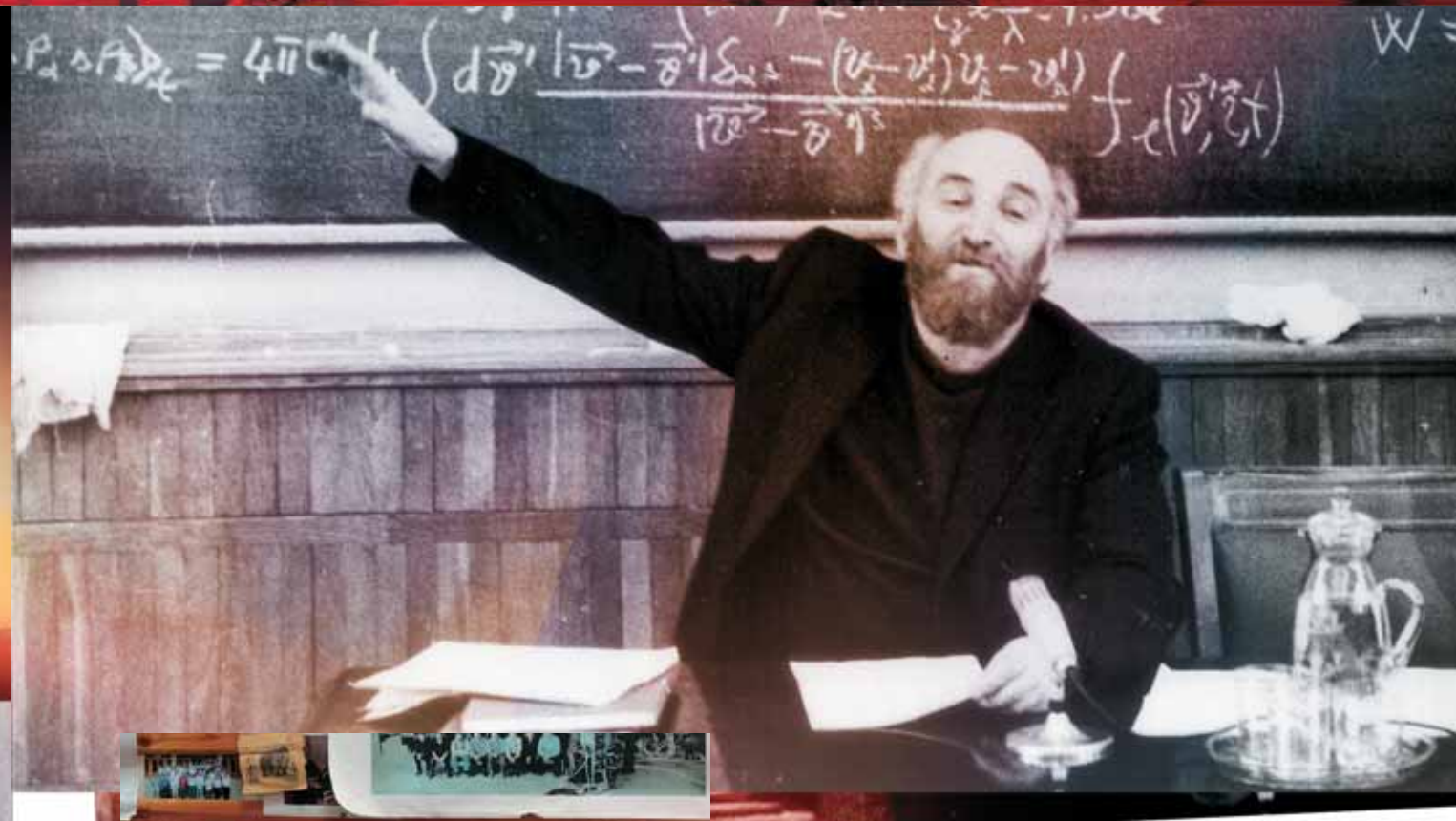


ЗДЕСЬ СБЫВАЛИСЬ МЕЧТЫ

В. В. ПАРХОМЧУК

Время становления новосибирского Академгородка совпало с периодом обновления всей страны. Не так давно закончилась война, начал, наконец, возрождаться дух свободы, инициативы – наступили памятные 60-е. Обновление чувствовалось во всем: в искусстве, литературе, науке. Неудивительно, что именно в это время началось и строительство научного городка в Сибири – когда же еще, если не сейчас? Наверное, в другое время Академгородка просто могло бы не быть, или он был бы совершенно другим. Тогда же для многих ученых возможность уехать из Москвы в Сибирь стала настоящим спасением – Москва многим подрезала крылья. И вряд ли первый директор Института ядерной физики А. М. Будкер смог бы в столице в таком масштабе реализовать все свои «безумные» проекты



ПАРХОМЧУК Василий Васильевич – академик РАН, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (Новосибирск), профессор Новосибирского государственного университета. Лауреат Государственной премии РФ (2001), премии Роберта Уилсона (2016). Автор и соавтор более 200 научных работ

