

Institute for Nuclear Research
of the Russian Academy of Sciences

Учреждение Российской академии наук
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



В. Л. Дадыкин

**К истории сооружения
Баксанского подземного
сцинтиляционного телескопа**

ПРЕПРИНТ ИЯИ РАН
1297/2011
АВГУСТ 2011

препринт
preprint

МОСКВА 2011 MOSCOW

INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

Учреждение Российской академии наук
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



В. Л. Дадыкин

К истории сооружения
Баксанского подземного
сцинтилляционного телескопа

ПРЕПРИНТ ИЯИ РАН

1297/2011

АВГУСТ 2011

МОСКВА

2011

Institute for Nuclear Research
of the Russian Academy of Sciences
60-th October Anniversary prospect 7a,
Moscow 117312, Russia

Учреждение Российской академии наук
Институт ядерных исследований РАН
проспект 60-летия Октября, 7а
Москва, 117312

УДК 535.373.1+539.1.074.3

В. Л. Дадыкин

К истории сооружения Баксанского
подземного сцинтилляционного телескопа

В статье написано о том, как был разработан жидкий сцинтиллятор на уайт-спирите, предназначенный для мегапроектов, и как на его основе был построен счетчик-модуль, основной элемент Баксанского подземного сцинтилляционного телескопа.

Записки рассказывают о первых десяти годах работы над проектом БПСТ, когда были сформулированы и реализованы основные методики, с использованием которых позднее был построен телескоп. Работы этого этапа имели большое значение для развития подземной физики и сделали ИЯИ лидером в экспериментах по изучению нейтрино от звёздных коллапсов.



Предисловие

Я согласился написать о начале работ, связанных с сооружением Баксанского подземного сцинтилляционного телескопа (БПСТ). Вообще-то дела той поры довольно точно задокументированы публикациями той поры. Видно, когда, что и как делали, и кто делал. На что я обращаю внимание.

Мои записки, по существу, относятся к периоду около 10 лет, начиная с 1963 г., и касаются только тех работ, которыми я в то время непосредственно занимался. Я не вел дневника и не хочу ничего ни у кого уточнять. И очень надеюсь, что ныне здравствующие участники тех работ снисходительно отнесутся к обнаруженным в моем рассказе неточностям. И еще. Мне кажется правильным начать свой рассказ с несколько более раннего периода времени. А именно, с момента, когда я пришел на преддипломную практику, защитил диплом

В. Л. Дадыкин

К истории сооружения Баксанского подземного
сцинтилляционного телескопа

Препринт ИЯИ – 1297/2011

АВГУСТ 2011

Подписано в печать 20.07.2011

Ф-т 60x84/8. Уч.-изд.л. 1,5. Зак. № 22177

Тираж 100 экз. Бесплатно

Печать цифровая
Издательский отдел

Учреждение Российской академии наук
Институт ядерных исследований РАН

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а

ISBN 978-5-94274-171-6

© Учреждение Российской академии наук
Институт ядерных исследований РАН, 2011
Institute for Nuclear Research
of the Russian Academy of Sciences, 2011

и работал в ФИАНе. Эти несколько лет, 1957–1963 гг., были важными. Они привили мне вкус к физике, сформировали мои профессиональные качества и преопределили результат моей работы, связанной с сооружением БПСТ.

Руководителем проекта БПСТ был Александр Евгеньевич Чудаков. Я увидел его впервые, когда он читал у нас на физфаке МГУ какой-то спецкурс. Познакомились мы в 1957 г., когда во время преддипломной практики я несколько месяцев временно работал у А.Е. лаборантом на Памирской научной станции ФИАН в эксперименте по изучению черенковского света от широких атмосферных ливней (ШАЛ). Это было первое моё знакомство с экспериментом в физике космических лучей (к.л.). Предназначенная для регистрации и определения параметров ШАЛ ливневая установка состояла из полутора десятков годоскопических пунктов-домиков со счетчиками Гейгера, разбросанных на площади около гектара. Установка была укомплектована оптическими детекторами, позволявшими измерить интенсивность черенковского излучения заряженных частиц ливня в воздухе. Детекторы, всего около десятка, были двух типов: в одних фотоэлектронные умножители (ФЭУ) «смотрели» в небо, в других ФЭУ находились в фокусе небольших, диаметром 0,5 м., параболоидов и «смотрели» в зеркало. Я занимался оптическими детекторами, монтировал их, измерял угловые диаграммы чувствительности, подбирал режимы питания динодов ФЭУ. Удивительно было почувствовать, как легкий поворот ручки потенциометра, задающего потенциал фокусирующего электрода ФЭУ, изменяет амплитуду и длительность импульса тока на выходе ФЭУ. Удивительно было убедиться, что рекомендованный заводом в паспорте на ФЭУ режим питания динодов, совершенно не пригоден для нашей работы. Удивительно было на опыте узнать, что удастся подобрать некоторый стандартный режим питания электродов, в котором основная масса ФЭУ имеет приемлемые для нас параметры. Оказалось, что при юстировке ФЭУ в параболоиде, изображение в плоскости фотокатода (ФК) следовало специально расфокусировать, с целью уменьшить влияние мелкомасштабной неоднородности чувствительности ФК на выходной сигнал ФЭУ. И подобных мелочей, которые входят в понятие методов и техники эксперимента, и с которыми я столкнулся в первой же своей работе, было множество. Расхожая фраза о том, что между изучаемым явлением и экспериментатором находится прибор, наполнилась для меня конкретным смыслом. С той поры я приобрёл устойчивый интерес к занятиям методикой.

Я защитил диплом под названием «Флуктуации черенковского света

в ШАЛ» у А.Е. и поступил к нему на работу в лабораторию космических лучей ФИАН. Небольшая по численности группа Чудакова, в которую я попал, состояла из крепких профессионалов, и её отличала довольно ровная, доброжелательная атмосфера.

В течение нескольких месяцев я изучал спектрометрические и временные характеристики большого, объемом 100 м^3 , черенковского детектора. Сначала без воды, используя для имитации черенковского света искровой разряд в воздухе. Затем, с водой, специально очищенной методом глубокого обессоливания, регистрируя черенковский свет от вертикальных мюонов к.л. Об этом я написал свою первую самостоятельную статью в ПТЭ.

Затем, в течение 4 лет, в составе группы Чудакова, я занимался поиском дискретных источников γ -квантов с энергией 10 ТэВ на небесной сфере. Идея эксперимента заключалась в том, что γ -кванты высокой энергии, образующиеся в недрах галактических или внегалактических источников к.л., свободны от влияния межзвёздных магнитных полей и приходят на Землю с направлений на эти источники. В земной атмосфере они генерируют электромагнитные каскады – ШАЛ. Черенковское излучение в земной атмосфере с точностью до $\sim 1^\circ$ повторяет направление движения излучающей частицы и может быть зарегистрировано узконаправленной оптической системой, что позволяет определить, из какой точки небесной сферы пришел ливень. Система оптических детекторов состояла из нескольких полуметровых параболоидов, в фокусе которых находились ФЭУ. На первом этапе работы это были четыре параболоида, позднее – двенадцать. Они были соосны, имели синхронный привод и могли быть соориентированы в любую, заданную точку небесной сферы. Точка ориентации выбиралась так, чтобы через нее с задержкой в полчаса прошел бы исследуемый объект, например, Крабовидная туманность. Детекторы были включены в схему совпадений и, в течение получаса до прохождения Краба и получаса после, регистрировали ливни, что в отсутствие исследуемого объекта давало уровень фона. И только в те несколько минут, когда объект пересекал угловую диаграмму чувствительности детектора, можно было надеяться увидеть некое увеличение темпа счета ливней, связанное с гипотетическим источником γ -квантов.

