



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Programme Advisory Committee
for Nuclear Physics
54th meeting**

23 June 2021

**54-я сессия
Программно-консультативного комитета
по ядерной физике**

23 июня 2021 года

Dubna 2021

**Programme Advisory Committee
for Nuclear Physics
54th meeting**

23 June 2021

**54-я сессия
Программно-консультативного комитета
по ядерной физике**

23 июня 2021

CONTENTS

1.	List of participants	3
2.	Agenda.....	4
3.	Recommendations	6

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	Список участников.....	14
2.	Программа	15
3.	Рекомендации.....	17

Members of the PAC for Nuclear PhysicsMembers of the PAC

C. Beck*	—	IPHC, Strasbourg, France
Guinyun Kim	—	KNU, Daegu, Republic of Korea
S. Hofmann*	—	GSI, Darmstadt, Germany
A. Korshennikov*	—	Kurchatov Institute, Moscow, Russia
M. Lewitowicz	—	GANIL, Caen, France
A. Maj	—	INP, Kraków, Poland
V. Nesvizhevsky	—	ILL, Grenoble, France
V. Ostashko	—	INR, Kiev, Ukraine
C. Petitjean	—	PSI, Villigen, Switzerland
F. Piquemal	—	LSM, Modane, and CENBG, Bordeaux, France
I. Štekl	—	IEAP CTU, Prague, Czech Republic
E. Vardaci	—	University of Naples, Italy
Z. Vilakazi	—	Wits University, Johannesburg, South Africa

Ex officio members appointed from JINR

N. Antonenko	—	Deputy Director, BLTP
V. Bednyakov	—	Director, DLNP
S. Dmitriev	—	Vice-Director, JINR
E. Lychagin	—	Deputy Director, FLNP
S. Sidorchuk	—	Director, FLNR
N. Skobelev	—	Scientific Secretary of the PAC
T. Strizh	—	Deputy Director, LIT

* excused absence

<http://indico.jinr.ru>

23 June 2021

1. Opening of the meeting M. Lewitowicz
 2. Implementation of the recommendations of the previous PAC meeting M. Lewitowicz
 3. Information on the Resolution of the 129th session of the JINR Scientific Council (February 2021) and on the decisions of the JINR Committee of Plenipotentiaries (March 2021) S. Dmitriev
 4. Reports on the expiring themes:
 - 4.1. "SHE at FLNR: research and development"
(report on theme 03-5-1130-2017/2021) Yu. Oganessian
*Referees: S. Hofmann
M. Lewitowicz
E. Vardaci*
 - 4.2. "Development of the FLNR accelerator complex and experimental setups (DRIBs-III)" – 03-0-1129-2017/2021 G. Gulbekian
*Referees: C. Beck
M. Lewitowicz
A. Maj*
 5. Development programme of the FLNR for 2022–2023. Proposal for the extension of themes 03-5-1130-2017/2021 and 03-0-1129-2017/2021 S. Sidorchuk
*Referees: S. Hofmann
A. Korshennikov
A. Maj
Z. Vilakazi*
 6. Proposal for opening project "Investigation of prompt fission neutron emission in fission (ENGRIN)" Sh. Zeynalov
*Referees: G. Kim
V. Nesvizhevsky
V. Ostashko
A. Oberstedt
G. Ter-Akopian*
 7. Status of the project: MONUMENT M. Shirchenko
*Referees: C. Beck
C. Petitjean
F. Piquemal*
 8. Proposal for extending the project E&T&RM A. Baldin
*Referees: F. Piquemal
I. Stekl
E. Vardaci
Z. Vilakazi*
-

Closed session

9. Meeting of the PAC members with the JINR Directorate
10. Preparation of the PAC recommendations
11. Proposals for the agenda of the next PAC meeting
12. Presentation of the PAC recommendations to members of the directorates of JINR and Laboratories
13. Closing of the meeting

I. Preamble

The Chair of the PAC for Nuclear Physics, M. Lewitowicz, presented an overview of the implementation of the recommendations taken at the previous meeting.

JINR Vice-Director S. Dmitriev informed the PAC about the resolution of the 129th session of the JINR Scientific Council (February 2021) and the decisions of the JINR Committee of Plenipotentiaries (March 2021).

The PAC is pleased to note that the recommendations of the previous PAC meeting concerning JINR research in the area of nuclear physics were accepted by the Scientific Council and the Directorate.

II. Reports on themes

“Synthesis and properties of superheavy elements, the structure of nuclei at the limits of nucleon stability”

The PAC heard a report on “SHE at FLNR: research and development” presented by Yu. Oganessian. The report gave an overview on the work performed during the last four years.

The most significant was certainly the start of the operation of the new cyclotron DC-280 in 2019. The PAC notes that the commissioning of SHE Factory whose key element is the DC-280 cyclotron, the upgrade of the U-400M cyclotron and construction of next-generation experimental setups considerably expand the possibilities for carrying out fundamental and applied research in nuclear physics at JINR at the highest level in broad cooperation with scientific centres of the Member States and other countries focused on research in Dubna.

The PAC highly appreciated the results of the first experiments at SHE Factory on the synthesis of Mc and Fl isotopes in $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$ and $^{48}\text{Ca} + ^{242}\text{Pu}$ fusion reactions, respectively. Sixty-one events of production of isotopes of moscovium $^{288, 289}\text{Mc}$ (compared to thirty-five chains detected previously) and ninety-nine $^{286, 287}\text{Fl}$ decay chains (to twenty-five chains for all previous years) have been registered. Owing to the high efficiency of the conducted experiments and sufficient background suppression, an alpha decay of ^{268}Db was registered for the first time, making the discovery of the new ^{264}Lr isotope possible.

