

## ROSEリポジトリいばらき（茨城大学学術情報リポジトリ）

Title	空間電荷効果について
Author(s)	間瀬, 節藏
Citation	茨城大学工学部研究集報(2(1)): 14-17
Issue Date	1949-09
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10109/7866">http://hdl.handle.net/10109/7866</a>
Rights	

このリポジトリに収録されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作権者に帰属します。引用、転載、複製等される場合は、著作権法を遵守してください。

お問合せ先

茨城大学学術企画部学術情報課（図書館） 情報支援係  
<http://www.lib.ibaraki.ac.jp/toiawase/toiawase.html>

## 空間電荷効果について

On the Effect of Space Charge.

間瀬節藏 (Setuzo Mase)

ABSTRACT— In this paper, the effect of space charge on the potential distribution and electron stream between the electrodes in the Osaka-tube, which is a kind of electron oscillation tubes, are discussed.

Assuming that, when no space charge exists in the space the potential distribution on the central axis between the electrodes is parabolic as shown in fig. 1, the potential  $\Pi$  is given by

$$\Pi = \Pi_0 \left\{ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^2 \right\}.$$

When the charge is saturated in the space the potential  $V$  is given by the differential equation

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{d^2\Pi}{dx^2} + 4\pi \times \frac{2I}{v},$$

where  $I$  is the saturated electron current density on one way, and  $v$  is the velocity of an electron.

If the initial velocity of the electron is neglected,  $v$  is given by

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}},$$

where  $e$  and  $m$  are charge and mass of an electron respectively.

From the above four equations, we obtain Eq. (10) and Eq. (11). The equation (10) gives the potential distribution and is shown in fig. 2. drawn in the last of this paper. The equation (11) represents the saturated electron current, the constant coefficient of which is larger about 23 % than that in case of the linear distribution.

空間電荷効果については, Child<sup>(1)</sup> 及び Langmuir<sup>(2)</sup> が早くから研究し, 平行な平面電極及び円筒電極等の場合に於いて空間電荷の電位分布及び電子流に及ぼす影響を論じ, その解法を与えている。電子振動に及ぼす空間電荷の影響については, Gill<sup>(3)</sup> 及び Tonks<sup>(4)</sup> などが平面電極の場合を, 又 Kapzov 並びに Gwosdower<sup>(5)</sup> が円筒電極の場合を論じている。

本文では電子振動管の一極である大隈管の内部の電位分布及び電子流に及ぼす空間電荷の影響について計算する。

電気振動の発生している場合には, 振動電圧のため電子は簡単な往復運動をなさず, 補助電極に捕えられたり, 密度交調を行ったりして電子の流れが複雑となるので, 本文では簡単のため外部回路に電気振動の発生していない場合, 若くは振動電圧の極めて弱い場合について考える。換言すれば総ての電子は簡単な往復運動をなすものとする。又外部から軸方向に加える磁界の影響も度外視して考える。

大隈管の中心軸上に  $x$  軸をとり, この軸上の電位分布を考えよう。電子流の存在しないときの軸上の電位  $\Pi(x)$  を拋物線形即ち

$$\Pi = \Pi_0 \left\{ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^2 \right\} \dots \dots \dots (1)$$

と仮定する。但し分割陽極片  $A, A$  の中間を  $x = 0$  とする。

$x$  軸上の任意点に於ける空間電荷密度

を  $\rho$ , そこでの電子の  $x$  方向

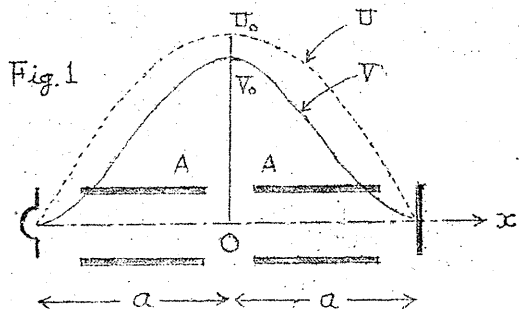
の速度を  $v$  とすると, 往復す

る電子流の片道の電流密度

$I$  は

$$I = \frac{1}{2} \rho v \dots \dots \dots (2)$$

この場合の軸上の電位を  $V$  と



(1) Child: Phys. Rev. p.449, (1911)  
 (2) I. Langmuir: Phys. Rev. 21, p.419, (1923); 22, p.347, (1923)  
 (3) E.W.B. Gill: Phil. Mag. 49, p.993, (1925); 12, p.843, (1931)  
 (4) L. Tonks: Phys. Rev. 30, p.501, (1927)  
 (5) N. Kapzov u. S. Gwosdower: Z. f. Phys. 45, p. 114, (1927)

すれば

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{d^2\Pi}{dx^2} + 4\pi\rho \quad \dots\dots\dots (3)$$

又電子の速度  $v$  は、軸上両端で  $v=0$  とすると

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに  $e$  及び  $m$  はそれぞれ電子の電荷及び質量である。

