

Жақында көлік ағындарын зерттеуде пәнаралық математикалық идеялар, сызықтық емес динамиканың әдістері мен алгоритмдері қолданыла бастады. Олардың орындылығы көлік ағынында тұрақты және тұрақсыз режимдердің болуымен негізделген - қозғалыс, қозғалыс жағдайлары өзгерген кезде тұрақтылықты жоғалту, сызықты емес кері байланыс, жүйені барабар сипаттау үшін көптеген айнымалылардың қажеттілігі.

Көлік ағынын бір өлшемді сығылатын сұйықтық ағыны ретінде қарастыруға болады, бұл ағынның сақталуына және жылдамдық пен тығыздық, көлік ағыны арасында өзара байланысты болуына мүмкіндік береді.

Осылайша, көлік ағынының қозғалыс процесін ресімдеудегі қиындықтар ғылыми зерттеулер нәтижелерінің практика талаптарынан артта қалуының маңызды себебі болды.

Әдебиет:

1 Иванов В.Н. Влияние ширины проезжей части автомобильных дорог на безопасность и режимы движения транспортных средств. -М.: Высшая школа, 1972. - 414с.

2 Jacobs F. Queues and Overtaking on Two-Lane Roads. Transportation and Traffic Theory. Proceedings of the sixth International Symposium of Transportation and Traffic Theory, 1974.-pp. 181-202.

3 Четверушкин Б.Н., Чубарова Н.Г. Двумерная модель автомобильных потоков //Матем. мод., Т. 18. № 6. 2006. С. 85-95.

4 Кисляков В.М., Филиппов В.В., Школяренко И.А. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. - М.: Транспорт, 1979.-200 с.

ӘОЖ 533.0.082

ПЛАЗМАЛЫҚ ФОКУС ҚОНДЫРҒЫСЫНДАҒЫ РАЗРЯДТЫ ТОҚТАР МЕН НЕЙТРОНДАР ЭМИССИЯСЫНЫҢ ҚАТЫНАСЫН ЗЕРТТЕУ

Ж.М.Молдабеков., А.М.Жукешов., А.У.Амренова., Д.Т.Асқар., Д.Бағзат.

әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы 71, 050040, Алматы, Қазақстан

Плазмалық фокус (ПФ) термоядролық қондырғысындағы разрядты токтың динамикалық сипаттамасы және оның нейтрондар эмиссиясымен тәуелділігі зерттелді. Разрядты токтардың пайда болу динамикасы Роговский белдігі арқылы өлшеніп, нейтрондардың ағыны белсендірілген күміс фольгалы детектор арқылы тіркеліп талдау жасалды. Талдау нәтижелері бойынша разрядты пиктік токтар 14 кВ кернеуде 200-265 кА аралығында болса, пинчтік токтар 178-230 кА арасында қысымға байланысты өзгеріп отырды. Сәйкесінше нейтрондардың ағыны $6 \cdot 10^6$ - $2.2 \cdot 10^7$ нейтрон/имп тең болды. Ұсынылып отырған жұмыста плазмалық фокус қондырғысындағы разрядты пинчтік токтардың нейтрондардың эмиссиясына тәуелділігі баяндалады.

Кілттік сөздер: нейтронды эмиссия, разрядты тоқ, пинч, плазмалық фокус

Кіріспе. Соңғы жылдары ПФ термоядролық қондырғысын жасақтау және оны өндірістік салаларда қолдануға деген қызығушылық артып келеді. ПФ қондырғысында жоғары энергиялы ультракүлгін сәулеленуден нейтрондарға дейінгі аралықтағы бөлшектерді тудыруға қабілетті. Тиімділігі бойынша қондырғы әртүрлі типтегі радиациялық (soft and hard), энергетикалық бөлшектердің (зарядталған немесе нейтрал) және релятивті электрондардың көздері болып табылады. Аталған қондырғыда пайда болатын плазма параметрлері электродтар жүйесі және камерадағы жұмыс газының

қысымына эсер етеді. Нейтрондардың қарқынды шығуы камерадағы қысымға байланысты болып табылады[1].

