

Физический вакуум. Эффект Казимира

Керим Гусейнов

guseynovkerim@gmail.com

МГУ, физический факультет

20 декабря 2019

Квантовая теория поля

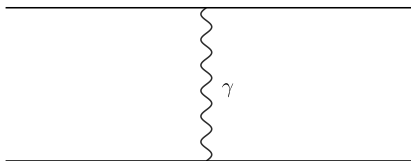
$$L = L(q_1, \dots, q_n, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n) \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}.$$
$$S = \int L dt$$

$$q_i \rightarrow \varphi(\mathbf{x}, t), \quad \dot{q}_i \rightarrow \frac{\partial}{\partial x^\mu} \varphi, \quad x^0 = ct$$

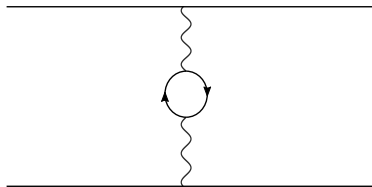
$$L = \int \mathcal{L}(\varphi, \partial\varphi) d^3\mathbf{x}$$
$$S = \int \mathcal{L}(\varphi, \partial\varphi) d^3\mathbf{x} dt = \int \mathcal{L}(\varphi, \partial\varphi) d^4x \quad \sum_{\mu=0}^3 \frac{\partial}{\partial x^\mu} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x^\mu} \right)} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \varphi} = 0$$

$\langle \text{состояние} | \varphi(y) \varphi(x) | \text{состояние} \rangle$ — амплитуда вероятности
прохождения частицы из x в y

Виртуальные частицы и содержимое вакуума

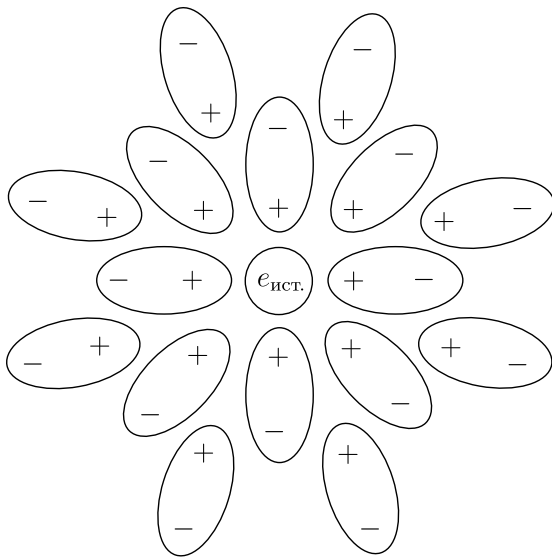


Простейший обмен виртуальным γ -квантом при взаимодействии двух заряженных частиц.

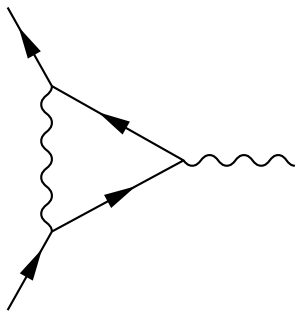


Превращение виртуального γ -кванта “по пути” в электрон-позитронную пару.

Поляризация вакуума



Аномальный магнитный момент



Простейшая поправка к магнитному моменту фермионов.

Спиновый магнитный момент электрона μ_s не равен в точности единице (фактор Ланде $g_s \neq 2$), как предсказывает уравнение Дирака, а слегка увеличивается за счет диаграмм, аналогичных представленной. Измерения величины $a = \frac{g-2}{2}$ с большой точностью подтверждают квантовую теорию поля и Стандартную модель:

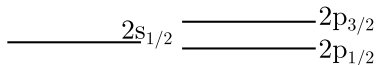
$$a_e^{\text{теор.}} = 0.001\,159\,652\,181\,643\,(763)$$

$$a_e^{\text{эксп.}} = 0.001\,159\,652\,180\,73\,(28)$$

Лэмбовский сдвиг

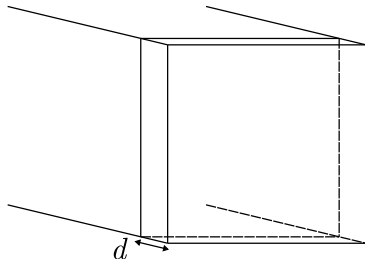
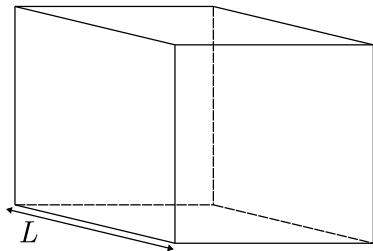
Лэмбовский сдвиг это снятие случайного вырождения по квантовому числу j , которое не было предсказано уравнением Дирака. Оно обусловлено тем, что только для S уровней $\psi(x=0) \neq 0$, а это значение появляется в дополнительной поправке к энергии по двум причинам:

- поляризация вакуума приводит к δ -подобному слагаемому в кулоновском потенциале,
- квантовые флуктуации вакуума видны как малые колебания ядра.



Спектр нижних уровней атома водорода с учетом лэмбовского сдвига.

Эффект Казимира

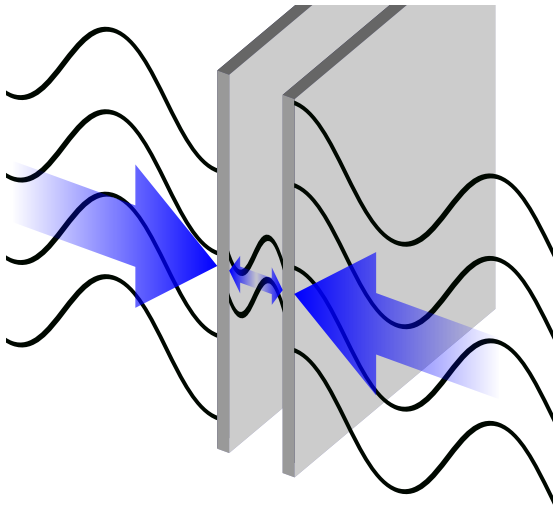


$$E_{\text{Вак.}} = \sum_{\mathbf{k}} \frac{\hbar \omega(\mathbf{k})}{2}, \quad \omega(\mathbf{k}) = |\mathbf{k}|c, \quad \mathbf{k} = \left(\frac{\pi n_x}{L_x}, \frac{\pi n_y}{L_y}, \frac{\pi n_z}{L_z} \right)$$

$$\Delta E = \frac{\hbar c}{2} \sum_{n_x, n_y, n_z} \left(\sqrt{\frac{\pi^2}{L^2} n_x^2 + \frac{\pi^2}{L^2} n_y^2 + \frac{\pi^2}{d^2} n_z^2} - \sqrt{\frac{\pi^2}{L^2} n_x^2 + \frac{\pi^2}{L^2} n_y^2 + \frac{\pi^2}{L^2} n_z^2} \right)$$

$$\Delta E = \frac{\hbar c}{2} \sum_{n_x, n_y} \left(\sum_{n_z=1}^{\Lambda d/\pi} \sqrt{\frac{\pi^2 (n_x^2 + n_y^2)}{L^2} + \frac{\pi^2}{d^2} n_z^2} - \sum_{n_z=1}^{\Lambda L/\pi} \sqrt{\frac{\pi^2 (n_x^2 + n_y^2)}{L^2} + \frac{\pi^2}{L^2} n_z^2} \right)$$

Эффект Казимира



Отталкивающие силы Казимира