(1), (2) 及び (4) を使って (3) は

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{2\Pi_0}{a^2} + \frac{8\pi I}{\sqrt{\frac{2e}{m}}} V^{-\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。これを一度積分し、 $x=a$  で  $V=0$ ,  $dV/dx=0$  という条件を使えば

$$\left(\frac{dV}{dx}\right)^2 = \frac{4\Pi_0}{a^2} \left\{ -V + \frac{8\pi a^2 I}{\Pi_0 \sqrt{\frac{2e}{m}}} V^{\frac{1}{2}} \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。ここで  $\rho$  を常数として

$$\frac{8\pi a^2 I}{\Pi_0 \sqrt{\frac{2e}{m}}} = \rho \Pi_0^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

とおくことができる。従って (6) は

$$\frac{dV}{dx} = \pm \frac{2\sqrt{\Pi_0}}{a} \left\{ \rho \sqrt{\Pi_0 V} - V \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる。右辺の複号のうち正は  $x < 0$  の部分、負は  $x > 0$  の部分に対するものである。以下負の場合即ち Fig. 1 の中央より右側について計算する。(8)を積分し、 $x=a$  で  $V=0$  とすれば

$$\frac{x}{a} = 1 - \rho \frac{\pi}{2} + \rho \tan^{-1} \sqrt{\rho \sqrt{\frac{\Pi_0}{V}} - 1} + \sqrt{\rho \sqrt{\frac{V}{\Pi_0}} - \frac{V}{\Pi_0}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで  $\rho$  の値を決めるため、 $x=0$  で  $V=V_0 (< \Pi_0)$  という条件を使えば (9) より

$$1 - \rho \frac{\pi}{2} + \rho \tan^{-1} \sqrt{\rho \sqrt{\frac{\Pi_0}{V_0}} - 1} + \sqrt{\rho \sqrt{\frac{V_0}{\Pi_0}} - \frac{V_0}{\Pi_0}} = 0$$

 $V_0$  は  $\Pi_0$  に近い値であるから、今  $V_0/\Pi_0 = 0.9$  として上式より  $\rho$  を求め

て見ると  $\rho = 1.1$  となる。従って (9) 式は

$$\frac{x}{a} = -0.73 + 1.1 \tan^{-1} \sqrt{1.1 \sqrt{\frac{\Pi_0}{V}} - 1} + \sqrt{1.1 \sqrt{\frac{V}{\Pi_0}} - \frac{V}{\Pi_0}} \quad \dots (10)$$

(10) 式を図示すれば Fig. 2 のようになり、両端附近を除いては一見直線状電位分布に似ているが、電位傾度曲線からその変化の様子がよくわかる。

なお (7) より飽和電流  $I$  は

$$\begin{aligned} I &= \frac{1.1 \sqrt{\frac{2e}{m}}}{8\pi} \times \frac{\Pi_0^{3/2}}{a^2} \\ &= 2.87 \times 10^{-6} \frac{\Pi_0^{3/2} (\text{volt})}{a^2 (\text{cm})} \left[ \text{A/cm}^2 \right] \quad \dots (11) \end{aligned}$$

となる。これを直線状電位分布を持つ場合の式

$$\begin{aligned} I &= \frac{\sqrt{\frac{2e}{m}}}{9\pi} \cdot \frac{\Pi_0^{3/2}}{a^2} \\ &= 2.33 \times 10^{-6} \frac{\Pi_0^{3/2} (\text{volt})}{a^2 (\text{cm})} \left[ \text{A/cm}^2 \right] \end{aligned}$$

とくらべると 常数係数が約 23% 増加している。

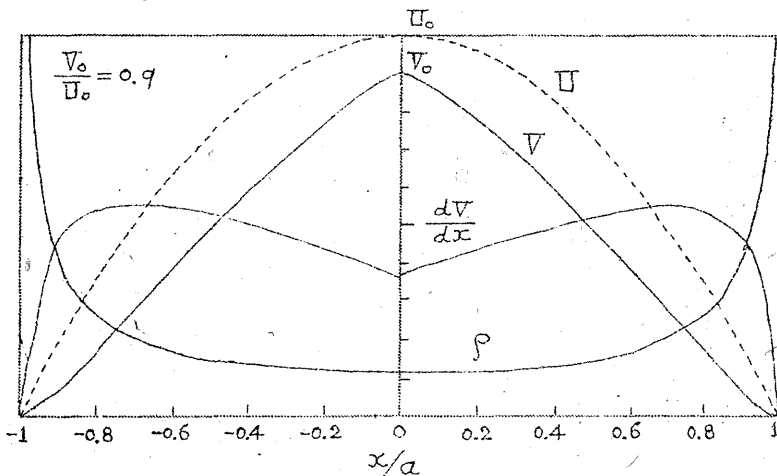


Fig. 2.