名古屋工業大学

２０２４年度（令和６年度）

編入学者・転入学者選抜学力検査

専門試験問題冊子

物理工学科

２０２２年6月２３日（金）１０：００～１２：００

注意事項

・４題中２題を選択し解答してください。
・解答は各問題番号に対応する解答用紙に解答してください。
・解答用紙はホチキス止めを外して，選択した２題を提出してください。
・試験終了後，問題用紙と計算用紙は持ち帰ってください。
・乱丁・落丁あるいは不鮮明な場合は申し出てください。

２０２４年度（令和６年度）　編入学者・転入学者選抜学力検査［問題］

ー 専 門 試 験 ー

（物理工学科）

問題１　設問すべてについて解答すること。

Ⅰ　**次の文章を読み，(1)～(6)の問いについて答えよ。**

Cu を(i) $\boxed{}$ ，Zn を(ii) $\boxed{}$ として，硫酸銅(II)水溶液と硫酸亜鉛水溶液中にそれぞれ浸漬させ，導線でつないで回路を形成すると，化学電池の電池反応により起電力が得られる。この電池では，2 つの水溶液が混ざりあうのを抑制するため，素焼き板を用いる。

(1) この化学電池の名称を答えよ。

(2) 文章中の(i)および(ii)の $\boxed{}$ の中に入る適切な語句を以下の(i)および(ii)の a および b から選び，アルファベットで答えよ。

(i) a: 負極，b: 正極

(ii) a: 負極，b: 正極

(3) (i)および(ii)の電極における反応式を答えよ。

(4) この化学電池の負極活物質および正極活物質を答えよ。

(5) この化学電池の電池式を答えよ。

(6) この化学電池から見積もられる起電力は 1.04 V であった。このときの反応ギブズエネルギーを有効数字 3 桁で算出せよ。ただし，ファラデー定数は 96500 C mol^{-1} とせよ。

Ⅱ　次の文章を読み，(1)～(3)の問いについて答えよ。

金属の腐食では，金属は溶液中に金属イオンとして溶解する。この溶解反応における酸化剤は，(a) 酸性環境では水素イオン，中性・アルカリ性環境では酸素となる。金属の腐食は金属の酸化反応と水溶液中に存在する酸化剤の還元反応の組み合わせにより進行するとともに，溶液の(b) pH や溶液中の(c) 溶存酸素濃度に影響を受ける。

(1) 文章中の(a)＿＿＿＿について，水素イオンと酸素の還元反応式を答えよ。

(2) 文章中の(b)＿＿＿＿について，0.01 mol L^{-1} の塩酸水溶液および 0.01 mol L^{-1} の水酸化カリウム水溶液の pH を求めよ。

(3) 文章中の(c)＿＿＿＿について，水溶液中の溶存酸素濃度が 8 ppm であった。この値を mol L^{-1} に換算して有効数字 2 桁で答えよ。ただし，水溶液の密度は水と同等であるとし，酸素の原子量を 16 とせよ。

Ⅲ　次の文章を読み，(1)および(2)の問いについて答えよ。

ステンレス鋼は表面に形成される不動態被膜により金属表面から環境が遮断されるため，優れた耐食性を発揮する。不動態被膜は(i) $\boxed{}$ を主成分とする(ii) 数$\boxed{}$ の厚さの(iii) $\boxed{}$ である。ステンレス鋼は(iv) $\boxed{}$ の含有量が多いほど不動態化しやすく，高い耐食性を示す。アルミニウム合金も表面に形成される不動態被膜により高い耐食性を示すが，両性金属のため使用環境における pH を考慮する必要がある。

