

I. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НОМО SAPIENS

1

А был ли Большой взрыв?

Л. Е. Гринин

Среди физиков и космологов нет единства мнений по проблемам первых стадий истории Универсума. Предполагается, что наша Вселенная появилась примерно 13,82 млрд лет назад из неизвестного состояния. Представление, распространившееся в 1970-х гг., что она появилась из сингулярности (то есть состояния неопределенно малой величины и неопределенно большой плотности материи) в результате необычайной силы Большого взрыва, хотя и разделяется до сих пор многими, устарело. В результате появления теории инфляции многие сложности теории Большого взрыва удалось устранить, однако вопрос о самом Большом взрыве (часто называемом горячим взрывом) оказался весьма запутан терминологически и теоретически. Поэтому в современных исследованиях часто можно встретить только упоминания о Большом взрыве, но не ясное описание этого события.

В современной литературе описание стадии горячего Большого взрыва после стадии разогрева обычно не дается. Но следует иметь в виду, что, добавив в понятие «Большой взрыв» детерминатив «горячий», нередко подразумевают, что был еще один Большой взрыв – доинфляционный, который то ли предшествовал начальной квантовой флуктуации, то ли явился началом инфляции. Однако его описание и характеристики являются еще более неясными, чем горячего Большого взрыва. В результате такой терминологической и теоретической путаницы упоминания о Большом взрыве среди физиков все чаще выглядят просто как дань традиции, которую они не осмеливаются нарушить, а потому такие упоминания носят скорее ритуальный, чем наполненный конкретным содержанием характер. В целом представляется, что самая начальная история Вселенной вполне может обойтись без использования понятия «Большой взрыв» с применением схемы: флуктуация (что бы ее ни вызвало) – инфляция – постинфляционный разогрев. В статье дается анализ современных космологических взглядов на самое начало нашей Вселенной и указываются наиболее важные в них противоречия.

История и Математика: мегаисторические аспекты 2016 14–21

Ключевые слова: Большой взрыв, горячий Большой взрыв, инфляция, Вселенная, инфлатон, ложный вакуум.

Недостатки теории Большого взрыва и теория инфляции. История Вселенной, особенно ее начальных этапов, является научной реконструкцией, в которой многие моменты все еще являются более или менее правдоподобными научными гипотезами.

Среди физиков и космологов нет единства мнений по проблемам первых стадий истории Универсума. Предполагается, что наша Вселенная появилась примерно 13,82 млрд лет назад из неизвестного состояния. Распространившееся в 1970-х гг. представление, что она возникла из сингулярности (то есть состояния неопределенно малой величины и неопределенно большой плотности материи) в результате необычайной силы Большого взрыва, хотя и разделяется до сих пор многими, устарело. Более современной выглядит теория инфляции, развивающаяся с конца 1970-х гг. Исторически первая разработанная в деталях модель инфляции – модель А. А. Старобинского. Но в наиболее известном виде теория инфляции впервые была сформулирована в 1981 г. в знаменитой статье Алана Гуса (в другой транскрипции – Гута), который продолжает активно ее пропагандировать.

Главная причина появления теории инфляции заключалась в том, что существовавшая до нее теория БВ не могла удовлетворительно объяснить ряд современных параметров Вселенной. «В теории горячего Большого взрыва нет ответов на вопросы о том, почему Вселенная такая однородная, изотропная, “большая” (пространственно-плоская) и горячая. Наоборот. В рамках этой теории указанные фундаментальные свойства нашей Вселенной выглядят как следствия чрезвычайно неестественных начальных условий» (Горбунов, Рубаков 2010: 341; Guth 2002; 2004).

В результате появления теории инфляции многие сложности теории Большого взрыва удалось устранить, стали архаичными все еще очень распространенные взгляды, согласно которым история Вселенной начинается с Большого взрыва и сингулярности. Теория инфляции делает Большой взрыв только одной, причем не начальной, фазой развития. Однако сегодня, говоря о Большом взрыве, надо уточнять, о каком именно взрыве идет речь. Дело в том, что в физике и космологии, которые исследуют процессы в ранней Вселенной, единой терминологии в отношении Большого взрыва не сложилось: здесь существует серьезная путаница.

