

“МОЯ ПРОФЕССИЯ – ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА”
К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА С.Т. БЕЛЯЕВА

© 2023 г. В. Г. Зелевинский^{а,*}

^аУниверситет штата Мичиган, Ист Лансинг, Мичиган, США

*E-mail: zelevins@frib.msu.edu

Поступила в редакцию 02.05.2023 г.

После доработки 06.06.2023 г.

Принята к публикации 11.09.2023 г.

В статье, во многом основанной на воспоминаниях её автора, представлены вехи биографии, черты неординарной личности, научные достижения Спартака Тимофеевича Беляева (1923–2017) – выдающегося физика-теоретика, известного своими основополагающими работами по квантовой теории систем многих тел и ядерной физике. После окончания школы в 1941 г. он в рядах действующей армии прошёл всю войну. Защитив в 1952 г. диплом Московского физико-технического института, работал в Институте атомной энергии, затем в новосибирском Институте ядерной физики АН СССР (ныне ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН), с 1965 по 1978 г. был ректором Новосибирского государственного университета. После возвращения в Москву до последних дней жизни работал в теоретическом отделе Курчатовского института. В 1968 г. избран действительным членом Академии наук. За свои научные достижения удостоен престижных наград, в том числе Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова РАН.

Ключевые слова: С.Т. Беляев, ядерная физика, квантовая теория систем многих тел, Бозе конденсат, парные корреляции, Новосибирский государственный университет, Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова АН СССР.

DOI: 10.31857/S0869587323100122, EDN: HFAYAE

Спартак Тимофеевич Беляев родился в Москве 27 октября 1923 г. Его необычное имя в сочетании с традиционным русским отчеством говорит об эпохе – необычные имена были распространёнными в поколении, рождённом в первые послереволюционные годы (упомяну для примера, что в теоретическом отделе Курчатовского института работали доктора физико-математических наук Вилен Митрофанович Струтинский и Альфред Иванович Базь, оба из того же поколения).

Я хорошо помню маму Спартака Тимофеевича, Евдокию Тихоновну, и могу предположить, что именно от неё он унаследовал особую жизненную силу. Окончив школу буквально накануне войны, Беляев уже в августе 1941 г. вступил добровольцем в действующую армию. В своей книге “Моя профессия – теоретическая физика” [1] он позволил себе упомянуть несколько фронтовых эпизодов, но иногда, в тесном кругу, делился

ЗЕЛЕВИНСКИЙ Владимир Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор Университета штата Мичиган.



Спартак Тимофеевич Беляев. 1977 г.



В годы Великой Отечественной войны

и другими воспоминаниями о тех годах. Со своей полевой передвижной радиоустановкой он испытал все ужасы войны, прошёл её тяжкими дорогами до Берлина, пережил трагическое отступление на Дону и в кавказских горах в 1942 г., а май 1945-го встретил в центре столицы поверженной нацистской Германии.

После войны, отказавшись от военной карьеры (а ему предлагали её продолжить) и хорошо помня уроки своего замечательного школьного учителя И.Я. Танатара, в 1946 г. он поступил на физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова и вскоре после поступления перешёл на только что образованный физико-технический факультет МГУ (на основе этого факультета в 1951 г. был организован Московский физико-технический институт, поэтому диплом Беляев защищал уже в МФТИ).

Уже в 1949 г., будучи студентом четвёртого курса, Беляев начал работу в легендарной Лаборатории измерительных приборов Академии наук (ЛИПАН), которая в 1956 г. была преобразована в Институт атомной энергии АН СССР, спустя четыре года получивший имя И.В. Курчатова. Ему повезло: он стартовал в науку в тесном контакте с замечательным созвездием таких ярких (и очень разных) гениев, как Герш Будкер, Аркадий Мигдал и Виктор Галицкий.

Как Беляев вспоминал позднее, “атмосфера была очень демократичной, дискуссии свободными и зачастую весьма оживлёнными, ясно об-

наруживая и подчёркивая индивидуальные характеры: утончённую интеллигентность и безупречную корректность Б.Т. Гейликмана, те же черты (за исключением случаев крайнего возбуждения) В.М. Галицкого, темпераментную самоуверенность А.Б. Мигдала”.

Тема дипломной работы – выяснить причины потерь пучков в циклотроне – способному студенту была предложена Будкером. По словам С.Т., сначала Будкер проявлял интерес к его вычислениям, но когда дело дошло до конформных отображений для описания электромагнитных полей, понял, что дело идёт на лад, и, потеряв к работе своего дипломника первоначальный интерес, предоставил С.Т. самому себе.

После защиты диплома Беляев был зачислен в штат отдела А.Б. Мигдала, где в то время под руководством Л.А. Арцимовича и М.А. Леонтовича шла интенсивная и строго секретная работа по физике плазмы и термоядерной проблеме. С.Т. вспоминал, что он работал очень напряжённо, “не глядя по сторонам”. Затем по предложению Леонтовича и Мигдала Беляев в течение четырёх лет работал с Будкером. По словам Спартака Тимофеевича, эти годы были чрезвычайно плодотворными. Именно тогда он вырос в физика-теоретика высокого класса. (Те, кто прошёл войну, росли и созревали в науке много скорее, чем нынешняя молодёжь.)

Природный талант Беляева развивался очень быстро и успешно, как бы в компенсацию за пять упущенных лет. Труды женеvской конференции “Физика плазмы и проблема контролируемых термоядерных реакций” (1958) содержат пять его рассекреченных работ, которые ярко свидетельствуют о крупных теоретических достижениях в разных направлениях. В 1958–1962 гг., занимаясь исследованиями и в Москве, и проведя год в Институте Нильса Бора в Копенгагене, С.Т. получил мировую известность за работы по теории многих тел и структуре ядра. Позднее они принесли ему золотую медаль им. Л.Д. Ландау РАН (1998), медаль Юджина Финберга (2004), Большую золотую медаль имени М.В. Ломоносова РАН (2010), премию им. И.Я. Померанчука (2012).

