東京医科 2014 物理

略解

1 問 1.④ 問 2.③ 問 3.⑥ 問 4.⑥

2 問 1.③ 問 2·③ 問 3·①

3 問 1.① 問 2.②

4 問 1.④ 問 2.⑥

5 ⑥

6 問 1·② 問 2.⑤ 問 3.⑤問 4.① 問 5.④

7 問 1.⑦ 問 2.④ 問 3.⑤ 問 4·⑧

8 問 1.① 問 2.⑤

9 問 1.② 問 2.③

配点　合計 100 点

1　計 12 点　　一問 3 点×4 問

2　計 12 点　　一問 4 点×3 問

3　計 10 点　　一問 5 点×2 問

4　計 10 点　　一問 5 点×2 問

5　9 点

6　計 15 点　　一問 3 点×5 問

7　計 12 点　　一問 3 点×4 問

8　計 10 点　　一問 5 点×2 問

9　計 10 点　　一問 5 点×2 問

①力学

〇原則

1 等加速度運動

速度とは単位時間あたりの位置の変化（変位）を示し、

$$v=\frac{\mathit{\Delta} x}{\mathit{\Delta} t}[\mathrm{m/s}]$$

である。一方、加速度は単位時間あたりの速度変化を示し、

$$a=\frac{\mathit{\Delta} v}{\mathit{\Delta} t}[\mathrm{m}/s^2]$$

となる。

等加速度運動の式

・$v=v_o+at$ (1-1)

・$x=v_ot+\frac{1}{2}at^2$ (1-2)

・$v^2-v_0^2=2ax$ (1-3)

(1-3)は上の 2 式を使って t を消去したものである。

v - t グラフ

・グラフで囲まれた面積＝物体の変位

・グラフの傾き＝加速度

a - t グラフ

このグラフから読み取ることのできる数値は時間と加速度だが、加速度と時間の積は速度となるので、グラフで囲まれた面積＝速さになることを押さえておく。

第 1 問

問 1

【方針】

設問より、a-t グラフが与えられているので、原則 1 より、図 1 のグラフから x,y 方向の加速度をそれぞれ読み取り、合成すればよいことがわかる。

【解答】

図 1 のグラフより t=15〔s〕のときの加速度はそれぞれ$\mathrm{a_x}=2.0, \mathrm{a_y}=4.0$となるので、求める加速度の大きさ a[m/$s^2$]はベクトルの合成を求める。

三平方の定理より、

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=\sqrt{2.0^2+4.0^2}≒4.5[m/s^2]$$

となる。

問２

【方針】

　設問から速さを求める問題であるので、原則 1 より、a-t グラフの面積が速度であることを利用し、x,y 方向についてそれぞれ求め、それを合成する。

【解答】

　t=20[s]のときの速度をそれぞれv_x, v_yとおく。

図 1 の a-t グラフで囲まれた面積がv_x, v_yとなるので、

$$v_x = 2.0 \times (20-10) = 20[m/s]$$
$$v_y = 2.0 \times (10-0) + 4.0 \times (20-10) = 60[m/s]$$

となり、求める速さvは問 1 と同様にベクトルの合成から三平方の定理より

$$v = \sqrt{v_x^2+v_y^2} = \sqrt{20^2+60^2} = 20\sqrt{10}[m/s]$$
$$\sqrt{10}≒3.16 \text{ より}$$
$$v = 63[m/s]$$

となる。

問３

【方針】

　t=30s のときの x 座標は物体の x 方向における変位である。よって、図１のグラフから x 方向の加速度を読み取り、時間ごとに等速運動か等加速度運動かを把握して v-t グラフを作成する。そして、その面積が変位であることを利用し、求める。

【解答】

　x 方向の座標であるので図 1 のa_x-t グラフを利用する。

$0 \le t \le 10$[s]では加速度 0[m/s^2]より$v=0$[m/s]の等速度運動

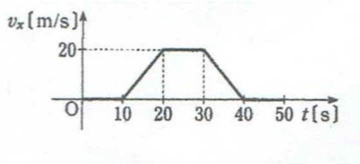
$10 < t \le 20$[s]では加速度 2.0[m/s^2]の等加速度直線運動

