

物 理 学（90分）

〔注意事項〕

1. 監督者の指示があるまで、この問題用紙と解答用紙を開いてはいけません。
2. 問題は、表紙と白紙に続く4ページからなっています。また、解答用紙は3枚、下書用紙は1枚あります。監督者から解答開始の合図があったら、問題用紙、解答用紙、下書用紙を確認し、落丁・乱丁および印刷の不鮮明な箇所などがあれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
3. 解答用紙には、受験番号を記入する欄がそれぞれ2箇所ずつあります。監督者の指示に従って、すべての解答用紙（合計3枚）の受験番号欄（合計6箇所）に受験番号を必ず記入しなさい。
4. この問題用紙の白紙と余白は、適宜下書きに使用してよろしい。
5. 解答は、必ず解答用紙の指定された場所（問題番号や設問の番号・記号などが対応する解答欄の中）に記入しなさい。なお、指定された場所以外や、裏面への解答は採点対象外です。
6. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
7. この問題用紙と下書用紙は、持ち帰りなさい。

I

図のように、質量 M で半径 R の一様な円柱が水平で摩擦のない軸のまわりに回転する。円柱に巻き付けた軽いコードに質量 m の錘がつるされている。時刻 $t=0$ で静止状態から放す。回転軸に関する円柱の慣性モーメントを I 、重力加速度を g として、以下の問いに答えよ。

- (a) $I=MR^2/2$ であることを導け。ただし I は、軸からの距離 r での体積密度を ρ とすると、次式で与えられる。

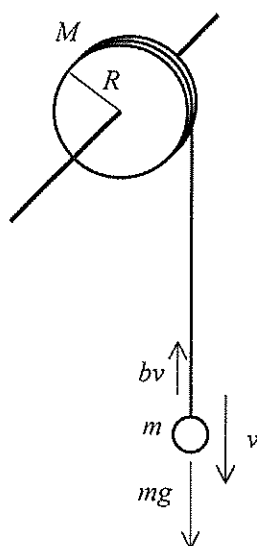
$$I = \int \rho r^2 dV$$

まず、錘が自由空間を落下する場合を考える。

- (b) コードにかかる張力の大きさはいくらか。
(c) 錘の加速度の大きさはいくらか。

つぎに、落下する速さ v に比例（比例定数 $b(>0)$ ）する抵抗 bv を受けながら、錘が落下する場合を考える。

- (d) t に関する v の微分方程式を記せ。
(e) 等速で落下する状態に至った錘の速さ（最終速さ）はいくらか。
(f) v を時刻 t の関数で表せ。



図

Ⅱ

電流が流れる電線のある空間について考えてみよう。ここでは、透磁率を μ で表し、その値を $4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ とする。単位には、SI 単位系を用いよ。

- (a) 図 1 のように、電流 I [A] の流れる無限に伸びる直線電線がある。電線から距離 r [m] 離れた場所の磁界の強さ H を、電流 I と距離 r を用いて、単位を含めて記せ。また、その向きについて、適切なものを図中の(ア)、(イ)より選択せよ。
- (b) 磁束密度の大きさを μ と H を用いて、単位を含めて記せ。
- (c) 地表から 10m の高さにある水平な直線状の送電線に、100A の直流電流が流れている。送電線直下の地表での磁束密度の大きさを求め、単位を含めて記せ。
- (d) 図 2 に示す xyz 空間において、 z 軸に平行に無限に伸びる直線電線 A, B, C, D に、図の記号の向きに電流が流れている。それぞれの電線に、10A の電流が流れるとき、原点 O における磁束密度の大きさと向きを求めよ。大きさは単位を含めて記せ。

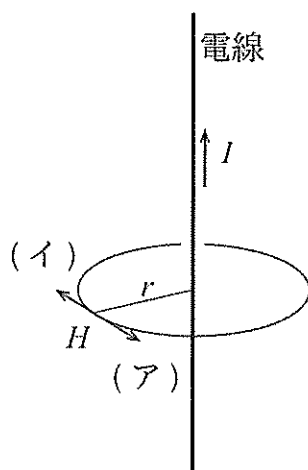


図 1

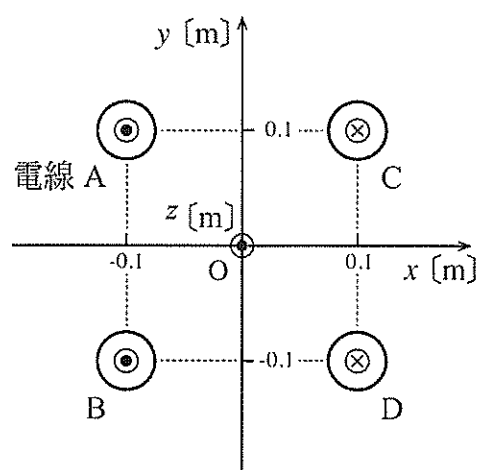


図 2

図3に示すように、水平に磁束密度の大きさ B の一様な磁界が印加され、巻き数 n のコイルに電流 I が流れている。コイルは長方形で短辺の長さが a 、長辺の長さが b である。コイルの A-D 間の中心および B-C 間の中心を通る直線上に軸があり、その片方はバネ定数 k のうずまきバネに接続されており、他方はなめらかな軸受けに接している。この軸には、うずまきバネの釣り合いの位置からの回転角 α に比例するトルク $k\alpha$ がはたらく。

