解答速報　物理

医学部受験専門予備校 慧修会

# 2024年度　昭和大学　I期

【 講　評 】

昨年と比べて難易度はあまり変わらなかった。1 A (4)と 1 B 以外は完答し70～80%は得点したい。

1 A は熱サイクルの問題。(4)を除くと典型問題であったが、最後の問題は少し厄介であった。

B は記述問題だが、少し難しかったであろう。

2 慣性力の問題。基本的であり落とせない。

3 原子核と二体問題の標準問題。計算ミスに注意したい。

4 電磁場中の荷電粒子の運動に関する問題で順番に解けば完答できたであろう。

【 解　答 】

1

A

(1) A→B：仕事　0　内部エネルギー変化　$\frac{3}{2}(p_B - p_A)V_A$　熱量　$\frac{3}{2}(p_B - p_A)V_A$

B→C：仕事　$p_B(V_C - V_A)$　内部エネルギー変化　$\frac{3}{2}p_B(V_C - V_A)$　熱量　$\frac{5}{2}p_B(V_C - V_A)$

C→D：仕事　0　内部エネルギー変化　$-\frac{3}{2}(p_B - p_A)V_C$　熱量　$-\frac{3}{2}(p_B - p_A)V_C$

D→A：仕事　$-p_A(V_C - V_A)$　内部エネルギー変化　$-\frac{3}{2}p_A(V_C - V_A)$　熱量　$-\frac{5}{2}p_A(V_C - V_A)$

(2) 加えられた熱量：$-p_BV_A - \frac{3}{2}p_AV_A + \frac{5}{2}p_BV_C$　　放出される熱量：$\frac{3}{2}p_BV_C + p_AV_C - \frac{5}{2}p_AV_A$

(3) $\frac{(p_B - p_A)(V_C - V_A)}{-p_BV_A - \frac{3}{2}p_AV_A + \frac{5}{2}p_BV_C}$

(4) $\frac{2}{5}$

B　解説参照

2

(1) $\frac{m}{2M+m}g$ [m/s$^2$]

(2) $\frac{4M(M+m)}{2M+m}$ [kg]

(3) $\frac{m}{2M+m}(g + a_0)$ [m/s$^2$]

3

(1) 3.3 MeV

(2) 0.33

(3) 1.0 MeV

(4) 3.0 MeV

(5) $\frac{k_0 e^2}{4r_0}$

4

(1) $\frac{eV_1}{d}$

(2) $\frac{eV_1}{md}$

(3) $\frac{eV_1}{2mdv_0^2}x_1^2$

(4) $\frac{eV_1\ell^2}{2emdv_0^2}$

(5) $V_1 < \frac{md^2v_0^2}{el^2}$

(6) $\sqrt{v_0^2 + \left(\frac{eV_1\ell}{mdv_0}\right)^2}$

(7) $\frac{V_2}{B_1 d}$

(8) $B_1 d\sqrt{\frac{2eV_0}{m}}$

【 解 説 】

$\boxed{1}$

$\boxed{\mathrm{A}}$

(1) A から B の状態変化では $\Delta V = 0$ より $W_{\mathrm{out}} = \mathbf{0}$ である。

また、内部エネルギーの変化は $\Delta U = \frac{3}{2}(p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{A}} - p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}) = \boldsymbol{\frac{3}{2}(p_{\mathrm{B}} - p_{\mathrm{A}})V_{\mathrm{A}}}$ である。

気体が吸収した熱量は $Q_{\mathrm{in}} = \Delta U + W_{\mathrm{out}} = \boldsymbol{\frac{3}{2}(p_{\mathrm{B}} - p_{\mathrm{A}})V_{\mathrm{A}}}$ である。

B から C の状態変化では $\Delta V = V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}}$ より $W_{\mathrm{out}} = \boldsymbol{p_{\mathrm{B}}(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}})}$ である。

また、内部エネルギーの変化は $\Delta U = \frac{3}{2}(p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{C}} - p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{A}}) = \boldsymbol{\frac{3}{2}p_{\mathrm{B}}(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}})}$ である。

気体が吸収した熱量は $Q_{\mathrm{in}} = \Delta U + W_{\mathrm{out}} = \boldsymbol{\frac{5}{2}p_{\mathrm{B}}(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}})}$ である。

C から D の状態変化では $\Delta V = 0$ より $W_{\mathrm{out}} = \mathbf{0}$

また、内部エネルギーの変化は $\Delta U = \frac{3}{2}(p_{\mathrm{A}} - p_{\mathrm{B}})V_{\mathrm{C}} = \boldsymbol{-\frac{3}{2}(p_{\mathrm{B}} - p_{\mathrm{A}})V_{\mathrm{C}}}$ である。

