

Фотонные кристаллы

Фотонные кристаллы являются средой, в которой созданы искусственные оптические неоднородности. Характерная длина неоднородностей («период оптической сверхрешётки») обычно на порядки больше периода решётки несущего кристалла. Если период оптической сверхрешетки сравним с длиной электромагнитной волны, то поведение фотонов кардинально отличается от их поведения в решетке обычного кристалла.

В вакууме и в обычных средах фотоны движутся с большими скоростями, и если мы пытаемся их «остановить», то они поглощаются, т.к. вся их энергия связана с движением. Но в фотонных кристаллах ситуация иная. Свободные фотоны превращаются в квазичастицы, образованные когерентным взаимодействием света с кристаллом – их иногда называют тяжелыми фотонами (heavy photons). Явление захвата, или пленения (confinement), излучения давно знакомо оптикам по ряду эффектов, наблюдавшихся в спектрах газового разряда. Однако захват излучения в фотонных кристаллах является принципиально новым явлением, так как происходит без многократного поглощения и испускания фотонов. Оно здесь невозможно в силу определенных соотношений между параметрами фотонных и электронных энергетических зон. Перенос излучения при его пленении в фотонном кристалле носит упорядоченный характер, существенно отличаясь от известного ранее хаотического движения в газовой среде.

Какие существуют теоретические подходы к описанию фотонных кристаллов и тяжёлых фотонов? (1 балл). В чём принципиальные отличия одномерных, двумерных и трёхмерных фотонных кристаллов? (1 балл). Что такое «фотонная запрещённая зона», и чем определяются её границы (приведите определение, формулы и пояснения) (2 балла).

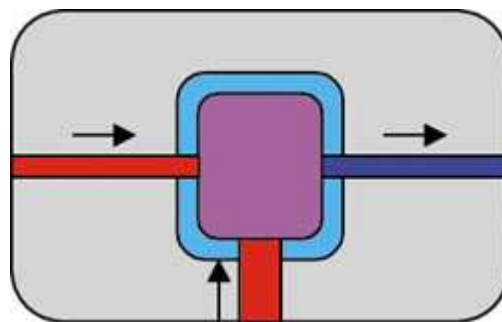
Проводя аналогию между тяжёлыми фотонами и электронами, фотонные кристаллы можно разделить на проводники, полупроводники, изоляторы и сверхпроводники. Фотонная «сверхпроводимость», в отличие от электрической, не представляет больших трудностей.

Нарисуйте схему взаимного расположения фотонных и электронных энергетических (разрешённых) зон в фотонном проводнике, полупроводнике, изоляторе и сверхпроводнике (1 балл).

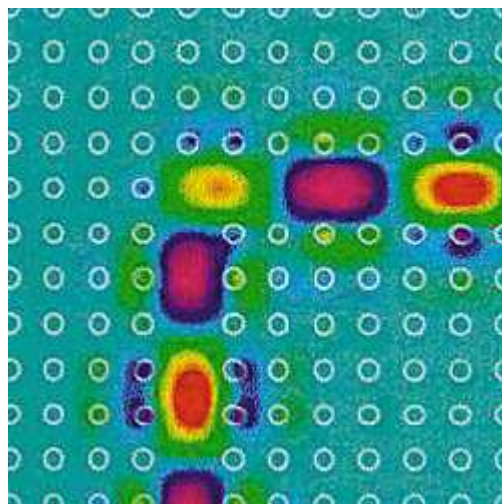
Использование фотонных полупроводников удобно для организации управления световыми потоками. Это можно делать, влияя на положение и ширину электронных и фотонных запрещённых зон. Поэтому фотонные кристаллы сулят большие возможности для создания фотонных диодов, транзисторов, логических элементов, лазеров нового типа, оптических компьютеров, хранения и передачи информации.

Объясните возможное устройство и принцип работы фотонного диода и фотонного транзистора. Фотонный диод – элемент, пропускающий свет в одном направлении и не пропускающий в другом. Какие преимущества имеют эти устройства перед электронными аналогами? (3 балла).

Еще одна возможность, предоставляемая фотонными кристаллами, – создание нового типа волноводов. Радиус изгиба обычного стекловолокна не может быть очень маленьким, иначе свет покинет волновод. Поэтому для изменения направления движения волны, например, на угол 90 градусов требуется расстояние порядка десяти длин



волн (рис. слева). А в волноводе из фотонных кристаллов потребуется расстояние порядка одной длины волны и даже меньше (рис. справа). Это позволяет эффективно увеличивать плотность элементов фотонных систем.



Объясните, за счёт чего достигается этот эффект. Перечислите способы управления распространением фотона в фотонном кристалле (**3 балла**).

В работах, выполненных в исследовательских центрах Гарвардского университета, сообщалось об "остановке" света. Волновой пучок, занимающий в вакууме несколько километров, был сжат до размеров в несколько миллиметров, что соответствует снижению групповой скорости света до сотни метров в секунду. Экспериментаторы записывали во входном световом сигнале информацию с частотой модуляции 1 кГц, а затем восстанавливали ее из сжатого состояния. Таким образом, было непосредственно продемонстрировано создание элементов памяти на тяжелых фотонах.

Каково предельно возможное снижение скорости фотона в фотонном кристалле, и какова предельная плотность записи информации указанным способом (в битах)? (**2 балла**).

Технология фотонных кристаллов позволяет создавать вещества с отрицательным показателем преломления. Такие материалы открывают путь к созданию новых уникальных оптических приборов. Английский физик Джон Пендри показал, что возможно создание "суперлинзы", которая будет фокусировать свет в область, размером в сотни раз меньшую, чем длина волны падающего света.

Чем обусловлен отрицательный показатель преломления материала с физической точки зрения, и как можно создать такие материалы на практике? (**4 балла**). Нарисуйте схему распространения света в «суперлинзе». Возможно ли создать аналог «суперлинзы» из материалов с положительным показателем преломления? (**1 балл**).

Какие явления могут произойти, если фотон будет сфокусирован в область, в сотни раз меньшую длины его волны? (**2 балла**).

Что изменится, если размеры субмикронных микросфер в этой задаче уменьшить до размеров квантовых точек (**5 баллов**)?