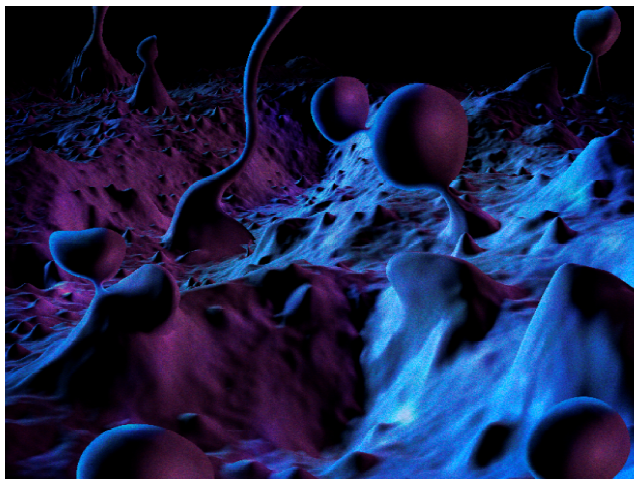


## "Квантовая пена" скрывает гигантскую космическую энергию

David Lindley.

September 27, 2019 • Physics 12, 105

Рассматриваемая теория предполагает, что пустое пространство заполнено огромной энергией, однако согласно новым предложениям эта энергия может быть скрыта, потому что ее эффекты не могут реализоваться в субквантовых масштабах.



**Квантовая пена всплывает вверх.** По мнению художника, пространство-время в масштабе Планка — это квантовая пена. Последние анализы показывают, что даже если эта пена может иметь огромную энергию, она все еще может напоминать вакуум с нулевой энергией в больших масштабах.

неопределенности [1]. Непрерывное пространство и время классической физики было бы преобразовано в случайно колеблющиеся состояния, которое Уилер назвал *пространственно-временной пеной*. Пена существует на так называемом планковских масштабах — в режиме, где длины  $\sim 10^{-35}$  метров, времена  $\sim 10^{-44}$  секунд, а энергии  $\sim 10^{19}$  ГэВ. Эти масштабы характерны для начальных моментов большого взрыва.

Успехи квантовой теории поля позволили проанализировать пространственно-временную пену с большей степенью математической строгости, чем это было возможно во времена Уилера. Современные исследования показывают, что вакуум, пронизанный пространственно-временной пеной, может обладать огромной внутренней энергией. Такая энергия будет действовать как космологическая постоянная — фиксированный параметр, который можно добавить к уравнениям общей теории относительности. Космологическая постоянная даёт тот же эффект, что и "темная энергия", которая была введена для того, чтобы объяснить, почему расширение Вселенной ускоряется [2]. Тем не менее, несмотря на очевидные эффекты, темная энергия, возможно,  $10^{120}$  раз меньше, чем предсказанная планковская вакуумная энергия — несоответствие, которое теоретики изо всех сил пытались объяснить.

Некоторые физики искали теоретические механизмы, которые заставили бы планковскую энергию вакуума исчезнуть. Например, механизм может исчезнуть из-за совершенной отмены положительных и отрицательных вкладов или подавления, возникающего из-за поведения квантового поля в искривленном пространстве.

Но Стивен Карлип (Steven Carlip) из Калифорнийского университета в Дэвисе (California, Davis) предлагает другой вариант. Он отмечает, что уравнения общей теории относительности для пространства-времени с космологической постоянной имеют решения, которые дают либо расширение, либо сжатие — экспоненциально со временем. Он представляет пенообразное пространство-время, в котором энергия вакуума огромна повсюду, но в котором отдельные области с планковскими размерами либо расширяются, либо сжимаются с равной вероятностью. Используя математическую процедуру, которая позволяет планковским областям быть "склеенными" вместе таким образом, что согласуется с общей теорией относительности, он приходит к замечательному выводу: несмотря на то, что энергия вакуума огромна повсюду, сопоставление расширяющихся и сжимающихся областей создает "лоскутное одеяло", которое по существу неотлично от крупномасштабного пространства-времени, которое не расширяется и не сжимается. Такое пространство-время можно макроскопически описать как имеющее нулевую

