

# ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

## ЖОҒАРЫ ЖИІЛІКТІ АРГОН ПЛАЗМАСЫНДАҒЫ ТОЗАҢДЫ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ТАСЫМАЛДАУ ҚАСИЕТТЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТЕ ЗЕРТТЕУ

М.Қ. Досболаев, Б.С. Жабаева, С.А. Оразбаев, Т.С. Рамазанов  
ЭТФҒЗИ, Әл-Фараби ат. ҚазҰУ, Алматы

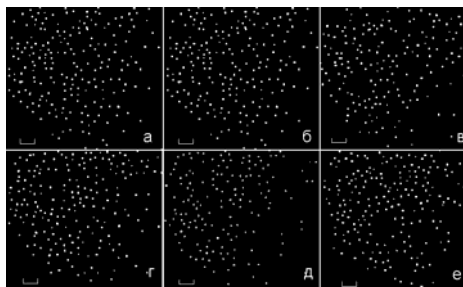
Жұмыста жоғары жиілікті аргон плазмасындағы тозаңды құрылымдардың динамикалық және тасымалдау қасиеттерінің разряд қуаты мен газ қысымына тәуелділігі экспериментте зерттелді.

### Кіріспе

Қазіргі кезде тозаңды плазманы экспериментте зерттеу қарқынды түрде жүріп жатыр, өйткені, ол плазма ортасындағы өзара қарым-қатынастағы микробөлшектер жүйесінің фундаменталдық қасиеттерін (фазалық ауысулар, құрылымдық, тасымалдау қасиеттері т.б.) кинетикалық деңгейде, қарапайым видеокамера көмегімен зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл әдістің ерекшелігі, құрылымдар мен оның бөлшектері зерттеліп отырған ортамен тікелей байланысқа түспейді, яғни ешқандай қоздыру болмайды, сонымен қатар нақты уақыт негізіндегі конфигурация мен траекторияларда зерттеу жүргізіледі. Тоzaңды құрылымдар әр түрлі разрядтарда электр өрісі мен жердің тартылыс күшінің теңгерілуінен түзіледі (күлгін разряд страталарында, жоғары жиілікті разряд электродтарының маңайында, ядролық қоздырылатын разрядта сонымен қатар космостық кемеді микрогравитация жағдайында және т.б.) [1].

### Эксперимент

Біздің зерттеу жүргізген эксперименттік қондырғы жоғарғы жиілікті (13,56 МГц) разряд негізінде жұмыс істейді, қондырғы туралы толығырақ мәлімет мына жұмыста көрсетілген [2]. Тоzaңды плазманы қолданысқа енгізу барысында жүргізілетін көптеген ғылыми жұмыстар осы тектес қондырғыларды жүзеге асады. Аргон плазмасындағы тоzaңды құрылым видеоға түсіру әдісі бойынша зерттелді, видеокамераның түсіру жылдамдығы 300 кадр/сек. Бұл жұмыста анықталған тоzaңды плазманың қасиеттері үшін жоғары жиілікте видеоға түсірудің маңызы зор [3]. Бірінші этапта тоzaңды құрылымдарға газ қысымы тұрақты  $p=0,28$  торр, ал разряд қуаты  $W=0.88$  Вт-тан  $8.75$  Вт-қа дейін өзгертіліп отырылып зерттеу жүргізілді. 1-суреттен байқап отырғандай егер эксперимент қателігін ескеретін болсақ біздің қарастырып отырған қуат аралығында, тоzaңды құрылымдар өзгеріссіз қалып отыр, оны сапалы түрде 2-суреттен тоzaңды құрылымдардың қос корреляциялық функциясынан көруге болады. Өйткені разряд қуатының мөлшері өте аз, сондықтан плазма бөлшектері (электрондар, иондар) тарапынан микробөлшектерге әсері елеусіз.



1-сурет. ЖЖ разрядтағы тоzaңды құрылымның көлденен (горизонталь) қимасы, газ қысымы барлық жағдайда тұрақты  $p = 0,28$  торр : разряд қуаты а)  $W=0.88$  Вт; б)  $W=2$  Вт; в)  $W=3.13$  Вт; г)  $W=4.88$  Вт; д)  $W=5.88$  Вт; е)  $W=8.75$  Вт. Масштаб ретінде көрсетілген сызықшаның ұзындығы 1 мм.

