

Эйнштейн, космологическая постоянная и силы тяготения

(Обновлено 23.07.2009)

Пока они не допустят что-либо изменить
на небесах Аристотеля, они яростно
оспаривают то, что видят на небесах
природы. Не верят, даже когда видят.
Галилео Галилей

1. Введение

Эта статья с первого взгляда может показаться абсолютно “еретической”, однако в действительности она гораздо более ортодоксальна, нежели общепринятые представления. Она не только не посягает на аксиомы, но с максимальной строгостью исследует вытекающие из них выводы, которые в результате оказываются более ясными и более отвечающими букве и духу теории, чем эти вышеупомянутые представления (см., например, [Чернин, 2008]). Далее, я сознательно избегаю здесь каких бы то ни было формул и вычислений¹ с целью сосредоточиться на содержательной стороне дела. И, наконец, по мере изложения буду оспаривать отдельные неверные, с моей точки зрения, формулировки и положения, бытующие в научной литературе.

2. Статическая Вселенная Эйнштейна

В 1917 году Альберт Эйнштейн “впервые применил свою только что созданную общую теорию относительности к задаче о мире как целом” [Чернин, 2008]. Он рассмотрел Вселенную как замкнутую на себя среду, заполненную однородной (в больших масштабах) материей с некоторой ненулевой средней плотностью, и сформулировал соответствующую систему уравнений. Роль пространственных граничных условий сыграла гипотеза о замкнутости Вселенной на себя (т.е. отсутствие у нее каких-либо внешних границ). Что касается возможности эволюции Вселенной во времени, то Эйнштейн тогда ее не рассматривал, поскольку до открытия Хаббла оставалось еще много времени, и концепция статичности казалась наиболее естественной.

И все было бы замечательно, если бы не одно крайне досадное обстоятельство – предложенная Эйнштейном система уравнений не имела решения! Точнее говоря, она допускала решение, которое Эйнштейн (а вслед за ним – все научное сообщество) счел неуместным. В публикации “О космологической проблеме” [Эйнштейн, 1953] он писал: “Возражением против такого решения является то, что приходится вводить отрицательное давление, для чего нет никаких физических оснований”.

Более разумным создатель теории относительности посчитал то, что впоследствии сам назвал своей “самой большой ошибкой (greatest blunder)”. Вместо отрицательного давления, о котором мы еще поговорим, он положил его *нулевым*, но ввел некоторый формальный параметр – так называемую “космологическую постоянную” Λ . Его рассуждения о необходимости такого шага в той же книге звучат так:

¹ Все это можно найти в моих публикациях по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time. Впрочем, по необходимости я привел пару формул в Приложении.

“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 “эффективное” давление, связанное с постоянной Λ , должно быть *отрицательным* и *компенсировать* “взаимное отталкивание частей”, т.е. способствовать их взаимному *притяжению*. Я хотел бы здесь сравнить слова Эйнштейна с цитатой из статьи [Чернин, 2008], где говорится: чтобы придать статичность

“своей космологической модели, Эйнштейну пришлось прибегнуть к дополнительному предположению о существовании в природе всеобщего отталкивания, способного компенсировать и уравновесить всемирное тяготение во Вселенной как в целом.”

Это находится в явном противоречии с утверждением Эйнштейна; к происхождению данной формулировки мы еще вернемся.

3. Очевидное – невероятное, или тривиальный смысл отрицательного давления материи во Вселенной

Итак, Эйнштейн так или иначе использовал в своей модели *отрицательное* давление, хотя бы в виде его “заменителя” – космологической постоянной Λ . Что же на самом деле означает отрицательное давление, каковы его физические проявления? Вот что говорится в классических учебниках [Ландау и др., 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.”

А теперь я призываю читателя мысленно окружить некоторый (конечный) объем пространства во Вселенной внешней границей, “забыть” о материи вне этого объема (например, если находится она далеко-далеко за пределами внешней границы, как это имеет, например, место для Солнечной системы) и посмотреть на поведение покоящейся материи *внутри* этого объема. Вы не поверите и, возможно, будете смеяться, но материя будет стремиться *сжаться*

(т.е. действующая на нее сила будет направлена именно *внутри* объема), и причина этого известна каждому школьнику – это всемирное тяготение. Таким образом, *материя*, вопреки невероятному заблуждению Эйнштейна, *явным и несомненным образом демонстрирует отрицательное давление в качестве своего глобального и обязательного атрибута*, который, кстати, никак не связан с компенсацией электрических сил взаимодействия частиц в атомах.

Просто удивительно, как легко последователи Эйнштейна приняли его тезис на веру. Например, автор **[Толмен, 1974]** обстоятельно разбирает вклад динамического давления (вызванный наличием скоростей у звезд, галактик, туманностей), но без тени сомнения не допускает возможности отрицательного *статического* давления материи.

