



ГЕРШ ИЦКОВИЦ БУДКЕР  
(1.V.1918 — 4.VII.1977)

PERSONALIA

53(092)

## ПАМЯТИ АКАДЕМИКА БУДКЕРА

1 мая 1978 г. исполняется 60 лет со дня рождения выдающегося советского физика, академика Герша Ицковича (Андрея Михайловича) Будкера, организатора и директора Новосибирского Института ядерной физики, лауреата Ленинской и Государственной премий.

Андрей Михайлович родился 1 мая 1918 г. 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 Андрея Михайловича с самого начала. Он принял ее сразу без оглядки на «здоровый 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 сверхточным ускорителям и термоядерным реакторам.

Андрей Михайлович окончил университет в 1941 г., и прямо с последнего госэкзамена ушел в действующую армию. В полевой зенитной части он сделал свое первое изобретение, усовершенствовал систему управления зенитным огнем. Командир части назвал созданный им прибор АМБ.

После окончания Великой Отечественной войны Андрей Михайлович поступает в теоретический отдел Лаборатории № 2, знаменитой «двойки», руководимой И. В. Курчатовым (ныне Институт атомной энергии имени И. В. Курчатова). Еще совсем молодым физиком он принимает активное участие в решении атомной проблемы. Под руководством И. В. Курчатова и А. Б. Мигдала он выполняет цикл работ по теории конечной уран-графитовой решетки, а также по кинетике и регулированию атомных реакторов.

В связи с 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, разработал методику расчета шиммирования магнитного поля, предложил оригинальные способы эффективного вывода пучка из ускорителя. Эти работы были отмечены в 1951 г. Государственной премией СССР. 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 — физики релятивистской плазмы. В частности, была создана теория релятивистского кинетического уравнения и найдены его решения в так называемом антидиффузионном приближении (при редких столкновениях).

Андрей Михайлович никогда не был «чистым» теоретиком. Помимо особенностей его характера в этом сказалось огромное влияние школы И. В. Курчатова. Поэтому он сразу же стремится использовать замечательные свойства релятивистской плазмы для

решения насущных проблем ускорительной техники. Причем, — и 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 ему удается 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 — проблемы 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. Вначале, в 1953 г., это была небольшая группа всего из 8 человек. Но результаты не заставили себя ждать — уже через несколько лет был создан ускоритель бетатронного типа с током до 100 а, что на два порядка превышало токи лучших ускорителей того времени. Маленькая группа Андрея Михайловича разрастается в одну из самых больших лабораторий (Лабораторию новых методов ускорения) Института атомной энергии, а в 1958 г. превращается в самостоятельный Институт ядерной физики молодого Сибирского отделения Академии наук СССР.

И все же 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, ясны были огромные энергетические преимущества встречных пучков в создании новых тяжелых частиц. Однако идею рассматривали скорее как курьез или недостижимую мечту. Ведь роль плотной мишени обычного ускорителя играет здесь разреженный встречный пучок, плотность которого на несколько порядков меньше, чем плотность самого высокого (в то время) вакуума. Однако накопленный в лаборатории Андрея Михайловича опыт — изучение физики и создание новой техники интенсивных релятивистских пучков — открыл дорогу для решения и 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.

Первая установка со встречными электронными пучками, ВЭП-1, была закончена а уже в Новосибирске. В 1965 г. на ней были выполнены первые эксперименты по проверке квантовой электродинамики до расстояний порядка  $10^{-13}$  см. Между тем Андрей Михайлович выдвигает новую, еще более захватывающую идею создания установки со встречными электрон-позитронными пучками. Центральной проблемой являлось здесь накопление значительного (десятки миллиампер) позитронного тока, для чего требовалось обеспечить «производство» позитронов в большом количестве. Андрей Михайлович настойчиво ищет решение этой задачи, перебирая десятки различных вариантов, изобретая, анализируя, усовершенствуя. И вот рождается простая схема многократного накопления позитронов на магнитной дорожке с использованием радиационного стягивания пучка вследствие синхротронного излучения. Решающим элементом этой схемы была светосильная позитронная оптика, использующая оригинальные параболические линзы и обеспечивающая эффективный сбор позитронов после конвертера. Так возникла установка ВЭПП-2, на которой в 1967 г. 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 частности, этот метод оказался весьма эффективным для проведения «чистых» экспериментов и по изучению сильных взаимодействий. 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 области энергии (до  $2 \times 700$  Мэв) обладает очень высокой «светимостью», а значит, высокой частотой столкновений электронов с позитронами. Светимость ВЭПП-2М ( $2 \cdot 10^{30}$  см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup>) до сих пор более чем на порядок превышает светимость всех других установок в этой области энергии. Такой результат был достигнут за счет формирования неправдоподобно узких пучков: в месте встречи их высота составляет всего 10 микрон!

В 1966 г. Андрей Михайлович предлагает эффективный метод демпфирования некогерентных колебаний в пучках тяжелых частиц, для которых радиационное затухание практически отсутствует. Идея метода очень проста: параллельно пучку тяжелых частиц движется пучок электронов с той же средней скоростью и достаточно низкой температурой. Тогда частота парных столкновений резко увеличивается, и тяжелые частицы «охлаждаются», передавая энергию электронам. Этот метод получил название электронного охлаждения. Эффективность метода была продемонстрирована на экспериментальной установке НАИ по охлаждению пучка протонов с энергией около 100 Мэв: в течение одной десятой секунды протоны удается охладить в этих условиях до температуры  $1/20$  эв.

