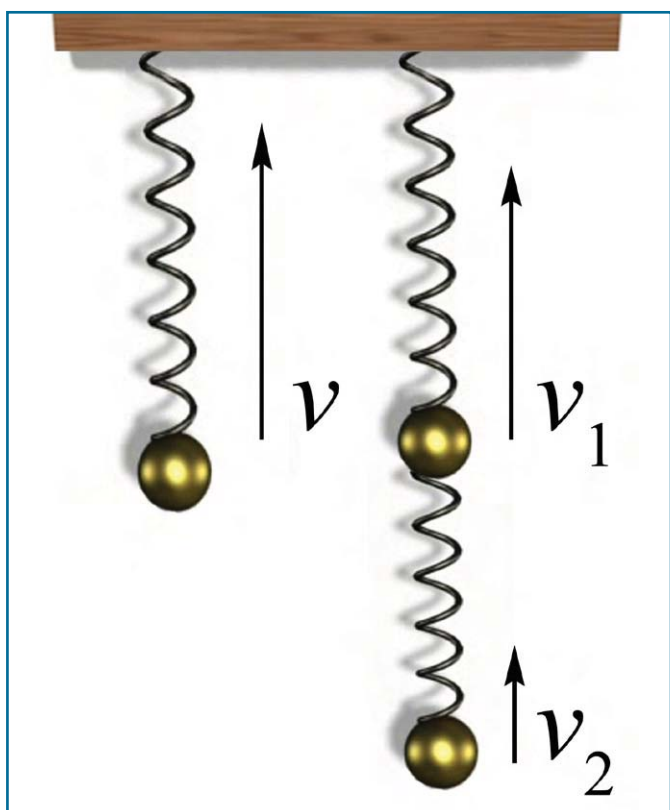


КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ

(Quantum size effects)

«Человек должен верить, что непонятное можно понять; иначе он не стал бы размышлять о нем».

В. Гете



Вспомните школьную задачу по физике: «На невесомой, неподвижно закрепленной пружине с коэффициентом упругости k подвешен шарик массой m . Шарик вывели из равновесия смещением по вертикальной оси. Определите частоту свободных колебаний маятника». Решением этой задачи является единственная частота, не зависящая от амплитуды колебаний шарика, потенциальная и кинетическая энергия которого однозначно связаны со смещением относительно положения равновесия. Если же к этому шарiku подвесить на пружине еще один, то они будут колебаться вместе, хотя из-за инерционности

(замедленной передачи энергии) пружины их ход несколько различается по фазе – каждый из шариков имеет свою потенциальную и кинетическую энергию в каждый момент времени. Бесконечная же последовательность из соединенных шариков и пружин, ввиду той же инерционности, колеблется по еще более сложной схеме, передавая вдоль цепочки своеобразную волну.

Аналогичная ситуация реализуется и в случае объединения атомов в кластер или в твердое тело. Электроны в изолированном атоме принимают лишь определенные значения энергий и находятся на определенных энергетических уровнях. При сближении двух атомов энергетические положения их внешних электронных подуровней несколько расходятся, образуя два отдельностоящих уровня. А при переходе от отдельного атома к макрокристаллическому твердому телу происходит формирование сплошных энергетических зон (с непрерывной совокупностью возможных значений энергии валентных электронов в кристаллах) (рис. 1). Положение и размер энергетических зон определяются силой связи атомов между собой (энергией кристаллического поля), так же, как период «бегущей» по цепочке волны в рассмотренном выше примере определяется коэффициентом упругости пружины. Промежутки между зонами в твердом теле называют запрещенными зонами или *энергетическими щелями*.