(1) 文章中の(i)～(iv)の$\boxed{}$ の中に入る適切な語句を以下の(i)～(iv)の a～c から選び，アルファベットで答えよ。

(i) a: Cr，b: Sn，c: Fe

(ii) a: mm，b: μm，c: nm

(iii) a: 酸化物，b: 硫化物，c: 窒化物

(iv) a: Cr，b: Sn，c: Fe

(2) 文章中の＿＿＿＿について，その性質を説明せよ。

２０２４年度（令和６年度）　編入学者・転入学者選抜学力検査［問題］

ー 専 門 試 験 ー

（物理工学科）

問題２　設問すべてについて解答すること。

Ⅰ　次の文章を読み，(1)～(8)の問いについて答えよ。

光やＸ線などは「電磁波」として，電子や中性子などは「物質波」として，波の性質（波動性）をもつ。波の基本的な挙動を知ることは，材料の物性を支配する電子状態や格子振動状態を知る上でも，Ｘ線や中性子線を用いた材料の結晶構造解析を理解する上でも，きわめて重要になってくる。

時刻 $t=0$ のとき $x=0$ の地点での変位が $A\,(>0)$ で，$+x$ 方向に進行する振幅 $A\,(>0)$，波数 $k\,(>0)$，角振動数 $\omega\,(>0)$ の三角関数波の時刻 t，位置 x における変位 X は，

$$X = A\cos(kx-\omega t) \tag{1}$$

で表せる。

(1)　式(1)で表された三角関数波の波長および進行速度（位相速度）を示せ。

(2)　$t=0$ のとき $x=0$ の地点での変位が $\frac{A}{2}$ で，$+x$ 方向に進行する振幅 $\frac{A}{2}$，波数 k，角振動数 ω の三角関数波に，同じ初期変位，振幅，波数，角振動数で $-x$ 方向に進行する三角関数波が重ね合わされたとき，時刻 t，位置 x における合成波の変位を表す式を示せ。また，この合成波の特徴を40字程度で簡潔に説明せよ。

(3)　$t=0$ のとき $x=0$ の地点での変位が $\frac{A}{2}$ で，$+x$ 方向に進行する振幅 $\frac{A}{2}$，波数 $k-\Delta k$，角振動数 $\omega-\Delta\omega$ の三角関数波と，$t=0$ のときの $x=0$ の地点での変位，進行方向，振幅が同じで，波数 $k+\Delta k$，角振動数 $\omega+\Delta\omega$ の三角関数波が重ね合わされたとき，時刻 t，位置 x における合成波の変位を表す式を示せ。

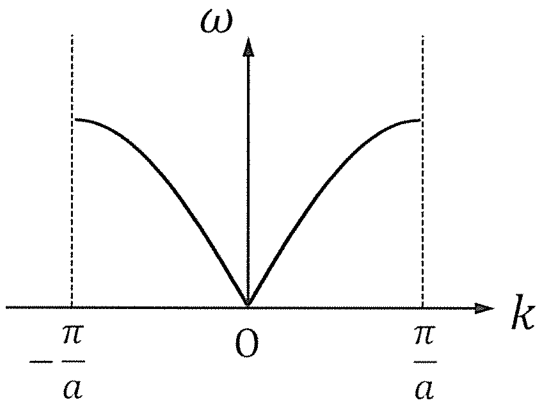
(4)　前問(3)で得られた合成波の変位を $C(x,t)\cos(kx-\omega t)$ と表したとき，$C(x,t)$ の部分は「包絡関数」と呼ばれ，式(1)の振幅部分 A が位置的・時間的に変調したものとみなせる。この包絡関数の波長および進行速度を示せ。

(5)　波数 $k-\Delta k$，角振動数 $\omega-\Delta\omega$ から波数 $k+\Delta k$，角振動数 $\omega+\Delta\omega$ までの $+x$ 方向に進行する三角関数波を，同じ振幅で連続的に重ね合わせた合成波（「波束」と呼ばれる）の変位 X は，

$$X = A\frac{\sin\left\{\Delta k\left(x-\frac{d\omega}{dk}t\right)\right\}}{\Delta k\left(x-\frac{d\omega}{dk}t\right)}\cos(kx-\omega t) \qquad (2)$$

となることが知られている。ここで，$f(\theta)=\frac{\sin\theta}{\theta}$ は $\theta=0$ のときピーク値 1 をとる関数で，式(2)で表される合成波の包絡関数の形状を与えている。なお，波束は，波動性・粒子性両立の橋渡しとなる概念で，式(2)の包絡関数のピーク位置は粒子の位置に対応する。関数 $f(\theta)$ の「概形」を解答用紙に図示せよ。また，ピーク位置の移動速度（群速度）を数式で示せ。

