В. А. Бедняков

Проект Baikal-GVD в ОИЯИ

с 2013 по 2023 г.

Объединенный институт ядерных исследований

В. А. Бедняков

Проект Baikal-GVD в ОИЯИ с 2013 по 2023 г.

К 75-летию
Лаборатории ядерных проблем

Дубна 2024

Бедняков В. А.

Б38 Проект Baikal-GVD в ОИЯИ с 2013 по 2023 г. / В. А. Бедняков. — Дубна: ОИЯИ, 2024. — 207 с.

ISBN 978-5-9530-0634-7

Представлены воспоминания пятого директора Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Джелепова ОИЯИ о проделанной дирекцией ЛЯП работе по обеспечению беспрецедентного развития глубоководного нейтринного телескопа на озере Байкал.

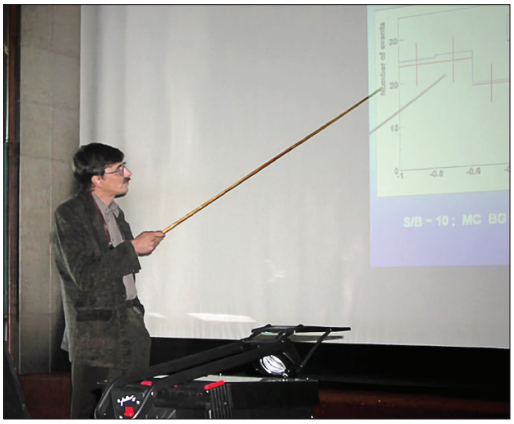
ISBN 978-5-9530-0634-7

© Объединенный институт ядерных исследований, 2024

Светлой памяти
Валерия Анатольевича Рубакова
и Виктора Борисовича Бруданина
посвящается

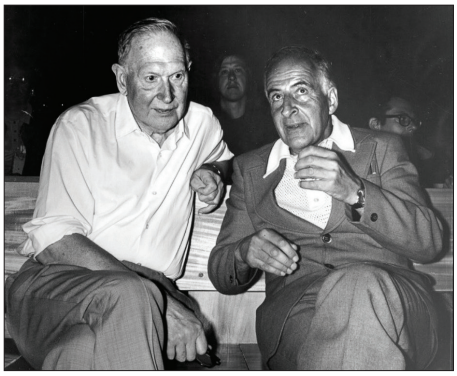
Нейтринный коллоквиум – старт нового проекта Baikal-GVD

В своем архиве документов и фотографий, накопленном еще со времен моего «ученого-секретарства» в ЛЯП, я нашел первый доклад Игоря Анатольевича Белолаптикова по поводу статуса проекта на озере Байкал и участия ОИЯИ в создании там нейтринного телескопа, относящийся к 2003 г. Этот доклад был сделан на проводимой нами в Дубне международной конференции по новой физике в неускорительных экспериментах (NANP-2003). На следующей конференции, NANP-2005, доклад по Байкальскому проекту делал сотрудник ИЯИ РАН Владимир Айнутдинов.



И. А. Белолаптиков выступает на конференции NANP в 2003 г. (слева). Он же в 2014 г. в своем рабочем кабинете (справа)

Впервые (согласно моим архивным документам) проект «Байкал» был представлен для рассмотрения научной общественности ЛЯП в самом конце 2007 г. В частности, в нем говорилось, что ОИЯИ начал участвовать в этом проекте ИЯИ РАН в 1991 г. Тогда в этих исследованиях и разработках участвовало 8 человек из ЛЯП. Начиная с 2005 г., они занимались вариантом детектора под названием НТ200+. Примечательно, что в 2007 г. полный финансовый запрос руководителей проекта на 3 года по этому участию составлял (всего)



М. А. Марков и Б. М. Понтекорво обсуждают (по всей видимости) идею Байкальского проекта (слева). Г. В. Домогацкий и директор ОИЯИ Д. Д. Киш на озере Байкал (справа)

На льду озера Байкал где-то в 2007 г.

128 тыс. долларов (USD). В Проблемно-тематическом плане ОИЯИ (главном финансово-разрешающем документе) на законных основаниях этот проект полноценно появился в 2010 г., руководителем его был И. А. Белолаптиков. В том же году поменялось и название темы, в которую входил этот проект и которая базировалась в научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии (РХЛ) ЛЯП. Тема стала называться «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика».

В докладной записке на имя директора ЛЯП от Виктора Борисовича Бруданина, начальника этого отдела, примерно за месяц до обсуждаемого ниже судьбоносного нейтринного совещания ОИЯИ, оценка институтских затрат на Байкальский глубоководный нейтринный телескоп (создание инфраструктуры берегового центра управления этим прибором) составляла (уже) 655 тыс. USD. Для примера, в том же письме на нейтринную лабораторию на Калининской атомной электростанции затраты им оценивались в 415 тыс. USD. То есть эти затраты были почти одинаковыми.

◇

Утром 24 октября 2013 г. мы* с Виктором Борисовичем Бруданиным поехали в Институт ядерных исследований РАН (Москва) на встречу с Григорием Владимировичем Домогацким** и Валерием Анатольевичем Рубаковым*** для обсуждения наших совместных действий, необходимых для кардинального ускорения работ по проекту нейтринного телескопа на озере Байкал.

* Я уже как месяц в должности директора ЛЯП ОИЯИ.
** Руководитель Байкальского эксперимента, член-корреспондент РАН, сотрудник ИЯИ РАН.
*** Авторитетный ученый, академик РАН, специалист по космологии, сотрудник ИЯИ РАН.

В. Б. Бруданин

Г. В. Домогацкий

В. А. Рубаков

Как упоминалось, работы по этому проекту велись достаточно давно в РХЛ ЛЯП под руководством В. Б. Бруданина и И. А. Белолаптикова. Здесь была создана заметная группа, однако руководство велось из ИЯИ, хотя наши ляповские ребята уже стали выполнять важные и решающие работы по этому проекту. Пришла пора переводить его в новую фазу. На встрече в ИЯИ мы договорились, что ключевым должно быть выступление В. А. Рубакова, однако не было понятно, когда и где это выступление надо сделать, чтобы оно было максимально эффективно.

Уже 8 ноября Г. В. Домогацкий звонил мне прямо в машину, которая везла меня из аэропорта Шереметьево после краткосрочной командировки в ЦЕРН домой в Дубну, по поводу выступления В. А. Рубакова в ОИЯИ. Ближайшее публичное мероприятие в Дубне было запланировано на 11 ноября 2013 г., оно представляло собой немецко-российское (ОИЯИ–BMBF) совещание по нейтринной физике и астрофизике. Однако после обсуждения мы согласились, что В. А. Рубакову на нем выступать не имеет смысла, поскольку формат и цели этого совещания были несколько другими (обсуждение состояния дел уже действующих совместных ОИЯИ-немецких проектов).

В. А. Матвеев считал, что В. А. Рубакову следует выступить на ближайшем Ученом совете ОИЯИ, однако Валерий Анатольевич не хотел ждать до февраля 2014 г. и предложил как можно раньше организовать специализированное мероприятие, на котором он бы мог сделать целеполагающий доклад по нейтринной астрофизике и о важности роли Байкальского нейтринного телескопа.

Собственно, тогда и возникла идея о расширенном семинаре, или коллоквиуме, на котором выступил бы В. А. Рубаков с постановкой задач для Байкальского проекта ЛЯП, и, как бы заодно, проведении аудит-ревизии всех проектов по нейтринной физике и астрофизике в ОИЯИ. При этом возникала возможность ранжировать эти проекты с целью выделения самых главных и перспективных с последующим закрытием наиболее слабых из них*.

Такое мероприятие, по предложению В. А. Рубакова и согласованию с В. А. Матвеевым, было запланировано на вторую половину декабря 2013 г.

Почему так торопился Валерий Анатольевич Рубаков? В моем представлении, потому, что в тот исторический момент сложились оптимальные условия как в ОИЯИ, в мире (всемирная нейтринная обсерватория), так и в самом коллективе эксперимента «Байкал», где

* Коллоквиум по физике элементарных частиц, где были рассмотрены проекты ATLAS, PANDA, DIRAC, D0, CDF и др., был проведен 10 февраля 2014 г., а 15 мая 2014 г. были рассмотрены все остальные направления работ в ЛЯП. Иными словами, в 2014 г. была выполнена ревизия научной программы ЛЯП.

уже научились работать и стало возможно быстро осваивать средства. Действительно, все элементы регистрирующей установки в байкальской воде были протестированы и их можно было просто тиражировать. При адекватном финансировании вероятность успеха была очень велика. Уникальный прибор кубокилометрового масштаба в Северном полушарии может быть технически создан в разумное время. Для этого, однако, совершенно необходимо создание адекватной инфраструктуры на берегу озера Байкал.

Роль В. А. Рубакова представлялась нам решающей, его участие в коллоквиуме было обязательно. Он, будучи самой авторитетной фигурой в данной области исследований, мог успешно и убедительно пропагандировать актуальность и важность работ по Байкальскому телескопу, но этого мало: его слово – это убеждение наших, ояиевских держателей финансовых средств. Практическая польза от его выступления – это «выбивание» денег как из ОИЯИ, так и из других источников. Это, на самом деле, и была главная его роль-задача. Его послушают и «под него» деньги дадут. Можно предположить, что и директору ОИЯИ В. А. Матвееву такая поддержка была нужна, чтобы успешно противостоять денежным «мешкам», скажем, из ЛЯР или NICA.

В разговоре с Г. В. Домогацким мы пытались определиться с тем, чего мы еще хотим от этого совещания. Одна из более или менее понятных задач была – поручить Бруданину, Беднякову и Домогацкому подготовить договор о сотрудничестве ОИЯИ с ИЯИ в этом направлении, организовать Scientific Advisory Committee эксперимента на озере Байкал и просить В. А. Рубакова его возглавить. Последний пункт согласился взять на себя Г. В. Домогацкий, он лично поговорил с В. А. Рубаковым, и тот согласился. В комитет предварительно мы хотели пригласить таких замечательных ученых, как В. С. Березинский, К. Шпиринг, С. С. Герштейн, М. Спиро и др. Перед самим нейтринным коллоквиумом в преддверии будущих совместных работ я занимался изучением различных протоколов о сотрудничестве, в том числе и с ИЯИ (пример предоставил И. А. Белолаптиков), имея в виду возможное подписание документа такого типа прямо на этом мероприятии.

Коллоквиум открылся 16 декабря 2013 г. в 10:00 в Доме ученых ОИЯИ моим вводным выступлением, в котором в контексте анализа всей научной программы ЛЯП (расстановка приоритетов, распределение ресурсов и средств) были сформулированы две главные задачи. Во-первых, начать этот анализ с обсуждения программы исследований по *нейтринной физике и астрофизике в ОИЯИ*. Во-вторых, «формализовать» совместную работу ОИЯИ

Объединенный институт ядерных исследований

Лаборатория ядерных проблем им. В.П.Джелепова

Нейтринная программа ОИЯИ

16 декабря 2013, Дом ученых ОИЯИ

10-00 В.А.Бедняков	Открытие совещания
10-10 В.А.Матвеев	Приветственное слово Директора ОИЯИ
10-20 Д.В.Наумов	Обзор нейтринной программы ЛЯП. Часть 1 – 40 мин.
11-00 В.Б.Бруданин	Обзор нейтринной программы ЛЯП. Часть 2 – 40 мин.
11-40 – 12-00	Кофе
12-00 В.А.Рубаков	Нерешенные проблемы физики нейтрино и астрофизики и потенциал эксперимента на Байкале – 40 мин.
12-40	Официальная часть
13-00	Обед

16 декабря 2013, конференц.зал ЛЯП

14-00 – 14-40	Эксперимент Байкал (И.А.Белолаптиков)
14-45 – 15-25	Эксперимент Daya Bay и проект JUNO (Д.В.Наумов)
15-30 – 16-10	Эксперимент BOREXINO (К.А.Фоменко)
16-15 – 16-55	Эксперимент OPERA (Ю.А.Горнушкин / С.Г.Дмитриевский)
17-00 – 17-40	Эксперимент SuperNEMO (В.Б.Бруданин / О.И.Кочетов)

17 декабря 2013, конференц.зал ЛЯП

14-00 – 14-40	Эксперимент GEMMA-2 (В.Б.Бруданин / Д.В.Медведев)
14-45 – 15-25	Эксперимент GERDA (А.А.Смольников / К.Н.Гусев)
15-30 – 16-10	Проект DANSS (В.Г.Егоров)
16-15 – 16-55	Эксперимент EDELWEISS (Е.А.Якушев)
17-00 – 17-40	Проект NOVA (А.Г.Ольшевский)

Программа совещания по Нейтринной программе ОИЯИ

и ИЯИ РАН по Байкальскому глубоководному нейтринному телескопу – подготовить и, по возможности, подписать протокол, а также организовать Scientific Advisory Committee и т. п. В заключении моего выступления было сказано, что *настало время нейтринной физики и астрофизики в ОИЯИ. Не такими великими затратами можно получить мировые результаты и быть лидерами в этой области. Это время нам нельзя упустить.*

Утреннее заседание коллоквиума по нейтринной физике в Доме ученых ОИЯИ

В первый день заседание, которое пришлось вести мне, проходило в Доме ученых, приглашены были все ведущие ученые ОИЯИ. После приветственного слова директора ОИЯИ, в котором была отмечена актуальность и перспективность данного направления исследований, выступили с общим обзором всей Нейтринной программы исследований в ЛЯП руководители этой программы В. Б. Бруданин и Д. В. Наумов. Первый говорил главным образом о домашних и неускорительных нейтринных экспериментах, второй – о международных и ускорительных. Особое внимание было уделено Байкальскому проекту, который в ЛЯП уже достиг определенного уровня вовлеченности и необходимого числа квалифицированных кадров. Интересно здесь напомнить, что в докладе В. Б. Бруданина, когда он говорил об исследованиях на Байкале, была упомянута возможность посыла нейтринного пучка из ЦЕРН на озеро Байкал и регистрации его с помощью Байкальского нейтринного телескопа (рис. 1).

Забегая чуть вперед, напомним, что в середине сентября 2014 г. возник умозрительный сюжет по поводу возможности запустить нейтринный пучок из Дубны (от источника NICA или, скорее, с Нуклотрона) в направлении Байкальского нейтринного телескопа. Мой вопрос коллеге Михаилу Чижову состоял в том, имеет ли это хоть какой-то смысл для физики нейтрино, может быть, для геофизики, разведки недр и т. п. Для оценки

Д. В. Наумов и В. Б. Бруданин

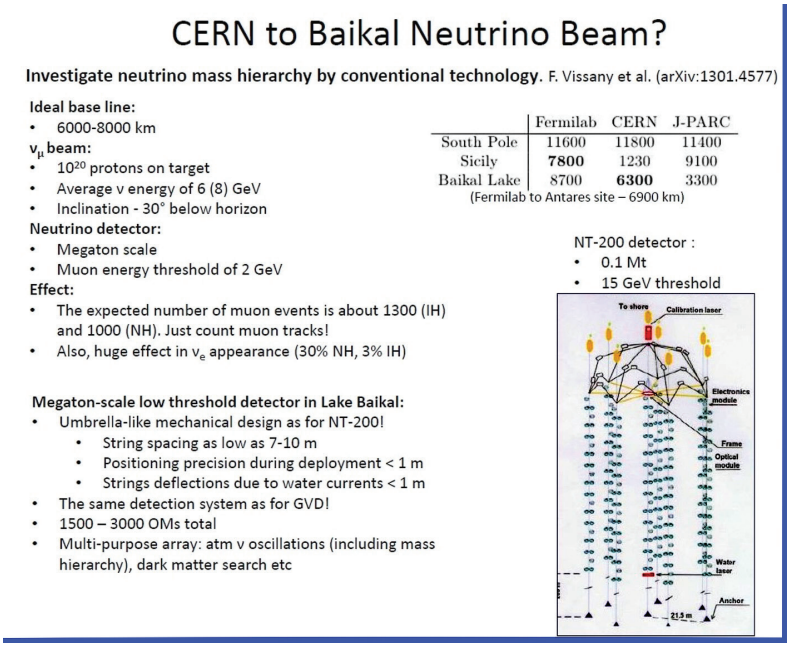
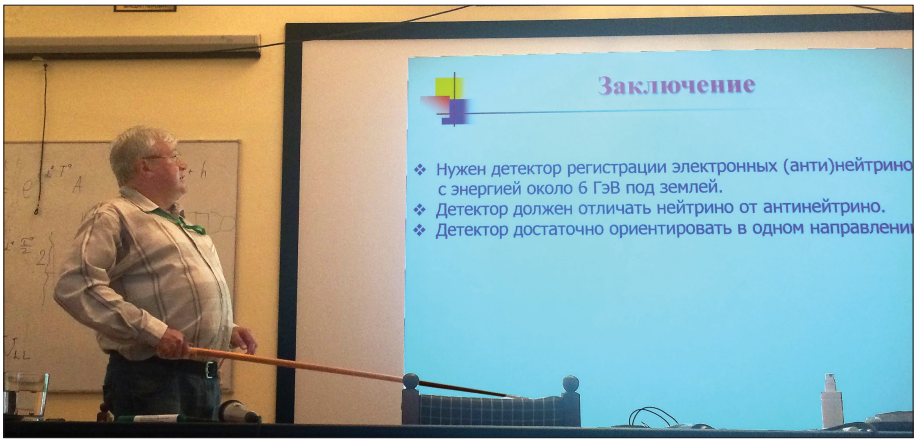


Рис. 1. Слайд из доклада В. Б. Бруданина о нейтрино из ЦЕРН в направлении Baikal-GVD

предлагалось использовать энергию протонов 10–12 ГэВ, интенсивность их пучка — 10^{12} штук в секунду.

Эта идея очень понравилась Михаилу, однако, с его точки зрения, она не могла быть реализована при указанных параметрах. Так, энергия протонов NuMI-пучка в Фермилабе 120 ГэВ (интенсивность $2 \cdot 10^{13}$ с$^{-1}$), что ведет к образованию вторичных пионов с энергией меньше 10 ГэВ, и после их двухчастичного распада нейтрино будут иметь энергию 3–4 ГэВ. Энергия протонов в J-PARC 30 ГэВ (интенсивность $2 \cdot 10^{14}$ с$^{-1}$), тогда энергия нейтрино 0,6 ГэВ. Примерно при таких условиях работают детекторы MINOS и T2K. Из сравнения видно, что «дубненский» пучок нейтрино будет очень низкой энергии и очень слабой интенсивности, поскольку интенсивность Нуклотрона на порядок-два меньше, чем у существующих уста-



М.В.Чижов выступает на семинаре ЛЯП

новок. А интенсивность – очень важный фактор, так как расстояние до Байкала больше 4 тыс. км (295 км для T2K и 735 км для MINOS). Это также важно, если мы захотим сделать более узкий по энергии пучок нейтрино, как в случае T2K (off-axis). Создание пучка нейтрино около 1 ГэВ также важно, так как установка «Байкал» не сможет детектировать нейтрино очень низких энергий. Таким образом, заключил тогда Михаил, нам нужно создать пучок нейтрино высоких энергий. Строить новый протонный ускоритель, очевидно, не имеет смысла, а вот «схватить» мюоны от распада вторичных пионов и ускорить их, как делается на нейтринных фабриках, представляется возможным. Используя технику мюонных коллайдеров, можно контролировать как энергию, так и интенсивность нейтринного пучка. Михаил сделал первые прикидки (рис. 2). Аналогичное заключение, если мне не изменяет память, было сделано Д.В.Наумовым.

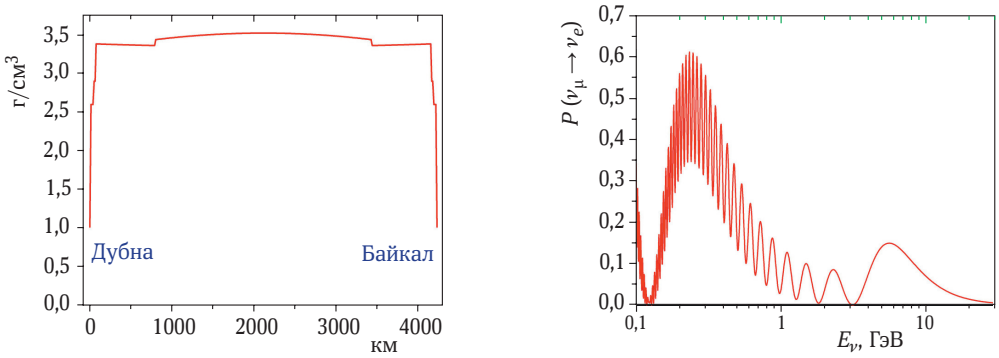


Рис. 2. Слева: распределение вещества по пути нейтрино от Дубны до Байкала. Средняя плотность 3,4 г/см^3. Справа: вероятность осцилляций мюонного нейтрино в электронное в зависимости от энергии. Пик при низкой энергии 260 МэВ из-за вакуумных осцилляций с «солнечной» разностью квадратов масс $7{,}5\cdot10^{-5}$ эВ^2. Последний широкий пик соответствует MSW эффекту в Земле. Резонансная энергия при данной плотности 8,5 ГэВ, а фаза достигает 90° при энергии 4,2 ГэВ. Так что максимум лежит где-то посередине 5–6 ГэВ

Возвращаясь к коллоквиуму в декабре 2013 г., необходимо отметить, что очень важный, фактически судьбоносный для всего дальнейшего хода событий доклад сделал Валерий Анатольевич Рубаков. В нем была яснее ясного обоснована необходимость форсированного продвижения вперед проекта нейтринного телескопа на озере Байкал. Он показал, что

Декабрь 2013 г. В. А. Рубаков, В. А. Матвеев, В. Б. Бруданин, Г. В. Домогацкий

пришло время «Байкала» — нейтринного телескопа на чистой воде. IceCube в Антарктиде видит сигнал, но плохо, его разрешение заметно ниже байкальского.

Наступает наше время. Теперь можно смело сказать, что на фото вверху мы видим отцов-основателей новой эпохи в развитии Байкальского проекта.

Перед второй частью заседания (см. программу на с. 7) был у меня обед в кафе ДМС с Г. В. Домогацким, В. А. Рубаковым и Д. В. Наумовым, на котором фактически и было принято (мною как директором ЛЯП) окончательное решение о новом этапе развития Байкальского проекта в ОИЯИ. За этим столом в кафе ДМС (фото внизу), по существу, товарищи убедили меня взяться за это дело. Именно Валерий Анатольевич, которого я знал очень давно, еще, можно сказать, со школьной скамьи, стал для меня главным гарантом и поддержкой, вселившим уверенность в успехе.

Исторический обед в кафе ДМС

М.Г.Иткис и Н.А.Русакович. 2016 г.

Справедливости ради надо напомнить, что ранее на «байкальский путь» меня (еще зам. директора) подталкивали Николай Артемьевич Русакович и Михаил Григорьевич Иткис. Так, на сессиях (февральской и сентябрьской) Ученого совета 2013 г. выступал вице-директор ОИЯИ М.Г.Иткис по поводу статуса и возможной корректировки Семилетнего плана ОИЯИ (2010–2016 гг.). Он уже тогда говорил о необходимости увеличения бюджета исследований по нейтринной физике и астрофизике. Я подготовил ему расклад-запрос для его первого доклада на 9 млн USD. Во втором он уже упоминал о 5 млн USD на нужды нейтринных исследований в ОИЯИ. Однако решительные действия в этом направлении последовали только после 2014 г. (см. далее).

После (исторического) обеда нейтринное совещание продолжилось в конференц-зале ЛЯП. Г.В.Домогацкий, В.А.Рубаков, Ж.Джилкибаев и другие коллеги пробыли там до 6 часов вечера и активно участвовали в работе коллоквиума. Они были очень впечатлены и довольны. Особенно тем, что весь конференц-зал во время обсуждения проектов, о которых докладывали наши сотрудники, был заполнен в основном молодежью. Это очень важный фактор, который вселял уверенность в том, что мы на правильном пути и те задачи, которые обсуждаются сегодня, будут выполнены. Совещание продолжилось и на следующий день (см. программу на с.7).

Выступление В.Г.Егорова на коллоквиуме в ЛЯП

Итак, 16–17 декабря 2013 г. прошел исторический на уровне всего Института нейтринный коллоквиум, на котором подробно рассматривались все нейтринные проекты того времени. На основе этого рассмотрения было составлено резюме Нейтринной программы ОИЯИ, в котором, помимо кратких характеристик всех рассмотренных экспериментов и их финансовых ресурсов, была дана общая картина современного состояния и основных проблем нейтринной физики и астрофизики, показано место ОИЯИ в ней. Окончательный текст этого документа на русском и английском языках был оформлен 9 марта 2014 г.*

Помимо этого было заключено соглашение между ИЯИ РАН и ОИЯИ по совместному развитию Байкальского нейтринного телескопа на новом этапе. Был организован международный программный комитет (Scientific Advisory Committee) во главе с В. А. Рубаковым, в который вошли также Кристиан Шпиринг, Вениамин Березинский, Семен Герштейн и др.

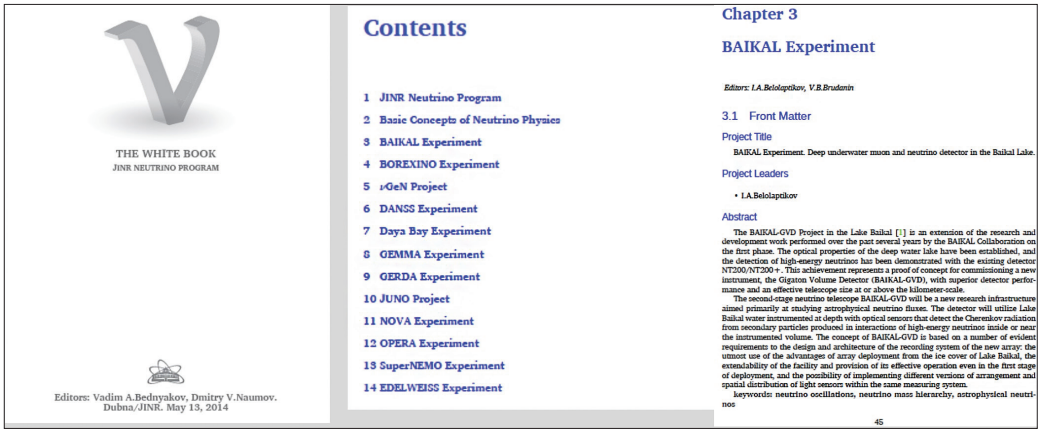
Лично меня очень вдохновило то, что Валерий Анатольевич Рубаков положительно отнесся к предложению возглавить этот комитет. По сравнению с другими нейтринными проектами наш отличался двумя замечательными факторами. Во-первых, есть история и традиции: уже 20–30 лет действует нейтринный телескоп на Байкале. Есть еще средиземноморские детекторы, со своими преимуществами и своими недостатками, но на Байкале такие геофизические условия, каких больше нет нигде. Уникальность проекта в этом и состоит. И рассчитан он минимум на 30 лет и всегда будет нужен и востребован. Так же как IceCube в антарктическом льду. Но там свои проблемы, некие геофизические характеристики льда, которые не позволяют достичь необходимого углового разрешения, чтобы точно определять направление входящих нейтрино. Байкальский нейтринный телескоп – это структура не только российского, но и мирового уровня. Эти три телескопа – в Антарктиде, на Байкале и в Средиземном море – объединены в единую нейтринную исследовательскую сеть. Поэтому, наряду с фундаментальными результатами по изучению космических нейтрино, появляется возможность глобального мониторинга космического пространства. Нейтрино может быть первым сигналом о какой-то угрозе из космоса для Земли, и эту угрозу можно будет вовремя отвести. Но самое главное для нас – команда

В. Б. Бруданин и И. А. Белолаптиков в обновляемом альфа-зале для сборки и тестирования оптических модулей установки Baikal-GVD (слева). И. А. Белолаптиков всегда на связи (справа). Август 2015 г.

* Резюме новой Нейтринной программы ОИЯИ см. в Приложении 1.

сотрудников ОИЯИ, которые работают на Байкале, под руководством Виктора Бруданина и Игоря Белолаптикова. Они знают и имеют все, что нужно для развития этой программы. Их пока немного, но с увеличением объема работ их обязательно станет больше. Все время нас упрекают в том, что у нас нет базовой установки. Теперь мы хотим иметь две. Первая — это «Байкал», вторая — Калининская атомная станция, где тоже процесс развития идет. Но начинать нужно с серьезной «перезагрузки» на Байкале.

Практически сразу после этого важного события мы с Дмитрием Вадимовичем Наумовым поняли, что надо формализовать и обобщить важные результаты этого мероприятия, и начали готовить Белую книгу по Нейтринной программе ОИЯИ (рис. 3).


THE WHITE BOOK
JINR NEUTRINO PROGRAM

Editors: Vadim A.Bednyakov, Dmitry V.Naumov.
Dubna/JINR. May 13, 2014

Contents

1 JINR Neutrino Program
2 Basic Concepts of Neutrino Physics
3 BAIKAL Experiment
4 BOREXINO Experiment
5 νGeN Project
6 DANSS Experiment
7 Daya Bay Experiment
8 GEMMA Experiment
9 GERDA Experiment
10 JUNO Project
11 NOVA Experiment
12 OPERA Experiment
13 SuperNEMO Experiment
14 EDELWEISS Experiment

Chapter 3

BAIKAL Experiment

Editors: I.A.Belolaptikov, V.B.Brudanin

3.1 Front Matter

Project Title

BAIKAL Experiment. Deep underwater muon and neutrino detector in the Baikal Lake.

Project Leaders

- I.A.Belolaptikov

Abstract

The BAIKAL-GVD Project in the Lake Baikal [1] is an extension of the research and development work performed over the past several years by the BAIKAL Collaboration on the first phase. The optical properties of the deep water lake have been established, and the detection of high-energy neutrinos has been demonstrated with the existing detector NT200/NT200+. This achievement represents a proof of concept for commissioning a new instrument, the Gigaton Volume Detector (BAIKAL-GVD), with superior detector performance and an effective telescope size at or above the kilometer-scale.

The second-stage neutrino telescope BAIKAL-GVD will be a new research infrastructure aimed primarily at studying astrophysical neutrino fluxes. The detector will utilize Lake Baikal water instrumented at depth with optical sensors that detect the Cherenkov radiation from secondary particles produced in interactions of high-energy neutrinos inside or near the instrumented volume. The concept of BAIKAL-GVD is based on a number of evident requirements to the design and architecture of the recording system of the new array: the utmost use of the advantages of array deployment from the ice cover of Lake Baikal, the extendability of the facility and provision of its effective operation even in the first stage of deployment, and the possibility of implementing different versions of arrangement and spatial distribution of light sensors within the same measuring system.

Keywords: neutrino oscillations, neutrino mass hierarchy, astrophysical neutrinos

45

Рис. 3. Титул, содержание и фрагмент Белой книги по Нейтринной программе ОИЯИ

Она в едином формате содержала описание всех наших проектов, а также основную информацию по физике нейтрино и небольшой обзор по этой тематике, включавший оценку необходимых ресурсов для выполнения задуманного. Она насчитывала 290 страниц текста и была подготовлена с помощью руководителей всех нейтринных проектов ЛЯП, особенно хочется поблагодарить Максима Гончара за помощь с LaTeXом. В середине 2014 г. эта книга была издана и быстро стала бестселлером. Один лишь В. А. Рубаков увез в Москву три экземпляра. Хочется отметить, что на тот момент в этой программе участвовал большой процент молодых ученых и специалистов, что обещало успешное будущее этому направлению. Сегодня можно констатировать, что так и произошло.

В заключение этого раздела хочется напомнить, что в результате реализации заявленной нами Нейтринной программы мы ожидали:

- во-первых, усиления лидирующей позиции ОИЯИ в физике нейтрино и астрофизике — наиболее фундаментальной и максимально быстро развивающейся области современной физики частиц;
- во-вторых, придания наивысшего приоритета в ОИЯИ этой области исследований и привлечения в нее молодежи из стран-участниц и укрепления на этой основе международных связей ОИЯИ с центрами по всему миру;
- в-третьих, достижения решающего прорыва в создании совместного ОИЯИ–ИЯИ Байкальского нейтринного телескопа и налаживания долгосрочных фундаментальных и прикладных исследований на (анти)нейтринных пучках КАЭС, а также решающего вклада ученых ОИЯИ в самые передовые интернациональные проекты в области нейтринной астрофизики и темной материи
- и — самое главное и самое необходимое — создания в ОИЯИ совершенно новой современной передовой многоцелевой инфраструктуры для решения всех этих задач.

«Новая жизнь» проекта Baikal-GVD в ОИЯИ

2013 Итак, 16–17 декабря 2013 г. на общеинститутском коллоквиуме по физике нейтрино и астрофизике был сделан первый шаг нового Байкальского проекта в Объединенном институте ядерных исследований.

Справедливости ради надо напомнить, следуя Г.В.Домогацкому*, что начиная с октября 1980 г. и до 2014 г. проект «Байкальский глубоководный нейтринный телескоп» (БГНТ) прошел в своем развитии 4 разных этапа. От исследования возможностей создания на озере Байкал нейтринного телескопа для регистрации нейтрино высоких энергий и выбора места установки телескопа (1980–1987 гг.), через развертывание (на базе накопленного опыта) первого в мире глубоководного нейтринного телескопа НТ-200 (1987–1998 гг.) из восьми гирлянд по 24 оптических модуля на каждой (где были зарегистрированы первые события от нейтрино), до усовершенствованного телескопа НТ200+ и разработки первого варианта научно-технического проекта телескопа НТ1000 с эффективным объемом до 1 км^3 (1998–2010 гг.).

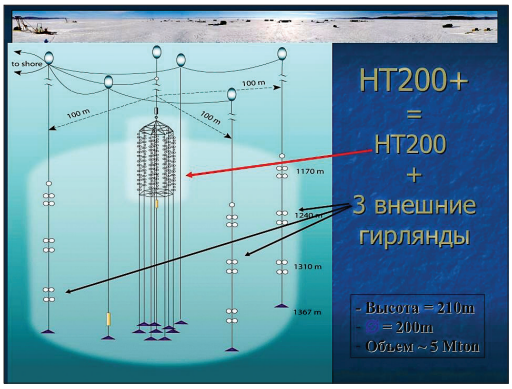


Схема НТ200+

К.Шпиринг и Г.В.Домогацкий... в далекие времена

На самом коротком, 4-м этапе (2010–2014 гг.) проводился поиск новой элементной базы и доработка проекта Байкальского глубоководного нейтринного телескопа с изменением марки с НТ1000 на Baikal-GVD, которая завершилась подписанием Протокола ИЯИ РАН и ОИЯИ о выполнении совместной научно-исследовательской работы от 25 августа 2014 г. №4398-2-14/17 в целях объединения усилий и сокращения сроков достижения научно-технических результатов в создании Байкальского глубоководного нейтринного телескопа (Baikal-GVD) с эффективным объемом масштаба кубического километра**.

С этого момента, как пишет Г.В.Домогацкий, ОИЯИ берет обязательства полномасштабного участия в выполнении и финансировании проекта. Это обусловило перспективы реализации результатов исследований, разработок и опыта, накопленного за три десятилетия, тем более что и в ИЯИ РАН, и в ОИЯИ сохранялся костяк специалистов, приведших к достигнутым результатам. Почва для прорыва и наступления 5-го этапа интенсивного раз-

* Аналитическая записка Г.В.Домогацкого приведена в Приложении 2.

** В моем архиве я нашел договор между ОИЯИ и ИЯИ РАН №200/1326 от 19.06.2013 на создание высокоскоростного канала передачи данных для проведения исследований в области физики элементарных частиц на кластере Байкальского глубоководного нейтринного телескопа НТ1000 в рамках госконтракта №14.518.11.7074. Сумма договора составляла 200 тыс. руб., за которые ОИЯИ обязался выполнить эту работу до 31.10.2013 г.

вития проекта была подготовлена. Однако все эти замечательные достижения-утверждения вполне могли остаться только на бумаге, поскольку семилетка ОИЯИ (2010–2016 гг.) была уже давно сверстана (финансовые ресурсы распределены) и на (бурное) развитие Байкальского проекта в ОИЯИ денег, по словам В.А.Матвеева, не было. Единственный теоретический вариант, который упоминал в разговоре директор ОИЯИ, был грант полномочного представителя Правительства России в ОИЯИ. Обоснованием для выделения такого гранта могло стать упомянутое выше резюме Нейтринной программы ОИЯИ, в котором уже тогда обосновывалась необходимость увеличения бюджета этой программы на 5 млн USD в год. Было ясно, что ресурсы возможного гранта полномочного представителя России не выглядели достаточными для заявленной задачи.

Нужна была серьезная работа по убеждению научной общественности, финансовой и, главное, принимающей решения структур Института в том, что физика и астрофизика нейтрино (Нейтринная программа) в ОИЯИ представляет собой крайне важную область исследований, направленную в будущее, богатую новыми неожиданными открытиями, а также в том, что необходимо создание современной инфраструктуры на озере Байкал и на Калининской атомной электростанции.

2014 На 40-м заседании Программно-консультативного комитета (ПКК) ОИЯИ по физике частиц 27 января 2014 г. директор ЛЯП сделал доклад о планах развития Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова на ближайшее 5-летие – «Our Tomorrow is improved continuation of our Today». Главная задача – сохранение и приумножение уникальных традиций ЛЯП, заложенных двумя великими учеными – Бруно Понтекорво и Венедиктом Петровичем Джелеповым. Их 100-летние юбилеи мы отметили в 2013 г.

Выступление на ПКК по физике частиц 27 января 2014 г.

Для подготовки этого доклада среди всех ключевых проектов ЛЯП по всем направлениям было проведено анкетирование. Руководителям проектов предлагалось кратко изложить главную цель-задачу проекта, указать время исполнения и оценку финансовых затрат на проект, число вовлеченных в него сотрудников ОИЯИ, их основные достижения (оборудование и софт), а также публикации и выступления за период выполнения проекта. Такая рубрикация позволила получить информацию по каждому из проектов ЛЯП в единообразной форме. Последнее имело решающее значение как с точки зрения широты охвата тематики, так и с точки зрения последующей приоритизации проектов. В дальнейшем этот подход был реализован в Белой книге по Нейтринной программе ОИЯИ. В ней два главных направления – ускорительная нейтринная физика и неускорительная физика нейтрино.

Планы по созданию и развитию новой, нейтринной инфраструктуры ЛЯП также были изложены на этом ПКК. В своем решении члены ПКК записали, что нейтринная физика и астрофизика являются центральными направлениями исследовательской деятельности ЛЯП, и предложили подчеркнуть важность программы нейтринной физики и астрофизики в обновленном Семилетнем плане развития ОИЯИ. Кроме того, они рекомендовали дирекции ОИЯИ провести совместное заседание ПКК по физике частиц и ПКК по ядерной физике для квалифицированной общей оценки программы по нейтринной физике в ОИЯИ.

◇

На заседании Ученого совета ОИЯИ 20 февраля 2014 г. Н.А.Русакович* сделал доклад по корректировке текущей семилетки ОИЯИ и обратил внимание на нашу Нейтринную программу и перспективность работ на озере Байкал и на Калининской атомной электростанции. После этого был специальный доклад члена Ученого совета ОИЯИ В.А.Рубакова «Unsolved problems of neutrino physics and astrophysics and potential of the Baikal experiment» (рис.4), в котором было авторитетно подчеркнуто, что нейтрино крайне интересно с точек

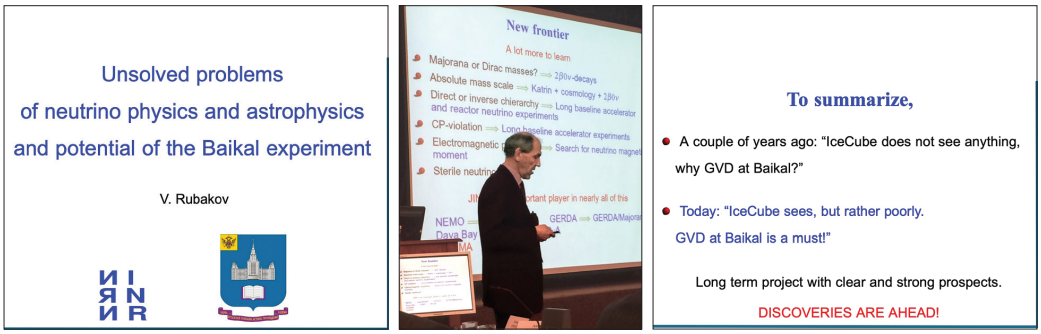


Рис.4. Из доклада В.А.Рубакова на Ученом совете 20 февраля 2014 г.

зрения физики частиц и астрофизики, что ОИЯИ – важный игрок на поле нейтринной физики и что сегодня «IceCube sees, but rather poorly. GVD at Baikal is a must!» А также было убедительно показано, что Baikal-GVD – это долгосрочный проект с ясными и выдающимися перспективами и новыми открытиями... если, конечно, найдутся соответствующие финансовые ресурсы. Этот доклад был высоко оценен всеми членами Ученого совета. Ими была признана важность физики нейтрино и программы астрофизических исследований, выполняемых в ЛЯП. Помимо того, члены Ученого совета поддержали идею проведения совместного заседания двух программно-консультативных комитетов и рекомендовали привлечь для квалифицированного рассмотрения вопроса ведущих мировых специалистов. Мишель Спиро, как, пожалуй, самый заинтересованный член Ученого совета ОИЯИ, лично рекомендовал вставить в решение совета фразу про Байкал и КАЭС. Это было уже хорошее начало.

Во время последующего обсуждения (в том числе и на банкете) другой член Ученого совета, директор Института ядерной физики в Кракове Марек Ежабек настоятельно приглашал меня и Д.В.Наумова к себе в Польшу с рассказом о новом статусе проекта на Байкале. Ему представлялось важным и престижным участие сотрудников его института, специалистов в данной области, в этом проекте через ОИЯИ. Такое участие помимо высокой физической значимости вполне позволяло ему оправдывать финансовый взнос Польши в ОИЯИ. Baikal-GVD был действительно для него хорошим вариантом. Такая заинтересованность

* Главный ученый секретарь ОИЯИ.

М. Ежабек агитирует Диму за чашкой супа после заседания Ученого совета 20 февраля 2014 г. (слева). На этом же заседании Г. В. Домогацкий получает премию им. Б. М. Понтекорво (справа)

и поддержка много значили для будущего этого проекта. Мы обсуждали также возможность поездки по этому поводу в Краков и кого-то из реальных специалистов – участников проекта (Игоря или Баира).

Знаменательно, что на той сессии Ученого совета была вручена премия им. Б. М. Понтекорво члену-корреспонденту РАН Григорию Владимировичу Домогацкому (ИЯИ РАН) за выдающийся вклад в развитие нейтринной астрофизики высоких энергий и нейтринной астрономии, в частности, за пионерские работы по разработке методики детектирования нейтрино высоких энергий подводным детектором и создание действующей установки на озере Байкал.

◇

Продолжением «борьбы за Байкал» стало мое выступление на заседании Комитета полномочных представителей (КПП) стран-участниц ОИЯИ 24 марта 2014 г. с докладом «Нейтринная физика и астрофизика в ОИЯИ». Тезисы доклада: 1) популярно о нейтрино (реликтовые, солнечные, без них нас не было бы...); 2) что мы знаем о нейтрино (размер, массы, переходы, осцилляции, Понтекорво); 3) центральная проблема физики частиц – междисциплинарность и загадки нейтрино; 4) практическая польза – геонейтрино; 5) мониторинг реакторных нейтрино, передача информации, сигнал от инопланетян; 6) нейтрино в ОИЯИ; 7) базовые установки «Байкал» и КАЭС; 8) пример пользы фундаментальной науки: физики после Паули и Райнеса (сказавших, что нейтрино нельзя вообще зарегистрировать) все-таки старались это сделать и в результате придумали для этой цели огромные детекторы, которые теперь позволяют контролировать реакторы и ядерные взрывы. «То, что нам мешало, – нам и помогло». Явный минус чрезвычайной слабости нейтринных взаимодействий стал большим плюсом в практическом использовании нейтрино.

Члены КПП постановили поддержать инициативу дирекции ОИЯИ, одобренную Ученым советом, по консолидации программы исследований в области физики нейтрино и астрофизики и поручить дирекции ОИЯИ представить Ученому совету и КПП перспективный план реализации этой программы с учетом внутренних и внебюджетных источников.

◇

В марте-апреле была переписка с китайскими товарищами, инициированная Алексеем Сергеевичем Жемчуговым (начальником одного из отделов ЛЯП), по поводу их возмож-

Алексей Жемчугов

Ифан Ван

ного участия в проекте Baikal-GVD. С точки зрения, достаточно полно проработанной А. С. Жемчуговым, возможность участия ИФВЭ АН КНР в байкальском эксперименте была основана на следующих наблюдениях.

Институт физики высоких энергий (IHEP) АН КНР в Пекине является головной организацией Китая по исследованиям в области физики элементарных частиц. Наряду с традиционными исследованиями на c-tau фабрике, в течение последних 8 лет в IHEP активно развивается физика нейтрино. После успеха Daya Bay начато строительство новой реакторной установки JUNO. Однако помимо этих двух направлений существует третье. Важное и исторически первое направление исследований IHEP – физика космических лучей и астрофизика, где основное место занимают эксперименты в тибетской обсерватории Yangbaijing и эксперименты на спутниках. Поэтому, объективно, тематика эксперимента Baikal-GVD лежит в сфере интересов IHEP как с точки зрения астрофизики, так и с точки зрения регистрации нейтрино. Поскольку о планах создания своего нейтринного телескопа в Китае пока ничего не известно, а исследования по нейтринной астрофизике вызвали повышенный интерес после недавних результатов IceCube и являются дополнением к уже ведущимся в IHEP работам, то есть все основания считать, что к предложению участия в эксперименте Baikal-GVD китайцы отнесутся очень внимательно.

Представлялось, что для эксперимента Baikal-GVD участие IHEP будет выгодным по следующим соображениям. Во-первых, это международное сотрудничество, подкрепленное участием в эксперименте крупного исследовательского центра. Во-вторых, в IHEP накоплен значительный опыт работы с большими ФЭУ и соответствующей электроникой. Кроме того, планировалась организация собственного производства и того, и другого для будущего эксперимента JUNO. В-третьих, IHEP в состоянии сделать существенный вклад в эксперимент как оборудованием и материалами, так и на этапе анализа данных.

При обсуждении возможного материального взноса IHEP в Baikal-GVD А. С. Жемчугов считал, что в качестве дополнительного аргумента можно вернуться к старому предложению о создании в ОИЯИ на базе ЛИТ вычислительного центра для обработки данных совместных экспериментов ОИЯИ–IHEP (BES-3, Daya Bay, в будущем Baikal-GVD). Первоначальное предложение 2012 г. построить такой центр в Дубне с расходами ОИЯИ–IHEP 50/50 не было реализовано из-за формальных препятствий по финансированию зарубежных проектов китайской стороной. Стоимость создания подобного центра оценивалась в 200–300 тыс. USD. Например, можно было рассмотреть вариант создания такого центра полностью за счет [ЛЯП] ОИЯИ, но с обязательством IHEP внести 1/2 стоимости центра взносом в Baikal-GVD материалами и оборудованием. В этом случае у китайской стороны формальных препят-

ствий не стало бы, поскольку китайские правила разрешали взносы оборудованием в зарубежные эксперименты при условии участия китайской группы в физической программе исследований и невозможности выполнить аналогичные исследования в КНР.

Однако тогда, к сожалению, директор IHEP Ифан Ван ответил так: «For the Baikal experiment, I did ask our cosmic-ray people. They are busy with LHAASO, and said that they have no man power at this moment. Our neutrino people are fully occupied by JUNO at this moment. Sorry that we have no extra resources for Baikal at this moment».

Забегая вперед, отметим, что вопрос об участии китайских ученых в создании совместно с ОИЯИ грандиозного глубоководного нейтринного телескопа нового поколения (масштаба 10–100 км^3) вновь возник на рубеже 2022–2023 гг. (см. далее).

◇

На совместном заседании Научно-технического совета и дирекции ОИЯИ 17 апреля 2014 г. в Доме международных совещаний была рассмотрена обновленная научная программа Лаборатории ядерных проблем, представленная мною как новым директором ЛЯП. Эта программа сконцентрирована на трех основных направлениях: 1) нейтринная физика и астрофизика, 2) физика частиц высоких энергий, 3) разработка и создание новых детекторов, а также обеспечение медико-биологических работ на фазотроне ОИЯИ.

Пользуясь случаем, я, может быть впервые тогда, четко сформулировал те принципы, на основе которых наша лаборатория входит в международные эксперименты. Во-первых, международный эксперимент должен иметь наивысшую научную значимость; во-вторых, вклад ЛЯП в него должен быть если не самым весомым, то решающим в своей области; в-третьих, в ЛЯП должно остаться нечто важное от этого участия (оборудование, приборы, опыт, идеи, престиж, международное признание, возросший уровень квалификации специалистов и т. п.); наконец, широкое вовлечение нашей молодежи в эксперимент должно служить индикатором его актуальности и гарантией его будущего развития.

В качестве ключевых примеров, где полностью реализуются эти принципы, я привел эксперименты JUNO и Daya Bay (Китай), а также Байкальский нейтринный телескоп.

На этом совместном заседании впервые прозвучала «оперативная информация» о том, что первый кластер под названием «Дубна» был успешно собран на озере Байкал. Тем самым был открыт прямой путь к выполнению главной задачи – созданию крупномасштабного нейтринного телескопа Baikal-GVD. Высокую оценку результатов по созданию кластера «Дубна» на Байкале дал В. А. Матвеев. На очереди, после недавних переговоров в Кракове с директором ИЯФ М. Ежабеком, было создание «байкальской» польской группы и нового кластера с именем «Краков».

Участие в экспериментах на мюонных пучках по поиску новой физики – еще одна составная часть перспективной (и традиционной) программы ЛЯП на 2017–2023 гг. Сюда входит связь «редких процессов» с физикой нейтрино, которая исследуется в Фермилаб, в Японии и в Швейцарии (эксперименты Mu2e, COMET, MEG). Нельзя было не отметить важность участия ОИЯИ в эксперименте ATLAS на LHC в 2017–2023 гг., где мы сосредоточились на физической программе исследований, обслуживании и программе модернизации установки ATLAS.

В своем выступлении мне пришлось также акцентировать внимание уважаемой аудитории на тезисе о том, что обновление инфраструктуры и модернизация оборудования – это основа не только успешной, но и вообще какой-либо конструктивной работы в ЛЯП. Состояние многих помещений и мастерских в ЛЯП было неудовлетворительное. Ремонта оборудования не было 30–40 лет. Для создания современных условий труда, успешной реализации проектов и привлечения молодых кадров была разработана дорожная карта капитального ремонта ЛЯП, в том числе помещений, где организованы работы по основным

проектам, и начато ее воплощение. Тогда в Институте не было разумной альтернативы задаче обеспечения функционирования медико-технического комплекса ОИЯИ на пучках фазотрона, она оставалась весьма актуальной. Нельзя также было забывать о комплексе научно-методических исследований ЛЯП.

Заключил тогда я свой доклад «смелыми тезисами» о том, что нейтрино – это самая передовая наука, астрофизика, астрономия. Междисциплинарность, огромный потенциал новизны и практической пользы нейтрино стал очевиден. За компактными (и мощными) нейтринными источниками и детекторами – будущее уникальных высокоточных, неразрушающих измерений. Baikal-GVD – это элемент международного научного разделения труда, зона международной ответственности России, ИЯИ и ОИЯИ, он включен в глобальную нейтринную сеть (обсерваторию). Этот проект, безусловно, обеспечит конкурентоспособность ОИЯИ на долгие годы.

◇

27 мая была поездка в Российскую академию наук на заседание Президиума РАН по нейтринной физике и астрофизике. Меня об этой возможности заранее предупредил В. Б. Бруданин, а затем 17 мая по этому поводу еще звонил В. А. Рубаков. Со слов В. А. Матвеева, это было одно из первых заседаний вновь избранного Президиума новой, объединенной недавно Российской академии наук. Тогда считалось, что важнейшая функция Академии наук, и прежде всего ее Президиума, – выработка экспертных решений, которые должны учитываться правительством при формировании программ фундаментальных исследований.

В начале заседания президент РАН В. Е. Фортов отметил, что на современном этапе развития науки исследования на стыке физики элементарных частиц, космологии, внегалактической астрономии, нейтринной физики и астрофизики становятся особенно актуальными. Здесь важная роль принадлежит именно физике нейтрино. Он подчеркнул, что Президиум высоко оценил усилия на этом направлении российских ученых и ОИЯИ и считал целесообразным оказывать поддержку дальнейшему развитию этих исследований в России, а также усилению международного сотрудничества.

На этом заседании главным было сообщение члена-корреспондента РАН Ткачева Игоря Ивановича «Астрофизика и космология на новом этапе развития физики элементарных ча-

На заседании Президиума РАН (слева). Выступление И. И. Ткачева (справа)

стиц». Мне же предстояло пятиминутное выступление в прениях вместе с такими людьми, как В. Е. Фортов, В. А. Рубаков, Г. В. Домогацкий, В. Н. Гаврин, М. И. Панасюк и др.

Выехали мы с Александром Григорьевичем Ольшевским (четвертым директором ЛЯП, поехавшим, видимо, меня поддержать) в 7:00. В моем коротком докладе мне удалось только обозначить тезисно наши основные позиции. Это – история нейтрино в ОИЯИ, консолидированное участие в создании нейтринного телескопа на озере Байкал, в нем участвуют теперь ИЯИ, ОИЯИ, Китай, Чехия, Словакия, Польша. Напомнил о решении Совета РАН по Калининской атомной станции (КАЭС), принятом в 2012 г., кратко рассказал об исследованиях на КАЭС, об участии в экспериментах NOvA, JUNO, EDELWEISS, SuperNEMO и др. Главная мысль – была принята Нейтринная программа ОИЯИ, новый перспективный этап развития нейтринной физики и астрофизики не только в ОИЯИ, но и во всей России.

Владимир Николаевич Гаврин (руководитель Баксанской лаборатории ИЯИ) после моего доклада, упрекнув меня в хвастовстве, сказал, что не верит в наши возможности просто по той причине, что у нас нет своей подземной нейтринной лаборатории, где, по его мнению, только и можно эффективно заниматься нейтринной физикой. Мне показалось тогда, что он не прав. Действительно, в ИЯИ есть Баксанская нейтринная лаборатория и формально, уже вместе с ОИЯИ, Байкальский нейтринный телескоп, но, в общем, ничего столь же серьезного больше нет. У нас в ОИЯИ есть лаборатория в Удомле на КАЭС, фактически, с нашим финансированием и управлением, уникальная подземная лаборатория в Модане (Франция), кое-что еще и в Гран-Сассо. Все это с точки зрения мест для проведения передовых экспериментов по нейтринной физике вполне пригодно. Кстати сказать, комфортабельность, удобность и доступность «Баксана» ни в какой мере даже не может быть сравнена с «Моданом».

Выступления на Президиуме РАН Г. В. Домогацкого (слева) и В. А. Рубакова (справа)

Я был на Президиуме РАН впервые, и что мне бросилось в глаза, так это практически полное отсутствие молодых лиц. Самыми молодыми мне казались тогда Валерий Рубаков и Игорь Ткачев. Некоторые слушатели просто спали. Мы с Г. В. Домогацким и В. А. Рубаковым честно, как и было заранее договорено, делали доклады по 5 минут, а В. Н. Гаврин, М. Д. Скорохватов, М. И. Панасюк и М. Р. Гильфанов (ИКИ РАН) не постеснялись взять по 15–20 минут. М. И. Панасюк, по-моему, сильно преувеличивал тогда возможности и перспективы экспериментов ТУС и «Нуклон», про которые мы тоже кое-что знали в ОИЯИ.

◇

Первое, безусловно, историческое заседание научно-консультативного комитета (SAC) по Байкалу состоялось в Дубне 13 июля 2014 г. В начале мая того же года был полностью определен состав участников этого SAC из числа мировых экспертов в данной области. В него вошли Кристиан Шпиринг, фрау Элс де Вольф, Мишель Спиро, Сергей Троицкий, Вениамин Березинский, Семен Герштейн и др. На совещании с обзорными докладами

Участники первого заседания SAC по байкальскому эксперименту

выступили К. Шпиринг («Результаты эксперимента IceCube»), Элс де Вольф («Статус KM3NeT»), С. Троицкий («Astrophysical sources») и В. Березинский («UHE cosmic neutrinos: where are cosmogenic neutrinos?»). По Байкальскому нейтринному проекту выступали Жан-Арыс Магисович Джилкибаев, Игорь Белолаптиков и Владимир Маратович Айнутдинов («Baikal neutrino project», «Status of Baikal-GVD», «Baikal-GVD technical report»). В результате общей дискуссии Байкальский проект был рассмотрен всесторонне.

Члены SAC отметили*, что благодаря превосходному угловому разрешению водяные детекторы нейтрино очень важны для определения точки источника (после IceCube эта задача становится особенно важной) и проект Baikal-GVD может дать России большую известность в современной астрофизике. Далее было указано, что инфраструктура на месте проведения эксперимента должна быть кардинально улучшена, а сотрудничество следует существенно расширить. При этом было отмечено, что намерение ОИЯИ усилить свое участие и выделить значительные ресурсы, в том числе финансирование, крайне важно и будет иметь решающее значение для дальнейшего успешного развития проекта. В целом совместный проект ОИЯИ–ИЯИ Baikal-GVD имеет высочайшее научное значение и должен быть решительно поддержан и распространен на международном уровне.

◇

Следующим важным этапом было выступление на совместном заседании программно-консультативных комитетов (ПКК) по физике частиц (председатель И. Церруя) и по ядерной физике (председатель В. Грайнер) 26 июня 2014 г. Оно было «заказано» на предыдущем, январском заседании ПКК по физике частиц. В повестке дня совместного заседания было всего два доклада. Первый доклад – директора ЛЯП (В. А. Беднякова) о Нейтринной программе ОИЯИ, в сопровождении так называемой Белой книги (White Book), содержащей в единообразной форме описание всех проектов и экспериментов ОИЯИ по физике и астрофизике нейтрино. Эта книга была подготовлена в ЛЯП и издана в рекордные сроки Издательским

Президиум двух программно-консультативных комитетов. Слева направо: В. А. Матвеев, председатели ПКК И. Церруя и В. Грайнер, Р. Ледницки и Г. Д. Ширков. Белая книга по Нейтринной программе ОИЯИ видна у всех действующих лиц

* 2 июля 2014 г. от В. А. Рубакова пришло письмо: «Вадим Александрович, Виктор Борисович (в будущем давайте без отчеств!), посылаю Вам финальный документ SAC Baikal. Enjoy! Ваш Валерий». Этот документ приведен в Приложении 3.

отделом ОИЯИ к середине июня (11 июня 2014 г.), она была роздана всем членам обоих ПКК и была доступна в интернете. Безусловно, эта книга сыграла решающую роль для последующих событий. Второй доклад сделал В. А. Рубаков на тему «Unsolved problems of neutrino physics and astrophysics and the potential of the Baikal experiment».

Доклады на совместном ПКК В. А. Беднякова (вверху) и В. А. Рубакова (внизу)

В результате члены обоих комитетов признали, что нейтринная физика и астрофизика являются одними из основных направлений исследовательской деятельности в ОИЯИ. Это направление имеет стратегическое значение и наивысший потенциал новых открытий и обещает захватывающие результаты в будущем. Была также отмечена важность новых экспериментов с пучками антинейтрино на Калининской АЭС и новой базовой установке ОИЯИ на озере Байкал*. Комитеты рекомендовали дирекции ЛЯП активизировать усилия по концентрации всех ресурсов (кадровых, финансовых, интеллектуальных) в выбранных

* Примечательно, что Ицхак Церруя (председатель ПКК по физике частиц), стремясь помочь, просил нас подготовить такой проект решения совместного ПКК, который был бы нам полезен. В том плане, что ПКК настоятельно рекомендуют сконцентрировать ресурсы на Байкале и КАЭС. Забрать, например, в 2015 г. ресурсы у других проектов ЛЯП с обещанием вернуть, а также рекомендовать дирекции ОИЯИ найти и выделить дополнительные ресурсы для обеспечения прорыва.

А. Эредитато

Ф. Пикмаль

С. Н. Дмитриев

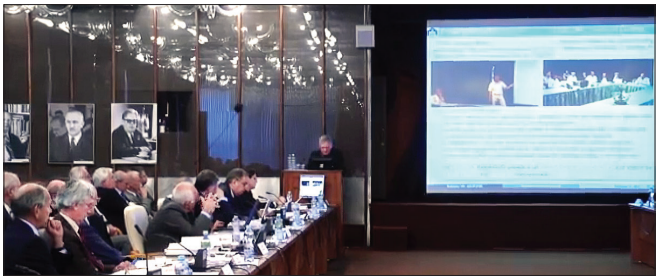
экспериментах Нейтринной программы ОИЯИ, а также по установлению приоритетов для всех нейтринных проектов, в которых ОИЯИ принимает участие, в соответствии с критериями научной значимости и потенциала научных открытий, используемых ресурсов (персонал и финансирование), признания значимости участия ОИЯИ в проекте и, наконец, конкурентоспособности по отношению к другим международным проектам. Это было начало давления на ЛЯП в направлении закрытия так называемых низкоприоритетных проектов, в том числе и по физике нейтрино, таких как проект Borexino. Казалось бы, из самых лучших соображений. Для экспериментов, проводимых ЛЯП, комитеты рекомендовали предпринять все возможное для привлечения международных партнеров. С целью более эффективного рассмотрения выдвигаемых проектов комитеты обратились к дирекции ОИЯИ с просьбой позволить членам ПКК по физике частиц проводить оценку всех будущих нейтринных проектов.

Помимо этого, следуя рекомендациям совместного заседания этих ПКК, для более полного понимания ситуации несколько позже самого заседания (6 августа) Антонио Эредитато и Фабрис Пикмаль сформулировали список вопросов к дирекции ЛЯП и руководителям эксперимента «Байкал», письменные ответы на которые предполагалось получить для обсуждения до следующего заседания ПКК по физике частиц (январь 2015 г.).

Наконец, на исторической 116-й сессии Ученого совета ОИЯИ 25 сентября 2014 г. директором ЛЯП был сделан доклад «О ходе исследований в области физики нейтрино и астрофизики в ОИЯИ». Со слов Сергея Николаевича Дмитриева, в то время уже много лет бывшего директором Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, это было одно из лучших моих выступлений по Нейтринной программе, поскольку я докладывал, как он сказал, как уже уверенный в себе директор (чуть-чуть свысока).

В результате всестороннего обсуждения члены Ученого совета высоко оценили организованную дирекциями ОИЯИ и ЛЯП совместную сессию двух консультативных комитетов для рассмотрения программы ОИЯИ по нейтринной физике, а также специальное заседание научно-консультативного комитета (SAC) по эксперименту «Байкал», где были приняты важные рекомендации и отмечено появление новых международных партнеров. Было отмечено, что эти мероприятия направлены на выполнение рекомендаций 115-й сессии Ученого совета относительно международной экспертизы и консолидации Нейтринной программы, а также на определение перспектив новой базовой установки ОИЯИ — нейтринного телескопа GVD на озере Байкал.

Ученый совет с удовлетворением отметил готовность команды ОИЯИ – ИЯИ РАН завершить развертывание первого («дубненского») кластера Байкальского телескопа в 2015 г. и ввести его в эксплуатацию, были также отмечены успехи, достигнутые в эксперименте DANSS на Калининской АЭС. Члены Ученого совета поддержали продолжение работы по оценке проекта «Байкал», включая вопросы научных целей эксперимента, его выполнимо-



Исторический Ученый совет 25 сентября 2014 г.

сти, стоимости, строительства, основных этапов, а также совместной работы и конкуренции с существующими и планируемыми международными проектами.

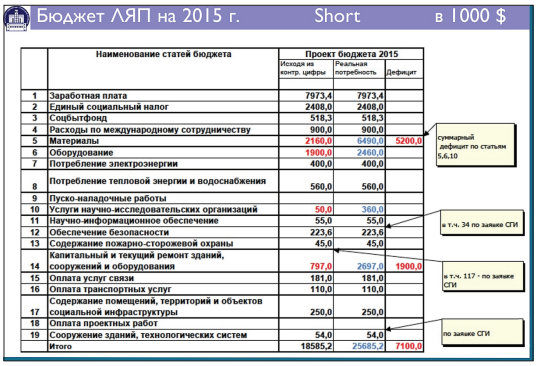
И главное: *Ученый совет рекомендовал дирекции ОИЯИ поддержать реализацию Нейтринной программы ОИЯИ в соответствии с потребностями в ресурсах, оцененными ЛЯП на последующие 3–5 лет*. Это решение Ученого совета было действительно историческим как для ЛЯП, так и для ОИЯИ в целом. Таким образом, через год после избрания нового директора ЛЯП было принято судьбоносное решение – рекомендовать дирекции ОИЯИ поддержать исполнение новой Нейтринной программы, главным образом проекта Baikal-GVD, финансово, в размере *5 миллионов долларов США ежегодно**.

◇

Следующий этап – получить эти деньги в реальности. Наши *новые* финансовые запросы на 2015 г. пришлось отстаивать на защите бюджета 6 октября 2014 г. Это традиционное мероприятие, где дирекция ОИЯИ выслушивает мнения директоров лабораторий и принимает решение о распределении доступных финансовых средств ОИЯИ между лабораториями на следующий год. В комиссии были В. А. Матвеев, М. Г. Иткис, Г. В. Трубников, Р. Ледницки, С. Н. Доценко, Н. В. Калинин и Л. В. Уварова. На моей памяти только один раз, именно в этот раз, на таком совещании была сделана презентация с детальным обоснованием всех ожидаемых статей расходов и представлением статуса работ в ЛЯП. Слайды из моего доклада с общим распределением денег по статьям, планируемыми в 2015 г. расходами по Байкальскому проекту, а также стратегическим планом капитальных ремонтов ЛЯП представлены на рис. 5. Видно, что наша оценка составляла 7,1 млн USD (рис. 5, вверху слева). В своем выступлении я старался показать членам комиссии и дирекции ОИЯИ, что дирекции ЛЯП можно доверять, мы способны максимально эффективно использовать выделенные нам финансовые ресурсы.

К счастью, нам с Дмитрием Вадимовичем Наумовым удалось убедить комиссию в своей правоте и обосновать наши запросы и возможности. Видимо, по этой причине на следую-

* В течение пяти лет для начала...



