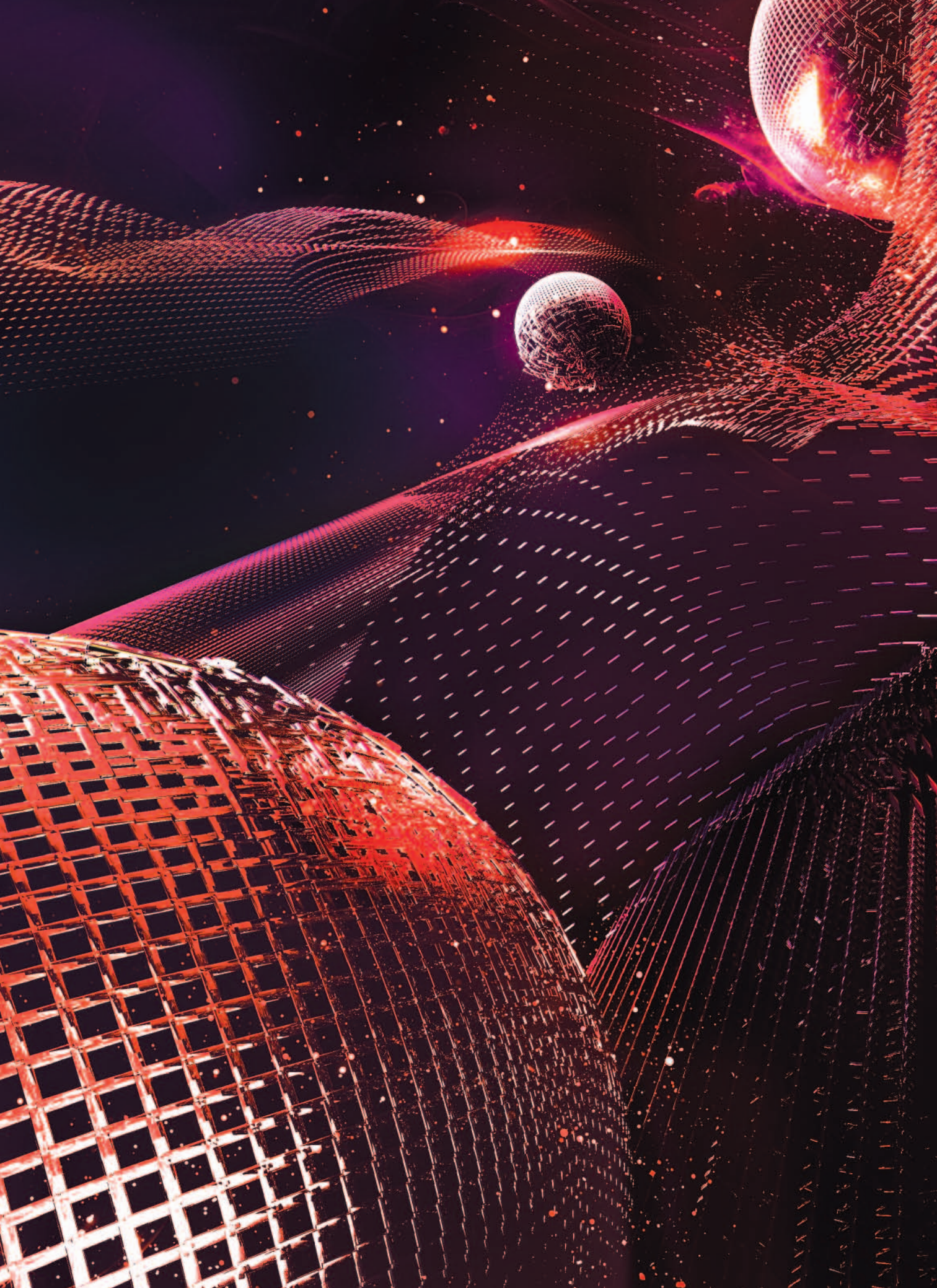


Майкл Мойер

ЦИФРОВОЙ КОСМОС

Illustration by Vault 49

Майкл Мойер (Michael Moyer) — старший редактор *Scientific American*.

Если эксперимент, подготовка к которому идет в окрестностях Чикаго, окажется успешным, то, возможно, будут переписаны существующие законы физики

Крейг Хоган (Craig Hogan) считает, что мир нечеток, и это не метафора. Физик из Чикагского университета и директор Центра астрофизики элементарных частиц Национальной лаборатории ускорителей им. Энрико Ферми (Фермилаба), расположенного в Батавии, штат Иллинойс, полагает, что если бы каким-то образом удалось вглядеться в мельчайшую ячейку пространства-времени, то мы обнаружили бы, что Вселенная насквозь пронизана внутренней дрожью, подобной шипению электростатических помех в коротковолновом радиоприемнике. Этот шум производят не постоянно рождающиеся и умирающие частицы или какая-нибудь другая квантовая пена, о которой физики спорили в прошлом. Шум Хогана проявится в том случае, если мир не гладкий и непрерывный, вроде матового экрана, на котором пляшут поля и частицы, как мы долго считали. Он возникает, если мир состоит из отдельных блоков. Кусочков. Песчинок. Обнаружение шума Хогана будет означать, что Вселенная — цифровая.

Был осенний ветреный день, когда Хоган пригласил меня посмотреть установку, которую он сооружает для того, чтобы услышать этот шум. Над лужайками цвета хаки, приютившими здания Фермилаба, возвышается ярко-синий ангар — единственный признак недавнего строительства в этой лаборатории с 45-летней историей. Труба толщиной с руку тянется на 40 м от ангара к длинному, расположенному перпендикулярно бункеру, бывшему «путепроводу» для пучков элементарных частиц, которыми несколько десятилетий бомбардировали субатомные частицы в направлении с юга на север, в сторону Миннесоты. Бункер был перестроен под то, что Хоган называет голометром — голографическим интерферометром, прибором, созданным, чтобы улавливать дрожь космической материи.

