

Как расширяется Вселенная?

(Обновлено 29.04.2009)

Аннотация

Для объяснения наблюдаемых астрофизических данных обычно привлекают стандартную космологическую модель, использующую специально подобранное (ненулевое) значение так называемого космологического члена (КЧ). Апеллируя исключительно к такой модели, обосновывают неравномерное (ускоренное) расширение Вселенной в настоящую космическую эпоху. Автор данной работы представляет ряд новых доводов против КЧ и связанного с ним “антигравитационного” вклада, критикует основания общепринятой модели и предлагает альтернативную модель, в которой КЧ равен нулю, а размер Вселенной растет пропорционально ее возрасту. При этом, вопреки распространенному тезису о том, что “гравитация есть геометрия”, учитывается отрицательное статическое давление материи и приводится развернутая теоретическая аргументация в пользу его существования. Указывается на эффективное и плодотворное решение с помощью предложенной модели целого ряда известных космологических парадоксов.

1. Эволюция масштабного фактора Вселенной и космологическая постоянная

Из общей теории относительности (ОТО) известно, что динамика эволюции размера Вселенной – ее масштабного фактора $a(t)$ – для Вселенной с нулевой кривизной описывается уравнением

$$(d^2a/dt^2)/a = - (4\pi G/3)(\rho + 3P/c^2) + \Lambda c^2/3$$

Здесь G – гравитационная постоянная, ρ – средняя плотность материи, P – давление, c – скорость света, Λ – так называемый космологический член, или космологическая постоянная. Заметим, что в левой части уравнения стоит вторая производная по времени от *глобального* радиуса (кривизны) Вселенной.

Хорошо известна причина, по которой создатель ОТО А. Эйнштейн добавил в упомянутое уравнение космологический член. Первоначально он рассматривал лишь статический случай (поскольку еще не знал о расширении Вселенной), когда левая часть уравнения заведомо равна нулю. Но без *космологического члена* правая часть может обратиться в ноль только в том случае, когда давление P противоположно по знаку плотности материи ρ , т.е. *отрицательно*.

В такой ситуации патриарх физики 20-го столетия начал лавировать. С одной стороны, он не решился явно допустить отрицательное давление, лаконично мотивируя это [Einstein, 1953]:

“Возражением против такого решения является то, что приходится вводить отрицательное давление, для чего нет никаких физических оснований”.

С другой стороны, он тут же впускает этого джина с черного хода, придумав ему название “космологическая постоянная”, а давление как таковое приняв равным нулю. Разумеется, физический смысл этой константы все равно сводится к *отрицательному* давлению, и Эйнштейн, оправдываясь, пишет:

“Вещество состоит из электрически заряженных частиц. В рамках теории Максвелла они не могут быть поняты как свободные от особенностей электромагнитные поля. Чтобы не противоречить фактам, в выражение для энергии необходимо ввести дополнительные члены, не содержащиеся в теории Максвелла, которые обеспечили бы устойчивость электрически заряженных частиц, несмотря на взаимное отталкивание составляющих их одноименно заряженных частей. Именно в связи с этим Пуанкаре предположил, что внутри этих частиц имеется давление, которое и компенсирует электростатическое отталкивание. Нельзя, однако, определенно утверждать, что это давление исчезает вне частиц. Мы придем к согласию с этими представлениями, если в нашем феноменологическом рассмотрении добавим член, описывающий давление. Это давление, однако, не следует смешивать с гидродинамическим давлением, поскольку оно служит лишь энергетическим выражением динамических связей внутри вещества.”

Заметим, что Эйнштейн здесь совершенно *ясно* говорит о том, что это “эффективное” давление, связанное с постоянной Λ , должно быть *отрицательным* и *компенсировать* “взаимное отталкивание частей”, т.е. способствовать их *взаимному притяжению*.

2. Как проявляет себя отрицательное давление?