(6) 波の角振動数 ω と波数 k の間には，その波に固有の関係がある。この関係は，一般に「分散関係」と呼ばれる。下図に原子が間隔 a で並んだ結晶中の格子振動の波（フォノン）の分散関係の典型例を示す。これに習い，(a) 真空中の光の分散関係，(b) 原子が間隔 a で並んだ結晶中の電子の分散関係の典型例を，解答用紙に図示せよ。



(7) 原子が間隔 a で並んだ結晶中で，格子振動の波の波長が長波長側から短くなって $2a$ に漸近したとき，波の群速度はどのような変化を示すか。30 字程度で簡潔に説明せよ。

(8) X 線や中性子線など，電磁波や物質波を固体結晶に入射し，散乱された波の干渉をみると，結晶内の波の散乱体（電子や原子核）の空間分布，すなわち結晶構造を知ることができる。結晶内で，単位面積あたりの原子数が等しい格子面が，面間の間隔 d で繰り返されているとき，格子面と角度 θ をなす方向から入射され，格子面と角度 θ をなす方向に散乱された波長 λ の波が強め合う条件は，ブラッグの式，

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (n \text{ は正の整数}) \qquad (3)$$

で与えられる。いま，立方晶単位格子の格子定数が既知で，体心立方構造か面心立方構造の何れかをもつ物質がある。この物質が体心立方構造か面心立方構造かを判断するためには，どのような条件で波の干渉実験を行えばよいか。100 字程度で簡潔に答えよ。

２０２４年度（令和６年度）　編入学者・転入学者選抜学力検査［問題］

ー 専　門　試　験 ー

（ 物理工学科 ）

問題３　設問すべてについて解答すること。

Ⅰ　次の文章を読み，(1)～(8)の問いについてすべて答えよ。

図に示すように，半径aの円輪の上に質量mの小物体Aがなめらかに束縛されている。円輪をその直径を通る回転軸（軸は鉛直方向を向く）まわりに一定の角速度ωで回転させたときの，小物体の平衡位置とその平衡位置まわりでの運動について考察する。円輪の中心Oから小物体に向かう方向が鉛直下方となす角をθとし，重力加速度の大きさをgとする。以下の問いでは，円輪と一緒に回転する座標系からみたときの小物体の運動を考える。小物体がこの座標系から見て静止している時，小物体Aに働く力は重力mg，遠心力F_{C}，円輪の中心Oに向かう円輪からの垂直抗力F_{N}である。

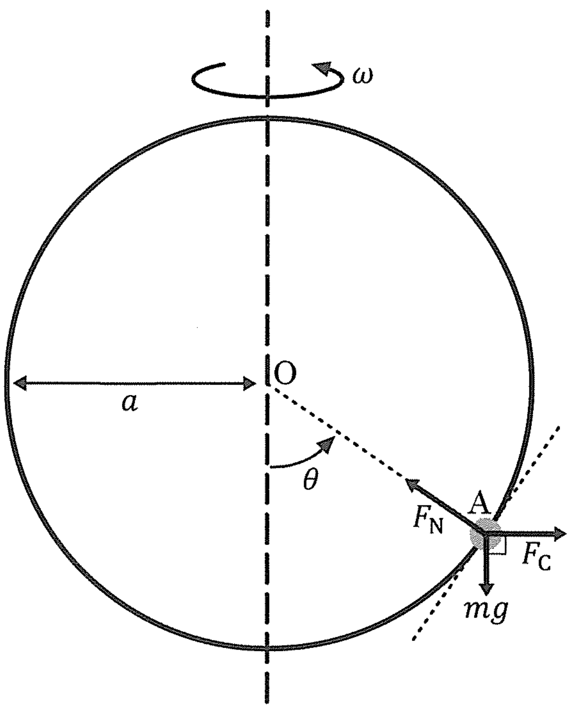
(1) 遠心力F_{C}の大きさをa，m，ω，θを用いて表せ。

(2) 小物体が平衡位置にあるとき，物体に働く力はつり合う。円輪の接線方向におけるつり合いの式をa，m，ω，g，θを用いて表せ。

(3) 小物体が θで静止しているとき，垂直抗力F_{N}の大きさをa，m，ωを用いて表せ。

平衡位置まわりでの小物体の運動を調べる。以下の問いに答えよ。

(4) ある時刻tにおける角を$\theta(t)$とするとき，円輪の接線方向に沿った小物体Aの運動方程式をa，m，ω，g，$\theta(t)$，$\frac{d^2\theta(t)}{dt^2}$ を用いて表せ。