Успех регистрации ШАЛ по черенковскому излучению зависит от соблюдения некоторых специфических для этой работы условий и требований. Естественно, наблюдения возможны лишь в ночное время. Оптические детек-

торы должны быть расположены вдали от промышленных и бытовых источников света. Мешает свет луны. Мешает свет ярких звёзд, пересекающих диаграмму чувствительности детектора. Мешает высокая влажность: туман, роса на оптике. Мешает облачность в зоне наблюдения. Все эти факторы следует постоянно учитывать в подобных экспериментах.

Работа проводилась на территории Крымской радиоастрономической научной станции ФИАН, на самом берегу Чёрного моря, в посёлке Кацевели, вблизи г. Симеиз. Сезон наблюдений, связанный с особенностями крымской погоды, занимал около 9 месяцев в году, с марта по ноябрь. Несмотря на «курортные условия» экспедиции, ночные дежурства, часто в сочетании с дневной профилактической работой, создавали довольно напряжённый ритм жизни для участников эксперимента. Силами одной лишь малочисленной группы Чудакова обеспечить штатный ход четырёхлетнего эксперимента мы не могли. Поэтому приглашали «варягов» на роль технического персонала без права на авторство. Желающих было много. В основном это были опытные сотрудники лаборатории космических лучей ФИАН, настоящие профессионалы своего дела. Особенно я отметил бы Женю Тукиша, Борю Субботина, Володю Яковлева и Витю Макунина. Вместе с А. Е. Чудаковым и сотрудниками его группы Петром Васильевичем Вакуловым, Витей Зацепиным, Юрой Коноваловым, Валей Марковым, Ниной Михайловной Нестеровой они составили круг людей, которые так или иначе формировали мои профессиональные качества. Бесспорным лидером наших работ был А. Е. Для меня он в те годы и долго позднее оставался образцом для подражания, некоторым идеалом физика-экспериментатора.

Эксперимент в Крыму оказался для меня хорошей школой физики. Мне пришлось заниматься всеми видами работ, начиная с расчета траекторий исследуемых небесных объектов в функции азимутальных, зенитных углов и местного времени и кончая выравниванием с помощью лома и лопаты многотонных оснований оптических детекторов, проседающих после каждого дождя. Привязка азимутальных углов на местности с помощью теодолита, отбор ФЭУ для оптических детекторов, монтаж и юстировка ФЭУ в фокусе параболоидов, монтаж кабельных сетей, работа со штатной электроникой нашего эксперимента, сеансы наблюдений исследуемых небесных объектов, изучение влияния ярких звёзд, попадающих в поле зрения детекторов, на темп счёта ливней, - вот неполный список того, чем мне пришлось тогда заниматься.

Ответственность за ход наблюдений распределялась между научными сотрудниками группы Чудакова: Витей Зацепиным, Ниной Михайловной Нестеровой и мной. Причём я, как самый молодой и легкомысленный, провел в Крыму в общей сложности около половины всего времени экспедиции. Здесь мне пришлось принимать решения, касающиеся работы нашего, пусть и небольшого, коллектива. Кроме дежурств, я, наравне с другими авторами работы, участвовал в обработке и анализе полученной в этом эксперименте информации.

Нам не удалось обнаружить дискретные источники γ -квантов. Были получены рекордные для того времени верхние пределы на потоки этих частиц для обследованных объектов. Когда в 1963 году было принято решение прекратить эксперимент, А. Е. предложил мне быстро написать диссертацию по результатам. От этого предложения я, по совершенно непонятной для меня сейчас причине, отказался. Возможно, в тот момент мне не хотелось сдавать кандидатский минимум.

Предыстория

В середине 1963 года в структуре ФИАН была образована лаборатория нейтрино под руководством Г. Т. Зацепина. На первом этапе её задачами были два эксперимента: изучение солнечных нейтрино хлор-аргоновым методом и измерение мюонных нейтрино, приходящих с обратной стороны Земли и ответственных за мюоны, регистрируемые из нижней полусферы. Первый эксперимент возглавил А. А. Поманский, второй — А. Е. Чудаков. Этот, второй, эксперимент предполагал использование большого подземного сцинтилляционного детектора - телескопа, способного различать мюоны по направлению прихода «верх-низ», на основе времяпролётной методики. Построить детектор предполагалось на Баксане. Целью эксперимента были фундаментальные вопросы физики слабых взаимодействий: изучение взаимодействия нейтрино с веществом при энергиях, превышающих 10 ГэВ , и поиски W -бозона.

Проблемы, связанные с реализацией проекта «Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп» я разделил бы на две. Одна, очень ответственная, относилась к общим вопросам финансирования, выбора и подготовки подземного помещения – легла на плечи высокого начальства, академического, институтского и лабораторного. Другая касалась разработки и изготовления оборудования, из которого можно было бы построить телескоп. Именно этим и должны были заняться сотрудники группы Чудакова. Работа предстояла

большая, была обеспечена финансированием, штатами, и группа Чудакова стремительно превращалась в фактически полноценную лабораторию, хотя формально стала ею лишь к 1970 г.

Наши усилия были сконцентрированы на разработке, изготовлении и испытаниях некоего счетчика-модуля, на основе которого, в случае успеха, можно было бы, как из стандартных кирпичиков, построить большой подземный телескоп. Довольно быстро было решено, что счетчик-модуль будет жидкостным сцинтилляционным, объёмом около 150 л. В принципе такой счетчик состоит из контейнера, в который налит жидкий сцинтиллятор (ЖС). Внутренняя поверхность контейнера имеет специальное отражающее покрытие. Сцинтилляции регистрируются ФЭУ. Каждый счетчик укомплектован каналом электроники (усилитель, дискриминатор и т.п.) для связи с центральным пультом записи и анализа информации.

Обязанности в работе над счетчиком-модулем А.Е. распределил таким образом: конструкцией контейнера занимался инженер-конструктор Юра Коновалов, электроникой – инженеры-электронщики Валя Марков и пришедший в нашу группу в 1964 г., уже достаточно опытный, Володя Степанов. Мне А.Е. поручил заняться поисками подходящего для наших целей жидкого сцинтиллятора и определить, каким будет внутреннее отражающее покрытие счетчика. Кроме того, мне традиционно достались работы, связанные с ФЭУ. Здесь главным было найти некоторый единый для нескольких тысяч ФЭУ режим питания электродов, обеспечивающий оптимальное сочетание временных и спектральных характеристик ФЭУ. Некоторые наработки в этом отношении у нас к тому времени уже были: мне приходилось заниматься такой работой и на Памире, и в Крыму. Правда, там использовались лишь по десятку ФЭУ, здесь же речь шла о совсем других количествах. Но было, в общем, понятно, что следовало делать. А вот насколько успешным будет поиск ЖС и отражающего покрытия заранее предвидеть было нельзя. После того, как будет изготовлен опытный образец счётчика-модуля, нам предстояло провести его всесторонние испытания, прежде всего получить временные и спектральные характеристики.

Примерно так выглядел план научных работ группы Чудакова на ближайшие несколько лет. Сколько это будет лет конкретно, определялось не только нашим усердием и удачей. Это зависело от того, как мы сумеем решить проблему, о которой я пока не говорил, но сейчас скажу. Конечно, и до нас, за рубе-

жом, были примеры использования больших количеств ЖС в подземных помещениях, ну, может быть, не в таких масштабах. И люди находили или изобретали подходящие для этого ЖС. Однако, сам факт, что какой-то эксперимент успешно выполнен в дальних странах, не сильно облегчает вам попытку повторить его. Существует технология эксперимента, которая у каждого своя, и различается не только у нас и в Соединённом Королевстве, но даже в соседнем институте не такая, как у нас. Объяснить и передать технические тонкости методики не удастся ни на бумаге, ни в докладах. Всем этим премудростям приходится учиться самим, так сказать, в процессе. Что нам и предстояло сделать. Если выразиться суконным языком, следовало ковать кадры, которые, как известно, решают всё. И эта сторона дела была не менее важной, чем принципиальные научные и технические решения тех или иных задач, связанных с сооружением большого подземного детектора.

