ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

НТС ОИЯИ

П Р О Т О К О Л

14.02.2019 № 1

г. Дубна

заседания НТС

Присутствовали: члены НТС, председатели НТС лабораторий, ученые секретари лабораторий, руководители Управлений, руководители землячеств, ведущие ученые и представители научной общественности Института

Р.В. Джолос – Начинаем

1. Информация о ходе работ по проекту NICA.

Докладчик – В.Д. Кекелидзе

СЛУШАЛИ:

НТС ОИЯИ заслушал выступление **В.Д. Кекелидзе** "О ходе работ по проекту NICA", который сказал:

Позвольте мне кратко ознакомить вас с состоянием дел по проекту NICA и напомнить вам основные базовые объекты, чтобы понимать, что у нас кроме базового Нуклотрона, который был существенно модернизирован, нам необходимо ввести в строй Бустер; 2 кольца Коллайдера с двумя точками пересечений; ввести установку с выведенным пучком на фиксированной мишени; установку в 1-вой точке пересечения, которая предназначена для поиска фазовых переходов 1-вого рода и, в общем, для исследований тяжелоионных взаимодействий; на 2-рой точке пересечения у нас будет так называемый SPD, который будет исследовать спиновые поляризационные явления и спиновые структуры нуклона. Необходимо еще создать зону прикладных исследований и Центр NICA, в котором будет располагаться Компьютерный кластер, а также офисы для участников этого большого комплекса.

Ну, начнем с того, что напомню о том, что реализация комплекса NICA идет не только за счет бюджетных средств ОИЯИ, но и за счет существенного финансирования со стороны РФ в соответствии с Соглашением между Правительством РФ и ОИЯИ, подписанным 2 июня 2016 г. В соответствии с этим Соглашением имеются 6 контрольных точек реализации этого проекта. Это:

– Начало экспериментальных исследований на установке BM@N – 2017 г.

– Стартовая конфигурация ускорительного комплекса, т.е. запуск Бустера – 2019 г.

– Сдача в эксплуатацию MPD-детектора – 2020 г.

– Первый эксперимент на MPD – 2021 г. Подразумевается, что Коллайдер к этому моменту должен уже работать, но я написал здесь так, как написано в Соглашении.
– Сдача в эксплуатацию центра NICA и компьютерного кластера на нем – 2021 г.
– Начало создания SPD – 2020 г.

Вот так это записано. Теперь я бы хотел кратко пройтись по этим этапам.

Что касается установки Baryonic Matter at Nuclotron (BM@N), она расположена в экспериментальной зоне на выведенном из Нуклотрона пучке. Линия выведенного пучка – 162 м. Схематический план этого типичного так называемого forward-спектрометра с дипольным магнитом приведен ниже. Логика эксперимента такова, что мы начинаем с минимальной конфигурации, которая способна уже давать научную продукцию, и постепенно его в несколько этапов доводим до полной конфигурации. И вот стартовая конфигурация введена в эксплуатацию. На декабрь 2017 г. была полная готовность установки к набору данных. 9 объектов общей стоимостью чуть меньше полмиллиарда руб. были полностью не только сданы в эксплуатацию, но и прошли весь бухгалтерский учет и имеют несколько инвентаризационных номеров. Т.е. установка сейчас уже капитализирована и является объектом эксплуатации. Сеанс, к сожалению, начался не в декабре, точнее, он начался в декабре, но по ряду причин был сдвинут на март. И в марте-апреле прошел, можно сказать, лучший сеанс за всю историю Нуклотрона. Здесь показаны интенсивности, и источники, и время, как набиралась статистика. И растяжке пучка могут позавидовать многие ускорительные центры мира, потому что настолько стабильное плато, вот этих флуктуаций удалось избежать. Впервые был получен качественный пучок, и впервые выведен криптон.

Что касается установки, то 2 блока – это камеры, так называемые GEM-камеры, которые создавались совместно с CERN'ом в CERN'е при нашем участии. С их помощью был разработан трекинг, который показал довольно хорошее импульсное разрешение (вы видите здесь график, как импульсы зависят). Времяпролетные системы показали очень хорошие характеристики на уровне менее сотен пикасекунд. Поэтому удалось разделять частицы по их массе – это пионы, каоны, протоны, дейтроны и другие ядра. Видите, насколько хорошо они различаются в зависимости от их массы? Это позволило набрать рекордную статистику 200 млн. на разных пучках и на разных мишенях, и сейчас идет активный анализ, обрабатываются эти данные. Но уже в on-line, была реконструкция, вы видите, через трековую систему, в частности, распад λ на протоны p типичные, выделенные в пике, довольно хорошо виден.

Планы дальнейшего развития установки приведены на этом графике. И где-то в 2021-2022 г.г. она будет в полной конфигурации и будет полностью конкурентоспособна с любыми установками такого класса, работающими в других научных центрах.

Т.обр., 1-ый этап, который был заложен в Соглашении, выполнен.

Что касается 2-го этапа (это Бустер), он должен быть сдан в 2019 г., согласно Соглашению. Ну, вы знаете, что Бустер размещается в кольце Синхрофазотрона. Видна схема, как он размещен наверху, а внизу – Нуклотрон. Все элементы Бустера изготовлены, доставлены, вот справа внизу вы видите систему электронного охлаждения, котрая полностью испытана и сдана в эксплуатацию. Это создано в ИЯФ им. Будкера. Параметры Бустера приведены здесь. Значит, ускорение в нем достигается 600 MeV на единицу нуклона. ИМ несколько картинок, характеризующих то, как идет монтаж. Вот это тоннель канала транспортировки пучка из Бустера в Нуклотрон. В полу была вырублена соответствующая щель,

если можно так сказать. Монтаж элементов канала транспортировки пучка от Ускорителя тяжелых ионов, от Линака (ЛУТИ) в Бустер показан здесь, справа, все элементы готовы. А внизу показан первый квадрант расстановки магнитов Бустера. Работа идет по следующему плану. Согласно этому плану, в этом году должен появиться первый пучок, и Бустер должен быть сдан в эксплуатацию. Пока идет небольшая задержка, но мы надеемся, что ее можно будет преодолеть, и к концу года выйти на тот план, который задан нам в Соглашении с РФ. Т.е. хотя и критично, но есть шансы, что и 2-рая позиция будет в этом году, согласно утвержденному и подписанному Соглашению, выполнена.

Сдача в эксплуатацию MPD. Это довольно, конечно, сложный и крупный объект. И самый большой его элемент – это магнит. Ярмо изготавливается на заводе Vitkovice Heavy Mashinery. Мы прошли через сложную процедуру банкротства этой компании. Почти на год она была обанкрочена, и всё стояло, но на сегодня всё сделано. Выполнена контрольная сборка, там произведена, вы знаете, сейчас это всё разобрано. Что касается холодной массы – катушек, систем управления, корректирующих катушек и т.д. – это изготавливалось в очень известной компании ASG (Genova), которая изготовила большой сверхпроводящий соленоидальный магнит для детектора CMS. И тут всё, как бы идёт тоже, более или менее, близко к плану. Вот 6 февраля самые крупные элементы ярма были погружены на машины, и вот по такому план-графику они преодолеют морской путь. И в дальнейшем – опять движение по дорогам, и мы должны 12 марта получить уже. С Зоной таможенного контроля согласована и открыта наша площадка, и будет осуществлен приём этих двух больших колец. Это очень негабаритный груз. Ну и мы ожидаем, что в сентябре будет завершен монтаж магнита. Это первый базовый и основной элемент этого детектора. В нем уже начнутся собираться другие элементы этого детектора.

Элементы TPC я показывал, не буду останавливаться. Это главный трековый детектор, всё, более или менее, по плану, все элементы у нас в руках, и всё согласовано.

Вот небольшой штрих того, что было сделано за прошлый год: это газовая система, запущена в чистом помещении, площадка для газовых баллонов, т.е. все идет по плану.

Система TOF (Time of Flight). Это полностью в наших руках, и она, наверное, будет с опережением графика сдана в эксплуатацию. Та, которая обеспечивает довольно хорошее временное разрешение, лучше, чем в 50 ps, и обеспечивает нам разделение разных масс вторичных частиц, которые будут детектироваться. Вплоть до последних уже технических элементов, как она будет монтироваться, как сдаваться – все проработки инженерные уже готовы и идет подготовка проекта монтажа и соответствующих необходимых согласований и документов.

Наиболее сложным элементом является Электромагнитный калориметр. Он состоит из 43 тыс. модулей, каждый из которых имеет свою форму с тем расчетом, чтобы баррель этих калориметров был организован таким образом, чтобы ось каждого из этих модулей смотрела на центр точки взаимодействия. Такой геометрии "шашлыка" еще никто в мире не делал в таких масштабах. Задача очень сложная и ответственная, но все RND были пройдены, опытные образцы сделаны , и мы бы в полную мощь занялись бы производством, но нас сдерживает одно – мы не определились с источником финансирования этих модулей, которые должны быть произведены в Китае. В Китае полностью оснащена лаборатория, они в полной готовности начать производство, опытный модуль виден здесь. Ну, по

масштабам этого производства 75% модулей должны быть произведены в Китае, в нескольких Университетах Китая. И остальные 25% должны производиться в трех точках в России. Это огромная работа, такого масштаба, что это невозможно сделать даже, ну, в России это невозможно всё сделать. Все элементы, конструкции, которые основаны на современных углепластиковых подпорках, все расчеты и уже идет бесконечное согласование и интеграция этого. Ну, вы видите, внизу пример, как моделирование показывает восстановление распада $\pi^0 \to \gamma\gamma$ с помощью этих модулей. Именно только проекционные геометрии позволяют разделять, а не смешивать ливни. Иначе ливни перемешиваются, и эффективность этого калориметра существенно падает. Это, я бы сказал, 1-вая, самая слабая и самая сложная точка. Предварительные переговоры с Китаем были проведены, они обещали выделить30 млн. $ на эти и другие работы. Всё это пока висит, мы не можем ни свои источники применить, ни применить источники Китая, потому что этого нет. Пока просто вот эта работа висит, и она – главный элемент, я бы сказал, задержки по MPD.

Что касается 2-рой задержки, она связана с запаздыванием плановых строительных работ. Вы видите, как это выглядело совсем недавно – полностью западный тоннель закрыт, восточный близок к закрытию. MPD Hall уже в более лучшем состоянии, чем здесь показано. И 1-ый элемент сдачи – это MPD Hall, в котором мы должны начать монтаж магнита и закончить его уже в этом году. Что касается западного тоннеля, выглядит таким образом. Там достаточно чисто, мы уже экскурсантов там водим. Что касается места, где будет вестись монтаж MPD, то подрельсовые плиты уложены. Точность плоскостности – было достигнуто около 100 микрон, на такой большой площади подвес почти 1000 тонн. Вы видите, стрелками обозначены линии, как будет пучок, где он будет сталкиваться. Система будет закатываться и выкатываться, должна быть обеспечена очень жесткая механическая система, потому что механический гистерезис не должен превышать 2-3 мм, иначе это приведет к последствиям деформации всей системы трековых детекторов, очень сложной. Поэтому всё это идет под контролем и держится, более или менее, к сожалению, с отставанием по плану. Поэтому сказать, что в 2020 г. мы сдадим в эксплуатацию MPD – под большим вопросом. Какой здесь плюс – мы сейчас это всё изучаем, пытаемся оценить и минимизировать все, связанные с этим задержки.

1-ый эксперимент на MPD связан с запуском в строй Коллайдера. Я покажу только 2 элемента. Это ВЧ-станции и Прототип пикапа/кикера, которые разрабатываются в Новосибирске. Ну, что касается всех элементов, сборки и производства – всё, более или менее, идет по планам. Если закупочные процедуры нас не отодвинут назад, то мы надеемся в срок всё закупить и получить. Вопрос – когда будет готов зал здания 17 для того, чтобы монтировать. Мы ведем переговоры, и в рамках сегодняшнего Соглашения со Штрабаком, которое должно быть подписано до июня, мы хотим ввести туда Положения, они сейчас прорабатываются, о частичной поэтапной сдаче объекта с тем, чтобы монтаж мог быть осуществлен параллельно с тем, когда будут достраиваться остальные элементы. Все эти планы отработаны, вопрос сейчас с юридической проработкой этих документов, подписанием дополнительного Соглашения. Поэтому, конечно, 3-ий, вот следующий пункт, я ставлю пока плюс. И пока не будет четкой ясности и нового договора со Штрабаком, определяющего конкретную точку сдачи объекта, очень сложно поставить сюда точное время.

