

Сергей КЕТОВ, д.ф.-м.н., профессор Токийского университета в Японии, профессор Ганноверского университета в Германии, ранее профессор Мерилендского университета в США

ОБЪЯТЬ НЕОБЪЯТНОЕ

У меня нет любимого развлечения, потому что оно совпадает с моей работой. А работа моя в основном состоит в том, что я пытаюсь понять, как устроена физика Вселенной, и потом рассказываю студентам, что я понял и почему. Я занимаюсь этим профессионально в разных странах и на разных языках — английском, немецком, японском и русском. Популярные статьи на русском языке мне писать ещё не приходилось, поскольку последние 24 года я не живу в России. Поэтому мне было очень приятно принять любезное предложение главного редактора «Техники — молодёжи» и написать в первый раз по-русски и для российского читателя — не обо мне, а о самом маленьком и самом большом во Вселенной, и о том, что их вместе связывает, через призму моей жизни и судьбы.

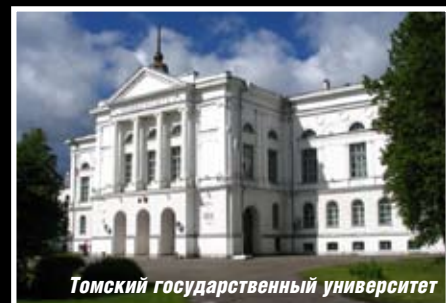


Автор — Сергей Владимирович Кетов

Мне пришлось учиться в общей сложности 20 лет, чтобы начать заниматься этим делом всерьёз, после защиты кандидатской диссертации. Впрочем, мне нравилось учиться, и деньги меня не очень интересовали, поскольку, для того чтобы учиться, в СССР особых денег не требовалось. Я не был, как теперь гово-

рят, «ботаником», но иногда сталкивался с непониманием среди своих близких. Они никак не могли понять, какой же реальный прок может быть от всего этого, и неужели за это даже где-то деньги платят?!

Намного позже я понял, что деньги не могут быть мотивацией для настоящего учёного. Заработать деньги легче,



Томский государственный университет

чем сделать научное открытие. Ну, а если надо именно денег, то занятие наукой — далеко не самый лучший способ их заработать. У учёных другая мотивация, и она у меня была и есть. Мне никогда не пришлось жалеть о своём выборе, и поэтому я считаю себя счастливым человеком. Природу, в отличие от людей, обмануть невозможно. Занятие наукой может быть альтернативой активной «мирской» жизни, хотя мне всё же думается, что наука прежде всего должна служить людям. Да и научные открытия тоже бывают разные, какие-то только для себя, а какие-то для всего человечества.

Невозможно передать и переоценить те ни с чем не сравнимые ощущения, тот внутренний подъём, которые связаны с самим открытием у того, кто это открытие сделал — люди творческие меня хорошо поймут. Теоретическая физика всегда привлекала меня своей глубиной, красотой и гармонией, оценить которые доступно лишь немногим. Более того, самым поразительным для меня открытием — в котором я убеждался не однажды — было то, что можно понять Вселенную с карандашом в руке, если рассуждать логически, при соответствующем образовании в физике и математике. Моими кумирами в молодости были Альберт Эйнштейн и Пол Дирак, которые показали миру, как это делать.

Кстати, имя Эйнштейна знает каждый, но далеко не каждый имеет даже отдалённое представление о том, что он, собственно, сделал.

Небудет преувеличением утверждать, что теоретическая физика является на сегодня самой развитой наукой о Природе, где решающее слово принадле-

жит доказательствам и фактам, а не чину, деньгам или авторитету. В теоретической физике есть только два высших арбитра — непротиворечивость суждений и физический эксперимент, которые апеллируют, соответственно, к математике и Природе, то есть по существу вопроса не зависят от людей и денег. В поисках истины совершенно не важно, являетесь ли вы студентом или начальником, сколько у вас денег, где вы живёте и родились. Можно обмануть отдельных людей на какое-то время, но нельзя обмануть математику или Природу, или даже всех людей на долгое время. Все физические законы выверены математикой и бесчисленными физическими экспериментами.

