



ГОЛДСТОУНА ТЕОРЕМА

Авторы: А. Т. Филиппов

ГОЛДСТОУНА ТЕОРЕМА в квантовой теории поля, теорема, утверждающая необходимость существования частиц с нулевой массой (голдстоуновских частиц) при спонтанном нарушении непрерывной симметрии. В релятивистской квантовой теории поля (КТП) Г. т. впервые сформулирована Дж. [Голдстоуном](#) в 1961. Доказательство аналогичной теоремы в нерелятивистской квантовой теории мн. тел одновременно и независимо получено Н. Н. [Боголюбовым](#) (см. [Боголюбова теорема](#)). Если [спонтанное нарушение симметрии](#) происходит с безмассовыми калибровочными полями, напр. с электромагнитным полем, то Г. т. может не выполняться (см. [Хиггса механизм](#)). Спонтанное нарушение дискретных симметрий также не приводит к появлению голдстоуновских частиц.

Необходимость появления безмассовых частиц при спонтанном нарушении симметрии можно пояснить на примере изотропного ферромагнетика, находящегося в основном состоянии. Для поворота вектора намагниченности

\mathbf{M} в области (домене) объёма

R^3 необходимо «повернуть» спиновые магнитные моменты частиц, число которых пропорционально

R^3 (иными словами, возбудить такое же число магнонов – спиновых волн). При конечном радиусе

a действия сил между спинами магнетика для такого поворота требуется затратить энергию лишь в поверхностном слое домена объёмом

$R^2 a$, поскольку состояние внутри домена также «вакуумное» (основное). Т. о., при

$R \rightarrow \infty$ энергия, приходящаяся на один магнон, сколь угодно мала, порядка

$R^2 a / R^3 \sim R^{-1}$, и его масса равна нулю, т. е. магноны являются голдстоуновскими

частицами. Предположение о конечном радиусе действия сил существенно, т. к. при

наличии далекодействующих кулоновских сил рассуждение, очевидно, неверно. Именно по этой причине Г. т. для теорий с безмассовыми калибровочными полями может не выполняться.

В теории изовекторного скалярного поля при спонтанном нарушении изотопич. симметрии (см. [Изотопическая инвариантность](#)) появляются две безмассовые скалярные частицы, связанные с вращениями вокруг первой и второй осей изотопич. пространства, относительно которых изовектор неинвариантен, и одна частица с массой.

Наиболее важное приложение Г. т. в КТП относится к спонтанному нарушению киральной симметрии (см. [Киральность](#)), при котором появляются псевдоскалярные голдстоуновские мезоны. В суперсимметричных теориях поля голдстоуновские частицы могут быть и электрически нейтральными фермионами со спином $1/2$ (см. Суперсимметрия), однако голдстоуновские фермионы пока не наблюдались.

Литература

Лит.: Гриб А. А. Проблема неинвариантности вакуума в квантовой теории поля. М., 1978; Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. Квантовая теория поля. М., 1984. Т. 2; Вайнберг С. Квантовая теория поля. М., 2001. Т. 2.