

A central black hole is depicted as a dark, circular void. It is surrounded by a glowing, multi-layered accretion disk that emits a spectrum of colors from blue to red. The background is a vast field of stars of various colors and sizes, creating a sense of depth and cosmic scale.

Э. Т. Ахмедов

**О рождении
и смерти
черных дыр**

Эмиль Ахмедов

О рождении и смерти черных дыр

«МЦНМО»

2015

УДК 524
ББК 22.632

Ахмедов Э. Т.

О рождении и смерти черных дыр / Э. Т. Ахмедов — «МЦНМО»,
2015

ISBN 978-5-4439-0267-8

В этой книге сделана попытка рассказать о том, что такое черные дыры: как они устроены, какие у них свойства, как они образуются и как их наблюдают астрономы. Дано доступное и простое объяснение многим физическим свойствам черных дыр. Для старшеклассников и студентов младших курсов, увлекающихся физикой и математикой

УДК 524
ББК 22.632

ISBN 978-5-4439-0267-8

© Ахмедов Э. Т., 2015
© МЦНМО, 2015

Содержание

О чем эта книга и на кого она рассчитана	5
Как наглядно представить пространство-время и его искривление?	7
Конец ознакомительного фрагмента.	9

Э. Т. Ахмедов

О рождении и смерти черных дыр

О чем эта книга и на кого она рассчитана (Вместо предисловия)

Чтение научно-популярной литературы – мое любимое занятие с детства. Как, наверное, и многие ее любители, я заметил, что в то время как книжки по математике и по общей физике приводят материал с объяснением, доступным старшеклассникам, книги о современной фундаментальной физике, как правило, ведут обсуждение в повествовательной форме, сообщая лишь факты и не объясняя их происхождение. Безусловно, есть исключения, но, именно в силу этой причины, имеется некоторая мистическая аура вокруг, например, квантовой физики и гравитации. Эта аура скорее вредит привлекательности науки в глазах пытливого и здравомыслящего читателя, а не возбуждает его любознательность. При этом несомненно, что некоторые элементы упомянутых двух областей науки можно изложить наглядным и простым образом, доступным для интересующегося математикой и физикой старшеклассника. Именно на такого читателя и рассчитана данная книга.

Разумеется, наглядное изложение столь сложных предметов требует некоторой работы над способом преподнесения излагаемого материала. Необходимо было сделать какие-то упрощения или подобрать простые аналоги из повседневной жизни для явлений квантовой физики и гравитации. При этом было очень трудно избежать вульгаризации. Получилось ли у меня – судить искушенным читателям, но, несмотря на упрощения и наглядность, материал здесь изложен достаточно строго.

Лучшее, чего можно добиться при таком изложении, – это иллюзии понимания у любознательного читателя. Настоящее понимание, вернее глубокое непонимание, приходит только после кропотливых вычислений и рассмотрения наиболее общих и совсем не наглядных ситуаций. Цель же данной книжки заключается лишь в том, чтобы самые любознательные читатели приобрели впечатление о том, как устроены черные дыры и почему они имеют те свойства, которые им приписываются. Это потребует определенной мыслительной работы. Поэтому для облегчения чтения наиболее тяжелые для понимания места книжки выделены черными треугольниками ► ◄. Большая часть этого текста предназначена для читателей, знакомых с основами специальной теории относительности в объеме книги «Физика пространства-времени» Э. Тейлора и Дж. Уилера. (Мир, 1969 г.).

В данной книжке практически не будут упоминаться имена тех ученых, за которыми научное сообщество признает те или иные достижения, и не будут присутствовать ссылки на первоисточники, в частности потому, что не предполагается, что ее читатель способен сразу же перейти к изучению оригинальных научных работ. Конечно, это не очень справедливо по отношению к тем людям, которые проделали тяжелую работу на пути к пониманию столь таинственного и абстрактного предмета, но мы вообще постараемся обойтись без исторических экскурсов, так как это выходит за рамки книжки и сильно бы ее утяжелило. Благо на данную тему написано немало хорошей научно-популярной литературы.

В научно-популярной литературе является общепринятым изложение только хорошо понятых и устоявшихся фактов. В этом смысле я позволил себе определенную вольность и рассказал о нескольких пока еще плохо изученных явлениях. Например, в книге обсуждается то, как формируется черная дыра, а также излучение Хокинга. Об этом обязательно нужно было рассказать по многим причинам. В частности, у меня есть надежда, что, даже если в книжке

и будут сделаны некоторые неверные или не совсем корректные утверждения, это не создаст у основательного читателя ложных представлений о физике черных дыр. Напротив, надеюсь, что рассказ о таких явлениях даст читателю и некоторое представление о том, как устроен процесс научного познания.

Те, кто предпочитают смотреть лекцию, а не читать книгу, могут обратиться к интернет-ресурсу: http://infox.ru/science/enlightenment/2011/04/16/dsrtophysika6_Politech.phtml, где выложена видеoversия популярной лекции в Политехническом музее в Москве на тему книжки. Правда, в книге содержится больше материала, и он изложен последовательнее.