С другой стороны, это означает, что именно в математике и физике трудно сделать что-либо фундаментально новое, что согласовывалось бы со всем, что уже известно. В этом кроется одна из причин, почему занятия теоретической физикой требуют огромной эрудиции. Более того, ввиду чрезвычайно узкой специализации даже среди физиков-теоретиков, занятых близкой тематикой, часто не оказывается достаточно взаимопонимания. Природа есть только одна, и физика Природы тоже одна, поэтому важно широкое понимание физики, что встречается не часто и обычно отсутствует даже в программах университетского обучения.

Конечно, не обходится и без человеческого фактора. В современной теоретической физике одним из важнейших методологических принципов является «бритва Оккама», то есть объяснение Природы минимальными средствами. При этом идеи могут и должны быть любимыми, и иногда даже сумасшедшая идея (например, квантовая механика) может быть на-

столько сумасшедшей, что окажется правильной.

Впрочем, даже за гениальной идеей обычно стоит огромный труд и глубокое знание предмета.

...Мне повезло родиться вовремя (1960 г.) и в «правильной» стране (СССР) для занятий теоретической физикой, хотя понял я это тоже намного позже. Кстати, в моей семье не было ни физиков, ни вообще учёных, так что мои «начальные условия» занятиям наукой не способствовали.

Я родился в Сибири, в городе Томске. Мои родители были в то время студентами, и содержать маленького ребёнка они не могли (например, кормить меня было нечем). Поэтому меня «сослали» к бабушке с дедушкой, что было довольно типично для того времени. Жили они в дальней деревне Нарым на берегу великой сибирской реки Оби. Нарым известен миру разве только тем, что там когда-то отбывал свою ссылку Сталин.

Моя бабушка была учительницей в местной деревенской школе и искренне верила в мировую революцию. При этом её ученики успешно поступали в ведущие университеты, за что бабушка имела звание заслуженной учительницы страны и множество правительственных наград. Дедушка был одним из так называемых «двадцатипяти тысячников», которых партия послала «поднимать Сибирь» после революции. В гражданскую войну он воевал в коннице Котовского и Будённого, в 1937 г. был по доносу приговорён к расстрелу, но бабушка его спасла.

Но самым главным для меня тогда, конечно же, было наличие домашнего хозяйства с коровой и огородом. Дедушка регулярно поставлял в дом осетра с рыбалки, так что у меня в



Мэрилендский университет —
University of Maryland, College Park



Токийский столичный университет —
Tokyo Metropolitan University



Ганноверский университет Вильгельма
Лейбница — Leibniz Universität Hannover



детстве сформировалась стойкая ненависть к чёрной икре, большой железный таз с которой всегда стоял на нашем столе в Нарыме.

А ещё я помню саму реку Обь, на которую мне нравилось долго смотреть в детстве. В Нарыме она была настолько широкой, что часто не было видно другого берега, и мне очень хотелось узнать, что же там есть, на другом берегу? Дедушка меня на рыбалку не брал — мал я был тогда, — но любопытство меня никогда не покидало.

Будучи в 10 классе средней школы (правда, не простой, а физико-математической) и добравшись до республиканской олимпиады по физике, где было два тура — один по теории, и другой по эксперименту — я счёл после первого тура, что решил теоретические задачи плохо. Я очень расстроился и не пошёл на второй тур. В действительности решил я теорию среди лучших, но на всесоюзную олимпиаду не попал ввиду моего отсутствия во втором туре республиканской.

Я расстроился ещё больше и поехал на всесоюзную олимпиаду из Томска в далёкий город Фрунзе, ныне Бишкек, самостоятельно. Такой наглости, конечно же, никто не ожидал, и мне удалось сесть за парту и решать задачи вместе со всеми. Меня «вычислили» только к концу отведённого времени, был большой скандал на

экстренном совещании представителей Министерства образования, где обещали примерно наказывать всех — кроме меня, поскольку я был несовершеннолетним. Обошлось; зато профессорам московского Физтеха, которые придумывали задачи для олимпиады и проверяли решения, моя выходка и мои решения их задач очень понравились. Один из них даже сказал мне тогда, что, когда я тоже стану профессором физики, он будет рад встретиться со мной снова.

Наверно, он пошутил, но я принял его слова совершенно серьёзно.

