

ИМПУЛЬСТІ ПЛАЗМА АҒЫНЫНДАҒЫ ИОНДАРДЫҢ ЭНЕРГИЯСЫН ЖӘНЕ КОНЦЕНТРАЦИЯСЫН ФАРАДЕЙ ЦИЛИНДРІ КӨМЕГІМЕН АНЫҚТАУ

Фарадей цилиндрі (ФЦ) - коаксиал жүйелі екі электродтан тұратын өлшеуіш құрылғы. Әдетте оны электрондық және иондық токтарды тіркеу үшін қолданады. Қандай бөлшекті қарастыруымызға байланысты ФЦ-нің ішкі электродына, сәйкесінше, теріс немесе оң потенциал берілуі тиіс. Құрылғының жұмысына қосымша зарядтар әсерінің алдын алу үшін Фарадей цилиндрінің ішкі электродын екінші реттік эмиссия дәрежесі аз материалдан жасаған дұрыс. Екі электродтың арасын электрлік оқшаулау үшін фторопласт пайдаланылады. Импедансын 50 Омға сәйкестендіру үшін сыртқы және ішкі электродтардың өлшемдері келесі теңдеу көмегімен таңдап алынады, ол жоғарғы жиілікті сигналдардың тізбек арқылы өтуі барысында олардың шағылуын азайтады:

$$Z = \frac{138.2}{\sqrt{\varepsilon}} \log_{10} \frac{D}{d}, \quad (35)$$

мұндағы D – сыртқы электродтың ішкі диаметрі, d – ішкі электродтың диаметрі, ε – оқшаулағыш материалдың диэлектрлік өтімділігі. Бөлшектер шоғыры (электрондар немесе иондар) құрылғының ішкі электродының бетіне келіп түсуі үшін сыртқы электродтың бетінде диаметрі 100-300 мкм болатын саңылау жасалады.

Құрылғының жұмыс істеу принципі. Жерге жалғанған сыртқы электродқа қатысты ішкі электродқа берілген ығысу потенциалының таңбасына байланысты зарядтар Фарадей цилиндріне келіп түсіп, ішкі электродтың бетіне соқтығысады. Осының нәтижесінде электрлік тізбекте ток пайда болады, оны осциллограф көмегімен тіркейміз.

Фарадей цилиндрін импульсті плазма ағынының энергиялық қасиеттерін анықтауда қолдану және оның әдістемесі. Фарадей цилиндрі импульсті плазманың электрондары мен иондарының энергиясы, концентрациясы, жылдамдықтары тәрізді параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. Плазма иондары электрондарға карағанда ауыр болғандықтан, плазма энергиясының көп бөлігі осы зарядталған бөлшектерде шоғырланған. Сол себепті, бұл жұмыста иондық бөлшектерге көп көңіл бөлінеді. Иондардың концентрациясы мен энергиясын ФЦ көмегімен анықтаудың екі әдісін қарастырайық. Біріншісінде, ФЦ электрлік зонд сияқты жұмыс істейді, яғни зондқа қатысты теорияға, қарапайым теңдеулерге сүйенеді. Екіншісінде, жоғарыда айтылған шамалар иондардың көзден ФЦ-не дейінгі жүріп өткен жолына кеткен уақытымен табылады.

1 Әдіс. Плазмада локальды термодинамикалық тепе-теңдік орнаған болсын. Онда осы жуықтауға сәйкес плазмадағы бөлшектердің жылдамдықтары бойынша таралуы Больцмандық болады:

$$n_e = n_i = n_0 e^{-\frac{eU(r)}{kT_e}}. \quad (36)$$

Цилиндрлік зонд маңындағы көлемдік зарядтың шекарасындағы иондар ағынының тығыздығы олардың жылдамдықтары мен концентрациялары арқылы анықталады:

$$j_i = en(r)v(r), \quad (37)$$

мұндағы r – көлемдік заряд қабатының радиусы. Ал көлемдік заряд шекарасында зондқа жақындаған сайын электрондардың концентрациясы төмендей бастайды. Осыған орай көлемдік заряд шекарасындағы потенциалдың түрі келесідей болады:

$$U_c \approx \frac{kT_e}{e}. \quad (38)$$

Иондардың $v(r)$ – жылдамдығы осы потенциалмен анықталады: $\frac{M_i(v(r))^2}{2} \approx eU_c$, яғни:

$$v(r) \approx \sqrt{\frac{2eU_c}{M_i}}. \quad (39)$$

(37) және (39) қатынастарын пайдаланып, зондтағы иондық токтың өрнегін аламыз:

$$I_i \approx en_0 S_c \sqrt{\frac{2eU_c}{M_i}} \exp\left[-\frac{eU_c}{kT_e}\right], \quad (40)$$

