



*Илья Романович Пригожин. Москва, декабрь 1992 г.
Фото В. В. Богданова*

От редакции

31 декабря 1992 г. в ИИЕТ РАН состоялась встреча с выдающимся ученым, лауреатом Нобелевской премии по химии И. Р. Пригожиным. В ней принимал участие его сотрудник, греческий математик доктор Янис Антониу. Бельгийский химик Илья Пригожин родился в Москве в канун русской революции — 25 января 1917 г. В 1921 г. его семья эмигрировала из России. В 1977 г. Пригожину была присуждена Нобелевская премия по химии «за работы по термодинамике необратимых процессов, особенно за теорию диссипативных структур». «Исследования Пригожина в области термодинамики необратимых процессов коренным образом преобразовали и оживили эту науку», — сказал Стиг Классон в своей вступительной речи от имени Шведской королевской академии наук. Эти работы открыли для термодинамики «новые связи и создали теории, устраняющие разрывы между химическими, биологическими и социальными полями научных исследований... Исследования Пригожина отличают также элегантность и прозрачность, поэтому ученого заслуженно называют поэтом термодинамики».

Встреча проходила на русском языке, что создало для всех ее участников особую атмосферу теплоты, доверительности и взаимопонимания. Предлагаем читателям запись этой беседы с несущественными сокращениями.

Н. В. Вдовиченко (к. ф.-м. н., ст. научн. сотрудник ИИЕТ): Понятно, что двух часов, отведенных для нашей беседы, заведомо не хватает, чтобы удовлетворить научное любопытство всех здесь присутствующих. Поэтому мы хотели бы для начала попросить Вас, Илья Романович, рассказать о некоторых фактах своей биографии, о людях, которые сыграли ключевую роль в формировании Ваших научных интересов и, может быть, даже определили Вашу судьбу.

И. Пригожин: Для меня — честь и удовольствие быть здесь и говорить с вами. Я рад посетить Институт истории естествознания и техники, потому что всегда интересовался историей науки, и вы можете видеть доказательства этому в моих книгах. Я много читал Гастона Башляра, которого во Франции, конечно, читают все, а также труды Александра Койре, ученого русского происхождения. Его работы произвели на меня даже большее впечатление, чем труды Башляра. Я был знаком с Борисом Кузнецовым, которого вы все хорошо знаете, с удовольствием читал его книги об Эйнштейне, Ньютоне и других. Это очень интересные книги.

Сам я физик, точнее физикохимик, но всегда интересовался вопросами необратимости, и те проблемы необратимости, которыми я занимаюсь, имеют разные аспекты. В последние годы многое стало проясняться, потому что появилась возможность соединить рассмотрение этих вопросов с теорией хаоса, с теорией неустойчивых систем, и в классической, и в квантовой механике. Интересно, что это приводит к созданию новой математики. В общем, так и должно быть, так как новая теория всегда имеет новую математическую формулировку.

Сегодня я прослеживаю более ясно, как логически происходило это развитие. Но с другой стороны, это развитие, конечно, происходило вовсе не так, потому что сама жизнь состоит, главным образом, из цепи случайностей и никакой логики в ней нет. Проходит время, и вам кажется, что какая-то логика была. На самом деле происшедшее во многом есть дело случая. Быть может, моя позиция, мой взгляд на науку вызваны тем, что я всегда интересовался историей, историей искусства, музыки. Я получил, как говорят, гуманитарное образование: учил греческий, латынь, классические языки — и никогда не думал, что буду заниматься наукой.

Могу рассказать следующий анекдот из своей жизни. Все считали, что я буду юристом. Мне было тогда 16 лет, и я размышлял так: «Что должен делать



*И. Р. Пригожин и Н. Г. Басов. Москва, декабрь 1992 г.
Фото В. В. Богданова*

юрист? Он должен защищать знаменитых преступников. Чему надо учиться, чтобы защищать преступников? Психологии». Поэтому я пошел в ту библиотеку, где уже бывал мой брат, и попросил какую-нибудь книгу по психологии. Как раз в то время в издательстве Дюма вышел первый том двадцатитомной энциклопедии по психологии. Мне дали этот том, что само по себе было довольно анекдотично: предложить шестнадцатилетнему мальчику для знакомства с психологией один из томов громадной энциклопедии!.. Первый том был посвящен хронаксии и вообще нейрофизиологии, а так как я имел чисто гуманитарное образование, то ничего не понял. Тогда я купил маленькую книжку по биологии и начал читать ее. Там было много сведений по химии, а из химии я не знал ничего. Поэтому я купил какую-то книгу по химии, и, поскольку она начиналась с физикохимии, пришлось купить книгу и по физике. В этой книге по физике было довольно много математики, так что я начал учиться математике. Таким образом, мои юридические интересы сменились естественнонаучными. Сегодня каждому ясно, что между нейрофизиологией и математикой существует определенная связь... но в данный момент я просто хотел показать на примере, какую роль играет случай в истории жизни.

Другой пример демонстрирует роль не только случая, но и влияния. Дело бы-

до перед войной. В то время идея стать историком или музыкантом казалась не совсем уместной*. Мой отец был химиком, так что и я решил пойти в химию. Через некоторое время я заинтересовался проблемой времени, его необратимостью. У нас был профессор Теофил Де Донде. Он преподавал термодинамику и интересовался термодинамикой необратимых процессов**. Однако его идеи в этой области были довольно «провинциальны», вот в каком смысле. Гиббс и вся калифорнийская школа считали, что термодинамика — это описание только равновесных систем; надо было работать в университете, стоящем в стороне от основного русла исследований, чтобы заниматься вопросами необратимости. Если бы в то время я жил в Калифорнии или среди проблем обратимости, то все осталось бы «обратимым». Де Донде был для меня началом. Он сделал один очень интересный шаг, который заключался в том, чтобы считать необратимость следствием неравенства Клаузиуса. Это неравенство приводится во всех книгах; но что содержится в этом неравенстве, я не могу сказать. Например, Дюгем и вообще вся французская школа физики интересовались этим вопросом, однако во всех книгах он так и остался нераскрытым. Де Донде был математиком, учеником Пуанкаре, и знал только две книги по термодинамике — Клаузиуса и Гиббса. Когда его назначили профессором в политехнику, он стал думать над тем, что же давать студентам, что может интересовать инженеров. Инженеров интересуют машины, т. е. электричество и термодинамика. Поэтому он взял две известные ему книги по термодинамике — Клаузиуса и Гиббса — и стал думать, как их совместить: у Гиббса была идея химического потенциала, а у Клаузиуса — его знаменитое неравенство. Для математика или физика химия — это мистика, что-то особенное, нерациональное. Итак, Де Донде, считая, что неравенство Клаузиуса принадлежит химии, стал писать для любого превращения в замкнутой системе $dQ' = -rd\xi$, где dQ' — некомпенсированная теплота, r — теплота реакции, ξ — координата (или степень полноты) реакции. Это позволило ему ввести понятие сродства $A = \frac{dQ'}{d\xi}$. Поэтому самое главное значение

