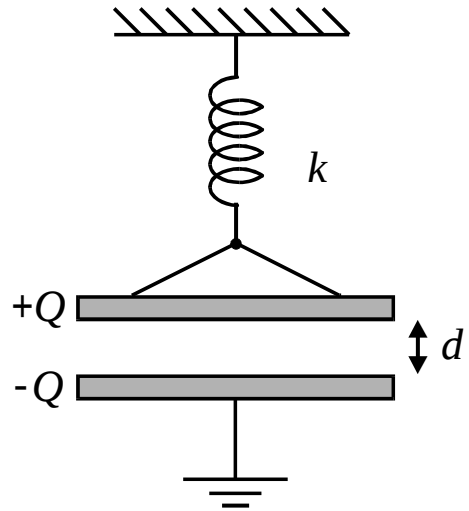


問題 II

問1 図のような真空中に置かれた平行平板コンデンサーについて考える。このコンデンサーでは下の極板が固定されており、上の極板はばね（ばね定数 k ）で吊り下げられている。また、極板の間隔は、電荷が蓄えられていないとき d_0 であったが、電荷 Q を与えたところ d に変化した。極板の面積を S 、真空の誘電率を ϵ_0 とし、電場は極板に垂直でコンデンサー内部にのみ存在するものとして以下の設問に答えよ。

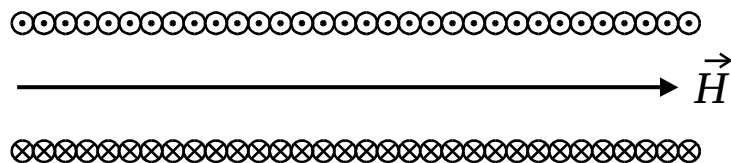


1-1. ガウスの法則を用いてコンデンサー内部の電場の大きさ E を求めよ。

1-2. 電場による真空中のエネルギー密度が $\epsilon_0 E^2 / 2$ で与えられることからコンデンサーの静電エネルギーを計算し、極板間に働く力の大きさと向きを求めよ。

1-3. このコンデンサーでは d が Q に依存するので、極板間の電位差 V は Q に比例しなくなる。上の極板に働く力の釣り合いを考えることにより d の Q 依存性を求め、それを用いて V と Q の関係を導け。

問2 真空中で、単位長さあたり N 回の巻き数を持つ無限に長いソレノイドに電流 I が流れている。図のように、ソレノイドの内部（断面積を S とする）で磁場 $\vec{H}$ は一様で長さの方向を向いている。外部に磁場は存在しないものとして以下の設問に答えよ。



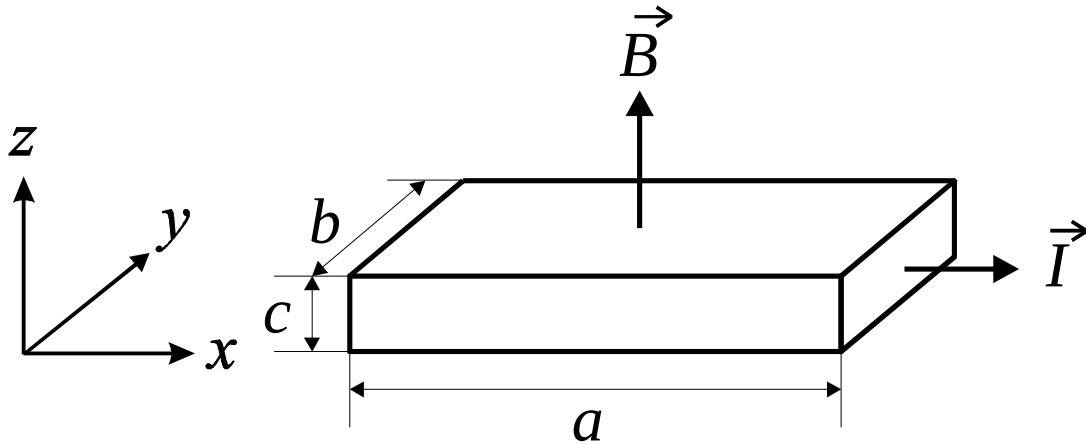
2-1. アンペールの法則を用いてソレノイドの内部に生じる磁場の大きさ H を求めよ。

2-2. ソレノイドの内部の空間に蓄えられる、単位長さあたりの磁場のエネルギーを I を用いて表せ。ただし真空中における磁場 $\vec{H}$ のエネルギー密度は真空の透磁率 μ_0 を用いて $\mu_0 \vec{H}^2 / 2$ である。

2-3. 次に、電流 I を微小時間 Δt の間に ΔI だけゆっくりと増加させることを考える。この時、ソレノイドにその単位長さ当たり V の誘導起電力が発生するとすれば、これに抗して電流を流すには $IV\Delta t$ の仕事が必要となる。この仕事はすべて磁場エネルギーに変化するも

のとして、 V を電流の時間微分 $\frac{dI}{dt}$ を用いて表せ。

問3 図のように、 x 、 y 、 z 方向の長さが、それぞれ a 、 b 、 c の直方体の形状をした導体に x 方向に定常電流 $\vec{I}$ を流す。導体内部の荷電粒子の質量を m 、電荷を q 、粒子数密度を n として、以下の設問に答えよ。



3-1. 荷電粒子の x 方向の平均速度成分 v_x は、運動方程式 $m \frac{dv_x}{dt} = qE_x - \frac{mv_x}{\tau}$ に従うとする。ここで、 E_x は x 方向の電場成分、 τ は緩和時間である。 E_x が一定の時、この方程式の定常解 $\bar{v}$ を求めよ。

3-2. 定常電流の大きさ I を、 $\bar{v}$ を用いて表せ。

3-3. 3-1 と 3-2 より、 x 軸に垂直な 2 つの表面間の電位差 V_x と I の間にオームの法則が成り立つことが分かる。その時の電気抵抗 R を求めよ。

3-4. 次に、この導体を z 軸方向の一様な磁束密度 $\vec{B}$ 中に置いた場合を考える。はじめ、荷電粒子はローレンツ力により曲げられる。その結果、 y 軸に垂直な表面に電荷が生じるとする。定常状態では、この電荷による静電力がローレンツ力と相殺し、 x 方向にのみ電流が流れる。この時、 y 軸に垂直な 2 つの表面間の電位差 V_y を $\bar{v}$ と磁束密度の大きさ B を用いて表せ。

3-5. 直接測定可能な物理量 V_y 、 c 、 I 、 B により、 $R_H = \frac{V_y c}{IB}$ と表される量は、導体の寸法には依存しないパラメータとなる。 R_H より、導体のどんな性質がわかるか答えよ。