«ИСТОРИЯ ФИЗИКИ ДАЕТ НАМ НАДЕЖДУ...»
(беседа А. В. Кессениха с профессором МГУ В. Б. Брагинским) *

Я хочу представить моего друга и однокурсника по физическому факультету МГУ Владимира Борисовича Брагинского. Он – профессор МГУ, проработал на физфаке полвека, избран в 1990 г. членом-корреспондентом АН СССР (теперь РАН). В этом же году он стал участником международного проекта LIGO (Laser Interferention Gravitation (waves) Observatory) [1]. С 1963 г. Брагинский шаг за шагом начал подключаться к решению одной из задач космического масштаба: экспериментальному обнаружению гравитационных волн, предсказанных в 1918 г. А. Эйнштейном. Владимир Борисович обратил внимание на то направление, за которым стоят принципиально важные для развития физики и всей науки задачи. Для астрофизики, например, это проблема слияния нейтронных звёзд. Такие космические катаклизмы должны порождать мощный всплеск гравитационных волн, какой именно интенсивности пока точно неясно, но существуют оценки порядка величины.

Эти оценки позволили в свое время понять важное обстоятельство: доступные в середине прошлого века погрешности измерений не позволят наблюдать даже самую мощную гравитационную волну, зародившуюся вне Солнечной системы.

Точность измерений надо было весьма существенно повышать. Эта задача продолжает решаться в лаборатории Брагинского и теперь. А для ее решения приходится обращаться к самым «корням» статистической и квантовой физики.

Нужно понять, какова должна быть чувствительность приемника, чтобы уловить реальную гравитационную волну от заведомо происходящих астрофизических катастроф. И, наконец, нужно было выбрать конструкции приемника – найти пути к повышению чувствительности, преодолеть на каждом из них свои препоны, воспользоваться его преимуществами. Но дадим слово Владимиру Борисовичу.

– Начнем с вашей научной биографии.

Я поступил на физико-технический факультет МГУ [2] в 1949 г. В то время многие будущие физики мечтали заниматься ядерной физикой,

---

* Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ, грант № 02-03-18081а.

[1] В. Б. Брагинский награждён многими почетными международными отличиями: золотой медалью им. П. Н. Лебедева РАН, медалью Шиллера (Йенский университет), премией Фэйрчальда (Калифорнийский технологический институт), премией Гумбольдта (Германия). С 1995 г. В. Б. Брагинский член Academia Europea, в 2004 г. избран почётным иностранным членом Американской академии искусств и наук.

[2] С 1946 по 1951 гг. существовал отдельный физико-технический факультет МГУ, создан-

такое намерение было и у меня, но не сложилось, о чем я теперь абсолютно не жалею. По окончании первого курса физтехфака я был отличником, но неожиданно был переведен на мехмат без всяких объяснений. Видимо, кому-то не понравилась моя анкета. После двухмесячных «хождений по мукам» я все-таки выпросил у ректора МГУ А. Н. Несмеянова место студента на физическом факультете МГУ. Там я тоже успешно учился на отделении радиофизики, окончил этот факультет в декабре 1954 г. и был оставлен на работу в МГУ в качестве старшего лаборанта на кафедре физики колебаний (благодаря заботам научного руководителя И. И. Минаковой и заведующего кафедрой К. Ф. Теодорчика). Теодорчик «сделал» меня ассистентом (еще до защиты) в 1956 г. В 1955–1956 гг. я занимался взаимной синхронизацией клистронов (в те годы это был один из основных типов генераторов сантиметровых и миллиметровых электромагнитных волн). Работа имела, как говорят, оборонное значение. В 1956–1958 гг. я занимался применением для умножителей частоты (СВЧ) эффекта переходного излучения, предсказанного И. М. Франком и В. Л. Гинзбургом (излучение при переходе пучка электронов через границу сред).

Эти работы составили предмет моей кандидатской диссертации. Ее я защитил в 1959 г. До 1963 г. я как бы блуждал в тумане, искал перспективное направление работы и выбрал modus vivendi: искать для себя проблему (область), где можно более или менее сформулировать вопрос, ответ на который обещает стать нетривиальным с общефизической точки зрения. Физики делятся на тех, кто хочет что-то понять (например, создать новую теорию), и тех, кто хочет измерить нечто, полезное многим (или изобрести, как измерить). Я оказался где-то посередине. С 1963 г. взялся за проблему, насколько хорошо можно изолировать от тепловых и нетепловых шумов объекты: пробную массу, маятник (осциллятор), резонатор. Кое в чем я преуспел, но предела не нашел. Изоляцию таких объектов от шумов, оказывается, можно и нужно улучшать дальше и дальше. На этом пути возникла и проблема квантовых измерений, точнее вопрос о предельной чувствительности, которая достижима с точки зрения квантовой теории. К этой проблеме я приступил в 1966 г., кое-что понял, но «окончательного» предела не нашел. Все эти поиски были тесно связаны с перспективой создания установок для наблюдения гравитационных волн. В 1967 г. я защитил докторскую диссертацию, в 1969 г. стал профессором. В 1987–2001 гг. был заведующим кафедрой молекулярной физики и физических измерений МГУ; в 2001–2002 гг. – заведующим кафедрой физики колебаний физического факультета МГУ. С 2002 г. – главный научный сотрудник той же кафедры.

Немного расскажу о моем послужном списке по научной тематике.

В 1961 г. – первые опыты с пробными телами. В 1964–1967 гг. меня занимали поиски стабильных кварков с дробными электрическими за-

ный по инициативе ряда ведущих физиков АН СССР. Даже золотые медалисты при поступлении на физтехфак должны были пройти два отборочных тура устных и письменных экзаменов по физике. В 1951 г. на его базе создан Московский физико-технический институт в Долгопрудном.