Многие физики с нетерпением ожидали этого результата. Ведь метод электронного охлаждения позволяет сжимать в поперечном направлении 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 многих стран. Несколько научных центров приступили, в сотрудничестве с ИЯФ, к освоению этого метода.

Рассматривая различные варианты протонного ускорителя для будущих протон-электронных и протон-антипротонных встречных пучков, Андрей Михайлович предложил новый метод перезарядной инжекции. Идея метода состоит в том, чтобы инжектировать в ускоритель отрицательные ионы водорода, которые затем, теряя электроны, превращаются в протоны и, таким образом, необратимо захватываются на магнитную дорожку. Эксперименты, проведенные в ИЯФ, подтвердили высокую эффективность этого метода. Андрей Михайлович предложил также компенсировать циркулирующий в ускорителе пучок протонов электронами с тем, чтобы превысить предел по пространственному заряду протонов. Эксперименты показали, что при определенных условиях, в частности, при достаточно плотной плазме внутри пучка, последний остается устойчивым. Таким методом был накоплен ток, на порядок превышающий предел по пространственному заряду некомпенсированного протонного пучка.

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 ИЯФ 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, также созданной в ИЯФ. Характерным примером таких исследований являются проводимые совместно с Институтом биологической физики АН СССР эксперименты по изучению динамики структурных перестроек молекул живой мышцы лягушки в процессе ее сокращения. В течение цикла сокращения, длящегося около 0,1 сек, удается получить 60 последовательных во времени рентгенограмм.

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, Андрей Михайлович одним из первых сконцентрировал усилия в этой области на более глубоком и серьезном изучении физики плазмы. Он предложил, в частности, исследовать поведение термической плазмы, находящейся с самого начала в термодинамическом равновесии, чтобы избежать турбулизации, характерной для нагрева плазмы мощными электрическими разрядами.

Прошло около 10 лет интенсивных исследований физики плазмы, проводившихся во многих лабораториях мира. Теперь Андрей Михайлович приходит 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, чтобы можно было искать решение для первого физического термоядерного реактора. Этот призыв 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 удержание ее давления 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 ИЯФ эксперименты подтвердили эффективность такого метода термоизоляции плазмы.

По идеям Андрея Михайловича в ИЯФ были созданы мощные генераторы импульсных релятивистских пучков, впервые использованных для нагрева плазмы. Существенную роль при этом сыграло применение 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 ему этого было мало — и это тоже, несомненно, одна из наиболее ярких черт его характера — он упорно ищет немедленных приложений, использования всего того, что знает и умеет его Институт, к сегодняшним насущным проблемам народного хозяйства, и находит — промышленные ускорители! Эти скромные установки не поражают воображение ни своими размерами, ни энергией частиц. Однако они очень нужны промышленности, и Андрей Михайлович отдает значительную часть своего времени, своей энергии и изобретательности на развитие этого направления в Институте. Начиная с 1963 г. под его непосредственным руководством разрабатывается и изготавливается целая серия специальных электронных ускорителей со средней мощностью от нескольких киловатт до мегаватта и энергией электронов от нескольких сотен киловольт до 2 Мэв для радиационной обработки 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. Как правило, он и находил нужное решение.

Андрей Михайлович был не только выдающимся физиком, но и замечательным Учителем. Потребность учить других его любимой науке, открывать не только физические законы, но и человеческие таланты и воспитывать из них будущих исследователей была неотъемлемой чертой его многогранной личности. Андрей Михайлович начал преподавание еще совсем молодым физиком, на только что организованном физико-техническом факультете Московского университета. Именно здесь он отобрал своих первых учеников. С переездом в Новосибирск Андрей Михайлович принимал активное участие в организации Новосибирского университета. Он поставил оригинальный курс общей физики, организовал и возглавил кафедру общей физики, а затем и кафедру ядерной физики. По его инициативе в Новосибирском электротехническом институте был создан специальный физико-технический факультет, подготовивший немало талантливых инженеров-физиков. Андрей Михайлович и его ученики активно участвуют в организации и проведении Всесибирских физико-математических олимпиад школьников, преподают в физико-математической школе при Новосибирском университете. Но, конечно, главная школа будущих исследователей и инженеров — это Институт ядерной физики, это полноправное участие студентов в научной работе,

это семинары, дискуссии, споры. И уж особенно повезло тем, кому посчастливилось работать непосредственно с Андреем Михайловичем. Он не признавал в науке ни табелей, ни рангов и требовал только одного — не «сотрясать воздух», а вкладывать в каждое слово мысль, не оставаясь в плену формальных силлогизмов. В награду за это он щедро раскрывал свои самые сокровенные мысли, выношенные многими ночами напряженных раздумий, оригинальные представления, неожиданные параллели и аналогии, мудрые наставления человека, прожившего большую и сложную жизнь. Особенно интересно проходили заседания Ученого совета Института, который собирается каждую среду в 12 часов за «Круглым столом», символизирующим недопустимость административных решений в науке. Стремясь привлечь к обсуждению и решению важнейших научных и организационных вопросов работы Института как можно больше сотрудников, в том числе и совсем молодых, Андрей Михайлович создал в последние годы еще три тематических Ученых совета, которые собираются также еженедельно.

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. Он соединял в себе ученого, изобретателя, организатора. В этом плодотворном синтезе — основа Института и залог его успехов, прошлых и будущих.

*А. П. Александров, Л. М. Барков, С. Т. Беллев,  
Я. Б. Зельдович, Б. Б. Кадошцев, А. А. Логунов,  
М. А. Марков, Д. Д. Рютков, В. А. Сидоров,  
А. Н. Скрипский, Б. В. Чириков,*