

ляется эффект усиления вакуумных квантовых флуктуаций того эфф. скалярного поля, к-рое ответственно за существование де-ситтеровской стадии (см. *Первичные флуктуации* в горячей Вселенной).

Этот эффект приводит к стохастич. эволюции эфф. скалярного поля и метрики пространства-времени на де-ситтеровской стадии, зависимости продолжительности этой стадии от пространств. координат и к генерации возмущений метрики пространства-времени (отклонений от однородности и изотропии), к-рые обуславливают образование галактик и их скоплений. Общее предсказание простейших вариантов сценария раздувающейся Вселенной — независимость среднеквадратичной амплитуды возмущений метрики от длины волны возмущения  $\lambda$  (с точностью до степеней  $|\ln \lambda|$ ) на стадии, когда  $\lambda \gg l_g$ . Эти возмущения приводят также к появлению малой анизотропии темп-ры реликтового излучения (см. *Микроволновое фоновое излучение*)  $\Delta T(\theta, \varphi)/T \sim 10^{-5}$  в мультиполях, начиная с квадруполя и выше ( $\theta, \varphi$  — углы на небесной сфере). Эта анизотропия, в отличие от наблюдаемой дипольной анизотропии ( $\sim 10^{-3}$ ), не связана с собств. движением Солнца и нашей Галактики. В настоящее время наблюдает. верхний предел на такую анизотропию составляет прибр.  $3 \cdot 10^{-5}$ . Расчёт показывает, что зависимость среднеквадратичной амплитуды анизотропии  $\Delta T/T$  от номера мультиполя  $l$  должна иметь вид (после суммирования по всем сферич. гармоникам с данным  $l$ )

$$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_l \sim \left[\frac{2l+1}{l(l+1)}\right]^{1/2}, \quad 2 \leq l \leq 30, \quad (6)$$

что является решающим тестом на правильность сценария раздувающейся Вселенной (с одним эфф. скалярным полем, ответственным за возникновение де-ситтеровской стадии).

Кроме того, эффект рождения гравитонов на де-ситтеровской стадии приводит к возникновению изотропного нетеплового фона стохастич. гравитац. волн со спектральной плотностью энергии  $de_g/dv = B\epsilon_\gamma/v$  в интервале частот  $10^{-16} \leq v$  (Гц)  $\leq 10^{10}$ ,  $B = \text{const} \leq 10^{-10}$ , где  $\epsilon_\gamma$  — полная плотность энергии реликтового эл.-магн. излучения в настоящее время. Эти гравитац. волны генерируют дополнит. анизотропию  $\Delta T/T$ , мультиполярная зависимость к-рой также должна приближённо иметь вид (6) (с погрешностью  $\leq 20\%$ ).

Квантовая теория чёрных дыр занимается гл. обр. исследованием эффектов рождения частиц и поляризации вакуума в гравитац. поле чёрных дыр (ЧД). Осн. результат состоит в том, что вращающаяся ЧД массы  $M$  излучает рождённые кванты как термодинамически равновесное (не абсолютно чёрное) тело с темп-рой  $T_{\text{чд}}$  (масса  $M$  выражена в г):

$$kT_{\text{чд}} = \hbar c^3 / 8\pi GM \approx k \cdot 10^{26} M^{-1} \text{ К} \approx \approx 10^{16} M^{-1} \text{ МэВ} \quad (7)$$

и в результате «испаряет» в окружающее пространство свою массу — энергию [эффект Хокинга (S. Hawking), 1974]. Рождение частиц происходит из-за существования горизонта событий ЧД и нестатичности метрики пространства-времени под горизонтом. Излучение рождённых частиц чёрной дырой подчиняется *Кирхгофа закону*. Спектр излучения ЧД близок к чернотельному; отличие связано с тем, что ЧД не является абсолютно поглощающей для падающего на неё излучения (или квантовых частиц) с длиной волны  $\geq$  гравитац. радиуса ЧД (излучение частично рассеивается внеш. гравитац. полем ЧД). Для ЧД с массой порядка массы Солнца ( $2 \cdot 10^{33}$  г) эффект количественно ничтожен, но важен в принципиальном отношении, т. к. приводит к конечности времени существования ЧД  $t_{\text{чд}} \approx 10^{-27} M^3$  (г) (в секундах). Эффект Хокинга мог бы быть наблюдаем непосредственно для ЧД с малой массой  $M \sim 10^{15}$  г, находящихся достаточно близко от Земли. Такие ЧД не могут возникнуть в результате коллапса звёзд, но они могли образоваться на ранних стадиях эволюции Вселенной