The study of the chemical behaviour of the new elements and related relativistic effects is another goal of the experiments at FLNR. For this purpose, a new gas-filled separator, DGFRS-III, is already mounted in the experimental hall at DC-280.

For the years beyond 2023, further experimental setups are being planned, which will complement the experimental programme perfectly. These are, firstly, the cryogenic gas

catcher plus multi-reflection time-of-flight (MR-TOF) mass spectrometer and, secondly, the superconducting gas-filled solenoid (SC-GASSOL) for the chemical study of short living isotopes. The PAC is convinced that these experimental setups are necessary additions to the existing instrumentation. They will deliver new results and insights into the properties and decay modes of the heaviest isotopes and atoms.

A series of experiments were performed that aimed at studying mass-energy distributions of binary products formed in reactions with $^{52,54}\text{Cr}$, ^{48}Ti , ^{86}Kr , and ^{68}Zn beams, leading to a composite system with $Z = 114$ and 120 . The experiments allow the evaluation of quasi-fission contribution to the capture cross section, — which is of great importance to the planned experiments for the synthesis of new superheavy elements with $Z = 119$ and 120 .

The PAC took note of the report on "SHE at FLNR: research and development". The PAC fully supports the presented scientific programme on the synthesis and studies of heavy and super-heavy nuclei and wishes the FLNR team every success in the ongoing and planned outstanding experiments.

“Development of the FLNR accelerator complex and experimental setups (DRIBs-III)”

The PAC heard a report on the implementation of the theme “Development of the FLNR accelerator complex and experimental setups (DRIBs-III)” for 2017–2021 presented by G. Gulbekyan. The PAC notes that within this period a wide variety of scientific and applied investigations in heavy-ion physics were conducted using FLNR cyclotrons (DC-280, U-400, U-400M, IC-100). The PAC is pleased with the high-quality results including the commissioning of the experimental building of the Factory of Superheavy Elements (SHE Factory) and the launch of its basic facility DC-280 cyclotron in March 2019. There are currently performed investigations for possible ways of increasing beam intensity primarily for titanium and chromium.

The PAC notes that the programme of experimental investigations at the FLNR accelerator complex U-400 was implemented under the work schedule. A major part of experimental efforts at U-400 was devoted to research with ^{48}Ca (DGFRS and SHELS) and ^{50}Ti beams (SHELS) and applied work (Roscosmos).

The U-400M cyclotron upgrade was started in July 2020, its commissioning being scheduled for the middle of 2022. The modernization aims first and foremost at enhancing the reliability and stability of the accelerator and at increasing the intensity and energy of heavy-ion beams. The main magnet coils, the components of the accelerator vacuum and radiation control systems will be completely replaced. Before the upgrade was initiated, the U-400M cyclotron had ensured the implementation of the programme of experimental

investigations with ^{11}B , ^{15}N , ^{32}S (ACCULINNA-1 and ACCULINNA-2 separators), ^{18}O , ^{22}Ne (COMBAS setup), and ^{40}Ar , ^{48}Ca beams (MASHA mass spectrometer).

The PAC acknowledges the importance of the reconstruction of the U-400 accelerator ($\rightarrow$ U-400R) and the construction of the new experimental hall. The PAC highly appreciates the work on preparing the project of the new experimental hall for the U-400R accelerator which was approved by Glavgosexpertiza of Russia. The scheduled period for the construction of the new experimental hall is 2.5 years (2022–2024).

The PAC notes that much attention is paid to the construction and development of new experimental facilities at FLNR. The new gas-filled recoil separator DGFRS-II was commissioned. Moreover, the new expanded system of detectors was manufactured and tested. The system is located in the focal plane of DGFRS-II allowing for an increase in reaction product collection by factor 1.5. This is of paramount importance to the long-run experiments for SHE synthesis.

The new gas-filled recoil separator DGFRS-III for studying chemical properties of superheavy elements was constructed. An additional magnet was placed in the front separator's focal plane for transporting reaction products into a setup for radiochemical analysis. The commissioning of DGFRS-III is scheduled for the autumn of 2021. Furthermore, the construction of the ion gas catcher is continued, and the development of a multiple-reflection time-of-flight mass spectrometer for precision measurements of SHE mass has begun.

The PAC notes that ACCULINNA-2 separator was developed and commissioned within the theme. A series of methodological works to prepare experiments with ^6He , ^8He , ^9Li , ^{10}Be , ^{27}S , etc. beams were undertaken in 2017–2021. To prepare the new experiments aimed at studying light neutron-rich nuclei and scheduled for the end of 2023, a project for creation of a tritium target is implemented. The project involves the construction of a complex gas vacuum and tritium safety system for gas supply, cooling/heating, control of radiation safety, and handling gaseous waste. A radio-frequency filter (RF kicker) was also manufactured for additional purification of radioactive ion beams.

The PAC acknowledges that the high-resolution magnetic analyzer MAVR of U-400 cyclotron at FLNR was constructed and commissioned in 2019.

The PAC supports the decision of the JINR and FLNR directorates to construct a new DC-140 accelerator facility for applied investigations of solids, production of track membranes, and radiation resistance tests of electronic components performed at FLNR. The DC-140 accelerator complex will become one of the elements to be integrated with the currently developed JINR Innovation Centre.

The PAC took note of the report on the theme “Development of the FLNR accelerator complex and experimental setups (DRIBs-III)” for 2017–2021.

III. Extension of the themes “Development of the FLNR accelerator complex and experimental setups (DRIBs-III)” and “Synthesis and properties of superheavy elements, the structure of nuclei at the limits of nucleon stability”

The PAC heard a proposal for prolongation of the themes “Development of the FLNR accelerator complex and experimental setups (DRIBs-III)” and “Synthesis and properties of superheavy elements, the structure of nuclei at the limits of nucleon stability” for 2022–2023 presented by S. Sidorchuk.