рядами [3]. В 1971 г. я опубликовал результаты проверки принципа эквивалентности (гравитационной и инерционной масс). Затем поставил еще несколько опытов с пробными телами – демонстрация воздействия очень малых энергий, «долей кТ» на осциллятор [4]. 1963 г. – начало анализа гравитационных антенн; 1967 г. – предсказание существования квантовых пределов чувствительности (standard quantum limits – SQL). 1969–1972 – проверка якобы положительного сенсационного результата опытов Дж. Вебера (1969) по обнаружению гравитационных волн, в результате чего было доказано, что эти опыты гравитационных волн не регистрируют.

С 1970 г. и по настоящее время веду исследования по теории квантовых измерений, включая неразрушающие, по созданию новых систем с малой диссипацией (механических, СВЧ и оптических). С 1990 г. и по сей день – работаю в сотрудничестве с LIGO.

– Вы начинали учиться на физико-техническом факультете МГУ. История его возникновения и преобразования в институт не очень хорошо известна нашим читателям. Хорошо, если бы вы рассказали о своих впечатлениях о физтехфаке. Кого вы запомнили из преподавателей?

Безусловно, система обучения и сама атмосфера на физико-техническом факультете во многом соответствовали задумкам его основателей. Состав преподавателей не перекрывался с составом физфака, занятия проводились в Долгопрудном на базе зданий Центральной аэрологической обсерватории. Были замечательные преподаватели. На всю жизнь я запомнил первый семинар по общей физике. Эти занятия вел Михаил Исаакович Подгорецкий, впоследствии заведующий одной из лабораторий в Дубне [5]. Он сразу же предложил нам: «Давайте выведем волновое уравнение для твердого тела». Выводил медленно, поясняя каждый шаг, и все же ему хватило двух часов на этот вывод. Ведь это же так просто: совместить закон Гука для упругой деформации (сила пропорциональна деформации) и второй закон Ньютона (сила равна произведению массы на ускорение). А про всю математическую технику: про дифференцирование и про частные производные преподаватель рассказывал попутно. Мы всё поняли. Вот что удивительно! Он дал нам перспективу нашей работы над изучением физики и математики. Три курса из высшей математики: дифференциальное исчисление, обыкновенные дифференциальные уравнения, уравнения в частных производных. Это ведь работа на три курса вперед, если формально следовать программе физфака. Я на всю жизнь запомнил это занятие. Из преподавателей по математике вспоми-

[3] Кварки – структурные элементы микрочастиц в современной теории – квантовой хромодинамике. Кварки имеют электрический заряд, равный e/3, для теории был важен вопрос: существуют ли свободные кварки.

[4] «Пробное тело» – любой объект, на который действует измеряемая сила, будь то планета в космосе или электрон в лабораторной установке. «Доли кТ» – меньше средней энергии, приходящейся на степень свободы при тепловом движении.

[5] М. И. Подгорецкий (1919–1995) известный физик-исследователь в области физики высоких энергий. Выпускник физического факультета МГУ (1941 г.). В 1949 – 1955 гг. работал в ФИАНе, с 1955 г. в Дубне.

наю Николая Константиновича Семендяева (соавтора известного справочника), известного математика-вычислителя. Тогда он работал у М. В. Келдыша, занимался расчетами ракетных систем и ядерного оружия.

На физфаке занятия по физике проводились более формально, но и там было немало прекрасных преподавателей. Мы хорошо помним, что все, кто, как и я, поступали на *физтехфак* в 1947–1950 гг., кончали в результате расформирования этого факультета (в 1951 г.) *физфак* в 1952–1955 гг. Так что кроме меня на нашем курсе учился Владимир Павлович Быков, поступивший на физтехфак еще в 1948 г. и отчисленный, подобно мне, в конце первого курса неизвестно за что (учился прекрасно). Он родился в 1932 г. и успел снова поступить уже на физфак вместе с основным потоком курса в 1949 г. Ну а с сентября 1951 г. на наш курс пришли многие из моих соучеников по физтехфаку (со специальности «строение вещества»), несколько десятков. Среди них, например, мой одноклассник по московской школе № 135 Анатолий Владимирович Краснушкин и один из авторитетных в будущем физиков Леонид Вениаминович Келдыш.

Хочется напомнить, что в 1954 г. государственный экзамен по физике на нашем курсе, где объединились все поступавшие на физтехфак и на физфак, впервые принимала на физфаке комиссия под председательством академика М. А. Леонтовича, состоящая из ведущих физиков АН СССР. Меня, например, «допрашивали» Н. Н. Боголюбов и А. М. Прохоров. По-моему, результаты экзамена были вполне приличными.

– Какими были МГУ и физфак за те почти пятьдесят лет, когда вы там работали?

Начну с очень грубой и «усредненной» оценки: физфак, несомненно, был учебно-научным центром весьма высокого уровня (у меня ведь были возможности для сравнения и в Европе, и в США). Это оценка за 40 советских лет. О последних десяти годах я бы сказал отдельно, но критика современного состояния образования и науки в России давно уже стала общим местом. Оценка прежнего уровня основана на качестве обучения (если судить по выпускникам, оставившим заметный след в науке). Оценка может быть сделана также по качеству лекторов: ведь читали лекции выдающиеся физики – М. А. Леонтович, Л. Д. Ландау, Я. Б. Зельдович, И. К. Кикоин и еще около десятка физиков, близких к ним по уровню. Конечно, были и преподаватели «ниже» рангом и примерно половина преподавательского состава, хорошо освоившего свои узкие уголки в физике. Но система обучения была построена так, что этой половине доставалось около 80% контактных часов. В целом, по-моему, обучение было вполне удовлетворительным. Достижения в науке (если коротко и условно) можно выразить числом Ленинских и Государственных премий (соответственно 22 и 41!). Я говорю о том физическом факультете, деканом которого в 1954 г. стал В. С. Фурсов и на котором стали преподавать выдающиеся советские физики. Это произошло по известному постановлению ЦК КПСС от августа 1954 г. и несомненно улучшило работу факультета.

