

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»  
ФАКУЛЬТЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ  
ФИЗИКИ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

НАЗАРОВА НАТАЛЬЯ ОЛЕГОВНА


ПЕРВИЧНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Реферат по курсу


«Космомикрофизика»

Москва 2016

1.Общее понятие о черных дырах. 2.Особенности первичных черных дыр. А) особенности формирования Б) особенности эволюции В) Ограничения Г) Способы обнаружения 3. Заключение.

Your plan should be more specified. I propose to mention in the corresponding parts: 1.Общее понятие о черных дырах. Stellar BHs, AGNs, BHs in low scale gravity and then concentrate on PBHs 2.Особенности первичных черных дыр. А) особенности формирования PBHs from dustlike stages, from 1 order phase transitions from 2 order phase transitions Б) особенности эволюции Hawking radiation and evaporation, transformation of initial spectrum of PBHs В) Ограничения in particular from Hawking evaporation Г) Способы обнаружения 3. Заключение. I can offer more details as soon as you put on Forum first draft of your referat 

## 1. Необходимость рассмотрения

Исследование природы активных галактических ядер , проводящихся в последнее время, привело к общему убеждению, что центры галактических ядер содержат массивные черные дыры. [11 рубин] Физическая природа активности ядер связывается с аккрецией вещества на черные дыры с массой  $10^6 - 10^8$  солнечных масс в ядрах галактик. Одно из распространенных и наиболее очевидных возможных объяснений возникновения подобных сверхмассивных черных дыр предполагает коллапс большой совокупности звезд за счет их высокой концентрации в центрах галактик. Однако существуют и другие механизмы  образования галактических ядер. Например, согласно [12 Rubin], имеются серьезные основания полагать, что звездообразование и образование галактических ядер шло одновременно.В статье [13 и см 14] рассмотрена модель формирования галактик вокруг массивных черных дыр (ЧД) и приводятся

доводы в пользу именно этой модели. В статье [15] предложена модель первичного коллапса барионного домена с образованием массивной ЧД, и звездообразованием на оставшихся после коллапса барионах. Вопросы взаимного влияния процессов образования звезд и слияния ЧД обсуждаются в статье [16].


Кроме того, имеются указания на существование также и ЧД промежуточных масс в интервале  $100 M_{\odot} \div 10^6 M_{\odot}$ , обнаруженных недавно в компактных звездных кластерах [22].

**Это можно в заключение** Вопрос о раннем происхождении ЧД остается открытым. В отличие от черных дыр, являющихся результатом эволюции звезд и звездных систем, существование так называемых «первичных» черных дыр (ПЧД) не имеет надежных астрономических подтверждений. Масса ПЧД может быть произвольной: от планковской массы до массы, заключенной внутри современного горизонта. Однако, при рассмотрении астрофизических эффектов от ПЧД обычно ограничиваются массами, много меньшими массами Солнца, поскольку механизм образования ПЧД связывается, как правило, с развитием неоднородностей, ограниченных космологическим горизонтом. Наблюдательные данные о распределении легких элементов, а также спектре реликтового излучения налагают жесткие ограничения на величину неоднородностей на ранних стадиях после первой секунды расширения. Следовательно, реалистические механизмы образования ПЧД должны быть, казалось бы, отнесены к очень ранним ( $t \ll 1 \text{ с}$ ) стадиям эволюции Вселенной, когда масса, заключенная внутри космологического горизонта и ограничивающая возможную массу ПЧД, значительно меньше массы Солнца.


Первичные черные дыры, возможность образования которых была впервые указана Зельдовичем и Новиковым [56 rubin], в связи с анализом возможности коллапса маломассивных тел [57], позволяют полу-

чить ограничения на параметры процессов, происходивших во Вселенной ([58,17,59]). Хотя существование первичных черных дыр пока не подтверждено прямыми астрономическими наблюдениями, имеются косвенные указания на их присутствие в догалактический период. Так, обнаружение квазаров при  $z \sim 6$  **уточнить цифру** указывает на то, что

## 2. Введение

Первичные черные дыры (ПЧД) были источником интенсивного интереса в течение почти 50 лет [1], несмотря на то, что до сих пор нет доказательств их существования. Одной из причин этого интереса является то, что только для ПЧД с малыми массами имеет важное значение излучение Хокинга[2]. Оно до сих пор не подтверждено экспериментально и остаются серьезные с этим процессом концептуальные головоломки,  сам Стивен Хокинг до сих пор борется с ними [3]. Тем не менее, это открытие признается в качестве одного из ключевых событий в физике 20-го века, потому что это красиво объединяет общую теорию относительности, квантовую механику и термодинамику. Тот факт, что Хокинга привело к этому открытию рассмотрение свойств ПЧД, показывает, что изучение чего-то может быть полезно, даже если эти объекту могут не существовать!

