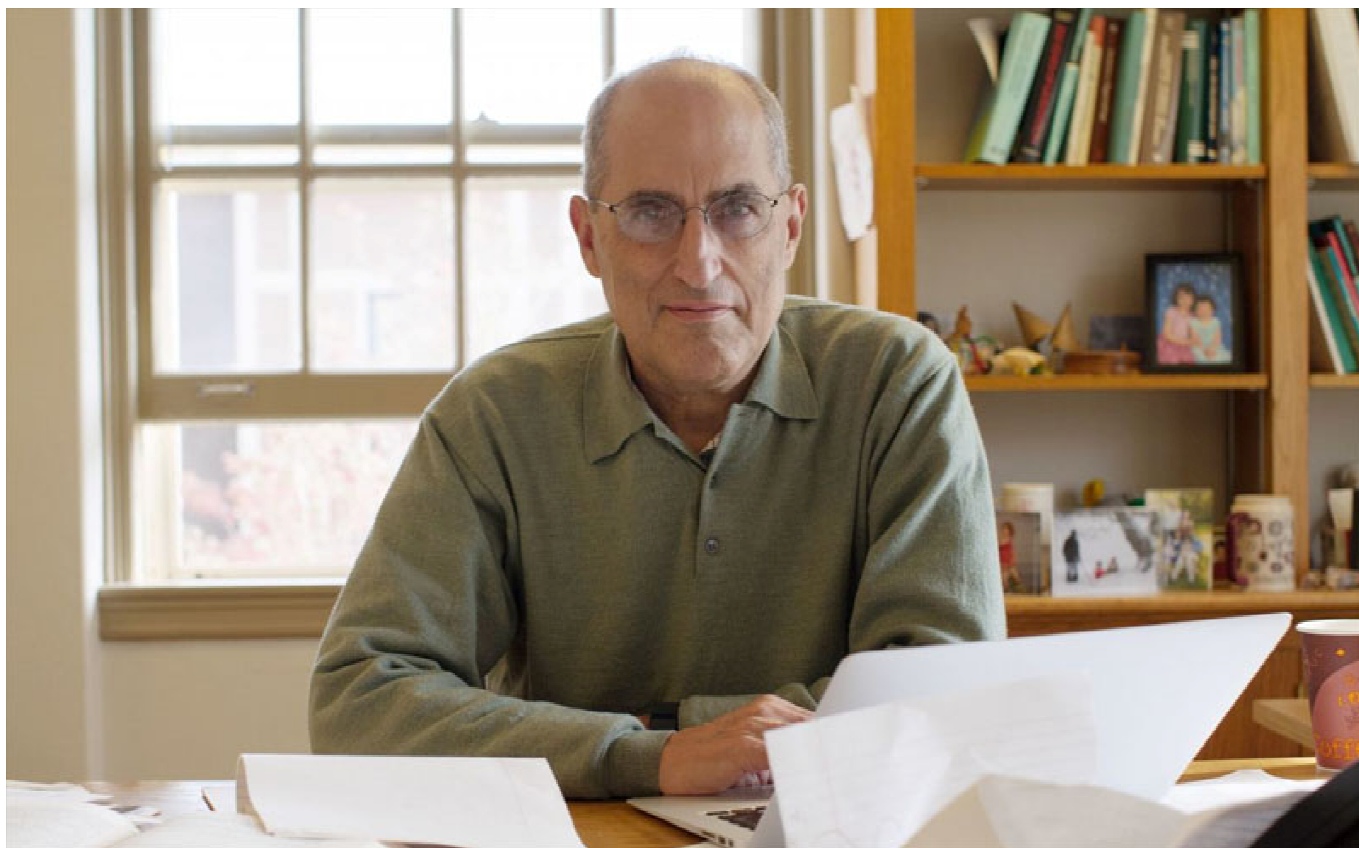


Физик размышляет о природе реальности¹⁾

от *Natalie Wolchover*²⁾ 28 Ноября 2017

Эдвард Виттен размышляет о значении дуализма в физике и математике, возникновении пространства-времени и стремлении к полному описанию природы.



Эдвард Виттен в своем кабинете в Институте перспективных исследований в Принстоне, Нью-Джерси. [Jean Sweep](#) для журнала *Quanta*³⁾.

Среди блестящих теоретиков, уединившихся в тихом университетском городке Вудсайд Института перспективных исследований в Принстоне штата Нью-Джерси, Эдвард Виттен выделяется как своего рода верховный жрец. Единственный физик, когда-либо получивший [медаль Филдса](#)⁴⁾, главный приз математики, Виттен также известен открытием М-теории, главного "кандидата" на единую физическую ["теорию всего"](#)⁵⁾. Гений среди гениев, Виттен — высокий и прямоугольный, с туманным взглядом, настроенным только на четверть реальности, пока кто-то не отвлечет его от абстрактных мыслей.

