

2024年7月6日

物理 試験問題

(120分)

[注意事項]

- 1) 問題はI～IIIの3問あります。3問すべて解答すること。
- 2) 解答は問題毎に別の解答用紙（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) 試験開始後は退出できません。

I

図のように、質量 M 、半径 a の密度が一様な球が、水平な床の上に静止している。球の中心を含む鉛直面内で、高さ h の点を水平方向に棒で突いて力積 F_t を与えたところ、球は動き出した。直後の球の重心の速度を v_0 とする。また、床との動摩擦係数は μ とする。以下の問 1~4 に答えなさい。解答の導出過程も示しなさい。必要な物理量があれば定義して明示しなさい。

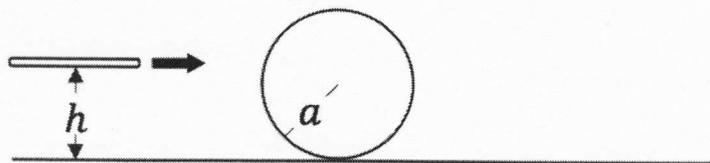
問 1 慣性モーメントの定義に従い、球の慣性モーメント $I = \frac{2}{5}Ma^2$ を導きなさい。

問 2 動き出した直後の球の重心まわりの角速度 ω_0 を求めなさい。ただし、角速度は図において時計回りを正とする。また、球が滑らずに転がる時の突く高さ h を a で表しなさい。

ある高さで突いたところ、球は重心まわりに角速度 $2\frac{v_0}{a}$ で、滑りながら時計回りに回転し、動き出した。

問 3 球と床との間に働く力を図示しなさい。

問 4 球が動き出した時刻を $t = 0$ として、時刻 t_c になったとき、球は滑らずに等速で転がり始めた。 t_c を求めなさい。



II

2 つの点電荷 $q, -q$ ($q > 0$) を間隔 d だけ離してそれぞれ $(0, 0, \frac{d}{2})$ と $(0, 0, -\frac{d}{2})$ の位置に固定した (電気双極子)。以下の問 1~4 に答えなさい。解答の導出過程も示しなさい。必要な物理量があれば定義して明示しなさい。

問 1 任意の位置 $\mathbf{r} = (x, y, z)$ での静電ポテンシャル $\phi(x, y, z)$ を求めなさい。ただし、真空中での誘電率を ϵ_0 とする。

問 2 原点から位置 \mathbf{r} までの距離を $r = (x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}$ とする。間隔 d に比べ原点から十分離れた位置 ($d \ll r$) での静電ポテンシャルを求めなさい。

問 3 問 2 の結果をもちいて電場 $\mathbf{E} = -\nabla\phi(x, y, z)$ の x, y, z 成分 E_x, E_y, E_z を求めなさい。

問 4 原点においた 1 つの点電荷 q がつくる電場と、問 3 で求めた電気双極子がつくる電場について、 z 軸上での電場の大きさを求めなさい。また、遠方で、電気双極子がつくる電場の方がはやく減衰する理由を説明しなさい。

III

以下の問 1~4 に答えなさい。解答の導出過程も示しなさい。必要な物理量があれば定義して明示しなさい。

- 問 1 図 1 の様に、半径 a の円形回路に定常電流 I が流れている。円の中心 O を通り、円の面に垂直な直線上の点 P での磁束密度の大きさと向きを求めなさい。ただし、 O から P までの距離を x とし、真空中での透磁率を μ_0 とする。
- 問 2 図 2 の様に、円筒形に導線を一様で密に巻いたコイルをソレノイドという。単位長さ当りの巻き数 n のソレノイドに、定常電流 I が流れているものとする。アンペールの法則をもちいて、ソレノイドの内側、および外側での磁束密度の大きさを求めなさい。また、ソレノイドの内側では磁束密度の大きさは場所によらず一定であることを示しなさい。ただし、ソレノイドは十分長く、端の効果は無視できるものとする。
- 問 3 図 3 の様に、ドーナツ状の円環に導線を一様に巻いたコイルをトロイドという。総巻数 N のトロイドに定常電流 I が流れているものとする。円環の中心 O から半径 r の同心円を考え、トロイドがつくる磁束密度の大きさを求めなさい。また、縦軸を磁束密度の大きさ、横軸を r としたグラフを描きなさい。ただし、中心 O 、円環の内側・外側の円、および考える同心円は紙面内にあり、内側、外側の円の半径はそれぞれ r_1 、 r_2 とする。
- 問 4 図 4 の様に、それぞれの単位長さ当りの巻き数が n_1 、 n_2 、長さが l_1 、 l_2 ($l_1 \gg l_2$)、断面積 S_1 、 S_2 ($S_1 < S_2$) の 2 つのコイル 1、2 が重ねておいてある。ここで、コイルの断面積とはコイルがつくる円の面積である。
- (1) コイル 1 の自己インダクタンスを求めなさい。
 - (2) コイル 1 と 2 の相互インダクタンスを求めなさい。
 - (3) コイル 1 に時間 t に対して変動する電位差 $\phi_1(t)$ をあたえ電流 $I_1(t)$ を流した時にコイル 2 に生じる起電力 $\phi_2(t)$ を求めなさい。

(次のページに続く)

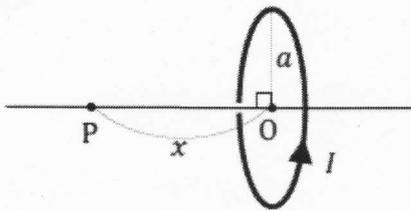


図 1

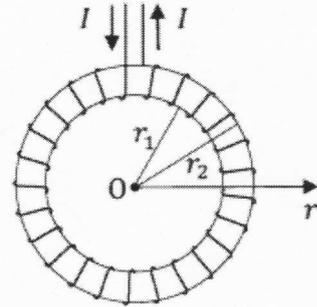


図 3

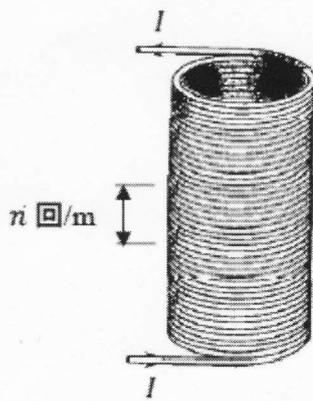


図 2

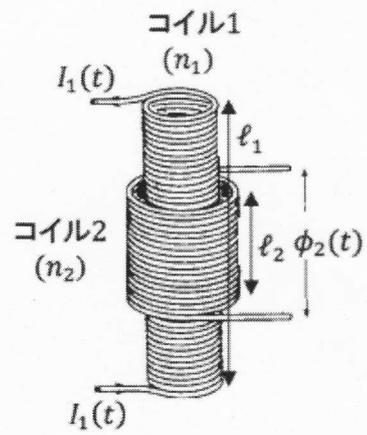


図 4