Бюджет ЛЯП на 2015 г. Short в 1000 $

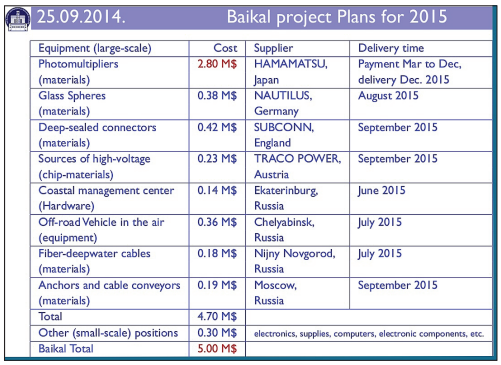
	Наименование статей бюджета	Проект бюджета 2015		
		Исходя из контр. цифры	Реальная потребность.	Дефицит
1	Заработная плата	7973,4	7973,4	
2	Единый социальный налог	2408,0	2408,0	
3	Соцбытфонд	518,3	518,3	
4	Расходы по международному сотрудничеству	900,0	900,0	
5	Материалы	2160,0	6490,0	5200,0
6	Оборудование	1900,0	2460,0	
7	Потребление электроэнергии	400,0	400,0	
8	Потребление тепловой энергии и водоснабжения	560,0	560,0	
9	Пуско-наладочные работы			
10	Услуги научно-исследовательских организаций	50,0	360,0	
11	Научно-информационное обеспечение	55,0	55,0	
12	Обеспечение безопасности	223,6	223,6	
13	Содержание пожарно-сторожевой охраны	45,0	45,0	
14	Капитальный и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования	797,0	2697,0	1900,0
15	Оплата услуг связи	181,0	181,0	
16	Оплата транспортных услуг	110,0	110,0	
17	Содержание помещений, территорий и объектов социальной инфраструктуры	250,0	250,0	
18	Оплата проектных работ			
19	Сооружение зданий, технологических систем	54,0	54,0	
	Итого	18585,2	25685,2	7100,0

суммарный дефицит по статьям 5,6,10

в т.ч. 34 по заявке СГИ

в т.ч. 117 - по заявке СГИ

по заявке СГИ



25.09.2014. Baikal project Plans for 2015

Equipment (large-scale)	Cost	Supplier	Delivery time
Photomultipliers (materials)	2.80 M$	HAMAMATSU, Japan	Payment Mar to Dec, delivery Dec. 2015
Glass Spheres (materials)	0.38 M$	NAUTILUS, Germany	August 2015
Deep-sealed connectors (materials)	0.42 M$	SUBCONN, England	September 2015
Sources of high-voltage (chip-materials)	0.23 M$	TRACO POWER, Austria	September 2015
Coastal management center (Hardware)	0.14 M$	Ekaterinburg, Russia	June 2015
Off-road Vehicle in the air (equipment)	0.36 M$	Chelyabinsk, Russia	July 2015
Fiber-deepwater cables (materials)	0.18 M$	Nijny Novgorod, Russia	July 2015
Anchors and cable conveyors (materials)	0.19 M$	Moscow, Russia	September 2015
Total	4.70 M$		
Other (small-scale) positions	0.30 M$	electronics, supplies, computers, electronic components, etc.	
Baikal Total	5.00 M$		

План капитального и текущего ремонта ЛЯП 2015–2019

Объект	Год	кв.м	Ремонт	Сумма (тыс. $)
Корпус 52 (РХЛ)	1962	4545	2015	2041
Корпус 36	1957	1200		539
				Итого: 2580
Корпус 4	1976	4007	2016	1800
Корпус 1 ЯСНАПП	1985	1400		629
				Итого: 2429
Корпус 108	1964	2873	2017	1290
пристройка к корпусу 108	1986	420		189
Корпус 75 (Хранилище рад. Отходов)	1966	360		162
Корпус 156 (бомбоубежище)	1983	846		380
Корпус 302 (Столярная мастерская)	1976	408		183
Сантехническая мастерская	1962	360		162
				Итого: 2366
Корпус 2	1956	5274	2018	Итого: 2370
ЦОЭП	1956	2624	2019	1179
Малярная мастерская	1973	242		109
Испытательный павильон	1958	352		158
Заготовительное отделение	1983	805		362
Корпус 40	1956	576		259
				Итого: 2067
ИТОГО		26293	5 лет	11812

Кто Мы в ЛЯПе за 1 год?

- Мы убедили всех в необходимости и перспективности нейтринной программы ОИЯИ.
- Мы концентрируемся на важнейших задачах. Некоторые закрываются. Проведены три коллоквиума по всей физической программе ЛЯП. Выделены главные направления и определена процедура переориентирования персонала.
- Создан новый НТС ЛЯП с **черными** рецензентами, на порядок повышено качество проектов, их обсуждения и рецензирования.
- Начата работа по модернизации лаборатории. Как в научном плане, так и в плане переоснащения оборудованием, приведением зданий и офисов в порядок (в соответствии с необходимыми нормами). Проведен первый конкурс на ремонт.
- Подготовлено положение о Postdoctoral research fellowship at JINR.
- Закончено переселение из 113-го корпуса (в 3-й корпус и 36-й). Начата подготовка по передаче 113-го в ЛРБ.
- Мы экономим средства. Типовые офисы, типовая удобная мебель. Цена фиксирована 15тр/мкв. Обширные помещения для совместной работы и общения молодежи.
- У нас энергичная и дружная команда. У нас не первом плане наше дело.

Нам можно доверять !

Рис. 5. Слайды из доклада на защите бюджета ЛЯП 6 октября 2014 г.

щий день директор ОИЯИ В. А. Матвеев лично позвонил мне и сказал, что в ЛЯП выделено *дополнительно* 5,2 млн USD на 2015 г. по статьям «Материалы» и «Оборудование». Вот это было уже *настоящее* начало. Процесс пошел. Хотя, справедливости ради, надо упомянуть, что наш запрос на обновление инфраструктуры (а фактически на ремонт ключевых зданий) ЛЯП (рис. 5, внизу слева) в размере 1,9 млн USD на 2015 г. не был удовлетворен.

Отметим, что в 2014 г. (и ранее) как в ЛЯП, так и на озере Байкал работы по проекту Baikal-GVD выполнялись на базе старой инфраструктуры. Упомянутые выше дополнительные ресурсы появились лишь в 2015 г., тем не менее уже в 2014 г. удалось собрать и ввести в эксплуатацию первую очередь первого кластера будущей установки Baikal-GVD, состоящую из 5 гирлянд длиной 345 м по 112 оптических модулей в каждой, а также ввести в эксплуатацию инструментальную гирлянду с оборудованием для калибровки детектора и мониторинга водной среды*. На основании долговременных испытаний созданной системы, которые были начаты в апреле 2013 г. и продолжались в 2014 г., был сделан вывод о возможности тиражирования аппаратуры в масштабах демонстрационного кластера. Результаты анализа данных показали, что как эффективность используемых калибровочных процедур, так и соответствие производительности всех составных частей детектора являются ожидаемыми.

Детальное рассмотрение «на новом этапе развития» проекта Baikal-GVD было 4 декабря 2014 г. на заседании НТС ЛЯП. Соответствующие документы (рис. 6) были подготовлены в РХЛ под руководством И. А. Белолаптикова и В. Б. Бруданина. На НТС работали «черные» рецензенты, теперь уже можно назвать их имена. Это были Л. Г. Ткачев, Ю. А. Будагов

* *Avrorin A. V. et al.* Data Acquisition System of the NT1000 Baikal Neutrino Telescope // Instrum. Exp. Tech. 2014. V. 57, no. 3. P. 262–273.

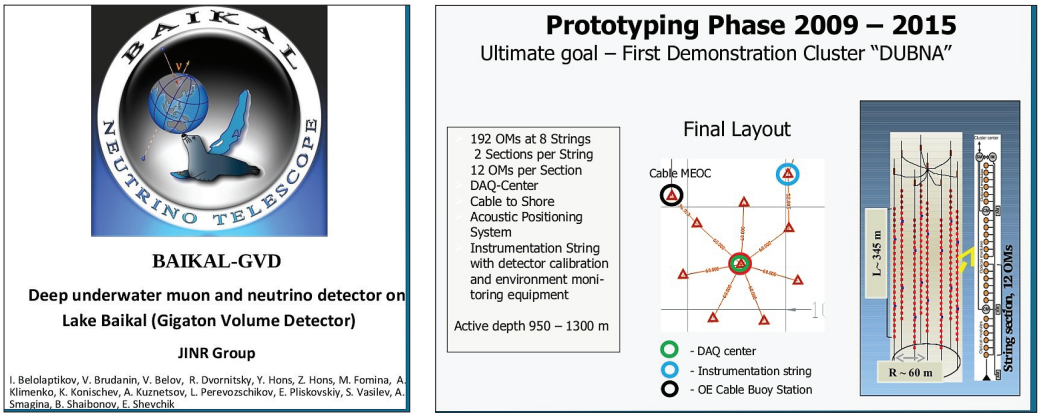


Рис. 6. Титульный лист проекта (слева) и главный слайд из доклада на ПКК (справа)

и В. А. Бедняков. Было достаточно жесткое обсуждение. Так, например, в историческом плане стоит упомянуть следующие слабые стороны проекта, указанные в рецензии Леонида Григорьевича Ткачева. Не было ясно, в чем состоит преимущество детектора Baikal-GVD по сравнению с создаваемым в Северном полушарии Земли детектором KM3NeT. Маловероятно, что полученные через 5–6 лет данные будут иметь научный интерес ввиду того, что на установке IceCube ежегодно прирастает более 10 нейтринных событий с энергией более 100 ТэВ. Еще больше ожидается таких событий с детектора KM3NeT, детектирующий объем которого будет превосходить объем IceCube. Также было отмечено отсутствие новых, более соответствующих современным задачам фотодетекторов, фактически тиражирование установки, разработанной много лет назад, на больший масштаб. В частности, не учитывается, что для нейтрино ПэВ-ных энергий Земля непрозрачная и они будут приходить в основном сверху и с горизонтальных направлений, что должно быть учтено в конструкции ФЭУ – регистраторов черенковских фотонов. Близость к берегу ухудшает оптические параметры воды как радиатора черенковского света: уменьшается длина поглощения и рассеяния черенковских фотонов. Было также указано, что на базе Antares образована новая коллаборация KM3NeT с целью создания детектора с чувствительным объемом 5–6 км^3. Этот конкурирующий с Baikal-GVD детектор уже имеет финансирование на уровне 30 млн евро, и его преимущество в том, что он будет расположен на большей глубине, в более чистой и прозрачной воде, что сделает его, возможно, более дешевым и более эффективным. Возможность работать 2 месяца по развертыванию детектора со льда – это преимущество, но невозможность проводить такие работы остальные 10 месяцев – это недостаток. Так тогда считал Л. Г. Ткачев. Справедливости ради, с высоты 2024 г. можно сказать, что средиземноморский проект-конкурент весьма далек от заявленных в 2014 г. целей.

2015

Тем не менее проект «Байкал» прошел процедуру пристрастного рецензирования на этом заседании НТС ЛЯП и был направлен на рассмотрение 41-й сессией Программно-консультативного комитета по ядерной физике 29–30 января 2015 г. под председательством профессора В. Грайнера. Члены этого ПКК заслушали доклад о ходе реализации проекта по созданию глубоководного нейтринного телескопа на озере Байкал (проект «Байкал»), с удовлетворением отметили лидирующую роль ОИЯИ в реализации этого проекта и рекомендовали его продолжение в 2016–2018 гг. Проект представлял Игорь Анатольевич Белолаптиков.

Помимо этого «предшествовавший» ПКК по физике частиц (26 января 2015 г.) обсудил письменные ответы авторов проекта «Байкал» и был удовлетворен предоставленной ин-

Слева: президиум ПКК по ядерной физике. В центре: выступление И. А. Белолаптикова. Справа: Игорь и Дима на ПКК по физике частиц

формацией*. Комитет призвал продолжить выполнение хорошо разработанного плана по консолидации нейтринных исследований в ОИЯИ.

На этом заседании ПКК был также заслушан отчет по теме «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика». В рамках этой темы исследования были посвящены изучению редких явлений слабого взаимодействия, таких как поиск безнейтринного двойного бета-распада, определению свойств и природы нейтрино, взаимодействию нейтрино с веществом, а также поиску темной материи. ПКК отметил высокое качество результатов, полученных во всех проектах, выполняемых в рамках этой темы, и рекомендовал продолжить выполнение темы и входящих в нее проектов SuperNEMO, GERDA, EDELWEISS, GEMMA и DANSS в 2016–2018 гг.

◇

В конце марта 2015 г. Григорий Владимирович Домогацкий прислал нам в ОИЯИ историческое сообщение: «Мы еще на берегу, но работа на льду закончилась. В период с 10 марта по 27 марта 2015 г. был осуществлен монтаж трех новых гирлянд и одна гирлянда доукомплектована недостававшими оптическими модулями. В настоящее время производится настройка параметров измерительных каналов новых гирлянд и оптимизация порогов регистрации установки в целом. Первый кластер детектора Baikal-GVD развернут в полном масштабе (192 ОМ)».

Итак, кластер «Дубна» был создан. Открыт путь к выполнению главной задачи — созданию полномасштабного нейтринного телескопа Baikal-GVD. В этой ситуации стали очевидны другие необходимые действия, такие как кардинальное улучшение условий проживания и работы наших людей на берегу озера Байкал, создание современной инфраструктуры в ОИЯИ для сборки, тестирования и хранения модулей установки. Кроме того, следует подготовить и подать документы в соответствии с международными правилами. Нужна организация международной коллаборации. Первыми надо привлекать институты стран-участниц ОИЯИ. Этот процесс уже «идет». Коллеги из Праги (Чехия) занимаются детекторами и проводят моделирование, наши друзья из Кошице и Братиславы (Словакия) также участвуют в сборке элементов установки и моделировании ее откликов. В результате поездки в Краков (см. ниже) достигнута договоренность с директором ИЯФ Мареком Ежабеком о создании польской группы и кластера «Краков».

Примерно в это же время члены SAC эксперимента Baikal-GVD Мишель Спиро и Элс де Вольф провели несколько дней (19–23 марта) на озере Байкал в месте установки нейтринного телескопа. Они были впечатлены не только красотой места, но и мотивацией команды на Байкале, добротой наших хозяев, теплотой атмосферы среди ученых, инженеров

* Эти ответы авторов проекта Baikal-GVD — в Приложении 4.

и техников и общей верой в успех. Они высоко оценили новые наработки, накопленные за последние более чем пятнадцать лет, и реальный опыт в области подводной нейтринной астрономии и детектора нейтрино. Визит был чрезвычайно интересным благодаря открытости хозяев и их готовности показать все на месте, как на льду, так и на береговой станции. Почетные «визитеры» проследили практически все этапы цепочки установки кластера. В предыдущих экспедициях уже было установлено 5 струн. В той экспедиции была запланирована установка еще трех, завершающих формирование кластера «Дубна», хотя все же с меньшим количеством секций на струну, чем предполагалось. Они смогли оценить, насколько удобно и перспективно развертывание детектора со льда. После установки

Команда, осуществившая установку в озере Байкал кластера «Дубна» – первого кластера Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD. 2015 г.

все расстояния между струнами и кластерами могут быть легко изменяемы. Они считали, что даже расстояние между оптическими модулями можно относительно легко сделать меньше, хотя для этого потребуется реконструкция струны. Эта гибкость, по их мнению, является уникальной особенностью по сравнению с другими нейтринными детекторами, и она позволит Байкальской обсерватории оптимально настроить свою геометрию под новые физические и астрофизические задачи. Было также отмечено, что совершенно необходимо развивать тесные контакты между Байкальской нейтринной обсерваторией и двумя другими обсерваториями – в Антарктиде и в Средиземном море. Написанный коллегами отчетный документ имел большую пользу для дальнейшего развития проекта Baikal-GVD в ОИЯИ*.

◇

После неоднократных настоятельных приглашений Мечислава Будзыньского и Марека Ежабека, выполняя при этом установку на расширение международного участия в проекте Baikal-GVD, мы с Д. В. Наумовым были с визитом в Кракове с 8 по 11 апреля 2015 г.

Из Москвы (Шереметьево, зона Е) вылетели в Варшаву польской авиакомпанией LOT в середине дня. Самолет болтало в полете, стюардессы и пилоты делали объявления только по-польски и по-английски. В Варшаве долго проверяли паспорта. Досматривали вещи при

* Полностью отчет М. Спиро и Э. де Вольф приведен в Приложении 5.

В Шереметьево

посадке в самолет в Краков, у Димы отобрали гель для бритья. Однако от Варшавы до Кракова долетели быстро. Сели строго по расписанию – в 23:40. Вышли из самолета тоже быстро, сразу на летное поле, а потом пошли к зданию аэровокзала за всем польским народом прямо на выход без какого-либо досмотра и проверки паспортов – внутренняя линия. Такси оказалось тут же рядом, и уже в 23:50 мы ехали на шикарном мерседесе в шикарный отель недалеко от краковского Института ядерной физики. Доехали за 20 минут и 70 злотых, встретили нас швейцар и девушка на ресепшен. Поселили рядом в номера 238 и 239. Принесли дежурный ночной бекон и сыр. Отлично мы его запили пивом и легли спать.

На следующий день, 9 апреля, с утра – мой первый доклад. Для прохода на территорию института нам выписали специальные пропуска прямо на проходной. Мною было сделано два, как минимум часовых, доклада по всей Нейтринной программе ОИЯИ с акцентом на байкальский эксперимент. Первый доклад был в Институте ядерной физики (IFJ), директором которого в то время был Марек Ежабек, а второй доклад (почти того же содержания) он меня попросил сделать на следующий день в краковском Университете науки и технологии при Польской академии наук.

Марек и я на докладе в IFJ

После первого доклада была небольшая дискуссия прямо в зале. Потом мы обедали вместе с краковскими коллегами, а вечером бюджетно ужинали вдвоем в ресторане отеля, ели что-то типа макарон по-флотски.

Перед ужином для нас с Димой была проведена экскурсия по медицинскому центру краковского IFJ. Позже, уже после обоих докладов, гуляли с Димой по Кракову, обедали на барже на воде, побывали в костеле и купили подарочный шоколад в фирменном магазине. На такси успешно добрались до нашего отеля. Вся эта замечательная командировка в Краков обошлась бюджету ЛЯП всего в 465 евро.

Обед с коллегами. Справа налево: Марек Ежабек, Adam May – научный директор IFJ, Петр Хомода, Henryk Wilczynski, Дима (слева). «Штатный» ужин (справа)

У медицинского томографа (слева). Марек и Дима в Польской академии наук (справа)

Прогулка по Кракову и обед на реке Висле

Висла, замок, шоколадный магазин

На следующий день, в субботу 11 апреля, собирались лететь домой. Я лично проснулся очень рано, где-то в 5:30 утра. Думал о неожиданно возникшей проблеме с ремонтом РХЛ. Действительно, в начале марта 2015 г. там начался капитальный ремонт. В ходе «разрушительных» работ в апреле возникло понимание того, что нужно делать не простой, а полноценный капитальный ремонт РХЛ, на котором настаивал В. Б. Бруданин – начальник отдела. Для этого, по правилам ОИЯИ, необходимо было провести новый тендер на исполнение нового фронта работ, а это требовало времени, в том числе и на подготовку соответствующих документов. Такая задержка грозила зимовкой сотрудников отдела в совершенно разрушенных для нового ремонта помещениях.

Пока летели в самолете и ехали в Дубну на машине, постоянно размышляли по поводу возникшей проблемы ремонта РХЛ, а главное – ее следствий. Было очевидно, что быстрый и качественный ремонт рабочих помещений – это на тот момент главное ключевое звено Нейтринной программы ОИЯИ. Подготовка помещений – начало всех начал. Ничего нельзя сделать под открытым небом. Идея тендера уже сработала – она выбила монополиста и открыла путь на наш рынок ремонта другим фирмам, тем, которые доказали свою эффективность. Цена одного квадратного метра отремонтированных помещений – критерий эффективности ремонта – у нас самая лучшая по сравнению со средней ценой по ОИЯИ и городу Дубне. Мы максимально эффективно использовали предоставленные нам бюджетные средства. Если не сделать вовремя начатый уже ремонт, то наш Байкальский проект встанет на самом взлете. Пропадет доверие людей. Они терпят стеснение и явные неудобства, веря в обещанное нами скорое завершение всех ремонтных работ. Очевидно, что качественный и своевременный ремонт здания РХЛ был крайне важен для дальнейшего обеспечения успешного развития как флагманского проекта Baikal-GVD, так и всей Нейтринной программы.

Поэтому сразу после возвращения пришлось нам с Виктором Борисовичем Бруданиным подготовить специальное письмо директору ОИЯИ с просьбой без формальной конкурсной процедуры (тендера) продолжить все ремонтные работы по корпусу РХЛ. Инициатором этого процесса был В. Б. Бруданин. Накануне он прислал мне, директору ЛЯП, свою докладную записку. В ней, в частности, говорилось: «Для успешного выполнения работ необходимо провести ремонт корпуса 52 (корпус РХЛ). Ремонт может провести фирма „МастерПром“. Предварительное обсуждение ремонтных работ проведено как с проектными организациями ОИЯИ, так и с фирмой-подрядчиком. Ремонтные работы необходимо провести до конца декабря 2015 г. В результате будут созданы специализированные лаборатории для развертывания работ по массовому производству и тестированию оптических модулей для проекта „Байкал“, для работ на Калининской атомной электростанции. Будут отремонтированы и вновь созданы офисные помещения для молодых сотрудников из России и стран-участниц ОИЯИ, принятых для проведения этих работ. Все это позволит достойно продемонстрировать ход работ по Нейтринной программе ОИЯИ в юбилейный год».

Для убеждения дирекции ОИЯИ была подготовлена специальная презентация, главная задача которой состояла в том, чтобы как можно скорее подготовить два зала в здании РХЛ для сборки и тестирования аппаратуры эксперимента Baikal-GVD. Только таким образом мы имели шанс успеть к первым поставкам «байкальских» ФЭУ, которые ожидались уже в июне 2015 г. Мы считали, что единственный вариант успеть в срок – это приступить к ремонту как можно скорее. Подготовка рабочих помещений для монтажа и сборки аппаратуры детектора «Байкал» – *важнейшая задача Нейтринной программы*, она в зоне постоянного контроля дирекции ЛЯП, которая считает жизненно необходимым срочно продолжить исключительный (бестендерный) порядок проведения ремонтных работ в РХЛ.

С таким настроем мы (Бедняков, Бруданин, Кульков и Наумов) пошли на прием к директору ОИЯИ 13 апреля. Представили это предложение, проговорили полтора часа. Был вызван для обсуждения вице-директор Г.В.Трубников. К счастью для всего Института, в тот день было получено положительное решение нашего вопроса.

Проверочно-промежуточный визит в РХЛ главного бухгалтера ОИЯИ С.Н.Доценко состоялся 19 мая. Андрей Андреевич Кульков потом вспоминал, что Сергей Николаевич, уви-

Визит главного бухгалтера ОИЯИ в «разобранную» РХЛ в мае 2015 г. Пояснения дает А.А.Кульков

Визит директора ОИЯИ в уже отремонтированную РХЛ в декабре 2015 г.

дев необходимый объем работ по РХЛ, понял, что был в свое время не прав, настаивая на необходимости проведения тендера.

В результате компания «МастерПром» успешно завершила ремонт РХЛ в декабре 2015 г. Директор ОИЯИ В.А.Матвеев лично принимал работу и был доволен правильностью принятого им решения. Действительно, все было сделано очень хорошо, и был дан ход широкомасштабным работам по подготовке и тестированию аппаратуры для Байкальского телескопа. Виктор Борисович Бруданин с легким сердцем и радостью встретил Новый 2016 год.

◇

В первой половине мая 2015 г. был выпущен первый совместный ОИЯИ–ИЯИ пресс-релиз под названием «Первый кластер глубоководного нейтринного телескопа кубокилометрового масштаба Baikal-GVD вступил в строй на озере Байкал». Он был передан в информационный отдел ОИЯИ на русском и на английском языках для размещения в новостной ленте ОИЯИ и публикации в газете «Дубна: наука, содружество, прогресс» (2015. 29 мая. № 23–24).

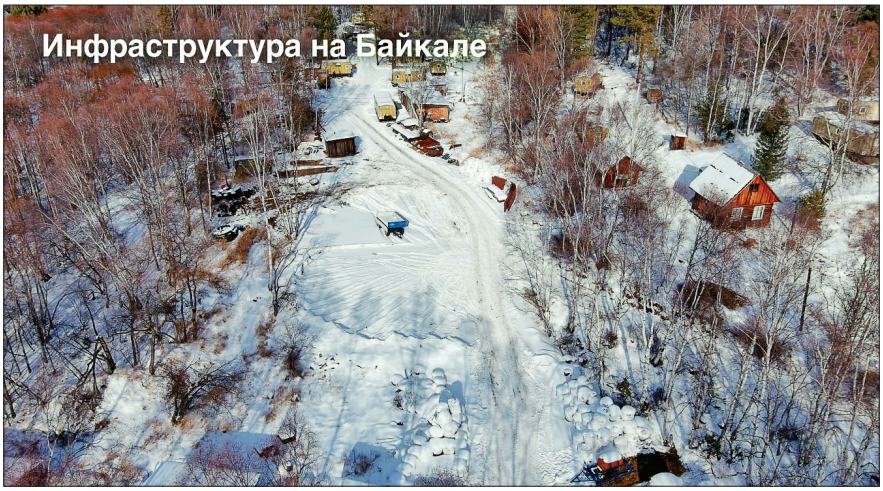
Этот пресс-релиз прошел несколько стадий «возмужания», от серии фотографий с подписями до серьезного текста, в написании и отладке которого принимали участие не толь-

Байкальский лед...

ко сотрудники ИЯИ и ОИЯИ, но и Кристиан Шпиринг, который внес значительный вклад в его совершенствование*. Было эмбарго – не публиковать его до 10:00 19 мая 2015 г.

Ровно в этот день и в этот час ГАЗЕТА.RU в рубрике «Наука» опубликовала интервью с Г.В. Домогацким, В.А. Матвеевым и В.А. Рубаковым под названием «Нас ждут великие научные открытия на озере Байкал! На дне озера Байкал заработал новый телескоп». Это интервью, практически повторявшее пресс-релиз, сопровождалось шикарными фотографиями байкальского льда.

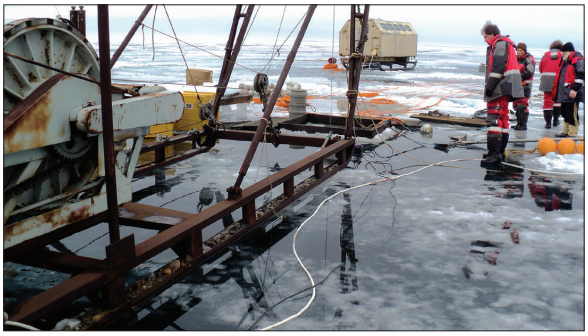
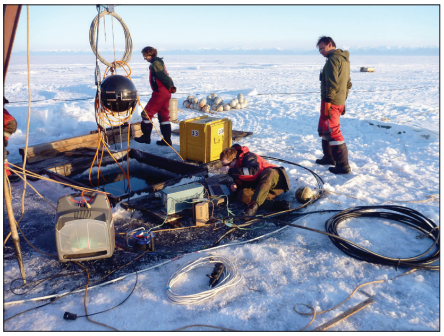
В пресс-релизе говорилось, что в первых числах апреля 2015 г. учеными ИЯИ РАН (Москва) и ОИЯИ (Дубна), а также ряда российских научных организаций, входящих в коллаборацию «Байкал», развернут и введен в эксплуатацию уникальный экспериментальный комплекс – глубоководный нейтринный телескоп мультимегатонного масштаба «Дубна» на озере Байкал. «Он является первым кластером создаваемого нейтринного телескопа кубокилометрового масштаба Baikal-GVD (Gigaton Volume Detector). Детектор предназначен для исследования природного потока нейтрино высоких энергий. Нейтрино, пройдя сквозь толщу Земли, может с некоторой вероятностью провзаимодействовать в воде озера Байкал и породить каскад заряженных частиц. Черенковский свет от заряженных частиц распространяется в воде озера и регистрируется оптическими модулями установки. Кластер „Дубна“ содержит в своем составе 192 оптических модуля, погруженных на глубины до 1300 м, и уже стал одним из трех наиболее крупных детекторов нейтрино в мире.



Вид сверху на байкальскую инфраструктуру...

* См. также: *Бедняков В.А., Домогацкий Г.В., Матвеев В.А., Рубаков В.А.* Первый кластер глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD вступил в строй // Новости ОИЯИ. 2015. № 2. С. 11.

Береговая инфраструктура проекта Baikal-GVD до 2015 г.

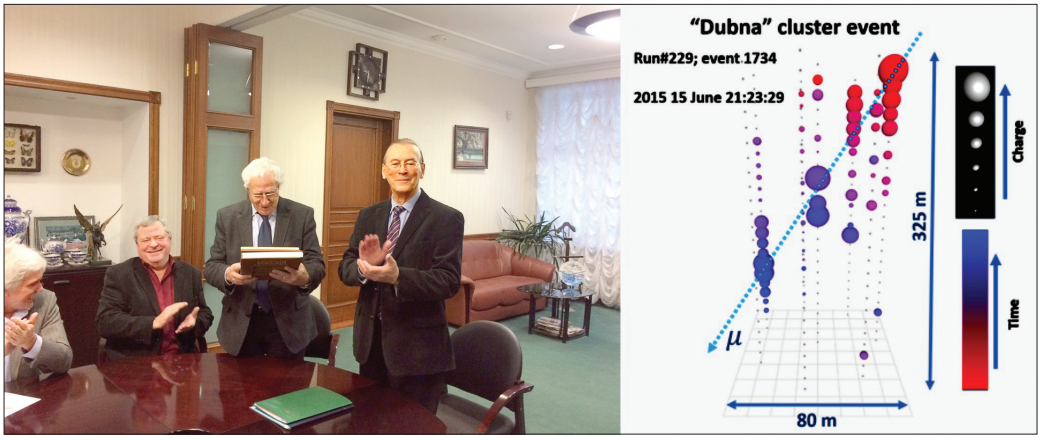



Рабочие моменты экспедиции 2015 г.

Здание и помещения РХЛ, где велись работы по «Байкалу» до 2015 г.

Следующим этапом развития проекта является последовательное увеличение объема телескопа за счет развертывания новых кластеров. К 2020 г. планируется создание установки, состоящей из 10–12 кластеров общим объемом порядка 0,5 км^3, сопоставимым с чувствительным объемом мирового лидера – телескопа эксперимента IceCube для регистрации нейтрино астрофизической природы. Регистрация нейтрино на Байкале позволит понять высокоэнергичные процессы, протекающие в далеких астрофизических источниках, установить происхождение космических частиц самых высоких когда-либо зарегистрированных энергий, открыть новые свойства элементарных частиц и узнать много нового об устройстве и эволюции Вселенной в целом».

Здесь стоит напомнить, что в течение первых двух лет с начала реализации новой Нейтринной программы ОИЯИ (2014 и 2015 гг.) все работы как в ЛЯП ОИЯИ, так и на озере Байкал велись *все еще* на основе старой инфраструктуры. И тем не менее первый кластер «Дубна» в 2015 г. был введен в эксплуатацию. Это уникальное событие было отмечено в престижном европейском журнале физиков «CERN Courier». Над текстом об этом истори-



Награждение В.А.Матвеева за ввод кластера «Дубна» руководством города Дубна

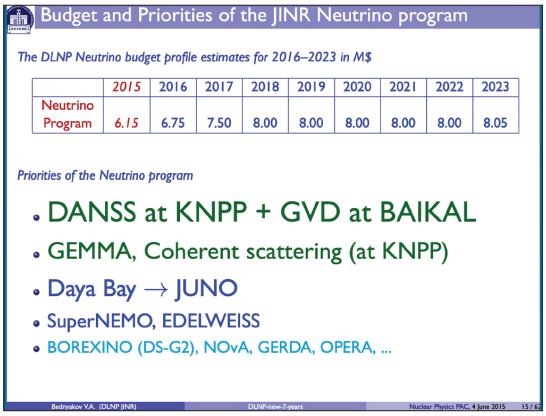
ческом событии работали Г.В.Домогацкий, К.Шпиринг, Ирина Кронштадтова и, со стороны редакции «ЦЕРН Курьера», Кристина Саттон. Их совместный труд занял достойное место на страницах центрального черновского издания в июле-августе 2015 г.

А в Дубне директору ОИЯИ В.А.Матвееву была вручена специальная памятная награда за ввод в эксплуатацию на Байкале кластера нейтринного телескопа с таким же именем, как наш город.

Все эти замечательные события ознаменовали собой начало полноценной работы нейтринного телескопа на озере Байкал. Хочется подчеркнуть здесь одну важную особенность – наш нейтринный телескоп начал набирать статистику, получать данные и, вообще говоря, начал получать на этой основе первые физические результаты. В дальнейшем пошло, грубо говоря, клонирование кластеров, при этом прибор как таковой постоянно работал. В этом состоит принципиальное отличие нейтринного телескопа (как, впрочем, и всех поддающихся «клонированию» установок) от таких детекторов, как MPD на коллайдере NICA, JUNO и т.п., которые сначала надо полностью собрать, отладить, ввести в эксплуатацию, убедиться в правильной их работе – и только после этого можно ожидать получения надежных данных и физических результатов.

◇

42-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике состоялась 4–5 июня 2015 г. под председательством французского профессора Фабриса Пикмаля. Помимо своих обычных дел члены ПКК заслушали предложения от лабораторий в Семилетний план развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. в области исследований по ядерной физике. В части, касающейся Нейтринной программы ОИЯИ, предложения были представлены директором ЛЯП В.А.Бедняковым (рис.7). ПКК отметил мировую значимость планируемых исследований, а также лидирующую роль



	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Neutrino Program	6.15	6.75	7.50	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.05

Рис. 7. Слайд из выступления директора ЛЯП о «нейтринных» приоритетах и ресурсах в новой семилетке на заседании ПКК по ядерной физике в июне 2015 г.

ОИЯИ в целом ряде экспериментов, имеющих высочайшую значимость для науки, таких как проект Baikal-GVD и эксперименты с реакторными антинейтрино на Калининской АЭС.

◇

В начале сентября мы с Д. В. Наумовым обсуждали вопрос об усилении международного статуса нашего проекта Baikal-GVD. Решили, что надо *правильно* провести в Дубне традиционное рабочее совещание Байкальской коллаборации в декабре. Надо пригласить всех более или менее заинтересованных лиц из Польши, Словакии, Чехии, Белоруссии, Болгарии и других стран. Надо также обязательно направить наши заявки-аппликации на гранты полномочных представителей правительств этих стран-участниц ОИЯИ.

В этом направлении в ноябре 2015 г. были предприняты специальные усилия по подготовке соответствующей заявки на грант полномочного представителя правительства Польши с нашим новым тогда коллегой (которого мы встретили во время визита в Краков к Мареку Ежабеку) – Петром Хомодой (на групповом фото на с. 33 он в центре), недавно защитившим кандидатскую диссертацию. Эта заявка касалась поиска магнитных монополей с помощью детекторов телескопа Baikal-GVD. Со стороны ЛЯП переписку с Петром Хомодой вел по моей просьбе Дмитрий Наумов, он достаточно быстро договорился с Петром, и они создали необходимый документ, получили все подписи, и я его успел вовремя направить в комиссию для включения в список претендентов на гранты в 2016 г. По предложению Дмитрия заявку мы подали на один год и, поскольку детали исследования были еще не очень ясны, не стали просить денег на оборудование. Более правильно было полностью посвятить 2016 год активному внедрению в проект и изучению техники нейтринных подводных экспериментов. Для этого нужны командировочные (на дорогу и проживание). В частности, мы просили дать нам ресурсы для принятия шести сотрудников из Польши, чтобы ввести их в курс дела в Дубне и на Байкале. На следующий, 2017 год мы снова подали заявку, но уже с заметной долей затрат на необходимое оборудование. К сожалению, довольно скоро Петр Хомода отошел от байкальской темы, хотя три его «подчиненных» вполне успешно уже взаимодействовали по конкретным практическим байкальским вопросам с нашими специалистами, например, с Евгением Плисковским. В 2017 г. П. Хомода был сильно увлечен своим новым проектом под названием Credo. Именно его он сильно везде рекламировал в ущерб работе по проекту Baikal-GVD. Из многословной переписки его и Д. В. Наумова создавалось впечатление, что Петр, умышленно или нет, подменяет Baikal-GVD на его, не хочу сказать бессмысленное, но точно бесперспективное Credo. Тем не менее вместо Петра Хомоды в Байкальском проекте стал работать от Польши новый лидер, К. Копаньски, специалист по электронике. Он занимался тогда лазерной калибровкой. С ним было 2–3 специалиста-компьютерщика (видимо, оставшиеся от Хомоды), которые писали соответствующие программы обработки этих данных. Для нас в ЛЯП было важно сохранить эту польскую команду, причем, в худшем случае, даже за счет ресурсов ЛЯП.

◇

Напомним, что 28 декабря 2015 г. был исторический визит директора ОИЯИ в полностью обновленное и благоустроенное здание РХЛ (см. фото на с. 36). В. А. Матвеев сказал тогда, что принятое в непростой ситуации решение оказалось правильным, в результате здание РХЛ полностью отремонтировано и, самое главное, в нем полным ходом идет работа по проекту Baikal-GVD.

2016 Именно благодаря этому важнейшему достижению по капитальному ремонту ключевых помещений здания РХЛ ЛЯП, успешно завершенному в самом конце 2015 г., в 2016 г. начался принципиально новый и важный этап в развитии как эксперимента Baikal-GVD, так и всей Нейтринной программы ОИЯИ.

На пути к новой инфраструктуре эксперимента Baikal-GVD

У нас появилась совершенно новая и современная инфраструктура для этих работ как в ОИЯИ, так и на берегу озера Байкал. Настоящим «драйвером» этого процесса был Виктор Борисович Бруданин. В 2016 г. уже был создан действительно первый полноценный кластер – настоящий прототип всех последующих. Так, 14 июля Кристиан Шпиринг прислал нам в ОИЯИ первый номер «GNN Monthly», который представлял собой письмо с информацией о четырех коллаборациях, включенных в Global Neutrino Network. Это Antares, Baikal-GVD, IceCube и KM3NeT. В нем впервые было официально сказано-признано на весь мир о том, что первый полноценный кластер «Дубна» нейтринного телескопа Baikal-GVD полностью введен в эксплуатацию.

Год 2016-й действительно был переломным. Было показано, что мы теперь вместе можем делать и делаем. По сравнению с предыдущими двадцатью годами медленного и плавного развития этого проекта на базе ИЯИ РАН (с участием сотрудников ОИЯИ и др.) за 2016 г. был осуществлен огромный (взрывоподобный) прогресс в этом направлении (рис. 8 и 9). Он показал нам широкие горизонты дальнейшего пути и вселил в наших сотрудников веру в то, что мы действительно можем сделать уникальный прибор кубокилометрового масштаба. На базе новой инфраструктуры ОИЯИ началось массовое производство комплектующих элементов детектора, их испытание и всестороннее тестирование, организовано хранение и подготовка оборудования для отправки на берег озера Байкал. Были поставлены задачи для

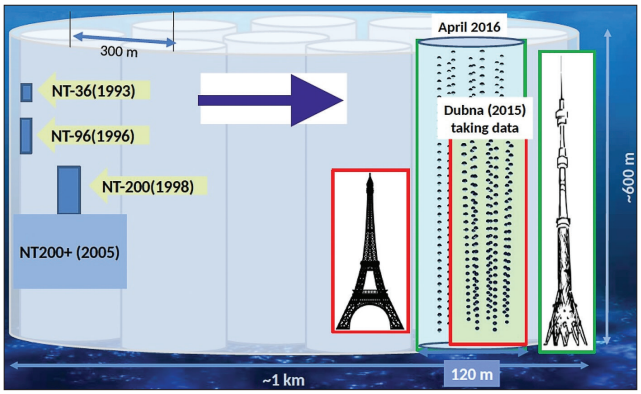


Рис. 8. Решающие успехи ЛЯП ОИЯИ по проекту Baikal-GVD в 2016 г.

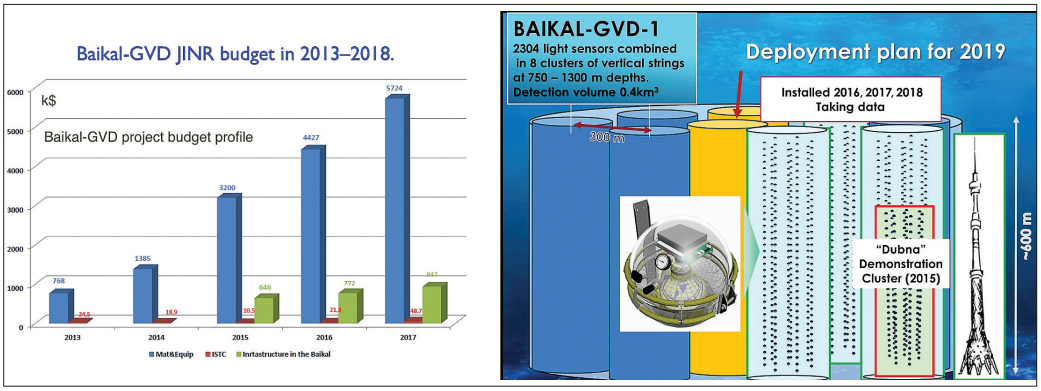


Рис. 9. Обоснование роста бюджета проекта Baikal-GVD до 2018 г.

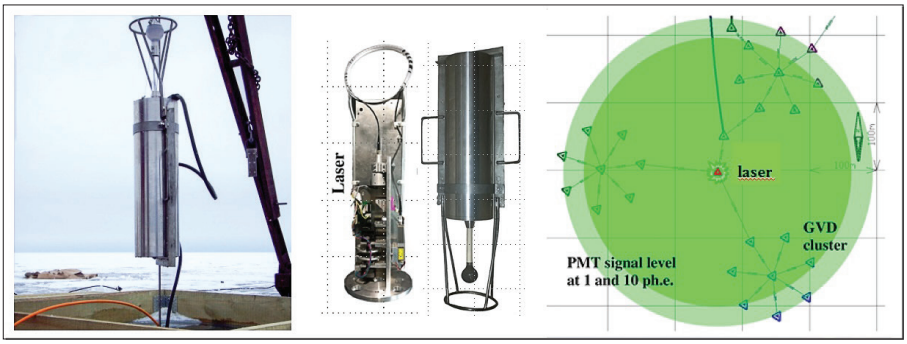


Рис. 10. Новая система калибровки телескопа с помощью глубоководных лазеров

первой фазы проекта Baikal-GVD. На другой уровень вышла система калибровки (рис. 10). И главное – стало ясно, что ожидаемое разрешение по каскадам и мюонам заметно превышает имевшееся у лидера этого направления – эксперимента в Антарктиде IceCube.

Иными словами, дирекции ОИЯИ и всем вокруг стало понятно, что мы в ЛЯП сможем выполнить эту амбициозную важнейшую задачу. В результате, эксперимент Baikal-GVD превращается в полноценный проект институтского уровня значимости. Это качественное изменение ситуации поизошло благодаря замечательным людям – участникам Байкальской коллаборации.

Участники рабочего совещания по проекту Baikal-GVD. Дубна, 2017 г.

Для иллюстрации приведу выдержку (по данным В. Б. Бруданина) по поводу актуальных «байкальских» дел на конец 2015 – начало 2016 г. В ноябре 2015 г. введен в эксплуатацию испытательный комплекс в Дубне. В декабре 2015 г. запущены линии по производству оптических модулей (ОМ) в Дубне. По январь 2016 г., параллельно, проводился анализ данных, исследование детектора и реконструкция событий. С февраля по апрель 2016 г. на озере Байкал во время экспедиции проведена модернизация первого кластера «Дубна» до стандартного (типового) кластера телескопа Baikal-GVD с 288 ОМ высотой около 600 м и диаметром 120 м. С апреля 2016 г. проводилась калибровка и анализ данных событий с полноценного кластера «Дубна». С апреля по июль 2016 г. создан и введен в эксплуатацию новый центр приема данных. В 2016 г. закуплено 1000 ФЭУ для подготовки ОМ и изготовлено около 300 ОМ для монтажа в 2017 г. с производительностью около 3–4 ОМ в сутки.

◇

2 апреля 2016 г. зам. директора ЛЯП Д. В. Наумов сделал на заседании Финансового комитета ОИЯИ, как отмечено в документах, интересный и содержательный доклад «Эксперимент „Байкал“». Действительно, этот доклад понравился многим членам комитета, и не только им.

◇

В середине лета 2016 г. я рекомендовал Евгению Владимировичу Храмову работавшему в эксперименте ATLAS, подумать о его возможном участии в проекте Baikal-GVD. С одной стороны, потому что он сам родом из Сибири, а с другой – я считал, что Женя может привнести передовую культуру сбора и обработки данных с БАК в эксперименты на Байкале.

Е. В. Храмов организует совещание по эксперименту ATLAS (слева) и выступает на ПКК (справа)

С моей точки зрения, культура этой работы в данном проекте сильно отставала от того, что делалось в передовых экспериментах по физике частиц на БАК. Е. В. Храмов сразу согласился со мной и действительно очень быстро стал полноправным участником коллаборации Baikal-GVD.

◇

В конце октября звонил мне (как директору ЛЯП) Г. В. Домогацкий по поводу задержки оплаты геля из Германии для комплектующих элементов Байкальского телескопа. Григорий Владимирович зря никогда не звонил. Для меня это был сюрприз, так как на основе имевшейся у меня информации из нашей бухгалтерии на прошедшей недавно «защите» бюджета ЛЯП на 2017 г. я сказал, что все счета по Байкальскому проекту проплачены. Оказалось, что нет. Выяснилось, что, действительно, много счетов было уже оформлено, но не все они были оплачены вовремя. Поскольку ни Игорь Белолаптиков, ни Виктор Бруданин на тот момент не были для меня доступны, то я сам ходил по этому поводу к главному бухгалтеру ОИЯИ С. Н. Доценко, чтобы «протолкнуть» самые необходимые счета по Байкалу (силиконовый компаунд на 1,7 млн руб., кабель – 739 тыс. руб. и магнитные экраны – 246 тыс. руб.), что и удалось сделать. При этом Сергей Николаевич был в курсе наших дел и поинтересовался тем, когда будет запущен следующий, второй, кластер Байкальского телескопа. Я ему обещал, что (с его помощью) это произойдет в 2017 г. И тем не менее на начало декабря 2016 г., со слов И. А. Белолаптикова, по Байкальскому проекту оказалось не проплачено счетов на общую сумму 20 млн руб.

◇

С 29 ноября по 2 декабря в ОИЯИ проходило традиционное рабочее совещание коллаборации «Байкал». О состоянии проекта создания глубоководного нейтринного телескопа кубокилометрового объема Baikal-GVD и планах на будущее рассказал газете «Дубна: наука, содружество, прогресс» (2016. 27 дек. № 51) руководитель проекта член-корреспондент РАН Г. В. Домогацкий.

Г. В. Домогацкий с коллегой на летнем совещании 2016 г. в Дубне

«Рабочие совещания коллаборации проходят дважды в год – в начале июня и начале декабря. Специфика зимнего совещания заключается в том, что проходит примерно полгода с того момента, как в апреле, в конце очередной зимней экспедиции, запускается либо модифицированный, либо совершенно новый комплекс измерительной аппаратуры на Байкале. В декабре подводятся итоги работы комплекса за полгода (как шел набор данных, что получилось, что нет). На основании этого делаются выводы, на чем нужно сосредоточиться в ближайшей экспедиции.

Задача совещания состоит в подготовке зимней экспедиции 2017 г., которая даже для нас, имеющих почти сорокалетний опыт работы, совершенно

особая, поскольку впервые мы надеемся поставить за одну экспедицию целый новый кластер в составе восьми гирлянд глубоководных регистрирующих модулей (288 ФЭУ). Более того, этот кластер должен работать совместно с уже функционирующим как единое целое.

Проект большого нейтринного телескопа Baikal-GVD был задуман как модульный. Он строится отдельными кластерами, и по мере нарастания их количества объединенная установка становится все более мощной. При этом каждый отдельный кластер – самостоятельный, автономный нейтринный телескоп. Первый кластер „Дубна“, запущенный зимой 2015 г., проработал год, и в экспедицию 2016 г. мы его несколько модернизировали – в полтора раза увеличили длину гирлянд, соответственно увеличили количество оптических модулей на каждой гирлянде и расстояние между гирляндами. По сравнению с кластером „Дубна“ действующий сейчас детектор обладает примерно в полтора раза более высокой чувствительностью. Он удовлетворительно работал с апреля 2016 г., постоянно идет набор экспериментальных данных, объем которых составил 180 суток набора данных. Сейчас мы анализируем данные 2015 г., т.е. анализ идет примерно со сдвигом на год.

Это нормально, запаздывание бывает до пяти лет. Например, на совещании Ольга Суворова (ИЯИ) представила очень неплохую работу по поиску темной материи на основе данных, полученных в районе 2000 г. Они лежали, по ним был решен ряд задач, но развитие науки выдвигает новые задачи, и на старые данные можно посмотреть под другим углом. Хорошие, качественные данные – это капитал, который позволяет в течение достаточно долгого времени вести анализ и получать новые физические результаты.

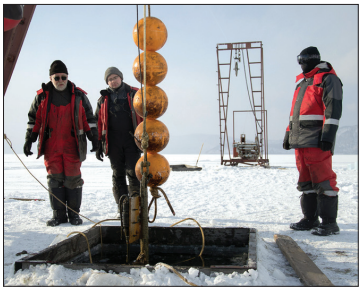
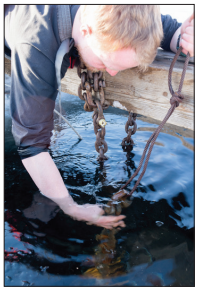
Естественно, хочется быстрее, потому что наступил особый период в этой науке, которая называется astroparticle physics. Период замечательный в том смысле, что результаты 2013 г., полученные на антарктическом детекторе IceCube, показали, что авторы впервые сумели из фона мюонов и нейтрино, которые попадают на Землю из атмосферы, где они рождаются под действием космических лучей, т.е. из этого шума, выделить истинные события от нейтрино, родившихся вне атмосферы Земли. ⟨...⟩ Это означает, что родилась, без преувеличения, совершенно новая область науки, новая астрономия – нейтринная астрономия, помимо традиционной электромагнитной астрономии».

Далее он говорил, что наступил период чрезвычайно симпатичный, поскольку чувствительность уже действующих на Байкале установок позволяет увидеть первые события от «внеатмосферных» нейтрино. «Создаваемый детектор вполне может стать базовым элементом или одним из краеугольных камней этой самой нейтринной астрономии. Очень существенно, что он создается в Северном полушарии. Американцы проект IceCube реализовали в Южном полушарии, у них там свои проблемы. Тем не менее, если всерьез изучать все небо, нужно иметь телескопы в обоих полушариях».

Далее Г.В.Домогацкий сказал, что если в финансовом плане в ближайшие месяцы ничего не случится, то будет подготовлено оборудование для установки зимой сразу целого нового кластера. Первый собирался чуть ли не три года – по гирлянде, а чтобы за год сразу поставить кластер – такого еще не было. «Очень много в этом отношении сделано в ЛЯП ОИЯИ, где создан и налажен настоящий цех по производству оптических модулей* – основного структурного элемента телескопа. ⟨...⟩

В новом детекторе таких оптических модулей планируется 288. Их надо суметь поставить, испытать за время хорошего льда на Байкале, а оптоволоконный и медный кабели уже проложены по дну озера к нужной точке. Если получится, то в апреле 2017 г. будем

* Стеклянные сферы, выдерживающие большое давление воды, в которые помещены высокочувствительные фотоэлектронные умножители. Эти сферы составляют основную наблюдательную ячейку кластера, они просматривают определенный объем воды с точки зрения поиска событий от нейтрино – в условиях полной темноты, на глубине порядка одного километра идет поиск вспышек черенковского света.

иметь два самостоятельных кластера, способных выделять сигналы как единое целое, – детектор Baikal-GVD варианта 2017 г.».

«Тем не менее надо снять шляпу перед IceCube, – считал Г.В.Домогацкий. – В свое время они провозгласили создание кубокилометрового детектора. Серьезной логики в этом никакой не было, никто не понимал, в какой области энергий, при каком уровне чувствительности установки можно будет увидеть нейтрино, пришедшие из космоса. Участники коллаборации IceCube показали, что половина кубического километра – это тот рабочий объем, с использованием которого уже можно выделить космические нейтрино. Если в 2017 г. нам удастся поставить один кластер, а в 2018 г. – два, то есть основания полагать, что к 2020 г. детектор с чувствительным объемом около 0,5 кубического километра может быть создан. Другими словами, в рамках разумного прогнозирования мы вполне способны к 2020 г. иметь установку на Байкале примерно такого масштаба, как IceCube в 2016 г.

Другое дело, что у этой коллаборации тоже есть амбициозные планы увеличить мощность установки чуть ли не в десять раз до 2025 г. На создание первой очереди проекта в свое время Конгресс США выделил 300 млн долларов, но строительство вместе с проектированием заняло почти девять лет. Понятно, что такие вещи быстро не делаются, и к объявленной дате – 2025 год – надо тоже подходить с осторожностью».

О команде проекта: «Хотя какие-то изменения происходят постоянно, основной состав байкальской команды практически не меняется. Два года назад органично и быстро влились специалисты из Чехии и Словакии. Работать с ними – одно удовольствие, народ попался качественный. В зимнюю экспедицию готовы ехать. От Словакии руководитель Федор Шимковиц – сотрудник ОИЯИ. От Чехии – Иван Штекл, также прошедший школу ОИЯИ. В этом году появились на совещании поляки. Один из них собирается участвовать в зимней экспедиции, конечно не в полном объеме, посмотрим, как справится. Чешские и словацкие специалисты прошли этот тест в прошлой экспедиции и в этом году будут уже участвовать по полной программе».

Об отборе в состав зимней экспедиции: «Надо быть здоровым и дисциплинированным, уметь терпеть холод и грузить тонны оборудования. Вот в Антарктиду очень жесткий медицинский отбор проводится, хотя условия жизни там принципиально лучше – прямо на Южном полюсе комфортабельные хорошо отапливаемые здания построены. На Байкале в этом смысле значительно скромнее. Что касается температуры, то, конечно, в Антарктиде

И. Штекл и Ф. Шимковиц в кабинете директора ЛЯП

бывает очень холодно, но главная неприятность – полярная ночь. Поэтому все монтажные работы на IceCube ведутся полярным летом – с конца ноября до конца февраля. Лишь дежурные операторы живут там по полгода и больше. В экспедициях на Байкале с нами работали немцы, но они долго не жили, недели по две-три – не больше, еще меньше работали итальянцы, французы.

В ОИЯИ большинство сотрудников байкальской группы – бывшие сибиряки. Они приехали в Москву учиться, были у нас дипломниками, аспирантами, а потом осели в Дубне. Помню, Деже Киш (директор ОИЯИ того времени) первым зачислил на работу Игоря Белолаптикова. Я привез Игоря в Дубну, он сделал доклад. Д. Д. Киш послушал, посмотрел и сказал: „Давайте заявление, тут же подпишу“... Так что климатические условия для них привычные».

О свежем взгляде: «Иногда интересно и очень полезно бывает, когда приходит кто-то и на свежий взгляд начинает задавать не всегда наивные вопросы. На этом совещании честно два дня сидел зам. директора ЛЯП Дмитрий Наумов, слушал, задавал вопросы – это полезно».

«Во времена СССР, – продолжал рассказ Г. В. Домогацкий, – почти весь геофизический кабель производили в Узбекистане. В настоящее время в Пскове вырос замечательный завод „Псковгеофизкабель“, который обеспечивает кабелем нефтеразработки в стране, геофизиков, всех на свете. Этот кабель, связывающий установку с береговым центром управления, необходимо в определенные сроки укладывать на дно Байкала. Звонишь директору, говоришь, что к началу зимы нужен кабель, но денег нет. Он отвечает: „Сделаем, не беспокойтесь, когда сможете – тогда заплатите“. Поскольку Байкальский проект идет с 1980-х, за это время сложился определенный круг партнеров, которые считают, что науке надо помогать. Так, в Пскове уже изготовили кабель для третьего кластера, и нам не следует отставать. ⟨...⟩ В соответствии с планом зимой 2017 г. необходимо установить полномасштабный кластер и провести подготовительные работы к постановке в 2018-м одновременно двух кластеров. Уверенности, что получится поставить за одну зиму сразу два кластера, пока нет. Чтобы получилось, нужно, чтобы с погодой повезло, поскольку ледовый период не такой уж длинный – всего полтора месяца. А для того, чтобы выполнить план 2018 г., предстоит решить ряд технических и организационных задач. К 2020 г. коллаборация намерена поставить от 8 до 10 кластеров».

О составе коллаборации: «Моисей Александрович Марков, закладывавший основы всей этой байкальской эпопеи, всегда подчеркивал необходимость участия в ней на коллаборационных началах организаций разных научных направлений, людей с разными научными интересами. В начале 1990-х гг., в период создания первого нейтринного телескопа НТ-200, ведущую роль играли ИЯИ РАН, DESY-Zeuthen и ИГУ, на данном этапе реализации проекта создания большого детектора определяющий вклад вносят ИЯИ РАН и ОИЯИ, хотя вклады Московского, Ленинградского, Иркутского, Нижегородского университетов, бесспорно, очень важны, и есть части проекта, которые являются целиком их зоной ответственности. В коллаборацию также входят немецкая компания Evologic, чешские Институт ядерной физики (Ржеж) и Институт экспериментальной и прикладной физики Пражского университета, Братиславский университет (Словакия), возможно, присоединятся поляки».

Это интервью руководителя коллаборации Г.В.Домогацкого лишний раз подтверждает высказанное мною на Ученом совете ОИЯИ в 2018 г. утверждение о том, что 2016 г. для Байкальского проекта как в ОИЯИ, так и в целом был исключительно решающим, ключевым годом (рис. 8). Удалось сделать полноценный кластер (288 ФЭУ), создать инфраструктуру в ОИЯИ, что обеспечило дальнейший прогресс и успех проекта, а главное, позволило дирекции ОИЯИ выделить нам дополнительные ресурсы, которые мы крайне успешно использовали.

◇

В конце 2016 г. в формировавшуюся тогда новую семилетнюю программу развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. мы предложили включить информацию о том, что нейтринный телескоп гигатонного объема (Baikal-GVD) на озере Байкал представляет собой результат ис-

BAIKAL-GVD Project Financing Schedule for 2017–2023 (in M$):

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
PMTs Hamamatsu R7081-100	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Glass pressure holdings with connectors	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Electronics and computing	1.1	1.25	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Underwater connection cables	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Infrastructure and transport (shore computer center, labs, living buildings, vehicles for winter works)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Total:	**5.50**	**5.75**	**6.00**	**6.00**	**6.00**	**6.00**	**6.00**

Planned schedule for production and the detector development

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Clusters to install per year	**1**	**2**	**2**	**2**	**2**	**3**	**3**
Clusters in the detector	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**13**	**16**
Optical Modules production per year	**600**	**600**	**600**	**600**	**900**	**900**	**900**

Рис. 11. Предложение В.Б.Бруданина в Семилетний план развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. по проекту Baikal-GVD

следовательских разработок и натурных испытаний, выполненных коллаборацией «Байкал» на первой фазе этого проекта в течение прошедших нескольких лет. За это время были изучены оптические свойства воды на глубине озера Байкал и была продемонстрирована принципиальная возможность детектирования космических нейтрино высоких энергий с помощью прототипа детектора HT200/HT200+. Эти достижения позволили доказать правильность концепции создания новой установки Baikal-GVD, которая, в свою очередь, будет обладать уникальными детектирующими характеристиками и иметь эффективный рабочий объем кубокилометрового масштаба (рис. 11).

Предполагалось, что на второй фазе своего развития нейтринный телескоп Baikal-GVD будет представлять собой новую исследовательскую инфраструктуру, нацеленную в первую очередь на исследование потоков нейтрино астрофизического происхождения. Детектор будет использовать воду озера Байкал в качестве детектирующей субстанции, в которую помещены оптические сенсоры, регистрирующие черенковское излучение от вторичных частиц, возникающих в результате взаимодействий нейтрино сверхвысоких энергий внутри рабочего объема детектора или в непосредственной близости от него. Концепция установки Baikal-GVD базируется на нескольких достаточно очевидных требованиях к дизайну и архитектуре системы сбора информации с распределенного массива детектирующих кластеров. Это максимальное использование преимуществ развертывания данного массива на ледяном покрове озера, возможность масштабирования установки и обеспечение ее эффективной работы даже на самом первом этапе (с малым числом кластеров), а также возможность различных вариантов расположения светорегистрирующих сенсоров в пределах одной измерительной системы.

Аналогичный текст в семилетнюю программу развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. был подготовлен и по остальным проектам Нейтринной программы ОИЯИ.

2017

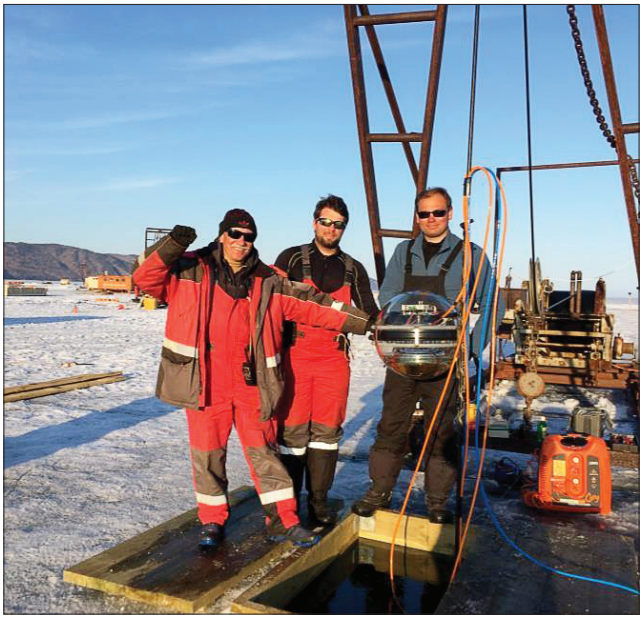
Участники 45-й сессии Программно-консультативного комитета по ядерной физике, проходившей 25–26 января 2017 г., с интересом заслушали доклад «Нейтринная программа ОИЯИ. Байкальский нейтринный эксперимент: на пути к нейтринной астрономии высоких энергий», представленный Б. А. Шайбоновым. Было в очередной раз показано, что Baikal-GVD – это глубоководный нейтринный телескоп кубокилометрового масштаба на озере Байкал. Детектор будет состоять из мультимегатонных субдетекторов – кластеров гирлянд. Первый полномасштабный кластер был установлен, и с апреля 2016 г. ведется набор данных. ПКК поддержал усилия дирекции ОИЯИ по включению эксперимента Baikal-GVD в дорожную карту ESFRI и рекомендовал наладить тесное сотрудничество с экспериментом KM3NeT (строящийся в Средиземном море нейтринный телескоп).

◇

В начале марта стало ясно, что бюджетные ресурсы ЛЯП доступны только на 40 %. Денег в ОИЯИ нет, так называемая «перекраска» их с одной статьи расходов (с одной темы) на другую статью (тему) также практически невозможна. Интенсивно проводились переговоры между С. Н. Доценко и В. Б. Бруданиным, между Г. А. Усовой и Л. В. Уваровой на предмет того, что делать в этих условиях для обеспечения заявленного (на весь мир) хода работ по Байкальскому проекту. Единственное, что дирекция ОИЯИ обещала сделать в апреле, – увеличить зарплаты сотрудников на 6 инфляционных процентов.

◇

В апреле в международном журнале GNN Monthly было написано, что нейтринный телескоп Baikal-GVD развернул второй кластер. Месяцем раньше GNN Monthly сообщил о начале зимней экспедиции 2017 г., стартовавшей 18 февраля, когда первая группа техни-



Жан Джилкибаев (слева) с коллегами

ков и физиков достигла площадки и приступила к развертыванию оборудования на льду. «Основная цель экспедиции была достигнута – произведена замена устаревших модулей электроники в трех из 24 секций первого кластера (5–20 марта), и выполнено полноценное развертывание второго кластера. На снимке трое российских сотрудников с самым последним оптическим модулем второго кластера непосредственно перед опусканием полной струны 31 марта».

Экспедиция 2017 г. завершена

Sunset at Lake Baikal. Sunset at South Pole. From GNN Monthly

«За прошедший месяц, – говорилось в сообщении, – монтажные бригады набрали высокую скорость выполнения работ, так, например, последние три гирлянды были установлены за 4 дня каждая. Обычно в начале апреля лед становится все мягче и мягче и тяжелое оборудование возвращается на берег. После этого лишь несколько человек остаются на береговой станции для пусконаладочных и калибровочных работ».

Лирическим отступлением этого сообщения GNN Monthly служат фото, где показаны закаты на байкальском льду и на Южном полюсе. Где холоднее – на Байкале или на Южном полюсе, трудно сказать, как и о том, какой закат красивее.

◇

27–28 марта 2017 г. в Доме международных совещаний проходила очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ. Помимо многих важных дел, во время этой сессии у меня был разговор со Станиславом Кулганеком – ответственным от Чехии за их ресурсы в ОИЯИ. Станислав, впечатленный успехами ввода в эксплуатацию полноценного кластера «Дубна» Байкальского нейтринного телескопа и заметным вкладом в это дело сотрудников Чехии, можно сказать, уговаривал

С. Кулганек (слева). Слайд из доклада Д. В. Наумова на Ученом совете ОИЯИ в 2019 г. (справа)

меня назвать следующий кластер этого телескопа именем «Прага». Как сам Станислав, так и, с его слов, мэр Праги очень сильно этого хотели бы. Более того, Станислав считал, что за такое престижное название сам мэр мог бы найти дополнительные ресурсы для всего проекта Baikal-GVD. Формально в то время ни я, ни кто-то другой в ОИЯИ и ИЯИ не был против такой возможности, однако на деле она так и не реализовалась*.

◇

11 июля в основном усилиями Н. А. Русаковича (главного ученого секретаря ОИЯИ) были предприняты попытки включить наш Байкальский нейтринный телескоп (получивший новый импульс своего развития) в обновляемую в 2018 г. дорожную карту (Roadmap 2018 update) европейских научных инфраструктур ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures). За два года до этого такая попытка с дубненским проектом NICA увенчалась успехом (рис. 12).

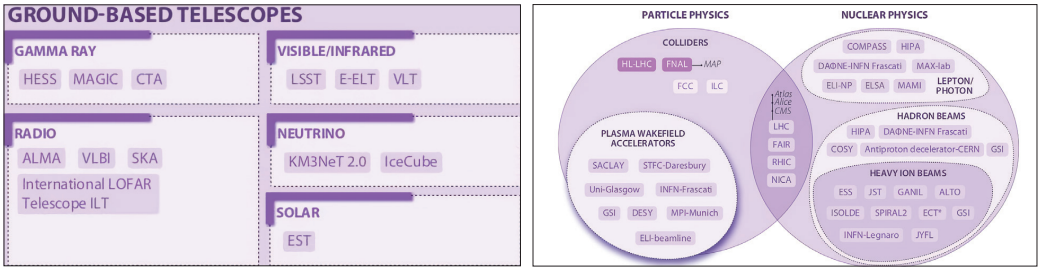


Рис. 12. Главные исследовательские инфраструктуры в области наземных телескопов (слева) и физики частиц и ядра (справа). Данные ESFRI-2016

К. Шпиринг (в центре) со своим коллегой и директором ЛЯП в кабинете Б. М. Понтекорво

* Справедливости ради надо сказать, что Г. В. Домогацкому не сильно нравится идея присваивать кластерам имена городов.

