

NGHIÊN CỨU HÀM PHÂN BỐ ELECTRON THEO NĂNG LƯỢNG TRONG PLASMA PHÓNG ĐIỆN KHÍ CỦA HỖN HỢP THUỶ NGÂN VÀ KHÍ HIẾM KHI ÁP SUẤT NÂNG CAO BẰNG PHẦN MỀM MATLAB

Lê Văn Hiếu

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 07 tháng 10 năm 2004, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 27 tháng 10 năm 2004)

TÓM TẮT: Việc xác định hàm phân bố electron theo năng lượng có ý nghĩa rất quan trọng trong việc tính toán các đặc trưng điện động của plasma phóng điện khí. Qua đó có thể tối ưu hoá các điều kiện làm việc của nguồn sáng phóng điện khí. Tuy nhiên việc tính toán hàm phân bố khi đo được áp suất nâng cao lớn hơn 3 Torr) thông qua đạo hàm bậc hai của dòng đầu dò rất phức tạp. Trong trường hợp này cần tính đến sự khuếch tán của electron đến đầu dò, giải phương trình tích phân Volterra loại 2[4]. Trong bài báo này chúng tôi nghiên cứu hàm phân bố electron theo năng lượng trong plasma phóng điện khí của hỗn hợp Hg và Ar nhờ tuyến tính hoá phương trình phi tuyến này bằng cách thực hiện tính các hệ số khai triển ở bậc cao hơn.

MỞ ĐẦU

Việc nghiên cứu các đặc trưng điện động của plasma của nguồn sáng đèn huỳnh quang phóng điện khí trong hỗn hợp (Hg + khí hiếm) được thực hiện nhờ phương pháp đầu dò Langmuir, bằng cách đo đạo hàm bậc hai của dòng đầu dò theo điện thế đầu dò. Sơ đồ thực nghiệm được thực hiện ở chế độ phóng điện xung [4] cho phép khắc phục tối đa các sai số ảnh hưởng lên phép đo. Kết quả được tính toán bằng cách sử dụng công thức Druyvestein [2] chỉ áp dụng trong trường hợp áp suất khí hiếm từ 1 – 3 Torr. Với khuynh hướng ngày nay là compact hoá các loại nguồn sáng này (thu nhỏ bán kính ống phóng điện), cần phải nâng cao áp suất khí hiếm ($p_{kh} > 3\text{Torr}$) với mục đích làm suy giảm bức xạ có hại cho lớp bột huỳnh quang và tăng cường bức xạ có lợi 2537 Å⁰[6]. Trong trường hợp này cần tính toán đến sự khuếch tán của electron đến đầu dò và việc xác định hàm phân bố electron theo năng lượng thông qua việc giải phương trình Volterra loại 2.

1. LỜI GIẢI PHƯƠNG TRÌNH TÍCH PHÂN CỦA HÀM PHÂN BỐ

Để tìm hàm phân bố electron theo năng lượng nhờ số liệu thực nghiệm về đạo hàm bậc hai của đầu dò, ta cần phải giải phương trình [4]:

$$\frac{3m^2\gamma_0}{8\pi e} \frac{d^2 j_e(eV)}{d(eV)^2} = f(eV) + \int_{eV}^{\infty} \frac{d^2 K(\varepsilon, eV)}{d(eV)^2} f(e)d(\varepsilon) \quad (1.1)$$

$$\frac{d^2 K(\varepsilon, eV)}{d(eV)^2} = \frac{2\psi(\varepsilon)/\varepsilon}{\left[1 + \psi(\varepsilon)\left(1 - \frac{eV}{\varepsilon}\right)\right]^3} \quad (1.2)$$

Sự phụ thuộc theo năng lượng của hàm $\psi(\varepsilon)$ tùy thuộc sự phụ thuộc của quãng đường tự do của electron $\lambda(\varepsilon)$ theo năng lượng của electron ε .

Theo [4], các tác giả đã đề nghị lời giải xác định hàm phân bố từ phương trình (1.1) nhờ vào việc đưa vào đa thức P_n là 1 đa thức bậc n như sau:

$$f(eV) = \frac{j''_e}{C} \frac{P'(eV)}{P'(eV) - 2g} \quad (1.3)$$

Đa thức $P_n(\varepsilon)$ được xác định từ kết quả thực nghiệm của việc đo đạo hàm bậc hai dòng đầu dò j''_e . Ở đây chúng tôi sử dụng phương pháp gần đúng để xác định $P_n(\varepsilon)$.

