

PLAZMADA QABOR LİNZASI VASİTƏSİLƏ İON DƏSTƏLƏRİNİN FOKUSLANDIRIMASI

S.A. ƏLİYEV*, G.H. MƏMMƏDOVA*, X.D. CƏLİLOVA*, E.A. İBRAHİMOVA*,
H.S. SEYİDLİ**, A.Y. İMANOVA***

*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu
H.Cavid prospekti131, AZ-1143, Bakı, Azərbaycan

**Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti

***Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası

e-mail: gultekin@myself.com

İon dəstə cərəyanını elektromaqnit sahə və plazma-optik üsulla fokuslama qabiliyyətinə malik olan Qabor lınzasının özünü tənzimləyən əməliyyat rejiminin təcrübi yolla seçilməsi və lınzanın aberrasiyasını azaltmaqla cərəyanın daha sıx paylanması əldə etmək mümkünü arşdırılmışdır. Lınzanın optik qüvvəsini kifayət qədər yüksək saxlamaq şərti ilə, lınzanın parametrlərinin mümkün qədər uyğun seçilməsi və elektrik və maqnit sahələrinin təsiri ilə ion dəstəsinin fokuslanmasına mane olan aberrasiyalar azaldılmışdır.

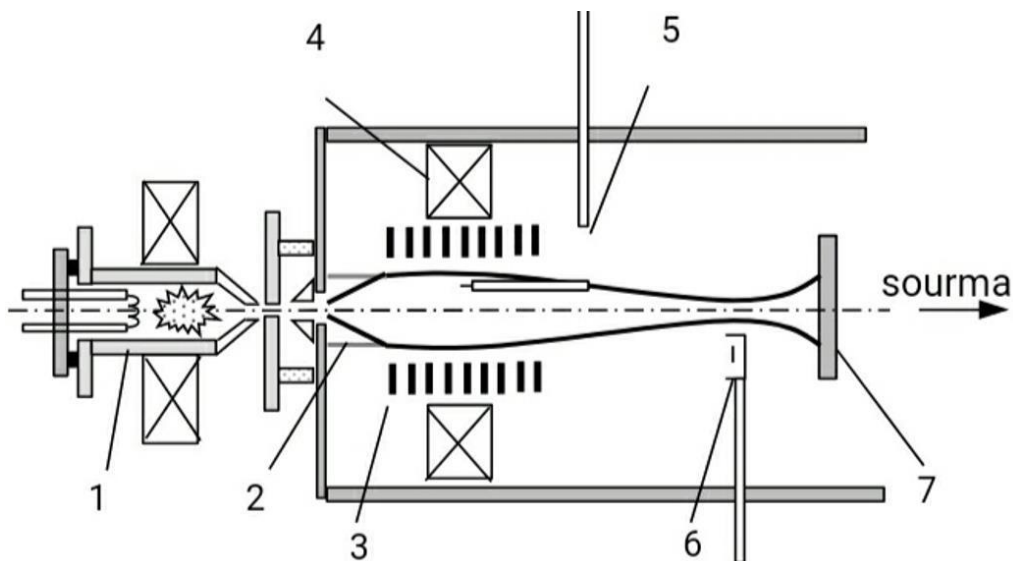
Açar sözlər: Qabor lınzası, ion dəstəsi, plazma optikası, aberrasiya, plazma-ion texnologiyası

PACS: 29.26.Ni;79.20.Rf

Giriş

İntensiv ion dəstələrin alınması, idarə olunması və uzaq məsafələrə transfer edilməsi məsələləri aktual olaraq qalır. İon dəstələrindən elmi tədqiqatlarda, texnologiyada, səthlərin işlənməsi o cümlədən səthlərin emal edilməsində, geniş istifadə edilir. Plazma lınzalarının xarakteristikaları və xüsusiyyətləri onlardan müsbət ion dəstəsi istifadə olunan güclü injektorların hazırlanması, sürətləndirici texnikada istifadə olunan daha effektiv fokuslayıcı və transfer edici qurğuların, habelə polyarizasiya olunmuş intensiv ion dəstələrinin alınması məsələlərinə tətbiqi imkanlarını genişləndirir. Optimallaşdırılmış plazma lınzası ion-optik tədqiqatlarda və ion dəstələrinin fokuslanmasında mühüm rol oynayır. Aksial dəstələri fokuslandırmaq üçün istifadə olunan lınzalar arasında ən yüksək optik qüvvəyə malik olanı Qabor

