **正解は②**

難易度 ★★★☆☆

解説

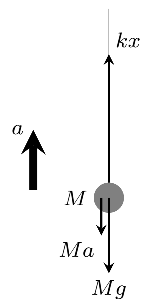
ポイント	
慣性力と加速度の関係	： 物体にはたらく慣性力の大きさは，その物体の質量と，加速度運動している系の加速度の大きさの積に等しい。

エレベーターの中で静止する観測者から見た運動を考える。

エレベーターが加速度 a で運動しているので，この観測者から見ると，質量 M の物体にはエレベーターの加速度と反対の向きに大きさ Ma の慣性力がはたらいている。

質量 M の物体にはたらく力は，この慣性力と重力と糸による張力の 3 つである。糸による張力の大きさは，ばねによる力の大きさに等しく kx となる。

エレベーターの中で静止する観測者から見ると質量 M の物体は静止しているので，力のつり合いより，



$$kx - Mg - Ma = 0$$

$$\therefore \quad x = \frac{M(g+a)}{k}$$

以上より，答えは②。

（一丸友美，森本亮太）

2017 年度 センター試験 本試験 物理

第 5 問　ドップラー効果のモデル

出題範囲	ドップラー効果
難易度	★★★☆☆
所要時間	10 分
傾向と対策	例年は第 3 問で扱っている波の分野が，今年は第 5 問で出題された。比較的よく出題されるドップラー効果の問題で，設定も教科書に載っているようなものなので，ぜひ解けていてほしい。 **問 1**　基礎的なドップラー効果の問題。公式に当てはめてもよいし，本解説のように波の基本式を立てて解いてもよい。 **問 2**　波の基本式さえ使えれば解けるが，ドップラー効果で使う考え方がわかってないと立式しづらいので，こちらもドップラー効果の基礎問題といえる。 **問 3**　反射板が動くため一見難しく思えるが，問 1 と問 2 が誘導になっているため，反射板を観測者や音源に見立てることで意外と容易に解ける。

問 1　$\boxed{1}$　**正解は⑧**

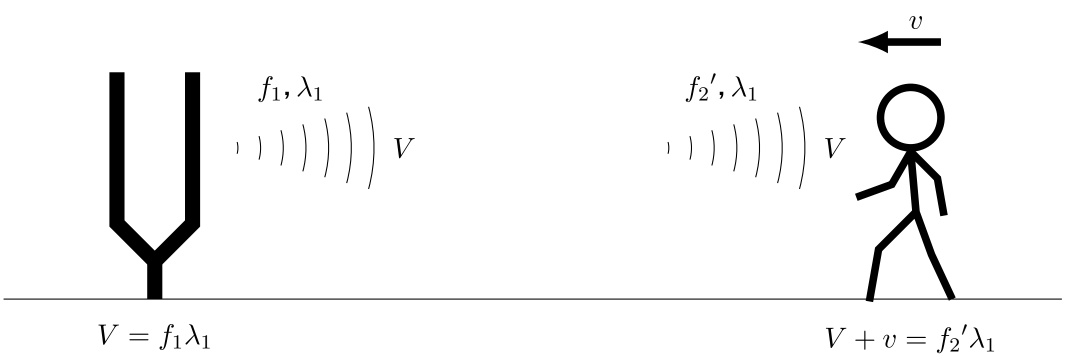
難易度　★★★☆☆

解説

ポイント

観測者が動くときのドップラー効果　：空気中の音速を V とする。振動数 f の音源が静止していたとする。このとき，速度 v（音源から観測者に向かう方向を正とする）で動く観測者は振動数 $\dfrac{V-v}{V}f$ の音が聞こえる。

音源の波長を λ_1，観測者に聞こえる音の振動数を f_2' とする。



音源，観測者での波の基本式をそれぞれ立式する。観測者が音源に近づいているため波長は変化しないことに注意すると，観測者から見れば音波の相対速度は $V+v$ であるから，

音源　：$V = f_1\lambda_1$

観測者：$V + v = f_2{}'\lambda_1$

2 式より，

$$f_2{}' = \frac{V+v}{V}f_1 = \left(1+\frac{v}{V}\right)f_1 > f_1 \cdots \boxed{\text{ア}}$$

$$\lambda_1 = \frac{V}{f_1} \cdots \boxed{\text{イ}}$$

以上より，答えは⑧。

別解

ポイントの公式を用いる。使い勝手のよい公式であるが，やみくもに使うのではなく原理を理解したうえで用いるべきである。音源から観測者に向かう方向が正であることに注意して代入すると，

$$f_2{}' = \frac{V-(-v)}{V}f_1 = \left(1+\frac{v}{V}\right)f_1 > f_1 \cdots \boxed{\text{ア}}$$