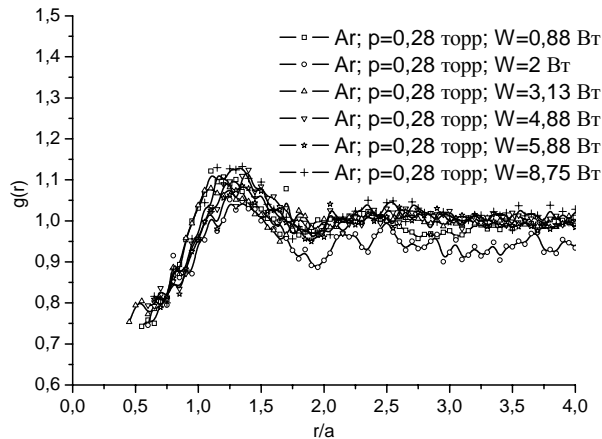
Бөлшектердің радиал таралу функциясы (1) формула негізінде жазылған программамен есептелді:

$$g(r) = \frac{1}{n_d} \cdot \frac{\Delta \bar{N}(r)}{\pi dr(2R - dr)} \quad (1)$$

$n_d$  - тозаңды бөлшектердің горизонталь (вертикаль) қимасының концентрациясы;

$\Delta \bar{N}$  - шеңбер қабаттағы орташа бөлшектер саны.

Корреляциялық функцияның ауытқуы алынған статистиканың шамасына тәуелді, қарастырылып отырған тәжірибеде ол шамамен 5 % - ды құрайды.



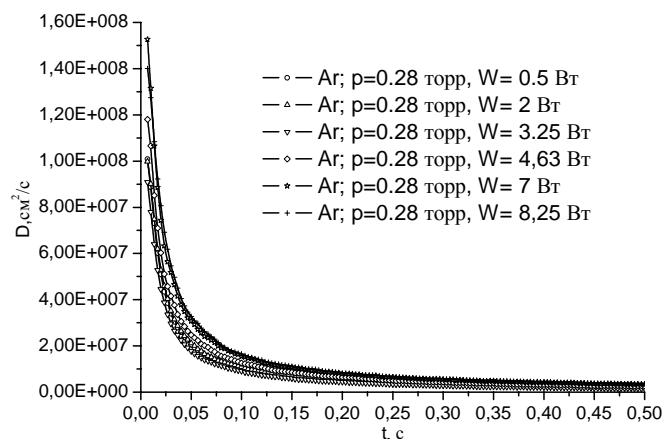
2-сурет. 1-суреттегі тозаңды құрылымдардың қос корреляциялық функциясы, газ қысымы барлық жағдайда тұрақты  $p = 0,28$  торр : разряд қуаты 1)  $W = 0.88$  Вт; 2)  $W = 2$  Вт; 3)  $W = 3.13$  Вт; 4)  $W = 4.88$  Вт; 5)  $W = 5.88$  Вт; 6)  $W = 8.75$  Вт

Тозаңды бөлшектердің тасымалдау қасиетін сипаттайтын қисықтар 3-суретте келтірілген, яғни диффузия коэффициенті, жалпы жағдайдағы Грин-Кубо формуласымен анықталды.

$$D(t) = \frac{1}{3} \int_0^{\infty} \langle V(0)V(t) \rangle dt \quad (2)$$

$\langle V(0)V(t) \rangle$  - бөлшектер жылдамдығының автокорреляциялық функциясы.

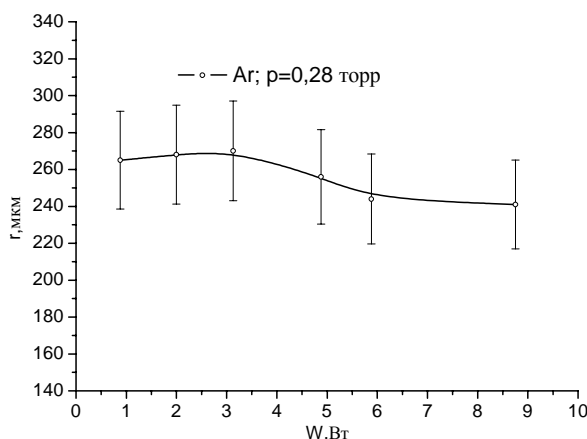
Жоғарыда айтылғандай біз қарастырып отырған разряд қуаты аралығында бұл қисықтардың да өзгерісі елеусіз.



3-сурет. Тозаңды құрылымдардың тасымалдау коэффициент, газ қысымы барлық жағдайда тұрақты  $p = 0,28$  торр : разряд қуаты 1)  $W = 0.5$  Вт; 2)  $W = 2$  Вт; 3)  $W = 3.25$  Вт; 4)  $W = 4.63$  Вт; 5)  $W = 7$  Вт; 6)  $W = 8.25$  Вт

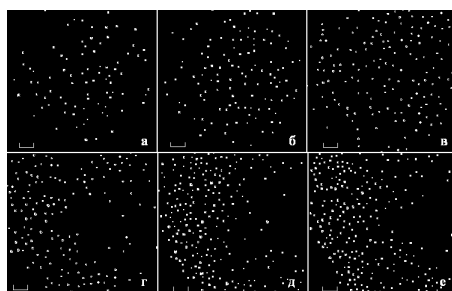
Суреттен көріп отырғандай бөлшектер қозғалысы тұрақты жағдайға ұмтылып тұр, яғни тозаңды құрылымдар кристаллдық күйге жақын. Дегенмен плазмадағы тозаңды бөлшектердің тасымалдау қасиетін толығырақ зерттеу, ұзақ уақытты талап етеді, әзірге техникалық мүмкіндіктердің шектелуіне байланысты эксперимент өте қысқа уақыт мезетінде жүргізілді.