Ссылки, которые не открываются непосредственно из текста, моно открыть из адресной строки браузера

¹⁾ <https://www.quantamagazine.org/edward-witten-ponders-the-nature-of-reality-20171128/>

²⁾ Natalie Wolchover - автор и редактор журнала *Quanta Magazine*, популяризирующего физические науки. Ранее Natalie писала статьи для *Popular Science*, *Live Science* и других изданий. Получила степень бакалавра физики в Университете Tufts, изучала физику в Калифорнийском университете в Беркли и была соавтором нескольких научных работ по нелинейной оптике. Ее работа была отмечена в номинации "Лучшие статьи по математике 2015". В 2016 году она стала лауреатом премии "Лучная статья года по статистике", в 2016 — лауреатом премии Evert Clark/Seth Payne, а в 2017 году — лауреатом премии американского Института физики за популяризацию науки.

³⁾ <https://www.instagram.com/p/BcKrr-RFL7O/>

⁴⁾ <https://www.quantamagazine.org/tag/fields-medal/>

⁵⁾ <https://www.quantamagazine.org/frontier-of-physics-interactive-map-20150803/>

Со времен Альберта Эйнштейна, жившего в той же интеллектуальной гавани, физики стремились объединить гравитацию с другими силами природы, выбрав для этого более фундаментальную квантовую теорию, чтобы заменить приблизительное представление Эйнштейна о гравитации как о "кривой" геометрии пространства-времени. М-теория, предложенная Виттеном в 1995 году, предлагает более глубокое описание, но в пределах только некоторых известных аспектов. М-теория включает в себя в рамках одной математической структуры все пять версий [теории струн](#)⁶⁾, и представляет элементы природы в виде крошечных вибрирующих струн. Эти пять теорий струн соединяются друг с другом по принципу "дуализма" или математической эквивалентности. За последние 30 лет Виттен и другие ученые поняли, что теории струн математически дуальны квантовым теориям поля — описаниям частиц, движущихся через электромагнитные и другие поля, что и служат языком господствующей ныне "Стандартной модели" физики элементарных частиц. Хотя Виттен наиболее известен как теоретик струн, он открыл много новых квантовых теорий поля и исследовал, как все эти различные описания связаны. Его физические прозрения не раз приводили к глубоким математическим открытиям.

Исследователи корпят над его озарениями и надеются, что и он проявит интерес к их выводам. Но при всем своем научном влиянии Виттен, которому 66 лет, не часто высказывает свое мнение о последствиях современных теоретических открытий. Близкие коллеги Виттена охотно поделились вопросами, которые они хотели бы, чтобы я задала ему.

Когда в прошлом месяце, в летний четверг, в назначенный час я прибыла в офис Виттена, его там не было, дверь была приоткрыта. Журнальный столик и письменный стол были завалены бумагами — не стопками, а беспорядочно: тексты были ориентированы во всех направлениях, некоторые страницы почти вывалились на пол. (Просмотренные статьи терялись в "водовороте", когда он заканчивал работу с ними. Позже он объяснил, что каждый раз он выбрасывает целые кучи. Две девушки улыбались с фотографии в рамке на полке; детские рисунки украшали стены, одна — с поздравлением дедушек и бабушек). Когда через несколько минут прибыл Виттен, мы полтора часа говорили о значении дуализма в физике и математике, о текущих перспективах М-теории, о том, что он читает, что он ищет, и о природе реальности. Интервью было сокращено и отредактировано для ясности.

В последнее время физики более, чем когда-либо, говорят о дуализме. Вы изучаете это десятилетиями. Почему эта тема вас интересует?

Учёные продолжают находить новые грани дуализма. Дуализм интересен тем, что он способен отвечать на вопросы, ответы на которые в противном случае недоступны. Например, можно потратить годы на размышления над квантовой теорией, пока понимаете, что происходит, когда квантовые эффекты малы. Однако учебники ничего не скажут вам, если вы захотите узнать, что делать, когда квантовые эффекты велики, поскольку, как правило, возникнут очевидные проблемы. На подобные вопросы часто и отвечает дуализм. Он даёт вам еще одно описание, на котором и вы можете получить ответ.

Каковы новые грани дуализма?

