

логарифмическую расходимость при $p_q = M_0$, находим вероятность распада

$$\omega \sim \frac{m_p^5 g_a^6 [\ln(M_0/m_a)]^2}{M_0^4}.$$

Время жизни протона оказывается очень большим (более 10^{50} лет), хотя и конечным.

Автор выражает благодарность за обсуждение и советы Я.Б. Зельдовичу, Б.Я. Зельдовичу, Б.Л. Иоффе, И.Ю. Кобzareву, Л.Б. Окуню и И.Е. Тамму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович Я.Б.//УФН. 1966. Т. 89. С. 647. — Обзор.
2. Окунь Л.Б.//Ibidem. С. 603. — Обзор.
3. Марков М.А.//ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 878.
4. Сахаров А.Д.//Письма ЖЭТФ. 1966. Т. 3. С. 439.
5. Зельдович Я.Б., Герштейн С.С.//Ibidem. Т. 4. С. 174.

Статья поступила 23.09.66 г.

530.12.531.51

ВАКУУМНЫЕ КВАНТОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ В ИСКРИВЛЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ И ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ

А.Д. Сахаров

(ДАН СССР 1967. Т. 177, № 1. С. 70 — 71)

В теории гравитации Эйнштейна постулируется зависимость действия пространства — времени от кривизны (R — инвариант тензора Риччи)

$$S(R) = - \frac{1}{16\pi G} \int (dx) \sqrt{-g} R. \quad (1)$$

Наличие действия (1) приводит к "метрической упругости" пространства, т.е. к появлению обобщенной силы, препятствующей искривлению пространства.

Здесь мы рассмотрим гипотезу, отождествляющую действие (1) с изменением действия квантовых флуктуаций вакуума при искривлении пространства. Таким образом, мы рассматриваем метрическую упругость пространства как своего рода эффект смещения уровня (сравни также с [1a]⁽¹⁾).

В современной квантовой теории поля принимается, что тензор энергии — импульса квантовых флуктуаций вакуума $T_k^i(0)$ и соответствующее действие $S(0)$, формально пропорциональные расходящемуся интегралу по импульсам виртуальных частиц четвертой степени вида $\int k^3 dk$, фактически равны нулю.

Недавно Я.Б. Зельдович [2] предположил, что гравитационные взаимодействия могут привести к некоторому "малому" нарушению этого равенства и тем самым к конечному значению космологической постоянной Эйнштейна,

в соответствии с недавней интерпретацией астрофизических данных. Нас здесь интересует зависимость действия квантовых флуктуаций от кривизны пространства. Разлагая плотность функции Лагранжа в ряд по степеням кривизны, имеем (A и $B \sim 1$)

$$(R) = \mathcal{L}(0) + A \int k dk \cdot R + B \int \frac{dk}{k} R^2 + \dots \quad (2)$$

Первый член соответствует космологической постоянной Эйнштейна. Второй член соответствует, по нашей гипотезе, действию (1), т.е.

$$G = - \frac{1}{16\pi A \int k dk}, \quad A \sim 1. \quad (3)$$

Третий член разложения, записанный здесь в условной форме, приводит к нелинейным относительно R поправкам в уравнениях Эйнштейна⁽²⁾ ●.

Расходящиеся интегралы по импульсам виртуальных частиц в (2) и (3) написаны по соображениям размерности. Зная численную величину постоянной гравитации G , находим, что эффективный предел интегрирования в (3) есть

$$k_0 \sim 10^{28} \text{ эВ} \sim 10^{+33} \text{ см}^{-1}.$$

В гравитационной системе единиц $G = \hbar = c = 1$. При этом $k_0 \sim 1$. По предположению М.А. Маркова, величина k_0 определяет массу наиболее тяжелых частиц, существующих в природе, названных им "максимонами". Естественно предполагать также, что величина k_0 определяет предел применимости современных представлений о пространстве и причинности.

Рассмотрение плотности вакуумной функции Лагранжа в упрощенной "модели" теории для невзаимодействующих свободных полей с массами частиц $M \sim k_0$ показывает, что при определенных соотношениях масс реальных частиц и частиц-"призраков" (т.е. гипотетических частиц, вносящих противоположный реальным частицам вклад в зависящее от R действие) возникает конечный эффект изменения действия при искривлении пространства, пропорциональный $M^2 R$, который мы отождествляем с R/G . Таким образом, величина гравитационного взаимодействия определяется массами и законами движения свободных частиц, а также, вероятно, "импульсом обрезания".

Этот подход к теории гравитации аналогичен трактовке квантовой электродинамики в [3], где отмечена возможность пренебречь лагранжианом свободного электромагнитного поля при вычислении перенормировки элементарного электрического заряда. В работе Л.Д. Ландау и И.Я. Померанчука величина элементарного заряда выражена через массы частиц и импульс обрезания; дальнейшее развитие этих идей см. в работе [4], в которой обоснована возможность сформулировать уравнения квантовой электродинамики без "затравочного" лагранжиана свободного электромагнитного поля.

Автор выражает благодарность Я.Б. Зельдовичу за обсуждение, послужившее толчком к данной работе, а также за ознакомление с работами [2, 4] до их опубликования и за полезные советы.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Здесь молекулярное притяжение конденсированных тел вычисляется как результат изменения спектра электромагнитных флуктуаций. Как указывает автор, частный случай притяжения металлических тел ранее изучен Казимиром [16].

² Более точная формула этого члена:

$$\int \frac{dk}{k} (BR^2 + CR^{ik}R_{ik} + DR^{iklm}R_{iklm}) + ER^{iklm}R_{iklm}(A, B, C, D, E \sim 1).$$

Согласно [3, 4] $\int k^{-1}dk \sim 137$, поэтому третий член существен при $R \gtrsim 1/137$ (в гравитационных единицах), т.е. в окрестности особой точки фридмановской модели Вселенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. а) *Лифшиц Е.М.*//ЖЭТФ. 1954. Т. 29. С. 94.
б) *Casimir H.B.C.*//Proc. Nederl. Akad, Wetensch. 1948. V. 60. P. 793.
2. *Зельдович Я.Б.*// Письма ЖЭТФ. 1967. Т. 6. С. 900.
3. *Фрадкин Е.С.*// ДАН СССР. 1954. Т. 98. С. 47; 1955. Т. 100. С. 897; ЖЭТФ. 1955. Т. 28. С. 750.
Ландау Л.Д., Померанчук И.Я.//ДАН СССР. 1955. Т. 102. С. 489.
4. *Зельдович Я.Б.*//Письма ЖЭТФ. 1967. Т. 6. С. 1233.