Вот маленький эпизод, который говорит о качестве обучения на физфаке. Года три-четыре тому назад два

выпускника МГУ поступали в аспирантуру Калифорнийского технологического института (одного из элитных высших учебных заведений США). Профессор Калтеха рассказал мне, что он был приятно удивлен высоким уровнем подготовки на физфаке МГУ, и в частности по статистической физике. Его потряс учебник И. А. Квасникова [6], он сказал, что в США учебника такого уровня нет.

Что же касается причин такого высокого (по сравнению с тогдашним зарубежным опытом) качества обучения, скажу следующее. У них «за бугром» обязанности обучающего по отношению к обучаемому весьма просты. Профессор должен отчитать положенное число часов лекций, сочинить контрольные задачи и побеспокоиться о том, чтобы кто-нибудь из его окружения (ассистент, старший аспирант, постдок – молодой кандидат) проверил сданные студентами ответы и расставил студентов по качеству ответов (это кроме оценок). Обязательное число лекционных часов – три часа в неделю плюс один академический час (дверь в кабинет открыта для ответов на вопросы, в том числе ответов такого сорта: смотри главу такую-то книги такой-то). Один мой американский коллега, вспоминая свою нелегкую студенческую молодость, жаловался, что студенты видели руководителя по 10 минут в месяц! Коротко скажу – профессор «у них» служит для студентов примером (для сильных) или барьером (для слабых). Эта сторона деятельности в наших условиях, например в МГУ, зачастую (правда, не без исключений) выглядела совсем иначе. Профессора и их ближайшие соратники буквально пестовали студентов, помогали им латать дыры в образовании, а времени на каждого подопечного затрачивалось, как правило, неизмеримо больше, чем их западными коллегами. Руководитель отвечал за качество знаний, «вколоченных» в студента (за что западные студенты отвечают только сами), перед деканатом и парткомом. Что ни говори, а в парткоме сидели не только политически боевитые, но и многие весьма честные и грамотные специалисты. Партком формально отвечал за все (читай: мог влиять на все, хотя и не был обязан). Такова уж была вся советская система, и многие члены КПСС честно выполняли свой общественный долг, как они его понимали. Роль деканата как коллективного органа практически просматривалась слабо, зато роль декана была очень велика.

Но главные две обязанности профессора: привлечь к себе в группу талантливых студентов и, пользуясь своим опытом и авторитетом, обеспечить максимально возможное финансирование лаборатории или группы через гранты (в советское время хоздоговора и плановую тематику), конечно, совпадали у них и у нас. При этом талантливых студентов, благодаря особенностям отбора в МГУ, у нас хватало, а с финансированием было слабовато по сравнению с западными стандартами, но терпимо, особенно если сравнить с теперешним временем.

– А каков личный вклад В. С. Фурсова как декана физфака в его достижения?

О личном вкладе В. С. Фурсова от-

[6] *Квасников И. А.* Статистическая физика, курс лекций и упражнений. Теория флуктуаций, броуновского движения и вопросы теории случайных процессов. М.: МГУ. 1977.

вечу следующее. Василий Степанович был деканом необычайно долго (около 35 лет). Я скажу о его роли в первой половине этого срока. За этот период роль В. С. Фурсова я оцениваю, безусловно, положительно. В функции декана входило и решение: оставить или не оставить выпускника на работу на физфаке. Только на отделение радиофизики (которое я некоторое время возглавлял) оставили работать на физфаке трех таких несомненно выдающихся физиков, как Д. Н. Клышко, Р. Л. Стратонович, О. В. Руденко. Я много раз приходил к декану с просьбой оставить на работу одаренных выпускников аспирантуры, и каждый раз он задавал один и тот же вопрос: «А будет ли сей молодой специалист хорошим профессором?» Из шести моих аспирантов, о которых я просил, пятеро стали профессорами физического факультета, у них весьма значительный уровень цитирования. Это В. Н. Руденко, В. И. Панов, В. П. Митрофанов, Ф. Я. Халили, С. П. Вятчанин. Три профессора кафедры колебаний – мои бывшие аспиранты. Но каждый из них занимается своей группой проблем в общем гранте NSF [7]. Я, честно говоря, норовил выбирать в аспиранты одаренных и настойчивых. У нас в МГУ это было вполне возможно. Практически 33 кандидата, которых я выпустил, вполне успешны. 10 из них стали профессорами (или занимают эквивалентные должности).

Уместно вспомнить еще одну заслугу Фурсова: в начале его деканства конкурсная комиссия (а он, по определению, ее председатель) уволила, насколько я помню, несколько одиозных фигур в том числе из состава бывшего (до 1954 г.) парткома факультета. Среди них были, по-моему, бывший заместитель декана А. Ф. Кононков и такая довольно мрачная фигура, как А. Р. Сердюков. Это также способствовало улучшению атмосферы на факультете. Конечно, физфак не был таким «раем» для научной работы и преподавания. О том, что тематика научной работы, навязываемая извне или инициируемая личными интересами и связями, была далеко не оптимальна, я уже говорил и не устану повторять, что выбирал свой путь в науке, отталкиваясь от этой тематики. Не надо забывать, насколько сложна была так называемая расстановка сил на факультете, существовало много групп и группочек с разными связями и предысториями. Василий Степанович в какой-то мере был силен тем, что стоял в стороне от этих групп и умел находить между ними компромиссы.

