

К спонтанному излучению в резонаторе.

В 1946 Перселл предсказал увеличение вероятности спонтанного излучения при переходе от свободного пространства к высокодобротному резонатору. Им была предложена формула для вероятности спонтанного излучения в одномодовом резонаторе (при частоте перехода, равной резонансной частоте):

$$w_s^c = w_s \frac{3\lambda^2 Q}{8\pi^2 V},$$

где w_s - вероятность спонтанного излучения в свободном пространстве,

Q – добротность резонатора, $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$ - длина волны, V – объем резонатора.

Бункиным и Ораевским эта формула была обобщена для значений частоты перехода, отличающихся от собственной частоты резонатора [1]:

$$w_s^c = \frac{4\pi\bar{\mu}^2}{\hbar V} \frac{\frac{\omega_c^2}{Q}}{(\omega_c - \omega_a)^2 + \frac{\omega_c^2}{Q^2}},$$

где $\bar{\mu}$ - матричный элемент дипольного момента, соответствующего излучающему переходу, а ω_c, ω_a - частоты резонатора и излучающего перехода.

При анализе этих формул возникает некоторое сомнение – как поле резонатора может оказывать влияние на атомную систему, находящуюся в узле поля (то-есть там, где поле резонатора равно нулю)?

Так же возникают вопросы насчет предельного перехода к свободному пространству. В [3] приведена формула для оценки добротности объемного резонатора:

$$Q \sim \frac{V}{Sd}, \text{ где } d \text{ – толщина скин-слоя } (d \sim \lambda^{\frac{1}{2}}), \text{ а } S \text{ – площадь стенок.}$$

Если не менять длину волны (и, соответственно, толщину скин-слоя), но увеличивать линейные размеры резонатора, то

$$\frac{Q}{V} \sim \frac{V}{Sd} \frac{1}{V} = \frac{1}{Sd} \rightarrow 0.$$

То-есть

$$w_s^c \rightarrow 0.$$

Но разумно ожидать, что при этом предельном переходе

$$w_s^c \rightarrow w_s.$$

В связи с этим представляется возможным предложить следующую формулу для резонансного случая (когда частота перехода равна собственной частоте резонатора):

$$w_s^c = (w_s + Q \frac{(\vec{r}_{12} \vec{E}_s(\vec{r}_0))^2}{N_s} \frac{2e^2}{\hbar}).$$

Здесь \vec{E}_s - поле собственной моды резонатора (s – номер моды), \vec{r}_0 - местонахождение атомной системы (точечной), \vec{r}_{12} - матричный элемент координаты, а N_s - норма собственной резонаторной моды [см. 2]:

$$N_s = \frac{1}{4\pi} \int \vec{E}_s^2 dV.$$

Видно, что вероятность спонтанного излучения возрастает в пучностях электрического поля резонатора (добавка пропорциональна добротности резонатора).

Список литературы:

- 1) Ораевский А.Н. «Спонтанное излучение в резонаторе». УФН 164(4), (1994).
- 2) Вайнштейн Л.А. «Электромагнитные волны» М. Радио и связь 1988.
- 3) Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. «Теория волн» М Наука 1979