Ну, сдача в эксплуатацию центра NICA и компьютерного комплекса – все идет нормально, я пока показал несколько примеров того, как это развивается, что уже введено в строй. Что касается проекта здания, то оно близко к стадии завершения. Идут последние согласования, и мы надеемся в этом году пройти Главгосэкспертизу по строительству этого здания, выбрать генподрядчика и начать. И тогда мы успеваем в срок сдать этот пункт. Тут я проблем не вижу. Ну, пока это напряженно, но тут, как говорится, этот этап может быть сдан.

Наконец, последний этап – начало создания SPD. SPD – это уникальный детектор, который позволяет сделать то, что невозможно сделать ни в одной лаборатории мира – исследовать все 8 функций распределения кварков в нуклоне с тем, чтобы наконец, подойти вплотную к решению спинового кризиса, который несколько десятилетий так и не решен. И поскольку в 1-ном эксперименте можно будет полностью измерить все необходимые нужные элементы, это сведет к минимуму систематические ошибки, а светимость, которая будет на Коллайдере для протонов и дейтронов, позволит обеспечить нам высочайшую статистику, т.е. здесь предел научный очень хороший на сегодня. Сроки такие, что в этом году будет формироваться коллаборация, и CDR должен быть закончен, а в следующем году закончен полностью или частично TDR, и мы начнем сооружение. Т.е. здесь нет сомнения, что этот срок будет выполнен. Это, я бы сказал, не самый сложный объект. Вот так выглядит выполнение сроков.

Я бы хотел добавить еще несколько штрихов к тому, как развивается, потому что в таком большом проекте, конечно, важнейший элемент успешной его реализации – это участники этого проекта. И только в рамках коллабораций, хорошо организованных, масштабных, всесторонних и международных, могут быть решены те научные задачи, которые будут на нем решаться. Вот 2-рое совещание, такое массовое, по уже созданию двух коллабораций, MPD и BM@N. Прошло в Дубне в сентябре прошлого года.

В состав коллаборации BM@N вошло более 200 участников из 19 институтов из 10 стран. Список здесь приведен. Создан так называемый Комитет управляющих (Institutional Board), вы видите список, кто в него вошел, все уважаемые ученые. известные люди. Был выбран председатель. Были утверждены Уставы этих коллабораций, они почти близки, с небольшими нюансами отличительными. Путем тайного голосования был выбран председатель Комитета управляющих – это Hans Rudolf Schmidt из Tubingen University, Germany. Был выбран Spokesperson коллаборации – Михаил Капишин (ОИЯИ). Его заместитель – Peter Senger (GSI), Project manager – Анна Максимчук (ОИЯИ). Ну, Executive Council и т.д. Т.е. система становится самостоятельной структурой и начинает активно работать, мы это уже ощущаем.

Что касается MPD, то тут коллаборация слегка побольше, чуть меньше 500 на сегодня участников. Мы рассчитываем, что она будет, как минимум, удвоена. Из 32 институтов из 10 стран. Список институтов вы видите. Тут тоже Institutional Board, и принят Устав коллаборации, выбран Председатель Institutional Board – это Fuqiang Wang из китайского Университета. Spokesperson – это известный проф. Adam Kisiel из Варшавского технологического университета, активный сотрудник ALICE, который отвечал там за определенную группу. Deputy Spokesperson – Zebo Tang из Китая, и Project manager – Вячеслав Головатюк (ОИЯИ).

Еще хотел добавить, что участие российских институтов, поскольку в их бюджетах, как правило, вы знаете, не предусмотрено не только развитие собственных установок, но даже участие, и тем более участие, в других проектах.

Поэтому огромная поддержка была нами оказана руководством РФФИ в лице Панченко. И мы очень благодарны им, потому что был объявлен соответствующий конкурс, и итоги конкурса подведены в конце прошлого года, а окончательно закреплены уже в январе этого года – это "Фундаментальные свойства и фазовые превращения адронной и кварк-глюонной материи: установка класса мегасайенс «Комплекс NICA»". На конкурс было подано 97 заявок с дальнейших уголков нашей страны – с Дальнего Востока, с Северного Кавказа (из Владикавказа), из Белгорода, Санкт-Петербурга, география полностью представлена, Томск. Очень жесткий отбор, и поддержано 36 проектов. И на сегодня они уже включились в эту работу. И это огромное подспорье, на самом деле, в реализации нашего проекта.

Чтобы как-то оценить вцелом, как ведется эффективность работы по нашему проекту, мы используем разные методы, в т.ч. так называемый EVM – система, разработанная в CERN'е при участии наших сотрудников, которая применялась при создании комплекса LHC. На этой диаграмме вы видите: по горизонтальной шкале – это время, начиная с конца 2013 г. и до конца прошлого года. Синий график – это планы финансового выделения, красный график – как эти финансы были освоены (Cash Flow – незаключенные контракты), а зеленый - как эти финансы перешли в покупки (т.е. уже по принятым объектам), но еще не введены в эксплуатацию. Мы, может, будем проводить 3-ю линию, когда будет показана уже материализация объектов по бухгалтерскому отчету и принятие их в эксплуатацию. Отсюда можно отслеживать динамику и давать коррективы. Вы видите, что в конце каждого года в декабре – всплеск активности по освоению денег (красная кривая). Ну, это типичная характеристика, что кривая идет, конечно, не совсем ровно.

ВЫСТУПИЛИ:

Р.В. Джолос – Существенный элемент всего этого, как я понимаю – это Нуклотрон. Всё, что делается, остальное – это новое. Нуклотрон – все-таки установка старая. Когда старое с новым стыкуется, часто, бывает, проблемы возникают, наверняка это держится в голове. Что делается, чтобы вот такого все-таки не произошло? Хотя это трудно планировать.

В.Д. Кекелидзе – Вопрос очень правильный, и, разумеется, он, как говорится, в самую точку. Ну, во-первых, как я уже говорил, в 2010-2015 г.г. прошла существенная модернизация Нуклотрона. Он сейчас по параметрам лучше, чем был в начале. Но конечно, мы не можем заменить все элементы, которые постепенно выходят из строя. Примером тому не только Нуклотрон, но вся инфраструктура, в частности, криогенная инфраструктура, которая обеспечивает работу и Нуклотрона, и будущих наших систем. Создавая новые объекты, мы пытаемся реконструировать старые, привести их в соответствие с новыми. Вот то, что сеанс первый был задержан – это как раз вот этот эффект. Мы не могли модернизировать элементы криогенной инфраструктуры, потому что шли постоянные сеансы, требовался гелий для создания магнитов для работы. И мы наметили существенную модернизацию криогенной станции в момент остановки Нуклотрона, который остановлен после 55-го сеанса. Но судьба распорядилась так, что теплообменник потек и лопнул как раз перед этим сеансом. Поэтому на 3 месяца 1-ый запуск и был остановлен. В планах у нас не только модернизация, вот сейчас по ходу дальнейшей эксплуатации мы заложили, по крайней мере, в планах, те ресурсы, которые необходимы для

поэтапной замены устаревших элементов, т.е. смены магнитов, криогенных систем и всех слабых мест. Такие планы подготовлены, не совсем детальные, но в целом. И уже в прогнозах эксплуатации установки мы заложили деньги на замену тех элементов, которые будут выходить. Планы пока не утверждены, но они подготовлены.

И.Н. Мешков – Я думаю, мои коллеги, которые занимаются ускорительной частью проекта, мне не простят, если я публично не сделаю такое выступление, заметив, что, как вы поняли из доклада, Коллайдер мы строить не будем. Коллайдер не был представлен в докладе совершенно. Работа напряженнейшая, которая ведется в Ускорительном отделении ЛФВЭ и нашими партнерами (организована коллаборация, взаимодействие) – всё это не было представлено вниманию НТС. Я уже не однажды на эту тему с Владимиром Дмитриевичем говорил, но могу только извинить его, что он тяжелейшим образом занят или перегружен своей работой, такое упущение, хотя оно и недопустимо, находит некое объяснение.

Р.В. Джолос – Игорь Николаевич, тут, наверное, от части вина на мне, потому что я как-то с Владимиром Дмитриевичем разговаривал и сказал, что мне бы хотелось послушать чисто ускорительную часть, только ускорительную часть на НТС. Ну, я не знаю, может быть, он держал это в голове и говорил об этом меньше. Но я действительно хочу, чтобы чисто ускорительная часть была вынесена на НТС, потому что, все-таки, Коллайдер – это …, у нас нет таких установок. Владимир Дмитриевич, может, ты еще как-то хочешь прокомментировать?

В.Д. Кекелидзе – Да нет, чего комментировать? Я просто, если закажете, могу про Коллайдер рассказать. Невозможно всё рассказывать. "О ходе выполнения" я имел в виду, вот в голове держу, прежде всего, наши отчеты по планам и по этапам. Ближайшие этапы важны, и они сейчас показаны. Нужно показать узкие места, которые нас держат и не позволят нам выполнить в срок. И вот то, что сейчас наболело, я хотел прежде всего вам доложить. А там, где работа идет хорошо, по плану, и громадная работа выполняется … ну, рассказ, конечно, будет приятный для всех, и можно его в любой момент запланировать и сделать. Может Игорь Николаевич его сделать, могу я, может еще другой человек… Т.е. там я не вижу пока больших проблем с Коллайдером, там всё идет хорошо.

И.Н. Мешков – Что Вы, Владимир Дмитриевич, проблем выше крыши.

В.Д. Кекелидзе – Проблемы преодолеваются талантливыми нашими создателями. Без проблем большой проект не создаётся. А вот то, что нам сейчас сдавать, и когда мы видим его узкое место, эти узкие места я и подчеркиваю. Нам это сейчас, вот в ближайшие сроки сдавать надо.

В.А. Матвеев – Ну, прежде всего, я хотел бы начать с того, что все-таки поздравить коллектив лаборатории с той огромной работой, которая была проделана к сегодняшнему дню. Действительно, огромная, очень сложная работа, очень много, конечно, проблем, которые не решены. Но мы ищем все вместе их решение и все возможные меры по ускорению всего процесса сооружения. Но, собственно, я вначале поднял руку, потому что хотел сказать то, о чем, в некотором смысле, сказал Игорь Николаевич. Вот вы знаете, вот в этом графике "Вехи по сооружению" между сдачей в эксплуатацию MPD-детектора и первым экспериментом на нем лежит огромная, конечно, работа, прежде всего, в создании,

в первую очередь, Коллайдера, Бустера, всех этих транспортировок, ионопроводов и прочее. Но главное, что мало того, чтобы четко определиться с реальной датой первого эксперимента, надо понять, что кроме того, что надо закончить все эти работы, провести огромную работу пуско-наладки, это огромная работа – добиться, чтобы пучки встретились. А главное еще, чему учит опыт работы по завершению строительства Фабрики СТЭ и ее вводу – что, на самом деле, для того, чтобы первый эксперимент провести на MPD, мало сдать детектор MPD в эксплуатацию, нужно вот все это создать и ввести в эксплуатацию. Это огромная работа по лицензированию, оформлению всего, получению разрешений всего комплекса вцелом. Поэтому надо уже сейчас начинать планировать эту работу, потому что можно, как бы, вроде, все закончить, а потом 2 года заниматься лицензированием и получением разрешений и ликвидацией тех или иных упущений, на которые указывают Госэкспертиза, или Ростехнадзор, или Росатом и т.д. В общем, впереди огромная работа. И надо только всевозможную помощь лаборатории и руководству проекта в этом деле оказывать, потому что впереди огромная, трудная работа.

В.Д. Кекелидзе – Спасибо, Виктор Анатольевич, спасибо за то, что Вы высоко оценили, спасибо, что и правда указываете на важнейшие наши проблемы, которые перед нами стоят, и не все еще они видны, как их решать. Мы только ищем еще эти пути на сегодня.

