九州大学理学部物理学科（物理学コース）
令和６年度 第３年次編入試験
物理学

令和５年９月９日（土）　９：００ – １２：００

注意事項

(1) 試験開始の合図があるまでこの冊子を開かないこと。

(2) 問題冊子のページは１～１３で, 問題は [**I**] から [**IV**] まである。

(3) 全ての解答用紙に, 受験番号を記入すること。

(4) 解答は指定された解答用紙に記入すること。特に指定のない場合には，裏面を使って解答してよい。下書きには，問題冊子の余白や裏面などを利用し，解答用紙の余白には下書きをしないこと。

(5) 解答用紙に書ききれない場合や，用紙を取り替えたい場合は，試験監督に申し出ること。

(6) 問題冊子は持ち帰ってよい。

物理学

[I] (80 点)

[I-1]

　図 I-1 のように，固定した半球 B (半径 b) の上を転がる球 A (半径 a) の運動について考える。球 A の密度は一様で，質量は M とする。点 O を通る鉛直上向きの半直線から時計まわりに角度 θ を定義する。半球 B 表面の $\theta = \theta_0\,(> 0)$ の位置に球 A を置いて静かに手を放すと，球 A は半球 B の上を滑らずに転がった。球 A の中心 C の運動は，全て点 O を通る同一の鉛直面内にあるものとする。また，この面内での球 A の回転については，球の中心軸まわりの角速度を，時計まわりを正として ω と定義する。重力加速度は鉛直下向きで大きさは g として，以下の問いに答えよ。ただし，解答では，球 A の中心軸まわりの慣性モーメントが $(2/5)Ma^2$ となることを用いて良い。

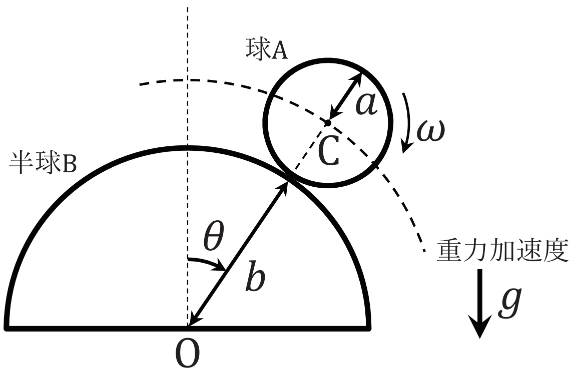

図 I-1

問 1. 半球 B と球 A の接触点で，球 A が半球 B から受ける垂直抗力を $\boldsymbol{R}$ (大きさ R)，摩擦力を $\boldsymbol{F}$ (大きさ F) とし，球 A にはたらく力を解答用紙の図にすべて書き込め。なお，球 A が受ける摩擦力は半球 B との接点に作用し，球 A は $\omega > 0$ の向きにまわりながら転がり落ちることに注意せよ。

問 2. 半球 B 上を転がる球 A の運動について，半球の球面に沿った角度方向と, 点 O と点 C を結ぶ動径方向の運動方程式を, それぞれ θ およびその時間微分を用いて書き下せ。

問 3. 点 C を通る中心軸周りの球 A の回転について, 運動方程式を書き下せ。

問 4. $\ddot{\theta}$ を用いて, 摩擦力の大きさ F を表せ。なお，球 A が滑らずに転がるとき, $(a+b)\dot{\theta} = a\omega$ が成り立つことを用いてよい。

問 5. 前問で得られた F と $\ddot{\theta}$ の関係を**問 2** で得られた運動方程式に代入し, 両辺に $\dot{\theta}$ をかけて積分することで,

$$\dot{\theta}^2 = \frac{10}{7} \cdot \frac{g}{a+b}(\cos\theta_0 - \cos\theta)$$

となることを示せ。

問 6. 球 A が半球 B から離れるときの角度 θ を求めよ。ただし，解答には θ_0 を用いること。

— 計算用余白ページ —

[I-2]

