

ИНФЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ И ВАЖНОСТЬ ФИЗИЧЕСКОГО ВАКУУМА В НЕЙ

Джумабаев Никита Александрович

nikita.dzhumabaev98@mail.ru

Студент 5-курса Международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий
ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель – Шаханова Г.А.

В последнее время интерес физиков к изучению вакуума, его структуры, равно как и попытки построения моделей вакуума начинают угасать. Отчасти это связано с тем, что новых экспериментальных данных, которые бы подтолкнули ученых исследовать эту область, давно не появлялись [1]. Однако в данной статье мы покажем перспективность привлечения вакуума при рассмотрении космологических процессов на примере его важной роли в инфляционной модели.

В связи с успехами квантовой теории поля, очевидно, что физический вакуум должен играть большую роль во многих процессах функционирования Вселенной, начиная с микроскопического масштаба, где он проявляется в виде эффекта Казимира, лэмбовского сдвига или спонтанного излучения, и заканчивая масштабами Вселенной [1]. По этой причине вакууму и попыткам построения теорий и моделей, описывающих его, следует уделять гораздо больше внимания. В данной статье мы продемонстрируем, как рассмотрение вакуума и происходящих в нем процессов, может пролить свет на ранний этап формирования Вселенной, который, в частности, рассматривается в рамках инфляционной модели Вселенной.

Для начала следует разобраться в понятии физического вакуума. Говоря простым языком, вакуум — пространство, в котором нет материи (вещества). Однако следует различать технический вакуум и физический вакуум. Технический вакуум – это среда, состоящая, как правило, из сильно разреженного газа (находящегося под очень низким давлением), то есть среда с минимально возможным на практике количеством вещества [1]. Физический вакуум – другое понятие. Термин физический вакуум, как правило, употребляется в квантовой физике – это самое низшее (основное) энергетическое состояние квантованного поля, которое имеет нулевой импульс, момент импульса и другие квантовые числа [1]. При этом согласно современным представлениям квантовой механики, физический вакуум не является полностью пустым – он содержит электромагнитные волны и множество пар частиц, которые постоянно рождаются и аннигилируют. Это явление называется нулевыми колебаниями вакуума – согласно принципу неопределенности Гейзенберга, в физическом вакууме постоянно происходят процессы рождения и аннигиляции виртуальных частиц. Теоретически, может существовать неограниченное число вакуумных состояний, различающихся плотностью энергии, топологическими свойствами и другими, зависящими от используемых теорий, физическими параметрами [2]. Таким образом, когда мы говорим о физическом вакууме, мы рассматриваем вакуум как само пространство, заостряя внимание на его квантовых свойствах и процессах. То есть здесь нас интересует природа и структура самого пространства без какой-либо материи.

Теперь можно поговорить об инфляционной модели Вселенной. Это гипотеза, описывающая предполагаемое развитие Вселенной в промежутке от 10^{-36} до 10^{-32} секунд после Большого взрыва [3]. Эта модель была впервые предложена Аланом Гутом и пришла на смену модели горячей Вселенной, объяснив, почему сейчас Вселенная является однородной и плоской.

Идея Алана Гута состояла в том, что за расширение Вселенной на том этапе ответственна отталкивающая гравитация, которая возникает за счет так называемого ложного вакуума [3][4]. Из-за наличия квантовых флуктуаций вакуума энергия истинного

вакуума не равна нулю. По причине наличия энергии у вакуума, он должен обладать гравитационным эффектом на все объекты, а именно – отталкивающим [4].

