

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И АСТРОФИЗИКА

УДК 524.83

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И СОВРЕМЕННАЯ КОСМОЛОГИЯ

В.М. Самсонов

Тверской государственный университет,
кафедра теоретической физики

Показано, что общая теория относительности может рассматриваться как фундамент современной космологии, в том числе представлений о конечности Вселенной в пространстве и времени, лежащих в основе концепции Большого Взрыва. Проанализированы некоторые корреляции между научной и библейской концепциями возникновения и эволюции Вселенной. Вместе с тем отмечено, что подтверждение сравнительно новых данных о положительности ускорения расширения Вселенной будет свидетельствовать о неадекватности теории Фридмана, лежащей в основе современных космологических моделей. Выдвинута гипотеза о том, что дальнейшее развитие космологии должно быть связано синтезом общей теории относительности и неравновесной термодинамики.

Введение. Личность А. Эйнштейна привлекала и привлекает внимание многих исследователей и популяризаторов науки [1; 2]. Вместе с тем, можно с уверенностью сказать, что ни один другой ученый не вызывал таких обильных и противоречивых толков, как А. Эйнштейн. С одной стороны, следует отметить родившуюся в сионистских кругах версию, что столь великую теорию мог создать лишь представитель библейского, богобоязненного народа. С другой стороны, в постперестроечной России все чаще публикуются статьи и брошюры, на которые не хотелось бы ссылаться, поскольку в них личность Эйнштейна и его вклад в науку представляют явно карикатурно и неадекватно. Если 20–30 лет назад вели речь о том, что А. Эйнштейн просто присвоил себе результаты Г. Лоренца и других предшественников, то теперь пишут даже о том, что все результаты теории относительности были получены женой Эйнштейна, давшей слово хранить тайну. В качестве одного из главных обоснований ссылаются на то, что А. Эйнштейн проявил плохие способности к математике, будучи школьником и студентом, на что указывал, в частности, его университетский преподаватель Г. Минковский, заложивший основы математического аппарата теории относительности.

Однако достаточно даже непосвященному и далекому от науки человеку познакомиться с собранием избранных трудов Эйнштейна [3], чтобы убедиться в том, что их автор – настоящий ученый, внесший вклад в разнообразные области физики. Кстати, Нобелевскую премию А. Эйнштейн получал не за работы по теории относительности, а за исследования по фотоэффекту, заложившие основу квантовой теории света.

Теория относительности, как фундамент современной космологии. Практически любая эзотерическая картина мира (от Библии до карело-финского эпоса «Калевала») исходит из концепции, что мир был когда-то создан, т.е. имел начало (библейская концепция сотворения мира подробно обсуждается А. Азимовым [4]). Научная картина мира до появления теории относительности, т.е. до начала XX столетия, была диаметрально противоположна: мир (Вселенная) вечен и бесконечен в пространстве и времени. И такая концепция представлялась вполне логичной. Действительно, еще астрономы древнего Китая наблюдали рождение новых звезд, которые, как и люди, проходят последовательные этапы существования от молодости до старости [5; 6], тогда как Вселенная в целом представлялась вечной и бесконечной в пространстве. Однако с философской точки зрения картина мира XIX столетия внутренне противоречива, поскольку в ней диалектический взгляд на звезды как объекты Вселенной сочетается с метафизическим взглядом на Вселенную.

В 1905 г. была опубликована первая работа Эйнштейна по теории относительности [3, т. 1]. В этой работе были заложены основы специальной теории относительности (СТО) – теории явлений, протекающих в инерциальных системах отсчета. Рождение общей теории относительности (ОТО) обычно связывают с 1916 г. Однако в 1916 г. была опубликована статья, уже завершающая цикл работ по ОТО, а первая из них вышла в свет в 1907 г. В основе ОТО – принцип эквивалентности: никакими физическими опытами нельзя отличить силы инерции от сил гравитации [7]. Таким образом, ОТО действительно рассматривает самый общий случай движения и других явлений с учетом ускорения системы отсчета и наличия заметных гравитационных масс. Именно такие условия характерны для Вселенной.

