

лась единица давления в СГС системе единиц (1 бар = 1 дин/см²).

БАРДИНА—КУПЕРА—ШРИФФЕРА МОДЕЛЬ (модель БКШ) — теория сверхпроводимости кристаллич. твёрдых тел, основанная на представлении о сверхтекучести куперовских пар электронов (см. *Купера эффект*). Создана Дж. Бардином (J. Bardeen), Л. Купером (L. Cooper), Дж. Шриффером (J. Schrieffer) в 1957. Теория рассматривает *гамильтониан*, учитывающий исключительно притяжение между электронами с равными по величине и противоположно направленными импульсами и антипараллельными спинами, характеризуемое одной положит. константой связи g . Гамильтониан \hat{H} электронов в модели БКШ, записанный с помощью операторов вторичного квантования, имеет вид

$$\hat{H} = \sum_p, \alpha \epsilon_0(p) a_{p\alpha}^+ a_{p\alpha} - \frac{g}{V} \sum_{p, p'} a_{p'}^+ \uparrow a_{-p'}^+ \downarrow a_{-p} \downarrow a_{p\uparrow}$$

где $\epsilon_0(p)$ — энергия невзаимодействующих электронов, $a_{p\alpha}^+$ и $a_{p\alpha}$ — операторы рождения и уничтожения электронов с определ. импульсом p и проекцией спина α (\uparrow или \downarrow), V — объём системы.

Задача об определении осн. состояния системы с таким модельным гамильтонианом, как показал П. Н. Боголюбов, решается точно. Имеется неск. методов решения ур-ний теории БКШ: преобразование Боголюбова, метод спиновой аналогии и др. Система ур-ний для *Грина функций* сверхпроводящей системы в модели БКШ наз. ур-ниями Горькова.

Зависимость энергии ϵ фермиевских квазичастиц (возбуждений относительно осн. состояния) от импульса p в модели БКШ имеет вид

$$\epsilon(p) = [\Delta^2 + v_F^2 (p - p_F)^2]^{1/2},$$

где v_F и p_F — скорость и импульс частиц на ферми-поверхности, а энергетическая щель Δ является осн. характеристикой сверхпроводящих свойств системы. Такой энергетич. спектр удовлетворяет критерию сверх-

При нулевой темп-ре величина энергетич. щели равна $\Delta \equiv \Delta_0 = \epsilon^* \exp(-2/gv_F)$, где $v_F = mp_F/\pi^2 \hbar^3$ — плотность состояний частиц вблизи ферми-поверхности, m — эфф. масса электрона. Если притяжение между электронами обусловлено *фрелиховским взаимодействием*, то величина характерной энергии $\epsilon^* \sim \hbar \omega_D$, где ω_D — дебаевская частота. Неапатичность зависимости $\Delta_0(g)$ означает, что в модели БКШ, рассматривая притяжение как возмущение, нельзя получить осн. состояние сверхпроводящей системы из осн. состояния невзаимодействующих электронов ни в каком порядке теории возмущений.

Модель БКШ даёт описание перехода в сверхпроводящее состояние как *фазового перехода* второго рода в рамках теории Ландау. Роль параметра порядка в теории сверхпроводимости Гинзбурга — Ландау — Абрикосова — Горькова (ГЛАГ-теории) играет энергетич. щель Δ .

Вблизи сверхпроводящего перехода щель $\Delta(T)$ стремится к нулю пропорционально $(1 - T/T_c)^{1/2}$, причём температура перехода T_c связана с Δ_0 соотношением $T_c \approx 0,57 \Delta_0/k$.

На основе модели БКШ была построена первая последовательная теория сверхпроводимости, давшая объяснение на микроскопич. уровне ряду кинетич. и термодинамич. эффектов в сверхпроводниках (скачку теплоёмкости, *Мейснера эффекту*, *изотопическому эффекту* и др.). Несмотря на то что модель БКШ весьма условно отражает сложный характер взаимодействия квазичастиц в металле, для нек-рых металлов, напр. Sn, теория БКШ даёт хорошее количественное согласие с экспериментом.

Модель БКШ хорошо обоснована для вырожденного, почти идеального ферми-газа со слабым притяжением между частицами. В этой связи модель БКШ иногда наз. моделью слабой связи. Моделью БКШ часто наз. также аналогичные модели со спариванием, при к-ром оказывается не равным нулю момент (как в сверхтекучем ³He) или импульс пары.