Тозаңды құрылымның көлденен қимасындағы бөлшектердің ара қашықтығының, разряд қуатына тәуелділігі 4-суретте көрсетілген. Бұл жерде де қарастырып отырған разряд қуатына бөлшек ара қашықтығының өзгерісі тәуелсіз екенін байқалады.

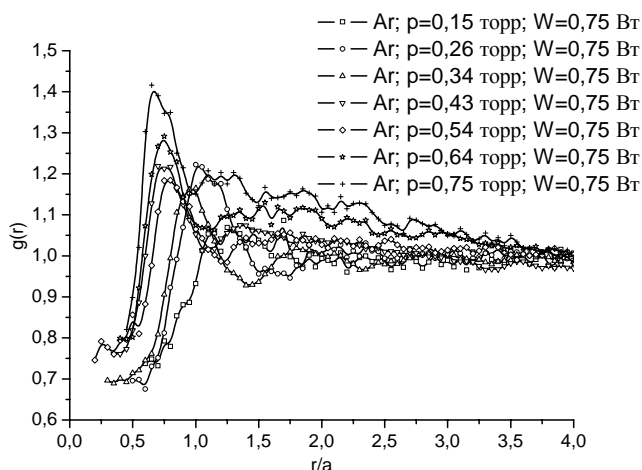


4-сурет. Тозаңды бөлшектердің ара қашықтығының разряд қуатының өзгерісіне тәуелділігі

Екінші этапта тозаңды құрылымдарға, разряд қуаты тұрақты  $W=0.75$  Вт, ал газ қысымы  $p=0,15$  торр-дан  $0.75$  торр-ға дейін өзгертіліп отырылып зерттеу жүргізілді. 5-суреттен көріп отырғандай камерадағы газ қысымын арттырған сайын тозаңды бөлшектер ара қашықтығы бір – біріне жақындай түсіп (8 сурет), тозаңды құрылым қысыла бастайды. Сонымен қатар бастапқы кезде сұйық кристалл болған тозаңды жүйе газ қысымы өскен сайын кристаллдық күйге ауыса бастайды, оны 6 суреттен тозаңды құрылымдардың қос корреляциялық функциясынан көруге болады. Бұны былай түсіндіруге болады: газ қысымы жоғарылаған сайын тозаңды бөлшектер ұсталып тұрған тұзақтың формасына сәйкес электростатикалық потенциалдық шұңқыр өзгереді, бұл өз орайында тозаңды құрылымның өзара нығыздалуына әкеліп соғады.

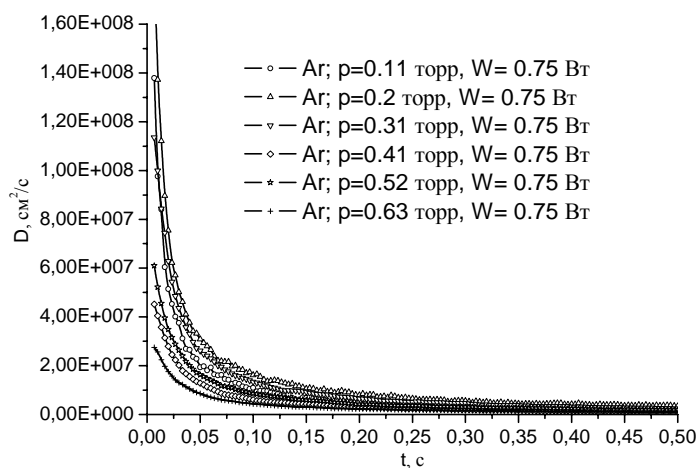


5-сурет. ЖЖ разрядтағы тозаңды құрылымның көлденен (горизонталь) қимасы, разряд қуаты барлық жағдайда тұрақты  $W = 0,75$  Вт : газ қысымы а)  $p=0.15$  торр; б)  $p=0.26$  торр; в)  $p=0.34$  торр; г)  $p=0.43$  торр; д)  $p=0.54$  торр; е)  $p=0.64$  торр. Масштаб ретінде көрсетілген сызықшаның ұзындығы 1 мм