Жидкий сцинтиллятор (ЖС)

Сущность сцинтиллятора состоит в том, что он конвертирует часть энергии, потерянной в нем частицей, в свет. Последний, в свою очередь, может быть преобразован в электрический сигнал с помощью ФЭУ. Жидкий сцинтиллятор состоит из растворителя, жидкости, в которой частица, собственно, и теряет свою энергию, и сцинтиллирующей добавки, специального вещества, растворенного в концентрации около 1 г/л, необходимого, чтобы конвертировать энергетические потери в свет. Максимум излучения сцинтиллирующей добавки, в нашем случае 2,5-дефинилоксазола (РРО), лежит в области 360 нм, что существенно левее максимума чувствительности спектральной характеристики фотокатода большинства типов ФЭУ, 400-420 нм. Для того, чтобы улучшить дело, в ЖС добавляют вещество, эффективно поглощающее свет в области 360 нм., и переизлучающее его в области 420 нм. Это так называемый шифтер, у нас 1,4-ди-(2-(5-фенилоксазолил)) - бензол (РОРОР), в концентрации 0,03 г/л.

Компоненты, составляющие ЖС должны быть достаточно чистыми. Особенно это касается растворителя: посторонние примеси вредят сцинтилляционному процессу, гася его на самой ранней стадии. При этом требуется достаточно высокая степень очистки, существенно превосходящая уровень ч.д.а. (чистый для анализа). Но даже после выполнения требуемого уровня очистки необходимо позаботиться об удалении из жидкости растворенного в ней атмосферного кислорода, который тоже сильно гасит сцинтилляции. Для этого

ЖС продувают (барботируют) инертным газом, обычно аргоном, что может существенно, на десятки процентов, увеличить сцинтилляционную эффективность; для некоторых растворителей это увеличение достигает ста и более процентов.

Как мы видим, ЖС на 99,9% состоит из растворителя, растворителем и будут определяться основные характеристики ЖС. Вот те из них, которые необходимо знать, решая вопрос, подойдет ли сцинтиллятор для ваших целей:

- 1) доля потерянной в сцинтилляторе энергии, которая конвертируется в свет, сцинтилляционная эффективность.
- 2) время высвечивания.
- 3) прозрачность для собственного излучения.
- 4) удобства в работе с ЖС, которые определяются степенью пожароопасности и токсичности, химической агрессивности в отношении материалов, с которыми есть контакт, тем, как быстро ЖС стареет.
- 5) стоимость.

Прежде чем рассказать о том, как мы выбирали, искали и изобретали пригодный для нас ЖС, следует кое-что пояснить для неискушенного в таком деле читателя. К началу нашей работы жидких сцинтилляторов уже было известно великое множество, с целым спектром характеристик, на все вкусы. Однако в больших количествах, да ещё под землёй, они широко не использовались, и в этом нам предстояло стать пионерами. Работа в подземном помещении с большим количеством любой горючей жидкости, ясное дело, опасна. Здесь существуют жёсткие противопожарные нормы. Поэтому сразу были отменены сцинтилляторы на легко воспламеняющихся жидкостях, как бы ни были они привлекательны в других отношениях. То же самое было проделано и с чересчур токсичными жидкостями. Нам требовалось около 350 тонн ЖС, вопрос цены был важен, и от слишком дорогостоящих пришлось сразу отказаться. Таким образом удалось сильно уменьшить число рассматриваемых вариантов. Рассмотрев оставшиеся варианты, мы увидели, что ничего подходящего для нас, в существовавшем тогда в СССР ассортименте ЖС, нет. И вот здесь А. Е. принял не такое уж банальное решение: мы будем делать ЖС сами. Мне кажется, это решение было в характере А. Е. Следует иметь в виду, что в те годы разработкой новых сцинтилляторов занимался специальный институт в Харькове: «ВНИИ монокристаллов, сцинтилляционных материалов и особо чистых химических веществ».

В процессе нашей работы над ЖС мне неоднократно приходилось бывать в этом харьковском институте. Лабораторией ЖС в нём руководил Борис Маркович Красовицкий, его правой рукой был Владимир Фёдорович Подужайло. ВНИИ монокристаллов предложил нам свою новую разработку – ЖС20, сцинтиллятор на основе дитолиметана. Мы провели испытание этого ЖС, в своём месте я скажу об этом подробнее, но ЖС20 нам не подошёл. Тем не менее, наши рабочие контакты были взаимно полезными. Мы получили от харьковских коллег и с их помощью целый ряд так нужных нам химических материалов: сцинтиллирующих добавок, шифтеров, абсорбентов. Со своей стороны мы познакомили харьковчан с нашими методиками измерения прозрачности жидкостей, коэффициентов отражения, испытания характеристик сцинтилляционных счётчиков. Кое-что из этого для них оказалось новым и, надеюсь, полезным. У меня сохранились самые хорошие воспоминания о нашем сотрудничестве с лабораторией ЖС ВНИИ монокристаллов и о работавших там людях.

Наши работы над ЖС. Самое начало

Первое, что помнится мне в этой связи сегодня, через время, это идея, которую А. Е. привез с какой-то конференции. Зарубежные коллеги рассказали ему о ЖС, в котором растворителем служила смесь 85% вазелинового масла и 15% ароматических углеводородов. Сцинтиллятор казался хорош во всех отношениях: удовлетворительные световой выход и время высвечивания, хорошая прозрачность, низкая пожароопасность и токсичность. Была одна заковка – делался он за рубежом, и главное было в хорошо очищенном вазелиновом масле, которое некая фирма делала для местных аптек. Сколько стоил этот ЖС я не помню, но вопрос о его покупке даже не обсуждался. Мы только могли попробовать повторить этот ЖС у себя, в СССР, используя отечественные ингредиенты. Денег в то замечательное время у нас, как и сейчас, было мало, но зато стоило тогда всё очень дёшево. К слову, пузырёк со 100 мл вазелинового масла в московской аптеке стоил 5 коп., думаю, что половина цены приходилась на тару. Мы измерили прозрачность вазелинового масла из наших аптек и убедились, что она сильно уступает прозрачности зарубежного аналога. Дополнительная очистка аптечного продукта сильно увеличила бы его стоимость. Поэтому от идеи ЖС на вазелиновом масле нам пришлось отказаться.

Продолжение работ над ЖС. Начало

Как я надеюсь, читатель уже понял: работа наша сводилась к поиску подходящей жидкости, на основе которой можно было бы сделать пригодный для наших целей ЖС. Мы решили начать с проверки жидкостей, которые производились отечественной нефтеперерабатывающей промышленностью в особо больших количествах и широко применялись в народном хозяйстве. Это, прежде всего, реактивные виды топлива, на которых летают самолёты и, возможно, летает кое-что ещё. Необходимо было найти место, где работы над этими реактивными видами топлива сконцентрированы. Здесь я хотел бы отвлечься от существа вопроса и сказать несколько слов по поводу.

