МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

«МИФИ»

Кафедра физики атомного ядра и элементарных частиц

Реферат

по космомикрофизике на тему:

«Первичные чёрные дыры»

Выполнил:

студент группы Т9-40

Смешков Г. П.

Преподаватель:

Хлопов М.Ю.

.

Москва

2014 г.

Оглавление

[1. Введение 3](#_Toc377273751)

[2.Особенности образования первичных чёрных дыр 4](#_Toc377273752)

[2.1. ПЧД на пылевых стадиях 4](#_Toc377273753)

[2.2. Образование ПЧД в фазовых переходах первого рода 5](#_Toc377273754)

[2.3. Образование ПЧД в фазовых переходах второго рода 5](#_Toc377273755)

[3. Особенности эволюции: испарение и излучение Хокинга 5](#_Toc377273756)

[4. Ограничения на массу ПЧД 5](#_Toc377273757)

[5. Способы обнаружения 5](#_Toc377273758)

[6. Заключение 5](#_Toc377273759)

[7.Список литературы 5](#_Toc377273760)

# 1. Введение

Целью данной работы является исследование чёрных дыр, в частности одного из их типов, первичных чёрных дыр.

Чёрная дыра — область в [пространстве-времени](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE-%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F), [гравитационное притяжение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) которой настолько велико, что [покинуть](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) её не могут даже объекты, движущиеся со [скоростью света](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B0), в том числе  [кванты](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD) самого [света](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82). Она называется «чёрной» по аналогии с абсолютно чёрным телом в термодинамике, которое поглощает всё падающее на него излучение и ничего не отражает.

Вследствие пропорциональности радиуса чёрной дыры её массе, можно предположить существование нескольких типов чёрных дыр, характеризуемых их размерами или массой.

Чёрные дыры звёздных масс образуются как конечный этап жизни звезды: после полного выгорания термоядерного топлива и прекращения реакции звезда теоретически должна начать остывать, что приведёт к уменьшению внутреннего давления и сжатию звезды под действием гравитации. Сжатие может остановиться на определённом этапе, а может перейти в стремительный [гравитационный коллапс](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B0%D0%BF%D1%81). Если растущее внутреннее давление остановит гравитационное сжатие, то центральная область звезды станет сверхплотной нейтронной звездой. Но если масса звезды превысит предел Оппенгеймера — Волкова, то коллапс продолжится до её превращения в чёрную дыру.

Активные ядра галактик образуются либо из черных дыр, образовавшихся в результате гравитационного коллапса звезд, путем аккреции вещества, либо при коллапсе больших газовых облаков и их превращении в релятивистскую звезду массой в несколько сотен тысяч масс Солнца или больше. Такая звезда быстро становится нестабильной к радиальным возмущениям в связи с процессами образования электронно-позитронных пар, происходящими в её ядре, и может сколлапсировать сразу в чёрную дыру. При этом коллапс идёт, минуя стадию сверхновой, при которой взрыв выбросил бы большую часть массы, что не позволило бы образоваться сверхмассивной чёрной дыре.

Квантовые чёрные дыры – это макроскопические образования, которые предположительно могут возникнут в результате ядерных реакций. Для математического описания таких объектов необходима квантовая теория гравитации. Однако из общих соображений весьма явно, что спектр масс чёрных дыр дискретен и существует минимальная чёрная дыра — планковская чёрная дыра. **[obsuzhdalis i BH s menshei massoi]** Её масса — порядка 10−5 г, радиус — 10−35 м. Комптоновская длина волны планковской чёрной дыры по порядку величины меньше или равна её гравитационному радиусу. Плотность вещества такой чёрной дыры составляет около 1094 кг/м³ и, возможно, является максимальной достижимой плотностью. Физика на таких масштабах должна описываться пока не разработанными теориями квантовой гравитации. Такой объект тождественен гипотетической элементарной частице с предположительно максимально возможной массой.

И, наконец, первичные чёрные дыры (ПЧД) - гипотетические чёрные дыры с любой массой, превышающей планковскую, существовавшие в ранней Вселенной. Это возможное существование объясняется тем, что масса в размерах космологического горизонта может естественным образом сформировать чёрную дыру, если расширение остановится в рассматриваемой области.