Further implementation of the theme “Development of the FLNR accelerator complex and experimental setups (DRIBs-III)” includes: the upgrade and development of the FLNR cyclotron complex, the expansion of the experimental infrastructure of the laboratory (constructing new physics instruments), and the development of accelerator systems. The milestones of the theme are: the increased stability of the accelerators, the increased intensity and improved quality of ion beams of both stable and radioactive nuclides in the energy range from 5 to 60 MeV/nucleon with simultaneous reduction of power consumption.

The theme objective is to significantly improve the efficiency of experiments for the synthesis of superheavy elements and light nuclei at the limits of nuclear stability and study of their properties. The plans for 2022–2023 are:

- to continue increasing intensities and acceleration efficiency of heavy ions (primarily ^{48}Ca , ^{50}Ti , and ^{54}Cr);
- to complete the upgrade and to launch the U-400M accelerator;
- to work out a technique for producing uranium beams at U-400;
- to commence the construction of the new U-400R experiment building;
- to build the DC-140 accelerator complex for investigations in solid state physics, modification of the material surface, production of track membranes, and tests of the radiation resistance of electronic components;
- to continue the construction and development of the physics setups including commissioning DGFRS-III separator, completing the development of the ion gas catcher, designing and starting production of the multiple-reflection time-of-flight mass spectrometer and the cryogenic gas target complex of ACCULINNA-2 separator;
- to begin design work for constructing a radiochemical laboratory of the first class.

As to the theme “Synthesis and properties of superheavy elements, the structure of nuclei at the limits of nucleon stability” in 2022–2023, the experiments for the synthesis of isotopes of elements 114 (Fl) and 115 (Mc) in reactions of ^{48}Ca ions beam with ^{242}Pu and ^{243}Am targets will be continued at SHE Factory. The aim of the experiments is to thoroughly study radioactive properties of Lr to Mc isotopes. Furthermore, a series of experiments aimed at measuring production cross sections for SHE isotopes in reactions of actinides with ^{50}Ti and ^{54}Cr will be conducted allowing researchers to determine the prospects of synthesizing new elements 119 and 120 and to launch the first dedicated experiments.

The next step in the research of the heaviest nuclei will be the investigation of deep inelastic transfer and quasi-fission reactions (as instruments for the synthesis of heavy and superheavy nuclei with a large neutron excess) and study of the influence of nuclear shape and shell effects on the yields of produced nuclides. The emphasis will be put on the synthesis of neutron-rich nuclei near the neutron closed shell $N = 126$ as well as new isotopes of transuranic elements in multi-nucleon transfer processes in reactions induced by the interaction of uranium with actinide targets.

The experiments on α -, β -, and γ -spectroscopy of the isotopes of transfermium elements, which enable physicists to obtain data on the structures of nuclear levels, will be continued using SHELS and DGFRS-III separators and GABRIELA and SFiNX detecting systems. The first experiments on the spectroscopy of moscovium nuclei are planned.

The experiments for studying properties of SHE 112 and 114 in their ground state will be conducted using DGFRS-III (a new setup at SHE Factory) as a pre-separator for transporting nuclear reaction products to radiochemical setups.

ACCULINNA-2 fragment separator is the basic facility for investigations of properties of light exotic nuclei, medium-mass nuclei of $Z \leq 36$ and reaction mechanisms leading to their production. The analysis of the experimental data collected with ACCULINNA-2 separator in 2018–2020 will be continued. After launching the U-400M cyclotron in 2022, an evaluation of experimental capabilities will be carried on to improve the efficiency of experiments aimed at investigating the ^7H structure. Moreover, the researchers will prepare and proceed to the implementation of the experimental programme for studying the structure of more neutron-rich nuclei – ^{10}He , $^{11,13}\text{Li}$, ^{16}Be , $^{18,19}\text{C}$, and ^{26}O . Special attention will be given to simulating future experiments with the tritium target at ACCULINNA-2 fragment separator. ^{10}He and ^{16}Be will be investigated in two-neutron transfer reactions after the tritium target is put into operation.

The PAC highly appreciates the work on the development of the NRV web knowledge base on low-energy nuclear physics. The PAC notes that not only the update of the

currently operating base (<http://nrv.jinr.ru>) is important, but also the development of the upgraded version (<http://nrv2.jinr.ru>) applying modern Web-technologies is crucial.

The PAC took note on the proposal of the FLNR Directorate for the closure of the project "Construction of a prototype of the initial section of a high-current heavy-ion linear accelerator aimed at producing intense radioactive ion beams for basic research" under the theme "Development of the FLNR accelerator complex and experimental setups (DRIBS-III)". The PAC understands motivations for such decision, but suggests to consider suspension of this project until the funding issues will be resolved.

Recommendation. The PAC recommends that the themes "Development of the FLNR accelerator complex and experimental setups (DRIBS-III)" and "Synthesis and properties of superheavy elements, the structure of nuclei at the limits of nucleon stability" be extended to 2022–2023 with the highest priority.

IV. Project ENGRIN

The PAC heard a proposal to open a new project "Investigation of prompt fission neutron emission in fission" (project ENGRIN) presented by Sh. Zeynalov. The study of spontaneous and near-barrier-energy fission of nuclei is attractive for researchers as the source of new information on the properties of the nuclear system obtained immediately before the neck rupture. The experiments suggested by the authors of ENGRIN project and to be carried out with the use of resonance neutrons assume studying the correlation between the multiplicity and angular distributions obtained for the prompt fission neutrons and the data obtained for the fragment energy and mass spectra. Such challenging experiments are promising for receiving information needed for estimation of the dimension and shape acquired by the nucleus just before the neck rupture.