lınzası və ya fəza yüklü linza adlanan plazma lınzasıdır [1]. Qabor lınzalarının optik qüvvəsi elektrostatik və maqnit lınzaların optik qüvvəsindən müvafiq olaraq 2 və 4 dəfə böyükdür. Bu lınzada ionların həcmi yükü potensialın paylanmasını dəyişmədiyindən intensiv ion dəstələrini kifayət qədər fokuslamaq mümkündür. Lınzanın daxilində elektrik sahəsi elektromaqnit tələdə toplanmış elektronların fəza yükünün hesabına əmələ gəlir. Elektrik sahəsi maqnit sahəsinə perpendikulyar yönəldiyinə görə, maqnit qüvvə xəttləri stasionar paylanmaya malik olur və bu halda ionlara təsir edən qüvvələr ancaq toplayıcıdır. Məhz buna görə plazma lınzaları intensiv və yüksək enerjili ion dəstələrinin fokuslandırılması və nəql edilməsi üçün geniş tətbiq edilir. Plazma-optik lınzaların aberrasiyası onun əsas xarakteristikalarından biridir. Plazma lınzasında ən böyük təsirə malik sferik aberrasiyadır [3].

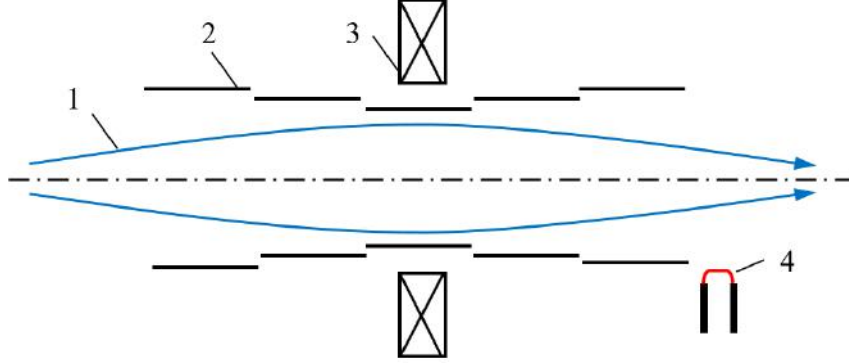


Şəkil 1. Eksperimental qurğunun sxemi: 1-ion mənbəyi-duoplazmatron; 2-kompensator; 3- linza; 4-sabit maqnit; 5- elektrostatik zond; 6-diafraqma; 7-kollektor.

Təcrübi hissə

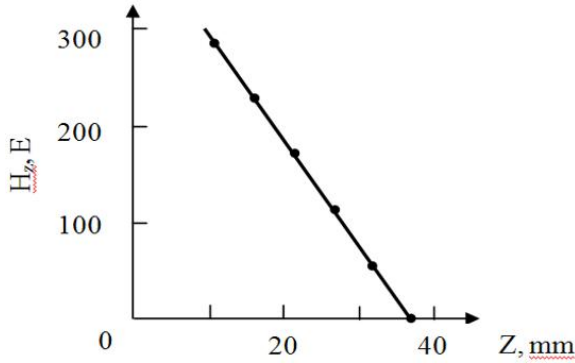
Təcrübi qurğunun sxemi şəkil 1-də verilib. İonlar mənbədən -duaplazmotrondan çıxarılır və sürətləndirilib linzadan keçir. Kompensatorun divarından ion-elektron emissiyası hesabına çıxan ikinci elektronlar linzada toplanır və radial elektrik sahəsini yaradır. Cərəyan sıxlığının radial paylanmasına diafraqma ilə nəzarət edilir, dəstənin cərəyanı isə kollektor vasitəsilə

ölçülür. Müxtəlif ölçülü və konstruksiyalı Lenqmur zondlardan istifadə etməklə statik voltmetr vasitəsilə qısa linza oblastında potensialın topoqrafiyası, ion plazma dəstəsinin parametrləri, linzadan axan plazma cərəyanının xarakteristikaları və rəqsləri öyrənilmişdir. Maqnit sarğılarının yaratdığı sabit maqnit sahəsi linzayı tamamilə əhatə edir. Linza qeyri-bircinli maqnit sahəsində simmetrik yerləşən silindrik elektrodlardan ibarətdir [2] (şəkil 2).