Если допустить отрицательное давление (хотя бы в виде космологической постоянной), то что оно собой представляет, каковы могут быть его физические проявления? Вот что говорится в классических учебниках [Landau et al., 1965, 1976]:

“В обычных условиях давление тел положительно, т.е. направлено так, как если бы тело стремилось расшириться. Это, однако, не обязательно, и тело может находиться также и в состояниях с отрицательными давлениями: в таких состояниях тело как бы “растянуто” и потому стремится сжаться. Например, отрицательным давлением может обладать перегретая жидкость; такая жидкость действует на ограничивающую ее поверхность с силой, направленной внутрь объема жидкости.”

Как же взаимодействуют плотность материи и отрицательное давление в статическом случае, который рассматривал Эйнштейн? Отрицательный знак перед плотностью ρ показывает, что этот параметр *должен уменьшать* ускорение, с которым расширяется Вселенная, что можно связать с эффектом гравитации. В то же время математика (как и общепринятая парадигма) говорит нам, что отрицательное давление (или положительный космологический член) должно действовать в противоположную сторону, т.е. *ускорять* расширение Вселенной, действовать в качестве своего рода антигравитации. Но это *противоречит* физической сущности отрицательного давления, которое, подобно гравитации, должно быть направлено *на взаимное притяжение* тел. Следовательно, трактовка соответствующего фактора как отрицательного давления с физической точки зрения должна казаться внутренне противоречивой.

3. Общепринятый подход и связанные с ним проблемы

Для нестатичной Вселенной равенство нулю левой части вышеприведенного уравнения уже не является обязательным (хотя и может выполняться, если закон эволюции зависит от времени линейно). Это крайне обрадовало Эйнштейна,

поскольку теперь отсутствие и давления, и космологической константы не приводит к отсутствию решения. Однако уже в наше время астрофизические наблюдения показали, что такое решение количественно не соответствует реальности. Поэтому научное сообщество пошло по пути признания существования космологического члена и даже, используя метод наибольшего правдоподобия, вычислило его числовое значение.

Однако это сразу же породило непреодолимые трудности. Дело в том, что в правой части уравнения, по существу, стоит плотность энергии, которая и определяет ускорение эволюции Вселенной. Поэтому и космологическому члену должна отвечать энергия определенного вида и величины. В качестве основного кандидата на эту роль предлагают вакуум, однако, во-первых, расчетная энергия вакуума на 120 порядков отличается от требуемого значения, а во-вторых, энергия вакуума вообще не может быть извлечена для чего бы то ни было, поскольку отвечает наинижнему энергетическому состоянию.

Далее, на рис. 1 показана эволюция относительного размера Вселенной с возрастом (в единицах $H_0 \cdot t$, где H_0 – постоянная Хаббла) для двух моделей с различным удельным вкладом ($\Omega_\Lambda=0$ и $\Omega_\Lambda=0.75$), который вносит космологическая постоянная в эффективную плотность Вселенной (соответственно, зеленая и синяя линии). Во втором случае, который космологи специально количественно адаптировали к данным реальных наблюдений, стандартная космология приводит к заключению о том, что некоторое время назад (при $H_0 \cdot t \approx 0.8$) началась эра ускоренного расширения Вселенной, и притом именно вследствие антигравитационного влияния космологической постоянной.

