名古屋工業大学

２０２２年度（令和４年度）

編入学者・転入学者選抜学力検査

専門試験科目問題冊子

物理工学科

試験日時　２０２１年6月２５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には申し出てください。

問題 1　設問すべてについて解答すること。

I　次の (1)～(4) の問いについて答えよ。

(1) 図 1 は，共析鋼の連続冷却変態線図 (CCT 線図) の模式図を示している。共析鋼を共析温度より少し高い温度から，図 1 の CCT 線図に示す冷却速度 A および冷却速度 B にて室温まで冷却した。このとき，冷却速度 A および冷却速度 B にて作製した共析鋼における微細組織の違いについて説明しなさい。

(2) 前問 (1) にて解答した微細組織の違いは，なぜ発生したのであろうか？その発生要因を，「パーライト変態開始温度」および「過冷度」という単語を用いて説明しなさい。

(3) 図 1 の CCT 線図におけるマルテンサイト変態開始温度は，時間に関わらず一定の温度を示している。その理由を答えなさい。

(4) 焼入をした炭素鋼中のマルテンサイト組織は高い硬さを持つ。マルテンサイト組織が高い硬さを持つ理由を，「炭素」および「格子欠陥」という単語を用いて答えなさい。

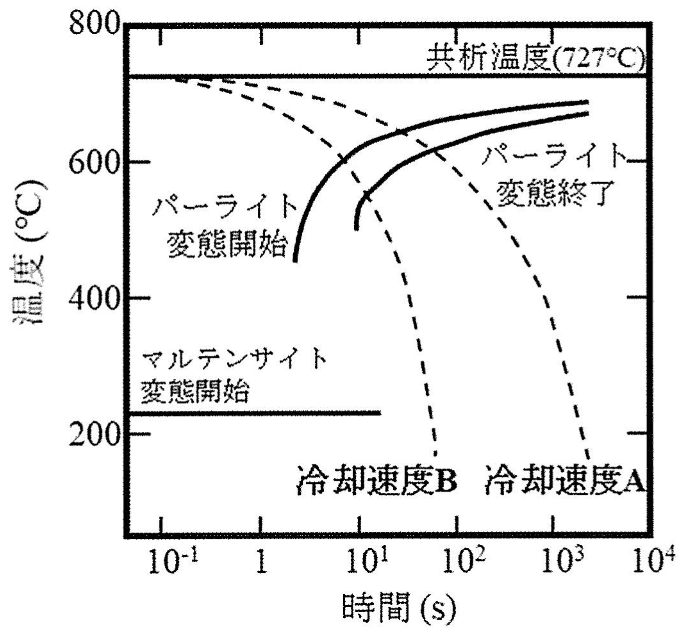

図 1 共析鋼の CCT 線図の模式図。

Ⅱ　次の文章を読み，(1)～(3)の問いについて答えよ。

(1) fcc 金属の八面体位置における隙間半径を有効数字 3 桁で求めなさい。ただし，原子半径をrとし，かつ$\sqrt{2}$=1.414 として計算せよ。

(2) α-Fe およびγ-Fe のうち，どちらの Fe がより多くの炭素を固溶できるであろうか？より多くの炭素を固溶できる Fe を選択し,かつその理由について説明しなさい。ただし，炭素は八面体位置に侵入型固溶元素として固溶するものとする。

(3) fcc 金属の単結晶を$[\bar{1}\ 1\ 2]$方向から引張った。このときの主すべり系が$(1\ 1\ 1)[\bar{1}\ 0\ 1]$であるときにおけるシュミット因子を有効数字 2 桁で求めなさい。ただし，$\sqrt{2}$=1.41 および$\sqrt{3}$=1.73 として計算せよ。

問題 2　設問すべてについて解答欄に記入すること。

Ⅰ　次の文章を読み (1)～(5) の問いについて答えよ。

物質を電気抵抗の観点で分類すると，[(A)]，[(B)]，[(C)]，超伝導体に大きく分けられる。[(A)] は主に [(A)] 結合で結合をする電気抵抗が小さい物質であり，銅や銀が [(A)] に属する。シリコンや窒化ガリウムが属する [(B)] は [(A)] より電気抵抗が高い物質である。また [(C)] は高い電圧をかけても電流が流れない物質であり，塩化ナトリウムなどのイオン結晶はこれに属する。一般的に [(A)]，[(B)]，[(C)]，超伝導体の分類はエネルギー・バンドをもちいて説明される。

