

Исследование опубликовано в *Journal of Physics: Condensed Matter*. Один из интересных и не до конца понятных вопросов в науке — как достаточно простые законы природы приводят к появлению сложнейших узоров (паттернов), например рисунков полосок зебры или чешуи рыбы.

Ученые давно пытаются выяснить, как в природе появляются такие паттерны. Первое объяснение в 1952 году предложил один из родоначальников информатики математик Алан Тьюринг. Согласно его теории, сложные паттерны возникают из-за конкуренции между простыми взаимодействиями внутри системы. Например, в химических реакциях паттерны формируются под воздействием двух основных механизмов: диффузии (распространения веществ) и автокатализа (ускорения реакции самой собой). Вскоре стало понятно, что модель Тьюринга также хорошо описывает появление сложных паттернов в биологии, однако не объясняет все природные явления.

Ученые из ВШЭ и МФТИ совместно с физиками из Федерального университета Пернамбуку (Бразилия) обнаружили, что формирование сложных узоров в природе также можно объяснить с помощью уравнения Гинзбурга — Ландау, описывающего, как меняется состояние сверхпроводника под воздействием магнитного поля.

Сверхпроводник — материал, который проводит электрический ток без сопротивления, то есть без потерь электричества. Под воздействием магнитного поля сверхпроводники могут вести себя по-разному: либо полностью выталкивать магнитное поле, либо пропускать его через свой объем и формировать пространственные структуры, например решетку вихрей. Однако, согласно теории сверхпроводимости, существует особая комбинация параметров сверхпроводника, в которой может возникнуть любая структура. Ее называют точкой Богомольного.

Ученые изучили, как изменяется магнитное поле около точки Богомольного под воздействием внешних условий. «В точке Богомольного скрывается бесконечное разнообразие конфигураций-монстров, и когда вы отходите от нее, то выпускаете их. В зависимости от того, куда вы отойдете, появляются определенные типы конфигураций. Отойти можно разным способом: изменить температуру, размер образца, пустить ток, наложить два сверхпроводника друг на друга. И таким образом получить огромное количество экзотических паттернов», — объясняет один из авторов статьи, профессор МИЭМ НИУ ВШЭ Алексей Вагов.

Например, в сверхпроводниках возникают структуры, в которых области без магнитного поля сосуществуют с областями, где магнитное поле образует

решетки вихрей. Однако в сверхпроводящей пленке могут возникнуть совсем экзотические паттерны, похожие на распределение заболевших в пандемию ковида.

«Ранее сверхпроводимость не рассматривалась как явление, где могут возникать сложные паттерны, поскольку сверхпроводник — относительно простая физическая система. Однако оказалось, что в сверхпроводниках могут появляться очень сложные магнитные структуры. Наше исследование добавляет информацию к знаниям о том, как появляются сложные паттерны в простой системе», — комментирует Алексей Вагов.

Ученые предполагают, что эффекты в сверхпроводниках можно использовать при создании измерительных приборов. Например, отслеживая изменения конфигурации внутри сверхпроводника, можно измерить, насколько изменилась температура, ток или геометрия образца.

«Работа по данному направлению ведется как с точки зрения теории, так и с точки зрения экспериментов и технологии. Начиная с 2018 года мы первыми в мире провели и опубликовали серию экспериментальных исследований, в которых обнаружили и описали процесс формирования паттернов на мезоскопическом масштабе в ферромагнитных сверхпроводниках. Сейчас мы ищем и придумываем новые системы, где сверхпроводящие паттерны могут быть управляемыми, а следовательно, найдут применение в нанотехнологиях и наноустройствах», — говорит один из авторов статьи, директор Центра перспективных методов мезофизики и нанотехнологий МФТИ Василий Столяров.