

ӨОК 533.0.082

## ПЛАЗМАЛЫҚ ФОКУС ТЕРМОЯДРОЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫСЫНДАҒЫ РАЗРЯДТЫ ТОҚ ПЕН НЕЙТРОНДАР ЭМИССИЯСЫНЫҢ ҚАТЫНАСЫ

<sup>1)</sup> А.М. Жукешов, <sup>1)</sup> Ж.М. Молдабеков, <sup>2)</sup> В.Я. Никулин,  
<sup>1)</sup> А.Т. Габдуллина, <sup>1)</sup> А.У. Амренова, <sup>1)</sup> Д.Н. Кабрешова

<sup>1)</sup> *ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

<sup>2)</sup> *Ресей ғылым академиясының П.Н. Лебедев атындағы физика институты, Мәскеу, Ресей*

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 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. Ұсынылып отырған жұмыста плазмалық фокус қондырғысындағы разрядты пинчтік токтардың нейтрондардың эмиссиясына тәуелділігі баяндалады.

**Кілт сөздер:** нейтронды эмиссия, разрядты ток, пинч, плазмалық фокус.

### КІРІСПЕ

«Плазмалық фокус» құбылысы ХХ ғасырдың ортасында Н.В. Филиппов (Советтік Социалистік Республикалар Одағы) [1] пен Дж. Мэйзердің (J. Mather, Америка Құрама Штаттары) басқарылатын термоядролық синтез бағдарламасы бойынша жүргізілген зерттеулерде тәуелсіз ашылды. Бүкіл әлем бойынша оннан аса плазмалық фокус типті қондырғылар бар. Қазіргі таңда ең қуатты қондырғы PF-1000 (Варшава, Польша) энергия қоры 1 МДж-ға тең. П.Н.Лебедев атындағы Ресей ғылым академиясының физикалық институтында (Мәскеу, Ресей) қуатты лазерден және плазмалық фокус типті қондырғыдан «Тюльпан» атты бірегей плазмалық фокус жасалды [6]. Плазмалық қондырғы кешенінің құрамында энергиясы 4 кДж-ден 0,4 МДж-ге дейін, тығыздығы 10 А/см, жоғары плазмадан 300 кА-ден 3 МА-ге дейін тоқты қамтамасыз ете алатын қондырғы бар.

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. Мұндай бөлшектерді алу келесі макроскопиялық параметрлерге: конденсатор батареясының энергиясы, разрядты ток, зарядтағыш кернеу, анод және катодтың өлшемі мен осьтік фазадағы плазмалық тоқ қабықшасының қисықтығына (изолятор ұзындығына) тәуелді болып табылады [3–4]. Плазмалық фокуста пайда болатын рентген сәулелері дефектоскопияда, активтендіру рентгенді литографияда қолданылады. Иондық имплантация арқылы материалдарды өңдеуде энергетикалық иондар қолданылса, нейтрондармен атқылау арқылы термоядролық реактордың бірінші қабаты-

ның материалын сынамадан өткізуге қолданылады [5]. Аталған қондырғыда пайда болатын плазма параметрлері электродтар жүйесі және камерадағы жұмыс газының қысымына әсер етеді. Нейтрондардың қарқынды шығуы камерадағы қысымға байланысты болып табылады [8].

[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 токтың сығылу сәтiне (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 1–100 кДж энергетикалық диапазондағы қондырғыларда эксперимент жүзінде алынды және плазмалық фокус қондырғысының энергиясының 2–3 есе артуымен термоядролық реактордың түпүлгісі ретінде қарастырды. Алайда мегаджоульді диапазонға ауысу барысында нейтрондық эмиссияның қанығуы байқалды, яғни бір жарқылда күтілген  $10^{13}$  нейтронның орнына шамасы он есе аз нейтрондар тіркелді, алайда (2) формула бойынша тоқ скейлинг орындала берді.

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 өрістің Лоренц күші [12] негізгі роль атқарады. Қарастырып отырған жұмыста плазмалық фокус термоядролық қондырғысындағы разрядты токтардың динамикасы мен оның нейтрондардың эмиссиясына тәуелділігі қарастырылады.