また，観測者から見れば音波の相対速度は $V+v$ である。波の基本式より，

$$V + v = f_2{}'\lambda_1$$

$$\therefore\quad \lambda_1 = \frac{V+v}{f_2{}'} = \frac{V}{f_1} \cdots \boxed{\text{イ}}$$

以上より，答えは⑧。

※注 観測者での波の基本式について

ドップラー効果の公式を暗記していて，$f_2{}' = \dfrac{V+v}{V}f_1$ か $f_2{}' = \dfrac{V-v}{V}f_1$ かがわからなくなってしまったときの判断方法について，裏技的なものを紹介する。$V+v$ か $V-v$ かは，$f_2{}'$ が f_1 に比べて大きいか小さいかでわかる。本問では，観測者が音源に近づいているため波長はそのままだが，単位時間あたりに 1 波長分の波を受け取る回数（つまり振動数）が増加する。よって $f_2{}' > f_1$ となるから，$V+v$ が採用される（これは $\boxed{\text{ア}}$ の解答にもなる）。

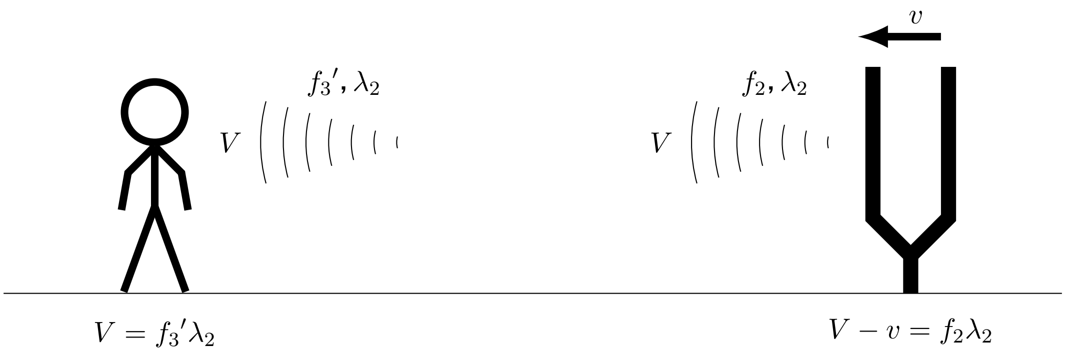
問 2 $\boxed{\;2\;}$ **正解は②**

難易度 ★★★☆☆

解説

ポイント	
音源が動くときのドップラー効果	：空気中の音速を V とする。振動数 f の音源が速度 v（音源から観測者に向かう方向を正とする）で動いていたとする。このとき，静止した観測者は振動数 $\dfrac{V}{V-v}f$ の音が聞こえる。

音源の波長を $\lambda_2(=\lambda)$，観測者に聞こえる音の振動数を $f_3{}'$ とする。



問 1 同様，音源，観測者での波の基本式をそれぞれ立式する。音源から見れば音波の相対速度は $V-v$ より，

音源　：$V - v = f_2\lambda_2$

観測者：$V = f_3{}'\lambda_2$

2 式より，

$$f_3{}' = \frac{V}{V-v}f_2$$

$$\lambda_2 = \frac{V-v}{f_2}$$

以上より，答えは②。

※注

この問題の答えを求めるだけなら音源での波の基本式のみを立式すれば解けるが，問 3 を解く誘導となるため観測者が聞く音の振動数も求めておいた。

別解

ポイントの公式を用いる。問 1 同様、使い勝手のよい公式であるが，やみくもに使うのではなく原理を理解したうえで用いるべきである。音源から観測者に向かう方向が正であることに注意して代入すると，