物質の内部に微量の不純物が存在する場合，[(A)]，[(B)] および [(C)] では不純物が電気抵抗に与える影響は大きく異なる。[(A)] の場合，不純物の濃度が上昇するに従い電気抵抗が [(D)]。また [(B)] の場合は不純物の濃度が上昇するに従い電気抵抗が [(E)]。[(C)] の場合は，微量の不純物が存在しても電気抵抗には影響はない。一方で [(C)] の中の不純物は光学的性質に影響を与える。例えば宝石のルビーはコランダム型結晶の [(F)] に微量の [(G)] が不純物として存在することで赤色になる。

(1) 空欄 (A) ～ (C) の名称を答えよ。また空欄 (D)，(E) に入る適切な語句を解答用紙の解答欄から一つ選択して丸で囲め。また空欄 (F)，(G) に入る適切な化学式を答えよ。

(2) (A) の電気抵抗について，「温度変化で変化する要因」と「温度変化で変化しない要因」をそれぞれ 1 つずつ述べよ。またその 2 つの要因を用いて (A) におけるマティーセン則について説明せよ。

(3) 絶対零度における単結晶のシリコンのエネルギー・バンド図を図 1 に示す。(i) ～ (iii) の名称を答えよ。

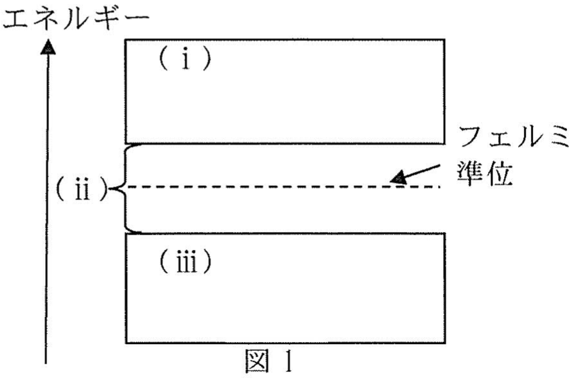

図 1

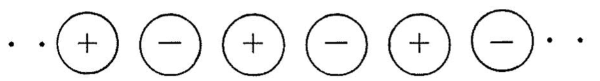
図 2

(4) シリコンの一部が微量のリンに置換した場合，図 1 のフェルミ準位はどのように変化するか述べよ。ただし解答には「価電子数」という言葉を入れること。また解答には「ドナー準位」または「アクセプター準位」のうちいずれかの言葉を入れること。

(5) 図 2 のように正負のイオンが交互に，かつ等間隔で無限に一直線に並んだ場合のマーデルング定数を求めよ。ただし $\log_e(1+x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{4}x^4 \cdots$ を用いてよい。

Ⅱ　次の文章を読み(1)，(2)の問いについて答えよ。太字の記号はベクトルであることに注意し適宜ベクトル表記を用いること。

y方向とz方向には有限の長さをもち，x方向に無限に長い導体板を考える。導体板には 1.0〔m^3〕あたりに n個の自由電子が存在する。電子の電荷を$-e$〔C〕とする。

導体板中を伝導電子が平均ドリフト速度 $\boldsymbol{v} = (v_x, 0, 0)$〔m/s〕で$x$方向に移動する場合，その電流密度 $\boldsymbol{i} = (i_x, 0, 0)$〔$\mathrm{A/m^2}$〕は

$\boldsymbol{i} =$ [（ア）]　　　　　　①

と表される。z方向に一様な磁束密度$\boldsymbol{B} = (0, 0, B_z)$〔T〕が存在した場合，磁束密度$\boldsymbol{B}$により平均すると 1 つの伝導電子は②式に示す力$\boldsymbol{F}$〔N〕を受ける。

$\boldsymbol{F} =$ [（イ）]　　　　　　②

力$\boldsymbol{F}$により伝導電子が移動して電荷に偏りが生じるため，その電荷の偏りによりy方向に電場$\boldsymbol{E} = (0, E_y, 0)$〔V/m〕が生じる。電場$\boldsymbol{E}$の$y$成分$E_y$で生じる力$-eE_y$と力 $\boldsymbol{F}$のy成分は定常状態では釣り合うために