$20 < t \le 30$[s]では加速度 0[m/s^2]となるので問２より$v=20$[m/s]の等速度運動

$30 < t \le 40$[s]では加速度-2.0[m/s^2]の等加速度直線運動

$40 < t \le 50$[s]では加速度 0[m/s^2]より$v=0$[m/s]の等速度運動

となるので、v-t グラフを描くと



上図のようになる。
ここで、v-t グラフの面積が変位となるので、

$$x = \frac{1}{2}\{(30-20)+(30-10)\} \times 20 = 300[m]$$

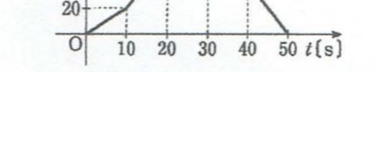
となる。

問 4
【方針】
　問 3 と同様に t=30s のときの y 座標は物体の y 方向における変位である。よって、原則 1 より図 1 のグラフから y 方向の加速度を読み取り、時間ごとに等速運動か等加速度運動かを把握して v-t グラフを作成する。そして、その面積が変位であることを利用し、求める。

【解答】
　今度は y 方向なので問 3 と同様に、

$0 \leq t \leq 10$[s]では加速度 2.0[m/s^2]の等加速度直線運動
$10 < t \leq 20$[s]では加速度 4.0[m/s^2]の等加速度直線運動
$20 < t \leq 30$[s]では加速度 0[m/s^2]となるので問 2 より$v = 60$[m/s]の等速度運動
$30 < t \leq 40$[s]では加速度-2.0[m/s^2]の等加速度直線運動
$40 < t \leq 50$[s]では加速度-4.0[m/s^2]の等加速度直線運動

となるので、v-t グラフを描くと



上図のようになる。
v-t グラフで囲まれた面積=変位より

$$\mathrm{y}=\frac{1}{2}(10-0)\times 20+\frac{1}{2}(20-10)\times(20+60)+(30-20)\times 60+\frac{1}{2}(40-30)\times(60+40)$$

$$\mathrm{y}=100+400+600+500=1600[m]$$

となる。

②力学

<u>2 運動方程式</u>

質量 m の物体にいくつかの力がはたらいているとき、物体にはそれらの合力 F の向きに加速度 a が生じ、ma=F の運動方程式が成り立つ。

<u>3 弾性力</u>

フックの法則より、弾性力は $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{kx}$ と表される。$\boldsymbol{k}$ はばね定数[N]、$\boldsymbol{x}$ は自然長からの縮み[m]である。
ばねの弾性力による位置エネルギーを弾性エネルギーといい、

$$\frac{1}{2}kx^2$$

で表される。

<u>4 力学的エネルギー保存則</u>

運動エネルギー、重力による位置エネルギー、弾性力による位置エネルギーを力学的エネルギーといい、外力が働かない場合において、力学的エネルギーの総和は一定となる。
これを力学的エネルギー保存の法則という。

<u>5 運動量保存則</u>

物体の質量と速度の積で表したものを運動量といい、互いに逆向きで同じ大きさの力のみがそれぞれの物体にはたらくとき、物体の運動量の総和は一定となる。これを運動量保存則という。

〇解答の方針

第 2 問
問 1
【方針】

設問から外力がはたらいていないことと、ばねが最も縮んだときは速度が 0 になることから力学的エネルギー保存則と、衝突の問題であることから運動量保存則を立てることを

読み取り、連立方程式を解く。

【解答】

物体と運動が衝突し、一体となった直後の速さを V とすると、運動量保存則より

$$m_2 v_0 = (m_1 + m_2)V$$

$$\mathrm{V} = \frac{m_2}{m_1+m_2} v_0 \quad (2\text{-}1)$$

求めるばねの縮みを d とすると、力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)V^2 = \frac{1}{2}kd^2$$

$$\mathrm{d} = \mathrm{V}\sqrt{\frac{m_1+m_2}{k}} \quad (2\text{-}2)$$

ここで(2-1)を(2-2)に代入すると、

$$\mathrm{d} = \sqrt{\frac{m_2^2}{k(m_1+m_2)} v_0 [m]}$$

となる。

問 2

【方針】

設問の物体が台から離れるという条件から衝突前と同じ状態であることを読み取る。外力がはたらかず、力学的エネルギーは保存されるので、問 1 を利用して、一体となった直後とのエネルギー保存則を立てることができる。

【解答】

物体が台から離れるのは、ばねが衝突する前の状態に戻ったときなので、
力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)V^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2){v_1}^2$$

$$v_1 = \frac{m_2}{m_1+m_2} v_0 [\mathrm{m/s}]$$

となる。

問 3

【方針】

設問には物体が台から離れた後に振動を始めたとあるので、加速度運動をしていることから、ばねの弾性力で運動方程式を立てる。さらに、周期 T を求めるので、角振動数から単