Он вытаскивает пачку цветных мелков и начинает что-то писать на лазурной стене ангара, подробно объясняя, как несколько лазерных лучей, скачущих по трубам, могут помочь проникнуть в тончайшую структуру пространства. Свою импровизированную лекцию Хоган начинает с пояснения, почему две наиболее успешных теории XX в. — квантовую механику и общую теорию относительности — скорее всего невозможно примирить друг с другом. При приближении к столь мелкому масштабу обе теории превращаются в тарабарщину. Однако то, что происходит в этом масштабе, вызывает интерес по другой причине: оказывается, явления, возникающие на этом уровне, имеют фундаментальную связь с теорией информации — нулями и единицами Вселенной. За два минувших десятилетия физики существенно продвинулись в понимании того, как Вселенная хранит информацию, — и даже зашли так далеко, чтобы предположить, что именно она, а не материя и энергия, представляет собой базисные ячейки сущего. Информация — последовательность крошечных битов, и именно из них и состоит космос.

«Если серьезно продолжить рассуждать в этом направлении, — говорит Хоган, — то мы придем к выводу, что цифровой шум пространства можно измерить». И вот он придумал эксперимент, позволяющий исследовать дрожь Вселенной, проявляющуюся в самом фундаментальном масштабе. Если не сработает, то ученый первым

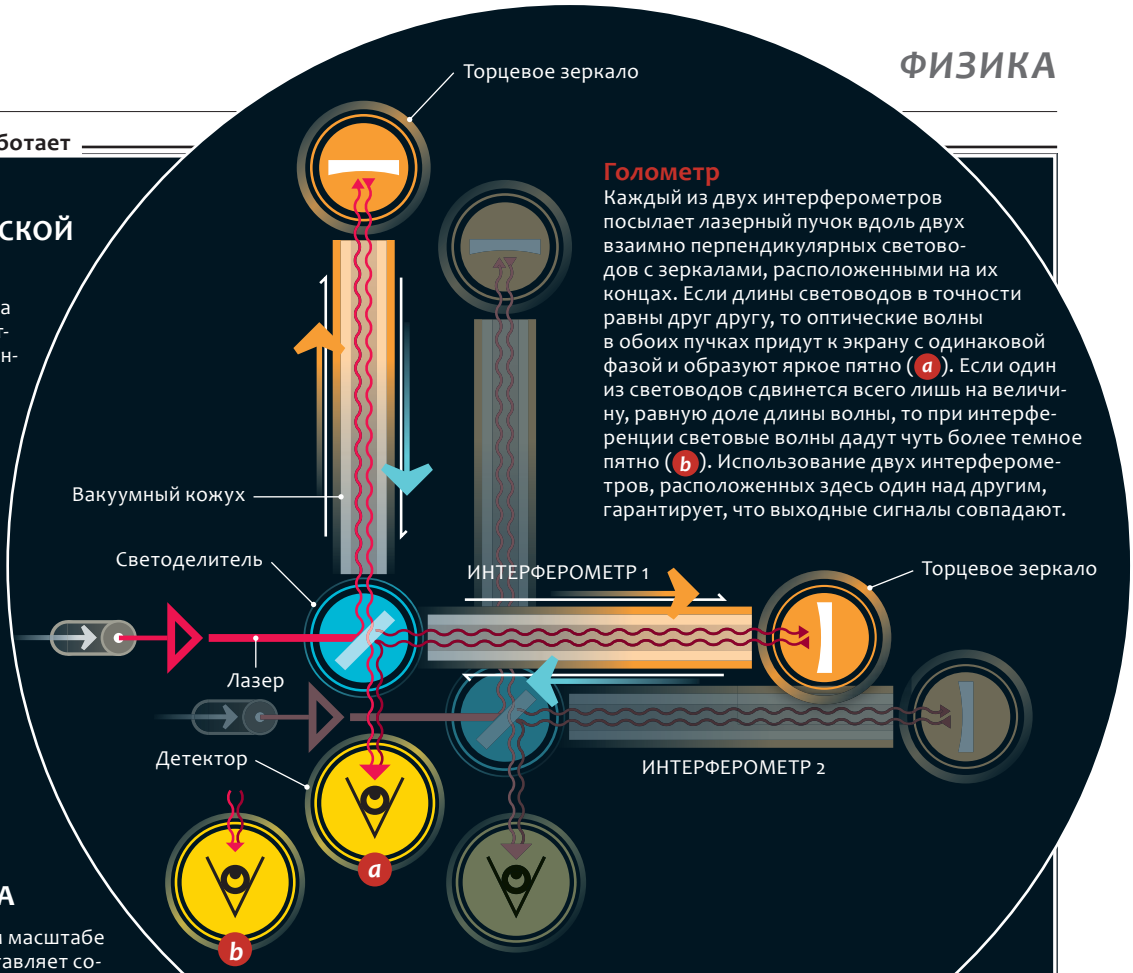
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Возможно, пространство не гладко и не непрерывно. Может быть, оно цифровое, состоящее из крошечных «кусочков». Физики предположили, что эти «кусочки» слишком малы, чтобы их можно было измерить с помощью существующей техники.
- Однако один из ученых полагает, что он придумал способ, как обнаружить дискретную структуру пространства. Машина, которую он сейчас строит, попытается измерить его зернистую природу.
- Этот эксперимент — одна из первых попыток проверить принцип, который утверждает, что Вселенная возникает из определенной разновидности информации, а именно информации, отпечатанной на двумерных листах.
- В случае успеха эксперимент разрушит основы наших представлений о пространстве и времени, приоткроет дверь в здание новой физики, которая придет на смену нынешнему миропониманию.

Как это работает

МИКРОСКОП ДЛЯ ПЛАНКОВСКОЙ ДЛИНЫ

С помощью голометра Крейг Хоган попытается измерить фундаментальное дрожание пространства-времени на минимальной из возможных шкале. Прибор состоит из двух интерферометров, инструментов, которые усиливают мельчайшие изменения расстояния *(справа)*. Обнаружение дрожи будет говорить о том, что пространство-время имеет цифровую природу и состоит из отдельных пакетов *(внизу)*.