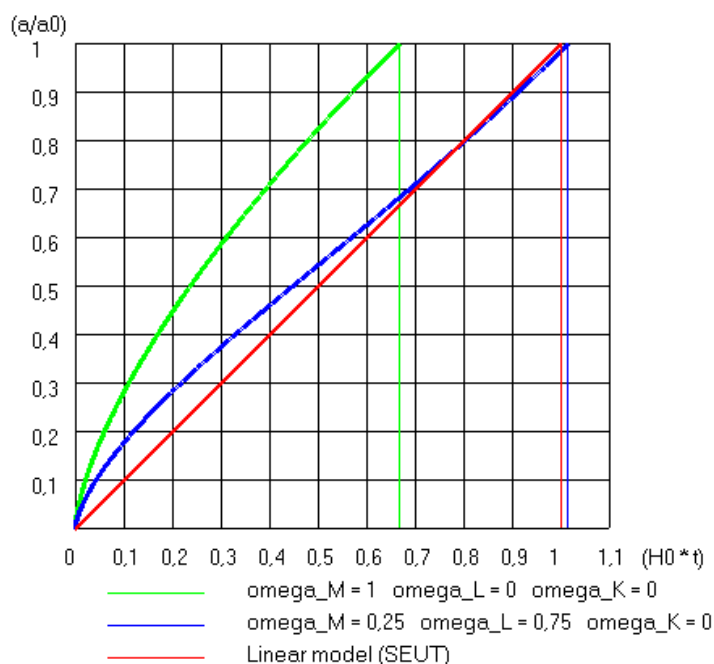


Рисунок 1. Изменение относительного размера Вселенной с возрастом (в единицах $H_0 \cdot t$, где H_0 – постоянная Хаббла) для двух моделей с различным удельным вкладом ($\Omega_\Lambda=0$ и $\Omega_\Lambda=0.75$) космологической постоянной в эффективную плотность Вселенной (зеленая и синяя линии), а также для линейной модели без космологической постоянной (красная линия).

И здесь возникает, с моей точки зрения, очень большая трудность для стандартной космологии, которая состоит вот в чем. Из приведенных кривых

следует, что скорость изменения параметра a может варьироваться. Это не так безобидно, как может показаться. Действительно, и для зеленой, и для синей кривой оказывается, что скорость их изменения может превосходить скорость света! Между тем, изменение параметра a соответствует *непространственной* компоненте вектора потока плотности материи, которая, как известно из теории относительности, характеризуется *неизменной* скоростью света (и равна ics), тогда как пространственные компоненты (ρv_λ , где $\lambda = 1,2,3$) потока плотности материи соответствуют значениям от 0 до c . С вышеуказанным связано и удельное значение энергии покоя ρc^2 .

Необходимо отметить, что с начала 1930-х годов довольно часто проводят аналогию между 4-мерным уравнением ОТО и внешне похожим нерелятивистским 3-мерным уравнением, где слева фигурирует *ускорение материальной точки* на поверхности сферы радиуса $R = a$. Оно получается для *внешнего* граничного слоя однородного сферического облака радиуса R при условии, что частицы этого облака разлетаются со *скоростями, отвечающими закону Хаббла*, а к плотности ρ “руками” добавлена релятивистская поправка, учитывающая “вес” давления P . С моей точки зрения эта аналогия совершенно неправомерна. Во-первых, “скорость Хаббла” в ней оказывается различной для частиц разных внутренних слоев шара, тогда как в ходе реального расширения Вселенной феномен Хаббла везде одинаков. Во-вторых – и это главное – и скорость, и (зависящее от R) ускорение разлета в этой модели *априорно* задаются правилом Хаббла. В действительности же закон Хаббла справедлив применительно к изменению расстояния *вдоль поверхности* сферы, а вовсе не к направлению расширения сферы, *нормальному* по отношению к этой поверхности.

4. Новый подход

Если все же *отказаться* от космологического члена и вернуться к отрицательному давлению, то необходимо как-то осмыслить его физическое значение. Для этого обратимся к *классическому* взгляду на характер гравитации, когда точечный источник с массой m (и энергией покоя mc^2) создает поле тяготения во *внешнем* пространстве. Эта внешняя по отношению к покоящемуся источнику энергия может быть легко вычислена, если интеграл (до бесконечности) берется не от нуля, а от так называемого гравитационного радиуса тела. Вследствие определения эта энергия оказывается равной как раз энергии покоя тела и обуславливает эквивалент отрицательного (т.е. “притягивающего”) давления, действующего на любую другую массу. Можно сказать, что энергия покоя и энергия классического поля тяготения строго *уравновешивают* друг друга.

Переходя к ОТО, заметим, что еще Эйнштейн пришел к заключению о равенстве тяжелой и инертной массы любой физической системы. В своей статье [Einstein, 1918] он пишет:

... величина, которую мы интерпретировали как энергию, играет также роль *инертной* массы, в соответствии со специальной теорией относительности. Пусть в окрестности начала координат находится произвольная физическая система, покоящаяся как целое относительно системы координат. Эта система создает гравитационное поле...

и, после соответствующих расчетов, основанных на выражении для поля:

Этот результат подкрепляет наше понимание закона сохранения энергии ... Тяжелая масса равна величине, которую мы раньше определили как энергию системы.

