

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.М.В.ЛОМОНОСОВА
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им.П.К.ШТЕРНБЕРГА

2-90-5

К 431

КИРИЛОВА
Даниела Петрова

УДК 524.8, 536.758, 539.12.01

КИНЕТИКА НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ
В РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

специальность: 01.03.02 - астрофизика, радиоастрономия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1990

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна
и в Государственном астрономическом институте
им. П.К.Штернберга

Научные руководители:

Доктор физико-математических наук в.н.с.

ДОЛГОВ А.Д.

Доктор физико-математических наук ст.н.с.

ГРИШУК Л.П.

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук

НОВИКОВ И.Д.

Кандидат физико-математических наук

ВЫСОЦКИЙ М.Я.

Ведущая организация - Институт ядерных исследований, г.Москва

Защита состоится "22" февраля 1990 г., в 14 час.

на заседании специализированного совета Московского
Государственного университета им.М.В.Ломоносова,
шифр Д.053.05.51.

Адрес: 119899, Москва В-234, Университетский проспект, 13

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного
астрономического института им. П.К.Штернберга МГУ
(Москва, Университетский проспект, 13)

Автореферат разослан "22" января 1990 г.

Ученый секретарь

Специализированного Совета

канд. физ.-мат. наук

Л.Н.БОНДАРЕНКО

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена кинетике неравновесных процессов и их влиянию на формирование состава Вселенной. В частности исследуется влияние неравновесных распадов частиц и неравновесных нейтринных осцилляций на космологический нуклеосинтез. Построена модель генерации барионной асимметрии Вселенной с учетом влияния процессов рождения частиц скалярным полем.

В работе использованы методы статистической физики и термодинамики, квантовой механики, теории элементарных частиц и квантовой теории поля для исследования процессов рождения частиц внешним скалярным полем, нейтринных осцилляций, электрослабых взаимодействий и др. и оценки влияния этих процессов на космологический нуклеосинтез и бариогенезис. С другой стороны, использованы современные достижения космологии и астрофизики для получения информации о параметрах современных теорий элементарных частиц и моделей объединения взаимодействий путем оценки их совместности с космологическими представлениями.

Актуальность темы исследования

Вопрос о формировании и эволюции состава Вселенной является одним из основных космологических вопросов. Наблюдаемая часть Вселенной состоит из вещества, преобладающая часть которого представлена в виде водорода (-75% массы) и гелия-4 (-25% массы). Исследовать возникновение и эволюцию барионной асимметрии Вселенной (БАВ) и химических элементов, ставших основой наблюдаемого сегодня многообразия галактик, звезд, планетных систем, представляет несомненный интерес и активно изучается в последнее время.

Наблюдаемые обилия легких элементов ${}^4\text{He}$, ${}^3\text{He}$, ${}^2\text{H}$, ${}^7\text{Li}$

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

прекрасно воспроизводятся стандартной моделью космологического нуклеосинтеза /1/ в рамках космологической модели горячей Вселенной /2/. На сегодняшний день теория космологического нуклеосинтеза очень хорошо подтверждается наблюдениями. Первичные обилия легких элементов служат хорошим индикатором условий в ранней Вселенной во время нуклеосинтеза (0.01 с – 200 с).

Множество теоретических работ исследовали предсказания и ограничения космологического нуклеосинтеза /1/. С этой целью исследовались различные модификации космологического нуклеосинтеза путем введения в стандартную модель дополнительных параметров, новых процессов и др. Систематически изучались равновесные ситуации. Влияние неравновесных процессов на космологический нуклеосинтез изучено более слабо. Так, например, эффект введения дополнительных нестабильных частиц на космологический нуклеосинтез исследовался во множестве работ. Однако в основном, рассматривался случай быстрой термализации продуктов распада дополнительных частиц в эпоху нуклеосинтеза. Влияние нетермализованных продуктов распада массивных частиц на первичный нуклеосинтез было изучено в нашей работе /3/. Влияние нейтринных осцилляций на выход легких элементов тоже исследовался в основном в случае равновесных осцилляций. Возможное влияние неравновесных осцилляций нейтрино на кинетику нуклонов во время нуклеосинтеза обсуждалось в работе /4/. В диссертации, следуя этой работе исследуется влияние неравновесных вакуумных осцилляций на нуклеосинтез. Показано, что неравновесные осцилляции нейтрино могут сильно влиять на обилие первичного ${}^4\text{He}$.

