

где ψ_0 — нек-рый скаляр (δ_{ik} — символ Кронекера). Спектр квазичастиц имеет вид (21) с не зависящей от углов шелью Δ . А-фаза существенно анизотропна. Тензор ψ_{ik} для неё можно привести к виду

$$\psi_{ik} = \psi_0 (\Delta'_i + i\Delta''_i) t_k,$$

где Δ'_i , Δ''_i , t_k — компоненты единичных вещественных векторов Δ' , Δ'' , t . Векторы Δ' и Δ'' ортогональны и их векторное произведение l определяет направление орбитальных моментов всех куперовских пар. Вектор t определяет направление, на к-рое проекция спинов пар равна нулю. Спектр возбуждений А-фазы имеет вид (21), однако шелья зависят от угла ϑ между направлением импульса p и вектором l : $\Delta^2 \sim \sin^2 \vartheta$.

Лит.: Абрикосов А. А., Горьков Л. П., Дзялошинский И. Е., Методы квантовой теории поля в статистической физике, М., 1962; Паунс Д., Нозьер Ф., Теория квантовых жидкостей, пер. с англ., М., 1967; Сверхтекучесть гелия-3. Сб. ст., пер. с англ., М., 1977; Ли Фшиц Е. М., Пятаевский Л. П., Статистическая физика, ч. 2 — Теория конденсированного состояния, М., 1978; Квантовые жидкости и кристаллы, Сб. ст., пер. с англ., М., 1979.

Л. П. Пятаевский.

КВАНТОВАЯ КОГЕРЕНТНОСТЬ в квантовой оптике — характеристика интерференции квантовых состояний поля излучения.

Динамич. системы в квантовой теории имеют более сложное описание, чем в классической. Напр., в классич. механике состоянии одномерного гармонич. осциллятора полностью определяется амплитудой, частотой и нач. фазой колебаний. В квантовой механике гармонич. осциллятор — многоуровневая система, полное описание к-рой требует задания бесконечного числа параметров: амплитуд и фаз состояний, относящихся к каждому из уровней. Динамика этой системы определяется интерференцией всех состояний.

В квантовой теории поля устанавливается аналогия между монохроматич. волной и гармонич. осциллятором, вследствие чего монохроматич. волна, подобно квантовому осциллятору, описывается *интерференцией состояний* поля, чему нет аналога в классич. описании. Такая интерференция состояний определяет характер поля от близкого к классическому, монохроматическому (детерминированному) до нерегулярного, шумового, полностью сформированного квантовыми флуктуациями. Характеристикой степени детерминированности полей служит К. к.

Математическую последовательную теорию К. к. излучения, т. н. формализм когерентных состояний, развил Р. Глаубер (R. Glauber, 1963), хотя нек-рые аспекты К. к. рассматривались ещё Э. Шрёдингером (E. Schrödinger, 1927). Центр. объект теории К. к. — *когерентное состояние* $|\alpha\rangle$, определяемое как собственный вектор оператора уничтожения \hat{a} (см. Вторичное квантование):

$$\hat{a}|\alpha\rangle = \alpha|\alpha\rangle,$$

здесь α — собственное число, принимающее любые комплексные значения. Поля, находящиеся в когерентном состоянии, обладают рядом особенностей. Они имеют не нулевую напряжённость $\langle\alpha|\hat{a}|\alpha\rangle = \alpha$, поэтому такие поля дают макс. контрастность в картинах интерференции.

Вероятность обнаружить в когерентном состоянии $|\alpha\rangle$ n квантов даётся распределением Пуассона:

$$| \langle n | \alpha \rangle |^2 = \frac{|\alpha|^{2n}}{n!} e^{-|\alpha|^2}.$$

Неопределённость числа квантов в когерентном состоянии приводит к минимально возможному соотношению неопределённости для операторов координаты $\hat{q} = \sqrt{\hbar/2\omega}(\hat{a}^+ + \hat{a})$ и импульса $\hat{p} = i\sqrt{\hbar\omega/2}(\hat{a}^+ - \hat{a})$

$$(\Delta q)^2 \cdot (\Delta p)^2 = \frac{1}{4} \hbar^2.$$

Здесь \hat{a}^+ и \hat{a} — операторы рождения и уничтожения, ω — частота.