его теории состоит в том, что для общего случая необратимых реакций он написал равенство $\frac{dQ'}{d\xi} = A$ и был этим очень доволен. Далее он положил сродство равным нулю и получил то, что знали все. Однако сама идея о том, что необратимость может быть выражена точным равенством, для многих была слишком революционной. Я помню, что все, кто работал в химии, — а я был физиком и в то же время химиком — не имели права пользоваться даже терминологией Де Донде, потому что это считалось ересью. Они должны были пользоваться терминологией Льюиса. Так впервые, когда мне было 20 лет, я увидел, что идея сделать физику необратимой, вызывает сопротивление.

Почему идея необратимости вызывает такое пристрастное отношение? Вот вопрос, который всегда меня волновал и который поддерживал мой интерес к истории науки. Почему, когда мы говорим о теории гравитации, мы ведем себя нормально, спокойно, а когда речь заходит об энтропии, начинаем волноваться? В целом, мы более или менее спокойны, когда говорим о гравитации или уравнениях Максвелла, но когда начинаем говорить по поводу времени, все очень возбуждается и очень переживают. В одной своей книге — «Порядок из хаоса» — я привожу две цитаты. Одна из Эддингтона, который говорит, что второе начало термодинамики — это самый важный закон природы; а другая цитата из Льюиса — о том, что он надеется, что прежде чем умрет, будет в состоянии исключить из физики понятие энтропии, которое «антропоморфно и паразитно».

* И. Пригожин ко всему прочему еще и прекрасный музыкант.

** Несколько лет назад вышла на русском языке книга Т. Де Донде и П. Ван Руссельберге. Термодинамическая теория сродства. Книга принципов. М., 1984. Перевод с англ.: *Th. De Donder, Pierre Van Rysselberghe. Thermodynamic theory of affinity. The book of principles. London; Oxford. 1936.*

Так что вы видите двух людей, довольно крупных ученых (конечно, Эддингтон, на мой взгляд, покрупнее, чем Льюис), но один говорит, что это самый главный закон, а по мнению другого, этого просто нет, оно не существует вообще. Я считаю, что такая ситуация очень интересна. К тому же сложилось так, что на протяжении всей своей жизни я всегда находился в оппозиции главному течению.

Итак, я начал думать, как извлечь что-нибудь конкретное из термодинамической идеи моего учителя Де Донде. В конце концов, он написал более широкое, более общее неравенство, но сразу же вернулся к равновесию. Я решил, что надо все-таки пойти дальше. В то время я очень интересовался еще и биологией (а биология — это, конечно, неравновесие) и читал книгу Э. Шредингера «Что такое жизнь?» (1944). Это второе из влияний на мою жизнь в науке. Позднее я довольно хорошо знал самого Шредингера и, между прочим, мог бы рассказать о своей дискуссии с ним по вопросу о том, что такое время, потому что мы так и не пришли к единому мнению. Его книгу о жизни я читал с большим удовольствием. В ней меня заинтересовали два аспекта. Первый состоит в том, что жизнь возможна только за счет обмена энтропией: чтобы иметь положительное производство энтропии, надо получить поток энтропии. Между прочим, эту идею в должной мере так и не поняли, и даже недавно — в дни празднования столетия Шредингера — Перутц сказал, что это положение неверно, так как есть поток энергии и т. д., а не только энтропии. Это, конечно, недоразумение, ибо если вы имеете поток энтропии, то непременно его частью будет поток энергии.

И второй аспект: как это получается, что жизнь так устойчива? Из крокодила получается крокодил, из курицы — курица? Речь идет не только о наследственности, но и о стабильности. Шредингер думал, что эта устойчивость подобна хорошим часам, т. е. имеет механическое происхождение. А мне это казалось очень странным, потому что в механике нет простых устойчивых систем. Если вы исследуете вращение Земли и появляется какой-нибудь метеорит, то вы заметите изменения в орбите и это изменение останется. Значит, в этом смысле система неустойчива — она не возвращается в прежнее состояние. И я решил, что, вероятно, надо придумать совсем другую идею стабильности. Аналогией, ко-



*Встреча в МГУ, декабрь 1992 г.
Фото В. В. Богданова*

торая пришла мне тогда в голову, был город. Город стабилен только потому, что он — открытая система. Именно открытость системы обеспечивает ее стабильность: если вы закроете город, он естественно уничтожится. А взаимодействия внутри города — это то, что делает систему стабильной. В эту идею я верю еще и теперь и думаю, что она представляет очень важный элемент моей теории.

Но этой идее надо было дать математическую формулировку, и поэтому я установил теорему о минимуме производства энтропии вблизи равновесия. А минимум производства энтропии уже обеспечивает стабильность просто потому, что он минимум. Правда, этот принцип справедлив только около равновесия и в области линейных процессов. Но уже тогда я понимал, что неравновесность даже в этом линейном случае — это совсем не то, о чем обычно пишут в книгах: там отклонение от равновесия всегда ассоциируется с неким усилием, с невозможностью перейти к циклу Карно. Я же видел, что физико-химические процессы даже около равновесия имеют большое конструктивное значение: они дают возможность получить порядок из беспорядка. И нельзя сказать, что это аппроксимации или ошибки, феноменология и т. д. Это повело меня в двух направлениях.

