

УДК 539.17/ 533.9

DOI: 10.52531/1682-1696-2022-22-1-9-14

Научная статья

# ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКОВ ХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ, МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ГЕТЕРОГЕННОЙ НАНО-КЛАСТЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

**А.И. Климов,  
Н.К. Белов, Б.Н. Толкунов**  
Объединенный институт высоких  
температур РАН

В настоящей работе были продолжены экспериментальные исследования физических свойств гетерогенной плазмы (ГП) с помощью современной диагностической техники. Для регистрации рентгеновских спектров в ГП, созданной в вихревом реакторе (ПВР), использовался рентгеновский спектрометр X-123. Для регистрации нейтронного излучения использовался модернизированный радиометр КРАН-1. Обнаружено интенсивное мягкое рентгеновское излучение с энергией квантов до 10 кэВ. Надежно зарегистрирован поток нейтрон-подобных частиц  $10^5$  частиц/сек в распадающейся ГП, созданной импульсным разрядом.

**Ключевые слова:** гетерогенная плазма, мягкое рентгеновское излучение, плазменный вихревой реактор, поток нейтрон-подобных частиц.

## ВВЕДЕНИЕ

Основная цель настоящей работы: продолжение изучения низко-энергетичных ядерных реакций (low-energy nuclear reactions, LENR) в гетерогенной плазме, созданной в быстро-проточном вихревом плазменном реакторе ПВР [1, 3, 4].

Авторы считают, что основным ключом для выяснения физического механизма LENR в гетерогенной плазме (ГП), созданной в различных плазменных реакторах, является использование современной диагностической аппаратуры. Для изучения физических свойств ГП необходимо использовать оптическую и рентгеновскую спектроскопию высокого разрешения, а также датчики тепловых и холодных нейтронов.

Работы Д. Мельниченко [2], П. Капицы [5], Р. Миллса [6] убеждают нас, что в том, что мягкое

*Original article*

## MEASUREMENT OF COLD NEUTRON-LIKE PARTICLE FLUX AND SOFT X-RAY RADIATION IN HETEROGENEOUS PLASMA

**A. KLIMOV, N. BELOV, B. TOLKUNOV**  
JOINT INSTITUTE OF HIGH TEMPERATURE  
RAS

Experimental study on physical properties of heterogeneous plasma (HP) by new diagnostic instrumentation was carried out in this work. X-ray spectrometer X-123 was used for registration of soft X-ray spectra from HP created by a pulse repetitive electric discharge in the plasma vortex reactor (PVR). Radiometer KРАН-1 is used for registration of cold neutron-like particle flux created by pulsed electric discharge in the setup HP. It was revealed that there is intensive soft X-ray radiation with quantum energy up to 7KeV created by HP. It was recorded a cold neutron-like particle flux  $10^5$  particle/sec from HP created by pulsed discharge.

**KEYWORDS:** heterogeneous plasma, soft X-ray spectra, plasma vortex reactor, neutron-like particle flux.

рентгеновское излучение и жесткое УФ – излучение играют важнейшую роль в физике плазмоидного состояния вещества (примером которого является природная шаровая молния), а также эти излучения важны для выяснения физики LENR в ГП. Напомним, что в работах [4–6] в ГП было обнаружено явление «ультрафиолетовой катастрофы», когда в плазмоидах выход УФ и мягкого рентгеновского излучений увеличивался в  $10^6$  раз и более по сравнению с диффузными плазменными образованиями, созданными при прочих равных условиях. В работах [1–2] обнаружен поток нейтрон-подобных частиц (НПЧ) из ГП.

## МЯГКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

В настоящей работе были продолжены экспериментальные исследования физических свойств ГП с помощью современной диагностической техники. Для регистрации рентгеновских спектров в ГП, созданной на установке ПВР, использовался рентгеновский

спектрометр X-123, рис. 1. Полоса регистрации этого прибора была  $\Delta E = 0,1 \div 10$  кэВ. Его разрешение было не хуже  $\delta E \sim 0,1$  кэВ. Калибровка спектрометра осуществлялась с помощью таблетки из изотопа  $Fe^{55}$  (по наиболее ярким линиям  $E_K = 5,89$  кэВ и  $E_L = 6,49$  эВ) (рис. 2). Для регистрации мягкого рентгеновского излучения в ГП, созданной в ПВР, в его рабочей секции из кварцевого стекла было просверлено отверстие, диаметром 6 мм. Это диагностическое окно герметически плотно затягивалось алюминиевой фольгой толщиной 10  $\mu$ . Было показано, что такая фольга является прозрачной для мягкого рентгеновского излучения от калиброванного источника  $Fe^{55}$  (ослабление не превышало 2÷3 раза).