В последние примерно пятнадцать лет деканства Василий Степанович сник и вновь позволил зачислить в штат факультета многих из тех, кто отличался скорее «политической боевитостью», чем научными и педагогическими талантами.

Известные проблемы возникали из-за того, что «боевитые» персонажи всегда имели на факультете заметное влияние. До 1954 г., возможно, чрезмерное (но мы тогда еще не работали), а в последующее время показывали иногда свою силу, полностью их извести было невозможно.

Расскажу о некоторых событиях

[7] NSF – National Science Foundation – федеральная организация США, выделяющая средства на чисто фундаментальные исследования и на развитие системы обучения. Бюджет NSF – 5 млрд $ в год.

1971 г., последовавших за известным инцидентом на конгрессе Международного гравитационного общества в Копенгагене. Инцидент заключался в том, что на заседании, где обсуждался устав этого Общества, Робинсон из Техаса (США) разразился длительной тирадой против политики СССР. Оратор обвинял нас в антисемитизме, в том, что физиков из Израиля не пускают на международные конференции, которые проводятся в СССР. Тогда действительно физикам из Израиля было трудно получить визы на въезд в СССР, поскольку СССР после войны 1967 г. разорвал дипломатические отношения с Израилем, и там отсутствовали консульские представительства Советского Союза. Однако оратор передергивал. Во-первых, он необоснованно сравнивал законы СССР с нюрнбергскими законами Гитлера. Во-вторых, его утверждения о полном отказе израильским физикам в визе на въезд в СССР были неверны. Нашим физикам через посредничество Италии и других стран только что удалось пригласить израильтян на конференции по гравитации в Тбилиси и по физике высоких энергий в Киев. И на последней конференции присутствовали, по моим сведениям, трое израильтян. Так вот на том скандальном заседании, к сожалению, глава советской делегации В. А. Фок отсутствовал (его заместителем был известный гравитационист А. З. Петров). Профессор Д. Д. Иваненко вскочил с места и крикнул оратору: «Shut up!» (Заткнись!), а затем демонстративно вышел из зала. Вышли и еще некоторые члены нашей делегации, например Я. П. Терлецкий (тоже профессор МГУ). Но Петров быстро провел обмен мнениями среди оставшихся членов делегации (а мы с ним оба были членами КПСС), и мы решили «дать отпор клеветнику» в корректной форме, это пришлось сделать мне как наиболее свободно владеющему языком. Содержание выступления соответствовало сказанному выше с добавлением о характере нашего гравитационного общества как научного объединения и с призывом не отвлекаться на политику. Впоследствии я узнал, что наше поведение было одобрено в аппарате ЦК КПСС, но на факультете нашлись люди, влиятельные члены парткома, которые обрушили именно на меня суровые обвинения в антисоветском поведении и соответственно в несоответствии меня моим высоким должностям – профессора и руководителя радиофизического отделения. Я терпеть не могу всякое использование знакомств и связей, но чтобы преодолеть неукротимое стремление комиссии во главе с И. П. Базаровым [8] заклеймить и, может быть, «истребить» меня, мне пришлось прояснить отношение ко мне более высоких, скажем так, кругов. В итоге я отделался получением «на вид» в парткоме МГУ. К сожалению, тогда В.С. Фурсов был «уже не тот» и с олимпийским спокойствием взирал на то, как профессора физфака треплет чересчур пристрастная комиссия. Меня он утешил тем, что «за битого, дескать, двух небитых дают». Подобных приключений с попытками меня заклеймить, благодаря моему задиристому характеру и в связи с упомянутой «боевитостью» некоторых влия-

[8] И. П. Базаров – известный специалист по термодинамике и статистической физике, автор неплохого учебника по термодинамике, профессор физического факультета. С 40-х гг. и до последнего времени был также известен как активный «борец за чистоту рядов».

тельных деятелей физфака, у меня было несколько.

– Расскажите о сути ваших работ. Что такое гравитационная волна? Почему так трудно ее зарегистрировать?

Гравитационная волна (ГВ) рождается (появляется, излучается) согласно общей теории относительности всегда от движения любых масс с переменным ускорением. ГВ (как и электромагнитная волна) *отпочковывается* от источника и существует от него независимо, распространяясь в вакууме со скоростью, равной скорости света. Гравитационная волна – это поле переменных *поперечных градиентов гравитационных ускорений*. Из-за принципа эквивалентности излучатели и приемники (антенны) гравитационных волн только квадрупольные (гравитационных диполей нет, в связи с отсутствием отрицательных масс, что вытекает из принципа эквивалентности). Квадрупольное излучение – это как бы разность излучений двух противоположно направленных диполей, которые частично «гасят» друг друга. И только, как говорится в следующем порядке малости, остается регистрируемая разность. Для обнаружения гравитационной волны нужна *пара масс*, удаленных друг от друга на *конечное расстояние*. Тогда, измеряя *разность ускорений* этих масс, мы зарегистрируем гравитационную волну. Более подробно проблема возникновения и обнаружения гравитационных волн была раскрыта в нашей с М. В. Сажиным лекции (одной из гордоновских лекций) [9]. Я считаю, что косвенно существование гравитационных волн показано в процессе наблюдений Халса в гигантской космической лаборатории, которой оказался новый тип пульсара, открытый в 1970-х гг. в нашей галактике. Вместе с теоретиком Дж. Тейлором, убедительно интерпретировавшим данные по движениям компонент этой двойной нейтронной звезды, Р. А. Халс получил в 1993 г. Нобелевскую премию за «открытие нового типа пульсара, позволившее продвинуться в понимании природы гравитации». К сожалению, ведь в астрофизике так: одни вещи можно знать и посчитать очень точно, а вот про другие приходится строить вероятностные гипотезы. Считается, например, что слияние двух нейтронных звезд, происходящее в пределах нашей галактики, определенно породит гравитационную волну такой интенсивности, что уже существующие установки ее зарегистрируют. Но для регистрации такого события где-то в далекой галактике чувствительность пока недостаточна. Как часто происходят подобные вещи в конкретной части Вселенной точно неизвестно. Оценки по нашей Галактике варьируют от одного раза в 10^4 до одного раза в 10^6 лет! А чем больше «зона чувствительного приема», тем больше вероятность обнаружения волн. Вот почему так труден путь к регистрации гравитационных волн.