地球の自転と物体の運動について考える。地球の公転運動を無視すると，地球の中心を原点 O とする慣性系を定義できる。地球の半径を a，天頂角を θ，方位角を ϕ とすると，慣性系において地球表面に固定された位置 $\boldsymbol{r}_0$ は $\boldsymbol{r}_0 = a\big(\sin\theta\cos\phi, \sin\theta\sin\phi, \cos\theta\big)$ と表せる。ここで，位置 $\boldsymbol{r}_0$ における地球表面上に固定された単位ベクトル $\boldsymbol{e}_X, \boldsymbol{e}_Y, \boldsymbol{e}_Z$ を，

$$\begin{aligned}\boldsymbol{e}_X &= \big(\cos\theta\cos\phi, \cos\theta\sin\phi, -\sin\theta\big)\\ \boldsymbol{e}_Y &= \big(-\sin\phi, \cos\phi, 0\big)\\ \boldsymbol{e}_Z &= \big(\sin\theta\cos\phi, \sin\theta\sin\phi, \cos\theta\big)\end{aligned}$$

で定める。地球は一定の大きさの角速度 Ω で自転しており，その回転軸を角速度ベクトル $\boldsymbol{\Omega} = \big(0, 0, \Omega\big)$ とする。このとき，時刻 t における天頂角 θ と方位角 ϕ は，それぞれ $\theta =$ 一定, $\phi = \Omega t$ となる。以下の問いに答えよ。

問 1. 慣性系から見ると地表に固定された単位ベクトル $\boldsymbol{e}_X, \boldsymbol{e}_Y, \boldsymbol{e}_Z$ は動いており，

$$\frac{d\boldsymbol{e}_J}{dt} = \boldsymbol{\Omega} \times \boldsymbol{e}_J \qquad (J = X, Y, Z)$$

を満たす。$\boldsymbol{e}_X$ に対してこの式が成り立つことを示せ。

問 2. 時間に依存する任意のベクトル $\boldsymbol{A}(t) = A_X(t)\boldsymbol{e}_X + A_Y(t)\boldsymbol{e}_Y + A_Z(t)\boldsymbol{e}_Z$ に対して，次式が成り立つことを示せ。

$$\frac{d\boldsymbol{A}(t)}{dt} = \left(\frac{d\boldsymbol{A}(t)}{dt}\right)_\Omega + \boldsymbol{\Omega} \times \boldsymbol{A}(t)$$

ただし，$\left(\frac{d\boldsymbol{A}(t)}{dt}\right)_\Omega = \dot{A}_X(t)\boldsymbol{e}_X + \dot{A}_Y(t)\boldsymbol{e}_Y + \dot{A}_Z(t)\boldsymbol{e}_Z$ および $\dot{A}_J = \frac{dA_J}{dt}$ $(J = X, Y, Z)$ とする。

前問の結果から，

$$\frac{d^2\boldsymbol{A}(t)}{dt^2} = \left(\frac{d^2\boldsymbol{A}(t)}{dt^2}\right)_\Omega + 2\boldsymbol{\Omega} \times \left(\frac{d\boldsymbol{A}(t)}{dt}\right)_\Omega + \boldsymbol{\Omega} \times \Big(\boldsymbol{\Omega} \times \boldsymbol{A}(t)\Big)$$

が導かれる。ただし，$\left(\frac{d^2\boldsymbol{A}(t)}{dt^2}\right)_\Omega = \ddot{A}_X(t)\boldsymbol{e}_X + \ddot{A}_Y(t)\boldsymbol{e}_Y + \ddot{A}_Z(t)\boldsymbol{e}_Z$ および $\ddot{A}_J = \frac{d^2A_J}{dt^2}$ $(J = X, Y, Z)$ とした。

次に，質量 m の鉄球の地球表面近傍での運動を考える。地球の中心を原点 O とする慣性系での鉄球の位置を $\boldsymbol{r}(t)$ とすると，地球表面に固定された位置 $\boldsymbol{r}_0$ を原点 O$'$ とする座標系での鉄球の位置は $\boldsymbol{R}(t) = \boldsymbol{r}(t) - \boldsymbol{r}_0$ となる。以下の問いに答えよ。