[5-6] жұмыстардан белгілі болғандай плазмалық фокус типті қондырғыларда екі нейтронды скейлинг немесе екі негізгі нейтрондық эмиссияның тәуелділігі болады Y_n :

-конденсатор батареясындағы қосымша электрлік тәуелділік E [Дж];

-разрядты тоқтың сығылу сәтіне (пинч) I_p [А]. Тәуелділікті келесідей түрде жазуға болады.

$$Y = 10E^2 \quad (1)$$

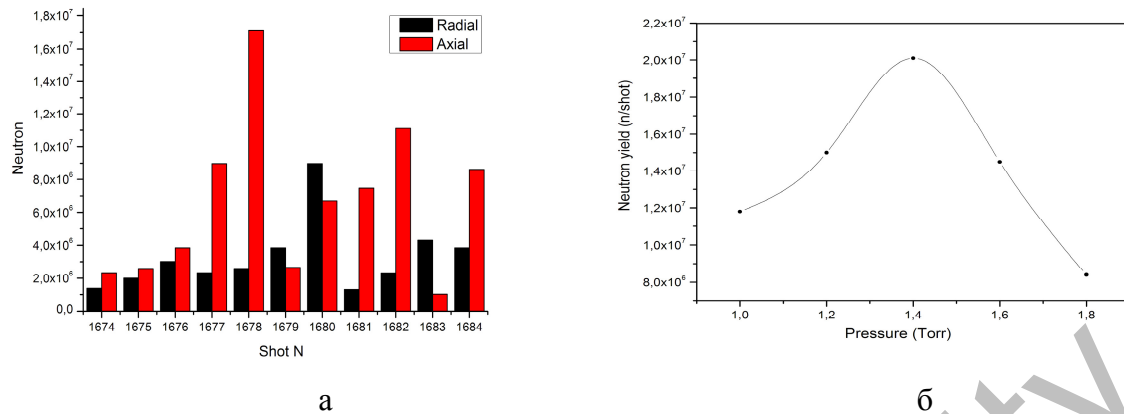
$$Y = 10^{-13} I_p^4 \quad (2)$$

Мұндай тәуелділіктер өткен ғасырдың үшінші ширегінде энергетикалық диапазондағы 1-100 кДж қондырғыларда эксперимент жүзінде алынды және плазмалық фокус қондырғысының энергиясының 2-3 есе артуымен термоядролық реактордың түпүлгісі ретінде қарастырды.

Нейтрондық скейлингтің (1) және (2) формула бойынша физикалық мағынасы нейтрондардың шығуы мен тоқ арасындағы қатынастың физикалық мағынасы болып табылады. Мұнда электродтардың арасында разрядтың қалыптасуына магниттік өріс Лоренц күші [2] негізгі роль атқарады. Қарастырып отырған жұмыста плазмалық фокус термоядролық қондырғысындағы разрядты тоқтардың динамикасы мен оның нейтрондардың эмиссиясына тәуелділігі қарастырылады.

Эксперимент нәтижелері. Эксперимент плазмалық фокус ПФ-4 (20 мкФ, 18 кВ, 5.8 нГн) жүргізілді, жұмыс газы ретінде D_2 қолданылды. Электродтар жүйесінің конфигурациясы мыстан жасалған, олар оргшыны изолятор арқылы бөлінген. Сыртқы электродтың диаметрі 1,5 см, ішкісі – 2,5 см құрайды, сыртқы және ішкі электродтардың ұзындығы сәйкесінше 650 мм және 750 мм[3]. Разрядты тоқты және туынды тоқты тіркеуде Роговский белдігі қолданылды. Роговский белдігін калиберлеу үшін жүргізілген эксперименттік өлшеулердің қателігі 2% құрады. Белдік конденсатор мен электродтарды байланыстыратын тізбектерге жақын орналастырылды. Туынды ток осциллограммадан тікелей алынып сандық мәнін есептеу 2 бөлімдегі теорияға негізделіп [4] әдебиетте келтірілген әдіспен есептелді.

