

непосредственным физическим смыслом, но позволяет увеличить число компонент метрического тензора. К этому направлению относятся работы Клейна [14], Фока [15], Манделя [16] и других.

В 1928 г. Эйнштейн предложил еще один вариант единой теории поля. Как известно, риманова метрика позволяет сравнивать величины линейных элементов, которые построены в точках, отделенных конечными расстояниями. Однако сравнение таких элементов по направлениям невозможно; в частности, нельзя говорить об их параллелизме. В геометрии Вейля линейные элементы, отделенные конечным расстоянием, нельзя сравнивать не только по направлениям, но и по величине. Эйнштейн, отправляясь от геометрии Римана, избирает противоположный путь: удерживая риманову метрику, он дополняет ее условием сравнимости линейных элементов также по направлениям, вводя понятие о параллелизме вдали [17]. В развитии теории поля, основанной на этой геометрии, кроме Эйнштейна [18], принимали участие Леви-Чивита [19], Майер [20] и другие.

Можно упомянуть о попытке построить теорию поля с использованием понятий кривизны и кручения пространственно-временного континуума [21], а также о теории Эйнштейна и Майера [22], в которой для совместного описания гравитации и электромагнетизма в четырехмерном континууме вводится вектор с пятью компонентами.

Не занимаясь дальнейшим перечислением вариантов единой теории поля, отметим, что в одной из последних работ [23] Эйнштейн дал новое изложение обобщенной теории тяготения при помощи несимметричного метрического тензора, содержащего симметричную и антисимметричную компоненты. Считая эту теорию удовлетворительной, Эйнштейн указывал, что только математическая сложность обобщенных уравнений поля не позволила ему применить теорию к конкретным задачам и найти следствия, пригодные для сравнения с опытом.

Ни одна из предлагавшихся до настоящего времени единых теорий не привела к результатам, представляющим непосредственный интерес с точки зрения физики или астрономии. Причиной этого является, по-видимому, то обстоятельство, что единые теории разрабатывались как чисто математические обобщения ОТО на основе той или иной формальной гипотезы и не содержали новых физических принципов или идей о связи между гравитацией и электромагнетизмом.

**4. Переменная гравитация.** В 1937 г. Дирак высказал гипотезу об изменении гравитации со временем [24]. Поводом для такого предположения послужило сравнение безразмерных величин, которые могут быть составлены из физических констант в комбинации с постоянной Хаббла.

Отношение кулоновского отталкивания двух электронов к силе тяготения, действующей между этими частицами, равно  $\frac{e^2}{\gamma m^2}$  и составляет около  $4 \cdot 10^{42}$ . Комбинируя массу и заряд электрона со скоростью света и постоянной Хаббла, нетрудно получить другую безразмерную величину  $\frac{mc^3}{e^2 H}$ , равную приблизительно  $3 \cdot 10^{40}$ . Допуская, что близкие значения этих величин выражают некое общее свойство мира, Дирак принимает соотношение  $\frac{e^2}{\gamma m^2} \sim \frac{mc^3}{e^2 H}$ , считая, что оно сохраняется в процессе эволюции Вселенной. Поскольку же постоянная Хаббла в релятивистской космологии переменна, это соотношение требует, чтобы со временем изменялась одна или несколько из числа других входящих в него констант. В частности, можно положить  $\gamma \sim H$ , связав, таким образом, закон изменения гравитационной постоянной с эволюцией Вселенной в целом.

Следуя гипотезе Дирака, П. Иордан обобщил уравнения поля Эйнштейна, введя вместо гравитационной постоянной скалярную функцию пространственно-временных координат [25].

