

理科 [物理] 60分, 100点

(解答番号  ~ )

第1問 次の問い(問1~5)に答えよ。(配点 25)

問1  難易度C

音速は 340 m/s だから,  $720/340 \doteq$   秒後にサイレンの音が届く。

音源が 20 m/s で観測者に近づいているので, ドップラー効果により振動数約

$$\frac{340}{340-20} \times 960 = \text{イ } 1020 \text{ Hz と } \frac{340}{340-20} \times 770 \doteq 820 \text{ Hz の音が交互に入れ替わる音となる。}$$

問2 ,  難易度A

直流に対して最も抵抗が少ない回路素子は導線とコイルだから, 最も大きな電流が流れ, ランプが最も明るくつく回路素子の組合せは  である。

すなわち, 直流に対するインピーダンスは導線が 0, 抵抗が  $R$ , コイルが 0, コンデンサーが  $\infty$  だから, 最もインピーダンスの少ない組合せは導線とコイルで, 最も大きな電流が流れる。

交流に対して最も電流が流れ, 最も電力消費が少なく, ランプが最も明るくつく回路素子の組合せは  である。

すなわち, この交流電源の角周波数に対するコイルとコンデンサーのリアクタンスは等しいので, 両者の直列接続ではインピーダンスが 0 となり, 実質的なインピーダンスはランプの内部抵抗のみとなって, 最も大きな電流が流れる。しかも, コイル, コンデンサーでは電力消費がない。

問3  難易度A

図3~5は, ヘリウム入り風船(a風船)に比して二酸化炭素入り風船(b風船)の質量が大きいため, b風船に慣性力がより大きく働くことを示している。図6でも, b風船に対して, より大きな回転による慣性力が働くので, カメラBで撮影された風船の様子として最も適当なものは ② である。

問4  難易度B

衝突前後のエネルギー保存の法則より, 散乱 X 線のエネルギーは入射 X 線のエネルギーより小さくなるので, 散乱 X 線の波長  $\lambda'$  は入射 X 線の波長  $\lambda$  より 。

X線が  $\theta = 90^\circ$  の向きに散乱されたとき, 運動量保存の法則より,

$$x \text{ 方向: } \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos 90^\circ + mv \cos \phi = mv \cos \phi, \therefore \cos \phi = \frac{h}{\lambda mv}$$

$$y \text{ 方向: } 0 = \frac{h}{\lambda'} \sin 90^\circ - mv \sin \phi = \frac{h}{\lambda'} - mv \sin \phi, \therefore \sin \phi = \frac{h}{\lambda' mv}$$

したがって  $\tan \phi = \frac{\lambda}{\lambda'} \doteq 1, \therefore \phi \doteq 45^\circ,$

すなわち電子はおよそ  $\phi = \text{エ } 45^\circ$  の向きにはね飛ばされる。

問5 6 ① 難易度B

二つの容器をそれぞれ容器1, 2とし, それぞれの物質量が  $n_1, n_2$ , 温度が  $T_1, T_2$  とする。  
各容器内の気体の状態方程式は  $pV = n_1 R T_1, pV = n_2 R T_2$ , したがって  $n_1 R T_1 = n_2 R T_2$   
 $T_1 \asymp T_2, n_1 \asymp n_2$  だから, 下記により二つの容器内では, (a) が等しい。

(a) 内部エネルギー:  $\frac{3}{2} n R T = \frac{3}{2} n N_A k T$ ,  $n$  は物質量,  $N_A$  はアボガドロ数

(b) 分子1個あたりの平均運動エネルギー:  $\frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} k T$

(c) 分子の二乗平均速度 (根平均二乗速度) と物質量の積:  $n \sqrt{\overline{v^2}} = n \sqrt{\frac{3kT}{m}}$

コメント:

問1では, 音源が観測者に近づいてくるのだから, ドップラー効果により振動数は大きくなる。

問2では, ランプが最も明るくつく, とはランプでの消費電力が最も大きい, ということである。  
直流電源と交流電源では回路素子の動作が異なるので, 結果も異なることに注意する。直流電源では,  
コンデンサーが充電されると電流は流れない。抵抗では電力が消費されるが, コイルでは消費されな  
い。交流電源では, 抵抗は電力を消費するが, コイル, コンデンサーは消費しない。

