

+ В333.Н9431
+ В381.12437

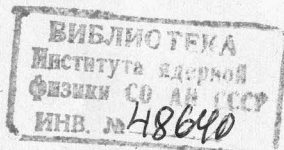
Сборник содержит материалы докладов, прочитанных на проходившем в Новосибирске Всесоюзном семинаре, посвященном 60-летию со дня рождения академика Г. И. Будкера, и на мемориальной сессии Американского физического общества, проходившей в Вашингтоне (последние на английском языке). Рассматриваются вопросы создания ускорителей и накопителей на большие энергии, вопросы физики высоких энергий, а также проблемы освоения реакций управляемого термоядерного синтеза.

Сборник рассчитан на научных работников, аспирантов и студентов физических специальностей.

Ответственный редактор

академик

С. Т. БЕЛЯЕВ



ГЕРШ ИЦКОВИЧ БУДКЕР

ОЧЕРК О ЖИЗНИ И ТВОРЧЕСТВЕ

1 мая 1978 года исполнилось 60 лет со дня рождения выдающегося советского физика академика Герша Ицковича (Андрея Михайловича) Будкера, организатора и бессменного директора Института ядерной физики СО АН СССР, лауреата Ленинской и Государственной премий.

С 24 по 26 апреля в Новосибирске проводился Всесоюзный семинар «Проблемы физики высоких энергий и управляемого термоядерного синтеза», посвященный 60-летию со дня рождения Андрея Михайловича Будкера. В работе семинара принимали участие не только советские физики, близко знавшие и работавшие вместе с Андреем Михайловичем, но и физики из ЦЕРНа, Батавии, Стэнфорда и других ведущих физических лабораторий мира. Независимо от Новосибирского семинара и по удивительному совпадению одновременно с ним в Вашингтоне во время ежегодного собрания Американского физического общества состоялась под председательством профессора Панофского специальная сессия, посвященная памяти А. М. Будкера. Доклады, представленные на Всесоюзный семинар, и часть докладов, представленных на сессию Американского физического общества, вместе со вступительным словом профессора Панофского составляют содержание настоящего сборника.

Андрей Михайлович родился 1 мая 1918 года в с. Мурафа Шаргородского района Винницкой области в семье сельского рабочего. Окончив в 1936 г. Винницкую среднюю школу, он поступает на физический факультет Московского университета.

Новая физика с ее диковинными теориями захватила воображение Андрея Михайловича с самого начала. Он принял ее сразу без оглядки на «здравый смысл» и классические представления. Впоследствии он всегда отрицательно относился к попыткам возврата к «старому доброму времени» классической физики. Вместо этого он сумел развить свое воображение настолько, что теория относительности и квантовая механика, которые он понимал тонко и глубоко, стали для него не просто понятными, но естественными и наглядными, стали теориями, с которыми можно «работать». Недаром один из разделов спецкурса, который Андрей Михайлович читал в последние годы в Новосибирском университете, назывался «Релятивистские конструкции».

Свою первую научную работу Андрей Михайлович выполнил еще в студенческие годы под руководством И. Е. Тамма. Она была

посвящена проблеме отыскания тензора энергии-импульса электромагнитного поля в движущихся средах. Быть может, уже в этой задаче Андрей Михайлович почувствовал огромные скрытые трудности и вместе с тем красоту и неисчерпаемые возможности сложных систем, которые впоследствии он так искусно исследовал и покорял в своих работах по сильноточным ускорителям и термоядерным реакторам.

Андрей Михайлович окончил университет в 1941 г. и прямо с последнего госэкзамена ушел в действующую армию.

После Великой Отечественной войны Андрей Михайлович поступает в теоретический отдел Лаборатории № 2 Академии наук, руководимой И. В. Курчатовым (ныне Институт атомной энергии имени И. В. Курчатова). Под руководством И. В. Курчатова и А. Б. Мигдала он выполняет цикл работ по теории конечной уранграфитовой решетки, а также по кинетике и регулированию атомных реакторов.

Позднее в связи со сооружением рекордного по тем временам протонного ускорителя на Большой Волге (ныне г. Дубна) интересы Андрея Михайловича переключаются на теорию циклических ускорителей. Он первым обратил внимание на резонансные процессы в ускорителях и подробно их исследовал, предложил оригинальные способы эффективного вывода пучка из ускорителя. Эти работы были отмечены в 1949 г. Государственной премией. Однако сам Андрей Михайлович уже ясно понимал, что дальнейшее развитие ускорительной техники невозможно без учета коллективных процессов в ускоряемом пучке частиц. Вместе со своими первыми учениками он начинает энергично развивать теорию таких процессов, заложив, по существу, основы новой области физики — релятивистской плазмы.