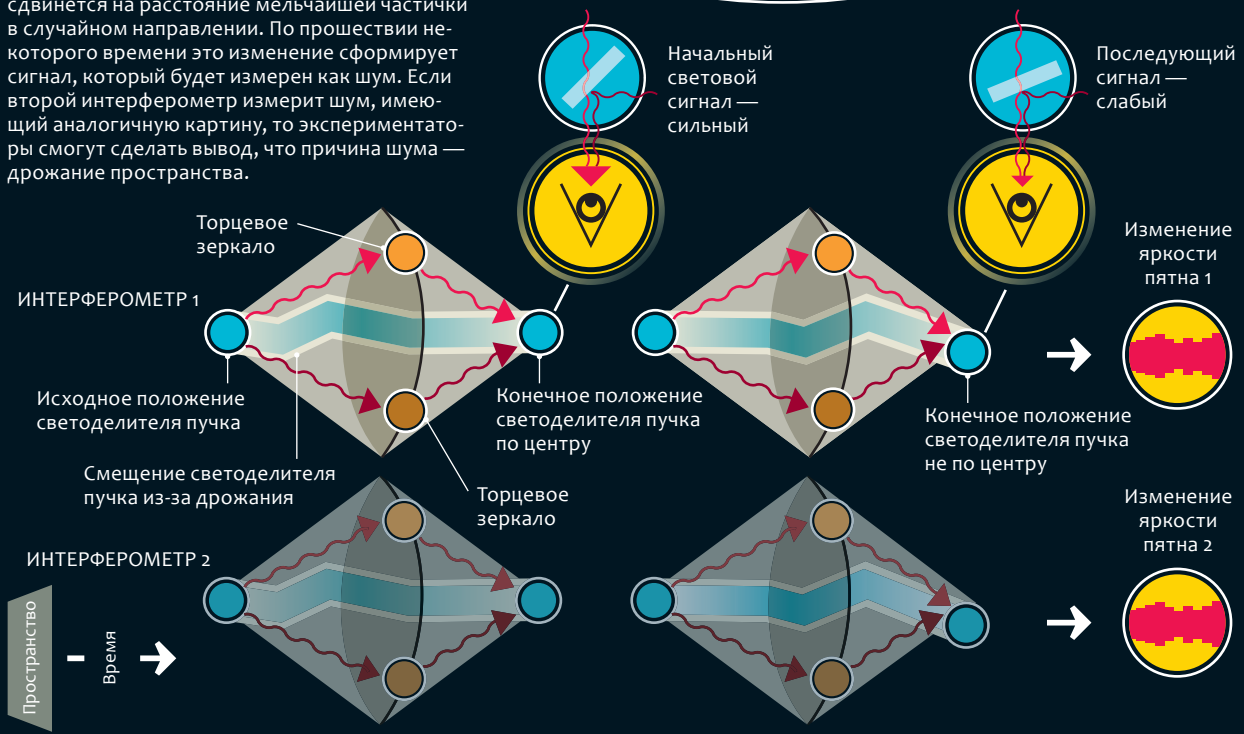


Голометр

Каждый из двух интерферометров посылает лазерный пучок вдоль двух взаимно перпендикулярных световодов с зеркалами, расположенными на их концах. Если длины световодов в точности равны друг другу, то оптические волны в обоих пучках придут к экрану с одинаковой фазой и образуют яркое пятно (**a**). Если один из световодов сдвинется всего лишь на величину, равную доле длины волны, то при интерференции световые волны дадут чуть более темное пятно (**b**). Использование двух интерферометров, расположенных здесь один над другим, гарантирует, что выходные сигналы совпадают.

