

## CİVƏ BUXARININ ELEKTRİK BOŞALMASI PLAZMASINDA İONLARIN PAYLANMASI

**T.X. HÜSEYNOV, B.B. DAVUDOV, E.A. RƏSULOV,  
Ş.A. ALLAHVERDİYEV, E.Q. TAĞIYEVA**

*Bakı Dövlət Universiteti*

[htarlan@mail.ru](mailto:htarlan@mail.ru)

Civə buxarının elektrik boşalması plazmasında ionların paylanması tədqiq edilmiş və məlum olmuşdur ki, ionların ən ehtimalı sürəti neytral atomların ən ehtimalı sürətlərinə bərabər olur. Plazmada ambipolyar sahənin mövcud olması, ionların sürətlərə görə paylanma funksiyasını təhrif edir və ona görə də onun təsirini nəzərə almaq lazımdır. Civə plazmasında ionların paylanma funksiyasının sıraya ayrılışında 0 – 6 tərtibli Lejandr əmsallarının təcrübi və nəzəri qiymətlərinin müqayisəsi, onların bir-birinə uyğun gəldiyini göstərir. Müsbət ionların enerjisi azaldıqca, plazmanın anizotropluğu aşağı düşür.

**Açar sözlər:** qaz boşalması, plazmanın anizotropluğu, ionların paylanma funksiyası, rezonans yüksüzləşmə, ambipolyar diffuziya.

**PACS:** 52.80.-s

Müasir dövrdə yüksək enerjili qurğularda tətbiq edilən ion cihazlarında işçi mühit olaraq, ya təsirsiz qazlardan və ya da təsirsiz qazlarla civə qarışığından geniş istifadə edilir. Tətbiq edilən cihazlarda yaranan elektrik boşalmalarında elementar proseslərin baş vermə mexanizmlərinin öyrənilməsi, onların idadə olunması baxımından öz aktuallığını saxlamaqdadır. Plazmada baş verən proseslərdən biri də yüklü zərrəciklərin yüksüzləşmə prosesidir. Yüklü zərrəciklərin sərbəst qaçış yolunun uzunluğu qabın radiusundan çox-çox kiçik olduğu halda təsirsiz qaz və ya civə buxarı plazması qeyri-bircins qızdıqda, ionların paylanma funksiyası buxarın sıxlığından və  $\alpha_0$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  əmsalları isə radiusdan asılı olur [1]. Ambipolyar sahə yüksəldikcə, ionların orta və orta kvadratik sürətləri də yüksəlir. Həmin hal ambipolyar sahədə ionların əlavə sürət qazanması ilə izah edilir.

Güclü elektrik sahəsinin yuxarı sərhəd qiymətlərində ionların dreyf sürəti üçün bizim aldığımız nəticələr [2,3]-də alınan nəticələrlə üst-üstə düşür. Aparılan tədqiqat işində də müəlliflər,  $\sqrt{\frac{\beta}{\alpha_0}}$  ifadəsi sonsuzluğa yaxınlaşdıqda, ionların sürətlərə görə paylanma funksiyasının Maksvel paylanmasına çevrilməsini müşahidə etmiş və yüksüzləşmə nəticəsində yaranan ionların istilik sürətləri nəzərə alınmamışdır. Ona görə də, ionların sürətlərə görə paylanma funksiyası (İPF) üçün aldığımız nəticələr həmin müəlliflərin nəticələrinə uyğun gəlir və göstərilən həmin işdə plazmada rezonans yüksüzləşmə prosesinin İPF-a təsirini baxılmamışdır.

Məlumdur ki, ionların sürətlərə görə paylanma funksiyası [1]:

$$F_i(v_i) = \frac{2\sqrt{\alpha_0}\beta}{\sqrt{\pi}} v_i \exp(-\beta v_i^2) \int_{-\sqrt{\beta+\alpha_0}v_i}^{\sqrt{\beta-\alpha_0}v_i} \exp(t^2) \operatorname{erfc}(-t) dt \cdot \left\{ 1 + O\left(\frac{\alpha_0}{\beta}\right) \right\} \quad (1)$$

şəklindədir. İfadədən göründüyü kimi sürət moduluna görə ionların paylanma funksiyası  $\alpha_0$  və  $\beta$  parametrlərindən asılıdır. Odur ki, (1) tənliyi, dayanıqlı Maksvel paylanma tənliyindən fərqlənir.

İonların paylanma funksiyalarında həmin fərqlərin yaranmasına səbəb, tətbiq edilən fiziki modellərin müxtəlifliyidir. Müsbət ionların yüksüzləşmə prosesi nəticəsində yaranmasını nəzərə almadan qəbul edək ki, məsələnin şərtinə görə yaranan ionların sürəti, onların sərbəst qaçış yolunda elektrik sahəsindən qazandıqları orta sürətdən çox kiçikdir. Bu halda, yeni yaranan zəif elektronların konsentrasiyasının, ionlar dəstəsinin tərzlihdə olduğu haldakı elektrik sahəsində sürətli ionla-

rın yaratdıqları konsentrasiyaya nisbətən çox böyük olması faktı nəzərə alınmır. Nəticədə, ən ehtimalı sürət, atomların, yəni yenicə yaranan ionların temperaturu ilə təyin olunur (baxdığımız işdə alındığı kimi).