Когерентные состояния неортогональны:

$$|\langle \beta | \alpha \rangle|^2 = \exp(-|\beta - \alpha|^2),$$

но образуют полный набор состояний.

В теории К. к. важную роль играет описание полей матрицей плотности $\hat{\rho}$ в диагональном представлении когерентных состояний, в т. н. $P(\alpha)$ — представлении Глаубера:

$$\hat{\rho} = \int d^2\alpha P(\alpha) |\alpha\rangle \langle \alpha|,$$

где $d^2\alpha = d(\text{Re}\alpha)d(\text{Im}\alpha)$ и *след* матрицы $\text{Sp}\hat{\rho} = \int d^2\alpha P(\alpha) = 1$. В этом представлении когерентное поле в состоянии $|\alpha_0\rangle$ описывается δ - ϕ -цией в комплексной плоскости α :

$$P(\alpha) = \delta^2(\alpha - \alpha_0).$$

Вообще говоря, ϕ -ция распределений вероятностей $P(\alpha)$ для квантовых полей является вещественной ϕ -цией комплексного аргумента, но в огранич. области может быть отрицательной. В этом случае она относится к классу т. н. распределённой квазивероятности и описывает широкий, но огранич. класс состояний поля.

В квантовой оптике различают полную и частичную степени m , когерентность. Частичная К. к. определяется тем макс. значением m , для к-рого выполняется условие факторизации нормально упорядоченного коррелятора:

$$\langle (\hat{a}^+)^m (\hat{a})^m \rangle = \text{Sp} \hat{\rho} (\hat{a}^+)^m (\hat{a})^m = \langle \hat{a}^+ \rangle^m \langle \hat{a} \rangle^m.$$

Поля, находящиеся в полностью когерентных состояниях, наиб. близки по свойствам к классическим, в частности квантовые однодмодовые — к соответствующим монохроматическим. Когерентные поля генерируются движущимися классически электр. зарядами и лазерами (идеально стабилизированными). К. к. проявляется в тех квантовых системах, поведение к-рых близко к поведению соответствующей классич. системы и квантовые флуктуации в к-рой малы. Исследования К. к. связаны с вопросами формирования поля сверхизлучающими системами, лазерами и др. источниками излучения, близкого к полностью когерентному.

Лит. см. при статьях *Квантовая оптика*, *Когерентное состояние*.

С. Г. Присебальский.

КВАНТОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ — наука об измерениях, базирующихся на квантовых явлениях. Осн. проблема К. м. — установление т. н. естеств. системы единиц физ. величин на основе фундам. констант [1, 2]. Гл. направления в К. м.: разработка и реализация квантовых эталонов (КЭ); установление соответствия между размерами единиц, воспроизводимых разл. КЭ, а также преосметственности между ними и традиц. эталонами; выявление и изучение погрешностей КЭ, в т. ч. вызываемых ограничениями квантового характера (напр., *неопределённостей соотношением*); поиск квантовых явлений, в к-рых наиб. стабильно и с мин. погрешностью воспроизводятся значения фундам. констант и их комбинаций; уточнение и согласование их значений; развитие методов измерений с высшей точностью и мин. порогом чувствительности, основанных на квантовых явлениях.

КЭ единиц физических величин системы СИ. Единица времени (секунда) воспроизводится с помощью квантового цезиевого эталона частоты. Секунда определяется интервалом, в к-ром укладывается 9 192 631 770 периодов колебаний излучения, соответствующего квантовому переходу между уровнями сверхтонкой структуры атома ^{133}Cs с квантовыми числами $F=4$ и $F=3$. В состав национальных эталонов единиц времени и частоты помимо *цезиевой атомно-*