振動の加速度を求めて、連立を解く。

【解答】

　ばねの伸びを x[m]、台の加速度を a[m/s^2]として運動方程式を立てる。

$$m_1 a = -kx$$

$$a = -\frac{kx}{m_1} \quad (3-1)$$

角振動数ω[rad/s]とすると、単振動の加速度は

$$a = -\omega^2 x \quad (3-2)$$

この 2 式より

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_1}}\,[\mathrm{rad/s}]$$

となる。よって求める周期は

$$\mathrm{T} = \frac{2\pi}{\omega} \text{より}$$

$$\mathrm{T} = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}}\,[s]$$

となる。

③電磁気

○原則

6　クーロンの法則

ある 2 つの電荷の間にはそれぞれの電気量に比例し、電荷間の距離の 2 乗に反比例する力がはたらき、その力をクーロン力（静電気力）という。このクーロン力 Fは

$$F = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2}\,[\mathrm{N}]$$

で表される。ここで K[$\mathrm{Nm^2/C^2}$]は比例定数でQ_1, Q_2[C]は電荷の電気量である。クーロン力の向きは異符号であれば引力、同符号であれば反発力（斥力）が生まれる。

7　電界

+ 1 [C]の電荷にはたらくクーロン力を電界（電場）という。定義式は

$$E = \frac{F}{Q}\,[\mathrm{N/C}]$$

つまり、E の電界に電荷 q[C]を置くと、

$$F = qE\,[\mathrm{N/C}]$$

となる。また、点電荷 Qがつくる、r離れた位置での電場の大きさは

$$E = k\frac{Q}{r^2}[\mathrm{N/C}]$$

となる。

８　電位

電位 V[V/m]は、+１[C]の電荷がその電位にあるときの位置エネルギーのことであり、定義としては

$$\mathrm{V} = \frac{U}{q}$$

と表される。

この U はクーロン力による位置エネルギーの式で、クーロン力 F の式を距離で積分したものである。

$$U = k\frac{Q_1 Q_2}{r}$$

したがって V は+１[C]の電荷がその電位にあるときの位置エネルギーであることから Q[C]の点電荷から r 離れた位置の電位は無限遠を基準として

$$V = k\frac{Q}{r}$$

と表される。

９　オームの法則

電位は V=RI と表される。R [Ω]は抵抗である。抵抗は電流の流れにくさのようなものである。

１０　ファラデーの電磁誘導の法則

N 巻きコイルを貫く磁束φが時間的に変化するときに生じる誘導起電力は

$$V = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

磁場の時間変化によって起電力が発生する現象を電磁誘導といい、このとき発生する起電力を誘導起電力 V、流れる電流を誘導電流という。

この電磁誘導の法則を用いるときに、磁束φについては

$$\varphi = BS$$

より

$$\Delta\varphi = \Delta BS = B\Delta S$$

となることに注意する。また、磁束の方向とコイルの面が角θをなしているときは

$$\varphi = BS\cos\theta$$

となる。

１１　レンツの法則

誘導起電力による誘導電流は、その電流がつくる磁場が、外部磁場の変化を妨げる向きに流れる。右ねじの法則に従う。

第３問

問１

【方針】

　電界を求める問題であるので、+1[C]の点電荷にはたらくクーロン力を考えればよいことがわかる。位置 A にある電荷が位置 C につくる電界と、位置 B にある電荷が位置 C につくる電界をクーロンの法則より求める。題意より合成電界の y 成分が 0 になることに着目する。

〇解答

　位置 A にある電荷が位置 C につくる電界を考える。

その y 成分をE_{AC}とすると、クーロンの法則より、

$$E_{AC} = -k\frac{Q}{(2a)^2} = -\frac{kQ}{4a^2}[N/C]$$

となり、これと同様に、位置 B にある電荷が位置 C につくる電界の y 成分をE_{BC}とすると、

$$E_{BC} = k\frac{Q_1}{\left(\sqrt{2}\cdot 2a\right)^2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{kQ_1}{8\sqrt{2}a^2}[\mathrm{N/C}]$$

題意より、合成電界の y 成分が 0 になるので、

$$E_{AC} + E_{BC} = 0$$

$$-\frac{kQ}{4a^2} + \frac{kQ_1}{8\sqrt{2}a^2} = 0$$

よって、

$$Q_1 = 2\sqrt{2}Q[C]$$

となる。

問２

【方針】

　問 1 と同様に A,B にある電荷が D につくる電位を考える。電位は+1[C]の電荷がもつ位置エネルギーのことである。題意より合成した電位が 0 になることに着目する。