Вселенная до горячего Большого взрыва. Относительно начала нашей Вселенной существуют различные точки зрения. Весьма распространенная гипотеза заключается в том, что Вселенная возникла в результате квантовой флуктуации (то есть ничтожно малого, но все же имеющего определенные пространственные параметры колебания). Эта флуктуа-

ция привела в движение силы так называемого ложного вакуума (часто называемого *инфлатоном*). Ложный вакуум – это гипотетическое состояние материи, при котором благодаря отрицательному давлению происходит отталкивание материи и расширение пространства. Вот почему данная стадия называется *стадией инфляции* (то есть «раздувания» Вселенной). За мельчайшие доли секунды Вселенная достигла огромных размеров. Ложный вакуум – неустойчивое состояние материи, поэтому он стал быстро распадаться, и Вселенная перешла в *стадию постинфляционного разогрева*, в которой температура достигает огромной величины. Разогрев завершается *горячим* Большим взрывом, который дополнительно разгоняет расширение Вселенной.

Но в современной литературе описания стадии горячего Большого взрыва после стадии разогрева обычно не дается. Говоря словами А. Гуса, не поясняется, что «взорвалось», как «взорвалось» и что послужило причиной «взрыва» (Виленкин 2010).

Основная идея теории инфляции, таким образом, заключается в том, что *Большой взрыв не был началом и моментом рождения Вселенной, а ему предшествовали по меньшей мере две эпохи: инфляции и постинфляционного разогрева*. То есть горячий Большой взрыв – это только фазовый переход от состояния холодной инфляции к горячей фазе.

В этой связи теперь Большой взрыв нередко именуется *горячим* Большим взрывом, поскольку если он и имел место, то уже после разогрева.

Так как теория инфляции еще относительно молода, подобный взгляд у физиков не является общепринятым. Среди них еще немало тех, кто считает Большой взрыв началом Вселенной, а инфляцию – фазой, которая за ним последовала. Но такое расхождение во мнениях едва ли не в основной мере объясняется именно путаницей в терминологии. Дело в том, что когда говорят о Большом взрыве как о событии, которое предшествовало началу инфляции, часто подразумевают не горячий Большой взрыв (то есть классический БВ), а другой – предынфляционный Большой взрыв.

Путаница с Большими взрывами. Но описание и характеристики предынфляционного БВ являются еще более неясными, чем горячего Большого взрыва. Он также не имеет какого-то общепринятого названия, встречаются упоминания о планковской эпохе БВ, ранней стадии БВ, истинном БВ и т. п. В результате такой терминологической и теоретической путаницы крайне сложно понять, об одном или о двух взрывах идет речь, равно как нелегко описать реальную последовательность стадий. Если имели место два Больших взрыва, тогда схема рождения Вселенной должна была бы выглядеть таким образом: доинфляционный Большой взрыв – инфляция (расширение Вселенной) – постинфляционный разогрев Вселенной – горячий Большой взрыв. Но такой реконструкции нигде не приводится, возможно, потому, что проще обходить этот весьма сложный

момент. Все чаще упоминания о Большом взрыве среди физиков выглядят просто как дань традиции, которую они не осмеливаются нарушить, а потому такие упоминания носят скорее ритуальный, чем наполненный конкретным содержанием характер.

Таким образом, в литературе иногда говорят просто о Большом взрыве, иногда о горячем Большом взрыве; порой, упоминая о нем, подразумевают два больших взрыва: один (непонятной природы) – перед инфляцией, другой – после нее (горячий Большой взрыв). При этом не уточняется, был ли «истинный» Большой взрыв толчком для квантовой флуктуации (о которой см. ниже) либо это просто начало стадии инфляции.

