



# ВОЗМОЖНЫ ЛИ ПУТЕШЕСТВИЯ ВО ВРЕМЕНИ?

**КЕН ОЛУМ**, ПРОФЕССОР ФИЗИКИ УНИВЕРСИТЕТА  
ТАФТСА

С тех пор, как Герберт Уэллс опубликовал свою «Машину времени», прогулки в прошлое либо в будущее с неизменным возвращением в свою собственную эпоху прочно вошли в фантастическую литературу. Но вот возможны ли они с точки зрения современной науки, хотя бы чисто теоретически?

Интервью: Алексей Левин

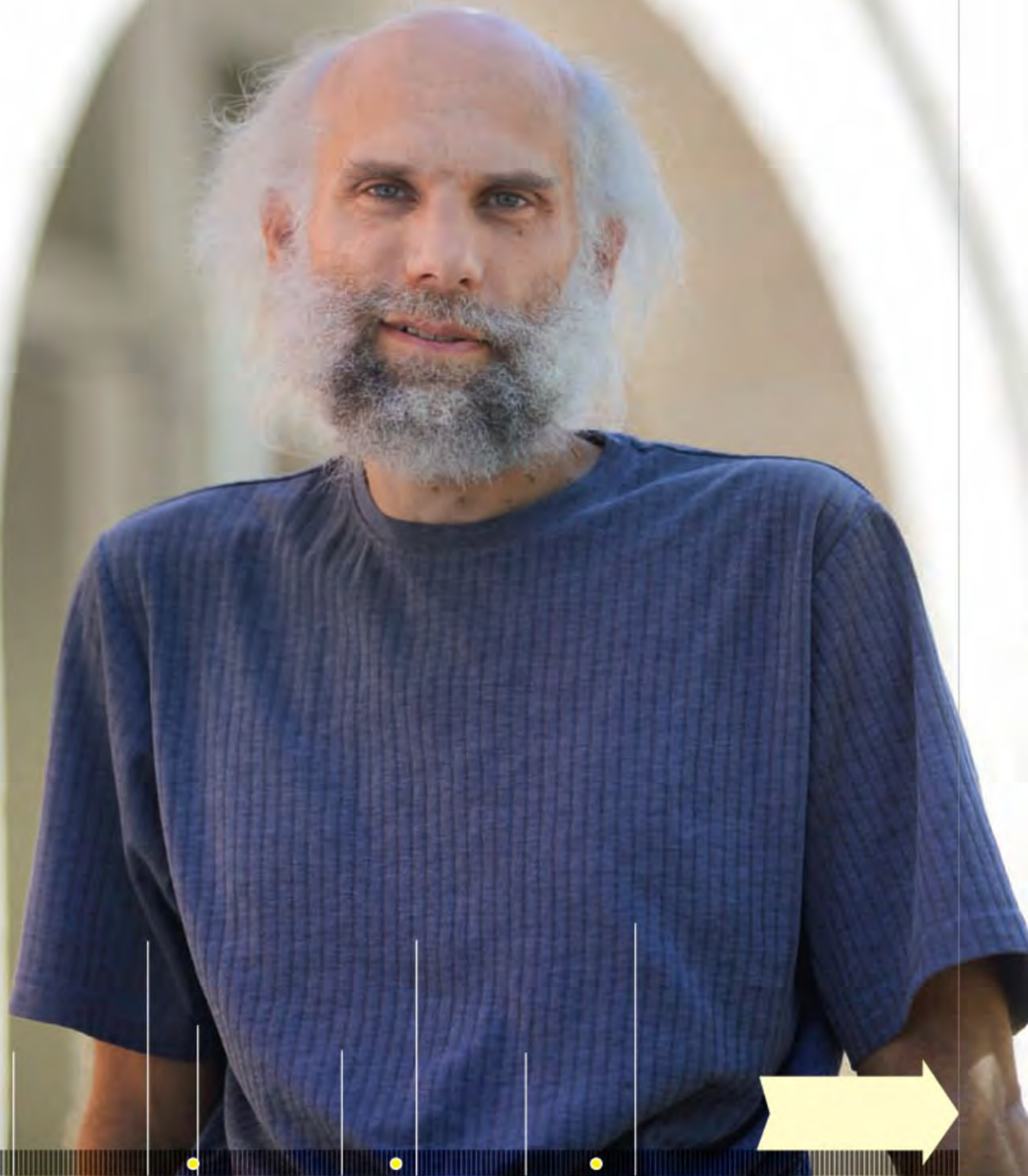
## ПРЫЖОК В БУДУЩЕЕ

Согласно специальной теории относительности (СТО) Эйнштейна, время в космическом корабле, летящем со скоростью, близкой к скорости света, течет значительно медленнее, чем на планете, которую он покинул (с точки зрения ее обитателей).