Многие теоретические подходы, которые работают в направлении квантовой теории гравитации, предполагают, что все пространство-время должно быть заполнено энергией, которая в  $10^{120}$  раз больше, чем позволяют наблюдения. Теоретики предлагают различные хитрости, чтобы заставить эту энергию "уйти", однако новое предложение намекает на другой тип решения: энергия действительно огромна, но она не имеет большого влияния на космическое расширение, поскольку ее эффекты не могут реализоваться в субквантовых масштабах.

В 1955 году один из пионеров теории относительности Джон Уилер из Принстонского университета (штат Нью-Джерси), утверждал, что на самых малых масштабах способность определять длину, время и энергию будет подчиняться принципу

космологическую постоянную. Единственное важное предположение, необходимое для работы процедуры склеивания, заключается в том, что пространственно-временная пена не имеет собственного направления времени.

Далее Карлип предлагает механизм определяющий как это пространство-время может развиваться. Это сложная проблема, по двум причинам. На границах между различными областями кривизна пространства-времени сильно изменяется на малых расстояниях, что затрудняет ее эволюцию во времени. И поскольку области являются планковскими, мы имеем дело с квантовыми гравитационными эффектами, для которых нет полной теории, и это нельзя игнорировать. Тем не менее, Карлип приводит некоторые аргументы, указывающие на то, что трехмерный срез через это пространство-время будет продолжать вести себя как один без энергии вакуума. Один из способов представить себе такой процесс заключается в том, что по мере роста расширяющихся областей пространственно-временная пена постоянно пузырится в планковских масштабах, так что внутренние области заполняются смесью расширяющихся и сжимающихся частей.

Томас Бухерт (Thomas Buchert) – математический релятивист из лионского университета (Lyon, France), говорит о том, что, хотя это довольно схематично, предложение Карлипа правдоподобно, предполагая, что космологическая постоянная действительно возникает из квантовых флуктуаций. Но Бухерт добавляет, что он не полностью убежден в процедуре усреднения, которую использует Карлип, и предполагает, что начальное состояние в модели может эволюционировать в пространство-время с эффективной космологической постоянной, которая изменяется в больших масштабах, а не отменяется.

Карлип признает, что его предложение требует дальнейшего развития, чтобы стать основой для строгой космологической модели и что оно не касается происхождения темной энергии. Его точка зрения, однако, заключается в том, что когда дело доходит до решения проблемы огромной космологической постоянной, *“мы, возможно, просто искали не в том месте.”*

Эта статья опубликована в *Physical Review Letters*. David Lindley. David Lindley is a freelance science writer in Alexandria, Virginia.

#### References

1. J. A. Wheeler, “Geons,” **Phys. Rev.** **97**, 511 (1955).
2. P. Brax, “What makes the Universe accelerate? A review on what dark energy could be and how to test it,” **Rep. Prog. Phys.** **81**, 016902 (2017).

S. Carlip. *Hiding the Cosmological Constant*. Phys. Rev. Lett. 123, 131302.

Возможно, стандартные аргументы эффективной теории поля верны, и флуктуации вакуума действительно *генерируют* огромную космологическую постоянную. Я показываю, что если не принимать однородность и Стрелку времени в масштабе планка, то очень большой класс общих релятивистских исходных данных демонстрирует расширения, сдвиги и кривизны, которые огромны в малых масштабах, но быстро усредняются до нуля макроскопически. Последующая эволюция более сложна, но я утверждаю, что квантовые флуктуации могут сохранять эти свойства. Полученная картина является версией "пространственно-временной пены" Уилера, в которой космологическая постоянная создает высокую кривизну в масштабе планка, но почти невидима в наблюдаемых масштабах.