Позднее, во время учёбы на физическом факультете Томского университета, мне было скучновато в Томске, где не было «большой» науки. Точнее, науки было как раз много, и профессора были замечательные, но не было того, что называется *top science*. Я мечтал о Москве.

Но сначала получилось так, то Москва сама «пришла» к нам в Томск. Кстати, нас, молодых студентов с очень высоким IQ по теоретической физике, было тогда немало на кафедре квантовой теории поля в университете. В те годы (в конце 70-х и начале 80-х) Москва была, без всякого преувеличения, центром мировой науки в теоретической физике и математике. Конкуренция в Москве среди физиков-теоретиков была настолько высока, что некоторые из них, включая

крупных учёных, ехали в Сибирь, чтобы поработать, там пять лет в университете, получить звание профессора и вернуться в Москву. Так что некоторым из нас в Томске удалось тогда получить «из первых рук» самые актуальные лекции по квантовой теории поля, а потом плавно переехать в Москву вместе с вернувшимися туда московскими профессорами и заняться с ними научной работой.

В Москве меня ждало жестокое разочарование: «первый парень на деревне» оказался далеко не первым в столице. В московских научных кругах тогда господствовало мнение, что «спасение утопающих — дело рук самих утопающих», так что мне особенно никто не помогал, всё пришлось постигать самому.

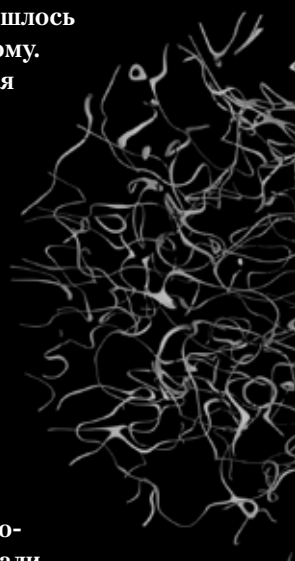
Несколько лет я буквально прожил на семинарах, лекциях и в библиотеке, занимаясь вычислениями вручную до глубокой ночи, почти ежедневно. Конечно, это получалось медленнее, чем у других, кому помогали и натаскивали.

Но это развило во мне умение «докопаться» самому до всего, учиться на своих ошибках и никогда не сдаваться.

Много лет спустя, в Америке, нам, молодым учёным, те же слова: *never give up!* (никогда не сдавайтесь!) — многократно повторял Дэвид Гросс (нобелевский лауреат, директор Института теоретической физики, Санта Барбара, Калифорния).

После защиты диссертации в 1986 г. мне остро не хватало участия в международных научных конференциях и специализированных школах. Изучения статей уже было недостаточно, оно не могло заменить прямого общения.

Когда я, имея на руках персональное приглашение от Абдуса Салама (директор Международного центра



теоретической физики, лауреат Нобелевской премии), собрался поехать в 1987 г. на конференцию в Италию, все смеялись надо мной — ведь тогда ещё был «железный занавес» между СССР и остальным миром, особенно капиталистическим. Мне говорили, что легче стать космонавтом, чем выехать из СССР.

Но я был очень наивным. Собрал все документы (в 10 экземплярах!) и пошёл в районный комитет КПСС за рекомендацией — тогда это было совершенно необходимо. До секретаря райкома КПСС я дойти не сумел. Его секретарша, не поднимая головы от стола, задала мне только один вопрос: а был ли я уже в какой-нибудь

капиталистической стране?

На мой отрицательный ответ последовало немедленное заключение: раз я там никогда не был, значит, я и не могу туда ехать!

Вердикт был настолько логичным и безысходным, что довёл меня до слёз. К счастью, директор нашего института был членом

ЦК КПСС, и он помог

мне, позвонив куда следует, так что я всё же поехал в Италию.

Кстати, ровно через один год, когда мне снова надо было поехать на конференцию, и снова в капиталистическую страну, я опять оказался в той же приёмной райкома КПСС, и та же секретарша задала мне тот же самый сакраментальный вопрос. Я ответил утвердительно и даже показал письменные доказательства. Каково же было её удивление, что я вернулся! На этот раз вердикт был иной: «ну, тогда вы можете ехать куда угодно!».

Видимо, это было благословение свыше; с тех пор я и летаю по миру, в среднем около 80 000 километров каждый год.

