

У истоков динамического хаоса – зарисовки и размышления.

(Воспоминания о Борисе Валериановиче Чирикове)

О.В. Жиров, ИЯФ СО РАН

Весной 1972 года, в конце третьего курса в нашей студенческой группе должно было состояться распределение студентов на практику в лабораториях ИЯФ. Нас собрали в конференц-зале ИЯФ, и будущие наши научные руководители выступили с предложениями.

Я мечтал заниматься теоретической физикой, хотя перспективы для этого были несколько туманны – в то время в ИЯФ была популярна идея, что "теоретики должны прорасти через асфальт". Когда вышел Б.В. Чириков и сказал, что требуется студент для теоретической работы, я согласился без колебаний, тем более, что было сказано, что работа будет связана с теоретическими оценками процессов множественного образования элементарных частиц.

Как я узнал уже позднее, предполагаемая работа была частью проекта по созданию конвертора протонного пучка в антипротоны. В те годы одним из планируемых ускорительных проектов был проект ВАПП – накопитель встречных протон-антипротонных пучков. Церновский коллайдер ISR тогда еще только строился, и шансы ИЯФ обсуждались всерьез, тем более, что рассматривались такие "домашние заготовки", как разрабатывавшееся тогда электронное охлаждение протонных и антипротонных пучков, могущие дать определенные преимущества в светимости по сравнению с коллайдером ISR.

В то время кабинет Чирикова располагался в конце коридора на третьем этаже. Кроме Чирикова, там практически постоянно сидел Феликс Израйлев, которого я знал как одного из заместителей декана нашего факультета и аспирант Валера Таюрский. Иногда там появлялась аспирантка по фамилии Крушкаль, а несколько позднее появилась лаборант-программист Лида Хайло.

Моя деятельность началась сразу же после завершения летней экзаменационной сессии. Когда я явился после сессии, Борис Валерианович объявил, что фактическим моим научным руководителем будет Э.В. Шуряк, тогда еще молодой аспирант, а он будет руководителем лишь формальным, т. к. по действовавшим правилам аспирант не мог быть руководителем студенческой практики. На тот момент Шуряк был в отпуске, и Борис Валерианович предложил мне простую задачу – изучить численно поведение интеграла Мельникова-Арнольда, заодно попрактиковавшись в программировании.

Надо сказать, что программирование в то время только вводилось в программу университета, поэтому мне ничего не оставалось, как пойти в библиотеку и взять соответствующий учебник, оказавшийся учебником популярного тогда алгола. Спустя некоторое, довольно продолжительное время, «освоив» азы программирования и написав на специальном бланке первую в своей жизни программу, я спустился в институтский ВЦ, состоящий тогда из 2-3 машин М-20. Конфуз не заставил себя ждать – оказалось, что эти машины знают лишь фортран, и моя алгольная программа совершенно не годится.

С литературой по фортрану тогда дело обстояло значительно хуже, чем по алголу. Узнав о моих затруднениях, Борис Валерианович дал мне несколько полезных советов, один из которых был – не пренебрегать советами знающих людей. Снабдив меня распечатками нескольких программ, написанных на фортране, он познакомил меня с Еленой Пахтусовой, договорившись, что она поможет мне в подготовке и оформлению программы в виде, подходящем для машин институтского ВЦ.

Программа вскоре была наконец написана и отлажена, но сходимость интеграла оставляла

желать лучшего. За исключением небольшого диапазона параметров мощности имеющихся машин было явно недостаточно для получения определенных результатов. Дальнейший, уже аналитический анализ и попытки преобразовать интеграл к более сходящемуся виду привели к обнаружению рекуррентного соотношения, позволившего результаты, получаемые в вычисляемой области распространить на весь диапазон параметров.

Для меня это задание осталось лишь математическим упражнением, так нигде и не опубликованным по причине (как мне тогда казалось), своей незначительности. Однако, и это говорит о высочайшей порядочности Бориса Валериановича, даже много лет спустя, используя полученное мной рекуррентное соотношение в своих работах он не забывал сослаться на меня как на автора этого соотношения.

