

Наблюдения подтверждают неизменность  $G$  с точностью

$$\left| \frac{dG}{dt} \cdot \frac{1}{G} \right| < 10^{-11} \text{ лет}^{-1}.$$

Кроме этих экспериментов по проверке основ теории существует ряд опытных проверок её выводов. Теория предсказывает искривление луча света при прохождении вблизи тяжёлой массы. Аналогичное отклонение следует и из ньютоновой теории  $T$ , однако теория Эйнштейна предсказывает вдвое больший эффект. Многочисл. наблюдения этого эффекта при прохождении света от звёзд вблизи Солнца (во время полных солнечных затмений) подтвердили предсказание теории Эйнштейна (отклонение на  $1,75''$  у края солнечного диска) с точностью  $\sim 11\%$ . Граздо большая точность была достигнута с помощью совр. техникой наблюдения внеземных точечных радиоисточников. Этим методом предсказание теории подтверждено с точностью (по данным 1984) ок.  $0,3\%$ .

Другим эффектом, тесно связанным с предыдущим, является большая длительность времени распространения света в поле  $T$ , чем это дают  $F$ -лы без учёта эффектов теории Эйнштейна. Для луча, проходящего вблизи Солнца, эта задержка составляет ок.  $2 \cdot 10^{-4}$  с. Эксперименты проводились с помощью радиолокации планет Меркурий и Венера во время их прохождения за диском Солнца, а также с помощью ретрансляции радиолокац. сигналов космич. кораблями, в т. ч. кораблями, движущимися вокруг планеты Марс. Предсказание теории подтверждено (по данным 1979) с точностью  $0,1\%$ .

Наконец, ещё одним эффектом является предсказываемый теорией Эйнштейна медленный дополнительный (не объясняемый гравитац. возмущениями со стороны др. планет Солнечной системы) поворот эллиптич. орбит планет, движущихся вокруг Солнца. Наиб. величину этот эффект имеет для орбиты Меркурия —  $43''$  в столетие. По совр. данным это предсказание подтверждено экспериментально с точностью до  $0,5\%$ . На точность проверки этого эффекта влияет неопределённость знания величин квадрупольного момента Солнца. Согласно стандартной модели, квадрупольный момент Солнца мал и его вклад в поворот орбиты Меркурия на  $3-4$  порядка меньше, чем предсказываемый теорией Эйнштейна. Однако нек-рые наблюдат. данные указывают на возможность того, что квадрупольный момент Солнца значителен и его влияние на поворот орбиты Меркурия сравнимо с предсказаниями теории Эйнштейна. Наблюдения, определяющие квадрупольный момент Солнца, очень трудны, и вопрос о его величине до сих пор остаётся открытым.

Эффекты теории Эйнштейна должны быть весьма значительными при движении звёзд в тесных двойных системах. Проверка этих эффектов с наиб. точностью возможна при изучении движения пульсара PSR 1913+16 в двойной системе. Здесь поворот орбиты за счёт эффектов теории Эйнштейна составляет  $4,2^\circ$  в год, и за 14 лет наблюдений (1975—89) поворот составил почти  $60^\circ$ . Наблюдения этого пульсара впервые подтвердили предсказываемую теорией Эйнштейна потерю энергии двойной системой за счёт излучения гравитац. волн. Следствие этого эффекта должен уменьшаться со временем период обращения звёзд. Наблюдения подтверждают предсказание с точностью до  $1\%$ .

$T$  о., все имеющиеся эксперим. данные подтверждают правильность как положений, лежащих в основе теории тяготения Эйнштейна, так и её наблюдат. предсказаний. Следует отметить, что пока эксперим. данные относятся почти исключительно к сравнительно слабым полям  $T$  с  $|\phi| \ll c^2$ . Неоднократно делались попытки построить теорию  $T$ , обобщающую теорию Ньютона на случай сильных полей, но отличную от общей теории относительности. В нек-рых из этих теорий все поправки к ньютоновой теории, к-рые проверены экспериментально, совпадают с поправками, предсказываемыми теорией Эйнштейна, и, т. о., эти данные ещё не указывают однозначно на безусловную справедливость общей теории относительности. Попытки построения др. теорий  $T$  выявили ряд важных особенностей теории Эйнштейна. Существуют

альтернативные формулировки этой теории, напр. т. н. полевая формулировка [7]. Нек-рых авторов не удовлетворяет подход к проблеме энергии в общей теории относительности, отличный от подхода в полевых теориях, и поэтому предлагается др. теория  $T$ . (см., напр., [10], [11]).