The PAC notes that the realization of ENGRIN project will offer new prospects for the study of fission dynamics. Its obtained results will undoubtedly become the subject for theory considerations. The setup built for this project can be effective for the experiments aimed at the search for the neutrons emitted at the neck rupture, as well as neutrons emitted at the descent time toward the scission point. The authors of ENGRIN project organized a highly-qualified team of operational expertise in nuclear fission research.

Recommendation. The PAC recommends opening this project for a year starting 2022 with its subsequent extension in case the work on its implementation is successful and the theme financing is approved. The PAC proposes the authors to reconsider the processes of the scattering of fission neutrons in the materials of ionization chamber and neutron

detectors, which might lead to a false identification of the neutron emission angles and energy. The PAC classified the reviewed project in category B.

V. Project MONUMENT

The PAC heard a report on the status of the project “Measurement of ordinary muon capture for testing nuclear matrix elements of 2β decays” (project MONUMENT) presented by M. Shirchenko. The task of the project is to carry out experimental measurements of muon capture at several daughter candidates for $0\nu\beta\beta$ -decay nuclei. Its obtained results would be crucial for verifying the accuracy of theoretical calculations of the nuclear matrix elements. The JINR group will carry out measurements at the meson factory of the Paul Scherrer Institute (PSI) in Switzerland. The project had been reviewed and approved by the PSI User Committee; the beam time for a preliminary study of ^{136}Ba and ^{76}Se had been officially granted for 2020 plus at least three more years for further measurements, but had been postponed to October-November, 2021, due to COVID-19. As a result, in 2021, the group has brushed up their measurement preparations and analysis of the data in ^{24}Mg obtained in 2019. The JINR group is actively preparing the materials and equipment for the forthcoming measurements. According to the beam schedule, the start of measurements themselves is to be in October 2021.

Recommendation. The PAC recognizes the potential of project MONUMENT and recommends that this project be continued as previously recommended until the end of 2023. The PAC ranks the project in category A.

VI. Project E&T&RM

The PAC heard a report on the project “Study of deep subcritical electronuclear systems and possibilities of their application for energy production, transmutation of radioactive waste and research in the field of radiation material science (E&T&RM)” presented by A. Baldin. The project is dedicated to the development of a new concept of Accelerator-Driven Systems (ADS) based on a high-current accelerator of light nuclei. The prospect of ADS is due to the possibility of creating a closed fuel cycle and the transmutation of radioactive waste. The project includes both theoretical studies and experiments on beams of protons, deuterons, and light nuclei of the JINR accelerator complexes including Phasotron and NICA. The special-purpose nuclear power technology station being created at the NICA accelerator complex extends the frontiers of experimental research on extracted beams of protons and light nuclei. The project is dedicated to studying reactions in various types of targets including depleted uranium and

thorium targets. Experimental measurements of high-energy neutron spectra are required to verify the theoretical models of processes describing the interaction of beams of accelerated ions with extended targets. These results can be used both for solving the problem of spent nuclear fuel transmutation and for studying the radiation resistance of materials. The project has been elaborated and adjusted to the comments made by the members of the PAC at the previous meeting on project underestimation and lack of a detailed work plan. The proposed project presents a workplan for two years and a detailed estimate of the required funds and employed workforce. The PAC rated project E&T&RM to category B at its previous session.

The presentation also included a short reference to two new branches of the project: SINET (Station for Investigation of Nuclear Energy Technologies) and Development and Construction of the Prototype of a Complex for Radiotherapy and Applied Research with Heavy-Ion Beams at the Nuclotron-M.

Recommendation. The PAC recommends extending project E&T&RM until the end of 2023. Furthermore, the PAC considers the two additional branches of extreme interest considering the future availability of high energy beams at the NICA complex. However, a plan concerning the two new branches is missing and it is not clear if they both are thought as part of the same E&T&RM project. Given the wide potential extension of the two new branches, the PAC recommends dividing the project in three branches, and for each it is advisable to present at the next PAC meetings the current status and, if possible, a detailed plan including budget, man-power and institution involvement. The PAC ranks the project E&T&RM in category B.

VII. Next meeting of the PAC

The next meeting of the PAC for Nuclear Physics will be held on 27–28 January 2022. Its tentative agenda includes:

- reports and recommendations on themes and projects to be completed in 2022;
- update on experiments at SHE Factory;
- scientific reports;
- poster presentations of new results and proposals by young scientists in the field of nuclear physics research.



M. Lewitowicz
Chair of the PAC
for Nuclear Physics



N. Skobelev
Scientific Secretary of the PAC
for Nuclear Physics

Члены ПКК по ядерной физике

Члены ПКК

К. Бек*	—	IPHC, Страсбург, Франция
Э. Вардачи	—	Неаполитанский университет, Италия
З. Вилакази	—	Университет Wits, Йоханнесбург, ЮАР
Гуинён Ким	—	KNU, Тэгу, Республика Корея
А. А. Коршенинников*	—	НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
М. Левитович	—	GANIL, Кан, Франция
А. Май	—	ИЯФ, Краков, Польша
В. В. Несвижевский	—	ILL, Гренобль, Франция
В. В. Осташко	—	ИЯИ, Киев, Украина
К. Петижан	—	PSI, Виллиген, Швейцария
Ф. Пикмаль	—	LSM, Модан, и CENBG, Бордо, Франция
З. Хофманн*	—	GSI, Дармштадт, Германия
И. Штекл	—	IEAP CTU, Прага, Чехия

Члены ex officio, назначенные от ОИЯИ

Н. В. Антоненко	—	заместитель директора ЛТФ
В. А. Бедняков	—	директор ЛЯП
С. Н. Дмитриев	—	вице-директор ОИЯИ
Е. В. Лычагин	—	заместитель директора ЛНФ
С. И. Сидорчук	—	директор ЛЯР
Н. К. Скобелев	—	ученый секретарь ПКК
Т. А. Стриж	—	заместитель директора ЛИТ

