

4 デバイ遮蔽

プラズマ中に電位を与えても、まわりのプラズマが集まって来てそれを遮蔽する。しかし、この遮蔽は完全ではない。これをデバイ遮蔽と言う。この現象は、プラズマの特徴でもある。

高校物理の確認

原点に電荷 $+Q$ を固定して置いた。通常電位が 0 の基準点を、 とする。このとき、原点から r_0 だけ離れたところの電位は、 であり、電場は である。そこに、電荷 $-Q$ を置くと、この電荷には と呼ばれる力が働き、その値は、 である。また、力の向きは である。

電磁気学の確認

原点に電荷 $+Q$ が固定されている。距離 r の点での電場を求めるには、原点を中心として半径 r の球を考え、その内部に関して の定理を適用して求める。電位 ϕ と電場 E との間には、 の関係がある。異なる電位の二点の間を電荷が移動するとき、その電荷が得る(失う)エネルギーは、二点の電位だけで決まり、移動した によらない。このように二点間だけで決まるエネルギーを と言う。

参考書 (F. Chen 著「プラズマ物理入門」) p.7 のように電池をつないだ電極をプラズマに挿入した。

1. プラズマ中にどのような電位が現れるか。または、どのような電場が形成されるか。
2. この電場を感じて、プラズマ中の電子やイオンはどのように動くか。
3. 電子やイオンが動くことによって、どのような電場ができるか。(電子やイオンは荷電粒子であるので、電場を作ることができる。)
4. 電極の周辺を囲むような領域を考え、その中の電荷密度を考えよ。

どうして遮蔽は、完全にはならないのか。

デバイ長

電場の及ぶ特性長をデバイ長または、デバイの長さと言う。「特性長」とは、目安の長さの意味である。現象が \exp で変化するとき、その値が $1/e$ になるところを言う。

☞ 物理現象には、時間とともに徐々に減衰して限りなく 0 に近づく現象が多く見受けられる。

- ☞ どれくらいで、0 になるかは、無限の時間が必要なので「どの程度」と言うことができない。
- ☞ そのため、目安になる時間を決めている。
- ☞ 電気回路で出てくる「CR の時定数」も目安の時間であり、その回路の特性時間であるとも言える。

デバイ長 λ_D は、

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{ne^2}}$$

で表される。実用的には、

$$\lambda_D = 740 \sqrt{\frac{T}{n}} \text{ cm}$$

ここで、 T は、eV 単位、 n は、 cm^{-3} 単位。

プラズマの常識 3

プラズマに電場を印加しても、デバイ長程度しかその影響が及ばない。一般に非常に短い距離である。

問題 35 真空中の原点に $+Q$ の電荷がある。 $x = x_0$ の点から $x > 0$ の方向に初速度 v で電荷量 $-e$ 、質量 m の電子が飛び出す。この電子が原点に戻ってこないようにするには、最低どれだけの速度が必要か。

問題 36 距離 d だけ離れた二枚の平行平板よりなる陽極と陰極の間に V_p の電圧をかけ、陰極から初速度 0 の電子が出られるとする。陽極の単位面積あたりに流れ込む電流を求めよ。ただし、電極の端の影響は考えず、電場は電極に垂直で、電子は陽極に向かってまっすぐ進むものとする。

問題 37 容量 C コンデンサーを電圧 V_0 に充電し、両端を抵抗 R に接続して放電した。コンデンサーの両端の電圧 V は時間とともにどのように変化するか。放電開始の時刻を $t = 0$ として式を導き、それをグラフにせよ。

問題 38 $n = 1 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 、 $T = 4 \text{ eV}$ のプラズマがある。デバイ長を計算せよ。

問題 39 半径がデバイ長の球を考える。(これをデバイ球と言うことがある。) この中にどれだけのプラズマ電子が入っているか。

問題 40 デバイ長以上に電場を印加するには、どうしたらいいだろうか。今までの議論で、暗黙のうちに仮定していたことがある。それを指摘せよ。