Теперь мне бы хотелось рассказать собственно о науке, которой я зани-

маюсь, точнее, о её части. Мой рассказ не будет полным, поскольку это потребовало бы слишком много времени и места. Для заинтересованного читателя с соответствующим образованием я рекомендую мою книгу на русском языке под названием «Введение в квантовую теорию струн и суперструн», издательство «Наука», 1990 г., 369 страниц. Несмотря на то, что прошло уже много лет, содержание книги до сих пор актуально. Здесь же мне бы хотелось начать издаюлака и закончить современным статусом теории суперструн как «Теории Всего».

Теория струн связана с изучением самого малого (физика микромира) и самого большого (физика Вселенной) и претендует на роль генетического кода для того и другого. Другими словами, теория струн — это квантовая теория гравитации вместе с материей (элементарными частицами). Основной её тезис очень прост: элементарные частицы являются возбуждениями квантовых струн, а в основе всех фундаментальных физических взаимодействий находится деление струн.

Удивительно, что квантовая непротиворечивость струнной идеи автоматически предсказывает существование скрытых размерностей пространства-времени, неизвестных ещё элементарных частиц, бозонов и фермионов, а также суперсимметрии между ними!

Ещё более удивительно, что количество разных сортов элементарных частиц (аналог таблицы Менделеева для химических элементов) определяется

топологической структурой шести или семи скрытых измерений пространства-времени, которые представляют собой так называемые пространства Калаби-Яу, хорошо изученные математиками. И не случайно научно-исследовательский институт, в котором я работаю в Токио, называется Институтом физики и математики Вселенной, и в нём вместе работают математики, физики-теоретики и физики-экспериментаторы.

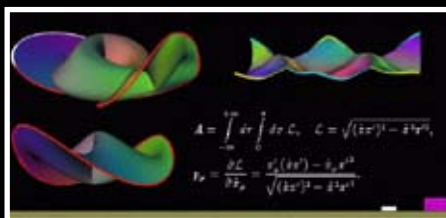
В течение последних 100 лет лучшие умы человечества, начиная с Эйнштейна, пытались выстроить единую квантовую теорию фундаментальных физических взаимодействий (сильного, слабого, электромагнитного и гравитационного), однако до сих пор это никому не удавалось. При этом самым непреступным и загадочным оказалось именно гравитационное взаимодействие — самое обыденное и хорошо известное каждому из нас.

Центральной проблемой является различие фундаментальных принципов, на которых строится теория элементарных частиц и их взаимодействий, с одной стороны, и теория гравитации Эйнштейна, с другой стороны.

Так называемая Стандартная модель элементарных частиц и их взаимодействий (кроме гравитационного) является квантовой теорией поля со спином не более 1, непротиворечивой при любых энергиях (это называется квантовой перенормируемостью и отсутствием квантовых аномалий). Это означает, что Стандартная модель имеет большую предсказательную силу и на самом деле согласуется с ог-



Дэвид Гросс (слева) и Абдус Салам — два физика, два нобелевских лауреата, встречи с которыми оказали на меня значительное влияние



В движении струна описывает двумерную поверхность. Поэтому теория струн с геометрической точки зрения является теорией двумерных поверхностей. Замечательно, что поверхности более высоких размерностей (браны) сами возникают в теории струн в качестве стабильных решений (солитонов)

ромным числом физических наблюдений, например, на Большом адронном коллайдере и Тэватроне.

Эйнштейновская теория гравитации является классической (не квантовой!) теорией поля со спином 2. Квантовая теория эйнштейновской гравитации ведёт к её неперенормируемости, что означает потерю предсказательной силы и неполноту теории при очень высоких энергиях. Значит, нужны новые, более фундаментальные принципы — например, идея струн!

Другая фундаментальная проблема связана с ускорением расширения Вселенной — с так называемой тёмной энергией. Стандартная космологическая модель объясняет это явление с помощью постоянного космологического члена в классических уравнениях Эйнштейна. Такое объяснение является вполне удовлетворительным в классической гравитации, однако находится в колоссальном

противоречии с квантовой теорией поля, в которой космологический член представляет энергию вакуума. Расхождение достигает величины 120 десятичных порядков — умопомрачительное несоответствие между теорией и экспериментом!