問3では風船に働く慣性力に着目する。図3によって, ヘリウム入り風船より二酸化炭素入り風船  
の方が質量が大きいことが明らかである。

問4は原子分野からの出題で, コンプトン効果によるX線の粒子性を示す現象である。

問5は与えられた物理現象から導かれる物理表式と (a), (b), (c) の表式を比較して考察する。

問1を除いて, 例年に比較してより深い物理考察が必要な問題のように思う。

第2問 次の文章を読み, 後の問い (問1~4) に答えよ。(配点 25)

問1 7 ④ 難易度C

小物体の衝突後の速さを  $v_1$  とする。  $e = \left| \frac{-v_1}{v_0} \right| = \frac{-v_1}{v_0}, v_1 = -ev_0$

衝突前後の運動エネルギーの差が失った力学的エネルギーだから,

$$\frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2} m (-ev_0)^2 = \frac{1}{2} m v_0^2 (1 - e^2)$$

問2 8 ③, 9 ② 難易度B

弾性衝突だからはね返り係数を1として,  $1 = \left| \frac{v - V_1}{v_0 - 0} \right| = \frac{V_1 - v}{v_0}, \therefore V_1 = v_0 + v$  ①

衝突前後の運動量保存の法則により,  $mv_0 = mv + MV_1 = mv + M(v_0 + v)$  ②

①, ②より,  $v = \frac{m - M}{m + M} v_0, V_1 = \frac{2m}{m + M} v_0$

問3 10 ㉔ 難易度A

A と B<sub>1</sub> の衝突は弾性衝突だから、反発係数は  $1 = \left| \frac{v - V_1}{v_0 - 0} \right| = \frac{V_1 - v}{v_0}$

衝突直後の B<sub>1</sub> の運動量が、その後は保存されるので、 $MV_1 = 2MV$ ,  $\therefore V = \frac{V_1}{2}$

A と B との間の反発係数は  $\left| \frac{v - V}{v_0 - 0} \right| = \boxed{\text{ア (c)} \frac{V - v}{v_0}} = \frac{V_1/2 - v}{v_0}$  であり、

その値は  $\boxed{\text{イ (f) 1 より小さい}}$ 。

問4 11 ㉔ 難易度A

衝突直後の B の力学的エネルギーは問3の V を使うと、

$\frac{1}{2}MV_1^2 = \frac{1}{2}M(2V)^2 = \boxed{\text{ウ (c)} 2MV^2}$  と表される。

ばねの自然長からの伸びが最大になるときは、B<sub>1</sub> と B<sub>2</sub> の速度は等しい。

すると、運動量保存の法則より、 $MV_1 = MV_1' + MV_2' = 2MV$ ,

$V_1', V_2'$  は A と B<sub>1</sub> の衝突後のばねの作用による B<sub>1</sub> と B<sub>2</sub> の速度で、 $V_1 = V_1' + V_2' = 2V$

ばねの伸びが最大のとき  $V_1' = V_2'$  だから、 $V_1 = 2V_1' = 2V$ , ばねの伸びの最大長を  $l_{max}$  として

エネルギー保存の法則により、 $\frac{1}{2}MV_1^2 = \frac{1}{2}(2M)(V_1')^2 + \frac{1}{2}k(l_{max})^2 = MV^2 + \frac{1}{2}k(l_{max})^2$

$\frac{1}{2}k(l_{max})^2 = \frac{1}{2}MV_1^2 - MV^2 = \frac{1}{2}M(2V)^2 - MV^2 = MV^2$ ,  $\therefore l_{max} = \boxed{\text{エ (e)} \sqrt{\frac{2M}{k}} V}$