Это был, наверное, 1965 г. Я нашёл телефоны учреждения с серьёзным названием, что-то типа «Главное управление стратегических ресурсов СССР», располагалось оно на Каланчёвке, позвонил туда, сказал, что я сотрудник Физического института АН и что наш институт интересуется некоторыми специфическими свойствами реактивных топлив и просит оказать содействие в получении образцов этих топлив для анализа. Меня внимательно выслушали и предложили приехать. Я оформил предписание и справочку, и в назначенное время меня принял чиновник, фамилию которого, я, к сожалению, сейчас уже не помню. После краткой беседы мне дали телефоны и фамилию руководителя лаборатории топлив в п/я в Подлипках. Я несколько раз был в этой лаборатории, там отнеслись к нашим проблемам очень доброжелательно, каждый раз я уезжал оттуда нагруженный литровыми пузырьками с образцами различных топлив. И это уважительное отношение к советской науке со стороны чиновников и работников различных ведомств, я чувствовал всюду, где мне приходилось бывать в те годы. Думаю, что повторить сделанное тогда сегодня вряд ли удалось бы.

Но вернёмся к нашей теме. Конечно, чтобы употребить топливо для построения сцинтиллятора, его необходимо сперва как следует очистить. Для этого мы выбрали самый простой и дешёвый, как нам представлялось, метод фильтрации жидкости через слой окиси алюминия. В стеклодувной мастерской ПТО ФИАН была изготовлена соответствующая стеклянная труба длиной 70 см и диаметром 5 см. В неё на четверть засыпалась окись алюминия Al_2O_3 марки «для хроматографии», сверху заливалась очищаемая жидкость и снизу, из краника, она капала уже очищенная. Мы измеряли прозрачность очищенной таким способом жидкости, а после растворения в ней сцинтиллирующей

добавки и шифтера, измеряли сцинтилляционную эффективность. По этим измерениям нами, Воеводским А. В., Дадыкиным В. Л., Ряжской О. Г., были опубликованы две статьи под одинаковым названием: «Жидкие сцинтилляторы для больших сцинтилляционных счётчиков», которые совпадая в основном, всё же несколько отличаются подачей материала. Первая была опубликована в Материалах V Всесоюзной конференции по синтезу, производству и использованию сцинтилляторов, ч.1, 143, Харьков, 1969, а работа, соответственно, была доложена нами в 1968 г. на этой конференции самым-самым специалистом в этой области. Эта публикация — библиографическая редкость. Вторая статья была опубликована в журнале ПТЭ, №1, 85, 1970 и отличается полнотой изложения существа вопроса.

Авторы этих публикаций, Оля Ряжская и Саша Воеводский, пришли в лабораторию Г. Т. Зацепина стажёрами после физфака. Первая — в 1964 г., второй — в 1965 г. К началу наших работ над сцинтиллятором, к весне 1965 г., они оказались в одной команде. Оля — добровольцем, она к этому времени уже возглавила небольшую, но очень самостоятельную группу и имела свой интерес в разработке ЖС. Саша — по мобилизации, как сотрудник группы Чудакова.

Работы по очистке жидкости, растворению сцинтиллирующих добавок, измерению сцинтилляционной эффективности небарботированных и барботированных образцов ЖС, проходили в маленькой комнатке Оли Ряжской, в здании под названием «Школа». В комнате был вытяжной шкаф, на полках стояли во множестве разные нужные склянки, стоял стенд с ФЭУ для измерения эффективности ЖС, приспособления для барботирования, баллон с аргоном, и много другого, предназначенного для нашего дела. Измерения прозрачности образцов жидкости и измерения времени высвечивания ЖС мы делали в другом месте, в правом крыле главного здания ФИАН, в комнатах 308–310, где базировалась группа Чудакова. В одной из этих комнат стоял спектрометр СФ-10. На нём мы измеряли прозрачность образцов жидкостей-кандидатов в растворители ЖС, а также коэффициенты отражения различных вариантов отражающих покрытий.

Наша работа, если сказать в общем, состояла в том, что каждый испытуемый образец жидкости проходил через одну и ту же процедуру очистки и измерений. Тщательное соблюдение этой процедуры гарантировало достоверность результатов. Чтобы избежать ошибок, вызванных случайным нарушением процедуры, мы повторяли измерения одних и тех же образцов. Несмотря на неко-

торую монотонность работы, в ней был и элемент азарта: любопытно, что покажет новый образец жидкости?

Довольно быстро мы поняли, что наиболее перспективными для нас являются вещества типа керосинов. Они легко чистились, имели высокую сцинтилляционную эффективность, были малотоксичными, легкодоступными и дешёвыми. Основной их недостаток – пожароопасность. Для нас это было существенно. Поэтому мы долго пытались найти жидкости с более высокой температурой вспышки. Такие были, но они сильно проигрывали керосинам в других отношениях. И мы решили, что при определённом уровне культуры работы, керосины могут быть приемлемыми. Потом мы догадались, что нужно искать керосины, произведённые из нефтяных месторождений с низким содержанием соединений серы. Таким образом, испытывая различные типы керосинов, мы нашли уайт-спирит, который можно назвать лёгким керосином, в нём отсутствуют высококипящие, высокомолекулярные фракции. И он оказался сделанным из грозненской нефти, нефти с самым низким содержанием серы в СССР. Этот образец жидкости показал лучшие во всех отношениях результаты. Мы поняли, что дело сделано и сосредоточились на уайт-спирите.

ЖС на уайт-спирите

Уайт-спирит (УС), прозаическое название его «бензин-растворитель для лакокрасочной промышленности», является смесью индивидуальных углеводородов, полученных в процессе перегонки нефти. Он состоит из фракций, которые кипят в диапазоне температур (140-200)°С. Содержание ароматических углеводородов в нём не превышает 16%, плотность лежит в диапазоне (0,72–0,82) г·см⁻³. Главный параметр, определяющий пожароопасность — температура вспышки $t_{всп} = +37^{\circ}\text{C}$. Для сравнения скажу, что для классического ЖС на толуоле эта величина +4°С. Практически это значит, что при комнатной температуре можно погасить горящую спичку в блюдце с уайт-спиритом, а вот пытаться повторить этот фокус с толуолом не стоит.

Если не вникать в тонкости, в бытовом отношении уайт-спирит проявляет себя как обычный керосин. Предельно допустимая концентрация (пдк) паров в воздухе, превышение которой в помещении может вызвать расстройство здоровья, составляет около 300 мг·м⁻³. В своё время Георгий Тимофеевич говорил, что можно совершенно безопасно «махнуть» полстакана керосина, хорошо помогает от глистов. Подтвердить не могу, не пробовал, но верю. Помню, сразу

после войны, на 3-й Мещанской улице, где я жил, была керосиновая лавка, куда меня посылали за керосином для керосинок, которые в то время были в ходу. В лавке, где постоянно стоял специфический запах, работал толстый, пышущий здоровьем дядька, весь вид его свидетельствовал если не о пользе, то уж точно об отсутствии какого-либо особого вреда от длительного контакта с керосином.

Я хочу подчеркнуть, что главное достоинство придуманного нами ЖС состоит не в том, что у него хорошие спектрометрические и временные характеристики, не в том, что он не слишком пожароопасен и даже не в том, что он очень дешёв. Я убеждён, что главными в этом изобретении являются два обстоятельства: первое, ЖС на уайт-спирите можно делать по одной из самых простых технологий, второе, работа с уайт-спиритом достаточно безопасна для персонала в медицинском отношении.