**ИМПУЛЬСТІК РАЗРЯДТЫ ТОҚТЫ ЖӘНЕ НЕЙТРОНДАР АҒЫНЫН ӨЛШЕУДІҢ ТЕОРИЯСЫ**

**Роговский белдігі**

Роговский белдігі жоғары кернеулі электрлік қондырғылардағы туынды тоқты өлшеуге арналған тороидальды катушка болып табылады. Белдіктің жұмыс істеу принципі электромагнитті индукцияның Фарадей заңына негізделген. Роговский белдігі разряд шинасының сыртына және үдеткіш жазықтығының ішіне яғни тоқ ағынының бағытына перпендикуляр бағытта шеңбер түрінде орналасады. Біздің жұмыста Роговский белдігі соленоид тәрізді диаметрі  $d=4$  мм, ұзындығы  $l=20$  см, орам саны  $N=7$ -ден құралған орамадан тұрады. Разрядты тоқ орам арқылы өтеді. Разрядты тоқтың өзгерісі ( $dI/dt$ ) катушкада ( $k dI/dt$ ) индукцияланған электрқозғаушы күшті тудырады [5].

$$L_{инд} \frac{di}{dt} + (r + r_{инд})i = k \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

$$V = ri \quad (4)$$

мұндағы  $k$ -катушканың геометриялық пішіні мен катушкадағы  $I$  тоққа тәуелді тұрақты шама,  $r$  – төмен индукциялы жүктеменің кедергісі,  $L_{инд}$   $r_{инд}$  роговский белдігінің индукциясы мен кедергісі,  $I$  тороидальды катушканың көлденең қимасының центрінен өтетін разрядты тоқ және  $i$ -катушкадағы индукцияланған тоқ болып табылады.

Роговский белдігі мынадай екі режимде жұмыс істейді.

**а) Уақыт бойынша туынды тоқты өлшеу режимі.**

Егер  $L_{инд} \frac{dI}{dt} \ll (r + r_{инд}) \cdot i$  болса, онда (3) теңдеуден мынадай өрнек аламыз  $i = \left( \frac{k}{r + r_{инд}} \right) \frac{dI}{dt}$  ал (4)

теңдеуден шығыс керенуі ( $dI/dt$ ) туынды тоққа пропорционал болады:

$$V = ri = \left[ \frac{r}{r + r_{инд}} k \right] \frac{dI}{dt} \quad (5)$$

Бұл жағдайда, қатынасының  $\left( \frac{L_{инд}}{r + r_{инд}} \right)$  мәні ток

импульсінің ұзақтығына қарағанда айтарлықтай аз болуы тиіс және Роговский белдігі уақыт бойынша туынды тоқты өлшеуге қолданылады.

**б) Тороидальды катушканың көлденең қимасының центрінен өтетін разрядты тоқ режимі.**

Егер  $L_{инд} \frac{dI}{dt} \gg (r + r_{инд}) \cdot i$  болса онда (3) теңдеуден мынаны аламыз  $i = \left( \frac{k}{L_{инд}} \right) I$ , сәйкесінше (4)

ден мынаны аламыз  $i = \left( \frac{k}{L_{инд}} \right) I$ , сәйкесінше (4)

теңдеуден шығыс керенуінің мәні (I) пропорционал болады:

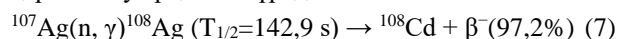
$$V = ri = \left[ \frac{r}{L_{инд}} k \right] I \quad (6)$$

мынадай шарт үшін,  $\left( \frac{L_{инд}}{r + r_{инд}} \right)$  қатынасының мәні ток

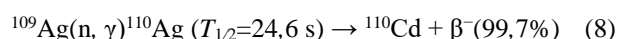
импульсінің ұзақтығынан айтарлықтай көп болады, және Роговский белдігі трансформатор тоғы сияқты жұмыс істейді.

**Белсендірілген күміс фольгасының теориясы**

Белсендірілген күміс санағышына мынадай  $^{107}\text{Ag}$  51,35% және  $^{109}\text{Ag}$  48,65% табиғи күміс изотобы бар фольга қолданылды. Нейтрондардың табиғи күміс фольгамен негізгі ядролық реакциялары нейтрондық қармап алу арқылы жүреді



және



Нейтрондардың  $^{107}\text{Ag}$  және  $^{109}\text{Ag}$  радиоактивті қармауы нәтижесінде  $^{108}\text{Ag}$  және  $^{110}\text{Ag}$  жартылай өмір сүрі уақыты 142,9 с және 24,6 с болатын тұрақсыз изотоптар пайда болады.