Мощность ВЦ ИЯФ была крайне недостаточна, и Борис Валерианович вместе Феликсом Израйлевым пропадали на ВЦ академгородка, располагавшего тогда гораздо более мощной машиной БЭСМ-6. Эта машина была основным вычислительным ресурсом институтов академгородка, и ее время (стоившее по тем временам немалые деньги – 100 руб/час¹) было строго расписано по часам. Борису Валериановичу был выделен 1 час с 8 до 9 утра, и для проведения своих численных экспериментов на протяжении нескольких лет он каждый день (за исключением 1 января !) приходил на ВЦ к назначенному часу.

Состоявшаяся однажды моя экскурсия туда произвела на меня неизгладимое впечатление – я впервые увидел, что такое хорошо организованный численный эксперимент. В то время результаты вычислений обычно выводились принтером на широкий лист бумаги. То, что я увидел – графическое представление результатов счета на экране осциллоскопа, (и это – в самом начале 70-х !), поражало воображение! Картинка, получаемая в реальном времени, снималась кинокамерой, и динамика изучаемой модели документально и наглядно фиксировалась в своем развитии во времени. Установка графической визуализации «Экран», созданная в единственном экземпляре группой Кузнецова из Института автоматики и электрометрии, имела по тому времени уникальное устройство «световое перо», позволявшее вводить данные и управлять программой непосредственно с графического экрана. Соответствующее матобеспечение было написано Людмилой Васильевой, а сложная и капризная по тем временам электроника героически поддерживалась в рабочем состоянии Борисом Долговесовым. Использование такой техники позволило использовать остродефицитные, а по нынешним меркам и весьма скромные вычислительные ресурсы БЭСМ-6 с максимально возможной эффективностью. Безусловно, что за столь совершенной для того времени организацией численного эксперимента и визуализацией получаемых результатов стоял огромный и талант, и опыт Бориса Валериановича, как экспериментатора.

Осенью 1972 года группу Чирикова укрупнили, поселив всех на 5-м, «чердачном» этаже главного корпуса. На тот момент под нее были выделены две комнаты: в одной из них сидели Борис Валерианович, Феликс Израйлев и я, в другой – Валерий Таюрский, Лида Хайло, Борис Шмаков, которого впоследствии сменил Геннадий Минченков. Несколько позже добавилась еще одна комната по соседству, в которой разместились Витольд Вечеславов и Нелли Толстоброва. К тому моменту я окончательно (как, впрочем, и планировалось) переключился на работу с Эдуардом Шуряком, хотя мое рабочее место по-прежнему оставалось в кабинете Чирикова. Я был увлечен теорией множественного рождения частиц в адронных столкновениях при высоких энергиях и не особенно осознавал, что рядом, в одной со мной комнате, зародилось и развивается совершенно новое направление в физике, теория классического, а впоследствии и квантового динамического хаоса.

В 1977 году в группе появилось пополнение – студент 4-го курса Дима Шепелян-

¹ Средняя зарплата сотрудника института в то время составляла около 200 руб/месяц.

ский. Незадолго до этого Борис Валерианович переключился на исследование квантовой динамики нелинейных хаотических систем, и Дима сразу же энергично включился в работу. В 1976 году вышла работа Эдуарда Шуряка, прояснившая некоторые стороны динамики квантовых нелинейных систем, но общая картина оставалась по-прежнему совершенно неясной. Существовало расхожее мнение, что квантовая неопределенность вкупе с известной в классическом пределе экспоненциальной неустойчивостью нелинейной динамики всего лишь добавит степень хаотичности. Вышедшие к 1977 году работы Г.М. Заславского также указывали на такую возможность, однако помнится, что уже тогда – по крайней мере в разговорах, Борис Валерианович неоднократно² подчеркивал, что присущая квантовым системам *дискретность* спектра на динамике *квантового* хаоса может сказаться самым существенным образом³. Присутствуя на дискуссиях Бориса Валериановича, Феликса и Димы, я был невольным свидетелем становления зарождавшейся тогда теории квантового динамического хаоса.

