



ВЫРОЖДЕНИЕ ВАКУУМА

Авторы: А. Т. Филиппов

ВЫРОЖДЕНИЕ ВАКУУМА, вырождение основного (с наименьшей плотностью энергии) состояния квантовомеханич. системы с бесконечным числом степеней свободы (макроскопич. тела или квантовые поля). Вырождение [вакуума физического](#) возникает при [спонтанном нарушении симметрии](#), когда вакуумное состояние системы, обладающей некоторой симметрией

G (непрерывной или дискретной), оказывается не инвариантным относительно этой симметрии: преобразования симметрии переводят один вакуум в другой с тем же значением плотности энергии. Такие преобразования нельзя задать операторами, действующими в одном и том же пространстве [векторов состояний](#) данной системы. Иными словами, разл. вакуумы определяют разные пространства состояний системы. Из инвариантности вакуума относительно симметрии

G следует инвариантность гамильтониана (т. н. теорема Коулмена). Обратное утверждение в общем случае неверно из-за возможного В. в. Наличие В. в. проявляется в существовании неинвариантных относительно G вакуумных средних значений операторов полей, описывающих систему.

В качестве наглядного образа В. в. можно представить неподвижную лодку на совершенно спокойной поверхности озера. Она может быть в любой точке озера (инвариантность относительно трансляций) и составлять любой угол по отношению к системе координат на поверхности воды (инвариантность относительно поворотов вокруг оси, перпендикулярной поверхности озера). Все эти состояния системы «лодка+вода в озере» имеют одну и ту же миним. энергию и образуют её вырожденные осн. состояния («вакуумы»). Осн. состояние, соответствующее любому заданному положению и углу поворота лодки, не инвариантно относительно трансляций и поворотов.

Примером В. в. в теории твёрдого тела может служить осн. состояние изотропного ферромагнетика, в котором вектор намагниченности

\mathbf{M} отличен от нуля и произвольно ориентирован в пространстве. Каждому направлению

\mathbf{M} соответствует свой «вакуум» (осн. состояние). Вакуум, соответствующий данному \mathbf{M} , инвариантен относительно вращений вокруг оси, направленной по \mathbf{M} , и не инвариантен относительно любых др. вращений.

В квантовой теории поля для описания В. в. удобно пользоваться эффективным потенциалом системы

$V_{\text{эфф}}(\mathbf{u}_c)$, определяющим плотность энергии в вакуумном состоянии, для которого вакуумные средние значения вектора полей

$\mathbf{u}(x) = (\mathbf{u}_1(x), \dots, \mathbf{u}_n(x))$ равны постоянному вектору

\mathbf{u}

$c[x]$ – пространственно-временная точка,

$x = (t, x^1, x^2, x^3)$; используется система единиц

$\hbar = c = 1$. Истинный физич. вакуум соответствует значению

$\mathbf{u}_c = \mathbf{u}_{c0}$, при котором

$V_{\text{эфф}}$ имеет абсолютный минимум. В нулевом приближении

$V_{\text{эфф}}$ совпадает с потенциальной функцией лагранжиана классич. полей.

Т. к. минимум потенциала не зависит от направления вектора поля, имеется В. в., полностью аналогичное вырождению для ферромагнетика, причём вектор

\mathbf{u}_{c0} аналогичен вектору

\mathbf{M} .

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., 2003. Т. 2.