Одно из самых известных ограничений теории космологического нуклеосинтеза – это ограничение на число типов релятивистских частиц во время нуклеосинтеза /5/, а именно: не может быть больше 4 легких, левополяризованных нейтрино, обладающих обычными слабыми взаимодействиями. С другой стороны в новейших моделях элементарных частиц /6/, присутствуют дополнительные легкие

частицы, эффективно дающие вклад в N_{ν} . Суперструнные теории, например, предсказывают целый теневой мир связанный с нашим только гравитационно. Существуют феноменологические модели Большого объединения взаимодействий (БОВ) на основе группы E_6 , предсказывающие существование дополнительных правополяризованных частиц, среди которых могут быть и релятивистские во время нуклеосинтеза. Попытки смягчить сильное космологическое ограничение на N_{ν} сегодня особенно актуальны. В диссертации рассмотрены возможные модификации стандартной модели, которые могли бы привести к ослаблению космологического ограничения на N_{ν} .

На сегодняшний день все еще остается открытым вопрос о существовании массы и осцилляций нейтрино /7/. Он тесно связан с глубиной нашего познания относительно генерации масс для фермионов, структуры поколений и возможной схемы БОВ. С другой стороны наличие массы у нейтрино представляет большой интерес для астрофизики и космологии, так как массивное нейтрино может решить проблему скрытой массы и сыграть большую роль в формировании крупномасштабной структуры Вселенной /8,9/. Механизмам генерации массы нейтрино и нейтринным осцилляциям посвящено множество теоретических работ. Большое количество экспериментов ставятся с целью измерения массы нейтрино и осцилляционных параметров нейтрино /9/. Теории БОВ предсказывают весьма малые значения как для масс нейтрино, так и для осцилляционных параметров нейтрино: разностей масс и углов смешивания /7/. Эти значения пока что недостижимы в лабораторных экспериментах. Единственный способ получить информацию относительно интересного диапазона параметров на сегодняшний день предоставляют лишь космология и астрофизика. Эффекты нейтринных осцилляций на различные процессы во Вселенной используются для получения ограничений на осцилляционные параметры в диапазоне очень малых разностей масс, $\delta m_{ij} \ll 10^{-4} \text{эВ}^2$, недоступных прямым измерениям /7/. В диссертации исследован эффект этих осцилляций на производство гелия-4, на основании

которого получены ограничения на осцилляционные параметры нейтрино.

Использование достижений современной квантовой теории поля в космологии (см. например /10/) дало возможность объяснить ряд свойств Вселенной в целом, которые совсем недавно постулировались как начальные условия космологической модели и казались недоступными пониманию, а именно, наблюдаемая однородность и изотропия Вселенной, плоскостность Вселенной и возникновение флуктуаций плотности на ранних этапах, которые развиваются впоследствии в галактики и их скопления. Эти наблюдаемые характеристики Вселенной нашли свое объяснение в рамках инфляционной модели Вселенной (модель раздувающейся Вселенной) /11/. В инфляционных моделях центральная роль отведена скалярным полям. Поэтому изучение любых вопросов касающихся скалярных полей представляет особый интерес для космологии. Так, например, для инфляционных моделей представляется существенным изучение процессов *рождения частиц скалярным полем*, так как они играют основную роль при разогреве Вселенной /12/ после инфляции, а также могут сильно повлиять на процессы бариогенезиса во Вселенной. Рождение частиц внешним полем из вакуума является хорошо изученной задачей квантовой теории поля /13/ для случая внешнего электромагнитного поля. Случай скалярного поля был изучен довольно слабо. В связи с этим в диссертации рассмотрено рождение частиц внешним переменным скалярным полем /14/.

Для инфляционной модели Вселенной представляет интерес процесс испарения бозонного конденсата. Детальное термодинамическое рассмотрение этого вопроса необходимо как для определения температуры разогрева Вселенной, так и для создания правильного представления относительно величины генерируемой барионной асимметрии вещества во Вселенной, степени и механизмов ее подавления до наблюдаемого сегодня значения.