– Можно ли рассказать «понятно для пешехода» о ваших достижениях, например в открытии стандартного квантового предела точности [10]***?***

Понятие о стандартном квантовом

[9] Ксерокопия текста лекции, прочитанной на телевидении в программе А. Гордона, с иллюстрациями хранится в библиотеке сектора истории физики и механики ИИЕТ РАН.

[10] Эта работа (см.: ЖЭТФ. 1967. Т. 53. С. 1434) ставится на одно из первых мест в перечне научных достижений В. Б. Брагинского.

пределе (СКП) формулируется, например, для задачи определения (измерения) величины импульса p свободной точечной массы m по двум измерениям ее координаты x в разные моменты времени (скажем, $t_1=0$ и $t_2=\tau$). В классическом (неквантовом) случае ответ следует из учебника физики для восьмого класса: $p = m\,(x_1 - x_2)/\tau$. Здесь τ – интервал времени между двумя измерениями координаты (считаем, что время самого измерения пренебрежимо короткое). Классическая ошибка измерения (среднеквадратичная) для измерения по разности двух координат через время τ равна $\Delta p = m\,(\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2)^{1/2}/\tau$. Для квантового случая вспомним, что по Гейзенбергу $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar / 2$, т. е. нельзя одновременно знать (т. е. измерить) p и x сколь угодно точно! Ясно, что первое измерение координаты x_1 нельзя делать очень точным, так как малое Δx_1 приведет к большому добавочному искажению импульса $\Delta p\ \Delta x \geq \hbar / (2m\Delta x_1)$, которое в свою очередь через интервал времени τ приведет к добавочной неопределенности координаты: $\Delta x_{доб} = \Delta p_{доб}\tau/m = \hbar\tau / (2m\Delta x_1)$.

Итак, по Гейзенбергу (с учетом $\tau > 0$): $\Delta p = m / \tau\,(\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \Delta x_{доб}^2)^{1/2}$. Поскольку один из вкладов растет с ростом Δx_1, а другой – убывает, выражение имеет минимум. Легко найти, что погрешность минимальна и соответствует минимальному значению СКП (SQL) при $\Delta x_{SQL} = (\hbar\,\tau / 2m)^{1/2}$, что даст $\Delta p_{SQL} = (\hbar\, m / 2\tau)^{1/2}$. В понятии СКП важно то, что можно подсчитать этот предел и для микрочастицы и, образно говоря, для кирпича. При необходимости увеличивать время релаксации τ (а это диктуется желанием снизить влияние на измерительный прибор тепловых шумов и помех) мы неизбежно вступаем в область, где приходится учитывать квантовый предел точности. И для гравитационных антенн это неизбежно! Вот к чему я пришел в 1967 г. прямым подсчетом для осциллятора. Хочу, кстати, заметить, что Нильс Бор в одной из своих работ [11] фактически пришел к приведенным выше оценкам, но ни он сам, ни читатели его работы не осознали всех выводов, которые из этого следуют, и в литературе продолжалось деление физических объектов на квантовые и макроскопические, которое призывал преодолеть еще Л. И. Мандельштам. А вот, оказывается, большое зеркало лазерной антенны, если от экспериментатора требуется высокая точность в определении его координаты или ускорения, тоже подчиняется квантовым закономерностям.

Не знаю, насколько это понятно для так называемых «пешеходов», но именно в представленном выше ключе я излагал предмет для учителей физики и для победителей школьных олимпиад [12]. Они как будто бы понимали. Добавлю, что через несколько лет я понял, как надо измерять, чтобы превзойти, а вернее – обойти СКП: надо перейти к квантовым неразрушающим измерениям. Теорией и применением (реализацией) таких измерений я занимаюсь и по сей день. В качестве упрощенного примера могу привести случай, когда нужно измерить величину электро-

[11] *Bohr, N.* Discussion with Einstein on epistemological problems in atomic physics // Albert Einstein: philosopher-scientists / Ed. by P. A. Shlipp). P. 200–241.

[12] См. в библиотеке сектора истории физики и механики ИИЕТ РАН конспект лекций В. Б. Брагинского «Диссипации, флуктуации и квантовые измерения», изданных в ФИАНе в 1994 г.