(т. н. первичные ЧД). Первичные ЧД с нач. массой  $M \sim 10^{15}$  г должны были испариться к настоящему моменту, более массивные ЧД остаются практически неизменными. ЧД с  $M \sim 10^{15}$  г в стационарном режиме испарения являются источниками  $\gamma$ -излучения и ультрарелятивистских электронов и позитронов с характерными энергиями  $\epsilon \approx 5kT_{\text{чд}} \sim 50$  МэВ. Мощность, излучаемая таким объектом в виде фотонов, должна быть равна  $P_\gamma \approx 6 \cdot 10^8 (M/10^{15} \text{ г})^{-2}$  Вт, а в виде  $e^\pm$  — в 5 раз больше. С течением времени, вследствие уменьшения массы ЧД, скорость её испарения возрастает. Процесс завершается «квантовым взрывом» ЧД, когда за последнюю секунду её жизни выделяется энергия  $10^{23}$  Дж.

Для вращающейся ЧД кроме эффекта Хокинга существует и др. эффект рождения частиц, связанный с наличием у неё *эргосферы*. Как показывается расчёт, излучение рождённых частиц вращающейся ЧД под суммарным действием обоих эффектов сохраняет тепловой характер с эффективной темп-рой  $T_{\text{чд}}$ , к-рая получается из (7) заменой  $M$  на  $1/2 M (1 + M/\sqrt{M^2 - a^2})$ ,  $a = Jc/GM < M$ , где  $J$  — полный угл. момент ЧД.

Квантовые гравитац. эффекты приводят также к кардинальной перестройке внутр. строгия вращающихся или электрически заряженных ЧД под их горизонтом событий (при этом исчезают т. п. *Космические горизонты*), к запрету на образование *белых дыр* во Вселенной и к существованию нижнего предела массы у ЧД (в том числе у первичных ЧД):  $M > m_{\text{pl}}$ . Возможно, что при  $M \sim m_{\text{pl}}$  возникают объекты, промежуточные по своим свойствам между ЧД и элементарными частицами, напр. *максимоны* М. А. Маркова.

В настоящее время поиски анизотропии реликтового эл.-магн. излучения с мультиполярной зависимостью (6) или излучения от первичных ЧД (если они существуют) являются наиб. перспективными с точки зрения обнаружения первых наблюдаемых следствий эффектов К. т. г.

**Многомерные единые теории поля.** К К. т. г. непосредственно примыкают многомерные единые теории всех взаимодействий, включая гравитационное. Объединение пространственно-временной симметрии с внутренними симметриями сильного, эл.-магн. и слабого взаимодействий достигается в этих теориях путём введения искривлённого пространства-времени размерности  $4+d$ , где  $d$  — натуральное число (одна координата является временной, остальные — пространственными). Предполагается, что дополнительные  $d$  измерений к-л. образом компактифицируются в замкнутой  $d$ -мерной пространстве (в простейшем случае — в  $d$ -мерную сферу) с характерными размерами порядка  $l_{\text{pl}}$ . Симметрия этого  $d$ -мерного пространства определяет симметрию сильного, эл.-магн. и слабого взаимодействий. С точки зрения макроскопич. наблюдателя в четырёхмерном мире, такие теории содержат бесконечное число квантовых полей. При этом кванты тех полей, к-рые не зависят от координат  $d$ -мерного пространства, имеют массу покоя  $m < m_{\text{pl}}$ , а остальные являются очень тяжёлыми ( $m \geq m_{\text{pl}}$ ) и не проявляются поэтому в лаб. экспериментах. Первый, простейший вариант такой теории ( $d=1$ ) рассматривался ещё в 20-е гг. Т. Калузой (Th. Kaluza) и О. Клейном (O. Klein). В настоящее время наиб. интерес представляет 10-мерная теория ( $d=6$ ), к-рая возникает в низкоэнергетич. ( $\epsilon \ll m_{\text{pl}} c^2$ ) пределе более фундам. теории двумерных объектов — *суперструн* (см. *Калуца-Клейна теория*). Она является конечной в однопетлевом приближении при определ. выборе группы симметрии *великого объединения* сильного, эл.-магн. и слабого взаимодействий и может быть конечной во всех петлях.

*Лит.:* Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., Строение и эволюция Вселенной, М., 1975; Общая теория относительности, под ред. С. Хокинга, В. Израэля, пер. с англ., М., 1983; Виррелл Н., Дэвис П., Квантовые поля в