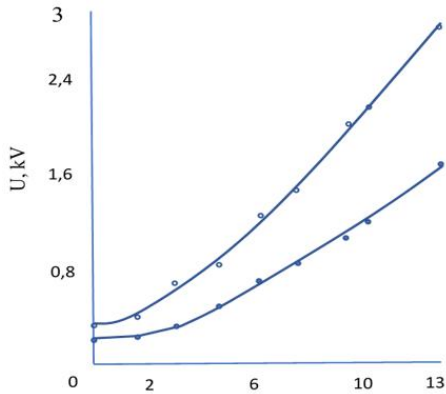


Şəkil 2. Kompensatoru közərən tel olan plazma linzasının sxemi: 1-ion dəstəsi, 2-linzanın elektrodları, 3-maqnit sarğısı, 4-kompensator.

Linzanın elektrodları üzrə potensialın paylanması xaricdən idarə olunur. Mərkəzi elektrodun potensialı ən yüksəkdir, kənarlara getdikcə elektrodların potensialı müəyyən azalan qanunauyğunluqla paylanır və sonuncu elektrodda isə minimum qiymətini alır. Maqnit sahəsinin aksial toplananının ox boyunca paylanması şəkil 3-də göstərilib.



Şəkil 3. Linzada maqnit sahəsinin paylanması.



Şəkil 4. Linzanın mərkəzi müstəvisində potensialın radial paylanması: $U_1=2$ kV, $U_2=3$ kV, $U_s=20$ kV, $p=7 \cdot 10^{-6}$ c.s.mm

Fəza yüklü linzanın fokus məsafəsi aşağıdakı düsturla ifadə olunur

$$f = \frac{R U_s}{2 U_l} \quad (1)$$

Burada R -linzanın radiusu, U_s -ionları sürətləndirən gərginlik, U_l – linzanın mərkəzi elektroduna verilən gərginlikdir. Göründüyü kimi fokus məsafəsi xüsusi yükədən asılı deyil. Ölçmələr və hesablamalar göstərir ki, plazma linzasının daxilində bütün sahə fokuslayıcı olduğundan, eyni şəraitdə və eyni parametrlərdə plazma linzasının optik qüvvəsi, elektrik və maqnit linzalarının optik qüvvələrindən qat-qat böyükdür. $F_B \sim 10^4$ sm; $F_E \sim 10^3$ sm; $F_{pl} \sim 20$ sm [3,4].

Linzanın median müstəvisindən kiçik məsafələrdə (≈ 7 sm) ekstraksiya sistemi ilə intensiv ion dəstəsinin fokuslanması orada böyük radial elektrik sahəsinin olduğunu göstərir. Linzanın fokus məsafəsi üçün təcrübi olaraq tapılan $f \sim (5-6)$ sm qiymətindən istifadə edib, $f = \frac{R}{2\theta} \cdot \frac{W}{ev}$ düsturu vasitəsilə elektrik sahənin orta qiymətinin tapılması ~ 3 kV/sm nəticə verir ki, bu da linzanın elektrodlarına tətbiq olunan bütün potensialların fərqi radius boyunca paylandığını göstərir. Şəkil 4-də linzanın orta müstəvisində potensialın paylanması verilib və paylanmaya əsasən, sistemdə yuxarıdakı təxminlərə uyğun gələn güclü elektrik sahələrinin həqiqətən reallaşdığını iddia etmək olar.