В теориях, рассматривающих нашу Вселенную как одну из мириад вселенных Мультиверса, Большие взрывы имеют причины, отличные от классической теории БВ.

И такая путаница укрепляет подозрения, что понятие Большого взрыва в принципе стало лишним после появления теории инфляции. Неудивительно, что трудно найти сколько-нибудь четкое, ясное описание горячего Большого взрыва, тем более истинного БВ.

Сама идея Большого взрыва потеряла не только свою субстанциальность и уникальность, но и в целом необходимость. По сути, теория инфляции может обойтись без БВ, употребляя вместо него понятие разогрева и перехода в новое состояние радиации при высоких энергиях. Термин «Большой взрыв» остается скорее по традиции. У некоторых исследователей, хотя и нечасто, такая мысль вполне прослеживается. «Иначе говоря, происходит нагрев Вселенной. Как раз этот момент и называется сегодня Большим взрывом» (Постнов 2001). «Хотя его (БВ. – Л. Г.) в том виде, в котором мы себе раньше представляли Большой Взрыв, скорее всего, и не было» (Муханова, Орлова 2006). То есть это уже не совсем определенный момент: так как идет разогрев вселенной, фактически понятие взрыва становится достаточно условным.

При этом большинство исходных начальных условий, которые определяют важнейшие характеристики современной Вселенной, также относят к стадии инфляции, а не горячего Большого взрыва.

Постулаты инфляционной теории. Итак, согласно современным представлениям, по пока абсолютно непонятным причинам возникла квантовая флуктуация, в результате чего из некоего крошечного (но все же измеряемого) объема появился прообраз нашей Вселенной. Это, по сути, и есть первый постулат инфляционной теории (идея о квантовых изначальных размерах будущей Вселенной). Вторым постулатом является идея о том, что этот объем был заполнен особой – реально никогда не наблюдаемой, то есть гипотетической – субстанцией. Она называется фальшивым, или ложным, вакуумом с отрицательным давлением, то есть вакуумом, который не притягивал, как гравитация, а отталкивал. В ре-

зультате отрицательного давления этой субстанции Вселенная стала необычайно быстро (с ускорением) расширяться (на многие порядки), пока не достигла очень большого объема. Это расширение, согласно теории, и порождает закон Хаббла.

Вакуумоподобную энергию с отрицательным давлением и постоянной температурой, которая вызвала расширение (инфляцию), теперь часто называют *инфлатоном*.

Завершение стадии инфляции, постинфляционный разогрев. Период инфляции (как и все начальные стадии ранней Вселенной) был очень коротким, тем не менее для теории важно, чтобы он не был короче определенной длительности, измеряемой в кратчайших единицах, так называемых планковских временах (от 70 до 100 таких времен, укладывающихся в ничтожнейшие доли секунды)¹. Такая длительность в терминах теории инфляции получила название медленного скатывания скалярного (инфлатонного) поля. Во время данного процесса потенциальная энергия этого поля уменьшалась, переходя в кинетическую. Предполагается, что это приводит к образованию так называемого бозонного конденсата. В конце концов к определенному моменту потенциальная энергия инфлатона (инфлатонного поля) достигает минимума. Это означает, что условия, необходимые для экспоненциального расширения, нарушаются, и инфляционная стадия заканчивается.

Это приводит к довольно быстрому разогреву Вселенной. Наступает стадия постинфляционного разогрева, в которой происходит распад бозонного конденсата за счет колебаний (осцилляции) инфлатонного поля, достигшего минимума своей энергии. В процессе колебаний инфлатонного поля начинается образование различных частиц, о природе которых имеются различные предположения. Энергия инфлатона переходит в энергию рождающихся частиц в результате их взаимодействия с быстро меняющимся инфлатонным полем (образно говоря, происходят «откачка» энергии и разогрев за счет этого). Это привело к быстрому разогреву Вселенной (иными словами, резко возросла энтропия, которая ранее в инфлатоне – ложном вакууме – была небольшой) и образованию элементарных частиц обычного вещества. При этом постоянно происходило быстрое расширение Вселенной. А инфлатонное уравнение состояния материи переходит в пылевидное. И позже, когда разогрев достигает пика, пылевидное уравнение состояния переходит в радиационно-доминированное. Иначе говоря, достигнув сверхвысокой температуры, материя перешла в состояние «сверхгорячей плазмы, состоящей из свободных кварков, глюонов, лептонов и высокоэнергетичных квантов электромагнитного излу-