Дополнительной проблемой является существование тёмной материи, скрепляющей галактики во Вселенной. Тёмная материя нечувствительна к электромагнитному взаимодействию и предполагает существование новой, неизвестной нам стабильной элементарной частицы, которой нет в Стандартной модели. Кстати, «тёмная сторона» Вселенной (энергия и материя вместе) составляет около 96% энергии Вселенной, так что её невозможно игнорировать!

Теория струн есть решение задачи построения перенормируемой квантовой теории гравитации, применимой при любых энергиях и совместимой со Стандартной моделью элементарных частиц — это великое достижение! Во второй половине 1980-х гг. у многих струнных теоретиков было ощущение, что единая теория создана, дело только за деталями...

Позднее оказалось, что, хотя теория действительно одна (ей было дано имя М-теория), её уравнения движения имеют слишком много решений, порядка 10^{500} . Причина заключается в том, что существует именно столько разных пространств Калаби-Яу для внутренних (скрытых) измерений, топология и геометрия которых определяют параметры частиц. Теория струн

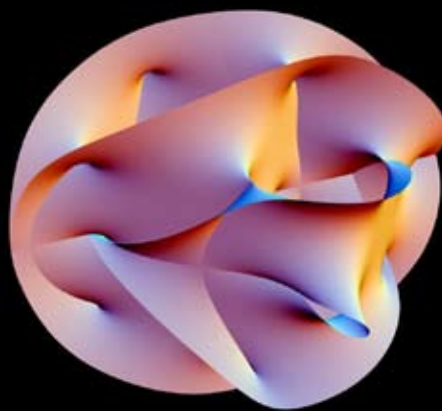
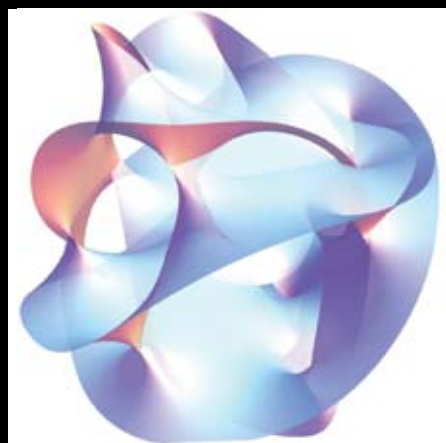
предсказывает много разных Вселенных. Это означает, что на данный момент теория струн (или М-теория) не имеют предсказательной силы.

Однако не надо забывать, что данная проблема не ставит крест на теории струн, она лишь означает, что нам слишком мало о ней известно. Ситуация аналогична нашим представлениям о ДНК: мы знаем, что в ней скрыт генетический код всего живого, но ещё не знаем, как он конкретно передаётся.

Одним из новейших достижений в теории струн является голографический принцип, который тоже является ограничительным принципом. Суть его заключается в том, что вся информация о данном квантовом объекте в квантовой теории гравитации может быть представлена на поверхности этого объекта.

Физические величины обычно имеют локальный характер, то есть определены в каждом (малом) элементе объёма. Соответствующие величины для любого объёма получаются суммированием по всем элементам этого объёма. Голографический принцип утверждает, что результат такого суммирования всегда может быть выражен в виде суммирования по границе объёма (то есть, не важно, что внутри). Например, это означает, что вся информация о физических явлениях в данной комнате закодирована на стенах этой комнаты.

...В качестве послесловия ко всему мне бы хотелось сказать, что я никогда не жалел, что посвятил свою жизнь теоретической физике, хотя бы потому, что мне никогда не было скучно. Конечно, жизнь гораздо больше, чем наука, но именно благодаря науке моя жизнь кажется мне интересной и осмысленной. В познании и самосовершенствовании никогда не бывает предела, красота и глубина теории струн завораживает не меньше самых красивых пляжей и гор (хотя одно другому не мешает, а даже помогает!) и даёт неоценимое ощущение самореализации. Поэтому я хотел бы, чтобы побольше молодых людей в России занимались самой продвинутой наукой — они не будут разочарованы. Но должен предупредить: это не просто! TM



Пространства Калаби-Яу являются 6-мерными, и используются в теории струн для перехода от многомерного пространства с высшими измерениями к обычному, трёхмерному. Два примера визуализации пространств Калаби-Яу иллюстрируют их сложную топологию и геометрию