Транспорт единичного фотона через наноотверстие движущимся атомом
Single photon transport by a moving atom

*А.Е. Афанасьев, П. Н. Мелентьев, В.И. Балыкин**
Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва, Россия
А. Ю. Калацкий, А.А. Кузин
Московский физико – технический институт г. Долгопрудный, Московская обл., Россия
**email: balykin@isan.troitsk.ru*

Из основных принципов волновой физики следует, что прохождением волны через отверстие значительно меньшее, чем длина волны - можно пренебречь. В классической работе Бете (Bethe), по пропусканию света наноотверстием в бесконечно тонком экране в идеальном проводнике, было получено простое выражение для эффективности передачи света, которое масштабируется как $(r/\lambda)^4$, где r – радиус отверстия, λ - длина волны. Эффективность передачи света быстро падает, когда длина волны становится больше, чем радиус отверстия и прохождение излучения становится процессом туннелирования.

Открытие, сделанное группой Эббесена (Ebbesen), по прохождению света через субволновое отверстие в *металлическом* экране *конечной* толщины и *конечной проводимости*, показало, что стандартная теория дифракции на небольших отверстиях не приемлема и что в этом случаи возможно экстремальное увеличение пропускания. Большинство исследователей соглашаются, что центральное место в этом явлении принадлежит поверхностным волнам, таким как поверхностные плазмоны.

В данной работе мы предлагаем и исследуем принципиально иной механизм переноса энергии световой волны через субволновое отверстие. Он основан на переносе кванта излучения через непрозрачный экран с наноотверстием, с использованием иной, отличной от плазмона, частицы, а именно *нейтрального атома*. В такой схеме *единичный* атом переносит через наноотверстие *единичный* фотон, реализуя, таким образом, схему однофотонного источника излучения локализованного на наномасштабе.

Основная идея транспорта единичного фотона с помощью атома иллюстрируется на Рис.1. Движущийся к экрану атом поглощает фотон лазерного излучения, переходя в возбужденное состояние непосредственно перед отверстием в металлическом экране.

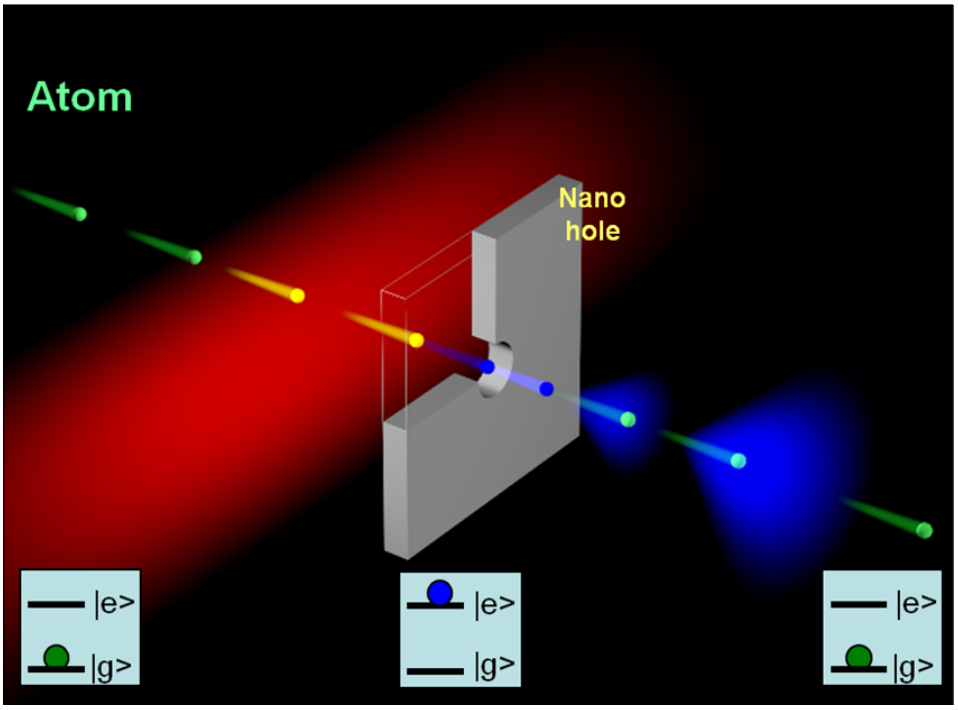

Рис.1 Основная идея транспорта единичного фотона с помощью атома. Движущийся к экрану с наноотверстием атом возбуждается перед экраном лазерным излучением. Время жизни возбужденного состояния атома превышает время пролета атома через наноканал. Это позволяет атому перенести энергию возбуждения через наноотверстие и переизлучить ее в виде фотона по другую сторону экрана.

Если при этом время жизни атома в таком состоянии существенно больше, чем характерное время пролета через наноотверстие (в реальном эксперименте -наноканал), то процесс перехода атома из возбужденного состояния в основное состояние с *испусканием* фотона, может, при определенных условиях, произойти по другую сторону экрана, что и означает перенос энергии фотона через наноотверстие. Эффективность транспорта единичного фотона атомом может превышать на несколько порядков величину транспорта фотона без атома. Физической причиной увеличения эффективности транспорта фотона является *редукция волнового пакета* единичного фотона перед наноотверстием.

В данной работе экспериментально продемонстрирован транспорт единичного фотона движущимся атомом *Rb*. Исследованы основные физические механизмы, определяющие эффективность транспорта фотона атомом. Обнаружен новый физический механизм *дальнодействующего* девозбуждения атома металлической поверхностью.