Уравнения Иордана в общем случае таковы [26]:

$$\begin{aligned} R_i^k - \frac{1}{2} \delta_i^k R + (\zeta - 2) \kappa^{-2} \kappa_i \kappa^k + \kappa^{-1} \kappa_{i|}^k + \\ + \delta_i^k \left\{ - \kappa^{-1} \kappa^\alpha_{/\alpha} - \frac{1}{2} (\zeta - 4) \kappa^{-2} \kappa_\alpha \kappa^\alpha \right\} = \frac{\kappa}{c^2} T_i^k; \quad (9.4,1) \\ R - 3\zeta \kappa^{-2} \kappa_\alpha \kappa^\alpha + 2\zeta \kappa^{-1} \kappa^\alpha_{|\alpha} = 0. \end{aligned}$$

Здесь  $\kappa$  — гравитационный скаляр,  $\zeta$  — безразмерная константа, выбираемая путем сравнения теории с данными наблюдений. Для упрощения записи приняты обозначения:  $\kappa_i = \frac{\partial \kappa}{\partial x^i}$ ,  $\kappa^i = g^{\alpha i} \kappa_\alpha$ . Символом  $/i$  обозначено ковариантное дифференцирование по координате  $x^i$ .

Уравнения Иордана представляют собой систему очень сложных дифференциальных уравнений, число которых на единицу больше числа обычных уравнений поля ОТО. При заданном тензоре энергии-импульса искомыми являются компоненты метрического тензора и гравитационный скаляр. В случае однородной космологической модели этот скаляр представляет собой функцию одной лишь временной координаты, как и предполагалось в исходной гипотезе Дирака.

В первом приближении уравнения Иордана приводят к обычному закону обратных квадратов с коэффициентом пропорциональности, медленно убывающим со временем. Количественная оценка

показывает, что относительная убыль гравитационной постоянной составляет приблизительно  $3 \cdot 10^{-11}$  в год. Если ослабление гравитации аппроксимировать линейным законом вида  $\gamma = \gamma t$ , где  $\gamma$  — современное значение, то следует принять  $\gamma \approx 6 \cdot 10^{-26} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{сек}^{-3}$ .

В последние годы интерес к гипотезе Дирака несколько усилился в связи с обсуждением различных геофизических процессов, которые можно рассматривать как независимые аргументы в пользу этой гипотезы. Обсуждению гипотезы Дирака посвящены работы Дике [27], Бранса и Дике [28] и других авторов, а также недавнее исследование Саакяна и Мнацаканяна [29].

В настоящее время, по-видимому, еще преждевременно судить о перспективности подобного обобщения теории гравитации, тем более, что уравнения Иордана еще недостаточно изучены. Однако полезно перечислить возможные астрономические эффекты, обусловленные переменностью гравитации, и оценить их порядок. Некоторые оценки содержатся в обзоре Дике [30]. Далее рассматривается несколько эффектов переменной гравитации согласно [31]. Вычисления выполнены в приближении Ньютона, которое только и может представить интерес для количественной оценки эффектов.

**5. Эволюция звезд главной последовательности.** Переходим к рассмотрению некоторых астрономических эффектов, которые могут быть вызваны ослаблением гравитации. Для количественной оценки воспользуемся первым приближением, сохраняя обычный закон обратных квадратов с коэффициентом пропорциональности, убывающим по линейному закону.

Нетрудно убедиться в том, что небесно-механические эффекты переменной гравитации вследствие их крайней малости не представляют практического интереса. Так, в задаче двух тел ослабление притяжения вызывает появление радиального возмущающего ускорения  $R = \frac{\dot{\gamma} t M}{r^2}$ , где  $M$  — масса центрального тела, которая предполагается достаточно большой по сравнению с массой планеты. Пользуясь методом вариации элементов, можно показать, что обусловленные этим ускорением вековые изменения большой полуоси и эксцентриситета вполне пренебрежимы.

Значительно больший интерес может представить влияние переменной гравитации на скорость звездной эволюции.

Составим приближенное выражение для светимости звезды. Предполагая равновесие звезды лучистым, воспользуемся последним из уравнений (7,4,2)

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{3}{16\pi ac} \frac{\alpha L(r)}{r^2 T^3}. \quad (9,5,1)$$

Источники энергии сосредоточены в центральной части звезды.