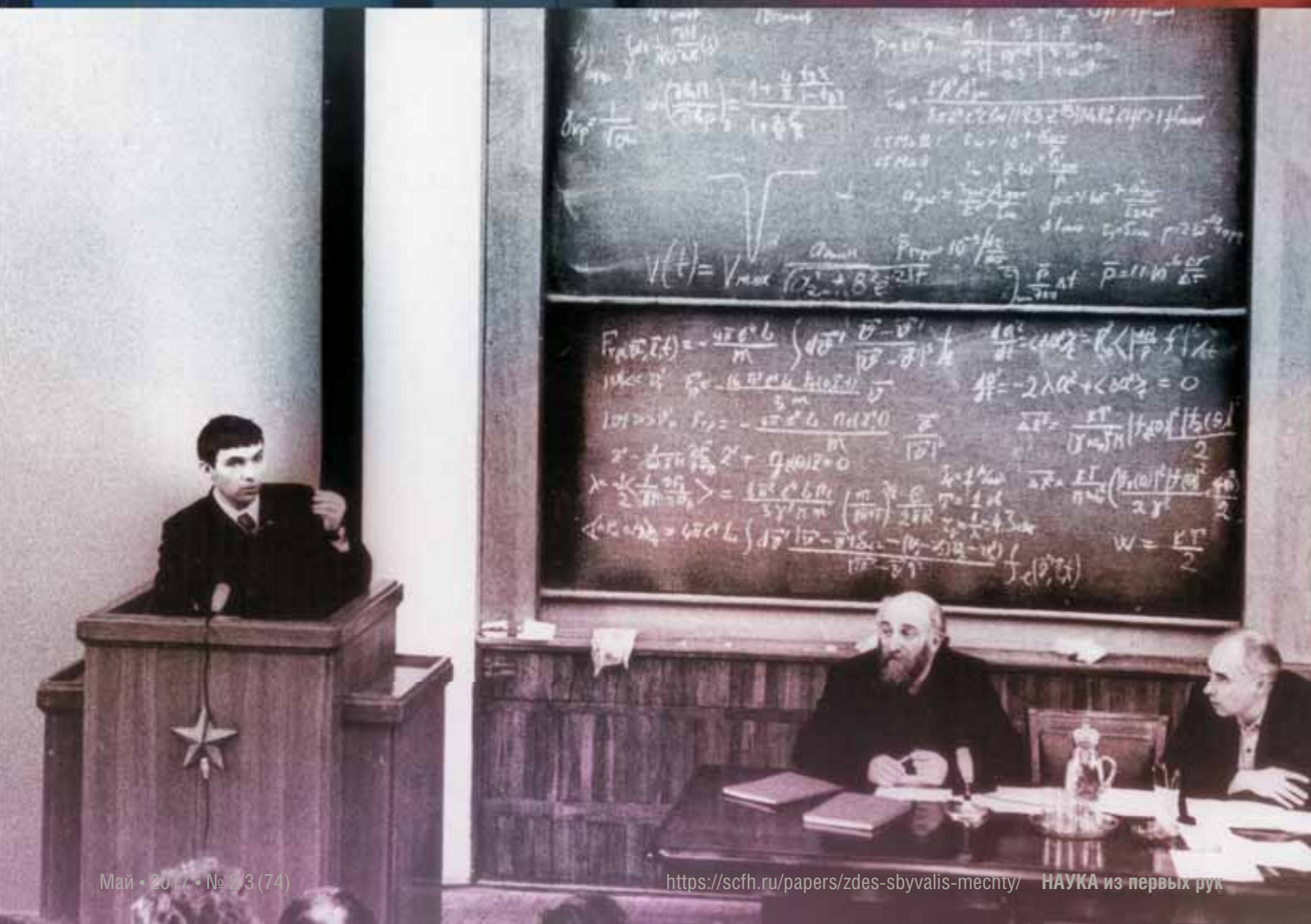
Ключевые слова: ускорители заряженных частиц, встречные пучки, электронное охлаждение.

Key words: charged particle accelerators, colliding beams, electron cooling

Впервые я отправился в Академгородок еще мальчишкой вместе с моим другом Вовкой Балакиным (будущим чл.-корр. РАН) на первую летнюю Физико-математическую школу. Ехали мы из села Родино Алтайского края на поезде. Это была наша первая самостоятельная поездка, поэтому мы решили взять от нее все и даже прокатились на крыше вагона. И хотя лица у нас были в мазуте, добрались благополучно. Прибыв на вокзал Новосибирска поздно вечером, решили и переночевать на скамейке, чтобы уже утром отправиться на улицу Советскую, 20, где тогда располагался Президиум Сибирского отделения. Сон наш прервал местный милиционер: он думал, что наткнулся на беспризорников, а оказалось – на «будущих ученых». Мы показали ему наши приглашения от СО АН СССР, подписанные самим А. М. Будкером и А. А. Ляпуновым, и он даже пустил нас погреться к себе в будку.