В связи с этим Г. В. Домогацкий специально приезжал в Дубну на встречу с Н. А. Русаковичем, чтобы понять, какие документы по Байкальскому проекту нужны, в какой срок их надо подавать и что мы хотим от попадания Baikal-GVD в обновленную дорожную карту ESFRI на 2018 г. Кристиан Шпиринг готов был помочь нам с организацией включения Байкальского нейтринного телескопа в новую редакцию этой дорожной карты.

По этому поводу нашему польскому коллеге Мечиславу Будзыньскому Николаем Русаковичем было послано обращение директора ОИЯИ, отправленное также в адрес полномочных представителей правительств Польши, Болгарии, Румынии, Чехии и Словакии.

Попадание в данный список лидирующих инфраструктурных проектов Европы представлялось нам в ОИЯИ важным с точки зрения информирования европейской и мировой научной общественности о новых возможностях и перспективах возрожденного силами ОИЯИ и ИЯИ РАН Байкальского нейтринного телескопа кубокилометрового масштаба.

По правилам ESFRI новый проект должен быть подан в онлайн-режиме через сайт ESFRI, причем только представители стран Евросоюза в ESFRI имеют туда доступ и могут это сделать (в срок до 31 августа 2017 г.). При этом одна из стран ЕС должна выступить главной, именно она должна представить проект, а еще (как минимум) две страны ЕС должны этот проект поддержать.

Постер ESFRI-2018

Было важно понять, сможет ли Польша, с представителями которой по Нейтринной программе ОИЯИ были очень хорошие отношения, выступить в качестве «лидирующей» страны, которая предложила бы Baikal-GVD для следующей редакции ESFRI Roadmap. От Польши делегатами в ESFRI являлись тогда Agnieszka Zalewska и Dariusz Drewniak из Министерства науки. Вопрос стоял так: можно ли рассчитывать на то, что кто-то из них выступит в этой роли? При этом все необходимые материалы ОИЯИ был готов предоставить в необходимые сроки. Мечислав Будзыньски предпринял все зависящие от него усилия, тем не менее ему не удалось убедить вышеупомянутых польских делегатов, и примерно через месяц, 9 августа 2017 г., Н. А. Русакович, резюмируя ситуацию о внесении проекта Baikal-GVD в актуализацию дорожной карты ESFRI-2018, сообщил, что Польша согласилась поддержать проект соответствующим письмом, но не будет выступать в качестве страны, которая представит проект в ESFRI. Далее, Болгария (Л. Костов), Чехия (И. Вильгельм), Румыния (Ф. Бузату) и Словакия (С. Дубничка) выразили готовность предоставить письма поддержки от своих министерств. И, наконец, чтобы прояснить вопрос о содержании и количестве писем

Ф. Бузату (слева) на Ученом совете в Дубне

Н. А. Русакович

поддержки, Николай провел переговоры с Джорджио Росси и Хосе Луисом Мартинесом, председателем Стратегической рабочей группы ESFRI по физике и технике. По существу, к этому времени единственным кандидатом на страну ЕС, способную сделать нужное ОИЯИ выдвижение, осталась Румыния и ее полномочный представитель Флорин Бузату. К сожалению, он тоже получил вежливый отказ из своего министерства, с аргументом, что румынские сотрудники напрямую пока не участвуют в этом проекте. Хотя справедливости ради надо напомнить, что в январе 2017 г. в ОИЯИ Флорином Бузату было направлено ходатайство о принятии на работу в ЛЯП сроком на три года Иоаны-Александры Каракаш. Предполагалось, что она будет работать по проекту «Байкал» и заниматься разработкой программ и алгоритмов для численного моделирования потока нейтрино высокой энергии в объеме детектора, описанием взаимодействий по треку одиночных нейтрино и отклика детектора на этот поток. Был получен положительный отзыв, и И.-А. Каракаш довольно быстро приступила к работе в этом проекте. Значительную помощь ей оказал Георг Адам. К сожалению, И.-А. Каракаш проработала в ЛЯП в должности младшего научного сотрудника лишь до 7 сентября 2018 г.

Сухой остаток от предпринятых усилий оказался таким, что ни одна из пяти европейских стран-участниц ОИЯИ по разным причинам (участие в других, более важных для них нейтринных проектах, отсутствие необходимых ответственных лиц, дефицит времени, отсутствие реального участия в проекте и т. п.) не смогла выполнить миссию по выдвижению Baikal-GVD в Roadmap 2018 update. Тогда, в конце лета 2017 г., нам оставалось надеяться, что в следующей редакции Roadmap update в 2020 г. все будет сделано заранее и увенчается успехом.

В продолжение этих усилий уже через полтора года, 20 мая 2019 г., была моя встреча как директора ЛЯП с В. А. Матвеевым и Н. А. Русаковичем по поводу включения нашего Байкальского проекта в европейскую стратегию развития на базе APPEC.

Более того, 4 июля 2019 г. со стороны Польши в лице Мечислава Будзыньского и Марека Ежабека была предпринята попытка вернуться к этому вопросу. Поскольку в середине июля 2019 г. ОИЯИ должна была посетить делегация МИД и Миннауки Польши, Мечислав считал важным и уместным в обсуждениях поднять (снова) вопрос о представлении Польшей проекта Baikal-GVD для внесения в следующую (2020) редакцию дорожной карты ESFRI. Два года назад поляки не согласились быть «лидерами» при представлении проекта в

ESFRI, хотя были готовы выступить в поддержку. За два прошедших года ситуация изменилась существенно. Прежде всего, Байкальский телескоп включал в себя уже пять кластеров, а не два. Кроме того, к проекту подключилась группа из ИЯФ Польской АН (Краков), где директор Марек Ежабек*. В связи с этим Н. А. Русакович предложил директору ОИЯИ включить в повестку дня встречи с польской делегацией вопрос о проекте Baikal-GVD как о важном элементе интеграции (еще одной) крупной установки ОИЯИ в научную инфраструктуру Европы. При согласии Польши на роль государства-лидера в этом деле все формальности можно было бы спокойно и качественно выполнить.

Марек и Мечислав поздравляют вице-директора ОИЯИ М. Г. Иткиса с 75-летием. Варшава, декабрь 2017 г.

Почти параллельно, 19 мая 2019 г. Уве Мейер (советник при дирекции ОИЯИ) прислал письмо В. А. Матвееву, в котором сообщал, что очередное заседание Рабочей группы ESFRI PSE SWG (Physical Science and Engineering Strategic Working Group) состоится 28 мая 2019 г. в Брюсселе. После этой встречи он ожидал получить окончательную и подробную информацию о процедурах подачи заявок на проекты ESFRI Roadmap и Landscape Analysis 2021 и обещал проинформировать ОИЯИ о том, как обеспечить включение проекта Baikal-GVD в ESFRI. В любом случае, решительная поддержка со стороны Польши и других стран-членов ОИЯИ и ЕС станет важной в процессе подачи заявки. На это письмо В. А. Матвеев отреагировал, поставив нас в известность и выразив готовность выполнить необходимые действия для направления нашего проекта в новый вариант ESFRI Roadmap 2021. Однако исторические события 2020–2022 гг. сняли вообще этот вопрос с повестки дня.

◇

Весной 2020 г. руководство APPEC обратилось к своим членам с предложением о поддержке проекта под названием APOGEIA, который представлял собой новую заявку междисциплинарного характера от сообщества астрофизиков и представителей наук о Земле. Считалось, что у этого предложения были хорошие перспективы. Виктор Анатольевич Матвеев сразу отреагировал на эту тему, и возникло обсуждение вопроса об использовании глубоководного оптического кабеля для мониторирования сейсмических сигналов придонных слоев. В. А. Матвеев тогда считал полезным вернуться к пограничным с астрофизикой проблемам использования данных нейтринных телескопов для изучения геофизики Земли, проблем лимнологии. Он считал, что это могло быть удачным расширением сферы научных исследований для весьма недешевого, но уникального по своим возможностям крупномасштабного инструмента фундаментальной физики. Он предлагал попробовать эту деятельность на Байкале.

Его сразу поддержал сотрудник ИЯИ Леонид Борисович Безруков, написав, что на Байкале уже начато изучение геофизики Земли, проблем лимнологии. Средствами изучения являлся как сам телескоп, так и специальные буйковые станции, разворачиваемые

* Письмо М. Ежабека — в Приложении 7.

В. А. Матвеев и Л. Б. Безруков на конференции NANPino в Дубне

вместе с телескопом, а также специальный погружаемый прибор — геофизический стринг, предназначенный для измерения электрического напряжения, существующего в озере Байкал*. Изучалось поле свечения водной среды, поле температуры водной среды, поля оптических характеристик водной среды, поле теллурических токов в озере, скорость осадков в озере и другие характеристики. В 2020 г. головным в этих исследованиях был Иркутский университет. Каждое из этих исследований — важное. В частности, известно, что вся толща Мирового океана нагревается последние десять лет. А нагревается ли толща Байкала? Проблема теллурических токов и их реакция на землетрясение также представляет интерес, наряду с сейсмическими сигналами. «Все эти задачи, безусловно, должны быть в поле зрения Байкальской коллаборации», — так завершил письмо Л. Б. Безруков. Было также высказано предложение написать обзор в ЭЧАЯ по этим проблемам, однако, если мне не изменяет память, «забойщика» для такого текста тогда не нашлось.

В целом, с моей (скептически-патриотической) точки зрения, эти АРРЕСовские дела и усилия с нашей стороны если не полностью бесполезны, то уж точно крайне мало эффективны. Потрачено много сил, а результат так и остался практически нулевым. Мне казалось тогда (да и сейчас), что главная наша задача — это сделать и запустить на Байкале такой прибор, которого ни у кого нет и без которого невозможна адекватная, как сейчас говорят, «повестка дня» астрофизических мировых исследований.

Отголоски АРРЕСовской активности будоражили сознание передовой российской и дубненской ядерно-физической общественности еще несколько лет вплоть до ковидных времен и последовавшего за этим изменения отношений с Россией европейской научной общественности после событий февраля 2022 г.

Так, например, 2 августа 2020 г. Борис Юрьевич Шарков написал, что ему позвонил статс-секретарь, заместитель министра науки и образования Республики Польша профессор Гжегож Врохна. Он выразил искреннее сожаление в связи с невозможностью подачи от Польши заявки на включение проекта Baikal-GVD в ESFRI в оставшийся до 9 сентября срок. Причины, по его словам, связаны были с Covid-19, состоявшимися президентскими выборами и процессом формирования правительства. Он также высказал уверенность в том, что к следующей актуализации ESFRI Roadmap, до которой достаточно времени, Польша непременно подаст эту заявку. Кроме того, профессор Г. Врохна выразил заинтересованность в усилении участия польских ученых в проекте Baikal-GVD и других проектах ОИЯИ. Б. Ю. Шарков расценивал этот звонок как хороший знак и считал, что приведенная аргументация вполне резонна. С этим «хорошим знаком» согласился тогда В. А. Матвеев, еще раз подтвердив то, что усилия по закреплению проекта Baikal-GVD в европейских и международных программах и дорожных картах необходимы, если ОИЯИ считает нужным

* Л. Б. Безруков называл этот эксперимент изучением теллурических токов в озере, также здесь имеется возможность регистрировать подземные электрические разряды.

довести масштаб этой установки до объема 1 км^3. Далее В.А.Матвеев упомянул, что этот международный мегапроект без такого признания на международном уровне не получит необходимой поддержки стран-участниц. По той же причине необходимо на соответствующем уровне оформить международную коллаборацию проекта Baikal-GVD по принятым в международном сообществе правилам. «Нам на это указывают наши зарубежные коллеги. Промедление в этих вопросах может со временем обернуться свертыванием финансирования дальнейшего развития. И, конечно, – заключил В.А.Матвеев, – все ждут публикаций результатов в ведущих журналах». Как известно, время внесло свои коррективы.

◇

18–19 сентября 2017 г. состоялась 122-я сессия Ученого совета ОИЯИ. Помимо плодотворной работы, члены совета поздравили с присуждением премии им. Б.М.Понтекорво ОИЯИ профессоров Ифан Вана (ИФВЭ, Пекин, КНР), Су-Бонг Кима (Сеульский национальный университет, Республика Корея) и Коитиро Нишикаву (КЕК, Цукуба, Япония) за выдающийся вклад в изучение явления осцилляций нейтрино и измерение угла смешивания нейтрино θ_{13} в экспериментах Daya Bay, RENO и T2K и поблагодарили их за яркие выступления.

Лауреаты премии им. Б.М.Понтекорво за 2016 г.

7 декабря на НТС ЛЯП И.А.Белолаптиков выступил с отчетом и предложением о продлении проекта Baikal-GVD («Deep underwater muon and neutrino detector on Lake Baikal (Gigaton Volume Detector)»). А.Г.Ольшевский (ЛЯП ОИЯИ) и С.В.Троицкий (ИЯИ РАН) дали положительные отзывы. Проект Baikal-GVD был одобрен, а дирекции ЛЯП было рекомендовано подписать проект и направить материалы в дирекцию ОИЯИ для дальнейшего прохождения процедуры согласования и утверждения проекта (рис.13). В силу важности и масштаба этих работ (статус мегапроекта ОИЯИ) было предложено продлить проект не на три года, а на пять.

NN пп затрат	Наименование статей	Полная стоимость	1 год	2 год	3 год
	Прямые расходы на Проект				
1.	Компьютерная связь	30.0K $	10.0	10.0	10.0
2	ООЭП ЛЯП	3300 h.	1100	1100	1100
3.	ОП ОИЯИ	6000 h.	2000	2000	2000
4.	Материалы	14280.0K $	4760.0	4760.0	4760.0
5.	Оборудование	6300.0K $	2100.0	2100.0	2100.0
6.	Оплата НИР, выполняемых по договорам	210.0K $	70.0	70.0	70.0
7.	Командировочные расходы	180.0K $	60.0	60.0	60.0
	Итого по прямым расходам	21000.0K $	7000.0K$	7000.0K$	7000.0K$

Рис.13. Главная (финансовая) таблица-слайд из доклада И.А.Белолаптикова на ПКК

Инфраструктура на озере Байкал, представленная в докладе И. А. Белолаптикова на НТС ЛЯП

При этом запрашиваемые ресурсы и число участников коллаборации от ОИЯИ заметно возросли по сравнению с 2014 г. (рис.13). Приятно перечислить имена этих людей: П. Антонов, И. Белолаптиков, В. Бруданин, К. Голубков, З. Гонц, Н. Горшков, А. Дорошенко, Р. Дворницки, И.-А. Каракаш, М. Колбин, К. Конищев, А. Коробченко, М. Круглов, В. Ломов, М. Миленин, В. Назари, Т. Оразгали, А. Панфилов, Д. Петухов, Е. Плисковский, В. Рушай, Г. Сафронов, А. Свистунов, С. Синеговский, М. Сороковиков, Е. Храмов, Б. Шайбонов.

Планируемая хронология дальнейшего развития детектора Baikal-GVD (фаза I) была такова: при наличии в 2017 г. двух установленных кластеров каждый последующий год предполагалось вводить еще по два кластера, завершив фазу I в 2020 г. установкой из восьми кластеров. Фаза II развития проекта Baikal-GVD предполагала тогда за три года (с 2021 по 2023 г. включительно) расширение телескопа до 14 кластеров. При этом допускалась технологическая модернизация новых шести кластеров.

Забегая несколько вперед, напомню, что в реальности было 12 кластеров на конец 2023 г. Лично я считаю этот результат выдающимся, несмотря на то, что не введено в эксплуатацию два кластера. Однако надо учесть множество факторов неопределенности, которые нельзя было даже предвидеть на стадии планирования. Особенно это касалось стабильности финансирования проекта за эти 5 лет. С другой стороны, мы видим успех этого планирования. И, наконец, точность выполнения плана, с моей точки зрения, беспрецедентная на постсоветском пространстве.

◇

В годовом отчете за 2017 г. написано, что наиболее значимым результатом коллаборации Baikal-GVD было создание, развертывание и эксплуатация в течение 2017 г. на озере Байкал экспериментальной установки, состоящей из двух кластеров нейтринного телескопа. «Байкальский нейтринный телескоп является одним из трех крупных действующих нейтринных телескопов по своей эффективной площади и эффективному объему в отношении регистрации нейтрино сверхвысоких энергий*. Установка содержит 576 оптиче-

* *Avrorin A. D. et al.* Gigaton Volume Detector (GVD) in Lake Baikal: status of the project // XVII International Workshop on Neutrino Telescopes. PoS(NEUTEL2017)063.

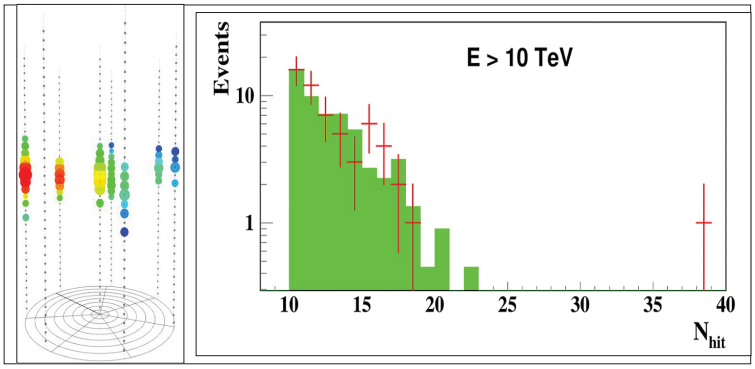


Рис. 14. Событие, наблюдавшееся в апреле 2016 г. Показаны отсчеты, прошедшие все критерии отбора. Распределения отсчетов после этого «обрезания» для данных (точки) и атмосферных мюонов (гистограмма) с реконструированными энергиями более 10 ТэВ

ских модулей, размещенных на 16 вертикальных гирляндах в интервале глубин от 750 до 1275 метров. Нейтринный телескоп Baikal-GVD в конфигурации 2017 г. является детектором с эффективным объемом порядка 0,1 км^3 для регистрации нейтрино по каскадной моде. Он способен вести исследование потока нейтрино астрофизической природы, обнаруженного на нейтринном телескопе IceCube. В течение 2017 г. осуществлялась эксплуатация телескопа Baikal-GVD как в режиме непрерывного набора данных, так и в тестовых режимах. Была выполнена комплектация, сборка и испытание в лабораторных условиях оптических модулей и измерительных систем двух последующих (3-го и 4-го) кластеров телескопа. Проводился анализ экспериментальных данных первого кластера. В задаче поиска нейтрино астрофизической природы с использованием каскадной моды детектирования в результате анализа порядка 686 млн событий, соответствующих 182 дням набора данных, выделено 5 событий с энергией выше 100 ТэВ, удовлетворяющих всем критериям отбора. Одно из этих событий имеет множественность сработавших фотодетекторов, равную 38, оно показано на рис. 14».

2018 21–22 февраля 2018 г. в Дубне состоялась 125-я сессия Ученого совета ОИЯИ, в резолюции которой по поводу проекта Baikal-GVD было сказано, что работы по реализации проекта «Байкальский нейтринный телескоп» ведутся в соответствии с планом-графиком. В период 2016–2018 гг. установлены 3 кластера с 864 оптическими модулями. Эта установка стала самым большим нейтринным телескопом в Северном полушарии. Все три кластера работают в штатном режиме. Идет анализ данных. Проведена большая работа по обновлению инфраструктуры Байкальского нейтринного телескопа. В ЛЯП создан лабораторный комплекс по сборке и тестированию оптических модулей, включая долговременные испытания по тестированию электроники, глубоководных разъемов, кабелей и другого оборудования. На месте проведения эксперимента введены в эксплуатацию новые жилые помещения, центр сбора данных, береговой центр, столовая, общежитие. В Байкальске создана лаборатория по сборке глубоководных кабелей.

◇

25–26 марта 2018 г. в Дубне проходила очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ. Заслушав доклад заместителя директора ЛЯП Д. В. Наумова «Статус проекта Baikal-GVD», КПП подтвердил приведенную выше резолюцию 125-й сессии Ученого совета и одобрил планы ЛЯП по установке двух новых кластеров в 2019 г. и по вводу в строй первой фазы нейтринного телескопа в 2021 г.

Кадры из видеосюжета «Как мы на Байкале нейтрино ловили», показанного Первым каналом ТВ

Работу наших коллег на льду во время зимней экспедиции 2018 г. на Байкале впервые показали по Первому каналу ТВ в передаче «Доброе утро» (выпуск от 18 марта 2018 г.). На этих кадрах – рассказывающий историю проекта руководитель экспедиции И. А. Белолаптиков, замерзший корреспондент Первого канала вместе с Ростиславом Дворницким (Словакия) как на льду, так и в рабочем вагончике, где есть нормальный WiFi-интернет. Далее – работница кухни, квалифицированно дающая интервью, и коллективное поедание приготовленного ею обеда, а в самом низу – продолжение работы на льду уже на сытый желудок. Традиционное фото по завершении Байкальской экспедиции было сделано в апреле 2018 г. Приятно видеть на нем радостные лица наших польских, словацких и чешских коллег.

Экспедиция 2018 г. завершена

Для полноты картины приведу следующий сюжет. 18 мая 2018 г. у меня был непростой разговор с Виктором Борисычем и Дмитрием Вадимовичем. Бруданин считал, что Дмитрий мешает своим поведением и вопросами нормальному проведению рабочих совещаний коллаборации «Байкал» в Дубне. Как ни странно, потом я узнал, что такого же мнения был Г.В.Домогацкий, который считал поведение Наумова несколько бестактным. Бруданин просил моей санкции по недопуску Димы на эти совещания. Я хорошо знал, что Д.В.Наумов никого не хотел обидеть, он просто, в своем стиле, хотел понять, что происходит и что и как делается. Поскольку, по моей просьбе, он стал отвечать за выполнение Нейтринной программы ОИЯИ, то он начал посещать эти, для него совершенно новые, совещания. Возможно, его вопросы были слишком просты и очевидны для собрания и по этой причине вызывали у сотрудников естественное недовольство кажущейся назойливостью. К сожалению, пришлось разнимать коллег, поскольку разговор готов был перейти «на личности». Н.А.Русакович, с которым я обсудил тогда эту крайне необычную для меня ситуацию, сказал, что Виктор Борисович довольно часто возбуждается и «зарывается», поэтому надо просто спокойно это воспринимать и давать ему остыть. Потом еще были разговоры с Домогацким, Белолаптиковым и Бруданиным по вопросу участия Наумова в работе байкальских совещаний. В результате они все согласились, что как ответственный представитель дирекции ЛЯП Д.В.Наумов имеет право участвовать в работе этих совещаний, и, более того, сам Наумов принял на себя разработку новых программ визуализации событий в Байкальском нейтринном телескопе. Несколько позднее Д.В.Наумов по задачам Байкальского проекта начал напрямую работать с Баиром Шайбоновым и Игорем Белолаптиковым. В основном это касалось моделирования событий в нейтринном телескопе на основе самых современных математических и компьютерных методов выполнения такой работы (например, в рамках проекта JUNO). Такое взаимодействие было встречено положительно членами коллаборации Baikal-GVD.

11 мая мне звонил Г.В.Домогацкий по поводу проблемы с финансированием работ по проекту Baikal-GVD. Не были оплачены лазерные калибровочные источники, а также крайне необходимый кабель, который ранее делали в Пскове. По словам Г.В.Домогацкого, поставщики из Пскова (по старой памяти и долгой совместной работе) готовы были поставить продукцию, так сказать, «вперед и без оплаты». Более или менее таким же образом,

как было уже упомянуто, ИЯИ работал с «Псковом» раньше. Оплата всегда была, но уже как бы задним числом. Исполнители понимали «академические проблемы» с финансированием. Однако тогда масштаб поставок был существенно меньше, поэтому в 2018 г. такая ситуация не могла долго продолжаться. Срыв же поставок грозил невозможностью постановки двух кластеров в 2019 г. От ОИЯИ, как покупателя продукции, нужны были гарантии того, что оплата (пусть даже с некоторым запозданием) обязательно произойдет в 2018 г. В этой ситуации от ЛЯП требовалось подготовить гарантийное письмо. При этом я был согласен с И. А. Белолаптиковым в том, что надо принимать во внимание соответствующие коммерческие предложения, а не просто так, сразу гарантировать оплату. Напомню, что все эти проблемы были вызваны «временным» отсутствием денег, которые были уже частично потрачены на закупки необходимого оборудования впрок.

Небольшое отвлечение. Похоже, ближе к концу (середине) 2017 г. в ОИЯИ появились нормальные деньги (Россия вернула долг?), и ЛЯП получила возможность не только потратить на Байкал запланированные на это деньги (см. бюджетный график на рис. 15), но и освоить некоторую сумму, оказавшуюся в бюджете ОИЯИ не востребованной, главным образом, проектом NICA. Этот профицит мы несколько ослабили как раз путем закупок необходимого для Байкальского проекта оборудования впрок. При этом, видимо, был небольшой перерасход, перешедший на начало 2018 г. Это нас не очень сильно тогда волновало, поскольку деньги в ОИЯИ появились и директор Института нам обещал их «подкинуть». На самом деле, схема «буферных закупок по Домогацкому–Бруданину» оказалась, как показали дальнейшие события, очень плодотворной и правильной. И. А. Белолаптиков специально приходил ко мне для уточнения моего положительного отношения к этой идее.

Честно говоря, в архиве своих документов я не нашел копии гарантийного письма руководству предприятия в Пскове. Вместо этого я обнаружил (подготовленное И. А. Белолаптиковым) письмо, датированное началом октября 2018 г., за моей подписью директору ООО «Пермгеокабель». В нем, в частности, говорилось, что в 2018 г. ОИЯИ планирует приобрести на предприятии «Пермгеокабель» кабельную продукцию в количестве 18 километров. Подготовленный двусторонний договор проходит плановое согласование в структурных подразделениях ОИЯИ в соответствии с регламентом. С целью соблюдения

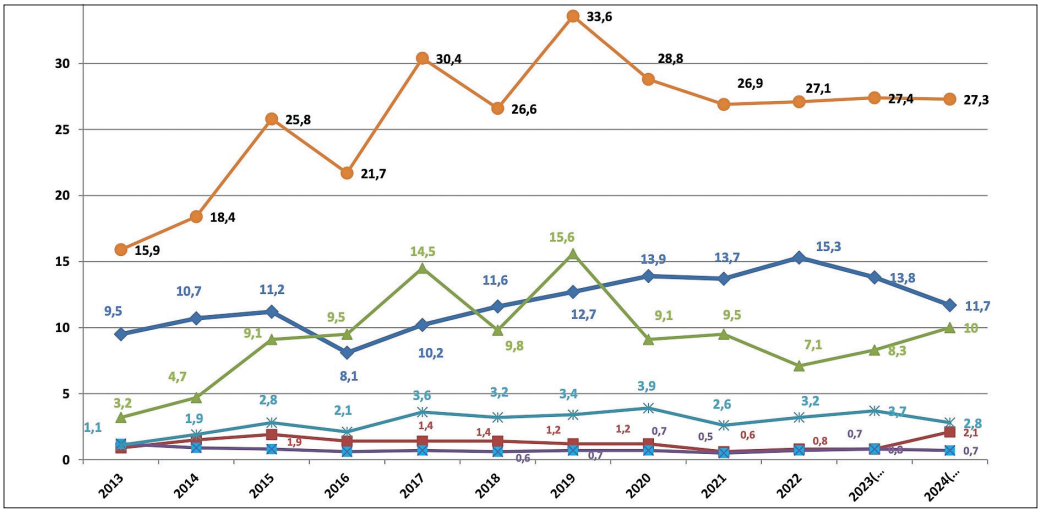


Рис. 15. Динамика бюджетных средств ЛЯП (в млн долларов) с 2013 по 2024 г. Оранжевая кривая (кружки) – полный бюджет. Зеленая (треугольники) – материалы и оборудование, синяя (ромбики) – зарплата, фиолетовая (квадраты) – траты на международное сотрудничество, голубая (звездочки) – инфраструктурные расходы. Самая нижняя (крестики на синем фоне) – электроэнергия

плановых сроков укомплектования потребностей предстоящей экспедиции на озере Байкал мы просили в рамках имеющихся возможностей приступить к производству необходимой ОИЯИ продукции, не дожидаясь окончания процедур согласования. Аналогичного содержания письмо было отправлено генеральному директору ОАО «Экспокабель» по поводу производства кабелей другого типа. Честно говоря, я не помню, были ли отправлены данные письма. По всей видимости, в 2018 г. проблема с кабелями не была столь критичной, поскольку во время экспедиции 2019 г. удалось ввести в эксплуатацию запланированные два кластера телескопа Baikal-GVD.

Тем не менее, на следущий год, 13 февраля 2019 г., я получил письмо от Ивана Доценко, который занимался оформлением заказов и поставок в отделе Бруданина для Байкальского проекта. Он информировал меня о сложившейся непростой ситуации с поставщиком кабеля «НТЦ Геофизика» из Пскова. 16 января 2019 г. Псковский областной суд признал их банкротом и назначил внешнего управляющего, который запретил вывоз с территории любого имущества. Среди этого имущества был и байкальский кабель, за который ОИЯИ уже все заплатил. В ситуации разбирались вместе с Домогацким и Белолаптиковым юристы ОИЯИ.

Параллельно в ИЯИ и Российскую академию наук 15 марта 2019 г. было направлено письмо-предложение о сотрудничестве из ООО «Электрокабель», расположенного в г. Рыбинске Ярославской обл. Генеральный директор этого предприятия просил рассмотреть ООО «Электрокабель» в качестве поставщика кабельной продукции (и не только) в рамках реализации Байкальского нейтринного проекта.

Еще через год, 5 февраля 2020 г. (по всей видимости, в связи с продолжавшимся судопроизводством над ООО «НТЦ Геофизика»), Игорь Белолаптиков сообщил мне, что в Институте собирается информация и документы относительно «общения» ОИЯИ с «НТЦ Геофизика». Задействованы были сотрудники его отдела, бухгалтерия и служба материально-технического снабжения (СМТС) ОИЯИ. По оценкам Игоря, это ООО осталось должно ОИЯИ сумму в размере 2–4 млн руб. По этому поводу прошло первое судебное заседание, решение которого вроде как было принято в пользу ОИЯИ.

Поскольку судебное разбирательство на этом не закончилось, то в феврале–марте 2020 г. была небольшая переписка с представителями судебных органов Пскова по поводу выполненных и невыполненных обязательств фирмы «НТЦ Геофизика» в том числе перед ОИЯИ. Из ответа Г.В. Домогацкого (от 4 марта 2020 г.) следовало, что ИЯИ РАН являлся конечным получателем кабельной продукции ООО «Псковгеокабель» и ООО «НТЦ Геофизика» для нужд Байкальского нейтринного телескопа, который сооружается совместно с ОИЯИ. Договоры на изготовление и поставку продукции заключались ОИЯИ, так же осуществлялись платежи по договорам. Поставка продукции была в ИЯИ РАН. Как руководитель Байкальского нейтринного проекта и сотрудник ИЯИ РАН Г.В. Домогацкий сообщил, что вся запрашиваемая судебными органами продукция, за исключением восьми длин кабеля «КГ (2РК50 + (2х0,5)Э + 3х0,5) – 50 Оа в количестве 0,857 км» была действительно получена и реализована в процессе работ по созданию Байкальского нейтринного телескопа. Что касается этих восьми длин кабеля, то они были изготовлены на заводе, но не были поставлены плательщику ОИЯИ в связи с арестом всего имущества ООО «Псковгеокабель».

С моей точки зрения, сухой остаток всей этой эпопеи с «Псковским кабелем» состоял в том, что стоимость так необходимой для коллаборации Baikal-GVD кабельной продукции на рубеже 2020 г. увеличилась в 5 раз. Очевидным следствием этого события стали дополнительные финансовые проблемы проекта Baikal-GVD в последние три года семилетки 2016–2023 гг.

◇

25 июня 2018 г. Г.В. Домогацкий специально встречался в Дубне с В.Б. Бруданиным и Н.А. Русаковичем по поводу приобретения в собственность ИЯИ (за ресурсы ОИЯИ) достаточно большого трехэтажного здания в городе Байкальске. Виктор Борисович и Николай

Артемьевич положительно относились к этой задаче, они считали, что это надо сделать. Более того, В. Б. Бруданин считал, что нам всем: Русаковичу, Кулькову, ему и мне — надо ехать на Байкал в сентябре вместе с Белолаптиковым для того, чтобы на месте понять «масштаб» необходимых работ и т. п. Насколько я помню, эта поездка в таком составе не состоялась.

Помимо того, Виктор Борисович упрекнул меня в том, что я не «надоедаю» ему и Белолаптикову постоянными вопросами о том, как идут дела по подготовке двух кластеров. Он считал, что директору ЛЯП надо постоянно интересоваться этим вопросом, что, по его мнению, должно держать исполнителей проекта в рабочем тонусе.

◇

30 июля Г. В. Домогацкий звонил вечером мне домой. Нужны были деньги на Байкал. По его оценке, нужно, как минимум, 1,5 млн USD для обеспечения подготовительных работ следующей Байкальской экспедиции (нацеленной на введение двух новых кластеров). Причем, согласно отработанной схеме, эти деньги нужны до осени, иначе просто невозможно успеть в срок.

Из последующего разъяснения И. А. Белолаптикова (в самом начале августа) я понял, что запас комплектующих элементов установки надо иметь в количестве, необходимом для обеспечения четырех кластеров, чтобы успеть все надежно проверить и протестировать. Позиции первостепенной важности — это электроника, изготовление разъемов, кабелей, оптоволокно. 13 августа Игорь Белолаптиков (по моей просьбе) более подробно изложил сложившуюся финансовую ситуацию. Он писал, что на конец августа 2018 г. нет полной комплектации для постановки двух кластеров во время грядущей зимней экспедиции 2019 г. Основные отсутствовавшие компоненты — кабели для оптических модулей (350 шт.), грузонесущий нержавеющий кабель-трос на 1 кластер, оптоэлектрический кабель на 2 кластера, глубоководные герметичные разъемы для системы передачи данных на 2 кластера, блоки питания для одного кластера и стенда, вычислительные мощности (облако ОИЯИ) — 6 серверов. Помимо этого, не была решена проблема выхода из строя некоторых блоков электроники и линий коммутаторов питания секций. Было принято решение организовать долговременный стенд для проверки полной системы питания и системы сбора данных, что требовало дополнительных закупок электроники из расчета на 2 кластера. Дополнительной причиной непредвиденных трат, со слов Игоря, был факт, что некоторые производители оборудования не «выживут» в ближайший год. Для этой группы договоры на поставку были заключены на оборудование для развития установки сроком на 2–3 года.

По этим причинам в первой половине августа я написал Виктору Анатольевичу Матвееву письмо, целью которого было обозначить серьезную проблему с финансированием подготовительных работ по проекту Baikal-GVD. Проблема была в том, что деньги, запланированные на 2018 г. по этому проекту, точнее, по теме Бруданина 1100, закончились. Закончились из-за наших интенсивных трат в первой половине 2018 г. Мы сознательно пошли на закупки особо важного оборудования впрок, чтобы всегда иметь фронт работ по подготовке кластеров и не быть зависимыми в этом деле от случайностей рынка. Яркий пример — «Псковкабель». Поскольку эта фирма, постоянно поставлявшая нам жизненно важное оборудование, которое мы хорошо освоили и под которое подстроено другое оборудование, находится на грани закрытия, то, заказав у них сразу много оборудования, мы не только обеспечили себе его наличие, но и сохранили фирму своим заказом, а значит, и как-то обезопасили свое будущее. Это одна сторона дела, а другая — нас стимулировали на такие закупки известные обещания дирекции Института помочь, если понадобится, важнейшим проектам ОИЯИ в 2018 г. Было еще одно отягощающее обстоятельство, которое лично я не понимаю: почему траты, проведенные в 2017 г., были вычтены из бюджета 2018 г.? Это тоже заметно снизило наши покупательные возможности в 2018 г. и привело к такому быстрому выходу на лимит.

Итак, формально деньги кончились, а определенный набор оборудования, необходимого для штатной подготовки двух кластеров, еще не успели полностью заказать. Соответствующие договоры заторможены. Поэтому возникает, вообще говоря, угроза срыва полноценной экспедиции 2019 г. по вводу обещанных двух новых кластеров. По уже упомянутой выше оценке Домогацкого, нам еще надо было 1,5 млн USD. По оценке Бруданина – 2 млн USD. Действительно, из переписки Бруданина и Усовой по поводу остановки оплаты счетов в 2018 г. выяснилось, что задержка в этой оплате ведет фактически к срыву экспедиции 2019 г. (поставки оборудования для этой экспедиции). Как писал в сердцах Виктор Борисович, экспедицию невозможно передвинуть, лед на Байкале бывает только в определенное время. Более того, уже есть прецедент – Байкальская экспедиция 2018 г. не выполнила поставленные задачи (два кластера) из-за японских и швейцарских фирм, которые поставили нам оборудование на 1,5 месяца позже необходимого срока.

Отмечу, что мы (как бы) не просили дополнительных денег на проект Baikal-GVD, мы фактически просили изменить профиль финансирования этого проекта на семилетку. В документах той семилетки он был плоским, на каждый год было запланировано примерно по 6 млн USD. Нам же нужно было в 2018 г. потратить помимо запланированного на этот год еще 2 млн USD, которые мы не стали бы использовать, скажем, в 2022 и/или 2023 г., поскольку необходимое оборудование для работ в эти годы будет уже закуплено заранее и нужно будет только «опускать кластеры».

Таким письмом я хотел поставить в известность директора о том, что мы с Виктором Борисовичем намерены обратиться к нему с официальной просьбой о выделении на проект Baikal-GVD дополнительного финансирования в 2018 г. в размере 2 млн USD. Виктор Анатольевич не был против и хотел нам помочь, с этой целью он попросил подготовить все необходимые документы и обоснования, что и было сделано. В результате 20 августа В. Б. Бруданин сходил* к В. А. Матвееву с подписанным мною официальным письмом и подробным раскладом наших проблем-запросов, подготовленным самим Виктором Борисовичем. В этом полностью обоснованном документе мы просили у директора ОИЯИ дополнительно 3 млн USD на проект Baikal-GVD и другие «нейтринные» нужды ЛЯП**.

Результат этого визита оказался положительным, деньги нам Виктор Анатольевич подписал в запрашиваемом объеме, однако пришлось ждать возвращения из отпуска Л. В. Уваровой, которая в начале сентября «открыла нам к ним доступ», и мы смогли начать оплату «висевших» счетов по срочным договорам. На что эти деньги практически сразу же и ушли. Для текущей же работы, по оценке И. А. Белолаптикова, в качестве минимально необходимой нужна была еще сумма в размере порядка 400 тыс. USD.

Л. В. Уварова и А. Ю. Харевич

Эту сумму нам удалось найти внутри ЛЯП. Действительно, как было написано в сопроводительном письме, в силу сложившейся в 2018 г. насущной потребности в изменении профиля финансирования работ по проекту Baikal-GVD, вызванном необходимостью упре-

* К сожалению, мы не успели договориться об этой встрече до моего отъезда 15 августа в командировку (ЦЕРН). Тем не менее мне удалось «организовать» встречу В. Б. Бруданина и В. А. Матвеева.
** Это обоснование необходимых расходов находится в Приложении 6.

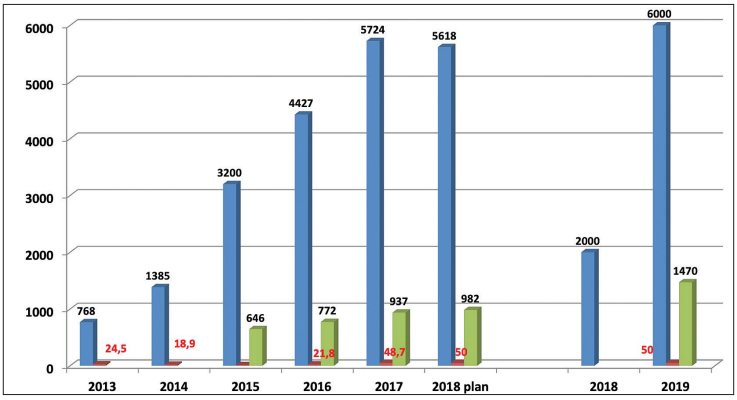


Рис. 16. Критический рост финансирования проекта Baikal-GVD за 2015–2018 гг. (первый срок моего директорства). По вертикали – тыс. USD. Синим показаны расходы по статье «Материалы и оборудование», красным – командировочные издержки, зеленым – расходы на инфраструктуру на Байкале

ждающих закупок материалов и оборудования для полноценного (опережающего) тестирования и последующего формирования двух новых кластеров Байкальского нейтринного телескопа (которые будут установлены в марте-апреле 2019 г.), я просил директора разрешить корректировку бюджета ЛЯП путем переноса на тему 1100 денежных ресурсов: с темы 1081 (ATLAS) перенести 100 тыс. USD, с инфраструктуры ЛЯП – 150 тыс. USD, с темы 1085 (COMPASS) – 30 тыс. USD, с темы 1124 (Mu2e) и с темы 1102 (фазотрон) – по 60 тыс. USD. В итоге на тему 1100 под проект «Байкал» удавалось собрать эти 400 тыс. USD. Также в начале сентября 2018 г. мы отправили Л. В. Уваровой письмо-корректировку бюджета ЛЯП по проекту «Байкал» на 400 тыс. USD (исключительно за счет внутренних средств ЛЯП). Во всей этой эпопее нам очень помогла Любовь Валентиновна Уварова, начальник Планово-финансового отдела ОИЯИ. Без ее советов и реальной помощи нам бы мало что удалось сделать.

Таким образом, история финансирования Байкальского проекта с 2013 по 2018 г. выглядела примерно так, как это представлено на рис. 16. Правые два синих столбика – это наш дополнительный запрос на 2018 (обеспеченный) и наш запрос на 2019 г.

◇

Со 2 по 4 октября впервые в Дубне проходило международное рабочее совещание по нейтринным телескопам очень большого объема «VLVnT-2018». Это регулярная встреча специалистов в области нейтринной и многоканальной астрономии, в области оборудования для крупномасштабных детекторов в воде и во льду. В Дубне встретились более 120 участников из научных центров Бельгии, Германии, Голландии, Италии, Китая, Новой Зеландии, России, США, Франции, Чехии, Швеции, Японии и ОИЯИ. Обсуждались астрофизика нейтрино высоких энергий, методические аспекты и оборудование нейтринных телескопов Antares, Baikal-GVD, IceCube, KM3NeT, осцилляции нейтрино, исследования окружающей среды с помощью нейтрино и другие вопросы.

Выступления всех участников совещания сопровождались активной дискуссией. Были представлены доклады по проекту Baikal-GVD – о ходе работ по созданию детектора и планах на ближайший год, а также о результатах первых экспериментов на нем. Общий обзор Байкальского проекта сделал В. Айнутдинов (ИЯИ РАН), а первые результаты представил Ж.-А. Джилкибаев (ИЯИ РАН).

Международное рабочее совещание по нейтринным телескопам очень большого объема в 2018 г.

Организацией со стороны ОИЯИ занимался Дмитрий Наумов, он контактировал с Кристианом Шпирингом — идейным вдохновителем этого мероприятия. Мне предлагали сделать обзорный доклад по Нейтринной программе ОИЯИ, но я не смог в силу отсутствия времени, обзорный доклад про ОИЯИ тогда сделал Д. В. Наумов. Выступали также наши коллеги — А. Любашевский (проект νGEN), Е. Якушев (темная материя), А. Ольшевский (JUNO), Д. Наумов (стерильные нейтрино (обзор)), В. Егоров (стерильные нейтрино на DANSS), Р. Дворницкий (результаты GVD), Е. Храмов (обработка и качество данных GVD) и др.

◇

23 октября от имени директора ОИЯИ службой главного бухгалтера ОИЯИ был разослан документ под названием «Аудиторское заключение по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ по специальному заданию за 2017 г.». В нем, в частности (разд. 4.3), признавалось, что проект создания нейтринного телескопа гигатонного объема (Baikal-GVD) на озере Байкал является одним из трех самых приоритетных проектов в ОИЯИ. «Финансирование этого проекта осуществлялось за счет бюджета ОИЯИ по теме 03-2-1100-2010/2018 „Неускорительная нейтринная физика и астрофизика“ (далее тема 1100). По этой же теме финансируется не только проект Baikal-GVD, но и пять других проектов ЛЯП.

Планирование затрат по проекту Baikal-GVD отражено в Семилетнем плане ОИЯИ на 2017–2023 г. и в бюджетах ОИЯИ на соответствующие годы. При этом в годовых бюджетах приведены плановые показатели затрат в целом по теме 1100, а отдельно по проекту Baikal-GVD они не выделены. В ЛЯП ведется планирование по объектам проекта Baikal-GVD только в виде плана закупок. Планирование по статьям расходов на заработную плату, страховые взносы, эксплуатацию базовых установок, инфраструктуру ОИЯИ, административно-хозяйственные расходы и т. п. осуществляется по теме 1100 в целом без выделения отдельных проектов.

Учет затрат ведется в программе 1С по теме 1100 в целом, а отдельно затраты по проекту Baikal-GVD не учитываются. В программе 1С не сформирован алгоритм учета затрат по проекту Baikal-GVD, позволяющий выделить обособленно информацию по стоимости проекта в разрезе отдельных объектов. По проекту Baikal-GVD производятся закупки товарно-материальных ценностей и создаются материальные объекты, которые могут быть классифицированы как основные средства. Однако затраты по таким закупкам не капитализируются, а отражаются на счете „Основное производство“ в общей сумме затрат по теме».

В качестве резюме по этому вопросу было отмечено, что группа, проведшая аудит, считала целесообразным рассмотреть необходимость капитализации затрат в составе внеоборотных активов, а также организовать учет затрат по проекту в разрезе объектов в том же порядке, в котором организован учет по проекту NICA.

Ни тогда, ни раньше и ни позже лично я никакой пользы от этого аудита не получил. Более того, я считал, что в лаборатории люди должны заниматься организацией и проведением физического эксперимента, а вопросы капитализации и всего такого — это задача бухгалтерии или какого-то иного подразделения ОИЯИ.

◇

Меня довольно рано на разных уровнях стали упрекать в том, что, мол, вы делаете телескоп, хвастаетесь, что он работает, собирает данные, а где результаты. Я говорил, что у нас небольшая команда и мы сосредоточены на подготовке и монтаже самой установки и у нас не хватает пока сил на физический анализ данных. Но вот уже в 2018 г. я с радостью нашел в базе данных препринтов статью коллаборации «Байкал» по поиску нейтринного сигнала от источника гравитационных волн. И тогда, в 2018 г., я не удержался, чтобы не привести эту первую ссылку в своем докладе на Ученом совете ОИЯИ (рис. 17), где было переизбрание меня в должности директора ЛЯП.

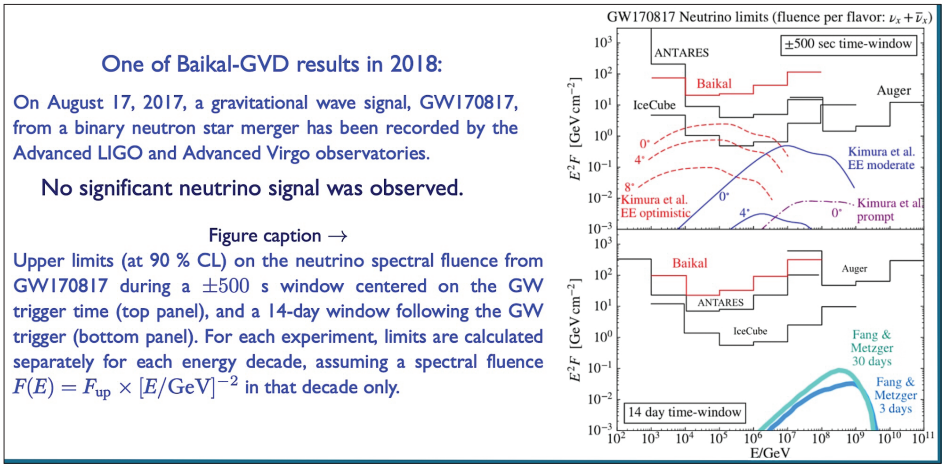


Рис. 17. Слайд из отчетного доклада директора ЛЯП на Ученом совете ОИЯИ в сентябре 2018 г. с одним из первых опубликованных удачных результатов проекта Baikal-GVD

На эту работу коллаборации Baikal-GVD обратил мое и Д. В. Наумова, «как людей, принимающих на себя огонь критики Байкальской коллаборации за низкую публикационную активность и непредставление физических результатов», внимание Г. В. Домогацкий. Он также прислал нам доклад Жана Джилкибаева на совещании «Кварки-2018» и его же фундаментальный постер о достижениях коллаборации Baikal-GVD, подготовленный для конференции «Neutrino-2018».

◇

В годовом отчете ЛЯП было написано, что наиболее важным достижением коллаборации Baikal-GVD в 2018 г. была постановка третьего кластера, что довело состав глубоководного нейтринного детектора на озере Байкал до 864 оптических модулей, расположенных на 24 вертикальных гирляндах. Эффективный объем глубоководного детектора Baikal-GVD для регистрации каскадных событий составил 0,16 км^3, что позволило регистрировать поток астрофизических нейтрино сверхвысоких энергий, зарегистрированный в эксперименте IceCube*. В течение всего 2018 г. установка работала в штатном режиме. Сборка более 600 оптических модулей и модулей электроники для постановки кластеров в следующем сезоне (кластеры 4 и 5) выполнялась в Дубне (ОИЯИ) и Москве (ИЯИ РАН). Проводился анализ данных, накопленных в течение 2016–2017 гг. Был получен (упомянутый выше) предел на поток нейтрино от источника гравитационной волны GW170817**.

◇

2019

Совместное заседание ПКК по физике частиц и ПКК по ядерной физике для оценки проектов, осуществляемых в ОИЯИ в области физики нейтрино, астрофизики и темной материи, было проведено 22 января 2019 г. В повестке дня этого заседания было всего три пункта: вступительное слово директора ОИЯИ (В. А. Матвеев), обзор научно-исследовательской программы (В. А. Бедняков) и ответы на вопросы членов ПКК вместе с общей дискуссией в присутствии руководителей обсуждавшихся проектов.

* *Avrorin A. et al.* (*Baikal collab.*). Baikal-GVD: The New-Generation Neutrino Telescope in Lake Baikal // Bull. Rus. Acad. Sci. Physics. 2019. V. 83, No. 3. P. 921.

** *Avrorin A. et al.* (*Baikal collab.*). Search for High-Energy Neutrinos from GW170817 with Baikal-GVD Neutrino Telescope // Pis'ma v ZhETF. 2018. V. 8, No. 12. P. 787.

Выступление директора ЛЯП на совместном заседании двух ПКК

Действительно, единственной целью проведения этого совместного заседания была оценка проектов и тем, осуществляемых в Институте в области физики нейтрино, астрофизики и темной материи. При подготовке этого заседания директором ОИЯИ В. А. Матвеевым был издан специальный документ – приказ по ОИЯИ, содержащий полный список проектов и требований к ним, подлежащих тщательному рассмотрению на совместном заседании ПКК.

Основной доклад по этому вопросу сделал директор ЛЯП (В. А. Бедняков). ПКК поблагодарили его за всесторонний обзор Нейтринной программы ОИЯИ, содержащей 13 проектов, 7 из них регулярно оцениваются ПКК по физике частиц и 6 – ПКК по ядерной физике. Для того чтобы добиться «лучшей координации программы по физике нейтрино, что позволило бы устанавливать приоритеты более согласованным и эффективным образом», как указано в резолюции предыдущего Ученого совета, все 13 проектов были совместно оценены членами двух ПКК. Конечная цель – классифицировать их по трем категориям: A, B или C, основываясь на научной значимости проекта и результатах работы группы ОИЯИ. Категория A – это отличные проекты, которые следует полностью обеспечить соответствующими ресурсами, поощрять к продолжению и росту их научной значимости. В категорию B входят очень хорошие проекты, но с некоторыми недостатками. Они должны финансироваться с учетом строгой рекомендации о том, где необходимо их улучшение. Категория C содержит хорошие проекты, которые, однако, демонстрируют относительно низкую эффективность. Руководителям проектов было предложено ответить на вопросы из общего списка, подготовленного представителями двух ПКК по согласованию с руководством ОИЯИ (упомянутый выше приказ директора ОИЯИ). Каждый проект был рассмотрен одним рецензентом из ПКК по физике частиц и одним – из ПКК по ядерной физике. Помимо этого, рецензентами были заданы некоторые вопросы, так сказать, заранее.

Например, неутомимый Антонио Эредитато считал, что в предоставленных по проекту Baikal-GVD документах не хватает сравнения ожидаемой статистики со статистикой, собранной в других проектах на момент запуска Baikal-GVD. Игорь Белолаптиков дал свое видение ситуации в одностраничном документе. Сначала он упомянул, что эксперимент IceCube обнаружил диффузный поток высокоэнергетических астрофизических нейтрино

Интервью Дубненскому телевидению директора ЛЯП после доклада на совместном заседании двух ПКК (слева). Участие в обсуждении сделанного доклада (справа)

в 2013 г. Скорость набора каскадных событий с энергией $E>100$ ТэВ у них составляла около 4 событий в год. Количество каскадных событий астрофизического происхождения с такой же энергией в одном кластере Baikal-GVD за год, по оценке И. А. Белолаптикова, ожидается на уровне 0,6 события. Поэтому считается, что в 2021 г. Baikal-GVD зарегистрирует примерно 16 событий, а у IceCube будет к тому времени 44 события. Однако важно отметить, что угловая погрешность реконструкции каскадов с помощью Baikal-GVD составляет около 2–3° по сравнению с 15° для IceCube (из-за очень высокого рассеяния света в антарктических льдах). Это означает, что разрешение источников астрофизических нейтрино у Baikal-GVD примерно в 20–60 раз выше по сравнению с IceCube и позволяет проводить астрономические исследования нейтрино в режиме каскадного обнаружения. Таков был ответ И. А. Белолаптикова.

Окончательная классификация проектов по категориям A, B и C была выполнена с учетом мнений двух рецензентов и последующего обсуждения проекта на совместном заседании обоих комитетов. В ходе оценки каждого из 13 проектов были выработаны определенные рекомендации, указывающие на сильные и слабые стороны проекта, представленные как в итоговом документе совместного заседания, так и в следующей классификации проектов:

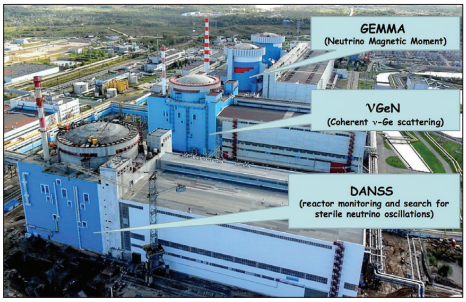
- категория A: Baikal-GVD, DANSS, Daya Bay/JUNO, NOvA;
- категория B: COMET, EDELWEISS-LT, GEMMA-III, GERDA, NA64, SuperNEMO, TAIGA;
- категория C: BOREXINO, Mu2e/g-2.

В последовавшем за этим заседанием интервью для прессы директор ЛЯП отметил, что самый главный проект ЛЯП — это Байкальская нейтринная обсерватория. «Здесь достигнут очень большой прогресс — буквально за несколько лет была создана почти треть детектора, и в 2019 г. планируется перевезти и поставить еще два кластера. Это беспрецедентный результат, и хочется верить, что и дальше все пойдет так же успешно. В рамках проекта осуществлен переход к стадии массового производства оптических модулей, и в связи с этим появились новые проблемы, однако были найдены пути их решения.

Второй проект — это многоцелевой международный эксперимент JUNO в Китае. ЛЯП намерена быть в нем вторыми после китайских коллег, наш вклад очень большой, там работает замечательная команда, в нее входят молодые ребята, настоящие энтузиасты, и я думаю, успех здесь гарантирован.

Третье направление для нас особенно интересно потому, что связано с исследованиями на Калининской атомной станции, где тоже работает очень хорошая команда под руководством Виктора Бруданина, Вячеслава Егорова, Евгения Якушева. Мы ожидаем прорыв в детектировании когерентного рассеяния на ядрах. Это направление мне представляется очень важным и интересным — здесь в 2018 г. тоже были получены хорошие результаты и заложены основы, чтобы мы добились того, к чему стремимся.

Тестирование ФЭУ для JUNO



Установки ЛЯП на КАЭС

Что касается проекта NOvA – это инициатива предыдущего директора ЛЯП Александра Григорьевича Ольшевского. ОИЯИ присоединился к NOvA на той стадии, когда установка была уже создана, пришли хорошие молодые специалисты, начали обрабатывать данные, придумывать новые задачи. Мы рассматриваем наше участие в проекте NOvA как важный шаг к новому, наиболее продвинутому нейтринному эксперименту DUNE в Фермилабе. Это большая и многофункциональная нейтринная обсерватория с целым рядом детекторов. Оказалось, что наше участие в проекте NOvA стало неким драйвером проникновения самой передовой компьютерной „культуры“ из физики высоких энергий в нейтринные исследования, которая позволяет моделировать процессы и получать новые данные на самом передовом и современном уровне, и в этом огромный плюс нашего участия в проекте NOvA.

Есть еще задача – детектирование темной материи. Она чрезвычайно сложная, потому что, вообще говоря, невозможно доказать, что те сигналы „темной материи“, которые мы ожидаем увидеть, скажем, на детекторах LHC, действительно подтверждают существование темной материи. Это комплексная задача, в принципе, Baikal-GVD, JUNO и другие детекторы нейтрино большого объема будут пытаться зарегистрировать сигналы так называемого непрямого детектирования темной материи, когда в космических объектах большой величины, типа Солнца или центра Галактики, накапливаются частицы темной материи, аннигилируют и порождают нейтрино и другие проникающие частицы, которые и регистрируются. В частности, есть несколько работ коллаборации Baikal-GVD, которые

Группа ЛЯП внесла существенный вклад в работу коллаборации NOvA. В центре А.Г.Ольшевский

Обсуждения во время совместного заседания двух ПКК

дают ограничения на потоки частиц темной материи из Солнца. Так что не случайно, что помимо задачи прямого детектирования темной материи в экспериментах EDELWEISS и DarkSide вопросы косвенного детектирования темной материи входят в сферу действия Нейтринной программы ОИЯИ».

По просьбе редакции газеты «Дубна: наука, содружество, прогресс» итоги совместного заседания ПКК прокомментировал также вице-директор Института М.Г.Иткис. На вопрос о том, чем было вызвано решение посвятить совместное заседание ПКК по физике частиц и по ядерной физике нейтринной физике, астрофизике и темной материи, он напомнил, что пять лет назад была проявлена такая же инициатива – посмотреть на совместном заседании двух программных комитетов, что у нас происходит в области нейтринной физики. «Тогда только зарождались первые мысли о „Байкале“, об экспериментах на Калининской АЭС. И в связи с этим Вальтер Грайнер и Ицхак Церруя, председатели соответствующих комитетов, предложили обсудить тематику, которая становилась для Института все более актуальной, на совместном заседании. Оно прошло, и как-то все успокоилось. А потом, раз у нас есть флагманский проект в области нейтринной физики и есть другие проекты, в которых участвуют наши сотрудники, причем группы очень разные, от мала до велика, возникла очередная такая инициатива, прежде всего от комитета по физике частиц, расставить приоритеты этих экспериментов. Безусловно, не возникали вопросы по поводу двух наших домашних программ, связанных с Байкалом и Калининской АЭС, а все остальное было очень неравноценно, и требовалось навести порядок, расставить приоритеты.

Есть разные точки зрения на этот счет. Концентрация усилий – это хорошо. Но если существует команда из нескольких человек, которые не требуют никаких капитальных затрат и при этом выдают хорошую научную продукцию, участвуя в какой-то из коллабораций, лучше их не трогать – пусть работают. Наше финансовое участие совсем небольшое. Но есть и другие проекты, в которые мы вносим большой вклад, а на выходе нас, что называется, не видно. Сам эксперимент хороший, в мире признан, но наших там как бы и нет. Вот и решили с этим разобраться.

Были горячие споры, по каждому проекту назначены рецензенты, и результат таков – пара проектов, которые получили совсем низкую оценку С, будут, естественно, сворачиваться. Несколько проектов оказались на второй ступени, В, среди них и очень хорошие. Например, такой долговременный проект, как SuperNEMO, который еще не скоро даст результаты. Это наш совместный проект с французскими коллегами – мы по сути вместе содержим подземную лабораторию в Модане, где помещен еще и наш детектор для сверхтяжелых элементов, созданный в ЛЯР. Так что эксперименты, вошедшие по результатам обсуждений в группу В, будут продолжаться. Ну и несколько проектов получили оценку А (GEMMA, „Байкал“, NOvA). А дальнейшее – на усмотрение дирекции Института и дирекции ЛЯП, в которой сосредоточен основной научно-исследовательский потенциал по Нейтринной программе».

В целом я согласен с этой точкой зрения М.Г.Иткиса. Однако пару ложек дегтя в эту бочку меда я бы добавил. Во-первых, никакой практической пользы от проведенного ранжирования всех рассмотренных на этой совместной сессии проектов, как показала жизнь, не возникло. Нет особого смысла здесь повторять, что дирекция ЛЯП и без этого «международного ранжирования» знала «кто есть кто в ЛЯП». Во-вторых, лично у меня было стойкое ощущение, что весь мой, и не только мой, титанический труд по систематизации и унификации представления наших проектов в данной области был необходим лишь для того, чтобы члены обоих ПКК, наконец, смогли увидеть всю «нейтринную» картину в целом. Ранее, в силу самой специфики задач каждого из этих двух ПКК, что-то принимал и понимал один ПКК и не понимал другой. Теперь члены обоих ПКК убедились в том, что широта интересов и задач всей программы нейтринных исследований ОИЯИ выходит за рамки компетенции каждого из ПКК, и эта программа действительно уникальна не только для ОИЯИ, но и для всей мировой научной общественности.

◇

На 125-й сессии Ученого совета (февраль 2019 г.) участники рассмотрели ход выполнения флагманских проектов ОИЯИ: NICA, «Фабрика сверхтяжелых элементов», Baikal-GVD. С сообщениями выступили В.Д.Кекелидзе, С.Н.Дмитриев, Д.В.Наумов. Ученый совет одобрил назначение заместителей директора Лаборатории ядерных проблем Владимира Глаголева, Алойза Ковалика и Дмитрия Наумова. Было утверждено решение жюри о присуждении

Вручение премии им. Б.М.Понтекорво Ф.Халзену на Ученом совете ОИЯИ в сентябре 2019 г.

премии им. Б.М.Понтекорво профессору Университета штата Висконсин (Мэдисон, США) Ф.Халзену за его ведущую роль в создании детектора IceCube и экспериментальное обнаружение космических нейтрино высоких энергий.

Во время этой сессии Ученого совета Мечислав Будзыньски посоветовал нам написать письмо Мареку Ежабеку с официальным приглашением вступить в коллаборацию Baikal-GVD, а также с предложением назвать один из новых кластеров Байкальского нейтринного телескопа именем «Краков». Такое письмо было действительно направлено М.Ежабеку в краковский Институт ядерной физики*.

Основная повестка последовавшей за этим Ученым советом сессии Комитета полномочных представителей, проходившей 25 марта 2019 г., также была связана с главными проектами Института. Заслушав доклад директора Института В.А.Матвеева, КПП с удовлетворением отметил достижение важных этапов в развитии флагманских проектов ОИЯИ и принятые меры по улучшению координации программы ОИЯИ по физике нейтрино в части установления приоритетов между действующими нейтринными экспериментами, а также продолжение работ по созданию двух новых кластеров глубоководного нейтринного детектора Baikal-GVD. После доклада заместителя директора ЛЯП Д.В.Наумова «Статус проекта Baikal-GVD» КПП принял к сведению ход работ по проекту «Байкальский нейтринный телескоп», которые ведутся в соответствии с планом-графиком. Отметив установку за два года трех кластеров с 864 оптическими модулями, что сделало этот нейтринный телескоп самым большим в Северном полушарии, а также постоянную работу по обновлению инфраструктуры эксперимента, КПП одобрил планы ЛЯП по установке двух новых кластеров в 2019 г. и по вводу в строй первой фазы нейтринного телескопа в 2021 г.

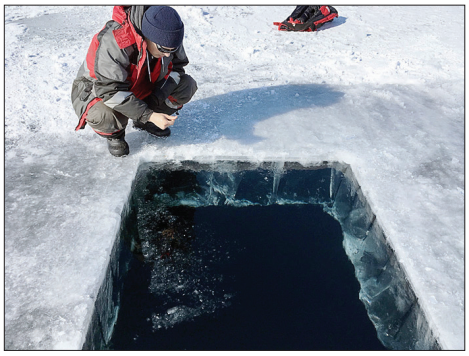
Выступление Д.В.Наумова на КПП

По просьбе журналистов городских изданий Д.В.Наумов прокомментировал некоторые положения своего доклада и ход работ по развитию проекта. Он начал с того, что во время сессии КПП на озере Байкал происходит монтаж установки. Собираются 4-й и 5-й кластеры, и примерно к 10 апреля работа будет закончена. В 2019 г. была поставлена амбициозная задача – установить два кластера за сезон, и эта задача будет выполнена. Экспедиция началась в феврале, и длится она около двух месяцев. Люди работают без выходных, с десяти утра до семи вечера. Сам Д.В.Наумов совсем недавно вернулся оттуда**, он видел, что наши люди очень сильно ориентированы на результат, сфокусированы на работе, поддерживают друг друга – там работает очень яркая, сильная команда, и нас ожидает успех. Что касается результатов – данные анализируются и уже получено несколько интересных результатов. Они направляются в Дубну, Москву и другие центры обработки.

В продолжение этой темы напомним, что Дмитрий Вадимович Наумов после личного участия в работе Байкальской экспедиции в начале весны 2019 г., по существу, запустил совершенно новый научно-информационный проект под рабочим названием «Космос.

* Ответ М.Ежабека можно найти в Приложении 7.

** 4 марта 2019 г. я написал письмо руководителю экспедиции от ОИЯИ И.А.Белолаптикову об отзыве Наумова из Байкальской экспедиции для выступления на КПП с докладом о статусе проекта Baikal-GVD. Дмитрий пробыл там две недели.



Участие зам. директора ЛЯП Д.В.Наумова в экспедиции на озере Байкал в 2019 г.

Нейтрино. Байкал. Страницы дневника научной экспедиции». Так, по крайней мере, назывались первые несколько десятков страниц этого дневника, опубликованных в октябрьских номерах газеты «Дубна: наука, содружество, прогресс» (2019. № 18–20).