Это возвращает нас к вопросу о целесообразности введения космологической постоянной. Приведенная мною аргументация, как мне кажется, неизбежно приводит к необходимости признания (объективно существующего) отрицательного давления в модели Эйнштейна, численное значение которого, разумеется, в точности совпадает с численным значением космологической постоянной. Определенное физическое обоснование отрицательности давления материи во Вселенной будет предложено ниже, в самом конце статьи.

4. Динамическая Вселенная Фридмана

Как известно, в 1922 году А.А. Фридман предложил нестационарное обобщение модели Вселенной Эйнштейна. Он не обсуждал смысл и целесообразность космологической постоянной, но показал, что в нестационарной модели решение *существует*, в том числе, если эту постоянную положить равной нулю. Это известие (после этапа первоначального недоверия) очень обрадовало Эйнштейна, который с облегчением “отозвал” свою идею и заклеил ее, как ошибочную.

Мы, однако, видели, что ошибка оказалась совсем не в том, в чем ее усмотрел Эйнштейн. А как обстоят дела с моделью Фридмана? Прежде всего, хочу обратить внимание читателя на следующее замечание в обзоре **[Буссо, 2007]** (перевод мой – М.Х.Ш.):

“Современное значение космологической постоянной не соответствует ее значению для ранней Вселенной. Это одна из наиболее значительных трудностей в проблеме космологической постоянной, которая часто оставляется без внимания.”

И в самом деле, общепринятая космологическая модель, параметры которой заведомо сознательно “подгоняются” под результаты астрофизических наблюдений и измерений, просто игнорирует данное обстоятельство, что представляется мне совершенно недопустимым.

Главным (хотя и не единственным) наблюдательным фактом, используемым при “подгонке” общепринятой модели, является пониженная светимость вспышек Сверхновых звезд типа **Ia**. Исходя из этого эффекта, рассчитано количественное значение Λ , которое как будто говорит о том, что в настоящую эпоху Вселенная расширяется с ускорением. Этот эффект принято **[Чернин, 2008]** связывать с некоей “темной энергией”, на долю которой

“приходится примерно 70% полной плотности мира. Так что темная энергия представляет собой главный вид энергии/массы в наблюдаемой Вселенной. Понятно, что при таких условиях создаваемое темной энергией антитяготение должно доминировать в динамике космологического расширения.”

В этой цитате опять-таки речь идет об “антитяготении”, что с моей точки зрения является заблуждением (см. Приложение). Оно, видимо, проистекает как раз из той гипотезы, что современная эпоха является особенной и связана с ускоренным расширением Вселенной. Однако эта гипотеза полностью основана именно на предположении о существовании и ненулевом значении космологической постоянной, хотя пониженная светимость вспышек Сверхновых вполне может быть качественно и количественно обоснована без такого предположения (см. публикацию “О пониженной светимости Сверхновых” на моем сайте, указанном в сноске на первой странице).

На самом деле стоило бы придерживаться известных тезисов о неизмыслении гипотез и неизобретении излишних сущностей. *Признав* реальность *отрицательного* давления материи во Вселенной, можно получить замечательные результаты, которые снимают целый ряд непреодолимых трудностей, с которым сталкивается современная космологическая наука. Правда, путь к этому лежит еще через одну фундаментальную “ересь”, которая, разумеется, представляется таковой лишь на первый взгляд.

Хорошо известно, что многие общеизвестные истины являются всего лишь следствием из исходных аксиом – например, евклидова геометрия легко может быть заменена неевклидовой, если отказаться от аксиомы Евклида о параллельных прямых. Напомню, что осознание этого факта нелегко далось человечеству. Не менее хорошо известно, что закон сохранения энергии является не аксиомой, а следствием однородности времени (теорема Нетер). Однако, насколько мне известно, анализом выполнения этой предпосылки для использования закона сохранения энергии космологи не озаботились.

Между тем, ранняя и современная Вселенная – это две совершенно разные ее конфигурации, в которых действие физических законов также весьма различается. Достаточно сказать, что от текущей кривизны Вселенной непосредственно зависят компоненты фундаментального метрического тензора. Поэтому законы движения в ранней (с экстремальной кривизной) и современной (почти плоской) Вселенной радикально различны, а значит – время *не однородно*. Собственно говоря, тот же вывод следует и из общепринятой модели с космологической постоянной: решение зависит от времени, а ведь, кроме величин, описывающих это решение, никаких *внешних сущностей* модель не предусматривает.

