### *Послесловие Кораблик в бутылке*

### Автореферат научных (и не только) работ

Недавно моя обожаемая «госпожа горничная» Гюльнара поставила на стол небольшой макет парусника в запечатанной бутылочке. Изящный кораблик с синими парусами хорошо смотрится среди других настольных сувениров. Но глядя на эти наполненные несуществующим ветром паруса, на устремленный вперед форштевень, рассекающий несуществующие волны,на наглухо закрытый выход из гавани, я думаю о том, как много общего в моей судьбе, моих работах и достижениях с этой игрушечной шхуной. Ранее, описывая научно-технические достижения ЛНФ в области нейтронных источников с моим участием, я не касался этических и личностных сторон, не выделял своей роли. Теперь, подводя итоги, рискну взглянуть то, что сделано, субъективным взглядом, рассказать о том, что могу отнести к моим личным достижениям в работе, чем мог бы оправдать затраченные годы, чем могу гордиться, а о чем-то и сожалеть. Так, как сожалеет и грустит о недоступном, бескрайнем и таинственном море запечатанный в бутылке кораблик.

Из первых 5-6-ти лет моей работы можно выделить четыре результата, более-менее полезных в деле создания и совершенствования пульсирующих реакторов. Во-первых, я нашел и исправил некоторую неточность в ставшей классической теории пульсирующих реакторов *Игоря Ильича Бондаренко* и *Юрия Яковлевича Стависского (БиС)*. Эта неточность принципиальную роль не играла – именно эти два выдающихся человека из Обнинска, соратники *Дмитрия Ивановича Блохинцева* написали новую страницу в физике реакторов, выбрав правильный подход к решению задачи стабильной (при нулевой мощности) работы таких реакторов, ввели удобные параметры, определили границы применимости теории (в более ранних теориях Д.Юда и Т.Н. Зубарева, о которых БиС не могли знать, были использованы необоснованные приближения, приводящие к ошибочным решениям). Я же установил, что пренебрежение источником нейтронов в области импульсной надкритичности, использованное И.И. Бондаренко, приводит к двухкратному снижению расчетной энергии импульса.Это дало мне понять, что и я могу «обжигать горшки».

Второй результат – предложил уравнения «эффективной одноточечной модели кинетики реактора», которая применима в случае широкого разброса времени поколения мгновенных нейтронов. Эту модель кинетики в числе прочих представил в своей фундаментальной энциклопедии импульсных реакторов 1999 года *В.Ф. Колесов*. Даже в наши дни не все физики-реакторщики понимают необходимость использования такой модели при наличии толстого отражателя нейтронов.

Третий результат:вывел соотношение, определяющее оптимальный режим работы бустера– размножающей мишени импульсного реактора. Оно было использовано при пуске импульсного бустера «ИБР+микротрон». Этобыл тот случай, когда роль расчетов преувеличивается коллегами. Я ведь просто-напросто нашел максимум функции согласно тривиальному приему высшей математики – дифференцированию.

Четвертая задачапотребовалауже нетривиального и длительного исследования, а не была оцененадолжным образом. Эту четвертую «крепость» я брал вместе с Геной (*Геннадием Никитовичем) Погодаевым.* Гена пришел на ИБР через два года после меня, хорошо подготовленным инженером-теплофизиком. Работать в паре с ним было интересно – мы оба любили пошутить, но наши расчеты, без шуток, быликрайне нужныв той ситуации, которая сложилась на ИБРе .В первые же годы работы ИБРа стало ясно (прежде всего, *Федору Львовичу Шапиро*), что мощности 1-3 кВт этого реактора явно недостаточно для проведения нейтронных исследований на пучках на мировом уровне. В 1964-1965 годах на основе тепловых и нейтронно-физических расчетов на компьютерах того времени мы получили результат, положенный в основу проектирования ИБР-2, а именно: реактор мощностью 10 МВт, охлаждаемый жидким натрием, с модулятором реактивности в виде ротора с лопастями (или двух роторов) будет иметь оптимальные параметры как источник нейтронов для работы на выведенных пучках; увеличение мощности не улучшит характеристик источника. Важно отметить, что при изучении концепции реактора будущего в 2016-2018 годах (*Г. Комышев, А. Рогов, В. Аксенов* и Е. Шабалин) этот вывод, сделанный ешёв середине 60-х, был подтвержден, хотя подход к решению задачи в начале 21 века был иным.