История любви к физике началась у меня с родной школы. У нас был великолепный учитель Константин Сергеевич Кривенко: он и сам увлекался предметом,

© В. В. Пархомчук, 2017





Выпускники 11 «Б» ФМШ в 1963 г.
Фото из архива автора

В. В. Пархомчук в родном селе Родино (Алтайский край), 1960 г. Наиболее вероятная профессия, которая ждала его в будущем, — шофер, как и его отец.
Фото из архива автора



Академик А. М. Будкер: «Важно, чтобы молодые люди знали одно: если они встретятся с пошлостью, тупостью, ограниченностью, это значит лишь то, что этому юноше или девушке просто не повезло. Они должны знать, что в науке заведомо есть люди светлые, ясные, с высоким интеллектом. Молодой человек может разочароваться в своем научном руководителе, но не в науке как таковой. Он должен понять, что совершил ошибку, и чем скорее он ее исправит, тем больше у него шансов найти свой храм наук».

«Возраст познания», 1974

и нас увлекал за собой. А еще он руководил радиотехническим кружком, где мы мастерили передатчики и приемники не хуже профессионалов. И даже могли переговариваться по радио, как по современным «мобильникам», чем мы очень гордились.

В общем, неудивительно, что меня заинтересовали задачи Всесибирской физико-математической олимпиады, о которой я узнал из газеты. Прочел условия, решил и отправил ответ. Мне пришел вызов в Барнаул на следующий, письменный этап олимпиады. Главным на этом этапе был физик Дмитрий Васильевич Ширков, который работал в Институте математики в новосибирском Академгородке. Я неплохо справился с заданием и получил приглашение на первую летнюю школу. Впрочем, этот счастливый момент немного смазался: Ширков сказал мне напоследок, что, если возникнут

проблемы с деньгами, с билетом помогут. Я обиделся и спросил, почему он решил, что я бедный? И услышал в ответ: «Ну, у тебя такие сапоги, штаны...». Его смутил мой внешний вид, при том что я думал, что одет необычайно модно...

Лекции в летней школе ФМШ нам читали Будкер и Ляпунов, такие бородатые серьезные профессора. Помню, мне было даже трудно представить, что эти крупные ученые тратят свое время на наше обучение. Оглядываясь на то время сегодня, я понимаю, что обучать по педагогическим правилам они не умели — они сами на нас учились учить! Вместе с ними мы «ходили» в школу, и это было, наверное, одно из самых великодушных сотрудничеств, которые случались у меня в жизни. А еще это была возможность стать частью той гениальной программы развития науки, которую здесь реализовывал М. А. Лаврентьев и его коллеги. Мы, мальчишки из деревни, неожиданно стали частью большого дела.

Недавно ФМШ чуть было не закрыли из-за отсутствия преподавателей с педагогическим образованием. Когда учились мы, об этом вообще никто не думал, тем



За участие во Всесибирской физико-математической олимпиаде учащихся средних учебных заведений в 1962 г. Василий Пархомчук был награжден первой премией по физике и грамотой, подписанной Г. И. Будкером и А. А. Ляпуновым.
Фото из архива автора

Зубрежка в общежитии НГУ.
1966 г. Фото из архива автора



«Для занятий в ФМШ М. А. Лаврентьев попросил институты "поделиться" со школой научным оборудованием. И чего только нам ни привезли! Среди всего этого богатства были и большие рентгеновские трансформаторы с напряжением в несколько киловольт. На этих "рогах" мы самостоятельно строили разрядные промежутки, поджигали дуги и получали молнии метровой длины. Это была наука, которую мы делали сами. Кстати, в данном случае это было еще и опасным занятием — как нам это вообще разрешили, я уже не помню. Но этот пример наглядно показывает, что в Академгородке ты мог заниматься исследованиями не только по своему профилю, но и принимать участие в самых разных экспериментах. И для человека, только ищущего себя, у которого научные интересы только формируются, это было очень важно»

не менее нам удалось получить самое лучшее в мире образование. Люди, которые преподавали нам, не владели современными педагогическими приемами, но были настолько увлечены наукой, что эта увлеченность передавалась и нам. Более того, все, кто жил, учился, работал в Академгородке, старались так или иначе приобщиться к науке. Как-то после лекции ко мне подошел наш вахтер и спросил, что это мы обсуждаем. Мы были

горды, что занимаемся непривычными для большинства вопросами, и с удовольствием рассказывали о физике.

Так мы провели лето, а потом разъехались по домам: приказа об организации ФМШ еще не было. Через полгода мне пришел вызов в Новосибирск. Сомнений, что нужно ехать, не возникло.

В то время Академгородок был похож на большую стройку: улиц не было, дома только начали строиться. У школы даже не было здания, но мы не боялись, что что-то может пойти не так. Нам преподавали выдающиеся ученые: Будкер, Ляпунов, Румер... Мы ходили на лекции к фонтану НГУ, принимали участие в экспериментах различных институтов (например, по «производству» шаровых молний в Институте гидродинамики под руководством Б. В. Войцеховского). Вступали в бой с аспирантами — стреляли с балконов друг в друга кедрами из больших самодельных рогаток.