Экипаж звездолета может возвратиться назад через тысячи лет и оказаться в далеком будущем. Поэтому путешествие в будущее – это чисто техническая задача.

Кое-кто из нынешних космонавтов его уже совершил: Сергей Авдеев, который провел на орбите в общей сложности 747 суток, 14 часов и 16 минут, прыгнул в будущее на 20 миллисекунд.

Правда, уравнения общей теории относительности (ОТО) предписывают часам замедлить ход при увеличении силы тяготения: на поверхности Земли время течет медленнее, чем на МКС (что тоже давно подтверждено). И если бы не этот эффект, «прыжок» Авдеева был бы немножечко длиннее.



Путешествиями во времени я вместе с группой единомышленников занимаюсь в контексте общей теории относительности с определенными квантовыми поправками. Конкретно проблема ставится так: можно ли с помощью тех или иных квантовых полей сконструировать искривленное пространство-время ОТО, содержащее замкнутые мировые линии? Если мировая линия выходит из определенной пространственно-временной точки и в нее же и возвращается, то движение по этой петле как раз и будет путешествием во времени. Для тех, кто знаком с теорией относительности, уточню, что мировая линия обязана быть времениподобной. Это означает, что никакие перемещения вдоль нее не должны превышать скорость света.

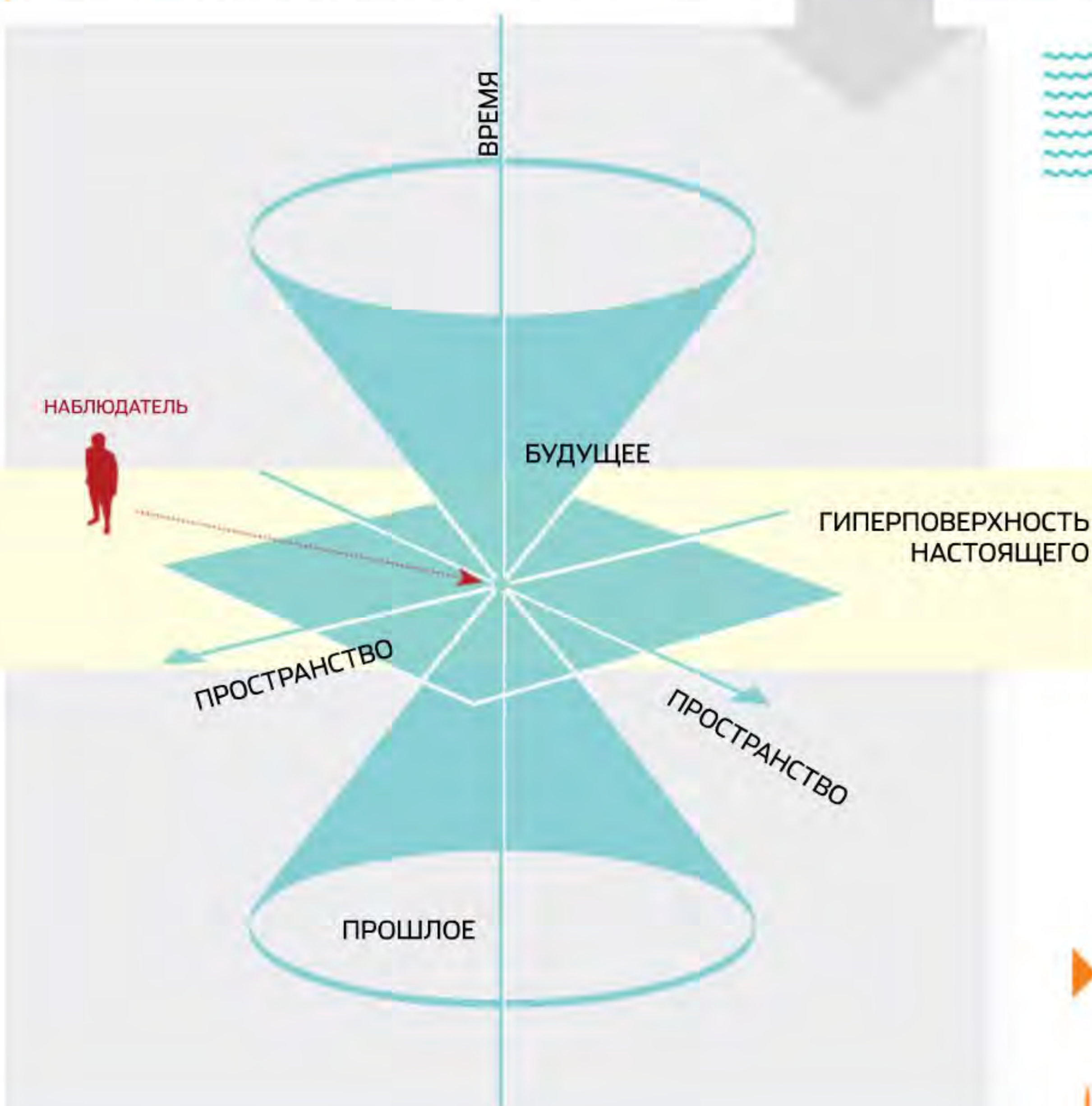
### ПОЛУКЛАССИКА

Наш подход к постановке проблемы темпоральных путешествий можно назвать полуклассическим, так как он основан на объединении классической теории тяготения Эйнштейна с квантовой теорией поля. Кое-кто говорит, что эту проблему путешествий надо изучать на базе чисто квантовой теории гравита-

