

2019年8月21日

物理 II 試験問題

(150分)

【注意事項】

- 1) 問題はI~IIIの3問あります。3問すべてに解答すること。
- 2) 解答は問題ごとに別の解答用紙（計3枚）に記入すること。
各解答用紙に受験番号と氏名，問題番号を記入すること。
- 3) 試験開始後は退室できません。

I

量子状態 $|0\rangle$ と $|1\rangle$ が、正規直交条件 $\langle 0|0\rangle = \langle 1|1\rangle = 1$ および $\langle 0|1\rangle = \langle 1|0\rangle = 0$ を満たしている。以下の問 1 ~ 5 に答えなさい。

問 1 量子状態 $|\varphi\rangle = |0\rangle + 2i|1\rangle$ を考える。ブラベクトル $\langle\varphi|$ を、 $\langle 0|$ と $\langle 1|$ の線型結合で表しなさい。また、ノルム $\langle\varphi|\varphi\rangle$ を求め、 $|\varphi\rangle$ を規格化しなさい。

問 2 量子状態 $|\varphi\rangle = |0\rangle + 2i|1\rangle$ と直交する、規格化された量子状態を求めなさい。

問 3 量子状態 $|+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$ または量子状態 $|-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$ の、いずれかが観測される量子測定を、量子状態 $|\xi\rangle = |0\rangle + 2|1\rangle$ に対して行う。量子状態 $|+\rangle$ が観測される確率 P_+ と、量子状態 $|-\rangle$ が観測される確率 P_- を求めなさい。

問 4 演算子 $\hat{H} = -i|0\rangle\langle 1| + i|1\rangle\langle 0|$ に対して、 $\hat{H}\hat{O} = \hat{O}\hat{H} = |0\rangle\langle 0| + |1\rangle\langle 1|$ を満たす演算子 \hat{O} を求めなさい。

問 5 演算子 $\hat{H} = -i|0\rangle\langle 1| + i|1\rangle\langle 0|$ の固有値と、規格化された固有状態の組み合わせを全て求めなさい。

II

エネルギー $E_0 = -\epsilon$, $E_1 = 0$, $E_2 = 0$ の3つの状態をとる粒子 N 個からなる系が、温度 T の熱浴と接している。以下の問1～5に答えなさい。

問1 系の分配関数 Z を計算しなさい。ただし、ボルツマン定数を k_B とする。

問2 系の平均エネルギーを計算しなさい。低温と高温の極限での平均エネルギーをそれぞれ求めなさい。その結果の物理的な解釈について述べなさい。

問3 系のエントロピーを計算しなさい。また、 $T \rightarrow 0$ でエントロピーはどうなるか考えなさい。これを問2の結果と結びつけて考察しなさい。

問4 系の熱容量 C を計算しなさい。

問5 C の低温と高温の極限の振る舞いを調べなさい。この結果をもとに、 T の関数として C の概形を書きなさい。このとき、 C のピークのおおよその位置も求めなさい。

III

電磁石の作る磁場を使い，電子の運動量を測定する実験を行う。以下の問1～5に答えなさい。ただし，装置は真空中に設置し，電子からの放射の影響等は無視できるとする。また，真空の透磁率は μ_0 とする。文中に定義されていない物理量が必要であれば各自で定義しなさい。

問1 磁束密度 B の一様な磁場中を，電子が磁場に垂直な平面内で速さ v で運動している。電子が受ける力 F の大きさと向きを答えなさい。

問2 問1において電子はどのような軌跡を描くか説明しなさい。

問3 図1のように点Oを中心とする半径 r ，透磁率 μ の円環状磁性体にコイルを一様に N 回巻いて，環状ソレノイド（トロイド）を作り，電流 I を流す。断面 S を通過する磁束を計算しなさい。ただし r は円環状磁性体の断面 S の直径に比べ十分に大きいものとする。

問4 図2のように問3の円環状磁性体に微小な空隙 δ をあける。空隙間の磁束密度の大きさを求めなさい。ただし，空隙部分から外部への磁束の漏れは無視できるとする。

問5 空隙間に入射した電子の運動量を求めたい。何を測定すればよいか答えなさい。磁束密度 1.0×10^{-2} T，運動量 4.0×10^{-23} kg m s⁻¹ のときにその値を求めなさい。

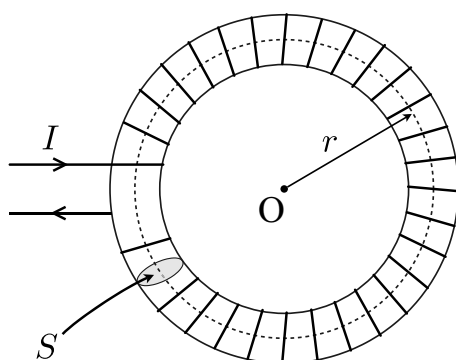


図1

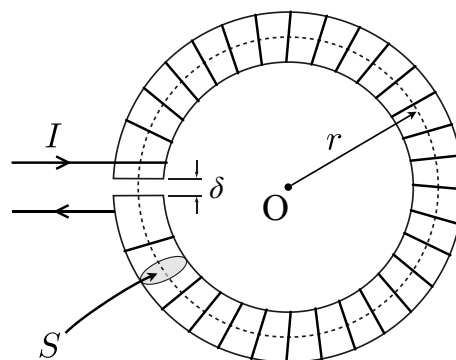


図2