Руководствуясь этими словами Эйнштейна, логично считать, что сумма $(\rho + 3P/c^2)$ должна быть *тождественно равна нулю*, отражая строгое равенство инертной и гравитационной массы (в конечном счете – принцип эквивалентности). Последняя как раз и представлена *отрицательным* давлением гравитационного поля. Заметим, что в понятие инертной массы (которая только и должна учитываться для чисто *пространственных* компонент в уравнении движения) следует включать и любые *немеханические* формы энергии (например, связанное с давлением электромагнитного излучения), также порождающие гравитационное поле; если энергия вакуума гравитирует, как все остальные формы энергии (см. по этому поводу [Masso, 2009]), то и она должна (для временной компоненты) учитываться *дважды*: и в плотности ρ , и в *гравитационном* давлении P . Такая концепция приводит к ряду важных результатов.

Прежде всего, вторая производная параметра $a(t)$ оказывается тождественно равной нулю, так что речь может идти лишь о *линейной* эволюции этого параметра. В свою очередь, данный факт позволяет прийти к поразительному заключению, что возраст Вселенной просто пропорционален ее размеру, т.е. что *течение физического времени непосредственно обусловлено универсальным фактом расширения Вселенной*. Разумеется, это сразу дезавуирует вывод современной наблюдательной космологии о гипотетическом ускоренном расширении Вселенной (это показывает красная линия на рис. 1); разумеется, дело в том, что он непосредственно основан на допущении о ненулевом конкретном значении космологической константы, а в нашей модели она по определению равна нулю.

Далее, отрицательное давление *не* играет роль антигравитации, т. е. не является *самостоятельным* источником энергии, обуславливающим разбегание (или иной тип эволюции) Вселенной. Напротив, оно всегда строго соответствует по величине инертной массе Вселенной.

Не менее важным оказывается еще одно заключение, которое поначалу кажется самым “еретическим”. Пропорциональность возраста и размера Вселенной не совместима с утверждением о законе сохранения энергии и (инертной) массы во Вселенной в течение всей истории ее эволюции. Утверждение о справедливости этого закона сохранения, как само собой разумеющееся, с самого начала было принято научным сообществом. Однако это утверждение, в соответствии с теоремой Нетер, может основываться только на физической однородности времени для Вселенной, как системы в целом (более глобальной системы просто не существует). Между тем простой анализ показывает, что физические законы в ранней Вселенной не могли быть такими же, как в современную эпоху. Например, в начале времен радиус кривизны Вселенной был чрезвычайно мал, тогда как сейчас он почти бесконечен. Это означает радикальное различие компонент фундаментального метрического тензора и гравитационного поведения материи.

Если масса и (инертная) энергия не сохраняются, то они должны определенным образом изменяться. Наш подход как раз и позволяет заменить закон сохранения энергии законом ее изменения, непосредственно вытекающим из *линейного* решения уравнений Эйнштейна-Фридмана. Этот и ряд других важных вопросов рассмотрены в работах [Shulman, 2006, 2007a, 2007b, 2007d, 2007c], [Shulman and Raffel, 2008]. В них показано, что новый подход, первоначально развитый исходя из сугубо теоретических оснований, позволяет успешно решить широкий круг парадоксов и проблем, с которыми связана современная космологическая парадигма. К ним относятся, в частности, проблема плоскостности Вселенной, проблема горизонта, проблемы анизотропии

реликтового излучения, проблема пика в начальной части спектра этого излучения. Возникают новые представления о происхождении нашей Вселенной.

5. Еще о давлении материи во Вселенной

Специалисты по ОТО вслед за Эйнштейном обычно отрицают существование статического давления материи во Вселенной (т.е. считают его и связанную с ним энергию равными нулю), укрываясь за тезисом “Гравитация есть геометрия”. Я постараюсь сейчас кратко объяснить, почему подобное отрицание *противоречит* точным утверждениям ОТО.