А ведь был момент, когда всерьёз предлагалось использовать в баксанском телескопе сцинтиллятор на дитолилметане, так называемый ЖС-20, разработанный харьковским ВНИИ монокристаллов, главным разработчиком сцинтилляторов в СССР. Я съездил на химический завод в посёлок Редкино, около 170 км от Москвы по калининскому направлению, где делали дитолилметан для нужд промышленности. Уже на железнодорожной платформе запах дитолилметана был тот ещё. Я привёз оттуда образцы жидкости и они прошли всю принятую у нас стандартную процедуру очистки и измерений. Спектрометрические и временные характеристики получились вполне удовлетворительными, дитолилметан имел высокую температуру вспышки $t_{всп} = 100^{\circ}\text{C}$, что было очень хорошо, но не чистился нашим методом, прозрачность получалась лишь 3 м, что было очень плохо. Но самое плохое заключалось в его большой опасности для здоровья персонала. На заключительном этапе изготовления ЖС в количестве 1000 л/день, заполнения и барботирования десятков счётчиков в день, персонал, несмотря на все разумные предосторожности, довольно нанюхивается и, можно сказать, купается в сцинтилляционной жидкости. Нетрудно себе представить, чем обернулось бы для наших сотрудников использование ЖС20, для которого пдк составляла всего 1 мг·м⁻³, т.е. он был в 300 раз опаснее уайт-спирита. Высокая токсичность была основной причиной нашего отказа использовать ЖС20 в подземном телескопе.

Цена одного литра ЖС на уайт-спирите составила 37 коп. Цифра не строгая, она включает только стоимость расходных материалов: это УС, Al₂O₃, РРО, РОРОР. Не учтена стоимость оборудования и зарплата персонала.

Я хочу обратить внимание читателя на то, что придуманный нами ЖС на уайт-спирите был побочным продуктом работы над баксанским телескопом. Нам нужен был сцинтиллятор с подходящими параметрами, мы его получили, работа эта носила выраженный феноменологический характер. И это несмотря на то, что уже первые полученные нами результаты влияния барботирования на сцинтилляционную эффективность ЖС указывали на весьма необычные свойства нового сцинтиллятора. В дальнейшем работы со 150-литровым счётчиком подтвердили это: мы обнаружили неизвестное ранее явление почти двукратного увеличения времени высвечивания ЖС после барботирования. Возможно, это связано с неким механизмом пересвечивания, который «включается» после удаления из жидкости растворённого в ней кислорода. А.Е. считал обнаруженное нами явление очень интересным. Он высказался в том духе, что если разобраться в механизме этого процесса, из этого могла бы получиться хорошая докторская диссертация. Конечно, тогда пришлось бы заняться изучением энергетических уровней и времён жизни возбуждённых молекул уайт-спирита, изучением миграции энергии возбуждения в ЖС и другими специальными исследованиями в области физики сцинтилляторов. Мы не были к этому готовы. Ясно, что это отвлекло бы наиболее квалифицированные силы от главного – работы на телескоп. Поэтому дальше разговоров дело не пошло.

Обнаруженное нами влияние барботирования на время высвечивания ЖС на уайт-спирите для счётчиков малых и больших объёмов обсуждалось в статьях Воеводского, Дадыкина, Ряжской в ПТЭ, №1, 85, 1970 г. и Бакатанова, Дадыкина в Трудах V Всесоюзной конференции по сцинтилляторам и сцинтилляционным материалам, вып. 5, ч. 2, 43, Харьков 1970 г. На самом деле обе статьи были направлены в редакции в 1968 г., а работы сделаны ещё в 1966–1967 гг. Автор одной из этих работ, Володя Бакатанов, пришел к нам в 1965 году стажером после физфака. Несколько позднее, Ряжская и её сотрудники, работая в соляных шахтах над сооружением 100-тонного монодетектора, измерили влияние барботирования на сцинтилляционную эффективность (СЭ) нашего ЖС в счётчиках с объёмом 300 л, 500 л и 105 м³. Они обнаружили, что продутый аргоном уайт-спирит светится сам по себе, без каких-либо сцинтилляционных добавок с эффективностью около 15%. В счётчике объёмом 105 м³ СЭ при барботировании увеличивалась в 2,2 раза. Изучать в подробностях физику этого интересного явления в команде Ряжской тоже никто не стал. Там, так же, как и мы, торопились построить свой большой подземный детектор, он полу-

чил название Артёмовский сцинтилляционный детектор (АСД), и был закончен в 1977 г. Результаты упомянутых выше измерений даже не были в своё время опубликованы и были приведены лишь в 1986 г. в докторской диссертации Ряжской.

Вообще, надо отметить, в то время мы не очень-то отвлекались от основного дела даже на публикации. Так, основные работы над сцинтиллятором были закончены к середине 1966 г. Осенью 1966 г. на Всесоюзной конференции по физике космических лучей в г. Алма-Ата я сделал доклад о результатах этой работы в формате опубликованной значительно позднее нашей статьи о сцинтилляторах в ПТЭ, 1970 г. А.Е. доклад понравился, об этом он сказал, когда после окончания доклада мы вышли с ним покурить. Почему доклад не был опубликован в Трудах конференции 1966 г., я сейчас уже не помню. Возможно, мы не передали вовремя в редакцию текст.

Чтобы закончить рассказ о работах над ЖС, скажу, что мы пытались получить авторское свидетельство на изобретённый нами замечательный ЖС на уайт-спирите. По всем правилам мы написали, что придумали новый ЖС, который от прочих отличается тем, что в качестве компонента-растворителя в нём предложено использовать уайт-спирит. И отправили свою заявку в Комитет по делам изобретений и открытий. Эксперт по делам изобретений резонно ответил нам, что о свойстве быть растворителем в отношении уайт-спирита давно и всем известно, не зря же его техническое название «бензин-растворитель для лакокрасочной промышленности». Наши усилия убедить эксперта в том, что функциональные свойства растворителя для ЖС и в лакокрасочной промышленности совсем разные, ни к чему не привели. И мы сдались. В утешение в ФИАНе нам выдали за наше изобретение премию, по 30 руб. каждому. В то время неплохие деньги, на 30 руб. можно было купить 5 л водки «Московская» с белой головкой. Так что, чем отметить успех, у нас было. Шутка.

Счётчик-модуль

Сделать сцинтилляционный счётчик с заданными спектрометрическими и временными характеристиками не хитро. Если необходим один или небольшое количество счётчиков, существует десяток равноценных вариантов конструкторских решений. Другое дело, если требуются тысячи счётчиков и работать они должны много лет. Тогда выбор, как делать, невелик и предопределяет успех или провал. Именно эту задачу нам пришлось решать. И я думаю, что главное

в нашем решении заключалось в том, что мы выбрали в качестве внутреннего отражающего покрытия для счётчиков горячую белую эмаль.

Жидкостной сцинтилляционный счётчик-модуль имел размеры $70 \times 70 \times 30 \text{ см}^3$, объём около 150 л, вес около 130 кг. Сцинтилляции регистрировались одним фотоэлектронным умножителем марки ФЭУ-49 с фотокатодом диаметром 15 см. Фотоумножитель соединялся со сцинтиллятором посредством окна из оргстекла, расположенного в центре верхней крышки. Корпус счётчика был сварен из трёхмиллиметрового листового алюминия марки АМЦАМ и изнутри был покрыт белой горячей эмалью БС-57/21. Для герметизации счётчика использованы уплотнения из фторопласта и полиэтилена. После заполнения жидкостью счётчик продувался аргоном и герметизировался. Отмечу здесь, что атмосфера инертного газа способствует снижению пожарной опасности и замедлению старения счётчика.