# 2.Особенности образования первичных чёрных дыр

Возможность формирования ПЧД мало вероятна в однородно расширяющейся Вселенной, поскольку это предполагает возмущения метрики порядка 1. В случае возмущений метрики с гауссовым распределением и дисперсией



вероятность флуктуации порядка 1 определяется экспоненциально малым хвостом высокоамплитудных выбросов этого распределения. Эта вероятность может быть даже больше подавлена в случае негауссовых распределений.

Во Вселенной с уравнением состояния



где численный фактор находится в диапазоне



вероятность образования чёрной дыры из возмущения внутри космологического горизонта равна



Это обеспечивает экспоненциальную чувствительность спектра ПЧД к ослаблению уравнения состояния ранней Вселенной или к увеличению ультрафиолетовой части спектра возмущений плотности . Это явление может являться космологическим следствием теории частиц.

## 2.1. ПЧД на пылевых стадиях

После закалки частиц массы m, отношение плотности этих частиц к плотности релятивистских частиц растет как mc2/kT. К моменту времени

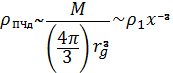
t0~(mpl/vnr)2tpl,

когда температура Вселенной падает до величины

T0=vmc2/k

наступает стадия доминантности частиц массы m. На этой стадии уравнение состояния близко к р=0. На пылевидной стадии вероятность прямогообразования черной дыры определяется степенным законом:

Средняя плотность ПЧД на момент образования



Где x=rg/r1

С другой стороны, исходя их минимального размера конфигурации

ρmax~ρ1s-3,

где s–степень отклонения конфигурации от сферической симметрии.

Таким образом

.

К моменту достижения плотности ρпчд уравнение состояния в конфигурации может опять стать р=ε/3. Но если неоднородность в конфигурации на момент tобр достаточно мала (δρпчд/ρпчд<1), то силы давления, действующие на единичный объем вечества не превышают соответствующих гравитационных сил и заведомо не могут препятствовать образованию ПЧД.

Если частицы не взаимодействуют друг с другом, то ПЧД образуется при условии tобр<tкаус.

Оба этих условия сводятся к .

Пусть

,



где характеризует неоднородность распределения плотности внутри конфигурации. Тогда Wu~x3/2.

Вероятность того, что конфигурация обладает достаточно высокой степенью сферичности Ws≈2\*10-2x5.

Тогда

Wпчд=WsWu≥2\*10-2x13/2,

что и требовалось показать.

Длительные стадии когерентных колебаний скалярного поля могут быть предсказаны в рамках инфляционных моделей. На этих стадиях возможно образование ПЧД. По окончании таких стадий из-за распада скалярного поля продукты его распада термализуются, и Вселенная разогревается до температуры , определяемой продолжительностью τ стадии когерентных колебаний поля:



Помимо прямого образования ПЧД возможно их образование в результате эволюции гравитационно-связанных систем, образующихся на пылевой стадии. На галактических пылевых стадиях вероятность прямого образования чёрных дыр мала – в основном образуются гравитационно- связанные системы. Если частицы, доминирующие на ранней пылевой стадии бесстолкновительные, то система подобна галактике с бесстолкновительным газом звезд. Время эволюции такой системы определяется числом частиц в ней и намного превышает космологическое время. Если у частиц сильное взаимодействие с плазмой и излучением, то они формируют «звезды» - гравитационно-связанные системы, вещество которых непрозрачно для излучения. Эволюция «звезд» происходит за время порядка космологического в период их образования и в результате значительная их доля может образовать чёрные дыры. Во втором случае ограничения на ранние пылевые стадии (и образовавшие их частицы) усиливаются.

**2.2. Образование ПЧД в фазовых переходах первого рода**

Простейший пример, приводящий к космологическому фазовому переходу первого рода с рождением пузырей, даёт теория скалярного поля с двумя невырожденными состояниями вакуума. Состояние с меньшей энергией является истинным вакуумом, а состояние с большей энергией соответствует ложному вакууму.

Будучи стабильным на классическом уровне, состояние ложного вакуума распадается из-за квантовых эффектов, которые приводят к появлению пузырей истинного вакуума и их последующему расширению в области ложного вакуума. Потенциальная энергия ложного вакуума превращается в кинетическую энергию стенок, тем самым, делая за короткое время их скорость расширения ультрарелятивистской.