鉛直な回転軸

平衡位置に対応する角θ_cにある小物体Aを，円輪の接線方向にわずかにずらす。平衡位置近傍での物体の運動は，問(4)で得た運動方程式において，$\theta(t)=\theta_\mathrm{c}+\phi(t)$ $(|\phi|\ll 1)$とおいて平衡位置からの微小なずれの角$\phi(t)$の振る舞いを調べるとよい。このとき，運動方程式は以下の近似式

$$\cos\bigl(\theta_\mathrm{c}+\phi(t)\bigr)\simeq\cos\theta_\mathrm{c}-\phi(t)\sin\theta_\mathrm{c}\ ,\qquad \sin\bigl(\theta_\mathrm{c}+\phi(t)\bigr)\simeq\sin\theta_\mathrm{c}+\phi(t)\cos\theta_\mathrm{c}$$

を用いて，$\phi(t)$の1次の項まで残すことで解析ができる。

(5) $\theta_\mathrm{c}=0$は物体の平衡位置である。運動方程式をこの平衡位置まわりの微小なずれの角$\phi(t)$に対する方程式で表せ。

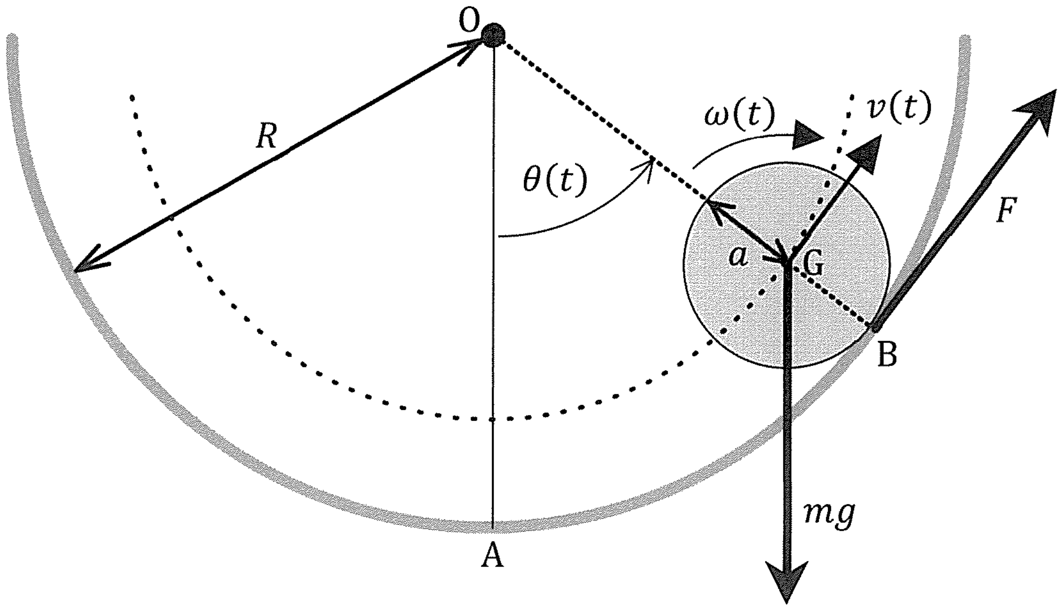
(6) $\phi(t)$の大きさが時間とともに増加していくとき，平衡位置θ_cの状態は不安定であるという。平衡位置$\theta_\mathrm{c}=0$が不安定となる場合のωの条件式を書け。