Применение горячей эмали априори гарантирует долговременную стабильность характеристик счётчика, а также облегчает работы по подготовке счётчика к заполнению сцинтиллятором. Процесс эмалирования сложен, требует нагревания до температур во многие сотни градусов, тщательного подбора состава эмали, обеспечивающего одинаковые температурные коэффициенты расширения для эмали и материала, на который её кладут. Осваивать этот сложный процесс мы не хотели. Необходимо было найти предприятие, где это всё умеют делать и согласятся сделать для нас.

Несмотря на очевидные преимущества эмалированного изнутри счётчика, также были очевидны технологические трудности, поджидавшие нас на этом пути. Поэтому, сперва мы пытались найти что-нибудь попроще. Профессионалы в этих вопросах работали в Научно-исследовательском светотехническом институте, который располагался на проспекте Мира сразу за Крестовским мостом по пути из центра. Я побывал в этом институте и побеседовал с работавшими там специалистами. Фамилии этих людей я сейчас уже не помню. Я рассказал им, что нам нужна краска, которая в течение многих лет сама будет стабильна в контакте с жидкостью и не будет портить жидкость. Это была задача. Мне предложили использовать пластины из пористого фторопласта. Сам по себе фторопласт является очень стабильным инертным материалом с прекрасными отражающими свойствами. Но, во-первых, это – дорогой материал, во-вторых, крепить его на стенках – морока, в-третьих, очищать счётчик с таким пористым покрытием перед заполнением сцинтиллятором, не сахар. Мы отказались от этой идеи.

Но вернёмся к эмали. Все не раз сталкивались с эмалированной посудой, раковинами, ванными. Как правило, вещи эти сделаны из железа или чугуна. Часто они выглядели весьма белыми. Мы измерили коэффициенты отражения эмали на нескольких бытовых изделиях, они не превышали величины $\alpha = 0,7$ на длине волны 420 нм. Нам нужна была эмаль с более высоким коэффициентом отражения, что-нибудь $\alpha \approx 0,9$. Однако нам долго не удавалось найти ничего подходящего, цифры были низкие. Чтобы было понятно, за что шла борьба, поясню: выигрыш в доли света, собранного на фотокатод за счёт многократного отражения от стенок с коэффициентом α , в первом приближении зависит от фактора $(1 - \alpha)^{-1}$. Поэтому доли света, собираемого на ФЭУ для счётчиков с $\alpha = 0,7$ и $\alpha = 0,9$, отличаются в три раза. Ясно, что каждый процент в коэффициенте отражения важен. В какой-то момент нам попался образец эмали на алюминии. Это была деталь облицовки туалетной комнаты самолёта. И он показал хороший результат $\alpha = 0,86$. Тогда мы поняли, где следует искать производителя нужной нам продукции.

Я нашёл предприятие, которое занималось в том числе разработкой различного оборудования для самолётов. Это был п/я №30 в Сетуни. Позднее он стал называться Всесоюзным институтом лёгких сплавов (ВИЛС). Руководитель этого учреждения отнёсся с пониманием к нашим научным проблемам, о которых я ему рассказал при встрече. Меня познакомили с заведующей лабораторией эмалирования Ниной Ивановной Соколовой, разработчиком и изготовителем эмалей, лежащих на алюминиевые сплавы. Я много раз бывал в Сетуни, получал приготовленные для нас образцы различных типов эмалей, которые проверял затем у себя в институте на спектрофотометре, выбирая наиболее пригодный для нас вариант. Мы остановились на белой эмали БС-57/21 с коэффициентом отражения около 0,9. Затем нам отэмалировали несколько счётчиков, мы заполнили их сцинтиллятором и испытали отражающее покрытие в контакте с жидкостью. Всё оказалось замечательно, коэффициент отражения в реальных условиях был близок к $\alpha = 0,90$. После завершения испытаний опытных образцов и перехода к тиражированию счётчиков, я передал дела, связанные с Сетунией, в ведение наших технических служб, заниматься этим, как я помню, стал Витя Кавторов.

Я уже говорил об этом и повторяю: применение горячей эмали для внутреннего покрытия является главной особенностью нашего счётчика-модуля. Из других особенностей я отметил бы иллюминатор из оргстекла для сочленения

ФЭУ со сцинтиллятором, специально сделанный очень толстым, 10 см. Сделано это было с целью уменьшить зависимость отклика счётчика от места прохождения частицы. Результаты испытаний счётчиков и влияния толщины иллюминатора приведены в статье В. Н. Бакатанова, А. В. Воеводского, В. А. Дадыкина «Большие сцинтилляционные счётчики», доложенной на V Всесоюзной конференции по сцинтилляторам в 1968 г. Напечатана она в Трудах этой конференции, (вып. 5, ч. 2, стр. 119, Харьков, 1970 г.). Видно, что иллюминатор толщиной 10 см существенно улучшает однородность счётчика.

Следует отметить, что конструкция счётчика в окончательном варианте оказалась хорошо выверенной и «вылизанной». Предложенные решения обеспечили надёжность сварных швов, узлов, ответственных за герметизацию, оптимальное соотношение весовых нагрузок и толщины использованных материалов. Основная заслуга в этом принадлежит нашему инженеру-конструктору Юрию Никитьевичу, тогда просто Юре, Коновалову. Но и А. Е. много и с большой заинтересованностью занимался конструкцией счётчика, вникая в том числе даже в такие мелочи, что мне не раз приходилось слышать слова Юры, обращённые к А. Е., что мол «фаски и крепёж — не царское это дело». Также заинтересованно А. Е. работал с нашими радиоинженерами Валей Марковым и Володей Степановым, которые разрабатывали комплект электроники, монтирующейся непосредственно на каждом счётчике: усилитель, дискриминатор и логарифмический преобразователь. Такое внимание со стороны руководителя проекта было вполне естественно и понятно: счётчик-модуль, в своём завершённом, укомплектованном виде, включая ЖС, ФЭУ, электронику канала, был главным элементом подземного телескопа. От того, насколько этот счётчик-модуль получится хорош и надёжен, зависел успех предприятия в целом.

Фотоэлектронные умножители

ФЭУ — электровакуумный прибор, позволяющий регистрировать световые фотоны на основе фотоэффекта, с использованием многократного, в миллион и более раз, умножения числа фотоэлектронов за счёт вторичной эмиссии и энергии электростатического поля.

Мы не долго размышляли, выбирая из ассортимента отечественной промышленности ФЭУ для нашего телескопа. Априори, наиболее приемлемым, практически без конкурентов, нам казался ФЭУ-49. Подходящие габариты:

плоский фотокатод (ФК) диаметром 15 см, компактная диодная система. Фотокатод мультищелочной, спектральная характеристика которого в максимуме достигает $15 \div 20\%$. Коэффициент усиления около 10^6 при полном напряжении на ФЭУ $U_{\text{ф}} \leq 2 \text{ кВ}$. Всё это обещал производитель, новосибирский завод «Экран», в соответствии с техническими условиями на прибор. Важным фактором, повлиявшим на наш выбор, было и то, что выпускались эти ФЭУ заводом в большом количестве, около 1000 шт./год.

Все эти соображения о выборе подходящего типа ФЭУ имели предварительный характер. Но и они появились не на пустом месте. Конечно, в то время великое множество разнообразных типов ФЭУ уже давно использовались в самых различных экспериментах. Первое, что я начал делать, придя на преддипломную практику к А. Е. в эксперимент по изучению черенковского света ШАЛ на Памире, — это крутить ручки потенциометров, подбирая оптимальные режимы питания электродов ФЭУ-1БС, с фотокатодами 8 см. И продолжил это делать позднее, поступив на службу в ФИАН, где мне сразу поручили оборудовать фотоумножителями большой, 100 м^3 , водный черенковский детектор. Это были ФЭУ-2БС, с ФК 16 см, на детекторе их было более десятка. Затем были ФЭУ-13 и ФЭУ-52 с ФК 4 и 6 см, соответственно, с жалюзийной диодной системой, можно сказать, прародители ФЭУ-49. Я работал с этими ФЭУ в эксперименте в Крыму.