〇解答

　電位の問題であるが、これも問１と同様に A,B にある電荷が D につくる電位を考えると、それぞれをV_{AD}, V_{BD}として、

$$V_{AD} = k\frac{(-Q)}{\sqrt{5}a}[\mathrm{V/C}]$$

$$V_{BD} = k\frac{Q_1}{a}[\mathrm{V/C}]$$

となる。題意より合成された電位は 0 となるので、

$$V_{AD} + V_{BD} = 0$$

$$k\frac{(-Q)}{\sqrt{5}a} + k\frac{Q_1}{a} = 0$$

よって、

$$Q_1 = \frac{1}{\sqrt{5}}Q[C]$$

となる。

第 4 問

問 1

【方針】

起電力を求める問題であるので、それぞれの抵抗に流れる電流を仮定し、キルヒホッフの第 1 法則（電流保存則）と第 2 法則（回路方程式）の連立で解く。回路方程式は閉回路ごとに立てることができる。

〇解答

抵抗R_1, R_3に流れる電流をI_1, I_3、電源 E の起電力を E[V]として、電源E,抵抗 R_1, R_2を通る閉回路についてキルヒホッフの第 2 法則より

$$\mathrm{E} = 1.0 \times 10^3 i_1 + 2.0 \times 10^3(i_1 - 2.0 \times 10^{-3}) \quad (4-1)$$

同様に電源 E,抵抗R_3, R_4を通る閉回路についてのキルヒホッフの第 2 法則より

$$\mathrm{E} = 2.0 \times 10^3 i_3 + 1.0 \times 10^3(i_3 + 2.0 \times 10^{-3}) \quad (4-2)$$

さらに抵抗R_1, R_5,R_3を通る閉回路についてのキルヒホッフの第 2 法則より

$$0 = 1.0 \times 10^3 i_1 + 1.0 \times 10^3 \times 2.0 \times 10^{-3} - 2.0 \times 10^3 i_3 \quad (4-3)$$

上記の 3 式よりi_1,i_3を消去すると、

$$\mathrm{E} = 14[\mathrm{V}]$$

となる。

問 2

【方針】

　抵抗に流れる電流を求めるだけなので、問 1 で求めた E=14[V]を(4-1)に代入すればよい。

〇解答

　問 1 より、(4-1)に E=14[V]を代入すると、

$$14 = 1.0 \times 10^3 i_1 + 2.0 \times 10^3 (i_1 - 2.0 \times 10^{-3})$$
$$3.0 \times 10^3 i_1 = 18$$
$$i_1 = 6.0 \times 10^{-3} [\mathrm{A}]$$

よって

$$i_1 = 6.0[\mathrm{mA}]$$

となる。

第 5 問

【方針】

　設問より、回転数が 1 秒間あたり 5 回ということは 5[Hz]であるということを理解する。したがって、時刻 t において、円環の面に対する法線と磁界の方向とのなす角は$2\pi \times 5t$[rad]と表すことができる。磁束の方向とコイルの面が角θをなしているときは$\varphi = BS\cos\theta$となることを利用する。

〇解答

　時刻 t において、この円環を垂直に貫く磁束をφ(t)[Wb]とすると、

$$\varphi(\mathrm{t}) = B \cdot \pi a^2 \cdot \cos 10\pi t \,[\mathrm{Wb}] \quad (5-1)$$

ここで、微小な時間Δt[s]の間に、磁束がΔφ[Wb]だけ変化したとすると、

$$\varphi(\mathrm{t} + \Delta\mathrm{t}) = \varphi(\mathrm{t}) + \Delta\varphi$$

が成立する。

よって、(5-1)より

$$\begin{aligned}\varphi(t + \Delta t) &= \varphi(t) + \Delta\varphi \\ &= \pi B a^2 \cos 10\pi\,(t + \Delta t) \\ &= \pi B a^2 (\cos 10\pi t \cdot \cos 10\pi\Delta t - \sin 10\pi t \cdot \sin 10\pi\Delta t)\end{aligned}$$

ここで、Δtは微小な時間より、$\cos 10\pi\Delta t \fallingdotseq 1, \sin 10\pi\Delta t \fallingdotseq 10\pi\Delta\mathrm{t}$と近似するので、

$$\varphi(t) + \Delta\varphi = \pi Ba^2 \cos 10\pi t - \pi Ba^2 \cdot 10\pi\Delta t \cdot \sin 10\pi t \, (5-2)$$

(5-1)より

$\varphi(\mathrm{t}) = \pi Ba^2 \cos 10\pi t$を(5-2)に代入すると、

$$\pi Ba^2 \cos 10\pi t + \Delta\varphi = \pi Ba^2 \cos 10\pi t - \pi Ba^2 \cdot 10\pi\Delta t \cdot \sin 10\pi t$$

$$\Delta\varphi = -\pi Ba^2 \cdot 10\pi\Delta t \cdot \sin 10\pi t$$

$$\Delta\varphi = -10\pi^2 Ba^2 \sin 10\pi t \cdot \Delta t$$

ここでファラデーの電磁誘導の法則より、求める電圧を V[V]とすると、

$$\mathrm{V} = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = -\frac{-10\pi^2 Ba^2 \sin 10\pi t \cdot \Delta t}{\Delta t}$$

