

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра теоретической физики

«Использование гравитационных линз для исследования экзопланет»

АВТОРЕФЕРАТ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
БАКАЛАВРА

Студентки 4 курса 431 группы

направления 030302«Физика»

физического факультета СНИГУ имени Н.Г.Чернышевского

Харитоновой Екатерины Михайловны

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. Звание

В.В. Серов

подпись, дата

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д. ф.-м. н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

Л.М.Бабков

подпись, дата

инициалы, фамилия

Саратов 2017 год

Содержание

Введение	3
Структура и объем работы	3
Содержание работы.....	3
Список используемой литературы	7

Введение

Эффект гравитационного линзирования дает возможность ученым изучать космическое пространство и его объекты намного эффективнее современных телескопов. С помощью этого эффекта появляется возможность изучить распределение темной материи, реликтового излучения, а так же более детально рассмотреть поверхности удалённых квазаров.

Основной **целью** выпускной квалификационной работы является изучение механизма гравитационного линзирования, а так же его методы использования.

Задача дипломной работы

Рассмотрение возможностей запуска телескопа в гравитационный фокус Солнца.

Структура и объем работы

Дипломная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемой литературы. Общий объем работы составляет 42 страницы.

Содержание работы

Во **введении** описана история открытия эффекта гравитационного линзирования, а также его основные особенности.

В первой главе представлены расчеты гравитационного отклонения луча света. Получив формулу

$$\theta = \frac{4GM}{c^2 r_0},$$

мы выяснили, что максимальное отклонение луча света будет при касании лучом поверхности Солнца. Так как радиус Солнца R_{sun} равен ~ 700000 км,

$$\theta_{\text{то}} = \frac{2r_g}{R_{\text{sun}}} \approx 1,75$$

Во второй главе описан расчет увеличения гравитационной линзы. Необходимым условием возможности использования гравитационной линзы является прохождение света от удалённой мишени, приходящий в фокус над поверхностью Солнца, то есть r должно быть больше радиуса Солнца (около 700 000 км)

Угол гравитационного отклонения света, проходящего мимо массивного тела рассчитывался по формуле:

$$\theta = \left(\frac{4GM}{c^2}\right)\left(\frac{1}{r}\right)$$

где r – расстояние от прямой, по которой шёл свет до фокусировки, до центра Солнца.

Отсюда расстояние F до гравитационного фокуса :

$$F = \frac{1}{\left(\sqrt{\left(\frac{4GM}{c^2}\right)}\right)} r^2$$

Самым важным, пожалуй, является оценка увеличения гравитационной линзы, и как следствие, даваемого ею усиления. Увеличение – это угловой размер изображаемого объекта, как он видится в точке фокуса, делённый на его угловой размер в отсутствие оптической системы.

Гравитационная линза уменьшает видимый угловой размер исследуемого объекта в радиальном направлении и увеличивает в направлении окружности: $\Omega = 2\pi a w$.

Полное увеличение рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{A_0}{A_i} = \frac{(\pi ar)}{\sqrt{(\pi a^4)}} = \frac{(4\alpha)}{a}$$

где A_i - угловой размер источника, A_0 - размер кольцевой области (телесный угол), a - угловой диаметр мишени, α - угловой радиус кольца Эйнштейна.

В третьей главе представлены современные методы использования гравитационного линзирования. Первым методом, представленным в данной работе, стало изучение распределения темной материи. Вытянутость галактик вдоль какой-то оси может достаточно точно предсказать массу линзы и ее концентрацию в пространстве. Сравнивая получившуюся теоретическую массу с массой видимых галактик, которую мы умеем достоверно определять по данным оптических и инфракрасных телескопов, можно измерить массу темной материи и ее распределение в той галактике или скоплении галактик, которое выступает в качестве линзы. Тёмная материя составляет большую часть массы Вселенной, и всё же она может быть обнаружена только путем измерения её гравитационного воздействия на видимую материю и искажения пространства как в комнате смеха так, что свет от далёких объектов искажается. Рассматривая скопления галактик MACS J1206.2-0847 (или 1206 MACS) заметно, что кластеры действуют как гигантские космические линзы, искажая и искривляя любой свет, который проходит через них с помощью эффекта, известного как гравитационное линзирование. Присутствие темной материи можно проследить, наблюдая гравитационное линзирование по искривленным изображениям галактик фона. Гравитационное поле скопления, расположенного ближе к нам, действует как огромная линза, притягивающая свет далекой галактики и сильно искривляющая её изображения. Если скопление образует