Несложные работы, осуществленные мной в 60-х, тем не менее были по совокупности признаны в нейтронном сообществе, и в 1971 году я в сопровождении своей счастливой супруги Ларисы получил в Свердловском зале Кремля золотую медаль лауреата Государственной премии. Это была моя вторая «рейтинговая» медаль – первой была золотая медаль по окончанию средней школы.

За более, чем полувековую научно-исследовательскую работу накопилось у меня около 200 публикаций в научных журналах и сообщениях ОИЯИ. Среди них одна – *монография «Импульсные реакторы на быстрых нейтронах»* – оказалась наиболее значительной и своевременной, получившей широкое признание. Даже теперь, спустя полвека, её читают,и мне случалось слышать от специалистов, что они находят что-то новое для себя. Эту монографию считаю**первым** по значимости моим достижением.

Затеяли мы эту книгу, явно переоценив свои силы, с моим лучшим другом со второго курса МИФИ*Анатолием Ивановичем Хопёрским.* В конце 60-хТоляперевел с английского техническую брошюру по атомной энергетике, и это натолкнуло его на мысль о написании книгипо тематике импульсных и пульсирующих реакторов. Никакой открытой литературы на эту тему не было. Мой опыт работы на импульсных реакторах ограничивался одним десятилетием – слишком мало для автора будущей монографии. К тому же ябезалаберно относился к физике, чем только ни увлекался – кино, фотографией, КВН, выпускал стенгазеты. Мы успели лишь обдумать структурумонографии, как случилось непоправимое: Толя скончался от врожденного порока сердца, очень рано, в возрасте 35 лет. На траурной церемонии похорон осенью 1971-го я публично обещал написать книгу, намеченную с другом. Отступать было некуда, и в 1973-м всё-таки сел за работу. На удивление быстро – через два года –закончил рукопись ивдруг понял, что книга получилась!И в 1976-м была издана Атомиздатомв обложке черного цвета с загадочным, немного зловещим рисунком Валерия Ломидзе. Книга была выпущена также на английском в 1979 г. издательством Пергамон Пресс (перипетии англоязычного издания описаны в разделе «Кимоно-то хировато»). Спустя почти 20 лет, Американское ядерное общество наградило меня специальным дипломом за книгу, а недавно я получил письмо от издательства Elsevier просьбой об ее переиздании и распространении методом *ondemand* («по требованию»).Значит спрос на монографию ещё есть, а тираж в 70-е годы был всего лишь 1900 экземпляров в СССР и несколько сот – за рубежом. У меня самого осталось только два экземпляра. К настоящему времени опубликовано уже несколько монографий по импульсным реакторам; лучшие и наиболее полные написал *Владимир Федорович Колесов*, главный теоретик импульсных апериодических реакторов в Сарове (с ним читатель встретится не в одном из разделов этой книги). Мы познакомились во время его посещения Дубны при пуске ИБР-2. Владимир Фёдорович – человек незаурядный, энциклопедических знаний, особенно в области физики и техники импульсных реакторов, широких интересов, приверженец христианской морали и пуританин в среде научно-технических безбожников. Работоспособность – феноменальная. На рубеже веков опубликовал монографию импульсных апериодических реакторов в трех (!) томах, каждый по 500-600 страниц большого формата.. А затем и монографию по динамике реакторов. Шутя, Владимир Федорович определяет нашу литературную работу, как соревнование: после выпуска одного из томов моей научно-фантастической эпопеи «Тайны Наукограда» (2011 – 2013годы) он написал книгу-воспоминание о своем почившем друге и, вручая её нашему общему знакомому Саше Стрелкову, сказал: «Это – достойный ответ Шабалину». В общем, по количеству «толстых» технических изданий «команда» Сарова ведет сейчас 4:2, по художественным лидирует Дубна – 5:1. В «соревнованиях по весу печатной продукции» безусловный перевес на стороне Владимира Фёдоровича. Мне не отыграться.

