

**RECOMMENDATIONS OF THE JOINT SESSION
OF THE PAC FOR PARTICLE PHYSICS AND THE PAC FOR NUCLEAR PHYSICS
OF 21 JANUARY 2021
FOR THE ASSESSMENT OF JINR NEUTRINO PROJECTS**

At its 123rd session, the Scientific Council approved the proposal of both PACs to have joint sessions for the evaluation of the JINR neutrino projects. Following that, on January 21, 2021, the PAC for Particle Physics and the PAC for Nuclear Physics held a joint session for the evaluation of five neutrino projects under the theme “Non-Accelerator Neutrino Physics and Astrophysics”.

Following the guidelines outlined by JINR Director G. Trubnikov, the evaluation aimed at classifying the various projects into three categories, using the scheme adopted in the previous joint session in January 2019, based primarily on the scientific merit of the project, and the performance, impact and visibility of the JINR group. For that, the project leaders were requested to answer a short common questionnaire prepared by representatives of the two PACs. Each project was reviewed by one referee from the PAC for Particle Physics and one from the PAC for Nuclear Physics. The questionnaire itself, the answers to the questionnaire and the referee reports have been uploaded to the Indico webpage of the joint session. The final evaluation of each project was made taking into account the opinions of the two relevant referees and the subsequent discussion of the project at the joint session of the two PACs.

GERDA (LEGEND) project

The PAC heard the report presented by K. Gusev on the GERDA (LEGEND) project dedicated to searching for the neutrinoless double-beta decay of ^{76}Ge with open Ge-detectors directly immersed in liquid argon. The GERDA project is carried out at Gran Sasso in Italy by a large international collaboration.

After reaching the planned exposure of 100 kg yr, Phase II of the GERDA experiment (2015–2020) was completed. An unprecedented background level of $5 \cdot 10^{-4}$ counts/(keV·kg·yr) was achieved. The analysis of the full GERDA data set of 127.2 kg · yr collected in Phase I and II enabled setting a new world-best half-life limit on the neutrinoless double-beta decay of $^{76}\text{Ge} > 1.8 \cdot 10^{26}$ years.

The impressive GERDA performance gives confidence on the feasibility of the new generation ton-scale ^{76}Ge experiment LEGEND. LEGEND is foreseen to proceed in two phases as was the case for GERDA. The first phase will operate with up to 200 kg of germanium detectors inside the existing GERDA cryostat. It is planned to achieve a sensitivity of 10^{27} years thus requiring to improve the present background by factor 5.

**RECOMMENDATIONS OF THE JOINT SESSION
OF THE PAC FOR PARTICLE PHYSICS AND THE PAC FOR NUCLEAR PHYSICS
OF 21 JANUARY 2021
FOR THE ASSESSMENT OF JINR NEUTRINO PROJECTS**

The full-scale project with 1 t of ^{76}Ge aims for a sensitivity of 10^{28} years by reducing the background by a factor 10 and then for a potential answer to the question about neutrino mass hierarchy.

Recommendation. The PAC acknowledges the important role played by the JINR group in the GERDA (LEGEND) experiments and recommends continuation of this project in 2022–2024 with A ranking.

SuperNEMO project

The PAC heard the report presented by V. Tretyak on the SuperNEMO project dedicated to the search for neutrinoless double beta decay ($0\nu 2\beta$) employing tracker-calorimeter techniques, which allow the reconstruction of angles and energies of the betas for each event. The long-standing participation of DLNP JINR in the first-generation NEMO-2/3 experiments has led to world-class results for the two-neutrino and neutrinoless double-beta decays of the ^{48}Ca , ^{82}Se , ^{96}Zr , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{130}Te and ^{150}Nd isotopes.

