

УДК 535.537.5

Два различных механизма сверхизлучения ансамбля двухуровневых атомов

Н. Е. Нефедкин^{1,2}, Е. С. Андрианов^{1,2}, А. А. Пухов^{1,2}, А. П. Виноградов^{1,2}

¹ Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН

² Московский физико-технический институт (государственный университет)

Сверхизлучение (СИ) – это явление резкого увеличения скорости спонтанного излучения ансамбля независимых излучателей. Явление было предсказано Дике [1] для квантовых излучателей, находящихся в субволновом объеме. Дике было показано, что увеличение интенсивности излучения N двухуровневых систем достигается за время $\sim \log N / N$. Пик сверхизлучения длится время в $1/N$ раз меньше, чем время излучения отдельного излучателя, а максимальная интенсивность излучения $\sim N^2$. В модели Дике предполагается, что атомы взаимодействуют друг с другом исключительно через ими же излученное поле. К сожалению, формальный подход Дике не позволяет понять физическую природу механизма СИ.

Экспериментально [2-4] явление, схожее со сверхизлучением, наблюдали в протяжённых системах, линейный размер которых в одном из направлений был много больше длины волны. Однако интерпретация этих экспериментов неоднозначна вследствие вклада вынужденного излучения.

Обычно сверхизлучение трактуется как квантовый эффект, связанный с неразличимостью атомов [4]. Однако явление сверхизлучения имеет место и в классическом случае [5], в котором фазировка изначально нефазированных излучателей есть следствие конструктивной интерференции огибающих быстрых осцилляций нелинейных излучателей. В настоящей работе мы, следуя статье [6], используя формализм матрицы плотности, постараемся вскрыть механизм эффекта сверхизлучения. Мы покажем, что СИ, как явление, имеет двойственную природу. С одной стороны, это случай, рассмотренный Дике. Здесь фазировка излучателей предполагается изначально, собственно, поэтому интенсивность пика пропорциональна квадрату числа излучателей. То есть это квантовомеханический аналог задачи о релаксации набора фазированных осцилляторов. Задержка же пика сверхизлучения является квантовым эффектом, связанным с соотношением неопределённости "число частиц - фаза". С другой стороны, возможна конфигурация изначально нефазированных излучателей, также реализующая сверхизлучение. В этом случае механизм квантового СИ аналогичен механизму классического. Также в работе показано, что для системы двухуровневых атомов можно ввести фазу

суммарного дипольного момента, аналогично тому, как это делается для фотона. Получено соотношение неопределённостей для числа частиц, находящихся в возбуждённом состоянии, и фазы суммарного дипольного момента.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dicke R.H.*, Phys. Rev. – 1954. – V. 93 – P. 99.
2. *Rehler N.E., Eberly J.H.*, Phys. Rev. A. – 1971. – V. 3. – P. 1735.
3. *Ressayre E., Tallet A.*, Phys. Rev. A. – 1977. – V. 15. – P. 2410.
4. *Gross M., Haroche S.*, Phys. Rep. – 1982. – V. 93. – P. 301.
5. *Vainstein L.A., Kleev A.I.*, Soviet Phys. – Doklady. – 1990. – V. 35. – P. 359.
6. *Temnov V.V., Woggon U.*, Phys. Rev. Lett. – 2005. – V. 95.