Затем этот проект – «Дневники экспедиций на озере Байкал» – уже на постоянной основе заработал на сайте ЛЯП и медийных каналах ЛЯП и ОИЯИ. Из него выросла знаменитая выставка фотографий Баира Шайбонова (см. фото на с. 103) и его подробные дневники всех последующих байкальских экспедиций сотрудников ЛЯП и их коллег.

◇

В начале мая 2019 г. мои друзья и некоторые «старшие товарищи» советовали мне, как директору ЛЯП, хотя бы формально возглавить Байкальский проект в ОИЯИ. У меня были сомнения в реальной необходимости этого, мне казалось, что такая акция будет выглядеть неестественной (волюнтаристической). Я считал, что, будучи директором ЛЯП, на базе которой этот проект выполнялся, я и так делал все возможное для успешного его продвижения.

◇

В бюллетене «Новости ОИЯИ» (2019. № 3. С. 17) была опубликована статья Г.В.Домогацкого, В.Б.Бруданина, И.А.Белолаптикова под названием «Baikal-GVD: результаты экспедиции 2019 г.». Приведем некоторые ее фрагменты. Сначала авторы напомнили, что глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD предназначен для исследования природного потока нейтрино высоких энергий. «В результате взаимодействий нейтрино в воде озера Байкал образуются мюоны и каскадные ливни, генерирующие черенковское излучение, которое регистрируется оптическими модулями установки (рис. 18).

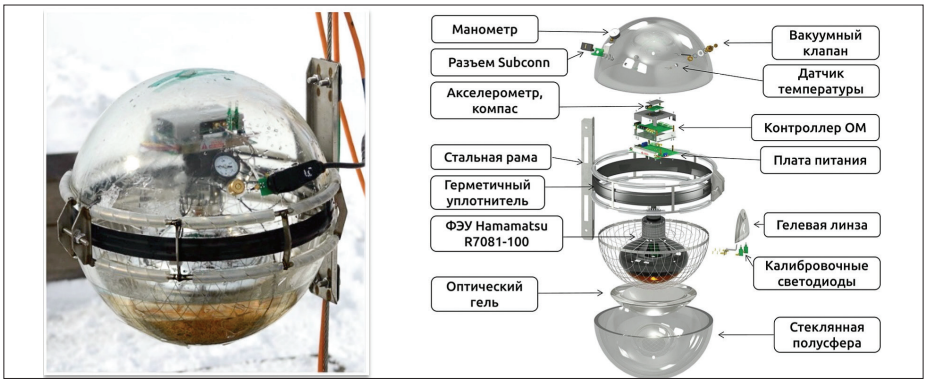


Рис. 18. Вид и структура оптического модуля установки Baikal-GVD

Регистрирующая система телескопа позволяет измерять времена регистрации излучения оптическими модулями, на основании которых восстанавливаются траектории движущихся частиц с угловой точностью до долей градусов. Так как траектории заряженных частиц и первоначальных частиц (нейтрино и мюонов) практически совпадают, а нейтрино в космическом пространстве движется по прямолинейным траекториям от источника практически без потери энергии, то большие глубоководные нейтринные телескопы после достижения определенных размеров позволят открыть эру нейтринной астрономии, т.е. изучать структуру и процессы Вселенной на расстояниях, не доступных ни для каких других способов.

Впервые астрофизические нейтрино высоких энергий были зарегистрированы нейтринным телескопом IceCube (США, Германия, Швеция), что подтвердило правильность и перспективность создания сети телескопов подобного размера. Результаты обработки данных, полученных с помощью ранее установленных кластеров Baikal-GVD, показали его способность регистрировать нейтрино высоких энергий и необходимость увеличения его объема для повышения надежности и достоверности результатов. Свойства байкальской воды, а также совокупность других сопутствующих обстоятельств дают возможность создания уникальной в мировой практике по чувствительности и угловому разрешению установки, открывающей новые горизонты в астрономии и астрофизике.

Байкальский глубоководный нейтринный телескоп является уникальной научной установкой России и, наряду с IceCube, Antares и KM3NeT, входит в Глобальную нейтринную сеть (GNN) как важнейший элемент сети в Северном полушарии Земли и как „первый шаг“ на пути создания международного научного консорциума „Глобальная нейтринная обсерватория“ (GNO). Телескопы, расположенные в Северном полушарии, обладают важным преимуществом: они способны вести практически непрерывное наблюдение центра Галактики (Baikal-GVD – 18 часов и KM3NeT – 15 часов в течение суток) и галактической плоскости, где сконцентрирована основная часть потенциальных галактических источников космических лучей (пульсары, остатки сверхновых, двойные системы и т.д.), включая массивную черную дыру Sgr A* в центре Галактики. Совместная работа в сети обеспечивает непрерывное наблюдение по всей небесной сфере без потери эффективности.

В результате совместной деятельности в области исследований, разработок, производства в течение 2018–2019 гг., а также монтажных работ во время экспедиции на Байкале с 15 февраля по 12 апреля 2019 г. были введены в строй еще два кластера глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD. Всего в режиме набора данных работает 5 кластеров, состоящих из восьми вертикальных гирлянд оптических модулей каждый, по 36 оптических модулей на гирлянде. Общее количество оптических модулей – 1440, они размещены в четырех километрах от берега озера Байкал в районе 106-го километра Кругобайкальской железной дороги. Эффективный объем установки достиг уровня 0,25 км^3 для ливневых событий от нейтрино высоких энергий, что позволяет ожидать два-три события в год от астрофизических нейтрино с энергиями, превышающими 100 ТэВ. В состав телескопа также входит ряд перспективных устройств, с помощью которых исследуются способы гидроакустической регистрации нейтрино сверхвысоких энергий, новые способы определения координат оптических модулей, устройства для исследований и мониторинга гидрологических и оптических свойств водной среды, устройство для измерения напряженности электрического поля в озере Байкал.

Во время экспедиции 2019 г. был выполнен удвоенный объем работ по сравнению с 2018 г. Для его обеспечения в 2018–2019 гг. было произведено 600 оптических и 80 управляющих электронных модулей в глубоководном исполнении. Особое внимание было уделено обеспечению надежности глубоководной аппаратуры. Произведены все элементы несущих глубоководных конструкций, кабельные подводные магистральные и сетевые соединения,

Экспедиция 2019 г. завершена. Есть 5 кластеров. Последнее фото перед уходом со льда

модемы гидроакустической системы позиционирования и другие элементы телескопа. Усовершенствованы технологии подготовительных, глубоководных и монтажных работ с поверхности льда, расширен парк специального автотранспорта и тракторов, существенно улучшены условия труда и быта сотрудников.

В результате программа экспедиции 2019 г. была выполнена полностью. В дополнение к установке двух новых кластеров гирлянд глубоководных оптических модулей были проведены ремонтные и профилактические работы на трех кластерах, установленных ранее, проложены две новые глубоководные линии кабельной связи. Все системы телескопа прошли многократное тестирование и поставлены в режим набора данных».

По следам очередного пресс-релиза по итогам Байкальской экспедиции 2019 г., подготовленного Домогацким и Наумовым (Москва, 23 апреля 2019 г.), в газете «Дубна: наука, содружество, прогресс» также была дана информация о коллаборации Baikal-GVD. В частности, было сказано, что в международную научную коллаборацию Baikal-GVD входят ИЯИ РАН, ОИЯИ, Иркутский государственный университет, Нижегородский государственный технический университет, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Институт экспериментальной и прикладной физики Чешского технического университета (Прага, Чехия), факультет математики, физики и информатики Университета им. Я. А. Коменского (Братислава, Словакия), Институт ядерной физики ПАН (Краков, Польша), EvoLogics Gmbh (Берлин, Германия).

Еще раз было подчеркнуто, что программа экспедиции 2019 г. была выполнена полностью. В дополнение к двум новым кластерам были проложены две новые донные глубоководные линии кабельной связи, связывающие установку и береговой центр. Результаты и ход экспедиционных работ ежедневно освещались электронными дневниками и, впервые, короткими профессионально смонтированными видеорепортажами.

Здесь хочется напомнить о тех усилиях, которые были предприняты Виктором Борисовичем Бруданиным и директором ЛЯП в середине и конце 2018 г. для полноценного финансового обеспечения этого успеха 2019 г. на Байкале.

◇

Практически с началом осени 2018 г. началась наша новая борьба за бюджет ЛЯП на 2019 г. На рис. 19 представлена, как написала подготовившая ее Галина Алексеевна Усова, *печальная таблица* с раскладкой по статьям расходов контрольной бюджетной цифры. Из нее ясно видно, что так мы не выживем. Бюджет-2019 не только практически не учитывает наши запросы, но и уменьшен более чем на миллион USD по сравнению с бюджетом-2018. Меня это не сильно тогда смутило, поскольку я уже знал, что буду просить дополнительно как минимум 2 млн USD. Мы с Г. А. Усовой некоторое время обсуждали

(в тыс.долларов США)

	Наименование статей бюджета		бюджет 2019 24382,5 -контрольная цифра			Отклонения от 2018 г. в %
		бюджет 2018	исходя из контрольной цифры	реальная потребность (запрос Лаборатории)	дефицит (запрос минус контрольная цифра)	(+) рост (-) уменьш. - по контрольной цифре
1	Заработная плата	8493,7	**9300,4**	**9300,4**		9,5
2	Единый социальный налог	2565,1	**2808,7**	**2808,7**		9,5
3	Соцбытфонд	552,1	**604,5**	**604,5**		9,5
4	Расходы по международному сотрудничеству	1123,0	**1123,0**	**1277,0**	**154,0**	0,0
5	Материалы	9886,3	**6967,1**	**11183,0**	**4215,9**	-29,5
6	Оборудование (учтено в стр.Материалы)					
7	Потребление электроэнергии	250,0	**277,3**	**277,3**		10,9
8	Потребление тепловой энергии и водоснабжения	386,5	**448,6**	**448,6**		16,1
9	Пуско-наладочные работы					
10	НИР (учтено в стр.Материалы)					
11	Научно-информационное обеспечение	61,7	**63,1**	**63,1**		2,3
12	Обеспечение безопасности	225,0	**277,5**	**277,5**		23,3
13	Содержание пожарно-сторожевой охраны	15,0	**6,0**	**6,0**		-60,0
14	Капитальный и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования	1176,3	**1003,5**	**6888,3**	**5884,8**	-14,7
15	Оплата услуг связи	140,0	**102,8**	**102,8**		-26,6
16	Оплата транспортных услуг	95,0	**339,9**	**339,9**		257,8
17	Содержание помещений, территорий и объектов социальной инфраструктуры	228,2	**1060,1**	**1060,1**		364,5
18	Оплата проектных работ					
19	Сооружение зданий, технологических систем	240,0				
	Итого	25437,9	**24382,5**	**34637,2**	**10254,7**	-4,1
	уменьшение контрольной цифры по сравнению с 2018 г. в т.дол.		**-1055,4**			

Рис. 19. Расклад контрольной бюджетной цифры по статьям расходов ЛЯП в 2019 г.

Прославленный экономист ЛЯП Г.А.Усова на рабочем месте (слева) и в Черногории (справа)

вопрос, какой из трех вариантов проекта бюджета ЛЯП на 2019 г. представить в дирекцию ОИЯИ. Первый – снять со всех тем пропорционально запросам руководителей. Второй – «обнулить» все темы, кроме «Байкал-содержащей» темы 1100. Хотя и в этом случае мы не дотянем до их запроса. Они просили 7110 тыс. USD, нам дали меньше 7000 тыс. USD. И

третий — наоборот, дать всем по запросу, а что останется — записать на тему 1100, чтобы сразу был виден огромный дефицит.

Тем не менее 18 сентября 2018 г. Г. А. Усова подготовила два варианта нашего финансового запроса на 2019 г. Разница между ними была в том, что наш настоящий запрос отличался от контрольной суммы примерно на 10 млн USD, из них 4 млн — по ст. 5, 6, 10 и около 6 млн — по ремонту.

На следующий день, 19 сентября Г. А. Усова отправила эти два документа в Планово-финансовый отдел ОИЯИ, сопроводив их моим письмом на имя директора ОИЯИ. В нем я пояснял причину того, что мы направили два варианта проекта бюджета ЛЯП на 2019 г. Один полностью сделан по присланной нам заранее контрольной цифре (24382,6 тыс. USD), и его можно назвать «крайне пессимистическим». Другой, вероятно, заслуживающий названия «слишком оптимистический», — соответствует реально необходимым нам потребностям в 2019 г. (34166,5 тыс. USD). Я писал, что мы и не надеемся, что «слишком оптимистический» бюджет будет в полной мере поддержан, особенно по 14-й статье (ремонт), где мы просим 5685 тыс. USD (расшифровка этой цифры в значительной степени отвечала интересам ОИЯИ — это ремонт 2-го корпуса ЛЯП и корпуса 118), однако мы считаем, что как минимум 1 млн USD дополнительно (по отношению к контрольной цифре) здесь просто необходим. Но самое главное состоит в том, что «крайне пессимистический» бюджет совершенно не удовлетворяет потребностям Нейтринной программы в 2019 г., львиную долю которой составляет эксперимент Baikal-GVD.

Действительно, на эту программу в 2019 г. по статьям 5 и 6 надо 8630 тыс. USD (примерно 7 млн USD на Baikal-GVD), весь же «крайне пессимистический» бюджет ЛЯП 2019 г. по этим статьям составляет всего 6967,1 тыс. USD, что меньше бюджета 2018 г. и уступает семилетнему плану. Иными словами, даже если мы совсем ничего не будем делать по всем остальным проектам ЛЯП (включая ATLAS и др.), все равно наши байкальские обязательства, определенные Семилетним планом развития ОИЯИ, не будут выполнены (два кластера не будут введены в срок).

По этой причине я просил директора ОИЯИ разрешить корректировку определенного семилеткой плоского профиля финансирования проекта Baikal-GVD (по 6 млн USD ежегодно). Суть этой корректировки состоит в переносе на 2019 г. трат в размере 3 млн USD из 6 млн USD, запланированных по Байкальскому проекту на 2023 г. Тогда бюджет «Байкал-2019» (статьи 5+6) будет составлять 9 млн USD, а бюджет «Байкал-2023» — 3 млн USD соответственно. Такая логика нам тогда казалась разумной.

Сколько же мы на самом деле получили в бюджет ЛЯП в 2019 г., можно судить из приведенного выше на рис. 15 бюджетного графика. Из него видно, что, к удивлению, 2019 г. был для нас самым финансово обильным, мы тогда получили 15,6 млн USD на главную статью расходов («Материалы и оборудование»), т. е. практически почти на 9 млн USD больше, чем было заявлено в контрольной цифре (см. рис. 19).

◇

Для полного понимания ситуации и дальнейшего планирования расходов исходя из реальной ситуации, по нашей с Д. В. Наумовым просьбе, 16 сентября 2019 г. Игорь Белолаптиков сообщил, что комплектующие для изготовления одного кластера в ценах 2019 г. стоят примерно 3 млн USD. Поддержку и развитие инфраструктуры как на озере Байкал, так и в Дубне, работы по постановке, вне зависимости от числа устанавливаемых кластеров, он оценил примерно в 1 млн USD.

◇

19 сентября 2019 г. в Доме международных совещаний проходила 126-я сессия Ученого совета ОИЯИ. Участники сессии обсуждали ход подготовки проекта Стратегического плана

Участники международной рабочей группы по стратегии ОИЯИ в физике частиц.
Из доклада Д.В.Наумова на сессии Ученого совета ОИЯИ

Финальный слайд из доклада Ф.Халзена на сессии Ученого совета ОИЯИ

долгосрочного развития ОИЯИ по основным направлениям исследовательской деятельности Института. В частности, про физику частиц (включая физику нейтрино, астрофизику, физику высоких энергий на крупных международных установках) от имени рабочей группы доклад делал Д. В. Наумов. Именно на этом заседании Ученого совета В. А. Матвеев и А. Г. Ольшевский (ответственный секретарь комиссии) вручили премию им. Б. М. Понтекорво руководителю проекта IceCube профессору Ф. Халзену (см. фото на с. 76). Лауреат премии выступил на сессии с научным докладом. Ученый совет высоко оценил введение в эксплуатацию двух новых кластеров глубоководного нейтринного детектора Baikal-GVD, эффективный объем которого достиг 0,25 км^3, а также отметил дальнейшее успешное развитие нейтринных экспериментов на Калининской АЭС.

◇

15 октября к нам в ЛЯП, конкретно почему-то Д. В. Наумову, а не мне, пришла весть от Г. В. Домогацкого (через Кравчука и Сорина) о том, что во исполнение поручения министра науки и высшего образования М. М. Котюкова необходимо «сделать Соглашение ОИЯИ–Миннауки по проекту Байкал-GVD до ближайшего заседания КПП» (ноябрь 2019 г.), т. е. нам необходимо подготовить и послать проект такого соглашения в Минобрнауки РФ. Головной от подведомственных министерству организаций следовало указать ИЯИ РАН. Г. В. Трубников (в то время зам. министра науки и высшего образования) считал, что подготовить соглашение должны международные департаменты ОИЯИ и Минобрнауки, а координировать процесс просил А. М. Романова*. Со слов Г. В. Домогацкого, директор ОИЯИ В. А. Матвеев определил Д. В. Наумова и В. Б. Бруданина ответственными за подготовку текста такого соглашения от ОИЯИ. Помню, что Дмитрий Вадимович был очень удивлен, поскольку никакого поручения по столь срочному делу он от директора ОИЯИ не получал. Более того, в то время он был сильно занят подготовкой программы моделирования установки Baikal-GVD к предстоящему совещанию в Праге в 20-х числах октября 2019 г. (см. ниже).

Тем не менее 25 октября В. Б. Бруданин отправил директору ОИЯИ первый проект-драфт соглашения ОИЯИ–Минобрнауки, подготовленный, с его слов, совместными усилиями группы — Бруданин, Домогацкий, Аврорин, Кравчук, Русакович, Бедняков, Наумов. Этот документ затем был подвергнут модификации в юридическом отделе ОИЯИ. В дальнейшем, до 8 ноября 2019 г., согласованием и внесением всех многочисленных исправлений в этот документ занимался Д. В. Наумов. Если я правильно помню, то в тот день было завершено наше участие в подготовке данного соглашения. Как потом оказалось, это был всего лишь самый первый, подготовительный этап. Документ в нашей редакции «не пошел» на подписание министром науки и высшего образования РФ на ноябрьском заседании КПП в Ханое.

Действительно, очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялась 25–26 ноября 2019 г. в Ханое под председательством полномочного представителя Правительства Российской Федерации М. М. Котюкова. Помимо других важных решений, КПП также принял к сведению успешное продолжение работ по созданию на озере Байкал глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD, в частности, установку двух новых кластеров нейтринного детектора, эффективный объем которого достиг 0,25 км^3, а также приветствовал подготовку проекта соглашения между Министерством науки и высшего образования РФ и ОИЯИ о сотрудничестве и проведении совместных работ по созданию телескопа Baikal-GVD и участии в экспериментальных исследованиях в области нейтринной астрофизики высоких энергий, нейтринной астрономии, физики нейтрино. Таким образом, на этом заседании КПП подписание этого документа не состоялось. КПП

* Романов Андрей Михайлович — заместитель директора Департамента государственной научной и научно-технической политики Минобрнауки РФ.

Участники КПП в Ханое. Ноябрь 2019 г. От ЛЯП был Д.В.Наумов

одобрил также дальнейшее развитие нейтринных экспериментов ОИЯИ на Калининской АЭС.

Занятно, что в рамках «подготовки министра к сессии КПП ОИЯИ» после получения сотрудниками министерства документа о наиболее значимых достижениях ОИЯИ в период с ноября 2017 г. по март 2019 г. у них возникли вопросы о прикладном характере этих наших главных достижений, в том числе касательно проекта Baikal-GVD. Отвечая, Д.В.Наумов тогда написал, что список прикладных исследований, выполняемых пользователями с предоставлением материально-технической и научной базы Байкальского глубоководного нейтринного телескопа, включает в себя, как минимум, следующее: 1) гидрологические и гидробиологические исследования и мониторинг состояния водной среды озера Байкал в месте установки телескопа; 2) испытания в процессе разработки гидроакустической аппаратуры для глубоководных научных и прикладных исследований; 3) измерения вариаций вертикальной компоненты электрического поля в озере Байкал для задач геофизики и прогноза землетрясений; 4) разработку и испытания оборудования для глубоководных работ и прокладки кабелей с ледовой поверхности водоемов; 5) разработку систем сбора данных и управления для распределенных глубоководных измерительных систем; 6) позиционирование научно-технической аппаратуры под водой; 7) временную синхронизацию электронных компонентов установки. Сыграла ли какую-либо роль это справка, мне не известно.

Продолжение истории с соглашением, превратившимся в меморандум, было уже в 2020 г., когда новым министром стал В.Н.Фальков. Об этом несколько позже.

◇

С 21 по 26 октября 2019 г. в Праге в Институте экспериментальной и прикладной физики проходило первое международное совещание коллаборации Baikal-GVD по анализу данных и моделированию эксперимента. Тот факт, что совещание было организовано в столице Чехии, подчеркивает возрастающий вклад европейских (чешских, польских и словацких) коллег в международной научной коллаборации Baikal-GVD. В числе тридцати участников на совещании присутствовали представители коллабораций IceCube, Antares и KM3NeT, было представлено 22 доклада и сообщения. В то время в коллаборации и на-

Участники совещания в Праге в 2019 г.

шем Институте обсуждалось предложение дать трем из пяти новых кластеров названия в честь городов, ученые из которых вносят вклад в создание нейтринного телескопа: Праги, Кракова и Братиславы.

29 декабря 2019 г. директор ОИЯИ В. А. Матвеев в своем поздравительном обращении к сотрудникам Института объявил 2019 г. самым успешным годом в истории ОИЯИ. Среди самых успешных и самых приоритетных проектов Семилетнего плана он отметил глубоководный нейтринный телескоп на озере Байкал. Было сказано, что работы по созданию телескопа ведутся в сотрудничестве нашего Института, институтов Российской академии наук и зарубежных научных центров. «Это очень сильная коллаборация, и она скреплена теми ожиданиями, которые создаются в нейтринных экспериментах – глубоководных и в антарктических льдах, – потому что они направлены на формирование совершенно нового класса исследований, нейтринной астрономии (рис. 20). Такое новое направление позволит значительно расширить наше понимание процессов, протекающих в глубоком космосе и ведущих свое начало, может быть, от самых первых минут существования нашей Вселенной после ее рождения в Большом взрыве», – отметил В. А. Матвеев. Он также напомнил, что совсем недавно мы мечтали достичь эффективного объема чувствительности глубоководного детектора на озере Байкал, сравнимого хотя бы с малой долей кубического километра. «И вот в 2019 г. введены в строй 4-й и 5-й кластеры. Это говорит о том, что, начиная с марта 2019 г., ОИЯИ в составе международной коллаборации фактически имеет самый большой в Северном полушарии детектор нейтрино с эффективным объемом чувствительности в четверть кубического километра. Ведется обработка данных, получаемых на этом, теперь уже очень мощном телескопе, и обнаружены 6 первых событий нейтрино

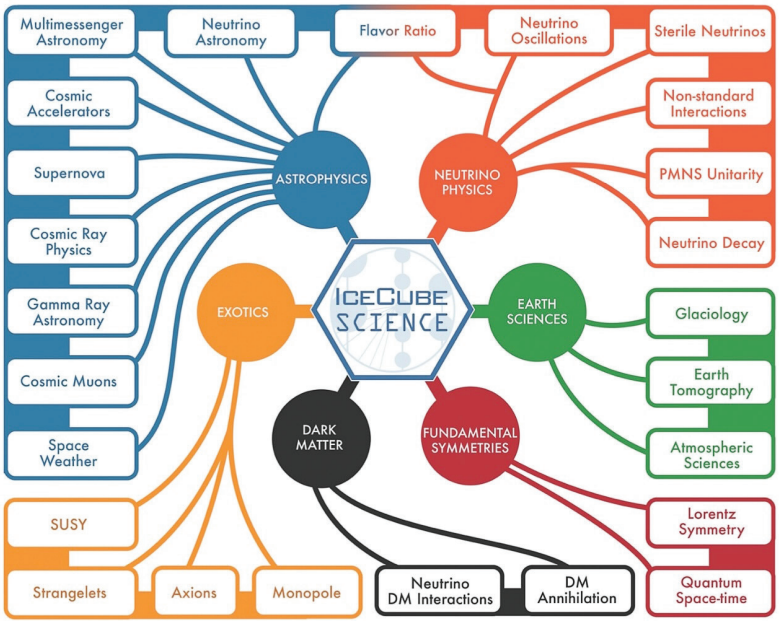


Рис. 20. Нейтринный телескоп – многоцелевая исследовательская установка. Схематически показан спектр возможных задач. Из доклада Б. Шайбонова в 2020 г.

сверхвысоких энергий, свидетельствующих о том, что в глубоком космосе происходят процессы, природу которых мы еще не до конца понимаем».

◇

Действительно, в отчете ЛЯП за 2019 г. были подтверждены приведенные выше слова директора ОИЯИ. Было также отмечено, что наш нейтринный телескоп состоит уже из 1440 оптических модулей, расположенных на 40 вертикальных гирляндах (8 гирлянд в каждом кластере) на глубине от 750 до 1250 метров. Эффективный объем глубоководного детектора увеличен* до 0,25 км^3. Это составляет около 60 % эффективного объема антарктического детектора IceCube для поиска ливневых событий от нейтрино высоких энергий астрофизической природы. В рамках данной задачи выполнен предварительный анализ данных 2016–2018 гг. и, частично, 2019 г., позволивший выделить первые шесть событий с энергиями выше 100 ТэВ, где поток астрофизических нейтрино уже превалирует над фоном атмосферных нейтрино**. Выше уже было рассказано о той «борьбе за деньги», которую пришлось провести нам с В. Б. Бруданиным в 2018 г. для обеспечения этого замечательного успеха.

◇

2020 15 января 2020 г. В. А. Матвееву из СЭД (системы электронного документооборота) «Дубна» поступила для ознакомления заявка на закупку продукции по проекту Baikal-GVD «Поставка кабеля КГ 7х0,5-45-150С Пермгеокабель». Зная важность и срочность поставки кабеля, он просил провести оформление оперативно. Однако задал вопрос, почему этот кабель идет как материал, а не оборудование. Купленный материал учитывается как материальные запасы, которые потом списываются и не приводят к

* *Avrorin A. D. et al.* BaikaL-GVD: The New-Generation Neutrino Telescope in Lake Baikal // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2019. V. 83, No. 8. P. 921–922; Изв. РАН. Сер. физ. 2019. Т. 83, № 8. С. 1016–1018.

** *Baikal-GVD Collab. (Avrorin A. D. et al.).* Search for Cascade Events with Baikal-GVD // Conference: C19-07-24, https://pos.sissa.it/358/873/pdf, e-Print: arXiv:1908.05430.

капитализации вложенных в проект средств. Это, по его мнению, идет вразрез с замечаниями аудиторов, требующих от ОИЯИ перехода на проектное финансирование и учет. Если при проверке окажется, что сумма капитализированных средств на проект Байкальского телескопа составит только малую часть затраченных на проект финансовых средств, то вывод последует немедленный: проект закрыть и провести ревизию. Так тогда считал Виктор Анатольевич, думая о будущем нашего Института.

На это опасение вечером ему ответил Николай Калинин (начальник соответствующей службы ОИЯИ). Он написал, что при согласовании заявки, в части статьи бюджета, идет речь об источнике финансирования в управленческом учете, правила ведения которого определяет Институт. При отражении операций в бухгалтерском учете действуют другие правила по ведению бухгалтерского учета. При создании актива учитываются все расходы, связанные с его созданием, в том числе и материалы. «С коллегами из ЛЯП, – отметил Николай, – мы уже разработали структуру проекта „Байкал“, в которой выделили все его составляющие. Кабель (материал) по этой заявке должен являться составной частью одного из объектов в данной структуре, который необходимо будет поставить на бухгалтерский учет в составе общего проекта Baikal-GVD». Это разъяснение успокоило В.А.Матвеева. Он написал, что у него есть беспокойство по вопросу отражения в учете «движения материальных запасов», потому что есть опасность их движения «в никуда», без отражения в основных средствах в конечном итоге.

К моему стыду, я до сих пор не понимаю эту проблему. Если мы честно используем отведенные нам средства и при этом результат их использования в том или ином виде налицо, то что еще нужно кому-то доказывать?

◇

В самом начале февраля В.Б.Бруданин поставил меня в известность о ситуации с фирмой «Псковкабель». Прошло несколько судебных заседаний, и эта фирма была признана банкротом, а именно она многие годы исправно производила и поставляла нам кабельную продукцию для наших байкальских кластеров. Развитие этой ситуации описано ранее.

◇

127-я сессия Ученого совета ОИЯИ проходила в Доме международных совещаний 20–21 февраля 2020 г. Среди прочих важных тем Ученый совет с удовлетворением отметил ввод в эксплуатацию в 2019 г. пяти кластеров фотодетекторов в рамках проекта Baikal-GVD – крупнейшего глубоководного нейтринного телескопа в Северном полушарии с эффективным объемом 0,25 км^3, а также планы по установке двух дополнительных кластеров с 576 оптическими модулями в 2020 г. Ученый совет приветствовал координацию Министерством науки и высшего образования Российской Федерации совместной деятельности ОИЯИ и Института ядерных исследований РАН в рамках проекта Baikal-GVD.

◇

22 февраля В.А.Матвеев переслал нам (Беднякову, Бруданину и Наумову) для информации переписку внутри Минобрнауки по поводу «байкальского» соглашения Минобрнауки с ОИЯИ. Он обращал наше внимание на то, что заключение подобного соглашения, форму которого, возможно, следует доработать, используя, например, форму аналогичных соглашений с ЦЕРН (зонтичное соглашение и последующие MoU), может оказаться необходимым для выделения в бюджете ОИЯИ значительных средств на работы по проекту Baikal-GVD. Он просил Б.Ю.Шаркова и В.А.Беднякова держать эти вопросы под контролем. К этой переписке прилагалась «Справка о предпринятых мерах по проработке проекта Соглашения между ОИЯИ и Минобрнауки РФ о сотрудничестве в создании Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD и участии в экспериментальных исследованиях в обла-

сти нейтринной астрофизики высоких энергий, нейтринной астрономии, физики нейтрино» от 21 февраля 2020 г., подписанная уже упоминавшимся выше А. М. Романовым. Эта справка представляется мне довольно интересной. Из нее следует, что предложенная министром М. М. Котюковым идея софинансирования проекта Baikal-GVD юридически не правомерна. Возможность заключения такого соглашения лежит в сфере юридически необязательного документа. Поэтому при первой переделке соглашения оно превратилось в меморандум (о взаимопонимании) между ОИЯИ и Минобрнауки России. Тем не менее процесс затормозился, а необходимость его продолжения следовала из резолюции Г. В. Трубникова на этой справке о конкретной дате возобновления этой работы.

Уже 1 марта, откликаясь на просьбу А. М. Романова (видимо, после совещания у Г. В. Трубникова) «попробовать сформулировать „с чистого листа“ приемлемую для нас „рыбу“ такого соглашения по Байкалу», Г. В. Домогацкий направил нам драфт текста меморандума, подготовленный им вместе с А. В. Авророиным. Задача этого текста была обозначить базовые элементы конструкции Минобрнауки–ОИЯИ–ИЯИ, создаваемой по инициативе М. М. Котюкова и Г. В. Трубникова для реализации Байкальского проекта. При этом Г. В. Домогацкий полагал, что предлагаемый текст надо нам оценить, в первую очередь, с позиций возможной опасности нанесения вреда существующей уже, по существу идеальной, конструкции*. Затем в течение недели было сделано несколько итераций этого текста, и возник 3-й его вариант в 7-й редакции на пяти страницах с приложением, где был список научных и образовательных организаций — участников проекта Baikal-GVD. Этот вариант меморандума уже удовлетворял юристов ОИЯИ и Минобрнауки в лице Г. В. Трубникова. От ОИЯИ его должен был подписать директор В. А. Матвеев, а со стороны Минобрнауки — первый заместитель министра науки и высшего образования Российской Федерации Г. В. Трубников.

В моих документах я не нашел продолжения этой истории вплоть до 20 ноября 2020 г., когда И. Т. Сулейманов** переслал мне и Г. В. Домогацкому скорректированный в Минобрнауки России проект меморандума по Байкалу (вариант 3, редакция 12). Он просил как можно скорее посмотреть текст и решить — возможно ли подписание его в такой редакции в ближайший понедельник 23 ноября. В тот же день мы ответили, что текст может быть подписан.

Далее, уже 28 января 2021 г. опять пришло письмо от И. Т. Сулейманова в связи с некоторыми «сутевыми» вопросами Минобрнауки России по предфинальной версии (МИД России уже согласовал) проекта меморандума по «Байкалу». Нас просили по возможности оперативно посмотреть текст и прокомментировать вопросы министерства. На следующий день Г. В. Домогацкий написал Иреку о том, что они с А. В. Авророиным очень внимательно просмотрели правку, которую Минобрнауки хочет внести в исходный текст. Впечатление такое, что эта правка ничего существенного не затрагивает, и ее можно принимать. В то же время предложения В. А. Беднякова по изменению текста заметно улучшают язык документа, приводят к его сокращению и делают более логически выстроенным. Но существа дела тоже не затрагивают. Оба варианта приемлемы, и выбор одного из них диктуется обстоятельствами дальнейшего его применения. Актуализированную версию с правками В. А. Беднякова Ирек Сулейманов направил в министерство 29 января.

2 февраля 2021 г. мне по электронной почте от Ирека пришел окончательный вариант меморандума***, который за ОИЯИ должен был подписать уже Г. В. Трубников как директор ОИЯИ, а за Министерство науки и высшего образования Российской Федерации — В. Н. Фальков как министр науки и высшего образования. Подписание этого документа

* Лично я с этим не могу не согласиться.
** Помощник первого вице-директора ОИЯИ Г. В. Трубникова.
*** Этот меморандум — в Приложении 11.

состоялось на озере Байкал 13 марта 2021 г. Об этом историческом событии будет рассказано ниже.

3 апреля 2020 г. В.Б.Бруданин позвонил и доложил, что, несмотря на сложности, ребята поставили 6-й и 7-й кластер. От Игоря Белолаптикова получил письмо всего с одним словом: «finish». Установлена была также экспериментальная струна со 100%-й оптической связью: если в течение года она отработает стабильно с планируемой скоростью обмена информацией, то удастся понизить порог регистрации до 100 ГэВ. Второй этап создания Baikal-GVD будет проходить по отработанной новой технологии создания оптических модулей. «Итак, – писал Виктор Борисович, – в настоящее время (апрель 2020 г.) Baikal-GVD имеет рабочий объем 0,35 км^3, а IceCube – 0,40 км^3. При нормальном финансировании в 2021 г. мы будем иметь 0,45 км^3». По моим сведениям, в этой экспедиции на Байкале участвовал полномочный представитель Правительства Словакии, наш хороший друг Федор Шимковиц.

В официальных источниках было сказано, что на озере Байкал завершила свою работу очередная экспедиция по строительству нейтринного телескопа Baikal-GVD. С 17 февраля по 10 апреля 2020 г. был осуществлен монтаж двух новых кластеров оптических модулей, шестого и седьмого из двенадцати. Эффективный объем установки вырос до 0,35 км^3 в задаче регистрации ливневых нейтрино.

Комментируя это событие для еженедельника «Дубна: наука, содружество, прогресс» (2020. 30 апр. №13), я тогда, пожалуй, впервые публично заявил, что всего за каких-то пять лет был достигнут такой успех. Я считал его беспрецедентным для нынешних российских реалий не только по срокам, масштабам, но и по выполняемости намеченных планов. С другой стороны, со слов Григория Владимировича Домогацкого, в 2020 г. экспедиция работала в абсолютно аномальных природных условиях. Во время становления льда на озере сильный ветер поломал ледовый покров, и в дальнейшем он превратился в конгломерат плохо смерзшихся льдин и торосов, что существенно осложнило работу. Такого не было за всю 40-летнюю историю работ на Байкале. И только благодаря огромному опыту и высокому профессионализму участников экспедиции удалось выполнить все работы в полном объе-

Завершена экспедиция 2020 г. Введены в строй 6-й и 7-й кластеры

Торосы, которые хотели помешать экспедиции (слева). Солнце садится (справа)

ме и в срок. С этим соглашался начальник экспедиции Игорь Анатольевич Белолаптиков: «Природа в этот раз поставила перед нами очень сложную задачу, и мы не до конца понимали, как сумеем разрезать лед и справиться с торосами, чтобы проложить кабели к новой установке. Но мы нашли решение, и у нас все получилось. За время этой экспедиции были установлены не только два новых кластера, но и экспериментальная технологическая гирлянда, оснащенная пятью калибровочными лазерными источниками света. Выбранная конфигурация расположения лазеров обеспечивает возможность калибровки всех каналов кластера. Первичное тестирование лазерных источников света в условиях их штатного расположения в установке показало их полную работоспособность. Для повышения эффективности регистрации нейтринных событий была установлена дополнительная экспериментальная гирлянда, использующая для обмена данными глубоководные оптоволоконные кабельные коммуникации. Увеличение пропускной способности системы передачи информации и производительности глубоководной аппаратуры позволяет реализовать гибкую систему формирования триггера, ориентированную на конкретные физические задачи, и исследовать возможности онлайн-обработки и фильтрации данных непосредственно под водой. Всего в экспедиции участвовало 60 научных сотрудников, инженеров, техников, рабочих, включая волонтеров. Среди них три специалиста из зарубежных организаций. Программа экспедиции 2020 г. выполнена полностью».

В своем историческом электронном письме от 7 апреля 2020 г. директорам ИЯИ и ОИЯИ Г. В. Домогацкий написал, что считает своим долгом довести до их сведения, что ледовый этап экспедиции на Байкале, связанный с монтажом оборудования и перевозкой людей по льду озера, 3 апреля закончен. «Эта часть программы экспедиции выполнена полностью. В том числе был выполнен монтаж двух новых кластеров и проложены два гибридных оптоэлектрических кабеля, обеспечивающих электропитание, передачу данных и временную синхронизацию кластеров. Начался этап проверки и настройки оборудования всего комплекса в целом. Через одну-две недели станут понятны основные параметры установки, с которой мы начнем наблюдательный сезон 2020–2021 гг.».

На это послание В. А. Матвеев с энтузиазмом ответил, что он от души поздравляет весь международный коллектив проекта и наши институты – партнеры в этом грандиозном предприятии – с достижением нового значительного успеха. «Достижение эффективного объема в 0,35 км^3 – лишь на 1/7 меньше, чем объем уникального IceCube, – это большое событие. А переход на 100 %-ю оптическую связь и с перспективой полной цифровизации установки – это новый этап в технологии нейтринного телескопа. Очень рад, друзья», – написал В. А. Матвеев.

Здесь следует не забыть, что этот успех Байкальской экспедиции 2020 г. был полностью обеспечен и в целом стал возможным только благодаря упреждающей работе участни-

ков коллаборации и дирекции ЛЯП в Дубне, как минимум, на протяжении 2019 г. (и даже несколько раньше), когда нам удалось сделать все необходимые закупки оборудования и материалов, провести их сборку, наладку и тестирование, а также подготовку к установке на озере Байкал.

Однако в 2020 г. произошло еще более резкое снижение бюджетного финансирования ЛЯП* (главным образом по проекту Baikal-GVD). В самом начале 2020 г. Галина Алексеевна Усова ошарашила меня известием, что из бюджетных (выделенных нам на 2020 г.) 5 млн USD расписано по заключенным байкальским договорам уже 4 млн USD. Из рис. 21 видно, что достаточно разумный наш запрос (на естественное развитие проекта Baikal-GVD) на 2020 г. примерно на 2 млн USD превышал полученное нами финансирование в 2019 г. Выделенный нам дирекцией ОИЯИ бюджет на 2020 г. (по материальным статьям) почти вдвое меньше нашего запроса на 2020 г. и на 2 млн USD меньше первоначального (левый столбец на рис. 21) бюджета 2019 г. Такое финансирование ЛЯП фактически означало свертывание только что успешно развернутых работ по Байкальскому проекту.

Параллельно обсуждался вопрос о необходимости Г. В. Домогацкому (как главному человеку в Байкальском проекте) написать письмо В. А. Матвееву (который, видимо, уже устал от моих постоянных финансовых притязаний) с просьбой о выделении 21 млн руб. для создания и содержания адекватной инфраструктуры ИЯИ на Байкале. Такое письмо действительно было направлено в ОИЯИ за подписью директора ИЯИ Л. В. Кравчука и Г. В. Домогацкого**. На нем В. А. Матвеев 28 января 2020 г. написал: «Разрешаю и прошу оформить договор».

В сложившейся ситуации 10 февраля мы с Д. В. Наумовым и Г. А. Усовой сочинили подробное письмо*** и за моей подписью направили его директору ОИЯИ. В письме, в частности, говорилось, что бюджет ЛЯП за 2019 г. по материальным статьям был исполнен на 100 %.

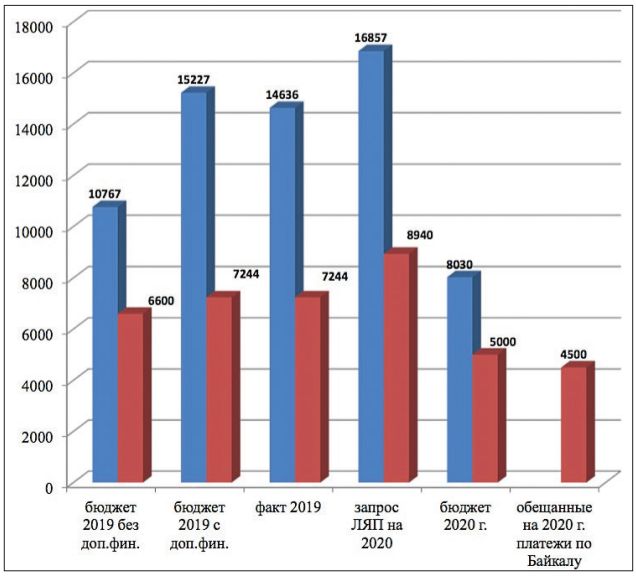


Рис. 21. Сравнение бюджетов 2019 и 2020 гг. (в тыс. долларов). Синий столбец – всего по темам ЛЯП (статьи расходов 5, 6, 10). Красный столбец – по проекту Baikal-GVD

* Лично я так и не понял причины кардинального снижения финансирования ЛЯП в 2020 г., в то время как профицит бюджета ОИЯИ на конец 2019 г. составил порядка 60 млн USD.
** Это письмо из ИЯИ – в Приложении 8.
*** Полностью это письмо с резолюцией директора ОИЯИ – в Приложении 9.

«На этом фоне выделенный ЛЯП бюджет на 2020 г. выглядит катастрофически недостаточным, поскольку по основным материальным статьям он меньше нашего бюджета 2019 г. почти на 30%, а с учетом дополнительного финансирования 2019 г. – на 50% (см. рис. 21). На приоритетную нейтринную тему приходится лишь 5538 тыс. USD вместо необходимых 10985 тыс. USD (т.е. 50%), из них на „Байкал“ – примерно 5000 тыс. USD (по Семилетнему плану 6600 тыс. USD). В 2019 г. фактические затраты по проекту „Байкал“ (ст. 5, 6, 10) составили 7243,7 тыс. USD и еще около 800 тыс. USD – по договорам целевого финансирования с ИЯИ РАН (ст. 14 и 17). Выделенный на 2020 г. бюджет позволил нам запланировать оплату только одного из этих договоров. Второй договор на 416 тыс. USD – по ремонту помещений и техники береговой инфраструктуры на озере Байкал, остался необеспеченным. Работы по проекту „Байкал“ ведутся очень интенсивно. На начало 2020 г. уже имеются обещанные платежи по ранее заключенным договорам на сумму 4500 тыс. USD, т.е. лимит всего 2020 г. уже практически исчерпан. Суммарный дефицит средств по проекту „Байкал“ мы оцениваем в 4420 тыс. USD.

Далее, уменьшение бюджета ЛЯП по всем остальным научным темам лаборатории составляет 1200 тыс. USD. Остаются необеспеченными также заявки ОКС за работы, которые по сути носят общеинститутский характер и составляют 340 тыс. USD. Итого суммарный дефицит бюджета ЛЯП-2020 составляет как минимум 5960 тыс. USD.

Из вышеприведенного однозначно следует, что научная работа ЛЯП при таком бюджете подвержена высокому риску невыполнения утвержденных планов и обязательств ОИЯИ, что серьезно ударит по престижу Института и обесценит многолетние усилия большого числа исследователей в ОИЯИ и мире. Невыполнение принятых обязательств может привести к уменьшению инвестирования в Институт, что, очевидно, крайне нежелательно.

Поэтому дирекция ЛЯП обращается с просьбой увеличить бюджет ЛЯП на 2020 г. за счет дополнительного финансирования в размере обоснованных выше 5960 тыс. USD. Из них 416 тыс. USD необходимы уже сейчас, поскольку договоры целевого финансирования, подписанные со стороны ИЯИ РАН и уже одобренные*, ждут согласования».

В результате этого письма возник приказ директора ОИЯИ о создании рабочей комиссии дирекции ОИЯИ по рассмотрению обращения директора ЛЯП.

В состав комиссии входили Р. Ледницки (председатель), М.Г. Иткис (сопредседатель), А.С. Сорин, В.А. Бедняков, В.Б. Бруданин, М.П. Васильев, Л.В. Уварова, Н.В. Калинин и Г.А. Козлов (члены комиссии). Задача комиссии – рассмотреть в течение недели обращение директора ЛЯП и содержавшиеся в нем утверждения о катастрофической недостаточности бюджетных ассигнований для исполнения утвержденных планов семилетки и принятых Институтом обязательств, угрожающей престижу Института, и дать заключение об обоснованности этих утверждений и, в случае необходимости, внести предложения по внесению корректировок в бюджетный план ОИЯИ на 2020 г. и на семилетку в целом. Совещание этой рабочей комиссии было назначено на понедельник 17 февраля в кабинете вице-директора ОИЯИ Р. Ледницкого. Я не нашел у себя никаких письменных документов по результатам этого совещания.

---

* См. письмо из ИЯИ (Приложение 8). Эти 416 тыс. USD мы собрали в ЛЯП. Для выполнения проекта Baikal-GVD необходимо ежегодно заключать договор с ИЯИ о финансировании содержания и ремонта зданий береговой инфраструктуры проекта Baikal-GVD. До 2020 г. финансирование шло за счет темы 1100, в 2020 г. это стало невозможным. Тем не менее, в связи с Covid-19 была сделана переоценка приоритетности работ и их финансирования. Так, в ЛЯП ожидалась экономия по статьям «Электроэнергия» (из-за остановки установки «Ф»), «Содержание зданий и сооружений», «Транспортные услуги», «Международное сотрудничество» и др. Поэтому дирекция ЛЯП считала, что необходимые для заключения договора ресурсы можно найти за счет других тем ЛЯП без заметного для них ущерба.

Тем не менее обсуждение этой проблемы продолжилось уже в начале лета 2020 г. Виктор Анатольевич написал мне, что у нас есть возможность вернуться к вопросу об оказании Байкальскому проекту дополнительной помощи, о которой так много было сказано слов в самом начале года. Он просил подумать и сказать, какая минимально необходимая сумма поддержки, если это окажется возможным, позволит обеспечить план работ по проекту в 2021 г.

На это я ответил, что в том, что мы просили в начале года (дополнительно к выделенному ЛЯП бюджету-2020), нет ничего лишнего. Тем не менее после консультации с Виктором Борисовичем выяснилось, что многострадальный контракт с японской фирмой Hamamatsu по поводу необходимой нам партии фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) был, наконец, подписан с обеих сторон. Это очень важно для дальнейшего стабильного развития проекта Baikal-GVD. Однако это означает, что нам надо дополнительно 2 млн USD для оплаты счетов по нему в этом, 2020-м, году. Это самый-самый минимум.

Кроме того, помимо ФЭУ нужны сопутствующие им материалы (кабели, оснастки, электроника, элементы инфраструктур и т. п.), без которых успешно закупленные ФЭУ — мертвый груз. На эти материалы нужно будет не менее 1,5 млн USD. В сложившейся коронавирусной ситуации вынужденной экономии ресурсов (например, на командировки и другие не оплаченные еще работы и заказы) мы попытаемся найти эти деньги внутри уже утвержденного весной для ЛЯП бюджета-2020.

По договоренности с директором ОИЯИ я послал ему подготовленный Виктором Борисовичем Бруданиным и экономистом ЛЯП (Галиной Усовой) материал (рис. 22) по расходам и потребностям темы 1100, подавляющая часть которых связана с проектом Baikal-GVD.

План на 2020	Факт.расходы по бухгалт.отчету 1С на 01.06.2020	Предстоящие платежи по уже заключенным контрактам	Итого произведенных и обещанных платежей (гр.2+гр.3)	Оценка других необходимых текущих расходов в 2020 г.	Итого потребность по теме на 2020 г. (гр.4+гр.5)	Ожидаемый дефицит по теме 1100 (гр.1-гр.6)
1	2	3	4	5	6	7
5538,6	3331,5	4163,5	7495,0	2000,0	**9495,0**	**-3956,4**

Рис. 22. Расходы по теме 1100, содержащей проект Baikal-GVD, в тыс. USD. Здесь «План на 2020» — это то, что было выделено ЛЯП в 2020 г. на эту тему (Baikal-GVD). Необходимые 2 млн USD по заключенному контракту с Hamamatsu по ФЭУ находятся в колонке 3 (входят в сумму 4163,5 тыс. USD). Оплата счетов по этому контракту предполагалась в два этапа: 1 млн USD — в июне и 1 млн USD — в июле-августе 2020 г.

В согласии с уже принятой ранее концепцией изменения профиля финансирования Baikal-GVD (по сравнению с Семилетним планом, где профиль плоский) эти затраты носят, как и ранее, несколько опережающий характер и, соответственно, на конец семилетки наши затраты на Baikal-GVD будут ниже тех, что запланированы в текущем Семилетнем плане. В целом стоимость проекта не превысит (заметно) оценку семилетки. Ожидаемое превышение может быть только по объективным причинам, типа существенного изменения цен на оптический кабель (не по нашей вине). Практика показала, что такая опережающая (закупочная) стратегия Baikal-GVD совершенно необходима для качественного выполнения проекта, поскольку она обеспечивает значительное время на тестирование и полноценную подготовку всех составных элементов вводимых ежегодно кластеров. Именно по этой причине наши кластеры практически не дают сбоев.

Колонка 5 (рис. 22) дает оценку других необходимых затрат по этой теме в 2020 г. Она включает в себя дополнительные расходы по Baikal-GVD (также упомянутые в предыдушем письме) и другие самые необходимые расходы по деятельности на Калининской станции

и по исследованиям безнейтринного бета-распада ядер в рамках темы 1100. Итоговая потребность темы 1100, приведенная в колонке 6, почти на 1 млн USD меньше того ресурса, который был потрачен только на проект Baikal-GVD в 2019 г.

Итак, ожидаемый дефицит по теме 1100 был представлен в колонке 7 (рис. 22) и составлял почти 4 млн USD. Из этих денег нам в самую первую очередь (и желательно до наступления осени) нужно было 2 млн USD на приобретение ФЭУ. Остальные необходимые по теме 1100 ресурсы мы найдем внутри ЛЯП, хотя в полной мере, т. е. на уровне еще 2 млн USD, это, очевидно, не получится.

На основе этих разъяснений и приоритетности проекта Baikal-GVD В. А. Матвеев предложил выделить нам из резервов дирекции грант в размере 2 млн USD на покрытие расходов по договору о поставке ФЭУ фирмой Hamamatsu. После консультации с Л. В. Уваровой 3 июня 2020 г. он потребовал от нас срочно подготовить по всем правилам корректировку бюджета ЛЯП с увеличением статьи расходов «Материалы и оборудование» на эти 2 млн USD*. Мы все это сделали и сопроводили письмом директору от моего имени с обоснованием и просьбой о выделении этого гранта. Таковы были формальности этой процедуры согласно правилам, утвержденным КПП. Итак, фактически нам был выделен грант директора ОИЯИ. Хотя мы просили 5 млн USD, а получили всего 2 млн USD, мы справились и удержали набранный темп по вводу в эксплуатацию двух кластеров.

Тем не менее «живые» деньги мы получили не скоро, все они пошли в Японию фирме Hamamatsu. Для нормальной жизни нужны были тогда еще ресурсы, как минимум, на уровне полумиллиона USD. Как уже упоминалось, эти необходимые для темы 1100 деньги, включая и расходы по проекту Baikal-GVD на уровне 500 тыс. USD, мы собирали по всей нашей лаборатории. При этом была проделана большая работа И. А. Белолаптиковым и его коллегами из ИЯИ (А. А. Дорошенко под руководством Г. В. Домогацкого) на предмет составления подробной таблицы необходимых затрат по проекту Baikal-GVD в 2020 г. В этой таблице (рис. 23) были отмечены критические сроки на уровне июня 2020 г., приведены варианты последовательности действий в зависимости от уровня финансирования (ремонт + выживание, ремонт + кластер, ремонт + кластер + эксперимент и т. п.).

№	Наименование	Дата принятия решения	*РЕМОНТ, ВЫЖИВАНИЕ*	*РЕМОНТ + КЛАСТЕР*	*РЕМОНТ + КЛАСТЕР + ЭКСПЕРИМЕНТ*	*РЕМОНТ + КЛАСТЕР + ЭКСПЕРИМЕНТ + ЗАДЕЛЫ*
1.	Изготовление кабеля для прокладки донной линии, 7,5 км, 2 длины (4 мес. + 1,5 мес. Дог.)	октябрь	0	0	0	15,0
2.	Изготовление дополнительно 9 км кабеля КГ7 без разметки (5 мес. + 1.5 мес. дог.)	октябрь	0	0	0	5,2
3.	Закупка разъемов SubConn (5 мес. + 1.5 мес. дог.)	июнь	1,2	11,0	11,0	16,5
4.	Закупка ОВ-каб. сборок Nautilus (~80000 Euro) (4 мес. + 1.5 мес. дог.)	июнь	0	0	6,5	6,5
5.	Изготовление кабельных секций питания КГД 5x0,75 для экспериментальных гирлянд и гидрологии, Экспокабель (счетами)	июнь	0	0	1,9	1,9
6.	Образцы ОВ-сборок: кабель Экспокабель + разъем Оптосвязь (счетами)	июль	0	0	0	1,0
7.	Разработка и изготовление образцов оптич. соединит. СПб. (счетами)	октябрь	0,6	0,6	1,4	3,1
8.	Укомплектование договоров с Экспокабель: ящики, катушки (счетами)	-	1,5	1,5	1,5	1,5
9.	Изготовление корпусов для лазеров, 5 шт. (3 месяца + 1.5 мес. дог.)	-	1,5	1,5	1,5	1,5
10.	Изготовление сборок датчиков ОМ, 750 шт. (счетами)	июнь	0,6	0,6	0,6	2,5
11.	Закупка оптического компаунда SilGel, 3800 кг (3 мес. + 1.5 мес. дог.)	октябрь	0	0	0	7,5
12.	Комплектация ОМ (магнитный экран, вакуумный порт, адаптер, кронштейны, сверление отверстий, крепеж и прочее)	июнь	1,5	1,5	1,5	3,5
13.	Изготовление рам подвески модуля, 900 шт.	октябрь	0	0	0	4,5
14.	Инструменты, оборудование экспедиции	октябрь	1,0	1,0	1,0	2,0
15.	Закупка кухтылей в объеме 2019 г (~42000 Euro) (3 месяца + 1.5 мес дог.)	октябрь	0	0	2,0	3,3
16.	Закупка береговых источников питания (3 месяца + 1.5 мес дог.)	июнь	2,0	2,0	2,0	3,5
17.	Бронированный кабель на перемычки (1-2 км) (счетами)	июнь	0	0,3	0,3	0,5
18.	Оптонаконечники НПЦ Оптосвязь, 2 шт. (3 месяца + 1.5 мес. дог.)	-	1,8	1,8	1,8	1,8
19.	Изготовление ДГУ 64 кВт в контейнере на санях (3 месяца + 1.5 мес. дог.)	октябрь	0	0	0	2,6
20.	Доработка кабельного отдающего станка для ледовых работ (счетами)	октябрь	0	0	0	1,2
21.	Договор с Инд. Предпринимателем Чадымовым	-	1,1	1,1	1,1	1,1
	Итого, млн руб.		**12.8**	**22.9**	**34.1**	**86.2**

Рис. 23. Необходимые объемы затрат по проекту Baikal-GVD в 2020 г., в млн руб.

* Этот документ – в Приложении 10.

В целом таблица дает представление о том объеме работ, который приходилось выполнять руководителям проекта Baikal-GVD, так сказать, «на берегу» для обеспечения успешного проведения работ во время экспедиций на озере Байкал.

Для того, чтобы найти в ЛЯП необходимые для И. А. Белолаптикова 500 тыс. USD, нам пришлось провести еще одну корректировку бюджета. Нам сильно тогда повезло, что курс доллара был благоприятный, и нам оказалось достаточно собрать 375 тыс. USD.

◇

Примерно в то же время (май-июнь 2020 г.) начали говорить о возобновлении проведения международной экспертизы Байкальского проекта на его уже новой стадии развития. Появились мысли о необходимости созыва следующей сессии байкальского SAC для оценки ситуации и помощи в решении текущих проблем этого проекта. В частности, была надежда, что решение SAC может помочь с получением столь необходимой финансовой поддержки нашего (общего для ОИЯИ) глубоководного нейтринного телескопа, который уже набрал крейсерскую скорость в направлении кубокилометрового масштаба. Заседание SAC проекта Baikal-GVD действительно состоялось, но несколько позднее, об этом далее.

◇

Как это бывает всегда, в условиях цейтнота, 24 апреля 2020 г. ученый секретарь ЛЯП И. В. Титкова направила на имя главного ученого секретаря ОИЯИ А. С. Сорина запрашиваемый им материал по проекту Baikal-GVD на 15 страницах. В этом тексте содержалась информация о месторасположении Байкальского нейтринного телескопа, было дано описание его как объекта научно-исследовательской инфраструктуры, показана его уникальность и значимость для современной науки, расписана процедура доступа на объект и политика доступа для внешних пользователей. Не последнее место заняло описание контактов и сотрудничества с европейскими коллегами, в частности по линии Глобальной нейтринной обсерватории, и т. п. Все это надо было собрать и представить в одной заявке на участие в российско-европейском проекте CREMLIN plus (Connecting Russian and European Measures for Large-scale Research Infrastructures) в области исследовательских инфраструктур. Целью этого проекта было дальнейшее углубление сотрудничества России и Европейского союза в области исследовательских инфраструктур. Бюджет проекта составлял почти 25 млн евро. Запланированная продолжительность – 48 месяцев (1.02.2020–31.01.2024). Предполагалось, что в проекте CREMLIN plus примут участие 25 европейских и 10 российских организаций, а координатором выступит DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron – немецкий электронный синхротрон) – крупнейший в Германии исследовательский центр по физике частиц, расположенный в Гамбурге.

Наряду с проектированием и разработкой технологических компонентов для пяти российских установок класса мегасайенс, в рамках проекта CREMLIN plus планировалась широкая поддержка стипендиальных программ обучения и обмена опытом для операторов российских исследовательских инфраструктур (администраторов, менеджеров и пользователей). Стартовое совещание проекта состоялось в Гамбурге 19–20 февраля 2020 г. Во встрече приняли участие более 90 представителей 35 организаций-участниц CREMLIN plus.

Как легко понять, заявка проекта Baikal-GVD поддержки в рамках CREMLIN plus не получила. В очередной раз мы «стрельнули в сторону Европы» вхолостую.

◇

Буквально в эти же дни конца апреля 2020 г. по инициативе В. А. Рубакова была начата подготовка дорожной карты в области физики элементарных частиц, ядерной физики,

астрофизики частиц, ускорительных и детекторных технологий. Такая дорожная карта, несомненно, должна была помочь Российской академии наук добиться продвижения значимых российских научных проектов. А.И.Зайцеву, И.Б.Логашенко и В.Д.Кекелидзе было поручено подготовить дорожную карту по мегапроектам.

Мы, представители нейтринного сообщества, считали, что наряду с проектом NICA в дорожную карту российских мегапроектов должен войти и проект Baikal-GVD. Согласившись с нами, вице-директор ОИЯИ В.Д.Кекелидзе попросил подготовить справку по проекту Baikal-GVD как российскому мегапроекту, указав в ней такие позиции, как научные задачи, методы реализации, конкурентоспособность, международная экспертиза, планы реализации и развития проекта, вовлеченность российских и зарубежных организаций, принципы и сроки формирования коллаборации, а также источники и объемы финансирования (утвержденные, потенциальные).

Такую справку по финансированию и общему состоянию дел в совместном ОИЯИ–ИЯИ проекте Baikal-GVD подготовил руководитель коллаборации Baikal-GVD Г.В.Домогацкий.

Мы с Дмитрием Наумовым в некоторой степени также приняли участие в ее составлении. В частности, у нас были тогда определенные сомнения в том, что Baikal-GVD должен быть мегасайенс-проектом. Связаны они были в основном с тем, что «котюковская политика» была, как у Шарикова, — «взять все и поделить». То есть он мог забрать (бюджетные) деньги у ОИЯИ и отдать их на этот проект (но уже через Минобрнауки). При этом возникала вероятность того, что «наших» денег не будет ни тут, ни там.

Подобные сомнения посещали и Г.В.Домогацкого. Поэтому за прошедшие дни он постарался выяснить корни этой истории, понять, насколько велика вероятность ее рецидива при новом раскладе (новом министре) в Минобрнауки, а также насколько серьезные негативные последствия может повлечь за собой наше отсутствие в перечне мегапроектов в дорожной карте РАН. Ответ он дал однозначный — попадать в дорожную карту РАН нам необходимо. Более того, включение в дорожную карту РАН надо рассматривать как первый этап работы по включению проекта Baikal-GVD в европейскую дорожную карту APPEC, что считалось тогда необходимым для хороших позиций при обсуждении проекта следующего Семилетнего плана ОИЯИ.

◇

4 июня 2020 г. Борис Шарков сообщил мне и Дмитрию Наумову, что он разговаривал с Валерием Рубаковым на тему создания международной коллаборации Baikal-GVD и тот был уверен в том, что такая коллаборация очень нужна для легализации проекта Baikal-GVD в ESFRI и вообще для visibility. Б.Ю.Шарков предложил Валерию, как он полагал, рабочую конструкцию руководства коллаборации, где председатель collaboration board — Григорий Домогацкий, spokesperson — Дмитрий Наумов, а vice-spokesperson — Марек Ежабек. Они считали, что важно вовлечь М.Ежабека, поскольку он должен быть активным лоббистом проекта и в Польше, и в ESFRI. По этой причине следовало написать письмо Мареку от «протоколлаборации» «Байкал» с информацией о намерении создать настоя-

Б.Ю.Шарков отвечает в ОИЯИ за внешние научные связи

щую международную коллаборацию с выбором ее руководящих органов и предложением войти в их состав в качестве вице-споуксмена. Это должно помочь, как выразился Борис Юрьевич, «окрылить» его и направить в польское министерство за поддержкой. Параллельно Б. Ю. Шарков обещал действовать через М. Будзыньского и М. Валигурского. Он считал это дело весьма срочным и сильно просил нас активизироваться (я, правда, не понял, при чем здесь наша активность).

Дмитрий Наумов по этому поводу написал мне, что его смущает такая рабочая конструкция. Он считал, что не внес еще серьезного вклада в эту коллаборацию, чтобы быть ее споуксменом, а проф. Ежабек даже и не начинал. Нельзя просто так игнорировать таких гораздо более достойных членов коллаборации, как Жан Джилкибаев или Игорь Белолаптиков. Я согласился с Дмитрием, написав, что уже заметно устал от чрезмерной академической активности, фактически сводящейся к озадачиванию других. Строго говоря, я не понимал, зачем нам лезть напролом в этот ESFRI, да еще с таким искажением действительности. Таким образом, мы считали такой расклад преждевременным, несоответствующим действительности и потенциально обижающим наших людей, что может навредить делу. Для привлечения Марека надо придумать, если надо, другие аргументы. Он вообще-то умный и все и так должен понять. Если я правильно помню, то эта инициатива Б. Ю. Шаркова не получила дальнейшего развития.

◇

Следует специально отметить, что 21 мая 2020 г. усилиями В. Б. Бруданина и И. А. Белолаптикова был заключен на 3 года «спасительный» для нас договор с японской фирмой Hamamatsu по закупке и поставке большой партии ФЭУ для проекта Baikal-GVD. Согласование и утряска этого документа в СЭД ОИЯИ заняли более месяца. Одних «согласователей» набралось 19 человек.

◇

В контексте начавшейся кампании по корректировке Семилетнего плана ОИЯИ нам в ЛЯП был сделан запрос из дирекции ОИЯИ о ходе реализации проекта Baikal-GVD. На рис. 24 показана оценка И. А. Белолаптикова реализации нашего флагманского проекта на июль 2020 г. в процентах относительно конца 2023 г. (конца Семилетнего плана).

Структура работ	% реализации
ФЭУ Hamamatsu R7081-100	45%
Оптические модули с разъемами	47%
Электроника и компьютинг	45%
Подводные кабели	52%
Локальная инфраструктура	50%
Установка кластеров	85%
Кластеров в детекторе	(7) 44%
Производство оптических модулей	40%

Рис. 24. Реализация проекта Baikal-GVD на июль 2020 г. относительно 2023 г. (по И. А. Белолаптикову)

Для полноты картины приведу здесь и другую таблицу (рис. 25), составленную уже нашим экономистом Галиной Алексеевной Усовой.

	год									
ЛЯП -Всего	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	**2017-2023**	2017-2020	2021-2023
План по 7-летке	**9220**	**9614**	**10293**	**10933**	**9974**	**9417**	**9502**	**68953**	**40060**	**28893**
дополнительное финансирование, не предусмотренное Семилеткой			4460						4460	
Фактический расход	12049	9366	15591	8446					**45452**	
Отклонение от Семилетки (- перерасход, + недофинансирование)	-2829	248	-5298	2487	3874				**-5392**	
Выделено бюджетом на 2021 г.					**6100**					
в т.ч.										
Нейтринная программа (темы 1099,1100)										
План по 7-летке	**7380**	**7584**	**7993**	**7533**	**7574**	**7617**	**7662**	**53343**	30490	**22853**
Фактический расход	10600	7500	13600	7454					**39154**	
АТЛАС										
План по 7-летке	**1020**	**1200**	**1460**	**2550**	**1540**	**930**	**960**	**9660**	**6230**	**3430**
Фактический расход	603	548	615	450					**2216**	
другие проекты										
План по 7-летке	**820**	**830**	**840**	**850**	**860**	**870**	**880**	**5950**	**3340**	**2610**
Фактический расход	846	1318	1376	542					**4082**	

Рис. 25. Справка о бюджете ЛЯП в сравнении с Семилетним планом 2017–2023 гг.