Нейтронды детектор формасы цилиндр тәрізді (диаметрі 3,5, 6,5 және 14 см, ұзындығы 12, 11 және 20 см, материалы – оргшыны немесе парафин) баяулатқыш контейнер (осы экспериментте қолданылған), импульсті плазмалық көздерден шығатын нейтрондарды және олардың анизотропиясын тіркеуге арналған. Күміс фольга Гейгер санағышына оралып баяулатылған нейтрондарды бағыттап  $\beta$ -белсенді бөлшектерді тіркейді. Мұндай типтегі датчиктерде салыстырмалы үлкен «өлі уақыты» шамамен (~100 мкс) құрайды. Егер детекторды  $\Omega$  бұрышта орналастырып интенсивтілігі  $I$  (нейтрон/с) болатын тұрақты көзден энергиясы (2,5 МэВ) жылдам нейтрондармен сәулелендірсе. Гейгер санағышына оралған фольганың  $A(t_2)$  белсенділігі мынаған тең болады.[5, 9–10]

$$A(t_2) = n\bar{V} \Sigma(\bar{V})d(1 - e^{-t_2/T}) \quad (9)$$

$$N = A(t_2)T(1 - e^{-\Delta t/T})\psi \quad (10)$$

(10) теңдеуін мына түрде қайта жазамыз:

$$N = I \left( \frac{\Omega}{4\pi} \right) \varepsilon T (1 - e^{-t_2/T}) e^{-t_2/T} (1 - e^{-\Delta t/T}) \quad (11)$$

(11) түрлендіру арқылы мынадай түрге келтіреміз:

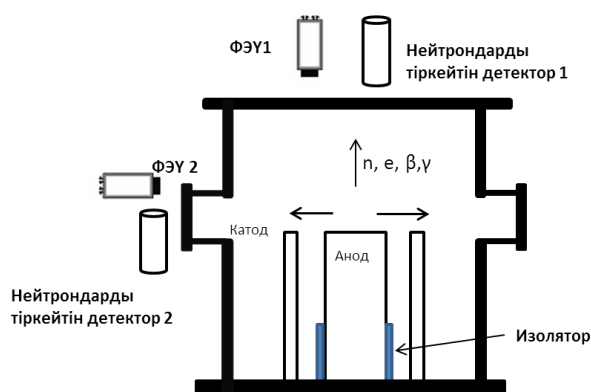
$$N = Y \left( \frac{\Omega}{4\pi} \right) \varepsilon (1 - e^{-\Delta t/T}), \quad (12)$$

мұндағы  $\psi$  – Гейгер санағышында  $\beta$ -бөлшектерді тіркеудің тиімділігін сипаттайтын пропорционалды коэффициент,  $T$  – радиоактивтіліктің бәсеңдеу уақыты,  $\Sigma$  – белсенділік қимасы,  $d$  – белсендендіретін

пластинаның қалыңдығы ( $\Sigma d \ll 1$ ),  $\varepsilon$  – детектордың тиімділігі,  $t_1$  фольганы сәулелендіру уақыты,  $t_2$  сәулеленудің аяқталу мен санағыштың санау уақытының арасындағы уақыт интервалы,  $\Delta t$  – өлшеу уақыты,  $I$  – нейтронды көздердің интенсивтілігі,  $\Omega$  – детектор орналасқан бұрыш,  $N$  – импульстер саны,  $Y$  – нейтрондардың шығуы.

#### ЭКСПЕРИМЕНТ НӘТИЖЕЛЕРІ

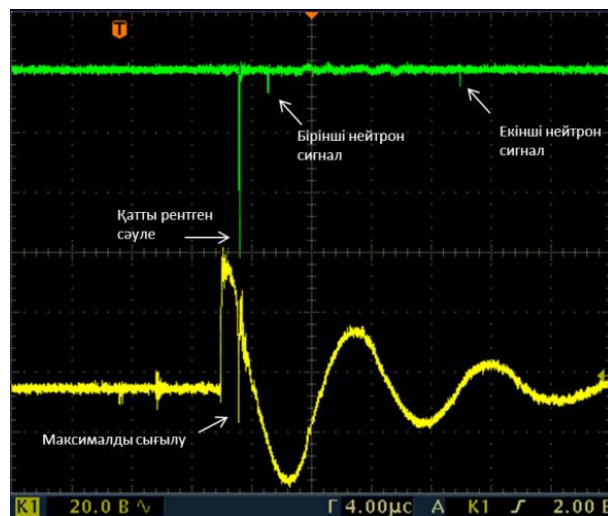
Эксперимент плазмалық фокус ПФ-4 (20 мкФ, 18 кВ, 5,8 нГн) жүргізілді, жұмыс газы ретінде  $D_2$  қолданылды. Электродтар жүйесінің конфигурациясы мыстан жасалған, олар оргшыны изолятор арқылы бөлінген. Сыртқы электродтың диаметрі 1,5 см, ішкісі – 2,5 см құрайды, сыртқы және ішкі электродтардың ұзындығы сәйкесінше 650 мм және 750 мм [11]. Плазмалық фокус қондырғысындағы электродтар жүйесіндегі катодтың ұзындығы анодтың диаметрінің қатынасы бойынша [12] көрсетілгендей  $A > 1$  шарт орындалды, яғни  $A = 2,6$  см тең болды. Плазмалық фокус қондырғысының жұмыс істеу принципі бойынша [5] 1-суретте қондырғының эксперименттік схемасы көрсетілгендей диагностикалық приборлар осьтік және жанама бағытта қойылды (1 сурет). Разрядты тоқты және туынды тоқты тіркеуде Роговский белдігі қолданылды. Роговский белдігін калибрлеу үшін жүргізілген эксперименттік өлшеулердің қателігі 2% құрады.