問 3. 慣性系で物体にはたらく力を $\boldsymbol{f}$ とする。慣性系における運動方程式 $m\dfrac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2} = \boldsymbol{f}$ を，位置 $\boldsymbol{r}_0$ からみた物体の位置ベクトル $\boldsymbol{R}(t)$ を用いて書き換えると，

$$m\left(\frac{d^2\boldsymbol{R}(t)}{dt^2}\right)_\Omega = \boldsymbol{f} - 2m\boldsymbol{\Omega}\times\left(\frac{d\boldsymbol{R}(t)}{dt}\right)_\Omega - m\boldsymbol{\Omega}\times\Big(\boldsymbol{\Omega}\times\boldsymbol{r}_0\Big) \tag{1}$$

のようになる。ただし最後の項は，物体は位置 $\boldsymbol{r}_0$ の近傍を運動するとして $|\boldsymbol{R}| \ll a$ が成り立つと近似した。(1) 式が成り立つことを示せ。なお，$\left(\dfrac{d\boldsymbol{r}_0}{dt}\right)_\Omega = 0$ であることに注意せよ。

地球表面上の位置 $\boldsymbol{r}_0$ から鉛直方向（$\boldsymbol{e}_Z$ 方向）に立つ塔があり，塔の頂点までの高さを h とする。ここで，塔の頂点から質量 m の鉄球を初速度 0 で落下させた。$\Omega = 0$ のときの重力加速度の大きさを g_0 とし，空気抵抗の影響は無視できるとする。以下の問いに答えよ。

問 4. 塔の地表の位置 $\boldsymbol{r}_0$ を原点 O′ とする座標系をとり，鉄球の位置を $\boldsymbol{R}(t) = X(t)\boldsymbol{e}_X + Y(t)\boldsymbol{e}_Y + Z(t)\boldsymbol{e}_Z$ とする。角速度ベクトルが $\boldsymbol{\Omega} = -\Omega\sin\theta\boldsymbol{e}_X + \Omega\cos\theta\boldsymbol{e}_Z$ と書けることに注意して，鉄球に対する運動方程式の $\boldsymbol{e}_X$ 方向成分，$\boldsymbol{e}_Y$ 方向成分，$\boldsymbol{e}_Z$ 方向成分を求めると，それぞれ，

$$m\ddot{X} = m\Omega\Big(\boxed{\text{ア}}\,\dot{Y} + a\Omega\cos\theta\sin\theta\Big) \tag{2}$$

$$m\ddot{Y} = -m\Omega\Big(\boxed{\text{イ}}\,\dot{Z} + \boxed{\text{ウ}}\,\dot{X}\Big) \tag{3}$$

$$m\ddot{Z} = -mg_0 + m\Omega\Big(\boxed{\text{エ}}\,\dot{Y} + a\Omega\sin^2\theta\Big) \tag{4}$$

となる。$\boxed{\text{ア}}$, $\boxed{\text{イ}}$, $\boxed{\text{ウ}}$, $\boxed{\text{エ}}$ に入る適当な数式または数値を答えよ。

問 5. 前問で求めた運動方程式 (2), (3), (4) 式を用いて赤道上（$\theta = \pi/2$）での運動を考える。a や Ω の具体的な値を考慮すると，前問で求めた運動方程式は，

$$m\ddot{X} = 0 \tag{5}$$

$$m\ddot{Y} = -2m\Omega\,\dot{Z} \tag{6}$$

$$m\ddot{Z} = -mg_0 \tag{7}$$

と近似できる。鉄球が落下する位置を $X_0\boldsymbol{e}_X + Y_0\boldsymbol{e}_Y + 0\boldsymbol{e}_Z$ としたときの X_0 と Y_0 を g_0, h, Ω の中から必要なものを用いて表せ。

[II] (80点)

[II-1]

半径 R の厚みの無視できる球殻上に電荷が面密度 $\sigma\,(>0)$ で一様に分布している。球殻の内側と外側は真空であるとして，以下の問いに答えよ。ただし，真空の誘電率を ε_0，真空の透磁率を μ_0 とする。