Позднее, в самом начале наших работ над телескопом, я бывал на Московском электроламповом заводе, что около Электрозаводского моста, и встречался с разработчиками новой серии «быстрых» ФЭУ с тороидальной диодной системой. К этой серии относятся ФЭУ-30, ФЭУ-63 и ФЭУ-65 с фотокатодами 5, 10 и 16 см, соответственно. В итоге я получил для испытаний по нескольку экземпляров этих ФЭУ и провёл эти испытания у себя в институте. ФЭУ оказались интересными и перспективными, но для нашего эксперимента не подходили.

Вообще же скажу, что А. Е. всячески одобрял мой интерес к работе с ФЭУ. Он был членом комиссии по сцинтилляторам и ФЭУ, по-моему, при Главатоме, которая регулярно собиралась в Старомонетном переулке. Сам А. Е. из-за занятости не всегда мог участвовать в работе этой комиссии и нередко отдавал приглашения мне. Я там бывал не раз, на заседаниях присутствовали представители основных фирм, работающих в этой области, говорили о новых разработках, было интересно.

Всё это я рассказываю для того, чтобы пояснить, что к моменту, когда нам следовало определиться с типом ФЭУ для телескопа, кое-что о ФЭУ мы уже знали. Теперь необходимо было проверить, что выбранные нами ФЭУ-49 по своим основным характеристикам, таким как временные, амплитудные, шумовые и т.п., окажутся пригодными для нашего опыта. С другой стороны, важно было убедиться, что испытание не выявит у этих ФЭУ каких-нибудь особенностей, делающих их непригодными для нас.

Мы получили из Новосибирска около сотни штук ФЭУ-49, и я проверил первые несколько десятков ФЭУ на специально изготовленном для этого стенде. Стенд позволял освещать фотокатод квазиравномерно с помощью различных импульсных источников света, в том числе и такого, который имитировал сцинтилляции. В последнем случае это был ультрафиолетовый лазер, свет которого возбуждал пластический сцинтиллятор, подвешенный высоко над фотокатодом ФЭУ. Для ряда измерений использовался также световой диод на арсениде галлия, подключенный к импульсному генератору. Для калибровочных измерений применялся сцинтилляционный кристалл NaJ (Tl) размером $8 \times 8 \text{ см}^2$ с радиоактивным источником ^{137}Cs . Система питания электродов ФЭУ позволяла изменять в широких пределах потенциалы фокусирующих электродов и нескольких первых динодов, наблюдая на экране осциллографа, как влияют эти манипуляции на амплитуду и форму анодного импульса тока. Цель манипуляций состояла в том, чтобы получить режим питания электродов, при котором оптимально сочетались бы как амплитудные, так и временные свойства ФЭУ. Для изучения амплитудных характеристик применялся и многоканальный амплитудный анализатор. В подготовке стенда участвовали наши инженеры-электронщики и техники, а также Юра Коновалов.

Универсальный режим питания для ФЭУ-49 удалось определить довольно быстро: электронная оптика входной камеры была удачно сконструирована разработчиком, обеспечивая наряду с хорошим сбором фотоэлектронов на первый динод со всей площади ФК и квазиизохронность траекторий, по которым эти электроны туда приходили. Хочу обратить внимание на то, что в реализации универсального режима сильно помогала возможность устанавливать на первом фокусирующем электроде (модуляторе) потенциал, отличающийся от потенциала ФК. Это шло в разрез с рекомендациями разработчика соединять ФК с модулятором. Завод «Экран» выпускал даже варианты ФЭУ-49, в кото-

рых модулятор не имел самостоятельного вывода и соединялся внутри баллона с ФК. Такие модернизированные ФЭУ были для нас непригодны, о чём мы уведомили производителя. Этот найденный нами в самых первых работах с ФЭУ-49 универсальный режим в общих чертах сохранился и в окончательном варианте. Кстати, использовался он не только в БПСТ, но и в других подземных детекторах ИЯИ: АСД, LSD, LVD.

Дальнейшие измерения касались изучения диапазона линейности ФЭУ-49, шумовых, амплитудных и токовых характеристик, стабильности, влияния земного магнитного поля на параметры ФЭУ-49. Поскольку общее количество ФЭУ в телескопе превышало 3000 штук, было важно понять, какая доля предлагаемых заводом ФЭУ-49 соответствует нашим нормативам. Для этого надо было проверить несколько сотен экземпляров ФЭУ. К этой работе были подключены стажёры, пришедшие в это время в группу Чудакова. Много этим делом занимались Саша Лидванский и Адам Цябук, работа проводилась у меня в подвале, в правом крыле главного корпуса ФИАН. Ещё раньше, в этом же подвале успел поработать с ФЭУ Эдик Бугаев. Однако, его тянуло в теорию, и он нашёл другое, какое не помню уже, но более интересное для себя занятие, а с ФЭУ слинял.

Некоторую информацию о методиках, использованных нами в работах с ФЭУ, можно найти в наших с Адамом Цябуком статьях, опубликованных в ПТЭ №3, 184, 185, 1976 «Исследование долговременной стабильности коэффициента усиления ФЭУ-49» и «Собственное амплитудное разрешение ФЭУ с большими фотокатодами». Сами работы выполнены существенно раньше, чем были опубликованы, и сделаны с использованием той самой методики.

О том, как мы готовили кадры

После того, как были предложены, опробованы и отработаны в своих основных чертах методики построения счётчика-модуля, главного элемента БПСТ, на повестку дня пришли другие задачи. И если первая часть работы была выполнена совсем небольшим числом сотрудников, то при переходе к тиражированию счётчиков, изготовлению и отлаживанию сотен и тысяч счётчиков-модулей, требовались десятки физиков, умеющих делать это дело. Необходимы были соответствующим образом подготовленные и обученные сотрудники, которые знали, что можно, а чего категорически нельзя делать при производстве ЖС, как грамотно и безопасно для себя и оборудования работать со счётчика-

ми, заполнять их жидкостью, барботировать, обращаться с находящимися под высоким давлением газовыми баллонами, монтировать и заменять ФЭУ, находящиеся под высоким напряжением, перемещать и устанавливать 130-килограммовые счётчики.

И следующий важный этап нашей работы, включая, конечно, продолжение отлаживания конструкций и методик, заключался в подготовке и обучении большой группы стажёров, принятых в этот период в лабораторию Чудакова. В основном это были выпускники физфака МГУ, МИФИ и МФТИ. А.Е. предложил мне организовать работы стажёров так, чтобы работы эти носили характер учебного процесса. В этом процессе участвовали как опытные сотрудники лаборатории Чудакова, инженеры Валя Марков, Володя Степанов, Юра Коновалов, которые в своём деле были для нас всех замечательными наставниками, так и поднабравшие опыта на первом этапе наших работ Саша Воеводский и Володя Бакатанов.

Первые испытания счётчика-модуля мы провели с Бакатановым и Воеводским в комнате 309 в правом крыле главного здания ФИАН. Помогали нам Степанов и Коновалов. О результатах я уже писал выше в разделе «Счётчик-модуль». Теперь следовало наращивать количество сделанных счётчиков, продолжать испытания, набираться опыта, но делать это в главном здании ФИАН было сложно. И по предложению А.Е. мы перебрались в г. Долгопрудный, где располагалась научная станция ФИАН. Управлял этим хозяйством А.Н. Чарахчян. Я хорошо помню его ещё по спецпрактикуму на физфаке, как очень доброго и отзывчивого человека.

