

М. КАГАНОВ

**П**ОЧЕМУ Я РЕШИЛ НАПИСАТЬ статью с таким лапидарным названием, рассказано в предыдущей публикации (см. «Квант» №5 за 2000 г.). Возможно, имеет смысл добавить несколько фраз. Тот, кто решит вслед за мной перелистать «Физическую энциклопедию» (ФЭ), обратите, пожалуйста, внимание на тот факт, что в 5-м томе есть группа слов, начинающихся с приставки «супер» – от *супергетеродин*<sup>1</sup> до *суперструны*. Приставки «сверх» и «супер» по смыслу очень близки, если не тождественны. Но мне показалось, что они «разделили» между собой области физики: приставкой «супер» чаще начинаются термины атомной физики, физики элементарных частиц, квантовых полей, а приставкой «сверх» – термины физики макроскопических систем. Конечно, есть исключения (супергетеродин – одно из них).

Просматривая статьи, начинающиеся приставкой «супер», обнаружил термин *суперрешетка*, но вместо статьи – отсылка в 4-й том к термину *сверхрешетка*. Вот с этого понятия и начнем эту статью.

## Сверхрешетки

Признаюсь, к сверхрешеткам у меня особый интерес. Около 15 лет назад мой коллега В.Н.Луцкий высказал идею, а мы втроем (Виля Намумович, А.Я.Шик и я) сделали и опубликовали работу, в которой рассмотрели некоторые особенности проводимости сверхрешеток в квантовом магнитном поле (см. «Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1987 г., т.92, вып.2, с. 721–729). Мы уверены, что особенности, которые мы обнаружили «на кончике пера», должны наблюдаться, но пока, насколько мне известно, их никто не наблюдал. Может быть, кто-нибудь из вас, мои молодые читатели, через какое-то время вспомнит прочитанную статью из «Кванта» и по-

<sup>1</sup> Напомним: если слово напечатано курсивом, значит, в ФЭ есть статья с таким названием.

пытается открыть предсказанное нами явление. (Мне очень приятно отметить, что автор статьи «Сверхрешетка» в 4-м томе ФЭ – А.Я.Шик.)

Итак, что такое сверхрешетка?

Каждый кристалл в своей основе имеет кристаллическую решетку, в узлах которой расположены атомы или ионы. Размеры ячейки кристаллической решетки у кристаллов разных сортов, конечно, различны, но, как правило, не превышают нескольких ангстрем ( $1\text{Å} = 10^{-8}\text{ см}$ ). Сверхрешетка – не создание природы, а рукотворный объект. Для того чтобы ее создать, надо «навязать» кристаллу период, в несколько раз превышающий период кристаллической решетки. Наиболее распространенный способ – «сложить» искусственный кристалл из слоев разных сортов. К сожалению, «складывание» на атомном уровне – весьма непростая задача, доступная только технически оснащенным лабораториям.

Если создавать сверхрешетки трудно, зачем этим заниматься? Конечно – в надежде получить не существующий в природе материал для приборов и приспособлений. Не вдаваясь в детали, перечислим, что предполагали и предполагают осуществить занимающиеся сверхрешетками: фильтры и поляризаторы инфракрасного излучения, нелинейные преобразователи СВЧ-сигналов, генераторы и усилители электромагнитных колебаний, частоты которых можно перестраивать в очень широком диапазоне изменением приложенного электрического поля и кое-что еще. Что из этого уже осуществлено, признаюсь, не знаю. В статье, которую я цитирую, совершенный вид глагола использован лишь один раз: «Сверхрешеточные гетероструктуры находят применение также в лавинных фотодиодах». Слово «также» обнадеживает...

Несомненно, сверхрешетки создавались в практических целях. Но, кроме того, у физиков появился совершенно новый объект, исследова-

ние которого, столь же несомненно, весьма интересно. Стоит подчеркнуть, что в последние годы это не единичный случай. Все чаще исследователей привлекают рукотворные объекты – объекты, не существующие в природе, а созданные руками человека для нужд современной техники. Трудно не упомянуть, что одно из наиболее интересных открытий последних десятилетий в макроскопической физике – квантовый эффект Холла – был обнаружен Клаусом фон Клитцингом в 1980 году на *полевом транзисторе* (Нобелевская премия по физике за 1985 г.).

Чем же интересны сверхрешетки? Основой наших представлений об электронных свойствах твердых тел служит изучение движения частиц в периодическом поле сил. Один из основных результатов рассмотрения такого движения – понимание того, что разрешенные значения энергии занимают участки (интервалы) конечной ширины. Их называют зонами, а теория, описывающая движение в периодическом поле сил, называется *зонной теорией*.

В твердых телах периодическую силу создают ионы, которые, когда нас интересует движение электронов, можно считать неподвижными, закрепленными в узлах строго периодической кристаллической решетки. Разных кристаллов много, периодические силы, действующие на электроны, тоже различны. Но какие есть, такие есть. Изменять их по своей воле очень непросто. Другое дело – сверхрешетки, т.е. искусственные кристаллы. Изменяя толщину прослойки, химический состав элементов, из которых сверхрешетка построена, можно менять периодическую силу в широчайших пределах. Поэтому создание сверхрешеток называют зонной инженерией, а иногда и  $\Psi$ -инженерией, так как появилась возможность диктовать электрону, какую ему иметь волновую ( $\Psi$ ) функцию.

Конечно, особый интерес представляют такие созданные искусственно