(7) 円輪上で小物体Aが静止する平衡位置が，$\theta_\mathrm{c}=0$と$\theta_\mathrm{c}=\pi$以外に存在するためのωの条件式を書け。また，この平衡位置に対応する角をθ_1 $(0<\theta_1<\pi)$とするとき，これを求めよ。

(8) 平衡位置θ_1にある小物体Aの位置をわずかにずらすと，小物体は平衡位置θ_1のまわりで単振動する。この振動の周期を求め，これをa，ω，gを用いて表せ。

Ⅱ　次の文章を読み，(1)～(8)の問いについてすべて答えよ。

内半径Rの中空円筒の中心軸O（紙面に垂直な方向）を水平にして中空円筒を固定し，その内面に半径aの円柱をその中心軸G（円柱の重心を通り紙面に垂直な方向）を水平にして置くと，円柱は中空円筒の内面をすべることなく転がった。ある時刻tにおける，中心軸Oと中心軸Gを結ぶ線と鉛直方向(OA)とのなす角を$\theta(t)$ $\left(-\frac{\pi}{2} \leq \theta(t) \leq \frac{\pi}{2}\right)$ とし，反時計まわりを正にとる。円柱の密度は一様でその質量をm, 円柱の中心軸Gまわりの慣性モーメントをIとする。また時刻tでの円柱の中心軸Gまわりの角速度を$\omega(t)$, 円柱重心の速度を$v(t)$, 重力加速度の大きさをgとする。円柱と中空円筒の内面との接点Bに働く摩擦力をFとする。



(1) 円柱の重心は中心軸Oのまわりで円運動をする。重心の速度vをR, a, $\frac{d\theta}{dt}$ を用いて表せ。

(2) 円柱は中心軸Oのまわりで円運動しながら，中心軸Gのまわりで回転運動している。このとき，円柱はすべらずに転がるので，運動の各瞬間で接触点Bは静止している。この条件式をR, a, $\frac{d\theta}{dt}$, ωを用いて表せ。

(3) 円柱の重心の角度方向の運動方程式を立てよ。

(4) 円柱の中心軸Gまわりの回転の運動方程式を立てよ。

(5) 円柱の中心軸Gまわりの慣性モーメントIは，$I = \frac{1}{2}ma^2$となることを導出せよ。

(6) 摩擦力Fをθの関数として求めよ。

(7) 円柱の重心は，単振り子と同様な周期運動を示す。単振り子の長さLを適切に選ぶと，単振り子の運動の周期と円柱の重心の運動の周期は同じになる。このときのLを，Rとaを用いて表せ。

(8) 時刻0において$\theta = \theta_0$, $\frac{d\theta}{dt} = \omega = 0$であったとき，時刻$t$における回転の運動エネルギーを求め，これを$m$, g, a, R, θ, θ_0 を用いて表せ。

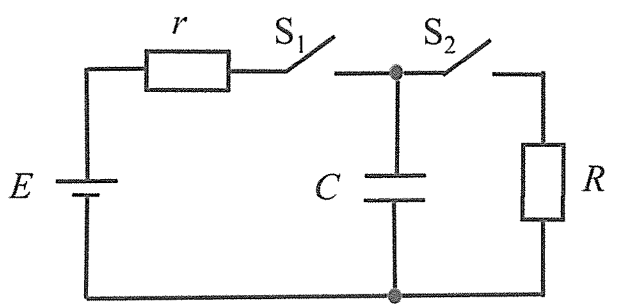
２０２４年度（令和６年度）　編入学者・転入学者選抜学力検査［問題］

ー 専 門 試 験 ー

（物理工学科）

問題４　設問すべてについて解答すること。

I　図に示すように，電圧 E [V] の直流電源，抵抗 r [Ω]と R [Ω]，電気容量 C [F] のコンデンサ ならびに スイッチ S_1 と S_2 で構成される回路がある。まず，スイッチ S_2 を開きスイッチ S_1 を閉じた。スイッチ S_1 を閉じた時刻を $t=0$ とする。この時，コンデンサに電気量は蓄えられていなかった。