- (e) コイル A-B 間に、磁界によりはたらく力の大きさを求め、その向きを図3の(ア)、(イ)より適切なものを選択せよ。
- (f) コイルに磁界によりはたらく力とうずまきバネの力が回転角 α の位置で釣り合った。このとき、バネ定数 k を求めよ。

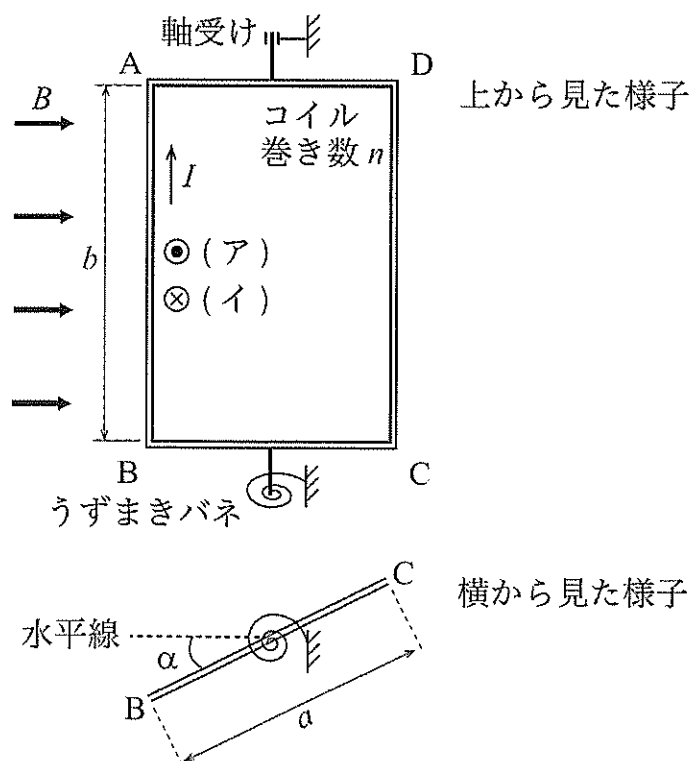
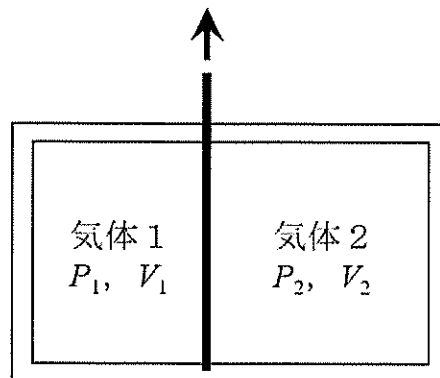


図3

III

単原子分子からなる n [mol] の理想気体について、以下の問いに答えなさい。
ただし、気体定数は R [J/(mol · K)] とする。

- (a) 気体の圧力を P [Pa]、体積を V [m³]、温度を T [K] とする。この気体の状態式を示しなさい。
- (b) 圧力一定の下で気体の温度が T_1 から T_2 へ変化し、同時に体積が V_1 から V_2 へ変化した。変化前後の温度と体積の関係を示しなさい。
- (c) 外部から気体に熱量 ΔQ が加えられた。その際の内部エネルギーの増加を ΔU 、外部へなされた仕事を ΔW として、熱力学の第 1 法則を示しなさい。また、内部エネルギーとは具体的にはどのようなエネルギーであるのかを気体を構成する分子原子と関係づけて答えなさい。
- (d) 外部から気体へ熱が加えられた。その際に、温度が一定の状態ですべての圧力が P_1 から P_2 へ変化し、同時に体積が V_1 から V_2 へ変化した。外部から加えられた熱量を求めなさい。
- (e) 下図に示すように、取り除くことが可能な薄い仕切りによって区切られた密閉容器を考える。左の部屋は圧力が P_1 、体積が V_1 の状態で気体 1 により満たされ、右の部屋は圧力が P_2 、体積が V_2 の状態で気体 2 により満たされている。容器の仕切りを取り除いて気体を混合させた後の圧力を、 P_1 および P_2 を用いて示しなさい。なお、混合前の気体 1 および気体 2 の温度は同じで、混合後も変化しなかったとする。



図

(以上)