На протяжении более 80 лет теория Эйнштейна демонстрирует свою необычайную стройность, экономность построения, красоту. Все её предсказания подтверждаются, и нет ни одного факта, противоречащего ей. Более того, вероятное открытие астрофизиками чёрных дыр продемонстрирует справедливость предсказаний теории и в области сильных полей  $T$ .

Лит.: 1) Эйнштейн А., Собрание научных трудов, т. 1—4, М., 1965—67; 2) Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория поля, 7 изд., М., 1988; 3) Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж., Гравитация, пер. с англ., т. 1—3, М., 1977; 4) Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., Теория тяготения и эволюция звезд, М., 1971; 5) Брумберг В. А., Релятивистская небесная механика, М., 1972; 6) Новиков И. Д., Фролов В. П., Физика чёрных дыр, М., 1986; 7) Гришук Л. П., Петров А. Н., Гамильтоново описание гравитационного поля и калибровочные симметрии, «ЖЭТФ», 1987, т. 92, с. 9; 8) Гришук Л. П., Гравитационно-волновая астрономия, «УФН», 1988, т. 156, в. 2, с. 297; 9) Will C., Experimental gravitation, from Newton's principles to Einstein's general relativity, в кн.: Three hundred years of gravitation, Camb., 1987, p. 80; 10) Логунов А. А., Мествиришвили М. А., Основы релятивистской теории гравитации, 2 изд., М., 1986; 11) Зельдович Я. Б., Гришук Л. П., Тяготение, общая теория относительности и альтернативные теории, «УФН», 1986, т. 149, в. 4, с. 695. И. Д. Новиков.

**ТЯЖЁЛЫЕ ИОНЫ** — атомы хим. элементов с массой, большей, чем у атома He. Ускорители тяжёлых ионов создают пучки  $T$  и с интенсивностями до  $10^{12}-10^{13}$  частиц/с и с энергиями до неск. десятков ГэВ на нуклон ускоряемого иона (и выше). Такие ускорители работают в Ин-те тяжёлых ионов в Дармштадте (Германия), в международных центрах ядерных исследований в Женеве и Дубне.

$T$  и. дают возможность изучать атомные ядра, далеко отстоящие от линии стабильности, и осуществлять синтез *трансурановых элементов* с атомными номерами  $Z > 100$ , особенно в области  $Z > 110-120$ , где теория предсказывает существование относительно долгоживущих ядер («остров стабильности»). С помощью  $T$  и. синтезированы элементы с  $Z = 102-112$ .

$T$  и. позволяют исследовать свойства короткоживущих ядерных систем, состоящих из  $300-500$  нуклонов. Образовавшись в результате взаимодействия налетающего  $T$  и. с тяжёлым ядром-мишенью, такие «сгустки нуклонов» могут обладать большим угл. моментом и принимать не обычные геом. формы, а, напр., форму гантели (один шар как бы «скользит» по поверхности другого). Время жизни системы из двух не слившихся тяжёлых ядер может быть достаточно большим для того, чтобы вокруг такой «квазимолекулярной» системы успела образоваться часть общей электронной оболочки. Рентг. излучение, связанное с квантовыми переходами электронов в этой оболочке, даёт сведения о свойствах сверхтяжёлых атомов с  $Z > 100$ .

В реакциях с  $T$  и. действуют электрич. поля, к-рые являются наиб. сильными среди всех электрич. полей, известных во Вселенной. Это открывает возможность проверки законов квантовой электродинамики, позволяет исследовать нелинейные и др. эффекты, к-рые могут возникать лишь в очень сильных полях.

Пучок  $T$  и. оказывает сильное термич. и механич. воздействие на кристаллич. решётку. При этом может изменяться его хим. состав по заранее заданной программе. Пучок  $T$  и. может быть сфокусирован в узкий луч диам. в неск. мкм.  $T$  и. могут воздействовать практически на любое свойство вещества, зависящее от его структуры и хим. состава. При этом радиац. воздействие  $T$  и. на вещество тем сильнее, чем тяжелее ион.

Используя ионы с энергиями  $\sim 10$  МэВ/нуклон, можно изменять свойства материала на глубине до неск. десятков мкм. Ускорители  $T$  и. высоких энергий позволяют воздействовать на очень глубокие внутр. слои облучаемых мате-