令和８年度創成科学研究科理工学専攻博士前期課程入学試験問題

物　理　学

（一般入試）

（理工学専攻　自然科学コース／領域）

（注意事項）

１．問題冊子は，係員の指示があるまで開かないこと。
２．問題冊子は，この表紙を除いて ４枚である。
３．問題冊子に，印刷不鮮明やページの落丁及び汚れ等に気づいた場合は，手を上げて試験監督者に申し出ること。
４．解答は，用紙の指定された番号の解答箇所に書くこと。解答には
必要があれば用いた式や計算の過程も示すこと。指定された解答箇所以外に書いたものは採点しない。ただし，解答箇所に書ききれずに裏面に渡って解答を続ける場合は，裏面に続くことを明示した上で，裏面の下半分に解答すること。
５．解答開始後，用紙の所定欄に受験番号をはっきりと記入すること。
６．配付した用紙はすべて回収する。

受験番号	

物　理　学　その１

第１問　図１のように x 軸を取り，ヨーヨーの軸に軽い糸を巻き付けて静止させる。この静止状態から静かに手から離すと糸がほどけながら落下する。ヨーヨーの質量を M，重心を通る軸のまわりの慣性モーメントを I，軸の半径を a とし，糸の張力を T とする。また，ヨーヨーの回転角を θ，図で反時計回りを正の回転方向とする。ヨーヨーの重心の位置を x として，静止状態のときを $x=0$，$\theta=0$，重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は無視して，以下の問いに答えよ。

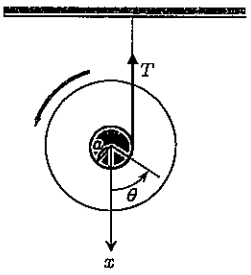

図１

問１　x と θ の関係式を表せ。

[１]　運動方程式を使って，ヨーヨーの落下運動を考える。

問２　鉛直方向の運動方程式と軸回りの回転運動の運動方程式を M，I，a，T，g，x，θ の中から必要なものを用いて表せ。

問３　ヨーヨーの重心の加速度を M，I，a，g の中から必要なものを用いて表せ。

[２]　エネルギー保存の観点から，ヨーヨーの落下運動を考える。

問４　静止状態から落下する際，ヨーヨーの位置エネルギーはどのようなエネルギーに変換されるか簡単に説明せよ。

問５　落下中のヨーヨーの全運動エネルギーを M，I，a，T，$\dot{g}$，x，θ の中から必要なものを用いて表せ。

問６　問５で求めたヨーヨーの全運動エネルギーから，ヨーヨーの重心の加速度を M，I，a，g の中から必要なものを用いて表せ。$\dot{x}^2=Ax$ を時間微分すると $2\dot{x}\ddot{x}=A\dot{x}$ であることを用いてよい。ここで A は定数である。

問７　a を小さくしていくと，ヨーヨーの落下速度はどのようになるのか。問３，もしくは問６で得られた加速度を使って簡単に説明せよ。

［第１問の解答箇所］

小計	点

受験番号	

物　理　学　その２

第２問　半径 a，長さ d の円柱の導体に一定の電圧 V をかけて電流を流す。ここでは $d >> a$ であるとする。電気抵抗率が ρ であるとして，以下の問いに答えよ。

問１　導体内部の電場の大きさ E，導体内部の磁束密度の大きさ B_{IN}，導体外部の磁束密度の大きさ B_{OUT} はそれぞれいくらか。場所によって大きさが異なる場合は，円柱の中心からの距離を r とする。円柱の導体と，E の向きを表す電気力線１本と，B_{IN} と B_{OUT} の向きを表す磁力線１本ずつを，図に描け。

問２　伝導電子の質量を m，電荷量を $-e$，導体内部における単位体積当たりの伝導電子の数を n とする。定常状態において伝導電子の移動する平均速度 v が $v = \dfrac{V}{nepd}$ となることを示せ。

問３　伝導電子に働く力として，電場による力 eE と，原子との衝突による抵抗 $-\dfrac{m}{\tau}v$ が働くとする。ここで τ は導体内で電子と原子が衝突する割合を表す係数である。τ と ρ の関係式を求めよ。

問４　問３において，B_{IN} からうけるローレンツ力は考えなくてよかった。その理由を説明せよ。

［第２問の解答箇所］

小計	点

受験番号	

物　理　学　その３

第３問　磁気モーメント（大きさ μ）をもつ $N(\gg 1)$ 個の独立な粒子からなる系が一様な磁束密度（大きさ B）の磁場中に置かれ，外界から孤立している。磁気モーメントは磁場に平行あるいは反平行の向きのみが許されており，磁場に平行な磁気モーメントは $-\mu B$，反平行な磁気モーメントは $+\mu B$ のエネルギーを持つ。この系において，磁場に平行な磁気モーメントが $\dfrac{N+L}{2}$ 個，磁場に反平行な磁気モーメントが $\dfrac{N-L}{2}$ 個あるとする。ボルツマン定数を k_B として，以下の問いに答えよ。

問１　この系のエネルギー E および磁場に平行な磁化の大きさ M を，μ，B，L，N の中から必要なものを用いて表せ。

問２　この系の取り得る微視的状態数を求め，エントロピー S が次式で表されることを示せ。但し，スターリングの公式 $\ln N! \cong N\ln N - N$ を用いること。

$$S \cong k_B\left[N\ln N - \frac{N+L}{2}\ln\frac{N+L}{2} - \frac{N-L}{2}\ln\frac{N-L}{2}\right]$$

問３　エントロピー S をエネルギー E の関数として表し，エネルギー E の温度依存性を求めよ。

問４　磁化の大きさ M の温度依存性を求め，低磁場極限 $B \to 0$ で磁化率 χ が $\chi = \dfrac{M}{B} = \dfrac{N\mu^2}{k_B T}$ と表されることを示せ。

［第３問の解答箇所］

小計	点

受験番号	

物　理　学　その４

第４問　図１のような井戸型ポテンシャル中にある質量 m の粒子のエネルギー固有状態を考える。ただし，x 軸上のそれぞれの領域でのポテンシャル $V(x)$ は次のようなものとする。

$$V(x)=\begin{cases} 0 & (\text{領域 I}、0\le x\le L) \\ \infty & (\text{領域 II}、x<0,\ x>L) \end{cases}$$

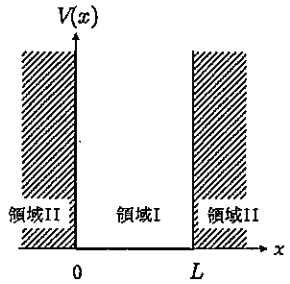

図１

また，h はプランク定数 h を 2π で割った定数として，以下の問いに答えよ。

問１　領域 I で粒子がエネルギー E をもつ状態の波動関数を $u(x)$ として，その波動関数に対する時間を含まないシュレディンガー方程式を書け。

問２　領域 I での波動関数 $u(x)$ が $x=0$ と $x=L$ で満たすべき境界条件を考慮して，その関数形を波数 k を用いて書け。振幅を A とせよ。

問３　固有エネルギー E を波数 k を用いて表せ。

問４　エネルギー固有状態において k の取り得る値を自然数 n を用いて表し，対応する固有エネルギー E_n を求めよ。

問５　省略

問６　省略

〔第４問の解答箇所〕

小計	点