В августе я вынужден был написать директору ОИЯИ пояснительную записку к подготовленному нами (с помощью Г.А.Усовой) проекту бюджета ЛЯП на 2021 г. В ней говорилось, что общая сумма бюджета (без затрат на персонал) составила 18,76 млн USD, что примерно соответствует уровню финансирования ЛЯП в 2019 г. Однако бюджет 2020 г., который в стартовом варианте составлял 13,6 млн USD, обеспечивал запрос ЛЯП по материальным статьям только на 1/3 и не позволял выполнить запланированный объем работ даже по Байкальскому проекту. В начале 2020 г. дефицит был оценен в размере 4 млн USD. К счастью, для его погашения было выделено из резерва дирекции 2 млн USD на закупку ФЭУ Hamamatsu. Кроме того, из-за пандемии Covid-19 образовалась экономия средств по некоторым статьям (в частности, МНТС), что позволило за счет собственного бюджета ЛЯП сократить «байкальский» дефицит еще на 675 тыс. USD.

Тем не менее из-за упомянутого выше недостатка средств часть расходов, которые планировалось произвести в 2020 г., мы вынуждены перенести в бюджет 2021 г. Именно этим объясняется суммарный запрос по статье «Материалы и оборудование» в размере 13,4 млн USD, из них на Baikal-GVD мы просили выделить 8,4 млн USD.

Превышение расходов по проекту Baikal-GVD в сравнении с Семилетним планом обусловлено «внутренними» причинами. Во-первых, когда планировался бюджет семилетки по проекту Baikal-GVD, мы не имели опыта массового производства необходимого оборудования, его массового тестирования и эксплуатации на беспрецедентно высоком уровне. По этой причине был выбран тогда «плоский» график финансирования на все 7 лет. Во-вторых, своевременное изменение профиля финансирования проекта Baikal-GVD в сторону опережающих закупок на перспективу, с одной стороны, обеспечило стабильное и качественное исполнение проекта, с другой стороны, что естественно, привело к заметному превышению по годам затрат по сравнению с Семилетним планом.

Помимо «внутренних» причин были и «внешние», от нас не зависящие. Во-первых, необходимость менять поставщиков внешнего рынка в связи с неблагоприятной конъюнктурой (санкции и т.п.), что, как правило, ведет к увеличению цен. Во-вторых, существенный рост цен на внутреннем рынке, в особенности на кабельную продукцию (по некоторым позици-

ям до 4 раз), а она составляет значительную часть в общей структуре расходов. Остальные статьи запрашиваемого бюджета ЛЯП на 2021 г. не превышают уровня 2020 г.

Я привел здесь почти полностью текст этой записки, поскольку она хорошо характеризует сложившуюся тогда экономическую ситуацию.

Занятным было письмо от Д. А. Михеева (ведущего экономиста Планово-финансового отдела и секретаря бюджетной комиссии), полученное всеми директорами лабораторий накануне заседания этой комиссии. В нем, помимо прочего, было сказано, что для членов комиссии по рассмотрению проектов бюджетов лабораторий необходимо предоставить 15 экземпляров следующих документов (т. е. принести их с собой на «защиту бюджета»): проект бюджета лаборатории на 2021 г., проект плана закупок на 2021 г. по материальным статьям (статьи 5, 6, 9, 10, 18, 19) в соответствии с формой электронного плана закупок, представленного в системе СЭД, проект плана закупок на 2021 г. по статье 14 «Ремонт» в соответствии с формой электронного плана закупок, представленного в системе СЭД.

На моей памяти ничего подобного ранее не было. Запрос о предоставлении 15 экземпляров документов — это просто шедевр бюрократии и формализма. Зачем столько бумаги? Неужели эти 15 человек (ранее это были просто члены «верхней» дирекции ОИЯИ — 5, максимум 7 человек) действительно принимают судьбоносные решения о дальнейшем развитии науки в нашем Институте? И неужели эти материалы нельзя было размножить централизованно в секретариате ОИЯИ?

О полученном в результате реальном бюджете ЛЯП на 2021 г. можно судить по бюджетному графику на рис. 15. Следует принять во внимание то, что после заседания КПП в марте 2021 г. было принято решение о переносе 2 млн USD в бюджет ЛЯП 2021 г. за счет средств будущего бюджета ЛЯП последнего (2023) года семилетки.

◇

22 сентября Г. В. Домогацкий в контексте обсуждения вопроса финансирования Байкальского проекта в 2020 г. прислал мне и В. Б. Бруданину результаты анализа текущей ситуации и оценку объема необходимого финансирования на октябрь-декабрь 2020 г. Фактически это была модификация таблицы А. А. Дорошенко и И. А. Белолаптикова, уже представленной на рис. 23. Сухой остаток — напряженность с деньгами росла...

◇

В самом начале ноября 2020 г. мне опять звонил Г. В. Домогацкий с традиционным вопросом о деньгах для нашего Baikal-GVD. Я тогда ему сказал, что мы их ищем внутри ЛЯП. Он спросил, нужен ли визит в Дубну В. А. Рубакова (как ему посоветовал В. Б. Бруданин) для того, чтобы повлиять в положительном для нас смысле на директора ОИЯИ. Я сказал, что этого делать не следует, поскольку все, что мог сделать В. А. Матвеев, он уже сделал, а внутри ЛЯП мы справимся сами.

Действительно, в конце октября 2020 г. мы с Г. А. Усовой как раз подготовили очередную корректировку бюджета ЛЯП на сумму 1,4 млн USD в пользу Байкальского проекта. При этом мы «обобрали с разной степенью глубины» 13 тем ЛЯП (включая инфраструктурные расходы), правда, в основном за счет выделенных и не использованных из-за пандемии средств на международное сотрудничество наших сотруников.

◇

Ближе к концу сентября 2020 г. (середина семилетки) в Институте началась кампания по корректировке распределения ресурсов (в основном финансовых) Семилетней программы развития ОИЯИ на 2016–2023 гг. Если корректировка была существенной, требовалось обоснование. Именно такая ситуация образовалась тогда с проектом Baikal-GVD.

В нашем аналитически-обзорном обосновании 28 сентября мы написали, что практически в точности согласно Семилетнему плану несколько лет подряд в ЛЯП (совместно с ИЯИ

РАН) ведется создание крупномасштабного нейтринного телескопа Baikal-GVD. Отставание на один кластер в 2018 г. было обусловлено проблемами на предприятии основного производителя и поставщика кабельной продукции, на которого был ориентирован план создания установки, что выразилось в задержке поставок необходимых элементов детектора. С этим же фактом было связано, в наибольшей степени, и увеличение стоимости создания кластера в последующем, так как альтернативные предприятия предлагали продукцию по значительно более высокой цене. С другой стороны, стало ясно, что запланированное на 2022 и 2023 гг. введение в строй по 3 кластера в год с высоты набранного уже опыта (заключавшегося в обоснованности ввода не более двух кластеров в год) объясняется чрезмерным оптимизмом 2016 г., когда на волне успеха нам показалось, что в рамках организуемых мощностей вполне реально произвести необходимое количество электроники и оптических модулей для трех кластеров. Однако конкретный опыт развертывания показал, что постановка трех кластеров за один сезон экспедиции практически не реальна на данном этапе развития.

Тем не менее, нельзя не считать беспрецедентным успехом для нынешнего этапа развития науки как в России, так и в мире в целом именно такой фактический темп работ по созданию нейтринного телескопа на Байкале. В 2016 г. мало кто реально верил, что в 2020 г. будут работать 7 кластеров установки. Помимо высокой квалификации сотрудников ЛЯП и ИЯИ РАН и хорошей организации практических действий как во время экспедиций на льду озера Байкал, так и в длительный подготовительный период на территории ОИЯИ, решающим условием отмеченного выше успеха было своевременное изменение профиля финансирования этих работ по сравнению с запланированным в семилетке практически «плоским» графиком.

В силу не зависящих от нас обстоятельств бюджет Байкальского проекта должен превысить запланированные в Семилетнем плане 41,15 млн USD как минимум на 4,5 млн USD*, если считать, что задача семилетки для проекта Baikal-GVD состоит лишь во вводе в эксплуатацию 15 (или 16) кластеров установки (как это следует из первой редакции Семилетнего плана ОИЯИ на 2016–2023 гг.). В связи с этим опыт проведенных работ, уникальность уже созданной установки, необходимость тщательного изучения ее возможностей, достигнутый ей рекордный уровень, ее место в ряду аналогов на мировой арене и ряд других обстоятельств, в том числе стремление не сильно выходить за рамки бюджета семилетки, с нашей точки зрения, вполне оправдывают предложение по корректировке Семилетнего плана касательно эксперимента Baikal-GVD.

Предлагалось считать, что обязательства ЛЯП ОИЯИ по созданию нейтринного телескопа Baikal-GVD в рамках Семилетнего плана заключаются теперь в том, чтобы: 1) ввести в эксплуатацию только 12 кластеров, а не 15–16 (план на конец семилетки) и, таким образом, завершить первый этап (фаза 1) создания детектора; 2) использовать 2022–2023 гг. для изучения возможности технологической модернизации установки Baikal-GVD в рамках подготовки следующего этапа развития (фаза 2).

С нашей точки зрения, выглядело вполне разумным, создав столь уникальную для ОИЯИ установку, замедлить на некоторое время (вполне отлаженный) процесс создания и ввода в эксплуатацию новых кластеров и тщательно сконцентрироваться на изучении ее возможностей, в том числе и возможностей технологической модернизации, получении физических результатов и определении на их основе дальнейшей стратегии развития этого крупномасштабного нейтринного телескопа. Например, мыслима ситуация, когда окажется, что для определенного типа физических задач выгоднее (необходимо) размещать новые кластеры на значительном расстоянии от уже имеющейся (достаточно компактной) установки или увеличить плотность расположения оптических модулей на гирлянде.

---

* Необходимых на приобретение кабельной продукции.

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
Бюджет в млн. долларов США (согласно плану 2017-2023)							
5.5	5.65	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	41.15
Бюджет в млн. долларов США (2017-2020 –факт., *2021-2023 -запрашиваемый//ожидаемый*)							
6.7	7.7	8.1	8.8	*8.4*//**4.0**	*5.0*//**4.0**	*3.0*//**2.0**	*47.7*//**41.3**
Число кластеров (интегрально) (согласно плану 2017-2023)							
2	4	6	8	10	12-13	15-16	
Число кластеров (интегрально) (согласно новому плану 2017-2023)							
2	4	6	7	8-9	10	12	
Число кластеров (интегрально) (фактически)							
2	3	5	7				

Рис. 26. Новое финансирование проекта Baikal-GVD (2017–2023) и установки кластеров в детекторе. Символ * маркирует запрос ЛЯП в бюджет 2021 г.

Очевидным бонусом предлагаемой корректировки по проекту Baikal-GVD стало бы исполнение его семилетнего бюджета без каких-либо дополнительных ресурсов (несмотря на отмеченные выше форс-мажорные обстоятельства). Итак, мы предлагали финансирование до конца семилетки иметь в виде таблицы, приведенной на рис. 26.

Аналогичная корректировка была сделана по остальным проектам Нейтринной программы. Бюджет этих проектов на 2021–2023 гг. составлял 6,386 млн USD. На этот период мы просили увеличения финансирования остальных проектов Нейтринной программы на 1,533 млн USD. Основные причины корректировки бюджета следующие: увеличение вклада ОИЯИ в проект JUNO; участие в создании ближнего детектора TAO, одобренное на ПКК 2020 г., но не обсуждавшееся при планировании семилетней программы; новые проекты, одобренные на ПКК 2020 г.: DUNE, MONUMENT.

◇

В выставочном зале ДК «Мир» 10 октября 2020 г. открылась фотовыставка «Байкал. Охотники за нейтрино». О ней была специальная статья-реклама в газете «Дубна: наука, содружество, прогресс» (2020. 15 окт. № 38). Фотографии были сделаны постоянным участником коллаборации Baikal-GVD кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником ЛЯП Баиром Шайбоновым. Фотовыставка открывала сезон юбилейных мероприятий, посвященных 65-летию ОИЯИ, и рассказывала о создании уникальной установки – глубоководного нейтринного телескопа на озере Байкал.

На открытии этой выставки выступал директор ОИЯИ В. А. Матвеев. Он сказал: «Надо быть очень увлеченными людьми, чтобы поверить в возможность поймать эти неуловимые нейтрино. Сегодня Байкальский телескоп – самый мощный нейтринный телескоп в Северном полушарии, и очень приятно, что все это началось в Дубне. В 1960 г. академик М. А. Марков высказал идею, что возможно поймать нейтрино, если создать крупномасштабную установку на глубине моря или озера».

Как директор ЛЯП я тогда сказал, что этот уникальный эксперимент – большое достижение нашей лаборатории: «Много лет назад в отделе, который сейчас возглавляет В. Б. Бруданин, Цветан Вылов и Деже Киш собрали молодых ребят, которые и начали Байкальский проект. Ничего бы не произошло без Г. В. Домогацкого (ИЯИ) и других сотруд-

Первая выставка фотографий Баира Шайбонова в Доме культуры «Мир» в 2020 г.

Участники коллаборации Baikal-GVD в 2019 г. Четвертый справа Баир Шайбонов

ников, которые в течение 20 лет готовили наш успех. Наш Институт в силу своего международного статуса смог выжить в тяжелые годы, когда выстояли не все институты, а затем выполнить масштабные работы и реализовать этот проект».

Автор фотографий Баир Шайбонов рассказал, что он всегда старался, чтобы были представлены все технологические сюжеты, возникающие в экспедиции, но на выставку попали

все-таки не все. Фотографии он делал в любую погоду, в основном днем, есть и ночные. Можно видеть элементы установки, оборудование и участников Байкальской коллаборации, которые в сложных условиях заняты своим любимым делом, и немного – окружающий животный мир. Баир поблагодарил всех, кто организовал эту выставку, в том числе коллег из группы научных коммуникаций ЛЯП.

По завершении (30 октября) презентации в ДК «Мир» эта замечательная выставка фотографий, думаю очень-очень надолго, перекочевала на первый этаж главного корпуса ЛЯП, где ее может увидеть каждый.

◇

В середине декабря 2020 г. Григорий Владимирович Домогацкий звонил и говорил о необходимости подписания документа об организации коллаборации «Байкал» со стороны нового директора ОИЯИ Г.В.Трубникова, а также просил (параллельно) убедить *нашего* Григория Владимировича в том, что для введения двух кластеров крайне недостаточно финансирования в размере 4,8 млн USD в год, надо порядка 6–8 млн USD.

Если мне память не изменяет, с просьбой подписать этот документ под названием «Меморандум о взаимопонимании между организациями – членами научной коллаборации „Байкал“» я пришел к директору ОИЯИ где-то во второй половине декабря 2020 г. Однако Г.В.Трубников посчитал необходимым перед подписанием провести его экспертизу в юридическом отделе ОИЯИ. Эту работу выполнил начальник юридического отдела Антон Юрьевич Харевич сразу после январских каникул 2021 г. Из его служебной записки следовало, что меморандум о взаимопонимании является не самой удачной правовой формой для участия ОИЯИ в реализации проекта по созданию, эксплуатации и развитию Байкальского глубоководного нейтринного телескопа. Этот меморандум не дает ответа на вопросы, связанные с имущественными правами и обязанностями, вытекающими из членства в коллаборации, не содержит каких-либо гарантий относительно вкладов в реализацию проекта после выхода из состава членов коллаборации. Наиболее подходящей правовой формой, считал А.Ю.Харевич, представляется форма сотрудничества на основании инвестиционного договора или соглашения о совместной деятельности, которыми будут определены вклады участников, общее имущество, порядок совместной реализации проекта, порядок бухгалтерского учета вкладов участников проекта, права, обязанности и ответственность членов коллаборации. Документ, содержащий условия финансирования, авторские права, а также условия безопасного производства работ, необходимо согласовать со Службой главного инженера и финансовыми службами ОИЯИ.

После этой записки А.Ю.Харевича началась почти годовая работа по приведению обсуждаемого документа к виду, удовлетворяющему все заинтересованные стороны.

По мнению Г.В.Трубникова, начальный текст из ИЯИ можно использовать в качестве обоснования коллаборации со стороны физики, финансовую сторону надо описывать отдельно, здесь явно нужна помощь юристов. Главное – заключить договор между ОИЯИ и Минобрнауки как «финансистом» ИЯИ РАН. ОИЯИ как международная организация должна курироваться со стороны МИД РФ. Г.В.Трубников упомянул, что этим вопросом он занимался и такой документ находится на подписи у министра науки и высшего образования В.Н.Фалькова. Было еще мнение о том, что из стратегических соображений проект Baikal-GVD нужно «забрать в ОИЯИ», поскольку существует вероятность вообще остаться ни с чем. Сегодня все держится на нормальных человеческих отношениях участников проекта со стороны ОИЯИ и ИЯИ РАН, а если что-то поменяется в министерстве или в самом ИЯИ, то тогда нет уверенности в том, что нас не «обокрадут». Поддержка работ через грант полномочного представителя Правительства России является скользкой темой, поскольку су-

ществует угроза его вывода из ОИЯИ и перевода в другой российский институт, например, путем «сговора» полномочного представителя России (М.М.Котюкова?) с М.В.Ковальчуком.

Видимо, двигаясь в этом направлении, 11 января 2021 г. Г.В.Трубников напряг свои службы (бухгалтерию и т.п.) вопросом про Baikal-GVD. Ему хотелось получить полноценный анализ этого объекта – юридический его статус (где он и у кого на балансе, каковы основные фонды, когда и кто создавал/вносил), понять, «что-сколько-когда» внес ИЯИ РАН, ОИЯИ, другие участники. Нужен был всесторонний анализ взаимодействия ИЯИ РАН и ЛЯП ОИЯИ по этой теме, и желательно к марту 2021 г.

◇

В годовом отчете ЛЯП был отмечено, что в апреле 2020 г. были развернуты и введены в эксплуатацию шестой и седьмой кластеры нейтринного телескопа Baikal-GVD*. «С их вводом эффективный объем телескопа достиг значения 0,35 км^3 в задаче регистрации ливней от нейтрино высоких энергий астрофизической природы. Установка содержит в своем составе 2016 глубоководных детекторов черенковского света на основе больших фотоэлектронных умножителей и работает в режиме постоянной регистрации и накопления данных. Получаемые данные о потоке атмосферных мюонов и нейтрино находятся в хорошем соответствии с ожидаемыми**. Темп счета первых событий от нейтрино высоких энергий находится в согласии с данными о потоке астрофизических нейтрино, полученными на антарктическом нейтринном телескопе IceCube. Совместная работа этих двух крупнейших телескопов Северного и Южного полушарий позволяет вести обзор всего неба в нейтринном излучении, осуществлять поиск астрофизических источников на всей небесной сфере. Детектор Baikal-GVD включен в международные системы многоканальных оповещений с целью поиска и последующего изучения транзиентных астрофизических источников методами многоволновой и многоканальной астрономии».

Эти замечательные результаты 2020 г. были сильно омрачены тем, что 28 декабря с нами не стало Виктора Борисовича Бруданина – начальника отдела становления «нового» Байкальского проекта, главного двигателя этого процесса.

2021

Не успел начаться 2021 г., как 13 января традиционно мне звонил дорогой Григорий Владимирович Домогацкий. Если бы не его настойчивость и поддержка одновременно, то я, скорее всего, не смог бы так отчаянно бороться за «наши» деньги в ОИЯИ. Он легко убедил меня в том, что надо срочно заключать договор на поставку блоков питания для экспедиции уже следующего, 2022 года. Стоимость вопроса была равна 15 млн руб., но это не главное, хотя и очень важное. Самое главное и самое важное – срок исполнения этого договора составляет 9 месяцев. Если не начать, то можно легко опоздать

* *Домогацкий Г.В.* Глубоководный нейтринный телескоп – Baikal-GVD // 36-я Всерос. конф. по космическим лучам, Москва, 28 сент. – 2 окт. 2020 г. https://events.sinp.msu.ru/event/3/sessions/22/20200930.
** *Safronov G.B.* Status of Baikal-GVD: Results of Track Reconstruction // 40th Intern. Conf. on High Energy Physics „ICHEP2020“, 28 July – 6 Aug. 2020; https://indico.cern.ch/event/868940/contributions/3813595.

и сорвать подготовку экспедиции 2022 г. Я дал согласие на заключение такого договора в надежде на то, что дирекция ОИЯИ вернет 2–3 млн USD, недоданных нам в бюджете 2021 г.

Примерно в то же время мы обсуждали с Д. В. Наумовым ситуацию с нашим участием в проекте Baikal-GVD, а также проблемы с отчетами и работами по гранту РНФ и 100-миллионному гранту ИЯИ, в котором мы стали участвовать по просьбе дирекции ОИЯИ. Дмитрий говорил, что ему нужен помощник по ведению этих «грантовых» вопросов. Он сам в то время был сильно сконцентрирован на работе над важной темой по возникновению, распространению и регистрации черенковского света-излучения в установке на озере Байкал. Договорились с ним, что в ближайшие 2 года (до окончания моего срока директорства) он будет главным ответственным лицом в дирекции ЛЯП за проект Baikal-GVD. В известной степени эта договоренность была направлена в будущее.

◇

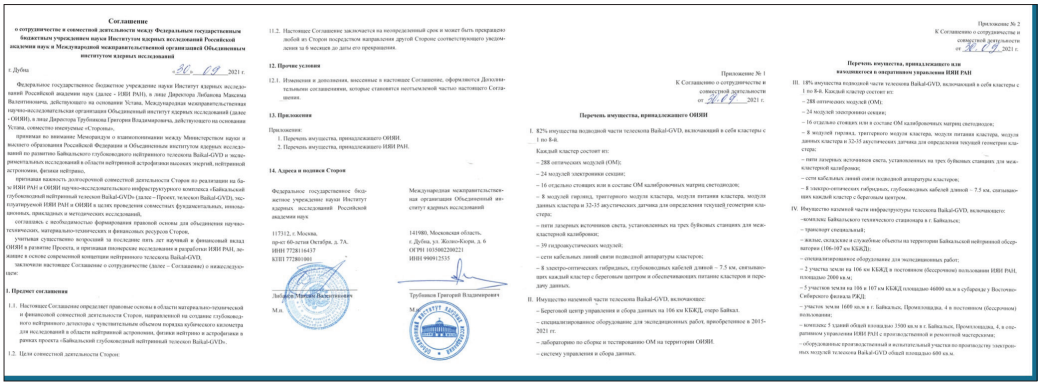
23 января я рассказал Г. В. Домогацкому о письме А. Ю. Харевича и резолюции на нем Г. В. Трубникова. «Плохая» новость состояла в том, что Г. В. Трубников документ о коллаборации Baikal-GVD не подписал и отправил нашим юристам. Более того, в разговоре со мной он выразил удивление тем, что М. В. Либанов (директор ИЯИ) подписал этот документ, не поставив в известность об этом свое (финансирующее) начальство Минобрнауки, что, по словам Г. В. Трубникова, может, в принципе, создать директору ИЯИ проблемы.

Среди хороших новостей я отметил, что Г. В. Трубников ожидает «с минуты на минуту» подписания В. Н. Фальковым полностью подготовленного и полностью согласованного в Минобрнауки (и МИД) Соглашения между ОИЯИ и Минобрнауки, которое мы тоже готовили для подписания, когда министром был еще М. М. Котюков. Я сам видел этот документ с кучей подписей функционеров Минобрнауки. Он полностью готов для подписания В. Н. Фальковым. Это подписание планировалось на ноябрьском КПП в Дубне, однако В. Н. Фальков на него не смог приехать.

Г. В. Трубников считал, что это самый важный шаг, после которого уже (совершенно законно по нынешним временам) можно будет делать все остальные, в том числе и оформлять документ о коллаборации Baikal-GVD. Он предложил оставить в уже подготовленном нами документе о коллаборации только научно-организационную часть, не затрагивая финансовые обязательства сторон и все, что связано с этим. Он считал, что конкретные ресурсные (в том числе финансовые) обязательства всех сторон можно будет потом оформить в виде дополнительных соглашений (если я его правильно понял). Примерно так, как советовал юридический отдел ОИЯИ. Но этот вопрос можно будет решать в более или менее рабочем порядке после подписания документа ОИЯИ–Минобрнауки.

«Г. В. Трубников, – написал в ответ Г. В. Домогацкий, – явно хочет нам объяснить, что будем действовать по этому документу – сначала договор с Минобрнауки подпишем, затем создадим рабочую группу, затем группа примет решение создать Положение о коллаборации (которое у нас уже подготовлено). Параллельно с этим возникнут вопросы о договорах ИЯИ–ОИЯИ по инфраструктуре на 2021 г. и новой программе совместных работ по теме на 2022–2023 гг., а также проектах распределения средств на следующую семилетку 2024–2030 гг. Г. В. Трубников выстраивает жесткую систему взаимодействия. Все это очень даже и не плохо».

1 марта я посчитал, что пора возобновить наши усилия по поводу оформления документов по коллаборации Baikal-GVD. Поэтому попросил Григория Владимировича Домогацкого прислать мне файлы тех текстов, что я пытался подписать у Г. В. Трубникова в начале года. Имело смысл связаться с нашими юристами, чтобы они помогли нам сформировать всем подходящий текст.



Соглашение
о сотрудничестве и совместной деятельности между Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом ядерных исследований Российской академии наук и Международной межправительственной организацией Объединенным институтом ядерных исследований

г. Дубна 30.09 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (далее – ИЯИ РАН), в лице Директора Либанова Максима Валентиновича, действующего на основании Устава, Международная межправительственная научно-исследовательская организация Объединенный институт ядерных исследований (далее – ОИЯИ), в лице Директора Трубникова Григория Владимировича, действующего на основании Устава, совместно именуемые «Стороны»,

принимая во внимание Меморандум о взаимопонимании между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Объединенным институтом ядерных исследований по развитию Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD и экспериментальных исследований в области нейтринной астрофизики высоких энергий, нейтринный астрономии, физики нейтрино,

признавая важность долгосрочной совместной деятельности Сторон по реализации на базе ИЯИ РАН и ОИЯИ научно-исследовательского инфраструктурного комплекса «Байкальский глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD» (далее – Проект, телескоп Baikal-GVD), экспериментальной ИЯИ РАН и ОИЯИ в целях проведения совместных фундаментальных, инновационных, прикладных и методических исследований,

согласившись с необходимостью формирования правовой основы для объединения научно-технических, материально-технических и финансовых ресурсов Сторон,

учитывая существенно возросший за последние пять лет научный и финансовый вклад ОИЯИ в развитие Проекта, и признавая полезными исследования и разработки ИЯИ РАН, лежащие в основе современной концепции нейтринного телескопа Baikal-GVD,

заключили настоящее Соглашение о сотрудничестве (далее – Соглашение) о нижеследующем:

1. Предмет соглашения

1.1. Настоящее Соглашение определяет правовые основы в области материально-технической и финансовой совместной деятельности Сторон, направленной на создание глубоководного нейтринного детектора с чувствительным объемом порядка кубического километра для исследований в области нейтринной астрономии, физики нейтрино и астрофизики в рамках проекта «Байкальский глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD».

1.2. Цели совместной деятельности Сторон:

11.2. Настоящее Соглашение заключается на неопределенный срок и может быть прекращено любой из Сторон посредством направления другой Стороне соответствующего уведомления за 6 месяцев до даты его прекращения.

12. Прочие условия

12.1. Изменения и дополнения, внесенные в настоящее Соглашение, оформляются Дополнительными соглашениями, которые становятся неотъемлемой частью настоящего Соглашения.

13. Приложения

Приложения:
1. Приложение, принадлежащего ОИЯИ.
2. Перечень имущества, принадлежащего ИЯИ РАН.

14. Адреса и подписи Сторон

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук
117312, г. Москва, проект 60-летия Октября, д. 7А.
ИНН 7728164137
КПП 772801001
Либанов Максим Валентинович
М.п.

Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований
141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6
ОГРН 1035002208221
ИНН 9909127535
Трубников Григорий Владимирович
М.п.

Приложение № 1
К Соглашению о сотрудничестве и совместной деятельности
от 30.09 2021 г.

Перечень имущества, принадлежащего ОИЯИ

I. 82% имущества подводной части телескопа Baikal-GVD, включающий в себя кластеры с 1 по 8-й.
Каждый кластер состоит из:
– 288 оптических модулей (ОМ);
– 24 модулей электронных секций;
– 16 отдельно стоящих или в составе ОМ калибровочных матриц светодиодов;
– 8 модулей гирлянд, триггерного модуля кластера, модуля питания кластера, модуля данных кластера и 32-35 акустических датчика для определения текущей геометрии кластера;
– пяти лазерных источников света, установленных на трех буйковых станциях для межкластерной калибровки;
– 39 гидроакустических модулей;
– сети кабельных линий связи подводной аппаратуры кластеров;
– 8 электро-оптических гибридных, глубоководных кабелей длиной – 7.5 км, связывающих каждый кластер с береговым центром и обеспечивающих питание кластеров и передачу данных;
II. Имущество наземной части телескопа Baikal-GVD, включающее:
– Береговой центр управления и сбора данных на 106 км КБЖД, озеро Байкал.
– специализированное оборудование для экспедиционных работ, приобретенное в 2015-2021 гг.
– лабораторию по сборке и тестированию ОМ на территории ОИЯИ.
– систему управления и сбора данных.

Приложение № 2
К Соглашению о сотрудничестве и совместной деятельности
от 30.09 2021 г.

Перечень имущества, принадлежащего или находящегося в оперативном управлении ИЯИ РАН

III. 18% имущества подводной части телескопа Baikal-GVD, включающий в себя кластеры с 1 по 8-й. Каждый кластер состоит из:
– 288 оптических модулей (ОМ);
– 24 модулей электронных секций;
– 16 отдельно стоящих или в составе ОМ калибровочных матриц светодиодов;
– 8 модулей гирлянд, триггерного модуля кластера, модуля питания кластера, модуля данных кластера и 32-35 акустических датчика для определения текущей геометрии кластера;
– пяти лазерных источников света, установленных на трех буйковых станциях для межкластерной калибровки;
– сети кабельных линий связи подводной аппаратуры кластеров;
– 8 электро-оптических гибридных, глубоководных кабелей длиной – 7.5 км, связывающих каждый кластер с береговым центром.
IV. Имущество наземной части инфраструктуры телескопа Baikal-GVD, включающее:
–комплекс Байкальского технического стационара в г. Байкальск;
– транспорт специальный;
– жилые, складские и служебные объекты на территории Байкальской нейтринной обсерватории (106-107 км КБЖД);
– специализированное оборудование для экспедиционных работ;
– 2 участка земли на 106 км КБЖД в постоянном (бессрочном) пользовании ИЯИ РАН, площадью 2000 кв.м;
– 5 участков земли на 106 и 107 км КБЖД площадью 46000 кв.м у субпирсов у Восточно-Сибирского филиала РЖД;
– участок земли 1600 кв.м в г. Байкальск, Промплощадка, 4 в постоянном (бессрочном) пользовании;
– комплекс 5 зданий общей площадью 1500 кв.м в г. Байкальск, Промплощадка, 4, в оперативном управлении ИЯИ РАН с производственной и ремонтной мастерскими;
–оборудованные производственной и испытательной участки по производству электронных модулей телескопа Baikal-GVD общей площадью 400 кв.м.

Рис. 27. Слайд из отчетного доклада директора ЛЯП в ноябре 2023 г. на НТС ЛЯП

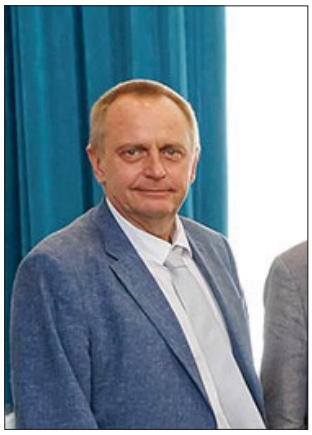
Примерно до 2 сентября 2021 г. шло достаточно бурное обсуждение этого документа, в котором принимали участие, как минимум, Аврорин, Рубцов, Домогацкий, Белолаптиков, Неделько, Харевич, Бедняков и Трубников. В частности, в него было внесено понятие «базовая установка» ОИЯИ. Наконец, 18 октября И. А. Белолаптиков переслал мне документ под названием «Соглашение о сотрудничестве и совместной деятельности между Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом ядерных исследований Российской академии наук и международной межправительственной организацией Объединенным институтом ядерных исследований», подписанный обеими сторонами. Он фактически закреплял исключительное лидерство и некий паритет ИЯИ и ОИЯИ в этом проекте (рис. 27). Этот ключевой документ* был нужен директору ОИЯИ Григорию Владимировичу Трубникову как фиксирующий статус и состояние дел (кто, что и за сколько сделал, кто чем владеет и т. п.), где отражены финансовые отношения между нашими институтами. Для другого Григория Владимировича, Домогацкого, этот документ-соглашение представлял лишь основу для организации международной коллаборации Baikal-GVD.

В начале декабря 2021 г. (после рабочего совещания) по инициативе Г. В. Домогацкого мы вернулись к вопросу о подписании со стороны ОИЯИ изначально предложенного ИЯИ меморандума, задачей которого было определение-описание коллаборации. Актуальность этого действия заключалась в том, что без такого документа-положения по коллаборации Baikal-GVD у Г. В. Домогацкого отсутствовала возможность организовывать сотрудничество с новыми участниками работ по проекту, т. е. он не мог официально (формально) принимать новых членов, поскольку не было положения о том, кто что и как делает.

Действительно, юридический отдел ОИЯИ подтвердил то, что подписанное 30 сентября 2021 г. Соглашение о сотрудничестве и совместной деятельности между ОИЯИ и ИЯИ РАН является документом, на основании которого и создается коллаборация, посредством присоединения к нему иных организаций – членов коллаборации. Было сказано, что в соответствии с Соглашением о сотрудничестве и совместной деятельности между ОИЯИ и ИЯИ РАН, после присоединения к нему новой организации, вклад присоединившейся организации в совместную деятельность, а также иные права и обязанности будут регулироваться отдельным договором. Далее было сказано, что организация, желающая присоединиться к сотрудничеству, должна направить заявление о присоединении в адрес обоих главных участников соглашения (т. е. ИЯИ и ОИЯИ). Вариант образца Протокола о присоединении (вступлении в коллаборацию) был также предложен юридическим отделом ОИЯИ.

* Текст соглашения – в Приложении 12.

А. Ю. Харевич



С. Н. Неделько

Важную роль по определению окончательного вида этого документа сыграли А. Ю. Харевич и С. Н. Неделько.

В результате подготовленный в ИЯИ меморандум (обсуждение которого длилось больше года) так и не был подписан со стороны ОИЯИ. Честно говоря, я не понял, был ли удовлетворен Г. В. Домогацкий решением вопроса об организации коллаборации, предложенным юридическим отделом ОИЯИ. Мне показалось, что практическое применение этого документа в силу внешнеполитической ситуации оказалось малоэффективным.

◇

С 17 февраля по 4 апреля 2021 г. во время очередной экспедиции на озеро Байкал был осуществлен монтаж восьмого кластера глубоководного нейтринного телескопа кубокилометрового масштаба Baikal-GVD. Эффективный объем установки вырос до 0,4 км^3. Как было отмечено по этому поводу в печати Г. В. Домогацким (ИЯИ РАН), руководителем коллаборации Baikal-GVD*, нейтринные телескопы стали важными инструментами многоканальной астрономии — нового мощного метода исследования Вселенной. Baikal-GVD — один из четырех нейтринных телескопов в мире. Остальные три — это IceCube на Южном полюсе, KM3NeT и Antares в Средиземном море. Все они объединены в Глобальную нейтринную сеть (Global Neutrino Network, GNN), созданную для обмена опытом, совместного анализа данных и увеличения общей чувствительности за счет их разного месторасположения.

Нейтринные детекторы размером около кубического километра должны быть чувствительны к малым потокам нейтрино от очень далеких объектов. В 2021 г. крупнейший нейтринный телескоп в Северном полушарии Baikal-GVD успешно набирал данные. По словам Г. В. Домогацкого, уже в 2027 г. эффективный объем установки для регистрации ливневых взаимодействий нейтрино может достигнуть 1 км^3.

◇

13 марта 2021 г. состоялись два исторических события. Первое — министр науки и высшего образования Российской Федерации Валерий Фальков и директор ОИЯИ Григорий Трубников подписали Меморандум о взаимопонимании между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ОИЯИ по развитию Байкальского глубоководного нейтринного телескопа. Церемония подписания состоялась в ледовом лагере в том месте, где подо льдом и развернут нейтринный телескоп. Для мероприятия местным сибирским скульптором был сделан специальный стол изо льда. Максим Либанов, дирек-

* https://dlnp.jinr.ru/en/in-the-media/1321-smi-o-baikal-gvd-2021.

Министр Валерий Фальков и директор ОИЯИ Григорий Трубников подписывают Меморандум о взаимопонимании между Минобрнауки и ОИЯИ. Крайний слева директор ИЯИ Максим Либанов (*Фото: Баир Шайбонов, ЛЯП*)

тор Института ядерных исследований РАН, обратился к почетным гостям с приветственной речью, в которой рассказал об истории создания Байкальского телескопа, о текущем положении дел и о планах дальнейшего развития.

Меморандум нацелен на дальнейшее развитие проекта Baikal-GVD, а также экспериментальных исследований в области нейтринной астрофизики высоких энергий, нейтринной астрономии и физики нейтрино. Этим документом министерство и ОИЯИ подтвердили

На льду озера Байкал все высокопоставленные лица вместе с участниками экспедиции после подписания Меморандума между Минобрнауки и ОИЯИ

Официальный запуск нейтринного телескопа В. Н. Фальковым. Помогает ему И. А. Белолаптиков

Все работают. Включая министра науки и высшего образования...

важность объединения усилий по поддержке существующих и созданию новых крупных физических экспериментальных установок. Меморандум предусматривает всемерное содействие сторон в реализации проекта «Байкальский глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD», увеличение эффективного объема телескопа до кубического километра и его развитие, включая проведение международных исследований. В документе говорится также об экспериментальных исследованиях в области нейтринной астрофизики высоких энергий, нейтринной астрономии и физики нейтрино и подчеркивается значимость укрепления международного научно-технического сотрудничества в этой сфере науки.

Вторым историческим событием был торжественный запуск Байкальского нейтринного телескопа. Министр дал официальный старт началу работы детектора, нажав на кнопку пуска набора данных. Вместе с ним запуск осуществили директор ОИЯИ Григорий Трубников, директор ИЯИ РАН Максим Либанов и ректор ИГУ Александр Шмидт. В церемонии принимал участие губернатор Иркутской области Игорь Кобзев.

Это значимое для ОИЯИ и всей мировой науки событие стало одним из ключевых мероприятий проходившего в России Года науки и технологий. Оно широко освещалось в СМИ. Так, например, 7 мая 2021 г. в новостях АРРЕС появилось сообщение о том, что глубоководный нейтринный телескоп на озере Байкал официально запущен. «Этот уникальный телескоп Baikal-GVD, – говорилось в сообщении, – поможет обнаружить источники нейтрино сверхвысоких энергий, исследовать эволюции галактик и Вселенной, а также решить ключевую задачу формирования мировой нейтринной сети». Было отмечено, что телескоп стал результатом интенсивной работы международного коллектива ученых из

России, Чехии, Словакии, Германии и Польши при ведущей роли Минобрнауки России, ОИЯИ и ИЯИ РАН.

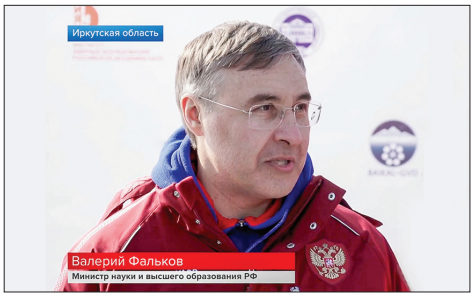
Как стало известно, министр В. Н. Фальков отметил высокую значимость такого рода масштабных проектов для привлечения молодежи в сферу исследований и разработок. Он сказал: «Наука – один из драйверов развития территорий. Проблема многих регионов в том, что молодежь выбирает в качестве места жительства крупные агломерации, города, столичные университеты. Для того чтобы у молодых людей был стимул развиваться на родине, необходимы такие проекты, как тот, который мы сегодня запускаем в Иркутской области. Молодые люди смогут участвовать в научных исследованиях и инженерно-технологических работах на передовом уровне, делать открытия, учиться, увеличивая тем самым научно-технический потенциал своего региона и всей нашей страны. Я признателен нашим коллегам из крупнейших институтов, из ОИЯИ, ИЯИ РАН, которые уже не первый год очень активно работают на Байкале».

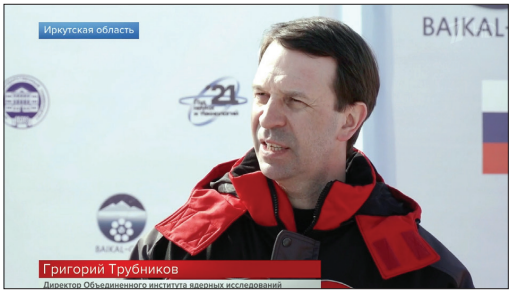
Комментируя запуск флагманского проекта ОИЯИ в области физики нейтрино, Григорий Владимирович Трубников, в частности, сказал: «Запуск Байкальского нейтринного телескопа в год 65-летия ОИЯИ знаменует знаковый этап для развития научной программы нашей международной организации. Это реальный, ощутимый вклад ученых из государств-членов ОИЯИ и прежде всего российского научного сообщества в развитие высокой фундаментальной науки. Поэтому это событие – хороший повод поблагодарить всех тех, чьими руками и интеллектом этот амбициозный проект стал возможен. И, конечно, это весомый мотивационный фактор для молодых и маститых ученых со всего мира активно развивать нейтринную физику, ведя ее к новым научным победам, которые неизменно конвертируются в технологические прорывы, обеспечивающие комфортную жизнь человека».

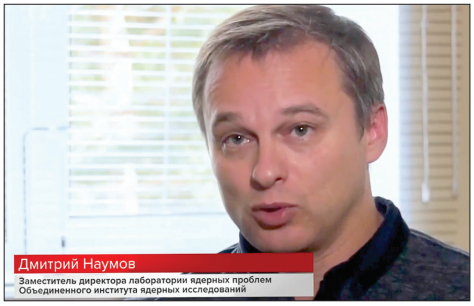
14 марта Виктор Анатольевич Матвеев переслал 25 сотрудникам руководства ОИЯИ ссылки на опубликованные СМИ репортажи о визите министра В. Н. Фалькова и директора ОИЯИ Г. В. Трубникова на Байкальскую станцию глубоководного нейтринного телескопа. Это был пятиминутный сюжет, показанный по Первому каналу ТВ в программе «Время» в 21:00. При этом он благодарил Григория Владимировича Трубникова за организацию этого визита и столь значимой презентации этого уникального мегапроекта для стран-участниц ОИЯИ. В. А. Матвеев отметил тогда, что лично для него это исключительно важное событие. С этим проектом, от его непростого начала, связано в его жизни более тридцати лет. Но теперь это уже чудо во плоти. Он также рекомендовал включить эти видеорепортажи в программу демонстраций на табло у входа в административный корпус Института. Помимо этого, он считал, что эти репортажи могут быть причислены к материалам инвентаризации, подтверждающей, что детектор существует не только в расходных платежах, но и в материальном воплощении на Байкале.

На это письмо В. А. Матвеева я ответил, что, строго говоря, этот успех стал возможным только благодаря директору ОИЯИ, разрешившему и поддержавшему инициативу из ЛЯП, а также благодаря директору ЛЯП, в которой было подготовлено и сделано все, что так успешно работает на озере Байкал и чем гордится наша страна в лице министра и нынешнего директора ОИЯИ. Действительно, ни предыдущий директор ОИЯИ А. Н. Сисакян, ни предыдущий директор ЛЯП А. Г. Ольшевский такой мысли-возможности в голове не держали.

При этом совершенно нельзя забывать о роли Валерия Анатольевича Рубакова (его поддержка лично для меня была решающей), Григория Владимировича Домогацкого и, безусловно, дорогого нам Виктора Борисовича Бруданина. Последние два, без сомнения, – ключевые фигуры в реализации этого проекта. Но не следует забывать, что сама возможность этой реализации была создана и обеспечена только директором ОИЯИ (В. А. Матвеев) и







Кадры из программы «Время» от 13 марта 2021 г.

директором ЛЯП (В. А. Бедняков). Лично мне никакого признания не надо, я умышленно не поехал на Байкал 13 марта 2021 г. и не давал никаких интервью по этому поводу. Я рад тому, что дело идет, и идет так здорово. Мне этого достаточно. Я «послал» туда моего заместителя, ответственного за Нейтринную программу ОИЯИ, Д. В. Наумова с информационно-аналитической командой, делегировав ему все полномочия, считая, что ему участие в таком мероприятии значительно важнее.

В этом же письме я обратился к Виктору Анатольевичу как к научному руководителю ОИЯИ с просьбой, с моей точки зрения, как практического, так и стратегического характера. В связи с замечательными событиями на озере Байкал я посчитал возможным тогда просить директора ОИЯИ разрешить И. А. Белолаптикову выйти на защиту кандидатской диссертации в диссертационный совет ЛЯП без предоставления тома диссертации, т. е. дать возможность ему защититься по докладу и автореферату. Я понимал, что это противоречит принятым в ОИЯИ общим правилам, но считал, что на видимой перспективе единственное в своем роде исключение можно сделать только для Игоря Белолаптикова, что безусловно пойдет и на пользу всего проекта Baikal-GVD.

Виктор Анатольевич поблагодарил меня за откровенное письмо и имена наших коллег, посвятивших этому уникальному проекту столько сил и таланта. Особенно было жалко и обидно, что не дожил до этого момента Виктор Борисович. «Сотрудники ЛЯП, – написал В. А. Матвеев, – и ты лично, дорогой Вадим, внесли и вносите огромный вклад в осуществление этого проекта. Здесь не может быть никаких сомнений, и хорошо бы, чтобы в нашем Институте, и не только в нашем, было известно о тех, кому этот проект обязан своим появлением и своими успехами».

Далее Виктор Анатольевич написал: «Надеюсь, что ты не будешь судить меня строго за то, что я не удержался упомянуть, что поддержка этого проекта связывает меня с ним уже более 30 лет. Конечно, имена М. А. Маркова и Г. В. Домогацкого – это соль проекта. Но сколько было проблем с самого начала этого пути. Благодаря тому, что удалось добиться включения этого проекта в первую и единственную когда-либо упоминаемую национальную программу по физике высоких энергий, которую А. А. Логунов смог сформировать и утвердить в правительстве СССР в 1987 г., а мне пришлось по голову влезть в эту работу, стало вообще возможно решить такие проблемы, как получить разрешение создать центр в национально охраняемой зоне Байкала, в том числе создать береговую базу и, еще очень важно, получить разрешение на использование водных ресурсов Байкала, без чего нельзя было и думать о погружении на его дно такого инженерного комплекса! В этом нам оказал огромную помощь Н. П. Лаверов. Я просиживал в Президиуме РАН рядом с ним многими днями и часами, чтобы он, пользуясь своими связями и своим авторитетом, обзванивая министров и людей с большими и высокими полномочиями, мог найти и пробить схему решения этих проблем. И ведь удалось!»

Я считаю эту цитату из письма В. А. Матвеева исторически крайне важной. Уже тогда, в 2021 г., про эту работу мало кто знал и помнил. А помнить надо! Очевидно, что без *этой* работы ничего бы *вообще сегодня* не было.

Я же только хотел подчеркнуть, что без совместных усилий В. А. Матвеева как директора ОИЯИ и В. А. Беднякова как директора ЛЯП на современном этапе (с 2013 г.) реализации Байкальского проекта вся огромная и важная работа на предыдущем этапе этого проекта (таких замечательных ученых, как Марков, Логунов, Матвеев, Домогацкий и его команда) могла бы просто пропасть даром. Это было бы крайне несправедливо. Могущество нашего Института не позволило состояться такой пропаже.

По поводу Игоря Белолаптикова В. А. Матвеев согласился поддержать мою инициативу, хотя вопрос считал непростым. Собственно, как председатель Аттестационной комиссии ОИЯИ он должен был бы найти путь к решению этой проблемы. Мне же хотелось найти положительное решение до завершения экспедиции, поскольку имелись особенно благоприятные условия, а потом вся эйфория от запуска может сойти на нет и аргументы в пользу такого исключительного решения могут восприниматься не так убедительно.

К сожалению, так и произошло. Директор ОИЯИ не нашел наши аргументы убедительными, сколько я ни старался.

Н. А. Русакович и А. А. Кульков

Тем не менее, где-то в мае 2022 г. в обсуждениях с Н. А. Русаковичем и А. А. Кульковым проблемы с защитой кандидатской диссертации И. А. Белолаптиковым возникла идея о том, как поднять престиж, да и зарплату Игоря Анатольевича Белолаптикова в ЛЯП (и в целом в коллаборации). Николай Артемьевич предложил назначить его на должность начальника установки Baikal-GVD. Я поговорил с начальником нашего отдела кадров О. А. Аксеновой, с начальником отдела Е. А. Якушевым, и мы начали двигаться в сторону положительного решения данного вопроса. Довольно скоро такое назначение произошло — 1 октября 2022 г. Игорь стал полноценным и всеми уважаемым начальником установки Baikal-GVD.

◇

В продолжение темы о «пропаганде» нашего Байкальского проекта 1 апреля 2021 г. Женя Якушев прислал директору ОИЯИ и директору ЛЯП ссылку на информацию о Байкальском проекте в газете «Нью-Йорк Таймс» под заголовком «Hunting Ghost Particles Beneath the World's Deepest Lake. A neutrino-spotting telescope beneath the frozen Lake Baikal in Russia is close to delivering scientific results after four decades of setbacks». Опуская технические детали из этого текста, приведу здесь только красивые фотографии с оригинальными подписями к ним.

◇

В начале мая свет увидел новый научно-популярный фильм про запуск Байкальского нейтринного телескопа и про другие интересные и важные события на озере Байкал, произошедшие весной 2021 г. Этот фильм под названием «Вселенная в нейтринном телескопе» был создан силами Лаборатории ядерных проблем (группы научных коммуникаций, Семеном Гурским и др.) по сценарию и при непосредственном участии Дмитрия Вадимовича Наумова.

◇

В августе был разговор с Г. В. Домогацким по поводу так называемого официального запуска телескопа на Байкале. В частности, мы согласились с тем, что это мероприятие было использовано иркутянами весьма успешно для собственной рекламы, которая была уж слишком откровенно именно на них направлена. Помимо того, был и наш основной вопрос

a) Grigori V. Domogatski, a Russian physicist, has led the quest to build the observatory for 40 years. *b*) The telescope sits two miles off the southern coast of Lake Baikal in Siberia. The bottom of the lake is more than a mile down, making it the deepest lake in the world. *c*) Yevgeny Pliskovsky, a scientist, monitoring data from a building on Lake Baikal's shore. *d*) Researchers take a tea break inside a van at the site of the observatory. *e*) Buoys wait to be paired with the spherical light detectors before being submerged beneath the ice. *f*) Despite the project's significance, it operates on a modest budget, with almost all of the roughly 60 scientists spending February and March at their camp in Baikal, installing and repairing its components

о деньгах — нужно было найти 1,5 млн USD на кабель до начала второй половины 2022 г., чтобы успеть подготовиться к экспедиции 2023 г.

15 октября Г. В. Домогацкий прислал мне записку о ходе работ по созданию нейтринного телескопа Baikal-GVD с комментариями по финансированию на 2022 г. В ней было написано, что природные условия последних десятилетий, техническая оснащенность и уровень квалификации участников коллектива байкальской коллаборации позволяют рассматривать ввод двух кластеров (288 оптических модулей в каждом) ежегодно в период зимних экспедиций как опорную точку при планировании работ по созданию полномасштабного детектора с эффективным объемом около одного кубического километра.

«В октябре 2021 г. установка работала на протяжении более 6 месяцев в составе восьми кластеров. Планом работ зимней экспедиции 2022 г. предусматривается постановка очеред-

Кадры из фильма «Вселенная в нейтринном телескопе»

ных двух кластеров. Финансирование в 2021 г. обеспечивает вполне удовлетворительный ход подготовки и испытаний оборудования. Вместе с тем, планируемые расходы на 2022 г. (около 6,0 млн USD*) несут в себе очевидные предпосылки невыполнения планов зимней экспедиции 2023 г., так как практически полностью не поддерживается финансированием одна из краеугольных составляющих проекта – система глубоководных кабельных коммуникаций. Изготовление кабелей производится на отечественных предприятиях по проектам, разработанным нами совместно с заводами-изготовителями, и предусмотрено в их годовых планах работ на 2022 г. Объем необходимого финансирования составляет при этом 1,5 млн USD».

Годичная пауза, по мнению Г.В.Домогацкого, чревата не только тем, что в экспедиции 2023 г. мы не сможем сделать еще один шаг в развитии детектора, а должны будем ограничиваться работами по ремонту действующего оборудования, но и разрушением всей налаженной нами цепочки изготовления специализированной кабельной продукции. Заводы будут вынуждены осваивать другую номенклатуру изделий в поисках солидных заказчиков. Масштаб влияния такого торможения на сроки создания детектора Baikal-GVD не поддается точной оценке, но можно с уверенностью утверждать, что это не менее двух лет.

Вот такая тогда – параллельно празднованию запуска Baikal-GVD – была, как говорится, «структура момента».

◇

15 ноября Д.В.Наумов проинформировал меня о создании сайта** про наш Байкальский проект под названием «Нейтринный телескоп Baikal-GVD. Прошлое, настоящее, будущее». Сайт-проект был создан медиа «Верблюд в огне» при поддержке фонда «Озеро Байкал».

На последней странице этого сайта приведены слова Д.В.Наумова о том, что главный практический результат эксперимента ученые видят в построении глобальной физической картины. «Это естественный интерес, любопытство, попытка попробовать зайти туда, куда человечество еще не дотягивалось. Этим же, наверное, руководствуются и альпинисты, покоряющие разные вершины. Любопытство, чтобы попробовать понять, как устроен наш мир, – это для нас главный драйв. Возможно, в далеком будущем ученые смогут воспользоваться опытом создания нейтринных телескопов, – в теории, при помощи нейтрино можно

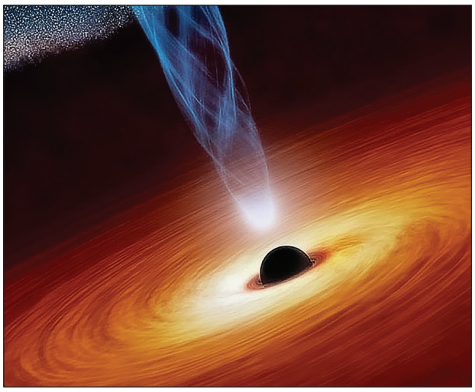
Первая страница сайта «Нейтринный телескоп Baikal-GVD»

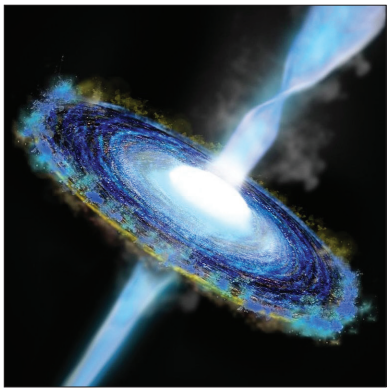
* Напомню, что даже эти деньги на 2022 г. были, так сказать, несколько под вопросом в силу измененного нами ранее профиля финансирования Семилетнего плана.
** https://verbludvogne.ru/baikal-gvd/.

исследовать состав Земли или изобрести принципиально новый вид связи. Но пока, в ближайшее десятилетие, ученые со всего мира будут приезжать на Байкал, совершенствовать установку и ждать посланников из далеких галактик – загадочные частицы нейтрино», – написал Д.В.Наумов. Трудно с этим не согласиться...

Как было написано в одном из последних выпусков газеты «Дубна: наука, содружество, прогресс» за 2021 г., сотрудники ЛЯП получили новогодний подарок из космоса – нейтринный телескоп на Байкале обнаружил сигнал от вспыхнувшего радиоблазара.

Действительно, 8 декабря 2021 г. ученые нейтринной обсерватории IceCube на Южном полюсе объявили о наблюдении трека – кандидата на астрофизическое нейтрино с оценкой энергии порядка 172 ТэВ. В той области, где предположительно родилось нейтрино (об этом можно судить по направлению прихода частицы), расположен один из самых ярких на небе радиоблазаров – PKS 0735+17. Событие выделяется из ряда многих других: этот радиоблазар испытывает самую мощную вспышку в гамма-диапазоне и видимом излучении за всю историю наблюдений за ним. Также возросла его яркость в рентгеновских лучах, и была вспышка в радиодиапазоне. Совпадение времени регистрации нейтрино с такой мощной вспышкой блазара – второе за всю историю наблюдений IceCube.



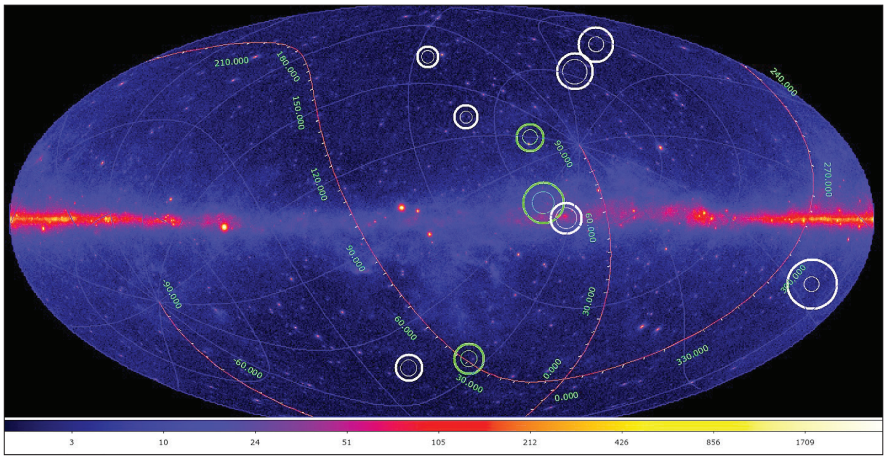


Возможные изображения блазара

В «астрономической» телеграмме, направленной 14 декабря Ж.М.Джилкибаевым и О.В.Суворовой (ИЯИ РАН) от имени коллаборации Baikal-GVD, сообщалось, что через четыре часа после нейтринного сигнала, обнаруженного IceCube, в данных эксперимента Baikal-GVD найдено взаимодействие другого нейтрино с оценкой энергии 43 ТэВ, пришедшего из того же направления. Впервые два крупнейших в мире нейтринных телескопа – IceCube в Южном полушарии и Baikal-GVD в Северном – обнаружили нейтрино от одного возможного источника. Мощная вспышка блазара и наблюдение двух нейтрино из одного и того же источника представляют собой суть уникальности этого события. Согласно современным представлениям, радиоблазары являются наиболее вероятными источниками нейтрино сверхвысоких энергий*.

В годовом отчете ЛЯП было отмечено, что в начале марта 2021 г. в ходе визита министра науки и высшего образования РФ В.Н.Фалькова состоялся официальный ввод в эксплуатацию Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD в составе восьми кластеров (2304 оптических модулей). Эффективный объем детектора в задаче регистра-

* Данные Минобрнауки: https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka-i-obrazovanie/45306/.



Положение первых десяти кандидатов на астрофизические нейтринные события в Baikal-GVD на небесной карте с источниками FERMI-LAT в галактической системе координат. Внутренняя и внешняя окружности вокруг событий соответствуют вероятности регистрации 50 и 90%

ции событий от нейтрино высоких энергий (свыше 100 ТэВ) достиг в этом году значения, близкого к 0,4 км^3, что делает его крупнейшим нейтринным телескопом Северного полушария. При анализе данных, полученных при работе детектора в конфигурациях 2018, 2019 и 2020 гг., были выделены первые 10 кандидатов на события, инициированные нейтрино высоких энергий астрофизической природы. Выполнен анализ данных, и опубликованы первые результаты поиска событий от нейтрино на детекторе Baikal-GVD, ассоциированных с оповещениями антарктического детектора IceCube*.

2022

Начало 2022 г. ознаменовалось вторым по счету, но не менее историческим, чем первое в 2014 г., заседанием научно-консультативного комитета (Scientific Advisory Committee) по Байкальскому нейтринному проекту, которое состоялось 28 января в интерактивном режиме.

В заседании SAC приняли участие Zhen Cao из Китайской академии наук, Альбрехт Карле из Университета Висконсина, Виктор Матвеев из ОИЯИ, Валерий Рубаков из ИЯИ, Кристиан Шпиринг из DESY, Мишель Спиро из CEA (Париж), Сергей Троицкий из ИЯИ и Элс де Вольф из Nikhef (Амстердам). На нем по статусу Байкальского проекта выступили Игорь Белолаптиков, Жан Джилкибаев, Ольга Суворова и Владимир Айнутдинов. Помимо них еще были выступления Кристиана Шпиринга, фрау де Вольф и Альбрехта Карле.

21 февраля Валерий Анатольевич Рубаков (председатель SAC) направил всем заинтересованным в проекте Baikal-GVD лицам (по моим подсчетам, более 20 адресатов) рекомендации** этого научно-консультативного комитета. Аннотация этого текста-рекомендации начиналась со слов о выдающемся прогрессе, достигнутом коллаборацией с 2014 г. Этот прогресс включал в себя новые инфраструктуры как на озере Байкал, так и в Дубне и Москве, полномасштабное производство и тесты качества всех компонентов детектора, профессионализм в установке оборудования, его мониторировании и калибровке, автоматизацию больших потоков данных, а также первые шаги в мультидисциплинарной астро-

* *Allakhverdyan V.A. et al.* Neutrino Telescope in Lake Baikal: Present and Nearest Future // PoS ICRC2021. 2021. 002; doi: 10.22323/1.395.0002; *Аврорин А.В. и др.* Глубоководный черенковский детектор в озере Байкал // ЖЭТФ. 2021. Т.161, вып. 4.

** Рекомендации этого заседания SAC можно найти в Приложении 13.

физике. Было также сказано, что детектор уже достиг половины своего размера и стал самым большим нейтринным детектором в Северном полушарии, полноценно участвующим в Глобальной нейтринной сети (GNN).

Тем не менее, несмотря на заметные успехи, был подчеркнут (отмеченный еще в 2014 г.) дефицит в монте-карловском моделировании детектора и анализе данных, хотя SAC отметил возросшую роль молодых ученых в проекте. Несмотря на присоединение двух иностранных групп ученых, по мнению членов SAC, для широкого спектра проводимых работ 70 членов коллаборации крайне недостаточно (по сравнению с 350 в IceCube и 250 в KM3NeT). Предлагалось активно искать новые институты-коллаборанты, в том числе российских экспертов в компьютинге, обработке данных и астрофизике. Все это должно повысить уровень общей научной культуры в коллаборации. Кроме того, члены SAC приветствовали планы коллаборации по увеличению рабочего объема установки до размера 10 км^3, отмечая при этом совершенно новый ее качественный уровень.

Валерий Анатольевич поблагодарил всех за участие в подготовке и проведении заседания SAC, а еще больше – за постоянную поддержку этого замечательного, по его словам, проекта. В свою очередь, Григорий Владимирович Трубников высоко оценил этот «очень ценный документ» и выразил уверенность в том, что международная коллаборация Baikal-GVD возьмет его максимально оперативно в работу и все рекомендации SAC будут воплощены в жизнь в самые ближайшие годы, в том числе при поддержке Минобрнауки РФ.

По этому поводу замечу, что при всем уважении и международной значимости проделанной членами SAC работы, если бы меня спросили, что нового и неизвестного открыло мне прочтение резолюции SAC, то я бы затруднился сразу ответить. Дело в том, что за исключением некоторых второстепенных вопросов «общекругозорного характера» все главные недостатки нашей деятельности мы сами хорошо знали и постоянно прилагали усилия для их преодоления. Я бы даже сказал, что выглядели несколько навязчивыми и даже где-то обидными постоянные указания на необходимость увеличения числа членов коллаборации и необходимость придания ей международного статуса. Если бы все это было так легко, наверное, мы бы это уже давно сделали, но, к сожалению, реалии нашей жизни не позволяли нам этого. Тем не менее, нельзя не согласиться с тем, что этот документ важен глубиной компетентного анализа, своей международной экспертизой и научно-политической значимостью.

◇

Запуск Байкальского телескопа министром науки и высшего образования РФ и подписание Меморандума Минобрнауки – ОИЯИ на льду озера Байкал весной 2021 г. не только всколыхнуло научную и научно-популярную общественность, но и стало импульсом, обратившим внимание ответственных лиц Минобрнауки на перспективность нейтринных исследований в нашей стране. Были приняты некоторые решения по поддержке и активизации работ в этом направлении.

В министерстве началась «движуха». Ее отголоском, в частности, стало то, что в начале весны 2022 г. директор ОИЯИ Григорий Владимирович Трубников «поручил» руководителям ИЯИ в лице М.В.Либанова и ЛЯП в лице Д.В.Наумова добыть, как он выразился, деньги на проект Baikal-GVD в Минобрнауки путем подготовки соответствующего обосновательного документа от имени ИЯИ (поскольку Минобрнауки было и остается финансирующей организацией для ИЯИ РАН). Он сказал, что уже с кем надо в министерстве о такой возможности «договорился».

Действительно, после последнего в 2021 г. декабрьского НТС ОИЯИ мне удалось поговорить с Г.В.Трубниковым несколько минут по жизненно важному вопросу финансирования Байкальского проекта в 2022 г. На наше предложение рассмотреть возможность дополни-

тельного финансирования проекта Baikal-GVD в 2022 г. в размере (необходимых на кабельную продукцию) 1,5 млн USD за счет министерства В.Н.Фалькова он отозвался в целом положительно, эта идея не вызвала негатива, он даже сказал, что это возможно решить на уровне директора ИЯИ (видимо, с его личной помощью).

Поскольку этой задачей от ЛЯП занимался Д.В.Наумов, лично я в нее не вникал и деталей не знал, однако на деле оказалось, что денег от этого министерства на проект Baikal-GVD нам не перепало, более важным для Минобрнауки оказалось создание новой лаборатории в Иркутске для будущих молодых исследователей нейтрино. В результате спасать ситуацию — находить деньги для Байкальского эксперимента — как обычно, пришлось за счет внутренних резервов ЛЯП.

В продолжение этой эпопеи 25 марта 2022 г. Д.В.Наумов переслал мне письмо А.О.Дряхлова* с информацией о том, что министр одобрил выделение МИФИ государственного задания на проведение аналитической работы, предусматривающей системный анализ, оценку состояния и прогнозирование развития фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области физики нейтрино и астрофизики частиц в мире и Российской Федерации. Дряхлов с коллегами из МИФИ далее должен был провести это решение через Бюджетную комиссию Минобрнауки России.

После этого 1 ноября последовал официальный запрос в ОИЯИ от А.М.Романова — «предоставить в НИЯУ МИФИ сведения о проектах по направлениям фундаментальных и прикладных исследований в области физики нейтрино и астрофизики частиц, включая аналитические и прогнозные проекты, а также проекты по разработке и внедрению технологий, имеющих критически важное значение для создания инструментов исследования Вселенной и прикладного применения нейтрино и космических лучей согласно приложению».