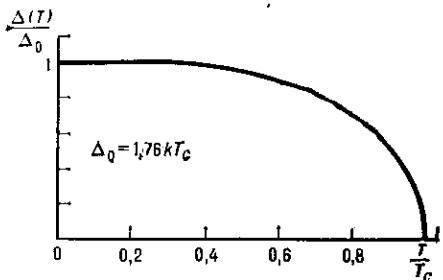
Лит.: Боголюбов Н. Н., Толмачев В. В., Ширков Д. В., Новый метод в теории сверхпроводимости, М., 1958; Абрикосов А. А., Горьков Л. П., Дзялошинский И. Е., Методы квантовой теории поля в статистической физике, М., 1962; Киттель Ч., Квантовая теория твёрдых тел, пер. с англ., М., 1967; Шриффер Дж., Теория сверхпроводимости, пер. с англ., М., 1970; Анималлу, Квантовая теория кристаллических твёрдых тел, пер. с англ., М., 1981; Fröhlich H., Interaction of electrons with lattice vibrations, «Proc. Roy. Soc., Ser. A», 1952, v. 215, p. 291; Cooper L. N., Bound electron pairs in a degenerate Fermi gas, «Phys. Rev.», 1956, v. 104, p. 1189; Bardeen J., Cooper L., Schrieffer J., Theory of superconductivity, там же, 1957, v. 108, p. 1175. А. Э. Мейерович.

БАРИЙ (от греч. *barýs* — тяжёлый; лат. *Barium*), Ва — хим. элемент II группы периодич. системы элементов подгруппы щёлочноземельных элементов, ат. номер 56, ат. масса 137,33. Природный Б. содержит 7 стабильных изотопов, среди к-рых преобладает ¹³⁸Ba (71,66%). Электронная конфигурация внеш. оболочки 6s². Энергии последовательных ионизаций равны соответственно 5,212 и 10,004 эВ. Металлический радиус 0,221 нм, радиус иона Ва²⁺ 0,138 нм. Значение электроотрицательности 0,97.

В свободном виде барий — серебристо-белый металл, обладающий кубич. объёмноцентрич. решёткой с параметром $a = 0,5019$ нм, плотность 3,76 кг/дм³, $t_{пл} = 710^\circ\text{C}$, $t_{кип} = 1640^\circ\text{C}$, теплота плавления 8,66 кДж/моль, теплота испарения 151 кДж/моль, теплоёмкость 28,76 кДж/моль, удельное электросопротивление $6 \cdot 10^{-5}$ Ом·см (при 0°C), твёрдость по шкале Мооса 2,0.

В соединениях проявляет степень окисления +2. Химически высокоактивен, реагирует с водой, выделяя водород, на воздухе покрывается плёнкой, содержащей ВаО, ВаО₂ и Ва₃N₂.

Сплавы Б. применяют в качестве поглотителей газов в вакуумной технике. Соединения Б. сильно поглощают рентгеновское и γ -излучение, что используют при создании защитных материалов в ядерном реакторостро-



текучести Ландау (миним. значение ϵ/p отлично от нуля), т. е. металл с соответствующим электронным спектром является сверхпроводящим. Температурную зависимость энергетич. щели $\Delta(T)$ в модели БКШ см. на рис.

Появление энергетич. щели в теории БКШ является результатом неустойчивости вырожденной ферми-системы (с притяжением между частицами) по отношению к образованию связанных состояний парами частиц, находящихся в импульсном пространстве вблизи ферми-поверхности и обладающих нулевым суммарным импульсом, орбитальным моментом и спином (куперовское или БКШ-спаривание). Величину 2Δ можно рассматривать как энергию связи пары. Характерный размер пары $\xi \sim \hbar v_F/\Delta$. БКШ-спаривание не сводится просто к образованию связанного состояния двух частиц. Оно представляет собой чисто коллективное явление в вырожденной ферми-системе и происходит даже при сколь угодно слабом притяжении между частицами. Такое спаривание означает появление корреляции в движущихся частицах, находящихся на расстоянии ξ друг от друга, намного превосходящем ср. расстояние между частицами.