Одно направление — идти дальше по пути феноменологии, и тогда появляется возможность говорить даже о состояниях вдали от равновесия. Очень интересно, что в классической термодинамике Гиббса речь идет только о стабильности, а мы с Глансдорфом утверждаем, что даже в макроскопическом описании можно получить нестабильность. Когда вы берете, скажем, химическую реакцию, она удовлетворяет второму принципу термодинамики и тем не менее дает новые состояния, например периодические и т. д. Тогда это была главная моя работа с профессором Глансдорфом, с Николисом и другими... Теперь все это — очень модные работы не столько по термодинамике, сколько по кинетике, по теории бифуркаций и т. п. Но самым интересным моментом этого исследования я считаю тот результат, который показывает, что в неравновесии часто возможно то, что в равновесии получить нельзя. К примеру, главное возражение против физико-химической интерпретации жизни состояло в том, что такие сложные состояния невозможны по теории вероятностей; но что невероятно в равновесии, становится вероятным в неравновесии. Это, конечно, еще только начало, и есть, с одной стороны, большая разница между «сложностями», с которыми имеют дело физика и химия (и которых, кстати, становится все больше и больше). С другой стороны, все больший круг биологических вопросов мы можем понять все глубже и глубже с точки зрения физики и химии, но все-таки я бы сказал, что эти науки еще не встретились. Я считаю, что главная проблема науки в следующем веке — это встреча между физикой, химией и биологией. Мы еще многого не понимаем в конкретных биологических вопросах и еще не можем создать жизнь искусственно. До этого еще далеко. Думаю, что это один из самых интересных вопросов.

Другой аспект не феноменологический, а фундаментальный. Если необратимость действительно играет такую конструктивную роль, она не может быть просто феноменологией. Это невозможно. Что вы читаете в книгах Хокинга, Рюэля, Фейнмана и др.? Все они как один говорят: фундаментальные законы обратимы, а необратимость — это феноменология. Это происходит потому, что мы делаем какие-нибудь аппроксимации. В это я не мог поверить, и потому моя работа выпадает из этого ряда. Я хотел установить точную динамику не в статистическом классическом смысле, но точную динамику необратимых процессов. А это идет против традиции западной науки. Я бы даже уточнил, что некоторая ясность в этих вопросах обнаружилась только за последние три-четыре года. Для того чтобы получить необратимое описание динамических процессов, вы должны продвинуться дальше в теории операторов, потому что фундаментальные операторы, рассматриваемые в классической и квантовой механике, являются самосопряженными. Здесь я не буду углубляться в детали, но остановлюсь только на проблеме, как это может быть, чтобы самосопряженные операторы имели комплексные собственные значения? Это был главный вопрос необратимой статисти-

ческой механики. Им очень много занимался Н. Н. Боголюбов. Его работы очень важны, я их читал и очень уважаю. Занимался им и Гиббс. Сам Гиббс думал, что это будет аппроксимация. Трудность в том, что надо получить точные математические результаты, и это можно сделать на основе теории Гельфанда и теории обобщенных пространств. В таком расширенном пространстве можно получить комплексный спектр энергетических операторов, и как раз мнимая, а не действительная часть этого спектра связана с функцией Ляпунова... Квантово-механические гамильтоновы системы довольно сложны, но существует целый класс новых систем, так называемых отображений, для которых мы с сотрудниками построили спектральную теорию, позволяющую точно (в математическом смысле) получить набор собственных функций операторов, которые носят имена Фробениуса-Перрона. Теперь я вполне удовлетворен положением дел, потому что добился того, что меня интересовало: получил математически строгую теорию необратимых процессов в фундаментальном смысле. Но это меняет даже смысл того, что вы называете законами природы, потому что эти законы чисто статистические. Они не сводимы к траекториям или волновым функциям. И это нормально. Потому что если есть направление времени, вы не можете думать детерминистически, ибо если действует детерминизм, то не будет направления времени. Еще Гиббс понимал, что если есть направление времени, то понять это можно только в статистической теории. В этом случае законы природы приобретают другой смысл: они говорят о том, что возможно, а не о том, что будет. Это, конечно, не мешает классическим теориям, но дает новые возможности для теории неинтегрируемых систем. Например, существует проблема, как проинтегрировать динамические системы, которые в смысле Пуанкаре неинтегрируемы? Этот вопрос, который поставил Пуанкаре, и ответ на который дала теория Колмогорова—Арнольда—Мозера, мы теперь решаем для довольно простых (в математическом смысле) систем, которые мы можем интегрировать, но интегрировать в смысле вероятности, а не в смысле отдельных траекторий.

Таким образом, я дал вам очень схематический обзор интересующих меня проблем.

Е. Шемякин (академик РАН, профессор МГУ): Я занимаюсь прикладной механикой, и у меня есть два вопроса, которые, как мне кажется, имеют отношение к тому, о чем Вы сейчас рассказывали. Первый вопрос — относительно Н. А. Козырева. У нас в стране это был известный астроном, который напрямую связывал направление времени, т. е. его ход от начала конкретного промежутка, с возрастанием энтропии. Около 35 лет назад в Ленинградском университете состоялась дискуссия между Козыревым и А. Д. Александровым, занимающимся хроногеометрией, на которой обсуждался этот вопрос. К сожалению, мы тогда ничего не знали о работах в этом направлении. Вопросы были поставлены так: связано ли направление времени с возрастанием энтропии, а его обращение — с убыванием? Конечно, материала было мало, и можно было бы назвать это развитие мысли чисто интуитивным. Даже трудно решить, отнести это к феноменологии или к чему-то другому. Могли бы Вы как-то это прокомментировать?

И. Пригожин: Вопрос этот космологический и, конечно, имеет свои трудности и свою специфику. Я бы сказал, что для меня главная проблема заключается в том, что в уравнении Эйнштейна тензор Риччи уравнивает геометрическую часть с материальной. Это означает, что для того, чтобы придать смысл материальной части, мы должны воспользоваться аналогией с ньютоновой механикой. Но ньютонова механика никак не связана с космологией в смысле «начала». Иными словами, если есть начало нашего мира, то это порождает вопрос, каким образом материя образовалась из квантового вакуума? В ньютоновой механике подобного вопроса нет. Значит, надо пересмотреть правую часть уравнения Эйнштейна, связанную с энергией и импульсом, и когда вы это сделаете, то это даст возможность рассматривать начало нашего мира — Big Bang — как неустойчивость и как термодинамически необратимое явление. Это очень-очень сложный

вопрос, но, как показали два моих сотрудника, гравитационные системы, взаимодействующие с массивным полем, представляют собою систему Пуанкаре, которая имеет резонансы между материей и гравитацией и потому может быть неустойчивой.