Первая заметная публикация Беляева (совместно с Будкером) (1956) посвящена релятивистскому кинетическому уравнению, используемому для описания динамики взаимодействующих частиц в плазме [2]. Оказывается, при теоретическом рассмотрении здесь легко нарушить требования теории относительности и допустить распространение сверхсветовых сигналов. Много лет спустя, уже в Мичиганском университете, мне довелось видеть свежую диссертацию, где была допущена именно такая ошибка.

В августе 1958 г. ведущий советский физический журнал – “Журнал экспериментальной и

теоретической физики” опубликовал сразу две статьи Беляева [3, 4]; фактически это были два раздела одной большой работы, выдвинувшей его в первый ряд активно работающих физиков-теоретиков. Её значимость была сразу понята и за границей, один из создателей квантовой электродинамики Фримен Дайсон перевёл статью на английский.

В конце 1950-х годов на базе только что организованного Сибирского отделения АН СССР возник и стал быстро развиваться новый научный центр – новосибирский Академгородок. Руководимый М.А. Лаврентьевым, С.Л. Соболевым, С.А. Христиановичем и другими известными учёными, при поддержке Н.С. Хрущёва Академгородок стал одним из лучших мест (по моему небеспристрастному мнению, лучшим) для развития науки и творческого роста молодёжи. Здесь, в Новосибирске, сравнительно далеко от московской бюрократии, весь стиль существования был более раскрепощённым, чем в столице. Эта раскрепощённость пропитывала не только собственно науку, но и самоорганизацию жизни, свидетельством чему были клубы по интересам, свободные дискуссии на научные и иные темы, некое ощущение общего движения вперёд и личной ответственности за будущее науки и страны. Увы, со временем давление новосибирского и московского чиновничества меняло атмосферу академгородка, энтропия росла, приводя и здесь формы научной и общественной жизни к стандартному единообразию.

Поддержанный И.В. Курчатовым вновь созданный и быстро ставший самым большим в Академгородке Институт ядерной физики (ИЯФ) во главе с Г.И. Будкером был совершенно уникальным образованием. Институт отпочковался от столичного Института атомной энергии как расширенная лаборатория Будкера и зажил своей собственной новой жизнью. Два основных направления – ускорители элементарных частиц на встречных пучках и плазменные установки для термоядерных реакций – сразу вывели ИЯФ на передовые позиции в мировой науке. Но Институт ядерной физики проявлял уникальные черты и в своём внутреннем устройстве. Руководимый мудрым Будкером через “беспорядочную внутреннюю демократию”, при обилии молодых талантливых физиков и далеко от московской бюрократии, институт быстро обрёл известность, став одним из крупнейших мировых физических центров.

С.Т. много работал с Будкером ещё в Курчатовском институте, после Физтеха. Позже он вспоминал, что правила Физтеха требовали от студентов старших курсов реальной практики в серьёзном исследовательском институте. Сначала, по его словам, это была как бы диффузия по

экспериментальным лабораториям. Здесь можно отметить участие Беляева в работах по источникам поляризованных ядер для ускорителей, первое серьёзное соприкосновение с ядерной физикой, после чего он нашёл своё место в теоретическом отделе. Г.И. Будкер – генератор идей, называвший себя релятивистским инженером, увидел в С.Т. быстро растущего физика-теоретика, способного поймать рациональное зерно в постоянно идущих беспорядочных теоретических обсуждениях и дать ему вызреть в новую главу знаний.

К тому времени квантовая теория поля, особенно квантовая электродинамика, достигла серьёзных успехов, объединив различные подходы и построив язык фейнмановских диаграмм, позволяющий классифицировать и суммировать вклады сложных процессов в наблюдаемые физические величины. Естественным развитием стало применение аналогичного подхода к статистическим проблемам квантовой теории систем многих тел – газов, жидкостей, твёрдого тела, в том числе металлов и полупроводников. Стартовой точкой здесь служит модель независимых частиц, а диаграммная техника позволяет включить реальные взаимодействия между частицами, сначала как слабые возмущения, а затем шаг за шагом суммировать их эффекты.

Физика и соответствующая диаграммная техника различаются в применении к Ферми- и Бозе-системам. Фермионы, как электроны в металлах и полупроводниках или нуклоны в ядрах, подчиняются принципу Паули (не больше одной частицы на квантовое состояние). Бозоны, как атомы газа (с целочисленным спином) или в жидком гелии, могут накапливаться в нижнем квантовом состоянии (конденсат, который в идеальном газе при температуре абсолютного нуля плотил бы все частицы).

Первые фундаментальные применения новой диаграммной техники (метод функций Грина) к задачам макроскопической физики практически одновременно удались теоретикам Курчатовского института Галицкому и Мигдалу для фермионов и Беляеву для бозонов (результаты были опубликованы в двух соседних выпусках “ЖЭТФ”). Эти работы открыли по существу новую ветвь теоретической физики для квантовых макроскопических систем, сегодня мы видим их изложение в первых главах университетских учебников. Основная идея, использованная С.Т. для Бозе-газа, заключалась в рассмотрении конденсата как классического резервуара атомов, которые могут в процессе взаимодействия с остальными частицами приобретать ненулевой импульс и возвращаться в надконденсатное состояние. Эта динамика с несохранением числа живых частиц в присутствии конденсатного источника вносила

новые черты в теорию и в соответствующую технику вычислений. Предсказанная Беляевым неустойчивость волновых возбуждений (фононов) с их распадом на два была экспериментально обнаружена только недавно в современных установках с атомными ловушками.

Фундаментальный результат о существовании конденсата не только в идеальном газе, но даже в системе со взаимодействием потребовал сформулировать идею спонтанно нарушенной симметрии, в данном случае фазы конденсата. Построенная в связи с этим диаграммная техника с так называемыми аномальными пропагаторами стала важным инструментом в теоретическом арсенале физики сложных систем и квантовой теории поля. Более общая теория спонтанно нарушенной симметрии лежит в основе современной стандартной модели элементарных частиц и их взаимодействий. С.Т. нравилась эта идея, и неслучайно много позже своё выступление на конференции в Санта-Фе (штат Нью-Мексико, США) в 2004 г. при вручении ему медали Финберга он назвал “Физика многих тел и спонтанное нарушение симметрии” [5]. В том же духе и примерно в то же время построил свой подход к теории сверхпроводимости Л.П. Горьков (он удостоился медали Финберга одновременно с Беляевым). Грустно вспоминать, что оба они и ушли из жизни почти одновременно, с интервалом в неделю; два некролога появились в одном номере “Physics Today”.