となり、

$$V = 10\pi^2 Ba^2 \sin 10\pi t \, [\mathrm{V}]$$

となる。

④気体

〇原則

１２　ボイル・シャルルの法則とアボガドロの法則

ボイルの法則

温度と質量が一定のとき、気体の圧力 P は体積 V に反比例する。

シャルルの法則

圧力と質量が一定のとき、気体の絶対温度 T は体積 V に比例する。

ボイル・シャルルの法則

ボイルの法則、シャルルの法則は 1 つにまとめることができる。

$$\frac{PV}{T} = 一定$$

アボガドロの法則

全ての気体は、同一温度、同一圧力の下で、同一体積に同じ数の分子が含まれる。それをアボガドロの法則という。

具体的には標準状態（0℃、1atm）で 22.4L 中に 1mol の気体分子が含まれる。

１３　理想気体の状態方程式

ボイル・シャルルの法則およびアボガドロの法則から、理想気体は、$PV=nRT$ の関係が成り立つ。ここで P[Pa]は気体の圧力、V[m^3]は気体が占める体積、n[mol]は気体の物質量、R[=8.31451 J/K/mol]は気体定数、T[K]は気体の熱力学温度である。

１４　熱力学第１法則

熱力学におけるエネルギー保存則を熱力学第一法則といい、$\Delta U=Q+W$ の関係がある。ここで、ΔU は気体の内部エネルギーの変化量、Q は気体が吸収した熱量、W は気体がした仕事である。また $W=P\Delta V$ で求めることができる。これは P-V グラフで囲まれた面積とも一致する。

１５　単原子分子の内部エネルギー

理想気体においては分子間力による位置エネルギーは 0 なので、内部エネルギーは分子の運動エネルギーのみとなる。よって n[mol]の単原子分子の内部エネルギーは

$$\mathrm{U}=\frac{3}{2}nRT[\mathrm{J}]$$

となる。

１６　熱効率

自動車のエンジンや発電所の蒸気タービンなど、熱を仕事に換える装置を熱機関という。熱機関では高温熱源から熱を受け取り、一部を仕事に変換、残りの熱を低温熱源に放出する。熱機関が受け取った熱量を Q_1[J]、低温熱源に放出した熱量をQ_2[J]とすると、熱機関が外部にした仕事 W [J]は、

$$W=Q_1-Q_2$$

となる。このとき、熱機関の効率を e として、

$$\mathrm{e}=\frac{W}{Q_1}=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}$$

とする。この e を熱効率とよぶ。

第６問

問１

【方針】

　P-V グラフに関する問題では各状態ごとに圧力、体積、温度のパラメータを全て整理しておく。状態 A の温度を求める問題なので、理想気体であることから原則１２より、状態方程式を立てることで容易に求めることができる。

〇**解答**

求める A の温度をT_Aとすると、理想気体の状態方程式より

$$1.0 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-2} = 1 \times 8.31 \times T_A$$

よって

$$T_A ≒ 240[\mathrm{K}]$$

となる。

問 2

【方針】

状態 C の温度を求める問題であるが、すでに問 1 よりT_Aを求めているので、状態 A と状態 C において原則１３よりボイル・シャルルの法則を使えばT_Aとの関係式からT_Cの値を求めることができる。

〇**解答**

求める C の温度をT_Cとすると、ボイル・シャルルの法則より、

$$\frac{1.0 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-2}}{T_A} = \frac{2.0 \times 10^5 \times 6.0 \times 10^{-2}}{T_C}$$

$$\frac{1}{T_A} = \frac{6}{T_C}$$

$$T_C = 6T_A = 1444.2 ≒ 1440[\mathrm{K}]$$

となる。

問 3

【方針】

P-V グラフについての問題は変化の種類をグラフから見極めることが重要となる。図 6 より D→A の変化は定圧変化で、体積が減少していることがわかる。P-V グラフが与えられているので、$W = p\Delta V$によって仕事を求めることができる。体積が減少しているので、気体がした仕事は負になることにも着目する。

〇**解答**

$W = p\Delta V$より、求める仕事をW_{DA}とすると、

$$W_{DA} = P_A \Delta V_{DA} = 1.0 \times 10^5 \times (2.0 \times 10^{-2} - 6.0 \times 10^{-2}) = -4.0 \times 10^3[\mathrm{J}]$$