Otaq temperaturunda İPF-nin hesablanmış qiymətlərinə əsaslanaraq, yüksüzləşmə kəsiyinin ionların paylanma funksiyasına təsirini yoxlamaq üçün, civə buxarı plazmasında ionların dreyf sürətinin  $E/P_0$  nisbətindən asılılığını araşdırmışıq. Aydın olmuşdur ki, ionların paylanma funksiyasının ifadəsi,  $\sqrt{\frac{\alpha_0}{\beta}} \ll 1$  və  $v_{iz} \leq 0$  şərtləri ödəndikdə [1]:

$$f_i(\vec{v}_i) = A \exp[-\beta v_i^2 + (\beta + \alpha_0)v_{iz}^2] \operatorname{erfc}(-\sqrt{\beta + \alpha_0}v_{iz}) \left\{ 1 + O\left(\frac{\alpha_0}{\beta}\right) \right\}. \quad (2)$$

şəklində verilir. Burada  $A = \frac{\gamma\beta}{2\pi}$  – sabit vuruq,  $v_i$  – ion sürətinin modulu,  $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \exp(-t^2) dx$ . So-

nuncu (2) ifadəsindən istifadə edərək, Hg buxarı plazmasında Hg<sup>+</sup> ionların dreyf sürətinin  $E/P_0$  nisbətindən asılılığının nəzəri və təcrübi qiymətləri müqayisə edilir.

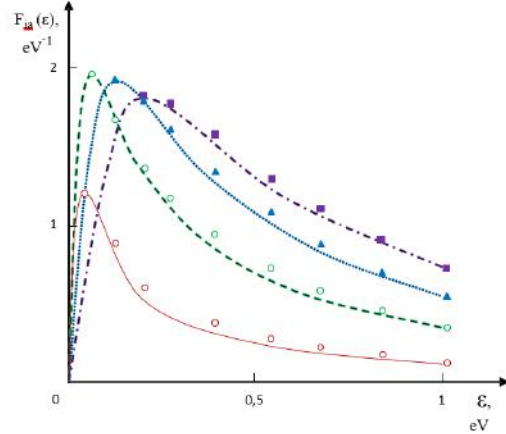
Müsbət ionların dreyf sürətini hesabladığımızda  $\frac{\beta}{\alpha_0} \rightarrow 0$  şərtinin ciddi ödəndiyini qəbul edərək, hesablamalarda və digər hallarda  $\int_0^\infty F_{i\varepsilon}(\varepsilon_i) d\varepsilon_i$  normallaşdırıcı vuruqdan istifadə etmişik. Yüksüzləşmə kəsiyinin sürətdən asılılığını nəzərə almaqla hesablamalar aparmışıq. Civə ionlarının kəsiyi üçün verilənləri [4]-dən götürmüşük. Tədqiqatdan alınan həm təcrübi, həm də nəzəri qiymətlər üst-üstə düşür. Bu isə təbiiq etdirmiş ifadənin doğrulunu göstərir.

Aşağıda göstərilən şəkil 1 və 2-də 0 – 3 və 4 – 6 tərtibli Lejandr poliniumlarına görə sıraya ayrılmış İPF-nin əmsallarının hesablanmış və ölçülmüş enerji asılılıqları təsvir edilir. Tədqiqat işlərində hesablamalar, əlavə parametrlər daxil edilmədən aparılmış, atomun temperaturu 410 K götürülmüş və  $\frac{E}{P} = 400 \frac{V}{cmTorr}$  parametrinin ölçülmüş qiymətlərindən istifadə edilmişdir. Neytral atom üçün seçilmiş bu temperaturun qiyməti, enerjiyə görə paylanma funksiyasının hesablanmış əyrisi təcrübi əyri ilə üst-üstə düşdüyü hala uyğun gəlir. Şəkil 1 və 2-ni müqayisə etsək, nəzəri və təcrübi əyriyə bir-birinə oxşar olduğunu görürük. Müsbət ionların enerjisi azaldıqca, plazmanın anizotropluğu aşağı düşür. Bununla yanaşı, göstərmək olar ki, 0,05 eV-dan kiçik qiymətlərdə də oxşarlıq saxlanılır. Müsbət ionların enerjisi artdıqca, yəni anizotropluq yüksəldikcə, paylanma funksiyalarında fərqlilik yaranır.