Я хотел бы выразить благодарность Сергею Ивановичу Блинникову за ликбез по физике звезд и за полезные замечания по тексту; Сергею Михайловичу Апенко, Евгению Александровичу Выродову и Валерию Анатольевичу Рубакову за замечания по педагогическому изложению материала и за полезные комментарии; Филиппу Бурде и особенно Эвелине Арушановой за оформление рисунков; Валерии Ахмедовой, Елене Сусловой и Константину Кузнецову за корректуру текста, а также Дмитрию Васильеву за помощь в публикации книги. Также я хотел бы поблагодарить Международный институт физики в Натале, Бразилия, и Институт Альберта Эйнштейна в Гольме, Германия, и лично Альваро Ферразу, Дмитрия Мельникова, Германа Николаи и Штефана Тайсена за гостеприимство в процессе работы над этой книгой.

Э. Г. Ахмедов

Как наглядно представить пространство-время и его искривление? (Вместо введения)

Все материальные объекты обладают энергией. В том числе электромагнитные волны, то есть и свет. В современном представлении объекты, несущие энергию, искривляют пространство-время, что является одним из основных положений общей теории относительности Эйнштейна. В свою очередь, в искривленном пространстве-времени, в отличие от плоского, физические тела, на которые не действуют никакие другие силы, двигаются неравномерно и непрямолинейно. Поэтому, например, луч света, проходящий мимо такого гравитирующего тела, как планета или звезда, претерпевает искривление, как изображено на рис. 1.

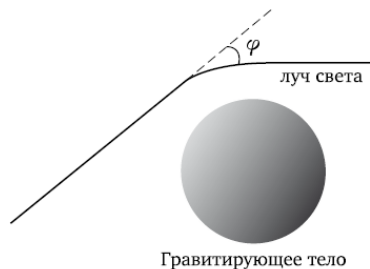


Рис. 1. Без гравитирующего тела траектория света была бы прямой. В его присутствии угол отклонения света φ определяется массой тела, а также расстоянием между его центром и лучом

Если мы предположим, что фотон (квант или частица света) ведет себя в гравитационном поле так же, как и частица с массой, равной его энергии E , деленной на квадрат скорости света c , $m=E/c^2$, и воспользуемся формулами из теории гравитации Ньютона, то получим не совсем верный результат для угла отклонения света в поле гравитирующего тела. Но так как мы будем обсуждать различные физические явления лишь качественно, а не количественно, то нам важен лишь сам факт существования отклонения лучей света в гравитационном поле, а не его величина.

Ученик старших классов должен знать, что вторая космическая скорость v_{II} – это скорость, которой необходимо обладать предмету, чтобы улететь с поверхности небесного тела, скажем планеты, на бесконечность. Она определяется из того, что кинетическая энергия предмета должна равняться разности его потенциальных энергий на бесконечности и на поверхности тела:

$$\frac{mv_{II}^2}{2} = G \frac{mM}{r}.$$

Здесь m и M – это массы рассматриваемых предмета и планеты соответственно; G – константа Ньютона; r – радиус рассматриваемого небесного тела.

Некоторые ученые уже на рубеже XVIII и XIX веков задумались над тем, как должны относиться радиус и масса планеты, чтобы даже свет не смог покинуть ее. То есть чтобы вторая

космическая скорость для этого гравитирующего тела была больше скорости света $v_{II} \geq c \approx 300000$ километров в секунду.

Из выписанных формул видно, что радиус такой планеты должен быть меньше, чем

$$r_{\text{ШВ}} = \frac{2GM}{c^2}$$

– радиус Шварцшильда для данной массы. Он назван в честь ученого, который первым нашел решение уравнений общей теории относительности, описывающее геометрию пространства-времени снаружи гравитирующего тела, имеющего форму шара.

Интересно, что из неверных соображений, с использованием лишь формул из ньютоновской физики, мы получили верный ответ для радиуса черной дыры соответствующей массы. Эти соображения неверны по той причине, что в сильных гравитационных полях и при скоростях, близких к скорости света, уже нельзя пользоваться такими выражениями для кинетической и потенциальной энергий, как использовались выше.

И все же полученная формула для размера черной дыры при заданной массе верна и будет нам полезна. Нетрудно посчитать, например, что для звезды с массой Солнца $2 \cdot 10^{30}$ килограмм радиус Шварцшильда приблизительно равен трем километрам. Сравните эту величину с настоящим размером Солнца – 700000 километров. В то же время для планеты с массой Земли радиус Шварцшильда равен нескольким миллиметрам.

Если какая-то сила сожмет небесное тело до соответствующего его массе радиуса Шварцшильда, то оно настолько искривит пространство-время, что даже свет не сможет его покинуть. Это и означает, что тело станет черной дырой. При каких условиях такие сжатия возможны и как они происходят, мы обсудим в следующих главах, а сейчас определим метод, которым мы будем изучать геометрию пространства-времени.

Как известно, пространство-время, в котором мы живем, имеет четыре измерения. То есть для определения какого-то события (точки в пространстве-времени), скажем прохождения светового цуга¹ на некотором расстоянии от гравитирующего тела в некоторый момент времени, необходимо задать три пространственных координаты, определяющих данное положение цуга в пространстве, и одну временную координату, определяющую данный момент времени.

¹ Цуг – пакет электромагнитных волн.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.