Сохранившийся интерес к моей монографии объясняется, по-видимому, простотой отражения сложных процессов в импульсных реакторах, которая подкупает читателей, недружных со строгой математикой. Во время работы над книгой у нас был только первый ИБР (включая его модификацию ИБР-30), он же – единственный пульсирующий реактор в мире. В монографии я решил описать теорию и технику не только пульсирующих, но и импульсных реакторов взрывного, или апериодического действия – один импульс в сутки. В США такие реакторы работали, и кое-что по ним публиковалось. В России женичего не издавалось, и реакторы, предназначенные для военных целей, оставались секретными. Тогда я обратился в калифорнийскую Sandy Lab, где работал реактор апериодического действия, с просьбой помочь с материалами для книги, особоне надеясь на ответ. Но неожиданно мне ответил *Роберт Лонг*, как позже выяснилось, крупный специалист в этой области, позднее –председатель Американского Ядерного Общества. В ответном письме Лонг прислал много фотографий американских реакторов, и эти материалы я использовал в книге. Сейчас, вероятно, такого сотрудничества не случилось бы. С Робертом Лонгом мы очно познакомились и подружились на американо-японском семинаре 1976 года в Японии (см. главу «Кимоно-то хировато!») и неоднократно встречались потом в США и в Дубне. Именно Р. Лонг в 1994 году на одной из конференций по ядерным реакторам в Вашингтоне торжественно вручил мне тупамятную доску в честь издания монографии..Особенно приятно было то, что одновременно такую же доску вручили профессору Д. Хетрику за монографию по динамике реакторов, русскоязычное издание которой давно является настольной книгой физика-реакторщика.

В рукописи монографиия дал также описание одного из советских реакторов взрывного (самогасящегося) действия БАРС со ссылкой на небольшую брошюрку общества «Знание» *Ю. Ф. Орлова*, как я позже узнал – в то время диссидента. Он умудрился издать книжку в некоем армянском издательстве без санкции Минсредмаша (кто-то походатайствовал, чтобы помочь материально автору, которого нигде не брали на работу). Перед подписанием тиража моей монографии в печать в Госкомитете по атомной энергии обратили внимание на упоминание о наших закрытых реакторах, и соответствующий раздел из книги изъяли. На мои возражения был ответ: «Брошюрка эта для нас не существует, она издана без разрешения».

С отечественными реакторами я познакомился позднее, после выхода из печати монографии. В 1977 году, в связи с проектированием ИБР-2, мне довелось поработать на импульсном реакторе БАРС в секретном ядерном институте в Подмосковье, том самом, куда меня не взяли на работу в 1959-м. Операторы реактора благодарили тогда меня за книгу: «Какая полезная! Из нее мы узнали, как работает реактор». Хотелось сказать: «А как же вы работали до этого!?». Причем работали, в основном, на военные заказы. Вот к чему приводит излишняя секретность!