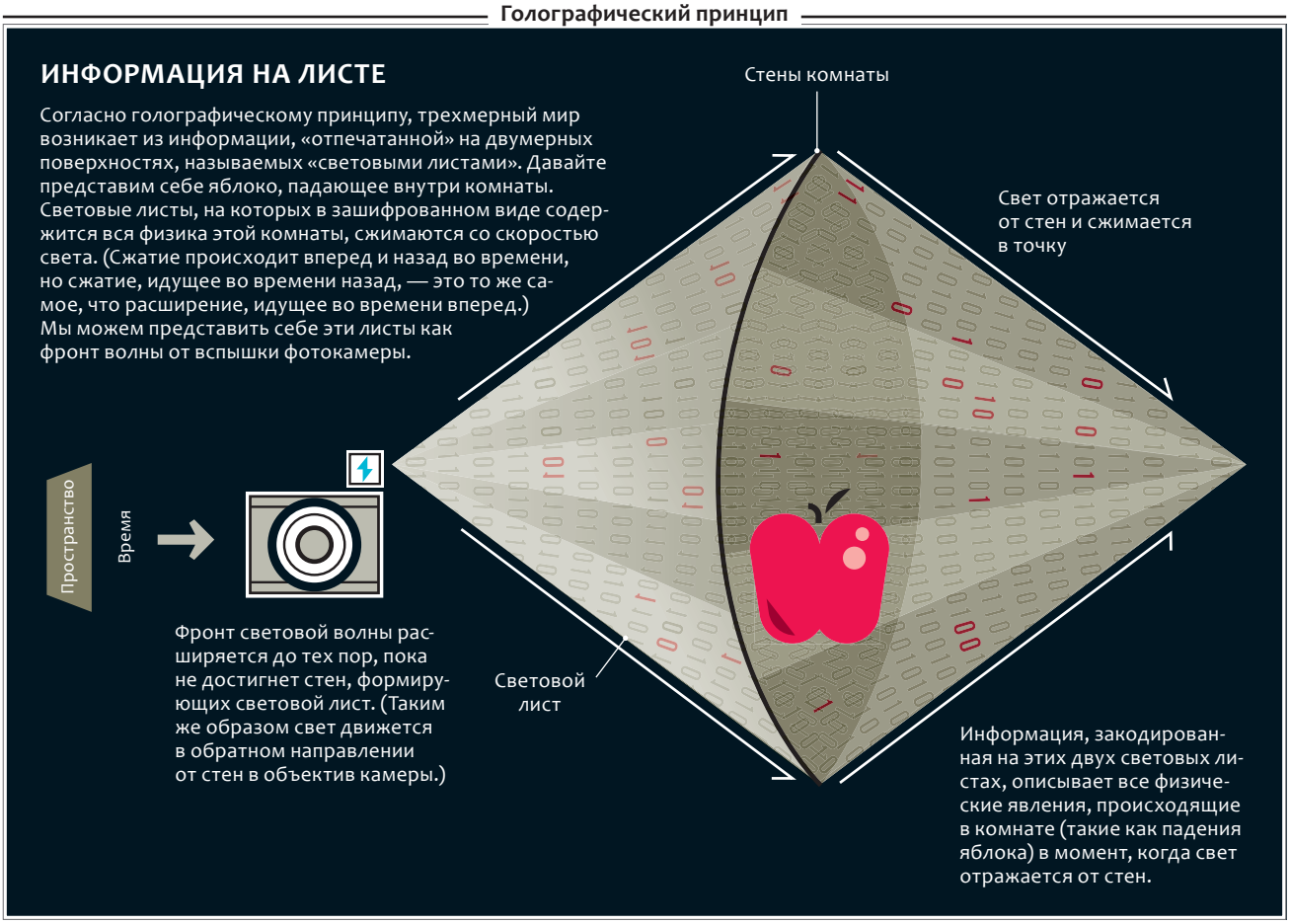
ДРОЖЬ ПРОСТРАНСТВА

Если в самом мелком масштабе пространство представляет собой что-то вроде пены, то светоделитель пучка, отделяющий один пучок от другого, должен колебаться в продольном направлении. За время, необходимое фотону, чтобы пролететь от лазера по двум световодам туда и обратно, светоделитель сдвинется на расстояние мельчайшей частички в случайном направлении. По прошествии некоторого времени это изменение сформирует сигнал, который будет измерен как шум. Если второй интерферометр измерит шум, имеющий аналогичную картину, то экспериментаторы смогут сделать вывод, что причина шума — дрожание пространства.



Illustrations by Leandro Castelao

Голографический принцип



объявит, что ему так ничего и не удалось разглядеть. Его работа — эксперимент в истинном смысле слова, научная разведка, зондирование неизведанного. «Используя хорошо изученные физические модели пространства-времени и хорошо проверенные законы квантовой механики, нельзя заранее рассчитать то, что мы увидим, — говорит Хоган. — Но по мне, это как раз главная причина, почему необходимо провести данный эксперимент: ввязаться в игру и посмотреть, что получится».

А если он все же услышит эту дрожь? Это будет обозначать, что пространство и время — совсем не то, что мы думаем? «Это изменит архитектонику всей физики», — отвечает Хоган.

В течение многих лет физика элементарных частиц не оперировала такого рода пробными моделями. Весь конец 1960-х и начало 1970-х гг. физики плели паутину теорий и гипотез, известную сегодня в физике элементарных частиц как Стандартная модель. В последующие десятилетия данная модель подвергалась экспериментальной проверке с все большими глубиной и точностью. «Работа проходила следующим образом: теоретическое сообщество выходило с идеей — например, с идеей бозона Хиггса — и создавало модель. На ее основе делались предсказания, и эксперимент показывал, верна она или нет», — говорит Хоган. Сначала появляется теория, и уже затем эксперимент.

Такой консерватизм объясняется вполне понятной причиной: эксперименты в физике элементарных частиц возмутительно дороги. Чтобы построить около Женевы Большой адронный коллайдер (БАК), *CERN* потребовалось около $5 млрд. Сегодня к БАК приковано внимание тысяч физиков во всем мире. Это самая совершенная, сложная и точная машина из когда-либо созданных человеческим разумом. Ученые открыто задают вопрос, не окажется ли следующее поколение ускорителей на встречных пучках — с большей энергией, больших размеров и более дорогих — слишком претенциозным. Человечество, возможно, просто откажется их оплачивать.

В эксперименте на Большом адронном коллайдере может участвовать более 3 тыс. ученых. В Фермилабе Хоган собрал группу едва ли из 20 человек, включая старших консультантов из Массачусетсского технологического института и Мичиганского университета, которые в повседневной работе на объекте участия не принимают. Хоган прежде всего физик-теоретик, имеющий слабое представление о капризах вакуумных насосов и твердотельных лазеров, и поэтому пригласил в качестве соруководителя Аарона Чоу (Aaron Chou), экспериментатора, который случайно приехал в Фермилаб примерно тогда же, когда Хоган выдвинул свое предложение. В прошлом году они получили грант в $2 млн, на который в *CERN* можно было бы купить лишь один сверхпроводящий

магнит для коллайдера и чашечку кофе. Им же этих денег достаточно, чтобы профинансировать весь проект. «Нам не нужны высокие технологии, если дешевле обойтись оборудованием более низкого технологического уровня», — говорит Хоган.

Эксперимент настолько дешев, потому что, по сути, это усовершенствованная версия эксперимента более чем столетней давности, который так лихо разрушил картину декораций всего сущего, сформировавшуюся в XIX в. К началу 1880-х гг. физики знали, что свет ведет себя как волна. Они также знали, что любые волны — от ряби на поверхности пруда до звука, распространяющегося в воздухе, — имеют ряд одинаковых свойств. Как для скульптуры нужен материал, так и волны всегда требуют наличия среды — некой физической основы, в которой они распространяются. Поскольку свет — тоже волна, логически следовало ожидать, что для его распространения также требуется некая среда, невидимая субстанция, пронизывающая Вселенную. Ученые назвали эту скрытую среду эфиром.

В 1887 г. Альберт Майкельсон и Эдвард Морли придумали эксперимент, который должен был подтвердить существование эфира. Они сконструировали интерферометр — оптический прибор с двумя оптическими коленами, по форме напоминавший букву *L*, который был оптимизирован для измерения изменений скорости света. Свет от одного источника шел по всей длине обоих колен, отражался от зеркал на их концах, а затем оба пучка интерферировали в точке, откуда они начали свое путешествие. Если бы отрезки времени, в течение которого свет путешествовал по каждому из путей, отличались даже на долю микросекунды, то интерференционная картина дала бы в центре более темное пятно. Майкельсон и Морли соорудили свой интерферометр и месяцами проводили измерения, а Земля в это время вращалась вокруг Солнца. В зависимости от того, в какую сторону она двигалась, неподвижный эфир должен был повлиять на время, необходимое свету для путешествия по одному из взаимно перпендикулярных колен интерферометра. Зафиксируйте такие изменения, и вы станете первооткрывателем эфира.

Конечно, эксперимент не обнаружил ничего подобного. Так образовалась глубокая трещина в космологической теории, просуществовавшей сотни лет. Так же как лесной пожар освобождает место для бурного роста новой поросли, развенчание концепции эфира позволило широко расцвести новым идеям. В отсутствие эфира свет всегда путешествует с одной и той же скоростью, независимо от того, как двигаетесь вы. Десятилетия спустя Альберт Эйнштейн ухватился за это наблюдение, чтобы вывести формулы теории относительности.