$$f_3{}' = \frac{V}{V-v}f_2$$

また，観測者から見た波の基本式より，

$$V = f_3{}'\lambda_2$$

$$\therefore \quad \lambda_2 = \frac{V}{f_3{}'} = \frac{V-v}{f_2}$$

よって答えは②。

問 3 $\boxed{\ 3\ }$ **正解は①**

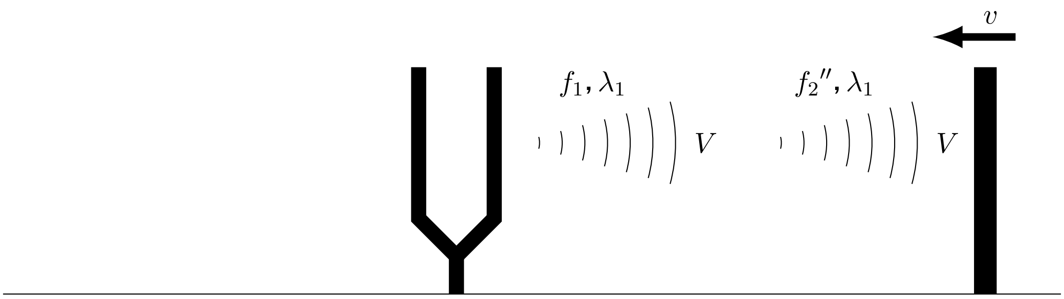
難易度 ★★★★☆

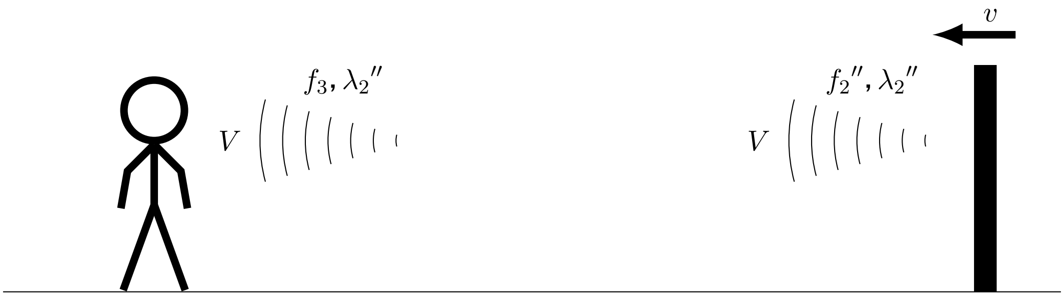
解説

ポイント	
動く反射板	：動く反射板は，動きながら音を聞く観測者であり，同時に，聞こえた振動数の音を動きながら出す音源と見なすことができる。

音源が出す音の波長を λ_1，反射板が受け取る音の振動数を $f_2{}''$，反射板が出す（はね返した）音の波長を $\lambda_2{}''$ とする。

v を V，f_1，f_3 で表すのが目標だが，とりあえず f_3 を V，v，f_1 で表してみる。音源は f_1, λ_1 の波を出し，反射板は $f_2{}'', \lambda_1$ の波を受け取る。そして，反射板は $f_2{}'', \lambda_2{}''$ の波を出し，観測者は $f_3, \lambda_2{}''$ の波を受け取るから，この 2 つの過程を分けて次のように図に示す。





上の図で反射板を観測者と見立てれば，問 1 と同じ状況になるから，

$$f_2'' = \frac{V+v}{V} f_1$$

同様に，下の図は，反射板を音源と見立てれば問 2 と同じ状況だから，

$$f_3 = \frac{V}{V-v} f_2''$$

よって，

$$f_3 = \frac{V+v}{V-v} f_1$$

これを v について解いて，

$$v = \frac{f_3 - f_1}{f_3 + f_1} V$$

以上より，答えは①。

（ 森田涼介，森本亮太 ）

2017年度 センター試験 本試験 物理

第 6 問　放射線と原子核の基本事項

出題範囲	原子
難 易 度	★★★☆☆
所要時間	10 分
傾向と対策	例年通り原子からの出題。細かい知識が必要なところがあるため，教科書をよく読んでおく必要があった。 **問 1**　知識問題である。放射線とその単位に関する知識が必要となった。放射線の種類と特徴はよく出るので，覚えておきたい。 **問 2**　原子核のエネルギーの問題。有名な $E = mc^2$ の式を用いる。 **問 3**　核融合の反応式の問題。反応前後の核子の数が一致することに気をつけて，反応式を完成させる。結合エネルギーが大きいほど，その物質は安定であることに注意。

問 1　$\boxed{1}$　**正解は⑤**

難易度　★★☆☆☆

解説

ポイント		
α 線	：	ヘリウムの原子核 ${}^4_2\mathrm{He}$ が飛んだもの。電離作用は強く。透過力は弱い。
β 線	：	電子が飛んだもの。電離作用は α 線よりは弱いが γ 線よりは強い。透過力は γ 線よりは弱いが α 線よりは強い。
γ 線	：	波長の短い電磁波。電離作用は弱い。透過力は強い。

① 電離作用は α 線，β 線，γ 線すべてがもつ。よって誤り（なお，電離作用は α 線が一番強い）。

② 電荷をもつ粒子が磁場に垂直に入射するとローレンツ力によって曲げられる。α 線は正の電荷，β 線は負の電荷をもち，γ 線は電荷をもたない。よって直進するのは γ 線のみである。したがって誤り。

③ β 崩壊が起こると，原子核中の中性子が電子を放出して陽子に変化するため，質量数は変化しないが，原子番号は変化する。よって誤り。

④ 自然界にも放射線を放出する原子核は存在する。例えば，放射性炭素原子が挙げられる。よって誤り。

⑤ シーベルトは放射線の人体への影響を考慮した数値である。よって正しい。

以上より，答えは⑤。

※注

この問題は，シーベルトの知識がなくても，①〜④が誤りであることがわかれば消去法によって答えは定まる。

問 2 $\boxed{2}$ **正解は④**

難易度 ★★☆☆☆

解説

ポイント	
原子番号	： 原子核に含まれる陽子の個数。原子の種類を決定する数である。
質量数	： 原子核に含まれる陽子と中性子の個数の和。
静止エネルギー	： 静止している質量 m の物体は静止エネルギー $E = mc^2$ をもつ（c は真空中での光速）。