With SuperNEMO, a new generation of the detector is under construction at LSM (Modane) with a design capability of measuring of the order of 100 kg of various isotopes, for maximum sensitivity of the ultimate detector to half-lives $T_{1/2}(0\nu 2\beta) \geq 10^{26}$ years. The “SuperNEMO Demonstrator” is the first module (out of twenty) now in commissioning phase that will be ready in 2022 to search for $0\nu 2\beta$ decays in ~ 7 kg of enriched ^{82}Se . The JINR group plays an important role in the project, notably in the construction of the passive shielding, the VETO system, the calorimeter, software and data handling, and in the development of radiochemical purification methods.

Despite the achievements, the PAC notes that the present generation of the project features several years of delay, for which the group provided convincing justifications, but that anyhow hamper the potential impact of the experiment within the harsh international competition already aimed at high-sensitivity third-generation detectors exploiting Germanium and Xenon. Nevertheless, the tracking-calorimeter capability, as well as the free selectivity for any of the candidate isotopes, could make SuperNEMO contributing to the assessment of a possible $0\nu 2\beta$ signal once found by other searches.

Recommendation. The PAC acknowledges the potentialities of the technique used by SuperNEMO and recommends continuation of this project in 2022–2024 with ranking B,

**RECOMMENDATIONS OF THE JOINT SESSION
OF THE PAC FOR PARTICLE PHYSICS AND THE PAC FOR NUCLEAR PHYSICS
OF 21 JANUARY 2021
FOR THE ASSESSMENT OF JINR NEUTRINO PROJECTS**

encouraging the proponents to set up a focused and timely productive group for the exploitation of the Demonstrator detector.

DANSS project

The PAC heard the report presented by Yu. Shitov on the DANSS reactor neutrino project at the Kalinin Nuclear Power Plant dedicated to the search for sterile neutrinos. DANSS safely installed a compact neutrino spectrometer near the reactor and in five years of operation during 2016–2020, registered world record statistics of four million reactor antineutrinos (one million events per year, or five thousand per day). This allowed DANSS to obtain world-class results among which:

- No significant effect of oscillations of reactor antineutrinos into sterile neutrinos after analysing most of the collected statistics ($\sim 3\text{M}$ events). As a result, the largest area (in comparison with competitors) of the parameter phase space ($\sin^2(2\theta_{14})$, Δm_{14}^2) of possible oscillations was excluded, including the point of the best fit of the reactor antineutrino anomaly, excluded at a level of more than 5σ .
- Ability to monitor the reactor power with a statistical error of $\sim 1.5\%$ in two days of measurements, and to determine the composition of the nuclear fuel (Uranium / Plutonium ratio), thus confirming the applicability of the proposed technology for reactor control.

The main task of the next stage of the project is the upgrade of the DANSS-2 spectrometer with a factor of two better energy resolution, which will allow expanding significantly the tested phase space region in the search of sterile neutrino, including the region ($\sin^2(2\theta_{14}) \sim 0.25$, $\Delta m_{14}^2 \sim 7 \text{ eV}^2$) where the NEUTRINO-4 experiment reported a signal and obtaining a better-quality spectrum of reactor antineutrinos, which is important for solving the spectral anomaly problem.

In addition, it is planned to continue working on the development of a mini-spectrometer S^3 (S-cube) ($\sim 64\text{L}$ with improved detecting elements). Such a detector will register $\sim 300\text{--}400$ neutrinos per day and, together with DANSS-2, will help to better understand the systematics of the used measurement method.

DANSS is a relatively small collaboration. The operation in a nuclear reactor restricts the possibilities to open up the DANSS project to a more international collaboration or a remotely controlled operation.

**RECOMMENDATIONS OF THE JOINT SESSION
OF THE PAC FOR PARTICLE PHYSICS AND THE PAC FOR NUCLEAR PHYSICS
OF 21 JANUARY 2021
FOR THE ASSESSMENT OF JINR NEUTRINO PROJECTS**

Recommendation. Compared with other neutrino experiments, the DANSS experiment is unique in its capability to operate close to a high flux nuclear reactor and to produce data of high scientific value with unprecedented statistics.