Ложный вакуум представляет собой гипотетическое нестабильное состояние. При этом переход из ложного состояния в истинный физический вакуум (стабильное состояние) может произойти через очень большой промежуток времени [5]. Фактически, ложный вакуум, также как и истинный вакуум является состоянием с минимальной энергией, но только локальным, в то время как истинный физический вакуум является глобальным основным состоянием. Таким образом, ложный вакуум – это не состояние с глобальной минимальной энергией и поэтому он нестабилен [5]. На рисунке 1 представлено некоторое скалярное поле φ , энергия E_2 в ложном вакууме выше, чем в истинном состоянии E_1 , однако имеется потенциальный барьер, мешающий переходу. Как известно из квантовой механики вероятность спонтанного преодоления этого барьера не нулевая, за счет туннельного эффекта.

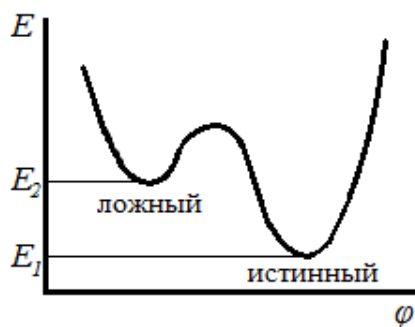


Рис. 1. Ложное и истинное вакуумные состояния, разделенные барьером

Вопрос о том, как именно осуществился бы глобальный переход ложного вакуума в истинное состояние, рассматривается как появление большого количества «пузырей» истинного вакуума [6]. Эти пузыри имеют меньшую энергию внутри, а большая часть их энергии сосредоточена на стенках. При столкновении пузырей они сливаются с образованием множества элементарных частиц. Согласно инфляционной модели именно это и случилось на раннем этапе формирования Вселенной и наполнило пространство горячей материей [6]. Однако при рассмотрении распада ложного вакуума возникли трудности.

Если бы пузыри возникали слишком быстро, то процесс распада ложного вакуума в истинный завершился бы очень рано, и Вселенная не успела бы расшириться достаточно, чтобы стать однородной и плоской, как предсказывает инфляционная модель. То есть пузыри должны возникать достаточно медленно, однако, если расстояние между пузырями будет увеличиваться настолько быстро, что пузыри не будут сталкиваться друг с другом и объединяться, то повсеместного перехода ложного вакуума в истинный не произойдет, и инфляция будет длиться бесконечно.

Решение этой проблемы нашел Андрей Линде. Он предположил, что потенциального барьера, в нормальном понимании, между ложным и истинным вакуумным состоянием просто нет, что и изображено на рисунке 2 ниже [6].

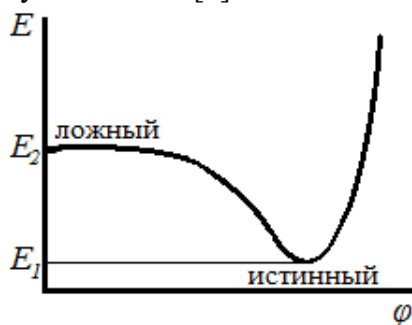


Рис. 2. Ложное и истинное вакуумные состояния без барьера между ними

В таком случае вблизи вершины, то есть состояния ложного вакуума скалярное поле будет распадаться очень медленно и постепенно ускоряться со временем, при этом Вселенная продолжает быстро расширяться. Тогда решается проблема: ложный вакуум распадается, а Вселенная успевает значительно расшириться и становится однородной и плоской.

Итак, рассмотрим подробнее возникновение и расширение вакуумных пузырей. Внутренняя часть пузыря должна иметь более низкую энергию, поскольку она находится в истинном вакуумном состоянии. Критический размер пузыря ограничивается поверхностным натяжением его стенок – уменьшение энергии внутри пузыря компенсируется натяжением и образуется пузырь с нулевым изменением энергии. Этот процесс происходит за счет преодоления потенциального барьера:

$$\Phi = \frac{3A}{4R^2} - \Delta\Phi, \quad (1)$$

где $\Delta\Phi$ – разность потенциалов между ложным и истинным вакуумом, A – неизвестная константа, характеризующая поверхностное натяжение на границе между ложным и истинным вакуумом, R – радиус пузыря.