15 ноября подготовленный сотрудниками ОИЯИ требуемый документ (в виде приложений 1, 2, 3 по совокупности на 48 страницах) был отправлен П.Г.Сороколетову, начальнику департамента НИЯУ МИФИ. Он содержал вполне конкретные предложения ОИЯИ по реализации и ускоренному развитию перспективных научных проектов на территории России в области физики нейтрино и астрофизики элементарных частиц.

В частности, в нем было сказано, что сначала надо провести обзор научных организаций России и проводимых в них исследований по этой тематике. Затем следовало сформировать приоритетный список исследовательских задач на основе важности и масштаба предлагаемого научного проекта, возможности и сроков его реализации, заинтересованности мирового научного сообщества, «видимости» вклада ученых РФ (в случае международной коллаборации), а также потенциала приобретения в РФ нового знания и новой технологии.

Следующий этап — организовать консорциум научных организаций, объединенных общими целями и задачами по выполнению научных исследований, в приоритетном порядке поддержанных Министерством науки и высшего образования РФ. Он позволит максимально эффективно проводить научные исследования, обеспечит возможность оперативного привлечения новых организаций для решения научных, научно-методических, производственных и образовательных задач в рамках приоритетного научного проекта, а также централизованную организацию конкурсов на финансирование научных коллективов, постдоковских и инженерных позиций. В качестве реализуемого примера предлагалось организовать консорциум российских научных организаций в рамках участия в проекте JUNO (КНР) во главе с ОИЯИ. В этот консорциум в первую очередь могли бы войти ОИЯИ, ИЯИ РАН, МГУ, НИИЯФ МГУ.

---

* Референт Департамента государственной научной и научно-технической политики Минобрнауки.

Это была консолидированная точка зрения нейтринного сообщества ОИЯИ. Всю необходимую работу в короткий срок организовал и провел Д.В.Наумов вместе с начальниками ведущих отделов ЛЯП А.Г.Ольшевским и Е.А.Якушевым.

Однако у меня лично осталось чувство недоумения (это по меньшей мере). Оно основано на том, что ученые МИФИ ни при каких условиях не могли быть тогда законодателями мод в исследованиях по физике и астрофизике нейтрино. С моей точки зрения, которую я неоднократно доводил до сведения научной общественности на разного рода совещаниях (ПКК, Ученый совет, КПП), нет в мире другого такого института, нейтринная программа исследований в котором могла бы сравниться с нашей по широте охвата и участия в ключевых нейтринных экспериментах. Это во-первых, а во-вторых, как минимум до конца моего срока директорства в ЛЯП никаких положительных результатов нашей кропотливой работы по этому поводу я так и не обнаружил.

◇

В середине лета 2022 г. к нам в ОИЯИ «по касательной» попало предписание Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК), направленное директору ИЯИ М.В.Либанову, по устранению выявленных нарушений, связанных с размещением и использованием на территории РФ иностранных технических средств наблюдения и контроля. Фактически речь шла о системе гидроакустического позиционирования на основе гидроакустических модулей, разработанных членом научной коллаборации Baikal-GVD – компанией EvoLogics (Берлин, Германия) и поставленных в Россию в рамках договора с ОИЯИ. Проблема была в том, что в соответствии с имевшимися тогда положениями данное научное оборудование могло быть квалифицировано как «иностранное техническое средство наблюдения и контроля». При этом запрос о возможности его размещения и использования на территории РФ в адрес ФСТЭК РФ Институтом ядерных исследований РАН в нарушение соответствующего положения не направлялся. Именно это ФСТЭК РФ предписывала ИЯИ исправить до конца сентября 2022 г.

Пикантность ситуации заключалась в том, что: а) уже много лет такое оборудование использовалось на озере Байкал; б) отказ от него фактически означал силовое завершение проекта Baikal-GVD; в) оборудование было закуплено на деньги ОИЯИ и фактически ему и принадлежало. По этой причине соответствующие службы ОИЯИ почувствовали возможность серьезных проблем и для ОИЯИ, особенно в свете начавшейся тогда СВО.

По этой причине главным инженером ОИЯИ Б.Н.Гикалом в ЛЯП 12 августа было собрано совещание с участием представителей юридической и таможенной служб ОИЯИ, на котором была обсуждена возникшая для ОИЯИ проблема и необходимые действия, чтобы помочь ИЯИ и обезопасить ОИЯИ от возможного «визита» представителей ФСТЭК.

Акцент в обсуждении был направлен на вопросы о том, имеется ли у ОИЯИ разрешение на использование такого иностранного оборудования, за что отвечает ИЯИ, если эти модемы принадлежат ОИЯИ, то мы их никому не передаем, а используем для своих научных целей совместно с ИЯИ, они стоят на балансе ЛЯП ОИЯИ, и, наконец, не было ясно – введено ли в эксплуатацию наше оборудование на территории, принадлежащей ИЯИ РАН. Помимо этого, Д.В.Наумову было поручено связаться с директором ИЯИ М.В.Либановым и выяснить, чем конкретно ОИЯИ может помочь ИЯИ в данной ситуации.

Параллельно, со своей уже стороны, мы в ОИЯИ предприняли попытки усовершенствовать имеющееся у нас с ИЯИ соглашение по Байкалу, чтобы исключить двусмысленность трактовки этого вопроса.

30 августа юридический отдел ОИЯИ в соответствии с договоренностями, достигнутыми на упомянутом совещании по вопросу правового статуса оборудования ОИЯИ, используемого в проекте Baikal-GVD, подготовил ряд поправок к генеральному Соглашению о сотрудничестве между ОИЯИ и ИЯИ РАН от 30 сентября 2021 г. в виде проекта дополнительного

В. А. Бедняков, В. А. Матвеев, Б. Н. Гикал

соглашения №1 и приложений к нему. После повторного обсуждения этого документа 1 сентября 2022 г. были учтены все замечания, и юридический отдел предоставил окончательно скорректированный вариант этого дополнения к Соглашению с четким разделением собственности каждой из сторон. Первоначально при подготовке проекта документа исходили из того, что в рамках проекта Baikal-GVD у ОИЯИ и ИЯИ РАН не возникает права общей собственности на используемое оборудование. При этом предполагалось, что, прежде чем передавать это дополнительное соглашение для согласования в ИЯИ, необходимо было провести проверку в службе материально-технического снабжения ОИЯИ номенклатуры оборудования с особым статусом.

Насколько я помню, эта деятельность не закончилась подписанием дополнительного соглашения с ИЯИ (оно не было туда направлено), видимо, по той причине, что сотрудники ИЯИ РАН сами смогли разрешить возникшую проблему с ФСТЭК. Иными словами, помощь ОИЯИ в этом деле не понадобилась, тем не менее почти два месяца сотрудники различных подразделений Института занимались этим вопросом.

◇

15 сентября 2022 г. на вопрос главного ученого секретаря ОИЯИ С. Н. Неделько о том, зачем нужно наращивать рабочий объем Байкальского нейтринного телескопа, я привел нижеследующие (принадлежащие Г. В. Домогацкому) аргументы в пользу достаточно срочной необходимости наращивания объема Baikal-GVD до 1 км^3.

1) Скорость набора статистики будет сравнима (почти совпадать) с той, что имеется на Южном полюсе у телескопа IceCube. Это позволит «глядеть на», изучать и в известном смысле контролировать все космическое пространство на одном и том же статистическом уровне. А с учетом преимуществ Северного полушария для наблюдения центра нашей Галактики это позволит нам опережать IceCube в получении важнейшей информации о том, что творится в этом центре.

2) Фактически это означает, что Baikal-GVD становится не только полноценным, но и решающим, важнейшим звеном Глобальной нейтринной сети.

3) Наш конкурент в Северном полушарии — KM3NeT (совместный европейский проект) сильно активизировался (похоже, как раз после успехов Baikal-GVD) и в ближайшее время

серьезно нацелен на создание распределенной установки в Средиземном море сравнимого с Baikal-GVD рабочего объема. Наблюдаемые темпы их роста велики. Поэтому, со слов Г.В.Домогацкого, имеется угроза потери лидерства в этом деле.

4) Помимо этого, есть еще весьма амбициозный проект, если я не ошибаюсь, у берегов Канады*. Но это пока только проект, хотя сам интерес к такого рода прибору уже настораживает. Канадский интерес может слиться с европейским, последствия такого события могут быть неприятными для нас.

5) Объем Baikal-GVD в 1 км^3 означает существенное увеличение кластеров – количество их переходит в (дает) новое качество установки. Это открывает возможность систематического изучения многокластерных нейтринных событий, в частности, событий, вызванных тау-нейтрино сверхвысоких энергий, поскольку топология таких событий отличается заметным увеличением широты конуса разлета продуктов взаимодействия тау-нейтрино с ядрами (вторичные вершины распадов и т.п.).

Через месяц, уже 17 октября, по очередной просьбе С.Н.Неделько, для очередного официального обсуждения необходимости и значимости Baikal-GVD я в очередной раз сформулировал основные задачи, которые в то время решались в рамках Байкальского нейтринного проекта. Это:

1) регистрация и исследование нейтрино от астрофизических объектов в южной полусфере космического пространства и, что особенно важно, нейтрино, возникающих в центре нашей Галактики;

2) определение (совместно с гамма-астрофизикой) источников происхождения и прояснение механизмов генерации космических частиц сверхвысоких (недостижимых в условиях планеты Земля) энергий;

3) поиск сигналов от аннигиляции слабовзаимодействующих массивных нейтральных частиц темной материи в ближайших космических объектах (Солнце, центр Галактики, Земля, Юпитер и т.п.);

4) поиск тяжелых магнитных монополей и других гипотетических частиц внеземного происхождения (странглеты, суперсимметричные, кварковые сгустки, *Q*-боллы и т.п.);

5) изучение угловых и энергетических спектров атмосферных мюонов, которые помимо основного фона для вышеуказанных основных задач имеют и самостоятельное значение, например, с точки зрения понимания сечений взаимодействия нейтрино с веществом;

6) мониторинг гидро(био)физических процессов в озере Байкал и др.

Здесь уместно упомянуть о некотором постоянно присутствовавшем у меня чувстве какого-то неудовлетворения по поводу постановки эксперимента с помощью такого прибора, как телескоп. Меня беспокоило то, что фактически в такой постановке эксперимента мы вынуждены всегда «ждать милости от Природы»: пошлет или не пошлет она нам из космоса интересующее нас нейтрино сверхвысоких энергий. Да, конечно, когда мы надежно его регистрируем – это событие большой физической значимости. Однако обратная сторона этого события – его неповторяемость, т.е. у нас нет возможности повторить именно такой эксперимент, именно с таким нейтрино еще хотя бы один раз. В этом кардинальное отличие, например, экспериментов на Большом адронном коллайдере и экспериментов с нашим глубоководным нейтринным телескопом. Поэтому меня с самого начала интересовала возможность использования телескопа в роли обычного детектора, когда на него откуда-то (из подходящего ускорителя, см., например, рис. 1) бросался бы пучок нейтрино (мюонов) достаточно высоких энергий, и экспериментатор мог бы управлять «ходом этого эксперимента», например, повторяя его необходимое число раз или меняя его начальные условия (скажем, энергию пучка) для проверки своих гипотез и выводов.

---

* Тогда мы еще не знали об амбициозных планах в этом направлении наших китайских коллег.

Как гром среди ясного неба, 19 октября 2022 г. пришла печальная новость о том, что в Сарове скончался Валерий Анатольевич Рубаков. Как написал нам директор ОИЯИ Г.В.Трубников, целый день саровские и нижегородские врачи боролись за его жизнь, однако спасти его не удалось... Светлая память нашему коллеге, выдающемуся российскому ученому и большому другу Дубны...

Из годового отчета ЛЯП за 2022 г. следует, что с вводом в этом году двух новых кластеров во время экспедиции на льду озера Байкал рабочий объем глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD достиг значения 0,4 км^3 в задаче регистрации событий от нейтрино высоких энергий (свыше 100 ТэВ). Детектор содержит в своем составе 10 кластеров глубоководных гирлянд регистрирующей и управляющей аппаратуры (2916 оптических модулей) и является крупнейшим нейтринным телескопом Северного полушария*. При анализе данных, полученных при работе детектора в конфигурациях 2018–2021 гг., были выделены 11 каскадных событий с энергией более 15 ТэВ, инициированных нейтрино астрофизической природы, что на уровне достоверности 3σ подтверждает результаты первого наблюдения потока астрофизических нейтрино высоких энергий на антарктическом детекторе IceCube (рис. 28).

Традиционная общая фотография ледовой команды по завершении экспедиции 2022 г.

* *Allakhverdyan V.A. et al.* (*Baikal-GVD Collab.*). Diffuse Neutrino Flux Measurements with the Baikal-GVD Neutrino Telescope. e-Print:2211.09447 [astro-ph.HE]; Phys. Rev. D. 2023. V.107, No. 4. P.042005.

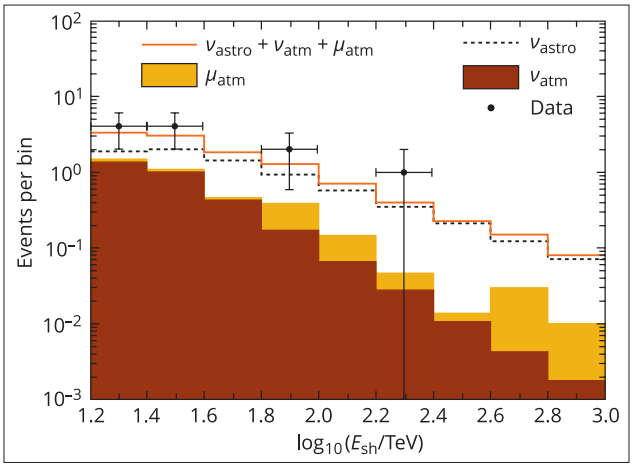


Рис. 28. Распределения по энергии экспериментальных и теоретически ожидаемых событий в рамках анализа каскадных событий из-под горизонта: экспериментальные события – черные точки; распределение событий, ожидаемое от диффузного потока нейтрино астрофизической природы, – штриховая гистограмма; фоновые события от атмосферных мюонов и атмосферных нейтрино – желтая и коричневая области; суммарное число ожидаемых сигнальных и фоновых событий – оранжевая гистограмма

В известном смысле этот физический результат был ответом на прозвучавшую на одном из расширенных заседаний дирекции ОИЯИ претензию к нам в том, что ЛЯП поставляет в годовые отчеты ОИЯИ только новые кластеры и новые числа оптических модулей, а не физические результаты.

2023

29 января 2023 г., почти уже традиционно, Г.В. Домогацкий проинформировал меня письмом о состоянии дел и финансировании байкальских работ. Безусловно, для того, чтобы я не расслаблялся.

О подготовке экспедиции 2023 г. он писал, что с точки зрения готовности состава экспедиции, оборудования, автотранспортных и специальных средств все выглядит достаточно благополучно. Лед обещал быть вполне удовлетворительным. Однако совершенно неожиданно в декабре 2022 г. пришло уведомление от местных властей о том, что в 2023 г. они намерены всерьез следить за соблюдением всех требований техники безопасности при работе и передвижении автотранспортных средств на льду, предусмотренных постановлениями правительства Иркутской области. Г.В. Домогацкий написал, что руководство ИЯИ пытается решить эту задачу так, чтобы это не помешало работе экспедиции. Однако идет все весьма трудно, хотя активно помогает ректор ИГУ и достаточно доброжелателен губернатор Иркутской области.

О подготовке экспедиции 2024 г. Г.В. Домогацкий написал мне, что для изготовления и постановки двух кластеров (13-го и 14-го) необходимо в первом квартале 2023 г. заключить договоры на изготовление в России основных, базовых элементов оборудования, требующего длительных сроков изготовления (6–8 месяцев), и не позже мая получить из Китая прозрачный гель, необходимый для монтажа оптических модулей. По всем этим позициям уже получены коммерческие предложения, и (если опустить детали) сумма затрат составляет 220 млн руб., или 3,1 млн USD при курсе USD/рубль = 70. Расходы на все остальное (материалы, оборудование, транспорт) уже не так жестко привязаны к началу 2023 г. и более или менее равномерно распределены по периоду май–ноябрь 2023 г., но составляют в сумме те же 200–220 млн руб. «Материальный вклад ИЯИ в лучшем случае составит 10 млн

руб. и позволит оплатить изготовление лазерных источников света», – написал Григорий Владимирович. После этого он задал два вопроса мне:

«1. Какую мы принимаем стратегию – все выделенные на тему (в ОИЯИ) средства мы тратим сейчас, заключая основные долгоиграющие договоры, рассчитывая при этом, что 200–220 млн руб. на протяжении мая–ноября будут как-то добавлены? При этом необходимо понимать, что если этих дополнительных средств не будет, то мы не поставим даже одного кластера.

2. Кто доводит понимание настоящей ситуации до Г.В.Трубникова – Вы или я? В моем разговоре летом с Г.В.Трубниковым хотя и была выражена готовность обсуждать со мной финансовые вопросы по мере прояснения общей ситуации с финансированием ОИЯИ в 2023 г., но тем не менее достаточно явно сквозило желание вести подобные обсуждения в кругу сотрудников ОИЯИ (что, впрочем, вполне естественно), увязывая это со всем кругом вопросов развития ОИЯИ и его лабораторий».

В середине того же дня я ответил, что главный вопрос – первый: «Второй для меня очевиден – надо действовать вместе. Ничего страшного нет в том, что Г.В.Трубников не сильно будет радоваться Вашему „вмешательству“. Если все у нас получится, то у дирекции ОИЯИ опять появится возможность похвастаться байкальскими результатами, как это уже неоднократно происходило».

По первому вопросу мне было более или менее очевидно, что (без каких-то экстраординарных усилий или неожиданно благоприятных для нас событий) вторые 3 млн USD в полном объеме вряд ли мы получим в 2023 г.* Я, как директор ЛЯП, буду стараться найти какие-то ресурсы в рамках ЛЯП (не первый раз уже). Именно в этом месте будет важно дополнительное «внешнее давление» на дирекцию ОИЯИ.

Как я понял из письма, возможны два варианта траты «первых» 3 млн USD (запланированных в ЛЯП на 2023 г. по теме). Можно потратить все сразу на ключевые долгосрочные договоры и более или менее гарантированно иметь это оборудование. Если я правильно понял, то здесь есть опасность, что все это оборудование «простоит без дела» до следующего (типа 2025) года. Этот вариант с большой вероятностью может понравиться в дирекции ОИЯИ, нас неоднократно упрекали в том, что мы только кластеры опускаем, типа надо остановиться на некоторое время, чтобы «начать физику выдавать».

Другой вариант – потратить в 2023 г. половину (или сколько-то) на эти ключевые договоры, получить оборудование в половинном объеме и вместе с оставшимися ресурсами (1,5 млн USD ЛЯП + еще что-то) выполнить так же половину работы на Байкале. В этом вопросе, возможно, я неправильно понимал ситуацию: быть может, вторые 3 млн USD «надвое не делятся», а нужны в полном объеме даже для постановки одного кластера.

Из этих двух возможностей нужно было выбрать одну. Честно говоря, я тогда не знал правильного ответа и обещал Г.В.Домогацкому посоветоваться по этому вопросу с вице-директором, курирующим наше направление, С.Н.Дмитриевым. Может, он подскажет, есть ли еще возможность «подобрать» неиспользованные деньги у проекта NICA.

Г.В.Домогацкий сразу прокомментировал мое замечание про деление на два вторых 3 млн USD. Он написал, что даже в случае смены задачи – постановки одного кластера вместо двух – «вторые 3 млн USD» делятся не на два, а всего на 1,25. Иными словами, вместо этих трех все равно надо 2,4 млн USD.

На следующий день я поговорил с Игорем Белолаптиковым по поводу нашей переписки с Г.В.Домогацким, и мы начали искать деньги. К счастью, из остатков за 2022 г. по руководимой мною теме ATLAS Г.А.Усова сумела набрать ему для начала 500 тыс. USD. Чуть позже я

* Первые 3 млн USD из необходимых для минимально нормальной работы минимальных 6 млн USD мы должны были получить по разнорядке текущего Семилетнего плана на 2023 г.

сходил к Сергею Николаевичу Дмитриеву, чтобы попросить в дирекции ОИЯИ недостающие деньги. Он (отвечавший тогда за состояние финансов в ОИЯИ) сказал, что ближе к середине 2023 г., скорее всего, появится возможность помочь «Байкалу» на сумму порядка 1 млн USD.

Я так и не успел узнать до окончания моего срока директорства в ЛЯП, хотя написал все необходимые письма по этому поводу, получила ли наша лаборатория эти деньги. По крайней мере, до середины сентября 2023 г. это было еще не очевидно.

«Инвестировать, поддерживать, помогать» – так сформулировал глава Минобрнауки Валерий Фальков задачи министерства в связи с разработкой общенациональной программы развития по физике нейтрино и астрофизике. Таково было заглавие статьи в 10-м номере газеты «Дубна: наука, содружество, прогресс» за 2023 г.

Действительно, 6 марта 2023 г. на Байкале, в береговом центре нейтринного телескопа министр науки и высшего образования РФ Валерий Фальков провел совещание с представителями восьми ведущих научных институтов и университетов России, а также ОИЯИ. На этом совещании обсуждались разработка общенациональной программы развития по физике нейтрино и астрофизике, результаты и перспективы развития Байкальского глубоководного нейтринного телескопа, а также были рассмотрены результаты текущей экспедиции, в ходе которой планировалось установить два новых кластера.

В. Н. Фальков сообщил, что министерство участвует в формировании новой программы исследований в области физики нейтрино и астрофизики частиц, что обсуждалось во время запуска нейтринного телескопа на льду Байкала в 2021 г. Тогда же была выдвинута идея объединить усилия нескольких научных и образовательных организаций в изучении нейтрино разной природы. Для проведения исследований нейтрино и астрофизики частиц в 2022–2024 гг. Минобрнауки России выделяет по 18 млн руб. ежегодно шести научным и образовательным организациям в рамках госзадания. Представители всех организаций, принимавших участие в совещании, выразили желание участвовать в национальной Нейтринной программе и в проекте Baikal-GVD в частности.

«Ровно десять лет назад, в 2013 г. началась новая эпоха в истории Байкальского нейтринного телескопа, связанная с совершенно новым масштабом участия нашего Института в этом проекте. С тех пор нейтринный телескоп начал активно развиваться и его объем до-

Участники совещания на льду в зоне монтажа очередного кластера телескопа Baikal-GVD

стиг половины кубического километра», – сказал директор ОИЯИ Григорий Трубников. Он также подчеркнул: «Сеть передовых физических установок, таких как Baikal-GVD, способна послужить России для удержания уникального человеческого капитала. В то же время, чтобы быть серьезным конкурентом в глобальном масштабе и быть лидером в сфере науки в России, необходимо участие международных партнеров в ее мегасайенс-проектах».

Участники встречи обсудили достигнутые за 2022 г. результаты и планы Нейтринной программы на 2023–2024 гг. Было отмечено, что нейтринная астрофизика находится на переднем крае научных исследований, конкуренция чрезвычайно высока и российским ученым важно сохранить позицию одного из лидеров в этой области. Для этого эффективный объем Байкальского телескопа следует нарастить как минимум до одного кубического километра. Чтобы сохранить такой темп, необходимо вводить в эксплуатацию не менее двух кластеров ежегодно. Это потребует объединения усилий всех участников Нейтринной программы РФ.

Согласно данным пресс-службы Иркутского государственного университета, участие в совещании приняли представители ОИЯИ, ИЯИ РАН, Иркутского государственного университета, Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д. В. Скобельцына МГУ, Новосибирского национального исследовательского государственного университета, Томского политехнического университета, Кабардино-Балкарского государственного университета.

Во время совещания коллаборация, в которую входит более 60 человек, не прерывала свою работу по дальнейшему строительству телескопа. Примерно 30 ее членов находятся постоянно на льду Байкала. В этот раз планировалась установка двух новых кластеров телескопа, трех сервисных буйковых станций с калибровочными лазерами, продолжение работ по развитию системы передачи данных по оптическим линиям внутри установки, а также прокладка двух донных кабельных линий питания кластеров.

9 марта Г. В. Трубников прислал нам в ЛЯП (и не только) фотографии с байкальского льда. При этом он выразил свою глубокую признательность команде ЛЯП ОИЯИ и главному режиссеру мероприятия – заместителю директора ЛЯП д. ф.-м. н. Д. В. Наумову за отличную

Во время совещания с В. Н. Фальковым на «байкальском льду» в 2023 г.

В.А.Матвеев и И.А.Белолаптиков на подготовке майны для установки гирлянды нового кластера

организацию научно-практического совещания. Дмитрий Вадимович занимался планированием и подготовкой встречи, организацией приезда восьми делегаций, синхронизацией и эффективной работой на льду и на береговой станции. Он обеспечил полную когерентность в работе с командами ИЯИ РАН и ИГУ. Со слов директора ОИЯИ, все получилось очень толково, без заминок и проблем (для визитеров), и главное – содержательно. Был хороший конструктивный разговор за общим столом, понимание всех проблем и общее самое серьезное желание и готовность сообща решать эти проблемы, готовность двигаться вперед и привлекать новых коллаборантов, усиливая команду и науку, – так считал наш директор.

◇

Очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялась 24 марта 2023 г. Участники обсудили статус научных проектов ОИЯИ, достигнутые результаты и дальнейшие планы по развитию Института. Члены комитета ознакомились с последней версией проекта Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. Касательно нейтринного телескопа Baikal-GVD было отмечено, что его эффективный объем уже достиг 0,5 км^3. Более того, в ходе проходившей тогда параллельно этой сессии экспедиции планировалось установить два новых кластера, тем самым увеличив количество оптических модулей до 3456. Была также отмечена важность состоявшегося в начале марта на озере Байкал совещания с участием министра науки и высшего образования РФ Валерия Фалькова, на котором обсуждалось развитие российской Нейтринной программы.

◇

Как обычно, в апреле на озере Байкал была завершена зимняя экспедиция 2023 г., в течение которой были запущены в эксплуатацию еще два новых кластера телескопа Baikal-GVD. Коллаборация также провела ремонт и модернизацию уже установленных элементов детектора и продолжила работы по развитию системы передачи данных по оптическим линиям внутри установки.

Напомним для полноты картины (в последний раз), что Байкальский нейтринный телескоп – это нейтринный детектор, расположенный на озере Байкал на расстоянии 3,6 км от берега, на глубине порядка 1300 м. Эта уникальная установка является важным инструментом многоканальной астрономии – нового мощного метода исследования Вселенной. Baikal-GVD – один из трех действующих нейтринных телескопов в мире и, наряду с телескопами IceCube на Южном полюсе и KM3NeT в Средиземном море, входит в Глобальную

Тяжелые условия работы на льду в 2023 г.

Экспедиция 2023 г. завершена

нейтринную сеть (Global Neutrino Network, GNN). Эти нейтринные телескопы предназначены для регистрации и исследования характеристик потоков нейтрино сверхвысоких энергий от астрофизических источников. Как уже неоднократно отмечалось, телескоп Baikal-GVD – самый большой в Северном полушарии и второй по размеру в мире.

После завершения экспедиции 2023 г. он насчитывает уже 12 кластеров, расположенных на расстоянии 250–300 м друг от друга. Он содержит около 3500 фотоприемников. С 8 апреля 2023 г. они работают в режиме набора данных. Каждый кластер представляет собой самостоятельный детектор из восьми вертикальных гирлянд, на которых размещены оптические модули (по 36 на каждой гирлянде).

«Сезон 2023 г. оказался испытанием на прочность коллектива экспедиции. Погода также постаралась ужесточить это испытание, но, нужно отдать ей должное, обеспечила нас надежным льдом. Тем не менее в ходе экспедиции были реализованы запланированные системные изменения как в подготовке аппаратуры, так и в технологическом плане развертывания установки. Хотелось бы отметить возросший профессиональный уровень коллектива, который при вынужденной реорганизации практически полностью справился с запланированными задачами», – так охарактеризовал ситуацию руководитель работ экспедиции, начальник установки Baikal-GVD в ОИЯИ Игорь Анатольевич Белолаптиков.

«В эту экспедицию успешно сделан запланированный шаг по наращиванию эффективного объема детектора. До завершения первоначального проекта создания детектора нейтрино высоких энергий с эффективным объемом порядка кубического километра осталось сделать еще два-три таких шага. Начинают прорисовываться контуры плана дальнейшего развития детектора, основанного на оптоволоконной системе сбора данных», – рассказал руководитель коллаборации, заведующий Лабораторией нейтринной астрофизики высоких энергий ИЯИ РАН член-корреспондент РАН Григорий Владимирович Домогацкий.

◇

В рабочем совещании коллаборации Baikal-GVD, проходившем в ЛЯП с 30 мая по 2 июня, приняли участие примерно 50 человек. Обсуждались итоги прошедшей (февраль–апрель) экспедиции. Как уже упоминалось, было установлено два новых кластера Байкальского нейтринного телескопа. С этого момента он уже содержал 12 действующих кластеров, и эффективный объем установки для регистрации каскадных событий от нейтрино высоких энергий достиг примерно 0,6 км^3. На совещании были рассмотрены результаты по увеличению надежности работы телескопа и многообещающие возможности нового метода временной синхронизации оптических модулей.

Подведя итоги прошедшей экспедиции, участники совещания рассмотрели предложения оптимизации технических работ по дальнейшему развертыванию эксперимента. «В частности, решался вопрос о месте расположения следующих кластеров и выборе трассы прокладки донных кабелей, а также оптимизации производства акустических модулей, которые отвечают за координатную структуру детектора», – рассказал Игорь Белолаптиков. Касательно задач следующей экспедиции, которая запланирована традиционно на зимний период, когда Байкал покроется льдом достаточной толщины, он продолжил: «Предстоит

Участники совещания Г.В.Домогацкий (слева) и Д.В.Наумов (справа)

модернизировать ранее установленные кластеры, а также разворачивать 13-й кластер, прокладывать для него кабель по дну Байкала, а возможно, и для следующего. Планируется продолжить работу по калибровке и тонкой настройке всей установки. Уже сейчас мы добились того, что два модуля, расположенные примерно в 1,5 км друг от друга, синхронизируются с точностью до нескольких наносекунд».

◇

29–30 июня в Доме международных совещаний ОИЯИ состоялась 57-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике. На ней руководитель проекта Baikal-GVD в ОИЯИ Игорь Белолаптиков представил отчет по проекту и предложение о его продлении (рис. 29). Проект реализуется в рамках темы «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика». Ключевой результат — в течение 2016–2023 гг. коллаборация развернула 12 полномасштабных кластеров с 3500 оптическими модулями, изготовленными в ОИЯИ. Эта установка может уже регистрировать около 10 нейтрино галактического и внегалактического происхождения в год. Анализ полученных за 2018–2021 гг. данных впервые подтверждает наблюдение в эксперименте IceCube астрофизического потока диффузных нейтрино со значимостью 3σ, что является многообещающим результатом.

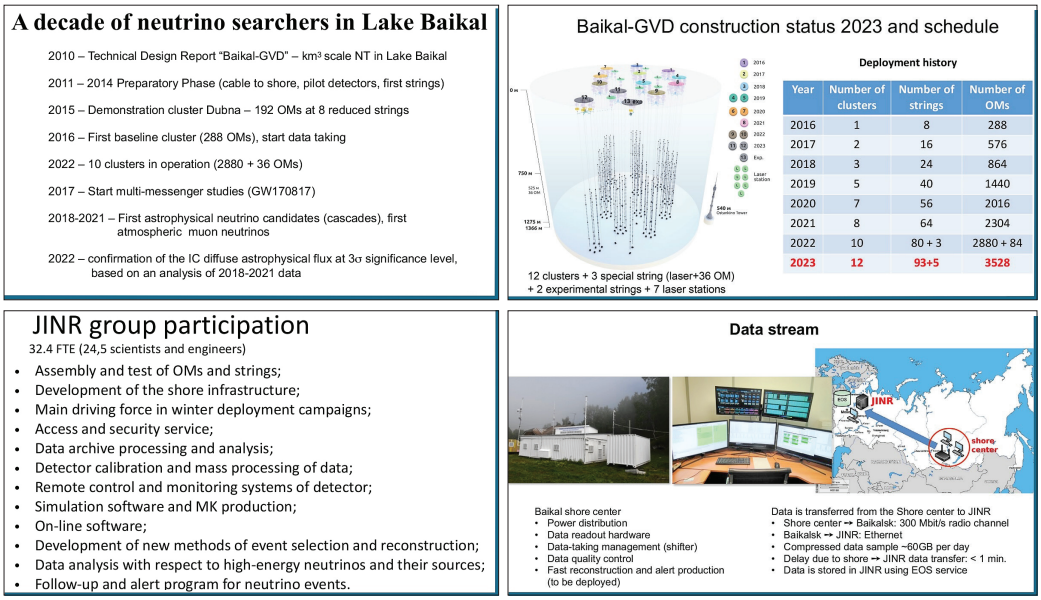


Рис. 29. Несколько слайдов из доклада И. А. Белолаптикова на ПКК

Дальнейшее развитие проекта Baikal-GVD включает два направления. Первое — разработка концепции детектора объемом до 10 км^3 и экспериментальные исследования возможных решений по его реализации. Второе и основное направление — расширение действующей установки до объема 1 км^3 с 6000 оптическими модулями. Сейчас их 3528. Судя по всему, к 2026–2028 гг., при существующих темпах развития, Baikal-GVD станет самым крупным нейтринным телескопом в мире.

Члены ПКК подчеркнули важную роль, которую играет проект Baikal-GVD совместно с экспериментом IceCube в изучении высокоэнергетических нейтрино. Высоко оценив научную значимость проекта и ведущую роль ОИЯИ в его реализации, они рекомендовали продлить проект Baikal-GVD в качестве крупного инфраструктурного проекта ОИЯИ до конца 2028 г.

Ближе к концу августа у меня возник разговор с И.А.Белолаптиковым по поводу совершенно нового совместного с Китаем Байкальского проекта, нацеленного на детектор 10 км^3 (и более) объема. От Д.В.Наумова я перед этим услышал, что такая возможность

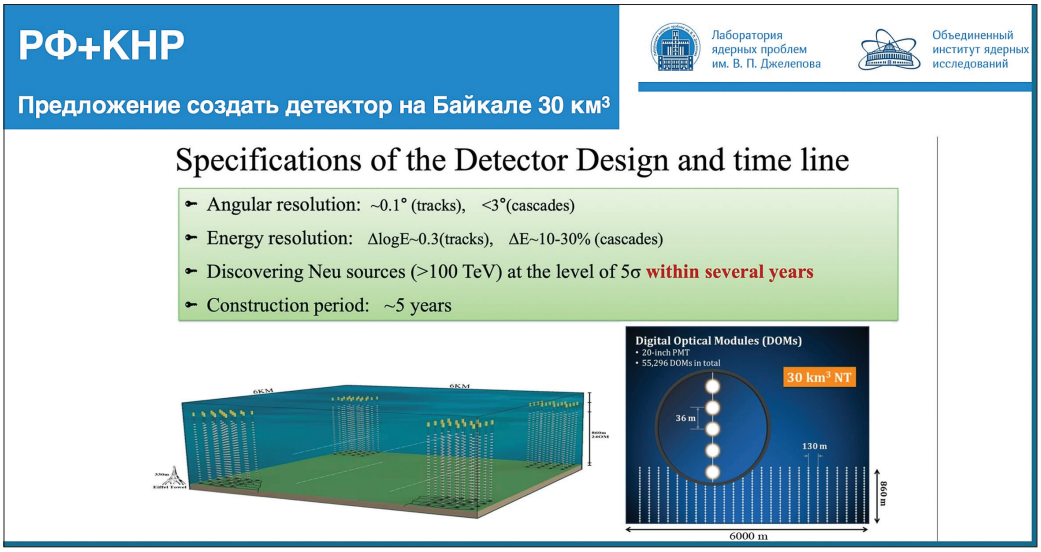
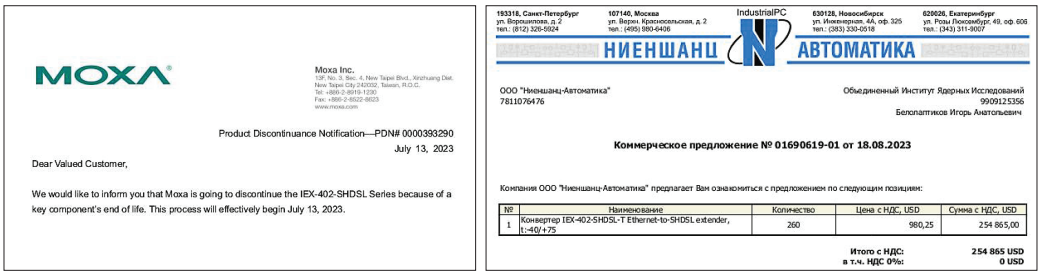


Рис. 30. Слайд из доклада Д.В.Наумова на Финансовом комитете ОИЯИ 23 марта 2023 г.

интенсивно обсуждается китайскими коллегами, при это сам Дмитрий Вадимович относился к этой возможности крайне положительно. Я спросил Игоря о мнении по этому поводу Г.В.Домогацкого, Игорь мне тогда ответил, что Григорий Владимирович об этом еще ничего не знает.

В самом конце августа И.А.Белолаптиков в служебной записке мне написал, что для экспедиции 2024 г. оборудование, транспорт и специальные средства находятся в процессе подготовки или уже готовы. Однако для изготовления полной партии акустических модемов требуется решение финансовых вопросов не позднее конца сентября 2023 г. Кроме того, было получено сообщение от официального дилера фирмы Моха (рис. 31) о том, что компания перестает производить необходимые нам DSL модемы IEX-402-SHDSL-T в связи с окончанием производства компонентов. Эти модемы используются в установке как элемент передачи информации от основных компонентов кластера (гирлянда, секция) в центр кластера. Многократные попытки в течение нескольких лет найти надежную за-



MOXA

Moxa Inc.
13F, No. 3, Sec. 4, New Taipei Blvd., Xinzhuang Dist.
New Taipei City 242032, Taiwan, R.O.C.
Tel: +886-2-8919-1230
Fax: +886-2-8522-8623
www.moxa.com

Product Discontinuance Notification—PDN# 0000393290
July 13, 2023

Dear Valued Customer,

We would like to inform you that Moxa is going to discontinue the IEX-402-SHDSL Series because of a key component's end of life. This process will effectively begin July 13, 2023.

193318, Санкт-Петербург
ул. Верошилова, д. 2
тел.: (812) 326-5024

107140, Москва
ул. Верхн. Красносельская, д. 2
тел.: (495) 980-6406

IndustrialPC

630128, Новосибирск
ул. Инженерная, 4А, оф. 325
тел.: (383) 330-0518

620026, Екатеринбург
ул. Розы Люксембург, 49, оф. 606
тел.: (343) 311-0007

НИЕНШАНЦ АВТОМАТИКА

ООО "Ниеншанц-Автоматика"
7811076476

Объединенный Институт Ядерных Исследований
9909125356
Белолаптиков Игорь Анатольевич

Коммерческое предложение № 01690619-01 от 18.08.2023

Компания ООО "Ниеншанц-Автоматика" предлагает Вам ознакомиться с предложением по следующим позициям:

№	Наименование	Количество	Цена с НДС, USD	Сумма с НДС, USD
1	Конвертер IEX-402-SHDSL-T Ethernet-to-SHDSL extender, t:-40/+75	260	980,25	254 865,00

Итого с НДС: **254 865 USD**
в т.ч. НДС 0%: **0 USD**

Рис. 31. Документы по модемам

мену не дали положительного результата. В течение последних нескольких лет, со слов И. А. Белолаптикова, ведутся разработки по использованию альтернативного пути передачи информации внутри детектора по оптоволокну. Но, во-первых, эта деятельность направлена на развитие архитектуры детектора следующего поколения, и, во-вторых, мы только приближаемся к надежному техническому решению. Поэтому Игорь предлагал рассмотреть возможность размещения заказа в фирме Моха на указанные DSL модемы, чтобы обеспечить завершение проекта Baikal-GVD без изменения его архитектуры. Необходимое количество до полной установки составляет 260 шт. Цена на указанную партию – примерно 255 тыс. USD. Интрига заключалась в том, что если бы мы смогли заплатить им вперед эту сумму, то они успели бы поставить оборудование прежде, чем закрылись сами.

Из внутренних ресурсов ЛЯП на эту задачу в 2023 г. уже было выделено 500 тыс. USD, однако эта сумма все же не позволяла реализовать полностью даже урезанные планы по развертыванию только одного полного 13-го кластера (запланированного на 2024 г.). Если размещение заказов затянется до конца октября, производитель физически не успеет изготовить необходимую партию. Для выполнения этого заказа требуется еще 500 тыс. USD.

В результате в письме С. Н. Дмитриеву я изложил эту проблему и просил рассмотреть возможность выделения указанной суммы (755 тыс. USD) для успешной реализации задач Байкальского проекта в 2024 г. Если я правильно помню, то до окончания моего срока директорства (20 сентября 2023 г.) такие деньги в ЛЯП не поступили.

◇

13 сентября я направил свое, пожалуй, последнее официальное письмо как директора ЛЯП главному ученому секретарю ОИЯИ Сергею Неделько, в котором слегка (в рамках общей цифры) подкорректировал семилетний бюджет по Байкальскому проекту, «перекинув» 7 млн USD с внешних проектов ЛЯП на Baikal-GVD. В известном смысле это было мое послание-помощь новому директору ЛЯП и новой семилетке ОИЯИ. Это письмо было отправлено директору ОИЯИ и копия – Н. Калинину*.

◇

На 134-й сессии Ученого совета ОИЯИ 20 сентября 2023 г. состоялись выборы нового директора Лаборатории ядерных проблем. Им стал начальник научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии доктор физико-математических наук Евгений Александрович Якушев.

Е. А. Якушев – новый директор ЛЯП

* Это письмо-корректировка – в Приложении 14.

Из годового отчета ЛЯП: «С вводом в апреле 2023 г. двух новых кластеров рабочий объем глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD превысил значение 0,5 км^3 в задаче регистрации событий от нейтрино высоких энергий (более 100 ТэВ). Детектор содержит в своем составе 12 кластеров глубоководных гирлянд регистрирующей и управляющей аппаратуры и сохраняет позицию крупнейшего нейтринного телескопа Северного полушария.

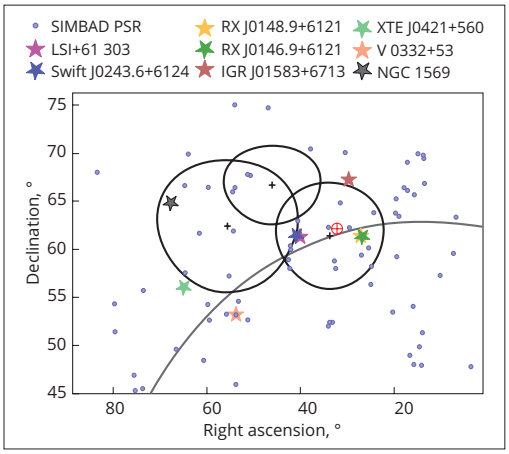
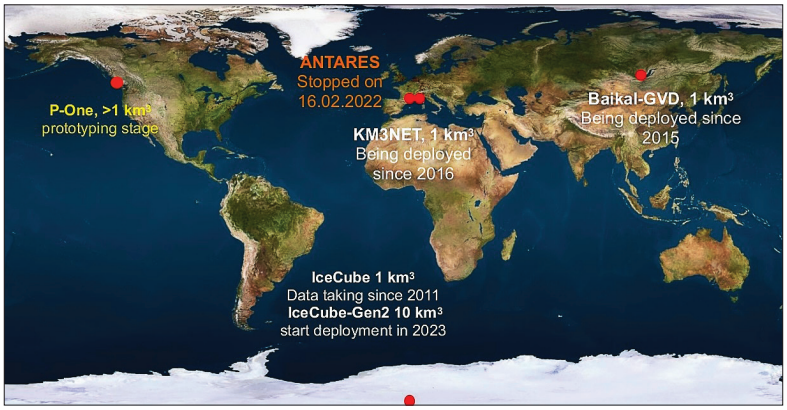


Рис. 32. Три каскадных события Baikal-GVD с высокой энергией: GVD190216CA, GVD190604CA и GVD210716CA – вблизи галактической плоскости (серая линия) и ошибки определения их направлений (черные линии). Точка статистически наиболее значимого превышения потока IceCube над изотропным в Северном полушарии показана красным плюсом

При анализе данных, полученных при работе детектора в конфигурациях 2018–2022 гг., исследованы корреляции с яркими радиоблазарами каскадных событий с энергиями, превышающими 100 ТэВ. Несмотря на то, что на текущем наборе данных не обнаружено статистически значимых эффектов, анализ указывает на ряд возможных ассоциаций как с экстрагалактическими, так и с галактическими источниками (рис. 32). В частности, представлен анализ наблюдаемого триплета нейтринных кандидатов в галактической плоскости, исследована его потенциальная связь с определенными галактическими источниками, рассмотрено совпадение направлений прихода каскадных событий с несколькими яркими блазарами»*.

В заключение отмечу, что 10–11 ноября 2023 г. Комитет полномочных представителей стран-участниц ОИЯИ на своей сессии в Алма-Ате с удовлетворением одобрил ход выполнения плана исследований в ОИЯИ. Был также утвержден новый Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 гг.



Глобальная нейтринная сеть (GNN). Из доклада И. А. Белолаптикова в 2023 г.

* *Allakhverdyan V. A. et al. (Baikal-GVD Collab.).* Search for Directional Associations between Baikal Gigaton Volume Detector Neutrino-Induced Cascades and High-Energy Astrophysical Sources. e-Print:2307.07327; Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2023. V. 526, No. 1. P. 942–951.

На этой сессии специально был отмечен прогресс в разработке глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD, а именно установка в 2023 г. новых 576 оптических модулей и двух донных кабельных линий, а также приближение эффективного объема к значению 0,6 км^3. Комитетом был поддержан план ежегодного ввода в строй по два новых кластера нейтринного телескопа Baikal-GVD в ближайшие четыре года с целью довести объем детектора до 1 км^3. Было отмечено, что этот международный мегасайенс-проект способен привести к прорывным результатам в области многоканальной астрономии, изучения фундаментальных свойств наиболее энергичных космических нейтрино, непрямого поиска галактической темной материи, а также применяться для прикладных исследований. Уже будучи крупнейшим в Северном полушарии нейтринным телескопом, Baikal-GVD выступает одним из ключевых элементов Глобальной нейтринной сети.

Примерно через месяц после этого события наступил новый – 2024 год, который открыл новый этап развития нашего глубоководного нейтринного телескопа.

Так, например, 5 марта 2024 г. в Иркутске состоялось рабочее совещание, на котором был рассмотрен статус проекта Байкальского нейтринного телескопа Baikal-GVD. Обсуждались перспективы увеличения объема установки проекта Baikal-GVD и возможности по расширению коллаборации.

Во время совещания в Иркутске и на Байкале весной 2024 г.

Экспедиция 2024 г. завершена

И, наконец, последняя экспедиция на озере Байкал, к подготовке которой я, как бывший директор ЛЯП, еще имел какое-то отношение, успешно завершилась в апреле 2024 г

Вместо заключения

Итак, завершая повествование про 10 лет жизни в ОИЯИ (с 2013 по 2023 г.) проекта Baikal-GVD, можно смело сказать, что с вводом в эксплуатацию в 2023 г. 11-го и 12-го кластеров рабочий объем глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD достиг 0,6 км^3 в задаче регистрации событий от нейтрино высоких энергий (более 100 ТэВ).

В полном соответствии с модифицированным Семилетним планом развития ОИЯИ в 2016–2023 гг. (см. рис. 26) в 2023 г. нейтринный телескоп Baikal-GVD содержал 12 кластеров с 3528 оптическими модулями глубоководных гирлянд регистрирующей и управляющей аппаратуры и заслуженно (надолго) стал *крупнейшим нейтринным телескопом Северного полушария*. Покрытие неба нашим телескопом дополняет возможности антарктического нейтринного телескопа IceCube.

Коллаборацией отлажена процедура развертывания новых элементов (кластеров) нейтринного телескопа. Имеется современная береговая инфраструктура, включающая в себя центр управления, лаборатории, мастерские, средства развертывания, жилые помещения, гаражи и т. п. Все это постоянно совершенствуется и улучшается. На базе уже созданного и работающего большого фрагмента нейтринного телескопа Baikal-GVD ведутся разработки систем для телескопа нового поколения (две струны с оптоволоконным сбором данных, три межкластерные струны и т. п.).

Набранная статистика составляет около 10 астрофизических нейтрино в год. Постоянно увеличивается число указаний (мультимессенджерского типа) на возможные новые точечные источники космических нейтрино.

Baikal-GVD является первым и пока единственным в мире нейтринным телескопом, подтвердившим астрофизический диффузный поток нейтрино, зарегистрированный ранее в Антарктиде телескопом IceCube. С помощью так называемых каскадных событий от вза-

имодействия нейтрино, собранных Baikal-GVD в 2018–2021 гг., было наблюдено значительное превышение таких событий над ожидаемым фоном от атмосферных нейтрино. Это превышение согласуется с диффузным потоком космических нейтрино высокой энергии, наблюдаемым IceCube, со значимостью 3σ.

Другой физический результат, полученный в апреле 2021 г., представляет собой наблюдение Байкальским нейтринным телескопом каскадного события с максимально большой энергией (224 ± 75 ТэВ). При этом было определено направление «прибытия» этого события, оно находилось вблизи позиции известного радиоблазара TXS 0506+056.

Список публикаций коллаборации Baikal-GVD за 2022–2023 гг., по моим оценкам, насчитывает не менее 15 статей в различных изданиях. Он, конечно, примерно на порядок меньше того, что публикует коллаборация IceCube, тем не менее он уже впечатляет, особенно если принять во внимание как разницу в размерах коллабораций, так и время проведенных исследований.

Иными словами, не сильно искажая действительность, можно сказать, что за семь лет, с 2017 по 2023 г., произошло полноценное становление первого мегапроекта ОИЯИ в области нейтринной физики и астрофизики под названием «Байкальский глубоководный нейтринный телескоп».

На этом моя работа в ОИЯИ на «Байкал» закончена...

Впереди у «Байкала» уже другая история...

Приложение 1

Нейтринная программа ОИЯИ

9 марта 2014 г.

Физика нейтрино и астрофизика на мировом уровне

Если задаться вопросом, какая научная проблема сегодня наиболее важна и наиболее фундаментальна, то, очевидно, что та, решение которой позволит дать ответы на максимальное число самых актуальных вопросов современного этапа развития самой науки.

В физике элементарных частиц сегодня такой центральной проблемой является природа нейтрино. Под этим понимаются те свойства нейтрино, которые определяют специфику их взаимодействия с внешним для них миром, т.е. их массы, характер их превращения друг в друга (смешивание), сколько всего типов различных нейтрино, дираковские они или майорановские, имеют ли они электромагнитные свойства, каковы их природные источники и т.п.

Это действительно ключевая, междисциплинарная проблема, которая пронизывает всю физику элементарных частиц, космологию и астрофизику. Наличие ненулевых масс у нейтрино важно для построения современных теорий элементарных частиц, понимания строения Вселенной и образования в ней крупномасштабных структур типа скоплений галактик. Здесь легкие массивные нейтрино играют роль так называемой горячей темной (или скрытой) материи. Исследование свойств нейтрино (в том числе и электромагнитных) необходимо для решения проблемы дефицита солнечных нейтрино, выяснения механизмов взрыва сверхновых и образования энергии в звездах (на Солнце) и в недрах нашей Земли, для понимания причин возникновения космических лучей сверхвысоких энергий. По-видимому, только благодаря исследованию потоков космических нейтрино можно будет получить информацию о самых отдаленных уголках космоса. До сих пор не решена проблема реликтовых нейтрино, существование которых следует из современной концепции ранней Вселенной. Считается, что наряду с фотонами нейтрино – самые распространенные частицы во Вселенной. В последнее время широко обсуждается возможность, что нейтрино дают ключ к объяснению барионной асимметрии, то есть образование избытка барионов (по отношению к антибарионам) возможно за счет нарушения CP симметрии в лептонном секторе с участием (тяжелых) нейтрино. Таким образом, без понимания свойств нейтрино невозможно даже приблизиться к ответу на вопрос о том, почему окружающий нас мир именно так устроен.

С другой стороны, физика нейтрино и слабых взаимодействий теснейшим образом граничит с областью так называемой *новой физики* – физики за рамками Стандартной модели элементарных частиц. Эта область, безусловно, существует. Именно в процессе ее исследования будет построена новая, более общая теория элементарных частиц (например, на основе идеи суперсимметрии). Основной интерес здесь лежит в сфере поиска таких процессов, частиц и закономерностей, которые противоречат теоретическим представлениям Стандартной модели.

Особую актуальность исследования по физике нейтрино приобретают сегодня после измерения в 2011–2012 гг. значения угла смешивания θ_{13} матрицы Понтекорво–Маки–Накагавы–Сакаты. Этот угол оказался достаточно велик (порядка 0,15 рад), что позволяет рассчитывать на перспективное продолжение реакторных и ускорительных экспериментов по изучению иерархии масс нейтрино и эффектов нарушения CP-четности в лептонном секторе. Оба этих вопроса имеют первостепенное значение для понимания роли нейтрино в эволюции Вселенной и происхождения барионной асимметрии.

Другой актуальной темой сегодня являются стерильные нейтрино, поиск которых приобрел особый интерес после обнаружения «на кончике пера» (в результате проведения

новых вычислений) дефицита потока антинейтрино от реактора. Предполагаемый эффект можно интерпретировать как осцилляции реакторных антинейтрино в стерильные состояния на малом расстоянии. Несколько групп уже нацелены на обнаружение такого дефицита и, следовательно, поиск стерильных нейтрино. *Пожалуй, наилучшие перспективы в этом направлении сегодня имеют сотрудники ОИЯИ, проводящие эксперимент DANSS на Калининской атомной станции с уникальным по интенсивности потоком реакторных антинейтрино.*

По степени фундаментальности и мировоззренческой важности, потенциалу новых неожиданных открытий в современной физической науке исследованиям по физике нейтрино практически нет конкурентов.

Более того, уникальны перспективы и прикладных исследований по физике нейтрино. Совсем недавно, благодаря новым очень чувствительным приборам, были зарегистрированы нейтрино из недр Земли, так называемые геонейтрино. Не говоря даже о фундаментальности этого явления, исследование потоков геонейтрино крайне важно для геофизики – понимания процессов, протекающих внутри нашей планеты, а следовательно, и причин различных природных катаклизмов и изменения климата.

На новый уровень сегодня выходят прикладные нейтринные исследования на промышленных и исследовательских ядерных реакторах — это исследования процессов внутри реакторов с помощью антинейтрино для задач ядерной энергетики. Они включают непрерывное измерение мощности реактора и степени выгорания топлива, томографию выгорания топлива в реальном времени, создание компактных детекторов антинейтрино для дистанционного контроля (в реальном времени) наработки и несанкционированного отбора плутония в процессе работы реактора (для предотвращения распространения ядерного оружия) и т. п.

Это ярчайший пример практической пользы фундаментальной науки. Физика нейтрино для решения своих внутренних задач требует исключительно уникальной и неведомой ранее аппаратуры, на пути создания которой возникают совершенно новые, не менее уникальные технологии, материалы и приборы, которые, в свою очередь, оказываются востребованными как в других областях самой науки, так и в повседневной жизни.

Итак, междисциплинарный характер изначально присутствует в физике нейтрино. Эта общефизическая междисциплинарность заложена в многогранности проявлений нейтрино и их значимости во многих областях современной физики, астрофизики и прикладных исследованиях.

Нейтрино – нейтральный фермион (спин = 1/2), участвующий в слабых и гравитационных взаимодействиях. На сегодня известно три типа нейтрино, каждый тип нейтрино обладает своей массой. Стандартная модель располагает каждое из массивных нейтрино в соответствующий лептонный дублет вместе с электроном, мюоном и тау-лептоном (заряженными лептонами). Лептонные дублеты во взаимодействиях с заряженным W-бозоном смешиваются друг с другом, что описывается лептонной матрицей смешивания. Лептонная матрица смешивания, известная как матрица Понтекорво–Маки–Накагавы–Сакаты, параметризуется тремя углами смешивания и одной фазой, нарушающей пространственно-зарядовую четность (CP-четность) в слабых взаимодействиях. Если нейтрино тождественно антинейтрино (нейтрино Майораны), то к матрице смешивания добавляются еще две фазы, ответственные за нарушение CP-четности. Сегодня известно, что нейтрино массивны и значения масс двух из трех типов нейтрино зажаты в довольно узких интервалах. Также измерены все три угла смешивания нейтрино.

Тем не менее открытых фундаментальных вопросов по физике нейтрино остается очень много, так, например, мы не знаем пока:

- Какова масса легчайшего нейтрино?

- Каковы причины такой исключительной малости масс нейтрино, стоит ли за этим какой-то, наоборот, очень большой массовый параметр?
- Какова иерархия масс – в каком порядке расположились массы – $m_1 > m_3$ или наоборот?
- Почему углы смешивания нейтрино так велики (по сравнению с кварковыми)?
- Есть ли у нейтрино CP-нечетные фазы, и способны ли они дать объяснение неравенству в количествах материи и антиматерии во Вселенной?
- Нейтрино – частицы Дирака или Майораны?
- Как обнаружить реликтовые нейтрино?
- Есть ли у нейтрино «нестандартные» свойства, например, электромагнитные или другие, на что могло бы указывать большое значение аномального магнитного момента нейтрино?
- Существуют ли иные типы нейтрино – стерильные, каковы их массы?

Также фундаментально важны другие вопросы, связанные с нейтрино, например:

- Как свойства нейтрино проявляются в крайне редких безнейтринных процессах?
- Как зарегистрировать когерентное рассеяние нейтрино на ядрах?
- Каково происхождение астрофизических потоков нейтрино?
- Возможно ли увидеть тяжелые нейтрино на ускорителях, таких как LHC и т. п.?

На решение этих важнейших вопросов направлены усилия физиков по всему миру. Ежегодно растет число экспериментальных и теоретических групп, занимающихся нейтринной тематикой, увеличивается поток публикаций по этому вопросу, организуются все новые конференции. Не вызывает сомнений, что эта тенденция сохранится в обозримой перспективе.

Так, в США после завершения «эпохи Тэватрона» приоритетным направлением физики высоких энергий становится именно физика нейтрино. Кроме уже действующих экспериментов MINOS, MiniBooNe, Minerva, SciBooNe вступает в строй ускорительный эксперимент NOvA, нацеленный на обнаружение иерархии масс нейтрино и измерение фазы CP-четности. Следующим решающим шагом в этом направлении обсуждается проект LBNE (нейтринный эксперимент на очень большой базе) – еще более чувствительный к этим параметрам.

В Японии традиционно сильная нейтринная программа, базирующаяся на всемирно известных экспериментах SuperKamiokande, K2K, T2K, усиливается новым проектом HyperKamiokande.

Китай, после открытия в реакторном эксперименте Daya Bay, и Корея, после подтверждения в эксперименте RENO, ненулевого значения угла смешивания θ_{13} – также выдвигаются на лидирующие позиции в области нейтринной физики.

В Китае (на уровне правительства страны) планируется еще один уникальный реакторный эксперимент – JUNO (наследник успешного проекта Daya Bay), нацеленный на измерение иерархии масс, прецизионное измерение углов смешивания и решение ряда других важных вопросов нейтринной физики и астрофизики.

В Европе в настоящее время реализуются важные эксперименты по поиску безнейтринного двойного распада ядер (SuperNEMO, GERDA, CUORICINO и др.) в низкофоновых подземных лабораториях Модан и Гран-Сассо. Ведутся уникальные эксперименты с солнечными (BOREXINO) и ускорительными (OPERA, ICARUS) нейтрино. Начал давать первые данные по космическим нейтрино средиземноморский глубоководный нейтринный телескоп ANTARES. Несмотря на имеющиеся финансовые трудности, не потеряло актуальность обсуждение многообещающего общеевропейского нейтринного проекта LBNO (по исследованию нейтринных осцилляций на большом расстоянии от ускорителя). Здесь вполне может пригодиться такой уникальный детектор, как Байкальский нейтринный телескоп.

Как известно, после открытия бозона Хиггса на LHC и измерения угла смешивания θ_{13} в экспериментах Daya Bay и RENO (2012 г.) наиболее впечатляющий результат был получен

в 2013 г. в антарктическом льду в международном эксперименте IceCube, где были зарегистрированы первые нейтрино сверхвысоких энергий внеземного – галактического или даже внегалактического — происхождения!

Существенно еще раз отметить, что все эти новые шаги были реализованы на специальных, крупномасштабных физических установках, создание которых потребовало совместных усилий многих стран в направлении развития принципиально новых физических и технологических методов исследований.

Физика нейтрино и астрофизика вместе с ускорительной физикой элементарных частиц сверхвысоких энергий — это магистральные пути стратегического развития современной фундаментальной физики элементарных частиц. В этих направлениях ожидаются наиболее фундаментальные и наиболее впечатляющие открытия, которые могут изменить наши представления о мире.

Сегодня можно смело утверждать, что нейтринная физика вступила в эпоху прецизионных измерений, систематического поиска ответов на фундаментальные вопросы о природе нейтрино, и — именно по этим причинам — она «обречена на успех».

Физика нейтрино и астрофизика в РФ, ИЯИ и ОИЯИ. Решение нейтринного совета РАН

В ОИЯИ систематические экспериментальные исследования в области физики нейтрино, слабых взаимодействий, редких процессов и астрофизики проводились силами нескольких подразделений Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова (ЛЯП). Эта практически 55-летняя традиция восходит своими корнями к работам и идеям Б.М.Понтекорво и его коллег. Сотрудниками ЛЯП в этой сфере было получено немало результатов фундаментальной важности. Сегодня эти работы также ведутся на самом высоком уровне как в России (Дубне), так и за ее пределами в рамках наиболее престижных и амбициозных международных коллабораций.

Стремление нашего Института заниматься наиболее фундаментальными и наиболее перспективными проблемами современной ядерной физики, выдвижение логикой мирового развития нейтринной физики и астрофизики на самые передовые позиции, полученные здесь в 2011–2012 гг. (с участием ОИЯИ) важнейшие результаты, сохранившиеся и успешно развивающиеся в ОИЯИ традиции, экспериментальная база и опыт работы в этой области, плодотворное и взаимовыгодное сотрудничество в ней с российскими (и не только) институтами, а также наличие талантливой и уже хорошо подготовленной молодежи — все эти факторы свидетельствуют о готовности и необходимости придания наивысшего уровня значимости в ОИЯИ исследованиям по физике нейтрино и астрофизике.

Наравне с общепризнанными «лидерами ОИЯИ» — исследованиями «сверхтяжелых элементов и острова стабильности» (ЛЯР), поиском новой физики на Большом адронном коллайдере LHC (ЛЯП и ЛФВЭ), изучением конденсированного состояния вещества на модернизированной установке ИБР-2М (ЛНФ), созданием коллайдера НИКА (ЛФВЭ) — «Нейтринная физика и астрофизика» (ЛЯП) безусловно должна стать краеугольным камнем обновленной и долгосрочной программы привлекательных научных работ в нашем Институте.

Стоит отметить, что принятый три года назад Семилетний план развития ОИЯИ успешно выполняется. Многое уже сделано (признаны «наши сверхтяжелые», запущен ИБР-2М, получены первые результаты с LHC и т.п.), но многое изменилось и в мире (получены новые важные результаты, пересмотрены глобальные планы и цели).

Очевидно, нужна модификация Семилетнего плана. Особенно в части повышения престижа физики нейтрино и астрофизики, а также связанной с ними физики редких процессов. Здесь же следует специально отметить уже имеющееся и постоянно расширяющееся сотрудничество в этой области с российскими институтами, и особенно с ИЯИ РАН. *Видимо,*

будет полезен специальный договор о сотрудничестве между ОИЯИ и ИЯИ, который мог бы придать формальный статус уже имеющемуся сотрудничеству ОИЯИ и ИЯИ в области нейтринной физики и астрофизики.

В настоящее время в России практически все работы мирового уровня в области нейтринной физики и астрофизики ведутся с участием (подчас решающим) сотрудников ОИЯИ и ИЯИ РАН. Кроме них в этих работах принимают участие сотрудники Курчатовского института, ИТЭФ, ПИЯФ, ФИАН, ИФВЭ и др.

Решение возрожденного нейтринного совета РАН (лето 2012) отчетливо продемонстрировало данный расклад сил. БАЙКАЛ, БАКСАН, Калининская АЭС – это три наиболее крупных «нейтринных» инфраструктурных образования в России. Все они тесно связаны с ИЯИ и ОИЯИ. Далее, участие в международных нейтринных экспериментах самого высокого уровня – это BOREXINO, T2K, OPERA, Daya Bay, NEMO и SuperNEMO, EDELWEISS и т.п. Здесь тоже вклады и участие ОИЯИ и ИЯИ – решающие.

Нейтринный коллоквиум – обзор Нейтринной программы ОИЯИ

В ЛЯП ОИЯИ ведутся работы по физике нейтрино еще со времен Бруно Понтекорво, который заложил фундамент научной школы в этой области науки. В настоящее время Нейтринная программа ОИЯИ включает в себя широкий фронт работ по различным направлениям физики нейтрино – флагмана научной программы ЛЯП ОИЯИ. Чтобы оценить состояние дел в этой области исследований, был организован специальный нейтринный коллоквиум 16–17 декабря 2013 г. В течение этих двух дней были представлены 10 докладов, покрывающие всю Нейтринную программу ЛЯП ОИЯИ. С приглашенным докладом – обзором физики нейтрино и космологии выступил академик РАН В. А. Рубаков.

Физики ОИЯИ работают со следующими источниками нейтрино: солнечные (BOREXINO), ускорительные (OPERA, NOvA), реакторные (Daya Bay, DANSS, GEMMA-2, JUNO), астрофизические и атмосферные (БАЙКАЛ). Ведется поиск безнейтринного двойного бета-распада (SuperNEMO, GERDA, Majorana). Также в программу коллоквиума был включен доклад по эксперименту EDELWEISS по поиску темной материи. Ожидаются результаты фундаментальной важности в новых экспериментах NOvA и JUNO.