The PAC recommends continuation of the DANSS project in 2022–2024 with ranking A.

ν GeN (GEMMA) project

The PAC heard the report presented by A. Lubashevskiy on the proposal for the extension of the ν GeN (GEMMA) project, which is performed by a JINR group at the Kalinin Nuclear Power Plant. The measurements are focused on studying reactor neutrino properties such as the search for neutrino magnetic moment and the coherent elastic neutrino-nucleus scattering, a process recently identified for the first time with accelerator neutrinos.

The experiment makes use of high-purity low-threshold Germanium detectors (200 eV) of low background of 1 cts / (keV · kg · day) and total mass up to about 5.5 kg, placed at a short distance from the reactor centre, under a flux exceeding $5 \cdot 10^{13}$ antineutrinos/(cm²s). The 50 m w.e. overburden and the movable spectrometer, which allows varying the antineutrino flux, are qualifying features of the project. The experiment is in its first phase of data taking.

Recommendation. Despite delays in the realization of the project and a consequent reduced scientific production, the PAC acknowledges the strong commitment of the JINR group. The group is capable to conduct the research autonomously, as well as within the strong international competition, in particular, concerning the observation of neutrino coherent scattering.

The PAC recommends continuation and full financing of the ν GeN project in 2022–2024 with ranking B.

EDELWEISS-RICOCHET project

The PAC heard the report presented by E. Yakushev on the latest results of the EDELWEISS experiment and on the continuation of its research programme with new cryogenic HPGe detectors-bolometers, that will be expanded to include Coherent Elastic Neutrino(ν)-Nucleus Scattering (CE ν NS) studies. The PAC notes the successful development

**RECOMMENDATIONS OF THE JOINT SESSION
OF THE PAC FOR PARTICLE PHYSICS AND THE PAC FOR NUCLEAR PHYSICS
OF 21 JANUARY 2021
FOR THE ASSESSMENT OF JINR NEUTRINO PROJECTS**

of bolometer detectors, which will enable EDELWEISS-RICOCHET to carry out high precision spectrometric measurements at energies down to very low ones (with an energy threshold below 100 eV) where the manifestation of new physics in the electroweak sector is expected to be seen as distortions in the recoil nuclei energy spectrum induced by CE ν NS.

The first phase of the RICOCHET programme, with a large (kg scale) experiment, will be carried out at the ILL research reactor (Grenoble, France). At the same time, the newest detectors will continue to be used at EDELWEISS for the direct search of Dark Matter particles from the galactic halo in the low-mass WIMP region (1 GeV/c² and below) that has been inaccessible by the large experiments using liquefied noble gas (Ar / Xe) detectors.

The PAC is pleased to note that EDELWEISS-RICOCHET is focused at addressing intriguing problems of modern physics, has produced world-leading results and maintains strong competitive capabilities.

Recommendation. The PAC recommends continuation of the EDELWEISS research programme on the direct search for dark matter particles and its expansion to the RICOCHET project for the precision measurement of CE ν NS in 2022–2024 with ranking A.



M. Lewitowicz
Chair of the PAC
for Nuclear Physics



I. Tserruya
Chair of the PAC
for Particle Physics

**РЕКОМЕНДАЦИИ СОВМЕСТНОЙ СЕССИИ
ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ И ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ
ОТ 21 ЯНВАРЯ 2021 г.
ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ
НЕУСКОРИТЕЛЬНЫХ НЕЙТРИННЫХ ПРОЕКТОВ ОИЯИ**

В ходе 123-й сессии Ученый совет одобрил предложение ПКК по физике частиц и ПКК по ядерной физике о проведении совместных заседаний для оценки нейтринных проектов ОИЯИ. 21 января 2021 года ПКК по физике частиц и ПКК по ядерной физике провели совместное заседание для оценки пяти проектов по теме «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика».