А городок все строился, в него приезжали новые люди. Многие ученые таким образом вырывались из-под гнета Москвы, где, наверное, было больше контроля. Тогда мне было трудно об этом судить, но сейчас я знаю, насколько для ученого важна свобода творчества.

1963 Организована физико-математическая школа



Чл.-корр. АН СССР А.А. Ляпунов в схватке в настольный теннис с учащимися ФМШ. 1960-е гг. Фото из музея НГУ

Поздравление А.А. Ляпунову от учеников ФМШ. Открытый архив СО РАН



«Отец советской кибернетики» А.А. Ляпунов смолоду был ярким педагогом и пропагандистом научных знаний, и с течением лет его внимание к сфере образования лишь возрастало. Свои мысли по поводу роли образования вообще и математического в частности, в развитии общества Ляпунов изложил в статье «Математизация знаний»: «Распространение математических методов на новые области науки ведет к глубокому преобразованию всей системы человеческих знаний. Ввиду этого возникает необходимость глубокого изучения самого хода развития науки. А это уже вопрос философский... Пожалуй, основная задача философии в сфере науки состоит в том, чтобы уметь приблизить будущее развитие науки и понять, куда нужно бросить силы для того, чтобы результаты научной работы были особенно эффективны в будущем. Для этого нужно хорошо ориентироваться в том, что происходит в науке сегодня. В связи с этим особо следует обратить внимание на систему образования...» (Наука в Сибири, 1968). И слова у Ляпунова никогда не расходились с делом. Он стал одним из «отцов-основателей» первой в нашей стране физико-математической школы-интерната, организованной в 1962 г. при НГУ, первым председателем ее Ученого совета и активным лектором. Он также был одним из организаторов Всесибирских математических олимпиад и летних физматшкол в Академгородке.

По: (Богуненко, 2015)

В Академгородке, где мечты свободно заниматься наукой сбывались, этот дух независимости стал одной из движущих сил развития науки.

Четырнадцать русских на одного американца

Так случилось, что всю свою научную карьеру я занимаюсь методом электронного охлаждения. Привлек меня к этой тематике сам А.М. Будкер. Но на этот «проект» Будкера я попал не сразу. Сначала работал в другой лаборатории, потом вообще поехал в строящийся научный центр в Иркутске, приглядеться. Возвращаюсь, а меня вызывают к Андрею Михайловичу. Он мне с порога сразу и говорит: «Тебе что, Василий, в ИЯФе нечего делать?».

Будкер, видимо, уже тогда решил мою научную судьбу. А я после этого разговора, конечно, не помышлял об Иркутске. Андрей Михайлович прекрасно подбирал кадры – сейчас бы его назвали отличным менеджером. Он им и был. Одновременно Будкер был очень эмоциональным человеком, и свойственная ему манера общения порой не приводила ни к чему хорошему. Однако если этот свой темперамент Будкер направлял в правильное русло (что случалось чаще), то он шел на благое дело.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С «ПАРОВОЗАМИ»

Прошло больше полувека с тех пор, как я впервые услышал о встречных пучках от А.М. Будкера на его лекции у фонтана в первой летней школе для победителей олимпиад. Тогда, в 1962 г., А.М. Будкер с вдохновением рассказывал о применении метода столкновения встречных пучков протонов или электронов для изучения их структуры. Для простоты понимания он сравнил частицы с паровозами, мчащимися навстречу друг другу почти со скоростью света. После такого мощного столкновения все внутренние элементы частиц (паровозов) разлетятся во все стороны, и их можно будет разглядывать по отдельности. Уже в то время возможности ускорителей элементарных частиц были таковы, что эффективная масса ускоренных электронов в соответствии с теорией относительности возрастала в тысячи раз, и было ясно, что столкновения быстро движущихся «тяжелых» электронов с «легкими» электронами неподвижной мишени будут гораздо менее эффективны, чем встречные столкновения высокоэнергичных «тяжелых» частиц. Мне, как и каждому мальчишке, такие эксперименты «с паровозами» показались забавными, и я связал всю свою последующую жизнь с физикой.

По: (Пархомчук, 2012)

Поиск финансирования, умение подобрать нужных людей, привести весь механизм научного эксперимента в действие и в итоге прийти к успеху – таким был Андрей Михайлович Будкер. Известно, что если душа (или что там у нас внутри) не «горит», то ничего не получится. А вот у Будкера все получалось, хотя практически по поводу каждой идеи, которую он брался реализовать, мир отвечал – «не верю». Но ведь смысл науки и заключается в том, чтобы заниматься тем, что еще неизвестно.

Так было и с созданием электрон-электронного и электрон-позитронного коллайдеров на встречных пучках, и с методом электронного охлаждения. Не все эти идеи принадлежали собственно Будкеру, но, кроме него, никто в мире не брался воплощать их в жизнь. А он не боялся это делать, и у него получалось.