Перечитывая теперь классические статьи Беляева о системах бозонов, можно заметить, что его стиль отличается лаконичностью и особым искусством (даже специальным вкусом) введения нужных обозначений. Годы спустя, работая над какими-то текстами, я ловил себя на многословии, вспоминал уроки Беляева и начинал сокращать и менять аргументацию и обозначения.

И.В. Курчатов хорошо понимал необходимость реальных рабочих контактов с мировой наукой. После сталинских времён крайне важным представлялось активное участие советских физиков в Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии (сентябрь 1958 г.) с рассекречиванием ряда работ Института атомной энергии АН СССР по физике плазмы и термоядерных реакций. Тогда многим казалось, что эра термоядерной энергии, которая позволит решить важнейшие проблемы человечества, уже не за горами. Пять статей Беляева вошли в труды конференции, в том числе совместная с Будкером работа о многоквантовой рекомбинации в ионизованном газе как пример стохастического процесса и статья о кинетике ионизованного газа в сильном магнитном поле. Развита в первой из этих работ глубокая идея рассмотрения многоквантовой рекомбинации как диффузии в про-

странстве энергии позднее широко использовалась в квантовой оптике. Вторая работа интересна своим подходом: в магнитном поле траектория заряженной частицы представляет собой винтовую линию, навивающуюся на силовые линии поля. В сильном поле радиус поперечной орбиты уменьшается, и весь объект ведёт себя как некая новая частица, движущаяся вдоль магнитного поля. Беляев свёл задачу к кинетике таких частиц, которые он назвал “ларморонами” (по имени теоремы Лармора о движении заряда по винтовой линии в магнитном поле).

Следующим шагом Курчатова, который помог открыть новую главу в жизни Беляева, стала договорённость Игоря Васильевича с Нильсом Бором о долговременных визитах молодых физиков в Институт Бора в Копенгагене. В 1957–1958-м Беляев провёл в общей сложности год в этом институте, который, как он писал позже, в течение десятилетий был Меккой для физиков всего мира. Сам образ жизни в институте Бора был, по словам С.Т., впечатляющим: “поражала демократичность, отсутствие барьеров между маститыми и начинающими, неназойливая забота о каждом госте, и не только о его работе, но и отдыхе, вживании в копенгагенский быт” [6]. Эта норма жизни организации сохранилась и в последующем, уже без Нильса Бора, как мне самому посчастливилось почувствовать (в 1979–1980, 1991–1992 и 1995 гг.).

Именно здесь окончательно сформировались собственный стиль С.Т. и его научное мировоззрение: в теоретической физике формулы должны не заслонять, а подчёркивать и логически развивать ясную физическую картину явления. Как предельный случай мудрой простоты изложения он упоминал книгу Бора о прохождении атомных частиц через вещество (А.Д. Галанин перевёл её на русский в 1950 г.) и его классическую работу, которая не содержит ни одной формулы, о составном (“компаунд”) ядре после захвата медленного нейтрона. Известная иллюстрация этого процесса (ядро в виде бильярдной тарелки со сталкивающимися шариками, куда попадает лишний шарик) использовалась многими авторами. (Сознаемся в собственном грехе – с моим соавтором А. Волей мы взяли эту картинку, перерисованную Н. Андреевой, для иллюстрации квантового хаоса в недавно вышедшей книге “Mesoscopic Nuclear Physics”.) Не зря Эйнштейн назвал стиль Бора наивысшей музыкальностью в области мысли.

Спартак Тимофеевич неоднократно говорил (и писал в специальном номере журнала “Импакт”, посвящённом столетию со дня рождения Нильса Бора) о ценности подхода Бора к философским проблемам физического миропонимания. Его принцип соответствия говорит о диалек-

тике взаимоотношений известной научной теории и её обобщений в новых, более глубоких, теориях. В соседней статье того же выпуска журнала “Импакт” (автор Карен Коул) приводится родственное по смыслу высказывание другого известного физика, Эмилио Сегре: “Одна из самых привлекательных особенностей науки в том и состоит, что точки зрения, кажущиеся диаметрально противоположными, впоследствии, в более широкой перспективе, оказываются одинаково верными”. Принцип дополнительности, сформулированный первоначально в ходе дискуссий, связанных с соотношениями квантовой неопределённости, приобрёл в понимании Бора более широкое значение. С.Т. любил рассказывать, какое глубокое впечатление произвёл на него ответ Бора на студенческий вопрос: что служит дополнением к понятию “истина”? Вместо ожидаемого “ложь” Бор ответил: “ясность”. Это можно понимать по-разному, но мне кажется, что истина в науке (и вообще во многих сферах человеческой деятельности) всегда многогранна, в то время как ясность видит только одну грань, но зато очень отчётливо.

Собственная работа Беляева в Институте Бора была исключительно успешной, хотя и в новой для него области теоретической физики — теории ядерной структуры, ставшей для него основной сферой научных интересов в последующие годы. К концу 1950-х годов уже удалось накопить обширный экспериментальный материал по ядерным реакциям и квантовым уровням энергии различных ядер, но ощущалась нехватка общих идей, которые позволили бы понять систематическое поведение ядерных спектров и электромагнитных характеристик ядер.

В те годы проблемы ядерной структуры были одним из основных направлений, развиваемых в Институте Нильса Бора. В центре теоретических исследований по структуре ядер стояли два выдающихся физика — Оге Бор (сын Нильса Бора) и приехавший из США Бен Моттelson, оставшийся в Дании навсегда. Внешне очень разные, несколько флегматичный Бор и живой, быстро реагирующий Моттelson, они выработали общий стиль работы, хорошо понимая друг друга.