問 1. 球殻の中心を原点とする位置ベクトルを $\boldsymbol{r}$ とする。球殻の内側と外側における静電場 $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r})$ をそれぞれ求めよ。

問 2. 静電ポテンシャル ϕ を距離 $r\,(=|\boldsymbol{r}|)$ の関数 $\phi(r)$ とする。球殻表面 $r=R$ における静電ポテンシャル $\phi(R)$ を求めよ。また，$\phi(r)$ の概形をかけ。ただし，静電ポテンシャルは無限遠でゼロになるように定める。

この球殻が中心軸のまわりに一定の角速度 ω で回転しているとする。このとき，電荷は球殻上で固定されている。この回転している球殻の中心における磁束密度 $\boldsymbol{B}$ を以下の手順で求めよ。ただし，電流を I としたとき，電流素片ベクトル $Id\boldsymbol{\ell}$ がベクトル $\boldsymbol{r}$ だけ離れた点に作る微小磁束密度 $d\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r})$ はビオ・サヴァールの法則により，

$$d\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\boldsymbol{\ell}\times\boldsymbol{r}}{r^3}$$

で与えられることを用いてよい。ここで，$r=|\boldsymbol{r}|$ である。

問 3. 図 II-1 の左図のように円の中心軸を z 軸とし，z 軸上に任意の点 P を定める。点 P と円環上の任意の点との距離は r である。半径 a の円電流 I が，点 P に作る磁束密度の z 成分 B_z を求めよ。

問 4. 図 II-1 の右図の球殻上の θ から $\theta+d\theta$ の帯の部分に含まれる電荷 Q を求めよ。ここで $d\theta$ は微小な角度を表す。

問 5. この帯が回転することにより生じる円電流の大きさ I を求めよ。

問 6. 前問の円電流によって球殻の中心につくられる微小磁束密度を求めよ。

問 7. 回転している球殻の中心における磁束密度を求めよ。

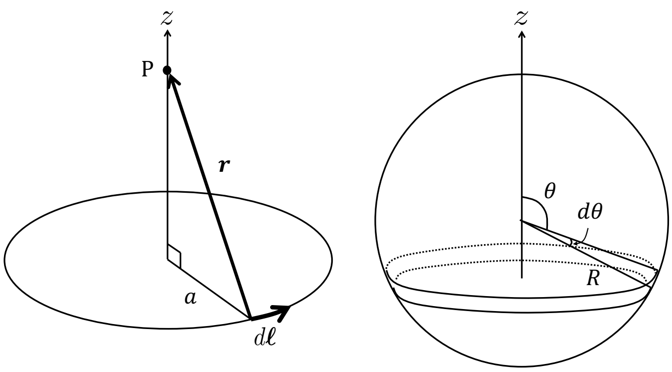

図 II-1

— 計算用余白ページ —

[II-2]

はじめに，真空中に位置と時間 t に依存する電荷密度 ρ，電流密度 $\boldsymbol{j}$ があるときを考える。真空の誘電率を ε_0，透磁率を μ_0 として，以下の問いに答えよ。必要ならば，任意のベクトル場 $\boldsymbol{a}$ に対して，

$$\boldsymbol{\nabla}\cdot(\boldsymbol{\nabla}\times\boldsymbol{a})=0$$

が成り立つことを用いてよい。

問 1. 電場を $\boldsymbol{E}$，磁場を $\boldsymbol{H}$ とする。微分形のマクスウェル方程式のうち，ガウスの法則およびアンペール・マクスウェルの法則の式を演算子 $\boldsymbol{\nabla}$ を用いてそれぞれ書き下せ。

問 2. 電荷密度 ρ と電流密度 $\boldsymbol{j}$ が次の方程式を満たすことを示せ。

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\boldsymbol{\nabla}\cdot\boldsymbol{j}=0$$

また，この方程式の物理的意味を述べよ。

次に，真空中に置かれた断面が半径 a の円で無限に長い一様な円柱状導体を考える。円筒座標系 (r,θ,z) をとり，円柱状導体の中心軸は z 軸に等しいものとする。