В общем, монография 1976 года – это работа, давшая мне «глубокое удовлетворение». В те времена меркантильная сущность вещей меня не занимала, мне хватало ощущения бодрости своих сил и нужности проделанной работы. Илья Михайлович предлагал мне защищать докторскую по мотивам монографии. Я отказался, предпочтя отдых от писанины и интенсивную работу по подготовке ИБР-2 к пуску. К диссертации вернулся только через 25 лет, после завершения беспокойной, но интересной последней четверти 20-го века. Немалую роль в этом решении поздней защиты сыграл *Юрий Викторович Петров (1928-2007)*, выдающийся физик-реакторщик из Ленинграда (ПИЯФ), известный, прежде всего, концепцией мощного исследовательского реактора ПИК (вместе с *Киром Александровичем Коноплёвым*) и идеей ускорения быстрых нейтронов при рассеянии на ядрах изомеров. Юрий Петров защищал диссертацию в возрасте около 70 лет в Дубне. Я тогда поинтересовался, с какой стати он решился на это в таком возрасте? И Юрий Викторович ответил мне коротким рассказом:

«Однажды в С-Петербургеосенним днем увидел я пожилого человека, стоящего на углу Невского и канала Грибоедова. Старичок был в распахнутом пальто, а на груди у него висел иконостас медалей и значков. Нет, орденов не было, только значки разных мастей и ценности. Было понятно, что человек этот распахнул пальто в не очень-топриятную погоду, чтобы показать миру свои награды, свои достижения. Всё, чего он достиг за свою долгую жизнь».

Мотив Петровабыл понятен и, сохранившись в моей памяти, зазвучал в 2003 году.

**Вторая**по значимости работа, продолжавшаяся с 1971 по 1983 год– это совершенствование подвижного отражателя реактора, главного узла, определяющего длительность нейтронного импульса. Сложная научно-техническая задача решалась, естественно, в составе коллектива. Наибольший вклад внесли А.Д. Рогов, Н.А. Хрястов, В.Л. Ломидзе, С.В. Сизарев, Клаус Ноак, В.П. Пластинин, В.Д. Ананьев. Работа была успешно завершена созданием решетчатого ПО-3. Здесь, правда, ошибок было не меньше, чем достижений. Когда мы в 1967-1968 годах проверяли физическую модель ИБР-2 на большом стенде в Обнинске – измеряли критмассу, время жизни, эффективность подвижного отражателя, я пренебрег влиянием дополнительного отражателя на длительность импульса и не стал измерять нужные для этого параметры критсборки. Казалось, что длительность импульса зависит только от основного отражателя, а дополнительный лишь определяет частоту импульсов. В результате при пуске реактора импульс нейтронов оказался в 2,5 раза длиннее (продолжительнее),чем следовало из данных, полученных на обнинской модели. На исправление этой ошибки было потрачено много усилий и времени. Окончательный вывод по оптимальной конфигурации подвижного отражателя сделали лишь в 1981 году, а реализовать его по финансовым и другим обстоятельствам смогли только в 2004-м году. Сожалею, что руководство ЛНФ не сразу поверило в предложенное мной сотоварищи наилучшее техническое решение конструкции модулятора реактивности. Это стоило 18 лет работы и на высокой скорости ???двух дополнительных комплектов модулятора, в пересчете на валюту – несколькомиллионов долларов. Подробнее об этом см. часть 2, глава «Письмо тракториста».

**Третье**достижение– открытие явления *стохастической неустойчивости*импульсных ядерных реакторов. Это было опубликовано в двух серьезных русскоязычныхжурналах – «Вопросы атомной науки и техники» и «Атомная энергия». Русские физики-реакторщики не обратили особого внимания на мои пионерские работы и позже, при публикации аналогичных работ в той же «Атомной энергии», не ссылались на меня. А вот в США эту работу заметили: моя статья была напечатана в журнале NuclearTechnology, а позднее в некоторых университетах США читались лекции по этой теме.