Thực vậy, từ công trình [1] của chúng tôi thì $j''_e(eV)$ sẽ có dạng:

$$j'_e (eV) = C\phi(eV) \exp[-P_n (eV)] \left[1 - \frac{P'_n (eV)}{2g} \right] \quad (1.4)$$

$$P_n (eV) = \sum_{n=0}^N A_n \left(\frac{eV}{kT_e} \right)^n ; P'_n (eV) = \sum_{n=0}^N \frac{n}{kT_e} A_n \left(\frac{eV}{kT_e} \right)^{n-1} \quad (1.5)$$

Việc xác định chính xác các hệ số khai triển A_n của đa thức $P(eV)$ cho phép xác định được chính xác hàm phân bố electron theo năng lượng từ (1.3).

2. TUYẾN TÍNH HOÁ PHƯƠNG TRÌNH PHI TUYẾN (9)

Để tìm các hệ số A_n chúng tôi đề nghị phương pháp tuyến tính hoá phương trình phi tuyến (1.1) như sau:

Đặt $eV = x$, $\frac{J''(eV)}{C.\phi(eV)} = y(x)$, $-P' (eV) = f(x)$

Pt (1.4) được viết lại như sau:

$$e^{f(x)} \left(1 + \frac{f'(x)}{g(x)} \right) = y(x) \quad (2.1)$$

Giải phương trình trên bằng cách đưa vào hàm $g(x)$ và $\psi(x)$ như sau:

$$\frac{q'(x)}{q(x)} = f(x) \quad (2.2)$$

$$\psi(x) = q(x) \cdot e^{f(x)} \quad (2.3)$$

Lấy đạo hàm $\psi(x)$ ta có:

$$[q(x) e^{f(x)}]' = q'(x) \cdot y(x) \quad (2.4)$$

Tích phân phương trình (2.2) từ x_0 đến x và thay phương trình (2.4) vào:

$$q(x) e^{f(x)} - q(x_0) e^{f(x_0)} = \int_{x_0}^x q'(t) y(t) dt \quad (2.5)$$

suy ra $f(x) = \ln \frac{q(x_0) e^{f(x_0)} + \int_{x_0}^x q'(t) \cdot y(t) dt}{q(x)}$ (2.6)

đặt $e^{f(x_0)} = s$ (2.7)

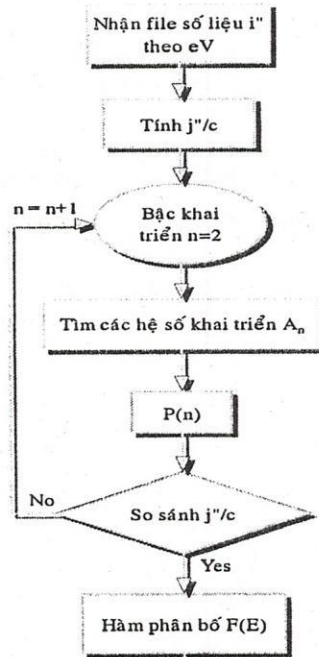
khai triển $f(x)$ đến bậc i :

đặt $B_i(S) = \ln \frac{S + \int_{x_0}^x q'(t) \cdot y(t) dt}{q(x_i)}$ (2.8)

việc tìm các số hạng $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ cho bởi hệ phương trình:

$$\begin{cases} A_0 + A_1 x_1 + A_2 x_1^2 + \dots + A_n x_1^n = B_1(s) \\ A_0 + A_1 x_2 + A_2 x_2^2 + \dots + A_n x_2^n = B_2(s) \\ \cdot \\ \cdot \\ A_0 + A_1 x_n + A_2 x_n^2 + \dots + A_n x_n^n = B_n(s) \end{cases} \quad (2.9)$$

Giải hệ (2.9) nhờ lập trình tính toán bằng phần mềm Matlab 6.0 theo sơ đồ khối của chương trình tính được cho như sau:



Hình 1: Sơ đồ khối của chương trình.

3. THỰC NGHIỆM

Trong bài báo này chúng tôi tính toán hàm phân bố electron theo năng lượng trong plasma phóng điện khí của hỗn hợp Hg và Ar trong điều kiện đo như sau :

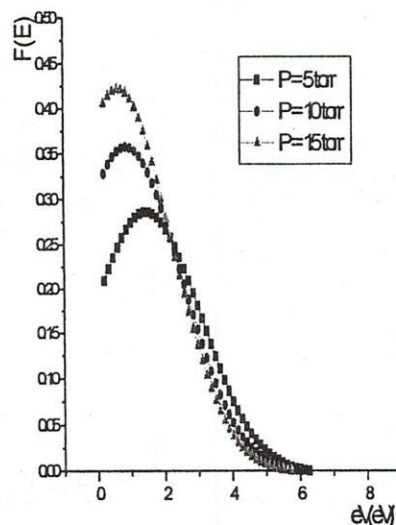
- Áp suất khí hiếm: 5 – 20 Torr
- Nồng độ nguyên tử Thủy Ngân: $10^{14} - 5.10^{14} \text{ cm}^{-3}$
- Bán kính ống phóng điện: $\leq 1 \text{ cm}$
- Cường độ dòng phóng điện: 100mA – 500mA