Рассмотрим сначала центрально-симметричный однородный шар с ненулевой (положительной) плотностью материи (идеальной несжимаемой жидкости), окруженный *пустым евклидовым* пространством. Если плотность шара достаточно мала, и шар не испытывает гравитационного коллапса, то внутри шара имеется и потенциал гравитационного поля, и определенное давление, тогда как вне шара давление тождественно равно нулю. Точное решение этой задачи для ОТО дал Шварцшильд (см. [Толмен, 1974]), где, разумеется, фигурирует не скалярный гравитационный потенциал Ньютона, а соответствующая компонента метрического тензора.

Сделаем теперь шаг вперед, руководствуясь основной космологической идеей Эйнштейна о *геометрическом замыкании Вселенной на себя*. Иными словами, теперь наш шар не окружен пустым пространством, а заполняет всю “Вселенную”, которая приобретает сферическую риманову геометрию. В такой “Вселенной”, полностью заполненной однородной материей, давление уже везде постоянно и отлично от нуля.

Второй и заключительный шаг состоит в анализе случая, когда плотность материи настолько велика, что шар находится в состоянии гравитационного коллапса. Как ни парадоксально это звучит, но для нашей Вселенной, при средней плотности вещества в ней порядка 10^{-30} г/см³, ее гравитационный радиус достигает величины 10^{28} см, что, скорей всего, не меньше, чем ее геометрический размер: действительно, в ([Shulman, 2007b]) показано, что радиус Вселенной должен быть меньше ее гравитационного радиуса в 3π раз.

Иными словами, наша Вселенная действительно испытывает гравитационный коллапс. Решение Шварцшильда, первоначально рассчитанное на неколлапсирующий шар, после несложных математических преобразований позволяет проследить, как меняется характер давления при наступлении и дальнейшем развитии коллапса ([Shulman, 2007a]). Оно недвусмысленно говорит о том, что давление в замкнутой *расширяющейся* коллапсирующей Вселенной оказывается *отрицательным*.

Библиография

[Einstein, 1918] Einstein A. Der Energiesatz in der allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss., T.1, 448-459. Русский пер.: Закон сохранения энергии в общей теории относительности. А. Эйнштейн, Собрание научных трудов, т. I. М., Наука, 1965, с. 650-662

[Einstein, 1953] Einstein A. The Meaning of Relativity. Princeton, 1953. Эйнштейн А. Сущность теории относительности. М., ИЛ, 1955.

[Landau et al., 1965, 1976] Ландау, Ахиезер, Лифшиц. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика, М., Наука, 1965. Ландау и Лифшиц. Статистическая физика, ч. 1. М., Наука, 1976.

- [**Masso, 2009**] E. Masso. The weight of Vacuum Fluctuations. arXiv:0902.4318v1 [gr-qc] 25 Feb 2009. Русский перевод “Сколько весят вакуумные флуктуации” доступен по ссылке http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/weight_of_vacuum_fluct.pdf
- [**Shulman, 2006**] Шульман М.Х. Парадоксы, логика и физическая природа времени. Доступно по ссылке:
http://timeorigin21.narod.ru/rus_time/Origin.pdf
- [**Shulman, 2007a**] Шульман М.Х. Коллапс обычный и необычный. 2007. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Collapse.pdf
- [**Shulman, 2007b**] Шульман М.Х. Космология: новый подход. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/New_approach.pdf
- [**Shulman, 2007c**] Шульман М.Х. О проблеме пониженной светимости сверхновых. 2007. Доступно по ссылке:
http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/svetimost.pdf
- [**Shulman, 2007d**] Шульман М.Х. О реальности существования выделенной системы отсчета. 2007. Доступно по ссылке:
http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/selected_frame_rus.pdf
- [**Shulman and Raffel, 2008**] Шульман М.Х., Рэффел Г. О феномене старейших реликтовых фотонов. 2008. Доступно по ссылке:
http://timeorigin21.narod.ru/rus_time/Oldest_photons_rus.pdf
- [**Tolman, 1934**] R.C.Tolman. Relativity, Thermodynamics, and Cosmology. Oxford, Clarendon Press, 1934. Русский пер.: Толмен Р. Относительность, термодинамика и космология. Москва, Наука, 1974.