В настоящее время есть две тенденции. Одна — ее представляет С. Хокинг и др. — стремится уничтожить временной аспект и перейти к чистой геометрии. Может быть, вы читали книгу Хокинга «Краткая история времени»*. Он считает, что время должно быть мнимым, чтобы сделать пространство и время более симметричными. А по-моему, напротив, их надо сделать еще менее симметричными, так как что может быть более необратимым, чем переход от квантового вакуума к материи?..

Если у Вас есть материалы по дискуссии Козырева и Александрова, я бы очень хотел их иметь.

Г. Идлис (д. ф.-м. н., ИИЕТ): В прошлом году вышла монография Козырева, где собраны все эти работы**.

И. Пригожин: Хочу представить вам атмосферу, которая сложилась против идеи времени как фундаментальной. После выхода моей книги «Порядок из хаоса» появилась рецензия под названием «Является ли необратимость фундаментальным свойством материи?» (Не помню, в «Physics Today» или в издании Академии Нью-Йорка...) Написал ее Пейганс, астрофизик. Резюме этой рецензии таково: мы все знаем, что необратимость не фундаментальное свойство природы, и только Пригожин думает, что свойство это фундаментальное, и теория его вполне безответственна. Вы можете сами видеть, что дискуссия продолжается до сих пор; но хочу отметить, и считаю это очень важным, что в последнее время в подходе к этой проблеме возник некоторый прогресс. Раньше это было просто противостояние: вы могли говорить «да» или «нет», но решения не было. Одни были «за», но большинство было «против». В традиции западной науки это был открытый вопрос. Теперь мы можем доказать, что в категории систем унитарная группа времени делится на две части, состоит из двух полугрупп, и можем доказать, что это и есть математика необратимых процессов. В «International Journal of Quantum Chemistry» вышел обзор Я. Антониу и С. Тасаки «Обобщенное спектральное разложение смешанных динамических систем»***, который довольно легко читается.

Е. Шемякин: Вы указали на то, что для описания необратимых процессов требуется новая математика, особенно интересен тот момент, что в таком случае вы уже не можете рассматривать отдельную траекторию, а должны описывать ансамбль. Мы считаем, что начало такой интересной математики было положено Сергеем Львовичем Соболевым, который предложил свое обобщенное пространство.

И. Пригожин: Но я думал, что пространство, которое нам нужно, это пространство Гельфанда.

Е. Шемякин: Да-да. Я имел в виду, что это было начало: Гельфанд ссылается на Соболева****. Я хотел напомнить о больших возможностях, которые там за-

* Хокинг С. От большого взрыва до черных дыр. Краткая история времени. М., 1990.

** Козырев Н. А. Избранные труды. ЛГУ, 1991.

*** Из доступных нам источников на эту тему рекомендуем статью Antoniou J., Tasaki S. Generalized spectral decomposition of the β -adic baker's transformation and intrinsic irreversibility // Physika A. 1992. Vol. 190. P. 303—329.

**** Соболев С. Л. Некоторые применения функционального анализа для математической физики. Новосибирск, 1962.

ложены; именно с работ Соболева началась теория распределения Лорана Шварца (он сам говорил об этом).

И. Пригожин: Я не сомневаюсь, что у нас большие пробелы. Даже если это так, мы все-таки знаем, что 90% того, что мы сделали, имеет своим истоком русскую математику. Это идеи А. Н. Колмогорова, А. М. Ляпунова, И. М. Гельфанда, М. А. Наймарка, Я. Г. Синая... — если говорить только о некоторых. И, конечно, в этом ряду мы должны будем вспомнить и Соболева.

Б. Козлов (д. ф. н., главный редактор ВИЕТ): Я узнал совершенно неожиданно для себя, что в годы войны Вы были репрессированы и даже находились в лагере. Не могли бы Вы рассказать об этом эпизоде своей жизни?

И. Пригожин: Не думаю, что это представляет большой интерес. Но расскажу вам две вещи. Во-первых, в Бельгии немцы вели себя не так отвратительно: они хотели показать, что они европейцы. А во-вторых, тогда, когда я был арестован (по той причине, что университет был закрыт, но я нелегально читал лекции студентам и занимался с ними; впрочем, это было не очень опасно), немцы уже знали, что война проиграна, и потому их можно было купить. Я был арестован вместе с моей первой женой, которая умерла, и ее матерью. Отец моей жены был адвокатом и как раз в это время работал с немцем-эмигрантом, который имел связи с гестапо: он получал деньги от Сопротивления и давал их немцам. Таким образом меня выкупили. Я находился под арестом всего десять недель.

Б. Козлов: Ощущаете ли Вы принадлежность к российской культуре и как Вы относитесь к национальной культуре народов России? Испытываете ли Вы какие-то особые чувства по отношению к этой культуре?

И. Пригожин: Да, безусловно. Мне было четыре года, когда мы уехали, но мои родители всегда хотели, чтобы у меня был преподаватель по русскому языку, и я читал всех русских классиков. Думаю, что это было очень важно для меня. В конце концов я многое забыл, но мой брат, который был на четыре года старше меня и который стал довольно знаменитым орнитологом (он жил в Африке и открыл много новых видов птиц; теперь он уже умер), до конца своей жизни читал и писал по-русски. Звали его Александром. Когда мы покидали Россию, ему было всего восемь лет, но все равно для него главным языком остался русский. А я тогда был много младше, и потому моя жизнь сложилась несколько иначе. Друзья брата были в основном русские, а я общался уже с бельгийцами. Можно сказать, что четыре года — это бифуркация. На Ваш вопрос могу ответить так: я чувствую себя почти дома.

Н. Вдовиченко: Илья Романович, известно, что Ваши вненаучные интересы лежат в области литературы, музыки и археологии. Связано ли это как-нибудь с Вашими основными занятиями или представляет совершенно другое погружение в реальность?

