

Фундаментальность явления К. м. п. сказывается, напр., в существовании *квантованных вихрей* в сверхпроводниках второго рода, определяющих эл.-магн. свойства большого класса сверхпроводников. К. м. п. наряду с эффектом Джозефсона составляет основу работы сверхпроводящих квантовых интерферометров (*сквидов*) и др. сверхпроводящих криогенных приборов [4, 5].

Родственным эффектом К. м. п. является неполное квантование магн. потока в тонком сверхпроводящем кольце. Если кольцо выполнено из сверхпроводника толщиной меньше глубины проникновения магнитного поля, то скорость сверхпроводящих электронов в нём всюду отлична от нуля. Из выражения (3) следует, что

$$v_s = \frac{\hbar}{2mR} \left(n - \frac{\Phi}{\Phi_0} \right), \quad (4)$$

где R — радиус кольца. Целое число n принимает такие значения, при к-рых скорость имеет по возможности наименьшую величину. Т. о., выражение (4) определяет осцилляционную зависимость v_s от магн. потока с периодом Φ_0 . Наличие внутреннего движения сверхпроводящих электронов сказывается на температуре T_c перехода в сверхпроводящее состояние, что приводит к осцилляционной зависимости T_c и связанных с ней характеристик (напр., сопротивления) от магнитного поля.

Лит.: 1) London F., Superfluids, 2 ed., v. 1, N. Y., 1964; 2) Doll R., Näbauer M., Experimental proof of magnetic flux quantization in a superconducting ring, «Phys. Rev. Lett.», 1961, v. 7, p. 51; 3) Deaver B. S. Jr., Fairbank W. M., Experimental evidence for quantized flux in superconducting cylinders, там же, p. 43; 4) Роуз - Инс А., Родерик Е., Введение в физику сверхпроводимости, пер. с англ., М., 1972; 5) Бароне А., Патерно Д., Эффект Джозефсона. Физика и применения, пер. с англ., М., 1984.

Н. Б. Кошкин.

КВАНТОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ — направление в квантовой теории поля (КТП), основанное на гипотезе о дискретной (квантованной) структуре пространственно-временного мира в области малых масштабов. Линейный размер «кванта пространства» интерпретируется как новая универсальная постоянная теории — *фундаментальная длина* (также элементарная, мин. длина) l . С точки зрения данного подхода стандартной КТП отвечает предельный случай $l=0$. Это находится в соответствии с принятой в КТП геом. концепцией пространства-времени, согласно к-рой микроскопич. пространственные расстояния качественно ничем не отличаются от макроскопических, а течение времени в ультракоротких интервалах такое же, как в интервалах произвольно большой длительности. Такая «классическая» геом. картина пока подтверждается всей совокупностью опытных данных, полученных в экспериментах с элементарными частицами, в т. ч. и при высоких энергиях. Частицы высоких энергий $\epsilon \gg mc^2$ (m — масса частицы, c — скорость света) служат наиболее подходящим инструментом для зондирования возможной «зернистой» структуры пространства, т. к. им соответствует диапазон очень коротких волн де Бройля $\lambda \approx \hbar c / \epsilon$ (\hbar — постоянная Планка), позволяющих «видеть» сверхмалые расстояния. Эксперим. обнаружение нового фундам. масштаба l , свидетельствующего о существовании специфич. атомы пространства-времени, означало бы, что в познании природы сделан новый шаг, соизмеримый по своему значению с открытием квантовых свойств материи. Пока, однако, гипотеза о К. п.-в. опирается лишь на теоретич. аргументы. Самый популярный из них — существование в стандартной КТП т. н. ультрафиолетовых расходимостей, т. е. бесконечно больших величин, возникающих в результате применения ур-ний КТП в области очень малых пространственно-временных расстояний, или, что эквивалентно, в области очень больших энергий и импульсов. Было замечено, что указанные расходимости не появляются вовсе, если сверхмалые расстояния исключить из теории