（1）　次の文章の空欄（ア）～ (カ)に式または数値を入れて文章を完成させよ。

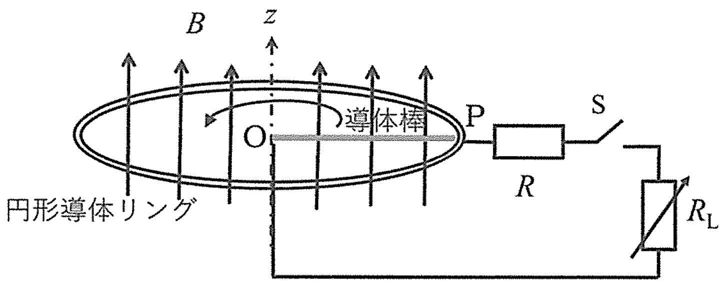
スイッチ S_1 を閉じた直後に抵抗 r を流れた電流は（ア）[A]であった。その後，十分に時間が経過し定常状態に達した時，電流は（イ）[A]となり，コンデンサに蓄えられた電気量は（ウ）[C]に達した。また， $t=0$ から十分時間が経過し定常状態に達するまでに電源がした仕事は(エ)　[J]，抵抗 r で発熱した熱量は（オ）[J]，コンデンサに蓄えられた静電エネルギーは（カ）[J] であった。

次に，スイッチ S_1 を開き，スイッチ S_2 を閉じた。スイッチ S_2 を閉じた時刻をあらためて $t=0$ とする。スイッチ S_1 を開きスイッチ S_2 を閉じる前，回路は定常状態にあった。以下の問いに答えよ。

（2）　時刻 t[s]の時点でコンデンサに蓄えられていた電気量を $Q(t)$ [C]とする。電気量の時間変化率 $\frac{dQ(t)}{dt}$ を R，C および $Q(t)$を用いて示せ。

（3）　上の(2)で求めた関係式から，$Q(t)$は $Q(t)=Q(0)e^{-\frac{t}{\tau}}$ で与えられる。この時の τ[s]を求めよ。

II　図に示すように，z 軸の正の方向に磁束密度 B [T] の一様な磁場が存在している。その磁場中に，長さℓ [m]の一様な細い導体棒を z 軸に垂直に設置する。導体棒の端 O は z 軸上にあり，外側の端 P は半径ℓ [m]の円形導体リングと接触している。このリングと導体棒の端 O との間に抵抗 R [Ω]，可変抵抗 R_L [Ω]，スイッチ S を接続する。摩擦，導体棒および導線の抵抗は無視できる。 また，回路を流れる電流が作る磁界は無視してよい。



スイッチ S を開いた状態で，導体棒は z 軸まわりに図中の矢印の向きに一定の角速度 ω [rad/s]で導体リングと接触しながら滑らかに回転している。以下の問いに答えよ。

(1) 端 O から距離 r [m]の位置にある導体棒中の自由電子（電荷 $-e$）に働くローレンツ力の大きさ F と向きを求めよ。向きは O→P， P→O の二つから選択せよ。なお，自由電子は導体棒と同じ速度で動いているとせよ。

(2) 端 O から距離 r [m]の位置で導体棒中に発生する電界の大きさ E [V/m]を求めよ。

(3) 導体棒に生じる誘導起電力の大きさ V_i [V]を求めよ。

(4) 導体棒が微小時間 dt [s] の間に横切った磁束 $d\Phi$ [Wb]を求めよ。

次に，スイッチ S を閉じた状態で，同じく導体棒を一定の角速度 ω [rad/s]で導体リングと接触しながら滑らかに回転させる。以下の問いに答えよ。

(5) 抵抗 R および R_L を流れる電流 I [A]を求めよ。

(6) 角速度 ω を一定に保つのに必要なトルク（端 O まわりの力のモーメント）N [N・m]を ω，B，ℓ，R，R_L を用いて表せ。

(7) 導体棒を角速度 ω で回転させるのに外部で行う仕事率 P_E [W] を ω，B，ℓ，R，R_L を用いて表せ。

(8) 可変抵抗 R_L を調整し，抵抗 R_L で消費される電力を最大にしたい。この時の R_L ならびに R_L で消費される電力 P_{RL} [W]を求めよ。