И. Пригожин: Я думаю, что это все одно и то же. Я не верю в науку для науки, искусство для искусства, в литературу для литературы. Я думаю, все это разные грани цельной жизни. Может быть, мой интерес к археологии, который проявился довольно поздно, связан с тем, что у меня стало значительно меньше времени для игры на фортепиано. Археология для меня — это чтение книг и рассматривание некоторых объектов, что занимает гораздо меньше времени, чем игра на рояле. Для того чтобы играть хорошо, вы должны тратить два-три часа ежедневно. Если же вы играете плохо, то просто неприятно самого себя слушать. Возможно, археология для меня — заменитель музыки. Но есть и другой аспект. У меня было очень мало единомышленников в моей научной деятельности, и я всегда думал: может быть, это ошибка? Может быть, все не так, и законы природы не знают времени? Может быть, это иллюзия для человека? Но именно все

археологические объекты указывают на реальность времени. Например, вы на-
-талкиваетесь на новый стиль, которого никогда не было прежде. Скажем, за четыре
тысячи лет до Рождества Христова в прединастическом Египте вдруг в течение
нескольких сотен лет развился совершенно новый стиль. Или возьмите Мексику,
Гареру. Крошечная страна создает там в пустыне совсем новый стиль, которого ни-
когда не было раньше и никогда не будет потом. То же самое и в Аргентине. Когда
несколько лет назад я был там, то обнаружил для себя стиль, с которым не стал-
кивался никогда раньше и который очень современен: что-то похожее на Генри Му-
ра, но, я бы даже сказал, много лучше и очень-очень оригинальный.

Вот вам маленький анекдот. Будучи в Аргентине, я давал интервью. Меня
спрашивали про то и про это, а я все говорил об археологии Аргентины и очень
мало обо всем остальном. В конце концов мне присвоили степень почетного док-
тора по археологии.

А. Блох (д. г.-м. н., АЕН): Простите, я сделаю небольшую ремарку к только
что сказанному. Илья Романович в 1975 г. сопровождал короля Бодуэна во время
его визита в Советский Союз, и одним из пунктов этой поездки был Самарканд.
Когда они прибыли в Самарканд, Илья Романович нашел небольшую временную
лакуну и сбежал из свиты короля с археологами на раскопки.

И. Пригожин: Да, и там нашли маленького Будду. Я вообще считаю, что Са-
марканд — очень интересное место, потому что до VI в. там было все: и греки,
и христиане, и несторианцы, и буддисты, и все-все-все...

Д. Баюк (к. ф.-м. н., ВИЕТ): Скажите, пожалуйста, Илья Романович, наука
представляет для Вас эстетическую ценность?

И. Пригожин: Эстетическую, конечно. Но очень трудно дать определение эс-
тетического. Скажем, мой учитель Де Донде наиболее эстетическими считал ва-
риационные принципы. Дирак говорил, что красивы симметрические теории. А
я спрашиваю: что красивее — кристалл или живое существо? Живое существо
несимметрично, в нем симметрия нарушена. Так что когда вы говорите по по-
воду эстетического, трудно сказать, что вы считаете самым прекрасным. Для ме-
ня живое более эстетично, чем кристалл, и, стало быть, нарушенная симметрия
красивее идеальной.

Н. Вдовиченко: Это восточная идея. Японцы считают, что идеальная симмет-
рия доступна только Богу, а нарушенная — это жизнь.

И. Пригожин: Вы очень точно сказали. Когда я был в Японии несколько лет
тому назад, мне дали копию знаменитого свитка дзенского монаха XIII в. До-
гэна, где он представил Вселенную в виде круга, в котором имеется небольшой
изъём треугольной формы. На следующем шаге этот треугольник превращается
в шестиугольник, потом — в двенадцатиугольник, двадцатичетырёхугольник... и
это — история Вселенной. Я считаю это довольно интересным, потому что сна-
чала имеется некий идеал, где присутствуют все симметрии, а потом все идет
через их нарушение.

Н. Вдовиченко: И опять, если число граней увеличивается, все снова прибли-
жается к кругу.

И. Пригожин: Это, конечно, так, но это чересчур просто. Я думаю, здесь ин-
тереснее аналогия с фракталами.

Г. Идлис: У нас развивалась идея, что можно чисто математически рассмот-
реть самоорганизацию материи на разных уровнях: в физике, химии, биологии
и психологии. Если подходить так, что начальный уровень наиболее симметри-
чен, а потом отказываться от симметрии наиболее слабым образом, т. е. нару-
шать ее, но минимально, то последовательно получим: сначала в физике уровень

фундаментальных частиц, затем в химии — атом, затем в биологии — нуклеотиды и аминокислоты и, наконец, в психологии — типы личности. Первая часть этой работы вышла в 1990 г.^{*}, вторая же из-за трудностей нашей академии пока лежит в издательстве. Будем надеяться, она появится в следующем году. Первая часть касается как раз физики и химии, а следующие два этапа — это биология и психология. В области биологии большую серию работ в том же направлении выполнили Л. Б. Меклер и Р. Г. Идлис. Когда в Москве проходил Международный философский конгресс, Ваш соавтор, Изабелла Стенгерс, была в их лаборатории и знакомилась с их работой. С тех пор эти исследователи серьезно продвинулись дальше.

И. Пригожин: Большое спасибо. Я хочу только сделать одно замечание. Очень трудно, по-моему, выстроить это все в одну линию, потому что неизвестно, что сложнее — протон или человек. Протон тоже непросто, он имеет очень сложную структуру, и структура эта была создана за очень короткое время в космологическом масштабе. Я бы сказал, что есть разные направления, и, конечно, эти вопросы очень трудны, как и наши соображения по поводу Вселенной. Вы же знаете о вакууме Дирака: материя может находиться в положительных и отрицательных состояниях, и потому все разговоры о смерти Вселенной наивны. Если уж она начала свое существование с нестабильности, очень трудно сказать, какие неустойчивости ожидают ее в будущем.

Ф. Медведев (д. ф.-м. н., ИИЕТ): Вы упомянули понятие порядка. Определяете ли Вы это понятие или же принимаете за неопределяемое? Если определяете, то как?