コメント：

問題図3のような物理過程の理解に戸惑う受験生が多いかも知れない。小物体 A が小物体 B<sub>1</sub> に弾性衝突をする。その直後から、小物体 B<sub>1</sub> の運動がばねを押すことにより小物体 B<sub>2</sub> の運動をひき起こす。この作用では運動量保存の法則とエネルギー保存の法則が成立する。

第3問 次の文章 (A・B) を読み、後の問い (問1～6) に答えよ。(配点 25)

A

問1 12 ㉔ 難易度B

熱力学第一法則より、外部から気体に加えた熱量 Q は A → B の過程で、気体が外部にした仕事と温度上昇による内部エネルギーの増加に等しい。。

外部にした仕事は  $10p_0 \times (10-1)V_0 = 90p_0V_0$

状態 A の内部エネルギーは  $\frac{3}{2}nRT_A = \frac{3}{2} \cdot 10p_0 \cdot V_0$ ,  $n$  は物質質量,  $R$  はリドベルグ定数

状態 B の内部エネルギーは  $\frac{3}{2}nRT_B = \frac{3}{2} \cdot 10p_0 \cdot 10V_0$

よって、内部エネルギーの増加は  $\frac{3}{2} \cdot 10p_0 \cdot 10V_0 - \frac{3}{2} \cdot 10p_0 \cdot V_0 = \frac{3}{2} \cdot 90p_0V_0$

---

よって、 $Q = 90p_0V_0 + \frac{3}{2} \cdot 90p_0V_0 = 225 \times p_0V_0$

問2 13 ④ 難易度C

図2(a)で実線で囲まれた領域の面積は  $58 p_0V_0$  , (b)では  $74 p_0V_0$  ,

外部にする仕事の総和は、平均値  $W = \frac{58+74}{2} = \frac{132}{2} \times p_0V_0$

問3 14 ③ 難易度B

$Q$  の熱量を吸収し、 $W$  の仕事をして元の状態に戻ったので、外部に放出する熱量は

ア  $Q - W$  と表される。

気体に加えた熱量  $Q$  によって  $W$  の仕事をしたのだから、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  の状態変化を1サイ

クルとする熱機関の熱効率イ  $\frac{W}{Q}$  と表される。

B

問4 15 ③ 難易度C

点Pと平面波の波源との距離は  $L - X$  , 点Pと波源との距離は  $\sqrt{X^2 + Y^2}$

両者の差が波長の整数倍のとき、平面波と円形波は強めあうから、その条件は

$$|L - X - \sqrt{X^2 + Y^2}| = \text{③ } m\lambda$$

問5 16 ④ 難易度A

$x$  軸上で強めあう条件は、 $|11\lambda - x - \sqrt{x^2}| = |11\lambda - 2x| = m\lambda$

$2x \leq 11\lambda$  のとき、 $11\lambda - 2x = m\lambda$  ,  $x = \frac{11-m}{2}\lambda$  ,

したがって  $0.2\lambda < \frac{11-m}{2}\lambda \leq \frac{11}{2}\lambda$  ,  $0.4 < 11 - m \leq 11$  ,  $0 \leq m < 10.6$  ,  $m$  は11個

$2x > 11\lambda$  のとき、 $2x - 11\lambda = m\lambda$  ,  $x = \frac{11+m}{2}\lambda$  ,

したがって  $\frac{11}{2}\lambda < \frac{11+m}{2}\lambda < 10.8\lambda$  ,  $0 < m < 10.6$  ,  $m$  は10個

強めあう条件を満たす  $m$  は合計21個あるから、点の数は21個

問6 17 ② 難易度B

円形波の山は広がる方へ移動する。平面波の山は左へ移動する。したがって、両者が重なり強めあう点Qの後の点は② イである。

コメント：

問1

$A \rightarrow B$  の過程は定圧膨張で、熱を吸収して仕事をするとともに、内部エネルギーも増加する。

問2

図2の1マスが  $p_0V_0$  である。

問5

$(11\lambda - 2x)$  の正負に応じて、 $m$  の条件を考える。

第4問 次の文章を読み、後の問い(問1～5)に答えよ。(配点 25)