Им не имеет конца, потому что существует так много разных видов дуализма. Существует дуализм между калибровочной теорией [теорией, такой как квантовая теория поля, которая согласуется с определенными симметриями] и другой калибровочной теорией, или между теорией струн для слабой связи [описывающей струны, которые движутся почти независимо друг от друга] и теорией струн для сильной связи. Существует AdS/CFT-дуализм между калибровочной теорией и гравитационным описанием. Этот дуализм был [обнаружен 20 лет назад](#)⁷⁾, и удивительно, насколько он все еще плодотворен. Во многом это потому, что около 10 лет назад были введены новые идеи, которые омолодили его. Появилось новое понимание энтропии в квантовой теории поля — целая история о том, что "всё из кубита".

⁶⁾ <https://www.quantamagazine.org/tag/string-theory/>

⁷⁾ <https://arxiv.org/abs/hep-th/9711200>

Это об идее о том, что пространство-время и все в нем возникает как "голограммный" выход из информации хранящихся в запутанных состояниях квантовых частиц?

Да... Теперь, в математике существуют двойственности, которые физически могут быть интерпретированы как следствие дуализма между двумя квантовыми теориями поля. Есть так много возможностей, которыми сущности настолько взаимосвязаны, что любое простое утверждение, которое я попытаюсь сделать на лету, не охватит всю реальность - и я это понимаю. Мы должны представить себе "паутину" различных отношений, где одна и та же физика имеет разные описания, раскрывая разные свойства. Однако в простейшем случае, есть два важных описания, и этого может быть достаточно. Если вы спросите меня о более сложных примерах — их может быть много и разных.

Учитывая эту "паутину" отношений и факт того, как трудно охарактеризовать целостность двойственности, как вы думаете — отражает ли это отсутствие понимания структуры, или это то, что мы поймём, в конце концов, структуру, только это очень сложно?

Я не уверен, что мы должны надеяться на это. Традиционно квантовая теория поля строилась, начиная с классической картины [гладкого поля], а затем квантованием ее. Теперь мы узнали, что есть много вещей, которые происходят, что такое описание не отражает должного, что одна и та же квантовая теория может исходить из разных классических теорий. Например, [Нати Зайберг \[физик-теоретик, который работает дальше по коридору\]](#)⁸⁾, возможно, скажет вам, что он верит в то, что есть лучшая формулировка квантовой теории поля, о которой мы не знаем, и которая лучше. Я не уверен в том, насколько мы должны ожидать, что это будет реально. Это был бы сон, но надеяться на это — слишком много; я действительно не знаю.

Есть еще один любопытный факт, достойный внимания, а именно то, что квантовая теория поля очень важна для физики. На самом деле она также очень важна и для математики. Но математикам чрезвычайно трудно общаться с физиками; то, как физики формулируют своё, математикам очень трудно вслед за ними строить строгую теорию. Это чрезвычайно странно, что мир так сильно основан на математической структуре, которая так сложна.

В чем вы видите связь между математикой и физикой?

Я предпочту дать вам не всеобъемлющий ответ, а прокомментировать — где мы сейчас находимся. Физика в квантовой теории поля и теории струн почему-то имеет много [математических секретов](#)⁹⁾, и мы не знаем как их систематизировать. Физики придумывают такие вещи, которые удивляют математиков, потому что трудно математически описать в известных формулировках то, что формулируется в квантовой теории поля. И это то, что необходимо узнавать именно из физики.

Мне трудно поверить, что есть единые универсальные формулировки. Я думаю, это слишком много, чтобы надеяться. Я мог бы указать на теории, где стандартный подход действительно кажется неадекватным, поэтому, по крайней мере, для этих классов квантовых теорий поля, можно надеяться на новые формулировки. Но я действительно не могу представить, что будет.

Вы вообще не можете себе это представить?

Нет, не могу. Традиционно считалось, что взаимодействующая квантовая теория поля не может существовать в пространствах размерности выше четырех, и интересный был факт, что это измерения, в котором мы живем. Но одним из ответвлений двойственности струн 1990-х было то, что было обнаружено, что квантовые теории поля на самом деле существуют в пяти и шести измерениях. И удивительно, как много известно об их свойствах.

Я слышала о таинственной (2,0) теории — квантовой теории поля, описывающей частицы в шести измерениях, которая двойственна M-теории, описывающей струны и гравитацию в семимерном пространстве AdS. Играет ли эта (2,0) теория важную роль в "паутине" двойственностей?

⁸⁾ <https://www.ias.edu/scholars/seiberg>

⁹⁾ <https://www.quantamagazine.org/how-quantum-theory-is-inspiring-new-math-20170330/>

Да, это вершина. С точки зрения обычной квантовой теории поля без гравитации нет ничего похожего на нее выше шести измерений.