ГП создавалась в ПВР с помощью импульсно-периодического разряда в потоке газовой смеси: водяной пар + аргон [1]. Металлические нано кластеры получались за счет эрозии катодного электрода в ректоре.

Типичные условия в ПВР были следующие [1]:

расход аргона  $1 \div 4$  г/с

расход водяного пара  $-0,5 \div 3$  г/с

средняя DC мощность  $-0,3 \div 2$  кВт

амплитуда импульсного тока  $\leq 10$  А

амплитуда импульсного напряжения  $-2000 \div 4000$  В

частота повторения импульсов  $10 \div 40$  кГц

длительность импульса  $\sim 10$  мкс,

используемые электроды выполнены из чистого никеля (99,99%).

рабочая газовая смесь: водяной пар + аргон (или воздух)

Гетерогенные плазмоиды (6), созданные импульсно-периодическим разрядом в ПВР, показаны на рис. 3. Видны: - стримерный канал (2), распространяющийся от анода (1), который вызывает эрозию ка-



Рис. 1.

Рентгеновский спектрометр X-123 рядом с рабочей секцией ПВР. 1 – анодный узел, 2 – диагностическое окно с алюминиевой пленкой, 3 – спектрограф X-123

А.И. КЛИМОВ,  
Н.К. БЕЛОВ, Б.Н. ТОЛКУНОВ  
ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКОВ ХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ,  
МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
В ГЕТЕРОГЕННОЙ НАНО-КЛАСТЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

тодного электрода (4) и вылет макрокапель (5) с его поверхности, их последующее испарение в плазменном канале и формирование отдельных сферических плазмоидов (6).

Типичные сигналы мягкого рентгеновского излучения из ГП, созданного в ПВР показаны на рис. 4.

Видно, что рентгеновские спектры зависят от состава рабочей смеси в ПВР. При использовании из тяжелой воды (рис. 4а) и при наличии в таком паре молекул LiOH (рис. 4в) в спектрах наблюдаются полуразрешенные (сильно уширенные) рентгеновские линии. При замене аргона на гелий спектр становится квази-непрерывным (рис. 4с). При замене никелевого электрода на алюминиевый спектр также становится квази-непрерывным (рис. 4д).

Видно, что в этих спектрах имеются полуразрешенные линии с энергиями:

$E_1 = 0,5$  кэВ,  $E_2 \sim 0,86$  кэВ,  $E_3 = 0,97$  кэВ,  $E_4 = 1,06$  кэВ,  $E_5 \sim 1,13$  кэВ. Отметим, что две из этих линий были близки к К-линии кислорода  $E_{1к} = 0,524$  кэВ и К-линии фтора  $E_{2к} = 0,96$  кэВ.

Другие из обнаруженных линий близки к линиям никеля:

$E_3 = 0,856$  кэВ (переход  $L_{III} \rightarrow M_I$ ),  $E_4 = 0,924$  кэВ (переход  $L_I \rightarrow M_{II}$ ),

и меди:  $E_5 = 0,84$  кэВ (переход  $L_{III} \rightarrow M_I$ ),  $E_6 = 0,1024$  кэВ (переход  $L_I \rightarrow M_{II}$ ),

$E_7 = 0,924$  кэВ (переход  $L_{III} \rightarrow M_I$ )

Однако, интенсивность последних линий никеля и меди очевидно мала по сравнению с интенсивностями К-Л линиями этих элементов. При этом, К-Л линии никеля и меди в эксперименте не были зарегистрированы.

Обнаружено, что рентгеновские спектры различаются для различных рабочих смесей. В полученных спектрах не обнаружено рентгеновских линий с энергиями выше  $E_m = 7$  кэВ.

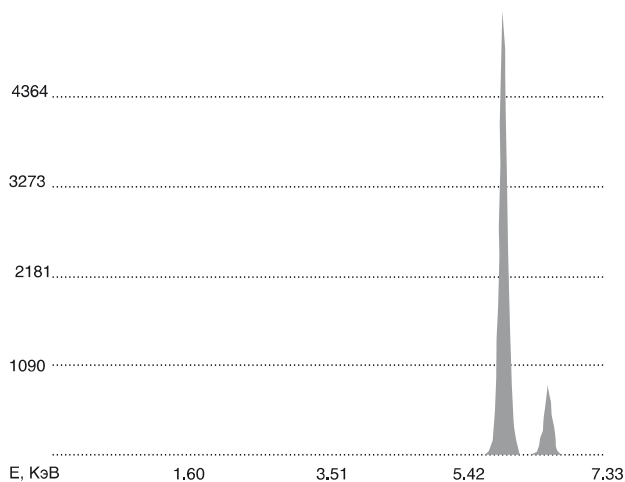


Рис. 2.

