

Г. ф. разреженного межзвёздного газа происходит, напр., при движении сквозь него звёзд и Солнца. Солнце своим тяготением собирает поток газа вдоль луча, направленного в сторону, противоположную движению Солнца. Уплотнение потока газа вдоль луча фокусируется непосредственно наблюдается по его излучению приборами, установленными на космических аппаратах.

При прохождении света вблизи гравитирующего тела траектория фотонов искривляется, свет притягивается к телу. Для обычных тел угол отклонения α мал, он выражается ф-лой

$$\alpha = 4GM/c^2b \text{ (радиан)},$$

где b — прицельный параметр, M — масса тяготеющего тела, G — гравитационная постоянная. В случае точечного источника света A , лучи к-рого идут к наблюдателю мимо тяготеющего тела B и огибают его с противоположных сторон, наблюдатель увидит два изображения точечного источника. Если источник света протяжённый, то наблюдатель увидит два сильно астигматич. изображения объекта. Тело B , к-рое своим тяготением искривляет лучи, получило назв. г р а в и т а ц и о н н о й л и н з ы. Если гравитирующая масса линзы B не сосредоточена в центре объекта, а распределена по нек-рому объёму, и лучи света могут свободно проходить через эту массу (такой случай реализуется для большей части объёма галактик или скоплений галактик), то траектории лучей будут более сложными. Наблюдатель сможет увидеть два или три изображения светящегося объекта. Третий луч может проходить через центр. часть гравитац. линзы, почти не отклоняясь от своего пути.

Проявление, по крайней мере, одной гравитац. линзы уже обнаружено. Открыта пара квазаров QSO 0957+561 A, B, находящихся на 5,7" друг от друга, имеющих идентичные спектры с красным смещением $z=1,41$. Отношение потоков от компонент A и B в радио-, ИК-, оптич.- и УФ-диапазонах практически одинаково ($\approx 0,8$), что является сильным подтверждением гипотезы гравитационной линзы. Гравитац. линзой в этом случае является галактика (или скопление галактик), лежащая по дороге от квазара к нам и создающая его двойное изображение.

Г. ф. света своеобразно проявляется при его распространении в пространстве, заполненном прозрачной для света тяготеющей материей, напр. в однородной расширяющейся Вселенной, в плотности к-рой осн. вклад вносит не обычное вещество, а частицы типа нейтрино (если они обладают массой, см. Космология). Тяготение материи, находящейся в конусе лучей, искривляет их. Чем дальше объект, тем большая масса содержится в конусе лучей, тем больше искривление. Это приводит к тому, что, начиная с нек-рого расстояния во Вселенной, более далёкий объект имеет большие угловые размеры, чем такой же объект, расположенный ближе.

Открытие гравитац. линз является ещё одним подтверждением *общей теории относительности*.

Лит.: Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., Теория тяготения и эволюция звезд, М., 1971; Муханов В. Ф., Двойной квазар QSO 0957+561 A, B — гравитационная линза?, «УФН», 1981, т. 133, с. 729. И. Д. Новиков.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ элементарных частиц — тип фундам. взаимодействий (наряду с сильным, эл.-магн. и слабым), к-рый характеризуется участием гравитац. поля (поля тяготения) в процессах взаимодействия. По совр. представлениям, любое взаимодействие частиц осуществляется путём обмена между ними виртуальными (или реальными) частицами — переносчиками взаимодействия. Так, переносчиком эл.-магн. взаимодействия является квант эл.-магн. поля — фотон, переносчиком слабого взаимодействия в совр. объединённой теории электрослабозо взаимодействия — *промежуточные векторные бозоны*. Предполагается, что сильное взаимодействие переносят глюоны, «склеивающие» кварки внутри адронов. Для

Г. в. вопрос о переносчиках далеко не прост, и сама теория Г. в. в том виде, в каком она существует в настоящее время, занимает особое место в физ. картине мира.

Формально Г. в. — самое слабое из четырёх фундам. взаимодействий. Действительно, согласно закону всемирного тяготения Ньютона, сила F_g взаимодействия двух точечных масс (размеры к-рых малы по сравнению с расстоянием r между ними) равна

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}, \quad (1)$$

где m_1, m_2 — массы частиц, $G \approx 6,67 \cdot 10^{-8}$ см³/г.с² — гравитационная постоянная. Отношение F_g для двух протонов к кулоновской силе электростатич. взаимодействия между ними равно 10^{-36} . Этого соотношения не изменяет и учёт релятивистских эффектов вплоть до расстояний, равных *комптоновской длине волны* протона. Величину \sqrt{Gm} можно назвать «г р а в и т а ц и о н н ы м з а р я д о м». При таком определении «заряда» ф-ла (1) совпадает с законом Кулона для взаимодействия электрич. зарядов (при этом слово «электрический» всюду следует заменить словом «гравитационный»). Гравитац. заряд пропорционален массе тела. Поэтому, по второму закону Ньютона, ускорение, вызываемое силой (1), не зависит от массы ускоряемого тела. Этот факт, проверенный с большой точностью, наз. *эквивалентности принципом*. Его релятивистское обобщение вследствие соотношения между массой и энергией, $E=mc^2$, требует, чтобы в релятивистской теории Г. в. гравитац. заряд был пропорционален энергии, т. е. полной массе m , а не массе покоя, как в ф-ле (1). Это обуславливает универсальность Г. в. Нет такого вида материи, к-рый имел бы нулевой гравитац. заряд. Именно это свойство Г. в. отличает его от др. фундам. взаимодействий элементарных частиц. Кроме того, при больших энергиях частиц Г. в. уже нельзя считать слабым. При энергии $E=ec^2/\sqrt{G} \approx 10^{18}$ ГэВ гравитац. заряд частицы $\sqrt{GE/c^2}$ становится равным её электрич. заряду e , и при очень высоких энергиях Г. в. может стать основным.

Важнейшее свойство гравитац. поля состоит в том, что оно определяет геометрию пространства-времени, в к-ром движется материя. Геометрия мира не может быть задана изначально и изменяется при движении материи, создающей гравитац. поле (см. Тяготение). А. Эйнштейн сделал такой вывод из свойства универсальности Г. в. и построил релятивистскую теорию гравитации — общую теорию относительности (ОТО). Эксперименты подтверждают справедливость ОТО в случае слабых гравитац. полей (когда гравитац. потенциал по абс. величине много меньше c^2). Для сильных полей она ещё не проверена, поэтому мыслимы и др. теории Г. в.

ОТО возникла как обобщение спец. теории относительности. Др. теории гравитации возникали и возникают как отражение успехов физики элементарных частиц, как теоретической, так и экспериментальной. Напр., теория гравитации Эйнштейна — Картана — Траутмана (т. н. гравитация с кручением; Эйнштейн, Э. Картан, А. Траутман, 1922—72) расширяет принцип эквивалентности в том смысле, что гравитац. поле в этой теории взаимодействует не только с энергией (тензором энергии-импульса) частиц, но и с их спином. В т. н. $f-g$ теории гравитации К. Дж. Айшема, А. Салама и Дж. Стразди (1973) предполагается существование двух гравитац. полей: носители одного из них — безмассовые частицы спина 2 (обычная, «слабая» гравитация ОТО), это поле взаимодействует с *лептонами*, а др. поле переносится массивными частицами спина 2 («сильная» гравитация) и взаимодействует с адронами. Истоки этой теории в аналогии с *векторной доминантностью моделью* в эл.-магн. взаимодействии, её появление вызвано открытием f -мезона — массивной частицы со спи-