ПЧД с массами меньше чем  $5 \cdot 10^{14}$  г должны были бы испариться к настоящему времени со многими интересными космологическими последствиями. Исследования таких последствий накладывают полезные ограничения на модели ранней Вселенной, а также испаряющиеся ПЧД были применены для объяснения некоторых особенностей: например, внегалактического [4] и Галактического [5] гамма-фона, антиматерии в космических лучах [6], **аннигиляционной линии излучения** из центра

Галактики [7], реионизацию догалактической среды [8] и некоторых короткопериодических гамма-всплесков [9]. Тем не менее, существуют другие возможные объяснения этих явлений, так  нет никаких убедительных доказательств испарения ПЧД.

Поэтому внимание переключилось на ПЧД с массами большими  $5 \cdot 10^{14}$  г, которые не зависят от излучения Хокинга. Такие ПЧД могут иметь различные астрофизические последствия, такие как предоставление начала, истока для сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик [13], генерация крупномасштабной структуры через Пуассоновские флуктуации [14] и важные эффекты в тепловой и ионизационной истории Вселенной [15]. Для недавнего обзора, в котором конкретный модели образования ПЧД показана для решения этих и ряда других наблюдательных задач, см. [16]. Но основное внимание ПЧД привлекают своей возможностью объяснения темной материи, которая содержит 25% от критической плотности, идея, которая восходит к самым ранним дням исследования ПЧД [17]. Если ПЧД формируются в радиационно-доминантной эпохе, они не могут быть хорошо известны большого взрыва нуклеосинтеза (BBNS) ограничения, что барионы может иметь не более 5% от критической плотности [18]. Поэтому они должны быть классифицированы как «небарионная материя» и с динамической точки зрения они ведут себя как любая форма холодной темной материи (CDM).

До сих пор нет убедительных доказательств того, что ПЧД обеспечивают темную материю, но и не существует для любого из более традиционного кандидата. Одним из предпочтительных кандидатов являются вимп (WIMP), легчайшие суперсимметричные частицы [19] или аксионы [20], но 30 лет экспериментов на ускорителях и прямых поисков темной материи не подтверждают существование этих частиц [21]. Однако не

следует слишком смущаясь из-за этого. В конце концов, существование гравитационных волн было предсказано 100 лет назад, первые поиски начались почти 50 лет назад [22], и они были только наконец обнаружены LIGO примерно год назад [23]. Тем не менее, многие теоретики стали пессимистично настроены по отношению к вимпам [24], что стимулирует поиск альтернативных кандидатов.

В 1990-е годы был ажиотаж вокруг ПЧД как кандидата в темную материю, когда результаты микролинзирования по массивным объектам гало галактик (Massive Astrophysical Compact Halo Objects, МАСНО) [25] предположили, что альтернативных МАСНО кандидаты в темную материю с массами  $0.5 M_{\odot}$  могут быть исключены, однако ПЧД этой массы могут естественно образовываться при кварк-адронном фазовом переход при  $10^{-5}$  с.

Впоследствии, однако, было показано, что такие объекты могут содержать только 20% темной материи и в самом деле весь диапазон масс от  $10^{-7} M_{\odot}$  до  $10 M_{\odot}$  исключен из предоставления темной материи. В какой-то момент были утверждает, что обнаружил критическую плотность 10 ПЧД через микролинзирования квазаров но это требование было встречено со скептицизмом [29], и, казалось бы, несовместимое с другими ограничениями линзирования. И Т Д

### 3. Общие сведения о черных дырах

### 4. Модели образования ПЧД

Взять одну из моделей формирования - Рубина ПЧД могли быть образованы в ранней Вселенной в рамках различных механизмов. Для каждого из механизма главную роль играет повышенная космоло-

гическая плотность энергии в раннее время [46, 47], что дает сильную взаимосвязь между **массой ПЧД и горизонтом массы при их формировании ФОРМУЛА**.

Следовательно ПЧД могут охватывать огромный диапазон масс: **те, которые образуются во время Планка** (1) будет иметь массу Планка, в то время как те, которые образуются на 1 сек будет столь же большим, как  $10^{15} M_{\odot}$  сравнима с массой черных дыр, которые, как считается, находятся в ядрах галактик. В отличие от этого, черные дыры, образующиеся в современную эпоху (например, на заключительных этапах звездной эволюции), не могут быть меньше, чем  $1 M_{\odot}$ . В некоторых случаях ПЧД могут образовываться в течение длительного периода времени, что соответствует **широкому** массовому диапазону. **Даже если они образуются в одной эпохе, их массовый спектр масс все еще может продлить намного ниже горизонта массы из-за «критических явлений»** [42, 44, 48 54], хотя большая часть плотности ПЧД будет по-прежнему находиться в самой массивной из них.