Один из самых любопытных фактов во Вселенной это

наблюдаемая асимметрия между веществом и антивеществом. Возможность генерации БАВ из первоначально симметричного состояния рассматривалась давно /15/. В первых сценариях генерации БАВ, основанных на моделях большого объединения, барионный избыток возникает при $t \approx 10^{-35}$ с от начала эволюции Вселенной, когда температура сравнима с масштабом большого объединения $T \approx 10^{14} + 10^{16}$ Гэв, за счет С, CP и В-нарушающих реакций. Однако эта модель сегодня сталкивается с большими трудностями. С одной стороны отсутствие распада протона на уровне 10^{32} лет высоко поднимает масштаб большого объединения, $M_{\text{out}} \approx 10^{15}$ Гэв, а с другой стороны температура разогрева T_R после окончания инфляции должна быть заметно ниже этой величины /12/.

Поиск модели бариогенезиса, хорошо вписывающейся в инфляционный сценарий и позволяющей осуществить бариогенезис при довольно низких температурах, сегодня особо актуален. Модель бариогенезиса основанная на сценарии Аффлека - Дайна /16/ удовлетворяет этим требованиям. Однако аккуратное рассмотрение испарения бозонного конденсата, проведенное в нашей работе /17/, а также учет рождения частиц переменным скалярным полем χ /14/ существенно изменяют результаты первоначального варианта модели Аффлека - Дайна. Предложенная в диссертации модель бариогенезиса /18/ учитывает рождение частиц скалярным полем, а также аккуратно учитывает термодинамические эффекты. В модели установлена возможность генерации наблюдаемого барионного избытка при естественном выборе ее параметров. В ее рамках можно объяснить как причину так и величину наблюдаемой барионной асимметрии Вселенной.

Цель работы состоит в изучении влияния неравновесных процессов, таких как распады легких частиц, неравновесных осцилляций, а также наличие бозонного конденсата и рождение частиц переменным скалярным полем на формирование состава Вселенной. Конкретными задачами исследований являлись, также,

установление модификации модели космологического нуклеосинтеза, позволяющей ослабить космологическое ограничение на число типов релятивистских частиц: $N_p < 4$; получение аналитических формул для вероятности рождения частиц переменным скалярным полем, удобных для применения в различных космологически интересных ситуациях; построение модели бариогенезиса, согласующейся с наличием инфляционной стадии Вселенной.

Научная новизна работы

В отличие от других работ, исследующих эффект дополнительных частиц, а также наличия осцилляций на синтез легких элементов, где в основном рассматривались равновесные ситуации, здесь исследовано влияние *неравновесных* процессов на космологический нуклеосинтез. Впервые исследовано влияние нетермализованных продуктов распада дополнительных частиц на производство первичного обилия $He-4$. Исследовано влияние неравновесных вакуумных осцилляций между активными и нетермализованными стерильными нейтрино на производство 4He во время космологического нуклеосинтеза.

Впервые получены явные аналитические формулы для рождения частиц внешним *переменным скалярным* полем, удобные для космологических приложений. Исследовано влияние рождения частиц скалярным полем на модель бариогенезиса Аффлека - Дайна.

Впервые были учтены большие химические потенциалы и наличие бозонного конденсата при оценке температуры термализации и барионной асимметрии вещества во Вселенной.

Предложена модель низкотемпературного бариогенезиса, с учетом рождения частиц скалярным полем, позволяющая при естественном выборе параметров модели генерировать барионную асимметрию на уровне реально наблюдаемой.

Научная и практическая ценность работы

Разработанные в диссертации модели и полученные результаты

могут быть использованы для дальнейших теоретических и экспериментальных исследований в области физики элементарных частиц, нейтринной физики, астрофизики и космологии. Результаты могут найти применение в работах выполняемых в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, ГАИШ, ИТЭФ, ИЯИ, ИКИ, Институте ядерных исследований БАН (НРБ), Институте космических исследований (НРБ).

Основные положения, выносимые на защиту

1. Построена модель космологического нуклеосинтеза с дополнительными легкими (с массой порядка МэВ), квазистабильными (с характерным временем распада порядка секунды) частицами. Изучено влияние нетермализованных продуктов распада дополнительных частиц на производство первичного обилия $He-4$.