以下で必要な場合は，次の表式を用いてよい。ここで，$\boldsymbol{e}_r$，$\boldsymbol{e}_\theta$，$\boldsymbol{e}_z$ はそれぞれ r，θ，z 方向の互いに直交する単位ベクトルであり，f はスカラー場，$\boldsymbol{a}$ はベクトル場である。また，a_r，a_θ，a_z はそれぞれ，$\boldsymbol{a}$ の $\boldsymbol{e}_r$，$\boldsymbol{e}_\theta$，$\boldsymbol{e}_z$ 方向の成分である。

$$\boldsymbol{a}=a_r\boldsymbol{e}_r+a_\theta\boldsymbol{e}_\theta+a_z\boldsymbol{e}_z=(a_r,a_\theta,a_z),\ \ \boldsymbol{e}_r\times\boldsymbol{e}_\theta=\boldsymbol{e}_z,\ \ \boldsymbol{e}_\theta\times\boldsymbol{e}_z=\boldsymbol{e}_r,\ \ \boldsymbol{e}_z\times\boldsymbol{e}_r=\boldsymbol{e}_\theta,$$

$$\boldsymbol{\nabla}f=\frac{\partial f}{\partial r}\boldsymbol{e}_r+\frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial\theta}\boldsymbol{e}_\theta+\frac{\partial f}{\partial z}\boldsymbol{e}_z,\ \ \boldsymbol{\nabla}\cdot\boldsymbol{a}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(ra_r)+\frac{1}{r}\frac{\partial a_\theta}{\partial\theta}+\frac{\partial a_z}{\partial z}$$

問 3. 導体内を定常電流が流れているとし，導体内では，

$$\boldsymbol{j}=\sigma\boldsymbol{E}$$

が成り立つとする。ここで σ は導体内で一定な定数である。$\boldsymbol{E}$ はスカラーポテンシャル φ から $\boldsymbol{E}=-\boldsymbol{\nabla}\varphi$ と導くことができる。定常電流を考えていることに注意して，導体内の $\Delta\varphi\,(=\boldsymbol{\nabla}\cdot\boldsymbol{\nabla}\varphi)$ を求めよ。

問 4. z 軸について回転対称であるので，変数を分離して φ を，

$$\varphi(r,\theta,z)=R(r)Z(z)$$

とおくと，前問の結果から，

$$\boxed{\textbf{ア}\ (r\text{ と }R\text{ のみの式})}=\boxed{\textbf{イ}\ (z\text{ と }Z\text{ のみの式})}=\boxed{\textbf{ウ}\ (\text{定数})}$$

を得る。**ア**および**イ**に入る式を答えよ。また，**ウ**に入る定数の値を，理由と共に答えよ。

問 5. 前問の結果から，α，β，γ, δ を任意定数として，

$$R = \alpha + \beta \times \boxed{\quad\textbf{エ}\quad}, \quad Z = \gamma + \delta \times \boxed{\quad\textbf{オ}\quad}$$

を得る。**エ**および**オ**に入る式を答えよ。

問 6. 電流は導体内に束縛されているから，$r = a$ で $\boldsymbol{j} \cdot \boldsymbol{e}_r = 0$ である。このことに注意して，β の値を求めよ。

問 7. 導体内の $\boldsymbol{E}$ を求めよ。解答には α，γ，δ を用いてよい。

[III] (40 点)

図 III-1 のように質量 m の粒子 1 と質量 M の粒子 2 が, 自然長 a, ばね定数 k のばねで交互につながった 1 次元連成振動子を考える。ばねの質量と粒子の大きさは無視できるとする。図 III-1 の右向きの方向を正とし，以下の問いに答えよ。ただし，$M > m$ とし, 連成振動子は無限に続いているとする。

問 1. n 番目の粒子 1 に対するつり合いの位置からの変位を $x_{1,n}$，n 番目の粒子 2 に対するつり合いの位置からの変位を $x_{2,n}$ などと表すことにする。このとき，n 番目の粒子 1 が左から受ける力は $-k\left(x_{1,n} - x_{2,n-1}\right)$ と書ける。n 番目の粒子 1 および n 番目の粒子 2 に対する運動方程式をそれぞれ書き下せ。