И. Пригожин: На этот вопрос можно дать много ответов. Один ответ — теория информации Чейтена—Колмогорова — состоит в том, что сложность имеет отношение к программе описания. Другой ответ — так сказать, динамического характера — заключается в том, что порядок должен занимать маленькую часть фазового пространства. Это тоже классический вопрос, и это, на мой взгляд, довольно верно, потому что равновесие занимает большую часть фазового пространства, а равновесие можно считать беспорядком. Но не всегда все так просто. Довольно трудно объяснить все это в нескольких словах. Однако качественно можно представить себе, что если есть несколько состояний равновесия, то необратимость вносит порядок. Пример, который я имел в виду, — это термодиффузия. Когда у вас есть два резервуара, один холодный, а другой теплый, то у вас уже есть порядок, так как одного и того же химического продукта будет больше в одном из них и меньше — в другом. В равновесии это было бы невозможным. А благодаря тому, что здесь имеет место неравновесие, то вы можете создать структуру, в которой слева больше одного, а справа — другого. Но как построить точную аксиоматику порядка и беспорядка, я не знаю.

Я. Антониу: Я хочу кое-что добавить. Используя аппарат неравновесной статистической механики профессора Пригожина, вы можете определить связь между слабо неравновесными корреляциями как в классической, так и в квантовой механике.

Ф. Медведев: Есть целые теории множеств, целые теории порядка, изложенные, например, в книге Клауа^{**}.

И. Пригожин: Это совсем другой вопрос, очень интересный, но — другой.

Вл. Визгин (д. ф.-м. н., ИИЕТ): Я хотел бы задать вопрос по поводу сине-

^{*} Идлис Г. М. Единство естествознания по Бору и единообразные взаимосвязанные периодические системы физики, химии, биологии и психологии. I. // Исследования по истории физики и механики. 1990. М., 1990. С. 37—78.

^{**} *Klaau D. Allgemeine Mengenlehre. Ein Fundament der Mathematik. Berlin, 1964.*

ргетики. Кроме Вашей теории, Вашей концепции, если ее можно назвать теорией нелинейных систем, теорией диссипативных структур, есть еще синергетика, как ее развивал, скажем, Г. Хакен. Что это — разные эквивалентные концепции? Может быть, в чем-то неэквивалентные? Как Вы понимаете вообще, сколько и каких существует концепций, родственных Вашей?

И. Пригожин: Это довольно сложный вопрос. На меня работы Хакена не оказали большого влияния. Я уважаю работы Хакена по теории лазера, это очень интересные работы. А идею синергетики не люблю, потому что это пустое слово. Я предпочитаю называть эту область физикой необратимых процессов. Почему синергетика? Синергетика — везде, в фазовых переходах, например. Синергетика — я не хотел бы быть чересчур негативным — это просто слово, в которое включено все, что нашли другие. На мой взгляд, это довольно странный подход, не только неконструктивный, но ложно навевающий мысль, будто в синергетике содержится что-то оригинальное. Оригинальная же часть синергетики — только работа Хакена по теории лазера. Я интересовался больше химическими реакциями, а Хакен занимался лазером, и это хорошо. Но когда он хочет взять все это и назвать синергетикой, то, по моему мнению, это довольно странно. Когда я спросил Хакена, в чем здесь смысл, то он ответил, что нашел принцип подчинения. Но этот принцип в научной литературе известен уже лет пятьдесят или сто... В химии этот принцип используется всегда: если у вас есть быстрая и медленная реакции, то вы можете считать, что в результате быстрой реакции сразу устанавливается равновесие и она замораживается. Тогда вы можете рассматривать только медленную реакцию... Может быть, профессор Климонтович имеет более точный ответ?

Ю. Климонтович (д. ф.-м. н., профессор МГУ): Могу рассказать такой эпизод. В Нижнем Новгороде проходил ряд конференций по нелинейной теории, организованных школой А. А. Андропова, которую теперь представляют Ю. А. Неймарк, А. В. Гапонов-Грехов и др. Когда появился термин «синергетика», он вызвал очень много споров: «Зачем его вводить? Мы давно уже занимаемся синергетикой! У нас есть теория нелинейных колебаний, автоколебаний. Так что мы тоже синергетики». Споры были очень жаркими, и все участники никак не могли остановиться. Тогда я сказал: «С моей точки зрения, синергетика подобна лозунгу „Пролетарии всех стран, соединяйтесь!“». В качестве объединяющего лозунга введение этого термина было полезным, потому что стимулировало очень много плодотворных конференций. Кстати, прекрасная конференция в Пушкино, на которой были и Вы, называлась «Синергетика-83»... Я очень люблю термин «диссипативные структуры», считаю, что это полезный и емкий термин. «Синергетика» — слово другого плана, но тем не менее, если оно используется и прививается, в этом нет ничего плохого. Это ничему не противоречит. Сам я называю эту область статистической физикой открытых систем. На физическом факультете МГУ уже более десяти лет успешно работает семинар «Синергетика», в котором принимают участие специалисты совершенно разного профиля.

И. Пригожин: Тут есть один маленький политический андерграунд, которого я не люблю, но не хочу больше об этом говорить.

Ю. Климонтович: Позвольте мне сказать несколько слов. Уже несколько лет я читаю курс на физическом факультете МГУ, который называется «Статистическая теория открытых систем». Сейчас я написал краткую обзорную статью для сборника по самоорганизации в оптике, которая называется «От обратимых уравнений механики к необратимым уравнениям статистической теории, диссипативных структур и самоорганизации»*. Это относительно краткий текст, около

* Те же идеи в основном изложены в работе: *Климонтович Ю. Л. О необходимости и возможности единого описания кинетических и гидродинамических процессов // ТМФ. 1992. Т. 92. № 2. С. 312—328.*