Одно из его желаний было создать в Сибири протон-антипротонную установку, но в силу экономических причин этого сделать не удалось. Зато наши ученики (С.С. Нагайцев, А.В. Буров, А.В. Шемякин), уехавшие в тяжелые для российской науки времена в США, смогли эту идею осуществить. На самом раннем этапе строительства я приезжал в Америку как консультант. За большим столом нас сидело 15 человек, и все были из России, за исключением одного американца. Почему так? Да потому что сама эта школа сформировалась в ИЯФ, и нигде в мире это направление больше не развивали.

Молодой ученый выбирает сферу научных интересов чаще всего с легкой руки своего научного руководителя. И здесь играет роль не только новизна темы, но и харизматичность самого учителя. Будкер возлагал большую ответственность на плечи тех, кто воспитывает учеников, призывал их быть честными и дальновидными, так как от их внутренней порядочности во многом зависит судьба молодого ученого. Силу науки он видел в создании крепких научных школ.

О методе электронного охлаждения я услышал от Андрея Михайловича, когда еще был студентом, – он рассказывал о нем на лекциях. Область эта была свежая и неизведанная. И я с самого начала стал участвовать в работе над проектированием и созданием установки для электронного охлаждения.

Строили мы эту установку несколько лет. Строительство идет, а ни одной научной публикации не появляется. Иначе говоря, строгаем железо, собираем, испытываем, снова собираем, но научных результатов не получаем. Сегодня нам вряд ли бы дали довести дело до конца: современные ученые работают по грантам и в обязательном порядке должны отчитываться статьями. Но в то время и у меня уже опустились руки, и я пришел пожаловаться ученому секретарю ИЯФ Станиславу Попову. Он мне ответил: «Василий, не переживай, если сумеете сделать электронное охлаждение, то у вас сразу куча статей будет – работайте».

Таким образом, в первую очередь нужно было, чтобы твоя установка наконец «задышала». Но и здесь помогал Будкер. Он всемерно поддерживал идею и при необходимости прикрывал нас своим авторитетом. Конечно, к словам аспиранта никто бы всерьез не стал прислушиваться, а Будкеру верили. У него был не только авторитет, но и чутье, что все получится. И получилось!

на стр. 71

А.А. Серый, директор Института ускорительной физики им. Джона Адамса (Оксфорд): «Работы, которыми занималась в то время в ИЯФе группа электронного охлаждения, были передовыми, ведущими в мире. И со второго курса я начал работать с мировыми звездами: с людьми, которые разработали этот метод, экспериментально его продемонстрировали и применяли для реальных проектов. Это незабываемо! Такая школа стимулирует и помогает выйти на мировой уровень. Мне хотелось стремиться к уровню таких мастеров, как Пархомчук и Диканский. Этой планки, заданной со студенческих времен, я еще не достиг, но мне есть к чему стремиться». (Серый, Серая, 2016)

1974 Проведен первый эксперимент по электронному охлаждению пучка протонов



КАК «ПОДКОВАТЬ БЛОХУ»

Известно, что движущиеся с ускорением (например, по круговой траектории, как в кольцевых ускорителях) электроны и позитроны испускают электромагнитное (синхротронное) излучение, благодаря чему эффективно теряют энергию. Это приводит к быстрому естественному остыванию пучка электронов и, соответственно, к его сжатию. Для более тяжелых частиц, протонов и ионов, подобный способ охлаждения пучка в 1960-е гг. не годился, так как синхротронное излучение становится достаточно интенсивным только при энергиях движения частиц, достигающих десятков тераэлектронвольт, что в то время было недостижимым. Суть предлагаемого Г. И. Будкером метода охлаждения состояла в том, что пучок протонов и пучок электронов, двигаясь рядом с почти одинаковыми скоростями, начинают эффективно взаимодействовать посредством электромагнитных сил. Такое взаимодействие приводит к выравниванию их температур, т. е. перетеканию энергии теплового движения от протонного пучка к более холодному электронному. А, поскольку масса протона почти в 2 тысячи раз больше массы электрона, скорость его теплового движения и, соответственно, угловой разброс пучка должны быть в десятки раз меньше, чем у пучка электронов.

Это была научно и технически сложная задача. То, что ее можно решить, в прошлом столетии не казалось таким очевидным, как сейчас, спустя десятилетия. Наверное, поэтому

Академик А. Н. Скринский в пультовой НАП обсуждает с молодыми учеными В. В. Пархомчуком, И. Н. Мешковым и Н. С. Диканским только что обнаруженное явление сверхбыстрого электронного охлаждения. 1978 г.

никто в мире и не решался начать подобные работы. Лишь в ИЯФе, благодаря интуиции старшего поколения и энтузиазму молодого, стало возможным преодолеть множество проблем, вставших на пути создания работоспособной установки, и, в конце концов, добиться успеха.