気体が吸収した熱量は $Q_{\mathrm{in}} = \Delta U + W_{\mathrm{out}} = \boldsymbol{-\frac{3}{2}(p_{\mathrm{B}} - p_{\mathrm{A}})V_{\mathrm{C}}}$ である。

B から C の状態変化では $\Delta V = -(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}})$ より $W_{\mathrm{out}} = \boldsymbol{-p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}})}$ である。

また、内部エネルギーの変化は $\Delta U = -\frac{3}{2}(p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}} - p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{C}}) = \boldsymbol{-\frac{3}{2}p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}})}$ である。

気体が吸収した熱量は $Q_{\mathrm{in}} = \Delta U + W_{\mathrm{out}} = \boldsymbol{-\frac{5}{2}p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}})}$ である。

(2) 1 サイクルで気体に加えられた熱量は

$$\frac{3}{2}(p_{\mathrm{B}} - p_{\mathrm{A}})V_A + \frac{5}{2}p_{\mathrm{B}}(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}}) = \boldsymbol{-p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{A}} - \frac{3}{2}p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}} + \frac{5}{2}p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{C}}}$$

であり、気体が放出した熱量は

$$\frac{3}{2}(p_{\mathrm{B}} - p_{\mathrm{A}})V_{\mathrm{C}} + \frac{5}{2}p_{\mathrm{A}}(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}}) = \boldsymbol{\frac{3}{2}p_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{C}} + p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{C}} - \frac{5}{2}p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{A}}}$$

である。

(3) 1 サイクルで気体が外部にする仕事は $pV$ グラフで囲まれた部分の面積であるから、

$$W = (p_{\mathrm{B}} - p_{\mathrm{A}})(V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{A}})$$

である。したがって、熱効率は

$$e=\frac{(\boldsymbol{p}_{\mathrm{B}}-\boldsymbol{p}_{\mathrm{A}})(\boldsymbol{V}_{\mathrm{C}}-\boldsymbol{V}_{\mathrm{A}})}{-\boldsymbol{p}_{\mathrm{B}}\boldsymbol{V}_{\mathrm{A}}-\frac{3}{2}\boldsymbol{p}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{V}_{\mathrm{A}}+\frac{5}{2}\boldsymbol{p}_{\mathrm{B}}\boldsymbol{V}_{\mathrm{C}}}$$

となる。

(4) 熱効率の逆数 $\frac{1}{e}$ の下限値を考える。

$$\frac{1}{e}=\frac{\frac{3}{2}(p_{\mathrm{B}}-p_{\mathrm{A}})V_{\mathrm{A}}+\frac{5}{2}p_{\mathrm{B}}(V_{\mathrm{C}}-V_{\mathrm{A}})}{(p_{\mathrm{B}}-p_{\mathrm{A}})(V_{\mathrm{C}}-V_{\mathrm{A}})}=\frac{3}{2}\frac{1}{\frac{V_{\mathrm{C}}}{V_{\mathrm{A}}}-1}+\frac{5}{2}\frac{1}{1-\frac{p_{\mathrm{A}}}{p_{\mathrm{B}}}}$$

ここで、$\frac{V_{\mathrm{C}}}{V_{\mathrm{A}}}>1,\ 0<\frac{p_{\mathrm{A}}}{p_{\mathrm{B}}}<1$ であり、第 1 項は単調減少で第 2 項は単調増加であるから、$\frac{V_C}{V_A}\to\infty, \frac{p_A}{p_B}\to 0$ を考えると、$\frac{1}{e}\to\frac{5}{2}$ となる。したがって、熱効率の下限値は $\frac{5}{2}$ となるので，求める上限値は $\boldsymbol{\frac{2}{5}}$ である。

B

頭部が重くなると水飲み鳥が倒れ，頭部のフェルトが水を吸う。倒れてガラス管の下端が液面からでた際に，頭部の気体が下側に移動し圧力差がなくなることで頭部の液体が下部に戻るため， 下部が重くなり水飲み鳥は起き上がる。起き上がった水飲み鳥のフェルトの水が蒸発する際に蒸発熱によって温度が下がる。これにより頭部の圧力が下がり下部の液体が上昇することで，頭部に液体が溜まり頭部が重くなって再び倒れる。（193 文字）