Р.В. Джолос – Я все-таки должен проинформировать членов НТС вот о чем. Значит, я хотел вынести в первый пункт 2 отчета вот в таком вот стиле, как Владимир Дмитриевич, даже, может быть, еще короче – NICA и установка "Байкал". Я разговаривал с Вадимом Александровичем, который категорически отказался выступать. Вот это вот к вашему сведению.

Теперь переходим ко 2-му вопросу. Но прежде, чем предоставить слову докладчикам, я хочу несколько слов сказать, почему все-таки посчитал, что такой вопрос должен быть. Я не знаю, как это было раньше, но вот в течение этих 6 лет, когда НТС работает более или менее вот в таком составе, мы на единой площадке в сравнении научные результаты, полученные лабораториями, не рассматривали. С другой стороны, это то, что входит в доклад директора Ученому Совету (УС). УС – это орган КПП. КПП – это, вообще говоря, наши инвесторы. Они дают деньги и потом интересуются, что на эти деньги сделано. Т.е. УС – это внешняя организация. И мы выходим на внешнюю организацию, не обсудив у себя внутри, что и как мы там представляем, что считаем важнейшим, что нет. Как-то вот, чтобы что-то сделать в этом направлении, вот было решено предоставить слово трем лабораториям. Ну, вот с ЛИТ так получилось, что Татьяна Александровна готовила доклад, упала и попала в больницу. Ну, вот так получилось. Значит, докладов будет 2. Но с самого начала я понимал, что в общем, такая вот постановка хромает, потому что интервал между окончанием новогодних каникул и УС очень короткий, все лаборатории мы не выслушаем. Правильней было бы слушать драфт доклада директора Ученому Совету вот здесь, на этой площадке. Но не всё, а только ту часть, которую можно назвать, как "важнейшие научные результаты". Но вот с Виктором Анатольевичем говорили, и я знаю, что драфт такой Виктор Анатольевич получает за день, за 2 до УС. Вот что-то вот надо в этом плане менять. Если вы со мной согласны, я все-таки думаю, что на этой площадке вот такой общий вопрос надо как-то обсуждать. Ну вот, после этой преамбулы, я думаю, мы можем еще

высказаться после докладов. Валерий Николаевич, Вам слово. Лаборатории расположены по алфавиту.

2. Важнейшие научные результаты лабораторий за 2018 год (ЛНФ, ЛРБ).

Докладчики – В.Н. Швецов, Е.А. Красавин

СЛУШАЛИ:

НТС ОИЯИ заслушал выступление **В.Н. Швецова** "Важнейшие научные результаты Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка за 2018 год", который сказал:

Я начну свой доклад все-таки не с самых важных научных результатов, а с той установки, на которой в основном эти результаты в Нейтронке получаются. Потому что для нас результаты без нормальной работы реактора невозможны.

Ну и, не дожидаясь вопросов Ростислава Владимировича про причины остановок и перебоев, как вот он задал Владимиру Дмитриевичу, я с этого начну сам. Действительно, 2018 г. в работе реактора ИБР-2 нельзя назвать самым успешным. Из 9 циклов, которые обозначены здесь римскими цифрами, видно, что циклы 6 и 7 здесь отсутствуют по техническим причинам разного рода, которые очень похожи на то, что происходит на Нуклотроне, потому что техника везде одинаковая. Действительно, это электромагнитные насосы первого контура натриевого охлаждения реактора, это теплообменник натриевый 2-го контура. Вот здесь все эти причины перечислены. В общем, в результате мы вместо плановых 2500 часов отработали примерно 1,5 тыс. часов. Результаты эти, значит, неисправности проанализированы, сами неисправности были устранены, но всякий раз мы пишем достаточно объемные отчеты о том, что произошло, отправляем их в Ростехнадзор и, соответственно, ожидаем от них разрешения на дальнейшее возобновление работ. Поэтому вот причина такая, что мы так достаточно много времени потеряли в работе реактора в этом году.

Тем не менее, некие результаты были получены, и мы провели 2 криогенных цикла. Эти 2 цикла были выполнены с использованием новой холодильной машины Linde, которая была у нас установлена уже перед этим. И о результатах, которые были получены, я дальше не одном из слайдов расскажу, что нам эта Linde дала.

Кроме того, в декабре 2018 г. закончилось изготовление запасного Подвижного отражателя. Это работа, которая длилась около 5 лет, или может быть, даже чуть более 5 лет, стоила нам достаточно приличных денег. Наши сотрудники посетили Воткинский завод, где изготавливалось это оборудование, и подписали соответствующий акт о приемке. Сейчас готовится транспортировка. Полный вес всего этого железа порядка 69 тонн. После получения в лаборатории мы отправим этот Подвижной отражатель на стенд, будем его обкатывать, и надеемся, что к концу 2019 г. в случае необходимости он сможет быть установлен на реактор. Напоминаю, что это оборудование в штатной работе основного Подвижного отражателя, который сейчас уже установлен и работает, нам не понадобится. Но мы его изготавливаем, потому что в случае неисправности вот этого Подвижного отражателя мы просто потеряем 5 лет. Это очень тяжелый удар будет и по научной программе лаборатории, и по Пользовательской программе и т.д.

Кроме того, велись текущие работы по замене оборудования распределительных щитов 400 кВ. На следующий год эта работа тоже запланирована.

Ну и из важных моментов, пожалуй, вот была догружена 1 топливная кассета в октябре этого года, и последние 4 цикла мы уже работаем с обновленной зоной. В данное время реактор тоже работает, у нас идет 2-ой цикл 2019 г.

Ну, вот так вот выглядит этот самый Подвижной отражатель с трех разных углов зрения. Это там во время приемки в Воткинске.

Как я уже сказал, на будущий год у нас продолжатся работы по замене основного оборудования реактора ИБР-2, которое вырабатывает свой срок службы и подлежит замене. Это вот планы наши на будущий год. И до 2026 г. у нас существует подробный план на замену оборудования, в т.ч. и того, которое привело к приостановкам работы реактора в этом году. Ну, мы до этого дойдем в свое время. Вот, в частности, насосы, которые я упомянул, электромагнитные и натриевые теплообменники 2-го контура мы будем менять в 2023 г.

Криогенный замедлитель. Эти 2 цикла, про которые я сказал, мы отработали при температуре рабочего материала в камере замедлителя 22º вместо 30º, которые мы имели со старой холодильной машиной. Ну и соответствующее увеличение выхода холодных нейтронов, вот оно здесь видно, оно небольшое, порядка 22-25 %, но тем не менее. Главное, конечно, достоинство этой новой криогенной машины – это огромное удобство работы с ней, потому что, ну, наверное, автомобилистам лучше всего будет понятно, это – как вот с наших Жигулей пересесть на какую-нибудь иномарку современную, в которой ничего не ломается, и которая заводится нажатием кнопки и не требует 10 человек персонала для ее обслуживания и эксплуатации. В следующем году мы планируем установку следующего Криогенного замедлителя из комплекса, из трех, которые предусмотрены на комплексе ИБР-2. Значит, этот Криогенный замедлитель, имеющий номер 201, был уже изготовлен. Мы в этом году осуществили его примерку на месте. В результате примерки, как это всегда практически бывает, у нас возникли замечания – что-то не с теми зазорами входило, как положено. Все эти замечания мы подготовили, передали изготовителю, и весной этого года мы ожидаем, что уже исправленное оборудование вернется к нам. Мы его в течение летней остановки на ПРР снова примерим, и в случае, если все будет успешно, мы в этом же году во время ППР его смонтируем и испытаем уже и в теплом варианте, и в криогенном варианте, начиная с сентября 2019 г. Если же что-то у нас пойдет не так, это вот пессимистичный вариант ниже написан, ну тогда в теплом варианте мы сможем с ним работать уже в этом году, а криогенный переносится на следующий год.

Последствия таких остановок для Пользовательской программы, конечно, были. Они были серьезные. В июле 2018 г., когда стало понятно, что непонятно, когда мы получим решение Ростехнадзора о возобновлении работы, и для того, чтобы внести ясность для тех людей, которые подали уже заявки, и эти заявки были одобрены, мы решили, что мы полностью перенесем все эксперименты, запланированные на вторую половину 2018 г., на первую половину 2019 г. И в результате полное количество дней Пользовательской программы, которое мы проработали – 41 день, примерно половина из годового количества. Ну и также это сказалось, соответственно, примерно уменьшением вдвое количества заявок, как поданных, так и принятых. И количество реальных визитеров, которые приехали эти эксперименты делать в этом году, у нас примерно вдвое меньше, чем в прошлом. Вот так они распределены и по странам, и по установкам на реакторе. Тем не менее, несмотря на вот эти вещи, количество публикаций по работам на ИБР-2, как мы видим, выросло в 2018 г., т.е. у людей осталось время для того, чтобы писать статьи. Поскольку реактор не работал, у людей было время подобрать какие-то

старые вещи и подогнать дела. И среди тех работ, которые были выполнены нашими пользователями, как правило, в соавторстве с нашими же людьми, потому что у нас, мы это называем Пользовательской политикой, но, наверное, больше, чем в половине случаев это не просто какие-то незнакомые нам люди, которые вот пришли попользоваться нашей установкой, уехали, и потом мы их 10 лет не видели. Это, как правило, коллективы, которые уже давно и творчески сотрудничают, и делают совместные эксперименты. Причем эксперименты эти делаются, как правило, на разных установках, и установки ИБР – это только одно из мест, где это делается, потому что в современной физике твердого тела применяется огромное количество методов. Ну и вот видите публикации, которые возникли из этой работы с достаточно хорошими рейтингами.

Обо всех этих сложностях и проблемах мы честно и открыто проинформировали наши консультативные органы – РАС по КС. В январе этого года, значит, было все это доложено. Доложено было также о тех наблюдениях и о тех исследованиях, которые мы ведем в том, что касается стабильности и надежности работы самого реактора. И рассказали о некоторых явлениях, которые мы там наблюдаем, которые повторяются также, как и на первом ИБР'е. И это было больше половины моего доклада на январском РАС'е. Я сейчас не буду для краткости об этом говорить, но могу кратко сказать, вот как здесь написано, что были наблюдены некие флуктуации в амплитуде мощности. Эти флуктуации не превышают 5 % от средней мощности 2 МВт. Установлен безопасный предел отклонений – это 100 % от мощности 2 МВт, т.е. до 4 МВт можно отклоняться до срабатывания аварийной защиты по мгновенной амплитуде импульса. Т.е. мы очень далеко находимся от пределов безопасной работы. Но, тем не менее, поскольку мы не совсем понимаем физику тех процессов, которые ведут к появлению вот этих флуктуаций, на можем предугадать динамику их развития, мы так же, как и в конце 90-ых, приняли решение снизить мощность работы, среднюю мощность реактора во время работы на физические циклы до 1,7 МВт и увеличить расход натриевого теплоносителя в тех пределах, которые у нас возможны, поскольку мы знаем, что эти меры приводят к ухудшению ситуации вот с этими флуктуациями, просто из нашего опыта.

Для того, чтобы компенсировать недостаток нейтронов нашим пользователям, и для того, чтобы компенсировать потери этого года, мы приняли решение увеличить длительность реакторных циклов на этот год, на будущий – посмотрим. Вот на этот год это официальное расписание реактора, опубликованное на сайте и утвержденное главным инженером института. Значит, вместо 2500 мы планируем 3000 часов в этот год отработать.

Ну и вот после того, как я рассказал об обстановке, значит, технической, я перехожу к наиболее ярким результатам. Сразу забегая вперед, я скажу, что полное количество научных публикаций (большинство из них – это реферируемые журналы) – это 287, если вот взять лабораторный отчет. И конечно, там очень много ярких результатов, и все их осветить невозможно. Они доступны в отчетах на сайте лаборатории. Если кто-то интересуется более детально тем, чем там Нейтронка занимается, пожалуйста, можно пойти и посмотреть.