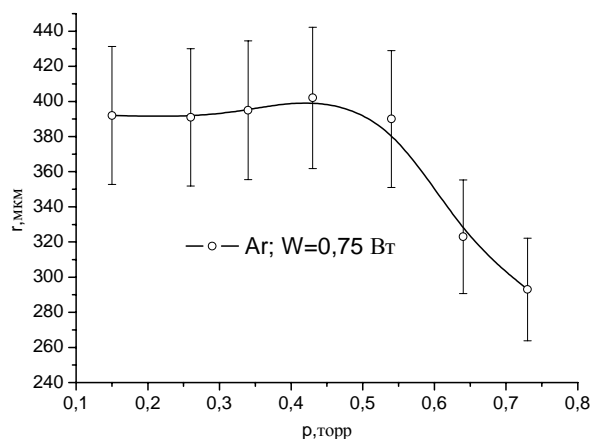
6-сурет. 5-суреттегі тозанды құрылымдардың қос корреляциялық функциясы, разряд қуаты барлық жағдайда тұрақты  $W = 0,75$  Вт : газ қысымы 1)  $p=0.15$  торр; 2)  $p=0.26$  торр; 3)  $p=0.34$  торр; 4)  $p=0.43$  торр; 5)  $p=0.54$  торр; 6)  $p=0.64$  торр; 7)  $p=0.75$  торр

Разряд қуаты тұрақты болған жағдайдағы тозанды бөлшектердің тасымалдау қасиетін сипаттайтын қисықтар 7-суретте келтірілген. Суреттен көріп отырғандай газ қысымы артқан сайын тасмалдану құбылысы баяулайды, яғни сызықты түрге (өзгеріссіз) жақындай түседі. Мұның себебі газ қысымы өскенде микробөлшектердің кинетикалық температурасы төмендеп қозғалысы баяулап кристалдық күйге ауысады және микробөлшектерді көлденен бағытта тарап кетпеуіне жол бермей ұстап тұрған электростатикалық потенциалдық шұңқыр формасының өзгеруіне байланысты тозанды құрылымның тығыздығы өседі (5,8 сурет), сол себептен бөлшектердің орын ауыстыруы қиындай түседі.



7-сурет. Тозанды құрылымдардың тасымалдау коэффициенті, разряд қуаты барлық жағдайда тұрақты  $W = 0,75$  Вт : газ қысымы 1)  $p=0.11$  торр; 2)  $p=0,2$  торр; 3)  $p=0.31$  торр; 4)  $p=0.41$  торр; 5)  $p=0.52$  торр; 6)  $p=0.63$  торр

Жүргізіліп отырған экспериментте өлшемдері 10-100 мкм аралығында, қуыс сфера (қабырғасының қалыңдығы  $\sim 10$  мкм), шыны бөлшектері қолданылды. Қолданылып отырған микробөлшектердің қасиеттеріне байланысты экспериментте алынған нәтижелер өзгеруі мүмкін. Барлық суреттердегі нүктелерді қосып тұрған сызықтар, ыңғайлылық үніш сызылған.



8-сурет. Тозанды бөлшектердің ара қашықтығының камерадағы қысымының өзгерісіне тәуелділігі.

### Қорытынды

Жоғары жиілікті аргон плазмасындағы тозаңды құрылымдардың динамикалық және тасымалдау қасиеттерін, камерадағы газ қысымы мен разряд қуатына тәуелділігі экспериментте зерттелді. Өлшеулер жүргізілген разряд қуаты аралығында тозаңды құрылымның қасиеттерінің өзгерісі елеусіз екені анықталды. Ал тозаңды құрылымның камерадағы газ қысымға тәуелділігі жоғары екендігі байқалды.

### Әдебиеттер

- 1 Фортон В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф. Пылевая плазма // УФН. - 2004. - Т. 174, № 5. - С. 495-544.
- 2 Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Dosbolayev M.K., Jumabekov A.N. Structural properties of dusty plasma in direct current and radio frequency gas discharges // Phys. Plasmas. - 2008. - Vol.15. - P. 053704-053709.
- 3 Досболаев М.К. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. - 2009. - С. 72-75.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ ПЫЛЕВЫХ СТРУКТУР В ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЕ

**М.К. Досболаев, Б.С. Жабаяева, С.А. Оразбаев, Т.С. Рамазанов**

В работе экспериментально исследована зависимость динамических и транспортных свойств пылевых структур в высокочастотной аргонной плазмы от мощности разряда и давления газа.

## EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DYNAMIC AND TRANSPORT PROPERTIES OF DUST STRUCTURES IN HIGH-FREQUENCY ARGON PLASMA

**M.K. Dosbolayev, B.S. Zhabayeva, S.A. Orazbayev, T.S. Ramazanov**

In this work the dependence of dynamical and transport properties of dust structures of high-frequency argon plasma as functions of a discharge power and a gas pressure, was experimentally investigated