Стоит сказать несколько слов о состоянии ядерной теории в то время. Основой её дальнейшего развития явилась теория ядерных оболочек, предложенная в конце сороковых годов Марией Гепперт-Майер и независимо от неё Хансом Йенсенем, написавшими потом совместно классическую книгу “Элементарная теория ядерных оболочек” [7] и получившими Нобелевскую премию в 1963 г. Хотя аналогию квантовых уровней нуклонов (протонов и нейтронов) в ядрах с оболочками, заполняемыми электронами в атомах, были очевидны и раньше, не удавалось объяснить по-

следовательности магических ядер — таких, где оболочка заполнена, ядра особенно устойчивы и возникает заметный энергетический просвет до следующей оболочки. Решающей оказалась идея (по легенде, впервые высказанная Э. Ферми) о сильной, в отличие от атомов, связи орбитального движения нуклонов с их спином. Нуклонные уровни энергии расщепляются и дают правильные магические числа.

О. Бор и Б. Моттelson сделали следующий важный шаг в понимании ядерной структуры: они показали, что при накоплении нуклонов в оболочке сверх магического числа происходит изменение формы ядра — вместо сферического оно становится деформированным, наподобие эллипсоида (сейчас мы знаем, что и более сложные деформации, например грушевидные, тоже возможны). В 1975 г. они были удостоены Нобелевской премии (совместно с американским физиком Джеймсом Рейнуотером). Деформированное ядро приобретает выделенные геометрические оси, и в результате возникают характерные серии вращательных уровней энергии с простыми закономерностями расстояний между ними.

Оставалась одна фундаментальная проблема ядерной структуры. Давно было известно, что чётно-чётные ядра (с чётными числами протонов и нейтронов) более устойчивы, чем ядра, где число нуклонов хотя бы одного сорта (или тем более обоих сортов) нечётно. Это обстоятельство играет важнейшую роль во всех вопросах, связанных с использованием ядерной энергии деления урана. Ядра наиболее распространённого изотопа уран-238 как раз чётно-чётные и не делятся медленными нейтронами, в то время как деление возможно для нечётного изотопа уран-235, который содержится лишь в малой доле в естественной смеси изотопов урана. Именно этот фактор диктует необходимость решения сложнейшей проблемы обогащения урана.

В 1958 г. Оге Бор, Бен Моттelson и Дэвид Пайнс высказали предположение, что в ядрах существуют парные корреляции такого же типа, как парные корреляции электронов в сверхпроводящих металлах, сочтя свою идею возможной аналогией. Годом ранее теория низкотемпературной сверхпроводимости была построена Джоном Бардином, Леоном Купером и Робертом Шриффером, за что они удостоились Нобелевской премии 1972 г. Вероятно, это пример самой долгой задержки теоретического объяснения важного физического явления после экспериментального его открытия (сверхпроводимость была обнаружена в лаборатории Г. Камерлинг-Оннеса Лейденского университета в 1911 г.). Сверхпроводимость возникает благодаря образованию коррелированных электронных пар, что оказывается энергетически выгодным, если существует хотя

бы слабое притяжение между электронами, превышающее их кулоновское отталкивание (эффект Купера, 1956). Кстати, до сих пор отсутствует общепринятая теория высокотемпературной сверхпроводимости в некоторых сложных соединениях (она открыта К.А. Мюллером и Й.Г. Беднорцем в 1986 г., за что в 1987 г. они были удостоены Нобелевской премии) или под высоким давлением.

Полную теорию парных корреляций в ядрах Беляев построил во время своего пребывания в Институте Бора. Посвящённая ей статья в 1959 г. была опубликована в отдельном выпуске бюллетеня Датской академии наук [8] и послужила основой докторской диссертации С.Т., которую он защитил в 1962 г. До сих пор этот объёмистый текст остаётся в списке наиболее цитируемых в ядерной физике. Он содержит полный математический аппарат и детальный анализ возникающих благодаря парным корреляциям новых физических явлений. В отличие от куперовского спаривания в макроскопических сверхпроводниках, в ядрах парное притяжение должно быть достаточно сильным, чтобы спаривание осуществилось. Беляев предсказывает критическую силу необходимого для этого взаимодействия.

Парные корреляции не только влияют на устойчивость ядер (вспомним пример изотопов урана), но и меняют многие наблюдаемые ядерные характеристики. Типичным примером может служить ядерное вращение. Идеально сферический квантовый объект не имеет вращательных возбуждённых состояний — возможные естественные оси вращения отсутствуют. Выше упоминалось, что ядра могут быть деформированными. Если, например, ядро получило форму эллипсоида вращения, имеет смысл говорить о его вращении вокруг оси, перпендикулярной оси симметрии. Вращательные состояния образуют, как в молекулах, полосы уровней с растущим угловым моментом. Энергии вращательных полос, как в классической механике твёрдого тела, обратно пропорциональны моменту инерции системы. Существует теорема, что в системах фермионов момент инерции, с точностью до флуктуаций, такой же, как у классического тела такой же формы. Фактически оказалось, что наблюдаемый момент инерции деформированных ядер, определяемый по расстояниям между уровнями вращательных полос, заметно меньше. Теория Беляева предсказывает этот эффект и даёт правильные значения. По мере роста вращательной энергии парные корреляции слабеют, пары разрываются, и момент инерции приближается к нормальному твердотельному значению.

Значительно позже, с развитием экспериментальной техники с использованием лазеров и сверхнизких температур, начались (и продолжа-

ются) детальные исследования коллективных явлений в естественных и экспериментально созданных атомных и молекулярных системах с многообразными применениями (к атомным часам, магнетизму, квантовой химии, поиску тёмной материи и т.д.). Одно из интересных направлений — так называемый “BCS–BEC” переход (BCS здесь означает фермионный газ со сверхпроводимостью, описываемый упомянутой выше теорией Бардина, Купера, Шриффера). При более сильном взаимодействии спаривание превращает куперовские пары в тесно связанные настоящие бозоны, которые образуют бозе-эйнштейновский конденсат (BEC). Теория Беляева показывает, что при таком переходе вращательные свойства системы заметно меняются; например, момент инерции такого ядра в форме эллипсоида был бы мал, определяясь только вращением деформированных “шапочек” эллипсоида.