Отмечается высокий уровень достигнутых научных результатов в экспериментах:

- В эксперименте Daya Bay измерен остававшийся до последнего времени неизвестным угол смешивания θ_{13}, что стало одним из самых значимых результатов в физике в 2012 г. Позднее, в 2013 г. была прецизионно измерена эффективная разность квадратов масс Δm^2_{ee}.
- В эксперименте BOREXINO измерен поток солнечных бериллиевых, борных и *pep* нейтрино. Поставлены пределы на эффективный магнитный момент нейтрино, поток аксионов от Солнца, нарушение принципа Паули. Измерена асимметрия день–ночь, и изучены сезонные вариации потока бериллиевых нейтрино. Измерен поток геонейтрино от распадов естественных радиоактивных изотопов в Земле.
- В эксперименте OPERA на уровне статистической значимости в 3,4 стандартных отклонения были обнаружены три кандидата в тау-нейтрино, возникших в результате $\nu_\mu \to \nu_\tau$ осцилляций.
- В эксперименте GEMMA-2 получен лучший в мире предел на магнитный момент (анти) нейтрино.
- В эксперименте GERDA измерено время жизни ядер ^{76}Ge по двухнейтринному каналу двойного бета-распада, получен новый предел на время жизни ядра ^{76}Ge по отношению к двойному безнейтринному бета-распаду. Этот предел уже вплотную приближен к известному результату коллаборации Heidelberg-Moscow. Продолжение успешной работы эксперимента GERDA в течение ближайших 5 лет позволит с высокой степенью достоверности подтвердить или опровергнуть результат эксперимента Heidelberg–Moscow.

- В эксперименте NEMO-3 получен новый предел на время жизни ядра ^{100}Mo (по безнейтринному каналу двойного бета-распада). В данный момент коллаборация работает над созданием «Демонстратора» детектора SuperNEMO (уже создана ¼ часть). Ожидается его запуск в подземной низкофоновой лаборатории Модан (Франция) в 2015 г.
- В эксперименте БАЙКАЛ измерены потоки атмосферных нейтрино, отработана технология регистрации нейтрино большими глубоководными детекторами. В 2006–2010 гг. все ключевые элементы и системы GVD (Gigaton Volume Detector) были разработаны, произведены и протестированы. Начата фаза конструирования прототипа кластера GVD в озере Байкал, которая завершится в 2015 г. развертыванием установки масштаба эксперимента ANTARES.
- В эксперименте DANSS создан прототип установки – DANSSino. Изучены фоновые условия на Калининской АЭС. Продемонстрирована правильность выбранной общей концепции детектора, внесены улучшения в конструкцию создаваемого прибора. Измерен спектр реакторных антинейтрино.
- EDELWEISS – эксперимент по поиску темной материи во Вселенной, исключил широкую область допустимых значений масс частиц темной энергии.

Также отмечается участие ОИЯИ в новых проектах и модернизации существующих, которые могут принести научному миру новые фундаментальные знания о природе нейтрино и физике за рамками Стандартной модели. Речь идет про эксперименты:

- NOvA и JUNO, которые ответят на вопрос об иерархии масс нейтрино. Отметим, однако, что потенциал этих экспериментов не исчерпывается этим фундаментальным вопросом – научная программа экспериментов обладает богатой и интересной физикой.
- БАЙКАЛ – базовая установка ЛЯП ОИЯИ. Этот эксперимент приобретает наиважнейшее значение в свете обнаружения первых астрофизических нейтрино сверхвысоких энергий экспериментом IceCube, что открывает новое направление в физике – «нейтринная астрономия». Модернизированная установка БАЙКАЛ должна играть первостепенную роль в этом направлении. Также БАЙКАЛ будет способен изучить иерархию масс нейтрино при помощи атмосферных нейтрино.
- DANSS и GEMMA-2 – эксперименты, проводимые в нейтринной лаборатории и базовой установке ЛЯП ОИЯИ на Калининской АЭС. В эксперименте DANSS будет дан ответ на вопрос о существовании стерильных нейтрино с массой в районе 0,1–1 эВ. Кроме того, в эксперименте DANSS будет отработана методика диагностики внутриреакторных процессов при помощи антинейтрино. Важнейшей задачей эксперимента GEMMA-2 кроме повышения чувствительности к магнитному моменту нейтрино будет поиск событий когерентного рассеяния нейтрино на ядрах германия.
- GERDA и SuperNEMO – могут ответить на вопрос о том, является ли нейтрино частицей Майораны, а также определить абсолютный масштаб нейтринных масс. Отметим, что потенциал такого возможного открытия сильнейшим образом зависит от ответа на вопрос об иерархии масс нейтрино – предмет поиска других экспериментов, таких как NOvA, JUNO, БАЙКАЛ, еще раз демонстрируя взаимосвязь различных подходов при исследовании нейтрино.
- BOREXINO – в следующей фазе своего развития планирует значительно повысить точность измерений. Отметим интересное продолжение физической программы эксперимента BOREXINO – проект SOX, который нацелен на изучение стерильных нейтрино при помощи искусственных источников нейтрино. Размещение источника снаружи (2014–2015) и внутри (2016–2017) детектора BOREXINO вместе с прекрасным энергетическим и пространственным разрешением детектора позволит получить сильное ограничение на область допустимых параметров. Другим направлением исследований коллаборации BOREXINO станет поиск темной материи с помощью новой установки Dark Side.

• EDELWEISS повысит свою чувствительность к обнаружению частиц темной материи.

Нейтринная программа ОИЯИ направлена на поиск ответов на все упомянутые выше и не решенные до сих пор фундаментальные вопросы нейтринной физики. Представляется маловероятным найти в мире хотя бы еще один научный центр-институт, в котором бы присутствовала аналогичная широта охвата нейтринной тематики. Коллектив ОИЯИ во всех проектах Нейтринной программы играет заметную или ключевую роль, что связано с высоким профессионализмом наших сотрудников и современной экспериментальной базой. Наряду с опытными физиками в Нейтринной программе задействовано большое количество молодежи – студентов, аспирантов и молодых исследователей, что позволяет с оптимизмом смотреть в будущее нейтринной физики в ОИЯИ.

Подчеркнем, что Нейтринная программа ОИЯИ базируется на мощной инфраструктуре, основанной на трех комплексах базовых установок ОИЯИ. Это:

1) уникальный нейтринный телескоп на озере Байкал (установка БАЙКАЛ-ГВД),

2) Калининская атомная электростанция (GEMMA, DANSS, DANSSino, низкопороговые сверхчистые Ge-детекторы и др.),

3) уникальные в своем роде (и международные по сути) низкофоновые подземные лаборатории Гран-Сассо (BOREXINO, Dark Side, OPERA, GERDA) и Модан (EDELWEISS, SuperNEMO, NEMO-3).

Кроме того, в рамках международных коллабораций ОИЯИ проводит эксперименты на пучках реакторных антинейтрино (Daya Bay, JUNO) и пучках ускорительных нейтрино (NOvA).

Отметим, что дальнейшее полноценное участие в новых прорывных экспериментах по Нейтринной программе ОИЯИ требует существенного увеличения финансирования. *Так, дополнительный масштаб инвестиций ОИЯИ в такие эксперименты, как JUNO и DANSS, оценивается на уровне 4 миллионов долларов до 2020 г.*

Байкальский нейтринный телескоп – новая базовая установка ОИЯИ

Согласно докладу академика В.А.Рубакова в настоящее время сложились идеальные условия для того, чтобы на базе технологий, развитых в эксперименте БАЙКАЛ, создать первоклассную астрофизическую нейтринную обсерваторию, конкурентоспособную на мировом уровне. Действительно, наблюдение астрофизических нейтрино в IceCube указывает на саму возможность нейтринной астрономии. Для этого требуется большой просматриваемый чувствительный объем, что достигается установкой новых секций с ФЭУ. Все стадии R&D в эксперименте БАЙКАЛ уже пройдены, поэтому увеличение объема установки линейно зависит от объема вложенных средств и времени. В 2006–2010 гг. разработаны, созданы и прошли долговременные испытания в составе экспериментальных гирлянд на оз. Байкал прототипы основных элементов и систем телескопа БАЙКАЛ-ГВД. С 2011 г. идут комплексные испытания элементов и систем кластера телескопа БАЙКАЛ-ГВД в виде автономных измерительных модулей. В результате реализации этой программы в ближайшие годы (2015 г.) будут созданы типовые элементы систем телескопа для массового тиражирования и введен в эксплуатацию первый кластер (уже названный «Dubna»), сопоставимый по своей чувствительности с нейтринным телескопом ANTARES (Средиземное море).

Вложение дополнительных 5 миллионов долларов ежегодно в течение 3–4 лет позволит увеличить просматриваемый объем до уровня установки, сопоставимой с IceCube. При этом БАЙКАЛ будет обладать очевидным преимуществом Северного полушария за счет возможности обнаруживать частицы, летящие из центра нашей Галактики. Кроме того, принципиальным в зарождающейся сейчас области физики – нейтринной астрономии – становится хорошее угловое разрешение установки – еще одно важное преимущество установки БАЙКАЛ по сравнению с IceCube.

Таким образом, через 3–4 года при динамичном и своевременном финансировании можно выйти на мировой уровень в этой области науки. Соответствующее решение необходимо принять как можно скорее, поскольку ANTARES и IceCube уже выдают первые результаты.

В ОИЯИ сложилась благоприятная для такого решения атмосфера – создан опытный коллектив, который уже сейчас играет важнейшую роль в эксперименте БАЙКАЛ. В коллективе много молодежи – это гарантия успешной и длительной работы. Пройдены все этапы R&D. Все это вместе позволяет быть уверенными в успехе предлагаемой модернизации установки и рассчитывать на получение научных результатов мирового уровня.

Академик В. А. Рубаков резюмировал в своем выступлении на нейтринном коллоквиуме: *«Пару лет назад IceCube ничего не видел, и БАЙКАЛ не был так актуален. Сегодня IceCube видит галактические нейтрино, но не очень-то хорошо. Потребность в установке на Байкале резко возросла. Это долгосрочный проект с ясными и весомыми перспективами, обреченный рано или поздно на получение уникальных результатов!»*

Профиль финансирования работ по Нейтринной программе ОИЯИ до 2018 г. (жирным выделены необходимые дополнительные ресурсы)

Проект	2013 (факт)	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
БАЙКАЛ	ОИЯИ: 180 k$ Внебюджет: 300k$ ОИЯИ 470 k руб. гранты (14 k$) = 500k$	500k$ +600k$	500k$ **+5M$**	500k$ **+5M$**	500k$ **+5M$**	500k$ **+5M$**	26M$ **(+20M$)**
Daya Bay	ОИЯИ: 20k$ Внебюджет: 45k$ 500k руб. РФФИ 500k руб. ГК = 95k$	100k$ +300k$	100k$				0.5M$
BOREXINO	ОИЯИ: 10 k$ Внебюджет: 200k руб. = 15k$	20k$	20k$	20k$	20k$	20k$	0.1M$
OPERA	ОИЯИ: 60 k$ Внебюджет: 50 k$ = 110k$	110k$	70k$				0.18M$
SuperNEMO	ОИЯИ 50k$ Внебюджет 1500k руб. = 95k$	95k$	105k$	100k$	100k$	100k$	0.5M$
GEMMA-2/3	ОИЯИ: 57k$ Внебюджет:40k$ = 100k$	100k$	100k$	100k$	100k$	100k$	0.5M$
GERDA	ОИЯИ: 39k$ Внебюджет: 510k руб. = 55k$	50k$	50k$	50k$	50k$	50k$	0.25M$
DANSS	203 k USD (JINR theme 1100) + 1 M RUR (RFBR) = 235 k$	235k$	200k$ **+250k$**	200k$ **+250k$**	200k$ **+250k$**	200k$ **+250k$**	2.035M$ **(+1M$)**
EDELWEISS	ОИЯИ: 67 k$ Внебюджет: 2900k руб. РФФИ = 155k$	155k$	150k$	100k$	100k$	100k$	0.605M$
NOvA		150k$	150k$	150k$	(100k$)	(100k$)	0.450M$
JUNO			100k$ **+250k$**	100k$ **+250k$**	100k$ **+250k$**	100k$ **+250k$**	1.400M$ **(+1M$)**
ИТОГО	*Семилетка →*	2415k$ *(2300k$)*					

Итак,

- для удержания и приумножения достигнутых в ОИЯИ передовых позиций в физике нейтрино и астрофизике – наиболее фундаментальной и стремительно развивающейся области современной физической науки,
- для придания наивысшего уровня значимости в ОИЯИ исследованиям по этой тематике и привлечения в ОИЯИ молодых сотрудников из стран-участниц,
- для укрепления международного сотрудничества ОИЯИ с институтами всего мира, и в особенности с российскими исследовательскими центрами,
- для решительного прорыва в создании новой уникальной базовой установки ОИЯИ – БАЙКАЛ-ГВД и выхода с ней в мировые лидеры исследований в области нейтринной астрофизики,
- для долгосрочного обеспечения фундаментальных и прикладных исследований на (анти) нейтринных пучках Калининской атомной электростанции,

т.е. для успешного выполнения изложенной выше Программы ОИЯИ в области нейтринной физики и астрофизики –

необходимо закрепление приказом директора ОИЯИ следующих позиций:

- *целевого вложения из бюджета ОИЯИ дополнительных 5 миллионов долларов ежегодно в течение 4 лет в создание установки БАЙКАЛ-ГВД, что позволит к 2018 г. иметь в распоряжении ОИЯИ и Российской Федерации уникальный в своем роде прибор, превосходящий по своим возможностям установку IceCube,*
- *дополнительного финансирования в размере 1 миллиона долларов (сроком до 2018 г.) экспериментов на Калининской атомной электростанции (DANSS, GEMMA и др.). Эти ресурсы пойдут на создание необходимой инфраструктуры на КАЭС,*
- *а также дополнительного финансирования эксперимента JUNO в размере 1 миллиона долларов (сроком до 2018 г.), что в значительной мере будет потрачено на создание необходимой инфраструктуры для производства элементов установки на территории ЛЯП ОИЯИ.*

В итоге дополнительно к бюджету ЛЯП – 22 M$ за 4 года из бюджета ОИЯИ.

Приложение 2

Лаборатория нейтринной астрофизики высоких энергий

Г.В.Домогацкий

Днем рождения лаборатории можно считать 1 октября 1980 года, когда состоялось заседание Ученого совета Института ядерных исследований АН СССР, на котором было принято предложение Моисея Александровича Маркова о создании в институте лаборатории для разработки метода глубоководной регистрации элементарных частиц и ориентирующейся на озеро Байкал, как место для создания испытательного полигона для прототипов планируемых в мире глубоководных крупномасштабных нейтринных телескопов. Годом ранее афганская авантюра лишила советских физиков возможности сохранения их участия в международном проекте создания гигантского черенковского детектора нейтрино в Тихом океане вблизи Гавайских островов (проект DUMAND). Как реакция на возникшую ситуацию родилось предложение Александра Евгеньевича Чудакова начать исследовательские работы на Байкале, приступить к разработке методики и созданию действующих относительно небольших детекторов, а там и посмотреть, что получится.

На том же заседании Ученого совета Института 1 октября 1980 года лаборатория получила своего заведующего (Г.В.Домогацкий), а немного времени спустя первых, перешедших из ОЛВЭНА сотрудников (Л.Б.Безруков и Э.В.Бугаев) и современное название. Последовавшими решениями Госплана СССР и Государственного комитета по науке и технике СССР это направление получило государственную поддержку в организационной и финансовой формах, лаборатории были выделены первые штатные единицы и средства на проведение работ, на работу были приняты первые молодые научные сотрудники (Ж-А.М.Джилкибаев, А.И.Панфилов, Л.Н.Степанов). К периоду 1984 – 1986 годов сложился коллектив лаборатории, содержавший перешедшего от И.В.Штраниха опытнейшего инженера-электронщика (А.М.Клабуков), пришедших из производства инженеров-хозяйственников (В.П.Науменко, Н.И.Пидгурский, Б.И.Глузман), опытного экономиста (Н.А.Айрапетова) и группу молодых выпускников МИФИ, МГУ, ОГУ (И.А.Белолаптиков, А.Борисовец, М.Д.Гальперин, А.А.Дорошенко, С.И.Климушин, Б.К.Лубсандоржиев, И.А.Сокальский). Лаборатория стала ядром создаваемой Байкальской коллаборации университетов, вузов и научно-исследовательских институтов СССР.

Вся сорокалетняя история развития лаборатории и Байкальского проекта допускает достаточно четкое ее разделение на три периода.

Восьмидесятые годы – от осмысления задачи до проекта НТ-200

Основываясь на опыте и результатах многолетних исследований Байкала сотрудниками Лимнологического института СО АН СССР, было определено конкретное место развертывания работ – акватория озера, примыкающая к 106-му км Кругобайкальской железной дороги (КБЖД).

Разработке проекта первого глубоководного нейтринного телескопа НТ-200 предшествовали длительные, на протяжении около десяти лет, исследования гидрооптических, гидрофизических и гидрологических условий проведения экспериментов на оз. Байкал, где неоценимую помощь сотрудникам лаборатории в освоении культуры работ на Байкале оказывали такие известные исследователи озера, как Г.И.Галазий и П.П.Шерстянкин. При этом был открыт эффект собственного свечения глубинных вод озера, обусловленный однофотонным излучением, сопровождающим некоторые реакции окисления органики. Была осуществлена постановка на длительную эксплуатацию пилотных глубоководных черенковских детекторов, использующих фотоэлектронные умножители ФЭУ-49Б, на которых

не только отрабатывалась методика, но и выполнялись первые физические эксперименты. В частности, был установлен верхний предел на интенсивность потока сверхтяжелых магнитных монополей по эффекту катализа распада барионов, находившийся на уровне наиболее сильных из существовавших в то время теоретических и экспериментальных ограничений. Совместно с ОКБ «Экран» (г. Новосибирск) и под общим руководством Л.Б.Безрукова специально для Байкальского нейтринного телескопа был разработан высокочувствительный гибридный фотоприемник «Квазар-370» с диаметром фотокатода 370 мм и решена задача изготовления герметичных стеклосфер, обеспечивающих необходимые условия длительной работы измерительной аппаратуры на байкальских глубинах (до 1400 м). Талантливым молодым инженером-конструктором лаборатории А.И.Панфиловым были сформулированы основные принципы построения глубоководных несущих конструкций на оз. Байкал и спускоподъемных механизмов, необходимых для монтажа глубоководного оборудования с ледового покрова озера. Специалистами лаборатории РАЛСНЕМГ (РАзработка Льда, СНЕга и Мерзлого Грунта) Горьковского политехнического института разработан специализированный комплекс оборудования, обеспечивающий прокладку со льда донных кабельных линий, связывающих глубоководную аппаратуру с береговым центром питания и управления. Активно включилась в работу группа немецких физиков во главе с Кристианом Шпирингом, взявшая на себя задачу создания глубоководного калибровочного источника света на основе газового лазера и внесшая значительный вклад в создание системы обработки и мониторинга данных. С деятельным участием группы сотрудников НИИЯФ МГУ во главе с Л.А. Кузьмичевым разработана концепция и архитектура системы сбора данных глубоководного телескопа НТ200. Другими словами, к концу 80-х годов были созданы необходимые предпосылки для разработки проекта первого нейтринного телескопа НТ-200, что и было завершено в 1989 году.

Значительную роль в становлении Байкальского проекта сыграл выход 16 июля 1987 года постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Развитие материально-технической базы исследований в области физики высоких энергий и Программа ее развития до 2020 года» и последующего постановления Президиума АН СССР от 29 декабря 1987 года № 1333, предусматривавших, как одну из задач, создание Байкальского глубоководного нейтринного телескопа. Постановлением были определены генеральный проектировщик и генеральный подрядчик строительства объектов инфраструктуры в Иркутской области, решены вопросы землеотвода, предусмотрены средства на сооружение объектов капитального строительства в г. Иркутске, Слюдянке и Байкальске, определены объемы финансирования закупок материалов и научного оборудования для исследовательских работ и комплектации создаваемой установки.

Заключая рассказ об этом периоде развития Байкальского проекта, необходимо подчеркнуть, что в этот период работа лаборатории протекала в тесном и весьма продуктивном взаимодействии с коллективом НИИПФ ИГУ, возглавлявшимся такими яркими людьми, как Ю.В.Парфенов и Н.М.Буднев. И последний, но весьма немаловажный итог периода 80-х годов, что в рамках лаборатории было сформировано байкальское подразделение Байкальский технический стационар, с задачей обслуживания и ремонта технических средств зимних экспедиций, обустройства береговой базы, постоянного обслуживания и поддержки системы энергопитания установки.

Первый глубоководный нейтринный телескоп НТ-200/НТ-200+

В начале 90-х были уже завершены необходимые расчеты и выполнены проектные работы, налажено производство глубоководных оптических модулей детектора на основе умножителей «Квазар-370», разработаны и испытаны все комплектующие элементы телескопа и всей системы глубоководных кабельных коммуникаций, и в зимние экспедиции 1991-го,

1992-го годов был выполнен монтаж несущего каркаса, а в 1993-м первых гирлянд оптических модулей детектора НТ-200. Монтаж гирлянд выполнялся поэтапно, в 1993–1998 годах, в условиях ежегодных зимних экспедиций на Байкал. В работах участвовало практически все мужское население лаборатории и групп других организаций – участников Байкальской коллаборации. Время для реализации в России проекта создания крупномасштабной установки, основанной практически полностью на отечественных комплектующих (кроме глубоководных калибровочных лазерных источников, делавшихся в Германии, и транспьютеров), было не самое располагающее. Проблемой постепенно становилось все, вплоть до продуктов питания в экспедиции. И неизвестно, на сколько лет могла бы затянуться работа по созданию детектора, если бы не решительная позиция немецкого участника проекта – DESY, руководство которого нашло возможность резко увеличить свой вклад в финансовую поддержку Байкальского проекта в эти самые трудные для проекта годы.

Регистрирующая аппаратура телескопа НТ200 расположена на глубине около 1100 м на расстоянии 3,6 км от берега и связана с береговым центром управления и сбора данных донными линиями связи. Телескоп представляет собой трехмерную решетку из оптических модулей (ОМ), размещенных на вертикальных грузонесущих кабель-тросах, нижние концы которых прикреплены к донным якорям, а верхние – к буям. Каждый вертикальный кабель-трос с оптическими модулями формирует структурную единицу телескопа – гирлянду ОМ. Телескоп содержит 192 ОМ, размещенных на 8 гирляндах длиной 68 м каждая. Вокруг центральной гирлянды равномерно вдоль окружности с радиусом 21,5 м расположены периферийные гирлянды.

Оптический модуль содержит гибридный фотоприемник «Квазар-370», размещенный в корпусе из низкорадиоактивного стекла. С целью подавления темнового темпа счета ФЭУ и фонового свечения глубинных вод озера оптические модули объединены в пары и включены по схеме совпадения регистрируемых сигналов во временном окне порядка 15 нс. Две пары ОМ имеют общий электронный системный модуль (СМ) и образуют функциональную единицу гирлянды – «связку». В состав СМ входят два блока выработки локального триггера, блок преобразования амплитуды, запуска светодиодов и блок управления. На выходе СМ формируются выходные сигналы (локальные триггеры) двух каналов “связки”, длительность которых пропорциональна входным зарядам, а передний фронт определяет время срабатывания канала.

Локальные триггеры со всех системных модулей гирлянды поступают в блоки электроники гирлянды БЭГ. В состав БЭГ входят шесть измерительных каналов, контроллер и модемы каналов данных и управления. Каждая гирлянда имеет два БЭГа, соединенных с блоком электроники детектора (БЭД). В БЭГе информация каждого измерительного канала оцифровывается, вырабатывается локальный триггер и формируется сигнал запроса в БЭД. Если в БЭДе накоплено достаточное количество сигналов запроса с БЭГов в интервале 500 нс, формируется сигнал “подтверждение”, поступающий во все БЭГи. После этого в БЭГах событию присваивается номер и накопленные данные передаются в береговой центр сбора данных и управления.

С целью повышения эффективности регистрации нейтрино высоких энергий в 2004–2005 годах телескоп НТ200 был модернизирован. Новая установка получила название НТ200+ и обеспечила как увеличение эффективного объема для регистрации каскадов от нейтрино, так и существенное повышение энергетического разрешения телескопа в целом. Детектор НТ200+ явился начальной версией базовой структурной единицы будущего Байкальского нейтринного телескопа с эффективным объемом порядка кубического километра.

Телескоп состоял из центральной части (НТ200) и трех внешних гирлянд, расположенных на расстоянии 100 м от центральной части детектора. На каждой внешней гирлян-

де размещалось по 12 ОМ, сгруппированных попарно, аналогично ОМ телескопа НТ200. Расстояния между каналами внешних гирлянд составляли 20, 50, 20, 30 и 20 м, считая от верхнего канала.

В то время как оптические модули, системные модули и измерительные каналы каждой внешней гирлянды полностью идентичны аппаратуре НТ200, электроника контроллера БЭГ потребовала существенной модернизации. Каждый измерительный канал БЭГ содержит преобразователь время–код, преобразователь длительность–код и схему записи номера события. Сигнал «запрос гирлянды» формируется контроллером БЭГ при условии двойных совпадений сигналов «запрос канала» во временных воротах 0,5 мкс. Запросы от всех внешних гирлянд передаются в центральный коммутационный модуль установки (DAQ-центр), где формируется сигнал «подтверждение», который возвращается ко всем внешним гирляндам. При наличии сигнала «подтверждение» информация о каждом локальном триггере (время, амплитуда, номер события, номер измерительного канала и глобальный номер события) передается через контроллер БЭГ в DAQ-центр. DAQ-центр обеспечивает объединение потоков данных и трансляцию всей полученной информации в береговой центр.

Байкальский глубоководный нейтринный телескоп НТ-200 стал одним из двух крупнейших (наряду с детектором AMANDA, создававшимся на Южном полюсе примерно в эти же годы) детекторов нейтрино высоких энергий. К существенным результатам первых работ по проекту НТ-200 следует отнести результаты анализа данных, полученных на промежуточных установках, который проводился как с точки зрения изучения параметров детекторов, так и по программам исследования потока атмосферных мюонов, выделения событий от нейтрино, поиска магнитных монополей. В экспериментах на детекторе НТ36 были зарегистрированы первые в мире глубоководные события от нейтрино (анализ Ж.-А.М. Джилкибаева) и установлено одно из наиболее сильных для своего времени ограничений на поток мюонов от эффекта аннигиляции массивных частиц темной материи (нейтралино) в центре Земли и ограничение на интенсивность природного потока нейтрино сверхвысоких (свыше 10 ТэВ) энергий. Наиболее значимые результаты были получены в 2005–2008 годах, когда на основе анализа экспериментальных данных были установлены новые, одни из наиболее сильных для своего времени, ограничения на величину природного потока быстрых ($v/c>0{,}8$) магнитных монополей – $4{,}6\cdot10^{-17}$ см$^{-2}\cdot$с$^{-1}\cdot$стер$^{-1}$ (анализ Э.А. Осиповой), на потоки мюонов, сопровождающих процесс аннигиляции массивных частиц темной материи (нейтралино) в центре Земли – $4{,}2\cdot10^{-15}$ см$^{-2}\cdot$с$^{-1}$ и в центре Солнца – $3\cdot10^{3}$ км$^{-2}\cdot$год$^{-1}$ в области масс нейтралино выше 500 ГэВ, на поток нейтрино от гамма-всплесков в интервале энергий вплоть до 10^{7} ГэВ, на поток нейтрино от локальных галактических источников, расположенных на южной небесной полусфере, в зависимости от склонения – $E^2F<5\cdot10^{-10}$ ТэВ$\cdot$см$^{-2}\cdot$с$^{-1}$ и, наконец, на интенсивность природного диффузного потока нейтрино, которое в диапазоне энергий от $2\cdot10^{4}$ до $2\cdot10^{7}$ ГэВ для величины суммарного потока нейтрино всех типов составил $E^2F<2{,}9\cdot10^{-7}$ ГэВ$\cdot$см$^{-2}\cdot$с$^{-1}\cdot$стер$^{-1}$ и находился в области теоретически предсказываемых значений. Получено также наиболее сильное для своего времени ограничение на поток электронных антинейтрино в области резонанса с энергией $6{,}3\cdot10^{6}$ ГэВ, которое составило $F<3{,}3\cdot10^{-20}$ см$^{-2}\cdot$с$^{-1}\cdot$стер$^{-1}\cdot$ГэВ$^{-1}$. Реализация проекта создания детектора НТ200+ позволила примерно в 3 раза повысить чувствительность эксперимента по поиску природного диффузного потока нейтрино и начать исследование их энергетического спектра вплоть до энергий 10^{18} эВ.

Другими словами, метод глубоководной регистрации элементарных частиц (и его ледовая модификация) доказал свою эффективность в исследовании природных потоков нейтрино высоких энергий. Уровень знаний о диффузном потоке нейтрино в диапазоне энергий ($10^{13}-10^{18}$) эВ, о локальных источниках нейтрино с энергией свыше 10 ГэВ, о природном потоке быстрых магнитных монополей и о проявлениях массивных частиц темной

материи определялся, главным образом, результатами экспериментальных исследований на Байкальском нейтринном телескопе НТ200/НТ200+, на детекторе AMANDA на Южном полюсе и, начиная с 2009 года, на детекторе ANTARES в Средиземном море. Ожидавшийся в 2011 году ввод в строй кубокилометрового детектора IceCube на Южном полюсе позволял надеяться, что в ряде задач чувствительность экспериментальных исследований будет поднята еще на один-два порядка величины.

На повестку дня вышла задача создания в Северном полушарии детектора, способного вести изучение центра нашей Галактики на уровне чувствительности, соизмеримой с детектором IceCube.

От проекта НТ-1000 до нейтринного телескопа BAIKAL-GVD

Удачное сочетание природных факторов, наряду с хорошей изученностью места проведения работ и накопленным опытом развертывания и эксплуатации нейтринного телескопа первого поколения НТ200/НТ200+, создали необходимые предпосылки для начала работ по проектированию и созданию глубоководного нейтринного телескопа с эффективным объемом масштаба кубического километра НТ1000 на оз. Байкал. Работа выполнялась в период с 2008-го по 2011-й год, и определяющую роль в ней сыграли сотрудники лаборатории Ж.-А. М. Джилкибаев, В. М. Айнутдинов и сотрудник ОИЯИ/ИЯИ И. А. Белолаптиков.

Глубоководный нейтринный телескоп НТ1000 предназначен для решения широкого круга задач астрофизики, космологии и физики элементарных частиц: поиска локальных нейтринных источников, исследования диффузного потока нейтрино, поиска проявлений темной материи, поиска магнитных монополей и других гипотетических частиц. Он будет представлять собой экспериментальный комплекс, предназначенный для исследования природных потоков нейтрино в области энергий выше 10 ТэВ посредством регистрации черенковского излучения вторичных мюонов и ливней, генерируемых в нейтринных взаимодействиях.

Концепция НТ1000 базировалась на ряде достаточно очевидных требований, предъявляемых к конструкции и организации регистрирующей системы нового детектора: максимально возможном использовании преимуществ монтажа регистрирующей системы с ледового покрова оз. Байкал, наращиваемости установки и обеспечении ее эффективной эксплуатации уже на первых стадиях развертывания, возможности реализации различных вариантов компоновки и плотности фотодетекторов в рамках одной измерительной системы.

Нейтрино астрофизической природы еще не были выделены в то время на детекторе IceCube, и задача создания в Северном полушарии нейтринного телескопа, способного стать инструментом нейтринной астрономии высоких энергий, допускала лишь интуитивное решение. И для проектирования базовой конфигурации детектора было принято значение 2304 общего количества ФЭУ Hamamatsu-7081HQE с полусферическим фотокатодом диаметром 250 мм как основной параметр, определяющий базовую конфигурацию установки.

С учетом перечисленных выше требований, а также на основании оценок светосилы и разрешающей способности НТ1000, базирующихся на результатах полномасштабного моделирования отклика телескопа на черенковское излучение мюонов и ливней, была разработана архитектура измерительных и коммуникационных систем и определена базовая конфигурация телескопа. ФЭУ вместе с управляющей электроникой размещаются в глубоководных стеклянных корпусах, образуя оптические модули. Оптические модули размещаются на вертикальных кабель-тросах и формируют гирлянды ОМ. Основной структурной единицей гирлянды является секция оптических модулей. Секция представляет собой функционально законченный узел детектора, включающий в себя системы регистрации излучения, обработки сигналов, калибровки, формирования триггера и передачи данных.

Секция содержит 12 ОМ, расположенных на расстоянии 15 м вдоль гирлянды, центральный модуль (ЦМ) и служебный модуль (СМ). Аналоговые сигналы со всех ОМ секции передаются в ЦМ по коаксиальным кабелям. По этим же кабелям к оптическим модулям подводится низковольтное питание. В ЦМ осуществляется преобразование аналоговых сигналов оптических модулей в цифровой код и передача полученной информации по линии Ethernet. Служебный модуль предназначен для калибровки временных каналов установки, определения положения гирлянды и электропитания ОМ. Местоположение гирлянды определяется гидроакустической системой измерения координат ГАСИК. Каналы синхронизации, электропитания и передачи данных секций объединяются в коммутационном модуле гирлянды (КМ), который связан с центральным блоком управления кластера.

Базовая конфигурация каждого из 12 кластеров НТ1000 включает в себя восемь гирлянд по 24 ОМ каждая (две секции на гирлянде), расположенных на расстоянии 60 м друг от друга. Расстояние между соседними кластерами составляет 300 м. Кластеры гирлянд связаны с Береговым центром комбинированными электрооптическими кабелями длиной ~6 км. Каждый кластер НТ1000 является функционально законченным детектором (с чувствительным объемом масштаба НТ200+ или ANTARES), способным работать как в составе единой установки, так и в автономном режиме. Это обеспечивает простоту наращивания телескопа и возможность ввода в эксплуатацию его отдельных частей по мере развертывания НТ1000.

Базовая конфигурация телескопа обеспечивает эффективный объем для регистрации ливней порядка 0,2–0,7 км^3 в интервале энергий 10^5–10^9 ГэВ и эффективную площадь для регистрации мюонов порядка 0,2–0,5 км^2 в диапазоне энергий 10^4–10^6 ГэВ. Точность восстановления направлений мюонов составляет 0,4–0,6 градуса, а направлений ливней – 5–7 градусов. Относительная точность восстановления энергии ливня составляет 20–35 %.

Долговременные натурные испытания аппаратуры секции НТ1000 были успешно проведены в оз. Байкал с 2008-го по 2010-й год. В 2010-м году был создан и испытан в лабораторных условиях прототип кластера НТ1000, который был развернут в оз. Байкал в период зимней экспедиции 2011 года. Свои современные очертания кластер приобрел к 2016 году после серии натурных испытаний и внесения соответствующих коррекций по итогам ежегодных зимних экспедиций и выделения событий астрофизической природы на детекторе IceCube – выросла длина гирлянд с 24 до 36 оптических модулей, с 40 м до 60 м возросло расстояние от гирлянд до центра кластера, внедрена новая, разработанная исследовательской фирмой Evologic (Германия) высокоэффективная система определения текущего положения оптических модулей, установлены новые калибровочные источники света на основе твердотельных лазеров, специально разработанных для настоящего проекта ООО МПЦ «ЭЛС-94», да и сам проект НТ-1000 стал восприниматься мировым сообществом как BAIKAL-GVD (Gigaton Volume Detector).

Очень серьезный импульс развитию BAIKAL-GVD придало вступление в активную работу по проекту Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна), где под руководством известного физика-экспериментатора В. Б. Бруданина было сформировано байкальское подразделение ЛЯП, ядро которого составили молодые воспитанники лаборатории, выпускники МИФИ и МФТИ И. А. Белолаптиков, Б. А. Шайбонов, Е. Н. Плисковский и К. В. Конищев. Подразделение стало эффективным партнером лаборатории НАВЭ ИЯИ РАН и взяло на себя монтаж и подготовку оптических модулей детектора, систем сбора, накопления и первичного анализа данных и вносит, в целом, весьма существенный вклад в работу по анализу данных и получению физических результатов. Благодаря целевому вкладу ОИЯИ произошло значительное развитие береговой инфраструктуры телескопа на 106-м км КБЖД и в г. Байкальске, осуществлявшееся под общим руководством пришедшего из ИЯФ СО РАН опытнейшего специалиста, физика-экспериментатора А. В. Аврорина. На

новый уровень технической оснащенности перешел и коллектив Байкальского технического стационара ИЯИ РАН, пополнившийся в последние годы рядом специалистов хорошего уровня (руководитель – пришедший из производства горный инженер Г.Б.Попов).

С апреля 2020 года нейтринный телескоп работает в составе семи кластеров и общий эффективный объем установки в задаче регистрации ливневых событий от нейтрино высоких энергий ($E \geqslant 100$ ТэВ) достиг значения ~0,35 куб. км, что позволяет надеяться на регистрацию и выделение трех-четырех таких событий в течение года. В рамках этой задачи выполнен предварительный анализ данных 2015, 2016, 2018 и, частично, 2019 года, позволивший выделить первые шесть событий в области энергии 100 ТэВ, где поток астрофизических нейтрино уже превалирует над фоном атмосферных нейтрино. Это означает, что в задаче поиска ливневых событий от нейтрино высоких энергий астрофизической природы байкальский детектор находится уже на расстоянии одной-двух успешных экспедиций до IceCube, где средний темп счета таких событий (в зависимости от энергетического порога регистрации) составляет четыре-шесть в год.

По состоянию на июль 2020 года общее число сотрудников лаборатории составляет 41 человек, в том числе 23 сотрудника Байкальского технического стационара. В составе лаборатории – 1 член-корреспондент РАН, 3 доктора физико-математических наук, 5 кандидатов физико-математических наук.

Приложение 3

First Meeting of the Baikal-GVD Scientific Advisory Committee

Report and Recommendations

Date of the Meeting: June 13, 2014
Location: JINR, Dubna

Members of the SAC:

Veniamin Berezinsky (LNGS, Gran Sasso, Italy),
Semen Gersthein (IHEP, Protvino, Russia),
Christian Spiering (DESY, Zeuthen, Germany),
Michel Spiro (IN2P3, Paris, France),
Valery Rubakov (*Chair,* INR RAS, Moscow, Russia),
Els de Wolf (NIKHEF, Amsterdam, Netherlands)

Agenda: see Appendix

The SAC was impressed by the excellent presentations given by the project members. We congratulate the collaboration to the successes towards GVD which have been reached so far. These successes are rooted in three decades of continuous work at Lake Baikal – starting with first site explorations in 1980, followed by the pioneering identification of first neutrino events in the 1993/1994 data, the operation of the full NT200 detector from 1998 on, and the test of first GVD concepts with NT200+. The focused work on the GVD project started in 2008, with important milestones marked by the operation of prototype installations of increasing complexity from 2010 on. Since April 2014, five of the eight strings of the first cluster are operated in Lake Baikal. The first cluster will be completed in March/April 2015.

The recent discovery of cosmic neutrinos with IceCube has strengthened the scientific case for cubic-kilometer neutrino telescopes on the Northern hemisphere. GVD in Lake Baikal and the KM3NeT detection blocks in the Mediterranean Sea will have a similar field of view and can be understood as components of one distributed infrastructure. With their superior angular resolution the water detectors will be very important to pin down the sources of the diffuse fluxes observed with IceCube, i.e. to identify point sources. This task becomes nowadays particularly important. More-

1

over, the systematics of water detectors differs from that of IceCube. This makes them important not only with respect to point sources but also for understanding the diffuse spectrum and its flavor composition. With the understanding of the importance of both Antarctic under-ice detectors and underwater neutrino telescopes in the Nothern hemisphere, a Global Neutrino Network consisting of IceCube, GVD and KM3NeT has been established, which makes this area truly global.

The committee was impressed by the advantages of installing a detector from the ice cover of Lake Baikal: easy deployment, easy access with the possibility to haul up strings and repair failed components, and a great flexibility in geometry. The future development of the GVD project should be such that these advantages are kept and maximally utilized. The chosen configuration of strings, buoys, shore cables etc. and the deployment methods make a maximum use of the possibilities offered by the ice cover.

The experimental demonstrations on the timing accuracy, the accuracy in reconstructing the position and the energy of showers (determined with a laser source at about 100 m distance), the accuracy of the acoustic positioning system etc. have been very convincing and are remarkable achievements.

Compared to the rather easy structures of the IceCube and KM3NeT data transmission chains, the GVD hierarchy is more sophisticated: optical modules à section electronics modules à string electronics modules à cluster electronics modules à shore station. Much of the functions are programmed to FPGAs, which is good to keep the failure rate low. Still, the reliability of the electronics is a main concern (as in all detectors of this kind!). The present failure rates are low (one can say: incomparably lower than in NT200!) but not yet low enough for the operation of 12 clusters. Some of these failures have reasons which will be avoided by using other components or by slight changes of the electronics boards. Other failures will be avoidable by stress/long-term tests, including tests after the transport to Lake Baikal. The SAC emphasizes the importance of extensive tests before deploying any component. A stepwise identification and elimination of error sources, as it was successfully practiced during the prototype phase and the construction of the DUBNA cluster, is no option for the following clusters. Therefore, we suggest including experts for risk analyses in order to better identify failure possibilities and establishment of quality control system to ensure sustainable high quality mass production. Before starting mass production, a Production Readiness Report (PRR) including a cost analysis should be prepared and be reviewed by the Detector Advisory Board. We recommend making use of the Global Neutrino Network, GNN, and of expertize on quality procedures and risk assessment existing in KM3NeT and IceCube.

One concern since long is the infrastructure at the Lake. A part of the deficits will be cured by the new buildings and the garage in Baikalsk which will hopefully rented/bought very soon. These buildings will offer sufficient space for the planned hardware tests after the transport from Moscow to Lake Baikal. However, we strongly emphasize the need to also substantially improve the infrastructure at the experiment location. The stepwise improvements of the last decade are noticeable but far from being sufficient. We acknowledge the intention of the management, in particular of the JINR management, to improve the situation substantially and with a high priority. This will make the site more attractive for shift members, but in particular it would ease the challenging conditions during the winter expeditions, under harsh weather conditions. It would also help to attract foreign collaborators. Other planned improvements include modernization of the existing park of winches and other equipment.

We emphasize the essential role of JINR Dubna. The increased engagement of JINR gave the project a substantial additional momentum and will be central for the further progress. It is also a necessary condition to realize the aggressive time schedule of GVD. We welcome the intention of JINR to allocate substantial resources, including funding, to this project.

For a project of this size and complexity, the collaboration appears to be too small. It has less than a fifth of the members of IceCube or KM3NeT. A particular deficit is observed with respect to PhD students. We propose to make all attempts to improve the present situation. The deficit of PhD students is particularly strong at the frontier of simulation and data analysis, since they carry the main load of these tasks – as in all big experiments. With the first physically interesting data being taken in the current year, this deficit has to be cured as soon as possible. Among several options we note the possibility of a stronger involvement of the Irkutsk University in the standard simulation and analysis procedures.

The participation of foreign institutions has its limitations in the fact that most of the candidate groups are already members of IceCube and KM3NeT, though recruiting of some European specialists is still feasible. Other possibilities would be the involvement of Dubna member states like Czech Republic, Slovakia and/or Poland, and attracting Asian countries as new members of the collaboration. We strongly encourage the collaboration management to explore these options. For this aim the Baikal collaboration should actively give seminars in scientific centers, emphasizing the open international character of the Baikal experiment. We note that a clear success with the DUBNA cluster will increase the chance to attract foreign partners.

A natural way of internationalization is a further strengthening of the ties within the Global Neutrino Network. This could include the use of common software, of common

standards for analysis and data presentation, the combination of data etc.

We underline the importance to have major astroparticle projects in Russia rather than only participating in projects abroad. This makes GVD a special case which can give Russia a high visibility for a moderate cost (compared to other high-energy astroparticle projects).

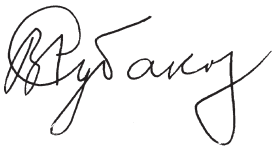
One element to prepare internationalization would be the existence of a GVD governance document which defines the management structure, the rules for membership, the publication rules and the rules for communication and information within the collaboration, as well as the implementation schedule and milestones of the project. We recommend developing such a governance document.

The SAC recommends intensifying the work on Monte Carlo simulation and data analysis. We clearly acknowledge the presented results on reconstruction of muons and showers which reflect a high competence. However, we recommend further studies to get an improved understanding of possible rare backgrounds. These studies will lead to a better understanding of the achievable sensitivity to various processes, and possibly even to modifications of the geometry (for which GVD offers excellent conditions – see above).

The search for the sources of cosmic rays, the indirect search for dark matter and the study of neutrino oscillations are primary goals of underwater telescopes. However, the telescope infrastructure can also be used for environmental studies. The SAC strongly supports these activities and emphasizes the related possibilities to broaden the community which supports the project (or even attract associated or full members of GVD).

The SAC thanks the GVD members for their convincing presentations and the JINR management for its hospitality. We wish the collaboration success for the completion of the DUBNA cluster!

Chair of the Baikal-GVD
Scientific Advisory Committee



V.Rubakov

Appendix

Baikal-GVD Scientific Advisory Committee:
AGENDA of the Meeting June 13, 2014

Opening
(Victor Matveev, Vadim Bednyakov, Valery Rubakov)

IceCube results
(Christian Spiering)

Km3NeT
(Els de Wolf)

Astrophysical sources
(Sergey Troitsky)

UHE cosmic neutrinos: where are cosmogenic neutrinos?
(Veniamin Berezinsky)

Coffee break

Baikal neutrino project
(Zhan Dzhilkibaev)

Lunch

Status of Baikal-GVD
(Igor Belolaptikov)

Baikal-GVD technical report
(Vladimir Aynutdinov)

General discussion

Suggestions on Detector Advisory Board
(Christian Spiering, Grigory Domogatsky) .

Closed Session

5

Приложение 4

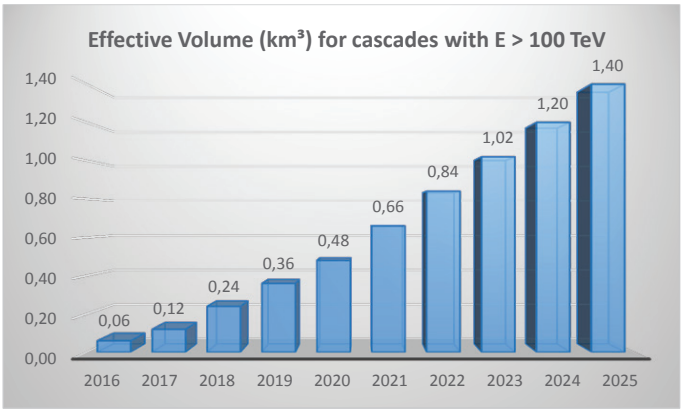
Answers to the questions from the PAC

26 January 2015

A. Detector and technical features

1. What is the total detector fiducial mass as a function of time?

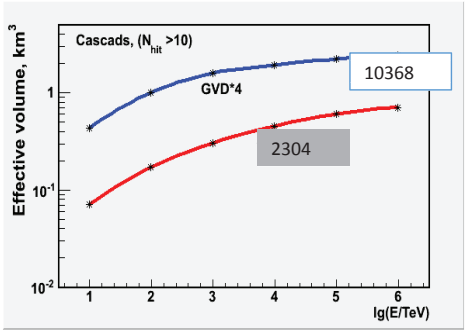
Assuming clusters with 1.5 times the height of the present first cluster (i.e. 3 instead of 2 sections with 12 OMs per section, 288 OMs per cluster) we obtain the following effective volumes for showers with energies > 100 TeV: 2016 – 0.06 km^3; 2017 - 0.12; 2018 - 0.24; 2019 - 0.36; 2020 -0.48; 2021 - 0.66; 2022 - 0.84; 2023 -1.02; 2024 -1.20; 2025 - 1.4 km^3.



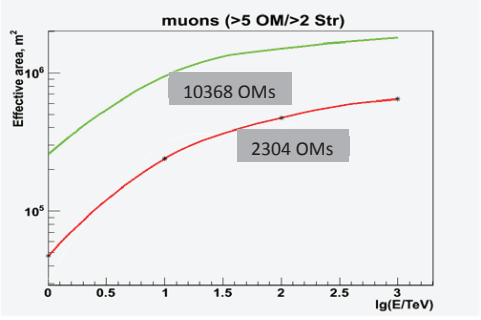
2. What is the energy threshold for muons and showers?

There is no fixed threshold. The effective volume (cascades) and area (muon tracks) rises with energy as shown in the figures below:

Cascades

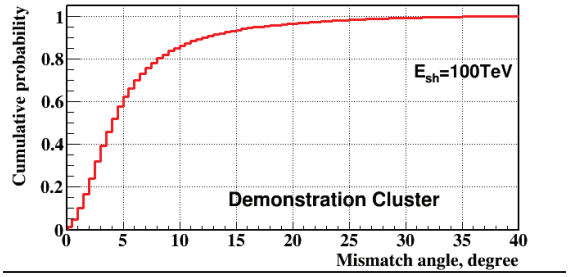


Muons

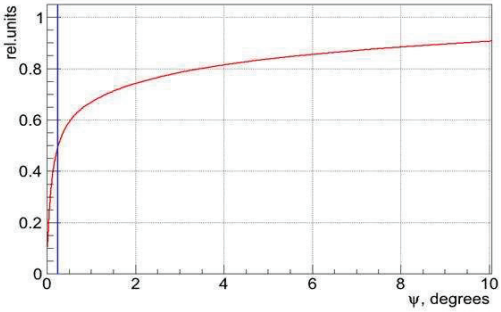


3. **What is the angular resolution to muons and showers (supported by simulations)?**

For showers the angular resolution ranges from 3° to 5°, for muons from 0.25° to 0.4°.



Fraction of shower events with mismatch angle ψ less than a given value.



Fraction of muon events (Eμ > 1 TeV) with mismatch angle ψ less than a given value.

4. **Confirm the arguments about the claimed superior performance of Baikal w.r.t. IceCube (projected performance at 2020).**

The main argument to build GVD is not any superior performance but a) the view to different parts of the sky and b) the different systematics which allows for an independent cross check of the diffuse flux measured by IceCube.

The superior performance of GVD applies to the measurement of cascades. The cascade angular resolution of GVD (3°) is much better than that of IceCube (~ 15°). This is due to the small light scattering in water. Therefore in GVD (as well as in KM3NeT) cascades, to a certain degree, can be used for point source searches. Since more than 2/3 of the signal is expected to appear in cascade events, this adds significant statistics for the identification of individual sources of neutrinos.

5. **How can the authors handle the following issues: lake shallow depth, small absorption length, and seasonal dependence of the latter?**

The environmental parameters have to be taken in total. Clearly, the small absorption length is a drawback compared to IceCube and KM3NeT. On the other hand, the scattering length is much bigger than in IceCube, resulting in a better angular resolution and background reduction. The light background is smaller than in KM3NeT, again resulting in an easier background rejection. The shallow depth can be counter-reacted by appropriate background rejection algorithms. This has been demonstrated by NT200. All our effective areas/volumes have been obtained after appropriate cuts for background rejection.

Clearly, the dominance of down-going muons starts at somewhat smaller zenith angles compared to larger depths. This reduces the solid angle for detecting through-going muons. For some analyses, however, the smaller depth can be even an advantage. This applies for the self-veto analysis à la IceCube. The argument is as follows: a track starting in the detector is taken as a neutrino. It cannot be an atmospheric neutrino, if another muon from the same direction (i.e. from the same air shower) enters the detector. In this way one can get a rather clean sample of non-atmospheric (cosmic) neutrinos; and naturally this work the better, the shallower the detector is and the easier it is for a down-going muon to reach the detector. This relatively new principle has not yet been simulated for GVD.

Seasonal variations are monitored as in KM3NeT: the position by acoustic sensors, the water parameters by artificial light sources integrated in the underwater array, and by the muons themselves.

6. **Give quantitative arguments on how compelling is another (in addition to KM3NeT) detector in the northern hemisphere.**

   a) We consider GVD to become part of one distributed infrastructure at the Northern hemisphere. Data from GVD and KM3NeT can be added to increase the statistical significance for point sources. In this sense GVD (stage 2) and the three locations for KM3NeT would contribute with similar volumes (each with 1-1.5 km^3). This is the spirit of the Global Neutrino Network which we hope to be extended towards a future Global Neutrino Observatory (IceCube/Generation-2 + KM3NeT + GVD). If KM3NeT/Phase 1.5 would be funded and built until 2020, the volume ratio in 2020 would be ~ 0.6 or1.2 km^3 (KM3NeT with 1 or 2 clusters) and 0.5 km^3 (GVD).

   b) We note however, that at present GVD operates a part of our first cluster with 112 OMs whereas KM3NeT has just 3 OMs of the final design in operation. Also, the funding for KM3NeT is not yet acquired.

7. **What is the strategy of the collaboration for the detector granularity vs physics goals? (*e.g.* high granularity for oscillation studies vs. coarse for high-energy sources).**

   a. Our present clear priority is the construction of an array optimized for high-energy studies. The option for oscillation studies stays open but will depend to a certain extend on the realization of ORCA or PINGU.

b. If we would decide to go for a high-density array, we would reach that essentially just by geometrical compression of the array (similar as planned in the case of ORCA): smaller distances between OMs along a string, smaller distances between strings and clusters. The OMs itself, the data acquisition, the calibrations system etc. would stay the same.

8. **Are they considering a surface array detector, to discriminate against atmospheric shower events (at least during winter time), and possibly detectors on the shores to identify very much inclined events?**

   a) A **surface array** would make only sense for calibration studies, since it can be realized only for 2 winter months and therefore would give limited advantages for high-statistics studies.
   b) This argument does not apply for such **detectors at the shore**, but there the small solid angle hampers the collection of large statistics.
   c) Due to these 2 arguments we have not devoted (our rather limited) manpower to the simulation of these options. This may change with the enlargement of the collaboration.
   d) We note that instead of vetoing events by a surface detector, one can use the upper layers of the detector itself as a veto ("self-veto", see the answer to question A4 the IceCube HESE analysis). Provided a very good detection efficiency, this works the better, the shallower the detector is. These effects have not been simulated yet.

B. Physics reach and sensitivities

1. **Give sensitivities to the existence of high-energy sources by comparing to the projected sensitivity (statistics) of IceCube by the moment a 1 km^3 detector will be operational.**

We first have to emphasize that we look to different parts of the sky, where IceCube has essentially no sensitivity at energies < 100 TeV. The relevant comparison would then be to KM3NeT, which has a similar time schedule as GVD (see above).

The present point source limits of IceCube for the Northern sky are about 10^{-12} TeV cm^{-2} s^{-1} (data from 4 years, the first with partial configurations of IceCube – 40, 59 and 79 strings). The sensitivity will improve by about a factor 3 until 2020 (or lead to a discovery). IceCube limits on the Southern hemisphere would be about a factor 30 worse for hard spectra, and negligible for steep spectra or cut-offs below 100 TeV. Our expected sensitivity in 2020 will be of the same order (close to 10^{-12} TeV cm^{-2} s^{-1}), i.e. 1.5 orders of magnitude below the IceCube limits in the South. It would be based on the cumulative statistics collected with the increasing array from 2015 on and make use of the 0.25° angular resolution which is nearly twice as small as that of IceCube.

2. **Why the proponents claim that the supposedly smaller systematic uncertainties associated to water Cerenkov vs ice Cerenkov play a role, despite the fact that statistical errors will be dominant for many years of data taking?**

a) Uncertainties due to environmental effects are of different character for point source searches and diffuse flux searches.
b) For point source searches the angular resolution is relevant, which is much better in water.
c) For diffuse searches the understanding of the energy scale is important. Here again, a homogenous medium is much easier to understand and to simulate. Systematic biases as e.g. due to the layered ice structure or the badly known features of the hole ice can bias the energy scale, the positioning error (not just resolution) for cascades, etc. This is equally important for high and low statistics – see the discussion of the contribution of prompt atmospheric neutrinos to the IceCube signal at very high energies.
d) Systematic effects may be also important also a low energies close to the threshold, where insufficient knowledge of the ice structure close to individual modules may mimic a lower or higher energy or a shifted direction.

3. **Give quantitative features on the sensitivity to diffuse isotropic neutrino flux (extragalactic origin) compared to the projected performance of IceCube in 2020.**

The cumulative number of events corresponding to the IceCube HESE analysis and energies > 100 TeV (in IceCube: 12 events in 3 years) is given in the table below, as a function of time. In 2020 IceCube would have collected about 50 events (We note that the effective volume IceCube's HESE analysis is only 0.4 km^3).

The total number of events we will have collected is only half of the IceCube events at that time, but is already enough to provide a valuable cross-check of their results.

Cumulative number of events (>100 TeV)						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Baseline plan	1	2	5	10	17	27
Compressed plan	1	3	7	14	24	

4. **What could be a unique feature of Baikal in terms of physics reach compared to the other detectors (projected to 2020), able to fully justify the project?**

a) Water properties: small light scattering and moderate environmental light background (better pattern recognition, reconstruction and background rejection)
b) Cost-effective deployment from the ice cover
c) Small distance to shore: short cable lines, easy cable laying
d) Very small water currents: small position corrections
e) Possibility to haul up strings and replace failed components
f) Possibility to change the configuration
g) Non-aggressive medium (compared to salt water)
h) Existing basic infrastructure (see for improvements below!)

Parameter	Feature	BAIKAL	IceCube	KM3NeT
Status		Operation of prototype configurations (-)	Full operation (+)	Operation of prototypes (-)
Coordinates	Visibility of central Galaxy	52° N (+)	South Pole (-)	42° N (+)
Light attenuation In the medium	absorption scattering attenuation	22 – 25 m 30 – 70 m 20 – 22 m (+/-)	30 – 150 m 1 – 4 m 10 – 30 m (-)	40 – 60 m 40 – 70 m 40 - 60 m (+)
Light background of the medium	Steady Occasional	15 – 40 kHz --------- (+/-)	300 – 500 Hz --------- (+)	~ 70 kHz 100 – 1000 kHz (-)
Background (atm.muons)	Depth (m)	600 – 1300 (-)	1500 – 2500 (+/-)	2000 – 4000 (+)
Agressivity	Salt content	(+)	(+)	(-)
Currents		(+/-)	(+)	(-)
Infrastructure	existence maintenance	(+) (+)	(+) (-)	(+/-) (+)
Deployment		(+)	(-)	(-)
Cable length	To shore /surface	4-6 km (+/-)	2.5-3 km (+)	25 – 150 км (-)
Prophylactics, repair		(+)	(-) ??	(+/-)
Extension		(+)	(+/-)	(-) ??
Tradition/priority in Russia		(+)	not applicable	not applicable

It is clear that one cannot sum up the pluses and minuses. But it is also clear that there are a significant portion of issues speaking in favor of the Baikal site.

5. **Could Baikal have a competitive project analogous to PINGU and ORCA to measure the neutrino mass hierarchy? In this case, what could be the timing compare to the other projects?**

Detailed Simulations have not been performed. We would likely pursue this idea only in the case that neither ORCA not PINGU would be built. See also answer to question A6.

6. **Is there any interdisciplinary program associated to Baikal, in particular in biology studies like for Antares or KM3NeT?**

Since the water luminescence is directly connected to biological activity of the phytoplankton in the lake, we perform these studies together with the biological faculty of the Irkutsk University and with the Limnological Institute of the Siberian branch of the Russian Academy of Science. In addition, our infrastructure is used by science groups for research which is not directly linked to the telescope and is not using its data – starting from Swiss and German groups who take ground probes and ending with the deployment of independent sensors for water parameters and water currents.

C. Collaboration, cost, timeline

1. **What is the present collaboration, with emphasis on the international groups? The present collaborator list appears to be small for such a challenging project. What is the impact of the lack of infrastructures in Baikal to attract international groups?**

We are very aware of this problem and are actively looking for new collaborators. However, the worldwide reservoir of experienced potential collaborators has been largely exhausted by IceCube and KM3NeT. New collaborators could be acquired from countries which are neither engaged in IceCube nor in KM3NeT, or from Russia itself. We are happy to see an embryonic interest from Slovakia and Poland through the participation of Dubna delegates from these countries. We strongly hope to further raise the attractiveness for new collaborators by a successful operation of our first cluster.

A certain part of the personnel deficit could be mitigated by making use of synergy effects within the Global Neutrino Network (e.g. use of software developed in IceCube or KM3NeT, as KM3NeT did it with IceCube software).

We are also aware of the fact, that better living conditions at the Lake are essential to attract new collaborators. This does not only apply to international groups, but also to Russian groups. We plan to invest in average an equivalent of about 0.5 M$/year over the next 4-5 years to improve the infrastructure.

2. **Justify the cost of the 1 km3 detector (give a breakdown of all items and of manpower, as well) compared to the ~ x10 cost of ICECUBE, and what is the share among the various institutions?**

The official full IceCube cost of 272 M$ includes a huge amount of personnel cost which commonly is not included in European accounting, moreover overhead cost (which may reach 50% in some US institutions). It also includes the cost for the drilling equipment, for transport to Pole, and for drilling the holes. It also includes the cost for the surface array IceTop.

Within the Global Neutrino Network we are presently working

a) On a clear and comparable cost estimate
b) On a figure of merit (i.e. to what should one normalize the cost – geometrical volume, effective volume/area, sensitivity, …)

It is therefore premature to give a definite, precise answer. We try instead a raw comparison for the detector hardware itself.

The hardware cost for 1 IceCube string (including DAQ and computers) was communicated to us as somewhat below 1 M$. The total for 86 strings is therefore ~80 M$. This corresponds to 1 km^3 instrumented volume and 5160 OMs. Baikal GVD/stage-1 with standard strings (2 sections) and 12 clusters corresponds to 0.4 km^3 and nearly 2400 OMs. The pure instrumental cost for GVD-Phase-1 is about 20 M$. This gives a cost/OM-volume ratio of ~ 1.6 (80 M$/$km^3$ for IceCube, 20 M$/0.4 km^3 ~50 M$/km^3 for GVD).

A cost ratio of 1.6 seems very reasonable within estimation errors. A certain part of the remaining higher cost of the IceCube hardware is likely due to extreme reliability requirements (no access after deployment!) which result in more expensive electronics components.

As noted above, practically all other differences are due to the extremely high cost for deployment, maintenance, transport expenses and personnel in IceCube, and the low cost for all these items in GVD.

3. What is the organizational/responsibility chart of the collaboration? Which contributions are expected and which responsibilities are open to international groups?

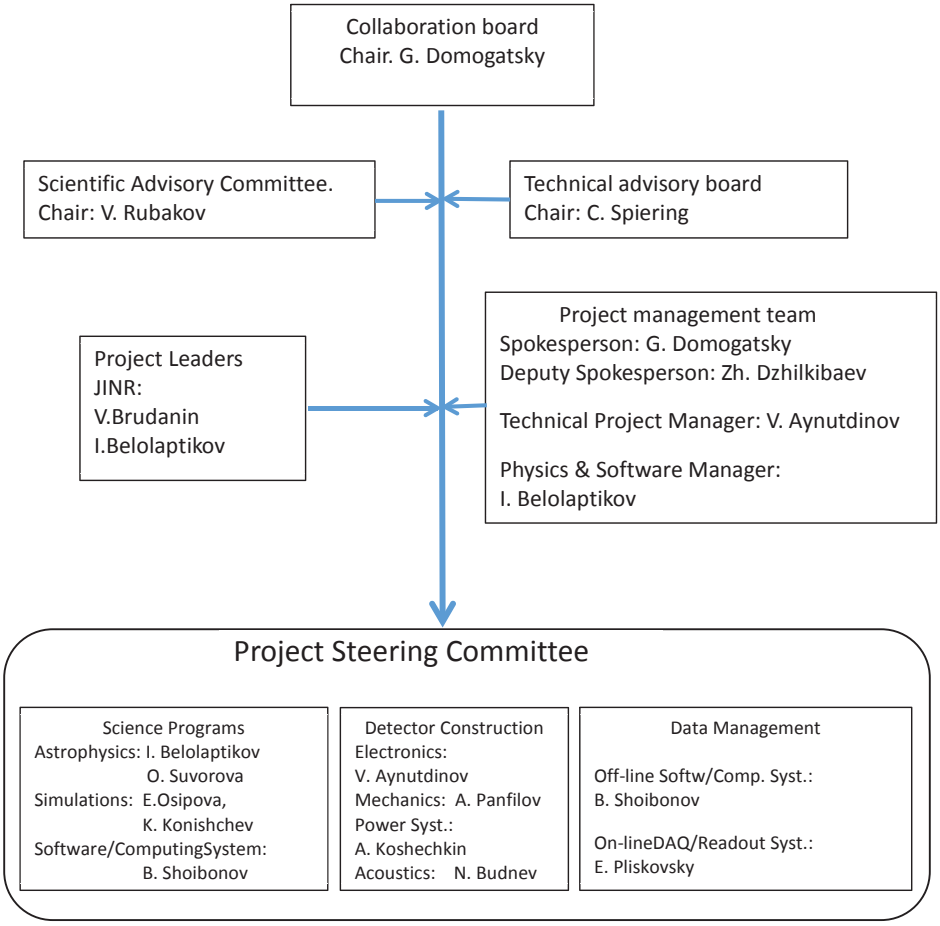
Since we will build stage-1 with a fixed design of all components of the array itself, the contribution of new members in hardware are limited. A high-intensity light calibration source would be helpful and is independent of the detector system itself. We would also welcome expertise in quality control and risk assessment with the possibility to slight improvements in electronics in case this turns out necessary.

For the shore station we would welcome contributions in online reconstruction and monitoring.

Contributions in software/analysis include data simulation in general, charm contribution to atmospheric muons and neutrinos, search for slowly moving particles (2 fields not covered at present), environmental science. Actually we could include a list of all kinds of physics objectives, whether they are presently covered or not.

The situation for stage-2 looks different. Here, basic improvements to the detectors design are conceivable, starting from the optical module and ending with data transmission to shore. If such developments should make sense, R&D in this direction must start as soon as possible (see,

for comparison, the R&D on new optical modules for the IceCube extension, which have been started in 2014 – five years before the earliest possible year of deployment). This is work which could well go under the umbrella of the Global Neutrino Network.



4. **Give quantitative information on the timeline for production and delivery of the PMTs.**

Tentatively 600 PMTs per year in the period 2015-2018.

5. **Give a detailed realization plan and cost estimate of the related infrastructure (buildings, readout and control rooms, etc.).**

In the period 2015-2018, the planned annual investment for developing the infrastructure is at the level of 400-500 k$

We plan the modernization of five key parts of GVD:

a) Rooms for the production of 600-650 OMs in JINR
b) Rooms for the production and test of electronics control modules in INR (100 modules per year
c) Modernization of the shore stations at the two site locations (km106 and km107 along the Baikal Railway), which shell enable the installation of 2 clusters per year, provide good living conditions during the winter expeditions, with modern standards for about 50-60 people, the construction of a modular automatized center for data acquisition and electrical support which includes rooms for the shift operators with modern working and living conditions
d) Development of the base station in Baikalsk city, with the aim to broaden the possibilities to store and to transport modules and other equipment, for repairing failed components and for the support of the expedition
e) Rooms for cable assembly in the Irkutsk University.

These works have already started: we bought a garage for 5 cars in Baikalsk city, a motor boat for 7-8 passengers, for the transport between Baikals and the shore station. We also started the project work of the modular shore center, collect information necessary for design, construction and renovation of buildings at the shore.
We prepare the rooms for the OM and electronics production in INR with the aim to serve for the expeditions in 2015 and 2016.