с самого начала. Этого можно достичь, напр., путём замены непрерывного пространства-времени четырёхмерной решёткой, узлам к-рой отвечают дискретные значения координат и времени: $x=n_1l, y=n_2l, z=n_3l, t=n_4 \cdot l/c$ (n_1, \dots, n_4 — произвольные целые числа). Однако в такой теории отсутствует релятивистская инвариантность, нарушаются стандартные законы сохранения энергии, импульса, момента импульса. Совр. версии таких теорий — т. н. калибровочные теории квантового поля на решётке (см. *Решётки метод*) — применяются в качестве схем, позволяющих понять на качеств. уровне специфику калибровочных КТП, а также используются в квантовой хромодинамике для расчётов на ЭВМ методом Монте-Карло.

В более последоват. варианте К. п.-в., согласующемся с требованиями теории относительности, координатам и времени ставятся в соответствие некоммутирующие операторы $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ и \hat{t} , к-рые могут быть выбраны так, что либо \hat{t} , либо каждая из величин $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ имеют целочисленный спектр собственных значений в единицах l/c и l соответственно. В матем. отношении здесь имеется аналогия с квантовомеханич. теорией момента количества движения.

Невозможность одноврем. приведения величин $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ и \hat{t} к диагональному виду чрезвычайно затрудняет развитие аппарата КТП в таком квантованном пространстве-времени. Оказывается, однако, что пространство энергии-импульса в данном случае является равноудаленностью четырёхмерного пространства Лобачевского и может служить адекватной основой для последовательной релятивистской формулировки КТП, в к-рой выполнены все стандартные законы сохранения. При этом постоянная l , определяющая кривизну импульсно-энергетич. пространства Лобачевского, с самого начала выступает как фундам. параметр теории. В области «сравнительно небольших» энергий $\epsilon \ll \hbar c/l$ новая теория совпадает с прежней. Но при «сверхвысоких» энергиях $\epsilon \gg \hbar c/l$ мн. её выводы и предсказания кардинально отличаются от того, что вытекает из традиционной КТП.

Как отмечалось, одной из побудит. причин для введения квантованного пространства-времени явились трудности с УФ-расходимостями в КТП. Известно, однако, что наиб. важные реалистич. теории поля — *квантовая электродинамика*, *квантовая хромодинамика*, *теория электрослабого взаимодействия* и т. д. — принадлежат к классу т. н. перенормируемых теорий, в к-рых существование расходимостей не мешает проведению количеств. расчётов с любой степенью точности. Успехи этих теорий в описании имеющихся эксперим. данных не являются аргументом против существования фундам. длины l . Они свидетельствуют лишь о том, что совр. физика высоких энергий ещё далеко отстоит от того рубежа, за к-рым могут проявиться новые геом. свойства пространства-времени.

Лит.: Вязьлицев А. Н., Дискретное пространство-время, М., 1965; Блохинцев Д. И., Пространство и время в микромире, М., 1970; Кадышевский В. Г., Квантовая теория поля и импульсное пространство постоянной кривизны, в кн.: Проблемы теоретической физики, М., 1972, с. 52; Кадышевский В. Г., Новый подход к теории электромагнитных взаимодействий, «ЭЧАЯ», 1980, т. 11, с. 5.

В. Г. Кадышевский.

КВАНТОВАННЫЕ ВІХРИ в гелии — линейные особенности параметра порядка в сверхтекучем ^4He (He—II) и сверхтекучих фазах ^3He .

К. в. в He—II — вихревые линии в жидкости, на к-рых нарушена *сверхтекучесть*; циркуляция скорости v_s сверхтекучей фазы по замкнутому контуру, охватывающему линию вихря, квантована: $\oint v_s dr = \kappa n$, где $\kappa = h/m_4 = 0,997 \cdot 10^{-3}$ см²/с — квант циркуляции, h — постоянная Планка, m_4 — масса атома ^4He , n — целое число [Л. Онсагер (L. Onsager), 1948; Р. Фейнман (R. Feynman), 1955]. Существование К. в. — следствие вырождения состояний He—II, задаваемых параметром