Калибровка спектрографа X-123. Изотоп  $Fe^{55}$

Мягкое рентгеновское излучение регистрировалось только в режиме работы ПВР, вышедшего на рабочий режим. При этом имелась значительная эрозия катода и выделение избыточной тепловой энергии в реакторе (по сравнению с электрической энергией, используемой на создание ГП). Этот метод может быть рекомендован для настройки ПВР на режим с максимальной энергетической эффективностью.

Нами дополнительно были выполнены экспериментальные исследования по прямому извлечению электрической энергии из ГП с помощью электрических зондов. По нашему мнению, результаты, полученные в этом эксперименте, оказались важными для возможного объяснения природы рентгеновского излучения из ГП.

Для извлечения электрического тока из ГП использовался медный трубчатый электрод с внутренним диаметром 10 мм и длиной 100 мм. Такой электрод располагался за выходным соплом ПВР по оси рас-

падающейся ГП струи (без внешнего электрического поля), рис. 5.

Было обнаружено, что в выходной ГП струе имеется постоянный положительный потенциал порядка  $\varphi \sim 100 \div 1200$  В. Его величина зависит от состава ГП. Для создания ГП в ПВР в этом эксперименте использовался ВЧ-разряд, созданный генератором Тесла с рабочей частотой  $F = 0,45$  МГц. Важно заметить, что на электродах разрядного промежутка в ПВР с помощью такого генератора в ГП создавалось переменное высоковольтное ВЧ-напряжение с амплитудой до  $\pm 4$  кВ.

Однако, в выходной ГП струе, за пределами заземленного сопла ПВР, всегда генерировался высокий постоянный положительный потенциал  $+\varphi$ . С помощью такого «плазменного ИП» можно было зарядить емкость  $C_{II} \sim 0,5$  мкФ, рис. 5. Для зарядки требовалось использовать нагрузочное сопротивление порядка  $R_{II} \sim 10 \div 100$  К. Было обнаружено, что в этих экспериментах эффективность извлечения электрической



РИС. 3.

ГП, созданная импульсно-периодическим разрядом в ПВР. Эрозионный катод (4), анод (1), стримерный канал – (2), эрозийные металлические микрокапли – 5, плазмиды – 6. Рабочий газ – водяной пар

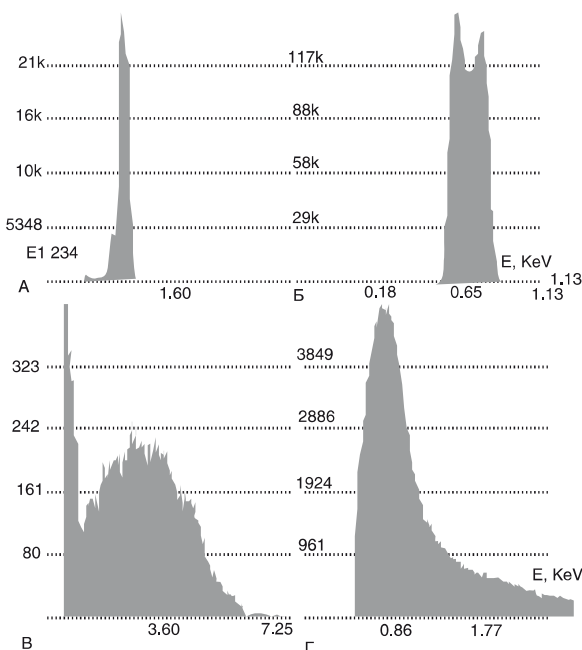


РИС. 4.

Характерные рентгеновские спектры ГП в ПВР. А – смесь  $D_2O + Ni + Ar$ ; Б – смесь  $D_2O + Ni + LiOH + Ar$ ; В – смесь  $D_2O + Ni + He$ ; Г – смесь  $D_2O + Al + Ar$



РИС. 5.

Электрический зонд-трубка и накопительная емкость  $C = 0,5$  мкФ

энергии не превышала  $10 \div 15 \%$  от выходной тепловой мощности реактора.