Имеются предположения, что константа A может быть настолько большой, что пузырь, который мог бы преодолеть этот барьер, еще не возникал во Вселенной. Критический радиус такого пузыря равен:

$$R_{\text{крит}} = \sqrt{\frac{3A}{4\Delta\Phi}} \quad (2)$$

Согласно квантовой механике за счет туннельного эффекта даже пузырь с радиусом $R < R_{\text{крит}}$ может преодолеть потенциальный барьер перехода, причем скорость туннелирования такого пузыря выражается следующим образом [5]:

$$\omega = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{2\Phi}{h}} e^{-\frac{\Phi}{h}} \quad (3)$$

Как только радиус пузыря начинает превышать критический радиус $R_{\text{крит}}$, потенциальная энергия пузыря начнет уменьшаться, так как отрицательный вклад внутреннего объема пузыря из истинного вакуума ($4/3\pi r^3$) больше, чем увеличение площади стенок пузыря ($4\pi r^2$) [3].

Как говорилось ранее, из-за константы A разность потенциалов между вакуумными состояниями должна быть очень большой, из-за чего скорость расширения пузыря будет близка к скорости света.

Согласно современной инфляционной модели за процесс инфляции ответственно гипотетическое скалярное инфлятонное поле, квантами которого являются инфлатоны [3]. Фактическая природа инфлятонного поля в данный момент неизвестна, а согласно ряду предположений инфлятонное поле в теории может быть заменено модифицированным полем Хиггса [3]. Согласно инфляционной теории космическая инфляция должна осуществляться в 3 этапа [3]:

1. Расширение вакуумного состояния с высокой потенциальной энергией

Согласно КТП квантовые частицы – это возбуждения вакуума, то есть отклонения от минимальной энергии. При этом одновременно может существовать несколько вакуумных состояний, имеющих различные значения энергии. Инфляционная теория говорит о том, что может существовать вакуумное состояние с очень высоким значением энергии, которое возникает из-за ненулевого ожидаемого вакуумного значения у инфлятонного поля. Часть

пространства Вселенной, находящаяся в этом состоянии должна чрезвычайно быстро расширяться.

2. Фазовый переход в истинное вакуумное состояние

Итак, это высокоэнергетическое вакуумное состояние – инфляционный вакуум является ложным вакуумным состоянием, и соответственно должно будет перейти в основное состояние спустя какое-то время [3]. После перехода ложного вакуума в истинное состояние, вакуум будет заполнен большим количеством инфлатонов, а скорость расширения останется прежней в течение некоторого короткого промежутка времени.

3. Распад инфлатонов находясь в истинном вакуумном состоянии, инфлатоны будут быстро распадаться с формированием ЭЧ. Таким образом, энергия вакуума будет медленно двигаться к нижней точке графика – то есть минимальной энергии - физическому вакууму. После завершения распада всех инфлатонов Вселенная должна быть заполнена горячей высокоплотной плазмой.

Само же инфляционное расширение могло возникнуть вследствие попадания поля Хиггса в ложное вакуумное состояние. Гипотетически, переход из ложного вакуумного состояния в истинное может сопровождаться как изменением космологических параметров, так и свойств существующих сейчас фундаментальных взаимодействий и элементарных частиц.

Теоретически, свойства элементарных частиц могут значительно отличаться в других вакуумных состояниях. Сейчас предполагается наличие как минимум двух вакуумных состояний: электрослабого вакуума, который бы объединял электромагнитное и слабое взаимодействие как проявление одной силы. Электрослабая теория в данный момент уже создана и считается наиболее многообещающей теорией в рамках объединения фундаментальных взаимодействий. Согласно современным оценкам массы бозона Хиггса и топ-кварка электрослабый вакуум сейчас находится в метастабильном состоянии, то есть наша Вселенная сейчас состоит из ложного вакуума. Таким образом, можно ожидать, что спустя большое число времени, произойдет переход ложного вакуума в истинный. Помимо электрослабого вакуума предполагается существование еще большего вакуума, который смог бы объединить сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия. Это схематически изображено на рисунке 3 и предполагается, что такое объединение может произойти при энергии в 10^{16} ГэВ.