2. Установлен диапазон параметров модели космологического нуклеосинтеза с дополнительными нестабильными частицами: $m \leq 5 \text{ МэВ}$, $\tau \approx 1 \text{ сек}$ и $m \sim T^F$, для которого существенно ослабляется космологическое ограничение на число типов релятивистских частиц, во время нуклеосинтеза.

3. Построена модель космологического нуклеосинтеза, учитывающая возможные неравновесные вакуумные осцилляции нейтрино. Исследовано влияние осцилляций на кинетику нуклонов во время нуклеосинтеза и на обилие первично синтезированного гелия-4 для следующих осцилляционных параметров: $\delta m^2 \leq 10^{-7} \text{ эВ}^2$, $\theta \in [0, \pi/4]$.

4. Из необходимости соответствия вычисленного обилия первично синтезированного 4He данным наблюдений получены строгие ограничения на осцилляционные параметры нейтрино (на несколько порядков превосходящие имеющиеся ограничения из данных эксперимента): $\delta m^2 \leq 10^{-9} \text{ эВ}^2$, при $\theta = \pi/15$.

5. Исследованы процессы рождения частиц пространственно однородным переменным скалярным полем. Рождение частиц скалярным полем описано с помощью метода канонических преобразований Боголюбова. Получены аналитические выражения для вероятности

рождения частиц переменным скалярным полем в двух предельных случаях: в теории возмущений и в квазиклассическом приближении.

6. Исследована термодинамика космологической плазмы с учетом наличия бозонного конденсата и полученные результаты применены в модели бариогенезиса Аффлека-Дайна. Получены зависимости характеристик равновесного состояния системы бозонов и фермионов (такие как, например, температура плазмы, химические потенциалы частиц, барионный заряд фермионов, плотность бозонного конденсата) от величины начальных параметров системы: плотности энергии ρ и барионного заряда B . Показано, что учет больших химических потенциалов и наличие бозонного конденсата в равновесной системе меняют выводы относительно величины генерируемой барионной асимметрии в модели бариогенезиса Аффлека-Дайна.

7. Предложен сценарий низкотемпературного бариогенезиса, осуществляемого скалярным полем χ , создающим конденсат барионного заряда. Прослежена эволюция барионного избытка Вселенной при разных параметрах модели бариогенезиса. Установлено, что в случае с долинами в потенциале χ , учет рождения частиц приводит к полному замыванию барионной асимметрии, при естественном выборе параметров модели. В долинном случае генерация наблюдаемого барионизбытка возможна только в случае, когда скорость рождения пренебрежимо мала, что реализуется, когда χ является одновременно и инфлатонным полем. В случае отсутствия долин генерация барионной асимметрии порядка наблюдаемой возможна при естественном выборе параметров модели.

Апробация работы

Основные материалы диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований г. Дубна, на семинарах ГАИШ, г. Москва, а также на семинарах Городской астрономической обсерватории в Софии и на Всесоюзной школе-семинаре (Сочи, 1989).

Публикации

По теме диссертации автором опубликованы 6 работ, список которых помещен в конце автореферата. Четыре работы написаны в соавторстве с А. Д. Долговым.

Во всех работах автор полностью участвовал в получении и интерпретации результатов и написании статей. Численное моделирование, которое использовалось в работах (1-3 и 6) было подготовлено и проведено автором.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, двух частей, каждая из которых содержит по три главы, заключения, приложения и списка цитированной литературы. Она содержит 133 страниц машинописного текста, 8 рисунков, 3 таблицы и библиографический список из 160 ссылок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели работы, ее научная новизна, кратко изложено содержание диссертации. Отмечены научная и практическая ценность исследований, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой части обсуждается влияние неравновесных процессов на космологический нуклеосинтез.

Глава 1. Стандартная модель космологического нуклеосинтеза

Первая глава диссертации посвящена стандартной модели космологического нуклеосинтеза. В первых двух параграфах представлен краткий обзор модели, описаны основные пункты теории первичного нуклеосинтеза, проведено сравнение теоретических предсказаний обилия легких элементов с имеющимися данными из наблюдений. Перечислены некоторые из основных предсказаний и

ограничений космологического нуклеосинтеза, следующие из хорошего согласия вычисленных и наблюдаемых обилий первично синтезированных элементов: D, ^3He , ^4He , ^7Li . Третий параграф посвящен точному подсчету первично синтезированного ^4He . Проведено сравнение полученной первичной концентрации гелия-4 с результатами предыдущих теоретических работ, а также с имеющимися данными эксперимента.