Нейтрондардың осьтік және жанама бағыттағы шығуларын тіркеу үшін Am-Be көздерімен калибрленген күміс фольгалы белсендірілген детекторлар нейтрон көзінен (Z-пинч) 5 см қашықтыққа орналастырылды. Детектордың центрі нейтрондар көзімен бірдей биіктікке орнатылды. Біз нейтрондардың шығуын қысым бойынша бағаладық. Ең жақсы атылу 1.4 торр қысымда $1.65 \cdot 10^7$ нейтрон пайда болды. Әртүрлі қысымдағы D-D реакциясын бірнеше рет бақылау арқылы нейтрондардың осьтік және жанама бағыттағы максималды шығулары анықталды (1а сурет). [5] жұмыстағы зерттеушілердің болжамы бойынша мұндай жағдайдағы максималды Y нейтрондардың шығуы $Y \approx I_p^4$ (I_p , кА) нейтронды скейлингке сәйкес келеді. Нейтрондардың шығуының толтырылған дейтерий газ қысымына тәуелділігін бағалауда, нейтронды санағыштар әртүрлі 1 ден 1.8 Топг аралығында газ қысымында жазылды. Экспериментті құрылғыда нейтрондардың шығуы әртүрлі қысымда кенеттен төмендейді (1б сурет). Мұндай жағдайдағы қысымның артуы мен бөлшектердің шығу механизмі бойынша нейтрондардың эмиссиясының төмендеуімен байланысты деп түсіндіріледі.



Сурет 1. Нейтрондар эмиссиясы. а) нейтрондардың остік және жанама бағыттағы эмиссиясы. б) нейтронның қысымға байланысты эмиссиясы

Олардың теориялық моделіне сәйкес, таза термоядролық түсініктерге негізделіп разрядтық пиктік ток бір мезетте разрядты пинчтік токпен пайда болғанда нейтрондардың шығуына қол жеткізуге болады. Сәулелі нысан механизмі бойынша, оңтайлы қысымнан төмен болған кезде дейтрондардың тығыздығының саны осы тік бағытта үдетілуі төмен болады осыдан нейтрондардың шығуы да төмен болады.

Қорытынды. Жұмыс авторлары плазмалық бағаналардағы пинчтік тоқты плазманың соңғы сығылу аудандарында роговский белдігі арқылы өлшеді. Өлшенген пинчтік ток жалпы разрядты токтың 80% құрайды. Тәуелділік заңы бойынша нейтрондар эмиссиясы мен разрядты пинчтік токтың арасындағы қатынас $Y \sim I^4$ тең болады. Разрядты сигналдарды талдау жасап бірнеше динамикасының сипаттамалары зерттелді. Туынды токты экспериментті түрде өлшеу арқылы симметриялы өстің бетіндегі плазма қабықшасының қалыптасуы мен максималды сығылу динамикасы туралы маңызды ақпарат алуға болады. Белсендірілген күміс фольгалы санағышпен өлшеу арқылы алынған жалпы нейтрондардың шығу мен біршама оптималды нейтрондардың эмиссиясына қатысты физикалық шамалармен салыстырылды. Плазманың максималды сығылу кезінде (пинчте) нейтрондар ұшып шығуымен плазма қабықшасының үзілу уақыты камерадағы қысымға тәуелді болып энергиясы мен тоғы артуымен нейтрондардың шығуы да артады. Жүргізілген эксперимент бойынша разрядты пиктік токтар 18 кВ кернеуде 200-265 кА аралығында болса, пинчтік токтар 178-230 кА арасында қысымға байланысты өзгеріп отырды. Сәйкесінше нейтрондардың ағыны $8 \cdot 10^6 - 2.2 \cdot 10^7$ нейтрон/имп тең болды. Алынған нәтижелер жоғарыда келтірілген модельдер мен болжамдарға сәйкес келеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Krokhin O.N., Nikulin V.Ya. The upgraded plasma focus installation "FLORA"- the installation "TULIP"// Journal of Technical Physics, -1999, vol. XL, № 1.
- 2 Никулин В. Я., Полухин С. Н. О насыщении нейтронного выхода плазменных фокусов мегаджоульного диапазона. //Физика плазмы, 2007. – Т.33, № 3. - С. 1–7.
- 3 Волобуев И.В., Гурей А.Е., Никулин В.Я., Полухин С.Н. Магнито-зондовые и нейтронные измерения на плазменном фокусе ПФ-400. //Физика плазмы, 2010. – Т. 36, № 12. - С. 1075–1084.
- 4 F.B Vaimbetov, A.M. Zhukeshov and A.U. Amrenova. Dynamics of Plasma Flow Formation in a Pulsed Accelerator Operating at a Constant Pressure. Technical Physics Letters, 2007. - Vol. 33, No. 1. - P. 77–79.