После возвращения из Копенгагена ядерная физика на много лет стала основной ареной теоретической работы Спартака Тимофеевича. Атомное ядро — живая самоподдерживающаяся система взаимодействующих протонов и нейтронов, пар и неспаренных частиц. Кроме коллективного вращения, взаимодействие может возбуждать поверхностные волны и колебания плотности. Все такие коллективные явления несут отпечатки существующих парных корреляций, постепению ослабевающих по мере роста энергии возбуждения. Эта сложная многочастичная физика необходима для понимания и предсказания результатов ядерных реакций в лаборатории и в космосе. Для меня вся эта область, совершенно мне незнакомая после моего университетского курса теоретической физики, стала главным интересом, когда судьбе было угодно познакомить меня с С.Т. и привести в Курчатовский институт.

После первого года моей аспирантуры в Курчатовском институте, Галицкий и Беляев были приглашены переехать в Сибирь (сначала они совершили пробную поездку, которая убедила их принять такое решение). Незадолго до этого как одно из основных научных учреждений начинающего свою жизнь Новосибирского научного Центра в нём открылся Институт ядерной физики. Как уже упоминалось, в его создании важную роль сыграл Игорь Васильевич Курчатов. По-видимому, это объяснялось его желанием дать реальный простор для практической реализации невероятной концентрации идей, генерируемых научным талантом Г.И. Будкера, который возглавил новый институт (ныне он носит его имя). С.Т. Беляев, В.М. Галицкий и Р.З. Сагдеев возглавили теоретические работы в ИЯФе. Главными направлениями исследований здесь стали первые коллайдеры (электронные и электрон-позитронные ускорители на встречных пучках вы-

сокой энергии) и новые конструкции для термоядерной плазмы.

Оглядываясь назад, могу оценить, как повезло мне тогда переехать в новосибирский Академгородок. В то время это было царство научной молодёжи. Радость свободной мысли, юные лица сверстников-энтузиастов, счастье думать, изобретать и высказываться — всё это в самом деле было, как ни трудно поверить сейчас, да и мало уже осталось свидетелей тех уникальных лет...

Галицкий, Беляев и Сагдеев создали в ИЯФе очень сильный теоретический отдел; несколько молодых тогда физиков впоследствии стали академиками и членами-корреспондентами Академии наук. После того как спустя несколько лет Галицкий вернулся в Москву, С.Т. возглавил теоретический отдел. Пересекающиеся научные интересы, общая молодость и схожесть жизненных установок способствовали поддержанию особой, незабываемой атмосферы работы и дружеских контактов. Этому в большой степени способствовал характерный стиль С.Т. — внимание к каждому, одобрение и поддержка в сочетании с открытой, иногда даже немного насмешливой, но не обидной критикой идей и индивидуальных результатов.

Конечно, такая обстановка на верхнем этаже ияфовского здания (весь этаж был занят теоретиками) могла установиться и долго сохраняться только в условиях того стиля общей “неупорядоченной внутренней демократии”, который был создан Будкером как естественный образ жизни всего коллектива института и надолго пережил своего создателя. Институт управлялся советом, который собирался еженедельно в полдень по средам за большим круглым столом (он присутствует в нескольких кинофильмах как символ института) и обсуждал все проблемы, институтские, государственные и мировые, за чашкой кофе. В другие дни недели, в то же время и за тем же круглым столом, собирались проблемные советы второго уровня по отдельным направлениям (их обсуждение велось в том же стиле и с тем же кофе). Дискуссии бывали очень жаркими, Будкеру могли возражать, иногда даже не слишком вежливо. Он не обижался, хотя бывал явно огорчён, если его идеи не принимались.

С.Т. чувствовал себя совершенно естественно в этих условиях — ему, видимо, вполне импонировал такой стиль жизни. Он играл важную роль в регулярных дискуссиях и научных оценках экспериментальной программы института и появлявшихся новых физических результатах. Со своим долготлетним опытом работы с Будкером он воспринимал эту беспорядочную демократию как норму жизни в науке.

Вскоре Беляев был избран членом-корреспондентом Академии наук (1964), а ещё через не-

сколько лет (1968) — академиком и возглавил академический Совет по ядерной физике. Он остро почувствовал, что постоянно растущий вес его общественных обязанностей, не всегда очень осмысленных, не способствует его привычной научной продуктивности, хотя он старался найти как можно больше времени для собственной теоретической работы. Когда суббота ещё была рабочим днём, он, не отвлекаясь, усиленно работал по воскресеньям. Хорошо помню, как очень часто в воскресный день я приходил к нему домой и с раннего утра до позднего вечера с коротким обеденным перерывом мы, сидя напротив друг друга за большим рабочим столом, занимались параллельными вычислениями. Позже, когда в институте у меня появился собственный рабочий стол, Беляев, приходя утром, каждый раз задавал вопрос: “Что нового?” И часто слышал ответ: “Ничего...” Серьёзных последствий этот грустный ответ не имел, но, конечно, мне очень хотелось на следующее утро представить С.Т. что-то новое.

Жизнь Спартака Тимофеевича заметно изменилась, когда в 1965 г., несмотря на его сопротивление, его выбрали ректором молодого Новосибирского государственного университета (НГУ). Студенты того времени вспоминают его ректорство с теплотой и ностальгией (в интернете путешествуют фотографии, сделанные в День физика, где С.Т. успешно играет роль полноправного участника студенческого праздника). Беляев вложил много сил в развитие университета, что способствовало росту международного авторитета НГУ.

Новосибирский университет отбирал одарённую молодёжь отовсюду восточнее Урала и даже из европейской части страны, обучал, воспитывал и вовлекал в передовую науку. Рядом и в тесном контакте с университетом начала работать физико-математическая школа, имевшая продвинутую программу по многим направлениям, включая биологию. Многие “физматшкольники” приглашались по результатам олимпиад, проводившихся ежегодно в Сибири и на Дальнем Востоке. Сегодня питомцы НГУ и физматшколы, ставшие настоящими учёными, успешно работают в России и во многих крупных мировых центрах. Во всех международных обзорах, посвящённых сравнению и градации университетов разных стран, Новосибирский университет занимает высокое место, наряду с Московским и Санкт-Петербургскими университетами (а иногда и выше). Две основных компоненты этого успеха — тесное взаимодействие НГУ с академическими институтами как естественной базой приобщения студентов к живой науке и разработка актуальных учебных программ, включая (уже в то время) использование вычислительной техники, зачастую собственного изготовления, — в большой степени заслуга Беляева и энтузиастов-преподавателей,



На студенческом карнавале в Новосибирском государственном университете. 1967 г. Фото из архива СО РАН

в основном сотрудников академических институтов.