問 2. 運動方程式の解として,

$$
\begin{aligned}
x_{1,n} &= A_1 \exp(-i\omega t + 2iqna) \\
x_{2,n} &= A_2 \exp(-i\omega t + 2iqna)
\end{aligned}
$$

を代入し，$A_1 = A_2 = 0$ とならないための条件式を求めよ。ここで，ω は角振動数，q は $-\dfrac{\pi}{2a} \leqq q \leqq \dfrac{\pi}{2a}$ を満たす実数の定数である。

問 3. 前問の結果をもとに ω^2 の 2 つの解を求めよ。

問 4. $|qa| \ll 1$ として，ω^2 の 2 つの近似解を, 以下の (**ア**)~(**ク**) の中から選べ。

(**ア**) $k\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right)$　(**イ**) $\frac{4k}{m+M}qa$　(**ウ**) $k\left(\frac{1}{m} - \frac{1}{M}\right)$　(**エ**) $\frac{2k}{m+M}qa$

(**オ**) $2k\left(\frac{1}{m} - \frac{1}{M}\right)$　(**カ**) $\frac{2k}{m+M}q^2a^2$　(**キ**) $2k\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right)$　(**ク**) $\frac{4k}{m+M}q^2a^2$

問 5. **問 3** の結果より ω は q の関数として表される。縦軸に ω, 横軸に q をとり, その概形を図示せよ。

問 6. **問 4** で求めた ω^2 のそれぞれの近似解に対して，A_1/A_2 を求めよ。

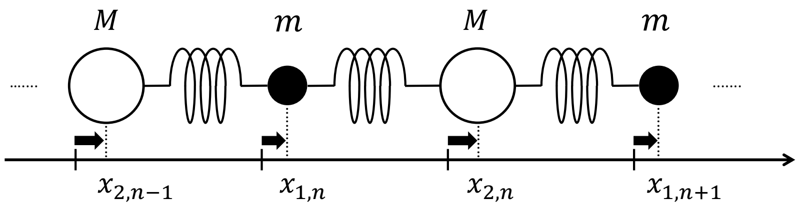

図 III-1

— 計算用余白ページ —

[IV] (40 点)

1 モルの気体がピストンのついた容器に閉じ込められている。気体の温度 T は容器に接触する熱源の温度を調節することで変えることができ，容器の体積 V はピストンを動かすことで変化させることができる。準静的過程では，熱力学の第 1 法則と第 2 法則から，気体に対して，

$$dU(T,V) = -p(T,V)dV + TdS(T,V)$$

が成り立つ。ここで $p = p(T,V)$ は気体の状態方程式から決まる圧力で，T と V の関数である。U は気体の内部エネルギー，S はエントロピーである。以下の問いに答えよ。

問 1. U および S がともに T と V の関数として与えられるとして，次式が成り立つことを示せ。

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V &= T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V \\ \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T &= T\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T - p(T,V)\end{aligned}$$

問 2. 前問の結果を用いて次式が成り立つことを示せ。

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$$

以下では 1 モルの気体が，

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V-b) = RT$$

で表されるファンデルワールスの状態方程式に従うと考える。ただし，a と b は正の定数，R は気体定数である。

問 3. **問 1** と**問 2** の結果を用いて準静的過程で内部エネルギーの微小変化 dU とエントロピーの微小変化 dS がそれぞれ，

$$\begin{aligned}dU(T,V) &= C_V dT + \frac{a}{V^2}dV \\ dS(T,V) &= \frac{C_V}{T}dT + \frac{R}{V-b}dV\end{aligned}$$

で与えられることを示せ。ただし，C_V は定積モル比熱である。

問 4. ファンデルワールスの状態方程式に従う気体を温度 T_0 の熱源に接した容器に入れ，(T_0, V_A) の状態から，温度を一定に保ったまま (T_0, V_B) の状態に準静的に変化させる。ただし $V_A < V_B$ とする。定積モル比熱 C_V が一定であるとして，気体が吸収する熱量 ΔQ_0 を求め，R, T_0, V_A, V_B, a, b の中から必要なものを用いて表せ。計算過程も示すこと。