С помощью своего интерферометра Хоган попытается отыскать признаки чего-то похожего на эфир — невидимой (а возможно, и воображаемой) субстанции, пронизывающей Вселенную. Используя два интерферометра Майкельсона, установленных один над другим, он намерен исследовать процессы, происходящие на фундаментальной шкале Вселенной, характеризуемой отрезками сверхмалой длины, о которые споткнулись и квантовая механика, и теория относительности — область, где информация живет в виде отдельных битов.

Планковская длина не просто маленькая — она самая малая из всех возможных.

Если вы возьмете частицу и заключите ее в куб со стороной, равной планковской длине, то она будет весить больше, чем черная дыра такого же размера, — утверждает общая теория относительности. Но законы квантовой механики говорят, что любая черная дыра размером менее планковской длины должна будет иметь менее одного кванта энергии, что невозможно. Сама планковская длина заключает в себе парадокс.

Однако планковская длина — это не просто расстояние в пространстве, где пути квантовой механики и теории относительности расходятся. За последние несколько десятилетий споры по поводу природы черных дыр обнаружили совершенно новое понимание планковской длины. Наши лучшие теории могут рассыпаться, но на их месте возникнет что-нибудь другое. Сущность Вселенной — информация, поэтому такая линия размышлений имеет право на существование, и фундаментальные биты информации, давшие начало Вселенной, лежат на планковской шкале.

«Информация подразумевает различие между сущностями, — объяснял прошлым летом физик из Стэнфордского университета Леонард Сасскинд (Leonard Susskind) на своей лекции в Нью-Йоркском университете. — Основной принцип физики заключается в том, что различия эти никогда не исчезают. Они могут перепутываться и даже смешиваться, но не исчезают полностью». Даже когда этот журнал превратится в бумажную пульпу на фабрике по переработке макулатуры, информация, содержащаяся на его страницах, будет преобразована, но не исчезнет бесследно. Теоретически процесс распада можно сделать обратимым (восстановить слова и фотографии из бумажной массы), даже если такая задача кажется невыполнимой практически.

Физики давно согласились с этим принципом, кроме одного специального случая. Что будет, если журнал швырнуть в черную дыру? Ведь из черной дыры ничто не может вырваться. Даже после того как в 1975 г. Стивен Хокинг (Stephen Hawking) показал, что черные дыры могут испускать вещество и энергию (в форме, получившей впоследствии название «излучение Хокинга»), это излучение представлялось, по-видимому, не имеющим структуры — некое безжизненное космическое блеяние. Ученый сделал вывод, что, вероятно, черные дыры уничтожают информацию.

Это чепуха, возразили ему некоторые коллеги, среди которых были Сасскинд и Герард Хоофт (Gerard 't Hooft), физик-теоретик из Утрехтского университета в Голландии, который впоследствии получил Нобелевскую премию. «Полная структура всего, что мы знаем, была бы уничтожена, если бы вы лишь чуть-чуть приоткрыли дверь для представления, что информация будет потеряна», — объясняет Сасскинд.

Однако Хокинга было не так легко убедить, и поэтому в течение последующих 20 лет физики разрабатывали новую теорию, которая могла бы объяснить это противоречие. Она получила название голографического принципа и утверждает, что когда объект падает на черную дыру, материя, возможно, и теряется, но информация об объекте каким-то образом отпечатывается на поверхности черной дыры. Имея подходящий инструмент, теоретически вы можете восстановить ее из черной дыры так же, как и из бумажной пульпы на перерабатывающем заводе. Горизонт событий черной дыры — точка невозврата, — как и надгробная плита, выполняет двойную функцию. Информация не теряется.

Этот принцип — отнюдь не бухгалтерский трюк. Он утверждает, что хотя мы видим окружающий нас мир трехмерным, вся информация о нем хранится на поверхностях, имеющих всего два измерения *(см.: Бекенштейн Я. Информация в голографической Вселенной // ВМН, № 11, 2003)*. Более того, существует фундаментальный предел объема информации, которая может уместиться на поверхности данной площади. Если поверхность поделить вроде шахматной доски на квадраты со стороной в две планковские длины, то объем информации всегда будет меньше, чем число таких квадратов.

В серии статей 1999 и 2000 гг. Рафаэль Буссо (Raphael Bousso), в настоящее время работающий в Калифорнийском университете в Беркли, показал, как этот голографический принцип можно распространить за пределы простых поверхностей вокруг черных дыр. Он представил объект, окруженный множеством ламп-вспышек, одновременно загорающихся в темноте. Фронт световой волны, движущийся внутрь, задает некую поверхность — что-то вроде пузыря, схлопывающегося со скоростью света. Именно на этой двумерной поверхности — так называемом световом листе — и хранится вся информация о тебе (или о вирусе гриппа, или о сверхновой).

Этот световой лист, согласно голографическому принципу, играет важнейшую роль. Внутри он содержит информацию о положении каждой частицы, каждого электрона, кварка и нейтрино, а также каждой действующей на них силы. Однако было бы ошибочно думать о световом листе как о куске пленки, на которой пассивно фиксируется все, что происходит в мире. На самом деле сначала появляется световой лист. Он проецирует информацию, содержащуюся на его поверхности, во внешний мир, образуя все, что мы видим. В некоторых интерпретациях он не просто генерирует все силы и частицы — он формирует саму ткань пространства-времени. «Я считаю, что пространство-время — это то, что мы называем проекцией, — говорит Герман Верлинде (Herman Verlinde), физик из Принстонского университета, в прошлом студент Хоофта. — Оно появляется из последовательности нулей и единиц».

Но есть проблема: хотя физики в основном согласны, что голографический принцип верен и что единицы и нули на расположенных рядом поверхностях содержат всю информацию об окружающем мире, они не знают, как эта информация кодируется, или как природа обрабатывает эти единицы и нули, или каким образом результат такой обработки дает начало миру. Они предполагают, что Вселенная работает как компьютер: информация рождает в воображении то, что мы ощущаем как физическую реальность; но пока этот компьютер остается для нас большим черным ящиком.