магнитной энергии в резонаторе. Можно поставить счетчик квантов на выходе из резонатора и дать всей энергии излучиться. А можно определить электромагнитное (световое) давление на стенку резонатора и узнать тем самым величину энергии, не уничтожая электромагнитные кванты. Последнее – пример неразрушающего измерения. Измерение импульса возможно при соответствующей технологии при сохранении его значения. Таким образом, кардинального (фундаментального) ограничения чувствительности я так и не нашел. А нашел в большом количестве технологические ограничения и иногда знаю, как их обойти.

– Гравитационная волна пока не наблюдается. Некоторые другие ваши результаты выглядят как отрицательные. Ну а если подойти по-философски к этой проблеме. Какую роль в физике имеют эксперименты с отрицательным результатом?

Отрицательные результаты всегда имеют ценность. Например, попытка определить отклонения от принципа эквивалентности. Наши данные показали: с точностью до 10^{-12} отклонений нет. Отрицательный результат только упрочил фундамент ОТО (которая на нем стоит). Отодвигается область, в которой в гравитационном взаимодействии появляется новая сущность. Опровержение модели Гелл-Манна, предполагавшей существование свободных кварков с зарядом *e/3* , привело к утверждению кварк-глюонной модели. Понятие «отрицательного результата» также не однозначно. Может, сама постановка или технология эксперимента неудачна (не все умеют работать и все не сразу учатся работать). А может быть, мы еще не подошли к барьеру (количественному или качественному), который позволит в исследуемой области получить нечто новое. Может быть, история той области физики, в интересах которой поставлен эксперимент, только начинается [13].

– Следующий вопрос касается ваших оценок 1950 – 1960-х гг. Правда ли, что это было «золотое время» для советской физики? Ваши соображения о том, что такое научное сообщество советских физиков. Кого вы считаете его яркими представителями? Какие вам вспоминаются случаи из жизни тех лет, связанные с отношениями между учеными?

Сначала о себе, ведь мы начинали именно в это время. Я не могу отрицать, что моя научная биография сложилась удачно благодаря поддержке доброжелательных и компетентных «старших товарищей». Хотя кафедра колебаний МГУ после ухода Л. И. Мандельштама утратила «блеск», а все же традиции отца-основателя сказывались. Была некоторая свобода в выборе тематики, была аудитория для совместного обсуждения. Но главную поддержку на своем профессиональном пути я получил тогда, когда начал работать с Я. Б. Зельдовичем [14]. Яков Борисович сам разыскал меня на конференции в Дубне и предложил поработать совместно, он внушил мне, что мое направление перспективно для астрофизики. Но астрофизика – астрофизикой, а продвижение оказалось не-

[13] См.: *Брагинский В.Б.* Отрочество экспериментальной физики // УФН. 2003. Т.173. № 1. С. 90–96.

[14] См.: беседу Брагинского с Ю. Дризе «Похоже, экзамен я выдержал», опубликованную в еженедельнике «Поиск» в июне 2003 г.

возможно без разрешения самых общих проблем статистической и квантовой физики. Надо было разбираться, что можно и чего нельзя в современном эксперименте, но главное, как это «нельзя» преодолеть. Чтобы приступить к таким задачам, надо было иметь поддержку таких замечательных физиков, как Зельдович и, скажем, В. Л. Гинзбург. Так я оказался в поле совсем иной научной школы, чем та, в которой вырос. А надо сказать, что понятие научной школы более свойственно именно для советской и российской науки. Я имею в виду школы Мандельштама, Ландау, семинар Гинзбурга. За рубежом ученые живут как-то более индивидуалистично.

Конечно, в 1960-е гг. работы разворачивались очень широко, налаживались связи между разными учреждениями и учеными. Можно сказать, да, было такое научное сообщество физиков. Когда возникали споры между членами этого сообщества (а мне приходилось против моей воли в таких спорах участвовать), всегда находились старшие товарищи, которые своим мудрым вмешательством помогали поставить все на свои места. И статус ученого в нашем обществе был высоким, и степень интеллектуальной свободы ученых была сравнительно высокой. Это были причины успехов науки в нашем обществе. Кроме того, как сказал Фримен Дайсон – их (наши) успехи происходили от того, что им (нам) больше нечего было делать. В эти годы советские ученые выполнили работы, удостоенные Нобелевских премий (пять «штук»), которые поделили Ландау, Черенков, Тамм, Франк, Гинзбург, Абрикосов, Басов, Прохоров, Алфёров. Я знаю еще двух, несомненно, выдающихся наших физиков, которые сделали очень важные работы, и надеюсь, что они свои Нобелевские премии также получат.

Но это время я не могу считать идеальным или каким-то «золотым». Отрицательные стороны нашей научной жизни оказались более живучими, чем положительные. Уже в это время были все признаки начинавшегося застоя. Хочу отметить очень низкий уровень социальной справедливости в советской науке того времени. Отношение зарплат мнс и ассистента к зарплате директоров некоторых институтов – членов Академии составляло в начале 1960-х гг. примерно 1:30 (с учетом академической стипендии и совместительства в трех и более местах), не считая привилегий, кормушек и жилья. Поэтому шло бешеное соревнование за директорство и членство в АН. Ну и были все признаки формализма в организации научной работы. Замечу, что моя научная биография в значительной мере сложилась в результате недовольства темами, «спускавшимися» сверху начальством (работа по правительственным темам 1955–1962 гг.). Я все время искал любопытные проблемы с возможным нетривиальным (а может быть, и фундаментальным) решением. Хорошо, что мне помогали такое направление найти.

– Спасибо, вопрос о следующем периоде нашей истории, о так называемом застое. С чем подходила наша физика к 1980-м гг. Кого из физиков вы считаете героями того времени? Чувствовали ли вы тогда, что скоро все полетит «вверх тормашками»? В рамках моего понимания хочу спросить особо о двух моментах: про интеграцию в мировую науку и «утечку мозгов».