Отметим, что величина постоянного напряжения  $\varphi = +(0,1 \div 1,2)$  кэВ близка к величине энергии квантов рентгеновского излучения  $E_{1-4}$  (рис. 4 А). По нашему мнению такая корреляция не случайна. Она связана с убегающими электронами из ГП, их тормозным излучением (непрерывная компонента рентгеновских спектров). Как указывалось выше, в рентгеновских спектрах, полученных в ГП, кроме сплошного спектра имеются также отдельные четко различимые линии. До сих пор их природа остается невыясненной и требует дальнейших исследований.

### ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКА НЕЙТРОН-ПОДОБНЫХ ЧАСТИЦ (НПЧ)

Регистрация потоков НПЧ проводилась на импульсной установке НР. На рис.6 показана схема реактора НР. Реактор выполнен из кварцевой трубки диаметром 10 мм и длиной 100 мм. Трубчатый электрод из никеля обеспечивал подвод рабочего газа (Ar, H<sub>2</sub>, He) в реактор. Исследуемый мелкодисперсный порошок засыпался в НР на поверхность второго электрода (или заливалась смесь порошка с тяжелой водой D<sub>2</sub>O). В НР для создания ГП с помощью импульсного разряда использовался источник питания ИП-1.

Параметры импульсного разряда, созданного ИП-1

- импульсный ток  $I_d < 1$  кА
- импульсное напряжение  $U_d < 6$  кВ
- длительность импульса  $T_i \sim 10$  мкс

Параметры ГП, созданной в НР, были получены с помощью метода оптической спектроскопии [1]:

- $N_c \sim 10^{15} \div 10^{17}$  см<sup>-3</sup>
- $T_e \sim 1 \div 3$  эВ
- $T_g \sim 3000 \div 5000$  К

В настоящей работе для измерения потока НПЧ из ГП использовался модернизированный радиометр КРАН-1. В этом приборе был осуществлен дополни-

тельный вывод сигнала с ФЭУ на осциллограф. Это позволяло точно идентифицировать форму сигнала, характерного для медленных нейтронов. Калибровка этого прибора осуществлялась в Дубне, с использованием замедленных реакторных нейтронов [1, 3]. Было обнаружено, что КРАН-1 был подвержен воздействию ЭМ-шумов от импульсного электрического разряда. Поэтому в настоящей работе надежная регистрация НПЧ на установке НР производилась за пределами силового импульса. Типичные сигналы из ГП, созданные импульсным разрядом, показаны на рис. 7, 8. Видно, что в момент самого импульса регистрируется сигнал большой амплитуды (4) с помощью радиометра КРАН-1. Затем за пределами силового электрического импульса (1) генерируется большое количество малых нерегулярных всплесков, рис. 7, 8. Было обнаружено, что формы основного импульса и малых всплесков являются типичными для медленных нейтронов. Полагая, что амплитуда сигналов НПЧ пропорциональна их энергии, а аппаратная характеристика прибора КРАН-1 – линейна, можно попытаться оценить величину энергии  $E_x$  для НПЧ, соответствующим слабым всплескам за пределами силового электрического импульса. При этом, предполагалось также, что энергия НПЧ в момент самого силового импульса близка к значению  $E_{x0} \sim eU_c$  где напряжение  $U_c \sim 1 \div 4$  кВ на накопительной емкости ИП-1. Получено, что величина  $E_x$  не превышает 0,1 кэВ (пропорциональна отношению амплитуд сигналов). Полное число НПЧ, зарегистрированное в эксперименте, составляет  $N \sim 10 \div 20$ . Радиометр КРАН-1 находился на расстоянии  $X = 100$  см от реактора НР. Диаметр чувствительного элемента составляет  $\sim 10$  см<sup>2</sup>. Отсюда, полное число НПЧ, зарегистрированных в эксперименте, достигает  $N_o \sim 10^4$  за время регистрации  $t_p \sim 40$  мс. Оценка среднего потока НПЧ в эксперименте составляет  $S \sim N_o / t_p \sim 2,5 \times 10^5$  с<sup>-1</sup>.

Было обнаружено, что поток НПЧ создавался и регистрировался только при использовании суспензии пылевых частиц (N<sub>p</sub>, T<sub>p</sub>, Al...) в тяжелой воде. Не было зарегистрировано ни одного сигнала НПЧ при использовании обычной легкой водопроводной воды.