Конечно, университет отнимал массу времени от творческой работы. С прискорбием должен сознаться, что однажды я обидел С.Т., сказав об этом вслух и, по-видимому, в неподходящий момент. Дело было в октябре 1973 г., за столом, собравшимся отметить пятидесятилетие Спартака Тимофеевича. Каким-то образом мне в руки попал его довоенный школьный дневник. В качестве поздравления я прочитал запись его школьной учительницы, что-то вроде “опять занимался на уроке посторонними делами”, с явным намёком на продолжение нездоровой традиции. Между тем С.Т. предпринимал героические усилия, чтобы найти время и силы для продолжения научного творчества, которое считал для себя главным в жизни.

Несмотря на загруженность административными делами, ему в значительной степени удавалось продолжать теоретическую работу. Новый советский научный журнал “Ядерная физика” открыл свой первый номер статьёй Беляева о коллективных эффектах в ядрах [9]. С.Т. более подробно рассказал о деталях теории в лекциях, прочитанных в школе Международного агентства по атомной энергии. На английском языке выходит его небольшая, но очень богатая идеями и результатами книга “Коллективные возбуждения ядер”, оставшаяся, к сожалению, малоизвестной и недооценённой [10]. Мне повезло ещё поработать с ним в эти годы, в частности, удалось найти способ показать, как вращение ядер можно анализировать в виде их внутреннего возбуждения, без использования внешней крутящей силы (так

называемая процедура cranking). Последней нашей серьёзной совместной публикацией была большая статья в журнале “Успехи физических наук” (1985), посвящённая столетию со дня рождения Нильса Бора [11]. Мы писали о его роли в плодотворном развитии физики атомного ядра (эта статья включена в упомянутую ранее книгу С.Т.).

Особо надо упомянуть небольшую совместную работу С.Т. Беляева, Г.И. Будкера и С.Г. Попова о возможности и перспективах использования накопительных колец с тонкими внутренними мишенями [12]. В конце восьмидесятых годов в Институте ядерной физики группа молодых энтузиастов действительно построила такую установку. Электронное накопительное кольцо пронизывается пучком изучаемых ядер; регистрируются продукты их взаимодействия. Веские аргументы С.Т. в защиту этой идеи помогли её реализации. Уже первые эксперименты принесли интересные результаты: например, наблюдался уникальный процесс деления электронами ядра кислорода на четыре альфа-частицы (ядра гелия). Наличие такой кластерной структуры в ядрах углерода и кислорода (вероятно, и в более тяжёлых ядрах) очень важно для процессов нуклеосинтеза в астрофизике.

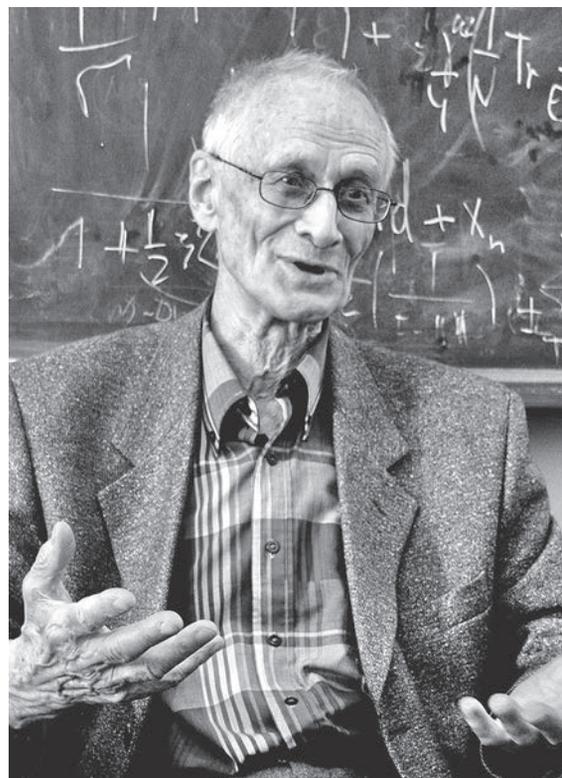
С открытием страны начались регулярные рабочие контакты со многими иностранными лабораториями. В частности, группа Роя Холта из Аргоннской национальной лаборатории Министерства энергетики США принимала активное участие в экспериментах на этом накопительном кольце, изучались тонкие эффекты структуры легчайшего ядра – дейтрона (протон + нейтрон)

как мостика между ядерной физикой и физикой элементарных частиц. К сожалению, Станислав Попов рано, в 1996 г., ушёл из жизни, а этой установки уже нет, её аналогов пока нет и в других странах.

После 16 лет пребывания в Сибири Беляев вернулся в Москву. Казалось, что здесь ему удастся избежать большого количества административных и преподавательских обязанностей. Но постепенно они добавлялись и теснили одна другую. Нельзя сказать, что все эти обязанности были посторонними. На самом деле, многие из них были следствием постоянного глубокого интереса С.Т. к разнообразным аспектам физики как наиболее общей и со временем расширяющейся, в первую очередь экспериментальной, науки о природе. Его живое участие в предварительных дискуссиях и обсуждении экспериментальных результатов всегда было деловым и вполне конкретным. Поскольку новосибирские физики играли главную роль в работах Курчатовского института и его дочерних структур по источникам синхротронного излучения и их многообразным применениям в физике, технике и биологии, для С.Т. было естественным после переезда в Москву принять в этой деятельности самое активное и иногда решающее участие.

Беляев стал директором большого подразделения Курчатовского института — входившего в его структуру Института общей и ядерной физики, возглавил кафедру в своём родном МФТИ и продолжал возглавлять Совет по ядерной физике Академии наук. Его обширный научный горизонт продолжал обогащаться и расширяться, включая, например, новые проблемы взаимодействия ультрахолодных нейтронов с конденсированными средами. Совместно с А.Л. Барабановым была создана последовательная теория таких взаимодействий [13].