В отличие от макрокристаллических тел, в наночастицах число атомов весьма невелико (10^2 – 10^6), причем большая их часть составляет поверхность наночастицы. Если рассмотреть ко-

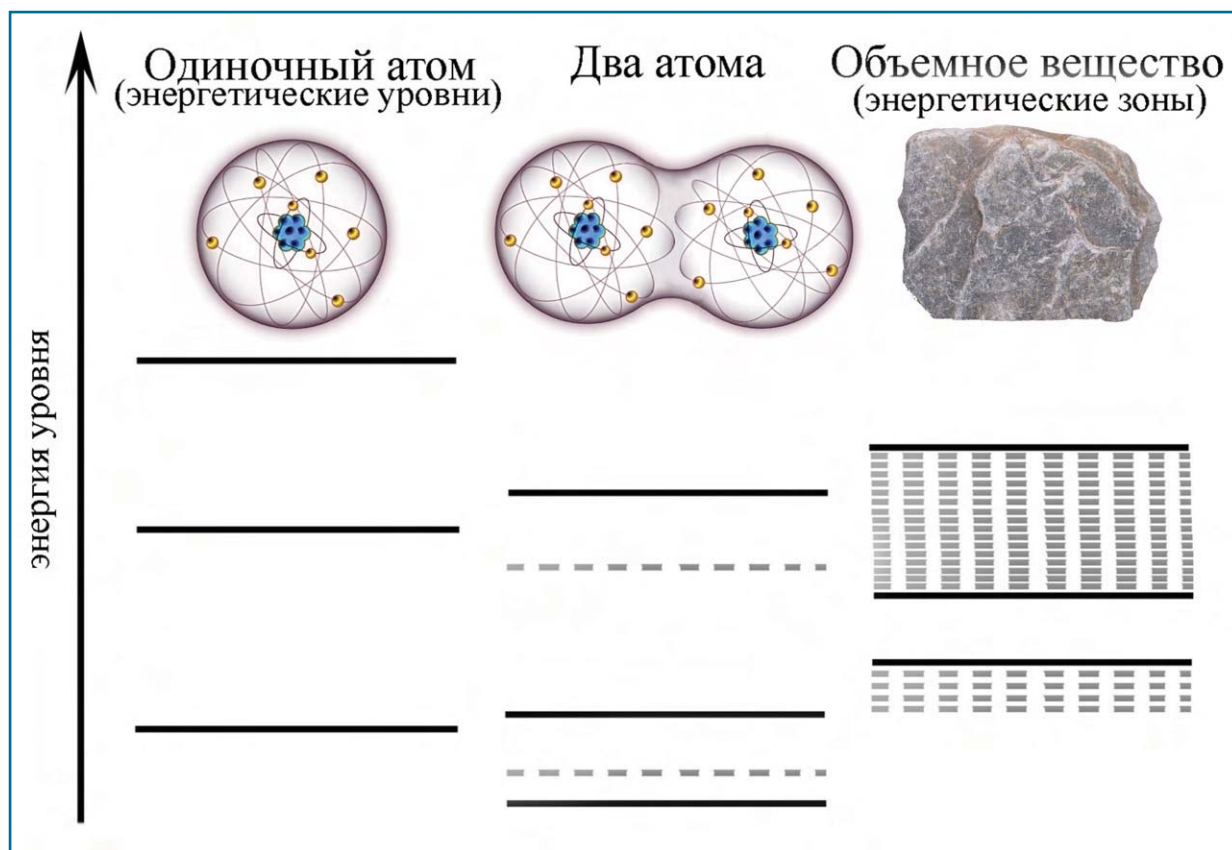


Рис. 1. Формирование энергетических зон твердого тела

лебания достаточно длинной, но не бесконечной последовательности из шариков и пружин, длина волны колебаний будет несколько различна в центре и по краям цепочки ввиду отсутствия упругих связей у крайних шариков. Иначе говоря, лишь «внутренние» атомы будут формировать непрерывную энергетическую зону, тогда как энергетические уровни внешних (поверхностных) атомов будут дискретны и четко выражены. Именно в этом состоит одно из основных положений теории размерного квантования, предложенной Ал. Эфросом и А. Эфросом в 1982 году, согласно которой центр наночастиц имеет зону с непрерывной электронной плотностью, а края состоят из дискретных уровней. Наиболее сильно этот эффект проявляется для полупроводниковых наночастиц с большим радиусом *экситона*. Для очень малых кластеров полупроводников вообще не происходит образования непрерывных энергетических зон вследствие больших зазоров между подуровнями.

Таким образом, в частицах с характерным размером меньше 10 нм электроны ведут себя по-

добно электронам в изолированном атоме (рис. 1, случай двух атомов), то есть как квантовые объекты, а эффекты, проявляющиеся в таких частицах, называют квантово-размерными. Кроме того, уменьшение размера частиц сопровождается уменьшением ширины энергетических зон, что приводит к росту энергии оптических переходов (см. *Щель энергетическая*).