Следующим важным шагом явилась геометризация Эйнштейном эффектов неинерциальности и гравитации. Так родилось представление об искривлении четырехмерного пространства–времени, введенного в научный обиход университетским преподавателем Эйнштейна Г. Минковским при математической интерпретации СТО. В СТО пространство является евклидовым, т.е. расстояние (интервал) между его точками dS находится по закону евклидовой геометрии:

$$dS = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (dx^i)^2}, \quad (1)$$

за исключением того, что это пространство имеет четыре измерения. В ОТО рассматривается более общее выражение для интервала:

$$dS = \sqrt{g_{ik} dx^i dx^k}, \quad (2)$$

где g_{ik} – компоненты метрического тензора \underline{g} , нахождение явного вида которого – одна из основных задач ОТО. При отсутствии эффектов неинерциальности и гравитации метрический тензор становится шаровым:

$$\bar{g} = \bar{g}^{(0)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

и формула (2) переходит в выражение (1). Пространство, для которого $\bar{g} \neq \bar{g}^{(0)}$, называется искривленным.

Одним из первых последователей Эйнштейна, решившим уравнение для кривизны пространства, находящегося в поле однородного массивного шара, является австрийский физик К. Шварцшильд, к сожалению очень рано умерший. Наиболее важный результат К. Шварцшильда сводится к тому, что любое тело массы M характеризуется радиусом Шварцшильда, или гравитационным радиусом R_G [8]:

$$R_G = 2G \frac{M}{c^2}, \quad (4)$$

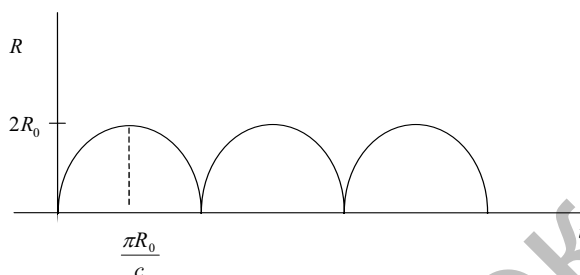
где G – гравитационная постоянная, c – скорость света. Уже значительно позже, благодаря работам советских физиков Я.Б. Зельдовича [9] и И.Д. Новикова [10], стало ясно, что многие принципиальные результаты ОТО могут быть получены и на основе классической теории тяготения. Действительно, радиус Шварцшильда R_G можно определить как радиус объекта данной массы M , при котором вторая космическая скорость становится равной скорости света c . Тогда приравняв предельное значение кинетической энергии $mc^2/2$ пробной частицы массой m ее потенциальной энергии GmM/R_G , получим (4).

Вполне естественны попытки А. Эйнштейна и его последователей распространить идеи и концепции ОТО на Вселенную в целом, причем Эйнштейн исходил из вполне разумного допущения, что адекватная модель Вселенной должна быть стационарной. Однако в 1922 г. наш соотечественник А.А. Фридман получил нестационарное решение уравнения Эйнштейна [11–13], которое первоначально удивило создателя теории относительности. Однако впоследствии А. Эйнштейн проверил выкладки Фридмана и признал его правоту.

В соответствии с теорией Фридмана существует характерное (критическое) значение $\rho_c \approx 5 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$ средней плотности вещества во Вселенной. При $\rho < \rho_c$ адекватна открытая модель Вселенной: ее эффективный радиус кривизны (эффективный размер) R неограниченно возрастает с течением времени t . Напротив, случай $\rho > \rho_c$ отвечает закрытой модели, для которой

$$R = R_0 (1 - \cos t^*), \quad (5)$$

где $R_0 = 2GM/3\pi c^2$, t^* – приведенное (безразмерное) время, связанное с временем t соотношением $t = (R_0/c) \cdot (t^* - \sin t^*)$. Уравнение (5) отвечает очень необычной и странной с точки зрения здравого смысла Вселенной: при $t=0$ $R=0$, т.е. Вселенная Фридмана, расширяясь из точки, достигает с течением времени максимального значения радиуса $R_{\max} = 2R_0 \approx 2R_G$, затем расширение сменяется сжатием. Такие циклы повторяются до бесконечности (см. рисунок).



Графическое представление решения Фридмана (4)

Вместе с тем модель пульсирующей Вселенной может быть обоснована и без использования ОТО на основе ньютоновской теории тяготения.