* отсутствие по уважительной причине

<http://indico.jinr.ru>**23 июня 2021 года**

1. Открытие сессии М. Левитович
2. Информация о выполнении рекомендаций предыдущей сессии ПКК М. Левитович
3. Информация о резолюции 129-й сессии Ученого совета (февраль 2021 года) и решениях Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (март 2021 года) С. Н. Дмитриев
4. Отчеты по завершаемым темам:
 - 4.1. «СТЭ в ЛЯР: исследования и развитие работ» (отчет по теме 03-5-1130-2017/2021) Ю. Ц. Оганесян
*Рецензенты: Э. Вардачи
М. Левитович
З. Хофман*
 - 4.2. «Развитие ускорительного комплекса ЛЯР и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III) – 03-0-1129-2017/2021» Г. Г. Гульбемян
*Рецензенты: К. Бек
М. Левитович
А. Май*
5. Программа развития ЛЯР на 2022–2023 гг. Предложения по продлению тем 03-0-1129-2017/2021 и 03-5-1130-2017/2021. С. И. Сидорчук
*Рецензенты: З. Вилакази
А. А. Коршенинников
А. Май
З. Хофман*
6. Предложение об открытии нового проекта «Исследование эмиссии мгновенных нейтронов в делении ядер (ЭНГРИН)» Ш. С. Зейналов
*Рецензенты: Г. Ким
В. В. Несвижевский
В. В. Осташко
Г. М. Тер-Акопьян
А. Оберштедт*
7. Статус проекта MONUMENT М. В. Ширченко
*Рецензенты: К. Бек
К. Петижан
Ф. Пикмаль*
8. Предложение о продлении проекта Э&Т&РМ А. А. Балдин
*Рецензенты: Э. Вардачи
З. Вилакази
Ф. Пикмаль
И. Штекл*

Закрытое заседание

9. Встреча членов ПКК с дирекцией ОИЯИ
10. Подготовка рекомендаций ПКК
11. Предложения в повестку дня следующей сессии ПКК
12. Ознакомление с рекомендациями членов дирекций ОИЯИ и лабораторий
13. Закрытие сессии

I. Введение

Председатель ПКК по ядерной физике М. Левитович представил сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии ПКК.

Вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев проинформировал ПКК о резолюции 129-й сессии Ученого совета (февраль 2021 года) и решениях Комитета полномочных представителей государств-членов ОИЯИ (март 2021 года).

ПКК с удовлетворением отметил, что рекомендации предыдущей сессии ПКК по исследованиям ОИЯИ в области ядерной физики были приняты Ученым советом и дирекцией ОИЯИ.

II. Отчеты по завершающимся темам***«Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границе нуклонной стабильности»***

ПКК заслушал доклад «СТЭ в ЛЯР: исследования и развитие работ» представленный Ю. Ц. Оганесяном.

В докладе представлен обзор научно-исследовательских работ, проведенных за последние четыре года. Самым значительным событием безусловно стало начало экспериментов на новом циклотроне ДЦ-280 в 2019 году. ПКК отмечает, что ввод в эксплуатацию Фабрики СТЭ, ключевым элементом которой является циклотрон ДЦ-280, модернизация циклотрона У-400М, а также создание экспериментальных установок нового поколения значительно расширяют возможности проведения в ОИЯИ фундаментальных ядерно-физических и прикладных исследований на высочайшем уровне в широкой коллаборации с научными центрами государств-членов ОИЯИ, а также с научными центрами других стран, ориентирующимися на проведение исследований в Дубне.

ПКК особенно выделяет результаты первых экспериментов на Фабрике СТЭ по синтезу изотопов Mc (московия) и Fl (флеровия) в реакциях слияния $^{48}\text{Ca}+^{243}\text{Am}$ и $^{48}\text{Ca}+^{242}\text{Pu}$ соответственно. Было зарегистрировано 61 событие образования изотопов $^{288,289}\text{Mc}$ (ранее за все годы было зарегистрировано 35 цепочек), а также более 99 цепочек распада $^{286,287}\text{Fl}$ (ранее за все годы – 25 цепочек). Благодаря высокой эффективности проводимых экспериментов и хорошему подавлению фона, впервые был зарегистрирован альфа-распад ядра ^{268}Db , что привело к открытию нового изотопа ^{264}Lr .

Изучение химических свойств новых элементов и связанных с ними релятивистских эффектов – еще одна цель экспериментов, проводимых в ЛЯР.

Для этого в экспериментальном зале ДЦ-280 уже смонтирован новый газонаполненный сепаратор ГНС-3.

На период после 2023 года уже планируется дальнейшее развитие новых экспериментальных установок, которые будут идеально дополнять экспериментальную программу. Это, во-первых, криогенная газовая ловушка с многоотражательным времяпролетным масс-спектрометром (MR-TOF) и, во-вторых, сверхпроводящий газонаполненный соленоид (SC-GASSOL) для химического исследования короткоживущих изотопов. ПКК убежден, что эти экспериментальные установки послужат хорошим дополнением к существующему оборудованию. Они позволят получить новые интересные результаты и понять свойства и моды распада самых тяжелых изотопов и атомов.

Была проведена серия экспериментов, направленных на изучение массово-энергетического распределения бинарных продуктов, образованных в реакциях с пучками $^{52,54}\text{Cr}$, ^{48}Ti , ^{86}Kr и ^{68}Zn , приводящих к составным системам с Z от 114 до 120. Такие эксперименты позволяют оценить вклад квазиделения в сечения захвата, что является крайне важным для планируемых экспериментов по синтезу новых сверхтяжелых элементов с $Z = 119$ и $Z = 120$.