Təcrübələr dəstənin kənar ionlarının daha güclü fokuslandığını göstərir. Oxa yaxın ionlar isə demək olar ki, elektrik sahəsinin təsirini heç hiss etmir. Bunun səbəbi linzanın mərkəzində potensialın 300V-a qədər arta bilməsidir (şəkil 4). Yəni oxa yaxın oblast ekvipotensialdır. Buna görə, ox boyunca hərəkət edən ionlar fokuslanmır. Nəticədə, fokusda dəstənin diametri böyüyür və ion cərəyanının sıxlığı azalır. Linzada müsbət potensialın əmələ gəlməsinin bir neçə səbəbi vardır: elektrodların maqnit sahəsinə nəzərən düzgün yerləş-

dirilməməsi, potensialın elektrodlar üzrə qeyri-optimal paylanması, qalıq qazda əmələ gələn ikinci ionların ox üzərində toplanması. İkinci ionların yüksək vakuum şəraitində ($p=10^{-5}$ c.s.mm) generasiyası zəifdir. Silindrik elektrodlar maqnit sahəsinin maksimal qiymətinə malik nöqtəyə nəzərən tam simmetrik yerləşdirilməlidir, onların uzunluğu isə maqnit sahəsinin paylanması asılı olaraq təcrübədə müəyyən edilməlidir. Elektrik sahəsinin potensialının elektrodlar üzrə paylanması, lınzanın mərkəzində potensialın sıfır olması şərti ilə seçilməlidir. [4,5].

Nəticə.

Qabor lınzasının öz-özünü tənzimləyən əməliyyat rejiminin təcrübi yolla seçilməsi vasitəsilə cərəyanın daha sıx paylanması əldə etmək mümkün olmuşdur. Plazma lınzasında yaranan elektron-elektron diokotron dayanıqsızlığı, radial elektrik sahəsinin təsirinə məruz qaldığından inkişaf edə bilmir. Lınzanın optik qüvvəsini kifayət qədər yüksək saxlamaqla diokotron, elektron-ion və daha intensiv dayanıqsızlıqları məhdudlaşdırmaqla lınzanın aberrasiyasını azaltmağa nail olunmuşdur.

-
- [1] *A.И. Морозов.* Введение в плазмодинамику. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 576 с, 2006.
- [2] *И.С. Гасанов, И.М. Проценко.* Динамика формирования импульсного ионного пучка плазменной линзой. ЖТФ, т. 52, № 9, с 1783-1786, 1982.
- [3] *А.А. Гончаров, А.Н. Добровольский, И.Ф. Задорожный.* О трансформации радиального профиля интенсивного ионного пучка плазменной линзой. ЖТФ, т. 67, №8, с. 97-99, 1997
- [4] *A.A. Goncharov.* The electrostatic plasma lens. Review of Scientific Instruments 84, 021101, 2013; <https://doi.org/10.1063/1.4789314>
- [5] *I.S. Hasanov, V.A. Orudjev, I.I. Gurbanov, E.M. Akbarov.* Space Charge Lenses for Intensive Ion Beams Formation. ACTA Physica Polonica A, vol. 135, № 4, p. 841-844, 2019. DOI: [10.12693/APhysPolA.135.841](https://doi.org/10.12693/APhysPolA.135.841)

S.A. Aliyev, G.H. Mammadova, Kh.D. Jalilova, E.A. Ibrahimova, H.S. Seyidli, A.Y. Imanova

GABOR LENS FOR FOCUSING AN ION BEAM IN A PLASMA

In the given work the spherical aberration of the plasma lens possessing high optical force is considered. The reasons of formation of an aberration and ways of its elimination are discussed. Measurements are carried out on new experimental vacuum installation. The optimized plasma lens can be applied in ion - optical researches and plasma - beam technologies.

С.А. Алиев, Г.Г. Мамедова, Х.Д. Джалилова, Э.А. Ибрагимова, Г.С. Сеидли, А.Я. Иманова

ЛИНЗА ГАБОРА ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ ИОННОГО ПУЧКА В ПЛАЗМЕ

В данной работе рассматривается сферическая aberrация плазменной линзы, обладающей высокой оптической силой. Обсуждаются причины образования aberrации и способы ее устранения. Измерения проводятся на новой экспериментальной вакуумной установке. Оптимизированная плазменная линза может применяться в ионно-оптических исследованиях и плазменно-пучковой технологии.