Космологический нуклеосинтез является надежным индикатором условий в ранней Вселенной во время нуклеосинтеза. Это позволяет наложить очень строгие ограничения на диапазон изменений параметров, характеризующих физические условия в ранней Вселенной. В следующих двух главах рассмотрены две модификации стандартной модели нуклеосинтеза, нуклеосинтез с неравновесными распадающимися частицами и нуклеосинтез с неравновесными осцилляциями нейтрино. В первом сценарии предлагается возможность ослабить космологическое ограничение на число типов легких частиц, а во втором получены космологические ограничения на осцилляционные параметры нейтрино, превосходящие экспериментальные ограничения.

Глава 2. Неравновесные распады легких частиц и космологический нуклеосинтез

Во второй главе изучается влияние неравновесных распадов массивных частиц на первичный нуклеосинтез. Исследуется возможность ослабления космологического ограничения на число типов легких частиц. В первом параграфе обсуждается космологическое ограничение на число типов релятивистских частиц во время нуклеосинтеза. Приведены также имеющиеся не космологические ограничения на число типов нейтрино. Следующие параграфы посвящены описанию модифицированной модели нуклеосинтеза, за счет введения легких ($m=O(\text{МэВ})$), квазистабильных ($\tau \sim 1 \text{сек}$) частиц X. Большое внимание уделено

вопросам кинетики нетермализованных продуктов распада. Изучены неравновесные взаимодействия продуктов распада с нуклонами и их влияние на производство ^4He . Исследована зависимость первично синтезированного обилия ^4He от массы распадающихся частиц, их времени жизни, отношения плотностей X-частиц и фотонов до распада X. Установлен диапазон параметров модели, для которого возможно ослабление космологического ограничения на число типов релятивистских частиц. Обсуждаются возможные кандидаты на роль распадающихся частиц.

Глава 3. Осцилляции нейтрино и первичный нуклеосинтез

В третьей главе рассмотрена модификация стандартной модели нуклеосинтеза за счет наличия неравновесных осцилляций нейтрино. В первом параграфе обсуждается теоретическая и экспериментальная постановка вопроса существования массы и осцилляций нейтрино. Во втором параграфе дано качественное описание модификации стандартной модели нуклеосинтеза при наличии неравновесных вакуумных нейтринных осцилляций. Третий параграф посвящен вопросам кинетики неравновесных осциллирующих нейтрино. Кинетические уравнения осциллирующих нейтрино в расширяющейся Вселенной в случае неравновесных вакуумных осцилляций записаны в терминах матрицы плотности. Исследована эволюция матрицы плотности нейтрино в ранней Вселенной в период до первичного нуклеосинтеза $t \sim 1 \text{сек}$. Рассмотрена конкретная модель осцилляций между активными и нетермализованными стерильными нейтрино. Показано, что вакуумные нейтринные осцилляции могут влиять на плотность числа частиц и энергетическое распределение электронных нейтрино. Это, в свою очередь, приводит к непосредственному изменению кинетики нейтрон-протонных переходов. В четвертом параграфе обсуждается влияние нейтринных осцилляций между активными и нетермализованными стерильными нейтрино на слабые p - n переходы и последующий синтез ^4He . Выполнены численные расчеты

эволюции p/r -отношения для различных значений разности масс и углов смешивания. Получено значительное увеличение произведения ^4He для определенной области параметров. В результате, из наблюдаемого обилия ^4He получены новые космологические ограничения на осцилляционные параметры.

Во второй части обсуждаются процессы испарения бозонного конденсата и рождение частиц внешним переменным скалярным полем и их роль в ранней Вселенной, в частности их влияние на генерацию барионной асимметрии Вселенной.