¹ 100 планковских характерных времен – это нечто вроде промежутка времени от 5×10^{-44} – 5×10^{-42} с.

чения» (Левин 2010). *Значит, в течение долей секунды последовательно имели место уравнения состояния фальшивого вакуума – пылевидное – радиационно-доминирующее.*

Собственно горячий Большой взрыв. Идут дискуссии вокруг того, какой температуры в результате этих процессов достигает постинфляционная Вселенная. В любом случае она была очень велика², хотя, скорее всего, ниже, чем предполагалось в теории БВ. По мнению космологов и физиков, это приводит к своего рода «вскипанию» вакуума, который, отметим, к этому моменту уже занимал огромный объем. Как мы видим, взрыв здесь имеет уже весьма далекий вид от той картины, которая имела место ранее. В ходе «взрыва» вакуум «вскипел» и возникло обычное вещество, правда, в состоянии горячей плазмы, оставаясь в нем в течение сотен тысяч лет. Повторим, что в теории инфляции место Большого взрыва не кажется достаточно определенным. Иногда Большим взрывом называют разогрев Вселенной (см. ниже), но разогрев, как мы видели, не был одномоментным. Напротив, речь идет о целой фазе разогрева, и не совсем понятно, в какой именно момент и в какой именно форме она заканчивается. К. А. Постнов так и говорит, что стадия инфляции за время 10^{-34} с. «готовит» первичное очень горячее вещество в очень небольшой области, оно расширяется по инерции. Это и есть не что иное, как модель горячей Вселенной (Большого взрыва).

Теперь ясно, что роль «взрыва» играла стадия инфляции (Постнов 2001). Согласно комментарию А. Виленкина (2010), момент распада инфлатона отмечает конец инфляции **и в этой теории играет роль Большого взрыва**. Отметим, кстати, что и стадия постинфляционного разогрева выделяется не всеми исследователями. Практически нет исследователей, которые бы определенно отвергали Большой взрыв, зато все больше таких, которые используют это понятие как нечто конвенциональное, но неопределенное. Может быть, потому, что прямое отрицание взрыва вызывает сложности, которых проще избежать с помощью невнятного упоминания этого момента. Большой взрыв, кажется, становится некой метафорой, показателем верности мейнстриму, играя роль, подобную непонятному богу в учениях деистов. Напомним, что ситуацию очень осложняет неявное предположение о том, что могло быть два Больших взрыва, один из которых предшествовал инфляции, а другой следовал за ней.

Значение теории инфляции. Физический фатализм. Для современных космологических и космофизических концепций эпоха инфляции

² Хотя прямых экспериментальных указаний, что во Вселенной существовали температуры выше нескольких МэВ (то есть нескольких десятков миллиардов градусов), пока не существует (Горбунов, Рубаков 2012).

является очень важной. Фактически ее «сделали ответственной» не только за вышеприведенные характеристики нашей Вселенной, но и за возникновение закона Хаббла. «Инфляция – это не просто теория исходного (предельного) начала, но теория эволюции, которая объясняет, по существу, все, что мы видим вокруг нас, начавшись почти из ничего», – с восторгом поясняет А. Гус (Guth 2002). К слову сказать, более раннюю его работу редакторы снабдили очень характерной аннотацией: «Через две тысячи лет после того, как Лукреций провозгласил, что ничто не может возникнуть из ничего, инфляционная теория утверждает, что он был неправ» (*Idem* 1997).