Очевидно, что сокращение размера частицы в одном, двух или трех измерениях соответственно будет приводить к проявлению частичного квантования зоны в четко выраженных направлениях. В зависимости от формы *нанокристалла* можно выделить три основных типа низкоразмерных наноструктур: квантовые ямы (двумерные объекты, толщина которых лежит в нанодиапазоне), квантовые нити (одномерные объекты, диаметр которых лежит в нанодиапазоне) и квантовые точки (мольмерные (нольмерные) объекты, наноразмерные во всех измерениях), причем последние иногда называют искусственными атомами. Интересно, что в оптическом спектре (спектре плотности состояний) таких структур происхо-

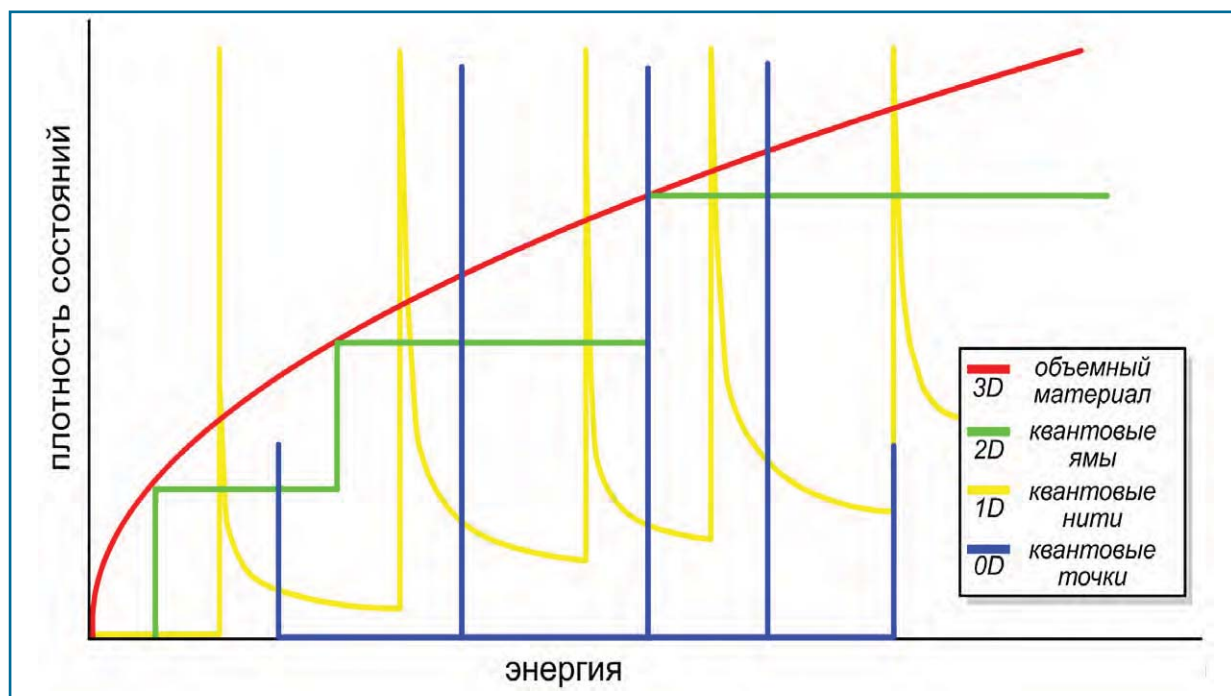


Рис. 2. Спектры плотности состояний носителей заряда для систем с различной размерностью

дит постепенный переход от линейчатого спектра отдельных атомов к непрерывному поглощению объемного материала (рис. 2). Этот эффект сегодня активно используется для формирования излучающих компонентов с четко заданной ши-

риной и формой полос испускания, что необходимо, к примеру, при производстве оптических сенсоров и лазеров с перестраиваемой длиной волны.

Литература:

1. Демиховский В.Я. Квантовые ямы, нити, точки. Что это такое? // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 5. С. 80–86.
2. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос, 2000.