

**ЧЁРНОЕ ТЁЛО** — то же, что *абсолютно чёрное тело*.  
**ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ.**

**1. Введение**

Ч. д.—области пространства-времени, обладающие *горизонтом событий*, т. е. области с настолько сильным гравитац. полем, что даже свет не может их покинуть. Термин «Ч. д.» введён в 1968 Дж. Уилером (J. A. Wheeler).

Первое качественное предсказание возможности существования Ч. д. было дано Дж. Мичеллом (J. Mitchell) в 1783. Он утверждал, что если сжать Солнце до размеров ≈ 6 км в диаметре, то свет не сможет его покинуть. В 1799 П. С. Лаплас (P. S. Laplace) опубликовал работу, в к-рой была дана количеств. теория, основанная на законе Ньютона.

Результат Мичелла и Лапласа исключительно прост, и нет ничего удивительного, что Ч. д., к-рая является существенно релятивистским объектом, была предсказана задолго до создания общей теории относительности (ОТО). Полная энергия пробного тела с массой *m* в гравитац. поле тела массой *M* определяется как сумма его кинетич. и потенц. энергий:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2}mv^2(r) - \frac{GMm}{r} = \begin{cases} -\frac{GMm}{r_{\max}}, & \text{если } \mathcal{E} < 0 \\ \frac{1}{2}mv^2(\infty), & \text{если } \mathcal{E} \geq 0, \end{cases}$$

где *G*—гравитац. постоянная Ньютона. В первом случае пробное тело движется по орбите вокруг гравитирующей массы *M*. Во втором случае скорость пробного тела *v*(*r*) удовлетворяет условию

$$v(r) \geq \left(\frac{2GM}{r}\right)^{1/2} \equiv v_0(r),$$

где *v*<sub>0</sub>(*r*) фактически представляет то, что мы теперь называем второй космич. скоростью. Если для некого радиуса *r* скорость *v*<sub>0</sub> достигает скорости света *c*, то никакая частица, включая фотон, не может покинуть объект радиусом

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} \approx 2,95 \left(\frac{M}{M_\odot}\right) \text{ км}, \quad (1)$$

называемым гравитац. радиусом (*M*<sub>⊙</sub>—масса Солнца).

В 1939 существование Ч. д. было предсказано Р. Оппенгеймером (J. R. Oppenheimer) и Г. Снайдером (H. Snyder) в рамках ОТО. Они показали, что Ч. д. образуется в процессе неограниченного гравитац. сжатия вещества в таких ситуациях, когда противодействие внутр. давления сжатию оказывается недостаточным. Согласно совр. представлениям, Ч. д. возникают либо из нач. возмущений распределения плотности вещества на ранних стадиях эволюции Вселенной, если она в то время была сильно неоднородной (идея первичных Ч. д. была высказана Я. Б. Зельдовичем и И. Д. Новиковым в 1966), либо являются конечным продуктом эволюции достаточно массивных (больше неск. *M*<sub>⊙</sub>) звёзд и звёздных скоплений (сверхмассивные Ч. д. массой ~10<sup>6</sup>—10<sup>9</sup> *M*<sub>⊙</sub>).

Интенсивное изучение Ч. д. началось после открытия квазаров в 1963. Их светимости характеризуются величинами порядка 10<sup>45</sup>—10<sup>47</sup> эрг/с. Как показали расчёты, столь мощное энерговыделение могут обеспечить сверхмассивные Ч. д. Круг явлений, непосредств. участниками к-рых могут быть Ч. д., достаточно широк. Кроме процессов, обеспечивающих активность квазаров и ядер галактик, к ним относятся космич. источники рентг. и гамма-излучения, гравитац. линзы, а также возможные космич. источники гравитац. излучения.

Поиск Ч. д. является одной из гл. задач астрономии последних десятилетий. Окончат. подтверждение открытия первой Ч. д. в созвездии Лебеда является, по-видимому,

делом ближайшего будущего. Скрупулёзное сравнение моделей с результатами наблюдений продолжается, ибо открытие Ч. д.—это эпохальное событие не только для астрономии и физики, но и для естествознания вообще.

Непосредственно наблюдать Ч. д. практически невозможно. Ч. д. можно обнаружить лишь по косвенным проявлениям, связанным с влиянием их сильного гравитац. поля на движение окружающего вещества и распространение излучения. Считается весьма вероятным, что космич. Ч. д. могут обладать собств. вращением. Вращающаяся Ч. д. может естественно образоваться при *гравитационном коллапсе* вращающейся одиночной звезды или звезды в двойной системе. Наличие угл. момента у Ч. д. требуется прежде всего для моделей квазаров, имеющих «радиоуши»—генетически связанные с квазарами радиоисточники, расположенные на расстояниях от 100 кпк до неск. Мпк от центр. источника, снабжающего их энергией. Наличие оси вращения у Ч. д. может обеспечить запоминание выделенного направления в течение всего времени жизни радиоисточника. Кроме того, вращение Ч. д. во внеш. эл.-магн. поле сопровождается эффектами, аналогичными *униполярной индукции*. Вращающаяся Ч. д. массой *M* и с угл. моментом *I* во внеш. магн. поле *H* при наличии пост. притока электрич. заряда работает как электрич. батарея мощностью

$$W \approx 10^{40} \left(\frac{M}{10^6 M_\odot}\right)^2 \left(\frac{I}{I_{\max}}\right)^2 \left(\frac{H}{10^4}\right)^2 \text{ эрг} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Следует отметить, что круг физ. явлений с участием Ч. д., по-видимому, не ограничивается явлениями космич. масштаба. В сер. 60-х гг. М. А. Марковым и С. Хокингом (S. Hawking) были высказаны идеи о возможности фундам. связи физики Ч. д. с физикой элементарных частиц. Исследования последних лет обнаружили существование тесной связи между Ч. д. и самогравитирующими частицеподобными структурами с неабелевыми полями. Интенсивно исследуется проблема устойчивости таких структур.

**2. Геометрия чёрных дыр**

Хотя Ч. д. заслуженно считается одним из наиб. экзотических объектов, населяющих космос, по своим внеш. проявлениям этот объект достаточно прост, поскольку его гравитац. поле в общем случае полностью определяется всего тремя величинами: массой *M*, угл. моментом *I* и комбинацией электрич. и магн. зарядов *Q*<sup>2</sup> + *P*<sup>2</sup>. Это свойство Ч. д. следует из того, что в процессе коллапса излучаются все физ. поля, кроме статического электрического и/или магнитного (если коллапсировавшее тело обладало электрич. и/или магн. зарядом).

Согласно ОТО, пробные тела в гравитац. поле движутся по *геодезическим линиям* геометрии пространства-времени, создаваемой распределением и движением материи в соответствии с ур-ниями Эйнштейна:

$$G_{\alpha\beta} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\alpha\beta}, \quad (2)$$

где *T*<sub>αβ</sub>—тензор энергии-импульса материи, *G*<sub>αβ</sub>—тензор Эйнштейна. Геометрия характеризуется метрич. тензором *g*<sub>αβ</sub>, определяющим метрику как инвариантный 4-интервал

$$ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta \quad (\alpha, \beta = 0, 1, 2, 3).$$

Геометрия сферически-симметричной невращающейся и незаряд. Ч. д. описывается метрикой Шварцшильда (см. также *Шварцшильдова пространство-время*):

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{r_g}{r}\right)} - r^2 (d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (3)$$

где *r*<sub>g</sub> определяется ф-лой (1). Эта метрика описывает гравитац. поле Ч. д. в координатах удалённого наблюдателя. По его часам время Δ*t* распространения сигнала,