Андрей Михайлович никогда не был «чистым» теоретиком. Помимо особенностей его характера в этом сказались огромное влияние школы И. В. Курчатова. Поэтому Андрей Михайлович сразу же стремится использовать замечательные свойства релятивистской плазмы для решения насущных проблем ускорительной техники. Причем — это уже несомненно одна из наиболее ярких особенностей творческой личности Андрея Михайловича — его никак не удовлетворяет постепенное усовершенствование существующих ускорителей, он упорно ищет принципиально новые подходы и решения в этой области. И вот ему удается обнаружить, обнаружить теоретически, удивительно красивое образование из релятивистских электронов и ионов, которое он назвал стабилизированным электронным пучком. После сообщения об этих работах на Женевской конференции 1956 г. имя А. М. Будкера стало широко известным, а его идеи вызвали большой интерес среди физиков многих стран.

Примерно в это же время Андрей Михайлович предлагает оригинальный подход к решению другой животрепещущей проблемы физики — управляемого термоядерного синтеза. Его подход был основан на использовании плазменной ловушки с «магнитными

пробками» и положил начало всем так называемым открытым термоядерным системам.

Андрей Михайлович горит желанием немедленно приступить к осуществлению всех этих идей. Однако идеи слишком сложны, почти фантастичны, а сам он — всего лишь теоретик. И тогда он делает, вероятно, самый важный в своей жизни шаг, очень смелый и необычный, лучше сказать, не шаг, а «прыжок» в неизвестность — он решает возглавить группу энтузиастов, экспериментаторов и инженеров, которые готовы осуществлять его идеи. Андрей Михайлович сделал этот шаг не без внутренних колебаний и даже страха, и все-таки он решился, решился вопреки настойчивым советам и увещаниям многих близких друзей. Не имея никакого опыта в организации экспериментальных исследований, но и не скованный традициями, Андрей Михайлович выдвигает свои оригинальные идеи и в этой области — как должен жить и развиваться творческий научный коллектив. Так родилась школа Будкера — научный коллектив, который позднее составил ядро новосибирского Института ядерной физики. Вначале, в 1953 г., это была небольшая группа всего из 8 человек. Но эта группа быстро разрастается в одну из самых больших лабораторий (Лабораторию новых методов ускорения) Института атомной энергии, а в 1958 г. превращается в самостоятельный Институт ядерной физики (ИЯФ) молодого Сибирского отделения Академии наук СССР.

Создать стабилизированный пучок не удалось — технические трудности оказались непреодолимыми, эта задача еще ждет своего решения, в будущем. Андрей Михайлович понял это, вероятно, раньше всех. Что делать? Довольно большой уже коллектив напряженно работает с полной отдачей. Как быть? Куда направить этот поток творческой энергии? И он находит решение — встречные пучки! Идея столкновения двух ускоренных пучков уже упоминалась в литературе, но скорее как курьез или недостижимая мечта. Ведь роль плотной мишени обычного ускорителя должен играть здесь разреженный встречный пучок, плотность которого в то время была на несколько порядков меньше, чем плотность самого высокого вакуума. Однако накопленный в лаборатории Андрея Михайловича опыт — изучение физики и создание новой техники интенсивных релятивистских пучков — открыл дорогу для решения этой фантастической задачи получения встречных пучков электронов, а затем — электронов и позитронов. Конечно, взяться за такую работу было большим риском, но риском оправданным, без которого не бывает и серьезных достижений. Решение о создании установок со встречными пучками было принято не сразу. Большую поддержку в этом оказал И. В. Курчатов, поверивший в смелые идеи Андрея Михайловича и творческие силы его коллектива. Так возникло основное направление исследований Института ядерной физики и новое направление экспериментальной физики элементарных частиц. Андрей Михайлович был одним из пионеров этого направления в мировой физике.

В 1965 г. на первой установке со встречными электронными пучками ВЭП-1 были выполнены эксперименты по проверке квантовой электродинамики до расстояний порядка 10^{-13} см, а в 1967 г. на первой установке ВЭПП-2 были проведены первые в мире эксперименты со встречными электрон-позитронными пучками. Это направление оказалось очень плодотворным, и сегодня значительная часть всей фундаментальной информации об элементарных частицах получается именно в таких экспериментах. В 1967 г. Андрей Михайлович и его сотрудники были удостоены за эти работы Ленинской премии.