Нужно ясно понимать, что появление теории инфляции – это результат поиска таких физических условий, при которых можно было бы объяснить характеристики современной Вселенной. Для моделирования таких изначальных условий вводятся соответственно гипотетические состояния вещества и энергии. Поэтому абсолютно естественно, что существуют десятки конкурирующих моделей стадии инфляции, а также то, что практически по всем параметрам этой стадии много неясного. Удивительно, что наука вообще может выдвигать достаточно стройные и аргументированные гипотезы о столь отдаленных и кратких периодах (о Большом взрыве, теории инфляции, начальных фазах истории Вселенной см. Гринин 2013).

Физический фатализм. В целом и теория БВ, и теория инфляции исходят из того, что они должны объяснить сегодняшние наблюдаемые состояния Вселенной, включая закон Хаббла, пространственную однородность Вселенной, ее плоскостность и т. д. Почему эти состояния должны объясняться самыми начальными условиями? Почему они не могли возникнуть позже под воздействием каких-либо факторов? Видимо, это связано как со стремлением космологов и физиков к некоей завершенной картине, которая в главном бы все объясняла, так и с тем, что в противном случае, если теория начала Вселенной не объясняет сегодня наблюдаемые состояния, то она легко опровергается и, собственно, даже не рассматривается. В результате в теорию инфляции закладывается возникновение закона Хаббла, хотя почему бы этому расширению (если красное смещение вообще не будет позже объяснено иным моментом) не возникнуть позже? Расширение Вселенной, возникнув в самый первый момент, не меняется по инерции. Такой взгляд представляется довольно фаталистичным. Мало того, получается, что и вся последующая крупномасштабная структура Вселенной была предопределена мельчайшими флуктуациями плотности, возникшими уже на стадии инфляции в чрезвычайно короткие доли миллисекунд. Довольно грустно осознавать, что все было решено в такое кратчайшее время и в таком небольшом объеме (от планковского размера до 1 см^3). Хотя теория инфляции и стремится отойти от понятия

сингулярности с его полной неопределенностью в физическом плане, тем не менее изначальные размеры трудны для восприятия. Безусловно, квантовые размеры изначальной Вселенной по сравнению с сингулярностью с точки зрения физики – это принципиально иное состояние, так как оно позволяет оперировать уже известными или хотя бы сформулированными гипотетическими законами и силами. Но с точки зрения идей эволюции между сингулярностью и квантовыми (тем более планковскими) размерами различия невелики.

Библиография

- Виленкин А. 2010.** *Мир многих миров. Физики в поисках иных вселенных.* М.: Астрель.
- Горбунов Д. С., Рубаков С. А. 2010.** *Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория.* М.: УРСС.
- Горбунов Д. С., Рубаков С. А. 2012.** *Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва.* 2-е изд. М.: ЛКИ.
- Гринин Л. Е. 2013.** *Большая история развития мира: Космическая эволюция.* Волгоград: Учитель.
- Левин А. 2010.** За триллион лет до Большого взрыва. *Популярная механика* 6. URL: http://elementry.ru/lib/431131?page_design=print.
- Муханова В. Ф., Орлова О. 2006.** Большой взрыв стал жертвой инфляции. URL: <http://polit.ru/article/2006/12/19/vzryv>.
- Постнов К. А. 2001.** Лекции об общей астрофизике для физиков. М.: Изд-во МГУ.
- Guth A. 1997.** Was Cosmic Inflation the ‘Bang’ of the Big Bang? *Beem Line* 27(3).
- Guth A. 2002.** The Inflationary Universe. URL: <http://www.edge.org/conversation/the-inflationary-universe-alan-guth>.
- Guth A. 2004.** Inflation. *Carnegie Observatories Astrophysics. Series 2: Measuring and Modeling the Universe* / Ed. by W. L. Freedman. Cambridge: Cambridge University Press. URL: <http://www.astro.caltech.edu/~george/ay21/readings/guth.pdf>.