Пузырь продолжает расширяться до тех пор, пока не столкнётся с другим пузырём. При одновременном столкновении нескольких стенок возможно прямое образование чёрной дыры.

Рассмотрим динамику столкновения двух пузырей, расширяющихся в область ложного вакуума.

Непосредственно после столкновения совместное проникновение стенок на расстояние, сравнимое с толщиной стенки, сопровождается дополнительным увеличением потенциальной энергии. Затем стенки отражаются и двигаются в обратном направлении в область истинного вакуума. Пространство между ними заполняется полем в состоянии ложного вакуума, преобразуя кинетическую энергию стенок обратно в энергию ложного вакуума и уменьшая скорость стенок. Тем временем внешняя часть стенок, продолжая расширяться и ускоряться, поглощает ложный вакуум во внешней области. Неизбежно наступает момент, зависящий от параметров теории, когда центральная область ложного вакуума отделяется и образует обособленный мешок ложного вакуума.

Дальнейшая эволюция мешка ложного вакуума состоит из следующих этапов:

1. Мешок вырастает до определенного размера, пока кинетическая энергия его стенок не становится равной 0;

2. Затем мешок ложного вакуума начинает стягиваться до размера, сравнимого с толщиной стенки;

3. Объем расширяется снова и затем сжимается опять, так что последовательное сжатие и расширение мешка ложного вакуума продолжается.

Такой процесс периодической смены сжатия и расширения (осцилляция) приводит к потере энергии мешка ложного вакуума, преобразующейся в колебания классического скалярного поля. Таких осцилляций может произойти лишь несколько.

На рис.1 показаны последовательные стадии формирования мешка ложного вакуума при столкновении двух пузырей.

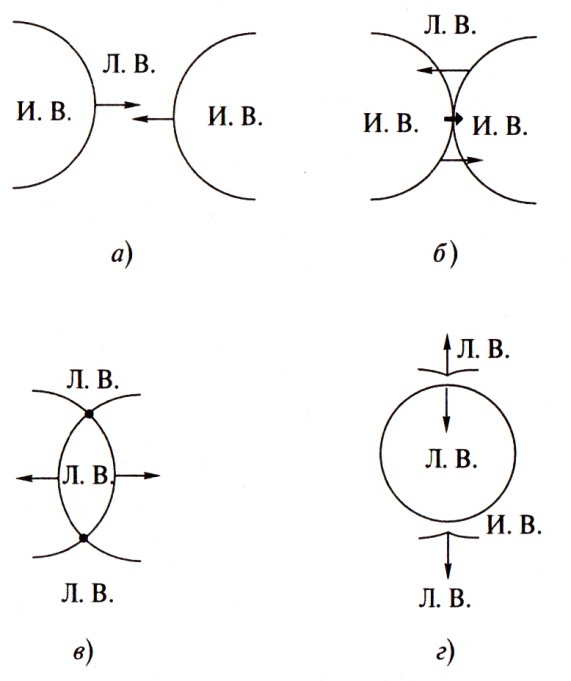


Рис.1

**2.3. Образование ПЧД в фазовых переходах второго рода**

Образование ПЧД возможно в фазовых переходах второго рода в инфляционной Вселенной. Эту возможность иллюстрирует модель комплексного скалярного поля.

После фазового перехода второго рода значение фазы этой области увеличивается в соответствии со скоростью инфляции. На масштабах современного горизонта значение фазы фиксировано N=60, в то время как на меньших масштабах возможны флуктуации. В соответствии с этими флуктуациями, для фиксированного значения фазы θ60 с периодом инфляции N=60, на малых масштабах проявляются сильные отклонения от этой величины, отвечающие поздним периодам инфляции с N<60. Если значение фазы θ60 меньше π, флуктуации могут изменить значение θN на θN>π в некоторых областях Вселенной. После вторичного нагрева в результате включения массы поля эти области соответствуют вакууму с фазой θ=2π окруженного вакуумом фазы θ=0. Вакуумы разделены массивной доменной стенкой, которая представляет собой замкнутую поверхность. После того, как доменная стенка выходит из-под горизонта, она коллапсирует и образует черную дыру.