В соответствии с принципами, предложенными директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым, конечной целью была классификация проектов и присвоение каждому одной из трех категорий с использованием схемы, принятой на предыдущем совместном заседании в январе 2019 года, исходя, прежде всего, из научной значимости проекта, эффективности и результатов работы группы ОИЯИ. Руководителям проектов было предложено ответить на вопросы из короткого общего списка, подготовленного представителями двух ПКК. Каждый проект был рассмотрен одним рецензентом из ПКК по физике частиц и одним из ПКК по ядерной физике. Сама анкета, ответы на вопросы и отчеты рецензентов были размещены на веб-странице Indico совместной сессии. Окончательная оценка каждого проекта проводилась с учетом мнений двух соответствующих рецензентов и последующего обсуждения проекта на совместном заседании двух ПКК.

Проект GERDA (LEGEND)

ПКК заслушал доклад К. Н. Гусева о проекте GERDA (LEGEND), посвященном поиску безнейтринного двойного бета-распада ^{76}Ge с помощью открытых Ge-детекторов, непосредственно погруженных в жидкий аргон. Проект GERDA реализуется в Гран-Сассо (Италия) усилиями большого международного коллектива.

После достижения запланированной экспозиции 100 кг·год вторая фаза эксперимента GERDA (2015–2020) была успешно завершена. Был достигнут беспрецедентный уровень фона $5 \cdot 10^{-4}$ отсчетов / (кэВ·кг·год). Анализ полного набора данных GERDA, соответствующего суммарной экспозиции 127,2 кг·год первой и второй фазы, позволил установить новый рекордный предел периода полураспада для безнейтринного двойного бета-распада ^{76}Ge — свыше $1,8 \cdot 10^{26}$ лет.

Впечатляющие характеристики GERDA вселяют уверенность в осуществимости эксперимента нового поколения LEGEND с 1 т ^{76}Ge . Предполагается, что LEGEND будет проходить в два этапа, как и GERDA. На первом этапе будет использоваться

**РЕКОМЕНДАЦИИ СОВМЕСТНОЙ СЕССИИ
ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ И ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ
ОТ 21 ЯНВАРЯ 2021 г.
ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ
НЕУСКОРИТЕЛЬНЫХ НЕЙТРИННЫХ ПРОЕКТОВ ОИЯИ**

до 200 кг германиевых детекторов внутри существующего криостата GERDA. Планируется достичь чувствительности 10^{27} лет, что потребует снижения текущего фона в пять раз. Полномасштабный проект с 1 т ^{76}Ge нацелен на достижение чувствительности 10^{28} лет за счет уменьшения фона в десять раз с потенциальной целью ответить на вопрос об иерархии масс нейтрино.

Рекомендации. ПКК признает важную роль группы ОИЯИ в эксперименте GERDA (LEGEND) и рекомендует продолжить этот проект в 2022–2024 годах с рейтингом А.

Проект SuperNEMO

ПКК заслушал доклад В. И. Третьяка о проекте SuperNEMO, посвященном поиску безнейтринного двойного бета-распада ($0\nu2\beta$) с использованием треко-калориметрической методики, которая позволяет реконструировать углы и энергии продуктов распада для каждого события. Многолетнее участие ЛЯП ОИЯИ в экспериментах первого поколения NEMO-2/3 привело к результатам мирового уровня для двухнейтринного и безнейтринного двойного бета-распада изотопов ^{48}Ca , ^{82}Se , ^{96}Zr , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{130}Te и ^{150}Nd .

В LSM (Модан, Франция) создается детектор SuperNEMO нового поколения с проектной возможностью измерять порядка 100 кг различных изотопов с максимальной чувствительностью детектора к периодам полураспада $T_{1/2}(0\nu2\beta) \geq 10^{26}$ лет. «SuperNEMO Demonstrator» (первый модуль из двадцати), который сейчас находится на этапе ввода в эксплуатацию, в 2022 году будет готов к поиску распадов $0\nu2\beta$ в ~ 7 кг обогащенного ^{82}Se . Группа ОИЯИ играет важную роль в этом проекте, в частности, в создании пассивной защиты, системы VETO, калориметра, программного обеспечения и в обработке данных, а также в разработке методов радиохимической очистки.