となる。

問 4

【方針】

気体の内部エネルギーの増加量を求める問題で、単原子分子の理想気体なので、内部エネルギーは$\mathrm{U}=\frac{3}{2}nRT$であることを利用する。内部エネルギーは温度に比例するので、温度変化を求めて代入する。そして、状態方程式 $PV=nRT$ を利用し、置き換える。

〇解答

求める内部エネルギーの増加分をΔU_{AB}とすると、

$$\Delta U_{AB}=\frac{3}{2}\cdot 1\cdot R(T_B-T_A)=\frac{3}{2}(RT_B-RT_A)$$

ここで状態方程式$PV=nRT$より、

$$\frac{3}{2}(RT_B-RT_A)=\frac{3}{2}(P_BV_B-P_AV_A)$$

$$=\frac{3}{2}(2.0\times10^5\times2.0\times10^{-2}-1.0\times10^5\times2.0\times10^{-2})$$

$$=3.0\times10^3[\mathrm{J}]$$

となる。

問 5

【方針】

熱効率を求める問題であるので、原則１５より、1 サイクルにおいて、気体が外へした仕事と気体が吸収した熱量を求めればよい。A→B の変化に着目すると定積変化であることが分かり$W_{AB}=0$であることが分かる。同様に C→D の変化も定積変化のため、$W_{CD}=0$である。

〇解答

A→B は定積変化となっている。この間に気体が吸収した熱量をQ_{AB}とすると、
熱力学第 1 法則より

$$Q_{AB}=\Delta U_{AB}+W_{AB}$$

となる。ここで定積変化より$W_{AB}=0$となるので、

$$Q_{AB}=\Delta U_{AB}+0=3.0\times10^3[\mathrm{J}]$$

B→C は定圧変化となっている。この間に気体した仕事をW_{BC}とすると、

$$W_{BC}=P_B\Delta V_{BC}=2.0\times10^5\times(6.0\times10^{-2}-2.0\times10^{-2})=8.0\times10^3[\mathrm{J}]$$

内部エネルギーの変化をΔU_{BC}とすると

$$\Delta U_{BC} = \frac{3}{2}(RT_C - RT_B) = \frac{3}{2}(P_C V_C - P_B V_B)$$

$$= \frac{3}{2}(2.0 \times 10^5 \times 6.0 \times 10^{-2} - 2.0 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-2})$$

$$= 1.2 \times 10^4 [\mathrm{J}]$$

この間に気体が吸収した熱量をQ_{BC}とすると、
熱力学第 1 法則より

$$Q_{BC} = \Delta U_{BC} + W_{BC}$$
$$= 1.2 \times 10^4 + 8.0 \times 10^3$$
$$= 1.2 \times 10^4 + 0.8 \times 10^4$$
$$= 2.0 \times 10^4 [\mathrm{J}]$$

さらに、C→D、D→A の過程においては$\Delta U_{CD} < 0, \Delta U_{DA} < 0$となるので、気体は外部に熱を放出していることがわかる。
よって、求める熱効率 e は

$$\mathrm{e} = \frac{W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA}}{Q_{AB} + Q_{BC}} \times 100$$

$$= \frac{0 + 8.0 \times 10^3 + 0 - 4.0 \times 10^3}{3.0 \times 10^3 + 2.0 \times 10^4} \times 100$$

$$= \frac{4.0 \times 10^3}{2.3 \times 10^4} \times 100$$

$$= 17.3 \fallingdotseq 17[\%]$$

となる。

⑤波動

〇原則

１７　波の基本式

速さ v [m/s]と振動数 f[1/s]、波長λ [m]の関係は、v=$f\lambda$と表される。振動数とは 1 秒間に振動する回数を表すことから 1 回振動する時間を周期 T とすると、

$$\mathrm{f} = \frac{1}{T}$$

という関係式が導き出される。

１８　y-x グラフ
y-x グラフは時間を固定したある瞬間の波形のグラフだと考える。このグラフからは波の振幅、波長を読み取ることができる。

１９　y-t グラフ
y-t グラフは x を固定したある媒質の振動を表すグラフだと考える。このグラフからは波の振幅、周期を読み取ることができる。

２０　固定端反射と自由端反射
波の反射点において、媒質が固定している場合と自由に動く場合では反射波の波形が変化する。反射点で媒質が動かずに固定している場合の反射を固定端反射とよび、固定端反射では山は谷、谷は山と位相が逆になって反射する。一方、反射点で媒質が自由に動ける場合の反射を自由端反射とよび、山は山、谷は谷と位相が変わらず反射する。