$-eE_y =$ [（ウ）]　　　　　　③

と表される。このような現象はホール効果と呼ばれる。

ホール係数R_{H}は

$$R_{\mathrm{H}} = \frac{E_y}{i_x B_z} \qquad ④$$

と定義される。①式と③式をもちいて④式を計算すると$R_{\mathrm{H}} =$ [（エ）]となる。

(1) 空欄（ア）～（エ）に適切な式を入れよ。

(2) 前問(1)で解答した結果を用いて，銅のホール係数R_{H}を求める。以下の問いに答えよ。

（i）銅の格子定数を 0.36〔nm〕として，標準状態の 1.0〔m^3〕の単結晶の銅に含まれる銅原子の数を求めよ。ただし，解答は有効数字 2 桁で記せ。

（ii）1 個の銅原子が 1 個の自由電子を放出するとして銅のホール係数R_{H}を求めよ。ただし電子の電荷を$-e = -1.6 \times 10^{-19}$〔C〕とする。なお，解答は有効数字 2 桁で記し，単位まで記入すること。

問題３　設問すべてについて解答すること。

Ⅰ　次の(1)～(5)の問いについてすべて答えよ。

軽く伸び縮みしない糸の先端に取り付けられた質量mの質点 P がなめらかな水平面上を運動している。糸の他端は水平面に開けられた小孔を通して下向きに引かれている。糸は小孔のまわりで摩擦を受けることはなく，糸がたるむことがないように糸を引くものとする。小孔の位置を原点 O として図１のように水平面内にx軸とy軸をとる。水平面上の糸の長さ，つまり，動径 OP の長さをrとし，x軸と動径 OP の間の角をθとする。質点，および，糸にはたらく空気抵抗は無視できる。

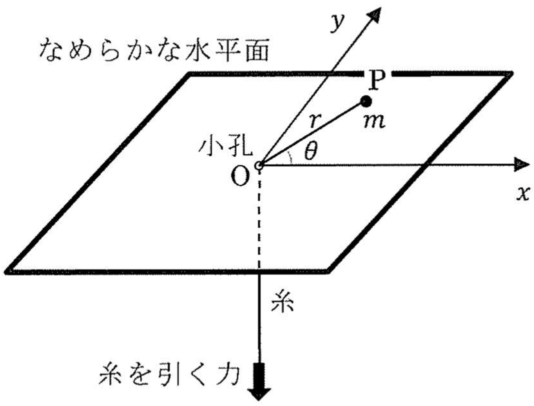

図１

(1) 糸を引く力をある大きさにしたところ，質点 P は小孔(点 O)のまわりで半径a，速さv_0の等速円運動をした。この時の糸を引く力の大きさ，小孔(点 O)まわりの角運動量と面積速度の大きさを答えよ。

(2) 糸を引く力の大きさを時間とともに変化させたところ，質点 P は円軌道から離れて水平面内で運動した。小孔(点 O)を原点とする平面極座標(r,θ) で記述された，質点 P の動径方向と角度方向の運動方程式を書け。時刻tの糸を引く力の大きさは$T(t)$とする。

(3) この運動で保存される物理量は何か答えよ。

(4) その後，糸を引く力の大きさをある大きさで固定したところ，質点 P は小孔(点 O)のまわりで設問(1)の半径 aのc倍の半径で等速円運動をした。この時の糸を引く力の大きさは，設問(1)の糸を引く力の何倍か答えよ。

(5) 設問(1)の状態から設問(4)の状態になるまでの間に糸が質点にした仕事を求めよ。

II　次の(1)～(6)の問いについてすべて答えよ。

長さL，質量Mの一様な細い剛体棒(重心まわりの慣性モーメント$ML^2/12$)を，片側が長さxだけはみ出すように水平な天板を持つ机の上に置く(図2(a))。机の角の位置を点Oとする。剛体棒のはみ出した側の端点Aには質量Mの質点がつけられている。以下では，この質点のついた剛体棒のことを単に「棒」と表記する。重力加速度の大きさをgとする。

(1) xが小さい値のとき，棒を机の上に置いて静かに手を離したところ，棒はそのまま机の上で静止していた。棒が机から受ける垂直抗力の作用点が，点Oからみてどこにあるか答えよ。