$\boxed{2}$

(1)　一体系の加速度の大きさを $A$ [m/s²] とおくと、運動方程式は

$$(2M+m)\mathrm{A} = (M+m)\mathrm{g} - \mathrm{Mg} = \mathrm{mg}$$

となる。したがって、加速度の大きさは

$$A = \frac{m}{2M+m}g\ [\mathrm{m/s^2}]$$

となる。

(2)　張力の大きさを $T$ [N] とすると、滑車に働く力のつり合いより、ばねばかりに働く力は $2T$ [N] である。A 側のおもりの運動方程式

$$MA = T - Mg$$

より

$$T = MA + Mg = \frac{2(M+m)}{2M+m}Mg\ [\mathrm{N}]$$

となる。よって、ばねばかりの値は

$$\frac{2T}{g} = \frac{4M(M+m)}{2M+m}\ [\mathrm{kg}]$$

である。

(3)　(1)の $g$ を $g+a_0$ に置き換えることで

$$A' = \frac{m}{2M+m}(g+a_0)\ [\mathrm{m/s^2}]$$

となる。

$\boxed{3}$

$\boxed{(1)}$ 減少した質量は

$$\Delta m = \{2 \times 2.0136 - (3.0150 + 1.0087)\} \times 1.7 \times 10^{-27} = 5.95 \times 10^{-30}\ \mathrm{kg}$$

であるから、発生したエネルギーは

$$\Delta mc^2 = 5.95 \times 10^{-30} \times \left(3.0 \times 10^8\right)^2 = 5.355 \times 10^{-13}\ \mathrm{J}$$

である。したがって、

$$E = \frac{5.355 \times 10^{-13}}{1.6 \times 10^{-13}} = 3.34 \fallingdotseq \mathbf{3.3}\ \mathrm{MeV}$$

である。

$\boxed{(2)}$ 運動量保存則より

$$0 = 3.0150 \times V - 1.0087 \times v$$

であるから

$$\frac{V}{v} = \frac{1.0087}{3.0150} \fallingdotseq \mathbf{0.33}$$

である。

$\boxed{(3)}$ 分裂する際に物体が持つ運動エネルギーの比は質量の逆比であるから

$$\frac{1.0087}{3.0150 + 1.0087} \times (2 \times 0.35 + 3.3) \fallingdotseq \mathbf{1.0}\ \mathrm{MeV}$$

である。

(4) (3)と同様にして

$$\frac{3.0150}{1.0087 + 3.0150} \times 4.0 \fallingdotseq \mathbf{3.0}\ \mathrm{MeV}$$

が得られる。

$\boxed{(5)}$ エネルギー保存則より

$$2K_0 = \frac{k_0 e^2}{2r_0}$$

であるから

$$K_0 = \frac{k_0 e^2}{4r_0}$$

である。

$\boxed{4}$

(1) 電子が電場から受けるローレンツ力の大きさは

$$F = eE = e\frac{V_1}{d} = \boldsymbol{\frac{eV_1}{d}}$$

である。

(2) 電子の $y$ 軸方向の運動方程式は

$$ma = F = \frac{eV_1}{d}$$

となるため、

$$a = \boldsymbol{\frac{eV_1}{md}}$$

である。

(3) $yz$ 平面を通過した瞬間を $t = 0$ とすると、時刻 $t$ における電子の座標は

$$x_1 = v_0 t$$

$$y_1 = \frac{eV_1}{2md}t^2$$

となる。2 式から $t$ を消去して

$$y_1 = \boldsymbol{\frac{eV_1}{2mdv_0^2}x_1^2}$$

となる。

(4) (3)の式に $x_1 = l$ を代入して

$$y_2 = \boldsymbol{\frac{eV_1\ell^2}{2mdv_0^2}}$$

となる。

(5) 平行電極 CD に触れない条件は

$$\frac{eV_1\ell^2}{2mdv_0^2} < \frac{d}{2}$$

であるので求める条件は

$$\boldsymbol{V_1 < \frac{md^2v_0^2}{e\ell^2}}$$

である。

(6) 平行極板 CD を通過した時の $y$ 軸方向の速さは $\frac{eV_1\ell}{mdv_0}$ である。したがって、

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{eV_1\ell}{mdv_0}\right)^2}$$

である。

(7) 電子に働くローレンツ力は 0 であるから

$$e\frac{V_2}{d} - ev_0B_1 = 0$$

となる。したがって、

$$v_0 = \frac{\boldsymbol{V_2}}{\boldsymbol{B_1 d}}$$

である。

(8) エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = eV_0$$

が成り立ち、(7)を代入して整理することで

$$V_2 = \boldsymbol{B_1 d}\sqrt{\frac{\boldsymbol{2eV_0}}{\boldsymbol{m}}}$$

が得られる。