6. **What is the actual interplay/collaboration/synergy with the KM3NeT and IceCube collaborations, beyond a generic networking activity? If the Baikal collaboration will not join the KM3NeT consortium, are they still at least envisioning a data sharing policy?**

Actually most of the present common activities carry the character of network activities. Among the cooperative projects we list:

- combinations of sky maps (until now: Antares + IceCube)
- cross-checks of results with different systematics
- exchange and mutual checks of software
- creation of a common software pool
- standards for data representation
- mutual working visits
- mutual representation in the advisory committees of the four collaborations.

Within GNN, we are presently focusing much effort on the definition of common standards for data representation and figures of merit which will enable a better definition the role of the individual projects in a global concert of detectors.

We certainly envisage a data sharing beyond the exchange of skymap of events (containing for every even the position, an energy estimator, the reconstruction errors etc.). However, GNN has postponed corresponding regulations to the time when detectors of comparable size exist in the North and in the South.

Приложение 5

Visit of the Baikal GVD observatory installation site

Michel Spiro and Els de Wolf

19–23 March 2015

We spent two days at the installation site of the Baikal GVD observatory. We were very impressed not only by the beauty of the site and the kindness of our hosts but also by the motivation of the team in Baikal, the warmness of the atmosphere, including scientists, engineers and technicians, the good spirit and common will of success. We could well appreciate the know-how accumulated over the past more than fifteen years and the real expertise in the field of underwater neutrino astronomy and neutrino detector. The visit was extremely interesting thanks to the openness of our hosts and their willingness to show us everything on the site both in the deployment camp on the ice floor and in the shore station.

In-situ, we could follow almost all steps of the installation chain of a cluster. Already 5 strings were installed in earlier expeditions. In the current expedition, installation of three more strings is scheduled, thus completing the DUBNA cluster; although yet with less sections per string than designed. During our visit, installation of these three additional strings was almost finished. Prior to this expedition, 72 optical modules were assembled, tested and packed for transport in the typical yellow wooden transport boxes in INR (see also the report of the TAB). Below in varying detail our understanding of the installation procedure at the Baikal site.

In the *workshop* in the shore station at the Baikal site, the electronics in all the optical modules had undergone a final test before preparation for deployment. For the 72 modules this took about 10 days. In the future when mass production has started up, this step will be less rigorously applied. For closure, the module is placed on a *Lazy Susan*, i.e. revolving tool, on a dedicated assembly table with the necessary tools at hand. The *Lazy Susan* particularly contributes to *quality control* as it allows for careful handling of the sphere without having to lift it. The two hemispheres are separated while taking care of the required precious handling of the glass. After cleaning the two contact surfaces the sphere is closed again, sealed with putty tape and cohesive tape, some underpressure at a predefined value is applied and connectivity is verified at the connector outside the module at the feedthrough of the module. Then the mechanical support of the module in the string is mounted around the glass sphere and the module is packed for transport to the ice camp in the same transport box again. We did not see whether there was a registration of the closed module, but did not inform about it either. In our opinion the assembly of the optical module is well under control. For *quality control* during mass production, we advise to describe the steps in the procedure for sphere closure on a poster on a well visible place near each assembly table. The full assembly procedure allows for easy parallelization facilitating deployment of multiple clusters during a single expedition; this will then require more space for multiple assembly lines.

The *deployment camp* on the ice floor has a well recognizable infrastructure reflecting the position of the strings in the cluster. Wifi connectivity is available at the full area of the sea camp. Each string has its own surface infrastructure with a rig, crane and tools around the hole in the ice. A string with sections of optical modules, hydrophones and control modules is composed at the spot using this infrastructure. Cables are easily prepared and laid without torsion on the ice floor. Modules are stored near the hole on the ice. Since two persons are required to lift the transport box, the load on each person is low enough. For deployment, a module is placed on the transport box that now serves as a table on the wooden cover of the hole in the ice. The module is attached to the mechanical cable of the string, connectivity is verified using leds and logged in a logbook as a step in the *quality control*; the module is lifted with the crane, the transport box is removed for re-use and the string is lowered until the mark on the mechanical cable indicating the position of the next module. Connection of the string with the central data acquisition of the cluster is established using a torpedo to funnel the connecting cable underneath the ice floor

toward the DAQ module in the centre of the cluster. Before deployment of the string to the bed of the lake, connectivity is verified at shallow depth. Since the expedition was already quite advanced when we arrived, we have not seen the start of the string composition with the anchor. We were impressed by the professional attitude of all people at the ice camp. It is obvious that also the deployment procedure of the strings allows for parallelization. Therefore, the foreseen deployment of one to two clusters per expedition is within reach. Provided sufficient personpower would be available an even faster rate of deployment could be achieved.

The electro-optical *deep water cable* connecting the cluster with the data acquisition system in the shore station arrives at some distance of the station on shore and follows as a land cable the track of the railroad toward the shore station. The *DAQ infrastructure* in the shore station is well equipped with the DAQ electronics in racks that require relatively small space. A computer with the data quality monitoring and control system for operation of the cluster is available. Data are transmitted to the offline data storage via internet. The internet connection also allows for remote operation of the detector. The wifi connection at the ice camp can allow for operation of connected strings from the ice floor.

Currently, the deployed strings have two sections. The strings will be completed to their full length in a next expedition. To allow for reconstruction of muon tracks with the current geometry, the distance between the strings is 40 m instead of the foreseen 60 m. Also this distance will be adjusted in the next expeditions. Also, during this expedition a new acoustic device developed by Irkutsk University was installed at the top of one of the strings for a test period until the next expedition. Moreover, an upgrade of some of the electronic components in the control modules is scheduled (if weather permits). All this, shows the strong feature of deployment from the ice floor that allows not only for easy maintenance and upgrade of deployed strings but also for adapting the configuration of the detector even after deployment.

The installation *crew* is well trained and experienced. *Safety* is taken seriously; at the ice camp itself, the procedure of mounting modules using the transport boxes automatically requires closing the open hole in the ice with a cover; we could experience that before entering the ice floor by car the safety procedure is explained. We experienced that *catering* of the expedition crew is taken seriously as well as an important ingredient for creating a dedicated crew during a period of several weeks. We did not see the *accommodation* of the expedition crew. Our accommodation was simple but adequate. If permitted in this protected environment, we advise to upgrade the level of the facilities.

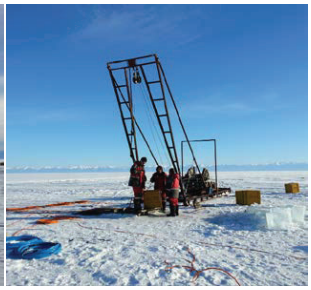
As described above, we could appreciate how much *flexibility* is built-in in deploying the detector from the ice floor. After deployment, all distances between strings and between clusters are still flexible. Although we did not discuss it, we estimate that even the distance between optical modules on a string can be made smaller relatively easy, although it would require recovery of the string. This flexibility is a unique feature compared to other neutrino astronomy detectors. It will allow the Baikal observatory to adjust optimally their geometry to the physics and astrophysics discoveries.

More contact and *collaborative approaches* should absolutely be developed between the Baikal neutrino observatory and the two other observatories in Antarctica and the Mediterranean Sea. This could proceed via bilateral agreements or via enhancing the global neutrino network in order to exchange experience, hardware and software expertise and ultimately produce common data analysis.

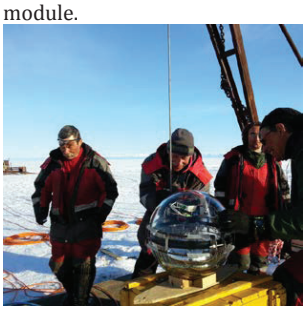
Pictures illustrating the Baikal site facilities and major components

The optical module at the assembly table in the *workshop* of the shore station. Note the *Lazy Susan* underneath the optical module.

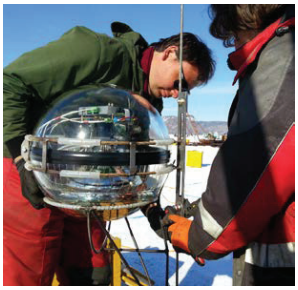
Ice camp with several string deployment infrastructures visible.



Typical *string deployment infrastructure* with rig, winch and crane. Note the yellow transport boxes.

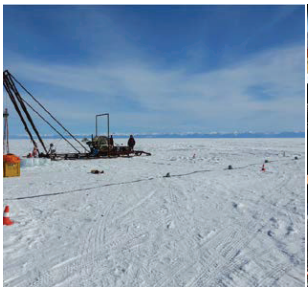


Yellow box supporting the optical module during mounting to the mechanical cable.



Securing the mount of the optical module to the mechanical cable. Note the mechanical support structure of the OM around the equator.

Cables for connection of the OM laid on the *ice floor* before deployment.



Interlink cable between the string and the DAQ centre being prepared with buoyancy.

Preparation for interconnection of a string and the DAQ centre. Note the red 'torpedo' near the wooden casing of the hole.

DAQ centre of the DUBNA cluster with the power module, trigger module and the module for communication to shore.

Приложение 6

В.А.Бедняков – В.А.Матвееву

Прошу Вас выделить дополнительное финансирование на тему 03-2-1100-2018/2021 в размере 3 000 k$ в 2018 году. Потребность в выделении дополнительного финансирования в 2018 году возникла по следующим причинам:

1. ***Глубоководный нейтринный телескоп HT1000 (BAIKAL-GVD)***.

В настоящее время нейтринный телескоп состоит из 3 кластеров. Набор статистики начался первым кластером в июне 2016 года. Обработка накопленных за это время экспериментальных данных показала наличие двух событий с нейтрино сверхвысоких энергий. Обработка данных продолжается. В 2019 году планируется установить 2 кластера телескопа. В 2018 году нам это не удалось сделать по причине несвоевременных поставок материалов и оборудования для телескопа. Поставщики, как российские фирмы (Псковгеокабель и др.), так и швейцарские и японские фирмы (TRECOPOWER и др.) не вовремя (с задержкой от 2 до 6 месяцев) поставили необходимые материалы и оборудования. Три кластера – это 900 оптических модулей. 6 оптических модулей из 900 (0.6%) не работает (в ICECUBE 1%). По 12 оптических модулей объединяются в секции, а вот электроника секций не надежное звено. В результате ненадежной работы электроники секций фактически 10% оптических модулей отключено. Для увеличения надежности электроники необходимо проводить долговременное (~ 6-8 месяцев) тестирование кластеров в лабораторных условиях. Сейчас тесты короткие (из-за задержек с поставками комплектующих). Для успешного продолжение работ необходимо создать инфраструктуру для тестирования и складирования готовой продукции. Необходимо опережающее финансирование инфраструктурных работ, связанное со спецификой работ на озере Байкал в зимнее время, а также опережающее финансирование закупок материалов и оборудования на сумму 2 000 k$.

2. ***Нейтринная лаборатория на КАЭС***

В настоящее время на КАЭС проводятся работы на двух спектрометрах DANSS и GEMMA. Набор статистики в эксперименте DANSS начался в июне 2016 года. Получены лучшие в мире ограничения на массы стерильного нейтрино. Эксперимент GEMMA по поиску когерентного рассеяния нейтрино и поиску магнитного момента нейтрино начинается в декабре 2018. а первые результаты будут в июне 2019 года. Для окончания ввода в строй этих установок необходимо приобрести недостающее оборудование и материалы. Выделенное на эти цели финансирование (~ 1 000 k$) было затрачено на инфраструктуру эксперимента Байкал и опережающее финансирование комплектование эксперимента Байкал. Необходимо ~ 1 000 k$ для финансирования этих работ.

Результатом дополнительного финансирования станет получение новых приоритетных результатов мирового уровня в ОИЯИ в течение 2018- 2021 годах.

В.А. Бедняков

Пояснительная записка.

1. **На тему 1100 на 2018 год было выделено** **6 200.0 k$**

Затраты на 01.08.2018 (контракты и договора) **-6 010.1 k$**

В том числе материалы и оборудование по договорам и контрактам 2017г, а оплаченные в 2018 г: материалы 947.5 k$

оборудование 540.0 k$

Итого ***1487.5 k$***

Остаток по теме 1100 на 01.08.2018 **189.9 k$**

2. **Необходимое дополнительное финансирование темы 1100 в размере 3 000 k$, из них на проекты:**

BAIKAL – GVD:

1. Неоплаченные, но уже оформленные договора контракты *(см. приложение)* 991.766 k$
2. Остановленные договора и контракты *(см. приложение)* 580.699 k$
3. Необходимо приобрести дополнительно следующие материалы и оборудование:
   - Сетки для магнитных экранов ФЭУ 28.500 k$
   - Высоковольтные источники питания ФЭУ 73.000 k$
   - Выполнение работ по отжигу магнитных экранов 20.497 k$
   - Кабельная продукция (подводные кабели) 135.500 k$
   - Инфраструктура для тестовых стендов 150.000 k$
   - Модули для гидроакустического позиционирования 25.800 k$

   Итого для BAIKAL-GVD **2 005.762 k$**

Калининская атомная электростанция (DANSS, vGEN, GEMMA), GERDA, SuperNEMO, EDELWEISS:

1. Оптоволокно фирмы КУРАРАЙ 92.000 k$
2. Фотоумножители фирмы HAMAMATSU 227.500 k$
3. Пассивная защита из железа для SuperNEMO 230.800 k$
4. Сверхчистый германий для проекта GERDA 200.900 k$
5. Инфраструктура химической лаборатории 255.000 k$

Итого **1 006.200 k$**

Необходимое дополнительное финансирование: **3 011.962 k$**

В.Б. Бруданин

Приложение 7

M. Jeźabek to V. Bednyakov

INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Kraków, 29 kwietnia 2019 r.
ND-063-3/19

Director
Vadim Bednyakov
Joliot-Cuire 6,
141980 Dubna
Moscow region
Russia

Dear Professor Bednyakov, Dear Vadim,

Thank you very much for Your letter dated 25th of March 2019 and the official invitation for the Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences in Kraków to join the Baikal Gigaton Volume Detector project.

It is a great pleasure to accept this invitation. The Baikal-GVD project is a very ambitious and promising undertaking in the neutrino science, with a large potential for making fundamental discoveries in astrophysics. Scientists from our Institute have been actively involved in this project and Mr. Konrad Kopański has received a grant from JINR to support these activities. Now I am really happy to know that INP PAS will fully participate in the Baikal-GVD project.

We have a small but enthusiastic team lead by Dr. Paweł Malecki. For the time being, the team includes Konrad Kopański, Jarosław Stasielak and Wojciech Noga, but I hope it will grow in time. This team will contact you soon to establish plans for further cooperation.

Looking forward to seeing both You and Dimitri Naumov soon in Kraków.

With best regards,

Marek Jeżabek

Prof. dr hab. Marek Jeżabek
Dyrektor IFJ PAN

ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków
www.ifj.edu.pl
centrala: +48 12 662 8000
dyrektor: +48 12 662 8200
e-mail: dyrektor@ifj.edu.pl
fax: +48 12 662 8458
NIP: PL 6750000444
REGON: 000326983
RIN: RIN-III-61/04

Приложение 8

Л.В.Кравчук, Г.В.Домогацкий – В.А.Матвееву

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Адрес: ИЯИ РАН, проспект 60-летия Октября, 7а, Москва, 117312
Телефоны: (499) 135-77-60, (495) 850-42-00, (495) 850-42-16 (канцелярия)
Факс: (499) 135-22-68, (495) 850-42-28
Электронная почта: inr@inr.ac.ru, inr@inr.ru; Интернет: www.inr.ru, www.inr.ac.ru

26.12.2019 № 2699122-20-01-1047

Директору ОИЯИ

академику В.А.Матвееву

Глубокоуважаемый Виктор Анатольевич.

Наш институт обращается к Вам с просьбой поддержать проекты договоров целевого финансирования на 2020 год между ОИЯИ и ИЯИ РАН, направленных на развитие инфраструктуры нашего совместного Байкальского нейтринного эксперимента.

Средства, выделяемые ОИЯИ на эти цели играют огромную роль в развитии проекта в целом.

Другим устойчивым источником финансовой поддержки работ ИЯИ РАН по Байкальскому проекту являлись на протяжении последних лет средства программ Президиума РАН. Однако, как Вы хорошо знаете, вопрос о финансировании этих программ на 2020 год и последующие годы до сих пор не решен и находится в подвешенном состоянии.

В связи с этим просим Вашего разрешения на включение в смету договоров целевого финансирования таких жизненно важных для поддержания инфраструктуры стационара статей, как оплата электроэнергии, тепло- и водоснабжения, командировок сотрудников на 106 км КБЖД, договоров аренды и прочих инфраструктурных расходов, которые в смете будут отражены как «Накладные расходы». Фактические расходы по этим статьям будут подтверждены первичными бухгалтерскими документами.

Общая сумма договоров при этом не меняется и составляет **21 млн.руб**. на «Развитие инфраструктуры эксперимента “Baikal-GVD” и **27 млн. руб**. на «Выполнение проектных и ремонтных работ на территории Байкальского технического стационара ИЯИ РАН (106-107 км КБЖД, г.Байкальск, Промплощадка, 4)

Прилагаемые тексты договоров и приложения к ним с расшифровкой статей расходов предварительно согласованы с руководителем работ по Байкальскому проекту в ОИЯИ В.Б.Бруданиным .

Директор ИЯИ РАН
член-корреспондент РАН — Л.В.Кравчук

Руководитель Байкальского проекта
член-корреспондент РАН — Г.В.Домогацкий

Л.В. Чварова
С.Н. Доценко
В.Б. Брудашину

Разрешаю и прошу оформить договор.
28.01.2020 г.

Приложение 9

В.А.Бедняков – В.А.Матвееву

Р. Ледницки
М.Г. Итнису
А.С. Сорину
М.П. Василеву

13.02.2020 г

№ 200- 52/ 294 ОИИ 11.02.2020 г.

В.А.Матвееву

Организовать работу Рабочей Комиссии по анализу Элементов Др. ЛЯП

Уважаемый Виктор Анатольевич!

На Ваше письмо № 010-31/225 от 18.12.2019 г. «О финансовых отчетах за 2019 г. о создании (модернизации) основных экспериментальных установок в рамках научных тем» мы отправили запрашиваемые таблицы в ПФО. Бюджет ЛЯП - 2019 по материальным статьям исполнен практически на 100%.

На этом фоне бюджет ЛЯП-2020 выглядит катастрофически недостаточным, поскольку по основным материальным статьям (5,6,10) он меньше бюджета ЛЯП-2019 почти на 30%, а с учетом дополнительного финансирования 2019 г. – на 50%.

При таком бюджете мы можем обеспечить запросы руководителей научных тем по плановым закупкам в 2020 г. не более, чем на 35-40%.

Приоритетную Нейтринную тему 1100 удается обеспечить лишь на 50% (k$ 5538 вместо необходимых k$ 10985), из них на «Байкал» приходится примерно k$ 5000 (по Семилетнему плану k$ 6600).

В 2019 г. фактические затраты по проекту «Байкал» (ст. 5.6.10) составили **k$ 7243,7** и еще около **k$ 800** – по договорам целевого финансирования с ИЯИ РАН (ст.14 и 17).

Бюджет - 2020 год позволил нам запланировать оплату только одного их этих договоров (по ст.17). Второй договор **на k$ 416** – по ремонту помещений и техники береговой инфраструктуры на оз. Байкал (ст.14), остался необеспеченным.

Работы по проекту «Байкал» ведутся очень интенсивно. На начало 2020 г. уже имеются обещанные в текущем году платежи по ранее заключенным договорам на сумму k$ 4500, т.е. лимит всего 2020 г. уже практически исчерпан. Суммарный дефицит средств по проекту «Байкал» мы оцениваем **в k$ 4420**.

Далее, уменьшение бюджета ЛЯП-2020 по сравнению с 2019 г. по всем остальным научным темам Лаборатории составляет k$ 1200, а с учетом доп. финансирования 2019 г. и запросов руководителей тем – более чем на k$ 3000.

Остаются необеспеченными также заявки ОКС за работы, которые по сути носят общеинститутский характер и составляют k$ 340.

Итого **суммарный дефицит бюджета ЛЯП-2020** составляет как минимум **k$ 5960,** не считая «входящего сальдо».

Из вышеприведенного однозначно следует, что научная работа ЛЯП при таком бюджете подвержена высокому риску невыполнения утвержденных планов и обязательств ОИЯИ, что серьезно ударит по престижу Института и обесценит многолетние усилия большого числа исследователей в ОИЯИ и Мире. Невыполнение принятых обязательств может привести к уменьшению инвестирования в Институт, что, очевидно, крайне нежелательно.

Поэтому, дирекция ЛЯП обращается к Вам с просьбой **увеличить бюджет** ЛЯП-2020 за за счет дополнительного финансирования в размере обоснованных выше **k$ 5960**. Из них **k$ 416** по ст.14 необходимы уже сейчас, поскольку договоры целевого финансирования, подписанные со стороны ИЯИ РАН и одобренные Вами, ждут согласования.

С уважением,

В.А.Бедняков

Приложение 10

Приложение 5

УТВЕРЖДАЮ
Директор ОИЯИ
_____
«___» _____ 2020__ г.

КОРРЕКТИРОВКА
расходов бюджета Лаборатории ядерных проблем
на 2020 год

(РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНТОВ ДИРЕКЦИИ)

Обоснование корректировки:

Письмо № 200- 51/776 от 04.06.2020 г. о необходимости исполнения контракта № 200-2427 от 27.05.2020 г. с фирмой HAMAMATSU на закупку фотоэлектронных умножителей для проекта «BAIKAL-GVD». Фотоумножители – важнейший элемент Нейтринного телескопа, без которых невозможно его полноценное функционирование. Но собственных средств, выделенных Лаборатории в текущем году, на их приобретение недостаточно.

В связи с этим обращаемся с просьбой о дополнительном финансировании по теме 1100 в сумме 2000 тыс.долларов США.

(тыс. долларов США)

Раздел бюджета, шифр темы	Номер и наименование статьи и субстатьи расходов	Бюджет	Корректи-ровка	Скорректи-рованный бюджет
ЯФ, тема 1100	Ст.5 Материалы	3000,0	+2000,0	5000,0

Директор Лаборатории ядерных проблем — В.А.Бедняков

Руководитель темы 1100 — В.Б.Бруданин

Помощник директора ЛЯП
по экономическим и финансовым вопросам — Г.А.Усова

Начальник
Планово-финансового отдела — Л.В.Уварова

Приложение 11

МЕМОРАНДУМ О ВЗАИМОПОНИМАНИИ

между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Объединенным институтом ядерных исследований по развитию Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD и экспериментальных исследований в области нейтринной астрофизики высоких энергий, нейтринной астрономии, физики нейтрино

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (далее – Минобрнауки России) и Объединенный институт ядерных исследований (далее – ОИЯИ), далее именуемые «Сторонами»,

признавая важность объединения усилий для поддержки существующих и создания новых крупных физических экспериментальных установок на территории Российской Федерации, а также для проведения исследований с их использованием в рамках федеральных и международных проектов и программ;

стремясь к эффективному развитию инновационной деятельности в области систем с большим количеством распределенных в естественных средах датчиков и обработки больших массивов данных;

понимая необходимость сохранения и развития высокого уровня и традиций научно-исследовательской деятельности в области физики нейтрино, астрофизики, нейтринной астрономии и ядерной физики в Российской Федерации и государствах-членах ОИЯИ;

развивая и укрепляя международное сотрудничество в сфере научных исследований и разработок;

учитывая, что проведение исследовательских работ имеет большое научное и практическое значение для Сторон,

пришли к взаимопониманию о нижеследующем:

1. Стороны намерены в пределах своей компетенции способствовать реализации проекта «Байкальский глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD» (далее соответственно – Проект, телескоп Baikal-GVD), который

выполняется на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерных исследований Российской академии наук» (далее – ИЯИ РАН) в рамках государственного задания и других исследовательских программ и в ОИЯИ в рамках утвержденного проблемно-тематического плана (далее – ПТП ОИЯИ).

2. Стороны намерены осуществлять сотрудничество по следующим направлениям:

увеличение эффективного объема телескопа Baikal-GVD до масштаба порядка кубического километра и его дальнейшее развитие в последующие годы, включая проведение международных исследований;

развитие инженерно-технической и лабораторной инфраструктуры Проекта на озере Байкал для обеспечения разработки, производства, доставки и эксплуатации уникального, специализированного научного оборудования на материально-технической базе, принадлежащей ИЯИ РАН;

проведение ОИЯИ и ИЯИ РАН фундаментальных исследований природных потоков мюонов и нейтрино высоких энергий, поиска магнитных монополей и частиц темной материи в экспериментах на телескопе Baikal-GVD с участием зарубежных пользователей, а также сопутствующих исследований, обеспечивающих получение новых знаний о свойствах и изменениях окружающей среды (гидрологии, биогидрологии, электрических полей, климатических и сейсмических факторов), которые необходимы для развития Проекта и правильной интерпретации экспериментальных данных по регистрации астрофизических нейтрино высоких энергий.

3. Стороны могут взаимодействовать с иными заинтересованными организациями и привлекать по отдельным направлениям сфер сотрудничества третьих лиц, развивать международные связи по Проекту в координации друг с другом, а также с организациями – соисполнителями и участниками Проекта, поименованными соответственно «Соисполнители» и «Участники» в приложении к настоящему Меморандуму.

4. Стороны поддерживают создание рабочей группы в составе представителей ОИЯИ, Минобрнауки России, организаций – участников Проекта в целях координации работ по Проекту, формирования планов по развитию телескопа Baikal-GVD с учетом распределения функциональных обязанностей между Сторонами, организациями – участниками Проекта,

а также рекомендаций Комитета международного научного консорциума «Глобальная нейтринная сеть» (GNN), Комитета научных советников и Комитета технических советников, а также анализа достигнутых научных результатов Проекта в процессе выполнения совместной научно-технической деятельности, сформированной на основе действующих в организациях – участниках Проекта программ и планов.

5. По взаимному согласию Сторон в настоящий Меморандум могут быть внесены изменения путем подписания соответствующего протокола.

6. Настоящий Меморандум не является международным договором и не создает обязательств, регулируемых международным правом.

7. Вопросы, связанные с реализацией настоящего Меморандума, будут решаться путем переговоров между Сторонами.

8. Настоящий Меморандум применяется с даты его подписания Сторонами.

9. Любая из Сторон вправе прекратить применение настоящего Меморандума посредством направления другой Стороне соответствующего письменного уведомления. Применение настоящего Меморандума прекращается по истечении двух месяцев с даты получения такого уведомления другой Стороной.

Подписано «13» марта 2021 года в двух подлинных экземплярах на русском языке.

За Объединенный институт ядерных исследований

Г.В. Трубников
Директор Объединенного института ядерных исследований

За Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

В.Н. Фальков
Министр науки и высшего образования Российской Федерации

Приложение

Список
научных и образовательных организаций – соисполнителей
и участников проекта «Baikal-GVD»

1. **Соисполнители:**

1.1. Институт ядерных исследований РАН (г. Москва) - головная организация по выполнению проекта;

1.2. Иркутский государственный университет (г. Иркутск);

1.3. Нижегородский государственный технический университет (г. Нижний Новгород);

2. **Участники:**

2.1. Институт экспериментальной и прикладной физики Чешского Технического Университета (г. Прага, Чехия);

2.2. Факультет математики, физики и информатики Комениус Университета (г. Братислава, Словакия);

2.3. EvoLogics Gmbh, (г. Берлин, Германия);

2.4. Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences (г. Краков, Польша).

Приложение 12

Соглашение

о сотрудничестве и совместной деятельности между Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом ядерных исследований Российской академии наук и Международной межправительственной организацией Объединенным институтом ядерных исследований

г. Дубна «30» 09 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (далее - ИЯИ РАН), в лице Директора Либанова Максима Валентиновича, действующего на основании Устава, Международная межправительственная научно-исследовательская организация Объединенный институт ядерных исследований (далее - ОИЯИ), в лице Директора Трубникова Григория Владимировича, действующего на основании Устава, совместно именуемые «Стороны»,

принимая во внимание Меморандум о взаимопонимании между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Объединенным институтом ядерных исследований по развитию Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD и экспериментальных исследований в области нейтринной астрофизики высоких энергий, нейтринной астрономии, физики нейтрино,

признавая важность долгосрочной совместной деятельности Сторон по реализации на базе ИЯИ РАН и ОИЯИ научно-исследовательского инфраструктурного комплекса «Байкальский глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD» (далее – Проект, телескоп Baikal-GVD), эксплуатируемой ИЯИ РАН и ОИЯИ в целях проведения совместных фундаментальных, инновационных, прикладных и методических исследований,

соглашаясь с необходимостью формирования правовой основы для объединения научно-технических, материально-технических и финансовых ресурсов Сторон,

учитывая существенно возросший за последние пять лет научный и финансовый вклад ОИЯИ в развитие Проекта, и признавая пионерские исследования и разработки ИЯИ РАН, лежащие в основе современной концепции нейтринного телескопа Baikal-GVD,

заключили настоящее Соглашение о сотрудничестве (далее – Соглашение) о нижеследующем:

1. Предмет соглашения

1.1. Настоящее Соглашение определяет правовые основы в области материально-технической и финансовой совместной деятельности Сторон, направленной на создание глубоководного нейтринного детектора с чувствительным объемом порядка кубического километра для исследований в области нейтринной астрономии, физики нейтрино и астрофизики в рамках проекта «Байкальский глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD».

1.2. Цели совместной деятельности Сторон:

увеличение эффективного объема телескопа Baikal-GVD до масштаба порядка кубического километра и его дальнейшее развитие в последующие годы, включая проведение международных исследований;

развитие инженерно-технической и лабораторной инфраструктуры Проекта на озере Байкал, а также территориях ОИЯИ и ИЯИ РАН для обеспечения разработки, производства, доставки и эксплуатации уникального, специализированного научного оборудования на материально-технической базе, принадлежащей ИЯИ РАН;

проведение Сторонами фундаментальных исследований природных потоков мюонов и нейтрино высоких и сверхвысоких энергий, поиска магнитных монополей и частиц темной материи в экспериментах на телескопе Baikal-GVD с участием зарубежных партнеров, а также проведение сопутствующих исследований, обеспечивающих получение новых знаний о свойствах окружающей среды (гидрологии, биогидрологии, электрических полей, климатических и сейсмических факторов), которые необходимы для развития Проекта и правильной интерпретации экспериментальных данных;

создание Коллаборации и привлечение в Проект российских, иностранных и международных организаций для объединения усилий и ресурсов в решении научных, инженерных, технических и организационных проблем в создании, эксплуатации и развитии Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD.

получение новых знаний и результатов совместной научно-исследовательской деятельности в рамках Проекта, в том числе в виде публикаций, патентов, повышения собственной квалификации, образовательной деятельности и участия во внешних научных мероприятиях.

1.3. На период осуществления совместной деятельности Стороны назначают по одному Руководителю Проекта и его Заместителю от каждой Стороны для оперативного решения вопросов, возникающих в ходе исполнения обязательств по настоящему Соглашению.

1.4. Стороны проводят совещания, консультации и семинары по согласованной тематике, в целях объединения интеллектуальных ресурсов и решения поставленных задач создаются рабочие/экспертные группы, а также комитеты.

1.5. По взаимному решению Сторон к Соглашению могут присоединиться иные заинтересованные организации.

2. Вклады Сторон

2.1. В качестве вкладов Стороны могут вносить в совместную деятельность технологии, технику, оборудование, приборы, материалы и др. предназначенные для целей реализации задач Проекта, являющиеся собственностью каждой из Сторон.

2.2. Стороны вносят вклады в совместную деятельность на основании отдельных Договоров, заключаемых в рамках настоящего Соглашения. Размер вкладов Сторон определяется по факту их внесения.

2.3. По состоянию на 01.01.2021 г. Сторонами в рамках совместной деятельности Проекта осуществлен монтаж и введены в эксплуатацию 8 кластеров.

3. Научный вклад ОИЯИ

3.1. ОИЯИ проводит исследования и разработки по согласованной программе в рамках темы Проблемно-тематического плана ОИЯИ «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика».

3.2. ОИЯИ отвечает за: изготовление, тестирование и первичную калибровку оптических модулей; проведение работ по развертыванию и вводу в эксплуатацию кластеров детектора; управление установкой; обеспечение безопасного доступа к данным как на берегу, так и к хранилищу данных в ОИЯИ; поддержку архива данных и первичный анализ; программы моделирования и создания банков МК-данных.

3.3. ОИЯИ разрабатывает: программное обеспечение системы управления установкой и системой сбора данных; систему мониторинга работы установки и характеристик среды; методы калибровки оптических модулей и детектора; программное обеспечение подготовки данных и методов первичного анализа; программы моделирования отклика детектора методом Монте-Карло на прохождение частиц высокой энергии; алгоритмы выделения и восстановления событий, регистрируемых детектором.

3.4. ОИЯИ отвечает за выполнение следующих задач в Проекте:

– Изготовление, тестирование и первичную калибровку глубоководных оптических модулей;

– Выведение оптических модулей на рабочий режим в составе детектора;

– Программное обеспечение системы управления установкой и системой сбора данных, а также стендов для отладки создаваемой электроники;

– Накопление данных, безопасное хранение и обеспечение доступа к данным с установки;

– Удаленное управление установкой, мониторинг работы установки и характеристик среды детектора;

– Программное обеспечение и подготовку данных, первичный анализ;

– Программное обеспечение эксперимента модельными данными;

– Проведение работ по развертыванию и вводу в эксплуатацию телескопа.

4. Финансовый вклад ОИЯИ

4.1. Общий финансовый вклад ОИЯИ в период с 2015 года и по состоянию на 01.01.2021 г. составил 2 531 723 тысяч рублей.

4.2 Стороны подтверждают, что на момент подписания настоящего Соглашения в рамках финансирования Проекта, в качестве вклада в совместную деятельность, со стороны ОИЯИ для развития инфраструктуры эксперимента Baikal-GVD, приобретения имущественного комплекса в г. Байкальск, выполнения проектных и ремонтных работ на территории Байкальского технического стационара ИЯИ РАН предоставлены средства по договорам целевого финансирования на общую сумму 335 000 тысяч рублей, из них в 2021 году 48 000 тысяч рублей.

5. Научный вклад ИЯИ РАН

5.1. ИЯИ РАН проводит исследования и разработки в рамках темы плана НИР «Нейтринная астрофизика, нейтринная, гамма и гравитационно-волновая астрономия, физика космических лучей, физика и техника нейтринных телескопов в низкофоновых подземных и подводных лабораториях» и темам работ по соглашениям с Минобрнауки России и грантам внебюджетных фондов.

5.2. ИЯИ РАН отвечает за: тестирование электроники оптических модулей, изготовление и тестирование подводной части системы управления установкой и сбора данных; организацию и проведение работ по развертыванию и вводу в эксплуатацию кластеров детектора; разработку и испытание компонент системы кабельных коммуникаций, развитие и поддержка инфраструктуры телескопа.

5.3. ИЯИ РАН разрабатывает: системы сбора данных нового поколения; систему мониторинга работы установки; методы калибровки оптических модулей и детектора; программы моделирования отклика детектора методом Монте-Карло на прохождение частиц высокой энергии; алгоритмы выделения и восстановления событий, регистрируемых детектором; алгоритмы анализа данных на предмет решения физических задач эксперимента.

5.4. ИЯИ РАН отвечает за выполнение следующих задач в Проекте

– Изготовление и тестирование электронных глубоководных модулей системы сбора данных и управления установкой;

– Программное обеспечение системы управления установкой и системы сбора данных;

– Разработка и согласование с производителями кабельных систем детектора;

– Удаленное управление установки, мониторинг работы установки и характеристик среды детектора;

– Программное обеспечение эксперимента модельными данными;

– Проведение работ развертыванию и вводу в эксплуатацию телескопа;

– Обеспечение инфраструктуры эксперимента.

6. Финансовый вклад ИЯИ РАН

6.1. Общий финансовый вклад ИЯИ РАН в Проект в период с 1987 и по состоянию на 01.01.2021 г., составил 588 743 тыс.рублей.

7. Права и обязанности Сторон

7.1. В период действия настоящего Соглашения с целью реализации задач Проекта ОИЯИ обязуется обеспечить:

– финансирование работ в рамках согласованной сметы затрат для развития инфраструктуры эксперимента Baikal-GVD;

– передачу ИЯИ РАН в совместное пользование приборов, необходимого научно-технического оборудования, материалов, программного обеспечения и другого имущества, принадлежащего ОИЯИ (Приложение 1 к настоящему Соглашению);

– направление (командирование) необходимого количества своих специалистов для выполнения Проекта;

– соблюдение порядка и правил ведения работ на территориях и зонах ответственности ИЯИ РАН, в том числе нормы по охране труда, технике безопасности, иные инструкции, действующие в принимающей организации;

– выполнение запланированных в рамках Проекта работ;

- не распространять конфиденциальную информацию о деятельности Сторон в рамках Проекта и о результатах незаконченных работ.

7.2. В период действия настоящего Соглашения с целью реализации задач Проекта ИЯИ РАН обязуется обеспечить:

– право ОИЯИ безвозмездного пользования имущественным комплексом в г. Байкальск, находящимся в оперативном управлении ИЯИ РАН, со всем научно-техническим оборудованием, транспортными средствами и плавсредствами (Приложение 2 к настоящему Соглашению);

– содержание и сохранность приборов, научно-технического оборудования, материалов, программного обеспечения и другого имущества принадлежащего ОИЯИ (Приложение 1 к настоящему Соглашению);

– организацию совместных экспедиций, включая организацию допуска специалистов ОИЯИ и безопасность проведения совместных работ на территориях и зонах ответственности ИЯИ РАН;

– предоставление ОИЯИ всей информации, необходимой для обеспечения нормальной работы в рамках Проекта, включая информацию об особом статусе о.Байкал и соответствующих запрещенных/ограниченных видах деятельности на Байкальской природной территории;

– выполнение запланированных в рамках Проекта работ;

– не распространять конфиденциальную информацию о деятельности Сторон в рамках Проекта и о результатах незаконченных работ.

7.3. Стороны имеют право:

– участвовать через своих представителей во всех мероприятиях, проводимых в рамках Проекта;

– выступать с инициативами и проектами, проводить исследования и работы по согласованным Сторонами планам;

– для реализации конкретных задач Проекта, связанных с его финансированием и иными юридически значимыми обязательствами, заключать в рамках Проекта отдельные договоры (соглашения);

– использовать результаты собственных и совместных исследований в рамках деятельности Проекта для удовлетворения научных интересов, публикаций, повышения собственной квалификации, образовательной деятельности и участия во внешних научных мероприятиях;

– использовать результаты научной деятельности, полученные в ходе выполнения научно-исследовательских работ в рамках своей тематике, при осуществлении своей деятельности для собственных нужд.

7.4. Публикация результатов совместных исследований производится только с взаимного согласия Сторон.

7.5. Все имущество, принадлежащее ОИЯИ, включая экспериментальные установки (аппаратура, методики, технология), создаваемые в ходе выполнения научно-исследовательских работ, а также приборы, научно-техническое оборудование, материалы, программное обеспечение и др. пользуется иммунитетом от любой формы судебного и административного вмешательства в соответствии со статьей 15 Соглашения между Правительством Российской Федерации и Объединенным институтом ядерных исследований о местопребывании и об условиях деятельности Объединенного института ядерных исследований в Российской Федерации;

7.6. Экспериментальные установки (аппаратура, методики, технология), создаваемые в ходе выполнения научно-исследовательских работ, а также переданные в рамках Проекта приборы, оборудование, материалы и др. являются собственностью стороны, финансировавшей ее изготовление до завершения Проекта.

7.7. В случае выхода ОИЯИ из Проекта экспериментальные установки (аппаратура, методики, технология), создаваемые в ходе выполнения научно-исследовательских работ, а также переданные в рамках Проекта приборы, оборудование, материалы и др., остаются в составе комплекса Проекта до его завершения.

8. Присоединение к сотрудничеству

8.1. По согласию Сторон, в течение периода действия настоящего Соглашения, к сотрудничеству в рамках настоящего Соглашения могут присоединиться иные заинтересованные организации.

8.2. Организация, желающая присоединиться к сотрудничеству в рамках настоящего Соглашения, должна направить в адрес Сторон Соглашения заявление о присоединении.

Организация считается присоединившейся к Соглашению, после подписания Сторонами Соглашения Протокола о присоединении нового члена. Подписанный Протокол о присоединении будет являться неотъемлемой частью Соглашения. Совокупность таких присоединений формирует правовую основу Коллаборации Baikal-GVD.

8.3. Любая организация, присоединившаяся к сотрудничеству в рамках настоящего Соглашения, вправе прекратить свое участие в Проекте, уведомив об этом Стороны в письменной форме как минимум за шесть месяцев.

9. Хозяйственно-финансовая деятельность

9.1. Учет расходов и/или вкладов в совместную деятельность в рамках Проекта Стороны и каждая присоединившаяся организация ведут самостоятельно.

9.2. Ежегодный бюджет в рамках Проекта разрабатывается Сторонами исходя из необходимости выполнения совместных ежегодных планов научно-исследовательских работ и обеспечения совместной деятельности и согласуется уполномоченными сторонами.

9.3. На основании согласованного бюджета Стороны разрабатывают годовую смету затрат каждой финансирующей Проект организации.

9.4. Отчет об исполнении бюджета составляется сторонами в срок до 15 марта года, следующего за отчетным.

9.5. Присоединившиеся к сотрудничеству в рамках настоящего Соглашения заинтересованные организации, вносящие финансовый и/или имущественный вклад в Проект, включаются в Ежегодный бюджет по письменному обращению такой организации.

10. Решение споров

10.1. Спорные вопросы, которые могут возникнуть в связи с выполнением настоящего Соглашения, будут решаться путем переговоров между Сторонами.

11. Срок действия и вступление в силу Соглашения

11.1. Настоящее Соглашение вступает в силу с момента его подписания Сторонами и применяется к правоотношениям, возникшим до его заключения.

11.2. Настоящее Соглашение заключается на неопределенный срок и может быть прекращено любой из Сторон посредством направления другой Стороне соответствующего уведомления за 6 месяцев до даты его прекращения.

12. Прочие условия

12.1. Изменения и дополнения, внесенные в настоящее Соглашение, оформляются Дополнительными соглашениями, которые становятся неотъемлемой частью настоящего Соглашения.

13. Приложения

Приложения:

1. Перечень имущества, принадлежащего ОИЯИ.
2. Перечень имущества, принадлежащего ИЯИ РАН.

14. Адреса и подписи Сторон

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук	Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований
117312, г. Москва, пр-кт 60-летия Октября, д. 7А. ИНН 7728116437 КПП 772801001	141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6 ОГРН 1035002200221 ИНН 990912535
Либанов Максим Валентинович	Трубников Григорий Владимирович
М.п.	М.п.

Приложение № 1
К Соглашению о сотрудничестве и
совместной деятельности
от 30.09. 2021 г.

Перечень имущества, принадлежащего ОИЯИ

I. 82% имущества подводной части телескопа Baikal-GVD, включающий в себя кластеры с 1 по 8-й.

Каждый кластер состоит из:

– 288 оптических модулей (ОМ);

– 24 модулей электроники секции;

– 16 отдельно стоящих или в составе ОМ калибровочных матриц светодиодов;

– 8 модулей гирлянд, триггерного модуля кластера, модуля питания кластера, модуля данных кластера и 32-35 акустических датчика для определения текущей геометрии кластера;

– пяти лазерных источников света, установленных на трех буйковых станциях для межкластерной калибровки;

– 39 гидроакустических модулей;

– сети кабельных линий связи подводной аппаратуры кластеров;

– 8 электро-оптических гибридных, глубоководных кабелей длиной ~ 7.5 км, связывающих каждый кластер с береговым центром и обеспечивающих питание кластеров и передачу данных.

II. Имущество наземной части телескопа Baikal-GVD, включающее:

– Береговой центр управления и сбора данных на 106 км КБЖД, озеро Байкал.

– специализированное оборудование для экспедиционных работ, приобретенное в 2015-2021 гг.

– лабораторию по сборке и тестированию ОМ на территории ОИЯИ.

– систему управления и сбора данных.

Приложение № 2
К Соглашению о сотрудничестве и
совместной деятельности
от 30.09. 2021 г.

Перечень имущества, принадлежащего или находящегося в оперативном управлении ИЯИ РАН

III. 18% имущества подводной части телескопа Baikal-GVD, включающий в себя кластеры с 1 по 8-й. Каждый кластер состоит из:

– 288 оптических модулей (ОМ);

– 24 модулей электроники секции;

– 16 отдельно стоящих или в составе ОМ калибровочных матриц светодиодов;

– 8 модулей гирлянд, триггерного модуля кластера, модуля питания кластера, модуля данных кластера и 32-35 акустических датчика для определения текущей геометрии кластера;

– пяти лазерных источников света, установленных на трех буйковых станциях для межкластерной калибровки;

– сети кабельных линий связи подводной аппаратуры кластеров;

– 8 электро-оптических гибридных, глубоководных кабелей длиной ~ 7.5 км, связывающих каждый кластер с береговым центром.

IV. Имущество наземной части инфраструктуры телескопа Baikal-GVD, включающего:

–комплекс Байкальского технического стационара в г. Байкальск;

– транспорт специальный;

– жилые, складские и служебные объекты на территории Байкальской нейтринной обсерватории (106-107 км КБЖД);

– специализированное оборудование для экспедиционных работ;

– 2 участка земли на 106 км КБЖД в постоянном (бессрочном) пользовании ИЯИ РАН, площадью 2000 кв.м;

– 5 участков земли на 106 и 107 км КБЖД площадью 46000 кв.м в субаренде у Восточно-Сибирского филиала РЖД;

– участок земли 1600 кв.м в г. Байкальск, Промплощадка, 4 в постоянном (бессрочном) пользовании;

– комплекс 5 зданий общей площадью 3500 кв.м в г. Байкальск, Промплощадка, 4, в оперативном управлении ИЯИ РАН с производственной и ремонтной мастерскими;

– оборудованные производственный и испытательный участки по производству электронных модулей телескопа Baikal-GVD общей площадью 600 кв.м.

Приложение 13

Baikal-GVD Scientific Advisory Committee online meeting, January 28, 2022

Report and recommendations

The 2022 meeting of the Scientific Advisory Committee (SAC) of Baikal-GVD was held via ZOOM on January 28.

Members of the SAC participating in the online meeting:

- Zhen Cao, IHEP, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China
- Albrecht Karle, University of Wisconsin, Madison, USA
- Viktor Matveev, JINR, Dubna, Russia
- Valery Rubakov, INR, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Christian Spiering, DESY, Zeuthen, Germany
- Michel Spiro, CEA, Paris, France
- Sergey Troitsky, INR, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Els de Wolf, Nikhef, Amsterdam, The Netherlands

The agenda included seven talks, followed by a closed discussion of the SAC:

1. Status of the of the Baikal-GVD and first physics results – Zhan Djilkibaev 30'
2. Status of IceCube – Albrecht Karle 15'
3. Status of KM3NeT – Els de Wolf 15'
4. Baikal-GVD: deployment and detector issues – Igor Belolaptikov 15'
5. Report of Baikal Technical Advisory Board – Christian Spiering 30'
6. International cooperation, multimessenger aspects – Olga Suvorova 15'
7. Baikal neutrino telescope: future prospects – Vladimir Aynutdinov 30'

The SAC thanks all speakers for their informative talks.

The SAC thanks the members of the Technical Advisory Board (TAB) for the advice and extremely helpful work done over the last seven years.

Executive Summary

Since the SAC Meeting in 2014, there has been a very impressive progress along many fronts, for which we congratulate the collaboration. The progress includes infrastructure at Lake Baikal as well as in Dubna and Moscow, large-scale production and quality test of components, professional deployment procedures, detector monitoring and calibration, massive automated data processing, and the encouraging first steps in multi-messenger astrophysics. The detector has now reached half of its final size and holds the position as the largest neutrino detector in the Northern hemisphere. This success is to a large part due to the unique possibility to deploy components from the ice cover, opening also the possibility to haul-up and repair/modernize underwater equipment. This aspect makes GVD-Baikal very cost-efficient compared to other projects. Initial methodical and physics results have been published in EPJ C and presented at international conferences. All in all, Baikal-GVD took its role as a matured neutrino telescope. It has also become an active member of the Global Neutrino Network (GNN).

Given the priority on construction over the past years and the relatively small number of people, deficits in Monte Carlo simulations and data analysis, which the SAC already noted in 2014, still persist but are gradually caught up. The SAC is pleased to see the increasing role of new young physicists, very likely leading to significant progress in the near future.

Recent studies have demonstrated that the physics potential of the telescope can be substantially increased by a relatively modest modification of the detector configuration, which will be realized for the clusters still to be deployed. The SAC strongly supports this modification. A remaining worry is the still non-negligible number of failures of detector components. However, it has

steadily decreased over the years and the remaining problems are actively addressed.

Given the multitude of tasks, the collaboration with its 70 members is still critically understaffed (compared to 350 and 250 members of IceCube and KM3NeT, respectively). Since 2014, two new foreign groups have joined. New additional institutions should be actively searched for, including Russian experts in computing, data processing, machine learning and astrophysics as well as international partners, who would contribute not only with their expertise but also with their own scientific culture – a fact which has been proven very productive in many other large experiments worldwide. In addition to new institutional memberships, the existing partners might also try to pull in more younger people, e.g. PhD students.

The first phase of Baikal-GVD is scheduled to be completed in 2026, with at least 16 clusters and a volume on the cubic kilometer scale. The SAC considers this milestone extremely important. The SAC appreciates the plans toward GVD Phase II which envisages a detector on the 10 km^3 scale. We note that this is the right time to start serious consideration of such a future detector. GVD phase II would go beyond a simple modernization of existing technical solutions. This concerns very basic issues, like the type of optical module, the search for solutions with much lower power consumption, the data transmission, the concept of trigger-less operation, the laying of shore cables by a ship, just to mention a few. It is obvious that such a large project needs a much stronger internationalization than the present one in addition to an enlarged national base. New partners should be sought for and invited as soon as possible, so that they will not find themselves in a position to only accept predefined solutions, but instead could contribute with own ideas and with a massive production.

Detailed conclusions and recommendations

Collaboration

From the SAC recommendations 2014: *For a project of this size and complexity, the collaboration appears to be too small. It has less than a fifth of the members of IceCube or KM3NeT. A particular deficit is observed with respect to PhD students. We propose to make all attempts to improve the present situation. The deficit of PhD students is particularly strong at the frontier of simulation and data analysis, since they carry the main load of these tasks. ..... The participation of foreign institutions has its limitations in the fact that most of the candidate groups are already members of IceCube and KM3NeT, though recruiting of some European specialists is still feasible. Other possibilities would be the involvement of Dubna member states like Czech Republic, Slovakia and/or Poland, and attracting Asian countries as new members of the collaboration.*

Since 2014, the collaboration has grown from ~50 to ~70 members. Given the list of tasks and important questions that need to be dealt with, the collaboration is still critically understaffed (compare to 350 and 250 members of IceCube and KM3NeT, respectively). The committee notes that the tasks are increasing in all areas:

- ongoing construction
- maintenance and operations of the existing detectors
- data analysis and simulations of the growing detector
- R&D and planning for the future.

For all of this, but especially points 2 and 3, there is critical need to increase the collaboration.

Fortunately, but by far not sufficiently, two new foreign groups have joined, from Prague/Bratislava and from Krakow, with an important role in analysis for the first and an emerging role in calibration for the second. New additional institutions should be actively searched for and applications discussed and decided faster than presently. New partners should include Russian experts in computing, data processing, machine learning and astrophysics. They should

include also international partners, which would contribute not only with their expertise but also with their own scientific culture – a fact which has been proven very productive in many other large experiments worldwide. In addition to new institutional memberships, the existing partners might also try to pull in more younger people, e.g. PhD students.

Infrastructure

From the SAC recommendations 2014: *One concern since long is the infrastructure at the Lake. A part of the deficits will be cured by the new buildings and the garage in Baikalsk which will hopefully rented/bought very soon. These buildings will offer sufficient space for the planned hardware tests after the transport from Moscow to Lake Baikal. However, we strongly emphasize the need to also substantially improve the infrastructure at the experiment location. The stepwise improvements of the last decade are noticeable but far from being sufficient. We acknowledge the intention of the management, in particular of the JINR management, to improve the situation substantially and with a high priority.*

These plans have been excellently realized in an impressive leap. With the new shore station, comfortable living buildings and storage place, the infrastructure at the shore is improved fundamentally. Also, the buildings in Baikalsk are in full use. A hall with a modern assembly line and test stands for optical modules is working at JINR. Last but not least, the Moscow production and test facilities for electronic modules have a high quality.

Production and test

At present, 900 optical modules per year can be assembled and tested in JINR, i.e. sufficient for 3 clusters. A Long-term test facility for strings (up to a whole cluster) is prepared. At INR, electronics for 3 clusters per year can be assembled and tested. The SAC applauds the successful realization of these capabilities. It considers of particular importance the development of the long-term test capability, including those of whole clusters.

Deployment operations

The possibility to deploy components from the ice cover and even to haul-up and repair/modernize underwater equipment makes GVD-Baikal very cost-

efficient compared to other projects. The deployment operations at the Lake are excellently planned and in good hands. Well-optimized processes for test and installation procedures allow for the deployment of up to three clusters by four independent teams. In the last seasons, typically two clusters have been deployed and extensive repair operations performed.

While the plan in 2014 was to deploy 12 clusters until 2020/21, the actual number of installed clusters is 8. However, compared to many other projects in the field, this delay is not unusual at all and even ranks Baikal-GVD pretty high in an international comparison.

Status of the detector

From the SAC recommendations 2014: *The present failure rates are low (one can say: incomparably lower than in NT200!) but not yet low enough for the operation of 12 clusters. Some of these failures have reasons which will be avoided by using other components or by slight changes of the electronics boards. Other failures will be avoidable by stress/ long-term tests, including tests after the transport to Lake Baikal. The SAC emphasizes the importance of extensive tests before deploying any component. A stepwise identification and elimination of error sources, as it was successfully practiced during the prototype phase and the construction of the DUBNA cluster, is no option for the following clusters. Therefore, we suggest including experts for risk analyses in order to better identify failure possibilities and establishment of quality control system to ensure sustainable high-quality mass production. Before starting mass production, a Production Readiness Report (PRR) including a cost analysis should be prepared and be reviewed by the Detector Advisory Board (aka TAB). We recommend making use of the Global Neutrino Network, GNN, and of expertise on quality procedures and risk assessment existing in KM3NeT and IceCube.*

The recommendation for inviting experts for risk analysis has been followed and a corresponding analysis for the electronic systems with modern tools performed. Also, long-term tests in Dubna and Moscow and final checks at the Lake are being performed. The overall performance of the detector has been improved over the years and the failure rate reduced. Still, the progress appears not yet to be sufficient to operate a larger number of clusters. At the end of the present season, the information from 7% of the optical modules (3%

at the beginning of the season) is not available for different reasons, mostly leakage problems, failure during thunderstorms due to lightning etc. While one can expect that the experts will solve the issues with water leakage of modules soon, the lightning problem is not yet fully understood. This is a particular point of concern since it leads to the failure of larger parts at once (a full section, a full string or even a full cluster). As mentioned above, Lake Baikal offers the unique possibility to easily haul-up and repair failed components. However, repair operations bind forces which otherwise might focus to the deployment of new components. For the loss of full sections or strings, it also requires additional Monte Carlo simulations, and at the end it reduces the efficiency of the detector during the running season. Therefore, this point should be given top priority. Fortunately, strategies of mitigation exist: Measures include the protection in the detector itself, the use of automatic early warning devices (as tested already in 2021), and a stricter regime to shut down the detector when a thunderstorm is approaching.

The SAC appreciates the development of diverse calibration and monitoring tools, including an acoustic system for geometry monitoring and a variety of light emitting sources for time calibration and monitoring the water parameters.

Test of optical fiber cables

The replacement of vertical copper cables by fiber cables will enable a substantially improved operation of the detector, including more efficient triggers due to the higher bandwidth, a better time synchronization and a reduction of breakdowns due to lightning discharges. Ongoing tests of prototypes should be continued with high priority, even if this technology might be applicable in full-scale only for Phase II (but with some hope that it might replace copper cables already for the last clusters of Phase I). The SAC recommends to explore to what extent solutions, as well as customized and commercial components, found for KM3NeT could be applicable in Lake Baikal.

Optimization of the configuration w.r.t. cascades

The present configuration consists of clusters with a radius r = 60m and a distance between the cluster centers of L=300m. This leaves rather large empty

holes between the clusters. Given the small absorption length of 20 m and the present criteria to reject fake events, this leads to large blind spots between the clusters, unless the cascade is in the multi-PeV energy range. Cascades between clusters are therefore seen only by a single cluster, and not in coincidence of two. Also, horizontal tracks often hit only one cluster, resulting in a track length of only 120 m and a rather moderate angular resolution. Therefore, the SAC supports the reduction of the cluster distance and the addition of single strings between the clusters. We note that the MC simulations for L = 300, 250 and 200 m result in L=200 m as the best of these three distances for cascade detection. This raises the question whether the optimal distance may be even smaller, bringing the detector closer to homogeneity. For tracks we expect no sizable positive effect from making L smaller than 200 m (may be even an adverse effect). We note that a Monte Carlo simulation of the background is still missing. SAC gives that a high priority in 2022 and expects that in 2023 the deployment continues with a configuration which will be simulated in *all* aspects.

Data processing and automatization

A powerful data processing chain has been set up, ranging from the data transport to shore (40 Gb per cluster per day), online processing in the shore station, transfer of the raw data from there to Baikalsk and from there to JINR Dubna. There, the full offline processing chain runs on Dubna servers in 24-hour partitions. A fast, lightweight chain processes individual run files and provides the results after a few minutes in real time. This chain is planned to run on shore to further reduce the delay. High quality, fast data processing and calibration are the basis for running remote detectors with high data rates and real-time requirements. The SAC appreciates the appropriate investments of JINR and professional approach in realizing this aspect of the experiment.

Analysis of cascade events

The analysis of cascade events has a historically strong background in INR. Actually, the upper limit on diffuse fluxes obtained with NT-200, as well as the recent upper limit on the NS-NS merger GW-170817 obtained with the first two clusters of GVD, are based on cascade analyses. Meanwhile, a strong parallel

effort has emerged in Prague/Bratislava. SAC suggests to further follow the strategy of parallel analyses.

A first sample of 10 cascade events with energy > 60 TeV has been selected, with equal expected contributions from astrophysical neutrinos and from cascades along down-going atmospheric muons. One of the cascades is upgoing and almost certainly a true astrophysical event.

One point of discussion was the definition and use of effective volumes for cascade events in presentations. Here, questions remained about the effective area as a function of energy. While the effective volume may reach 0.4 km^3 at PeV energies, it is substantially smaller at 100 TeV. The committee recommends plotting the effective volume and the simulated signal purity as a function of energy.

Analysis of upgoing track-like events

Track-events provide indispensable information: tracks from atmospheric muon neutrinos are the „standard candle" of neutrino telescopes, necessary to demonstrate proper understanding of the detector. Moreover, pointing with sub-degree precision is only possible with tracks. And last but not least, the effective volume for CC ν_μ - interactions (muon tracks) is 5-10 times larger than that for CC ν_e and ν_τ (contained cascades) due to the long propagation range of muons.

The GVD analysis of tracks in <u>single clusters</u> is maturing. A first almost pure neutrino candidate dataset has been selected and the results published in EPJ C. Fast reconstruction is integrated into the automatic data processing system, resulting in a quasi-online neutrino candidate production. For <u>multi-cluster</u> track analysis, muon reconstruction algorithms have been developed and performances studied, therefore the corresponding data processing can start very soon. Multi-cluster processing is indispensable to catch horizonal tracks and to achieve the track length necessary for precise directional reconstruction. First steps to apply machine learning to the data are being made. These are impressive and encouraging achievements by a motivated team of young researchers. We are looking forward to the first results with a sample of thousand rather than hundred events. We are pleased to hear that GVD is

joining the machine learning efforts in INR and is also planning to do that within a working group of the Global Neutrino Network.

Multi-messenger analysis

The excellent chain for automatic data processing at the Lake and in Dubna allows for fast reactions to alerts from other experiments and, potentially, for quick releases of own alerts. First 10 high-energy alerts have been communicated to ANTARES, while the alerts from IceCube, ANTARES and promising alerts from gravitational detectors are followed up by GVD. The tools for a multi-messenger program are in place. The SAC is pleased to see that GVD is taking its role in the field of multi-messenger and alert activities, together with IceCube and ANTARES (soon also KM3NeT).

After this initial demonstration, important steps of systematic studies, cross checks and treatment on a solid statistical basis are mandatory. Much activity in this direction was triggered by the recent observation of a coincidence between an IceCube and a GVD event with a blazar on December 8, 2021. SAC welcomes the participation of GVD in a planned related working group of the Global Neutrino Network, where hopefully IceCube, KM3NeT and GVD will find accepted standards for this kind of analysis.

Plans for a detector of the 10 km^3 scale

The first phase of Baikal-GVD is scheduled to be completed in 2026, with at least 16 clusters and a volume on the cubic kilometer scale. In 2026, IceCube with its 1 km^3 at the South Pole will then be complemented by two cubic kilometer detectors in the North: Baikal-GVD and KM3NeT. The results from IceCube, however, demonstrate that 1 km^3 is sufficient to measure the diffuse flux of cosmic neutrinos, but not for the crystal-clear identification of steady point sources (let for the moment set aside the fact that Northern detectors have a better view to the center of the Galaxy and possibly a slightly higher detection potential than IceCube). It is obvious that one needs detectors of larger size to do astronomy.

This puts on the agenda the question of a multi-km^3 detector in Lake Baikal, together with substantial developments of other detectors. IceCube envisages to build an 8 km^3 optical detector until 2034 (IceCube/Gen2). It will likely be complemented by a 100 km^3 radio array which will be sensitive to energies above a few tens of PeV. KM3NeT has its own plans for enlargement to a few cubic kilometers.

The SAC heard first ideas towards a detector of ten cubic kilometer scale in Lake Baikal. Questions discussed in the corresponding talk include the Baikal site capability, the necessary infrastructure and power capacity, modernization of detector and data acquisition systems, the securing of procurement and production of electronic components, and the necessary speed-up of the telescope deployment. A conceptual design report is envisaged for 2024.

The SAC notes that this is the right time to start serious consideration of a future detector. We feel that a simple modernization of components will not be sufficient to end up with an optimal detector on the ten cubic-kilometer scale. This concerns very basic questions like the type of optical module (single large PMT versus multi-PMT), the data transmission (fiber or copper), the concept of trigger-less operation (all-data-to-shore concept), low-power consumption solutions, the prioritization of track events with highest energy and the corresponding distance between detection units (which may or may not be based on the present cluster structure) etc. It is obvious that such a large project needs a much stronger internationalization than the present one in addition to an enlarged national base. New partners should be sought for and invited as soon as possible, so that they will not find themselves in a position to only accept predefined solutions, but instead could contribute with own ideas and with a massive production.

* *

*

The SAC thanks JINR Director G. Trubnikov, INR RAS Director M. Libanov, representative of the Ministry of Science and High Education of Russian Federation A. Romanov, members of Baikal-GVD collaboration and all participants of the open session for active participation in the meeting. We wish the collaboration success in completing the first phase of Baikal-GVD.

Chair of the Baikal-GVD Scientific Advisory Committee

Valery Rubakov

Приложение 14

В.А.Бедняков – Г.В.Трубникову

13.09.2023 N 200-51/1196

Г.В. Трубникову

Уважаемый Григорий Владимирович!

Прошу Вашего разрешения на перераспределение финансирования Семилетнего плана 2024-2030 гг. между основными проектами Лаборатории.

Для реализации проекта БАЙКАЛ требуется как минимум k$ 37 млн.долларов вместо предусмотренных ранее k$ 30.

Обеспечить дополнительное финансирование мы сможем за счет сокращения ряда проектов в соответствии с проектом ПТП ОИЯИ на 2024 год. Общая сумма, запланированная на семилетку, остается без изменений.

В связи с этим прошу внести изменения в раздел «ФИНАНСОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ», Таблица 12. следующим образом:

Таблица 12. Детализация материальных расходов на научную деятельность

(тыс.долл.США)

Научные проекты и активности	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Всего на 7 лет	Перво - начальная сумма на 7 лет
BAIKAL	6000,0	6000,0	5000,0	5000,0	5000,0	5000,0	5000,0	37000,0	*30000,0*
целевое финансирование ИЯИ (береговая инфраструктура)	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	5600,0	*5600,0*
Внешние проекты	3400,0	3200,0	3250,0	3250,0	3300,0	3300,0	3300,0	23000,0	*30000,0*
Итого	10200,0	10000,0	9050,0	9050,0	9100,0	9100,0	9100,0	**65600,0**	***65600,0***

В случае принятия нашего предложения изменению подлежит также итоговая сумма в **Таблице 6. Нейтринный телескоп BAIKAL-GVD**: в ней тоже должно быть 37000 т.д. вместо 30000 т.д

С уважением,

В.А.Бедняков

Содержание

Нейтринный коллоквиум — старт нового проекта Baikal-GVD 4
«Новая жизнь» проекта Baikal-GVD в ОИЯИ 15
2013 15
2014 16
2015 29
2016 42
2017 51
2018 61
2019 71
2020 87
2021 105
2022 119
2023 126
Вместо заключения 138
Приложение 1. Нейтринная программа ОИЯИ 140
Приложение 2. Лаборатория нейтринной астрофизики высоких энергий. *Г. В. Домогацкий* 149
Приложение 3. First Meeting of the Baikal-GVD Scientific Advisory Committee 156
Приложение 4. Answers to the questions from the PAC 161
Приложение 5. Visit of the Baikal GVD observatory installation site. *Michel Spiro and Els de Wolf* 171
Приложение 6. В. А. Бедняков — В. А. Матвееву 174
Приложение 7. M. Jeźabek to V. Bednyakov 176
Приложение 8. Л. В. Кравчук, Г. В. Домогацкий — В. А. Матвееву 177
Приложение 9. В. А. Бедняков — В. А. Матвееву 178
Приложение 10. Корректировка расходов бюджета Лаборатории ядерных проблем на 2020 г. 179
Приложение 11. Меморандум о взаимопонимании между Минобрнауки РФ и ОИЯИ по развитию Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD 180
Приложение 12. Соглашение о сотрудничестве и совместной деятельности между ИЯИ РАН и ОИЯИ 184
Приложение 13. Baikal-GVD Scientific Advisory Committee online meeting 194
Приложение 14. В. А. Бедняков — Г. В. Трубникову 206

БЕДНЯКОВ Вадим Александрович
Проект Baikal-GVD в ОИЯИ с 2013 по 2023 г.

2024-38

Редактор *Е. В. Калинникова*
Корректор *Е. А. Черногорова*
Верстка *В. А. Жбанковой*
Допечатная подготовка фотографий *Е. П. Белолаптиковой*
Обложка *В. О. Тамоновой*

Подписано в печать 3.12.2024.
Формат 70×100/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 24,06. Уч.-изд. л. 21,48. Тираж 135 экз. Заказ № 60992.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.
E-mail: publish@jinr.ru
www.jinr.ru/publish/

БЕДНЯКОВ
Вадим Александрович (р. 1957) – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, директор Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Джелепова ОИЯИ с 2013 по 2023 г.