Ну, вот 1 из тех работ, которая была упомянута у меня выше, как 1 из тех которые в 2018 г. была опубликована и выполнена в т.ч. и на реакторе ИБР-2. Это исследование наведенной, так называемой multiferroicity (я не знаю все равно вот этого слова) в некоей новой фазе бинарного оксида марганца, который был синтезирован нашими коллегами в Bayerishes Geoinstitut, Геологическом институте в Германии при высоких давлениях, исследован методами нейтронного рассеяния у

нас и в Гархингем, Германия, на FRM-II реакторе. Вот можно посмотреть на авторский коллектив, который выполнял эту работу. Значит, китайская Национальная лаборатория исследований конденсированного состава вещества Института физики китайской АН; Rutherford лаборатория, Англия; Department of physics, Clarendon Laboratory, University of Oxford; наша лаборатория; Center of Electrochemical Energy Storage, Сколково; Институт физики Университета Аугсбург, Германия; Bayerishes Geoinstitut, намецкий институт, еще несколько китайских и российских организаций. Это, конечно, 1 из примеров, выдающийся пример, но это абсолютно не исключительный пример. Действительно, практически все работы выполняются вот такими широкими научными коллективами.

Это другой пример исследования органического вещества оксозолина методами нейтронного рассеяния, методами ново… рассеяния. Здесь тоже вот видно – выполнены исследования в какой-то области переданных импульсов на нашей угловой установке. А там, где нам эти переданные импульсы недоступны – на сверхмалые переданные импульсы. Это делалось в Мюнхене в Германии. Вещество интересное с практической точки зрения, рассматривается, как 1 из вариантов замены полиэтиленгликоля, который используется в различных медицинских процедурах и операциях.

Работы, которые велись тоже вот в области биологических исследований. И эти работы прозвучали буквально несколько дней назад во время отчета наших сотрудников на комиссии "Три на три" со словацкой стороной. Значит, эти вот результаты представил Норберт Кучерка. Исследования проницаемости биологических мембран различными ионами – цинка, кальция, магния, холестерином – эффекты гидратации, как они влияют на проницаемость мембран, и встраивание холестерина и прохождение холестерина через мембраны. Тоже, видите, с достаточно хорошими факторами в журналах публикаций. И тоже действительно работающая эффективная коллаборация нескольких научных центров.

Как вы много раз уже видели и знаете, реактор ИБР-2 – это 1 из ярчайших с точки зрения плотности потока нейтронов (только в этом смысле, в техническом смысле) источников нейтронов в мире. Но при этом, конечно, парк наших установок достаточно уступает тому, что есть в ведущих центрах, таких, как ILL, ASIO и другие центры. Поэтому основные наши усилия, конечно, сейчас сосредоточены на том, чтобы при помощи новых нейтроноводов, новых широкоапертурных детекторов повысить эффективность наших установок. Ну и это вот пример, как установка дополнительных фокусирующих нейтроноводов и установка дополнительных устройств могут привести к выигрышу даже не на порядок, а на единицы порядков. Вот в 35 раз выигрыш по плотности потока на дифрактометре для высокого давления DN-6, ну, правда, не по сравнению с ним же самим, а с другим пучком, где раньше эти исследования выполнялись дифрактометром на 12-том пучке.

Также продолжается развитие парка детекторов на всех установках. 1 из примеров – это Фурье-дифрактометр для измерения стрессов и напряжения на 11-том канале.

Продолжается создание сцинтилляционных детекторов большой площади для того, чтобы довести телесные углы детекторов до долей, как минимум до десятых долей, до единиц ..-радиан так, как это сейчас есть во всех ведущих центрах.

Ну и еще несколько примеров. Это вот кольцевой секционированный детектор для дифрактометра реального времени на канале 6. На эту разработку получено изобретение авторами этого детектора, нашими болгарскими сотрудниками.

Установка облучательная на канале 3 продолжает работать. У нас пользователи и из Института, и не из Института. Мы продолжаем ее оснащать необходимым оборудованием, и вот последнее достижение – Роботизированная система перемещения образцов, которая позволит уберечь персонал этой установки от переоблучения при работе с образцами.

Сектор рамановской спектроскопии, который вошел в состав лаборатории достаточно давно, уже больше 5 лет, наверное, назад, тоже прекрасно работает. В прошедшем году, ну, может быть, мы не первые, в ЛТФ, наверное, есть у нас кубинские сотрудники, но вот у нас одни из первых, можно назвать, кубинские сотрудники проходили стажировку. 2 молодые девушки в этом секторе в течение нескольких месяцев проходили стажировку и учились работать на карсмикроскопе и учились, в основном рамановской спектроскопии. Тоже есть очень хорошие публикации. Их, конечно, не так много, поскольку сектор немногочисленный, порядка 10, наверное, публикаций, но с хорошими импактфакторами.

Ну и вот это пример методических достижений – благодаря усиленной работе сотрудников сектора, они научились видеть и идентифицировать вещества на уровне одной или нескольких молекул, т.е. это максимальный передел чувствительности, которую можно себе представить. На уровне 1 молекулы методом рамановской спектроскопии в специальных структурах, вот этих дендридах, деревоподобных структурах, можно такой чувствительности добиться. Ну и ждем теперь дальнейших научных результатов.

Что касается слайдов по нейтрон-активационному анализу, то это не результаты, а скорее заявки на результат. Было получено 2 гранта РФФИ, 1 из которых – большой грант. Руководителем обоих грантов является Инга Зиньковская. И это не совсем уже нейтрон-активационный анализ, как чисто аналитическая методика. А это уже применение в неких технологиях, вот в данном случае это показано применение биотехнологий по очистке сточных вод от металлов. Исследуется механизм сорбций пивными дрожжами. Пивные дрожжи – это просто отходы производства, которые выбрасываются на свалку. Если их не выбрасывать, а использовать, как реагент, через который пропускать вот эти сточные воды, оказывается, что эти дрожжи, в зависимости от кислотности, по-разному накапливают разные элементы. Вот что интересно, видите, хром и железо активно накапливаются, значит, это вот коэффициент очистки. Т.е. 90 % металлов из сточной воды уходят и сорбируются пивными дрожжами при низкой кислотности. А у никеля наоборот – при низкой кислотности плохо сорбируется, а дальше – высоко… Да, наоборот, извините, я подзабыл химию, наоборот.

Тут мы немножко перекликаемся с работами, которые вы услышите, наверное, в следующем докладе – влияние наночастиц серебра на когнитивные функции у мышей. Совместно с институтом МОНИКИ тоже получен грант. Мышек кормят наночастицами серебра с вот таким размером в течение нескольких месяцев и смотрят, как и где это серебро аккумулируется. Ну и вот оказывается, что в крови и в печени. Через 2 месяца появляется высокая концентрация, через 4 месяца она уменьшается. То же самое и у мужских особей, и у женских особей. В хроме примерно то же самое. А вот в мозге, оказывается, это накопление идет постоянно. Вот как это влияет на то, что заявлено в этом заголовке, мы еще пока не знаем, работы начались и будем их продолжать.

Эта работа, которая сейчас на слайде, была выполнена на установке ИРЕН в то достаточно короткое время, которое она проработала в 2018 г., поскольку шел постоянный апгрейд и замена оборудования. Это исследование человеческих останков, которые мы получили из запасников музея московского Кремля. Это были анонимные в начале для нас останки. Это были части реберных костей двух мужчин и женские волосы. Мы не знали вначале, кому они принадлежат. Вопрос был – исследовать содержание ртути и мышьяка в этих останках. Ну и, естественно, нейтрон-активационный анализ – прекрасный метод для того, чтобы это сделать. Мы это сделали на двух установках – и на ИБР-2, и на ИРЕН – получили результаты. И после этого анонимность была снята, мы узнали, что 1 из останков принадлежал старшему сыну Ивана Грозного, а другое ребро принадлежало знатному боярину Михаилу Скопину-Шуйскому, который знаменит своим участием и военными своими походами во времена уже Дмитриев, во времена Смутного времени. Эти работы тоже у нас продолжаются.

Тут я могу перейти дальше к ядерной физике (ЯФ). Ну, ЯФ практически вся у нас делается на выезде, потому что ИРЕН действительно не заработал еще стабильно. А когда заработает, я скажу немножко дальше. Поэтому вот это в основном выездные эксперименты. Это то, что мы подали в доклад директора. Это действительно эксперимент, который выполняется совместно с ИТЭФ. Тут, конечно, 1-вая скрипка – это Данилян из ИТЭФ, Геворг Варкесович. Это обнаружение эффекта угловой анизотропии в испускании γ-квантов и нейтронов при делении нейтронами с разными энергиями. Очень большое достижение этой группы, что она достаточно тонкие эффекты, которые на уровне 10^{-5}. Экспериментально такие асимметрии мерить очень непросто. Вот им удалось это сделать, причем для нескольких энергий нейтронов – для достаточно жестких нейтронов (0,3 eV; 60 мВ и 4 мВ). И была показана резкая зависимость этого эффекта и для нейтронов, и для γ-квантов от энергии. Для холодных нейтронов эффект четко выражен, а для нейтронов более высоких энергий … Ну и соответствующие теории, которые этот эффект описывают, вобщем, достаточно хорошо подтверждают эти экспериментальные наблюдения.

Еще 1 группа, которая работает на источнике, правда, здесь используется и наше оборудование, наши электростатические генераторы ЛИ-5, которые работают в лаборатории. Это сечение реакции с вылетом заряженных частиц нейтрон- n-p-n α-реакций в диапазоне энергий от 1 до нескольких MeV. Эти реакции могут быть исследованы и исследуются достаточно эффективно на электростатических генераторах нейтронов, где из реакции протон на литий можно получать моноэнергетические нейтроны в диапазоне от 1 MeV примерно при помощи d-d-реакции от 2,5 MeV до 5-6-7 в зависимости от энергии дейтонов, доступной на данной установке. И на d-t-реакции, соответственно, подниматься уже до энергий от 14 до 18 MeV.

Это во работы конкретные – исследование реакции n,α на магний, которая важна в принципе в процессе нуклеасинтеза, потому что обратная обратная реакция α,n-реакция на неоне является одной из ключевых в моделях нуклеасинтеза в …

Ну и, как видно вот по этим экспериментальным данным, где синие – точки, полученные в нашей лаборатории, видно, что и теоретические модели, и экспериментальные точки в этой области энергии вот для этих конкретных реакций, они либо отсутствуют совсем, либо очень сильно расходятся. Т.е. это работа, которая действительно, несмотря на то, что уже скоро будет 100 лет, как в

ЯФ все эти сечения мерятся, тем не менее, очень много еще экспериментальных незакрытых областей.

Тоже выездной эксперимент – Гренобль. Самый, пожалуй, высокоинтенсивный пучок поляризованных холодных нейтронов с плотностью потока порядка 10^{11} нейтронов на см^2/сек. Колоссальные темпы счета, исследуется асимметрия вылета α-частицы при захвате нейтрона десятым бором. Вылетает 7-ой литий и α-частица, и исследуется асимметрия вперед-назад вылета α-частицы. Поскольку огромные плотности потока нейтронов, огромные скорости счета, только токовые методы позволяют. И вот наша очень эффективная коллаборация, она с Лодзью в Польше и с ПИЯФ в Гатчине, позволила разработать такие методики, на которых эта группа успешно меряет такие реакции уже в течение достаточно длительного времени. Ну и тоже вот буквально 1-ый цикл измерений, который был проведен в 2008 г. Вы видите, экспериментально измеренная асимметрия на уровне 10^{-7}. Причем результат, можно сказать, почти значимый. Эти работы будут продолжены, и мы ждем от авторов дальнейших …

Продолжается наше сотрудничество с коллаборацией n_TOF в CERN'е. Вот наши сотрудники принимают участие в экспериментах на n_TOF'е. Ну и вот 1 из примеров – это публикация по измерению сечения nγ на уране 238.Тоже, казалось бы, ядро, 100 лет известнее, измеренное много раз на разных участках. Тем не менее, точность существующих данных еще не достаточна, и еще требуются новые экспериментальные измерения в тех областях энергий, где это делать достаточно тяжело.