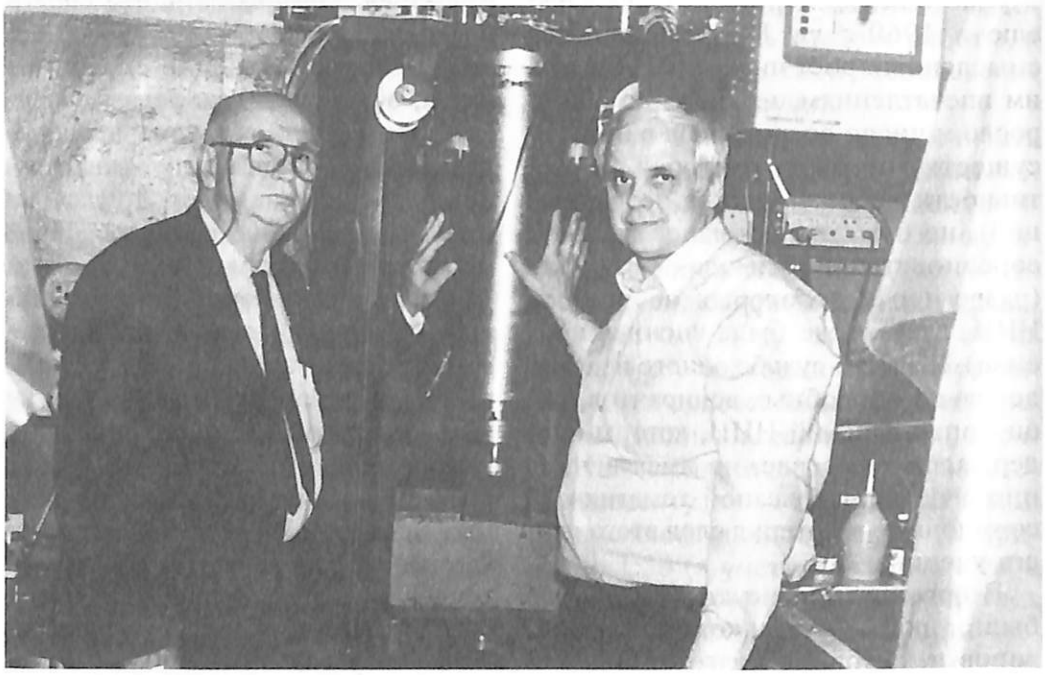
«Застойный» период начался у нас еще в 1960-е гг. Происходил бессмысленный рост числа НИИ (по моим впечатлениям, их было до 3000), росло и число сотрудников в них. По существу не было контроля эффективности работ (качества исследований), не было и настоящей жесткой соревновательности за результат (разве что в некоторых оборонных НИИ, где все же была военная приемка). Я знал о судьбе одного из моих довольно способных аспирантов, как он попал в некий НИИ, который содержался в резерве, не имея в течение ряда лет серьезной тематики. К сожалению, я потерял след этого своего ученика.

В организации науки в СССР все было, как в сельском хозяйстве: тракторов и комбайнов изготовляли в 5 раз больше, чем в США, но служили они всего по несколько лет. Оценка деятельности отдельного ученого была прерогативой начальства. Отбора и выдвижения талантливых ученых по существу не было. Однако сложившиеся школы и направления функционировали, внутри них и тематика оставалась актуальной, и отбор талантов был. То есть там, где была настоящая наука, застоя не было. И, во всяком случае, был сплошной фронт исследований *всей* физики. «Перестройка» и «ускорение» Горбачева по отношению к науке оказались просто болтовней. Никаких изменений в структуре, отчетности, финансировании, контроле. Несмотря на это, ни в начале 1980-х, ни даже в самом начале 1990-х гг. я не представлял себе, что скоро все полетит вверх тормашками.

Вот при Ельцине действительно началась перестройка. Но этот процесс быстро перешел на «выживание реликтов». Могу сказать, что способов выживания для российского ученого 1990-х гг., если он не уходил из науки, оставалось два: уехать за рубеж (утечка) или сотрудничать с зарубежными организациями (интеграция). Выживание идет трудно, и именно выживание реликтов. Пример: в Курчатовском центре работали 14 тыс. сотрудников, сейчас около 3 тыс. – в основном пожилые. Но интеграция – дело сложное. Мы в СССР задачи интеграции в мировую науку (при участии советских ученых в конференциях и поездках на стажировки) не ставили. У командированных была лишь одна задача: привезти свежую информацию о результатах и тенденциях. Интеграция, когда решается большая проблема, – вполне разумна. Наработанный научный капитал нас не раз выручал.

Кстати, могу сообщить, что идея LIGO – зеркала в вакууме и интерференция лазерного луча между ними для регистрации гравитационной волны – принадлежит советским ученым Михаилу Евгеньевичу Герценштейну (МГПУ) и Владиславу Ивановичу Пустовойту (ВНИИФТРИ). И наши работы по созданию высокодобротных систем (с минимальным трением), которым мы посвятили немало времени и усилий, очень и очень пригодились. Кстати, вот фотография, на которой мы с коллегой стоим у маятника, время его релаксации 5 лет при комнатной температуре. Маятник сокрыт в камере, жестко прикрепленной к капитальной стене физфака толщиной 1 м 60 см.