問1 [18 ㉓] 難易度B

この回路には電流は流れていないので、抵抗器による電圧降下はない。したがって直流電源の電圧は極板間の電圧に等しく、[ア  $Ed$  である]。

荷電粒子が極板AからBに向かって曲げ戻されていて、荷電粒子の電気量が負であることから、極板Aに比べて極板Bの方が電位が [イ 高い] 。

問2 [19 ㉓] 難易度B

荷電粒子は極板間で減速し、速さ0となり向きを変え、加速し元の速さ  $v_0$  となって飛び出す。したがって、荷電粒子の運動エネルギーは変化しないので、静電気力がした仕事は [㉓ 0]

問3 [20 ㉓] 難易度A

極板間で荷電粒子が受ける加速度を  $a$  とすれば、極板に垂直方向の運動方程式は

$$ma = -eE, \quad \therefore v_Y = -\frac{eE}{m}t + \frac{\sqrt{2}}{2}v_0, \quad \text{時間 } t \text{ は極板入射時を } 0 \text{ とする。}$$

極板に平行方向の速さ  $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$  は変化しないから、粒子の入射から出射までの距離  $L$  を動く時間は

$$t_L = \frac{L}{\frac{\sqrt{2}}{2}v_0} = \frac{\sqrt{2}L}{v_0}, \quad t = t_L \text{ において } v_Y = -\frac{\sqrt{2}}{2}v_0 \text{ となるから、}$$

$$-\frac{\sqrt{2}}{2}v_0 = -\frac{eE}{m} \times \frac{\sqrt{2}L}{v_0} + \frac{\sqrt{2}}{2}v_0, \quad \therefore E = \frac{mv_0^2}{eL}$$

問4 [21 ㉓] 難易度B

点Qにおいて荷電粒子が受ける力の向きは、円運動の中心方向であるから、図3の [ウ d] の矢印の向きである。荷電粒子の電気量が負であることから、フレミングの左手の法則により、磁場の向きは紙面に垂直で [エ 裏から表] の向きである。

問5 [22 ㉓] 難易度A

問3の結果より、電場が一定であることから、 $\frac{mv_0^2}{eL} = \frac{m'v_0'^2}{eL}$ ,  $\therefore \frac{v_0'}{v_0} = \sqrt{\frac{m}{m'}}$

磁場中の荷電粒子の等速円運動の方程式は  $F = \frac{mv_0^2}{r} = ev_0B$ ,  $\therefore r = \frac{mv_0}{eB}$

$$\text{したがって, } r' = \frac{m'v_0'}{eB}, \quad \frac{PR'}{PR} = \frac{r'}{r} = \frac{m'v_0'}{mv_0} = \frac{m'}{m} \times \sqrt{\frac{m}{m'}} = \boxed{\textcircled{1} \sqrt{\frac{m'}{m}}}$$

コメント：

電磁気分野の問題であり、苦手とする受験生が多いように思う。しかし電場，磁場中の荷電粒子の運動という基本的な問題だから，力学の知識も踏まえながら，落ち着いて考察しよう。

問1

回路に電流が流れていない，ということに着眼する。

問2

問題文に飛び出した直後の荷電粒子の速度が  $v_0$  とあり，粒子の運動エネルギーは変化していないことが，直ちにわかる。

問3

荷電粒子は垂直方向には等加速度運動，水平方向には等速運動という，重力下での投げ上げ運動と同じ運動になることに着眼しよう。

問4

電荷が負ということは電流の向きは粒子の運動方向とは反対方向になることを考慮して，フレミングの左手の法則を活用しよう。

問5

磁場中の円運動の方程式から，運動半径を考察しよう。

<総評>

本解説を作成している頃、すでに共通テストの平均点が公表され、145,203人受験で45.6点であった。化学56.9，生物55.1に対して、10点ほど低い。R5年度以降、63.4，63.0，59.0と続いたことから、おそらく、50点に近づくよう問題設定に工夫を講じた結果であろう。

全体として難化したという実感はないのだが、第1問では問1を除いて、各問ともに正答するために、物理的な着眼，着想が必要で、例年以上に時間を要したかも知れない。

260225