Ультрахолодные нейтроны (УХН). Деятельность, которая давно и эффективно ведется в лаборатории. К сожалению, за отсутствием источника УХН в России, ну и практически во всем мире их буквально считанные единицы, и наиболее эффективно работающий – это, конечно, источник УХН в институте Лаоджилена в Гренобле. Там и высокая плотность потока, хорошо организованная Пользовательская программа, куда можно подать заявку и приехать на эксперимент. Достаточно длительно, вот с начала 2000-х годов наша группа совместно с коллегами из института Лаоджилена ведет исследования отражения ультрахолодных и очень холодных нейтронов от нанопорошков, приготовленных разными способами. Значит, я не буду вдаваться в подробности, вот здесь есть 1 картинка, на которой можно просто объяснить цель этой деятельности и результаты, к которым мы идем. Значит, это коэффициент – вероятность отражения нейтронов в зависимости от их скорости. Здесь скорость в логарифмическом масштабе. А различные кривые соответствуют различным материалам. Вот эта – это некое алмазоподобное покрытие (DLC). Это суперзеркало, которое применяется в зеркальных нейтроноводах, самое лучшее. А вот оказалось, что, если мы используем в качестве материала подложки, от которых отражается нейтрон, алмазный нанопорошок, то коэффициент отражения будет вот такой. Он будет единичным для нейтронов со скоростями уже порядка 200 м/сек. Это потенциально колоссальный прорыв в зеркальных нейтроноводах, в ловушках которых эти нейтроны можно удерживать. Экспериментально измеренный нашими коллегами, вот он показал экспериментальными точками. Довольно много отстаем от теоретического. Причина, как очень часто это бывает в ультрахолодной физике – это водород, который по технологии производства в этих наночастицах остается. Вот как-то его надо заместить. Можно его заместить путем фторирования этого материала и замещения водорода на фтор. И эта вот работа как раз посвящена вопросу о том, как эта фторизация влияет на коэффициент отражения нейтронов.

Потенциально деятельность очень богатая для всех нейтронных центров. Как я уже сказал, может быть применено и для нейтронов, и для объемов хранения, и, конечно, для будущего нейтронного источника, который сейчас обсуждается бурно очень нашей лабораторией, тоже может быть выход из этой деятельности.

Значит, на установке ИРЕН в течение 2018 г. была проведена замена системы охлаждения, систем оборотного водоснабжения была заменена с той, которая была раньше с градирней водяной, старой, которая у нас была совместно с ИБР-2. Сейчас у нас отдельный чилер, отдельная градирня, которая стоит на выносной платформе прямо перед реактором. Вот это чилер этой системы, теплообменники. Заканчивается ремонт помещений для установки REGATA-2 для нейтронно-.. анализа на ИРЕН. Для экспериментов, о которых я говорил, без установки делали, "на коленке", как говорится. Но уже в этом году мы надеемся, что это будет работать нормально.

Разработана и создана трехэлектродная высоковольтная электронная пушка, которая позволит варьировать длительность импульса на установке ИРЕН от 40 до 400 нсек. И для каких-то экспериментов выбирать короткие импульсы. И тоже в ближайшее время будет смонтирована.

Ведутся разработки детекторов для будущих установок для работы на ИРЕН. В течение пары месяцев буквально нам удалось продемонстрировать возможности метода нейтронно-резонансного анализа по запросу коллег из Роскосмоса, которые обратились к нам в связи с неполадками в двигателях ракеты "Протон" грузовой, которая доставляет грузы на МКС. Оказалось, что в этом двигателе есть 1 из элементов, который называется газогенератор, в котором в стальную плиту диаметром около 300 мм тугоплавким припоем впаяны 140 форсунок из тугоплавкого же металла. И вот оказалось, что при сборке 70 двигателей был использован либо полностью, либо частично припой не тот, который был технологами прописан. При этом оказалось, что физические свойства этого "неправильного" припоя оказались довольно близкими к правильному припою. Поэтому заводские испытания этот порог не вскрыли. А когда двигатель работал на полную нагрузку, в каких-то случаях это приводило к отказам. И когда они пришли к нам и сказали: "А можно ли, не разбирая двигатель, попробовать определить?", мы сказали, что нет. Но потом, когда все-таки начали интересоваться составом, оказалось, что в составе вот этого "неправильного" припоя половина палладия. А у палладия есть низколежащие резонансы в сечении захвата нейтронов, и, в принципе, можно попытаться вот по γ-квантам из захвата в этих резонансах, просветив нейтронами это дело насквозь, попытаться вот эти дефектные вещи найти. Ну, дальше уже пошла техника. Оказалось, что пайка весит 300 мг. Значит, нужно 150 мг палладия определить в многотонной конструкции. Мы сразу сказали: "Конечно, это невозможно". Поэтому начали идти маленькими шагами. Вот вырезана часть детали этого газогенератора весом примерно килограмм, в котором 1 пайка сделана "неправильным" припоем. Это порядка 100-150 мг на фоне 1 кг. И мы эти 100 мг прекрасно видим в течение нескольких часов работы на ИРЕН. Дальше будем эту методику развивать. Но для этого нужно, чтобы установка заработала. И наши ближайшие планы по ИРЕН – конечно, это сейчас вот закончить ввод в эксплуатацию после приемки новой системы охлаждения и в течение нескольких лет поработать спокойно, уже без остановок, без перерывов над этой задачей и над другими научными задачами.

Очень плодотворным был этот 2018 г. на пути к разработке концепции нового источника нейтронов в нашей лаборатории. Было 2 рабочих совещании в 2018 г. и

еще 1 совещание рабочей группы в самом начале 2019 г. перед РАСпо КС. Были разработаны и окончательно доведены до того этапа, когда их можно давать проектировщикам, 2 концепции нейтронного источника, которые отличаются разным топливом, которое будет использовано, разной компоновкой и по-разному предполагается использование ускорителя в этих установках. 1 из концепций вообще на данном этапе не предполагает использование ускорителя в качестве драйвера для этой подкритической системы, т.е. это будет импульсный реактор, как ИБР-2. А 2-рая концепция – это управляемый ускорителем источник нейтронов подкритический. Амбиции – иметь среднюю плотность потока на уровне европейского источника Spolation, который сейчас строится, т.е. на уровне, не ниже, чем 10^{14} нейтрон на см^2/сек. – средний поток, и пиковый поток иметь на порядок больше примерно, или больше, чем на порядок. Больше, чем ESS, но, естественно, при меньшей длительности импульса, т.ч. средний поток сохраняется таким же.

Буквально вот в последние недели проработаны вопросы компоновки специализированных замедлителей, и прошла работа, прошел ряд семинаров в Отделе КС, и в Комплексах спектрометров прошел ряд семинаров, в которых физики обсуждали концепции тех инструментов, которые могут быть построены на этом источнике, и высказывали свои требования к тем замедлителям и головным частям нейтронопроводов, которые должны быть на этом источнике для того, чтобы эти инструменты, так сказать, заиграли в полную мощь. В соответствии с этими требованиями в Отделе комплексов спектрометров была разработана концепция этих замедлителей, и она уже передана в НИКИЭТ. И НИКИЭТ сейчас работает над компоновкой такого источника, не голого, просто зона, и ничего вокруг, а уже с конкретными замедлителями, с конкретными каналами, с конкретной защитой для вывода нейтронов. И мы надеемся, что где-то к сентябрю этого года эти 2 концепции будут проверены и обкатаны конструкторами, и мы сможем перейти к этапу выбора какой-то отдельной конкретной концепции. Значит, вся эта работа была подытожена в предложении в Стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ и направлена Б.Ю. Шаркову, как руководителю Рабочей группы по стратегическому планированию.

Последние слайды. Силами наших молодых ребят из Казахстана, которых огромное количество работает в институте и в Нейтронке тоже, за 2 года при финансовой поддержке Полномочного Представителя Республики Казахстан и за средства из взноса Республики Казахстан в Алма-Ате на реакторе WWR-K была построена Установка нейтронной радиографии. И вот в конце прошлого года были уже получены 1-вые экспериментальные результаты, которые очень похожи на то, что в 2013 г. мы у себя получили после выхода на ректор ИБР-2. Тоже был замок, тоже была дрель, вобщем, что под рукой попалось, то и сфотографировали. И сейчас эта установка, конечно, будет продолжать жить и развиваться, и успешно работать. А в подзаголовок этого слайда я вынес вот эти слова, потому что мы провели переговоры в Ташкенте. Узбекистан, мы очень надеемся, на пути к возвращению в ОИЯИ в качестве нормальной полноправной страны-участницы. Мы, не дожидаясь этого, начинаем ними работать. И вот, в принципе, следующее место, где такая же установка на таких же принципах силами узбекских же специалистов, которые приедут сюда, будет создана и построена.

Ну и дальше двигаемся на восток и по времени немного дальше – это во Вьетнаме тоже планируется создание Национального ядерного центра с реактором 10-15 МВт

с водо-водяным реактором. И конечно, мы тоже готовы и будем принимать участие в создании экспериментальных установок на этой машине.

Несколько цифр из статистики. Значит, в лаборатории 550 человек, из них 223 – моложе 40, 103 человека – из стран-участниц кроме России. Средний возраст – 48 лет. Бюджет этого года – 28.65 M$, более половины – на материальные статьи. Дальше не буду перечислять, научные направления – всё это вы знаете.

Публикации. Тема физики КС -187 публикаций (188 – в прошлом году). 3 патента, 198 докладов на конференциях (а в прошлом году было 132). Вот видите, я говоря, что реактор не работал, зато люди писали статьи и ездили на конференции и докладывались. Поэтому мы время не тратили, не сидели, сложа руки, а отрабатывали, как могли. Подготовлены диссертации. Ну и дальше пролистаю. В принципе, по всем остальным темам, конечно, там рекордно. И полное число вот такое – 287 публикаций.

Несколько совещаний было проведено либо в лаборатории, либо совместно с институтом, в частности, Международная школа по ядерным методам в исследовании окружающей среды и life science. Ежегодный Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами (INN-26) впервые был проведен не в Дубне, а в Китае, в г. Шиань. Опыт успешный. Посмотрим, как будет дальше. В принципе, мы договариваемся на регулярной основе пытаться делать эти совещания таким выездными.

Отметили 110 лет со дня рождения 1-вого директора лаборатории И.М. Франка. Был семинар здесь у нас в Дубне. Был выпущен очень хороший фотоальбом, у многих из вас он есть. И был выпущен сборник избранных трудов Ильи Михайловича в 2 томах.

В самом конце года мы решили, что мы процедуру отбора и оценки заявок на конкурсы ОМУС'а на гранты для молодых ученых и специалистов, отбора заявок на именные стипендии Франка и Шапиро, которые есть у нас в лаборатории, проведем в виде конференции (поэтому мы потратили достаточно много времени, порядка трех дней, ну, по полдня, наверное, в каждый день, но такого масштаба), где молодые люди выступали со своими докладами, но не у доски, а мы это сделали в виде постерных сессий. Тут я просто хочу поделиться своим опытом, может быть, кто-то посчитает полезным и тоже будет использовать. Члены комиссии и все желающие просто имели возможность здесь (как на наших РАС'ах постеры висели в соседнем зале) ходить, смотреть, спрашивать, беседовать, оценивать для себя. Ну и потом жюри собиралось, оценивало результаты и выделяло гранты.

В самом начале 2018 г. вышел приказ Минобразования и науки о назначении стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам. Ну и вот, в ОИЯИ у нас есть 1 такой стипендиат Президента. Его фамилия Жакетов Владимир Дмитриевич. Это наш молодой сотрудник из отдела физики КС. До 31 декабря 2020 г. он именной стипендиат Президента.

В самом заключении я бы хотел сказать, что вот в нашей лаборатории, конечно, очень большое количество реально прикладных работ, которые иногда даже ведутся на договорной основе, иногда без договоров и без денег без никаких, но все равно с явным выходом на какой-то практический результат. И конечно, нет никакого координатора или органа, который бы все это дело координировал. Как правило, все подразделения или группы отдельные этим занимаются в одиночку. И это неэффективно. Поэтому в связи с веяниями, так сказать, ветров и обсуждениями на наших последних НТС инновационного развития и формирующегося сейчас Экспертного совета по инновациям я, честно говоря,

видел бы полезным в лаборатории создать группу, буквально1-2, может быть, 3 человека, которая целенаправленно бы занималась рекламой наших возможностей и методик среди потенциальных заказчиков (а это, в 1-ую очередь, промышленность, производство) ну и как-то координировало бы все эти вещи.