В коллектив, занимавшийся разработкой метода электронного охлаждения, вошли такие известные уже в то время ученые, как академики Г. И. Будкер и А. Н. Скринский, с. н. с. Я. С. Дербенев, зав. лаб. Н. С. Диканский, с. н. с. И. Н. Мешков, н. с. Д. В. Пестриков, зав. лаб. Р. А. Салимов, н. с. Б. Н. Сухина.

Для проверки метода было решено построить полномасштабную модель накопителя антипротонов (с периметром кольца 47 м), на которой и провести эксперименты по электронному охлаждению.

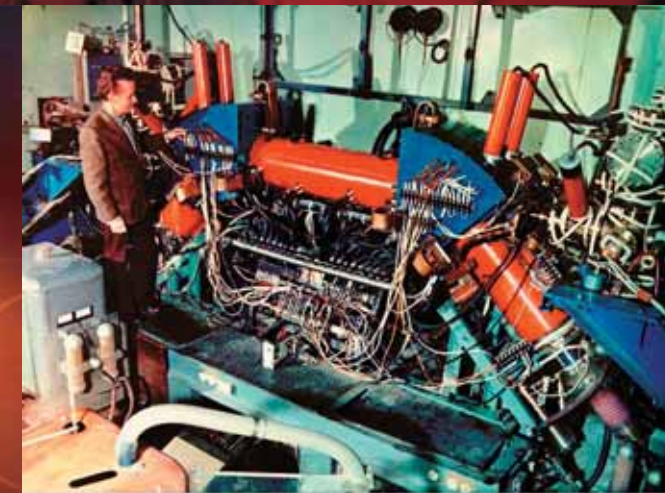
В 1971 г. началась практическая реализация этой идеи. Мы проектировали и создавали установку в институтских мастерских, проверяли в экспериментах элементы первого в мире ускорителя с электронным охлаждением. На специальном стенде был получен электронный пучок, были исследованы его свойства: плотность, заряд, температура – все, что могло влиять на процесс охлаждения.

После сборки всех элементов начались попытки добиться охлаждения, но они в течение нескольких месяцев не приносили результата. Происходило это по разным причинам: сначала из-за недостаточно хорошего вакуума, затем из-за проблем с пульсациями в наших электронных схемах. Только вера в идею и горячее желание «подковать блоху», т. е. все-таки добиться охлаждения протонного пучка, помогли преодолеть все препятствия.

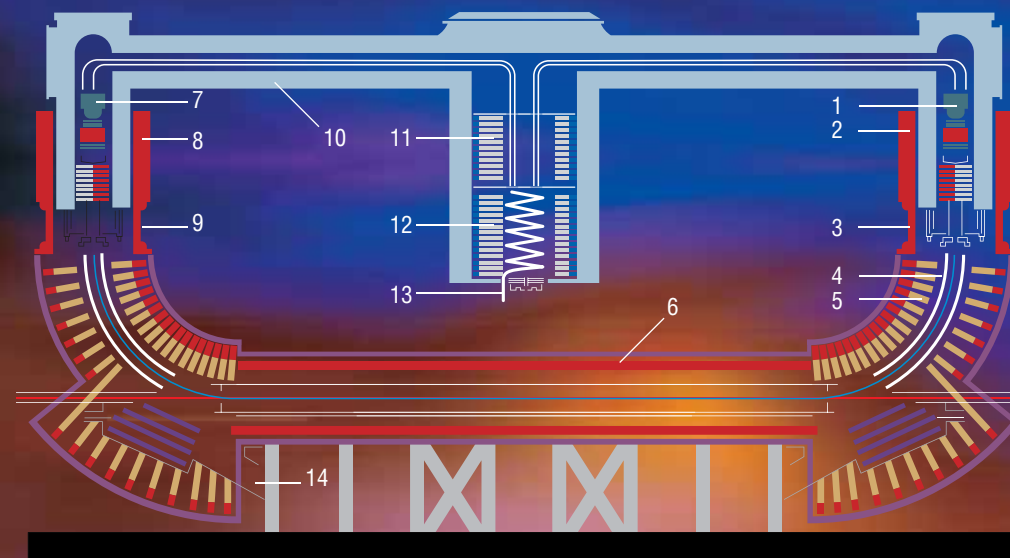
Однажды при достаточно случайном выключении внутреннего ионного насоса мы вдруг увидели, что время жизни пучка возросло. Оказалось, что горячие ионы из насоса сильно заряжали электронный пучок, и высокое значение электрического поля «выбивало» протоны из ускорителя. Сразу же после этого мы модернизировали систему вакуумной откачки и ко всеобщей радости увидели признаки, что охлаждение идет.

В итоге в 1974 г. накопитель НАП-М (Накопитель АнтиПротонов-Модель) заработал, первый результат по электронному охлаждению был получен.