Таким образом, обещанная “ересь” состоит в отказе решать уравнения Фридмана, используя в качестве дополнительного условия закон сохранения энергии, поскольку предпосылки теоремы Нетер явно нарушены. Однако, чтобы решить систему этих уравнений (где давление теперь не принимается априори нулевым, а ищется в процессе решения), нам необходимо что-то взамен, что даст возможность определить закон *изменения* энергии Вселенной с течением времени.

Замечательный вариант, альтернативный к закону сохранения энергии Вселенной, дается решением, при котором возраст Вселенной всегда *пропорционален* ее радиусу (эмпирически найденным коэффициентом пропорциональности служит скорость света в вакууме). Он фактически определяет само время как универсальный феномен, связанный с расширением (или *любым* иным типом эволюции) Вселенной. Более того, именно это решение дает целую серию следствий, которые замечательным образом согласуются с имеющимися астрофизическими наблюдениями и в то же самое время не требуют никакой численной “подгонки” модели с излишними свободными параметрами. Кроме всего прочего, это решение очень естественно “стыкуется” (в логическом

смысле) с известным решением Шварцшильда [Толмен, 1974] для материального однородного шара и его развитием для коллапсирующего гравитационного объекта конечных размеров.

5. Что дает предлагаемая модель

Новый подход был сформулирован, исходя из сугубо теоретических оснований. Он, однако, оказался весьма плодотворным в отношении практического решения целого ряда космологических проблем. Здесь я только очень кратко обозначу результаты.

Проблема космологической постоянной. Из вышеизложенного понятно, что эта проблема снимается по определению. Более того, оказывается очевидной связь между текущим размером Вселенной и текущим значением (отрицательного) давления материи, т.е. средней силы тяготения как таковой. А заодно устраняются нелепые идеи, связанные с энергией вакуума. Последняя не только оказывается на 122 порядка больше необходимой, но и вообще не может быть использована для гравитационного расширения Вселенной (или чего-нибудь подобного), так как является наименьшей возможной.

Проблема “горизонта” Вселенной. В общепринятой космологической модели известна проблема “горизонта”, связанная с объяснением глобальной пространственной однородности Вселенной (горизонт удаляется быстрее, чем расширяется Вселенная). Однородность обычно объясняется с помощью гипотезы о существовании фазы инфляции, т.е. сверхбыстрого расширения Вселенной на ранних стадиях ее существования. Между тем, в рамках нашей модели скорость удаления горизонта в точности совпадает со скоростью расширения Вселенной, так что данной проблемы просто не возникает.

Проблема переменной скорости расширения Вселенной. В последние годы принято полагать, что экспериментальные данные указывают на ускоренное расширение. Между тем в рамках предлагаемого подхода несложно получить не менее удовлетворительное количественное объяснение пониженной яркости Сверхновых, основываясь на *линейном* во времени расширении Вселенной и не занимаясь какой-либо “подгонкой” модели. При этом ни о каком ускоренном или замедленном расширении речи не может быть по определению.

Проблема анизотропии реликтового излучения. Во второй половине 20-го века было открыто и надежно подтверждено существование дипольной анизотропии космического фонового излучения. Общепринятого объяснения этого эффекта нет, а он, между прочим, находится в принципиальной противоречии с тезисом теории относительности об отсутствии выделенной системы отсчета во Вселенной.

Предлагаемая же нами модель физической природы времени как прямого следствия универсального феномена расширения Вселенной непосредственно указывает на необходимость обобщения представлений Эйнштейна и на существование именно такой “выделенной” системы отсчета. Более того, модель предсказывает, что этот эффект справедлив для любого (а не только реликтового) электромагнитного излучения. Например, – и это может быть проверено экспериментально – для света от Солнца, приходящего на Землю в разные фазы ее годового цикла движения по орбите, или для излучения от

монохроматического лабораторного источника, по-разному ориентированного относительно приемника вдоль “оси” анизотропии.

Помимо дипольной составляющей, анизотропия характеризуется также моментами более высоких порядков. Величины этих моментов зависят от того, конечной или нет является реальная Вселенная. В предложенной мной модели Вселенная конечна. Между тем [Чернин, 2008], данные, полученные спутником WMAP относительно анизотропии реликтового излучения

“находятся, как выяснилось, в некотором противоречии с теоретическими ожиданиями, основанными на предположении о том, что объем трехмерного сопутствующего пространства является бесконечным. Именно, измеренный квадруполь оказался в 5 – 7 раз слабее ожидаемого для бесконечного пространства; октуполь – на 30 % слабее ...”.

Кроме того, и на спектре температуры, и на спектре кросс-корреляции между температурой и E-модой поляризации реликтового излучения имеется пик для момента, приблизительно равного 4. Стандартные модели не могут дать удовлетворительного объяснения этому явлению. В то же время предложенная мной модель предсказывает наличие именно такого пика и объясняет его существованием старейших реликтовых фотонов, совершивших полное “кругосветное” путешествие вдоль расширяющейся Вселенной и успевших пройти дополнительное угловое расстояние порядка 40° .