ВЫСТУПИЛИ:

Р.В. Джолос – Вы знаете, это гораздо больше было представлено, чем я предполагал. Но, с другой стороны, Виктор Анатольевич, такое впечатление, что каким-то лабораториям не уделяется достаточно внимания. Уже там накапливается много чего, что хотелось бы показать. Потому что действительно, много. И Борис Николаевич увидел что-то здесь для нашей инновационной деятельности тоже. Валерий Николаевич, у меня как-то раньше было отложено всегда в голове, что ЛНФ – исследования по конденсированным средам и ядерная физика. Сейчас я увидел еще и биофизику. Это вот так случилось в этом году, или это уже наметившаяся тенденция?

В.Н. Швецов – Это наметившаяся тенденция, потому что у Марины Владимировны Фронтасьевой очень долгие и очень успешные связи с Институтом биофизики Грузинской АН, Андроникашвили, и очень много работ, в которых методы активационного анализа. Но вот до сих пор, я бы сказал, мы, как бы, были на вторых ролях, т.е. все-таки аналитика. Мы применяли аналитику для тех исследований, которые там велись. Сейчас тоже всё так же. Конечно, мы будем свои методы применять, но у меня есть ощущение (поскольку руководители этих работ, вот Инга Зиньковская, она химик по образованию), что какой-то, может быть, другой аспект повернется. Но это не только сейчас появилось. Я вот хочу сказать, что с Андроникашвили, с Грузией мы очень давно работаем. Это даже не биофизика, а скорее биотехнологии.

А.И. Малахов – Я хочу несколько слов сказать благодарности руководству лаборатории и лично Валерию Николаевичу, как пользователь и ИБР-2, и ИРЕН. Значит, дело в том, что мы уже в течение довольно большого срока, нескольких лет, ведем исследования радиационных свойств различных сцинтилляторов и фотоприемников кремниевых умножителей для апгрейда установки CMS, например, в CERN'e, которая стареет после облучения, и сейчас стал вопрос о замене элементов этой установки. И мы очень подробно изучили свойства этих вот элементов благодаря наличию такого прекрасного реактора, который у нас работает в ЛНФ. И также кроме нейтронных пучков мы использовали электромагнитное излучение с помощью установки ИРЕН. И эти работы высоко оценены в CERN'e. Мы выпустили несколько совместных публикаций, которые в "Nuclear Instruments", в частности, опубликованы. Поэтому я хотел бы вот еще раз поблагодарить лабораторию, штат лаборатории, дирекцию и тех сотрудников, которые действительно нам в этом деле очень сильно помогали. Это уникальное место, где мы можем проводить такие исследования, и всячески, конечно, нужно поддерживать эту лабораторию и помогать.

В.Н. Швецов – Спасибо, Александр Иванович.

Р.В. Джолос – Короткий вопрос. Я вот, когда на РАС'ах слушаю, ну скажем, то, что недавно было по конденсированным средам, у меня всегда возникал вопрос: да,

интересно, но как определяется, ведь сейчас же много чего можно исследовать (скажем, те же магнитные свойства в разных условиях – увеличения давления и др.), как определяется выбор, что исследовать – то или другое? Есть какой-то у вас идеологический центр, что ли, какое-то такое направляющее? Или это диктуется тем, кто вот выходит на вас с какой-то идеей?

В.Н. Швецов – Нет, конечно, основная линия исследований формируется теми идеологическими центрами, которые существуют в лаборатории. Это наши ведущие и главные научные сотрудники, руководители секторов, групп, руководители отдела. А, как я уже говорил, пользователи, которые к нам приезжают – это не люди, которые абсолютно нам неизвестны и со стороны. Во-первых, само сообщество не так велико, поэтому, так или иначе, люди пересекаются, встречаются на конференциях, очень часто возникают совместные работы. Как я сказал, методик много используется, 5-6 может быт использовано в 1 и той же работе для того, чтобы получить наиболее хорошие результаты. Поэтому фактически к нам сюда приезжают люди, для которых подходят эти источники, которые идеологически и технически близки для этих исследований. Ну, вот я бы так сказал.

Б.Ю. Шарков – У Вас там быстро промелькнул слайд, на котором очень впечатляющая цифра по молодежи, по публикациям, по выступлениям на конференциях. Но мне показалось, что очень скромные числа по защитам – 5 кандидатских и 1 докторская в этом году, и в прошлом примерно столько же. Это в Отделе конденсированных сред, в других скромней существенно.

В.Н. Швецов – Согласен, согласен, да.

Б.Ю. Шарков – Какие-нибудь меры будут применяться?

В.Н. Швецов – Они применяются практически ежедневно.

В.А. Матвеев – Вы знаете, Вы действительно правильно говорите, что эта лаборатория действительно заслуживает гораздо больше внимания, по крайней мере, при таких вот обсуждениях на НТС. И конечно, целая фабрика экспериментов во многих направлениях. Т.ч. можно только поздравить коллектив лаборатории вот с таким режимом интенсивной работы, несмотря на все испытания и сложности, через которые они прошли. Когда мы на дирекции рассматриваем заявки лабораторий на бюджет очередного года, мы действительно, особенно в последнее время, всё больше смотрим и понимаем, что лаборатория заслуживает больше внимания с точки зрения и бюджетных объемов финансирования, несмотря на то, что они все предусмотрены, конечно, 7-летним планом. Но здесь есть возможности определенного учета приоритетов. Мы видим, что, конечно, лаборатория очень подходит, так сказать, сдержанно, она понимает, что ресурсы ограниченные, и она поэтому требует то, что ей кажется возможным. Но видимо, в некоторых вещах надо, наверное, оказать дополнительную помощь, чтобы качество самого реактора, всех его систем не растягивать на долгое время для развития. И в т.ч., конечно, необходимо, может быть, какие-то заложить средства, чтобы создать, сконцентрировать внимание и ресурсы на спектрометрах или нескольких, пары спектрометров, но таких, которые бы, пусть стоили бы дорого, но, тем не менее, были бы, может, на самом высшем уровне в этой области, потому что, конечно, учитывая ту динамику и возможности закрытия нейтронных источников в Европе,

потребности в нашем реакторе большие будут всё время. Но к этому времени надо иметь спектрометры совсем иного уровня, более высокие. Т.ч. мы, в принципе, готовы, наверное, думать, как в рамках отпущенных нам средств, в рамках 7-летнего плана, тем не менее, такую вот форсированную поддержку лаборатории оказать, если она сможет это всё правильно обосновать. Ну, в этой связи хотелось бы спросить уже просто по ходу: у вас с этими флуктуациями потока какой-то прогресс можно ожидать? В понимании, по крайней мере.

В.Н. Швецов – С флуктуациями мощности. И этот прогресс будет заключаться в том, как мы будем работать. Значит, сейчас, вот начиная с последних циклов в 2018 г. (двух) и те циклы, которые первые были январские, вот сейчас идет, мы записываем в наши базы данных, буквально оцифровываем каждый импульс. Вот 5 импульсов в секунду – мы их прописываем по точкам, оцифровываем, складываем и следим за этими флуктуациями. И будем продолжать это делать. Мы будем строить модели физических процессов, которые идут в реакторе, в топке реактора, в кассетах, при взаимодействии всей этой системы с потоком натрия. Мы будем привлекать специалистов из НИКИЭТ, может быть, из других центров, может быть, здесь вот во время одного из обсуждений. Создана Рабочая группа при дирекции лаборатории, которая будет регулярно, мы договорились, после каждого реакторного цикла будем собираться, обсуждать текущую ситуацию. И вот во время уже первой встречи этой Рабочей группы возникло предложение привлечь специалистов по нелинейной динамике, по теории хаоса, которые помогли бы нам, по крайней мере, с подходами к этой задаче. Потому что ясно, что здесь очень многокомпонентная система, очень много степеней свободы, и возникают какие-то вот резонансные колебания, которые, я еще раз говорю, очень далеко от всяких там безопасных пределов. Но мы не можем себе позволить просто смотреть и наблюдать, как они дальше растут. Поэтому мы в самом начале хотим их, как бы, застабилизировать, купировать и спокойно жить. Но у нас спокойно жить все равно не получится, мы должны это исследовать. Поэтому тут я могу только сказать, что мы будем самым тщательным образом за этим наблюдать, исследовать и пытаться понять причину.

И.Н. Мешков – Признаюсь, у меня вопрос, который требует семинара или лекции, но, тем не менее, я осмелюсь попросить дать четкий и краткий ответ. Ну, мы все знаем, что в стране ожидается бум сооружений источников синхротронного излучения Президентской программы и т.д. И вот в связи с этим вопрос: а в какой части, или в какой области использования нейтронных источников они вне конкуренции? Поскольку есть и дополнительные синхротронные излучения, нейтронные.

В.Н. Швецов – Ничего не поменялось с самого начала, с рентгеновских трубок и первых источников нейтронов. Это легкие элементы, к которым нечувствителен рентген, а чувствительны нейтроны. Это возможность изотопного замещения для легких элементов, а именно водород-дейтерий. И это повышенный контраст для биологических образцов. И это можно сделать на нейтронах и нельзя сделать на синхротроне. Это магнитные свойства материалов, которые можно уже делать на синхротроне, но тяжело, а на нейтронах гораздо лучше. И самое ключевое – это физическое отличие – рентген видит плотность электронного облака, а нейтрон видит ядро. Поэтому если вы интересуетесь точным приложением атомов в кристалле, вы должны интересоваться положением ядра в кристалле. А если

элементы тяжелые и электронов много, у вас плотность электронного облака и координаты ядра могут не совпадать и разбегаться довольно сильно. И, как правило, люди делают измерения на синхротроне, а потом уточняющие делают обязательно на нейтронах, если есть легкие ядра. Вот кратко так.

И.Н. Мешков – Спасибо, очень четкий и ясный ответ.

СЛУШАЛИ:

НТС ОИЯИ заслушал выступление **Е.А. Красавина** "Лаборатория Радиационной Биологии", который сказал:

Когда я обсуждал с Ростиславом Владимировичем вот этот доклад, мы с ним договорились, что я не буду, и вобщем-то, он так и ориентировал нас, что это не отчет о деятельности лаборатории за прошедший период, а рассмотрение неких ярких разработок, которые были проведены в прошлом году, и то, что мы предлагаем в доклад нашему генеральному директору Виктору Анатольевичу с тем, чтобы более детально как-то обозначить вот то, что будет озвучено в докладе Виктором Анатольевичем. Поэтому я не буду говорить о тех направлениях исследований, которыми мы занимаемся в нашей лаборатории. Направления эти хорошо всем известны. В прошлом году все они укладывались в ту новую концепцию радиационного риска при реализации длительных космических полетов, что мы экспериментально и делали на наших установках, главным образом, ускорительных установках.

Буквально могу обозначить основные моменты вот этих направлений исследований. То, что касается 1-вого направления, связано со спецификой формирования повреждений ДНК, повреждений генетических структур, которые можно моделировать с использованием пучков многозарядных ионов, что мы успешно и делаем, используя ускоритель U-400M. Было несколько успешных ин-таймов, и получены прекрасные результаты. Часть из этих результатов уже докладывалась. По каждому этому направлению можно было бы сделать большой доклад. Ну, естественно, когда было сказано Ростиславом Владимировичем, что в 15-20 мин. нужно уложиться для того, чтобы представить вот что-то новое, произведенное в нашей лаборатории, я позднее этого буду касаться.

То же самое касается радиационно-генетических и радиационно-физиологических исследований. Я должен здесь в связи с этим сказать, что нам все-таки удалось провести 1-ый эксперимент на пучках ионов криптона (2,5 ГэВ на нуклон). Интересная частица для нас, прежде всего, для рассмотрения вопроса космической радиобиологии. Статья сейчас должна выйти. Получен уникальный материал о развитии повреждений генетических структур в Центральной нервной системе (ЦНС).

Математическое моделирование. Здесь тоже получен ряд ярких результатов. И 1 из таких результатов связан с моделированием с использованием метода молекулярной динамики влияния неких комбинаций мутаций на работу ионных каналов в нейронах ЦНС.

Ну и радиационные исследования и астробиологические исследования.