ばらばらの状態の核子がもつエネルギーは，陽子の数が Z，中性子の数が $A - Z$ であることから $\{Zm_p + (A - Z)m_n\} \cdot c^2$ である。

一方で，原子核の状態でのエネルギーは Mc^2 である。以上の差が求めるエネルギー差であるから，

$$\Delta E = \{Zm_p + (A - Z)m_n - M\}c^2$$

以上より，答えは④。

問 3 $\boxed{3}$ **正解は③**

難易度 ★★☆☆☆

解説

ポイント	
核融合	： 複数の原子核が反応して，反応前よりも重い原子が生じる反応。反応の前後で陽子と中性子の個数の和は変化しない。
核エネルギー	： 核反応によって放出されるエネルギー。核反応 $\mathrm{A} + \mathrm{B} \longrightarrow \mathrm{C} + \mathrm{D}$ で放出される核エネルギーは（結合エネルギーを E で表す）， $(E_{\mathrm{C}} + E_{\mathrm{D}}) - (E_{\mathrm{A}} + E_{\mathrm{B}})$ である。

反応式の左側では，陽子が $2+2=4$ 個あり，中性子は $3+3-4=2$ 個存在する。また，${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ には中性子，陽子が 2 個ずつ存在する。したがって，求められている生成物は，中性子 0 個，陽子 2 個からなることがわかる。これを満たすのは，$2{}^{1}_{1}\mathrm{H}$ である。したがって，反応式は，

$$ {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{3}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2{}^{1}_{1}\mathrm{H} $$

である。

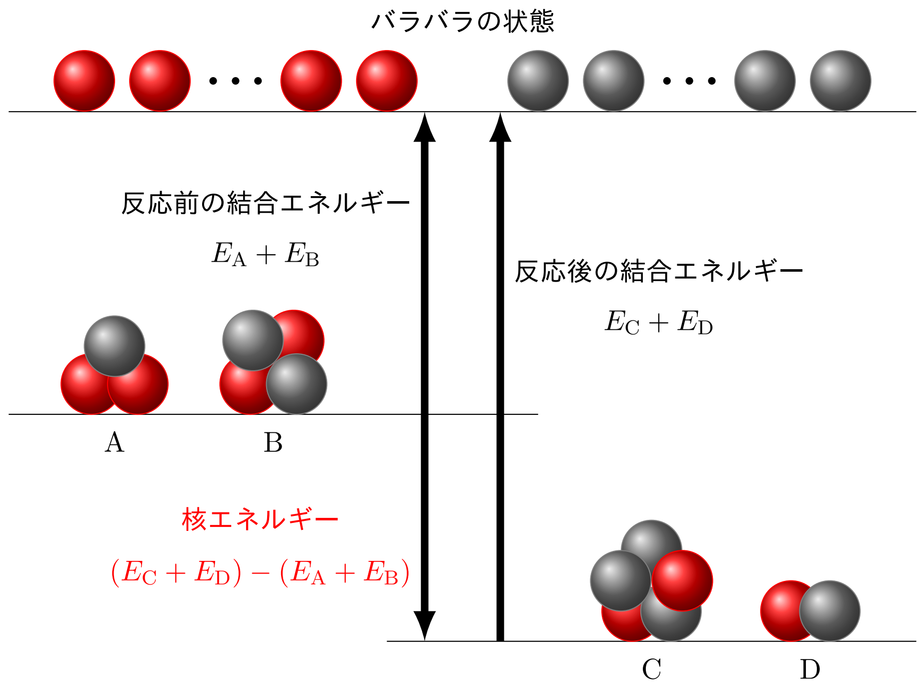
また，反応式の前後の結合エネルギーは，反応前は $7.7\,\mathrm{MeV}+7.7\,\mathrm{MeV}=15.4\,\mathrm{MeV}$，反応後は $28.3\,\mathrm{MeV}+0\,\mathrm{MeV}=28.3\,\mathrm{MeV}$（${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ は結合していないから結合エネルギーは $0\,\mathrm{MeV}$）となる。したがって，反応全体で発生する熱量は，$28.3\,\mathrm{MeV}-15.4\,\mathrm{MeV}=12.9\,\mathrm{MeV}>0$ である。よって発熱反応である。

以上より，答えは③。

◆ **Check!!**

核エネルギー

図のように核子がバラバラの状態を基準に考えると，核エネルギーは反応前後の結合エネルギーの和の変化量に等しいことがわかる。



（大泉雄司，森本亮太）