30 страниц. Основная идея — в сущности та, за которую Илья Романович борется много лет, — о конструктивной роли динамической неустойчивости. Основное противоречие между Больцманом и Пуанкаре, хотя оба были правы, состояло в том, что Пуанкаре исходил из механики Гамильтона и при этом понимал, что движение очень сложно, что есть динамическая неустойчивость; Больцман же фактически сразу ввел сплошную среду: ведь кинетическое уравнение — это уравнение сплошной среды в шестимерном пространстве координат и скоростей. Однако описание сплошной среды не может быть обратимым, потому что есть понятие точки, понятие физически бесконечно малого объема, есть понятие многих частиц в точке физически бесконечно малого объема, для которых мы уже не можем говорить об их движениях, об их траекториях. Значит, это по существу два совершенно разных взгляда, но то, что их объединяет, — это понимание, что динамическая неустойчивость ведет к перемешиванию, к необходимости необратимого описания. В механике эта необратимость фактически появляется благодаря неустойчивости движения. Тогда возникает очень принципиальный вопрос: во всех работах, посвященных обоснованию кинетических уравнений, в частности в замечательной работе Н. Н. Боголюбова, нет понятия сплошной среды, т. е. нет мостика между исходным представлением системы как системы частиц, например, газом Больцмана, и позицией, когда среда является сплошной, как в кинетической теории Больцмана, т. е. нет конкретного определения, что же такое сплошная среда. Это означает, что надо дать *физическое определение точки* на конструктивной основе, с точки зрения структуры. И необходимо, чтобы такое определение было конкретным. Например, для газа Больцмана. Это даст возможность определить понятия Гиббса для неравновесных процессов, чего фактически нет. Что такое ансамбль Гиббса для неравновесных процессов? В теории Гиббса этого нет, ансамбль используется только для равновесных систем. Но если вы более конкретно определите понятие сплошной среды, то это можно использовать при переходе от уравнений механики к кинетике, и тогда оказывается, что структура кинетических уравнений радикально изменится. В них возникнет дополнительный диссипативный член, происхождение которого связано как раз с наличием динамической неустойчивости. Это даст возможность более полного и более глубокого описания неравновесных процессов на основе таких дополнительных диссипативных членов, происхождение которых связано с перемешиванием из-за динамической неустойчивости. Я считаю, именно такой подход служит конструктивным выражением идей, которые Вы, Илья Романович, много лет пропагандируете. В связи с важностью всего этого комплекса проблем в МГУ сейчас готовится к изданию новое междисциплинарное учебное пособие «Статистическая теория открытых систем», построенная на базе лекций, которые я читаю студентам физического факультета.

И. Пригожин: По поводу конфликта Больцмана и Пуанкаре. Пуанкаре, конечно, механик, но самое интересное, что он не понял того, что системы Больцмана неинтегрируемы. Так, когда вы говорите, что через достаточно большое время система вернется обратно, то это справедливо только в том случае, если вы знаете траекторию; а если за время Ляпунова вы теряете траекторию, то и утверждение это теряет смысл. Очень интересный и трагический момент: Пуанкаре, который должен был понимать, что для нестабильных систем говорить о возврате не имеет никакого смысла, этого-то и не понял. И это тем более странно, что именно он был основателем теории неинтегрируемых систем. Он был великим математиком, но плохим философом. Я мог бы прочесть целую лекцию о математических и философских воззрениях Пуанкаре. Как математик он был намного выше. Когда он писал о втором начале термодинамики, он высказал одну очень важную вещь: этот закон имеет значение только в статистической Вселенной, добавив при этом, что статистические отношения означают, что речь идет о свободе, а свобода — это не физика и не математика, так что лучше вернуться обратно к настоящей физике. Таким образом, у него уже была идея, но он ею не воспользовался.

Теперь по поводу отношения к работам профессора Климонтовича, которые я знаю и уважаю. Существует большое различие между его работами и работами моими и моих сотрудников. Различие это состоит в том, что для меня и моих сотрудников главный подход к необратимости — отказ от антропоморфных моделей; мы должны рассматривать необратимые явления математически в том же самом фундаментальном смысле, как мы это делаем с обратимыми. Это нельзя корректно получить только на качественном уровне, вводя континуум или ансамбль Гиббса и т. п. Надо иметь новую математику. Последние десять лет моей жизни были посвящены поискам этой новой математики, которая у нас теперь есть и которая начинается, как Вы сказали, от Соболева и, во всяком случае, продолжает работы Гельфанда, она вбирает все обобщения гильбертова пространства. Так, если вы показываете, что у оператора рассматриваемых систем имеет комплексные собственные значения, то это абсолютно объективное утверждение, не имеющее ничего общего с нашим восприятием того или иного объекта. Кроме того, показано, что существуют такие классы операторов, которые имеют более чем одно спектральное представление. На мой взгляд, это совершенно новое фундаментальное утверждение. И среди этих классов есть такие, которые содержат представление, дающее необратимость. Таким образом, дается строго математическое обоснование теории необратимости. Конечно, между идеями обобщенного гильбертова пространства и сплошной среды существует некоторая связь. Что же это за связь? Идея сплошной среды — это идея постоянно действующих взаимодействий, которые не начинаются и не кончаются. В этом они отличаются от полевой теории S -матрицы. В теории поля вы имеете падающую и рассеянную волны, о которых мы знаем, что асимптотически они свободны. Явлениям такого рода и посвящена электродинамика. Но во всех этих теориях работает идеализированное представление о взаимодействии как о включающемся только на короткое время. А в правильной теории сплошной среды или в космологии никогда ничего не начинается и ничто не кончается, и потому вы не имеете асимптотически свободных состояний. Следовательно, вам надо найти математические функции, которые описывают никогда не начинающиеся и никогда не кончающиеся взаимодействия. Можно сказать, такие функции чересчур сингулярны, чтобы их можно было поместить в гильбертово пространство. В известном смысле я согласен с профессором Климонтовичем в том, что теория сплошной среды — это часть новой математики негильбертова пространства. Все эти новые определения и понятия дают описание необратимости и целого ряда других проблем.

Д. Баюк: А как же быть с квантованием?

И. Пригожин: Были найдены квантовые поправки к классической теории необратимости, а вопросы, которыми мы занимаемся, — это совсем другое. Это вопрос: где возникает резонанс между *бра*- и *кет*- в билинейной квантовой механике? У вас есть квантовая механика волновой функции и вероятность. Квантовая механика утверждает, что все можно сделать на уровне волновой функции. А мы показали, что в общем случае, если вы берете два поля, находящихся в резонансе (и даже разные простые системы), то между *бра*- и *кет*- возникает резонанс и временная зависимость асимптотически существует не в гильбертовом пространстве, а в произведении пространств. Так что фундаментальное значение имеет плотность вероятности, а не волновая функция. В этом смысле вы должны построить новую квантовую механику. Что интересно: тогда вы имеете чисто динамическое понимание так называемого коллапса наблюдаемой функции, безо всяких философских наслоений.