ПКК отмечает, что, несмотря на эти достижения, исполнение проекта задерживается на несколько лет и, хотя группа представила убедительные обоснования, это препятствует успеху эксперимента в условиях жесткой международной конкуренции, уже нацеленной на создание высокочувствительных детекторов третьего поколения, использующих германий и ксенон. Тем не менее возможности трекового калориметра, а также свободная селективность по любому из

**РЕКОМЕНДАЦИИ СОВМЕСТНОЙ СЕССИИ
ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ И ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ
ОТ 21 ЯНВАРЯ 2021 г.
ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ
НЕУСКОРИТЕЛЬНЫХ НЕЙТРИННЫХ ПРОЕКТОВ ОИЯИ**

изотопов-кандидатов помогут SuperNEMO внести свой вклад в оценку возможного сигнала $0\nu 2\beta$, обнаруженного в результате других поисков.

Рекомендация. ПКК признает потенциальные возможности метода, используемого SuperNEMO, и рекомендует продолжить этот проект в 2022–2024 годах с рейтингом В. ПКК призывает авторов к созданию эффективной группы, нацеленной на использование детектора «SuperNEMO Demonstrator».

Проект DANSS

ПКК заслушал доклад Ю. А. Шитова о реакторном нейтринном проекте DANSS на Калининской АЭС, посвященном поиску стерильных нейтрино. В эксперименте DANSS компактный нейтринный спектрометр безопасно установлен рядом с реактором. За пять лет работы в 2016–2020 годах зарегистрирована мировая рекордная статистика в четыре миллиона реакторных антинейтрино. Это позволило DANSS получить результаты мирового уровня, среди которых:

- Отсутствие значимого сигнала осцилляций реакторных антинейтрино в стерильные нейтрино после анализа большей части собранной статистики (~ 3 миллиона событий). В результате была исключена наибольшая (по сравнению с конкурентами) область пространства параметров ($\sin^2(2\theta_{14})$, Δm_{14}^2) возможных осцилляций, в том числе точка, соответствующая лучшему фиту реакторной нейтринной аномалии, исключена на уровне более 5σ .
- Возможность контролировать мощность реактора со статистической погрешностью ~ 1,5% за два дня измерений и определять состав ядерного топлива (соотношение уран / плутоний), что подтверждает применимость предложенной технологии для контроля реакторов.

Основной задачей на следующем этапе проекта является модернизация спектрометра DANSS-2 с улучшением в два раза энергетического разрешения, что позволит существенно расширить исследуемую область фазового пространства для поиска стерильных нейтрино, включая область ($\sin^2(2\theta_{14}) \sim 0,25$, $\Delta m_{14}^2 \sim 7 \text{ эВ}^2$), в которой был получен сигнал в эксперименте NEUTRINO-4, а также получить более качественный спектр реакторных антинейтрино, что важно для решения проблемы спектральной аномалии.

**РЕКОМЕНДАЦИИ СОВМЕСТНОЙ СЕССИИ
ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ И ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ
ОТ 21 ЯНВАРЯ 2021 г.
ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ
НЕУСКОРИТЕЛЬНЫХ НЕЙТРИННЫХ ПРОЕКТОВ ОИЯИ**

Кроме того, планируется продолжить работы по созданию мини-спектрометра S^3 (S-куб) объемом ~ 64 литра с улучшенными детектирующими элементами. Такой детектор будет регистрировать ~ 300–400 нейтрино в сутки и совместно с DANSS-2 поможет лучше понять систематику используемого метода измерений.

DANSS – относительно небольшая коллаборация. Работа на ядерном реакторе ограничивает возможности открытия проекта DANSS для более широкого международного сотрудничества или для его дистанционно управляемого исполнения.