ПКК принял к сведению отчет «СТЭ в ЛЯР: исследования и развитие работ». ПКК полностью поддерживает представленную научную программу по синтезу и исследованию тяжелых и сверхтяжелых ядер и желает команде ЛЯР успехов в проводимых и запланированных многообещающих экспериментах.

«Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)»

ПКК заслушал отчет по выполнению темы «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)» за 2017–2021 гг., представленный Г. Г. Гульбеяном. ПКК отмечает, что на циклотронах ЛЯР (ДЦ-280, У-400, У-400М, ИЦ-100) за отчетный период был проведен широкий спектр научных и прикладных исследований в области физики тяжелых ионов. ПКК удовлетворен высоким уровнем полученных результатов, включающих ввод в эксплуатацию экспериментального корпуса Фабрики СТЭ и запуск ее базовой установки – циклотрона ДЦ-280 – в марте 2019 года. В настоящее время проводятся исследования возможных путей увеличения интенсивности пучков ионов, в первую очередь, титана и хрома.

ПКК отмечает, что программа экспериментальных исследований на ускорительном комплексе ЛЯР У-400 была выполнена согласно плану работ. Время работы циклотрона использовалось в основном для выполнения программы исследований на пучках ^{48}Ca (установки ГНС и SHELS) и ^{50}Ti (установка SHELS), а также для выполнения прикладных работ (Роскосмос).

В июле 2020 года началась модернизация циклотрона У-400М, которую планируется завершить в середине 2022 года. Модернизация У-400М, в первую очередь, направлена на повышение надежности и стабильности ускорителя, а также на увеличение интенсивности и энергии пучков тяжелых ионов. В результате модернизации будут полностью заменены катушки основного магнита, компоненты вакуумной системы ускорителя, систем управления и радиационного контроля. До этой остановки циклотрон У-400М обеспечивал выполнение программы экспериментальных исследований на пучках ^{11}B , ^{15}N , ^{32}S (сепараторы АКУЛИНА-1 и АКУЛИНА-2), на пучках ^{18}O , ^{22}Ne (установка КОМБАС) и ^{40}Ar , ^{48}Ca (масс-спектрометр MASHA).

ПКК отмечает важность реконструкции ускорителя У-400 в У-400R и создания нового экспериментального зала. ПКК высоко оценивает проделанную работу по подготовке проекта нового экспериментального зала ускорителя У-400R, который получил положительное заключение Главгосэкспертизы России. Планируемый срок строительства нового экспериментального зала составляет 2,5 года (2022–2024 гг.).

ПКК констатирует большое внимание к созданию и развитию новых экспериментальных установок ЛЯР. Был введен в эксплуатацию новый газонаполненный сепаратор ГНС-2. Более того, была создана и испытана новая увеличенная система детекторов, размещенная в фокальной плоскости сепаратора ГНС-2, которая позволила повысить регистрацию продуктов реакций в 1,5 раза, что крайне важно для проведения длительных экспериментов по синтезу СТЭ.

Для изучения химических свойств сверхтяжелых элементов был построен новый газонаполненный сепаратор ГНС-3, перед фокальной плоскостью которого установлен дополнительный магнит для транспортировки продуктов реакции в отдельную установку для радиохимического анализа. Запуск сепаратора запланирован на осень 2021 года. Кроме того, продолжается создание ионной газовой ловушки и начата разработка многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра для прецизионного измерения масс СТЭ.

ПКК отмечает, что в рамках темы был разработан и введен в эксплуатацию сепаратор АКУЛИНА-2. В 2017–2021 годах был проведен ряд методических работ по

подготовке к экспериментам на пучках ${}^6\text{He}$, ${}^8\text{He}$, ${}^9\text{Li}$, ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{27}\text{S}$ и др. Для подготовки новых экспериментов по изучению легких нейтронно-обогащенных ядер, запланированных на конец 2023 года, реализуется технический проект тритиевого комплекса, который включает в себя создание сложной газовакуумной системы с целью обеспечения безопасности при подаче, охлаждении-нагреве трития, а также контроля радиационной безопасности и утилизации нежелательных газов. Кроме того, создан радиочастотный фильтр (ВЧ сепаратор) для дополнительной очистки пучка радиоактивных ионов.

ПКК отмечает, что в 2019 году создан и введен в эксплуатацию магнитный анализатор высокого разрешения (МАВР) на пучке циклотрона У-400 ЛЯР ОИЯИ.

ПКК поддерживает решение дирекции ОИЯИ и ЛЯР о создании новой ускорительной установки ДЦ-140 для прикладных исследований в области твердого тела, производства трековых мембран, испытания электронных компонентов на радиационную стойкость, проводимых в ЛЯР ОИЯИ. Ускорительный комплекс ДЦ-140 войдет в состав создаваемого в ОИЯИ Инновационного центра.

ПКК принял к сведению отчет по теме «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)» за 2017–2021 гг.

III. Продление тем «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)» и «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границе нуклонной стабильности»

ПКК заслушал предложение по продлению тем «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)» и «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности» на 2022–2023 гг., представленное С. И. Сидорчуком.