Агаси Назаретович с большим уважением и, я бы сказал, с большой любовью относился к Александру Евгеньевичу, поэтому нам, сотрудникам лаборатории Чудакова, был обеспечен в г. Долгопрудном режим наибольшего благоприятствования. На закрытой территории Научной станции мы получили участок, вдали от основных лабораторных помещений. На этом месте был оборудован высокий элинг с кран-балкой. Там можно было приготавливать наш ЖС, заполнять счётчики сцинтиллятором, измерять их характеристики, наблюдать, как ведут себя счётчики при эксплуатации, всё это не нарушая пожарных норм. На несколько лет место, предоставленное нам Агаси Назаретовичем на территории Долгопрудненской научной станции ФИАН, стало нашим полигоном для разработки и испытаний оборудования и подготовки научных кадров для работы на БПСТ.

Отработанную нами технологию изготовления ЖС на основе уайт-спирита мы передали в руки инженера-химика Юры Маркова. Он спроектировал и изготовил вполне профессиональный вариант установки для приготовления ЖС, с производительностью 20 л/час, которую мы на первых порах использовали в г. Долгопрудном. Аналогичные установки были сделаны в г. Артёмовске и, позднее, с увеличенной производительностью, на Баксане.

Мы не раз повторяли испытания счётчиков, измеряли, как зависит амплитуда и время появления отклика счётчика от места прохождения через него частицы. В частности, именно этой теме были посвящены две дипломные работы выпускников МИФИ Жени Алексева и Валеры Козяревского. Этот эпизод мне запомнился ещё и тем, что я впервые тогда побывал на Каширке, куда меня шикарно по тем временам, на такси, привезли Женя и Валера, и где я выступал руководителем их работ перед Дипломной комиссией. Обе работы получили оценки «отлично».

А.Е. предложил сделать в г. Долгопрудном макет сцинтилляционного телескопа из 100 счётчиков-модулей, четырёхслойный, по 25 счётчиков в каждом слое, с расстоянием между слоями 1,3 м, расположенный на поверхности земли, в элинге. Работа эта была масштабная, телескоп содержал 12 т. ЖС, которые требовалось приготовить, залить в счётчики, снабдить счётчики соответствующей электроникой и регистрировать поток к.л., в основном, мюонов, контролируя возможности работы нашей аппаратуры за длительные периоды времени. Измерения проводились круглосуточно. Большая доля работы с телескопом была технической, делали мы её сами. Требовались чёткие выполнения норм техники безопасности, в том числе и пожарной. В этих условиях важным было соблюсти определённый уровень организации труда и производственной дисциплины нашей долгопрудненской команды. Моим помощником в данном деле был Слава Маслов, инженер-«технар», далёкий от ядерной физики, но вполне знающий в своём деле, и, главное, очень добросовестный и ответственный.

Авторами работы «100-канальный сцинтилляционный телескоп», опубликованной в трудах 12th ICCR (1971, Hobart, Australia, v.6, p. 2516), стали Алексеев Е.Н., Бакатанов В.Н., Воеводский А.В., Дадыкин В.Л., Козяревский В.А., Коновалов Ю.Н., Маслов В.Н., Михеев С.П., Степанов В.И. Новое имя здесь — Стас Михеев. Сокурсник и приятель Бакатанова и Воеводского, он пришёл в ФИАН вместе с ними, но некоторое время работал где-то. Впервые

появился в нашей команде в работах в Долгопрудном, хотя я помню его раньше по играм в футбол на корте ФИАН.

Помимо этих сотрудников в долгопрудненской команде работали некоторые наши техники. Как правило, техники надолго не задерживались в нашей лаборатории. Я очень сожалею, но вспомнить их имена мне не удалось, кроме одного — Володи Рудёва, который работал у нас много и полезно и продолжает работать до сих пор. Помню, как мы с ним не раз разгружали отэмалированные счётчики на складе-подвальчике, что на Профсоюзной улице. Естественно, в своей работе мы в полном объёме пользовались поддержкой наших технических служб, в том числе и снабженческих. В нашей лаборатории главным по снабжению была Галя Попова.

Другой нашей работой в Долгопрудном был эксперимент по поиску частиц с дробным зарядом в к.л. Тема была горячая, предложения Гелл-Манна и Цвейга 1964 г. прозвучали только что, все искали кварки. Мы тоже включились в эту затею. В отличие от других, в нашем опыте кроме обычного определения заряда частицы по ионизации в сцинтилляторах, одновременно определялся ещё и трек частицы с помощью искровых камер (ИК). Это позволяет при обработке уменьшить возможность имитации кварков.

Для детектора кварков мы всё сделали специально: четыре прямоугольных из оргстекла счётчика $80 \times 80 \times 20$ см³, наполненных ЖС, на каждом по 4 ФЭУ-49, размещённых попарно на противоположных торцах; четыре двухзачорные ИК, чередующиеся со сцинтилляционными счётчиками; систему высоковольтного питания ИК и систему фотографирования треков. Из наших методических наработок, мы использовали здесь только наш ЖС, да ещё режимы питания ФЭУ-49, отлаженные для счётчиков-модулей. Казалось даже странным, что А.Е. согласился на этот эксперимент, явно отвлекающий нас от главной цели. И хотя в своём отзыве на эту работу А.Е. основным мотивом проведения эксперимента назвал учебный процесс для стажёров, я думаю, дело было не только в этом. Я думаю, что А.Е. хотел, чтобы мы, долгие годы блуждавшие в бескрайнем море различных методик, в этой работе хотя бы чуть соприкоснулись с Высокой Физикой, почувствовали её вкус. Опыт по поиску свободных кварков как нельзя лучше подходил для этого. Он был связан с такими фундаментальными вопросами физики как структура барионов и мезонов, а также проблемой квантования электрического заряда.

Измерения были проведены в течение июня-октября 1967 г. Из 145000 зарегистрированных событий нет ни одного, которое сопровождалось бы треком, лежащим в телесном угле установки. Верхний предел на поток релятивистских одиночных кварков с зарядом z в к.л. на уровне моря

$$I(z) = 4,4 \cdot 10^{-10} \text{сек}^{-1} \text{см}^{-2} \text{стер}^{-1},$$

$$\frac{e}{3} \leq z \leq \frac{2e}{3},$$

e — заряд электрона.

Результаты этой работы были доложены на всесоюзных конференциях по физике к.л. в Новосибирске 1967 г., (Изв. АН СССР, сер. физ., т. XXXII №3, 1968, 531) и в Ташкенте 1968 г., (Труды Всесоюзной конференции по физике к.л., ч. I, ядерно-физический аспект, вып. I, 1969, 122). Авторы: Бондарев Б.Н., Воеводский А.В., Дадыкин В.Л., Маслов В.Н., Михеев С.П., Сборщиков В.Г., Степанов В.И. Здесь впервые упоминаются имена Бори Бондарева и Володи Сборщикова, выпускников Физтеха. Боря работал в нашей команде очень короткое время, затем ушёл к Рязской, но и там не задержался и исчез в неизвестном направлении. Володя, человек с непростым характером, но очень способный физик, работал с А.Е. до своей безвременной кончины, был начинателем экспериментов по связи метеоявлений и космических лучей, исследований, которые сейчас успешно продолжают на Баксане.

Пожалуй, на этом месте я поставлю в своих записках точку.

Автор признателен активному участнику работ той поры Оле Рязской, которая прочитала рукопись и сделала полезные замечания. Автор очень благодарен И.Р. Шакирьяновой, выполнившей большую работу по подготовке рукописи к печати.