В 1978 году была достроена долгожданная пристройка к главному корпусу института, и теоретдел, доселе разбросанный по различным этажам и помещениям института, воссоединился на 5 этаже вновь построенного здания. Население тесной комнаты Чирикова на 5-м этаже разъехалось – у Бориса Валериановича появился отдельный кабинет, и мои пересечения с Борисом Валериановичем стали значительно реже.

Много лет спустя, когда мои интересы эволюционировали к изучению динамики квантовых нелинейных систем, в середине 90-х судьба опять свела меня с Борисом Валериановичем. Мне снова выпала уникальная возможность почти постоянного общения с этим прекраснейшим человеком. В теории динамического хаоса я был по сути новичком, и он терпеливо вводил меня в курс дела. Беседы с ним были крайне интересны, потрясающе конструктивны и полезны для меня. Глубина его суждений заставляла ощутить всю сложность многих, казавшихся мне доселе банальными вопросов. Это редкое качество – умение выделить и осознать главное, казавшееся большинству лишь второстепенными не заслуживающими внимания деталями по видимому и было одним из ярчайших качеств гения, фактически с нуля создавшего новое направление в современной физике.

Важнейший инструмент Бориса Валериановича – мощнейшая интуиция была основана отнюдь не на сиюминутных ощущениях и скороспелых суждениях (что встречается не так уж редко), а на глубоком, практически энциклопедически уникальном знании предмета. Круг его чтения не ограничивался текущими научными статьями и книгами и включал в себя оригинальные работы Больцмана, Пуанкаре, Эйнштейна, Крылова и многих других классиков современной науки. Отлично понимая, что популярное изложение устоявшихся научных парадигм оставляет за бортом многие очень важные вопросы, он всю жизнь самостоятельно выстраивал для себя свою собственную интуитивную картину мира.

Запомнившаяся деталь: Борис Валерианович нередко любил повторять – "я не теоретик!". Из уст заведующего теоретическим отделом института это звучало, на первый взгляд, странно – тем более, что его вклад именно в теоретическую физику несомненен и огромен. При всей парадоксальности такого высказывания мне кажется, что это высказывание было не случайно – оно отражает важнейшую составляющую его научного таланта и исследовательского подхода.

Уравнения нелинейной динамики, несмотря на обманчивую простоту их записи, весьма

2 Главным был аргумент, что при финитном движении динамика описывается в этом случае конечным набором частот и оказывается не случайной, а лишь квазипериодической. Первое упоминание о роли дискретности спектра квантовых систем содержится в стенограмме защиты докторской диссертации Чирикова, состоявшейся в 1969 году.

3 Спустя пять лет это подтвердилось, в частности, открытием достаточно неожиданного явления *квантовой локализации* квантового хаоса.

сложны для аналитического анализа. Более того, наличие нелинейности обуславливает появление многообразных качественно различных режимов соответствующей динамики, причем смена режимов может происходить иногда даже при относительно небольшом изменении параметров изучаемой системы. В критических областях методы разложения по (малому) параметру оказываются неэффективными, и аналитическое описание затруднено. Несомненной заслугой Чирикова явилось блестящее применение для анализа столь сложных задач численного эксперимента, как мощного метода для выявления фундаментальных закономерностей и механизмов нелинейной динамики. В частности, исключительно важную роль сыграла в этих исследованиях предложенная им универсальная, простая и чрезвычайно богатая модель динамического хаоса, известная как "стандартное отображение", позволившая понять и детально исследовать важнейшие черты нелинейной динамики как в классическом, так и в квантовом режиме.