Ю. Климонтович: Можно еще два слова? Мне очень интересны все эти работы, и действительно, переход от гильбертова пространства к новым обобщенным пространствам на основе работ Соболева, Шварца, Гельфанда — это фактически изменение, отход от чисто обратимого динамического описания, и на квантовом уровне это приближает нас к пониманию сплошной среды, к принципиальному

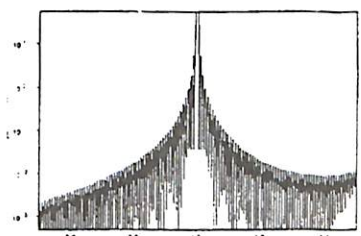
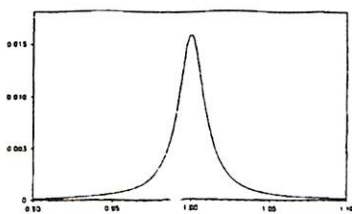
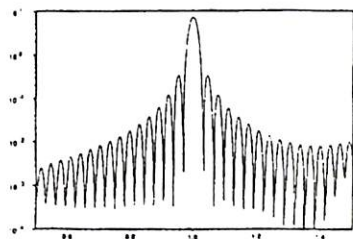
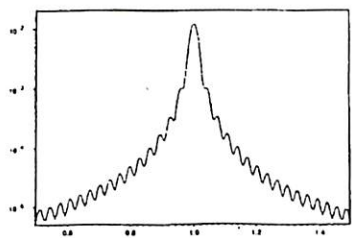
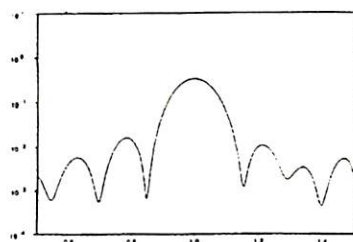
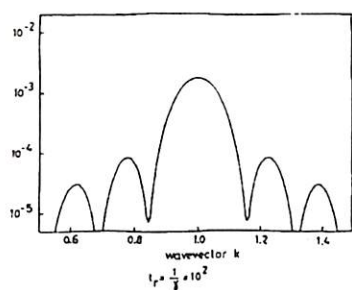


Рис. 1

Рис. 2

отличию исходной позиции. Скажем, уравнение фон Неймана, обратимое для волновой функции многих частиц, должно быть заменено и фактически заменяется другой квантово-механической структурой, в другом пространстве. Фактически это аналогично переходу от концепции Пуанкаре гамильтоновой механики к концепции Больцмана.

(Здесь И. Пригожин показал несколько рисунков, демонстрирующих разницу между обычным квантово-механическим описанием и своей новой математикой на одном простом примере одномерного рассеяния на потенциальном барьере локализованного и делокализованного сигналов. В первом случае результаты обоих подходов совпадают (см. рис. 1). Их можно найти в любом учебнике. В случае же делокализованного сигнала разработанная группой Пригожина методика дает совсем иную картину (см. рис. 2).)

И. Пригожин: Сначала я покажу, что происходит в пространстве координат, а потом в пространстве импульсов. Сигнал должен быть не просто широким, но и оставаться таким достаточно долгое время. Тогда отраженный и падающий сигналы перекрываются, и вы уже не можете их различить. Получается, что зона рассеяния становится все больше и больше, и уже нельзя сказать, что вероятность определяется волновой функцией. Можно утверждать только, что сама зона растет пропорционально времени и имеет постоянную вероятность, а это верно только для плотности вероятности, но не для волновой функции. Математически это означает, что и размер зоны, и плотность — сингулярные функции, и смысл имеет только интеграл от функции, а не ее значение в точке. Такая

обобщенная функция дает пропорциональность времени при постоянной вероятности, а для обычной волновой функции они были бы константами. Вы можете видеть сами, что плотность не сводится к волновой функции.

Теперь я покажу вам то же самое, но в пространстве импульсов. Здесь картина совершенно другая: и отраженный, и прошедший сигналы имеют одинаковую структуру. Есть две точки 1 и -1, которые находятся в резонансе, потому что энергия зависит только от абсолютного значения импульса, а не от направления. Когда вы стараетесь локализовать сигнал около этого значения энергии, функция становится все более патологической и в конце концов принимает вот такой вид. (*Показывает рис. 2*). Точки резонанса становятся все более и более сингулярными, но амплитуды их остаются равными. О чем это говорит? О том, что существует необратимый подход к микроканоническим распределениям. Ибо микроканоническое распределение — это симметричная комбинация волновых функций, которые имеют одну и ту же энергию. На компьютере вы можете показать, что, если у вас есть непрерывно действующее взаимодействие, вы получаете приближение к термодинамическому равновесию. Качественно это совпадает с тем, о чем говорил профессор Климонтович, но только это сформулировано математически.

Б. Козлов: Напишите, пожалуйста, что-нибудь для нашего журнала к 90-летию Б. Г. Кузнецова, с которым Вы были дружны и довольно много общались.

И. Пригожин: Вероятно, я снова буду в Москве в мае или июне будущего года, и тогда, думаю, будет проще всего взять у меня интервью. Я уже сказал, что считаю работу Б. Г. Кузнецова об Эйнштейне очень интересной, потому что он делал акцент на психологических аспектах. Я считаю, что они играют очень важную роль. Недавно я написал небольшую работу, которая называется «Наука. Страсть и разум». Вы знаете, что есть целые эпохи в науке, когда страсть играла определяющую роль. Так было для Бэкона, Галилея, Кеплера и Эйнштейна. Возможно, она имеет большое значение и для меня.

На прощание по просьбе участников встречи Илья Романович сделал на стене зала заседаний памятную надпись:

La science est une parti de notre culture. Je souhait donc un grand succès à votre Institut. I. Prigogine a 31/12/92.*

Публикация Н. В. Вдовиченко

* Наука — это часть нашей культуры. Желаю вашему Институту большого успеха. И. Пригожин.