Ранее в нашей работе [1] сообщалось, что:

Поток холодных НПЧ был зарегистрирован в ГП, созданной на установке ПВР с помощью радиометров КРАН-1 и СПРС на основе He-3 детекторов. Полный поток таких частиц достигал  $S_n = 10^5 \div 10^6$  штук/с.

Было обнаружено, что такой поток НПЧ создается ГП только при высоком пороговом напря-

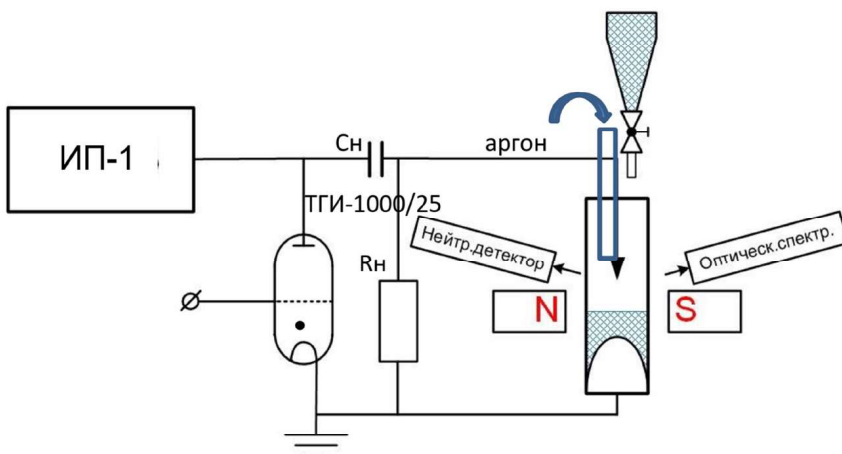


РИС. 6.  
Схема реактора НР

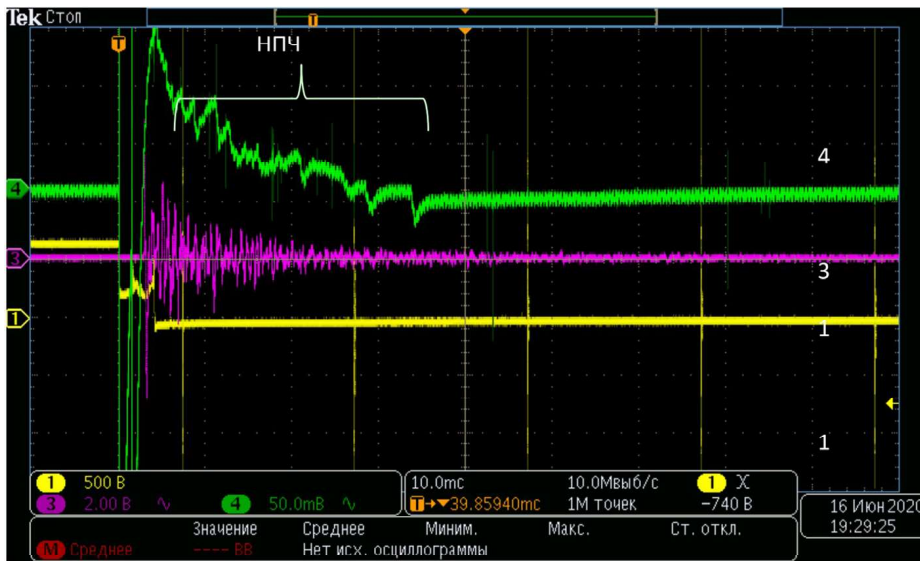


Рис. 7.

Сигнал с нейтронного датчика - зеленый (канал 4). Свехпороговый режим,  $U_c \sim 4,5$  кВ. Напряжение на разряднике - желтый (1). Сигнал с пьезодатчика - фиолетовый (3)