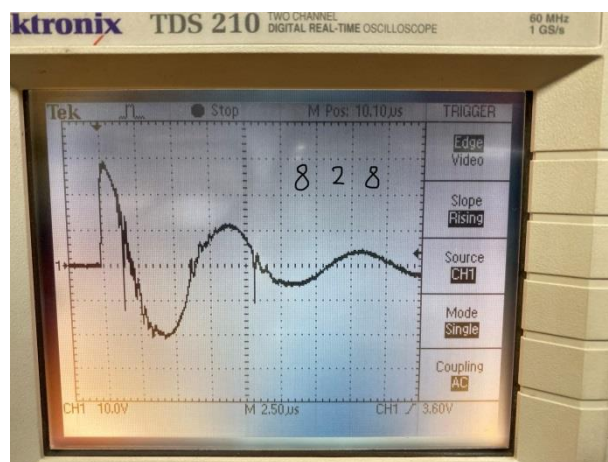
Сурет 1. Плазмалық фокус қондырғысында эксперимент жүргізу схемасы және диагностикасы

ПФ термоядролық реакторында толтырылған газдың (дейтерий, аргон, гелий, сутегі және т.б.) иондалуының нәтижесінде электродтар жанындағы диэлектриктің бетінде разрядтар пайда болады. Осы пайда болған разрядтың нәтижесінде плазмалық қабықша  $I$  ток пен өзіндік  $B$  магниттік өрістің әсерлесуімен қозғалады. Плазмалық қабықшаның қозғалыс динамикасынан разрядты тоқты өлшеу эксперименттік [10] және теориялық [12] жолмен де анықталады (2-сурет). Нөл өлшемді модель бойынша разрядты – тоқтың кенеттен құлауы плазмалық қабықшаның анодтың басына жетіп шығылғанын көрсетеді. Мұндай шығылудан плазмалық қабықшаның көлемі артып концентрациясы азаяды.

Нейтрондардың максималды шығуы осы бірінші шығылуда пайда болып, екінші және үшінші реттік шығылуы плазманың концентрациясы мен қабықшаның биіктігіне байланысты болады (2б сурет).



а)

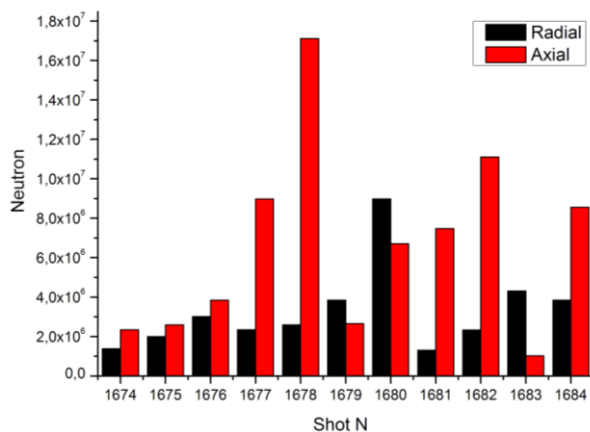


б)

