

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。

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、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。

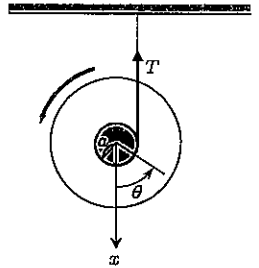


図 1

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 、 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。 $\ddot{x}^2 = A\dot{x}$ 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なになるのか。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]

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 $d \gg a$ 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 $v = \frac{V}{ne\rho d}$ 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 $-\frac{m}{\tau}v$ 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

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 $\frac{N+L}{2}$ 個、磁場に反平行な磁気モーメントが $\frac{N-L}{2}$ 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态数を求め、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 $B \rightarrow 0$ で磁化率 χ が $\chi = \frac{M}{B} = \frac{N\mu^2}{k_B T}$ と表されることを示せ。

[第3問の解答箇所]

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。

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

また、 $\hbar$ 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

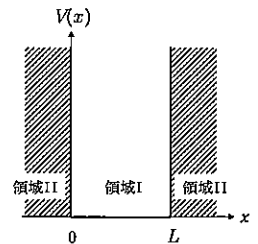


図 1

[第 4 問の解答箇所]

小計

点