Массы образующихся черных дыр ограничены фундаментальными параметрами модели f и Λ. Максимальная масса ЧД определяется условием, что стенка не доминирует локально, пока они находятся внутри космологического горизонта. В то же время, доминантность локальной стенки приводит к сверхсветовому расширению соответствующей области, отделенной от остальной части Вселенной:



Минимальная масса следует из условия превышения гравитационного радиуса черной дыры над шириной стенки:



**Possible relationship with AGN seeds?**

# 3. Особенности эволюции: испарение и излучение Хокинга

В 1974 г. Стивен Хокинг теоретически обнаружил процесс испарения черных дыр, суть которого заключается в том, что в сильном гравитационном поле черной дыры происходит рождение из вакуума частиц, уносящих массу черной дыры на бесконечность.

Испарение чёрной дыры является квантовым процессом, так как. о чёрной дыре как объекте, который ничего не [излучает](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5" \o "Излучение), а лишь поглощает материю, справедливо до тех пор, пока не учитываются [квантовые эффекты](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE-%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82" \o "Квантово-размерный эффект). В квантовой же механике, благодаря [туннелированию](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D0%BD%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82" \o "Туннельный эффект), появляется возможность преодолевать [потенциальные барьеры](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B1%D0%B0%D1%80%D1%8C%D0%B5%D1%80" \o "Потенциальный барьер), непреодолимые для неквантовой системы. Утверждение, что конечное состояние черной дыры стационарно, верно лишь в рамках [обычной](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F" \o "Гравитация), не [квантовой теории тяготения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8" \o "Альтернативные теории гравитации). **[u vas ona tozhe nekvantovaya]** Квантовые эффекты ведут к тому, что на самом деле чёрная дыра должна непрерывно излучать, теряя при этом свою энергию.

В случае чёрной дыры ситуация выглядит следующим образом. В квантовой теории поля [физический вакуум](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B2%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC" \o "Физический вакуум) наполнен постоянно рождающимися и исчезающими [флуктуациями](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BB%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F" \o "Флуктуация) различных полей (можно сказать и «[виртуальными частицами](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%80%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0)»). В поле внешних сил динамика этих флуктуаций меняется, и если силы достаточно велики, прямо из вакуума могут рождаться пары частица-[античастица](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0" \o "Античастица). Такие процессы происходят и вблизи (но всё же снаружи) [горизонта событий](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D1%82_%D1%81%D0%BE%D0%B1%D1%8B%D1%82%D0%B8%D0%B9" \o "Горизонт событий) чёрной дыры. При этом возможен случай, когда [полная энергия](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) античастицы оказывается [отрицательной](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9E%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F&action=edit&redlink=1" \o "Отрицательная энергия (страница отсутствует)), а полная энергия частицы — положительной. Падая в чёрную дыру, античастица уменьшает её полную [энергию покоя](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%8F" \o "Энергия покоя), а значит, и массу, в то время как частица оказывается способной улететь в бесконечность. Для удалённого наблюдателя это выглядит как излучение чёрной дыры.

Важным является не только предсказываемый факт излучения, но и то, что это излучение имеет [тепловой спектр](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80" \o "Спектр) (для [безмассовых частиц](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%B7%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B" \o "Безмассовые частицы)). Это значит, что излучению вблизи горизонта событий чёрной дыры можно сопоставить определённую [температуру](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0" \o "Температура)

T_{BH}={\hbar\,c^3\over8\pi k\,G M},

При этом не только спектр излучения (распределение его по частотам), но и более тонкие его характеристики (например, все корреляционные функции) точно такие же, как у излучения черного тела. Развивая теорию, можно построить и полную [термодинамику чёрных дыр](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D1%87%D1%91%D1%80%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%B4%D1%8B%D1%80" \o "Термодинамика чёрных дыр).

Однако такой подход к чёрной дыре оказывается [внутренне противоречивым](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8" \o "Противоречивость теории) и приводит к проблеме [исчезновения информации в чёрной дыре](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D1%87%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%B2_%D1%87%D1%91%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D1%8B%D1%80%D0%B5" \o "Исчезновение информации в чёрной дыре). Причиной этого является отсутствие успешной теории [квантовой гравитации](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F" \o "Квантовая гравитация).

# 4. Ограничения на массу ПЧД

Исходя из испарения Хокинга, описанного в предыдущей части, можно предположить наличие ограничений на массу существующих первичных чёрных дыр.

Темп потери энергии за счет частиц, уходящих на бесконечность, определяется гравитационным радиусом черной дыры и соответствует излучению черного тела с температурой

.