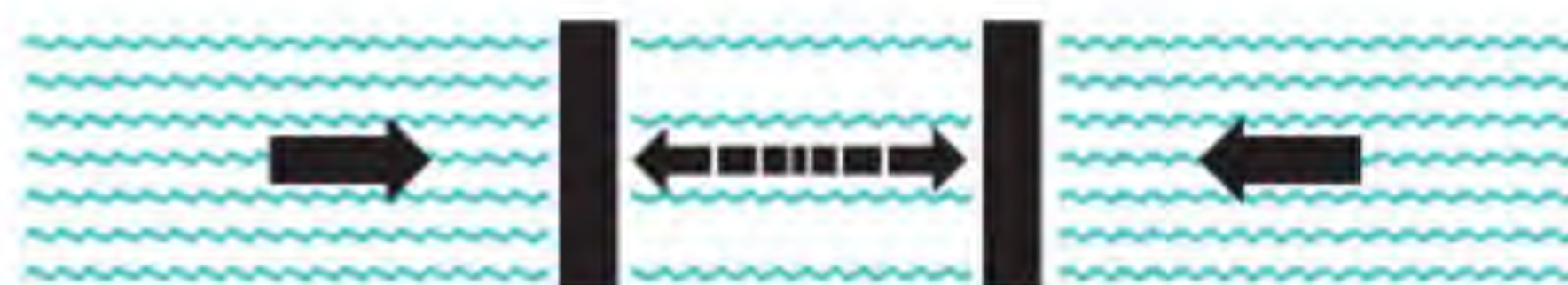
ции, но она пока не создана и мы не знаем, как она будет выглядеть.

Эйнштейновские уравнения симметричны относительно времени, их решения можно продолжать как в будущее, так и в прошлое. Поэтому из них не следует необратимость времени, которая наложила бы запрет на путешествия во времени. Однако геометрическая структура пространства-времени определяется свойствами материи, заполняющей пространство, ее энергией и давлением. Так что нашу основную проблему можно переформулировать так: какая именно материя допускает петли мировых линий? Оказывается, что привычная нам материя, состоящая из частиц и излучения, для этого никак не подходит. Нужна материя иного рода, обладающая отрицательной массой, а следовательно, если вспомнить знаменитую формулу Эйнштейна  $E = mc^2$ , и отрицательной энергией (кстати, не стоит путать такую материю с античастицами – их массы и энергии положитель-

### — СВЕТОВОЙ КОНУС ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ



### — ЭФФЕКТ КАЗИМИРА



Представим себе две плоские проводящие пластины, расположенные параллельно в вакууме. Плотность виртуальных фотонов между ними будет меньше, нежели снаружи, поскольку там смогут возбуждаться лишь стоячие электромагнитные волны строго определенных резонансных частот. В результате в пространстве между пластинами давление фотонного газа окажется меньше давления извне, из-за чего они будут притягиваться друг к другу.