Помимо электрослабого распада вакуума ряд моделей предполагают существование других гипотетических вариантов распада ложного вакуума: распад в вакуум, в котором нет темной энергии; распад в вакуум с большей массой нейтрино; распад в вакуум с меньшим ожидаемым вакуумным значением [2].

Инфляционная модель Вселенной предполагает существование реликтовых гравитационных волн, которые все еще не были обнаружены. Несмотря на отсутствие прямых доказательств, в настоящее время стандартной космологической моделью является модель Λ CDM, которая включает в себя инфляционную модель на раннем этапе развития Вселенной [3].



Рис. 3. Великое объединение трех фундаментальных взаимодействий

Таким образом, можно сказать, что вакуум и происходящие в нем процессы, могли иметь важнейшее значение на ранних этапах формирования Вселенной. После проведенной работы по сбору и анализу информации о физическом вакууме, его роли в инфляционной модели, можно заключить, что изучение вакуума и его свойств является перспективным направлением. Следует гораздо больше внимания уделять исследованию вакуума в рамках современной физики, не только в рамках космологии, но и в квантовой теории поля. Изучение вакуума может значительно способствовать созданию Теории Великого Объединения, изучению ускоренного расширения Вселенной, процессов, которые могли происходить после Большого Взрыва и решению других важных научных проблем.

Список использованных источников

1. Chamers A. Modern Vacuum Physics. // Boca Raton: CRC Press. 2004, P.214-219.
2. Vilenkin A. Many Worlds in One: The Search for Other Universes. // London: Wiley. 2006, P.34-36.
3. Постнов К.А. Лекции по общей астрофизике для физиков. №10. Космология // Москва, МГУ.2001.
4. Guth A. The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins. // Perseus. 1997, P.158-195.
5. Callan C., Coleman S. Fate of the false vacuum. II. First quantum corrections. // Phys. Rev. 1977, P.458-475.
6. Liddle A. An Introduction to Modern Cosmology (2nd ed.). // London: Wiley. 2003, P.45-55.

УДК 539.216.2:620.198

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В CoZnO/CoZn НАНОСТРУКТУРАХ

Зикина Айнур

agun_zikirina@mail.ru

Докторант 2го курса специальности 6D060500 "Ядерная физика"
физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Кадыржанов К.К.

Введение

Структуры типа CoZnO/CoZn обладают хорошими механическими свойствами, такими как прочность, устойчивость к внешним воздействиям, оптическими свойствами, которые обусловлены наличием широкой запрещенной зоны у оксида цинка, химической стабильности и отсутствие токсичности, магнитными и проводящими свойствами, которые обусловлены наличием в структуре кобальта обладающего высокой намагниченностью и коэрцитивной силой [1-3]. Как правило такие структуры получают золь-гель методом или химическим методом, которые позволяют получать различного рода нано- и микрочастицы, обладающими уникальными свойствами. Стоит отметить, что как правило, полученные наноструктуры представляют собой оксидные соединения CoZnO с малым процентным содержанием кобальта не превышающим 5-10 ат. % [4-6]. При этом работ посвященных получению цилиндрических структур в форме нанопроволок или нанотрубок не так много, что свидетельствует о сложности получения структур подобной геометрии [7]. Одним из методов получения нано- и микроструктур цилиндрической геометрии является электрохимического синтеза наноструктур с использованием различных пористых матриц в качестве шаблонов [8]. Применение данных методов позволяет получать нано- и микроструктуры цилиндрической или конусообразной геометрии с большим аспектным соотношением составляющим от 100 до 1000, а также диаметрами от 50 нм до 1 мкм. При этом структуры синтезированные данными методами обладают хорошей степенью кристалличности, высокими прочностными свойствами и т.д.