Действительно, приравнявая проекцию ускорения a пробной массы m проекции напряженности гравитационного поля на радиальное направление – GM/R^2 , получим дифференциальное уравнение

$$v dv = -GM dR / R^2 \quad (6)$$

для скорости расширения $v = dR/dt$. Решение уравнения (5) имеет вид

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R} + \text{const}}, \quad (7)$$

причем случай $\text{const} > 0$ будет отвечать неограниченному расширению, т.е. росту $R(t)$ по нелинейному закону. Если же $\text{const} < 0$, то функция $R(t)$, найденная из (7), будет иметь тот же вид, что и на рисунке, отвечающий теории Фридмана.

К сожалению, А.А. Фридман не дожил до триумфа своей теории, последовавшего за открытием в 1925 г. американским астрономом Э. Хабблом явления «разбегания галактик». Это явление, связанное с увеличением расстояния между галактиками в нашей Вселенной, рассматривалось и рассматривается как неопровержимое доказательство ее расширения [10].

Создание теории относительно знаменует рубеж между предысторией и историей современной космологии. Признание теории Фридмана коренным образом изменило представление о Вселенной и ее эволюции. Действительно, как модель неограниченно расширяющейся Вселенной, так и модель пульсирующей Вселенной свидетельствуют о том, что у неё должно было быть

начало. Иными словами, Вселенная должна была расширяться из точки (сингулярности).

Так библейская и научная картины мира неожиданно нашли точки соприкосновения. Дальнейшее развитие концепции расширяющейся Вселенной привело к концепции Большого Взрыва, с которым ассоциируется начальный этап её эволюции.

Снова облачко на чистом небосклоне. В конце XX в. здание классической физики представлялось совершенно и полностью построенным. На чистом небосклоне классической физики оставалось лишь два небольших облачка, омрачающих идеальную картину: отрицательный результат опыта Майкельсона–Морли по обнаружению эфира и расхождение теории Рэлея и Джинса с экспериментальными данными для теплового излучения. Из первого облака появилась теория относительности, а грозная туча, в которую превратилось второе облако, привела к появлению квантовой механики.

В конце XX столетия на чистом небосклоне космологии, основывающейся на теории Фридмана, также появилось облачко, которое может превратиться в грозную тучу. В 1998 г. американские астрономы обнародовали результаты многочисленных наблюдений, которые свидетельствуют о том, что наша Вселенная не просто расширяется, но расширяется с положительным ускорением [14]. Сенсационность этого открытия обуславливается тем, что ни теория Фридмана, основывающаяся на ОТО, ни классическая теория тяготения не предусматривают такой возможности. Действительно, если $a > 0$, то расширение Вселенной никогда не сменится ее сжатием, независимо от величины средней плотности. И поскольку теория Фридмана основывается на теории относительности, подтверждение положительности ускорения $a = d^2R / dt^2$ можно рассматривать как серьезный удар по теории относительности.

Может ли неравновесная термодинамика стать альтернативой теории относительности. Недавно ушедшего из жизни бельгийского физико–химика, лауреата Нобелевской премии И.Р. Пригожина многие по праву считают наиболее выдающимся ученым второй половины XX столетия. И.Р. Пригожин является одним из создателей и популяризаторов неравновесной термодинамики, в том числе нелинейной.

В своей книге [15] И.Р. Пригожин отмечает, что физику до второй половины XX столетия, включая теорию относительности, можно квалифицировать как физику существующего. С этой точки зрения теория относительности – плоть от плоти классической физики, основывающейся на механике Ньютона. С точки зрения физики существующего, Вселенная – набор материальных точек, движущихся по непересекающимся траекториям. По Пригожину, вторая половина XX столетия ознаменовалась появлением физики возникающего, основывающейся на неравновесной термодинамике. И за физикой возникающего – будущее.

С пригожинской оценкой теории относительности следует в целом согласиться. Действительно, Вселенная Фрийдмана, которая отвечает закрытой модели и которая должна расширяться и сжиматься на протяжении бесконечного множества циклов, напоминает такие простые механические модели, как шарик, испытывающий абсолютно упругие соударения со стальной плитой в поле силы тяжести. Такой шарик будет отскакивать от стальной плиты на одну и ту же высоту, и процесс соударений будет продолжаться бесконечно долго.

В реальных системах всегда имеет место диссипация энергии, т.е. переход других видов энергии во внутреннюю. Разумеется, такой процесс должен иметь место и во Вселенной. Основы термодинамики СТО были разработаны М. Планком [16; 17], а термодинамики ОТО – Р. Толменом [18]. Очевидно, не случайно, что именно релятивистская термодинамика является по-прежнему наименее разработанным разделом теории относительности.