Светимость черной дыры по порядку величины равна

Такие потери энергии означают, что черная дыра теряет свою массу со скоростью

Характерное время полной потери массы черной дыры, т.е. время ее испарения, составляет



С учетом всех численных факторов время испарения черной дыры равно



Отсюда следует, что время испарения черных дыр, образующихся вследствие эволюции звезд (т.е., с массами )



*,*



что сильно превышает возраст Вселенной. Испарением таких черных дыр можно пренебречь. Однако для ПЧД, которые могут иметь любую массу вплоть до планковской, время испарения становится меньше возраста Вселенной при массах

г.

# 5. Способы обнаружения

Один из способов обнаружить ПЧД – детектировать их излучение Хокинга. Космический гамма-телескоп Ферми NASA, запущенный в июне 2008, частично предназначен для поиска этого излучения. Однако, если гипотеза Хокинга не подтвердится, то будет почти невозможно обнаружит ПЧД из-за их маленьких размеров и отсутствия большого гравитационного влияния.

И.Б. Хриплович и др. [8]высказали предположение, что маленькая чёрная дыра, проходящая сквозь Землю, может произвести детектируемый акустический сигнал. Из-за маленького диаметра, большой массы, по сравнению с нуклоном, и с относительно высокой скоростью такие чёрные дыры пройдут через Землю «безболезненно».

Ещё один метод обнаружения ПЧД – поиск ряби на поверхности звёзд. Если чёрная дыра пройдёт через звезду, её плотность приведёт к заметным вибрациям.

# 6. Заключение

Первичные черные дыры являются теоретическим инструментом изучения картины ранней Вселенной, физики высоких энергий, гравитационного коллапса и квантовой гравитации, поэтому поиск доказательства существования ПЧД представляет особенный интерес, и является одной из актуальнейших проблем современной науки.

# 7.Список литературы

1)В. А. Березин [О квантовом гравитационном коллапсе и квантовых черных дырах](http://www1.jinr.ru/Archive/Pepan/2003-v34/v-34-7/pdf_obzory/v34p7_04.pdf)  // [Физика элементарных частиц и атомного ядра](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86_%D0%B8_%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%B0&action=edit&redlink=1). — 2003. — В. 7. — Т. 34. — С. 48-111.

2) Хлопов М. Ю., Основы космомикрофизики, М.: УРСС, 2004

3) Belova T.I., Kudryavtzev A.E. (1988). Physica. D32, 18.

4) Bernard Carr “Primordial Black Holes: Do They Exist and Are They Useful?”, Inflating Horizon of Particle Astrophysics and Cosmology 2005

5) Celotti, A.; Miller, J.C.; Sciama, D.W. (1999). "Astrophysical evidence for the existence of black holes". Classical and Quantum Gravity

6) [Davies, P. C. W.](http://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Davies) (1978). ["Thermodynamics of Black Holes"](http://cosmos.asu.edu/publications/papers/ThermodynamicTheoryofBlackHoles%2034.pdf). [Reports on Progress in Physics](http://en.wikipedia.org/wiki/Reports_on_Progress_in_Physics) 41 (8): 1313–1355.

7) Hughes, Scott A. (2005). "Trust but verify: The case for astrophysical black holes".  Lecture notes from 2005 SLAC Summer Institute (SSI05-L006)

8) I. B. Khriplovich, A. A. Pomeransky, N. Produit and G. Yu. Ruban, Can one detect passage of small black hole through the Earth?Phys.Rev.D77:064017,2008: **pp?**

9) Kazanas, Demosthenes (2012). ["Toward a Unified AGN Structure"](http://astroreview.com/issue/2012/section/authors-a-m). Astronomical Review 7(2).

10) M.Yu.Khlopov «Primordial Black Holes». Res.Astron.Astrophys. (2010) V.10, PP. 495-528

11) S. W. Hawking. Particle Creation by Black Holes Comm. Math. Phys. Volume 43, Number 3 (1975), 199-220.

12) [Wald, Robert M.](http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Wald) (1984). [General Relativity](http://books.google.com/books?id=9S-hzg6-moYC). University of Chicago Press.

13) Watkins. R., Widrow L.M. (1992). Nucl. Phys. B374, 446

**Bibliographic data should be full**