Беляеву пришлось иметь дело с последствиями Чернобыльской катастрофы 1986 г., он возглавил специальную комиссию Академии наук по оценке этих последствий и неоднократно посещал пострадавшие территории. Позже он говорил, что в таких чрезвычайных обстоятельствах фундаментальная наука, навыки исследователя, а не инженера, могут оказаться важнее, чем специальный опыт и конкретные знания. Обсуждая различные аспекты сурового опыта, накопленного после Чернобыля, С.Т. сделал ряд критических выводов: важность непрерывного мониторинга не только радиационной ситуации, но и социальных процессов в различных группах населения; необходимость полной, надёжной и своевременной информации, доступной для разных групп населения; везде, где возможно, административные меры и ограничения должны отвергаться в пользу решений, сознательно принятых населением



На конференции в Новосибирске. 2008

и сопровождаемых мерами социальной защиты. Его текст в трудах симпозиума, посвящённого стратегиям восстановления заражённых территорий (Брюссель, 2000) завершается словами: “Будем надеяться, что уроки Чернобыля будут выучены мировым сообществом (включая мою страну)” [14].

Особо следует сказать об экспериментах международных коллабораций с активным участием физиков Курчатовского института во главе с Беляевым по двойному бета-распаду и природе нейтрино [15]. Последний эксперимент в ущелье Гран-Сассо (Италия) назывался GERDA (Germanium Detector Array) и состоял в поиске безнейтринного двойного бета-распада ядра германия-76. Речь идёт о поиске события самопроизвольного распада ядра германия (32 протона и 44 нейтрона) в ядро селена (34 протона и 42 нейтрона). В обычном (одинарном) бета-распаде нейтрон превращается в протон, электрон и электронное антинейтрино. Именно такой процесс определяет время жизни свободного нейтрона (примерно 15 мин, хотя здесь тоже есть свои загадки). В ряде случаев одинарный бета-процесс невозможен из-за энергии спаривания — вспомним, что именно С.Т. стоял у истоков теории парных корреляций в ядрах. Зато двойной распад между чётно-чётными ядрами, с рождением двух нейтрино, может быть энергетически разрешённым. Особый инте-

рес к гипотетическому безнейтринному распаду связан с тем, что здесь два промежуточных нейтрино, отсутствующие в конце процесса, как бы взаимно уничтожаются. Такая возможность могла быть реализована в случае тождественности нейтрино и антинейтрино (так называемые частицы Майораны). Природа нейтрино и их до сих пор точно не известная масса (меньше одного электрон-вольта) важны для стандартной модели элементарных частиц и понимания астрофизических процессов, включая зарядовую асимметрию Вселенной.

Уже после ухода Беляева из жизни были опубликованы предварительные результаты последнего этапа эксперимента GERDA (его имя сохранено в длинном списке соавторов) [16]. Чувствительность аппаратуры к тому времени выросла на порядок величины по сравнению с предыдущим, но безнейтринный распад не был обнаружен. Утверждается, что, если такой процесс возможен, соответствующий период полураспада составляет более 10^{26} лет. Новая коллаборация LEGEND готовит эксперименты следующего поколения.

С.Т. всегда рассматривал физику как экспериментальную науку. Отсюда его постоянный интерес к новым методам и реальное участие в их развитии (источник поляризованных ядер, встречные пучки и сверхтонкая ядерная мишень в накопительном кольце, синхротронное излучение, эксперименты по двойному бета-распаду, природе нейтрино и тёмной материи, активное обсуждение результатов коллаборации ФЕНИКС (ускоритель РНКС в Брукхевене) по столкновению ядер при сверхвысокой энергии и многое другое). Большая международная конференция в Филадельфии (1994) в честь семидесятилетия С.Т. называлась “The Harmony of Physics”; и действительно, для него наука всегда была единым и гармоничным целым (труды этой конференции составили отдельный том журнала “Physics Reports”).

Можно перечислить тематику публикаций Беляева в последние годы работы в Курчатовском институте (помимо продолжения его коронной физики коллективных явлений в атомных ядрах, поиска безнейтринного бета-распада, Чернобыльской эпопеи и создания Курчатовского источника синхротронного излучения). Как уже сказано выше, совместно с А.Л. Барабановым была создана теория поведения ультрахолодных нейтронов (ядерные частицы, в пределе очень низкой энергии проявляющие типичные длинноволновые свойства во взаимодействии со стенками сосуда). Много сил было потрачено на попытки объяснить результаты тонких экспериментов замечательного физика Ю.Л. Соколова с простейшей квантовой системой – атомом водорода. Эта работа прервалась с уходом из жизни

Юрия Лукича и, насколько я знаю, загадки остались. Интересные работы по физике жидкостей были проведены с Ю.К. Красновым. Наконец, С.Т. проявлял большой интерес к совсем новой области знания – искусственному интеллекту и нейронным сетям.

Когда в 2004 г. Беляев и Горьков совместно были награждены медалью Юджина Финберга, текст этого решения заканчивался словами о том, что их работы фактически изменили физику многочастичных систем. Мне выпала честь на конференции в Санта-Фе представлять Беляева. (Дэвид Пайнс представлял Горькова.) Вспоминаю, как в тот день мы гуляли по городу с его изобилием книжных лавок, одна из которых принадлежит далёкому потомку А.С. Пушкина.

После конференции и вручения медали Спартак Тимофеевич на неделю приехал в наш городок Ист Лансинг, где жизнь в основном определяется одним из самых крупных американских университетов, Michigan State University, MSU, с его пятьюдесятью тысячами студентов. Наш университет – центр ядерных исследований, сейчас здесь запущен крупнейший ускоритель тяжёлых ионов FRIB (Facility for Rare Isotope Beams), где можно ускорять практически любые ядра, от протона до урана, до энергии 200 МэВ на нуклон, с перспективой увеличения энергии в будущем. В то время работали предшественники FRIB – связанные циклотроны. С.Т. с искренним интересом знакомился с людьми, с конкретными экспериментами, с криогенной техникой, с компьютерными методами обработки результатов, с теоретическими исследованиями, программами обучения студентов.