Создание модели явления обычно лишь первый шаг в научном познании. Куда более значимым и трудным оказывается получение на основе модели *фундаментальных научных знаний*. Порой нужна гениальная прозорливость, чтобы из (на первый взгляд!) малозначительных *частных* наблюдаемых эффектов выделить те самые закономерности и механизмы, роль которых *фундаментальна*. Это требует от исследователя весьма незаурядных качеств, присущих скорее экспериментаторам – среди многообразия наблюдаемого умения отделить зерна истины от плевел методических погрешностей, неизбежных хотя бы из-за реально существующих ограничений в постановке эксперимента ⁴. В равной степени это справедливо и в реальном, и в численном эксперименте – в последнем, в частности, из-за физических ограничений на быстродействие и память компьютера. И именно умение поставить эксперимент так, чтобы искомый ответ *стал* доступен, составляет великое искусство экспериментатора.

Говорят, что на заданный однажды Борису Валериановичу вопрос, почему он ушел из обычного эксперимента, он ответил: «в эксперименте результата приходится ждать слишком долго». Но, как показывает опыт, даже и в теоретических «аналитических» исследованиях ожидание результата может весьма затянуться. Известный пример – квантовая хромодинамика, изучение непертурбативных эффектов которой потребовало в 80-х годах развития целой индустрии численного моделирования КХД на решетке. Использование компьютерного эксперимента Чириковым опередило этот бум на полтора десятка лет и было понято окружающими не сразу – я припоминаю, в 70х возникали бурные дискуссии, насколько можно доверять такому эксперименту и какое отношение он может иметь к реальной физике.

От опытов Фарадея до написания Максвеллом его знаменитых уравнений прошло несколько десятков лет. В численных экспериментах по динамическому хаосу и экспериментатор, и теоретик соединились в одном лице, что уже лишь через несколько лет привело к зарождению теории динамического хаоса, составившей основу докторской диссертации Бориса Валериановича в 1969 году. Эта диссертация вскоре была издана в виде препринта ЦЕРН – случай довольно нетривиальный, ибо далеко не каждая докторская диссертация может похвастаться такой востребованностью! В дальнейшем эти и последующие исследования легли в основу вышедшего в 1979 году в «Physics Reports» фундаментального обзора, получившего в научном сообществе неофициальное название «библия хаоса».

Разумеется, такой успех был бы невозможен без глубокого теоретического понимания проблемы, высокой теоретической культуры. Борис Валерианович поддерживал тесные отношения со многими математиками, в частности с Арнольдом и Синаем, и был в курсе всех важных математических работ, посвященных нелинейной динамике, разбираясь в них досконально и глубоко вникая в их суть. Он не терпел поверхностности и необоснованных заявле-

⁴ Вспоминаются знаменитые строки А. Ахматовой: «когда б вы знали, из какого сора/ растут стихи не ведая стыда»

ний, и в высказываниях на научные темы он мгновенно реагировал на любую небрежность и фальшь.

В 90-х годах теория одночастичного динамического хаоса, как классического, так и квантового в основных своих чертах была завершена – в частности, были выяснены и условия, и основные механизмы его возникновения, влияние и роль квантовых эффектов. Основные уравнения и формулы были получены, но наступившее время потребовало более глубокого осознания роли и места хаоса в окружающем нас мире, чему и были посвящены несколько последних работ Чирикова. Работы эти содержат не только подведение некоторых итогов, но в них содержатся идеи, рассчитанные на перспективу – в частности, обсуждению роли хаоса в пока еще не понятой физике процесса квантовых измерений.

Одной из интереснейших идей, занимавших его в последние годы его жизни, был вопрос о роли хаоса в функционировании мозга. Он был убежден, что в получении новых знаний (информации) хаоса играет первостепенную роль, так как регулярная динамика означает сохранение как энтропии, так и информации. С интересом углубившись в эту проблематику, он много читал, изучая многочисленные исследования как биофизиков, медиков, психологов, так и философов. В разговорах с ним чувствовалось что у него уже начинала складываться определенная картина и, возможно, что он был уже на пороге нового открытия.

Очень жаль, что не успел...