物理学基礎II（電磁気学），担当 谷村省吾，平成30年度 講義ノート6

電場中の荷電粒子の運動

電場と運動方程式

空間の各点$\boldsymbol{r}$ごとに電場$\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r})$があるとする．そこに電荷$q$を持つ**荷電粒子** (charged particle) があり，時刻tにおける粒子の位置ベクトルを$\boldsymbol{r}(t)$とすると荷電粒子は

$$\boldsymbol{F} = q\,\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}(t)) \tag{1}$$

を受ける．一方で，ニュートンの運動法則によれば，質量mの粒子が力$\boldsymbol{F}$を受けると

$$m\frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2} = \boldsymbol{F} \tag{2}$$

で与えられる加速度を生じる．電場が与える力の式 (1) と運動方程式 (2) を用いると，電場の中での荷電粒子の運動を求めることができる．

現実には，荷電粒子があれば，それ自体が電場を作るし，荷電粒子が動いていれば，それが磁場も作るのだが，ここでは，荷電粒子自体が生み出す電磁場の変化は考慮せず，与えられた電場は荷電粒子の存在によって変わらないと仮定して，荷電粒子の運動を論ずる．そのような電場を**外場** (external field) ともいい，外場から受身的に力を受けるだけの荷電粒子を**試験粒子** (test particle) という．あるいは，試験粒子が作る電場や磁場は試験粒子自体に力を及ぼさないと考える．

問1. 力学における保存力と位置エネルギーの定義を述べよ．また，力学的エネルギー保存則とは何か説明せよ．

一様電場

すべての場所での電場の大きさと向きが等しいような電場を**一様電場** (uniform electric field) という．3次元空間中の一様電場は各成分

$$\boldsymbol{E} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} \tag{3}$$

が定数である．

問2. 2次元平面で電場が

$$\boldsymbol{E} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -E \end{pmatrix} \tag{4}$$

で与えられているとき，質量mと電荷qを持つ粒子の運動方程式を解け．また，直交座標(x, y)における粒子の軌跡を求めよ．

球体に一様分布している電荷が作る電場

問3. 半径aの球体内部に一様な密度で電荷が分布しており，その全電荷量Qは正であり，球体は動かないように固定されているとする．質量mと負の電荷$-q$を持つ粒子があり，この粒子は球体外部でも球体内部でも電場からの力だけを受けて動くとする．以下の問に答えよ．
(1) 球体内部に荷電粒子をそっと置いたとき（初速度がゼロだったとき），運動方程式を解いて，この粒子の運動を説明せよ．
(2) 球体内部で荷電粒子に任意の初速度を与えたとき，運動方程式を解いて，この粒子の運動を説明せよ．

（このノートはこのページで終わりである.）