

УДК. 537.9

ОПТИЧЕСКОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ ИТТЕРБИЯ, В ИОННОЙ ЛОВУШКЕ

Хорошев И.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент, Иванов А.В. (Университет ИТМО)

Работа посвящена изучению процесса оптического охлаждения легированных нанокристаллов под действием ИК излучения, резонансного оптическому переходу между основным и возбужденным электронными уровнями иона иттербия. Оптическое охлаждение нанокристалла осуществляется как за счет коллективного эффекта отдачи (трансляционное охлаждение), так и за счет антистоксовой флуоресценции (внутреннее охлаждение). С помощью программного пакета Wolfram Mathematica выполнено компьютерное моделирование процесса оптического охлаждения. Используемая для численных расчетов модель учитывает вероятностный характер процессов поглощения ионами иттербия фотонов и случайность направления их спонтанного излучения. Выполнены оценки глубины и скорости оптического охлаждения наночастиц.

Введение. Идея использования лазерного излучения для глубокого охлаждения ионов и атомных ансамблей была предложена в 1975 году. Данная идея была основана на возможности с помощью частотной отстройки селективно замедлять движущиеся навстречу лазерному излучению отдельные ионы и атомы. Дело в том, при поглощении и испускании фотона происходит изменение импульса атома, а также происходит обмен энергией между атомом и световым полем. На данный момент практический интерес представляет возможность замедлять с помощью оптического поля более массивные объекты, например, наночастицы, уменьшая как их кинетическую энергию, так и внутреннюю температуру наночастицы.

Оптомеханические системы с левитирующими твердотельными объектами представляют значительный исследовательский интерес последние два десятилетия. Этот интерес обусловлен как возможностью реализации экспериментов по тестированию фундаментальных квантово-механических эффектов с макроскопическими объектами, так и возможностью получения квантовых сенсорных устройств. Реализовать эти возможности можно, получив глубоко охлажденный по трансляционным и внутренним степеням свободы твердотельный объект, эффективно изолированный от окружающей его среды, например, поместив нанокристалл, захваченный в ионную ловушку, в вакуумную камеру. Настоящая работа посвящена исследованию метода полного (трансляционного и внутреннего) оптического охлаждения нанокристалла, легированного ионами иттербия. Метод основан на одновременной реализации как внутреннего охлаждения за счет антистоксовой флуоресценции, так и трансляционного охлаждения за счет коллективного эффекта отдачи.

Основная часть. В работе рассматривается оптомеханическая система, представляющая собой легированный ионами иттербия нанокристалл, левитирующий в ионной ловушке Пауля. На нанокристалл действует оптическое поле, направленное в противоположную движению нанокристалла сторону. В результате резонансного взаимодействия поля с ионами иттербия происходят два процесса: уменьшение скорости кристалла за счет действия силы светового давления, и уменьшение внутренней температуры атомов в кристалле за счет антистоксовой флуоресценции. Следует отметить, что важную роль в обоих процессах оптического охлаждения играет спонтанная релаксация со штарковски расщепленных подуровней возбужденного электронного уровня иона Yb^{3+} . В результате спонтанной релаксации по прошествии характерного времени, определяемого временем жизни возбужденного уровня иона иттербия, испускаются фотоны, энергия которых больше энергии поглощенных фотонов, что приводит к уменьшению внутренней температуры нанокристалла. Кинетическая энергия нанокристалла уменьшается в результате действия

коллективного эффекта отдачи, который обусловлен участием всех находящихся в нанокристалле ионов Yb^{3+} . Задача учета силы светового давления при взаимодействии оптического поля со всеми ионами иттербия нанокристалла требует моделирования процесса охлаждения с учетом вероятностного характера индивидуальных актов вынужденного поглощения и спонтанного испускания фотонов поля ансамблем ионов.

Выводы. Разработанная в рамках настоящей работы модель резонансного взаимодействия легированного нанокристалла позволяет описать процесс оптического охлаждения с учетом случайности актов вынужденного поглощения и спонтанного испускания ионом фотонов. Кроме того, в предлагаемой модели учитывается вероятностный характер актов безызлучательной релаксации между электронными уровнями ионов иттербия в процессе цикла охлаждения.

Хорошев И. А. (автор)

Подпись

Иванов А. В. (научный руководитель)

Подпись