**Световой конус – это гиперповерхность в пространстве-времени, которая ограничивает области будущего и прошлого относительно заданного события в центре конуса. Для двумерного пространства эта поверхность выглядит как трехмерный конус, ось которого совпадает с осью времени, а радиус ограничен распространением светового луча. Мировые линии любого тела лежат внутри конуса будущего.**

ны). Это давно доказано несколькими физиками, например Стивеном Хокингом.

### ЭФФЕКТ КАЗИМИРА

Материя с отрицательной массой и энергией может показаться нелепицей, однако она отработана теорией и даже подтверждена экспериментом. Правда, классическая физика ее не допускает, однако с точки зрения квантовой теории поля она вполне законна. Об этом свидетельствует физический эффект, названный в честь голландского физика Хендрика Казимира. Если взять две отполированные металлические пластины и поместить строго параллельно друг другу на дистанции в несколько микрометров, они будут притягиваться с силой, которую вполне можно измерить (что и было впервые сделано еще 15 лет назад). Это притяжение объясняется как раз тем, что пространство между пластинами имеет отрицательную энергию.

Откуда она берется? Будем для простоты считать, что пластины расположены в идеальном вакууме. Согласно квантовой теории, там все время рождаются и исчезают самые разные флуктуации квантовых полей, например виртуальные фотоны. Все они вносят вклад в среднюю энергию свободного вакуума, которая равна нулю. Чтобы это было возможным, часть флуктуаций должна иметь положительную энергию, а часть – отрицательную.

Но вблизи физических тел этот баланс может и не соблюдаться. В частности, в пространстве между пластинами «минусовые» флуктуации доминируют над «плюсовыми». Поэтому плотность вакуумной энергии там ниже плотности энергии свободного вакуума, то есть меньше нуля. Эта плотность обратно пропорциональна четвертой степени ширины щели между пластинами, в то время как объем межпластинного пространства пропорционален самой ширине. Так что их произведение имеет отрицательный знак и обратно пропорционально кубу ширины щели. В результате при сближении пластин полная вакуумная энергия межпластинного пространства все сильнее проваливается ниже нулевой отметки, и поэтому им энергетически выгодно притягиваться друг к другу.

**МАТЕРИЯ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ МАССОЙ И ЭНЕРГИЕЙ МОЖЕТ ПОКАЗАТЬСЯ НЕЛЕПИЦЕЙ, ОДНАКО ОНА ОТРАБОТАНА ТЕОРИЕЙ И ДАЖЕ ПОДТВЕРЖДЕНА ЭКСПЕРИМЕНТОМ.**

### ПАТРУЛЬ ВРЕМЕНИ

Но вернемся к путешествиям во времени. Коль скоро обычная материя имеет положительную массу, из нее невозможно изготовить устройство, способное перемещаться во времени. Если эта задача разрешима, то только с помощью каких-то конфигураций квантовых полей, обеспечивающих отрицательную энергию на всем протяжении замкнутой мировой линии.

Однако создать такую конфигурацию, по всей видимости, просто невозможно. Этому препятствует очень важное ограничение, которое называется условием усредненной нулевой энергии (Averaged Null Energy Condition, сокращенно ANEC). Математически оно выражается довольно сложным интегралом, а на простом общечеловеческом языке утверждает, что любые вклады со стороны отрицательной энергии вдоль мировых линий фотонов должны точно или даже с избытком компенсироваться добавками положительной энергии.

По всем имеющимся данным, природа соблюдает ANEC без всяких исключений. Можно показать, что этому условию подчиняется и эффект Казимира. Например, если сделать в пластинах два отверстия напротив друг друга и извне через них пропустить через межпластинное пространство световой луч, полная сумма изменений энергии вдоль его мировой линии будет положительной.

Как это влияет на путешествия во времени? Можно доказать, что если в искривленном пространстве ОТО действует определенный аналог ANEC, то такие путешествия оказываются невозможными.

Иначе говоря, эта версия ANEC, которую мы назвали ахрональной, накладывает запрет на любые проекты машин времени, изготовленных с помощью материи с отрицательной массой.

Сейчас я вместе с моими студентами работаю над математическим доказательством этой версии, и, как мне кажется, мы уже кое-чего добились.

Если удастся построить искомое доказательство, принципиальная неосуществимость машины времени будет продемонстрирована – во всяком случае, в рамках полуклассического подхода. А поскольку полной квантовой теорией гравитации мы пока не располагаем, этот вывод придется принять как минимум до ее создания.