По: (Пархомчук, 2012)



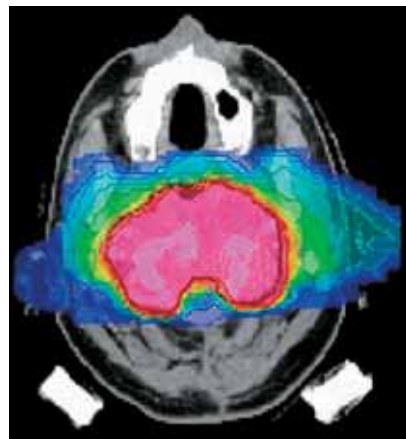
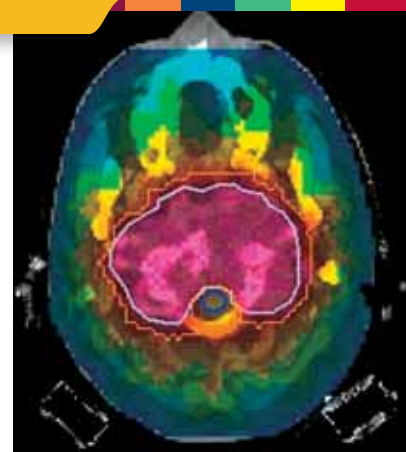
Сердце комплекса НАП-М – установка ЭПОХА (Электронный Пучок для ОХлаждения Антипротонов). 1976 г. На фото – В. И. Куделайнен, один из создателей ЭПОХИ



- Схема охладителя с энергией 350 кэВ:
- 1 – электронная пушка;
 - 2 – основной магнит пушки;
 - 3 – дополнительный магнит пушки;
 - 4 – электростатическая отклоняющая система;
 - 5 – тороидальная магнитная отклоняющая система;
 - 6 – основной магнит;
 - 7 – коллектор;
 - 8 – основной магнит коллектора;
 - 9 – дополнительный магнит коллектора;
 - 10 – элегазовый (SF6) фидер;
 - 11 – 12 – выпрямители;
 - 13 – ввод питания;
 - 14 – вакуумные насосы

Конструкция электронного охладителя выглядит достаточно просто. Электронный пучок создается электронной пушкой с катодом специальной формы. Пучок ускоряется и при помощи отклоняющих систем вводится в канал основного ускорителя. Затем электронный пучок, опять же при помощи отклоняющих систем, выводится наружу, и электроны принимаются в коллектор

2009 В Китайском научном центре впервые опробован метод ионной терапии рака



Проект углеродного комплекса для лечения рака с использованием метода электронного охлаждения. Ионы углерода ускоряются в небольшом линейном ускорителе и инжектируются в кольцевой бустер. Оттуда они направляются в основное кольцо с электронным охлаждением, где и накапливаются, а затем посредством охлаждения направляются в каналы распределения.

Справа – план распределения дозы облучения в мозге, полученный при использовании рентгеновской терапии с 9 направлений (а) и ионной терапии с 2 направлений (б). Видно, что доза, полученная здоровыми тканями, при рентгеновской терапии значительно выше, чем при ионной. А более четкий контур максимальной дозы при ионной терапии позволяет получать хороший терапевтический эффект за счет быстрого восстановления прилегающих к опухоли тканей

НА СЛУЖБЕ МЕДИЦИНЕ

Электронное охлаждение – это один из немногих примеров, когда давнее российское изобретение остается востребованным до сегодняшних дней. За прошедшие несколько десятилетий в этой области удалось решить сложнейшие технические задачи, что позволило существенно продвинуть состояние дел в физике элементарных частиц.

Но метод электронного охлаждения используется не только в физике. С его помощью удалось получить очень перспективные результаты в медицине при лучевой терапии раковых опухолей.

Как известно, при обычной терапии рентгеновскими лучами максимум дозы облучения приходится на момент входа лучевого пучка в тело пациента, однако по мере достижения опухоли эта доза заметно снижается. Для компенсации такого эффекта облучение производят с разных сторон, в результате чего опухоль получает максимальную дозу. При этом облучение здоровых тканей достаточно велико, хотя обычно не достигает опасного предела.

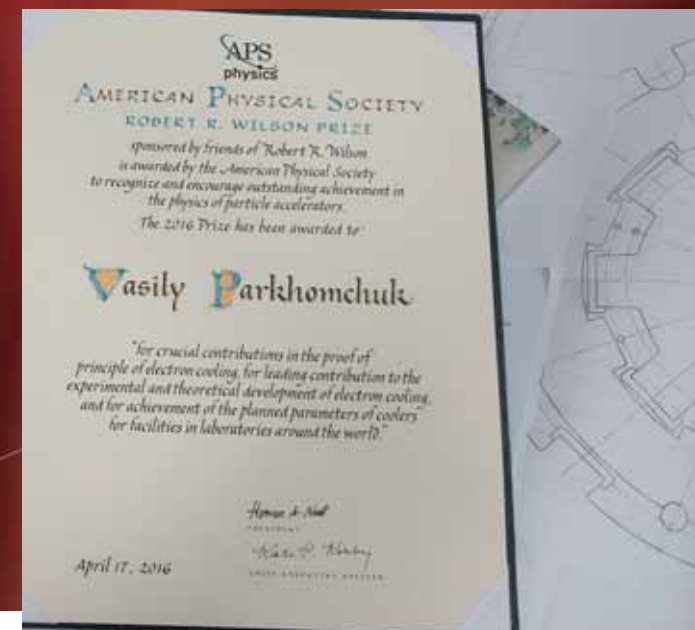
В случае использования высокоэнергичного пучка ионов ситуация складывается иным образом. По мере торможения пучка в теле пациента ионизация возрастает и максимальный разрушающий эффект наблюдается в зоне опухоли. Благодаря электронному охлаждению удается достичь очень малого размера пучка, что позволяет легко его фокусировать, направляя из различных положений на пораженный участок. В результате большая плотность достигается лишь в новообразовании, а в здоровых тканях ее удается свести к минимуму.