Проблема происхождения Вселенной. Космологическая модель Фридмана ничего не могла сказать о происхождении Вселенной. Напротив, развиваемые в данной работе представления позволяют довольно наглядным образом подойти к этой проблеме. Вкратце, речь идет о том, что расширение нашей Вселенной может быть интерпретировано как процесс в *черной дыре* относительно некоторой “материнской” Вселенной. В конечном счете, именно расширение (“растяжение” объема) нашей Вселенной порождает эффект отрицательного давления, а рост с течением времени ее энергии и массы может рассматриваться как следствие “засасывания” материи из “материнской” Вселенной. Таким образом, можно предположить, что при сжатии Вселенной (в противоположность ее расширению) статическое давление было бы положительным, т.е. на смену всемирному тяготению пришло бы антитяготение.

О проблеме “плоскостности” Вселенной. Экспериментальные результаты вроде бы говорят о том, что *полная* средняя плотность во Вселенной практически равна значению *критической* плотности, из чего (в соответствии с моделью Фридмана) делается вывод о том, что в настоящую эпоху Вселенная является плоской. Между тем в рамках предлагаемого подхода вывод иной: метрика Вселенной все время имеет положительную кривизну, но ее плотность неизменно равна удвоенному критическому значению. Такое расхождение с данными астрофизических наблюдений может свидетельствовать о недостатках модели, но может и получить какое-либо объяснение в будущем.

Приложение

Об одном распространенном заблуждении

Может показаться парадоксальным следующий факт. Известен “впервые предложенный Милном и Маккри в начале 1930-х годов” [Чернин, 2001], а затем многократно растиражированный в литературе вывод некоего классического уравнения движения. 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 :

$$(d^2R/dt^2) = - (4\pi GR/3)(\rho + 3P/c^2)$$

В этом случае левая часть представляет собой не что иное, как *ускорение* частиц такого внешнего слоя, так что получается, что силы *притяжения* (ρ) и *положительное давление отталкивания* (P) должны действовать в *одном и том же направлении, чего быть не может*. На практике пытаются обойти возникающую непреодолимую трудность, *принудительно* полагая давление *нулевым* и вводя положительную космологическую постоянную, но она эквивалентна отрицательному давлению, так что это, по выражению Фейнмана, типичное “заметание мусора под ковер”. К тому же сразу возникает неразрешимая проблема связанной с этим энергии вакуума, рассчитанное значение которой оказывается на 120 порядков величины больше наблюдаемого значения!

В действительности же данная классическая модель не только противоречива, но и не может считаться *адекватной* реальности. В частности, “скорость Хаббла” в ней оказывается различной для частиц разных внутренних слоев шара, тогда как в ходе реального расширения Вселенной феномен Хаббла везде одинаков. Эта модель приводит и к другим парадоксам.

Истинное уравнение эволюции в ОТО, обладающее только *внешним сходством* с вышеприведенным уравнением движения, имеет вид (космологическая постоянная опущена):

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

Здесь a – вовсе не произвольный радиус R мысленно выделенной сферы, а *глобальный* масштабный фактор (радиус кривизны) для Вселенной *в целом*. Поэтому левая часть релятивистского уравнения движения должна рассматриваться не как *трехмерное ускорение* материальной точки, а как производная темпа *4-мерной* эволюции Вселенной, и заранее нет никаких оснований отклонять возможность *совпадающего* знака влияния на нее *положительных* значений ρ и P . Что касается закона Хаббла, то в данном случае он является *следствием* этого уравнения, а не *предпосылкой*, позволяющей его получить.

Библиография

- [Буссо, 2007] Raphael Bousso. *TASI Lectures on the Cosmological Constant*. arXiv:0708.4231v2 [hep-th] 11 Sep 2007
- [Ландау и др., 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.
- [Толмен, 1974] Толмен Р. *Относительность, термодинамика и космология*. Москва, Наука, 1974.
- [Чернин, 2001]. Чернин А.Д. *Космический вакуум*, УФН, том, 171, № 11, ноябрь 2001 г. с. 1153-1175. A.D. Chernin. *Cosmic vacuum*. Uspekhi Fizicheskikh Nauk 171 (11) 1153 –1175 (2001)
- [Чернин, 2008]. Чернин А.Д. *Темная энергия и всемирная антигравитация*, УФН, том, 178, № 3, март 2008 г. с. 267-299. A.D. Chernin. *Dark energy and universal antigravitation*. Uspekhi Fizicheskikh Nauk 178 (3) 267 – 300 (2008)

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