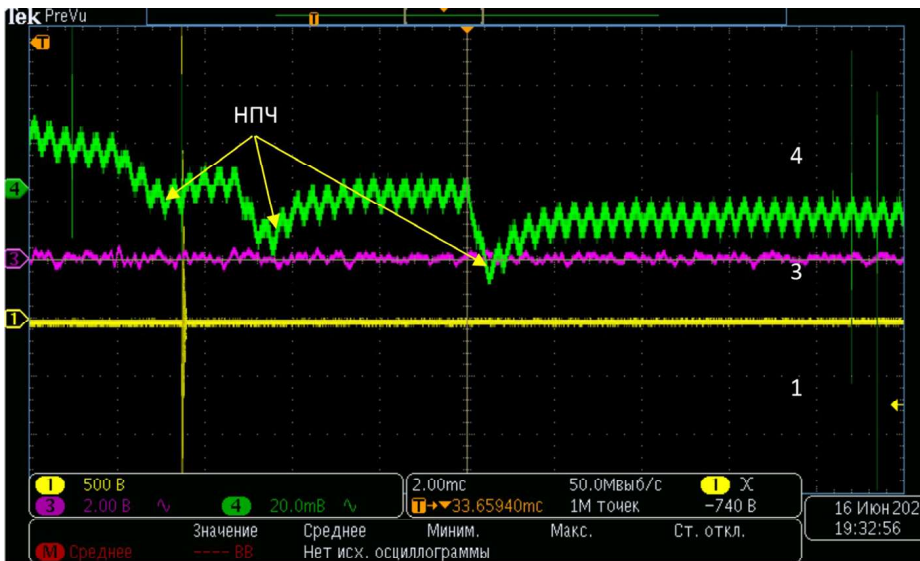


Рис. 8.

Сигнал с нейтронного датчика – зеленый (канал 4). Свехпороговый режим. Увеличенный масштаб,  $U_c \sim 4,5$  кВ. Напряжение на разряднике – желтый (канал 1). Сигнал с пьезодатчика – фиолетовый (канал 3)

жении на разрядном промежутке  $U_d > 3,6 \div 4,2$  кВ.

Видно, что ранее полученные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными в этой работе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Н.К., Климов А.И., Толкунов Б.Н. и др. Регистрация различных типов излучений в гетерогенном вихревом плазменном реакторе ПВР, Труды РКХТЯ и ШМ., М. 2018, С. 5–25.
2. Буглаев К.Е., Лыскин В.П., Мельниченко Д.М.

и др. Реализация алгоритмических СВЧ разрядов, Вопросы специальной радиоэлектроники, М. 1974. С. 12.

3. BELOV N., GODIN S., KLIMOV A., TOLKUNOV B. Different Radiations Created by Heterogeneous Plasmoid, Proc. 25-th RCNT and BL, М. 2019, P. 197–205.
4. KLIMOV A., GRIGORENKO A., EFIMOV A., EVSTIGNEEV N., RYABKOV O. ET. ALL. High-energetic Nano-cluster Plasmoid and its Soft X-ray Radiation, J. Condensed Matter Nucl. Sci. 2016. V. 19. P. 1–10.
5. KAPITSA P.L. Free plasma filament in high frequency

field at high pressure, Zhurn. Exp. Teoret. Fiz., 1969, N57. V. 6. P. 1801–1866.

6. MILLS R. The Grand Unified Theory of Classical Physics, 2010. P. 1–1832.

REFERENCES

BELOV N., GODIN S., KLIMOV A., TOLKUNOV B. Different Radiations Created by Heterogeneous Plasmoid, Proc. 25-th RCNT and BL, M., 2019:197–205. (In Russian).

BELOV N., GODIN S., KLIMOV A., TOLKUNOV B. ET. AL. Measurement of different radiations in Heterogeneous Plasma Vortex Reactor PVR, Proc. RCCNT&BL, M. 2018: 5–25. (In Russian).

KLIMOV A., GRIGORENKO A., EFIMOV A., EVSTIGNEEV N., RYABKOV O., SIDORENKO M., SOLOVIEVA., TOLKUNOV B. High-energetic Nano-cluster Plasmoid and its Soft X-ray Radiation, *J. Condensed Matter Nucl. Sci.*, 2016. 19:1–10.

BUGLAEV K., LYSKIN V., MELNICHENKO D. ET. AL. Realization of Algorithmic Microwave Discharges, Special Radio Electronics Problems, M. 1974: 12–24.

KAPITSA P.L. Free plasma filament in high frequency field at high pressure, Zhurn. Exp. Teoret. Fiz., 1969, 57(6):1801–1866.

MILLS R. The Grand Unified Theory of Classical Physics, 2010:1–1832.

**Климов Анатолий Иванович**,  
д.ф.-м.н, профессор, ведущий научный сотрудник ОИВТ РАН, Технического энергетического университета (МЭИ), представитель России в орг. комитете ICCF

**Белов Никита Константинович**,  
инженер ОИВТ РАН

**Толкунов Борис Николаевич**,  
ведущий инженер ОИВТ РАН

✉ 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2,  
тел.: +7 (495) 485-83-45, e-mail: klimov.anatoly@gmail.com