непрерывные арки далеких галактик, это означает, что большая часть её массы представляет собой непрерывно распределенную тёмную материю, не концентрирующуюся к видимым желтым галактикам. Изучая такие гравитационные арки можно оценить распределение тёмной материи. Вторым методом, представленным в данной работе, стало изучение реликтового излучения. Реликтовое излучение — электромагнитное излучение, появившееся во Вселенной всего через 400 000 лет после Большого Взрыва — присутствует в каждом кубическом сантиметре пространства последние 13,6 миллиарда лет. Все это время оно распространяется в разные стороны и несет в себе «отпечаток» ранней Вселенной. Одним из ключевых направлений астрофизики последних десятилетий было изучение реликтового излучения с целью найти в нем неоднородности, которые могли бы объяснить, как из такой симметричной и анизотропной (в теории) изначальной Вселенной могла появиться такая неоднородная и неупорядоченная структура, где в одном месте скопление тысяч галактик, а в другом — пустота на многие кубические мегапарсеки.

В четвертой главе описаны предлагаемые применения эффекта гравитационного линзирования. Первым предлагаемым применением выступило использование гравитационного фокуса Солнца в качестве гравитационной линзы. Основной задачей этого метода является посылка зонда в гравитационный фокус солнца. В ходе работы мы выявили основные сложности использования данного метода: это исключение яркости Солнечной короны с помощью увеличения в 100 000 и коррекция фокусного размывания. Она возможна при условии, что телескоп в фокусе способен разрешать кольцо Эйнштейна. Но из-за радиального уменьшения, даваемого гравитационной линзой, ширина кольца Эйнштейна равна половине угловой ширины планеты, и тогда любой телескоп, способный разрешать ширину кольца Эйнштейна, мог бы давать изображение планеты и напрямую, без

всякой гравитационной линзы. С помощью достаточно продвинутой технологии обратной свёртки можно сделать изображение более чётким, благодаря тому, что часть изображения ближе к оси даёт пропорционально больший вклад в общее изображение, а также с возможным учётом вращения планеты. Перспективы использования метода гравитационного линзирования достаточно положительны. В 2015 году на заседании Spacenet, поднаправлении «Аэронет» Национальной технологической инициативы (НТИ) один из основателей Планетарного сообщества США Луис Фридман, и Вячеслав Турышев, сотрудник Лаборатории реактивного движения NASA предложили проект по полету к солнечному гравитационному фокусу. В перспективе проекта отправка зондов ракетой-носителем системы SLS до скоростей в 13 астрономических единиц в год позволит для исследования межзвездного пространства. Главной преградой на пути развития использования гравитационного фокуса солнца в качестве линзы помимо финансирования проектов является время, за которое зонд доберется до расстояния, равного гравитационному радиусу Солнца. Вторым предлагаемым применением гравитационного линзирования является использование гравитационного фокуса Солнца для передачи информации.

В заключении приводится перечень основных выводов, перспективы и сложности использования гравитационного линзирования.

Список используемой литературы

1. [Электронный ресурс] Geoffrey A. Landis. Mission to the Gravitational Focus of the Sun: A Critical Analysis. NASA John Glenn Research Center
- 2 [Электронный ресурс] М. Заболоцкий. Гравитационное линзирование, 2015

3 [Электронный ресурс] Matthias Bartelmann, Matteo Maturi. Weak gravitational lensing. Universitat Heidelberg, Zentrum fur Astronomie, Institut fur Theoretische Astrophysik

4 [Электронный ресурс] В. Е. Жаров. Сферическая астрономия, 2002

5 [Электронный ресурс] Edward Stone, Leon Alkalai, Louis Friedman. Study report prepared for the Keck Institute for Space Studies, 2015

6 [Электронный ресурс] С.Масконе. Galactic Internet made possible by star gravitational lensing, February 2013