Из существования (2,0) теории и основных свойств [вы можете вывести невероятное количество](#)¹⁰⁾ следствий о том, что происходит при более низких измерениях. Из этой шестимерной теории и ее свойств вытекает огромное количество важных двойственностей для пространств четырех – и меньших измерений. Однако, в то время как то, что мы знаем о квантовой теории поля, обычно является квантованием классической теории поля, нет разумной классической отправной точки для (2,0)-теории. Теория (2,0) имеет свойства [такие как комбинации симметрий], которые кажутся невозможными, когда вы впервые слышите о них. Так что вы можете спросить, почему существуют двойственности, но вы также можете спросить, почему существует теория 6-D с такими-то свойствами? Мне кажется, что существование двойственности – это более фундаментальное утверждение.

Двойственность затрудняет понимание того, что реально в мире, поскольку существуют радикально разные способы описания одной системы. Как бы вы описали, что реально или более фундаментально?

Какой аспект реальности вас интересует: что означает: мы существуем (?) или как мы вписываемся в наши математические описания?

Последнее.

Ну, одна вещь, которую я скажу вам, это то, что в целом, когда у вас есть двойственности, вещи, которые легко можно увидеть в одном описании, могут быть трудно увиденными в другом описании. Так что, например, мне довольно просто описать для вас что-то при обычном подходе к физике, разработанном Ньютоном и его преемниками. Но, есть радикально другое двойственное описание реального мира и некоторых вещей, о которых беспокоятся физики и что было бы яснее для них, то двойственное представление может быть таким, что описать его повседневным языком было бы довольно трудно.

Что бы вы сказали о перспективе оптимистичной идеи о том, что возможно одно единственное квантовое гравитационное описание, которое действительно поможет вам в каждом случае в реальном мире?

Ну, к сожалению, даже если это правильно, я не могу гарантировать, что это поможет. Часть того, что затрудняет помощь, заключается в том, что описание, которое мы имеем сейчас, хотя оно и не полное, объясняет очень много. И поэтому трудно сказать, что даже если бы у вас было бы действительно лучшее описание или более полное описание, поможет ли это на практике.

Вы говорите об М-теории?

М-теория является кандидатом на лучшее описание.

Вы предложили М-теорию 22 года назад. Каковы её перспективы?

Лично я думал, что это было предельно ясно 22 года назад, но сегодня уровень доверия должен быть намного выше, потому что [AdS/CFT](#)¹¹⁾ дал нам точные определения, по крайней мере, в геометрии пространства-времени AdS. Я думаю, что наше понимание того, что это такое, все еще очень туманно. AdS/CFT и все, что из него исходит – это главная новая перспектива по сравнению с 22 годами назад, но я думаю, что вполне возможно, что AdS/CFT – это только одна сторона многогранной истории. Могут быть и другие не менее важные аспекты.

¹⁰⁾ <https://arxiv.org/abs/0905.2720>

¹¹⁾ <https://susy.written.ru/tags/AdS-CFT/>
<https://susy.written.ru/2011/03/23/AdS-geometry>

Какой еще пример можно привести?

Например, объемное описание квантовых свойств самого пространства-времени, а не голографического описания границ. Здесь не было существенного прогресса в течение длительного времени в получении лучшего объемного описания. И я думаю, что это может быть потому, что ответ другого рода, чем что-либо, к чему мы привыкли. Это было бы моим предположением.

Готовы ли вы поразмыслить о том, как это было бы по-другому?

Сомневаюсь, что смогу сказать что-нибудь полезное. Я подозреваю, что есть дополнительный уровень абстрактности по сравнению с тем, к чему мы привыкли. Я склонен думать, что нет точного квантового описания пространства-времени — за исключением ситуаций, когда мы знаем, что есть, например, в AdS-пространстве. Я склонен думать, что в противном случае все немного мрачнее, чем точное квантовое описание. Здесь я не могу сказать ничего полезного.

Вчера вечером я читал старое эссе Принстонского физика 20-го века Джона Уилера. Конечно, он был провидцем. Однако, если понимать его слова буквально, то они безнадежно расплывчаты. И поэтому, если бы я прочитал это эссе, когда оно вышло 30 лет назад, я бы отверг статью как настолько с расплывчатым смыслом, что не смог бы работать с ней, даже если бы статья предлагала правильный путь.

Вы имеете в виду "[Информацию, Физику, Квант](#)"¹²⁾ — эссе Уилера 1989 года, где излагается идея о том, что физическая Вселенная возникает из информации, которую он обозначил как “она из бита”.? Зачем Вы перечитывали эту статью?