В конечном счете причина, по которой физики так взбудоражены голографическим принципом, основание, по которому они уже несколько десятилетий разрабатывают его, заключается не в том, чтобы убедить Хокинга, что он ошибался. Конечно же, первопричина в том, что голографический принцип формулирует глубинную связь между информацией, материей и гравитацией. В конце концов он, возможно, подскажет, как примирить две крайне успешные, и в то же время взаимно несовместимые основы физики XX столетия — квантовую механику и общую теорию относительности. «Голографический принцип — это веха на пути к квантовой теории гравитации», — говорит Буссо. Это одна из исходных гипотез, которая указывает путь к теории, долженствующей заменить современное понимание мира. «Не исключено, что нам требуются дополнительные вехи».

Вот в такую неразбериху, не имея собственной великой теории всего сущего, вооружившись лишь своим голометром, и решил вмешаться Хоган.

Но ему великая теория и не нужна. Ученый не собирается найти решения всех этих зубодробительных проблем. Все, что он намерен сделать, — прояснить основополагающий вопрос: представляет ли собой Вселенная мир, состоящий из битов, или нет? Если ему это удастся, он и в самом деле водрузит веху — гигантскую стрелку, указывающую направление к цифровой Вселенной. И физикам будет понятно, в какую сторону идти.

Согласно Хогану, в мире, состоящем из битов, квантуется само пространство: оно возникает из дискретных квантованных битов на уровне шкалы Планка. И если пространство квантуется, то оно должно страдать от присущей квантовой механике болезни — неопределенности. Оно не покоится неподвижно, как гладкая космическая декорация. Вместо этого квантовые флуктуации вызывают вздыбливание и вибрацию пространства, заставляя мир дрожать в унисон. «Вселенная — отнюдь не классический, прозрачный как кристалл, эфир, — говорит Николас Сунцев (Nicholas B. Suntzeff), астроном из Сельскохозяйственного и политехнического университета Техаса. — На мельчайшем, микроскопическом уровне постоянно происходят эти малые, похожие на схлопывание пузырьков пены, флуктуации. Они очень сильно влияют на структуру Вселенной».

Хитрость заключается в том, чтобы проникнуть в микромир до уровня этой пространственно-временной «пены» и измерить ее колебания. И вот здесь-то мы и сталкиваемся с проблемой планковской длины. Она столь мала, что если бы мы захотели измерить ее с помощью традиционных методов (таких как ускорители элементарных частиц), то потребовались бы машины

размером с Млечный Путь. А голометр Хогана — как раз некая попытка нанести сокрушительный удар по проблеме планковской длины с тыла.

Но вернемся в то время, когда Майкельсон и Морли исследовали несуществующий эфир. Их интерферометр измерял мельчайшие изменения — изменения скорости света при движении Земли вокруг Солнца — путем сравнения двух пучков света, которые путешествовали вдоль достаточно длинного пути. Чем больший путь проходит свет, тем точнее измерение. То же самое и с голометром Хогана. Его стратегия достижения планковской длины заключается в измерении ошибки, накапливающейся в результате дрожания квантовой системы.

«Когда я смотрю на экран своего телевизора или монитор компьютера, картинка выглядит замечательной и гладкой, — говорит Джоу. — Но если вы вглядитесь в экран с близкого расстояния, то увидите отдельные цветные точки». Возможно, то же самое происходит в случае с пространством-временем. В привычном для человека масштабе — шкала, соответствующая размерам людей, домов, микроскопов, — пространство

Пространство не покоится неподвижно, как гладкая космическая декорация. На самом деле квантовые флуктуации заставляют пространство вздыбливаться и вибрировать, двигая мир вместе с собой

видится нам гладкой непрерывной штуковиной. Нам никогда не случалось видеть, чтобы едущий по улице автомобиль прыгал от одной точке к другой, как если бы Всевышний включил стробоскоп.

Однако в голографическом мире Хогана именно так все и происходит. Пространство само по себе дискретно — или, говоря современным языком, «квантуется» *(см.: Смолин Л. Атомы пространства и времени // ВМН, № 4, 2004)*. Оно рождается из некоей еще более глубокой системы, некоей принципиально квантовой структуры, о которой мы пока еще не имеем представления. «Это немного смахивает на жульничество, поскольку у меня на этот счет нет никакой теории, — говорит Хоган. — Но это лишь первый шаг. Я могу сказать этим теоретикам, занимающимся гравитацией: "Ну-ка, ребята, давайте, придумайте, как все это должно работать!"».

Голометр Хогана устроен во многом аналогично майкельсоновскому интерферометру, как если бы Майкельсон и Морли имели в своем распоряжении приборы современной микроэлектроники и двухваттные лазеры.

Лазерный луч попадает на светоделитель, который расщепляет его на два пучка. Оба эти пучка бегут вдоль 40-метрового световода *L*-образного интерферометра, отражаясь от зеркал на каждом конце, и затем оба возвращаются к светоделителю, где и интерферируют. Однако Хоган измеряет не движение Земли сквозь эфир, но пытается зарегистрировать какие-либо изменения в длине пути, возникающие в результате того, что сам светоделитель передает дрожание ткани космоса. Если в масштабе планковской длины пространство-время бьется в конвульсиях, как вздымающиеся морские волны, то светоделитель будет качаться в пене этих волн, словно утлая лодка. За время, необходимое лазерному лучу, чтобы совершить путешествие через весь голометр, светоделитель в результате тряски сдвинется на число планковских длин, достаточное для того, чтобы это движение можно было зафиксировать.