(2) xの値を大きくして棒を机の上に置いて静かに手を離したところ，棒が回転して落ちそうになったので，机の上の棒の端点Bに指を添えて棒を水平な状態で静止させた。端点Bで指から棒に加えられた力は鉛直方向にはたらくとして，その力の大きさの最小値を答えよ。

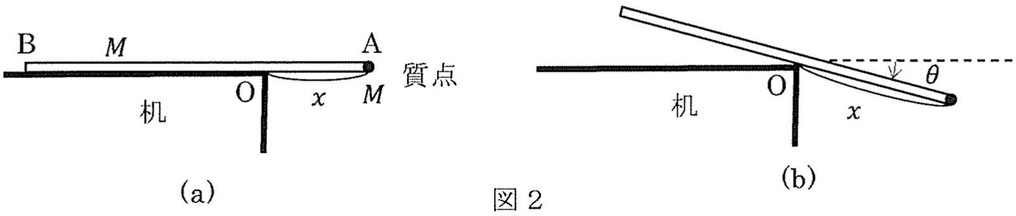

図2

端点Bに添えた指を素早く離したところ，棒は机の角の点Oを中心に滑ることなく回転した。棒が水平から傾いた角度をθとする(図2(b))。

(3) 点Oまわりの棒の慣性モーメントIを求めよ。

(4) 棒の重心と点Oの間の距離dを求めよ。

以下では，点Oまわりの棒の慣性モーメントをI，棒の重心と点Oの間の距離をdとして解答せよ。

(5) 点Oまわりの棒の回転の運動方程式を立てよ。

(6) 端点Bに添えた指を離した直後は，棒は水平を保って静止していたとして，力学的エネルギー保存則を書け。棒が水平の状態にあるときの重力のポテンシャルを0とする。

問題4　設問すべてについて解答すること。

次の文章の空欄 $\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(18)}$ に適切な語句と式をいれて文章を完成させよ。文中の太字の記号はベクトル，×は外積であること，$\dot{A}$，$\ddot{A}$ はそれぞれ物理量 $A(t)$ の時間 t に関する1階，2階微分であること，また符号に注意し，文中に与えられた記号のみを用い，ベクトルはすべて成分表記して解答すること。

質量の無視できる長さ l〔m〕の絶縁物質でできた糸を用意し，図1のように一端を原点 $\boldsymbol{O}=(0,0,0)$〔m〕に固定した。また，他端に大きさの無視できる質量 m〔kg〕で電荷 Q〔C〕が与えられた導体球をとりつけた。水平右向きを x 軸，鉛直上向きを z 軸，紙面表面から裏面の向きを y 軸の正の向きにとる。時刻 t〔s〕における導体球の位置ベクトルを $\boldsymbol{r}(t)$〔m〕，速度ベクトルを $\boldsymbol{v}(t)$〔m/s〕，たるんでいない糸と z 軸とのなす角度を図1の矢印の向きが正となるように $\theta(t)$〔rad〕とする。重力を $\boldsymbol{F}_g=(0,0,-mg)$〔N〕とし，空気抵抗は無視できるとして，導体球の運動を考えてみよう。

(a) 時刻 $t=0$〔s〕で，糸がたるまないようにし，導体球を $0<\theta(0)<\pi/2$ の位置から静かにはなしたところ，xz 平面内を円軌道に沿って運動した。このとき，時刻 t における導体球の位置ベクトルは $\boldsymbol{r}(t)=\boxed{(1)}$〔m〕，速度ベクトルは $\boldsymbol{v}(t)=\boxed{(2)}$〔m/s〕となる。よって，角運動量ベクトル $\boldsymbol{L}(t)$ は，$\boxed{(3)}$〔kg m^2/s〕となる。運動する導体球には，重力 $\boldsymbol{F}_g$ と糸の張力 $\boldsymbol{F}_t$ が働く。張力の大きさを T〔N〕とすると，合力は $\boldsymbol{F}_1=\boldsymbol{F}_g+\boldsymbol{F}_t=\boxed{(4)}$〔N〕となる。よって，原点まわりの力のモーメント $\boldsymbol{N}$ は，$\boxed{(5)}$〔Nm〕となる。回転の運動方程式 $\dot{\boldsymbol{L}}=\boldsymbol{N}$ より，円運動の接線方向の $\theta(t)$ に関する運動方程式は，$\boxed{(6)}$ となる。一方，円運動中の張力の大きさは，$m,g,l,\theta(t),\dot{\theta}(t)$ を用いて，$T=\boxed{(7)}$〔N〕となる。いま，$\theta(0)=\pi/4$〔rad〕とすると，$\theta(t)$ における導体球の速さは力学的エネルギー保存則より，$|\boldsymbol{v}(t)|=|l\dot{\theta}(t)|=\boxed{(8)}$〔m/s〕となる。