Kết quả thực nghiệm nhận được tại phòng thí nghiệm Vật lý Plasma, Đại học tổng hợp Saint Petesbug [4], đã dùng phương pháp phóng điện xung để loại bỏ hiện tượng điện di trong phóng điện dòng không đổi.

3.1. Sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng khi thay đổi áp suất khí Ar

Điều kiện đo: $R = 0.5\text{cm}$ $T_{\text{Hg}} = 42^\circ\text{C}$ $i = 240 \text{ mA}$
 $P_{\text{Ar}} = 5 \text{ Torr}$ 10 Torr 15 Torr

Sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng theo áp suất khí Ar được biểu diễn ở hình 2



Hình 2: Sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng theo các áp suất khác nhau

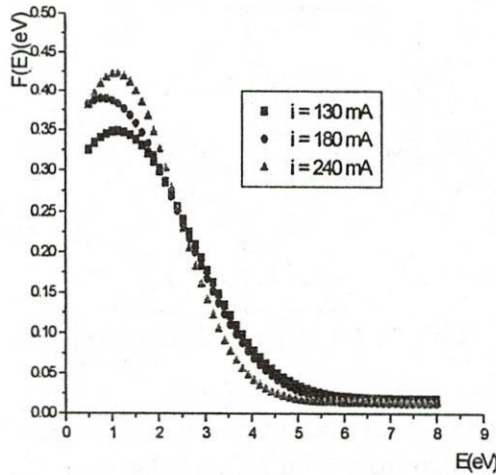
Nhận xét:

Đuôi của hàm phân bố electron theo năng lượng giảm nhanh khi tăng áp suất khí hiếm Ar cho thấy tăng số electron hiệu dụng để kích thích nguyên tử Hg ở các mức năng lượng tương ứng với hoạt động của nguồn sáng huỳnh quang.

3.2. Sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng khi thay đổi cường độ dòng phóng điện

Điều kiện đo: $R = 0.5\text{cm}$ $T_{\text{Hg}} = 42^\circ\text{C}$ $P_{\text{Ar}} = 15\text{ Torr}$
 $i = 130 \quad 180 \quad 240\text{ mA}$

Sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng theo cường độ dòng phóng điện được biểu diễn ở hình 3



Hình 3: Sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng theo cường độ dòng phóng điện

Nhận xét:

Hàm phân bố electron theo năng lượng giảm nhanh ở vùng năng lượng lớn hơn ngưỡng kích thích nguyên tử Hg khi tăng cường độ dòng phóng điện.

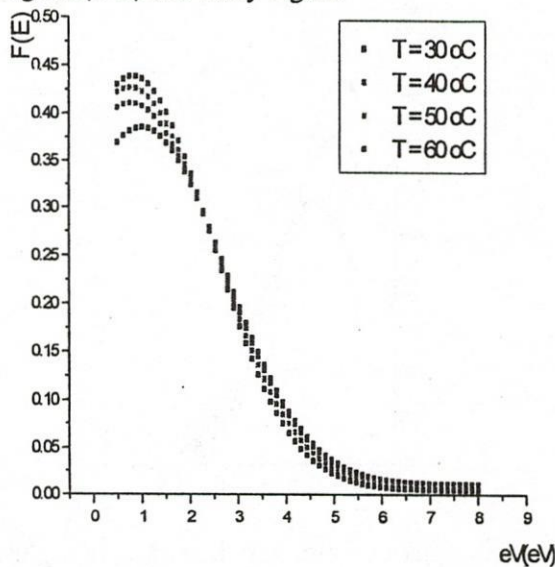
3.3. Sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng khi thay đổi nhiệt độ hơi thủy ngân

Điều kiện đo: $R = 0.4\text{cm}$ $P_{\text{Ar}} = 15\text{ Torr}$ $i = 250\text{ mA}$
 $T_{\text{Hg}} = 30, 40, 50, 60^\circ\text{C}$

Đồ thị biểu diễn sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng theo nhiệt độ hơi Thủy Ngân được biểu diễn ở hình 5.