Теперь для меня интеграция означает: а) «подкормка» грантом NSF через Калифорнийский технологический институт (Калтех) меня и еще ше-



Проф.В. Б. Брагинский (слева) и проф. В. П. Митрофанов у вакуумной камеры, в которой установлен маятник Галилео Галилея

стерых сотрудников кафедры колебаний; б) отъезд лучших выпускников-аспирантов «туда». Интеграция как выживание – это почти что «удержание рта над поверхностью». Мой личный «со товарищи» пример (МГУ – NSF – Калтех), когда мы получаем зарплату в несколько раз больше, чем от ректора, и средства на современное оборудование, показывает, что в этом смысле интеграция – полезное дело. Но я считаю, что интеграция как метод научного поиска, как способ мышления в большинстве случаев противоречит здоровому индивидуализму *исследователя* («хочу все сделать сам») и слишком привлекательна для *начальников* (удобный механизм получения наград, премий и т. д.).

– Пожалуйста, скажите несколько слов о вашем отношении к истории физики?

История вообще и история науки – это мое увлечение. Особенно история физики. Я часто вспоминаю о двух маленьких «облачках» на горизонте физики в конце позапрошлого века, которые заметил лорд Кельвин: опыт Майкельсона и спектральный состав излучения абсолютно черного тела. Потом из этих облаков грянули ураганы теории относительности и квантовой теории. Сегодня, если говорить по-честному, таких «облачков» гораздо больше, ведь и горизонт физики намного расширился. Например, понимаем ли мы, отчего имеют соответствующие значения известные нам физические константы и действительно ли они не меняются под действием каких-либо факторов? Напомню заключительные слова из мемуаров Уинстона Черчилля: «The future is unknowable, but the past should give

us hope», что в моем вольном переводе звучит так: «Будущее окутано мраком, но прошлое (история) дает нам надежду». История физики дает нам надежду, что нашей наукой будет интересно заниматься и нашим правнукам.

– Ваше мнение о будущем физики в России, сколько же нужно России физиков и как их находить и удерживать?

Наука есть бесценная, ничем не заменимая часть духовной жизни нации. Лишить нацию науки – значит оскопить ее. С другой стороны, разрешить заниматься наукой и при этом не требовать взамен быстрой прямой выгоды для народа, это огромная привилегия. Поэтому такое разрешение (такую возможность) необходимо давать *с отбором*. К сожалению, это дело жестокое. Понятно, что научный менеджмент, как модно теперь говорить, не моя специальность, и за ниже приведенные цифры я отвечаю только по порядку величины.

В США примерно 1200 человек в год получают степень PhD по физике (к этому следует добавить неизвестное мне число PhD по электронике и другим дисциплинам, близким к физике). У нас на эквивалентном уровне – около 500 в год.

Механизм отбора профессиональных физиков в США можно рассматривать как пример эффективный. Следующие этапы отбора: сначала четыре года на должности мнс с годовым окладом 30 – 40 тыс.$ (что примерно соответствует среднему годовому доходу американской семьи); затем из 1200 PhD меньше трети становятся профессорами. На этом этапе в гонку вместе с физиками «американского производства» вступают и выходцы из России и Западной Европы. Полных профессоров-физиков в США, по-видимому, не более 10000. Зарплата профессора в Калтехе, насколько я знаю, примерно равна зарплате члена Конгресса и около 1/3 от зарплаты президента США. Для примера у нас зарплата профессора МГУ составляет лишь несколько процентов от зарплаты нашего президента. Профессора в Калтехе добывают в виде грантов примерно 150 млн долларов (на каждого по 0,5 млн), и это 50% бюджета Калтеха. Далее следует 40% филантропической поддержки, 10% – плата за обучение со студентов. Неплохо бы в России иметь «мягкую версию» этой схемы.

Прямого и точного ответа, сколько нужно «производить» физиков, у меня, как видите, нет, но американский пример (может быть, с пересчетом на реальные российские масштабы) как первое приближение годится.

– Ваше мнение о роли науки (физики) в жизни человечества.

Физики в XX в. «сотворили» для человечества четыре революции. Первая – это связь (коммуникация) между любыми двумя точками на поверхности Земли. Вторая – связь космическая (картинки с Марса, Юпитера и т. д.). Третья – атомная энергетика, четвертая – вся элементная база компьютеров.

Исследовательский инстинкт (любопытство) – это божий дар (или, если вы атеист, особенность, появившаяся в результате эволюционного отбора), каковой есть у homo sapiens, сделал человечество таким, какое оно есть: все начиналось с огня и глиняных горшков. Те, кто изобрели их раньше других, выжили.

– Последний вопрос. Приближается пятидесятилетие выпуска нашего курса физического факуль-

тета МГУ. Что можно сказать об итогах этого полувека. О чем можно пожалеть, что могло бы быть лучше?

Хочу пожелать всем сокурсникам, кто еще жив и работает, работать успешно, прошлые ошибки по возможности исправить, можно и осудить, но ни о чем не жалеть. Каждому, конечно, по-своему везло или не везло, но среди нашего выпуска было (к сожалению, не все дожили) и есть немало достойных физиков. Времена не выбирают, нам досталось свое. Только из выпускников аспирантуры нашей кафедры колебаний назову Неона Александровича Арманда и Иосифа Григорьевича Акопяна, возглавляющих большие научно-исследовательские коллективы и получивших важные цитируемые в литературе научные результаты.

Несмотря на все глупости и ошибки, которые я сделал, оснований жаловаться у меня нет. Мне очень повезло: много хороших людей мне помогли в жизни, многому я научился у замечательных наставников. На вопрос: «что могло бы быть лучше?» – мой ответ: лучше было бы не делать глупостей.

– Спасибо за беседу.

Беседы состоялись в течение февраля – сентября 2004 г.
Предисловие А. В. Кессениха