

(1):  $\Phi_{11} + \Phi_{22} + \Phi_{33} = 4\lambda G\rho$ . Эту неопределённость в нахождении  $\Phi_{ik}$  и следует называть Г. п.

Иногда утверждают, что отсутствие Г. п. в ОТО обусловлено тем, что в этой теории скорость распространения тяготения конечна (ур-ния ОТО — гиперболич. типа), в отличие от ньютоновской теории (ур-ние Пуассона — эллиптическое). Такое объяснение некорректно. Согласно ОТО, со скоростью света распространяется только изменение гравитац. поля. Сама же «кулоновская часть», соответствующая ньютоновскому закону обратных квадратов расстояния, с самого начала простираясь в бесконечность, нигде не распространяется. Математически это выражается в том, что в ОТО нач. данные для решений ур-ний поля, задаваемые в нек-рый момент времени ( $t = \text{const}$ ), должны удовлетворять системе ур-ний, в к-рую входит и ур-ние эллиптич. типа, аналогичное ур-нию Пуассона ньютоновской теории. В действительности причиной отсутствия Г. п. в ОТО является то, что ур-ния пишутся сразу для наблюдаемых величин и кол-во ур-ний достаточно для определения всех этих величин.

Лит.: Зельманов А. Л., Релятивистский гравитационный парадокс и общая теория относительности, «НДВШ. Физ.-мат. науки», 1958, № 2, с. 124; Зельдович Я. В., Новиков И. Д., Строение и эволюция Вселенной, М., 1975; Новиков И. Д., Эволюция Вселенной, 2 изд., М., 1983.

И. Д. Новиков.

**ГРАВИТАЦИОННЫЙ РАДИУС** в общей теории относительности (см. Тяготение) — радиус сферы, на к-рой сила тяготения, создаваемая сферической невращающейся массой, целиком ложится внутри этой сферы, стремится к бесконечности. Г. р. определяется массой тела  $m$  и равен:  $r_g = 2Gm/c^2$ , где  $G$  — гравитационная постоянная. Г. р. обычных астр. объектов ничтожно малы по сравнению с их действит. размерами; так, для Земли  $r_g \approx 0,9$  см, для Солнца  $r_g \approx 3$  км. Если тело сжать до размеров Г. р., то никакие силы не смогут остановить его дальнейшего сжатия под действием сил тяготения. Такой процесс, называемый релятивистским гравитационным коллапсом, может происходить с достаточно массивными звёздами (как показывает расчёт, с массой больше двух солнечных масс) в конце их эволюции; если, исчерпав ядерное «горючее», звезда не взрывается и не теряет массу, то, сжимаясь до размеров Г. р., она должна испытывать релятивистский гравитац. коллапс. При гравитац. коллапсе из-под сферы радиуса  $r_g$  не может выходить никакое излучение, никакие частицы. С точки зрения внеш. наблюдателя, находящегося далеко от звезды, с приближением размеров звезды к  $r_g$  время неограниченно замедляет темп своего течения. Поэтому для такого наблюдателя радиус коллапсирующей звезды приближается к Г. р. асимптотически, никогда не становясь меньше его.

И. Д. Новиков.

**ГРАВИТАЦИЯ** (от лат. gravitas — тяжесть) — то же, что тяготение.

**ГРАВИТИНО** — гипотетическая электрически нейтральная частица с нулевой массой покоя, квант поля со спином  $3/2$ , фермионный партнёр гравитона в теориях супергравитации — суперсимметричных расширениях теории тяготения (см. Суперсимметрия). Расширенная  $N$ -супергравитация содержит  $N$  Г. ( $N \leq 8$ ). Из-за ненулевой спиральности Г. вклад от обмена Г. в космологич. процессы, близкие к статическим, пренебрежимо мал (т. к. такие процессы происходят лишь путём обмена состоянием с нулевой спиральностью, к-рое может образовывать только пара Г.). При нарушении суперсимметрии Г. приобретает массу. Величина этой массы является важным феноменологич. параметром во многих суперсимметричных моделях великого объединения.

Лит.: van Nieuwenhuizen P., Supergravity, «Phys. Repts», 1981, v. 68, p. 191; Nilles H. P., Supersymmetry, supergravity and particle physics, «Phys. Repts», 1984, v. 110, p. 1.

В. И. Огивецкий.

**ГРАВИТОН** — гипотетическая электрически нейтральная частица с нулевой массой покоя, квант гравитац. поля в квантовой теории гравитации. Г. описы-

вается симметричным тензорным полем — отклонением метрики пространства-времени от плоской. Свободный Г. (см. Гравитационные волны) распространяется в вакууме со скоростью света, поперечен и имеет спиральность  $\pm 2$ . Виртуальный Г. имеет шесть степеней свободы и переносит спины 2 и 0. В ньютоново притяжение между статич. объектами вносят вклад виртуальные Г. только со спиральностью 0. Образование и поглощение Г. при соударении частиц должно стать заметным при энергиях порядка планковской массы ( $\sim 10^{19}$  ГэВ). Интенсивность таких процессов в доступной области энергий слишком мала для их эксперим. обнаружения.