Работы по встречным пучкам были впервые доложены в 1963 г. на Международной конференции по ускорителям в Дубне и вызвали большой интерес. Сразу же после конференции Институт ядерной физики посетила первая группа иностранных ученых. Это положило начало тесному и плодотворному сотрудничеству Института со многими научными центрами Европы и Америки, сотрудничеству, которое с тех пор постоянно расширяется и углубляется и которому Андрей Михайлович всегда придавал большое значение.

В 1974 г. начались эксперименты на новой установке ВЭПП-2М, которая в старой области энергии (до 2×700 МэВ) обладает очень высокой «светимостью», т. е. высокой частотой столкновений электронов с позитронами. Светимость ВЭПП-2М до сих пор более чем на порядок превышает светимость всех других установок в этой области энергии. Такой результат был достигнут за счет формирования пучков исключительно малых размеров: вместе встречи их высота составляет всего 10 микрон!

В 1966 г. Андрей Михайлович предлагает оригинальный метод демпфирования некогерентных колебаний в пучках тяжелых частиц. Этот метод получил название электронного охлаждения. В 1974 г. эффективность метода была продемонстрирована на экспериментальной установке ИЯФ по охлаждению пучка протонов.

Многие физики с нетерпением ожидали этого результата. Ведь метод электронного охлаждения позволяет сжимать пучки тяжелых частиц и, следовательно, производить многократное накопление таких частиц на магнитной дорожке, что открывает возможность создания установок со встречными протон-антипротонными пучками. Известие об успешной реализации электронного охлаждения быстро распространилось среди физиков. Несколько научных центров приступили, в контакте с ИЯФом, к освоению этого метода, и первые результаты, полученные в ЦЕРНе, подтверждают его высокую эффективность.

Еще при создании первых установок со встречными пучками Андрей Михайлович предложил использовать уникальные свойства синхротронного излучения таких пучков для проведения широкого класса экспериментов в области химии и биологии. В настоящее время в ИЯФе функционирует центр синхротронного излучения, в котором работают сотрудники многих организаций из различных городов Советского Союза. На установках ВЭПП-2М

и ВЭПП-3 построены специальные каналы синхротронного излучения, оснащенные уникальной регистрирующей аппаратурой, тоже созданной в ИЯФе.

Выдвинув идею удержания горячей плазмы в ловушке с магнитными пробками, Андрей Михайлович постоянно возвращался к ней, рассматривая различные аспекты «открытых» термоядерных систем. После начального периода разочарований, вызванных обилием плазменных неустойчивостей, он одним из первых сконцентрировал усилия в этой области на более глубоком и серьезном изучении физики плазмы. После примерно десятилетнего периода интенсивных исследований физики плазмы, проводившихся во многих лабораториях мира, Андрей Михайлович пришел к заключению, что наступила новая фаза решения термоядерной проблемы. В 1968 г. на III Международной конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, проходившей в Новосибирске, он призвал физиков приступить непосредственно к разработке термоядерного реактора. Его мысль состояла в том, что физика плазмы изучена уже достаточно хорошо для того, чтобы можно было искать решение для первого физического термоядерного реактора. Этот призыв Андрея Михайловича оказал большое влияние на развитие термоядерных исследований и, в частности, положил начало серьезному изучению инженерных проблем будущего термоядерного реактора.

Сам Андрей Михайлович выдвинул новый подход к решению этой задачи, суть которого состояла в том, чтобы использовать магнитное поле лишь для уменьшения поперечной теплопроводности плазмы, тогда как ее удержание осуществляется обычными стенками. Для уменьшения теплопроводности вдоль поля предполагалось применить оригинальную «многопробочную» конфигурацию магнитного поля. Идея состояла в том, что скорость расширения плазмы в продольном направлении резко сокращается, если длина свободного пробега частиц становится порядка расстояния между соседними пробками. Проведенные в ИЯФе эксперименты подтвердили эффективность такого метода термоизоляции плазмы.

По идеям Андрея Михайловича в ИЯФе были созданы мощные генераторы импульсных релятивистских пучков, которые впервые в мире были применены для нагрева плазмы. Существенную роль при этом сыграло использование сверхчистой воды в качестве диэлектрика в накопителях энергии для генераторов таких пучков. Эти работы оказали существенное влияние на развитие техники сверхмощных источников энергии.