Дальнейшая реализация темы «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)» включает модернизацию и развитие циклотронного комплекса ЛЯР, расширение экспериментальной базы лаборатории (создание новых физических установок), развитие систем ускорителей. Основные этапы темы направлены на повышение стабильности работы ускорителей, увеличение интенсивности и улучшение качества пучков ионов как стабильных, так и радиоактивных нуклидов в диапазоне энергии от 5 до 60 МэВ/нуклон при одновременном снижении энергопотребления. Основной целью работ по теме является существенное повышение эффективности проведения экспериментов по

синтезу и изучению свойств сверхтяжелых элементов, а также легких ядер на границах нуклонной стабильности. В 2022–2023 гг. планируется:

- продолжить работы по повышению интенсивностей и эффективности ускорения тяжелых ионов (в первую очередь, ^{48}Ca , ^{50}Ti , ^{54}Cr);
- завершить модернизацию и ввести в эксплуатацию ускоритель У-400М;
- отработать методику получения пучков урана на ускорителе У-400;
- начать строительство нового экспериментального корпуса ускорителя У-400R;
- создать ускорительный комплекс ДЦ-140 для исследований в области физики твердого тела, модификации поверхности материалов, производства трековых мембран и тестирования электронных компонентов на радиационную стойкость;
- продолжить создание и развитие физических установок, включая ввод в эксплуатацию сепаратора ГНС-3, завершение создания ионной газовой ловушки, проектирование и начало изготовления многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра, комплекса криогенных газовых мишеней сепаратора АКУЛИНА-2;
- начать проектные работы по созданию радиохимической лаборатории первого класса.

В рамках темы «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границе нуклонной стабильности» на Фабрике СТЭ в 2022–2023 гг. будут продолжены эксперименты по синтезу изотопов элементов 114 (Fl) и 115 (Mc) в реакциях ^{48}Ca с ^{242}Pu и ^{243}Am с целью детального изучения радиоактивных свойств изотопов от Lr до Mc. Также будет проведена серия экспериментов по определению сечений образования изотопов СТЭ в реакциях актиноидов с ^{50}Ti и ^{54}Cr , что позволит определить перспективы синтеза новых элементов 119 и 120 и начать первые эксперименты.

Дальнейшим шагом в исследовании тяжелейших ядер станет изучение реакций глубоконеупругих передач и квазиделения как инструмента для синтеза тяжелых и сверхтяжелых ядер с большим избытком нейтронов, изучение влияния формы ядер, а также оболочечных эффектов на выходы синтезируемых нуклидов. Основное внимание будет уделено вопросу получения нейтроноизбыточных ядер вблизи замкнутой нейтронной оболочки $N=126$, а также новых изотопов трансурановых элементов в процессах многонуклонных передач в реакциях взаимодействия урана с актинидными мишенями.

На сепараторах SHELS и ГНС-3 с использованием детектирующих систем GABRIELA и SFiNX будут продолжены эксперименты по α -, β - и γ -спектроскопии изотопов трансфермиевых элементов, которые позволят получить данные о структурах ядерных уровней. Планируется выполнить первые эксперименты по спектроскопии ядер московия.

С использованием на Фабрике СТЭ новой установки ГНС-3 в качестве пресепаратора для транспортировки продуктов ядерных реакций к радиохимическим установкам будут выполняться эксперименты по изучению свойств СТЭ в основном состоянии с $Z = 112$ и $Z = 114$.

Основой для проведения исследований свойств экзотических лёгких ядер, ядер средних масс с $Z \leq 36$, а также механизмов реакций, приводящих к их образованию, является фрагмент-сепаратор АКУЛИНА-2. В это время будет продолжен анализ экспериментальных данных, полученных на фрагмент-сепараторе АКУЛИНА-2 в 2018–2020 гг. После запуска циклотрона У-400М в 2022 году планируется продолжить изучение возможностей повышения эффективности экспериментов, нацеленных на исследование структуры ядра ${}^7\text{H}$. Кроме того, будет выполнена подготовка и начата реализация программы по экспериментальному изучению структуры других нейтронообогащенных ядер: ${}^{10}\text{He}$, ${}^{11,13}\text{Li}$, ${}^{16}\text{Be}$, ${}^{18,19}\text{C}$ и ${}^{26}\text{O}$. Особое внимание будет уделено моделированию будущих экспериментов с тритиевой мишенью на фрагмент-сепараторе АКУЛИНА-2. После ввода в эксплуатацию тритиевой мишени будут изучаться ${}^{10}\text{He}$ и ${}^{16}\text{Be}$ в реакциях передачи двух нейтронов.

ПКК высоко оценивает работы, направленные на развитие сетевой базы знаний по ядерной физике низких энергий NRV. ПКК отмечает, что важно не только поддержание в рабочем состоянии существующей системы (<http://nrv.jinr.ru>), но и развитие модернизированной системы (<http://nrv2.jinr.ru>) с использованием современных Web-технологий.

ПКК принял к сведению предложение дирекции ЛЯР о закрытии проекта «Создание прототипа начальной секции сильноточного линейного ускорителя тяжелых ионов, нацеленного на получение интенсивных пучков для фундаментальных исследований» в рамках темы «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)». ПКК понимает мотивы предложения о закрытии проекта, но предлагает в будущем представить проект на рассмотрение при условии решения проблем его финансирования.

Рекомендация. ПКК рекомендует продлить темы «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)» и «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности» на 2022–2023 годы с первым приоритетом.

IV. Проект ЭНГРИН

ПКК заслушал предложение по открытию нового проекта «Исследование эмиссии мгновенных нейтронов в делении ядер (проект ЭНГРИН)», представленное Ш. С. Зейналовым. Исследования спонтанного деления и деления ядер с около-барьерной энергией возбуждения привлекают большое внимание специалистов как источник новых данных о свойствах ядерной системы, образующейся непосредственно к моменту разрыва шейки. Исследования, планируемые авторами проекта ЭНГРИН, предполагают измерения связей множественности и угловых распределений мгновенных нейтронов деления с полученными данными о спектрах энергии и массы осколков деления тяжелых ядер, наблюдаемого на пучке резонансных нейтронов. Такие многообещающие эксперименты перспективны для оценки размеров и формы делящегося ядра и доли полной кинетической энергии осколков, полученных к моменту разрыва шейки.

