

Квантовые эффекты на ладони: Нобелевская премия по физике-2025 за «макроскопический квантовый мир»

Награду в 2025 году присудили за открытие макроскопического квантово-механического туннелирования и квантования энергии в сверхпроводящей электрической цепи Джону Кларку, Мишелю Деворе и Джону Мартинису.

Работы лауреатов показали, что квантовое туннелирование (проникновение сквозь непреодолимый барьер) может проявляться не только на уровне элементарных частиц, атомов, молекул, но и в виде управляемого макроскопического электрического тока в сверхпроводящей цепи. Также нобелиаты продемонстрировали, что энергия в такой системе квантована, — принимает только определенные значения, по аналогии с энергией электрона в атоме. Подобные сверхпроводящие системы легли в основу наиболее развитых сегодня квантовых процессоров от Google, IBM, Microsoft, российских и китайских научных групп.

Упрощенно говоря, речь идет о том, что законы квантового мира могут проявляться и в обычных, «видимых» электрических схемах. Учёные доказали, что в сверхпроводящей цепи ток может «просачиваться» через непроводящий барьер (явление называется квантовым туннелированием) и что энергия в такой цепи передаётся порциями, как у атомов.

Суть открытия и его значимость прокомментировали старший научный сотрудник ИФП СО РАН кандидат физико-математических наук **Алексей Владимирович Ненашев** и старший научный сотрудник ИФП СО РАН кандидат физико-математических наук, доцент Новосибирского государственного университета **Илья Игоревич Бетеров**.

«Известно, что законы квантовой механики управляют материей на уровне атомов, молекул, элементарных частиц. В 1984 году нобелиаты показали, что можно “разглядеть” квантовые явления на макроуровне — в системе, которую можно увидеть невооруженным глазом. Учёные взяли сверхпроводящую электрическую цепь, в которой был сделан небольшой разрыв — барьер для движения электронов. Согласно квантовой механике отдельная частица может преодолевать барьер за счет своих волновых свойств, то есть сквозь барьер проникает то, что называется волновой функцией частицы. В сверхпроводнике электроны объединяются в куперовские пары, и огромное количество этих куперовских пар имеет одну и ту же волновую функцию и движется по сверхпроводнику как единый квантовый объект, таким образом туннелируя сквозь барьер. Это явление — эффект Джозефсона известно с 1960-х годов.

Лауреаты исследовали эффект Джозефсона для миллиардов связанных электронов (куперовских пар) в сверхпроводящей цепи. Они показали, что вся эта макроскопическая система может “перепрыгивать” из одного состояния в другое — словно единый квантовый объект, проходящий через барьер. Такое поведение обусловлено макроскопической волновой функцией, описывающей этот гигантский коллектив. Она может совершать туннельные переходы из одного состояния в другое.

*Кроме того, нобелиаты экспериментально показали, что такая сверхпроводящая система квантована — обладает только определенными энергетическими уровнями, по аналогии с электроном в атоме. Получается, что исследователи сдвинули границу квантового мира в наш, макроскопический мир», — пояснил **Алексей Ненашев**.*

Сверхпроводящие джозефсоновские переходы используются для всех основных платформ, на которых созданы действующие квантовые процессоры — у IBM, Google, Microsoft.

«Именно переход Джозефсона задаёт возможные состояния кубита (элементарной ячейки квантового процессора), которыми дальше можно управлять. При этом в работах нобелевских лауреатов рассматривается не туннелирование отдельных электронов, которое было бы трудно отслеживать. В их экспериментах через джозефсоновский переход протекает измеримый управляемый ток. Квантовые свойства переносятся на макроскопический масштаб измеримого тока. Этот физический механизм лежит в основе квантового превосходства — существования задач, которые можно решить только при помощи квантового, а не обычного компьютера. Квантовое превосходство впервые продемонстрировала команда Google, под руководством Джона Мартиниса в 2019 году.

Самые значимые достижения по созданию и реализации квантовых вычислений связаны со сверхпроводящей платформой — она сегодня номер один, локомотив квантовых технологий. Поэтому нобелевского лауреата Джона Мартиниса я знаю, в первую очередь, как идеолога квантовых вычислений», — добавил **Илья Бетеров**.

Пресс-служба ИФП СО РАН