Я пытаюсь прояснить — что пытаются сказать фразой “Это от кубита.” Уилер говорил об этом — “из бита”, но вы должны помнить, что это эссе было написано до того, как был придуман термин “кубит”, и, конечно, до того, как он стал широко популярным. Читая его, я действительно думаю, что он говорил о кубитах, а не битах, поэтому “Это от кубита” на самом деле просто современный перевод.

Не ждите того, что я смогу рассказать вам что-нибудь полезное о том, был ли он прав. Когда я был начинающим аспирантом, у них была серия лекций профессорско-преподавательского состава для новых студентов о теоретических исследованиях, и одним из тех, которые читали такие лекции, был Уилер. Он нарисовал на доске [картину](#)¹³⁾ Вселенной, визуализированную как глаз, смотрящий на себя. Я понятия не имела, о чем он говорил. Оглядываясь назад, я понимаю, что он объяснял, что значит говорить о квантовой механике, когда наблюдатель является частью квантовой системы. Я думаю, есть что-то, чего мы не понимаем в этом.

Наблюдение за квантовой системой необратимо изменяет ее, создавая различие между прошлым и будущим. Таким образом, проблема наблюдателя, возможно, связана с проблемой времени, которую мы также не понимаем. Благодаря двойственности AdS/CFT мы узнали, что новые пространственные измерения могут появляться как голограмма из квантовой информации на границе. Считаете ли вы, что время также возникает — что оно возникает из вневременного полного описания?

Я склонен предполагать, что пространство-время и все что в нем в определенно смысле возникают. Кстати, вы наверняка найдете, что именно на это и намекал Уилер в своем эссе. Как вы можете заметить, он думал, что введение континуума как в физике, так и в математике было неправомерным. Он считал, что микроскопическое описание пространства-времени не должно использовать континуум любого рода — ни континуум пространства, ни континуум времени, ни даже континуум действительных чисел. Для пространства и времени я разделяю его взгляд. Но в отношении действительных чисел я должен сослаться на его невежество или агностицизм. Это то, о чем я думаю. Я пытался представить, что может последовать, если не использовать континуум действительных чисел. Ни один из логиков, с которыми я пытался обсудить это, не помог мне в этом.

¹²⁾ <http://cqi.inf.usi.ch/qic/wheeler.pdf>

¹³⁾ <http://www.rudyrucker.com/blog/images/wheelereye.jpg>

Вы считаете Уилера героем?

Я бы не назвал его героем, определённо — нет. На самом деле мне просто стало любопытно, что он имел в виду под фразой — “это от бита” и что он хотел этим сказать. У него определённо были дальновидные идеи, но они опередили свое время. Думаю, я был более терпелив в чтении неопределенного, но вдохновляющего эссе, чем 20 лет назад. У него также есть около 100 интересных ссылок в этом эссе. Если бы вы решили прочитать их все, вам пришлось бы потратить недели на это. Возможно, я решу взглянуть на некоторые из них.

Почему у Вас сейчас больше терпения на такие вещи?

Когда я был моложе, я всегда думал, что следующее, что я сделаю, может быть лучшее в моей жизни. Но на данный момент я в этом не так уверен. И если я трачу немного времени на чтение чьего-то эссе, это не кажется таким уж плохим делом.

Вы когда-нибудь отвлекаетесь от физики и математики?

Мое любимое занятие — теннис. Я довольно средний, но горячий энтузиаст тенниса.

В отличие от Уилера, кажется, что ваш стиль работы заключается в том, чтобы прийти к пониманию через вычисления, а не следовать смутным озарениям.

В своей карьере я мог совершать только небольшие прыжки - относительно небольшие прыжки. Уилер же говорил об огромном прыжке. И он действительно говорил в начале эссе, что он понятия не имеет — займет ли это 10, 100 или 1000 лет.

И он говорил о том, что физика возникает из информации.

Да. Но то, как он это формулирует — шире: он хотел объяснить смысл существования. Вот о чём я подумал, когда Вы спрашивали, хочу ли я объяснить смысл существования.

Я заметила. У него есть какие-нибудь гипотезы?

Нет. Он говорил только о вещах, которые не следует делать, и о вещах, которые необходимо делать, чтобы прийти к более фундаментальному описанию физики.

У вас есть какие-нибудь идеи о смысле существования?

Нет. [Смеется.]

Замечание: эта статья была обновлена в ноябре. 29, 2017, чтобы уточнить, что M-теория является ведущим кандидатом на единую теорию всего. Были предложены и другие идеи, которые также претендуют на объединение фундаментальных сил.