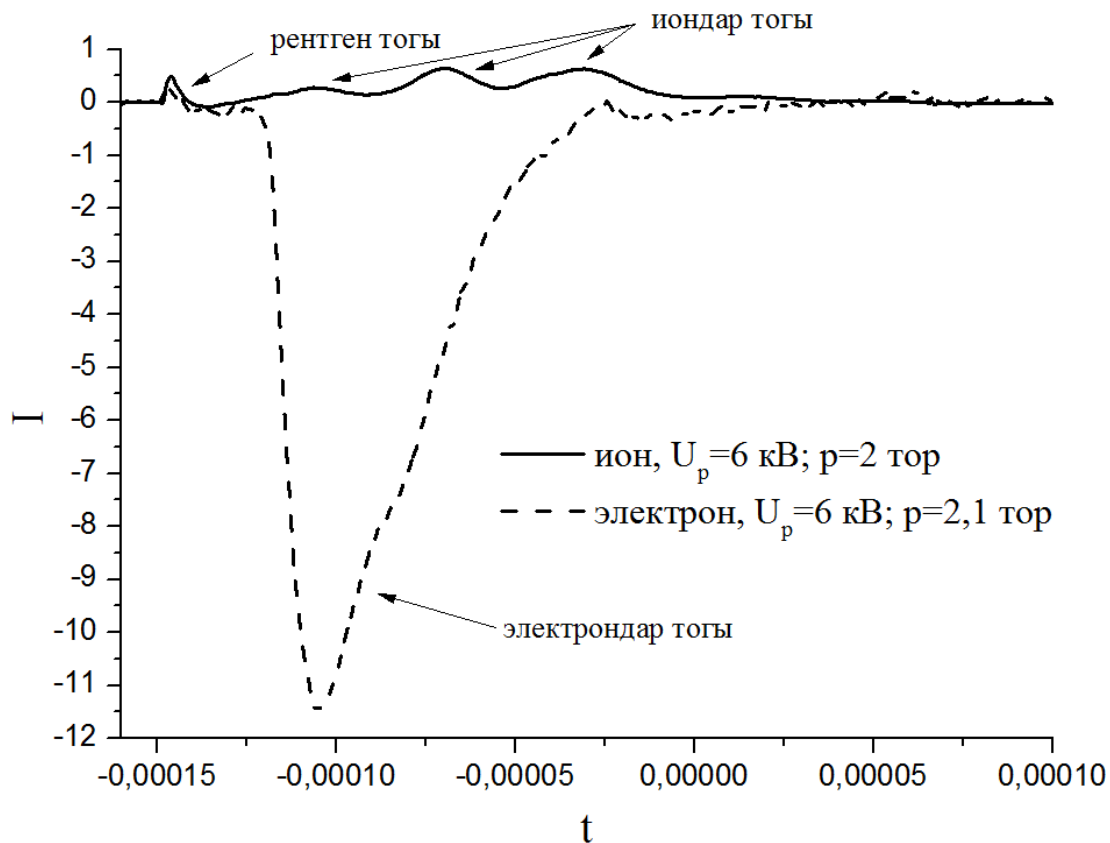
мұндағы S_c – көлемдік заряд қабатының ауданы. (38) ескере отырып, (40) өрнекті төмендегідей жазуға болады:

$$I_i \approx en_0 S_c \sqrt{\frac{2kT_e}{M_i}}. \quad (41)$$

Фарадей цилиндрі зонд сияқты жұмыс жасайтындықтан цилиндрлік зонд үшін (41) иондық токтың өрнегі келесі түрде жазылады:

$$I_i \approx 0.4en_0 S_c \sqrt{\frac{2kT_e}{M_i}}. \quad (42)$$

2 Әдіс. Импульсті плазмалық үдеткіш қондырғыларындағы күшті электр өрісінде үдетілген электрондар анодқа тежелуі нәтижесінде рентген сәулелерін тудырады. Рентген сәулелері плазма бөлшектеріне қарағанда Фарадей цилиндріне лезде жетеді, нәтижесінде электрлік тізбекте әлсіз сигнал пайда болады (15 суретті қараңыз).



15-сурет. Фарадей цилиндрі көмегімен алынған токтар осциллограммасы

Бұл жағдай Фарадей цилиндрі плазма иондарының жылдамдықтарын қарапайым теңдеудің көмегімен анықтауға тиімді мүмкіндік береді. Иондардың жүріп өткен жолын біле отырып, олардың жылдамдықтары келесідей анықталады:

$$v_i \approx \frac{l}{t}, \quad (43)$$

Мұндағы l – плазмалық үдеткіш электродтарынан (көзден) ФЦ-не дейінгі арақашықтық. t – иондардың плазмалық үдеткіш электродтарынан ФЦ-не дейінгі жолды ұшып өтуге кеткен уақыты, ол рентген сәулесі мен иондар ағынының тудыратын сигналдарының пайда болу уақыттарының айырымына тең, оны осциллограф экранында алынған осциллограммалардың көмегімен анықтаймыз. Осы әдістің негізінде алынған иондық бөлшектердің жылдамдықтарын біле отырып, әрі қарай олардың энергиялары мен концентрациясын төменде берілген теңдеулерге сүйеніп есептеуге болады:

$$n_i = \frac{U_a}{R_{\text{ж}} q v_i S}. \quad (44)$$

Мұндағы U_a – осциллографтағы иондық сигналдың амплитудасы, $R_{\text{ж}}$ – электрлік тізбектегі жүктеменің кедергісі, q – ионның заряды, S – Фарадей цилиндрінің сыртқы электродындағы саңылаудың ауданы.

$$E_i = \frac{1}{2} M_i v_i^2, \quad (45)$$

мұндағы M_i – жұмыс газы иондарының массасы.