Как я уже сказал, я не буду детализировать направления этих работ, а буду говорить об одном новом нашем направлении – это направление связано с разработкой нового метода повышения биологической эффективности медицинского пучка протонов. Сразу оговорюсь, что речь идет не только о

протонах, а вообще об использовании ионизирующих излучений в радиационной терапии. Ну, мне, наверное, не стоит говорить вам, насколько всё это важно, потому что радиационный метод лечения злокачественных новообразований применяется крайне широко наряду с хирургическими методами и методами химиотерапии и т.д. Как подобраться к этой проблеме, чтобы повысить биологическую эффективность при облучении различных опухолей, которые сопровождают онкологические заболевания? Это проблема из проблем. Ну, я попытаюсь вот step by step объяснить, что нам удалось сделать.

Прежде всего, я хотел бы напомнить вам, какие же повреждения возникают в генетических структурах клеток, в т.ч. и опухолевых клеток, и почему это важно. Вот видите, здесь представлены на этой схеме основные типы повреждений ДНК. Это крайне упрощенная схема, потому что каждый тип повреждения ДНК включает в себя различные модификации и Однонитевых разрывов, и Двунитевых разрывов, и Поврежденных оснований. Достаточно сказать, например, что Поврежденные основания, например тиамина, включают около 30 различных модификаций. Ну, это же касается и Однонитевых разрывов и т.д. Т.е. это весьма сложная картина, которая возникает при действии ионизирующих излучений на различные типы живых клеток.

Каково же соотношение возникающих повреждений? На 1 Двунитевой разрыв, как наиболее тяжелый тип повреждений, который приводит к гибели клеток, приходится на единицу дозы около 10 Однонитевых разрывов и около 100 Поврежденных оснований. Вот здесь вы можете видеть, что на среднюю летальную дозу (это доза в среднем на геном, на количество генетического материала, когда клетка погибает) возникает около 40 Двунитевых разрывов.

Возникает вопрос – а нельзя ли из этих формирующихся различных повреждений ДНК сформировать Двунитевые разрывы, которые приводят клетки к гибели? Вот вся стратегия лучевой терапии базируется на двух главных принципах. Первое – это Конформный характер облучений мишени. Это понятно, необходимо облучать лишь опухолевые ткани, которые при выделении определенной энергии будут повреждаться и раковые клетки будут погибать. Это достигается, как в случае, например, использования ионизирующих излучений корпускулярной природы, теми особенностями энерговыделения в виде пика Брэгга и максимального выделения энергии лишь в облучаемой мишени.

И 2-рой принцип касается формирования в клеточных структурах облучаемой мишени летальных повреждений. Каких летальных повреждений? Двунитевых разрывов ДНК. Другого нет ничего.

И по сути дела, вот эти 2 принципа и лежат в основе всей лучевой терапии.

Мы прекрасно знаем, что использование корпускулярных излучений приводит к тому, что в максимальном участке выделения энергии (пике Брэгга) повреждается наибольшее количество клеток, возникает наибольшее количество Двунитевых разрывов ДНК. Для ионов углерода, например, это в 2-2,5 раза больше по сравнению с фотонным излучением. Так что же можно придумать для того, чтобы трансформировать те повреждения, о которых я говорил, и которые не являются Двунитевыми разрывами ДНК, сформировать из этих повреждений Двунитевые разрывы ДНК и, следовательно, повысить биологическую эффективность? Есть уникальный препарат, которым мы занимаемся долгие годы, изучаем различные стороны этого препарата. Называется этот препарат Арабинозилцитозин (АраЦ, цитарабин). Этот препарат используется в клинике при лечении острых заболеваний кроветворной системы, при лечении так называемых острых и

хронических лейкозов. Т.е. это препарат, который продается в аптеке, его можно купить, и клиницисты его применяют.

На чем же основано действие этого препарата? Оказалось, этот препарат блокирует 1 фермент, который запрещает прохождение клеток по метатическому циклу, т.е. клетка перестает делиться. Но у него есть 1 другая удивительная сторона, она заключается в его … механизм действия уникален. Дело в том, что этот Арабинозилцитозин включает в себя 2 компонента – цитазин, как вы понимаете, одно из четырех оснований, из которого строится гентический код. И вместо рибозы, которая строит фрагмент ДНК, включена арабиноза. Эта арабиноза делает цитазин неким "Троянским конем". Почему?

Когда происходит блокирование Однонитевого разрыва, и клетка перестает синтезировать Однонитевой разрыв, в клетке имеются специфические ферменты, так называемые S1 эндонуклеазы, которые развивают нить, оппозитную Однонитевому разрыву, и трансформируют такое повреждение в летальный Двунитевой разрыв. Происходит остановка синтеза ДНК и дальнейшее событие, которое приводит клетку к гибели.

Как же наблюдать Двунитевые разрывы ДНК? В лаборатории освоен уникальный метод, который позволяет визуализировать Двунитевые разрывы ДНК. Этот метод действительно уникален, потому что мы можем наблюдать не только количество возникающих Двунитевых разрывов ДНК, но и оценивать качество, степень тяжести и степень репарабельности, как мы говорим. Вот видите здесь на этом слайде каждой точке, которая здесь в ядре позиционируется, эта точка соответствует возникновению Двунитевого разрыва ДНК. Их много. Это ядро. Эти Двунитевые разрывы можно посчитать и оценить вероятность гибели клеток.

Каким же образом мы можем это увидеть? А увидеть это достаточно просто при использовании методов иммуноцитохимии, когда те ферменты, которые участвуют репарации такого рода повреждений, направляются к месту повреждения. И если предварительно на эти ферменты выработаны антитела, которые ассоциированы с флуоресцентными красителями, то в флуоресцентном микроскопе вы прекрасно можете это увидеть и таким образом оценить вероятность гибели клетки. Вот здесь для примера приведена вторая интересная картина, где компенсально ионами бора облучены эти клетки, и, видите, формируются треки из этих тяжелых Двунитевых разрывов ДНК, которые, ну, некую аналогию можно сделать, как с теми ядерными эмульсиями, когда регистрируются прохождения тяжелых заряженных частиц.

И вот на этом рисунке представлены результаты исследований по облучению клеток человека терапевтическим пучком протонов в ЛЯП. Это нормальные условия. Это условия, когда мы вводим тот препарат, о котором я говорил. И вы можете видеть, как с течением времени увеличивается количество Двунитевых разрывов ДНК, достигает какого-то максимального значения при 4 часах, и потом, спустя какое-то время, происходит репарация, и клетка освобождается от этих повреждений и выживает.

Совершенно другая картина наблюдается, когда вводится вот этот удивительный препарат. Вы видите увеличение количества этих повреждений, даже формируются некие треки при прохождении протона через структуры ядра. Всё большее и большее возрастание, и к 24 часам наблюдается огромное количество Двунитевых разрывов ДНК, которое приводит эти клетки к гибели. Для сравнения здесь представлены материалы, которые отражают действие ускоренных ионов бора вот с такими физическими характеристиками. Ну и что же мы можем видеть на графике? На графике мы видим удивительные вещи. Здесь количество вот тех событий, т.е.

Двунитевых разрывов ДНК, и здесь – время. Т.е. это кинетика поведения клетки, как она справляется с этими повреждениями. В нормальных условиях, вы видите, происходит эффективная репарация, клетка освобождается и выживает. В присутствии агентов наблюдается резкое возрастание постоянное увеличение этих повреждений. Аналогичная картина при большей дозе. Там 0,6 Гр, здесь больше в 2 раза, но картина абсолютно одинаковая.

Ну и что же мы видим, если сопоставить те события, которые развертываются в клетке при облучении протонами без всякого влияния модифицирующего агента? Это зависимость, которая получается при облучении ускоренными ионами бора. Это большее количество, понятно, почему происходит, но, тем не менее, происходит иллюминация этих повреждений. И картина, которая наблюдается при действии протонов в условиях влияния этих модификаторов.

О чем это говорит? Это говорит о том, что влияние этих агентов обеспечивает бОльшую эффективность при облучении протонами в условиях влияния этих агентов, нежели при облучении, например, ускоренными ионами бора, которые рядом лежат с ионами углерода. И понятно, что выводы можно сделать очень любопытные.

Я бы хотел привлечь ваше внимание вот к этому материалу, который отражает возникновение повреждений при действии ускоренных протонов в расширенном пике Брэгга клеток глиобластомы человека. Глиобластома – это настолько злокачественная опухоль, от которой в течение полугода погибают пациенты. Суперрезистентный вид опухоли. И поэтому сразу приходят на ум такие имена, как Хворостовский, ну и т.д. Это чрезвычайно важная задача с тем, чтобы посмотреть, как будет влиять этот агент при действии протона на столь агрессивные типы раковых клеток. Работает так же, как и в предыдущих случаях: происходит интенсивная репарация в обычных условиях, и когда вводится этот агент, наблюдается возрастание летальных событий. Это эксперименты, которые мы называем эксперименты ин-витро.

Конечно, надо делать аналогичные опыты на лабораторных животных, используя определенные модели и т.д. Мы начали делать и продвинулись в этом плане уже довольно далеко. Да, кстати, вот это агрессивная опухоль глиома, мозговая опухоль. Это без этого агента. Видите, вот так себя ведет. С этим агентом – аналогичная картина. И вот в экспериментах на животных. Дело в том, что возникает очень важная проблема: когда пытаются использовать какие-то агенты для того, чтобы проникнуть в мозговые сферы, существует так называемый гемотоэнцефалический барьер, который не пропускает из кровяного русла в мозговые ткани те или иные агенты. Этот агент, который мы применяли здесь – уникальный агент. Он, пожалуй, единственный в своем роде. Он великолепно проходит через гемотоэнцефалический барьер. И вот здесь вы видите, как можно видеть формирование Двунитевых разрывов ДНК, просто облучение без введения этого модификатора. Это – контрольный без облучения с введением этого модификатора. А это – через час и через 24 часа. У животных резкое возрастание количества вот этих летальных повреждений. Идея работает. Работает и ин-виво.

Ну, какие же предварительные выводы можно сделать, наблюдая всю эту картину? Во-первых, при использовании такого рода подходов, такого рода модификатора биологическая эффективность протонных пучков в расширенном пике Брэгга практически полностью приближается к тем эффектам, которые мы наблюдаем при действии ускоренных ионов углерода. Ну и сразу же здесь возникает соблазнительная мысль о том, а стоит ли строит дорогие углеродные

машины с соответствующими гантри и т.д., которые на несколько порядков дороже протонных машин? А может быть, удастся развить эти методы? Удастся обойтись более легкими ядрами при лечении злокачественных новообразований и внедрить в практику вот эти все вещи?

И второе, тоже важное, обстоятельство. Дело в том, что этот агент великолепно работает не только, когда мы используем протонные пучки, но и γ-кванты. Протонных ускорителей в нашей стране – кот наплакал. Какие там пальцы на руках? Никаких пальцев не надо, здесь единицы буквально. Ну, вы все знаете где. Ну, вот сейчас Димитровград, бог даст, запустит, в Обнинске потихонечку. Ну а мы, как пионеры, ОИЯИ, здесь должны развивать эти методы, совершенствуя подходы по лечению – биологическая эффективность и т.д. Это сам бог, как говорится, велел. А γ-установок довольно много в нашей стране. И они-то и используются для терапевтических целей. И вот видите здесь – насколько резко возрастает биологическая эффективность γ-квантов по сравнению с обычными условиями, когда вводятся эти препараты.

Значит, нужны серьезнейшие, детальнейшие разработки, связанные с оптимизацией и дозовых нагрузок для пациента, и каким образом будет взаимодействовать вот это удивительное свойство такого агента, которое работает, как "троянский конь" при лечении различных форм онкологических заболеваний. Так что здесь работы очень много. Важно то, что работает этот механизм и ин-витро, и ин-виво. И этим надо очень серьезно заниматься.

Я докладывал вот эти первые результаты Александру Михайловичу Сергееву, президенту Академии наук. Он всё это дело благословил и очень возбудился. И попросил меня встретиться с главным онкорадиологом академиком Каприным. Я с ним тоже встречался, подробно обсуждал все это Ну и вот, наверное, будет какая-то интересная коллаборация с этими специалистами, потому что они – истина в последней инстанции в нашей стране, с тем, чтобы на практике применить вот этот подход. Если мы продвинемся в этом плане практического использования, это будет хорошо.