問 5. 次に，前問の状態 (T_0, V_B) から (T_1, V_C) の状態に準静的に断熱変化させた。ここでも定積モル比熱は一定とみなせるものとする。この過程では温度 T と体積 V はともに連続的に変化するが，

$$T\big(V-b\big)^{R/C_V}=\text{一定}$$

であることを示せ。

問 6. ファンデルワールスの状態方程式に従う気体が温度 T_0，体積 V_A の容器に入っている。次の 4 つの過程を経て，元の状態 (T_0, V_A) に戻るサイクルを考える。

(i) 等温過程：$(T_0, V_A) \longrightarrow (T_0, V_B)$
(ii) 断熱過程：$(T_0, V_B) \longrightarrow (T_1, V_C)$
(iii) 等温過程：$(T_1, V_C) \longrightarrow (T_1, V_D)$
(iv) 断熱過程：$(T_1, V_D) \longrightarrow (T_0, V_A)$

ただし，$T_0 > T_1$，$V_C > V_D$ とする。このサイクルを通して気体がした仕事 ΔW と過程 (i) で気体が吸収した熱量 ΔQ_0 に対する比，$\eta = \dfrac{\Delta W}{\Delta Q_0}$ を効率として定義する。このサイクルの効率 η を求め，T_0, T_1, a, b, R, C_V の中から必要なものを用いて表せ。計算過程も示すこと。ただし，

$$\frac{V_B-b}{V_A-b}=\frac{V_C-b}{V_D-b}$$

が成り立つことを用いてよい。

九州大学理学部物理学科（物理学コース）
令和６年度 第３年次編入試験
英語

令和５年９月９日（土）　１２：１５－１３：００

注意事項

(1) 辞書は使用できない。

(2) 試験開始の合図があるまでこの冊子を開かないこと。

(3) 問題冊子のページは１～３である。

(4) 解答用紙には，受験番号を記入すること。

(5) 解答は指定された解答用紙に記入すること。特に指定のない場合には，裏面を使って解答してよい。下書きには，問題冊子の余白や裏面などを利用し，解答用紙の余白には下書きをしないこと。

(6) 解答用紙に書ききれない場合や，用紙を取り替えたい場合は，試験監督に申し出ること。

(7) 問題冊子は持ち帰ってよい。

英語

[英語] (60 点)

次の英文を読み，下の問いに答えよ。

[redacted]. (1) [redacted]. [redacted]

[redacted]

[redacted]. (2) [redacted]. (4) [redacted] (5) [redacted]

[redacted]. (3) [redacted]

（出典：「Consider a Spherical Cow」 John Harte 著）

問 1. 下線を引いた (1)，(2)，(3) の英文を和訳せよ。

問 2. 二重下線 (4) の文について，油の薄い層がなぜ「monomolecular layers（単分子層）」と呼ばれているか説明せよ。

問 3. 本文中で，油の薄い層の厚さをおよそいくらと見積もったか答えよ。また，二重下線 (5) の文について，油の薄い層がなぜそれ以上薄くなれないかを説明せよ。

問 4. 「大気圧の下で，温度が摂氏 3 度から摂氏 40 度に変化すると，水の体積は約 4.0% 増加します。」という文を英訳せよ。

問 5. Estimate the average distance, l, between H_2O molecules in liquid water. Answer with an integer value in angstroms, along with the calculation process. You may use the following three pieces of information: (a) liquid water has a density of $1\,\mathrm{g/cm^3}$ under atmospheric pressure, (b) every 18 g of water contains Avogadro's number (6.02×10^{23}) of H_2O molecules, and (c) the volume occupied by a single H_2O molecule can be considered as l^3.

Benjamin Franklin: 1706 年生まれのアメリカ合衆国の政治家，外交官，物理学者，気象学者。
cube（動詞）: 3 乗する
angstrom: オングストローム（長さの非 SI 単位）
monomolecular layer: 単分子層
pragmatic: 実用的な，実利を重んじる
大気圧: atmospheric pressure
摂氏 3 度: three degrees Celsius
integer: 整数