２１　ホイヘンスの原理と重ね合わせの原理
ホイヘンスの原理
ある瞬間の波面の各点を波源として、そこから新たに波が生じる。この波を素元波とよび、この波の共通接線が次の瞬間の波面となる。

重ね合わせの原理
媒質のある点に 2 つ以上の波が同時に達したときに、その点の変位はそれぞれのその点における変位の和となる。

２２　光の干渉
光は波としての特徴をもつため、2 つ以上の光が重なると強め合ったり、弱め合ったりする。これを光の干渉という。

２３　回折格子による干渉
回折格子とはガラスに細い溝を平行に刻んだ器具で、溝が光を乱反射させて透過させないため溝と溝の間がスリットのようになって光の回折現象が起こる。多くのスリットで回折した光が干渉し、スクリーン上には縞模様が現れる。

第 7 問
問１
【方針】
　t=3.5[s]の波形を考える問題であるので、原則１８より y-x グラフを利用する。y-x グラ

フは時間を固定したグラフなので、グラフを少し進行方向にずらして考える。

〇解答

グラフより波は x 軸の負の向きに進行していることがわかる。
t=3.5[s]のとき、17.5[cm]進んでいるので、グラフを負の向きにずらすと⑦のグラフとなる。

問 2

【方針】

問 1 と同様に、グラフを進行方向にずらして考える。原則２０より固定端反射するので、反射波は位相が逆になることに注意する。

〇解答

t=16.0[s]のとき、入射波は x 軸の負の向きに 80.0[cm]進んでいる。これはちょうど波長である 20.0[cm]の 4 倍になるので、④のグラフが入射波となる。x=0 で固定端反射するので、反射波も④となる。

問 3

【方針】

t=16.0[s]のときの入射波と反射波を問 2 と同様に考えて、原則２１より重ね合わせの原理から 2 つの波を合成する。

〇解答

t=15.5[s]のときは、入射波は x 軸の負の向きの 77.5[cm]進む。よって波長の 3 倍と 17.5[cm]進むので、入射波は問 1 と同じ⑦となる。x=0 で固定端反射することから、反射波は⑩のような波形となり、その 2 つの合成波は⑤となる。

問 4

【方針】

問 3 と同様に入射波の波形と合成波の変位を求め、原則２１より重ね合わせの原理から合成して求める。

〇解答

t=9.5[s]のときは、入射波は x 軸の負の向きの 47.5[cm]進む。よって、入射波の波形のグラフは⑧のようにある。x=0 で固定端反射することから、反射波は⑨のような波形となる。

ここで図 7 の波形と比べると、入射波の位相は$-\frac{\sqrt{2}}{2}\pi[\mathrm{rad}]$ずれているため、x=15[cm]における媒質の変位は$y=-\frac{\sqrt{2}}{2}\times 6.0[\mathrm{cm}]$となる。

次に反射波を考えると、これも同様に$y=-\frac{\sqrt{2}}{2}\times 6.0[\mathrm{cm}]$となるので、重ね合わせの原理より、

合成波の変位は

$$y = -\frac{\sqrt{2}}{2} \times 6.0 + \left(-\frac{\sqrt{2}}{2} \times 6.0\right) = -6.0\sqrt{2} \fallingdotseq -8.46[\mathrm{cm}]$$

よって⑧が最も近い。

第８問

問１

【方針】

　回折格子による光の干渉の問題であるので、原則２３より、光路差と強め合いの関係式から波長を求める。1[mm]あたり n 本の溝があるとき、格子定数 d は

$$d = \frac{1 \times 10^{-3}}{n}[m]$$

となることを利用する。

〇解答

　1[mm]あたり 667 本の溝があることから、溝と溝の間隔である格子定数を d[mm]とすると、

$$d = \frac{1 \times 10^{-3}}{667}[m]$$

回折光と入射光のなす角をθとすると、$d\sin\theta$が経路差となって $d\sin\theta = m\lambda$より、

回折角$\theta = 20°$のところに１次の回折光だから$m = 1$より、

$$d\sin 20° = 1 \cdot \lambda \qquad (8-1)$$

$$\lambda = \frac{1 \times 10^{-3}}{667} \cdot \sin 20°$$

三角関数表から$\sin 20° = 0.3420$となるので、

$$\lambda = \frac{1 \times 10^{-3}}{667} \cdot 0.3420 = 5.127 \times 10\ d^{-7} \fallingdotseq 513[\mathrm{nm}]$$