Лит.: Бронштейн М., Квантование гравитационных волн, «ЖЭТФ», 1936, т. 6, с. 195; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория поля, 6 изд., М., 1973; Вейнберг С., Гравитация и космология, пер. с англ., М., 1975; Миннер Ч., Торн К., Уилер Дж., Гравитация, пер. с англ., т. 1—3, М., 1977; Ogievetsky V., Polubarinov I., Interacting field of spin 2 and Einstein equations, «Ann. Phys.», 1967, v. 35, p. 167.

**ГРАДАН** (грип) (от англ. Gradient-index) — оптич. элемент из прозрачного материала (стекла, пластмассы, кристалла) с определ. законом распределения коэф. преломления  $n$ . В зависимости от направления изменения  $n$  в оптич. элементе Г. делятся на радиальные, аксиальные и сферические ( $n$  изменяется соответственно по радиусу, вдоль оси и по объёму). Аксиальные Г. со сферич. поверхностью эквивалентны по абберациям асферич. линзам (т. е. часть аббераций устранена по сравнению с обычными линзами). Радиальные Г. в виде цилиндрич. отрезка эквивалентны линзе, свободной от аббераций, фазовых и амплитудных искажений. Г. в виде безоболочечных (одножильных) многомодовых световодов (сельфоксов) способны самостоятельно формировать и транспортировать изображение. В них все возбуждаемые моды имеют равные скорости распространения. Г. применяются в построении объективов, в линиях дальней оптич. связи, в элементах эндоскопов. Подробнее см. Оптика неоднородных сред.

Лит.: Сোধа М. С., Гхатак А. К., Неоднородные оптические волноводы, пер. с англ., М., 1980; Ильин В. Г. и др., Оптика градуанов, «УФН», 1985, т. 23, с. 106; Моогс Д., GRIN — 4: gradient index optica imaging systems, «Applied Optics», 1984, v. 23, p. 1699.

И. А. Диденко.

**ГРАДИЕНТ** (от лат. gradient, род. падеж gradientis — шагающий) — одна из осн. операций векторного анализа, сопоставляющая скалярному полю  $\varphi(\mathbf{r}) = \varphi(x_1, x_2, x_3)$  векторное поле  $\text{grad } \varphi$  (используют также обозначения  $d\varphi/d\mathbf{r}$ ,  $\nabla\varphi$ ), компоненты к-рого равны

$$\text{grad } \varphi = \frac{d\varphi}{d\mathbf{r}} = \left\{ \frac{\partial \varphi}{\partial x_1}, \frac{\partial \varphi}{\partial x_2}, \frac{\partial \varphi}{\partial x_3} \right\}.$$

Вектор  $\text{grad } \varphi$  в каждой точке указывает направление, в к-ром поле  $\varphi$  возрастает наиб. быстро, т. е. направление, ортогональное поверхности уровня  $\varphi = \text{const}$ , проходящей через данную точку. Длина вектора  $\text{grad } \varphi$  равна скорости возрастания  $\varphi$  в этом направлении. Скорость возрастания  $\varphi$  в направлении произвольного единичного вектора  $\mathbf{n}$  равна  $\mathbf{n} \text{ grad } \varphi$ . Операция Г. обладает след. свойствами:

$$\begin{aligned} \text{grad}(\varphi + \psi) &= \text{grad } \varphi + \text{grad } \psi, \\ \text{grad}(\varphi\psi) &= \varphi \text{ grad } \psi + \psi \text{ grad } \varphi, \\ \text{grad}(f(\varphi)) &= f'(\varphi) \text{ grad } \varphi, \\ \text{rot grad } \varphi &= 0. \end{aligned}$$

М. Б. Менский.

**ГРАДИЕНТНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ** — сохранение эл.-магн. полей при градиентном преобразовании потенциалов. Один из видов калибровочной инвариантности.

Напряжённость электрич. поля  $\mathbf{E}$  и магн. индукция  $\mathbf{B}$  выражаются через скалярный потенциал  $\varphi$  и векторный потенциал  $\mathbf{A}$ :

$$\mathbf{E} = -c^{-1} \partial \mathbf{A} / \partial t - \nabla \varphi, \quad \mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}. \quad (1)$$

Здесь использована Гаусса система единиц. Преобразование потенциалов

$$\mathbf{A}' = \mathbf{A} - \nabla \psi, \quad \varphi' = \varphi + c^{-1} d\psi/dt, \quad (2)$$