Как же всё происходило? Однажды я решил теоретически исследовать динамику импульсного реактора при большоймощностяиИзучая это, вдруг обнаружил странную вещь: при повышении мощности реактора в какой-то момент вместо 5 импульсов в секунду реактор начинает «выдавать» 2,5 импульса в секунду. Поразмыслив, понял, почему это происходит. Но если еще дальше поднимать мощность, получается сокращение частоты еще в 2 раза, потом ещё в 2 раза, а потом вдруг появляется хаос, т.е. с какого-то момента возникают импульсы произвольной величины. Ничего не делается, а возникает то нулевой импульс, то огромный!Об этом удивительном явлении я рассказал знакомому теоретику *Владимиру Казимировичу Игнатовичу;* тот посоветовал мне почитать про фракталы. Это был 1985 год.Прочитал, понял: такое поведение динамической системы описывается диаграммой Файгенбаума, диаграммой бифуркаций и детерминированного хаоса, открытой всего семь лет назад (!) Т.е. я мог получить эту диаграмму, изучая динамику реактора, раньше, чем это сделали математики. Размечтался… Но что-то я все же открыл: *даже надежный реактор с сильной отрицательной обратной связью может оказаться в неуправляемом режиме*. Более того: чем сильнее обратная связь, тем быстрее реактор переходит в режим *стохастической неустойчивости.*Когда я отослал эту работу в серьезный американский журналNuclearTechnology, мне дали сначала отрицательный отзыв: «Работа хорошая, но ее нельзя публиковать, потому что она вызовет отрицательный общественный резонанс, протест против атомной энергетики». Мне удалось убедитьредакцию, что к атомной энергетике это не относится, и работу опубликовали. Лекции по стохастической динамике реакторов были потом внесены в курсы некоторых американских университетов. Теперь вновь конструируемые исследовательские реакторы обязательно проверяются на стохастическую неустойчивость.

До сих пор не знаю, можно ли назвать эту работу открытием? Формально открытие – это неизвестное ранее физическое явление. Так давайте вспомним опять Юрия Петрова, который рассказал нам в Дубне о естественных реакторах в Габоне, два миллиарда лет назад. В этих реакторах была возможна стохастическая неустойчивость. Значит, всё-таки открытие?

**Четвертая** рецензируемаяработа – о спонтанных тепловых взрывах, возникающих при облучении материала холодных замедлителей нейтронов. *Спонтанный саморазогрев* вещества при наличии определенного количества радикальных атомов и молекул и мгновенный выброс водорода неоднократно приводили к разрушениям замедлителей на интенсивных источниках нейтронов. Существовало несколько теорий тепловой неустойчивости,включая работы всемирно известного Франка-Каменецкого. Но,анализируя результаты наших опытов,я убедился, что ни одна из теорий не предсказывает специфических особенностей спонтанного саморазогрева. И выяснил, что главную роль в этом процессе играет *неравномерность распределения радикалов,* чего никто ранее не принимал во внимание.Эту работу я опубликовал, но поскольку не принадлежу к клану химиков-кинетиков, то на публикацию опять никто не обратил внимание, за исключением моих коллег по разработке холодных замедлителей нейтронов. А работа была не тривиальная. Чтобы придти к выводу о существенном влиянии неравномерности распределения радикалов на величину их критической концентрации, пришлось «поломать голову», обработать и проанализировать многочисленные экспериментальные результаты, написать ряд программ для ЭВМ.

**Пятым** своим достижением я считаю гипотезу о зарождении жизни во Вселенной вследствие спонтанного саморазогрева смеси простейших соединений на частицах пылевидных туманностей (к сожалению, не опубликованную в узко-специализированныхнаучных изданиях). Пылевые туманности во Вселенной образуются при взрывах сверхновых и существуют сотни миллионов лет. Температура в них подходящая – около 10К, их состав известен: простейшие органические соединения – аммиак, метан, вода, двуокись углерода. Было давно известно, что если облучать такую смесь, то образуются аминокислоты. Я подсчитал интенсивность облучения пылевых туманностей космическими протонами, и получилось, что каждый миллион лет пылинка в пылевом скоплении «взрывается» (точнее, быстро нагревается на несколько градусов или десятков градусов из-за достижения критической концентрации радикалов). В результате повышения температуры ускоряются химические реакции, и, соответственно, процесс образования аминокислот, причем, каждый последующий раз – более сложных. А за 100 млн лет и больше они могли усложниться вплоть до ДНК, которые затем были занесены на Землю. В этом меня поддержал ***Майо Гринберг,*** известный голландский ученый, занимающийся теорией генерации простейших аминокислот в хвостах комет. Я специально приезжал в Голландию, чтобы познакомиться с ним.