Рекомендация. По сравнению с другими нейтринными экспериментами эксперимент DANSS уникален, так как спектрометр расположен вблизи мощного ядерного реактора и позволяет получать данные высокой научной ценности с беспрецедентной статистикой.

ПКК рекомендует продолжить проект DANSS в 2022–2024 годах с рейтингом А.

Проект ν GeN (GEMMA)

ПКК заслушал доклад А. В. Лубашевского с предложением по продлению проекта ν GeN (GEMMA), который выполняется группой ОИЯИ на Калининской АЭС. Измерения сосредоточены на поиске магнитного момента нейтрино и изучении такого свойства реакторных нейтрино, как когерентное упругое рассеяние нейтрино на ядре (процесс, который недавно был впервые идентифицирован с помощью нейтрино от ускорителя).

В эксперименте используются сверхчистые германиевые детекторы с низким порогом (200 эВ), с низким фоном 1 / (кэВ · кг · день), общей массой около 5,5 кг, размещенные на близком расстоянии от центра реактора, в потоке более $5 \cdot 10^{13}$ антинейтрино / (см² · с). Выгодными особенностями установки являются защита 50 м в.э. и передвижной спектрометр, позволяющий варьировать поток антинейтрино. Эксперимент находится на начальном этапе набора данных.

Рекомендации. Несмотря на задержки в реализации проекта и, как следствие, сниженный научный выход, ПКК отмечает серьезные обязательства группы ОИЯИ и ее способность самостоятельно проводить исследования, а также потенциал проекта в условиях сильной международной конкуренции, в частности, по наблюдению когерентного рассеяния нейтрино.

**РЕКОМЕНДАЦИИ СОВМЕСТНОЙ СЕССИИ
ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ И ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ
ОТ 21 ЯНВАРЯ 2021 г.
ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ
НЕУСКОРИТЕЛЬНЫХ НЕЙТРИННЫХ ПРОЕКТОВ ОИЯИ**

ПКК рекомендует продолжение и полное финансирование проекта ν GeN в 2022–2024 годах с рейтингом В.

Проект EDELWEISS-RICOCHET

ПКК заслушал доклад Е. А. Якушева о последних результатах эксперимента EDELWEISS и о продолжении его исследовательской программы с новыми криогенными детекторами (HPGe-болометрами), которая будет расширена за счет включения исследований когерентного упругого рассеяния нейтрино на ядрах (Coherent Elastic Neutrino(ν)-Nucleus Scattering – CE ν NS). ПКК отмечает успешную разработку болометрических детекторов, которые позволят EDELWEISS-RICOCHET проводить высокоточные спектрометрические измерения вплоть до очень низких энергий (с энергетическим порогом ниже 100 эВ), где проявление новой физики в электрослабом секторе ожидается как искажение энергетического спектра ядер отдачи, вызванное CE ν NS.

Первый этап программы RICOCHET с крупномасштабным (кг-масштаба) экспериментом будет проводиться на исследовательском реакторе ILL (Гренобль, Франция). В то же время в EDELWEISS по-прежнему будут использоваться новейшие детекторы для прямого поиска частиц темной материи из галактического гало в области малых масс WIMP (1 ГэВ/ c^2 и ниже), недоступной для больших экспериментов, использующих детекторы на сжиженных благородных газах (Ar / Xe).

ПКК с удовлетворением отмечает, что EDELWEISS-RICOCHET сосредоточен на решении интригующих проблем современной физики, добился лучших в мире результатов и сохраняет сильные конкурентные возможности.

Рекомендация. ПКК рекомендует продолжить исследовательскую программу EDELWEISS по прямому поиску частиц темной материи и расширить ее до проекта RICOCHET по прецизионному измерению CE ν NS в 2022–2024 годах с рейтингом А.

М. Левитович
Председатель ПКК
по ядерной физике

И. Церруя
Председатель ПКК
по физике частиц