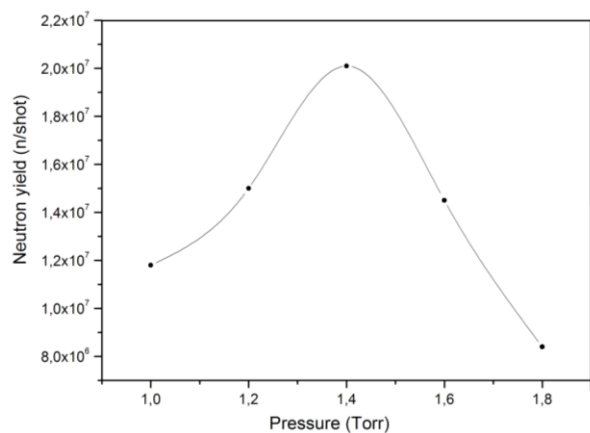
Сурет 2. 1485 және 828 эксперименттің нәтижесі: нейтрондық импульс пен қатты рентгенді сәуле және плазманың максималды шығылуы (а), плазманың екі ретті шығылуы (б)

Нейтрондардың остік және жанама бағыттағы шығуларын тіркеу үшін Am-Be көздерімен калибрленген күміс фольгалы белсендірілген детекторлар нейтрон көзінен (Z-пинч) 5 см қашықтыққа және рентгенді сәулелерді тіркеу үшін сцинтиллятор фотоэлектронды күшейткішпен 15 см қашықтыққа орналастырылды. Детектордың центрі нейтрондар көзімен бірдей биіктікке орнатылды және иондарды экрандау мақсатында детектордың алдына 1,2 мм және 2,5 мм қалыңдықтағы қорғасын қойылды. 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 остік

және жанама бағыттағы максималды шығулары анықталды (3а сурет). [8] жұмыстағы зерттеушілердің болжамы бойынша мұндай жағдайдағы максималды  $Y$  нейтрондардың шығуы  $Y \approx I_p^4$  ( $I$ , кА) нейтронды скейлингке сәйкес. Нейтрондардың шығуының толтырылған дейтерий газ қысымына тәуелділігін бағалауда, нейтронды санағыштар әртүрлі 1-ден 1,8 торр аралығында газ қысымында жазылды. Экспериментті құрылғыда нейтрондардың шығуы әртүрлі қысымда кенеттен төмендейді (3б сурет).



а)



б)

Shot N – ПФ атылымдар саны; Neutron – Нейтрондар саны;  
Radial – жанама (радиалды) бағыт; Axial – остік (аксиалды) бағыт;  
Pressure (Torr) – газ қысымы; Neutron yield – нейтрондардың шығуы

Сурет 3. Нейтрондар эмиссиясы: нейтрондардың остік және жанама бағыттағы эмиссиясы (а), нейтронның қысымға байланысты эмиссиясы (б)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Петров Д.П., Филиппов Н.В., Филиппова Т.И., Храбров В.А. Мощный импульсный газовый разряд в камерах с проводящими стенками // В сб. Физика плазмы и проблемы управляемых термоядерных реакций. Изд. АН СССР, 1958. - Т. 4. - С. 170-181.
2. Mather J.W. Formation of the high-density deuterium plasmafocus // Phys. Fluids, 1965, Vol. 8. – P. 366.
3. Filippov N.V., Filippova T.I., Khutoretskaia I.V., Mialton V.V., Vinogradov V.P. Megajoule Scale Plasma Focus as Efficient X-ray Source // Physics Letters A – 1996. – 211. – P. 168–171.

Мұндай жағдайдағы қысымның артуы мен бөлшектердің шығу механизмі бойынша нейтрондардың эмиссиясының төмендеуімен байланысты деп түсіндіріледі. Мұндай тәуелділік термоядролық (thermonuclear) және үдеткіштік (beam target) механизмдері арқылы түсіндіріледі. Термоядролық көзқарас бойынша біз нейтрондардың шығуы мен дейтрейдің газ қысымы арасындағы тәуелділікті Могоно және басқада авторлардың [8] түсіндіруін қолдандық.

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 нейтрондардың тығыздығының саны остік бағытта үдетілуі төмен болғандықтан нейтрондардың шығуы да төмен болады.

#### ҚОРЫТЫНДЫ

Жұмыс авторлары плазмалық бағаналардағы пинчтік тоқты плазманың соңғы сығылу ауданында роговский белдігі арқылы өлшеді. Өлшенген пинчтік ток жалпы разрядты тоқтың 80% құрайды. Тәуелділік заңы бойынша нейтрондар эмиссиясы мен разрядты пинчтік тоқтың арасындағы қатынас  $Y \sim I^4$  тең болады. Разрядты сигналдарды талдау жасап бірнеше динамикасының сипаттамалары зерттелді. Туынды тоқты экспериментті түрде өлшеу арқылы симметриялы остік бетіндегі плазма қабықшасының қалыптасуы мен максималды сығылу динамикасы туралы маңызды ақпарат алуға болады. Белсендірілген күміс фольгалы санағышпен өлшеу арқылы алынған жалпы нейтрондардың шығуы 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.