Глава 4. Рождение частиц переменным скалярным полем

Четвертая глава посвящена рождению частиц внешним переменным скалярным полем. В первом параграфе обсуждается общая постановка вопроса рождения частиц внешнем полем. Для описания рождения частиц широко используется метод канонических преобразований Боголюбова, позволяющий выразить вероятность рождения частиц через решения обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка. В первом параграфе по аналогии с хорошо изученным случаем внешнего электромагнитного поля, метод преобразования Боголюбова применен для описания рождения частиц скалярным полем. В третьем параграфе использованы методы теории возмущений для вычисления вероятности рождения частиц пространственно-однородным переменным скалярным полем $\chi(t)$. В четвертом параграфе вероятность рождения частиц переменным скалярным полем определена в другом предельном случае, когда применимо квазиклассическое приближение. Получены явные аналитические выражения, удобные для вычисления вероятности рождения частиц в различных случаях, которые могли реализоваться в космологии. Показано, что если масса рождаемых частиц определяется полем $\chi(t)$ в соответствии с выражением $g\chi(t)\bar{\psi}\psi$, то для осциллирующего поля $\chi(t) = \chi_0 \cos(\omega t)$ вероятность рождения в пределе малых ω подавлена не экспоненциально, а лишь как $\omega^{1/2}$.

Глава 5. Испарение бозонного конденсата

В пятой главе исследована термодинамика космологической плазмы с учетом наличия бозонного конденсата. Рассмотрено состояние термодинамического равновесия плазмы, образованной после полного и частичного распада конденсата скалярного поля χ с заданным зарядом B и плотностью энергии ρ . Получены зависимости характеристик равновесного состояния системы бозонов и фермионов (такие как, например, температура плазмы, химические потенциалы частиц, барионный заряд фермионов, плотность бозонного конденсата) от величины начальных параметров системы: B и ρ . Показано, что в зависимости от величины плотности барионного заряда возможно качественно различное поведение системы. При малом начальном барионном заряде конденсат χ полностью испаряется и температура полученной плазмы больше массы χ -частиц, $T > m_\chi$; при дальнейшем увеличении барионного заряда системы возможно только частичное испарение конденсата χ -частиц, а температура термализации плазмы остается больше массы χ -частиц; однако при большом барионном заряде реализуется случай нерелятивистских χ -частиц при наличии конденсата. Барионная асимметрия вещества во всех случаях остается меньше единицы. Полученные точные значения температуры разогрева плазмы и барионной асимметрии значительно ниже используемых до сих пор в литературе оценок. В последнем параграфе проведено более детальное термодинамическое рассмотрение модели бариогенезиса Аффлека-Дайна. Показано, что учет больших химических потенциалов и наличие бозонного конденсата в равновесной системе меняют выводы относительно величины генерируемой барионной асимметрии и возможных механизмов разогрева в ранней Вселенной.

Глава 6. Конденсат барионного заряда и бариогенезис

В последней главе исследуется возможность генерации наблюдаемой барионной асимметрии Вселенной в модели

бариогенезиса, осуществляемого скалярным полем χ , создающим конденсат барионного заряда. В первом параграфе обсуждаются проблемы генерации барионной асимметрии в инфляционной Вселенной, связанные с недостаточным разогревом после инфляции. Описана актуальная сегодня модель низкотемпературного бариогенезиса осуществляемая по сценарию Аффлека и Дайна. В следующих параграфах описаны основные характеристики модели бариогенезиса с конденсатом барионного заряда, позволяющей генерацию барионной асимметрии при низких температурах. В отличие от оригинальной модели бариогенезиса Аффлека и Дайна, учтено рождение частиц полем χ на ранней стадии его эволюции. Рассмотрены качественно различные ситуации в потенциале скалярного поля χ , а именно, случаи с долинами и без долин. Исследована эволюция барионной асимметрии. Показано, что в долинном случае, учет рождения частиц приводит к полному замыванию барионной асимметрии, при естественном выборе параметров модели. Генерация наблюдаемого барионизбытка возможна только в случае, когда скорость рождения пренебрежимо мала, что реализуется когда χ является одновременно и инфлатонным полем. В случае отсутствия долин при естественном выборе параметров модели, возможна генерация барионной асимметрии порядка наблюдаемой.

В заключении приведены основные результаты и выводы работы и вынесены благодарности.

Результаты диссертации опубликованы в работах

1. Dolgov A.D., Kirilova D.P. Nonequilibrium decays of light particles and primordial nucleosynthesis. Int.J.Mod.Phys. A, v.3, #1, p.267-277, 1988.
2. Kirilova D.P. Neutrino oscillations and primordial nucleosynthesis Preprint JINR: E2-87-32.
3. Д.П.Кирилова. Нейтринные осцилляции и первичный нуклеосинтез. В Тезисах всесоюзной школы-семинара "Основания физики", Сочи, 1989.