ВЫСТУПИЛИ:

В.Н. Швецов – Евгений Александрович, на последнем графике у Вас, вот там, где эффективность … с γ-квантами. Вот дальше что после 8 часов происходит для γ-квантов? Там нет последней точки. Ещё дальше туда в космос уходит или как?

Е.А. Красавин – Да. Ну, то, что я показывал с протонами, там 24 часа фигурировало. И там подъем идет. За счет чего идет этот подъем? Когда я вам напоминал о характере тех повреждений, которые возникают в клетке при облучении, я перечислял 3 главных: 1-вое – это Двунитевые разрывы, которые приводят клетку к гибели за единицу в 10 раз больше, однонитевых разрывов. И 100 – это поврежденные основания. Они тоже репарируются клеткой и проходят в процессе так называемой биксцезионной репарации стадию однонитевого разрыва, где подхватывает вот вся эта машинерия эти однонитевые разрывы и туда. Т.е. это либо плато там дальше где-то будет какое-то… Да, надо будет дальше смотреть, как там дальше будет развиваться. Вот мы занимаемся вот этими делами довольно долго, я, по крайней мере, 20 лет, прежде чем открыли вот это удивительное качество удивительного вот этого препарата. Вот он единственный в своем роде

работает, как троянский конь, когда не только происходит остановка синтеза ДНК, что и используется при лечении злокачественных новообразований крови, но и трансформация одних повреждений в другие.. И интересная здесь открывается еще 1 деталь – работает вот этот эффект только в поле воздействующего излучения там, где формируется субстрат для того, чтобы … А это только возникает в поле воздействующего излучения. Т.е. работает удивительно принцип мишенности. С 1 стороны, вот те аспекты, связанные с конвариантным распределением дозы, ну. плюс вот это вот. Т.е. здесь какой-то интересный синергизм. Надо разбираться дальше.

Д.В. Наумов – У меня вот тоже вопрос есть. Правильно ли я понял, что вот этот троянский конь Арация, Вы его хотите доставлять именно в поврежденные, в опухолевые клетки, чтобы именно их разрушать?

Е.А. Красавин – Да.

Д.В. Наумов – А скажите, а есть способ, как гарантировать, что они будут именно в опухолевые клетки поступать, а не в здоровые, которые пропорционально тоже будут разрушаться?

Е.А. Красавин – Значит, этот препарат можно вводить внутривенно. И он будет распределяться по всему облучаемому организму, как и положено, ну, с определенными, так сказать, там где-то преимуществами. Например, распределение его оценено детально в клетках кроветворной системы, костный мозг и т.д., где он работает, как агент, препятствующий клеточному выделению, и оказывает терапевтический эффект, когда вводится в организм, где имеется другая локализация, какая-то опухоль, например, сОлидная опухоль где-то в теле или Центральной нервной системе, будет поступать туда и этот агент. Но он будет включаться в работу только после того, как там сформируются однонитевые разрывы ДНК или модифицированные основания, которые будут являться субстратом для того, чтобы приводить эти клетки к гибели. Я сказал, что средняя летальная доза – это доза, при которой погибают популяции клеток, уменьшается ее выживаемость в е раз. Здесь примерно 38-40 Двунитевых разрывов ДНК является условием, необходимым и достаточным для гибели клетки с вероятностью в единицу.

? – Вот то, что Вы сказали, как раз для γ-квантов не работает, т.е. аргумент Ваш, что нужно с γ-квантами облучать, не работает поскольку γ-кванты-то же всю ткань до опухоли прошивают, т.е. откладывают дозы.

Е.А. Красавин – Конечно. Дозовое распределение при воздействии γ-квантов из рук вон плохое. Оттого ведем речь о протонах. Ну и других корпускулярных излучениях. Но что делать? Дело в том, что можно всегда найти те локализации и те опухолевые образования, где будут использованы γ-кванты, что и делается. Ведь подавляющее большинство лучевой терапии осуществляется с использованием γ-пушек. Т.ч. здесь речь идет …, конечно, будет по ходу прохождения пучка фотонов через здоровые ткани плохое дозное распределение, но, тем не менее, и в целом повышение биологической эффективности будет сопровождаться и бОльшим терапевтическим эффектом.

И.Н. Мешков – Евгений Александрович, вопрос из области есть ли жизнь на Марсе, а точнее вот по происхождению жизни. Несколько лет назад были какие-то сногсшибательные новости. Прогресс какой-то есть в понимании происхождения?

Е.А. Красавин – Т.е., Игорь Николаевич, Вы уже из другой оперы, да, здесь задаете вопрос?

И.Н. Мешков – Да, да.

Е.А. Красавин – Ну, еще разочек сформулируйте этот сложный вопрос.

И.Н. Мешков – Вы, насколько я помню, 3 или 4 года назад делали с итальянским ученым большой доклад о метеоритах, которые приносят ДНК-молекулы и т.д. Они активируются в космосе под действием космического излучения. И это рассматривается, как 1 из источников происхождения жизни на Земле. За истекшие вот годы есть в этой точке зрения какие-то изменения, новости?

Е.А. Красавин – Есть, есть. Вот буквально меньше месяца назад приезжал наш замечательный друг и коллаборант проф. Саладина, с которым мы работаем, и привез материалы. И мы подготовили очередную новую статью, где идет речь об образовании при реализации так называемой фосфореляции фрагмента РНК, где присутствуют до 11 мер фрагменты, представляющие, главным образом, аденил. И вот эта статья будет опубликована. Значит, о чем идет речь? Действительно, когда происходит облучение примитивного химического агента формалид, который широко распространен в различных уголках Вселенной, в присутствии различного класса метеоритного вещества, главным образом, железистого типа метеоритов, и при облучении комическими видами радиации, а мы облучали протонами и некоторыми типами тяжелых ионов формируется широчайший спектр пробиотических соединений. Каких? Это все типы оснований, а их 4; различные типы аминокислот, в том числе и незаменимых аминокислот; сахара – дизоксирибоза и рибоза и жирные кислоты – практически все элементы для строительства каких-то живых систем. И продемонстрировано то, что формируется спонтанно цепочка, которая, собственно, представляет из себя РНК. Вопрос заключается в другом: кто расставил и осмыслил вот ту последовательность оснований в виде триплетов, которые, собственно, и представляют из себя генетический код? Я обычно говорю Саладина, что "Рафаэло, как замечательно, что у Вас никаких проблем с Ватиканом теперь нет! Потому что ясно – либо случай, либо же демиург". Он смеется и говорит, что да, теперь у меня нет. Вот такие результаты.

А.И. Малахов – У меня небольшой комментарий. Ну, результатов у Евгения Александровича и лаборатории, которую он возглавляет, очень много всяких. И если он сказал, что только, вобщем-то, самые последние немножко расскажет, а остальное мы не слышали, конечно. Ну, у меня в связи с этим вот, как у председателя конференции "Балдинская осень", есть такое предложение. Евгений Александрович, в общем-то, откликается на наши просьбы и в конце Балдинской конференции, как правило, мы его просим сделать обзорный доклад по результатам. Спасибо ему большое, это он, как правило, делает. Но этого, мне кажется, маловато. В прошлом году мы проводили конференцию, и там мы попросили несколько докладов, ну, там парочку сделали. Это вызывает большой интерес, но этого мало. Мне казалось, было бы полезно очень (там присутствует

много физиков, которые работают в области аналитической ядерной физики с тяжелыми ионами) как-то вот все-таки, может быть, побольше представить на этот семинар докладов с тем, чтобы мы могли бы, может быть, даже сделать какую-то секцию специальную.

Е.А. Красавин – Спасибо, Александр Иванович. Конечно, без проблем. Это очень нужное и правильное пожелание. Вот на те традиционные конференции, которые Вы организуете в память Александра Михайловича, надо сделать такую конференцию, где бы фигурировали вопросы радиационной биологии и, главным образом, те вопросы, которые связаны с применением высокоэнергетичных тяжелых заряженных частиц. Здесь и космос, здесь и практическая онкология. Это надо будет сделать.

В.А. Матвеев – Ростислав Владимирович, я думаю, что, ну, прежде всего, хочется поблагодарить всех, кто выступил сегодня по Вашей договоренности. И я думаю, что наверно, имеет смысл, в принципе, продолжать такого рода обсуждения важнейших результатов, потому что, наверное, обсуждение в коллективе. И в частности, вот на НТС, вопроса о том, что же является на самом деле самыми важными результатами, получаемыми в лабораториях – это, конечно, то место, которое лучшим образом для этого предназначено. Потому что, конечно, доклад, научный отчет, который делает директор перед УС или на КПП – это, конечно, может быть, только лишь малая выдержка из самого важного, то, что предоставляют лаборатории. И понятно, что в деталях и в должном объеме все это доложить в коротком докладе невозможно. Тем не менее, это очень важно нам всем вместе и коллективу, который участвует в этих исследованиях, понимать, где же происходит наиболее важное продвижение по науке. Поэтому, мне кажется, обязательно нужно обсуждать полученные за год результаты, в особенности важнейшие из них. И это понятие, а что же есть важнейшее, должно формироваться в т.ч. и в коллективе, правильно мне кажется? Вот тут Вы как-то сказали, что в последние дни получает директор материалы. Нет, они приходят, может, и за 2 недели иногда, но понимаете, жизнь такая насыщенная, что получается реально уже сосредоточиться директору над важнейшими результатами в последние 2 дня перед УС, если эти 2 дня есть у него, а, как правило, их нет. Поэтому очень важно, чтобы, прежде всего, формировалось правильно это вот понятие важнейших результатов, тем более, что кроме отчета директора есть годовой отчет института. Мы давно говорили о том, что, ну, во-первых, готовится каждый год брошюрка, которая кладется в материалы каждому члену УС, а потом, наверно, КПП. Но вообще, мы давно говорили, что нужно готовить такие годовые отчеты, которые бы могли быть и должны были направляться в Правительства стран-участниц и, возможно, Президентам стран-участниц. Потому что это очень важный шаг. Я думаю, что, скажем, нам отставать, например, от Курчатовского института, который ежегодно такой отчет направляет Президенту страны, в принципе, уступать нельзя. Нам нужно также готовить. Мы получаем огромную поддержку от Правительства России, верно? И хорошо бы, чтобы там было осознание того, что эти деньги затрачены не зря, что действительно, мы вносим большой вклад.

Ну, заранее прошу извинения у моих коллег, что многое из того, что лаборатории кажется очень важно, не все я могу представить в отчетном докладе – это всего лишь несколько десятков минут. Но еще раз хочу всех поблагодарить.

Теперь, Вы вот упомянули, что ЛЯП как-то вот не пошла навстречу сейчас. Но я хотел бы смягчить то, что сейчас мы как раз обсуждаем, и то, что произошло на последних заседаниях двух совместных заседаниях двух Программных комитетов, вот совсем недавно, в конце января. Была новая, практически, порождена такая система полного рассмотрения всего множества экспериментов в области нейтринной физики, астрофизики, физики темной материи, т.е. всех проектов, которые выполняются в рамках лаборатории им. Джелепова. И это была совершенно необычная, большая и очень сложная работа. И директор лаборатории Вадим Александрович и его коллеги и заместители проделали большую работу. Это была очень большая психологическая нагрузка. И я в полном смысле думаю, что просто они, пройдя такое вот чистилище, немножко решили попросить подождать с очередным отчетом о важнейших результатах. Вот и всё.

Спасибо всем за ваш вклад в подготовку важнейших результатов, присланных мне.

Р.В. Джолос – Виктор Анатольевич, вот когда мы обсуждали, немножко Вы обратили внимание на 1 вещь, которой у меня в голове не было, когда я готовился. Что есть некий дискрипанс между тем моментом, когда, скажем, формируется бюджет на следующий год, это осень, начало, когда итоги года научные еще не подведены. Вот я так думаю, что вот такое вот обсуждение, может быть, оно и будет как-то влиять, скажем, на внесение коррекции.

В.А. Матвеев – Абсолютно верно, так и должно быть, в порядке вещей.

Р.В. Джолос – Всем большое спасибо. Ну, совершенно невозможно предсказывать продолжительность заседаний.

Председатель Р.В. Джолос

Ученый секретарь Е.А. Колганова