Лечение этим методом онкологических больных проводится в Институте современной физики (КНР, провинция Ланджоу) на большом экспериментальном ионном комплексе с двумя установками электронного охлаждения, сконструированными и построенными в ИЯФ СО РАН. За время работы этого комплекса сотни людей получили шанс на жизнь. Результаты лечения выглядят многообещающе, поэтому в Китае создается проект специализированного центра для лечения больных по этой методике.

По: (Пархомчук, 2012)

Американское физическое общество в 2016 г. вручило д.ф.-м.н., академику РАН В.В. Пархомчуку Международную премию Роберта Вильсона «За решающий вклад в доказательство принципа электронного охлаждения, за опережающий вклад в экспериментальное и теоретическое развитие электронного охлаждения и за достижение запланированных параметров работы электронных охладителей для ускорителей в научных лабораториях по всему миру».

Международная премия Роберта Вильсона, учрежденная в память об основателе известной американской ускорительной лаборатории Фермилаб (Fermilab), ежегодно вручается за выдающиеся достижения в физике ускорителей элементарных частиц. До сих пор только два российских физика были удостоены этой награды, и оба из Института ядерной физики СО РАН. В 2002 г. премию получил д. ф.-м. н., академик РАН А. Н. Скринский



Первые удачные эксперименты по электронному охлаждению открыли серию защит. Моя так и называлась: «Первые эксперименты по электронному охлаждению». Будкер был очень доволен, но вот остальной мир нам не очень-то поверил. Американские ученые и журналисты, которые к нам приезжали, так и писали, что если это не мистификация, то удивительное достижение.

Подобное недоверие было связано и с тем, что нам в каком-то смысле удалось опровергнуть самого Будкера. По его модели мы могли достичь охлаждения электронов до 1000 °С. Мы же показали, что пучок охлаждается до 1 К. Такого результата нам удалось достичь благодаря качеству магнитного поля. У нас электроны шли по идеально однородному магнитному полю, что и позволяло так хорошо охлаждать. А на Западе на этот нюанс не обращали внимания, и их магнитное поле было таким «ухабистым», что у электрона появлялась дополнительная температура, и наши результаты не воспроизводились.

Именно этот «нюанс» – умение создавать ровное магнитное поле – и сделал ИЯФ главным по замагниченному электронному охлаждению институтом, которым он и остается до сих пор. Кроме нас, никто в мире не умеет делать подобные установки. Это как в анекдоте: чтобы русские ни делали, получается автомат Калашникова, потому что научились они это делать непревзойденно. Так и с этими установками, которые сегодня работают по всему миру: в Германии, Китае, Швейцарии, на Большом адронном коллайдере... Китайцы используют эти установки на аппаратах для лечения рака: благодаря охлаждению пучок становится таким тонким и преци-

зионным, что легко попадает в нужное место, не задевая здоровые ткани.

Первую такую установку с идеальным магнитным полем мы отправили в 1996 г. в Германию, а для российской науки сделали только в 2017 г. Два огромных «кулера» будут работать на мегапроекте ион-ионного коллайдера NICA в Дубне. Одну установку мы уже отправили, другая будет готова к 2023 г. Сроки немаленькие, но это большие установки, на их создание нужно время.

Несмотря на то, что от рождения идеи электронного охлаждения до ее реализации у нас в стране прошло немало лет, это была счастливая история. Сейчас я понимаю свою маму, которая плакала, когда отправляла меня в Новосибирск учиться в ФМШ. Сейчас я сам, как родного ребенка, отправлял нашу установку в Дубну. И это правда.

Литература

Будкер Г.И. Эффективный метод для демпфирования колебаний частиц в протонных и антипротонных кольцах // Атомная энергия. 1967. Т. 22. С. 346–348.

Будкер Г.И., Скринский А.Н. Электронное охлаждение и новые возможности в физике элементарных частиц // УФН. 1978. № 124. С. 561–595.

Пархомчук В.В., Скринский А.Н. Электронное охлаждение – 35 лет развития // УФН. 2000. Т. 170. № 5. С. 473–493.

Parkhomchuk V.V., Skrinsky A.N. Electron cooling: physics and prospective applications // Report on Progress in Physics. July 1991. V. 54. N. 7. P. 919–947.