- 5 Zhukeshov A. M., Amrenova A.U., Gabdullina A.T., Ibraev B.M. A plasma Formation in Pulsed Coaxial Gun at Continuously Filling Regime//American Journal of Physics and Applications. – 2013. - Vol. 1, No. 1. - P. 5-9.

УДК 535.342, 535.215

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТНОГО СЛОЯ TiO₂ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРОВСКИТНОГО СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Мукаметкали Т.М., Айтбаева Ж.М., Гунгышбаева Д.Н., Зейниденов А.К.,
Карагандинский университет им. Е.А. Букетова, Центр Нанотехнологий и
функциональных наноматериалов
tmk625@mail.ru

В последнее время для создания преобразователей солнечной энергии большую привлекательность приобрела идея создания дешевых и технологичных перовскитных солнечных элементов (PSCs) с использованием органо-неорганических материалов. Быстрое развитие PSCs связано с обширными исследованиями в области композитных материалов, процессов кристаллизации пленки и транспортных слоев [1,2].

Многие исследователи были сосредоточены на пленках диоксида титана (TiO₂) из-за его превосходных оптических и электрических свойств, таких как диэлектрическая стабильность, высокий показатель преломления, широкая запрещенная зона и высокий коэффициент пропускания в видимой области спектра [5]. Компактный слой TiO₂ обычно получают различными методами, такими как пиролиз аэрозольного распыления, термическое окисление [6], метод спинового покрытия, осаждение атомного слоя [7] и электрохимическое осаждение [8]. Кроме того, пленка TiO₂ является перспективным кандидатом на роль слоя переноса электронов (ETL) в перовскитных солнечных ячейках (PSC) в связи с лучшим поглощением на коротких длинах волн [9].

Перовскитные солнечные ячейки конструировались на стеклянных подложках покрытых тонким проводящим слоем FTO (15 Ом/см²), выполняющих функцию внешнего электрода (анода). На поверхность подложки с FTO методом spin-coating из раствора наносилась пленка TiO₂ (Ti-Nanoxide BL/SC- Solaronix), при скоростях вращения 3000, 4000, 5000 и 6000 rpm с последующим отжигом при температуре 500 °C в течение 60 минут. Пленка TiO₂ является селективным контактом, извлекающим электроны с фотоактивного слоя, с последующим транспортом электронов к катоду.

В качестве дырочно-транспортного слоя HTL использовался MoO₃ (Borun New Material Technology Co., Ltd.) при степенях вакуума 10⁻² Па. После на поверхность пленок при вакууме 10⁻³ Па напылялся Ag электрод.

На рисунке 1 приведены АСМ снимки морфологии поверхности функциональных слоев PSCs. На рисунке 1a представлена морфология поверхности перовскита CH₃NH₃I₃PbCl_x, который имеет микрокристаллическую структуру с шероховатостью поверхности 5,9 нм, полностью покрывает поверхность FTO. Морфология поверхности ETL слоя TiO₂, полученного при скорости вращения 3000 об/мин, имеет однородную и плотную мелкозернистую структуру с шероховатостью поверхности около 7,2 нм (рисунок 1b). При нанесении пленки на скорости 4000 об/мин шероховатость поверхности составляет около 7,9 нм (рисунок 1c). Однако, как видно из рисунков 1d и 1e, где представлена морфология поверхности слоя TiO₂, полученного при скорости вращения в 5000 об/мин и 6000 об/мин, несмотря на схожую зернистую структуру, пленка имеет значительно меньшую степень шероховатости поверхности, которая составляет 3,8 нм и