Когда мы повезли С.Т. в субботу из его гостиницы в местный аэропорт, выяснилось, что его рейс перенесён на сутки. Нам повезло: вместо возвращения в гостиницу мы приехали к нам домой и были вознаграждены целым летним днём прекрасного тёплого общения. С.Т. даже потребовал косилку и поработал на газоне вокруг дома. Поехали на озеро Мичиган, где наш гость, вспоминая свои альпинистские походы, показывал, как правильно взбираться на дюны. Полный день воспоминаний и откровенных разговоров обо всём. За вечерним столом С.Т. впервые доверительно говорил о своих военных годах – долгом времени на краю гибели, о демобилизации, о начале студенческой жизни и о многом другом.

Последний раз мне посчастливилось общаться со Спартаком Тимофеевичем в 2008 г., на конференции в Новосибирске, посвящённой пятидесятилетию Института ядерной физики. За четыре года, прошедших со времени нашей встречи в Санта Фе и Мичигане, он почти не изменился и казалось, что старость не властна над ним [17]. Мы продолжали время от времени общаться по

электронной почте, по-прежнему обсуждали физику, и старые московские друзья уверяли, что С.Т. активен и не стареет. Тем большим ударом была неожиданная скорбная весть в январе 2017-го...

Спартак Тимофеевич Беляев был, вероятно, самым влиятельным человеком в моей жизни и, думаю, не только в моей. Это влияние шло от его собственного примера — интеллекта и честности. Его неуклонным правилом всегда были добросовестная работа и выполнение своего долга. Недавно он часто вспоминал Тютчева:

Нам не дано предугадать,

Как слово наше отзовется...

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев С.Т.* Моя профессия — теоретическая физика. М.: НИЦ “Курчатовский институт”, 2013.
2. *Беляев С.Т., Будкер Г.И.* Релятивистская плазма в переменных полях // Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. Т. 2. С. 283–329. М.: Изд. АН СССР, 1958.
3. *Беляев С.Т.* Применение методов квантовой теории поля к системе Бозе-частиц // ЖЭТФ. 1958. Т. 34. С. 417–432.
4. *Беляев С.Т.* Энергетический спектр неидеального Бозе-газа // ЖЭТФ. 1958. Т. 34. С. 433–446.
5. *Belyaev S.T.* Many-body physics and spontaneous symmetry breaking // Recent progress in many-body theories. World Scientific Publishing, 2006. P. 13–24.
6. *Belyaev S.T.* The Lessons of Niels Bohr // Impact of Science on Society. 1985. № 137. P. 39–49; *Беляев С.Т.* Уроки Нильса Бора // Импакт. 1986. № 1. С. 40–50.
7. *Mayer M.G., Jensen J.H.D.* Elementary Theory of Nuclear Shell Structure. New York, Wiley — London, Chapman and Hall, 1955; *Майер М.Г., Иенсен И.Г.Д.* Элементарная теория ядерных оболочек. М.: Изд-во иностранной литературы, 1958.
8. *Belyaev S.T.* Effect of pairing correlations on nuclear properties // Mat. Fys. Medd. Dansk. Vid. Selsk. 1959. V. 31. № 11.
9. *Беляев С.Т.* Нуклон-фононный гамильтониан для сферических ядер // Ядерная физика. 1965. Т. 1. С. 3–12.
10. *Belyaev S.T.* Collective Excitations in Nuclei. In: Series “Documents on Modern Physics”. N.Y.: Gordon and Breach, Science Publishers, 1968.
11. *Беляев С.Т., Зелевинский В.Г.* Нильс Бор и физика атомного ядра // УФН. 1985. Т. 147. С. 210–251.
12. *Belyaev S.T., Budker G.I., Popov S.G.* The possibility of using storage rings with internal thin targets // High Energy Physics and Nuclear Structure. N.Y.: Plenum Press, 1970.
13. *Barabanov A.L., Belyaev S.T.* Bulk effects in the coherent inelastic scattering of ultracold neutrons // European Physical Journal A. 2006. V. 27. P. 105–127.
14. *Belyaev S.T.* Decision process foiled by the USSR up to 1991 and analysis of the main restoration activities // Nuclear safety and environment, DG Environment of the European Commission. Brussels, 2000.
15. *Klapdor-Kleingrothaus H.V., Belyaev S.T. et al.* Latest results from the Heidelberg-Moscow double beta decay experiment // European Physical Journal A. 2001. V. 12. P. 147–154.
16. *Biancacci V. and GERDA collaboration.* The GERDA experiment in the search for neutrinoless double-beta decay // Moscow University Physics Bulletin. 2022. V. 77. P. 359–362.
17. *Беляев С.Т.* Что стимулирует развитие теоретической физики. Доклад лауреата Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова 2010 года // Вестник РАН. 2011. № 10. С. 900–907.

“MY PROFESSION — THEORETICAL PHYSICS” TO THE HUNDREDTH ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN S.T. BELYAEV

V. G. Zelevinsky^{1,#}

¹Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA

[#]E-mail: zelevins@frib.msu.edu

The article based mainly on personal reminiscences of the author presents the landmarks of the biography of Spartak Timofeevich Belyaev (1923–2017), features of his exceptional personality and his scientific achievements as the outstanding theoretical physicist known by his fundamental works on quantum many-body theory and nuclear physics. After graduation from high school in 1941, he went through the entire war in the ranks of the army. After graduation from the Moscow Physical-Technical Institute, he worked at the Atomic Energy Institute and then in the Novosibirsk Institute of Nuclear Physics (now Budker Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences). From 1965 to 1978 he served as Rector of the Novosibirsk State University. After returning to Moscow and to the end of his life, he worked at the theory department of the Kurchatov Institute. In 1968 he was elected a full member of the Russian Academy of Sciences. His scientific achievements were highly appraised by many Russian and international prizes including the Great Gold Lomonosov Medal of Russian Academy of Sciences.

Keywords: S.T. Belyaev, nuclear physics, many-body quantum theory, Bose condensate, pairing correlations, Novosibirsk State University, Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kurchatov Atomic Energy Institute.