問２

【方針】

　２次光があらわれる角度をθとすると、

$d\sin\theta$が経路差で $d\sin\theta = m\lambda$より、２次光であることから m=2 となることに着目する。

〇解答

経路差で $d\sin\theta = m\lambda$より m=2 となるので、

$$d\sin\theta = 2 \cdot \lambda \qquad (8-2)$$

(8-1)、(8-2)より

$$\sin\theta = 2\sin 20° = 2 \times 0.3420 = 0.6840$$

三角関数表より

$$\sin 43° = 0.6820$$

がもっとも近いので$\theta = 43°$となり、答えは⑤となる。

⑧原子

〇原則

２４　光電効果

金属の表面に光を照射すると、金属表面から電子が飛び出す。この現象を光電効果といい、このとき飛び出す原子を光電子という。このとき、光電子が飛び出す場合と飛び出さない場合の境界となる振動数を限界振動数ν_0、このときの波長を限界波長λ_0という。飛び出す光電子の最大運動エネルギーは照射する光の振動数によってのみ決まり、照射する光を強くすると、光電子の数が増加する。

２５　光量子説

光は光電効果では、粒子としてふるまう。この粒子のことを光子（光量子）という。光子のエネルギーE と運動量 P はプランク定数 h、光の振動数ν、光の速さ c、光の波長 λ とすると、

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$P = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

と表すことができる。

アインシュタインの光電方程式は電子が金属表面に出るのに必要な最初のエネルギーである仕事関数 W、光電子の最大運動エネルギーを$\frac{1}{2}mv_{max}^2$とすると、

$$1 \cdot \mathrm{h\nu} = \mathrm{W} + 1 \cdot \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

となる。これは、光電効果におけるエネルギー保存則と考える。1 を記載しているのはそれぞれ左辺が光子 1 個、右辺が光電子 1 個という意味である。

〇解答の方針

第 9 問

問 1

【方針】

光子のエネルギーを求める問題なので、原則２５より$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$を利用する。

〇解答

光子のエネルギーを E[J]とすると、

$$\mathrm{E} = \mathrm{h}\frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-3} \times \frac{3.00 \times 10^{8}}{5.0 \times 10^{-7}} ≒ 3.98 \times 10^{-19}[\mathrm{J}]$$

となる。ここで 1eV は電子 1 個が 1V の電圧をかけたときに電場がする仕事に等しいので、

$$1[\mathrm{eV}] = 1.60 \times 10^{-19}[\mathrm{C}] \times 1[\mathrm{V}] = 1.60 \times 10^{-19}[\mathrm{J}]$$

したがって、求める光子のエネルギーは

$$E = \frac{3.98 \times 10^{-19}}{1.60 \times 10^{-19}} = 2.48 ≒ 2.5[\mathrm{eV}]$$

となる。

問 2

【方針】

限界振動数が$4.0 \times 10^{14}[\mathrm{Hz}]$であるので、この振動数の光を当てたときに飛び出す光電子の最大エネルギーは 0 となることに着目する。原則２５の光電方程式を利用し、問 1 で求めた値を代入することで求める。求める仕事関数の単位が[J]ではなく、[eV]であることに注意する。

〇解答

この金属から光電子を出すために必要な最低エネルギーである仕事関数を W[J]とすると光電方程式より、

$$1 \cdot \mathrm{h\nu} = \mathrm{W} + 1 \cdot \frac{1}{2}mv_{max}^{2}$$

となる。ここで限界振動数が$4.0 \times 10^{14}[\mathrm{Hz}]$であることから、そのときの光電子の最大エネルギーは 0 であり、物理定数表からプランク定数$\mathrm{h} = 6.63 \times 10^{-34}[\mathrm{J \cdot s}]$より

$$\mathrm{W} = 6.63 \times 10^{-34} \times 4.0 \times 10^{14}[\mathrm{J}]$$

となる。ここで問 1 と同様に、1eV は電子 1 個が 1V の電圧をかけたときに電場がする仕事に等しいので、

$$1[\mathrm{eV}] = 1.60 \times 10^{-19}[\mathrm{C}] \times 1[\mathrm{V}] = 1.60 \times 10^{-19}[\mathrm{J}]$$

したがって、求める仕事関数 W[eV]は

$$W = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 4.0 \times 10^{14}}{1.60 \times 10^{-19}} = 1.65[\mathrm{eV}]$$

となる。

エネルギー保存則より、照射した光のエネルギーから仕事関数を引いた分のエネルギーが飛び出す光電子のエネルギーの最大値となるので、問 1 の結果も用いると、求めるエネルギーE_e[eV]は

$$h\nu - W = E_e$$

となる。
したがって、

$$E_e = 2.48 - 1.65 = 0.83[\mathrm{eV}]$$

となる。