Пока речь может идти лишь о попытках синтеза теории относительности и термодинамики. Одна из таких попыток была предпринята в нашей предыдущей работе [19]. Без использования, по крайней мере, некоторых базовых концепций теории относительности, аппарат термодинамики вряд ли может быть адекватен вселенским масштабам. В свою очередь, без термодинамики модели Вселенной оказываются явно механистичными, на что справедливо указывает и Пригожин. Но, к сожалению, его концепция часто носит декларативный характер.

Заключение. Адекватная критика в адрес теории относительности никоим образом не умаляет ее эпохальной роли в современной физике и не ставит под сомнение оценки А. Эйнштейна как одного из наиболее гениальных физиков всех времен и народов. Действительно, с появлением теории относительности связано коренное изменение естественной картины мира, в частности изменение и углубление представлений о пространстве и времени, энергии и массе.

Даже если открытие американских астрономов 1999 г. полностью подтверждается, открытие А.А. Фрийдманом «на кончике пера» явления расширения Вселенной навсегда заняло достойное место в истории науки.

Обычно к наблюдаемым эффектам ОТО относят три эффекта [20]:

1. Смещение перигелия Меркурия.
2. Отклонение от закона прямолинейного распространения света вблизи Солнца.
3. Гравитационное красное смещение.

Очевидно, явление расширения Вселенной, теоретически открытое А.А. Фрийдманом на основе ОТО, также следует отнести к наблюдаемым эффектам ОТО. Ограниченность ОТО и необходимость в разработке альтернативных подходов, намеченных И.Р. Пригожиным, никоим образом не повлияло на статус этой великой теории, по-прежнему остающейся основой современной космологии.

У автора навсегда сохранились светлые воспоминания о профессоре Владимире Моисеевиче Рудяке и о плодотворных совместных дискуссиях по теории относительности и методике ее преподавания. Автор с благодарностью вспоминает своего учителя профессора Леонида Михайловича Щербакова, который с 40-х и 50-х гг. прошлого столетия, вопреки лысенковщине, адекватно расценивал перспективы развития термодинамики и доводил идеи И.Р. Пригожина до своих учеников.

Автор признателен бывшему заведующему кафедрой физики академии ПВО В.И. Фрэйдману за собрание трудов Эйнштейна, подаренное в год столетия теории относительности, и Е.К. Петрову за постоянное стимулирование интереса к проблемам мироздания.

Список литературы

1. Кузнецов Б.Г. Эйнштейн. М.: Наука, 1967.
2. Смилга В. Очевидное? Нет, еще неизведанное. М.: Молодая гвардия, 1965.
3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов: в 4 т. М.: Наука, 1965. Т.1.
4. Азимов А. В начале. М.: Изд-во политической литературы, 1989.
5. Каплан С.А. Физика звезд. М.: Наука, 1977.
6. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М.: Наука, 1984.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1973.
8. Шварцшильд К. О гравитационном поле точечной массы в эйнштейновской теории /А. Эйнштейн и теория гравитации. М.: Мир, 1979. С. 199–207.
9. Зельдевич Я.Б. Теория расширяющейся Вселенной, созданная А.А. Фридманом //УФН. 1963. Т. 53, вып. 3. С. 357–390.
10. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. М.: Наука, 1983.
11. Фридман А.А. О кривизне пространства //УФН. 1963. Т. 30, № 3. С. 439–446.
12. Фридман А.А. О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной пространства //УФН. 1963. Т. 30, № 3. С. 447–452.
13. Фридман А.А. Мир как пространство и время. М.: Наука, 1965.
14. Glanz J. Cosmic Motion Revealed //Science. 1998. V. 282, N 5398. P. 2156–2157.
15. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1983.
16. Базаров И.П. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1976. С. 170–189.
17. Паули В. Теория относительности. М.: Наука, 1987. С. 190–199.
18. Толмен Р. Относительность, термодинамика и космология. М.: Наука, 1974.
19. Самсонов В.М. Термодинамика фотонного газа и эволюция Вселенной //Вестник ТвГУ. Сер. Физика. 2004. № 4(6). С. 131–136.
20. Иоффе А.Ф. Основные представления современной физики. Л.; М.: ГИТТЛ, 1949. С. 32–35.