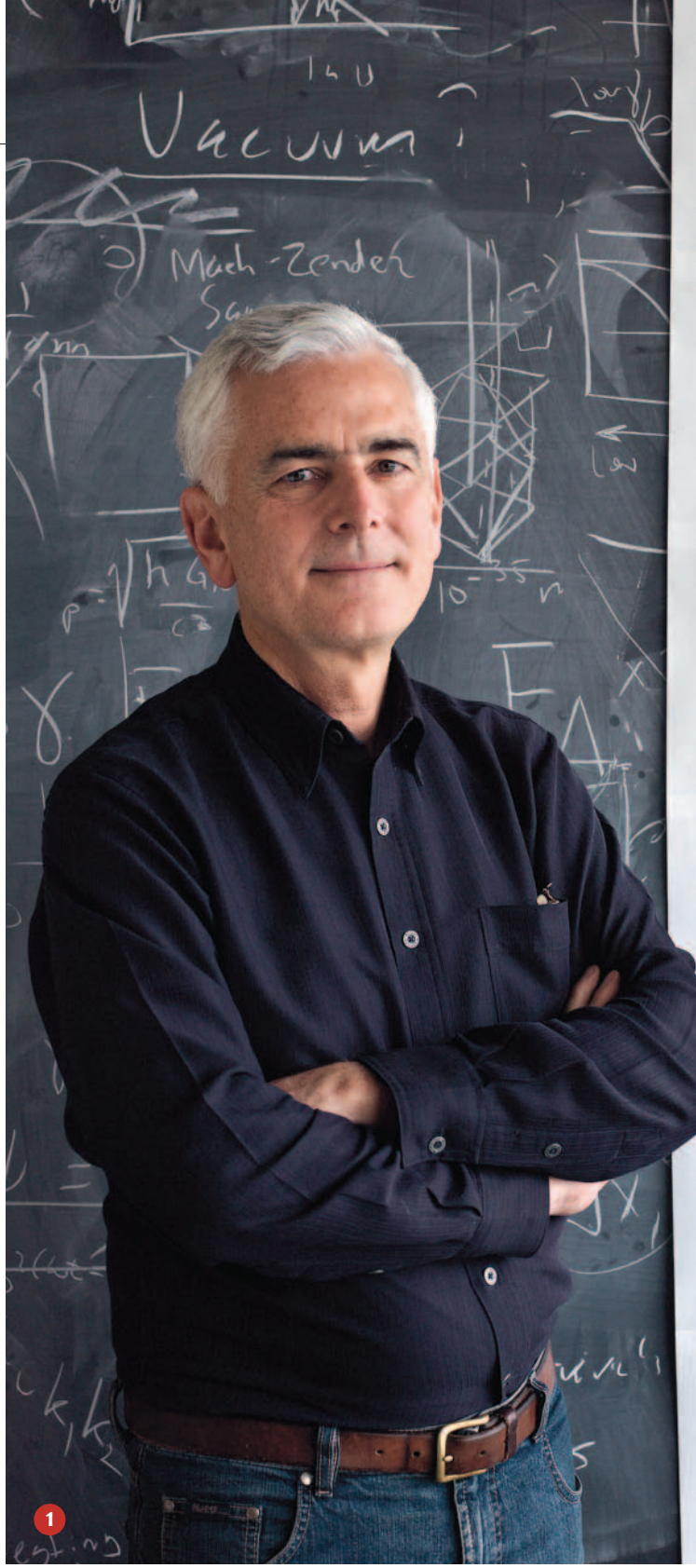
Конечно, вы можете придумать тысячу разных причин, из-за которых светоделитель может сдвинуться в горизонтальном направлении на величину в несколько планковских длин, например громыхание автомобильного двигателя снаружи здания или же порыв сильного иллинойсского ветра, немного качнувший его фундамент. Такого рода вопросы мучили ученых, работавших над другим интерференционным проектом — близнецами-детекторами Лазерно-интерферометрической обсерватории гравитационных волн (ЛИОГВ), построенными неподалеку от Ливингстона, штат Луизиана, и Ханфорда, штат Вашингтон. Эти огромные экспериментальные установки были возведены для наблюдения гравитационных волн — ряби, пронизывающей пространство-время в результате космических катаклизмов, таких как столкновения нейтронных звезд. К несчастью, гравитационные волны, сотрясающие Землю, имеют такую же частоту, что и колебания, вызванные не столь интересными явлениями, например проезжающими мимо грузовиками или падающими деревьями. Поэтому детекторы гравитационных волн должны быть тщательно изолированы от внешних шумов и вибрации. (Предполагаемое строительство ветряной электростанции неподалеку от установки в Ханфорде повергло физиков в ужас, потому что вибрация от одних лишь вращающихся лопастей заглушила бы чувствительные детекторы своим шумом).

Дрожание, которое надеется зафиксировать Хоган, происходит с гораздо большей частотой — миллион раз в секунду, и поэтому внешние шумы не становятся предметом такого же беспокойства. Возможно лишь влияние от расположенной неподалеку радиостанции, вещающей в средневолновом диапазоне. «Ничто в природе не может двигаться с такой частотой, — говорит Штефан Майер (Stephan Meyer), физик из Чикагского университета и ветеран ЛИОГВ, работающий над голометром. — Если все-таки мы обнаружим, что светоделитель движется, то это станет одним из свидетельств, которое мы будем рассматривать как верный признак [того, что дрожание на планковском уровне действительно существует]».

А в мире современной физики элементарных частиц получить такие «верные признаки» может оказаться задачей довольно нетривиальной. «Это не в ногу со временем, — говорит Хоган, — прибегать к подобному старомодному стилю в физике, который можно сформулировать примерно так: "Мы пойдем и беспристрастно выясним, что и как происходит в природе"». Чтобы проиллюстрировать сказанное, он любит рассказывать притчу о происхождении теории относительности и квантовой механики. Эйнштейн открыл теорию относительности, не отходя от рабочего стола, математически выведя ее из нескольких постулатов. В то время существовало всего лишь несколько экспериментальных нестыковок, которые она помогла устранить, первое же настоящее экспериментальное подтверждение теории относительности было проведено спустя много лет. С другой стороны, квантовая механика была навязана теоретикам приводящими в замешательство результатами экспериментов. («Ни один теоретик, будучи в здравом рассудке, не придумал бы квантовую механику, если бы на него не давили данные экспериментов», — говорит Хоган.) Тем не менее она оказалась самой успешной теорией в истории науки.