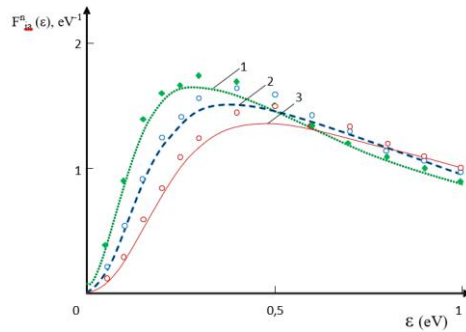
Nəhayət, civə buxarı plazmasında  $\sqrt{\frac{E}{P} \left( \frac{V}{cmTorr} \right) \frac{1}{\sigma(10^{-15} cm^2)}} \gg 1$  (burada  $P$  – civə buxarının təzyiqidir) və  $PR(Torr \cdot cm) \gg 10^{-3} \frac{T_a(K)}{\sigma_e(10^{-16} cm^2) \sqrt{\delta}}$  (burada  $\sigma_e$  – elektronların neytral atomlardan elastiki səpilməsinin kəsiyi,  $\delta$  – plazmada elektronun neytral atomlarla elastiki toqquşmalarında itirdiyi orta nisbi enerjisidir) bərabərsizliklərinin eyni zamanda doğru olması üçün yuxarıda irəli sürdüyümüz nəzəriyyə ödənməli,  $\frac{E}{P}$  nisbətinin kiçik qiymətlərində ambipolyar diffuziya prosesinin boşalmadakı rolu az olmalı, rezonans yüksüzləşmə kəsiyi yüksək olmalı və neytral

atomlarda elastiki səpilmə kəsiyi isə kiçik olmamalıdır.

Beləliklə, yuxarıdakı araşdırmaları yekunlaşdıraraq, deyə bilərik ki, güclü elektrik sahələrində civə buxarı boşalması boşalmanın simmetriya oxundan kənardakı ionların sürətlərə görə paylanma funksiyasını təyin etmək üçün ambipolyar sahənin təsirini mütləq nəzərə almaq lazımdır.



Şəkil 1. Lejandr əmsallarının ilk dörd əmsalına görə sıraya ayrılışında İPF-nin ionların enerjisindən asılılığı. Apparət funksiyasının eni  $\Delta\varepsilon = 0.05V$ . Nöqtələr – təcrübi, xətlər – nəzəri.



Şəkil 2. 4-6 Lejandr əmsalları üçün İPF-nin ionların enerjisindən asılılığı. 1)  $n=4$ ; 2)  $n=5$ ; 3)  $n=6$ . Nöqtələr – təcrübi, xətlər – nəzəri.

[1] T.X. Hüseynov. Güclü elektrik sahəsində civə plazmasının yüksüzləşmə halında ionların paylanması. Energetika problemləri. Bakı, 2021, №2, s.35-39.  
[2] Мак-Даниель И., Мезон Э. Подвижность и диффузия ионов в газах. М.: Мир. 1976. с. 422.

[3] А.С. Мустафаев. Динамика электронных пучков в плазме. ЖТФ, 2001, т. 71, с. 111, 121.  
[4] Б.М. Смирнов. Строение атома и процесс резонансной перезарядки. УФН, 2001, т. 171, № 3, с. 233-266.

T.Kh. GUSEINOV, B.B. DAVUDOV, E.A. RASULOV, Sh.A. ALLAKHVERDIEV, E.K. TAGIEVA

DISTRIBUTION OF IONS IN THE PLASMA OF ELECTRIC DISCHARGE IN MERCURY VAPOR

The distribution of ions in the plasma of an electric discharge in mercury vapor has been studied and it has been found that the most probable velocities of the ions are equal to the most probable velocities of neutral atoms. The presence of an ambipolar field in plasma distorts the ion velocity distribution function, so its effect must be taken into account. Comparison of the experimental and theoretical values of the Legendre coefficients of the order of 0-6 when expanded into a series of the ion distribution function in mercury plasma shows that they correspond to each other. As the energy of the positive ions decreases, the anisotropy of the plasma decreases.

**Т.Х. ГУСЕЙНОВ, Б.Б. ДАВУДОВ, Э.А. РАСУЛОВ, Ш.А. АЛЛАХВЕРДИЕВ, Э.К. ТАГИЕВА**

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ В ПЛАЗМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА  
В ПАРАХ РТУТИ**

Исследовано распределение ионов в плазме электрического разряда в парах ртути и установлено, что наиболее вероятные скорости ионов равны наиболее вероятным скоростям нейтральных атомов. Наличие амбиполярного поля в плазме искажает функцию распределения ионов по скоростям, поэтому его влияние необходимо учитывать. Сравнение экспериментальных и теоретических значений коэффициентов Лежандра порядка 0-6 при разложении в ряд функции распределения ионов в ртутной плазме показывает, что они соответствуют друг другу. По мере уменьшения энергии положительных ионов анизотропия плазмы уменьшается.