4. Плазменный фокус. Физическая энциклопедия. В 5-ти томах. – М.: Советская энциклопедия. 1988. – С.1437.
5. Krokhin O.N., Nikulin V.Ya. The upgraded plasma focus installation “FLORA” – the installation “TULIP” // Journal of Technical Physics, – 1999, vol. XL, № 1.
6. Никулин В. Я., Полухин С. Н. О насыщении нейтронного выхода плазменных фокусов мегаджоульного диапазона // Физика плазмы, 2007. – Т.33, № 3. – С. 1–7.
7. Nikulin V.Ya., Polukhin S.N., and Tikhomirov A.A. A Simple Criterion for the Snowplowing Efficiency of the Working Gas in a kJ Plasma Focus // Plasma Physics Reports, 2005. -Vol. 31, No. 7. - P. 591–595.
8. A. Gentilini, J.P. Rager, K. Steinmetz, M. Tacchia, D. Antonini, B. Arcipiani, P. Moioli, E. Pedretti, R. Scaf’e, Comparison of four calibration techniques of a silver activated geiger counter for the determination of the neutron yield on the Frascati plasma focus experiment // Nuclear Instruments and Methods, 1980. Vol.172, No 3. – P. 541–552.
9. O.N. Krokhin, V.Ya. Nikulin, I.V. Volobuev, Compact activation detectors for measuring of absolute neutron yield generated by powerful pulsed plasma installations // Czech. J. Phys., 2004. Vol. 54, P. 28–31.
10. 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.
11. 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.
12. 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.

### СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ РАЗРЯДНЫМ ТОКОМ И НЕЙТРОННОЙ ЭМИССИЕЙ В ТЕРМОЯДЕРНОМ ПЛАЗМЕННОМ ФОКУСЕ

<sup>1)</sup> Жукешов А.М., <sup>1)</sup> Молдабеков Ж.М., <sup>2)</sup> Никулин В.Я.,  
<sup>1)</sup> Габдуллина А.Т., <sup>1)</sup> Амренова А.У., <sup>1)</sup> Кабрешова Д.Н.

<sup>1)</sup> *Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан*  
<sup>2)</sup> *Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия*<sup>2</sup>

Исследованы динамические характеристики разрядного тока в термоядерной установке плазменного фокуса и его зависимость от эмиссии нейтронов. Динамика образования разрядного пикового и пикового токов измерена через пояс Роговского и поток нейтронов с помощью детектора с активированной серебряной фольгой. По результатам анализа разрядные пиковые токи при напряжении 18 кВ колебались от 200 до 265 кА, а ток пинча в зависимости от давления в диапазоне 178–230 кА. Соответственно поток нейтронов был равен  $8 \cdot 10^6 - 2,2 \cdot 10^7$  нейтрон/имп. Описана зависимость эмиссии нейтронов от разрядного тока пинча в установке плазменного фокуса.

**Ключевые слова:** нейтронная эмиссия, разрядный ток, пинч, плазменный фокус.

### THE CORRELATION BETWEEN OF DISCHARGE CURRENT AND NEUTRON EMISSIONS IN THE THERMONUCLEAR PLASMA FOCUS DEVICE

<sup>1)</sup> A.M. Zhukeshov, <sup>1)</sup> Zh.M. Moldabekov, <sup>2)</sup> V.Ya. Nikulin,  
<sup>1)</sup> A.T. Gabdullina, <sup>1)</sup> A.U. Amrenova, <sup>1)</sup> D.N. Kabdreshova

<sup>1)</sup> *al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*  
<sup>2)</sup> *P. N. Lebedev physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

The dynamic characteristics of the discharge current in a thermonuclear plasma focus installation and its dependence on neutron emission was studied. The dynamics of the formation of discharge pickcurrent was measured and analysed through the Rogowskiy belt and activated neutron flux with an activated silver foil detector. According to the results of the analysis, the discharge peak current at a voltage of 18 kV from 200 to 265 kA and the pinch current was varied depending on the pressure between 178–230 kA. Accordingly, the neutron flux was  $8 \cdot 10^6 - 2.2 \cdot 10^7$  neutron/imp. The dependence of neutron emission on discharge pinch current in plasma focus device installation is described.

**Keywords:** neutron emission, discharge current, pinch, plasma focus.