ПКК отмечает, что реализация проекта ЭНГРИН даст новые возможности исследования динамики процесса деления. Данные, которые будут получены в ходе выполнения проекта, несомненно, явятся предметом теоретических исследований. Установка, созданная по проекту ЭНГРИН, может быть применена для обнаружения нейтронов, испущенных до момента разрыва шейки, и для оценок доли полной кинетической энергии осколков, полученных на спуске от барьера деления до точки разрыва. Авторы проекта ЭНГРИН собрали высококвалифицированную команду экспертов и специалистов в исследовании процесса деления.

Рекомендация. ПКК рекомендует открыть в 2022 году проект ЭНГРИН сроком на один год с последующим его продлением в случае успешных работ по его реализации и одобрения финансирования темы. ПКК предлагает авторам пересмотреть процесс рассеяния нейтронов деления в материалах ионизационной камеры и нейтронных детекторов, который может привести к ложной идентификации углов вылета и энергии нейтронов.

ПКК отнес рецензируемый проект к категории В.

V. Проект MONUMENT

ПКК заслушал доклад о статусе проекта «Измерение обычного мюонного захвата для проверки ядерных матричных элементов 2β -распадов (MONUMENT)», представленный М. В. Ширченко. Задачей проекта является проведение экспериментальных измерений мюонного захвата на нескольких дочерних по отношению к кандидатам на $0\nu\beta\beta$ -распад ядрах. Получаемые новые результаты важны для проверки точности теоретических расчетов ядерных матричных элементов. Группа ОИЯИ планирует проводить измерения на мезонной фабрике Института им. Пауля Шеррера (PSI) в Швейцарии. Проект был рассмотрен и одобрен программным комитетом PSI, согласно решению которого в 2020 году предоставлено время на пучке для предварительного исследования ^{136}Ba и ^{76}Se с программой дальнейших измерений, как минимум, на три года. Время проведения измерений было перенесено на 2021 год (октябрь-ноябрь) в связи с COVID-19. Это позволило группе осуществить более тщательную подготовку оборудования и материалов к предстоящим измерениям, а также освоить новую систему сбора данных и проанализировать данные для ^{24}Mg , полученные в 2019 году. Группа ОИЯИ активно готовит материалы и оборудование для предстоящих измерений. В октябре 2021 года по расписанию времени на пучке планируется старт самих измерений.

Рекомендация. ПКК признает потенциальные возможности проекта MONUMENT и рекомендует продолжить работы до конца 2023 года.

ПКК отнес проект к категории А.

VI. Проект Э&Т&РМ

ПКК заслушал доклад по проекту «Исследование глубокоподкритических электроядерных систем и особенностей их применения для производства энергии и трансмутации отработанного ядерного топлива (Э&Т&РМ)», представленный А. А. Балдиным. Проект посвящен разработке новой концепции электроядерных систем (ADS) на основе сильноточного ускорителя легких ядер. Перспективность ADS обусловлена как возможностью создания замкнутого топливного цикла, так и трансмутацией радиоактивных отходов. Проект включает в себя как теоретические исследования, так и эксперименты на пучках протонов, дейтронов и легких ядер ускорительного комплекса ОИЯИ, включая Фазотрон и NICA. Специализированная станция ядерно-энергетических технологий, создаваемая на ускорительном комплексе NICA, открывает новые возможности экспериментальных исследований на

выведенных пучках протонов и легких ядер. Проект посвящен изучению реакций в различных типах мишеней, включая мишени из обедненного урана и тория. Экспериментальные измерения высокоэнергетичных спектров нейтронов необходимы для верификации теоретических моделей процессов, описывающих взаимодействие пучков ускоренных ионов с протяженными мишенями. Данные результаты могут быть использованы как для решения проблемы трансмутации отработанного ядерного топлива, так и для изучения радиационной стойкости материалов. Проект был переработан и скорректирован с учетом замечаний, сделанных членами ПКК на предыдущем заседании, о недооценке финансирования и отсутствии подробного рабочего плана. Рассматриваемый проект содержит план работы на два года и подробную смету необходимых средств и занятых трудовых ресурсов. ПКК на прошлой сессии отнес проект Э&Т&РМ к категории В.

В докладе также было кратко упомянуто о двух новых направлениях работ по проекту: о станции исследования ядерных энергетических технологий (СИЯЭТ) и о разработке и создании прототипа комплекса лучевой терапии и прикладных исследований с пучками тяжелых ионов на Нуклотроне-М.

Рекомендация. ПКК рекомендует продлить проект Э&Т&РМ до конца 2023 года. Кроме того, ПКК считает два новых направления работ чрезвычайно интересными, учитывая будущую доступность высокоэнергетических пучков на комплексе NICA. Однако в плане работ эти два направления отсутствуют, и неясно, считаются ли они частью проекта Э&Т&РМ. Учитывая большие потенциальные возможности двух новых направлений, ПКК рекомендует разделить проект на три раздела и представить доклад на одном из заседаний комитета, выделив для каждого из трех направлений статус и, если возможно, подробный план работ, включая бюджет, людские ресурсы и участие сторонних организаций.

ПКК относит проект Э&Т&РМ к категории В.

VII. Следующая сессия ПКК

Следующая сессия ПКК по ядерной физике состоится 27–28 января 2022 года. Предварительная программа сессии включает следующие вопросы:

- отчеты и рекомендации по темам и проектам, завершаемым в 2022 году;
- новые данные по экспериментам на Фабрике СТЭ;
- научные доклады;

- стендовые сообщения молодых ученых, посвященные новым результатам и проектам в области исследований по ядерной физике.

М. Левитович
председатель ПКК
по ядерной физике

Н. К. Скобелев
ученый секретарь ПКК
по ядерной физике