Высокая плотность ранней Вселенной является необходимым, но не достаточным условием для образования ПЧД. Одним из возможных вариантов является то, что были большие изначальные неоднородности, так что закритической регионы могли бы остановить расширение и повторное сжатие. В этом контексте, уравнение. (1) может быть заменен более точной взаимосвязью

Здесь  $\gamma$  численный коэффициент, который зависит от деталей гравитационного коллапса. Простой аналитический расчет позволяет предположить, что вокруг **ФОРМУЛА** во время радиационной эры, хотя первые гидродинамические расчеты дали несколько меньшее значение [56]. Излюбленное значение впоследствии колебалось, как люди выполнили более сложные вычисления, но теперь, кажется, поселились на значении

около 0,4 [57].

Было заявлено, что РВН не может быть намного больше, чем значение определяется формулой. (1) при формировании, в противном случае было бы отдельной замкнутой Вселенной, а не часть нашей Вселенной [47, 58]. В то время как существует масштаб отдельная Вселенная и уравнение. (1) действительно дают верхний предел на массу РВН, первоначальный аргумент не является правильным, так как масса РВН обязательно стремится к нулю по шкале раздельным Вселенной [59, 60]. Тем не менее, эффективное значение  $\gamma$  в уравнении. (2) может превышать 1, в некоторых обстоятельствах. В частности, если РВН растет в результате аккреции, его конечная масса вполне может быть больше, чем горизонт массы при образовании.

Как уже говорилось в многочисленных работах, квантовые флуктуации, возникающие в различных инфляционных сценариях являются возможным источником ПЧД. В некоторых из этих сценариев колебания, генерируемые инфляцией "синий" (т.е. снижение с увеличением масштаба), и это означает, что форма ПЧД вскоре после повторного нагрева [61-64]. Другие связаны с той или иной форме инфляции "дизайнер в которой спектр мощности флуктуации - и, следовательно, производства РВН - пики на некотором масштабе [65-90]. В других сценариях, флуктуации имеют "бегущая индекс так что амплитуда возрастает на меньших масштабах, но не согласно простому степенному закону [44, 63, 91-103]. образование РВН может также произойти из-за какого-то параметрического резонансного эффекта, прежде чем повторный нагрев [39, 104-109]. В этом случае, колебания имеют тенденцию пика по шкале, связанной с повторным нагревом. Это, как правило, очень небольшой, но несколько сценариев включают вторичную инфляционную фазу, которая повышает эту шкалу в макроскопической области. В последнее время наблю-

дается большой интерес в формировании промежуточной массы ПЧД в сценарии "Водопад"[39, 110-112] и генерации РВН темной материи в супергравитации моделях инфляции обсуждается в работе. [113]. Было заявлено, [114], что любое кратное поля инфляционной модели, которая генерирует достаточное количество ПЧД для объяснения темной материи исключается, поскольку она также создает неприемлемо большое isocurvature возмущение из-за присущих не-Gaussianities в этих моделях. Мы обсудим это более подробно в гл. Внутривенно

Независимо от источника неоднородностей, образование РВН можно было бы усилить, если произошло внезапное снижение давления - например, в КХД эпоху [115-117] - или, если ранняя Вселенная прошла через пылевой фазы в ранние времена как результат либо доминирования нерелятивистских частиц за период [118-120] или подвергающегося медленного разогрева после инфляции [62, 121]. Другая возможность состоит в том, что ПЧД могли образоваться самопроизвольно при какой-то фазового перехода, даже если бы не было никаких предварительных неоднородности, например, от столкновений пузырьков [122-128] или от коллапса космических струн [129-137], ожерелья [138 139] или доменные стенки [140-145]. Braneworld сценарии с модифицированной гравитации масштабом  $\sim 1$  ТэВ может привести к производству лунных масс ПЧД [146].



4.1. ПЧД как проявление пылевых стадий в ранней Вселенной

4.2. Прямое образование ПЧД

4.3. Образование ПЧД в фазовых переходах первого рода

4.4. Образование ПЧД при коллапсе замкнутых стенок

4.5. Коллапсирующая доля

4.6. Расширенные массовые распределения

5. Специфические модели

5.1. Инфляция с «бегущими массами»

5.2. Инфляция «аксион-курватон»

5.3. Масштабно-инвариантное массовое распределение

6. Расширенные функции Масс-спектр: критичность, несферичность И негауссовости

7. Краткое изложение ОГРАНИЧЕНИЙ ПО МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ не испаряющимся черным дырам

7.1. Ограничения по диффузному гамма-фону