Nhận xét:

Hàm phân bố electron theo năng lượng giảm nhanh ở vùng năng lượng lớn hơn ngưỡng kích thích nguyên tử Hg khi tăng nhiệt độ hơi Thủy Ngân.



Hình 4: Sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng theo nhiệt độ hơi Thủy Ngân

3.4. Kết quả về sự thay đổi của hàm phân bố electron theo năng lượng ở các điều kiện đo khác nhau

Hàm phân bố electron theo năng lượng thay đổi theo các điều kiện đo khác nhau và phụ thuộc vào các thông số ngoài, tuy nhiên dạng hàm phân bố ở các điều kiện khác nhau vẫn có chung các qui luật như sau:

- ✓ Hàm phân bố electron theo năng lượng ở áp suất nâng cao không có dạng Maxwell. Hàm phân bố giảm nhanh hơn hàm Maxwell ở vùng năng lượng lớn hơn năng lượng ngưỡng kích thích nguyên tử Hg. Điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả của việc tìm hàm phân bố từ lời giải phương trình động học Boltzmann theo [5].
- ✓ Hàm phân bố electron theo năng lượng ở áp suất nâng cao tiến về 0 tại $\epsilon = 8-9\text{eV}$.
- ✓ Khi tăng áp suất khí hiếm sẽ làm giảm số electron nhanh ở đuôi hàm phân bố cho thấy hiệu dụng của quá trình kích thích các mức năng lượng tương ứng với hoạt động của đèn huỳnh quang...

4. KẾT LUẬN

Chúng tôi đã thực hiện bước đầu việc xác định hàm phân bố electron theo năng lượng theo các thông số ngoài với độ chính xác cao nhằm nghiên cứu các đặc trưng điện động trong plasma phóng điện khí của hỗn hợp (Hg + Ar) khi áp suất khí hiếm nâng cao (từ 3Torr – 20 Torr) mà ở điều kiện này hàm phân bố electron theo năng lượng tính theo công thức Duyvestein không còn phù hợp nữa.

Việc xác định chính xác các hệ số khai triển bậc cao của đa thức $P_n(\epsilon)$ dựa trên phương pháp tuyến tính hoá phương trình Volterra loại II mà chúng tôi đã đề nghị cho phép lập trình tính toán hàm phân bố electron với độ chính xác cao hơn hẳn phương pháp tính được đề nghị trong công trình [6].

Các kết quả nhận được có ý nghĩa khoa học và thực tiễn quan trọng, có thể sử dụng trong nghiên cứu phục vụ cho công nghệ chế tạo các loại nguồn sáng huỳnh quang compact hiệu dụng cao và tiết kiệm nguyên vật liệu.

STUDYING THE ENERGY DISTRIBUTION FUNCTION OF ELECTRONS IN GASES DISCHARGED OF (Hg + INERT GAS) MIXTURE AT HIGH PRESSURE BY MATLAB SOFTWARE

Le Van Hieu

University of Natural Sciences – VNU-HCM

ABSTRACT: Determination of the energy distribution of electron is very important for calculating the electrodynamic characteristics of the gas discharge plasma. Then, the optimum conditions of luminescent sources are obtained. The energy distribution of electron deduced from experiment is complicated because the diffusion coefficient is not easily measured. In this paper we have changed the integrals equation Volterra type II to system of linear equations, and then have obtained a more exact form of determination of the energy distribution of electron by drawing the high – order expansion coefficients.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Steven E. Koonin, Dawn C.Meredith, *Computational Physics*, Addison Wesley Publishing Company – 1990.

- [2] Druyvestein M.J. Der Niedervoltbogen, *Zeitsch, fur Physik*, 1930 - Bd- 64S P. 781.
- [3] Tran Thi Thu Nhi, Le Van Hieu, Tran Tuan, Determining, *Exactly The Energy Distribution Function And The Electrodynamical Characteristics Of Electrons In gases Discharge Of (Hg + Inert Gas) Mixture Discharge At High Pressure By Matlab Software*, International Workshop on Reliability and its applications, Hanyang University of Seoul, Korea, December 3 – 5, 2003
- [4] Lê Văn Hiếu, Luận văn Tiến sĩ Vật lý, Đại học Tổng hợp Saint-Petersburg, CHLB Nga.
- [5] Milenin VN, Timofeev NA - 1991- *Plasma of Low Pressure Gas Discharge Light Sources Leningrad*, Leningrad State University Publishers.
- [6] N Bashlov, Le Van Hieu, VMilenin, Gpanasjuk, NtimofeeV and G Zissis, *Investigation a (Hg + Ar) discharges plasma under an increased pressure of Ar and in narrow tubes*, Applied Phys 31 _ p 1449 _ 1456 _ 1998.