Подобным же образом теоретики в течение многих лет строили красивые концепции, такие как теория струн, хотя до сих пор не ясно, как их можно проверить и возможно ли это вообще. Назначение своего голометра Хоган видит в получении таких же «приводящих в замешательство» данных, которые будущие теоретики должны будут объяснить. «Довольно долго не было продвижения вперед, — говорит он. — Как заставить физику двигаться дальше? Иногда ее удается сдвинуть с места с помощью эксперимента». ■

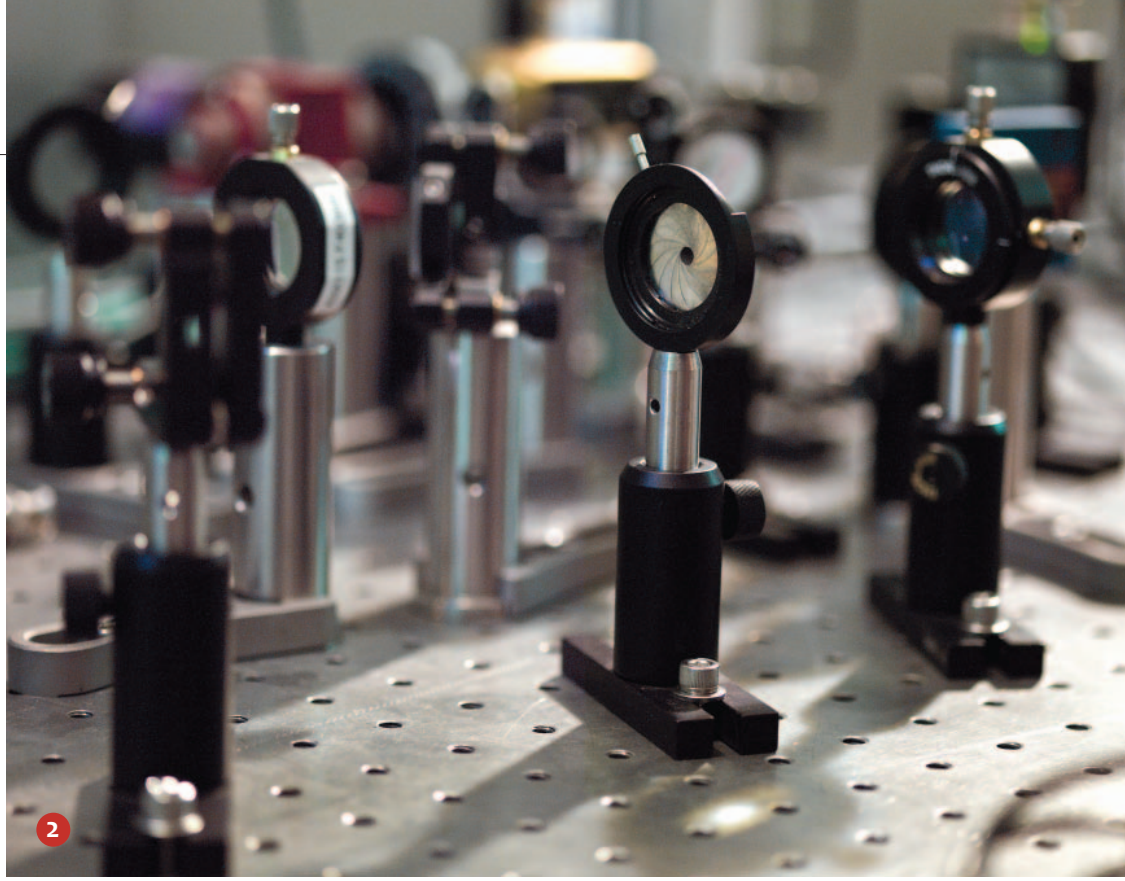
Перевод: А.П. Кузнецов



Крейг Хоган, директор Центра астрофизики элементарных частиц, позирует в своем кабинете (1). Прецизионное оптическое оборудование используется для фокусировки и юстировки лучей лазера (2). Один комплект труб устанавливается в бункере, использовавшемся раньше для пучков элементарных частиц; другой, лежащий на поверхности, оканчивается у голубого ангара, в котором располагаются зеркала и фокусирующая оптика (3). Хоган и его группа строят голометр на площадке в километре отсюда. В ходе эксперимента лазерный луч пройдет внутри 40-метровых труб с вакуумной изоляцией (4).

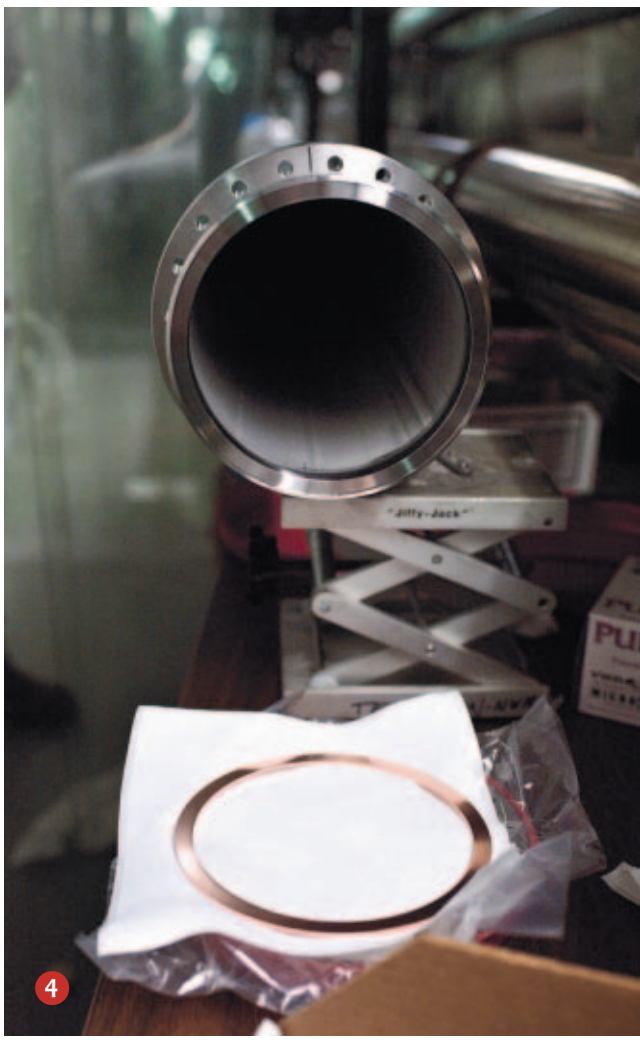
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- The Holographic Principle. Raphael Bousso in Reviews of Modern Physics, Vol. 74, No. 3, pages 825–874; 2002. http://arxiv.org/abs/hep-th/0203101
- Бекенштейн Я. Информация в голографической Вселенной // ВМН, № 11, 2003.
- Смолин Л. Атомы пространства и времени // ВМН, № 4, 2004.
- Now Playing: Reality. In 3-D. T. Kunz in Symmetry, Vol. 8, No. 3, pages 22–25; October 2011.
- Interferometers as Probes of Planckian Quantum Geometry. Craig J. Hogan. http://arxiv.org/abs/1002.4880



2

3



4

Photographs by Matt Siber