4. Dolgov A.D., Kirilova D.P. On the temperature of the boson condensate evaporation and the baryon asymmetry of the Universe in the Affleck - Dine scenario; Preprint JINR: E2-89-565.
5. А.Д.Долгов, Д.П.Кирилова. Рождение частиц переменным скалярным полем Я.Ф.51, вып.1, стр.273, 1990; Preprint JINR: E2-89-321.
6. А.Д.Долгов, Д.П.Кирилова. Конденсат барионного заряда и бариогенезис Препринт ОИЯИ: P2-89-873.

Цитированная литература

1. Boesgaard A. and Steigman G., Ann.Rev.Astr.Astrophys.23, p.319(1985); 13th Texas Symp. on Relativ.Astroph., ed.Melville Palmer, Chicago Illinois, 1986; Nucleosynthesis and Its Implications on Nuclear and Particle Physics, ed.Audouze, Mathews N., NATO ASI Series, Reidel Publ. Company, 1986
2. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной, Москва: Мир, 1976; Вейнберг С., Гравитация и космология, Москва: Мир, 1975
3. Dolgov A., Kirilova D., preprint E2-87-32 and Int.J.Mod.Phys A3, p.267 (1988)
4. Долгов А.Д., Я.Ф.33, с.1309 (1981)
5. Шварцман В.Ф., Письма в ЖЭТФ 9, с.184 (1969)
6. Ross G., Review of GUTs and SUSY-GUTs, Lecture notes given at the XXII Int.Universitatswochen fur Kernphysik, Schladming, 1983; Langacker P., Phys.Rep.72, p.185 (1981); Narlikar J., Padmanabhan T. Gravity, Gauge Theories and Quantum Cosmology, D.Reidel Publ. Company, 1986; Langacker P., preprint DESY 88-076, Hamburg, 1988; Haber H., Kane G., Supersymmetry review, Phys.Rep.117, p.75 (1985)
7. Langacker P. Neutrino mass and oscillations, theory and expectations Expanded version of a talk presented at Beyond the Standard Model, Ames, Iowa, 1988; Wolfenstein L., Neutrino masses and mixings, in Proc. XVI SLAC Summer Institute on Part.Phys., Stanford, 1988
8. Krauss L.M., preprint YCTP-P5-89 and in the Proceedings of the

- Third Moriond 1988 Meeting, Jif sur Yvette, Editions Frontiers, 1988
- Gelmini G., A review of neutrinos in cosmology, preprint 12/88/EP, Trieste, 1988.
9. Proceedings of the Sixth Moriond Workshop "Massive Neutrinos in Astrophysics and in Particle Physics", eds. O. Fackler and J. Tran Thanh Van, Editions Frontieres, France, 1986;
10. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В., Космология ранней Вселенной изд. Московского университета, 1988;
- Jauneau L., Introduction to Gravity and Cosmology, IAL 88-41, 1988
11. Blan S.K., Guth A.H., "Inflationary Cosmology" in "300 years of Gravitation", Cambridge: University Press, 1986; Линде А.Д., У.Ф.Н 114, с.177 (1988); Brandenberger R., Rev.Mod.Phys. 57, p.1, 1986
12. Albrecht A., Steinhardt P., Turner M., Wilczek F. Phys.Rev.Lett. 48, p.1437 (1982); Dolgov A.D., Linde A.D., Phys.Lett.B116, p.329 (1982)
13. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях, Москва: Атомиздат, 1980
14. Dolgov A.D., Kirilova D.P., preprint JINR E2-89-321, Dubna, 1989; Я.Ф.51, с.273 (1990)
15. Сахаров А.Д. Письма в ЖЭТФ 5, с.32 (1967)
16. Affleck I., Dine M., Nucl.Phys.B249, p.361 (1985)
17. Dolgov A., Kirilova D., preprint JINR E2-89-565, Dubna, 1989
18. Долгов А.Д., Кирилова Д.П., препринт ОИЯИ P2-89-873, Дубна, 1989



Рукопись поступила в издательский отдел
5 января 1990 года.