К сожалению, эту гипотезу я так и не опубликовал в серьезных научных изданиях –переключился на работу в Германии по проекту европейского нейтронного источника ESS. А потом… потом другие дела захватили. А скорее всего, не будучи Фёдором Конюховым, просто не решился пускаться в плавание по океану на весельной лодочке. В наше время теория синтеза протобиологических молекул при облучении протонами уже практически общепризнана.

**Шестое:**Вероятно,могупричислить к личным достижениям обоснование преимущества импульсного реактора, заряженного ядерным топливом на основе *нептуния-237*, над реакторами, загруженными плутонием или ураном. Начали изучать свойства нептуниевого реактора вместе с *Анатолием Дмитриевичем Роговым* ещё в 1991 году, но тогда не заметили всех его замечательных свойств. И только в 2016-2018 годах я обнаружил два других выдающихся свойства такого реактора в дополнение к раннее известным (короткому времени жизни нейтронов и нечувствительности к затоплению водой), а именно: в несколько раз *ниже фон нейтронов между импульсами и отсутствие эффекта снижения коэффициента размножения при работе реактора,так называемого «эффекта выгорания*». Последнее настолько необычно, что не сразу специалисты поверили в этот эффект. А он даёт большой срок использования тепловыделяющих элементов без догрузки и перегрузки активной зоны в течение 20-25 лет – скореене выдержит нержавеющая сталь.

Начиная с 2018 года, идет проект создания такого реактора в Дубне - НЕПТУН. Это будет первое и единственное в мире применение значительного количества (полтонны) изотопа нептуний-237, который до сих пор считался опасным отходом атомной энергетики. Не могу не перечислить своих коллег, приложивших усилия, знания и авторитет на первом этапе проекта - доказательстве необходимости создания такого реактора в Дубне после выработки ресурса ИБР-2М: *Виктор Аксенов, Глеб Комышев, Елена Проценко, Михаил Рзянин, Анатолий Балагуров, Сергей Куликов, Александр Иоффе и др.*

**Седьмое:** К достижению №7 можно отнести то, что в возрасте 73 года начал писать научно-фантастические и приключенческие романы и рассказы с альтернативной историей, но это – другая история (*см.раздел«Нуулуа – любовь моя»).*

Итак, семь, существенных по собственной оценке достижений. Если верить в нумерологию, то семерка – моё число. Цифра 7 встречается в каждом адресе, где я проживал, она почти всегда присутствует в номере года, чем-либо памятным для меня**.** В здании 11**7** мой кабинет был на **7-**ом этаже, издано 7 книг с моим авторством. А вот на моей бейсболке изображено только 4 шитых золотом звезды, а в стеклянном шкафу лежат на бархатных подушечках только четыре золотые медали. Ну что ж– добавим три медали, которые только на вид золотые.

Чуть не забыл: в конце 2021 года, уже при подготовке рукописи этой книги к печати, мне удалось понять и обосновать (с определяющим участием молодых коллег-реакторщиков *Максима Подлесного и Александра Верхоглядова)* нетривиальную особенность динамики пульсирующих реакторов, ранее не замеченную: *динамический изгиб,* приводящий в определенных случаях к *детерминированному хаосу,* некое обобщение явления стохастической неустойчивости (см. выше). Считая это за половинку достижений, получим 7½. Что ж, я ведь не Федерико Феллини и ни Лев Кулькин с их нумерологией 8+…

**Конец воспоминаний**