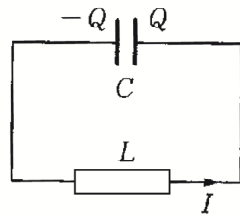
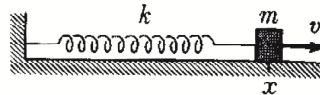


0. 導体でつながれた素子からなる電気回路を考える。この回路は十分ゆっくり動作させ、素子をつなぐ導体には電荷はたまらないとする。また素子の外には磁場は漏れていないとする。以下の問いに答えよ。
- (a) キルヒホッフの第一法則、第二法則が成り立つことを説明せよ。
- (b) インピーダンス z_1 、 z_2 の素子を直列につなぐと、回路において 2 つを合わせた効果はインピーダンス $z_p = z_1 + z_2$ を持つ素子 1 つと同じであることを示せ。
- (c) 並列につなぐ場合には、 $z_p = z_1 z_2 / (z_1 + z_2)$ となることを示せ。
1. 図 (a) のような電気容量 C のコンデンサと、自己インダクタンス L のコイルの回路がある。 C に蓄えられている電荷を Q 、回路を流れる電流を I とする。



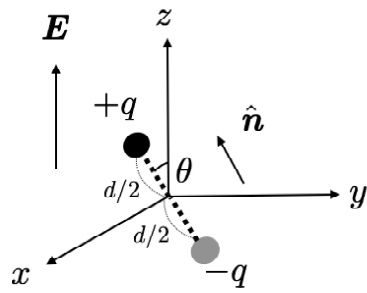
(a)



(b)

- (1) $t = 0$ で $Q = q_0$ 、 $I = 0$ であった。 Q を t の関数として求めよ。
- (2) この回路での Q の振る舞いは、図 (b) のようなばねにつながれた質点の運動に対応させることができる。この「コンデンサ、コイル」と「質点、ばね」との対応を説明せよ。
2. 電気双極子モーメント \mathbf{p} が電場 \mathbf{E} の中に置かれている。この系の位置エネルギーが $U = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$ のように表せることを示そう。図のように $\pm q$ の電荷を持ち、距離 d 離れた 2 つの点電荷からなる電気双極子を考える。
- 電気双極子は長さを変えることはできず、中心が原点 O にあり、向きを表す単位ベクトルを図のように $\hat{\mathbf{n}}$ とする。電気双極子モーメントは、 $\mathbf{p} = qd\hat{\mathbf{n}}$ となる。電場は z 軸に平行とし、電気双極子は xz 平面内にあるとする。このようにしても一般性を失わない。
- (a) 電気双極子全体に働く力は 0 となること、また電気双極子全体に働く、 y 軸を回転軸としたトルク¹は $\mathbf{N} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$ 、すなわち電気双極子を電場の向きに揃えるようなトルクが発生することを示せ。

¹力を \mathbf{F} とすれば、トルクは力の加わる点の位置ベクトルを \mathbf{r} として、 $\mathbf{N} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$ である。



- (b) このトルクに逆らってする仕事を考え、 $U = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$ となることを示せ。ただし \mathbf{p} と \mathbf{E} が垂直なときにエネルギーが0とする。²

²ヒント：外力 \mathbf{F}_{ex} のする仕事によって増大するエネルギーは $dU = \mathbf{F}_{\text{ex}} \cdot d\mathbf{r}$ ここで微小変位 $d\mathbf{r}$ は、例えば、 y 軸の周りに角度 $d\theta$ だけ回転させる場合、 $d\mathbf{r} = r d\theta \hat{\theta}$ ただし r は y 軸との距離、 $\hat{\theta} = \hat{y} \times \hat{r}$ はこの回転方向の単位ベクトルである。