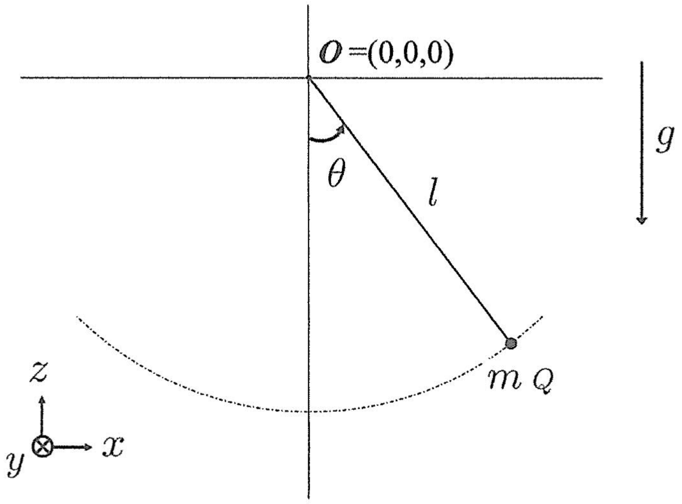

図1　（y 軸は紙面表から裏向きを正とする。）

(b) 図1に$\boldsymbol{E}=(E,0,0)$〔V/m〕の一様な電場（$E>0$）を加えた。(a)と同じ位置から静かに離したところ，糸がたるむことなく導体球はxz平面内を円軌道に沿って運動し，時刻$t=t_1(>0)$で$\dot{\theta}(t_1)=0$となった。このとき$|\theta(t_1)|<|\theta(0)|$であったため，電荷$Q$〔C〕の符号は $\boxed{\quad(9)\quad}$ である。導体球に働く静電気力は，$\boldsymbol{F}_e=\boxed{\quad(10)\quad}$〔N〕となり，力の合力は$\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_e$となる。よって，原点まわりの力のモーメントは，$\boldsymbol{N}=\boxed{\quad(11)\quad}$〔Nm〕となる。つまり，$\theta(t)$に関する回転の運動方程式は，$\boxed{\quad(12)\quad}$ となる。一方，円運動中の張力の大きさは，$m,g,l,Q,E,\theta(t),\dot{\theta}(t)$を用いて，$T=\boxed{\quad(13)\quad}$〔N〕となる。いま，$\theta(0)=\pi/4$とし，$\theta(t_1)=0$とすると，電場の大きさは，$m$，$g$，$Q$を使って，$E=\boxed{\quad(14)\quad}$〔V/m〕と表せる。

(c) 図1に$\boldsymbol{B}=(0,B,0)$〔T〕の一様な磁束密度（$B>0$）を加えた。(a)と同じ位置から静かに離したところ，糸がたるむことなく導体球はxz平面内を円軌道に沿って運動し，時刻$t=t_2(>0)$で$\dot{\theta}(t_2)=0$となった。このとき，導体球に働くローレンツ力は，$\boldsymbol{F}_b=\boxed{\quad(15)\quad}$〔N〕となる。ここで，$\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{F}_b=\boxed{\quad(16)\quad}$〔N m〕の関係にある。このため，$\theta(t)$に関する回転の運動方程式は，(a)と同様に $\boxed{\quad(6)\quad}$ となる。一方，円運動中の張力の大きさは，$m,g,l,Q,B,\theta(t),\dot{\theta}(t)$を用いて，$T=\boxed{\quad(17)\quad}$〔N〕となる。$\theta(0)=\pi/4$とすると，$t>t_2$のとき，磁束密度の大きさを$B_{th}$より大きくすると，糸がたるみ，導体球は円軌道から離れた。導体球の速度は，$|\boldsymbol{v}(t)|=|l\dot{\theta}(t)|=\boxed{\quad(8)\quad}$〔m/s〕であることから，$B_{th}$は，$m,Q,g,l$を用いて，$B_{th}=\boxed{\quad(18)\quad}$〔T〕となる。