Вся эта многогранная деятельность должна была, казалось бы, полностью поглотить Андрея Михайловича. Но и это тоже, несомненно, одна из наиболее ярких черт его характера, он упорно ищет приложений, использования всего того, что знает и умеет его Институт, к сегодняшним насущным проблемам народного хозяйства. И Андрей Михайлович находит такие приложения — промышленные ускорители! По его идеям и под его непосредственным руководством разрабатывается целая серия специальных электронных ус-

корителей непрерывного действия со средней мощностью от нескольких киловатт до мегаватта и энергией электронов от нескольких сот килоэлектронвольт до 2 МэВ для радиационной обработки различных материалов. Это позволяет перейти на принципиально новую технологию производства в самых различных областях народного хозяйства. Вот несколько характерных примеров: резкое повышение термостойкости полиэтиленовой изоляции; изготовление специальных термоусаживающихся шлангов из полимерных материалов, «запоминающих» свои первоначальные размеры; дезинсекция зерна; обезвреживание сточных вод; резка и сварка металлов и многое другое.

Так возникла и развивается своеобразная научная тематика и организационная структура Института. Необходимо подчеркнуть, что успехи и достижения Института, широко известные как в нашей стране, так и далеко за ее пределами, явились результатом не только основополагающих идей Андрея Михайловича, но и его повседневной неутомимой работы, неустанного поиска, оригинальных решений множества частных, на первый взгляд мелких, задач, без которых не обходится ни одно крупное дело.

Андрей Михайлович считал, что лучшим методом решения сложной проблемы, будь то в физике, технике или организации, является коллективный поиск путем постоянных всесторонних обсуждений всех возможностей, даже самых фантастических. Такое коллективное творчество должно, конечно, дополняться интенсивной индивидуальной работой каждого из участников. Сам Андрей Михайлович работал исключительно напряженно, всегда и везде, не зная отдыха, даже в последние годы жизни, когда был уже тяжело болен.

Институт был любимым детищем Андрея Михайловича. Он никогда не был просто директором. Институт — это воплощение его творческих замыслов в физике, технике и организации науки. Институт — это также и новая научная школа в физике высоких энергий, ускорительной технике и физике плазмы, школа со своими традициями, принципами и идеалами. Но Институт — это еще и огромный коллектив научных сотрудников и инженеров, рабочих и служащих, коллектив со своей сложной жизнью, которую так хорошо понимал и так умело направлял Андрей Михайлович. В этом плодотворном синтезе — основа Института и залог его успехов, прошлых и будущих.

*Л. М. Барков, С. Т. Беляев, Д. Д. Рютов,
В. А. Сидоров, А. Н. Скринский, Б. В. Чириков*

INTRODUCTORY TALK

W. K. H. PANOFSKY

On April 25, 1978 a Memorial Session was held at Washington meeting of the American Physical Society in memory of Gersh Itskovich (André) Budker who died July 4, 1977. Papers were given at that session by four American physicists whose work closely touched on and benefitted from Budker's work. A telegram was sent the previous day by Professor A. N. Skrinsky, Chairman of the Organizing Committee of a seminar held in Novosibirsk as follows: Please telephone to Professor Panofsky in Washington the following on behalf of colleagues and friends of Professor Budker gathering here in Novosibirsk at the seminar devoted to the sixtieth anniversary of his birthday. We warmly greet our colleagues and friends in America participating in the Budker Memorial Session.

Brilliant physicist, remarkable and attractive personality — he also made great contributions to international collaboration of physicists. We believe that the ideas of Professor Budker will inspire and stimulate our mutual activity for many years.

Sincerely,
Skrinsky
Chairman Organizing Committee

Professor Norman Ramsey, President of the American Physical Society, and I as Chairman of the Memorial Session, replied as follows:

We deeply appreciate your greetings to Budker Memorial Session of American Physical Society. We reciprocate greetings to your birthday and memorial gathering. We share your admiration for Professor Budker's scientific contributions and expect them to provide the basis for major future advances in physics.

May this dual recognition of Budker be a symbol of our continuing close relations.

Norman Ramsey
President American Physical
Society
Wolfgang Panofsky
Chairman Memorial Session

It is indeed a fact that Professor Budker's work has been an important element in the commonality of interest between physicists in the United States and the Soviet Union. When in 1956 it was first possible for American physicists to visit particle accelerator institutions in the Soviet Union, the work of Budker, then at the Kur-